

PROJEKT OM MÅLING AF NITRAT I DRÆN OG VANDLØB

Analyse af eksisterende data og felttest af sammenhængen imellem drænafløb og nitrattransport indenfor deloplande

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 84

2016



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI



PROJEKT OM MÅLING AF NITRAT I DRÆN OG VANDLØB

Analyse af eksisterende data og felttest af sammenhængen imellem drænafstrømning og nitrattransport indenfor deloplande

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 84

2016

Jane Rosenstand Poulsen¹

Gitte Blicher-Mathiesen¹

Niels Bering Ovesen¹

Anker Lajer Højberg²

Kristoffer Piil³

¹Aarhus Universitet, Institut for Bioscience,

²De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)

³SEGES P/S



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 84
Titel:	Projekt om måling af nitrat i dræn og vandløb
Undertitel:	Analyse af eksisterende data og felttest af sammenhængen imellem drænaftstrømning og nitrattransport indenfor deloplande
Forfattere:	Jane Rosenstand Poulsen ¹ , Gitte Blicher-Mathiesen ¹ , Niels Bering Ovesen ¹ , Anker Lajer Højberg ² & Kristoffer Piil ³
Institutioner:	¹ Aarhus Universitet, Institut for Bioscience, ² De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), ³ SEGES P/S
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Juli 2016
Redaktion afsluttet:	Juni 2016
Faglig kommentering:	Brian Kronvang, Institut for Bioscience
Kvalitetssikring, DCE:	Susanne Boutrup
Finansiel støtte:	Miljøstyrelsen
Bedes citeret:	Poulsen, J.S., Blicher-Mathiesen, G., Ovesen, N.B., Højberg, A.L. & Piil, K. 2016. Projekt om måling af nitrat i dræn og vandløb. Analyse af eksisterende data og felttest af sammenhængen imellem drænaftstrømning og nitrattransport indenfor deloplande. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 72 s. - Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 84 http://dce2.au.dk/pub/TR84.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten beskriver resultaterne af en analyse af mulighederne for at udvikle et screeningsværktøj til estimering af drænvandsafstrømning. Analysen er primært baseret på eksisterende data, men der indgår også data fra DK-modellens afstrømningsestimater, nye drænvandføringsmålinger og supplerende N-min målinger.
Emneord:	Afstrømningsanalyse, drænaftstrømning, vandløbsafstrømning, nitrat
Layout:	Grafisk Værksted, AU Silkeborg
Foto forside:	Niels Bering Ovesen
ISBN:	978-87-7156-212-5
ISSN (elektronisk):	2244-999X
Sideantal:	72
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/TR84.pdf
Supplerende oplysninger:	Projektet er udført i samarbejde med Naturstyrelsen, NaturErhvervstyrelsen og Miljøstyrelsen.

Indhold

Sammenfatning	5
1 Indledning	8
1.1 Baggrund og formål	8
1.2 Rapportens indhold og opbygning	9
2 Afstrømningsanalyse	11
2.1 Metode til beregning af vandføringsrelationer	11
2.2 Datagrundlag	11
2.3 Beregningsprocedurer – afstrømningsanalyserne	13
2.4 Oplandsbeskrivelser	20
3 Resultater, afstrømningsanalysen	30
3.1 $Q_{\text{vandløb}} - Q_{\text{dræn}}$ – udført på kalenderår	30
3.2 $Q_{\text{vandløb}} - Q_{\text{dræn}}$ – udført for drænafstrømningssæsonen	31
3.3 $Q_{\text{dræn}} - Q_{\text{dræn}}$ – udført for drænafstrømningssæsonen	37
3.4 $Q_{\text{dræn}} - Q_{\text{dræn}}$ relation - dataserier baseret på vandføringspercentiler	39
3.5 Sammenhæng mellem andel af drænvand og $Q_{\text{vandløb}} - Q_{\text{dræn}}$ relation	40
3.6 Relation imellem afstrømning og kvælstoftransport	47
3.7 Diskussion – Q_q relationer	47
4 Test af metoder til punktmåling af drænvandføring	51
4.1 Målemetoder	51
4.2 Målte dræn	53
4.3 Resultater fra felttests og evaluering af målemetoder	55
4.4 Sammenligning med vandløbsvandføringer	58
4.5 Fosforkoncentrationer i dræn	60
4.6 Konklusioner - felttests	60
5 N-min målinger og markoverskud	62
5.1 N-min målinger og markoverskud, LOOP 1 og 4	62
5.2 N-min målinger og markoverskud, Saltø Å oplandet	62
6 Referencer	66
Bilag 1	68
Bilag 2	71

Sammenfatning

Denne rapport beskriver resultaterne opnået i *Projekt om måling af nitrat i dræn og vandløb - Analyse af eksisterende data og felttest af sammenhængen imellem drænafastømning og nitrattransport indenfor deloplande*. Projektrapporten er en del af et overordnet projektsamarbejde imellem GEUS, SEGES, DCE/Institut for Bioscience, Aarhus Universitet, NaturErhvervstyrelsen, Naturstyrelsen og med Miljøstyrelsen som projektleder. Rapporten dækker aktiviteter udført primært af DCE og GEUS med bidrag fra SEGES. Projektets overordnede hensigt har været at styrke den fælles forståelse af muligheder og begrænsninger ved brug af målinger i dræn til estimering af drænvandsafstrømning og kvantificering af N-udledning via dræn.

Det specifikke formål med den del af projektet, der afrapporteres i denne rapport, har været, at undersøge mulighederne for at udvikle et screeningsværktøj til estimering af drænvandsafstrømning. Det er undersøgt, om relativt få øjebliksmålinger af drænvandføring og en relation til den nærmeste vandløbs- eller drænstation kan anvendes til at give et estimat af den samlede årlige drænvandsafstrømning. Afstrømningsanalysen er udført på allerede eksisterende data primært fra Landoovervågningsprogrammet (LOOP-oplandene 1, 2 og 4) men også på data fra projektet Varslingssystem for Pesticider (VAP-markerne Estrup, Silstrup og Faardrup). Som supplement til denne analyse, er den nationale vandressourcemodel anvendt til at belyse i hvilken udstrækning en relation mellem drænafastømning og vandløbsvandføringen er afhængig af drænvandets andel i forhold til de samlede vandføring. Derudover er der udført tre felttests af fem forskellige metoder til at udføre direkte målinger af drænvandsafstrømningen ved drænudløb i oplandet til Saltø Å. Som et supplement til afstrømningsanalyserne er der endvidere indsamlet prøver af jordens mineralske N-indhold (N-min) i Saltø Å oplandet og i to af LOOP-oplandene (1 og 4).

Afstrømningsanalyserne har vist, at mulighederne for anvendelse af et screeningsværktøj til bestemmelse af drænafastømning er meget afhængig af de lokale hydrogeologiske- og jordbundsforhold. Overordnet er der tre forhold, som afstrømningsanalyserne særligt har belyst. Det ene forhold er, at en kort geografisk afstand imellem de dræn- og vandløbsoplande man ønsker at sammenligne, ikke er garant for opnåelse af en god relation imellem afstrømningen i dræn og vandløb. Dette ses bl.a. ved, at der generelt opnås en bedre relation imellem drænafastømningen i VAP marken Estrup og vandløbsafstrømningen ved vandløbsstationen i Gamst Møllebæk, der ligger mere end 5 km væk i nabooplandet; end de relationer der kan etableres imellem dræn og vandløbsstation i LOOP 4, hvor afstanden imellem stationerne er mindre end 1 km. Dette forklares med, at de lokale afstrømningsforhold, særligt for mindre drænoplande, er styrende for afstrømningen, og disse forhold kan variere betydeligt indenfor selv korte afstande.

Det andet forhold, som analysen viser, er, at afstrømningsrelationer imellem individuelle dræn, selvom de ligger tæt på hinanden indenfor det samme vandløbsopland, kan være vanskelige at etablere. Dette ses bl.a. i LOOP 4, hvor afstrømningsrelationerne imellem dræn 6 og dræn 2 generelt er dårligt bestemt, med middelfvigelse på op til 70 % imellem målt og modelleret drænafastømning og store år til år variationer. Dette skyldes formentlig, at markkapaciteten i den enkelte mark, som er drænet, vil være styrende for af-

strømningsrespons i drænene, og dette forventes at kunne variere betydeligt fra drænopland til drænopland. Dermed tyder analysen på, at en relation imellem dræn og vandløb i nogle tilfælde vil være bedre bestemt end relationen mellem individuelle dræn, da afstrømningens variationer i det større vandløbsopland vil være mere dæmpet end i dræn.

Det tredje forhold, som afstrømningsanalyserne viser, er, at der i grundvandspåvirkede dræn er større sandsynlighed for at etablere robuste sammenhænge til afstrømningen ved en vandløbsstation. Dette illustreres tydeligt i LOOP 2, hvor afstrømningsrelationerne imellem dræn og vandløb er godt bestemt, med afvigelser imellem målt og modelleret drænvandføring på under 10 % for hele den undersøgte periode (1990-2014). Disse forskelle forklares bl.a. med, at både dræn og vandløb i LOOP 2 er påvirket af trykvand fra grundvand, hvilket medfører, at vandføringen begge steder er mindre afhængig af de helt lokale forhold og i højere grad styres af den overordnede grundvandstand og grundvandsdynamik.

Analysen gennemført med den nationale vandressourcemodel indikerer, at der generelt opnås en mindre god relation mellem drænstrømning og nedstrøms vandføringsstation, i tilfælde hvor drænbidraget udgør mindre end 20 % af den samlede vandføring. For oplande med en større andel af drænvand er størrelsen af drænbidraget mindre betydende, specielt når analysen gennemføres på en 25 ha skala. For denne skala ses der lige store variationer mellem områder med samme drænbidrag som mellem områder med forskellige drænbidrag. Dette resultat understøtter således analysen gennemført for de målte oplande, som indikerer, at de helt lokale hydrogeologiske forhold i mange tilfælde er dominerende for drændynamikken.

De udførte felttests af metoder til måling af drænvandføring i drænudløb viste, at de testede metoder til at udføre punktmålinger i dræn kan dække både forskellige typer af drænudløb og forskellige afstrømningsniveauer. De betydeligste udfordringer i forhold til punktmålingerne af drænvandføringen var, at der dels var en del dræn, som ikke kunne lokaliseres, og dels at nogle af drænrørene var ødelagt, og i nogle tilfælde med diffus udstrømning via brinken. Ingen af de testede metoder kunne benyttes i de dræn, hvor drænrørets udløb var gået i stykker. Dermed konkluderes det, at metoderne til at måle punktafstrømninger i veldefinerede drænrørsudløb eksisterer, men at mulighederne for at måle afhænger helt af tilstanden af det enkelte drænrørsudløb.

I forbindelse med drænafstrømningsanalyserne i LOOP 1 og 4 og i Saltø Å oplandet blev der lavet en sammenligning imellem N-min målinger, beregnet markoverskud og (i Saltø Å-oplandet) drænvandskoncentrationer af N. Sammenligningen viste ikke nogen sammenhæng imellem disse parametre. Analysen er begrænset af, at der kun er udtaget prøver i én sæson og kun i to oplande, hvilket ikke er tilstrækkeligt til at udføre en mere dybdegående analyse af de komplekse processer, der styrer N-udvaskningen og samspillet med den udledning, der sker via drænene.

Det konkluderes i rapporten, at der ikke på baggrund af de udførte analyser kan etableres en generel anbefaling i forhold til et screeningsværktøj til bestemmelse af drænafstrømning. Begrænsningen i forhold til udvikling af et screeningsværktøj ses primært i forbindelse med muligheden for at etablere robuste vandføringsrelationer imellem dræn eller imellem dræn og vandløb, hvor forhold som f.eks. nedbørsgradier, jordens vandindhold, drænin-

tensitet og lokale forskelle i jordtyper forventes at være afgørende. For LOOP 2, hvor både dræn og vandløb er påvirket af drænvand, blev der fundet en god relation mellem dræn og vandløb. Da datamaterialet er meget begrænset, og eksempelvis kun indeholder én station påvirket af trykvand, kan der ikke drages en sikker konklusion på basis heraf, om end en høj andel af trykvand må forventes at forøge mulighederne for opnåelse af en god korrelation. Med det tilgængelige datamateriale har det heller ikke været muligt at identificere andre forhold/typologier, hvor en god korrelation generelt må kunne forventes. De præsenterede analyser er begrænset af, at der kun indgår få oplande i analysen; oplande som ikke dækker et generelt repræsentativt udsnit af danske dræn- og vandløbsoplande. I forhold til et videre arbejde med metoder til at bestemme drænafstrømningen ville det derfor være relevant at medtage flere oplande i analysen, og dermed få en bedre dækning af forskellige oplandstyper.

1 Indledning

1.1 Baggrund og formål

Transport af kvælstof (N) via drænen til vandløb er ofte en vigtig transportvej i vandløbsoplande og særligt i oplande domineret af lerjord. Der er ofte en betydelig variation imellem drænenes N-koncentrationer, hvilket bl.a. er belyst i et treårigt måleprojekt udført sammen med 700 landmænd, hvor der blev udført målinger af N-koncentration i drænvand i perioden 2011-2014 i forbindelse med SEGES' projekt *Landbrugets drænvandsundersøgelse* (Piil og Knudsen, 2014). Drænvandskoncentrationen vil imidlertid ikke nødvendigvis afspejle næringsstofkoncentrationen i det vand, der strømmer fra markerne, da drænvandet i nogle tilfælde kan være en blanding af det nedsivende rodzonevand og af opvældende, iltfattigt og reduceret grundvand med lavt nitrathold. Endelig vil koncentrationsmålingerne i drænen ikke afspejle den samlede belastning, der når frem til vandmiljøet, da en del af det nedsivende vand vil nå vandløbene uden om drænen. Dette har størst betydning på de mere sandede jorde og på lavbundsarealer i ådale. Måling af N-koncentration i drænen siger samtidig heller ikke nødvendigvis noget om belastningen til vandmiljøet, da belastningen er meget afhængig af drænenes vandafstrømning. Data fra Landovervågningen viser, at det både er N-koncentrationen og vandafstrømningen i drænet, som er afgørende for den totale N-udledning til vandløbet (Blicher-Mathiesen et al., 2015). For at kunne benytte drænmålinger af N-koncentrationer i forhold til fastlæggelse af drænenes N-transport, er der derfor brug for at kunne knytte en vandafstrømning til de enkelte dræne.

Der er imidlertid en række udfordringer i forbindelse med måling af vandafstrømningen i drænen. En af udfordringerne er, at drænsystemerne ofte er omstændelige at komme til at måle i, da en måling i de fleste tilfælde vil kræve adgang til en samlebrønd. En kontinuert vandføringsmåling i drænet vil normalt kræve opsætning af f.eks. flowmålere eller Thomson-overfald med målinger af vandstand med en tryktransducer, med betydelige omkostninger ved etablering og drift af dette udstyr til følge. Derfor er det interessant at undersøge, om der kan udvikles alternative metoder til, hvordan drænvandsafstrømningen kan estimeres.

Det har derfor været formålet med delprojektet, som afrapporteres i denne rapport, at undersøge muligheden for at udvikle et screeningsværktøj, hvor relativt få øjebliksmålinger af drænvandføringen sammen med etablering af en sammenhæng til den nærmeste kontinuert målte vandløbs- eller drænstation kan anvendes til at give et estimat af den samlede drænvandsafstrømning over en afstrømningssæson. Projektet omfatter både en analyse af allerede eksisterende data primært fra Landovervågningsprogrammet (LOOP) (Blicher-Mathiesen et al., 2015) og VAP-data (fra projektet Varslingssystem for Pesticider, hvor også N dræntransport er målt) (Lindhart et al., 2001). Desuden indgår en indsamling af nye N-min målinger (måling af jordens mineralske N-indhold, se f.eks. Rubæk og Sørensen (2011)), og en test af forskellige metoder til øjebliksmåling af vandføringen i drænen. Ved både at inddrage de meget omfattende tidsserier, der allerede eksisterer fra LOOP- og VAP-oplande, og samtidig indsamle nye drænen- og N-min målinger, har det været muligt at udføre en analyse af indflydelsen af den tidslige variation i drænvandføring og N-koncentrationer og en praktisk test af screeningsmetoder til måling i drænen.

Det har været hensigten, at projektet skal medvirke til at styrke den fælles forståelse af muligheder og begrænsninger ved brug af drænvandsmålinger til at estimere drænvandsafstrømningen og kvantificere N-udledning via dræn. Endvidere har det været målet at belyse nogle af de forudsætninger, der skal være til stede i forbindelse med anvendelse af drænvandsmålinger til estimering af drænvandsafstrømning.

1.2 Rapportens indhold og opbygning

Delforprojektet beskrevet i denne rapport består overordnet af tre dele. En primær del af projektet har handlet om undersøgelse af, om relativt få øjebliksmålinger af drænvandføring og en relation til den nærmeste vandløbsstation kan anvendes til at give et estimat af den samlede drænvandføring over en drænsæson, med en acceptabel usikkerhed. Denne del af projektet er udført på de eksisterende LOOP og VAP data. Derudover er der suppleret med en mere overordnet analyse og diskussion af drænvandføring og faktorer, der er bestemmende for drænvandføringsdynamik. Herunder er den Nationale Vandresourcemodel (Højberg et al., 2015) anvendt til at belyse, i hvilken udstrækning sammenhængen imellem dræn- og vandløbsvandføring er påvirket af drænstrømningens andel af den samlede vandføring i vandløbet for oplande med et gennemsnitsareal på 1500 ha (de såkaldte ID15 oplande).

Den anden primære del af projektet har handlet om at udføre en felttest med afprøvning af forskellige typer udstyr til punktmåling af drænvandføring. Hvis en screeningsmetode til bestemmelse af drænvandføring skal kunne etableres, er det en forudsætning, at der kan opnås pålidelige øjebliksmålinger af drænvandføringen i de aktuelle dræn. Der er i drænsæsonen 2015/2016 udført tre felttests i oplandet til Saltø Å. Felttestene er udført i Saltø Å-oplandet for at opnå synergi med det igangværende GUDP-projekt *Emissionsbaseret kvælstof- og arealregulering*, som har Saltø Å-oplandet som et af dets projektområder. Det har via GUDP-projektet været muligt at få adgang til detaljerede drænkort over området og til detaljerede målinger af vandløbsvandføringen til sammenligning med felttestens øjebliksmålinger af drænvandføringen.

Den tredje del af projektet omhandler en supplerende analyse af sammenhængen mellem N-min-målinger i marken, beregnet markoverskud og N-transport i dræn. I forbindelse med denne analyse er der indsamlet N-min målinger i Saltø Å-oplandet, samt N-min-målinger i LOOP 1 og 4, som supplement til målingerne af vandføring og N-koncentrationer i drænene. Ud fra viden om markernes sædskifter er markoverskud beregnet. Analysen dækker kun data fra én drænsæson, og derfor skal resultaterne ses som en indledende undersøgelse, som det vil være nødvendigt at gentage over flere år og på flere lokaliteter, hvis analysen skal kunne benyttes til en generel diskussion af sammenhængen imellem markoverskud, N-min-niveauer og drænkonzentrationer af N.

Projektets ramme har været primært at basere analyserne på allerede eksisterende data, for at udnytte de eksisterende lange tidsserier af vandføringer og stofkoncentrationer. Derfor skal projektet ses som et pilotprojekt til illustration af muligheder for måling og beregning af vandføringer i dræn, begrænset af at analyserne kun er foretaget på nogle få oplande. Det begrænsede antal nye målinger der er udført (N-min, drænvandføring og dræn N-koncentrationer) er tænkt som supplerende informationer og test af metode,

og er også begrænset af, at dataene kun repræsenterer øjebliksmålinger i én sæson. Derfor skal resultaterne ses i denne sammenhæng.

DCE/Institut for Bioscience, Aarhus Universitet (DCE) er hovedforfatter på rapporten, men både GEUS og SEGES er hovedansvarlige på udvalgte afsnit. GEUS er hovedforfatter på afsnit 3.5 og SEGES er hovedforfatter på afsnit 5.2. Derudover har DCE været hovedansvarlig for felttests udført i Saltø Å oplandet og N-min målinger i LOOP 1 og 4. SEGES har været hovedansvarlig for N-min målinger i Saltø Å oplandet og håndtering af drænvandprøver fra Saltø Å oplandet.

2 Afstrømningsanalyse

2.1 Metode til beregning af vandføringsrelationer

Metoden med at lave relationer imellem vandføringer målt to forskellige steder, anvendes allerede i vandløb (se f.eks. Henriksen, 1987). I vandløb benyttes sådanne relationer til at beregne en kontinuert vandføring i et vandløb, der ikke monitoreres kontinuert, ved hjælp af kontinuerte vandføringer fra en referencestation. De kontinuerte vandføringer ved referencestationen beregnes på baggrund af kontinuerte vandstandsmålinger, ca. 10-12 årlige direkte vandføringsmålinger og en vandførings-/vandstandsrelation (QH-relation) (Ovesen, 2011). Vandføringsrelationerne etableres ved, at der udføres direkte øjebliksmålinger af vandføringen i begge vandløb på ca. samme tidspunkt samme dag. Dernæst tilpasses en lineær regressionslinje til vandføringsmålingerne:

$$q=A*Q+B \quad (1)$$

A og B er regressionskonstanterne. Q angiver den kontinuerte vandføring ved reference/hovedstationen og q angiver den beregnede kontinuerte vandføring i det vandløb, hvor der kun er udført øjebliksmålinger af vandføringen. (1) kaldes en Qq-relation, og når den er etableret, benyttes de kontinuerte data fra hoved-vandløbsstationen (Q) sammen med ligningen for Qq-relationen til at beregne kontinuerte vandføringer (q) i det andet vandløb. Måling af øjebliksværdierne til bestemmelse af Qq-relationen må ikke udføres på tidspunkter, der er sammenfaldende med større nedbørshændelser, da forskelle i vandføringsresponsen typisk vil træde stærkere frem i forbindelse med nedbørshændelser (se evt. afsnit 3.5).

Vandføringsanalysen udført i dette projekt er baseret på det samme princip omkring Qq-relationen, som beskrevet for vandløb. Dog etableres Qq-relationerne her mellem en vandløbsstation og en drænstation ($Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relation), hvor vandløbsstationen er hovedstation; eller imellem to drænstationer ($Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relation), hvor den ene drænstation fungerer som hovedstation. På den måde betegner $q_{\text{dræn}}$ den kontinuerte drænvandføring, som beregnes for det dræn, hvor der kun er udført øjebliksmålinger af vandføringen. $Q_{\text{dræn}}$ betegner den kontinuerte afstrømning, når hovedstationen er en drænstation, og $Q_{\text{vandløb}}$ betegner den kontinuerte afstrømning når hovedstationen er en vandløbsstation.

Hvis sådanne $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ eller $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relationer kan etableres, vil de potentielt kunne benyttes til at opnå bedre estimater af drænvandføringen til brug for beregning af næringsstoftransport. Metoden kan derfor potentielt benyttes som et screeningsværktøj til at kortlægge et eller flere drænoplandes vandføringsmønstre, uden at der skal etableres faste kontinuerte vandføringsstationer i alle drænudløb, f.eks. med flow- eller vandstandsmålere.

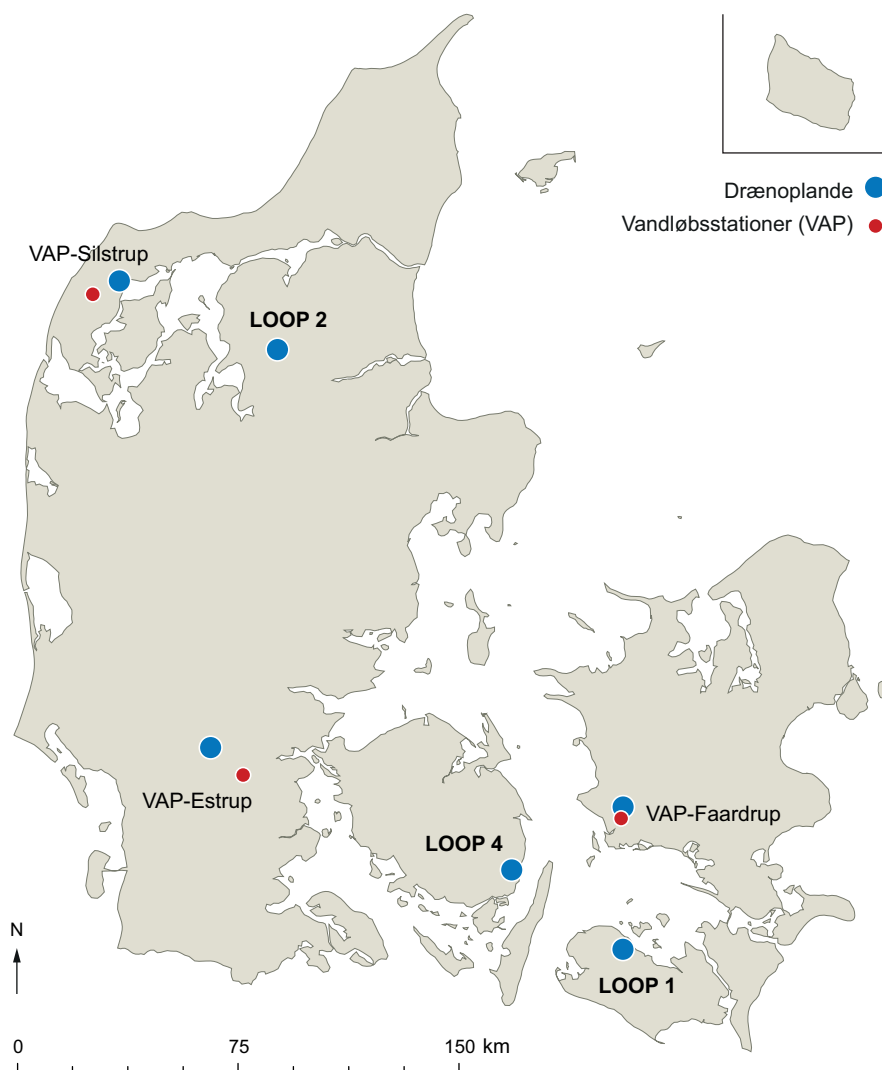
2.2 Datagrundlag

Qq-analyserne er som nævnt foretaget på baggrund af eksisterende data fra tre forskellige LOOP-oplande og fra tre forskellige VAP-oplande (fig. 1). Disse oplande er udvalgt, da der eksisterer data fra måling af både kontinuerte dræn- og vandløbsvandføringer og detaljerede data af stoftransporter for en lang periode. Det betyder, at det er muligt at teste de drænafstrømninger, som der estimeres på baggrund af Qq-relationerne, eftersom der fin-

des "sande" drænafløbsserier for hvert dræn og vandløbsstation, som de estimerede drænvandføringer kan sammenlignes med.

En oversigt over det eksisterende datagrundlag, der benyttes i vandføringsanalysen, ses i tabel 1. I forbindelse med VAP-oplandene er der ikke etableret hydrometriskationer nedstrøms i vandløbssystemet, og det har derfor været nødvendigt at lave Qq-analyserne på baggrund af data fra de nærmeste vandføringsstationer med kontinuerte data. Det betyder, at vandløbsstationerne til analysen af VAP-Silstrup og VAP-Estrup ligger i nabooplandene (fig. 1), og altså ikke repræsenterer det samme topografiske opland som VAP-markerne. I VAP oplandet Faardrup, ligger vandløbsstationen nedstrøms drænoilandet.

Figur 1. Placering af de tre LOOP-oplande og de tre VAP-drænoilande, samt de tre vandløbsstationer som benyttes til analysen af de tre VAP-drænoilande.



Til etableringen af Qq-relationerne er der udvalgt et antal dræn i de forskellige LOOP-oplande. Kriterierne for udvælgelsen af drænstationer har været, at der ved hver drænstation skulle være en kontinuert monitoring af drænvandføringen, samt at drænoilandet var veldefineret og kortlagt. I LOOP 1 analyseres data fra dræn 3, 5 og 7. I LOOP 2 er analysen udført på data fra dræn 3 og i LOOP 4 er data fra dræn 2 og 6 benyttet. I forbindelse med indhentning af data til analysen har ikke alle direkte vandføringsmålinger udført i de forskellige dræn været tilgængelige, og samtidig har det ikke været muligt at få fat i hele dataserien fra 1990 – 2012 i LOOP 1. Betydningen af dette i forhold til Qq-analysen er uddybet i afsnit 2.3.

Tabel 1. Oversigt over data som indgår i vandføringsanalysen.

Data	Type	Antal
LOOP	Drænvandprøver (N-konc. og vandføring) LOOP 1	16-24 prøver årligt i 3 dræn (2008 – 2014)
	Drænvandprøver (N-konc. og vandføring) LOOP 2	16-24 prøver årligt i 1 dræn (1990 – 2014)
	Drænvandprøver (N-konc. og vandføring) LOOP 4	16-24 prøver årligt i 2 dræn (1990 – 2015)
	Vandføring ved oplandsgrænse, LOOP 1, 2 og 4	Kontinuert (1990 – 2014)
	Vandløbs-vandprøver LOOP 1, 2 og 4 (N-konc.)	16-24 prøver årligt (1990 – 2014)
VAP	Drænvandprøver (N-konc. og vandføring) Estrup	16-24 prøver årligt i 1 dræn (2000-2012)
	Drænvandprøver (N-konc. og vandføring) Silstrup	16-24 prøver årligt i 1 dræn (2000 – 2012)
	Drænvandprøver (N-konc. og vandføring) Faardrup	16-24 prøver årligt i 1 dræn (2000 – 2012)
	Vandføring og stoftransport, Årup (st. nr. 11000016)	Kontinuert (2000 – 2012)
	Vandføring og stoftransport, Gamst Møllebæk (st. nr. 36000012)	Kontinuert (2000 – 2012)
	Vandføring og stoftransport, Fårdrup (st. nr. 56000001)	Kontinuert (2000 – 2012)

I de udvalgte LOOP-dræn måles drænvandføring i en målebrønd via en QH-station, som består af et 30 gr. V-Thomson overfald og en tryktransducer, som kontinuert måler vandstanden. I vandføringsperioden er der målt direkte drænvandføringer ca. hver uge, hvor der også samtidig er udtaget en drænvandprøve til analyse for N (Blicher-Mathiessen et al., 1990). Middelfejlen på beregning af vandføringen i dræn med V-Thomson overfald estimeres til at ligge omkring 10 %, større ved små vandføringer og mindre ved store vandføringer (Hedeselskabet, 1989 a,b,d). Stoftransporten i drænene og vandløbene er beregnet som daglige værdier ved hjælp af lineær interpolation imellem værdier fundet ved de direkte prøvetagninger, efter den tekniske anvisning for stoftransportberegninger i NOVANA (Bøgestrand og Johansson, 2013).

Drænvandføringen i VAP-oplandene monitoreres i en samlebrønd ved udløbet af drænsystemet også via en tryktransducer og et V-Thomson overfald. Yderligere oplysninger om dataindsamling mm. i VAP-oplandene kan findes i Lindhardt et al. (2001) og Ernsten et al. (2015).

Vandløbsstationerne i de tre LOOP-oplande og de tre vandløbsstationer nær VAP-oplandene er etableret som QH-stationer med kontinuert registrering af vandstande og omkring 10-12 direkte vandføringsmålinger om året (Ovesen, 2011).

2.3 Beregningsprocedurer – afstrømningsanalyserne

2.3.1 Dataseriernes tidsopløsning

Når der etableres Qq-relationer imellem vandføringer i forskellige afstrømningssystemer (dræn- eller vandløbsoplande) er det mest hensigtsmæssigt, at data fra de to lokaliteter har den samme tidsopløsning. Med det menes, at Qq-relationerne enten etableres imellem øjebliksmålinger af vandføringerne, udført ca. på samme tid ved de to undersøgte målestationer, også kaldet synkronmålinger; eller at relationerne etableres imellem f.eks. daglige midelvandføringer. Øjebliksmålinger/synkronmålinger af vandføringer er at foretrække, da det medfører mindst risiko for, at afstrømningerne repræsenterer forskellige afstrømningssituationer. Det har dog ikke været muligt at udføre Qq-analyserne i dette projekt udelukkende på direkte målte øjebliksværdier af vandføringer, da rå-data ikke har været tilgængelige i alle de analyserede oplande.

I LOOP 2 har det ikke været muligt at udføre Qq-analyser på direkte målte øjebliksværdier af vandføringer, da datoerne for, hvornår de direkte målinger i drænene er udført ikke kendes. I VAP-oplandene kendes kun de datoer, hvor der er udtaget vandprøver i drænene, og ikke datoerne for, hvornår der er udført direkte øjebliksmålinger af vandføringen. Men, da det findes sandsynligt, at datoerne for udtag af drænvandprøver er sammenfaldende med målinger af drænvandføringen, er daglige middelvandføringer både i drænene og i vandløbene i VAP oplandene på datoerne for indsamling af vandprøverne til koncentrationsmålinger anvendt som estimat for øjebliksmålinger. I LOOP 1 og 4 kendes de direkte øjebliksmålinger af vandføringer i drænene, men de er ikke i alle tilfælde sammenfaldende/synkrone med øjebliksvandføringerne udført ved de nedstrøms vandløbsstationer. Derfor er vandføringsværdier for vandløbene fundet ved at udvælge målinger fra den kontinuerte vandføringsserie på de tidspunkter, hvor det vides, at de direkte øjebliksvandføringer er målt i drænene. Dermed har det i LOOP 1 og 4 været muligt at udføre Qq-analyser på øjebliksværdier målt i drænene og estimerede øjebliksværdier i vandløbene.

Der er foretaget fire forskellige typer af Qq-analyser, hvor der er gjort forskellige antagelser og benyttet forskellige sammensætninger af de tilgængelige vandføringsdata fra dræn og vandløb. Der er udført Qq-analyser både imellem dræn og vandløb ($Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$) og imellem dræn og dræn ($Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$), men ikke alle fire Qq-analyser er udført i alle oplande, da dette ville være for omfattende at udføre indenfor dette projekts rammer. De forskellige analyser gennemgås i det følgende, og er desuden opsummeret i tabel 2. I tabellen er angivet hvilken Qq-relation der er benyttet, om det er imellem vandløb og dræn eller imellem dræn og dræn. Samtidig er det angivet, om analyserne er udført på data fra et helt kalenderår eller kun i perioden november til marts. Derudover er det i tabellen angivet, hvilken datatype der er benyttet til Qq-relationerne for henholdsvis dræn og vandløb. Datatypen "Daglige, QH" angiver, at der i analysen er benyttet daglige middelværdier udtaget fra den kontinuerte vandføringsserie beregnet via QH-relationen. Datatypen "øjebliksmålinger" henviser til, at Qq-analysen er udført på baggrund af de direkte øjebliksmålinger af vandføringen. I tabellen angiver "Periode" antallet af år, som er benyttet til at etablere Qq-relationerne. F.eks. betyder en periode på 3 år, at de tre forudgående år er benyttet til at etablere det aktuelle års Qq-relation. "Udtagningsfrekvens" henviser til, hvor mange datapunkter (øjebliks- eller daglige vandføringer) der er benyttet til Qq-analysen.

Tabel 2. Oversigt over metoder og data benyttet til etablering af Qq-relationer i analyserne i de forskellige oplande. Dr = dræn, vl = vandløb.

Opland	Q _{vandløb} -Q _{dræn} relation, kalenderår				Q _{vandløb} -Q _{dræn} relation, nov-mar				Q _{dræn} -Q _{dræn} relation, nov-mar				Q _{dræn} -Q _{dræn} relation, fraktilanalyse			
	Data-type, dr	Data-type, vl	Udtag- nings- frekvens ^b	Periode ^c	Datatype, dr	Datatype, vl	Udtag- nings- frekvens	Periode	Datatype, dr	Data-type, vl	Udtag- nings- frekvens	Periode	Datatype, vl	Data-type, dr	Udtag- ningsfre- kvens	Periode
LOOP 1	-	-	-	-	Øjeblikks- målinger	Øjeblikks- værdier, QH	3,5	3 år	Øjeblikks- målinger	-	3,5	1 år	-	-	-	-
LOOP 2	Daglige, QH	Daglige, QH	6,12	1 år	Daglige, QH	Daglige, QH	3,5	3 år	-	-	-	-	-	-	-	-
LOOP 4	Daglige, QH	Daglige, QH	6,12	1 år	Øjeblikks- målinger	Øjeblikks- værdier, QH	3,5,alle	3 år	Øjeblikks- målinger	-	3,5	3 år	-	Daglige, QH	3,5	3 år, alle foregående år
VAP	-	-	-	-	Daglige, QH	Daglige, QH	3,5	3 år	-	-	-	-	-	-	-	-

2.3.2 $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relation, kalenderår

Den første analyse der er udført betragtes som en form for "blindkørsel", hvor vandføringer i dræn er sammenlignet med vandføringer i vandløb for hele kalenderår, baseret på konstruerede dataserier. De konstruerede dataserier er dannet ved at udtage daglige middelvandføringsværdier fra de eksisterende kontinuerte vandføringsserier, beregnet via QH-relationer, som beskrevet i afsnit 3.1. Der er udtaget daglige middelvandføringsværdier fra de kontinuerte serier ved tilfældigt udtag (Montecarlo-simulering), med to forskellige frekvenser på henholdsvis 6 og 12 prøver årligt. Det vil sige, at den ene dataserie konstrueres, så der er en prøve hver anden måned og den anden serie, så der er en prøve hver måned. For hvert år (se tabel 1 for, hvor mange års data der er med i analysen) og hver af de to datafrekvenser, er der etableret i alt 50 Qq-relationer, ved at udtage daglige vandføringsværdier med 50 forskellige kombinationer. Denne procedure er benyttet for at opnå et stort datasæt og dermed få et så robust billede som muligt af variationerne, der kan være i $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationerne, afhængigt af i hvilke måneder og hvornår i månederne vandføringsværdierne er udtaget. En sådan analyse ville ikke være mulig, hvis kun de direkte øjebliksmålinger af vandføringen udført i dræn og vandløb skulle benyttes, eftersom de direkte øjebliksmålinger af vandføringen oftest kun er udført hver 2.-3. uge. De 50 årlige kombinationer af 6 af daglige middelvandføringer er konstrueret ved at sætte den betingelse, at de 6 udtag per år altid er placeret med et udtag hver 2. måned, aldrig i to måneder efter hinanden. De 12 udtag er altid placeret med et udtag hver måned. Det der dermed varierer til at give de 50 kombinationer per år, er altså hvilken dag i måneden vandføringsværdierne er udtaget.

For hvert år som indgår i analysen, og for hver af de to udtagningsfrekvenser dannes der altså 50 forskellige $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationer. For hver af disse 50 årlige relationer er der dernæst beregnet en årlig vandføring, via den kontinuerte vandføringsserie ved vandløbsstationen (se ligning (1)). Disse 50 årlige simulerede vandføringer i dræne er dernæst benyttet sammen med den faktiske årlige vandføring i dræne, beregnet via den traditionelle QH-relation, til at beregne en afvigelse ($q_{\text{dræn,afvigelse}}$) imellem de simulerede årlige vandføringer og den QH-beregne årlige vandføring:

$$q_{\text{dræn,afvigelse}} = (q_{\text{dræn,sim}} - q_{\text{dræn,QH}}) / q_{\text{dræn,QH}} \quad (2)$$

$q_{\text{dræn,QH}}$ angiver altså den årlige vandføring i drænet beregnet ud fra QH-relationen, som betragtes som den "sande" vandføring. $q_{\text{dræn,sim}}$ angiver den årlige vandføring beregnet via $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationen. Analysen er udført på vandløbs- og drændata data fra LOOP 2 og fra LOOP 4, dræn 6.

2.3.3 $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relation, november - marts

Den ovenfor beskrevne "blindkørsel", hvor der tilfældigt udtages datapunkter til $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationen fra de beregnede kontinuerte tidsserier ved dræn- og vandløbsstationerne over hele året, kan fungere som en første screening af, hvor sandsynligt det er, at der kan etableres en anvendelig $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relation. Analysen har dog den begrænsning, at der ved blindt at udtage prøver på forskellige tidspunkter over hele året, også medtages nulpunkter. Det forventes, at dræne i de fleste tilfælde vil løbe tør før vandløbet, og at der for en nulværdi af vandføring i drænet vil eksistere et interval af vandføringer i vandløbet. Dermed vil inddragelse af nulpunkter kunne medføre en dårlig bestemmelse af Qq-relationen, særligt for de laveste vandføringsværdier. Samtidig findes det ikke praktisk relevant, at der

udføres en Qq-målerunde, når drænene er løbet tør, eftersom dræntransporten af N følgelig vil være nul.

Endvidere, ved at benytte de kontinuerte dataserier for daglige vandføringer til etablering af $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationen laves der modelsimuleringer på modellerede værdier. Dette er en fordel, da det muliggør et stort antal simuleringer (50 per år i denne analyse), men har den iboende usikkerhed, at eventuelle fejl eller usikkerheder på QH-relationerne blandes sammen med usikkerheden på Qq-relationerne.

Derfor er der udført en $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ analyse, hvor der kun medtages data for månederne november til marts, da det forventes, at langt den største transport af N via dræn vil foregå i denne primære vandføringssæson. Samtidig baseres $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationerne på de data, som stammer fra de faktiske øjebliksmålinger af vandføringerne i drænene, i det omfang at øjebliksværdierne har været tilgængelige, og ellers er der som estimat for øjebliksmålinger benyttet daglige vandføringsværdier udtaget fra de kontinuerte vandføringsserier. Ved at benytte data kun fra perioden november til marts, og ved at benytte vandføringsværdier der enten er målt som direkte øjebliksværdier (typisk hver 2. til 3. uge) eller vandføringsværdier, der er målt på tilnærmede tidspunkter for de målte øjebliksværdier (se beskrivelse i afsnit 3.1), reduceres antallet af datapunkter til $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationerne betydeligt. I Bilag 1 kan antallet af datapunkter benyttet i $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ analysen for LOOP 1, 4 og VAP ses.

Hvor den ovenstående $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ analyse er udført med en $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relation per år, baseret på data kun fra det år, er der i $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ analysen udført i perioden november til marts benyttet tre års data til at etablere $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationerne. Det betyder, at de tre foregående års data er benyttet til at etablere den $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relation, der i det aktuelle år er brugt til at beregne den årlige afvigelse imellem den simulerede drænafrømning og den "sande" QH-beregnete afstrømning (se ligning 2). Endvidere er Qq-relationerne etableret på baggrund af 3 års målinger. Betydningen af hvor mange års data, der benyttes til at etablere Qq-relationen, er ikke udført i dette projekt. Derimod er der i forbindelse med GUDP projektet *Emissionsbaseret kvælstof- og areal regulering* foretaget en analyse af betydningen i forhold til bestemmelse af QH-relationer i vandløb. De første resultater fra denne analyse indikerer, at der i en stor del af ID15 oplandene (afhængigt af hydrologien) vil kunne etableres robuste QH-relationer i vandløbene, baseret på målinger af vandløbsvandføringer i gennem en periode på 3 år (ikke publiceret data). Derfor antages det, at det i første omgang vil være rimeligt at benytte den samme måleperiode på 3 år til at etablere Qq-relationer imellem dræn og vandløb og dræn og dræn i dette projekt.

Der er udført to forskellige analyser med forskellige kombinationer af vandføringsværdierne i perioden november til marts. Den første analyse er udført ved, at der for hvert år udtages tre af øjebliks- eller daglige værdier (afhængigt af oplandet) af dræn- og vandløbsvandføringen, en i hver af månederne november, januar og marts, som anbefalet for drænvandprøver i drænvandsundersøgelsen (Piil og Knudsen, 2014). Der er for hvert år udtaget tre værdier af vandføringen med ca. ti forskellige kombinationer. Det betyder, at ikke alle prøvekombinationer vil have en prøve præcist i november, marts og januar. Dog er det tilstræbt, at alle prøvekombinationer har en prøve enten i hver af de tre nævnte måneder eller lige før/efter. Den anden analyse er udført på samme måde, men med 5 prøver udtaget i hver vandfø-

ringssæson, dvs. en i hver af månederne november til marts (i Bilag 1 ses, hvor mange data, der er tilgængelig til at lave kombinationerne).

2.3.4 $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relation, november-marts

I de to foregående analyser er Qq-relationerne etableret mellem data fra dræn og vandløb. Da der er en relativ stor forskel imellem vandløbsoplandenes areal og drænoplandenes areal, er der risiko for, at forsinkelsen af vandet ned igennem oplandet påvirker Qq-relationerne. Samtidig er der også en mulighed for, at vandføringsresponsen ved nedbørshændelser er forskellig fra et mindre drænopland til et stort vandløbsopland. Derfor er der også udført en analyse, hvor der i stedet ses på $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relationerne imellem drænoplandene. Analysen er foretaget på data fra LOOP 1 og LOOP 4. I LOOP 1 er dræn 3 brugt som hoveddræn, dvs. at det simuleres, at det er i dræn 5 og 7, at der udføres øjebliksmålinger af vandføringen. I LOOP 4 er dræn 2 benyttet som hoveddrænstation, og i dræn 6 simuleres udtag af øjebliksmålinger. Drænene, som benyttes som hovedstationer, er valgt tilfældigt. Derudover er $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ analysen udført på samme måde som i analysen beskrevet ovenfor i afsnit 2.3.3. Dvs., at der benyttes tre års data til at etablere $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relationerne, og analysen er udført ved at udtage først tre drænvandføringsværdier (november, januar og marts) og dernæst fem (en i hver måned november-marts) drænvandføringsværdier per år.

Det er endvidere for LOOP 4 dræn 2 og 6 undersøgt, hvordan $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relationen bliver, hvis relationen baseres på alle tilgængelige målte data (typisk 12-15 målinger i hver drænsæson). Dermed er der i denne analyse kun beregnet én drænvandføring per år.

2.3.5 $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relation, fraktilanalyse

Der er i de tre foregående analyser benyttet en strategi med at udtage vandføringsdata til Qq-analysen på baggrund af tilfældige kombinationer af udtag i den periode, der undersøges (dog begrænset til bestemte måneder, som beskrevet ovenfor). Generelt vil en lineær Qq-relation være bedre bestemt, hvis den er baseret på et stort spænd af vandføringsværdier. Derfor er der foretaget en analyse, hvor det undersøges, om Qq-relationerne forbedres, hvis der benyttes en udtagingsstrategi af daglige vandføringsværdier, som tilpasses sådan, at der udtages data ved forskellige vandføringsniveauer, fastlagt via beregnede vandføringsfraktiler. Ideen med fraktilanalysen er, at denne viden om vandføringens størrelse ved de forskellige fraktiler kan bruges til at forudsige, hvornår der skal tages en punktprøve i nabo-drænsystemet. I den sammenhæng antages det, at en vandføringsfraktil i det ene system repræsenterer en nogenlunde ens vandføringsfraktil i det andet system. Anvendeligheden af sådan en metode i praksis er dog tvivlsom, eftersom det vil kræve en forhåndsviden omkring vandføringsniveauer i drænene. Det anses for mindre sandsynligt, at man i praksis har sådan en forhåndsviden, eftersom det netop er vandføringen man søger at opnå viden om. Til trods for dette er analysen alligevel medtaget, eftersom den kan bidrage til at give et indblik i, hvilken betydning det har for Qq-relationerne, at forskellige vandføringsniveauer indgår, fremfor vandføringer målt ved tilfældige vandføringsniveauer.

Da de direkte øjebliksmålinger af drænvandføringerne ikke er foretaget ofte nok til, at fraktilanalysen kan udføres i perioden november til marts, er der til analysen i stedet benyttet de kontinuerte vandføringstidsserier baseret på QH-relationerne ved drænstationerne for afstrømningssæsonen. Der er overordnet udført to forskellige fraktilanalyser. Den ene er baseret på frakti-

ler, der repræsenterer tre forskellige afstrømningsniveauer, dvs. at vandføringer der svarer til nedre (25 %), midt (50 %) og øvre (75 %) fraktil i perioden november til marts findes (på baggrund af de eksisterende kontinuerte data). Tre direkte målte vandføringsværdier udtages derefter, en for hver af de tre drænvandføringsniveauer defineret ved fraktilerne. Den anden analyse er udført ved, at der udtages fem daglige vandføringer ved niveauer, der rammer 25, 50, 75, 90 og 95 % fraktilerne. Grunden til at 25 % fraktiler benyttes som den nedre er, at ved både 5 og 10 % fraktilerne findes der ikke direkte målte drænvandføringsmålinger.

De tre og fem fraktiler benyttet i de to forskellige fraktilanalyser er fastlagt ved at benytte to forskellige strategier. Først er fraktilerne fundet ved at benytte de tre forudgående års kontinuerte vandføringsserier, og dernæst alle forudgående års data. Grunden til dette er, at det har været ønsket at undersøge, om vandføringsfraktilerne bliver bedre bestemt jo flere år der benyttes til at fastlægge dem. Til sammenligning er der også lavet en analyse, hvor henholdsvis tre (en i november, marts og januar) og fem (en i hver måned november-marts) vandføringer er udtaget på en fast dato, hvorved $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relationerne etableres uden forhåndsviden om de aktuelle vandføringsniveauer. Hvis det har en betydning, at der benyttes fraktiler som vejledning til, hvornår prøver udtages, forventes det, at fraktilanalyserne giver bedre vandføringsestimater end når vandføringer estimeres på baggrund af udtag ved faste datoer. Analysen er udført på data fra dræn 2 og 6 i LOOP 4, hvor dræn 2 er benyttet som hovedstation.

2.3.6 Relation imellem afstrømning og stoftransport

Det er forventningen, at det er drænvandføringens usikkerhed, der primært styrer den samlede N-transportens usikkerhed, som diskuteret i de foregående afsnit. For yderligere at teste dette er der imidlertid udført en overordnet analyse af N-dræntransportens usikkerhed. Analysen er udført ved, at der er foretaget en sammenligning imellem estimerede kvælstoftransporter og de kvælstoftransporter, der er beregnet på baggrund af den oprindelige dataindsamling, der har været i oplandene (drænvandprøver indsamlet ca. hver 14. dag, se beskrivelse ovenfor). De estimerede kvælstoftransporter er baseret på en simuleret prøvetagningsstrategi med tre drænvandprøver udtaget i løbet af drænsæsonen i månederne november, januar og marts. Daglige N-koncentrationer er dernæst beregnet via lineær interpolation imellem prøverne, og transporten er så beregnet ved at summere produktet af N-koncentrationerne og daglige drænafstrømninger for afstrømningssæsonen. De daglige drænafstrømninger, der er benyttet, er dem som er beregnet via $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relationen, som beskrevet ovenfor i afsnit 2.3.4. Analysen er udført på drænvandføringsdata fra $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ analysen i LOOP 4, imellem dræn 2 (hoveddræn) og dræn 6.

I forbindelse med SEGES' drænvandsundersøgelse blev der udarbejdet en procedure for vandprøvetagning i drænene til bestemmelse af et niveau for gennemsnits-kvælstofkoncentration i dræn, hvor anbefalingerne er, at der udtages tre vandprøver henover afstrømningssæsonen i månederne november, januar og marts (Piil og Knudsen, 2014). Da denne rapport ikke belyser betydningen af antallet af prøver til bestemmelse af gennemsnits N-koncentrationen i dræn, er den samme prøvetagningsstrategi benyttet til den overordnede analyse af kvælstoftransporten. Analysen viser derfor ikke noget om, hvor mange vandprøver der skal tages for at opnå en god bestemmelse af en årlig gennemsnits N koncentration i drænene.

Udtagningen af de tre N-drænkonzentrationer er udført på baggrund af den tidsserie af drænvandprøver baseret på direkte målinger i oplandene (som nævnt ovenfor er drænvandsprøver typisk indsamlet hver 14. dag). Der er for hvert år udtaget tre værdier af drænkonzentrationer med ca. ti forskellige kombinationer (afhængigt af antallet af direkte målinger, se bilag 2). Det betyder, at ikke alle prøvekombinationer vil have en prøve præcist i november, marts og januar. Dog er det tilstræbt, at alle prøvekombinationer har en prøve enten i hver af de tre nævnte måneder eller lige før/efter. Dermed belyser analysen, om det har en effekt, hvornår drænvandsprøver til måling af N-konzentration udtages i forhold til effekten af, hvor godt drænvandføringen er bestemt.

2.4 Oplandsbeskrivelser

Forskelle i hydrologi og jordbundsforhold afspejles ofte både i omfang og typer af dræn installeret på dyrkede arealer (Kronvang et al., 2013). Derfor forventes det, at et oplands hydrogeologiske forhold og jordbundstype mv. i mange tilfælde også vil kunne bidrage til beskrivelsen af et drænsystems afstrømningsmønster.

F.eks. er informationer om dræn- og vandløbsoplandenes størrelser vigtige i forhold til særligt analysen af vandføringsforholdet imellem dræn og vandløb, hvor vandløbet modtager vand fra det samlede opland. Jo større forskel der er imellem størrelserne af drænoplandet og det samlede vandløbsopland, jo vanskeligere forventes det at være at etablere en Qq-relation. Dette skyldes bl.a., at der ved store forskelle og store afstande imellem målepunkter vil være en tilsvarende stor forsinkelse af vandet ned i gennem vandløbssystemet. Hvis der er store forsinkelser, dvs. stor tidsmæssig forskel på, hvornår f.eks. vandføringstoppe indtræffer, så vil det være vanskeligt eller umuligt at etablere en relation imellem vandføringsmønstrene for de to stationer/oplande, hvilket er et kendt fænomen for vandløbsrelationer. Responser ved nedbørshændelser i store oplande vil også oftest være dæmpede, sammenlignet med vandføringsresponsen i små vandløb. Dette forventes også at gælde ved relationer imellem dræn og vandløb. Det er ikke muligt med det tilgængelige datagrundlag at fastlægge en grænse for, hvor stor en afstand der skal være før relationer imellem afstrømninger i dræn og vandløb ikke kan etableres. Dette forventes også at afhænge meget af den lokale hydrogeologi og jordtype.

Samtidig vil et drænopland, hvis det er detaildrænet, primært modtage rodzonevand, mens vandløb modtager vand både fra grundvand, drænvand og overfladisk vandføring fra marker og befæstede arealer. Dermed kan der være et varierende forhold imellem vandføringsresponsen i dræn og vandløb, afhængigt af de aktuelle forhold (temperatur/fordampning, vandindhold i jorden, vandføringens størrelse osv.), hvilket forventes forstærket, hvis oplandene har store forskelle i arealer. Endvidere vil viden om dybden til grundvandet ved drænoplandene kunne være med til at beskrive den forventede grundvandspåvirkning af drænvandføringen. I den sammenhæng kan viden om oplandets topografi og vandløbets gradient potentielt anvendes som supplerende oplysninger til forståelse af afstrømningsdynamikker. Store topografiforskelle kan i nogle sammenhænge relateres til et større potentiale for varierende afstrømningsmønstre, end i oplande med en mindre topografi. Samtidig er det muligt, at i vandløb med en lille gradient, vil strømmingen generelt være langsommere, og dermed kan tidsforskelle i responser forskellige steder i oplandet potentielt være betydelige.

I forbindelse med typologibeskrivelsen skal det bemærkes, at da dræno-
plande typisk er af en begrænset størrelse, vil det være de helt lokale hydro-
geologiske- og jordbundsforhold, som afgør drænvandføringsmønstret. Der-
for er det vigtigt at tage i betragtning, at det overordnede vandløbsoplands
typologi ikke alene kan benyttes som et værktøj til at forudsige, om dræno-
plandenes vandføring vil kunne bestemmes via øjebliksmålinger og Qq-
relationer af drænvandføringen. Derimod kan viden om vandløbsoplandets
typologi fungere som supplerende information.

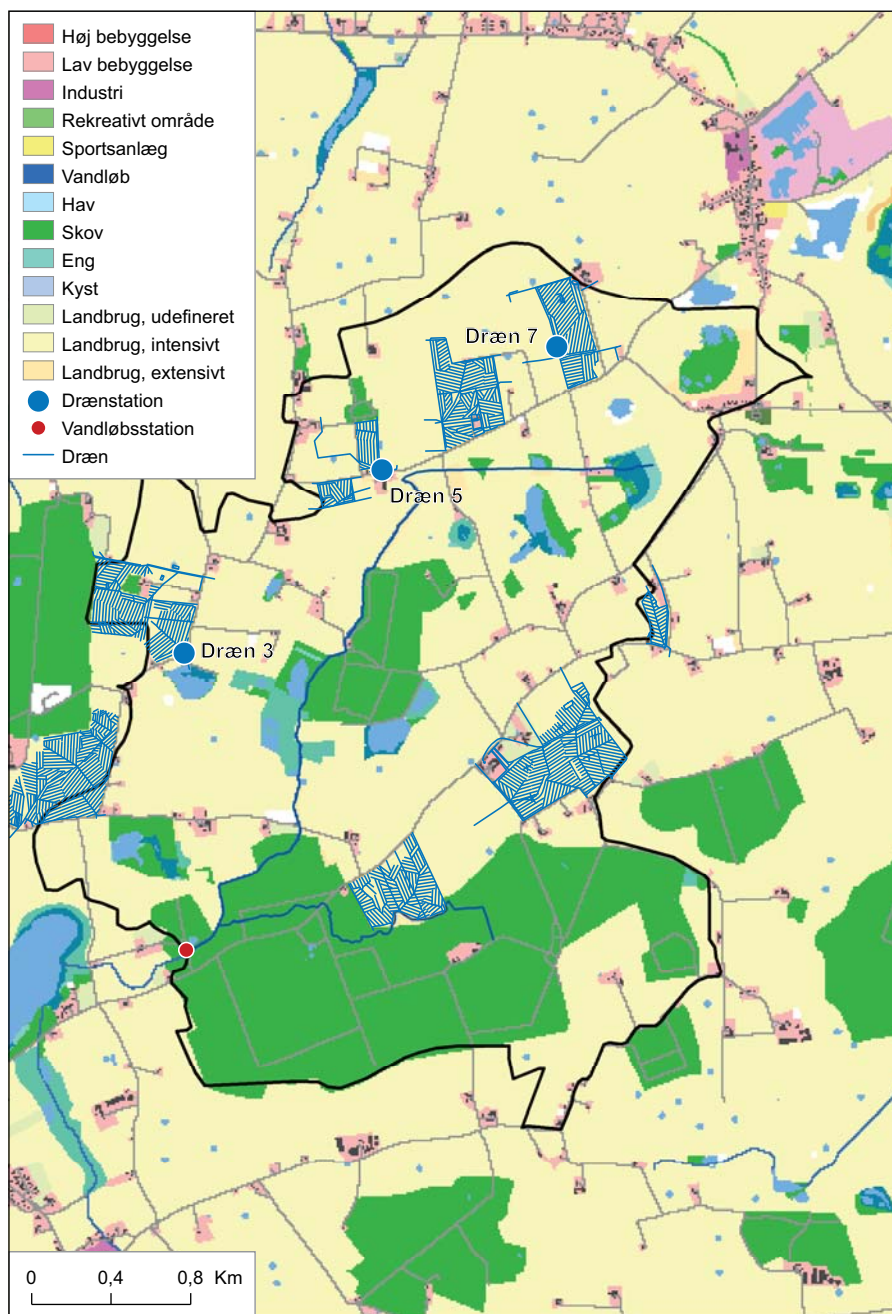
2.4.1 LOOP-oplande

LOOP-oplandene 1, 2 og 4 har oplandsarealer til vandløbsstationerne på
henholdsvis 985, 1140 og 466 ha. De enkelte drænoplandes arealer varierer
fra 17,3 ha i LOOP 2 som det største og 2,6 ha i LOOP 4 som det mindste.
Oplandskarakteristikkerne er opsummeret i tabel 3. I alle tre LOOP-oplande,
som indgår i analysen, er den dominerende arealanvendelse intensivt land-
brug (Figur 2–4). LOOP 1-oplandet har dog som det eneste opland et betyde-
ligt areal med skov (Figur 2).

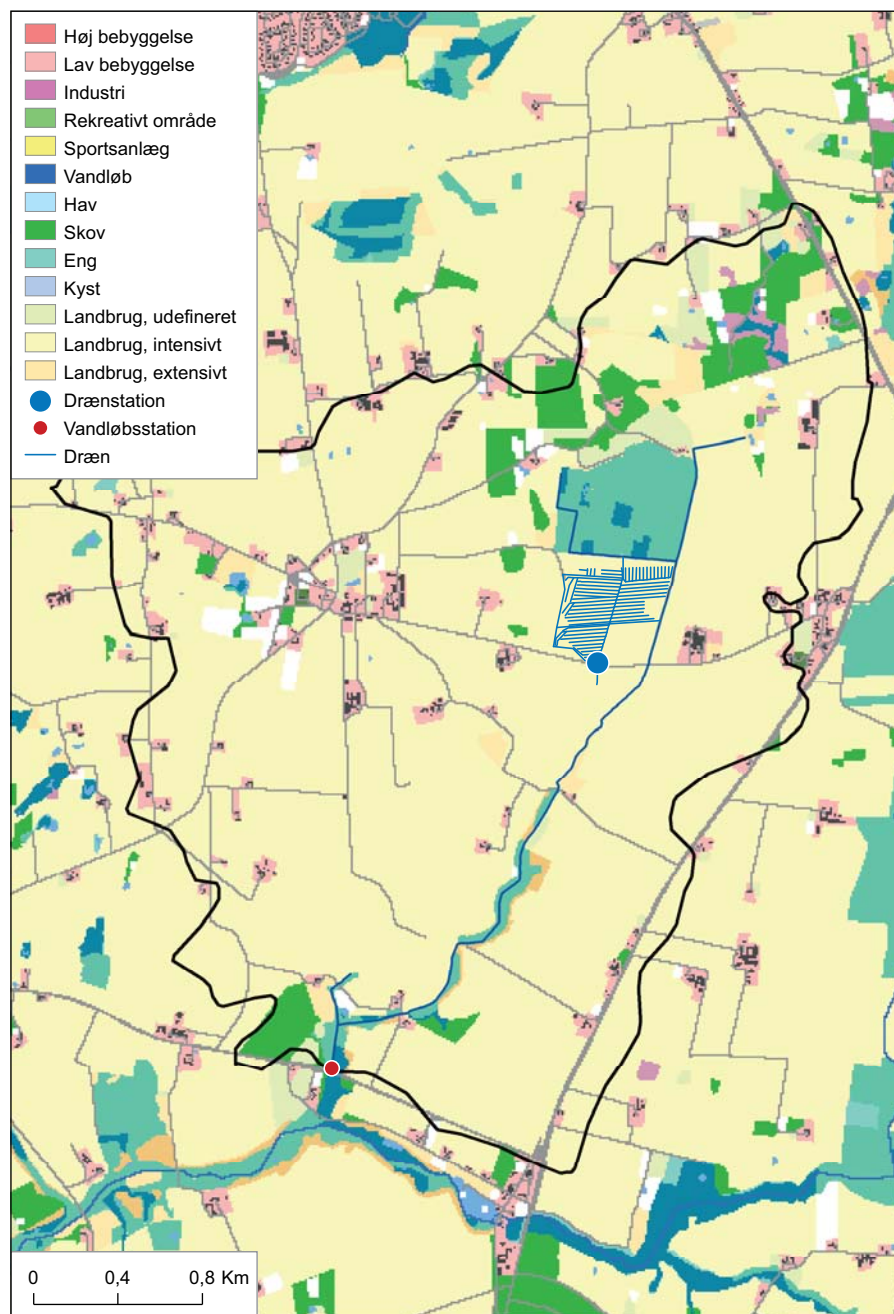
Tabel 3. Oplandskarakteristik af de tre LOOP-oplande.

	LOOP 1	LOOP 2	LOOP 4
Oplandsareal til vandløbsstationen (ha)	985	1140	466
Vandløbsgradient (promille)	0,53	2,7	0,84
Dominerende jordtype	Lerjord	Sandjord	Lerjord
Drænopland 1, areal (ha) og andel af samlet opland (%)	4,6 (Dræn 7) / 0,05	17,3 / 1,5	2,6 (Dræn 2) / 0,6
Drænopland 2, areal (ha) og andel af samlet opland (%)	2,6 (Dræn 5) / 0,3	-	4,5 (Dræn 6) / 0,01
Drænopland 3, areal (ha) og andel af samlet opland (%)	5,8 (Dræn 3) / 0,6	-	-

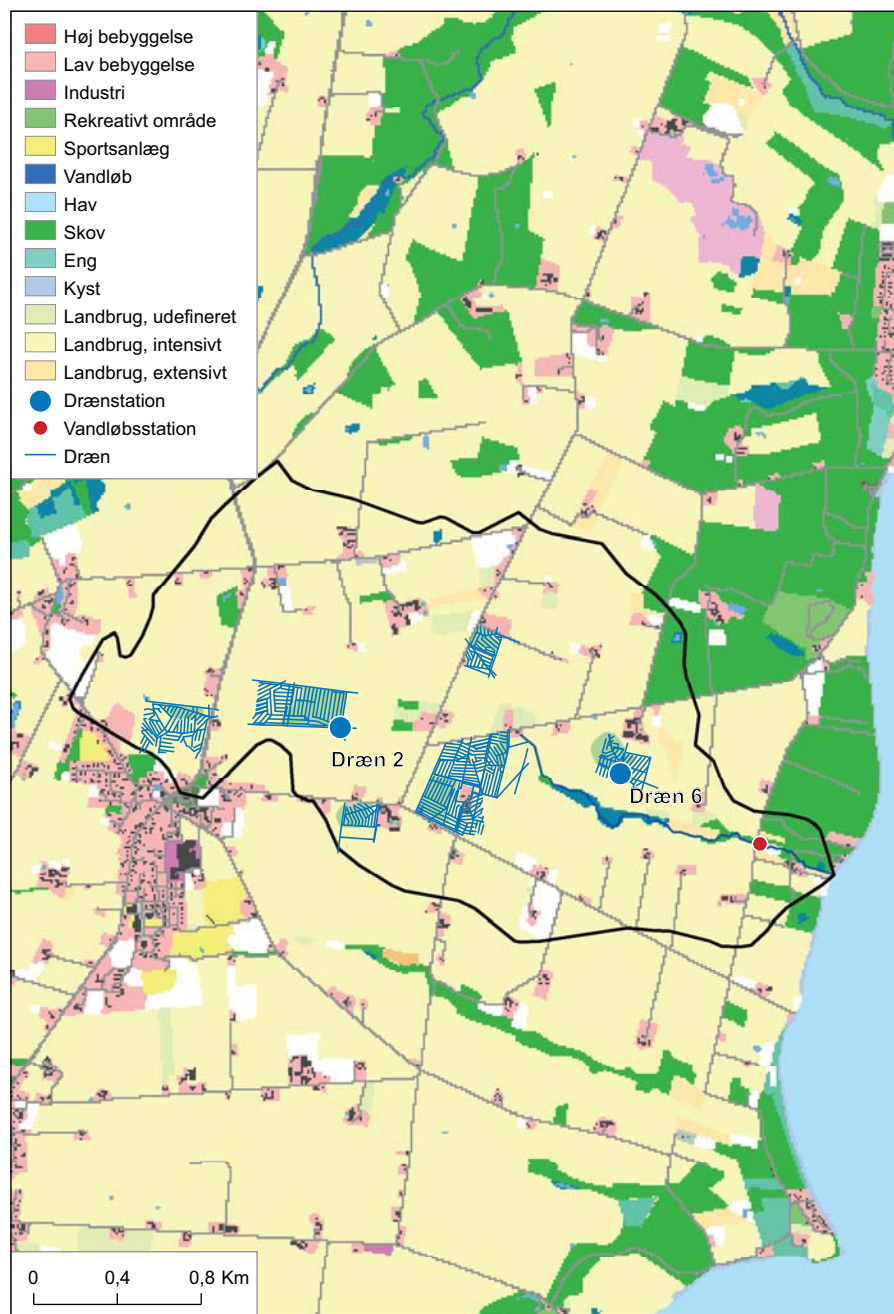
Figur 2. Vandløbsoplandet til LOOP 1 med placering af drænbrønde, dræn og vandløbsstation.



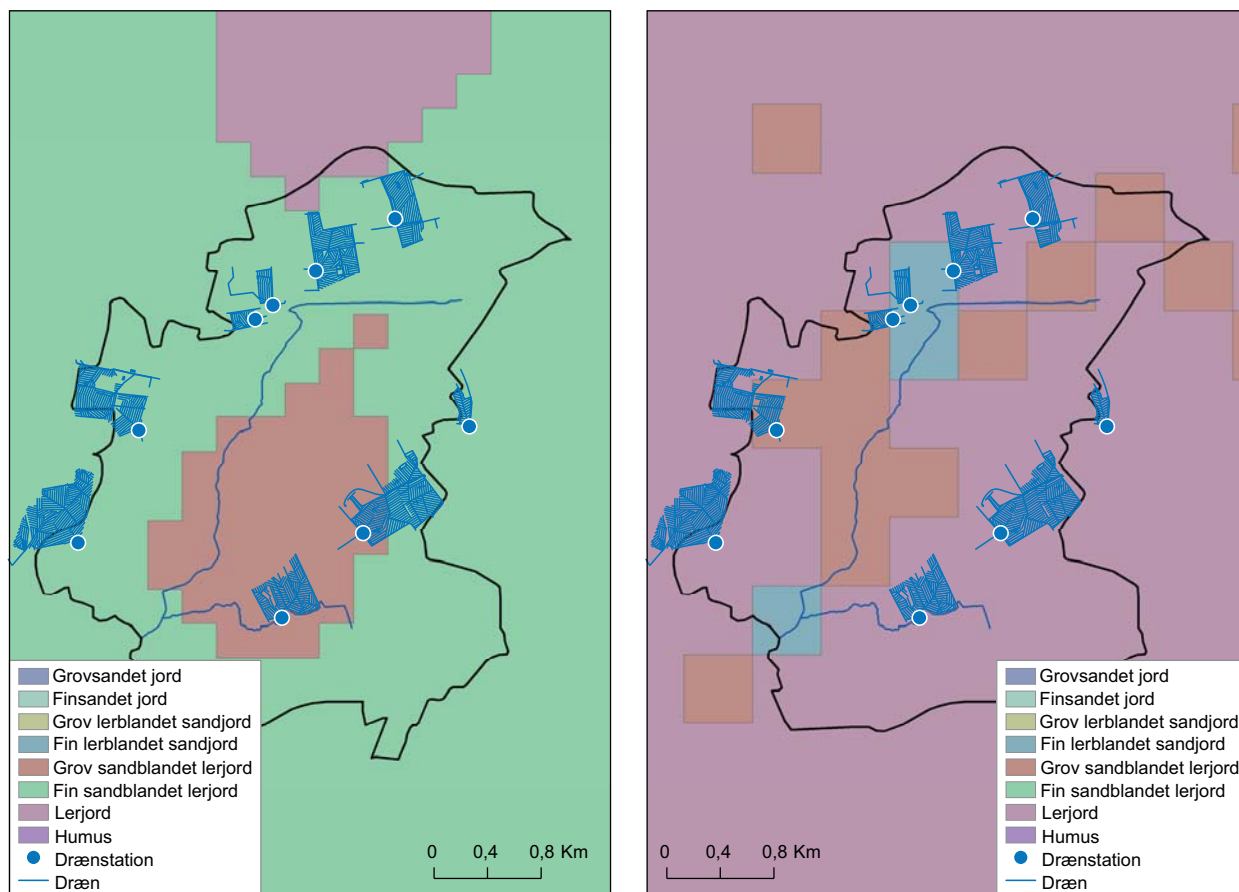
Figur 3. Vandløbsoplandet til LOOP 2 med placering af drænbrønde, dræn og vandløbsstation.



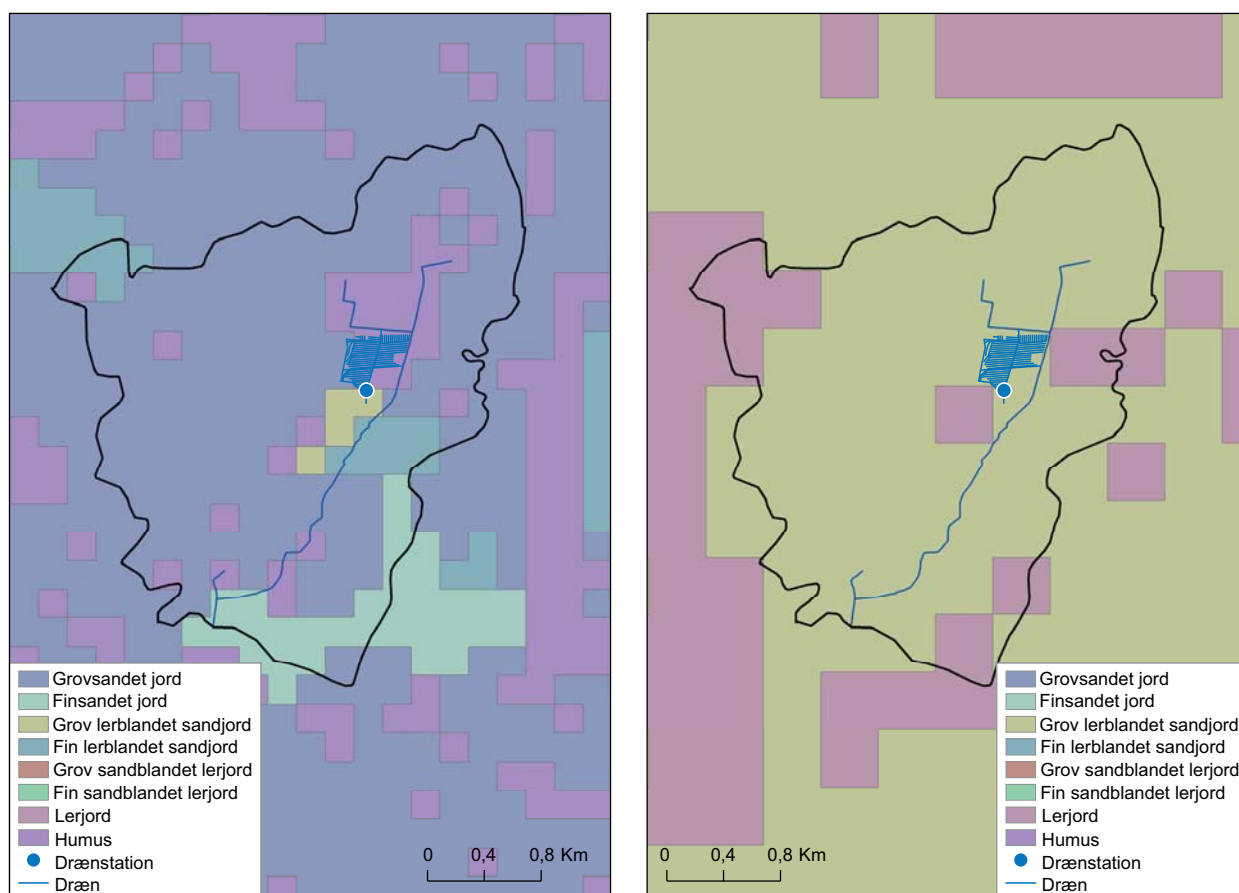
Figur 4. Vandløbsoplandet til LOOP 4 med placering af drænbrønde, dræn og vandløbsstation.



LOOP-oplandene 1 og 4 har lerdominerede jordtyper. LOOP 1 består i de øverste 0-30 cm af fin sandblandet lerjord, med et område centralt i oplandet domineret af grov sandblandet lerjord. I 70 – 100 cm dybde består LOOP 1-oplandets jordtype primært af lerjord med mindre områder af grov sandblandet lerjord (Fig. 5). LOOP 4 har i begge jorddybder (0-30 cm og 70-100 cm) ens jordtype på tværs af oplandet (ikke vist som figur), hvor jordtypen i 0-30 cm er fint sandblandet lerjord, og i 70-100 cm dybde er der lerjord. LOOP 2-oplandet består hovedsagligt af grovsandet jord med mindre områder af finsandet jord og humus i 0-30 cm dybde. I 70-100 cm dybde består LOOP 2-oplandet primært af grov lerblandet sandjord (Fig. 6).



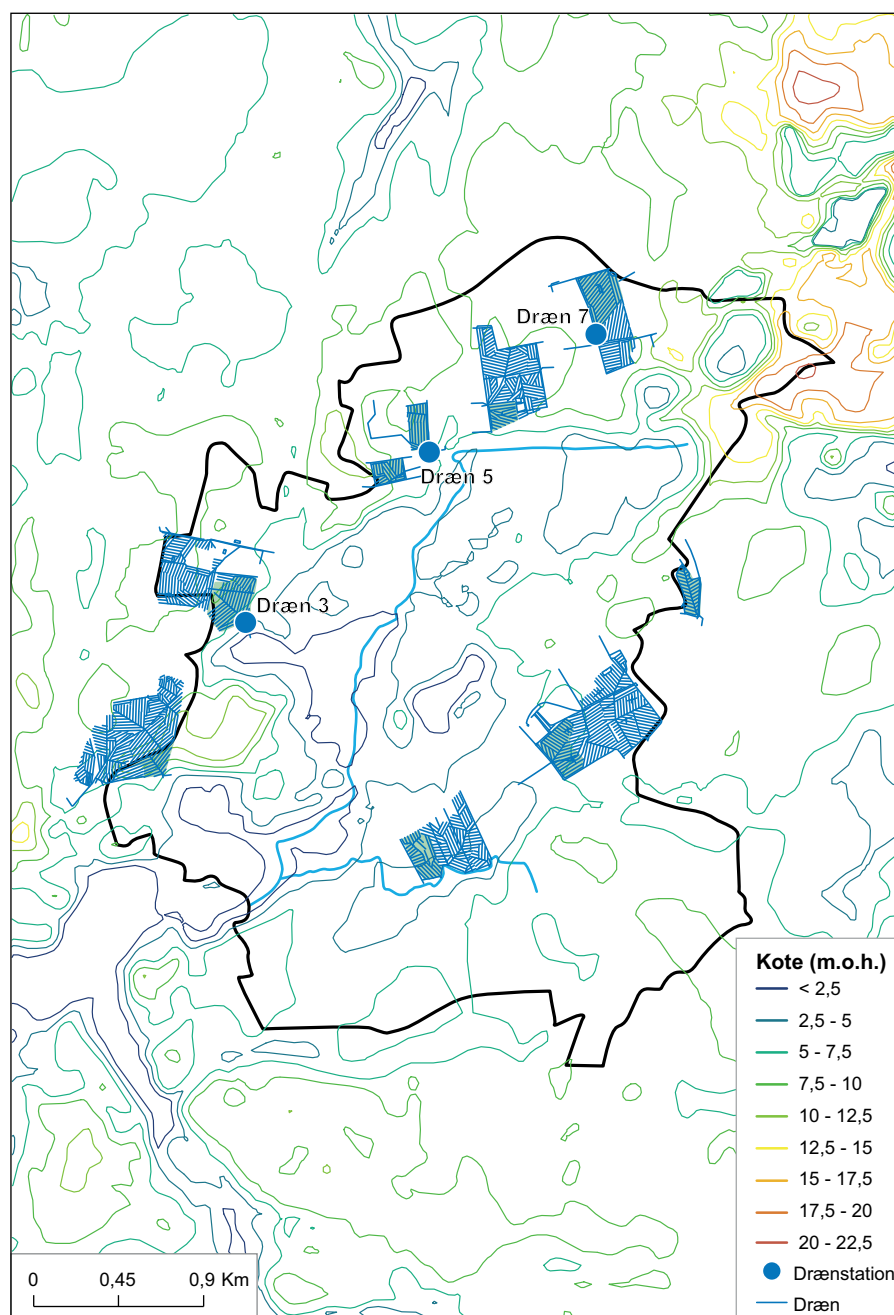
Figur 5. Jordtyper i horisont a (0-30 cm) (venstre) og b (70-120 cm) (højre) for LOOP 1.



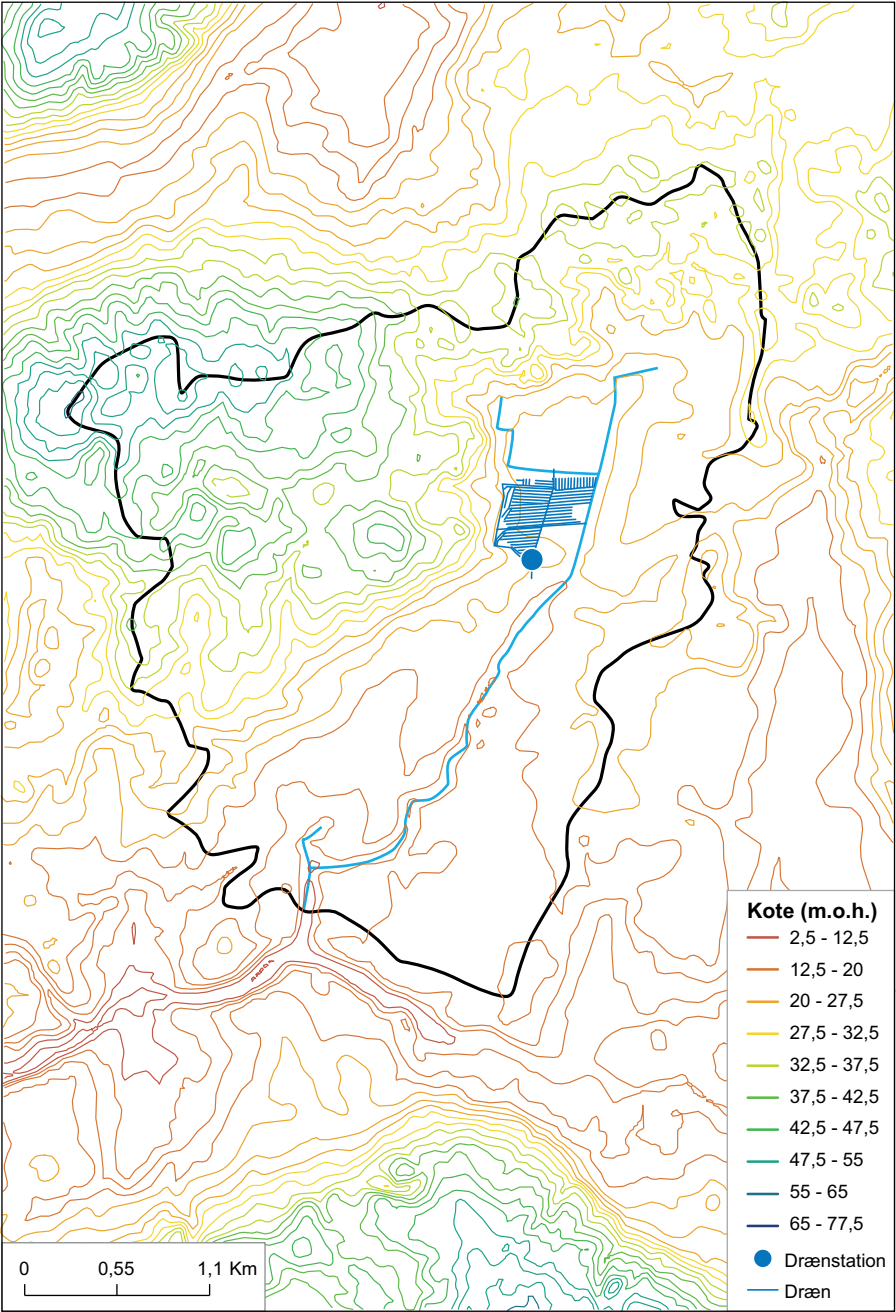
Figur 6. Jordtyper i horisont a (0-30 cm) (venstre) og b (70-120 cm) (højre) for LOOP 2.

LOOP 1-oplandet har den fladeste topografi af de tre oplande (Fig. 7) og har også den mindste gradient i hovedvandløbet på 0,53 promille. LOOP 2 og LOOP 4 har en mere markant topografi (Fig. 8 og 9), med den største topografiforskel i LOOP 2 på ca. 50 m, og en hovedvandløbsgradient på 2,7 promille (Tabel 3).

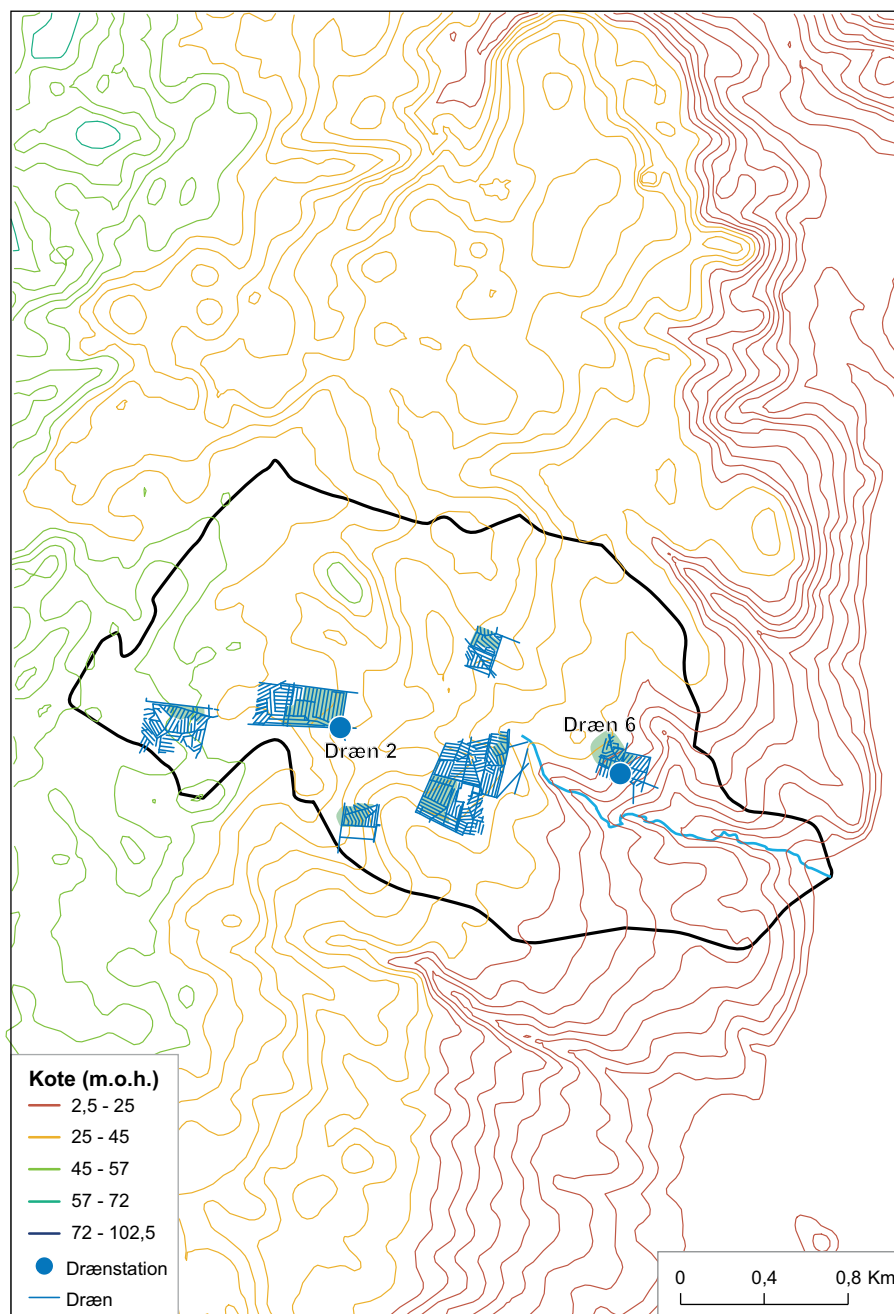
Figur. 7. Højdekurver i LOOP 1.



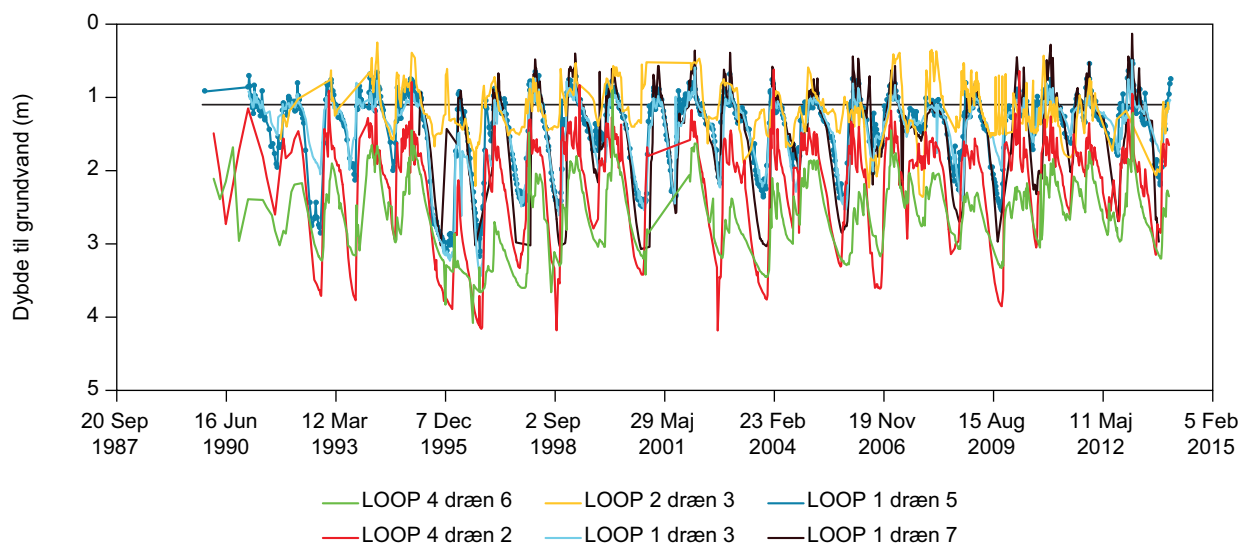
Figur. 8. Højdekurver i LOOP 2.



Figur. 9. Højdekurver i LOOP 4.



Dybden til grundvandet målt ved de LOOP-drænoplande, der indgår i analysen, ses i figur 10 for perioden 1990 til 2015. Det er tydeligt, at det sandede LOOP 2 er det opland, som har den mest stabile grundvandstand, som i lange perioder står over drændybden. I det lerede opland LOOP 4 derimod, er grundvandstanden ofte under drændybden, og dybden til grundvandet varierer betydeligt henover året. I LOOP 4 ses der også en forskel imellem drænoplandenes grundvandsstand, idet grundvandstanden i marken ved dræn 6 gennemsnitligt ligger lavere end grundvandstanden i marken ved dræn 2, hvor grundvandstanden også varierer mere imellem høje og lave niveauer. De tre drænoplande, som er medtaget i LOOP 1, har grundvandstande, som i gennemsnit ligger imellem niveauerne i de to andre LOOP-oplande, og dræn 3 og 5 i LOOP 1 har en mere stabil grundvandstand end drænene i LOOP 4. Til gengæld ses der i dræn 7 i LOOP 1 en ganske stor variation i drændybden, som i perioder når væsentligt over drændybden.



Figur. 10. Dybden til grundvandet (under terræn) i de tre LOOP oplande der er medtaget i analysen. Den gennemsnitlige drændybde er markeret (sort vandret streg).

2.4.2 VAP-oplande

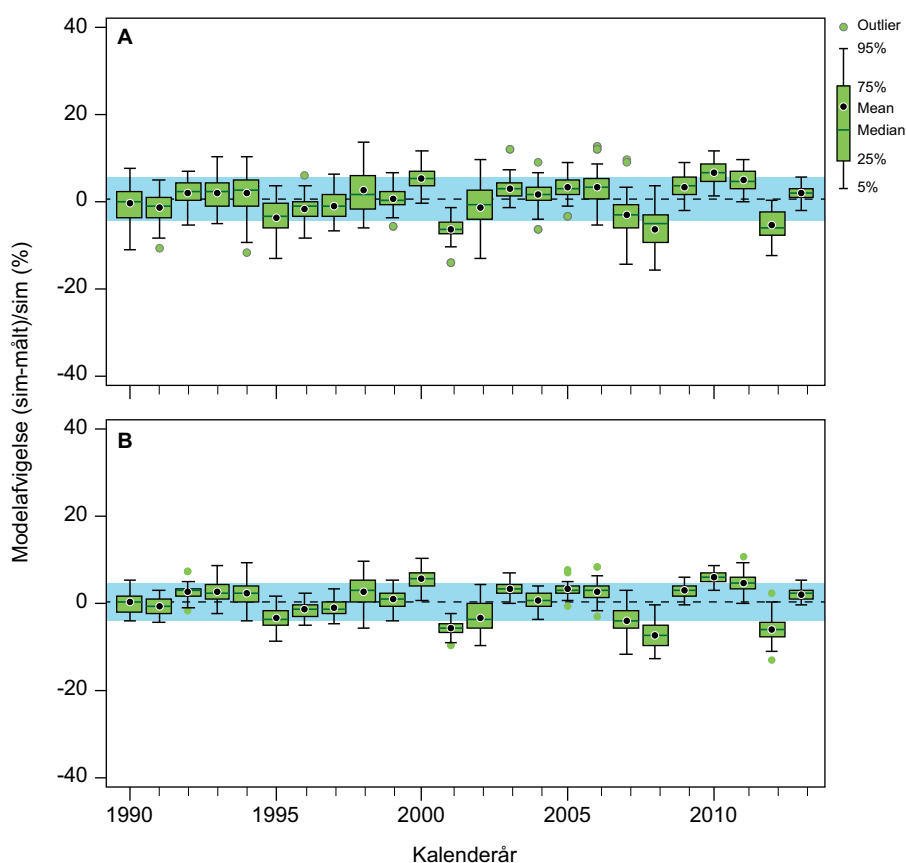
Fælles for de tre VAP-oplande Silstrup, Estrup og Faardrup er, at de alle repræsenterer lerede oplande. Silstrup-drænoilandet er 1,69 ha stort, Estrup-drænoilandet er 1,26 ha stort og Faardrup-drænoilandet er 2,33 ha stort (Lindhardt et al., 2001). Vandløbsstationen Årup Å, som VAP-drænoilandet Silstrup analyseres sammen med, dræner et oplandsareal, som er 10800 ha. Stationen Gamst Møllebæk, som VAP-drænoilandet Estrup analyseres med, dræner et 1000 ha stort opland, og stationen Bjerger Å dræner et opland på 5600 ha og analyseres sammen med VAP-drænoilandet Faardrup.

3 Resultater, afstrømningsanalysen

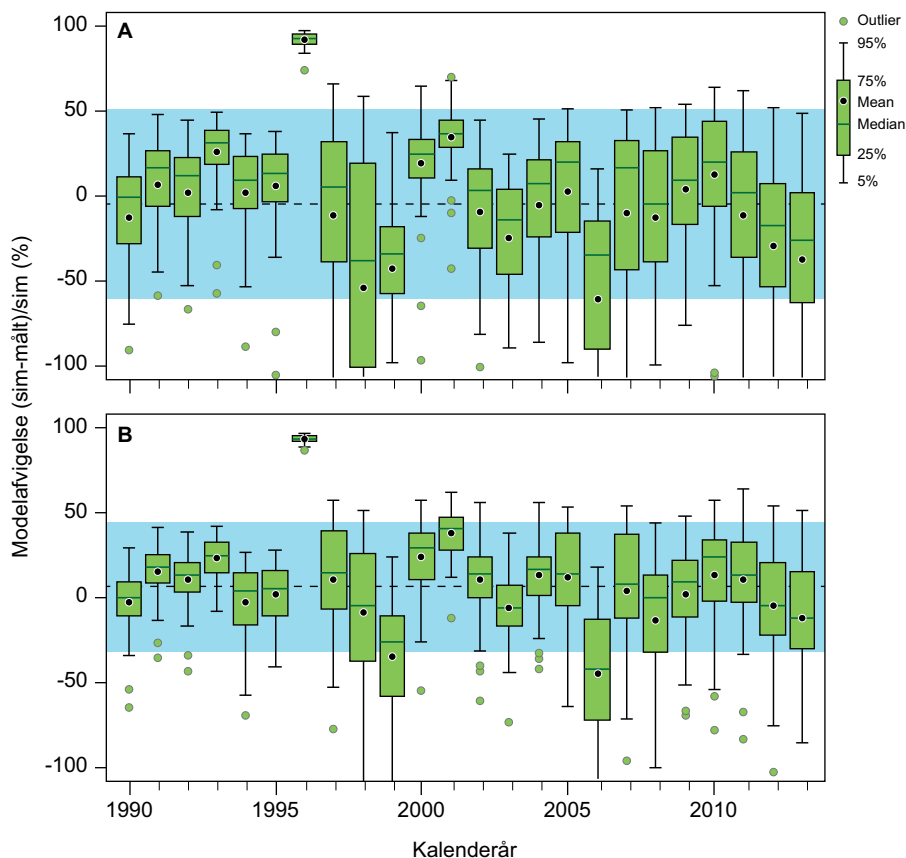
3.1 $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ – udført på kalenderår

Der er en tydelig overordnet forskel på, hvor godt drænvandføringen kan estimeres i henholdsvis det sandede grundvandspåvirkede opland til drænet i LOOP 2 (fig. 11) og det lerede opland til dræn 6 i LOOP 4 (fig. 12), når der etableres en $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relation udført på data fra hele kalenderåret. Middelfafvigelser og spredninger på de årlige afvigelser af estimerede vandføringer i LOOP 2 ligger generelt under 10 % (fig. 11a) i analysen baseret på 6 vandføringsværdier hvert år, hvorimod middelfafvigelserne på dræn 6 i LOOP 4 ofte ligger på 30 – 40% med spredninger på op til ca. +/- 50 % (fig. 12a). Der ses en mindre forbedring i estimering af den årlige middeldrænvandføring, når antallet af vandføringsværdier benyttet til analysen hæves fra 6 til 12 per år for dræn 6 i LOOP 4 (fig. 12), hvor den gennemsnitlige spredning for alle år falder til lige under +/- 50 %. Derimod ses den generelt gode estimering af drænafstrømningen i LOOP 2 både når $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseres på 6 (fig. 11a) og 12 (fig. 11b) målinger per år. For både LOOP 4 og LOOP 2 ses der ikke nogle systematiske afvigelser af de simulerede drænafstrømninger fra de "sande" årlige afstrømninger, hvilket afspejles i de gennemsnitlige afvigelser for alle år som ligger tæt på 0 % både i LOOP 2 og LOOP 4.

Figur. 11. Afvigelser af den simulerede årlige vandføring fra den målte vandføring i drænet i LOOP 2, baseret på $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen. Hver boks er baseret på resultater af 50 forskellige afstrømninger fremkommet ved at lave 50 forskellige kombinationer af dataudtag. A) 6 prøver udtaget per år, med 50 udtagningskombinationer per år (fordelt over årets måneder). B) 12 prøver udtaget per år, og 50 udtagningskombinationer per år (en hver 2. måned) i hele perioden 1990 – 2013. Horizontal blå zone angiver den gennemsnitlige spredning; den vandrette stiplede linie angiver den gennemsnitlige afvigelse, for alle år.



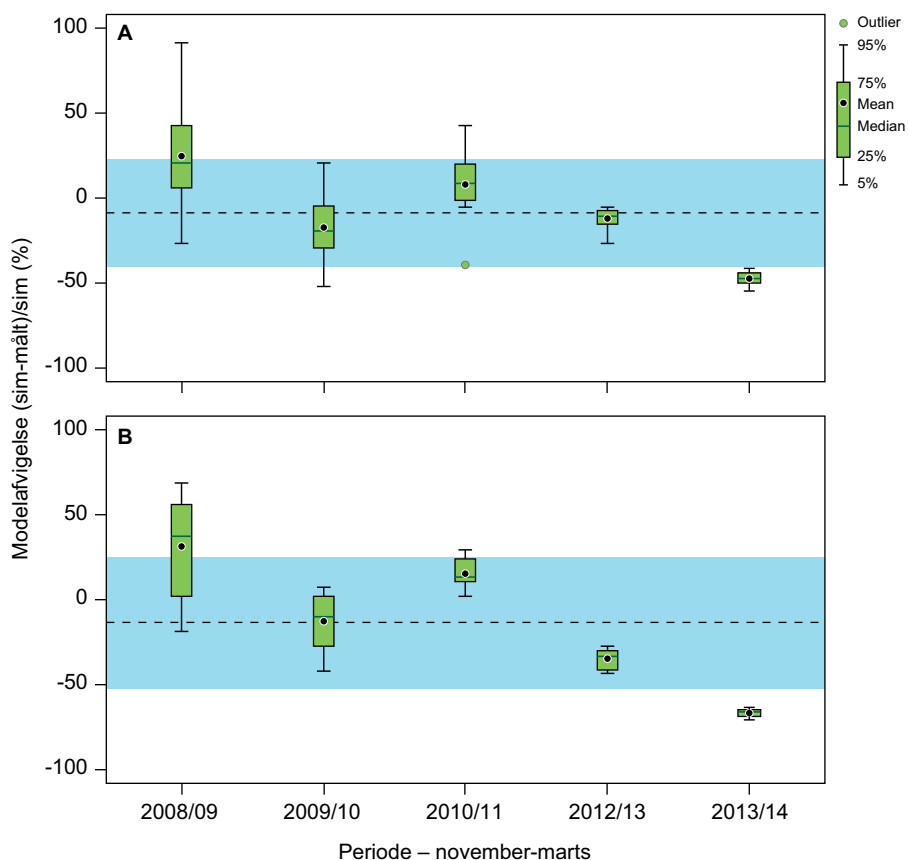
Figur. 12. Afvigelser af den simulerede årlige vandføring fra den målte vandføring i dræn 6 i LOOP 4, baseret på $Q_{\text{vandløb}}/Q_{\text{dræn}}$ relationen. Hver boks er baseret på resultater af 50 forskellige afstrømninger fremkommet ved at lave 50 forskellige kombinationer af dataudtag. A) 6 prøver udtaget per år, med 50 udtagningskombinationer per år (fordelt over årets måneder). B) 12 prøver udtaget per år, og 50 udtagningskombinationer per år (en hver 2. måned) i hele perioden 1990 – 2013. Horizontal blå zone angiver den gennemsnitlige spredning; den vandrette stiplede linie angiver den gennemsnitlige afvigelse, for alle år.



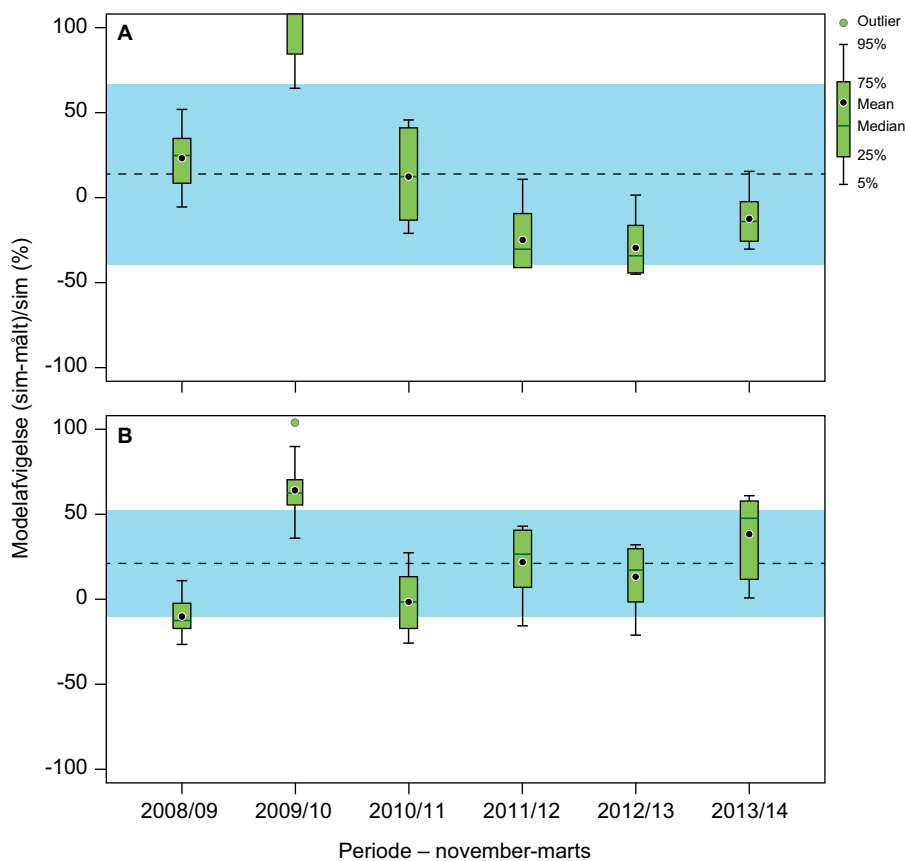
3.2 $Q_{\text{vandløb}}/Q_{\text{dræn}}$ – udført for drænaforstrømningssæsonen

Resultaterne af $Q_{\text{vandløb}}/Q_{\text{dræn}}$ analyserne udført i LOOP 1 ses i figur 13-15. I LOOP 1 ses den bedste estimering af drænaforstrømningen i dræn 7 (fig. 15), med en middelfvigelse over alle år på omkring 0 % og en gennemsnitlig spredning på ca. +/- 30 % både når $Q_{\text{vandløb}}/Q_{\text{dræn}}$ relationen er baseret på tre målinger per år (fig. 15a) og fem målinger per år (fig. 15b). I LOOP 1 dræn 3 ses der en overordnet tendens til en underestimering af drænaforstrømningen på 5-10 %, hvorimod der i dræn 5 ses en overestimering af drænaforstrømningen på 10-20 % for alle år. Den tydeligste forbedring af afstrømningsestimaterne når $Q_{\text{vandløb}}/Q_{\text{dræn}}$ analyserne baseres på fem fremfor tre årlige målinger ses i LOOP 1 dræn 5, hvor den gennemsnitlige spredning for alle år falder fra ca. 50 % ved tre målinger til ca. 25 % ved fem målinger (fig. 14). Der ses en betydelig år til år variation i afvigelserne, særligt i dræn 3 (fig. 13) og 5 (fig. 14).

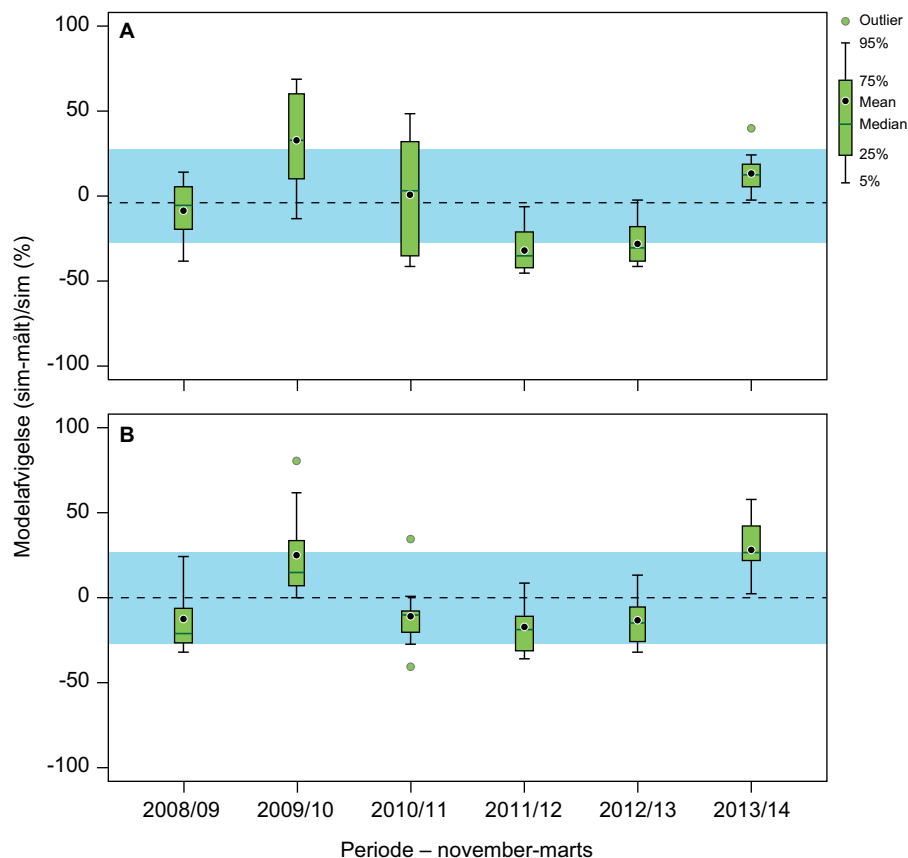
Figur 13. LOOP 1, dræn 3. Afvigelser af den modellerede drænvandføring fra den målte drænvandføring, for perioden nov. – mar. i årene 2008 til 2014. Hver boks er baseret på middel over de tre foregående års beregnede afstrømninger, og hvert år er der beregnet ca. ti forskellige afstrømninger (se bilag 1) ved at lave forskellige kombinationer af dataudtag. A) $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på tre Q målinger per år, B) $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på fem Q målinger per år. Horisontal blå zone angiver den gennemsnitlige spredning; den vandrette stiplede linie angiver den gennemsnitlige afvigelse, for alle år.



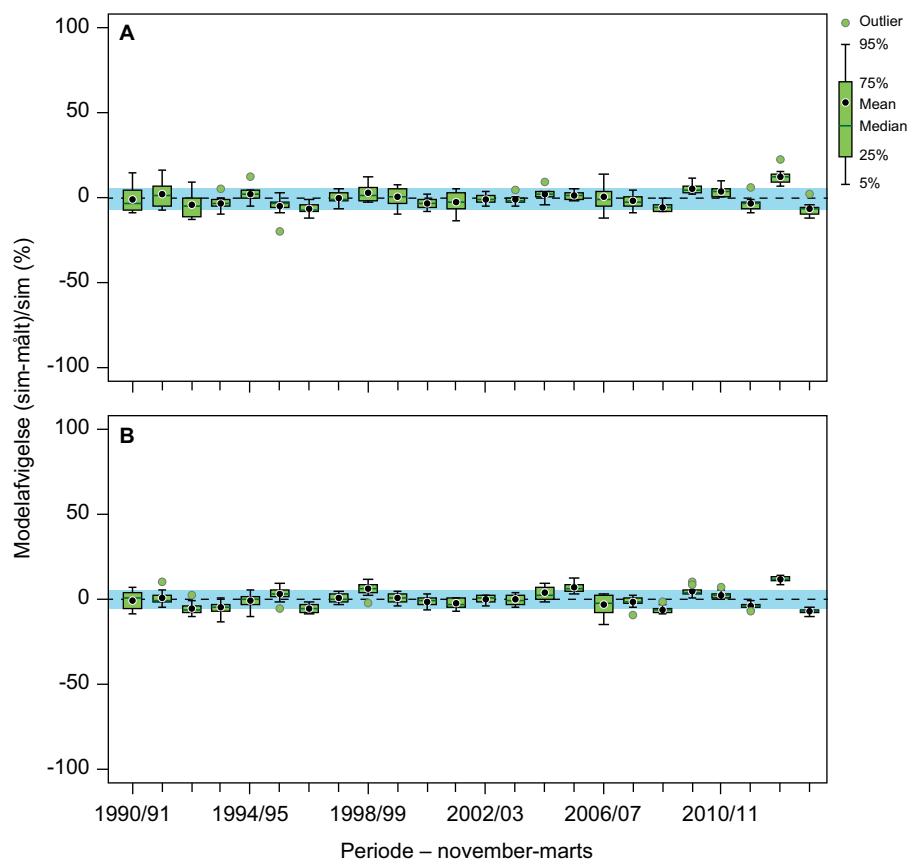
Figur 14. LOOP 1 dræn 5. Afvigelser af den modellerede drænvandføring fra den målte drænvandføring, for perioden nov. – mar. i årene 2008 til 2014. Hver boks er baseret på middel over de tre foregående års beregnede afstrømninger, og hvert år er der beregnet ca. ti forskellige afstrømninger (se bilag 1) ved at lave forskellige kombinationer af dataudtag. A) $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på tre Q målinger per år, B) $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på fem Q målinger per år. Horisontal blå zone angiver den gennemsnitlige spredning; den vandrette stiplede linie angiver den gennemsnitlige afvigelse, for alle år.



Figur 15. LOOP1 dræn 7. Afvigelser af den modellerede drænvandføring fra den målte drænvandføring, for perioden nov. – mar. i årene 2008 til 2014. Hver boks er baseret på middel over de tre foregående års beregnede afstrømninger, og hvert år er der beregnet ca. ti forskellige afstrømninger (se bilag 1) ved at lave forskellige kombinationer af dataudtag. A) $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på tre Q målinger per år, B) $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på fem Q målinger per år. Horisontal blå zone angiver den gennemsnitlige spredning; den vandrette stiplede linie angiver den gennemsnitlige afvigelse, for alle år.



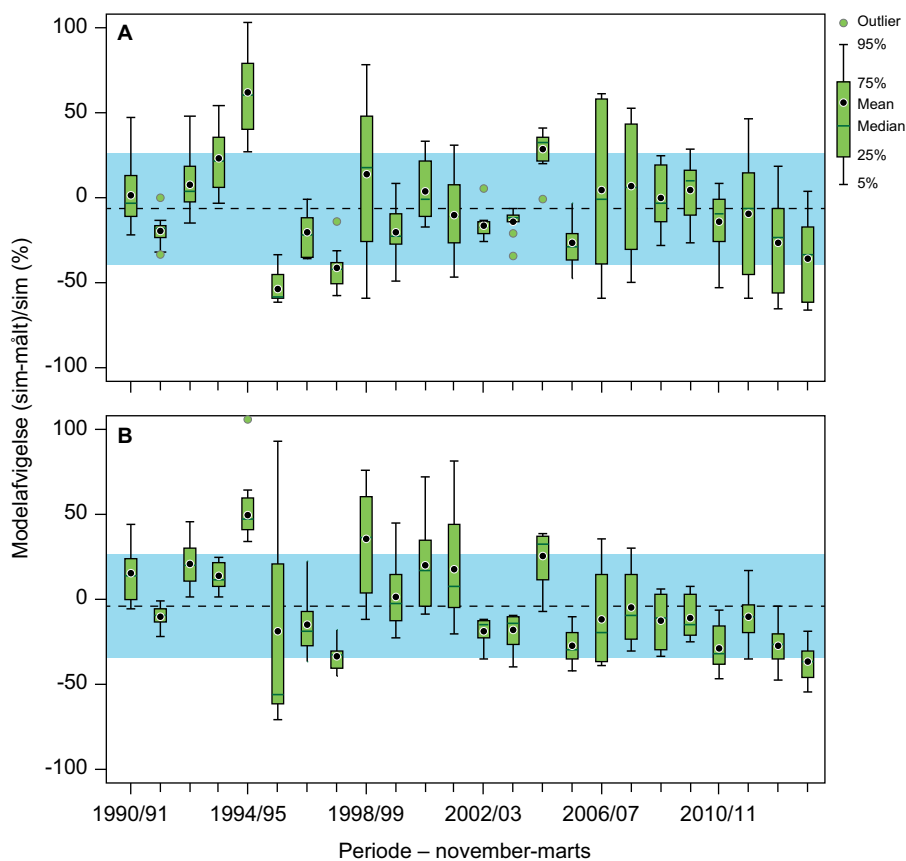
Figur 16. LOOP 2 til dræn. Afvigelser af den modellerede drænvandføring fra den målte drænvandføring, for perioden nov. – mar. i årene 1990 til 2014. Hver boks er baseret på middel over de tre foregående års beregnede afstrømninger, og hvert år er der beregnet ca. ti forskellige afstrømninger (se bilag 1) ved at lave forskellige kombinationer af dataudtag. A) $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på tre Q målinger per år, B) $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på fem Q målinger per år. Horisontal blå zone angiver den gennemsnitlige spredning; den vandrette stiplede linie angiver den gennemsnitlige afvigelse, for alle år.



I det sandede opland til LOOP 2, hvor drænet er påvirket af trykvand, ses det, at drænafstrømningerne generelt er godt bestemt via $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationerne, med middelfravigelser fra den målte vandføring på under 5 %. Den gennemsnitlige spredning for alle år er under ± 10 %, og der ses ingen systematisk over- eller underestimering af drænafstrømningen. Der ses i LOOP 2 ikke nogen signifikant forskel på, om der er benyttet tre (fig. 16a) eller fem årlige målinger (fig. 16b) til etablering af $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationen.

I LOOP 4 dræn 2 ses der en gennemsnitlig spredning for alle år på ± 35 %, når $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationen baseres på tre årlige målinger (fig. 17a). Til gengæld ses der ingen systematisk over eller underestimering af den estimerede drænafstrømning, hvilket afspejles i den gennemsnitlige afvigelse for alle år som ligger tæt på 0 %. Generelt ses der i LOOP 4 dræn 2 en betydelig år til år variation i afvigelse, som eksempel er der fra afstrømningssæsonen 1994/95 til sæsonen 1995/96 en forskel på ca. 100 % i de to års gennemsnitlige afvigelse fra den målte drænafstrømning, når $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationen baseres på tre årlige målinger. Der ses ikke nogen signifikant forbedring af de estimerede drænafstrømninger ved at $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationen baseres på fem frem for tre årlige målinger (fig. 17).

Figur 17. LOOP 4, dræn 2. Afvigelser af den modellerede drænvandføring fra den målte drænvandføring, for perioden nov. – mar. i årene 1990 til 2014. Hver boks er baseret på middel over de tre foregående års beregnede afstrømninger, og hvert år er der beregnet ca. ti forskellige afstrømninger (se bilag 1) ved at lave forskellige kombinationer af dataudtag. A) $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på tre Q målinger per år, B) $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på fem Q målinger per år. Horizontal blå zone angiver den gennemsnitlige spredning; den vandrette stiplede linie angiver den gennemsnitlige afvigelse, for alle år.



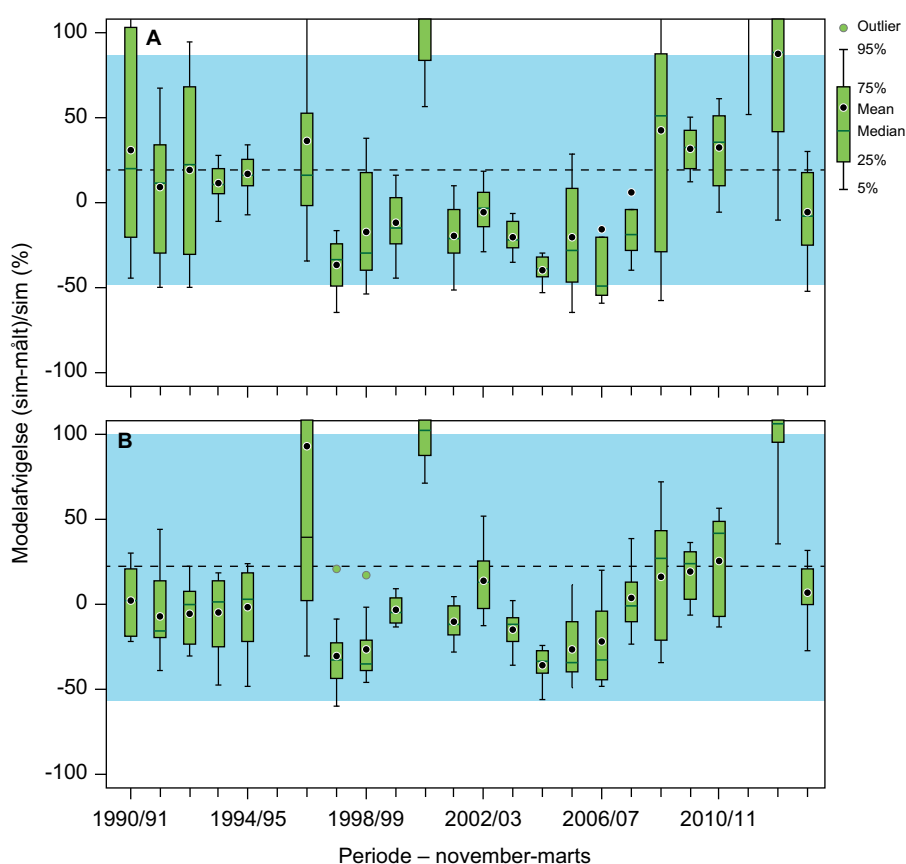
I LOOP 4 dræn 6 er der en betydelig større afvigelse af de estimerede drænafstrømninger fra de målte (fig. 18), end i dræn 2, med en gennemsnitlig spredning for alle år på mere end ± 60 %, både når $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationen baseres på tre (fig. 18a) og fem (fig. 18b) årlige målinger. Samtidig ses der en generel tendens til overestimering af drænafstrømningen på ca. 20 % for alle år. Dette afspejles i den gennemsnitlige afvigelse for alle år som ligger på ca. +20 %. Som i dræn 2 ses der også i dræn 6 signifikante år til år forskelle i af-

vigelserne fra den målte drænastrømning, og ingen forbedring i afvigelserne når antallet af målepunkter øges fra tre (fig. 18a) til fem (fig. 18b).

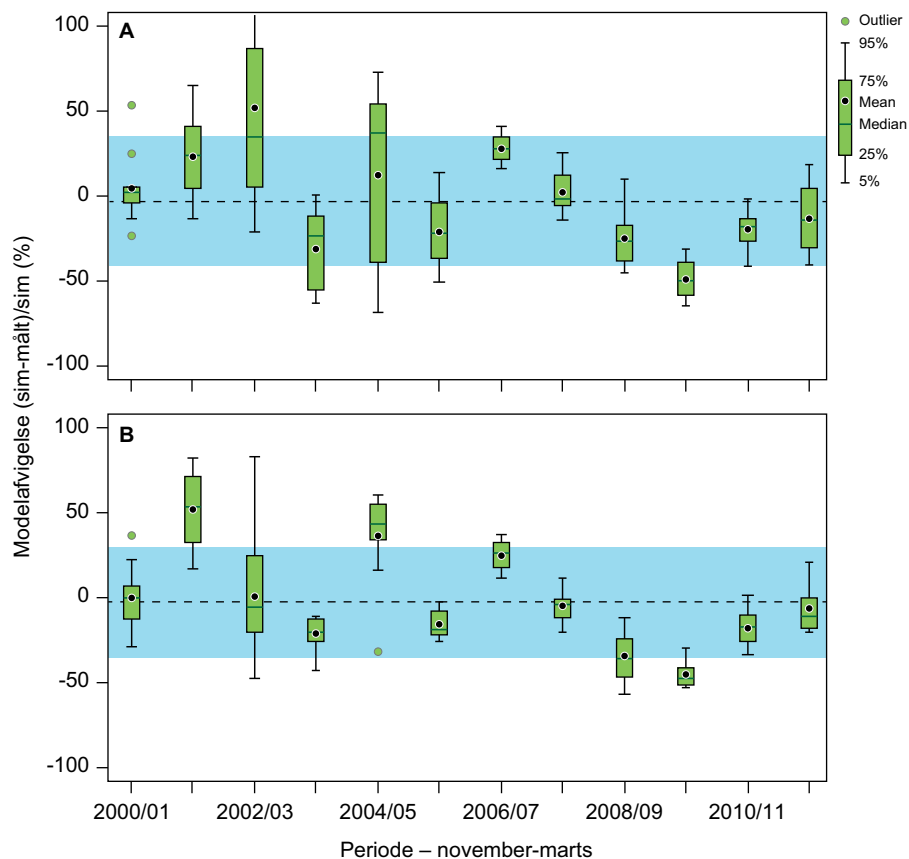
VAP-oplandet Estrup (fig. 19) viser overordnet den bedste $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relation af de tre VAP-oplande, med en gennemsnitlig spredning for alle år på $\pm 40\%$ og ingen systematisk over- eller underestimering af drænastrømningen, når $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationen baseres på tre årlige målinger. Der ses en betydelig år til år variation i afvigelserne, og kun en mindre forbedring af den gennemsnitlige afvigelse for hele perioden fra ca. $\pm 40\%$ til $\pm 35\%$ til når der benyttes fem (fig. 19b) fremfor tre (fig. 19a) årlige målinger til $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationen.

Resultaterne af $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ analysen i VAP oplandet Faardrup ligner dem fra VAP Estrup, dog med den forskel, at der ses større år til år variationer i afvigelserne af den estimerede drænastrømning fra den målte i VAP oplandet Faardrup (fig. 20).

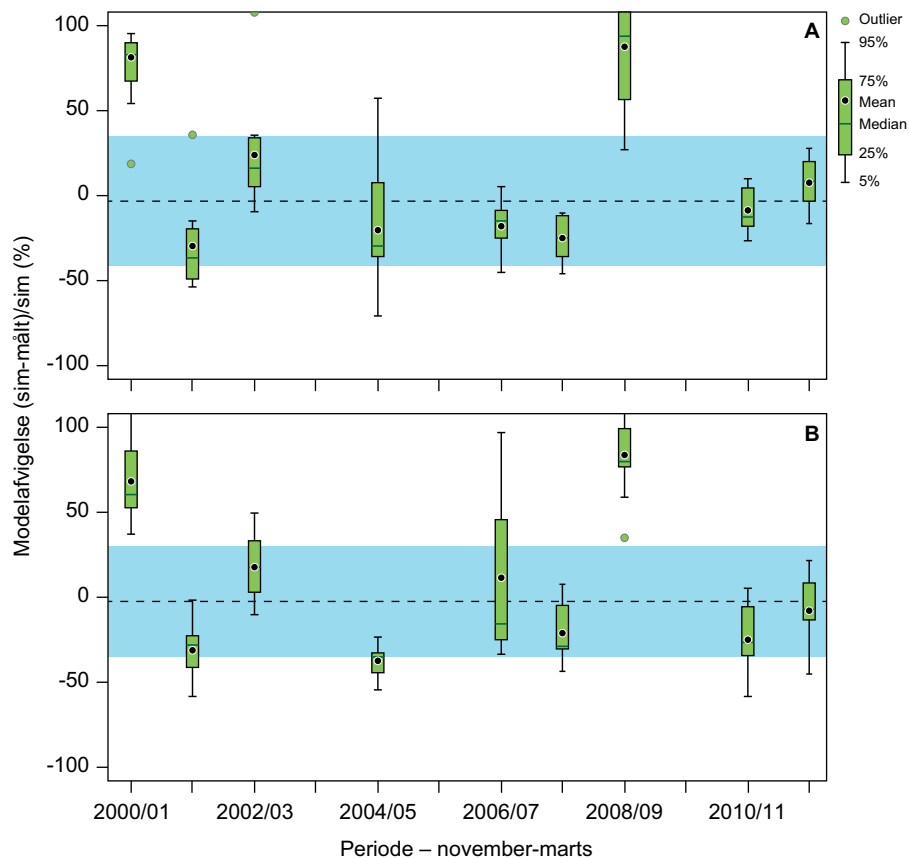
Figur 18. LOOP 4, dræn 6. Afvigelser af den modellerede drænavandføring fra den målte drænavandføring, for perioden nov. – mar. i årene 1990 til 2014. Hver boks er baseret på middel over de tre foregående års beregnede afstrømninger, og hvert år er der beregnet ca. ti forskellige afstrømninger (se bilag 1) ved at lave forskellige kombinationer af dataudtag. A) $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på tre Q målinger per år, B) $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på fem Q målinger per år. Horisontal blå zone angiver den gennemsnitlige spredning; den vandrette stiplede linie angiver den gennemsnitlige afvigelse, for alle år.



Figur 19. VAP Estrup. Afvigelser af den modellerede drænvandføring fra den målte drænvandføring, for perioden nov. – mar. i årene 2000 til 2012. Hver boks er baseret på middel over de tre foregående års beregnede afstrømninger, og hvert år er der beregnet ca. ti forskellige afstrømninger (se bilag 1) ved at lave forskellige kombinationer af dataudtag. A) $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på tre Q målinger per år, B) $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på fem Q målinger per år. Horisontal blå zone angiver den gennemsnitlige spredning; den vandrette stiplede linie angiver den gennemsnitlige afvigelse, for alle år.

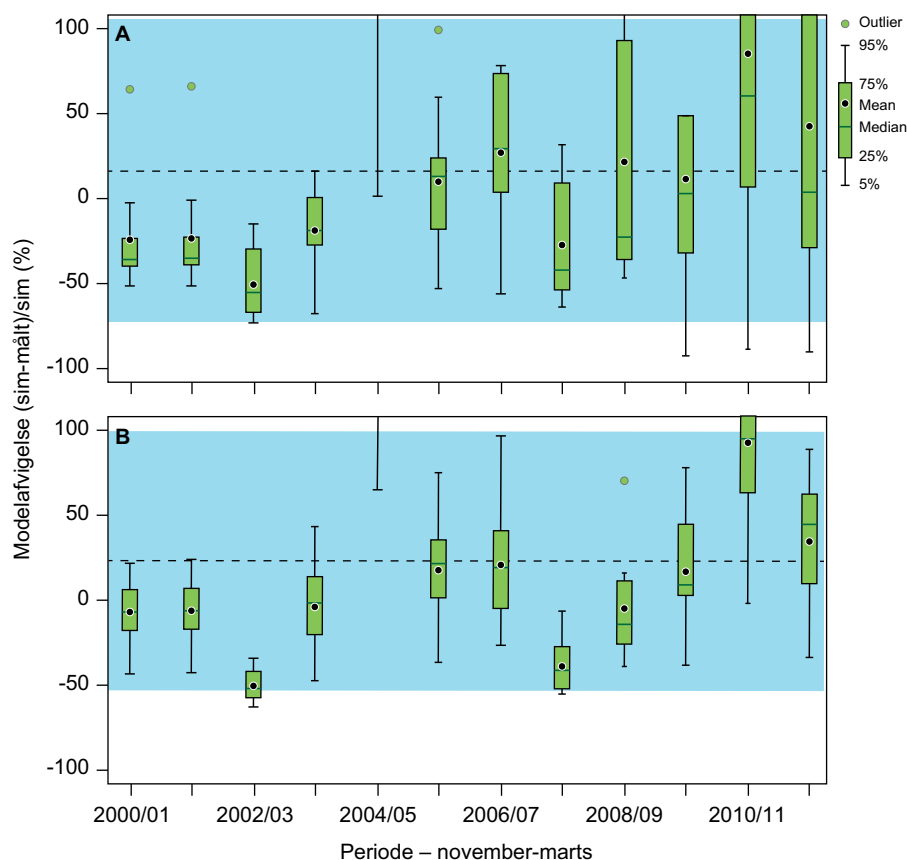


Figur 20. VAP Faardrup. Afvigelser af den modellerede drænvandføring fra den målte drænvandføring, for perioden nov. – mar. i årene 2000 til 2012. Hver boks er baseret på middel over de tre foregående års beregnede afstrømninger, og hvert år er der beregnet ca. ti forskellige afstrømninger (se bilag 1) ved at lave forskellige kombinationer af dataudtag. A) $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på tre Q målinger per år, B) $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på fem Q målinger per år. Horisontal blå zone angiver den gennemsnitlige spredning; den vandrette stiplede linie angiver den gennemsnitlige afvigelse, for alle år.



Det tredje VAP opland, oplandet Silstrup, adskiller sig fra de to andre VAP-oplande ved at have betydeligt større afvigelser imellem estimeret og målt drænaftstrømning (fig. 21). Den gennemsnitlige spredning på afvigelserne for alle år er i Silstrup-oplandet på ca. $\pm 75\%$, både når $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseres på tre (fig. 21a) og på fem (fig. 21b) årlige målinger. Samtidig ses der betydelige år til år variationer i afvigelserne, og en systematisk overestimering af drænaftstrømningen på i gennemsnit ca. 25 % for alle år.

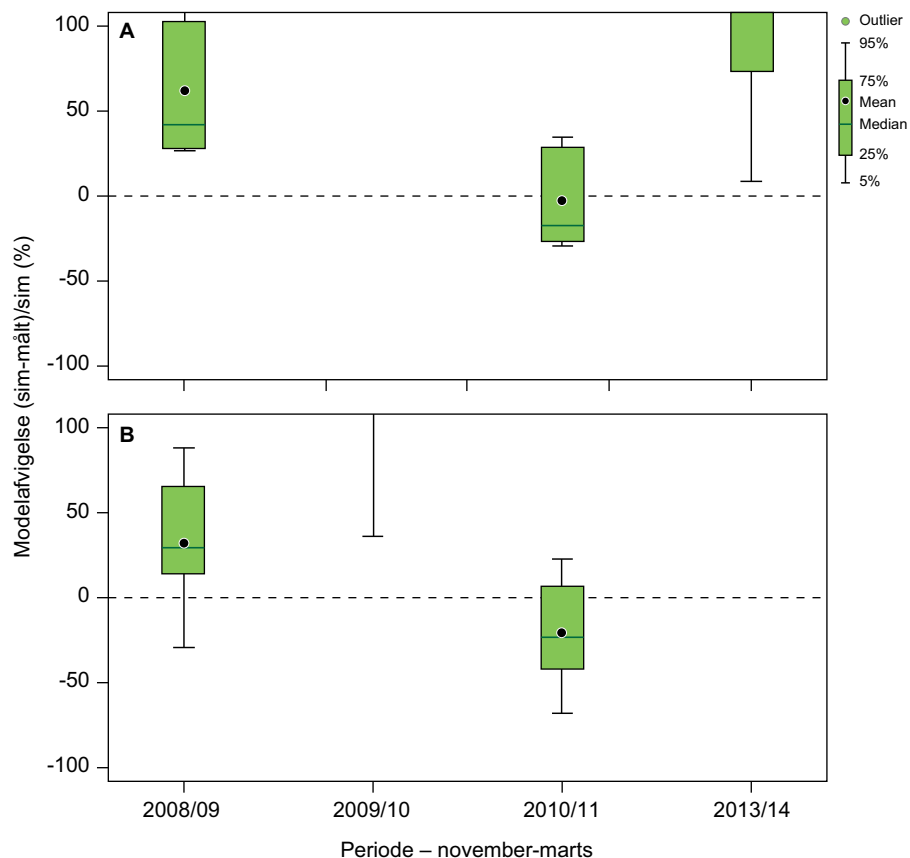
Figur 21. VAP Silstrup. Afvigelser af den modellerede drænvandføring fra den målte drænvandføring, for perioden nov. – mar. i årene 2000 til 2012. Hver boks er baseret på middel over de tre foregående års beregnede afstrømninger, og hvert år er der beregnet ca. ti forskellige afstrømninger (se bilag 1) ved at lave forskellige kombinationer af dataudtag. A) $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på tre Q målinger per år, B) $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på fem Q målinger per år. Horisontal blå zone angiver den gennemsnitlige spredning; den vandrette stiplede linie angiver den gennemsnitlige afvigelse, for alle år.



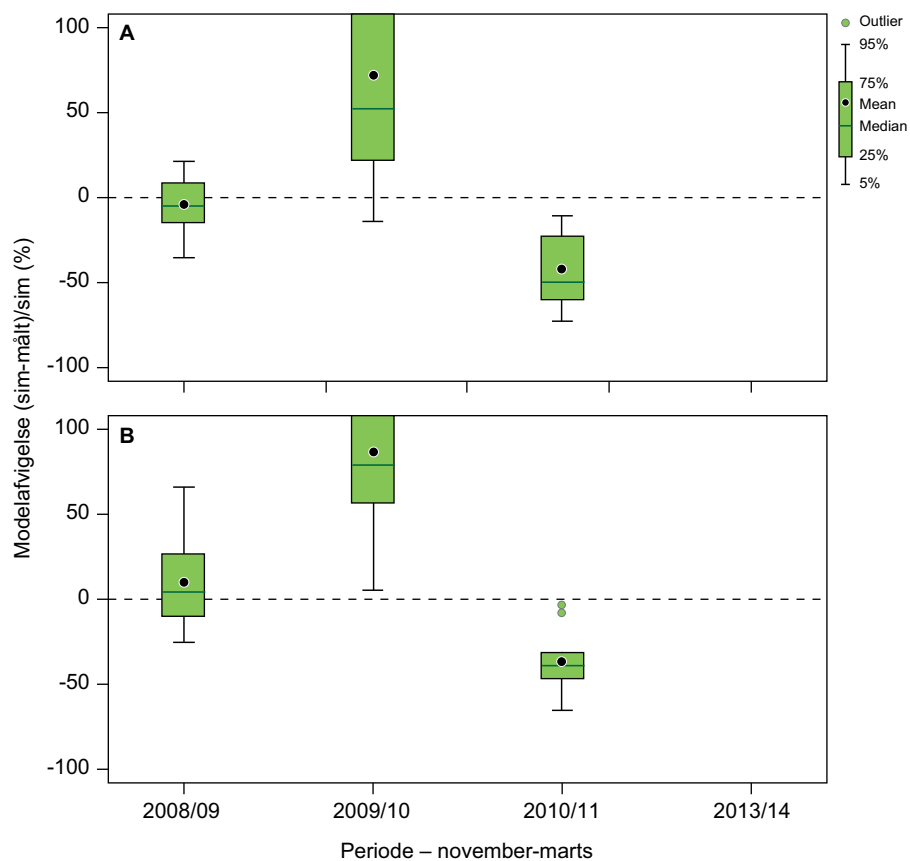
3.3 $Q_{\text{dræn}}-Q_{\text{dræn}}$ - udført for drænaftstrømningssæsonen

Generelt ses det for LOOP 1, at $Q_{\text{dræn}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen er dårligt bestemt, både for dræn 3 (hoveddræn) og 5 (fig. 22) og for dræn 3 (hoveddræn) og 7 (fig. 23). Både den gennemsnitlige middelfvigelse og spredning for alle årene er større end 100 % (derfor ikke vist på figuren), og samtidig er afvigelserne de enkelte år også store, specielt for sæsonen 2009/10 og 2013/14. Der ses ikke nogen reduktion af afvigelserne af de modellerede vandføringer fra de målte ved at Q_{q} -relationen baseres på fem målinger fremfor tre i LOOP 1 dræn 5 (fig. 22) og i LOOP 1 dræn 7 (fig. 23).

Figur 22. LOOP 1, $Q_{\text{dræn}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen lavet imellem dræn 3 (hovedstation) og dræn 5. Afvigelser af den modellerede drænvandføring fra den målte drænvandføring, for perioden nov. – mar. i årene 2008 til 2014. Hver boks er baseret på middel over de tre foregående års beregnede afstrømninger, og hvert år er der beregnet ca. ti forskellige afstrømninger (se bilag 1) ved at lave forskellige kombinationer af dataudtag. A) $Q_{\text{dræn}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på tre Q målinger per år. Afvigelse i sæsonen 2009/2010 lå over 100 %. B) $Q_{\text{dræn}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på fem Q målinger per år. I årene 2008/10 (A) og 2013/14 (B) var afvigelse større end 100 %. Den stiplede linie markerer 0 %.

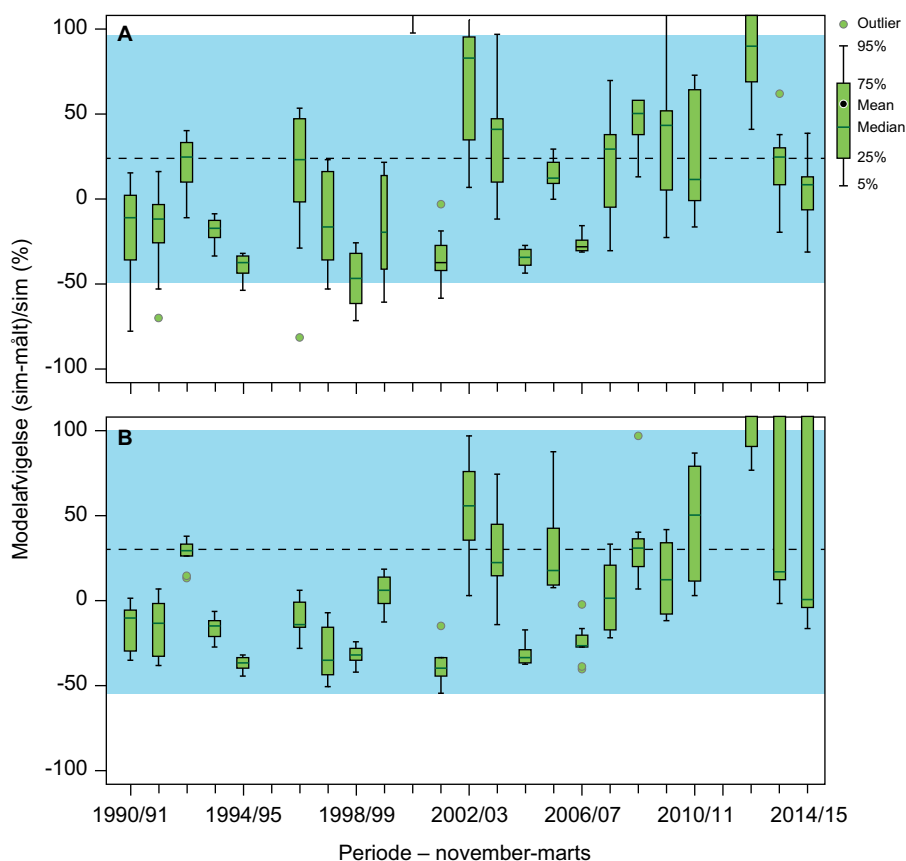


Figur 23. LOOP 1, $Q_{\text{dræn}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen lavet imellem dræn 3 (hovedstation) og dræn 7. Afvigelser af den modellerede drænvandføring fra den målte drænvandføring, for perioden nov. – mar. i årene 2008 til 2014. Hver boks er baseret på middel over de tre foregående års beregnede afstrømninger, og hvert år er der beregnet ca. ti forskellige afstrømninger (se bilag 1) ved at lave forskellige kombinationer at dataudtag. A) $Q_{\text{dræn}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på tre Q målinger per år. B) $Q_{\text{dræn}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på fem Q målinger per år. I året 2013/14 var afvigelse større end 100 %. Den stiplede linie markerer 0 %.



I LOOP 4 ligger den gennemsnitlige afvigelse af den estimerede drænvandføring fra den målte for alle år på 35 %, både når $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relationen base-res på 3 (fig. 24a) og 5 målinger per år (fig. 24b). Den gennemsnitlige spredning ligger også i begge tilfælde på ca. ± 75 %. Også i LOOP 4 ses der en betydelige år til år variation i afvigelse, og både for analysen med de tre og fem målepunkter per år overestimeres drænaftstrømningen i dræn 6.

Figur 24. LOOP 4, $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relationen lavet imellem dræn 2 (hovedstation) og dræn 6. Afvigelser af den modellerede drænvandføring fra den målte drænvandføring, for perioden nov. – mar. i årene 1990 til 2015. Hver boks er baseret på middel over de tre foregående års beregnede afstrømninger, og hvert år er der beregnet ca. ti forskellige afstrømninger (se bilag 1) ved at lave forskellige kombinationer af dataudtag. A) $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på tre Q målinger per år. B) $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på fem Q målinger per år. I årene 2008/10 (A) og 2013/14 (B) var afvigelse større end 100 %. Horizontal blå zone angiver den gennemsnitlige spredning; den vandrette stiplede linie angiver den gennemsnitlige afvigelse, for alle år.



I bilag 2 ses resultaterne af $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ analysen udført på alle tilgængelige målinger i LOOP 4, dræn 2 (hoveddræn) og dræn 6. Generelt ændrer det ikke det overordnede billede af afvigelse, som de ses i fig. 23 og 24, at alle data medtages. Generelt er der store år til år afvigelser af den simulerede årlige drænvandføring og den målte drænvandføring, og i hovedparten af årene ligger middelfavgelserne over 20 % med en maksimumsafvigelse på 140 % (bilag 2).

3.4 $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relation - dataserier baseret på vandføringspercentiler

Et eksempel på percentilanalysen udført for LOOP 4 med dræn 6 som punktmåle-drænet og dræn 2 som hoveddrænet ses i tabel 4, hvor de gennemsnitlige afvigelser af den modellerede vandføring fra den faktisk målte vandføring er vist. Det ses, at der med percentilmetoden generelt er en meget stor spredning på middelfavgelserne fra år til år, men der ses nogen forbedring i den gennemsnitlige afvigelse for hele perioden, når der udtages fem øjebliksmålinger fremfor tre. Til gengæld ses der ikke nogen systematisk forskel afhængigt af, om percentilernes værdier er fundet på baggrund af data fra de tre forudgående år eller alle forudgående år.

Til sammenligning ses der også i tabel 4 resultaterne fra en analyse, hvor Qq-relationerne er baseret på data, som tilfældigt er udtaget på den samme dato i hver måned. Det ses, at der faktisk er en tendens til en forbedring i de gennemsnitlige afvigelser for hele perioden, når der benyttes en fremgangsmåde med udtag på faste datoer fremfor percentiler.

Tabel 4. Oversigt over afvigelser af simulerede drænvandføringer fra målte drænvandføringer i LOOP 4, hoveddræn 2 og punktmåledræn 6. Negative værdier angiver, at de modellerede værdier underestimerer vandføringen. Ligning 2 beskriver beregningen af afvigelsen.

År (nov-mar)	Middelafrvigelse mellem $q_{\text{dræn}}$ og $Q_{\text{vandløb}}$ (%)					
	3 fraktilniveauer			5 fraktilniveauer		
	Fast dato	Fraktiler (baseret på data fra de 3 foregående år)	Fraktiler (baseret på data fra alle foregående år)	Fast dato	Fraktiler (baseret på data fra de 3 foregående år)	Fraktiler (baseret på data fra alle foregående år)
1993/94	90	17	48	-1	-1	-1
1994/95	-13	71	63	-6	18	-18
1995/96	-100	782	1563	-	-	-
1996/97	-100	32	30	-40	-52	30
1997/98	-21	-39	-1	-23	57	11
1998/99	-22	-11	-62	-27	120	-21
1999/00	-2	-17	-1	20	9	-23
2000/01	101	-21	104	28	-45	86
2001/02	20	-41	-48	-3	-22	-20
2002/03	-40	6	39	8	39	-100
2003/04	-43	71	-33	-32	73	19
2004/05	-26	-11	76	-13	-14	27
2005/06	-100	-10	153	-7	-74	-37
2006/07	3	-35	-57	-11	9	-20
2007/08	-20	-51	-27	-13	-28	-27
2008/09	4	80	-34	16	89	-29
2009/10	24	-9	-10	16	23	-24
2010/11	5	26	4	11	-26	-37
2011/12	12	-5	-7	5	-1	9
2012/13	84	115	105	13	45	-26
2013/14	7	12	52	10	-20	1
Gennemsnitlig afvigelse 1993-2014	-7	46	93	-2	10	-10
Standardafvigelse 1993-2014	55	174	342	18	49	36

3.5 Sammenhæng mellem andel af drænvand og $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relation

Vandføringen i vandløb er sammensat af forskellige bidrag og består af drænstrømning, indstrømmende grundvand, samt direkte overfladisk afstrømning. Afhængig af de hydrogeologiske forhold vil de enkelte komponenter være mere eller mindre dominerende for vandføringen i vandløb. I lerede områder vil drænbidraget ofte være dominerende, mens indstrømning fra grundvand ofte udgør det primære bidrag i sandede områder. Den direkte overfladiske afstrømning ses i kuperede områder, men er generelt kun betydende meget lokalt.

Ofte vil dynamikken af de forskellige komponenter være forskellige, hvor den overfladiske afstrømning giver den hurtigste respons på vandføringen i vandløbet efterfulgt af drænstrømningen, mens bidraget fra grundvandet vil

være langt mere jævnt fordelt over året. For disse forhold vil det således være forventeligt, at muligheden for at opnå en god Q_q -relation mellem drænflow og en vandføringsmåling afhænger af, hvor stor en andel drænbidraget udgør af den samlede vandføring. I oplande, hvor vandløbet primært modtager bidrag fra drænene, vil dynamikken i drænstrømningen afspejles klart i vandføringsdynamikken. Er drænbidraget derimod meget lille, vil bidraget fra grundvandet (ofte benævnt baseflow) forventeligt kunne udjævne dynamikken fra drænflowet, og resultere i en dårligere korrelation mellem drænflow og vandføring. En klar opdeling af dynamikken fra de enkelte komponenter ses dog ikke altid. I områder hvor drænene modtager en stor andel af trykvand fra grundvandet, som i LOOP2, vil dynamikken for dræn- og grundvandstilstrømningen ofte være meget sammenlignelig.

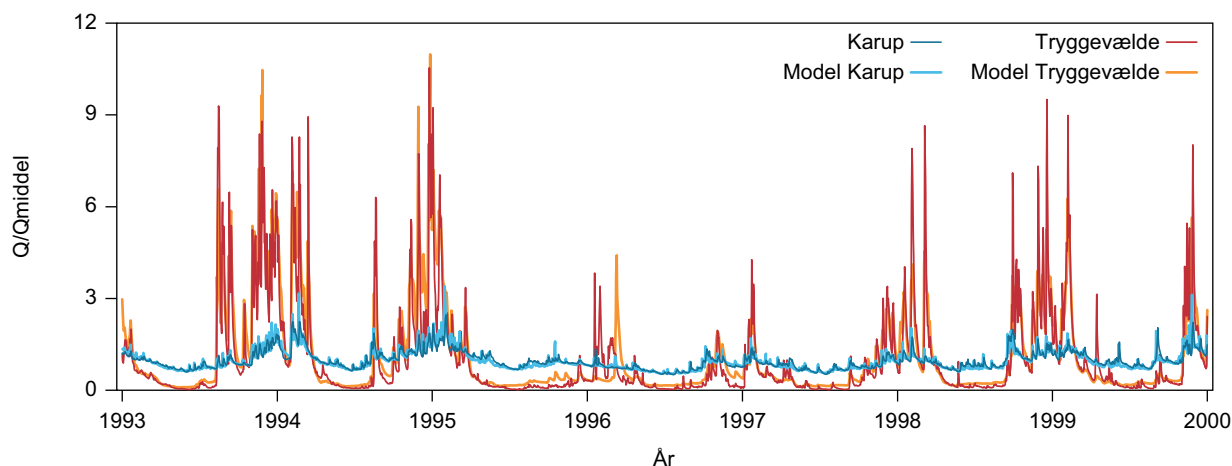
I de foregående afsnit er der set på hvordan opstillingen af en $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relation afhænger af antallet af øjebliksmålinger i dræn samt hvornår disse er udtaget. I nærværende afsnit analyseres, hvorvidt der er en generel sammenhæng mellem andelen af drænvand i vandløb og muligheden for at opstille en $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relation.

3.5.1 Metode

Det optimale ville være, at gennemføre analysen baseret på målte data. Det er imidlertid ikke muligt at måle drænstrømningens andel af den samlede vandløbsafstrømning direkte. Foruden andelen af drænflowet, varierer de målte oplande endvidere meget i oplandsstørrelse, areal anvendelse, hydrogeologiske karakteristika, og datamaterialet i forhold til muligt forklarende variable (udover andelen af drænbidraget) vil derfor være meget begrænset og derved gøre analysen svag.

Analysen er derfor gennemført på basis af modelsimuleringer med den nationale vandressource model (DK-modellen) (Højberg et al., 2015), der giver en beskrivelse af såvel grundvandsstrømningen (herunder drænstrømning) som vandføring i vandløb og udvekslingen mellem de to medier.

En grundlæggende antagelse for anvendelse af DK-modellen til analysen er, at modellen er i stand til at beskrive de forskellige bidrag til vandløbet (overfladisk, dræn og grundvand) samt deres dynamik og derved beskrive en afstrømningshydrograf sammensat af disse bidrag. På fig. 25 er vist en normaliseret observeret og beregnet afstrømning for to vandløb med meget forskellige afstrømningsregimer: 1) Karup Å, der ligger på den jyske hedeslette og er domineret af grundvandstilstrømning, hvilket resulterer i en forholdsvis jævn afstrømning uden de store peakflows forårsaget af hurtigt afstrømmende vand og 2) Tryggevejle Å, som ligger på sydøst Sjælland i et morænelandskab og hvor det hurtigt tilstrømmende vand, via dræn og overfladisk afstrømning, udgør en stor andel, med betydelig forskel mellem den minimale og maksimale afstrømning til følge. Som det fremgår af figuren fanger DK-modellen ikke præcist alle peakflows, men er i stand til at beskrive forskellen i de to afstrømningsregimer, med en forklaringsgrad (R^2 -værdi) på 0,7 for begge vandløb.



Figur 25. Observeret og simuleret normaliseret vandføring fra to vandløbssystemer karakteriseret ved hhv. stort bidrag fra grundvand (Karup Å) og stort bidrag fra dræn (Tryggevejle Å).

Modellen kan imidlertid ikke forventes at kunne give en præcis beskrivelse af drænstrømningen på markskala. Dette skyldes i særdeleshed modellens opløsning ($500 \times 500\text{m} = 25\text{ ha}$), der er større end de fleste marker, samt den store heterogenitet, der optræder i de hydrogeologiske forhold i naturen, som er afgørende for grundvandsstrømningen, og dermed grundvandsstanden samt drænstrømningen. Årsagen til en afvigelse mellem observeret og simuleret lokal drænstrømning forventes således ikke at være forårsaget af modellens procesbeskrivelse, men derimod manglende viden om den lokale hydrogeologi og heterogenitet heri.

Formålet ved anvendelsen af DK-modellen har derfor ikke været at estimere lokalspecifikke drænstrømninger på markskala, men derimod at analysere variationen i drænstrømninger og betydningen heraf i forhold til etablering af en $Q_{\text{vandløbs}}-Q_{\text{dræn}}$ relation. Det er således antaget, at selvom modellen ikke er i stand til at simulere de enkelte marker korrekt, så vil modellen være i stand til at beskrive den rigtige variation i drænstrømningen mellem forskellige marker. Det er således udnyttet, at DK-modellen bygger på en hydrogeologiske beskrivelse af undergrunden, der er baseret på en geologiske tolkning, og derfor afspejler den nationale variation i de hydrogeologiske forhold.

Analysen er gennemført på basis af en modelberegning for perioden 1990 – 2010, hvor data er gemt på daglige tidskridt. På basis heraf er det muligt, at udtrække tidsserier på dagsniveau, hvilket er benyttet i hele analysen. De enkelte trin består af:

1. For hvert ID15 opland udtrækkes en tidserie af drænstrømningen ($Q_{\text{drænID15}}$) og det samlede bidrag til vandføringen i vandløbet ($Q_{\text{vandføringID15}}$) indenfor ID15 oplandet, dvs. $Q_{\text{vandføringID15}}$ er tilvæksten i vandføringen indenfor ID15 oplandet.
2. Der opstilles en $Q_{\text{vandløbsID15}}-Q_{\text{drænID15}}$ ved en lineær regression mellem de to tidsserier, som beskrevet tidligere, og forklaringsgraden R^2 beregnes
3. Drænbidraget til den samlede vandføring beregnes ($Q_{\text{drænID15}}/Q_{\text{vandføringID15}} \times 100$)
4. R^2 -værdien plottes som funktion af drænbidraget til vurdering af, om der kan findes en afskæringsværdi for drænbidraget under hvilken det ikke kan forventes at opnå en tilstrækkelig god $Q_{\text{vandløbsID15}}-Q_{\text{drænID15}}$ relation.

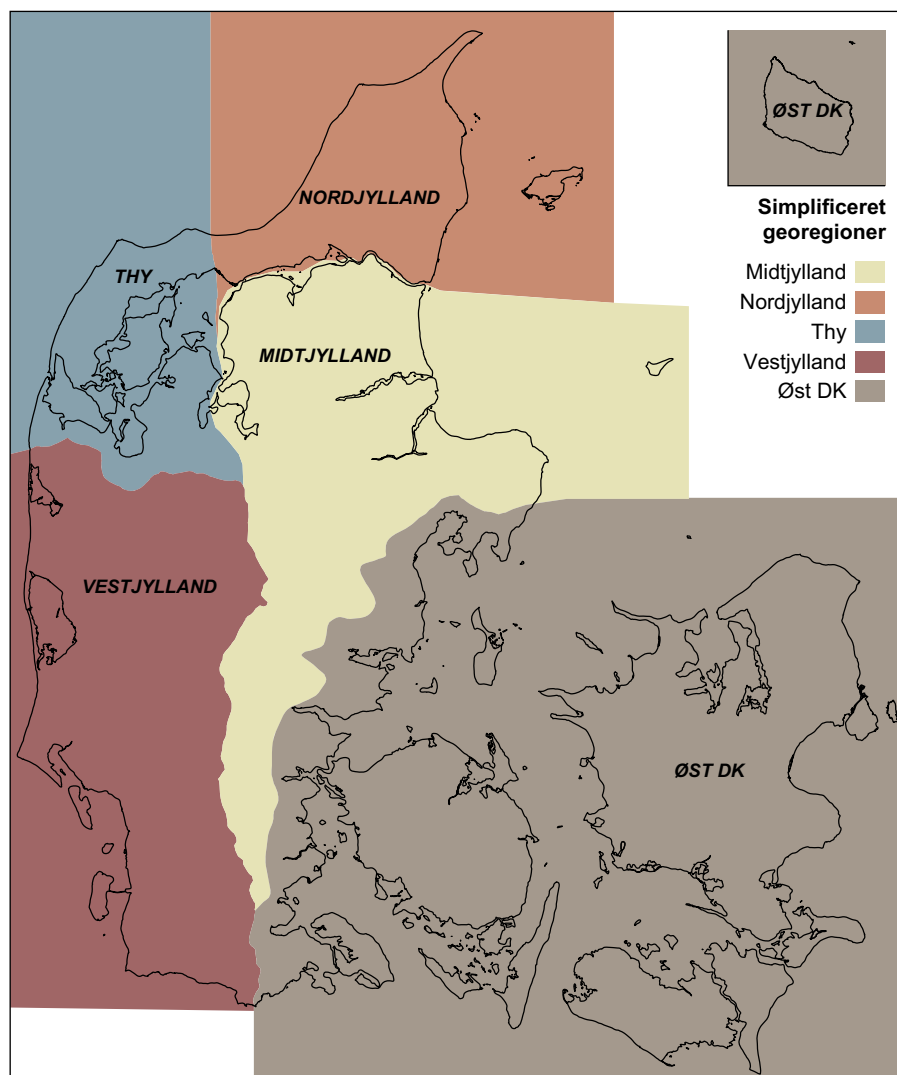
Der er to væsentlig forskellige bidrag til drænstrømning. Vandet kan være infiltreret umiddelbart over drænene, eller det kan stamme fra dybereliggende grundvand i områder med en opadrettet strømning til drænene. Disse udstrømningsområder findes typisk i lavninger (lavbundsområder), hvortil der strømmer grundvand fra højere beliggende arealer. Et eksempel herpå er det undersøgte drænopland i LOOP2, hvilket resulterede i en god $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relation. I nærværende analyse er der fokuseret på drænflow, der er lokalt genereret, dvs. vand der er infiltreret på samme mark, mens områder med stort bidrag fra grundvandet (lavbunde) er frasortet.

Lavbundsjordene optræder typiske omkring vandløb eller ved moser/vådområder. Pga. DK-modellens rummelige opløsning (500 x 500 m) kan mindre lavbundsområder ikke opløses i modellen. Til analysen er det derfor antaget, at områder i umiddelbar tilknytning til vandløb repræsenterer lavbundsområder, mens de øvrige arealer udgør højbundsarealer. Konkret betyder dette, at drænstrømningen ($Q_{\text{drænID15}}$) kun inkluderer drænstrømning fra DK-modellens grid, der ikke ligger i kontakt med modellens vandløb.

Når analysen gennemføres på ID15 oplandsniveau opnås en relation mellem den samlede drænstrømning indenfor oplandet og vandføringen. Fra eksisterende drændata er det imidlertid kendt, at drænstrømning fra de enkelte marker kan variere markant, selv over små afstande, som også set i afsnit 3.3. Analysen er derfor suppleret med en analyse udført på modellens grid-niveau. Dvs. til step 1 og 2 ovenover, er der udtrukket en dræntidsserie for de enkelte modelgrid i stedet for den samlede drænstrømning indenfor ID15 oplandet. Som tilfældet er for analysen på ID15 niveau, er det ikke hensigten at simulere den korrekte drænstrømning på gridniveau, men at opnå en beskrivelse af variationen heri og betydning af dette i forhold til etablering af en $Q_{\text{vandløbs, ID15}}-q_{\text{dræn, Grid}}$ relation. I denne analyse er der kun medtaget model grids hvor middel drænafstrømningen for hele perioden er større end 20 % af den samlede nettonedbør, dvs. udstrømningsområder samt arealer med en meget begrænset dræning i modellen indgår ikke.

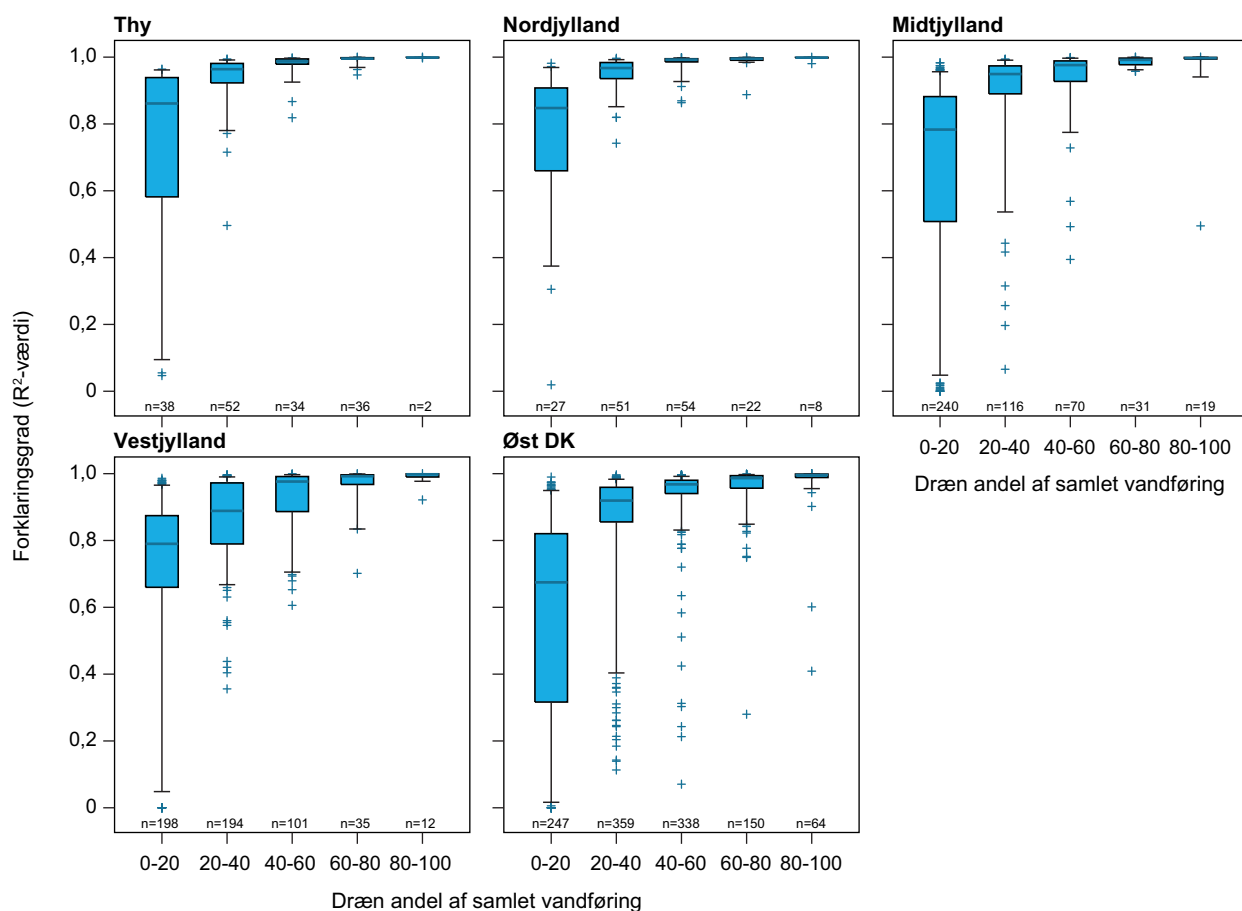
De såkaldte ID15 oplande inddeler landet i topografiske oplande med en middelstørrelse på ca. 15 km². I forhold til DK-modellen indgår der vandløb i hovedparten af disse oplande, dog er der nogle kystoplande, hvor udstrømningen til havet overvejende sker som en diffus afstrømning og ikke via et veldefineret lokalt vandløb. For disse områder er der ikke medtaget vandløb i DK-modellen og disse oplande udgår derfor fra analysen, der gennemføres på de resterende knap 2500 oplande. Da dræn og vandløbsdynamikken varierer for forskellige hydrogeologiske forhold, er analysen gennemført for de simplificerede georegioner, der er vist på figur 26.

Figur 26. Inddeling af landet i 5 georegioner.



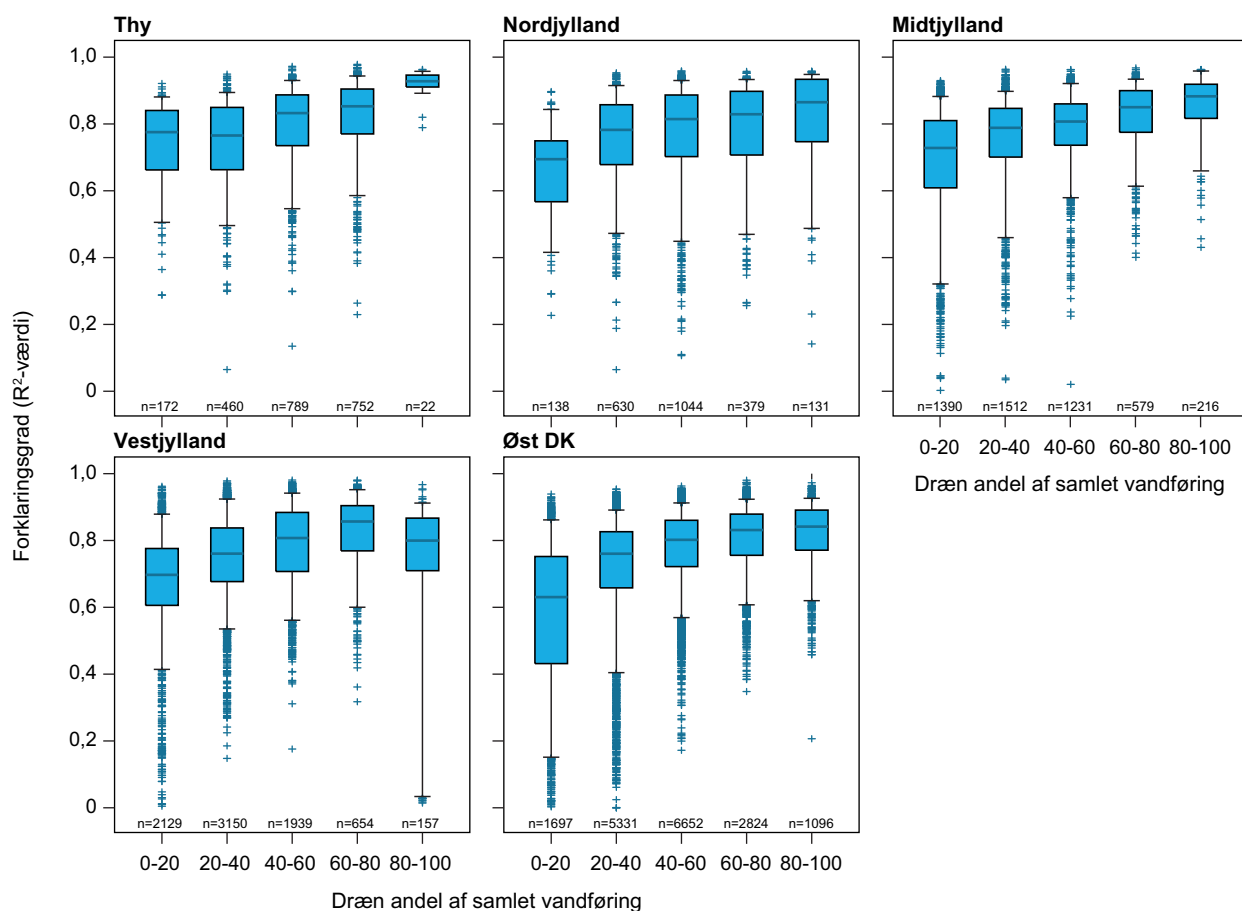
3.5.2 Resultater

Figur 27 viser resultaterne baseret på den samlede drænstrømning indenfor ID15 oplandene opdelt på kategorier af 20 % intervaller for dræningsbidraget. For alle områderne ses den samme overordnede tendens med en stor forklaringsgrad for oplande, hvor drænandel udgør en stor del af den samlede vandføring. Med faldende drænandel bliver korrelationen generelt dårligere. Det bemærkes dog, at selv for oplande med det mindste dræningsbidrag på 0 til 20 % af den samlede vandløbsvandføring opnås en god korrelation med en middelværdi omkring de 0,8, dog lidt mindre for Øst DK. Den generelt gode korrelation for disse oplande kan opnås fordi den største drænstrømning for hele ID15 oplandet under ét generelt falder tidsmæssigt sammen med peaks i vandløbsvandføringen, selv for oplande med et begrænset drænflow. For nogle oplande med lille drænandel er dette dog ikke gældende, eller responsen fra dræne forsvinder i responsen fra de andre flowkomponenter. Den største variation i korrelationen ses derfor også for oplande med det mindste dræningsbidrag, så til trods for den gode middelværdi er der oplande med meget lave korrelationer.



Figur 27. Forklaringsgrad (r^2) for $Q_{\text{vandløbs,ID15}}-q_{\text{dræn,ID15}}$ relation ved anvendelse af den samlede drænstrømningen indenfor ID15 oplandet. Drænandel af samlet vandføring er givet i %. Resultaterne er opgjort for de 5 georegioner (middel, 25 og 75 percentiler (blå boks) og 5 og 95 percentiler (hvisker)). n angiver antallet af ID15 oplande i hver kategori.

Udover variationen mellem ID15 oplandene vil der være variation indenfor de enkelte oplande. Dette er analyseret på basis af korrelationen mellem dræning fra de enkelte grids og den samlede tilvækst i vandføringen indenfor ID15 oplandet. Resultatet heraf er vist på figur 28, baseret på en $Q_{\text{vandløbs,ID15}}-q_{\text{dræn,grid}}$ korrelation for godt 35.000 individuelle grids. Af figuren kan de overordnede tendenser fra opgørelsen på ID15 niveau genkendes. Som forventet er der dog en større spredning indenfor de enkelte kategorier, hvor spredningen i kategorierne over 20 % drænbidrag generelt er større end variationen mellem kategorierne. Endvidere er middelværdien for de enkelte kategorier generelt lidt dårligere.



Figur 28. Forklaringsgrad (r^2) for $Q_{\text{vandløbs,ID15}}-Q_{\text{dræn,grid}}$ relation ved anvendelse af drænflow fra individuelle grids. Drænandelen af samlet vandføring er givet i %. Resultaterne er opgjort for de 5 georegioner (middel, 25 og 75 percentiler (blå boks) og 5 og 95 percentiler (hvisker)). n angiver antallet af ID15 oplande i hver kategori.

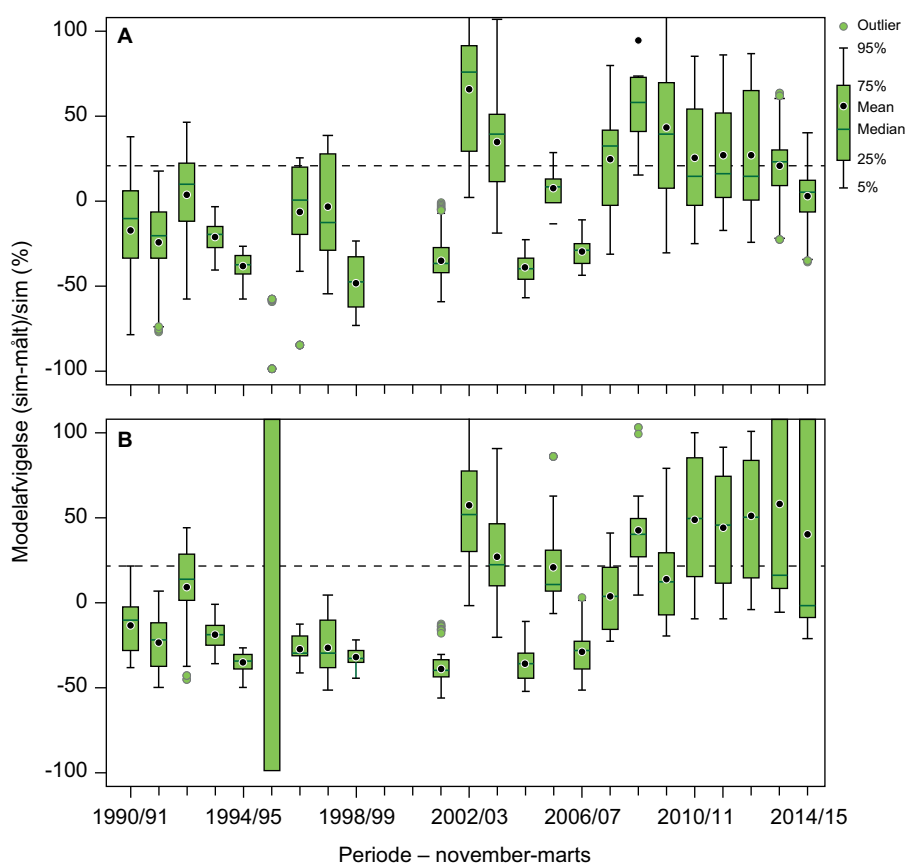
Ovenstående analyse har haft til formål at vurdere i hvilken udstrækning drænbidraget i forhold til den samlede vandføring har betydning for etablering af en $Q_{\text{vandløbs}}-Q_{\text{dræn}}$. Det skal pointeres, at der er tale om en analyse baseret på modelberegninger. Dette har den fordel, at der kan opnås et meget stort datamateriale (2.500 ID15 oplande, 35.000 individuelle grids), der i langt højere grad kan dække de naturlige hydrogeologiske variationer end det vil være muligt på baggrund af observerede data. Det er i sagens natur ikke muligt at verificere, om modellens resultater mht. opdeling af den samlede vandløbsvandføring i drænflow og grundvandstilstrømning samt dræning fra høj- og lavbunde er korrekt. Det er således heller ikke muligt at teste, hvorvidt de estimerede korrelationer er korrekte. Idet data er modelgenererede, repræsenterer de den perfekte verden, dvs. ingen usikkerhed på måledata. Endvidere er $Q_{\text{vandløbs}}-Q_{\text{dræn}}$ relationen baseret på tilvæksten indenfor et ID15 opland, så drænflowet kan relateres direkte til strømningen, og dermed strømningsdynamikken indenfor det aktuelle ID15 opland, der ikke er influeret af andre opstrøms ID15 oplande med anden dynamik. Dette betyder, at de korrelationer, der er opnået i analysen, må anses for at være større end den korrelation, der vil kunne opnås i praksis. Analysen kan derfor ikke benyttes til at vurdere hvilken numerisk værdi for korrelationen, man kan forvente at opnå. Det analysen derimod kan anvendes til, er en vurdering af i hvor stor udtrækning andelen af drænvand i forhold til den samlede vandføring i vandløbet er betydende for den opnåede korrelation.

Samlet indikerer analysen således, at for oplande med et lavt dræningsbidrag (mindre end 20 %) vil muligheden for at opnå en god korrelation generelt være dårligst. For de øvrige kategorier har det faktiske drænbidrag ikke så stor betydning. Her er variationen indenfor kategorierne større end forskellen mellem kategorierne, hvilket betyder, at hvorvidt der kan opnås en god korrelation eller ej er afhængig af de lokale hydrogeologiske forhold.

3.6 Relation imellem afstrømning og kvælstoftransport

I figur 29 ses resultaterne af N-transportanalysen udført på data fra LOOP 4, med en relation imellem dræn 2 (hoveddræn) og dræn 6. Generelt ses der store år til år variationer i afvigelser på de estimerede stoftransporter fra de målte/beregnete. Både når stoftransporterne baseres på afstrømninger fremkommet på tre (fig. 29a) og fem (fig. 29b) årlige målepunkter, overestimeres stoftransporterne med i gennemsnit ca. 30 %, hvilket er det samme, som det der ses for resultaterne af $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relationen imellem dræn 2 og 6 i LOOP 4 (fig. 24). Som forventet ses der ikke nogen forbedring i afvigelserne af den estimerede stoftransport ved at gå fra tre til 5 målinger til bestemmelse af $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relationen, eftersom det heller ikke sås for $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relationen (fig. 24). Den gennemsnitlige spredning ligger over 100 %, og er derfor ikke vist i figur 29.

Figur 29. Afvigelser af modelleret kvælstoftransport fra målt kvælstoftransport i dræn 6, LOOP 4. Afstrømningen er beregnet som en middelværdi af $Q_{\text{dræn}}-q_{\text{dræn}}$ relationen (Dræn 2 som hoveddræn og dræn 6 som punktmåle-dræn) i A) baseret på tre direkte Q målinger per år og i B) på baggrund af fem direkte Q målinger per år. Koncentrationer er fundet ved lineær interpolation imellem tre koncentrationsmålinger fra månederne november, januar og marts. Den vandrette stiplede line angiver den gennemsnitlige afvigelse for alle år.



3.7 Diskussion – Qq relationer

3.7.1 Muligheder for afstrømningsrelationer til estimering af dræna-fstrømning

Afstrømningsanalyserne har vist, at mulighederne for anvendelse af et screeningsværktøj til bestemmelse af dræna-fstrømning vil afhænge helt af

de lokale hydrogeologiske- og jordbundsforhold. Overordnet viser analysen, at afstrømningsrelationer imellem individuelle drænmarker, selvom de ligger tæt på hinanden indenfor det samme vandløbsopland, kan være vanskelige at etablere. Dette ses bl.a. i LOOP 4 hvor afstrømningsrelationerne imellem dræn 6 og dræn 2 generelt er dårligt bestemt, med middelfafvigelser på op til 70 % imellem målt og modelleret drænastrømning og store år til år variationer. Dette skyldes formentlig, at markkapaciteten i den enkelte mark vil være styrende for afstrømningsrespons i drænene, og dette forventes at kunne variere betydeligt fra mark til mark.

Analysen viser også, at LOOP 2 oplandet generelt har den bedste sammenhæng imellem drænvandføring og vandløbsvandføring, og at den årlige drænvandføring her kan estimeres ud fra vandløbsvandføringen og $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationen med en forholdsvis lille usikkerhed ($< 10\%$). Det vurderes, at den primære forklaring på den gode relation er, at det er et sandet opland med et stort grundvandsbidrag i form af trykvand, hvilket vil have en betydelig påvirkning af vandføringen respons. Når grundvandsindstrømning til dræn og vandløb er stor, og særligt når indstrømningen sker i form af trykvand, vil vandføringen i mindre grad være følsom overfor de aktuelle lokale vejrforhold, dvs. nedbørsintensitet, og forskelle i jordtype/markkapacitet. Endvidere vil trykvandet resultere i mættede forhold omkring drænene, og vandføringen herfra vil således kun i begrænset omfang være afhængig af vandindholdet i jordlagene over og omkring drænene. Indenfor de mere lerede oplande LOOP1 og LOOP4 ses større lokale variationer i vandføringsrespons og der opnås væsentligt dårligere $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationer sammenlignet med LOOP 2. Dette skyldes formentlig, at der ikke er den samme grundvandspåvirkning af dræn- og vandløbssystemet i LOOP 4, og vandføringsresponsen er derfor sandsynligvis mere påvirkelige af de helt lokale faktorer som jordens vandmætning, nedbørsintensitet og gradienter i nedbør på tværs af oplandet.

Analysen har også vist, at $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationerne ikke nødvendigvis er afhængige af den geografiske afstand imellem de vandløbs- og drænstationer, der sammenlignes. Dette ses bl.a. ved, at der generelt opnås en bedre relation imellem drænastrømningen i VAP marken Estrup og vandløbsafstrømningen ved vandløbsstationen i Gamst Møllebæk, der ligger mere end 5 km væk i nabooplandet; end de relationer der kan etableres imellem dræn og vandløbsstation i LOOP 4, hvor afstanden imellem stationerne er mindre end 1 km. Det ses også, at relationen imellem drænastrømning og vandløbsafstrømning i VAP oplandet Estrup er ligeså godt bestemt som i Faarstrup og bedre end i Silstrup, trods den store afstand imellem dræn og vandløb for VAP oplandet Estrup. Det kan derfor foreløbigt konkluderes, at kort geografisk afstand imellem de vandføringslokaliteter, der benyttes til $Q_{\text{vandløb}}-q_{\text{dræn}}$ relationerne ikke kan garantere, at en robust relation kan etableres. Dette forklares med, at de lokale afstrømningsforhold, særligt for mindre drænoplande, er styrende for afstrømningen, og disse forhold kan variere betydeligt indenfor selv korte afstande.

Der er gennemført analyser både for vandføringsrelationer imellem to dræn og imellem et dræn og et vandløb, men der kan ikke gives en entydig anbefaling til at benytte enten den ene eller den anden metode. F.eks. ses det i LOOP 4, at Qq-relationerne imellem to dræn ikke giver bedre resultater end imellem et dræn og et vandløb. Derfor vil det afhænge af de helt lokale vandføringsforhold, om de bedste Qq-relationerne opnås imellem dræn eller imellem dræn og vandløb. I nogle tilfælde vil man givetvis opleve, at en relation til en nedstrøms vandløbsstation vil give et lige så godt, eller bedre re-

sultat af Qq-relationen, end en Qq-relation til et andet drænsystem, hvilket til dels var tilfældet i LOOP 4. I oplande som LOOP 2 ser det også ud til, at en relation mellem dræn og vandløb fungerer rigtig godt til estimering af drænvandsafstrømningen. Dermed tyder analysen på, at en relation imellem dræn og vandløb i nogle tilfælde vil være bedre bestemt end relationen imellem individuelle dræn. Dette skyldes formentlig, at nogle af de helt lokale afstrømningsvariationer vil være dæmpede i vandløb sammenlignet med dræn. Det forventes ikke, at LOOP 2 oplandet er repræsentativt på grund af denne meget betydelige påvirkning fra trykvand. Derfor findes det mest sandsynligt, at hovedparten af de danske drænedede oplande vil minde mere om LOOP 4, med varierende afstrømningsforhold indenfor korte afstande og deraf følgende variation af dræn-type og intensitet og vanskeligere forhold for etablering af afstrømningsrelationer, end det der ses i LOOP 2.

Analysen gennemført med den nationale vandressourcemodel indikerer, at der generelt opnås en mindre god relation mellem drænstrømning og nedstrøms vandføringsstation, i tilfælde hvor drænbidraget udgør mindre end 20 % af den samlede vandføring. For oplande med en større andel af drænvand, er størrelsen af drænbidraget mindre betydende, specielt når analysen gennemføres på en 25 ha skala. For denne skala ses ligeså store variationer mellem områder med samme drænbidrag som mellem områder med forskellige drænbidrag. Dette resultat understøtter således analysen gennemført for de målte oplande, som viser, at de helt lokale hydrogeologiske forhold i mange tilfælde er dominerende for drændynamikken.

På basis af de udførte analyser er det således ikke muligt at opstille generelle kriterier for, hvornår en god afstrømningsrelation kan forventes at kunne etableres. Det vil derfor være nødvendigt først at fastlægge de lokale vandføringsforhold, hvilket potentielt kan betyde, at etableringen af en afstrømningsrelation vil kræve for-monitoring over 2-3 år. Dette kan være en begrænsende faktor for anvendeligheden af afstrømningsrelationer til estimering af drænafstrømning, helt afhængigt af formålet med at fastlægge drænafstrømningen i et givent opland. Omvendt viser analysen, at $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationer under nogle bestemte forhold med god sammenhæng imellem dræn og vandløbsresponser godt kan benyttes til en pålidelig estimering af drænvandføring. Da datamaterialet er meget begrænset, og eksempelvis kun indeholder én station påvirket af trykvand, kan der ikke laves en fast konklusion på basis heraf, om end en høj andel af trykvand må forventes at forøge mulighederne for opnåelse af en god korrelation.

Det konkluderes, at der ikke på baggrund af de udførte analyser kan etableres en generel anbefaling i forhold til et screeningsværktøj til bestemmelse af drænafstrømning. Begrænsningen i forhold til udvikling af et screeningsværktøj ses primært i forbindelse med muligheden for at etablere robuste vandføringsrelationer imellem dræn eller imellem dræn og vandløb, hvor forhold som f.eks. nedbørsgradienter, jordens vandindhold, dræintensitet og lokale forskelle i jordtyper forventes at være afgørende. Med det tilgængelige datamateriale har det heller ikke været muligt at identificere andre forhold/typologier, hvor en god korrelation generelt må kunne forventes. De præsenterede analyser er begrænset af, at der kun indgår få oplande i analysen; oplande som ikke dækker et generelt repræsentativt udsnit af danske dræn- og vandløbsoplande. I forhold til et videre arbejde med metoder til at bestemme drænafstrømningen ville det derfor være relevant at medtage flere oplande i analysen, for at få en bedre dækning af forskellige oplandstyper.

3.7.2 År til år variationer i Qq-relationernes præcision

Som nævnt er der i tre af analyserne benyttet tre års data til at etablere Qq-relationerne, bl.a. på baggrund af de første resultater fra GUDP projektet *Emissionsbaseret kvælstof- og arealregulering* udført på vandløb. Det kan dog diskuteres, om tre år er den rette tidsperiode at beregne en middelværdi over. Der er en mulighed for, at man ved at benytte tre års data, fremfor bare det aktuelle års data, til Qq-relationen, sammenligner forskellige drænvandføringssituationer. Hvis f.eks. afgrødetype ændres og dermed også forhold som fordampning ændres, vil der muligvis introduceres en fejl ved, at den samme Qq-relation benyttes over flere år. Samtidig vil jordens vandindhold (forskel imellem våde og tørre vintre) sandsynligvis også have en indvirkning på relationen imellem vandføringen fra forskellige områder fra år til år. Dette kan eventuelt være en del af forklaringen på, at der særligt for de lerede oplande i analysen ses en betydelig forskel i Qq-relationernes præcision fra år til år. Emnet er ikke belyst nærmere i denne rapport, men ville kunne undersøges yderligere ved at sammenholde de beskrevne analyser med analyser, hvor Qq-relationen etableres fra år til år, og videre supplere med oplysninger om vandindhold i jorden og nedbør.

3.7.3 Betydningen af tidsforskelle i vandføringsrespons

Der er i analyserne benyttet både beregnede daglige værdier af vandføringen og direkte øjebliksmålinger af vandføringerne til Qq-relationerne, primært på grund af begrænsninger i de tilgængelige dataserier. Generelt forventes det, at de bedste relationer vil opnås, hvis der benyttes øjebliksværdier af vandføringer til Qq-relationerne, som også diskuteres i afsnit 3.4.2. Der kan dog også benyttes daglige værdier, som vist for LOOP 2, hvis stabile vandføringsrelationer som dem der ses i LOOP 2 kan etableres. Derimod anbefales det ikke, at der laves relationer imellem øjebliksmålinger og døgnmidler af vandføringerne på grund af den usikkerhed der introduceres ved den uundgåelige forsinkelse der vil være imellem målestationer med en vis geografisk afstand. Dette vil være særligt relevant, når relationerne laves imellem vandløb og dræn.

3.7.4 Vandføringens betydning for beregningen af stoftransport

Overordnet viser analysen af estimeringen af N-transporten, at der ikke er en betydelig effekt af at udtage koncentrationsmålinger på forskellige tidspunkter. Den variation, der ses i de årlige afvigelser af stoftransporten, følger derimod de variationer der ses i forbindelse med bestemmelse af afstrømningen. Dermed viser analysen, at det er bestemmelsen af afstrømningen, som er afgørende for præcisionen på bestemmelsen af N-transporten. At koncentrationsmålingerne er mere ligetil at fastlægge end drænastrømningen, stemmer også godt overens med en indledende analyse udført i forbindelse med *GUDP-projektet emissionsbaseret kvælstof- og arealregulering*. Der er det blevet undersøgt, hvilken effekt antallet af direkte koncentrationsmålinger har på sikkerheden af den beregnede årlige gennemsnitskoncentration udført på data fra LOOP oplandene. De første resultater af denne analyse viser, at allerede ved 3-5 målinger af drænvands N-koncentrationen i løbet af drænsæsonen kan den gennemsnitlige N-koncentration bestemmes med en rimelig sikkerhed. Dog afhængigt af de lokale forhold.

4 Test af metoder til punktmåling af drænvandføring

Formålet med denne del af projektet har været at undersøge forskellige metoder og måleinstrumenter til måling af den aktuelle vandføring (flow) i udløbet fra drænen. Herunder vurderes muligheder og begrænsninger, og det undersøges, hvilke metoder der er bedst egnede i hvilke dræne og til hvilke mængder, og om det overhovedet er muligt at måle. Der er udført tre felttests i Saltø Å oplandet, en i november 2015, en i februar 2016 og en i marts 2016.

4.1 Målemetoder

Der er undersøgt tre forskellige metoder til flowmåling:

1: Elektronisk flowmeter. Måleren monteres midlertidigt i drænets udløb. Det forudsættes, at flowmetret har en passende dimension i forhold til drænet, og at der kan etableres en tæt forbindelse mod drænudløbet. Med denne metode kan der laves præcise målinger, uden at der dannes opstuvning under målingen.

2: Direkte opsamling. En beholder med kendt volumen placeres under rørets udløb, og tiden for opfyldning måles. Hvis drænet har frit fald fra udløbet, vil dette være en nem og præcis måde at bestemme vandføringen på. Ved måling i drænen med udløb i eller lige under vandoverfladen, kan der benyttes en pose i stedet for en spand. Ved denne metode er det afgørende, at posen kan sluttes tæt omkring drænudløbet, uden at vandløbsvand kommer ind i posen. Derudover bestemmes afstrømningen ved at måle opfyldningsraten, samme procedure som ved brug af en spand. Fuldt dykkede udløb og udløb, hvor røret ikke er ført helt ud gennem brinken, kan ikke måles med disse to metoder.

3: Delvis afspærring med opsamling i beholder. Et mindre rør føres ind i drænets udløb, og mellemrummet imellem de 2 rør blokeres ved hjælp af en oppustelig gummiventil. Det udstømmende vand kan herved ledes med en slange og opsamles i en beholder med kendt volumen. Med denne metode kan der måles i dykkede og ikke gennemførte drænrør, hvor det dog forudsættes, at der ikke sker en betydelig opstuvning i drænrøret under målingen. Dette kontrolleres ved at måle gentagne gange efter anordningen er monteret i drænet og undersøge om man får samme resultat. Drænen med ringe fald mod udløbet vil typisk ikke kunne måles med denne metode. Herudover er der ved en mindre del af målingerne forsøgt anvendt opsamling i plastsæk i dykkede dræne.

Der er anvendt to forskellige dimensioner af flowmålere, 100 mm og 50 mm i diameter. Flowmålerne anvender to forskellige måleprincipper, idet den store (flowmåler 1) er en ultralyds (Doppler) clamp-on måler (fig. 30), og den lille (flowmåler 2) er en fast elektromagnetisk måler (fig. 32). Til direkte opsamling er anvendt en spand (10 eller 20 liter) evt. målebæger og et stopur. Til afspærring med opsamling i beholder er anvendt en specialfremstillet oppustelig ventil (elefant) med udløb og slange (fig. 31).



Figur 30. Måling med ultralyds-Doppler, clamp-on flowmåler monteret på 110 mm rør. Drænudløb: 200 mm betonrør.



Figur 31. Måling med delvis afspærring med oppustelig ventil (elefant) og opsamling via slange i beholder. Drænudløb: 150 mm betonrør.

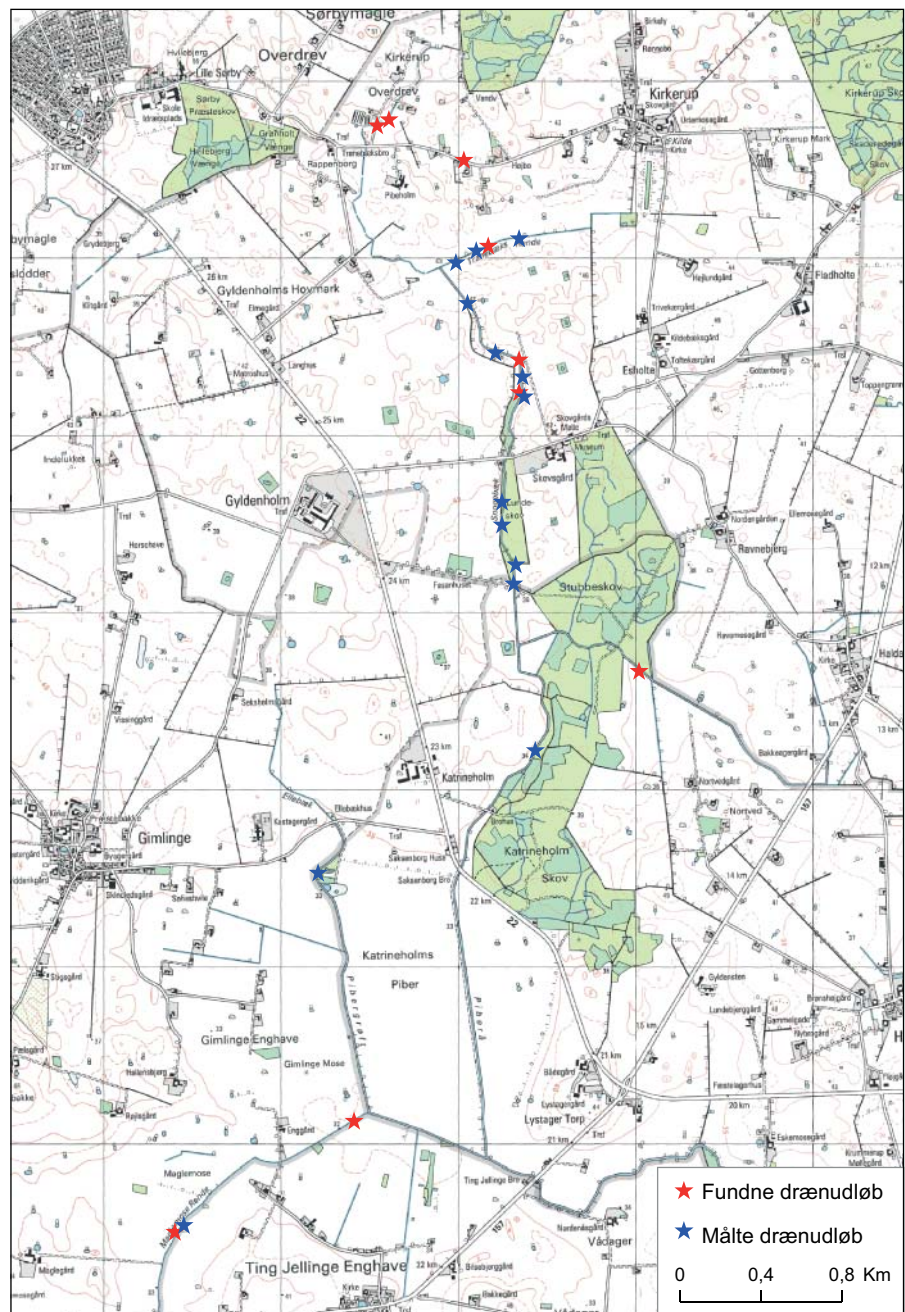
Figur 32. Måling med elektromagnetisk flowmåler 50 mm.
Drænudløb: 200 mm betonrør.



4.2 Målte dræn

Ud fra kortmateriale og samtaler med lodsejere blev der udvalgt 26 drænudløb i Saltø Å-oplandet, hvor muligheden for flowmåling skulle undersøges. Heraf blev de 14 fundet ved en besigtigelsesrunde. Numre og placering fremgår af kortet på figur 33.

Figur 33. Drænuidløb der blev fundet via kortlægningen (røde og blå), og hvor mange dræn det var muligt at udføre målinger i (blå).



Ud af de 14 lokaliserede drænuidløb var det muligt at måle vandføringen i de 9. Af de resterende 5 dræn havde de 4 delvis ødelagte rør uden et egentligt fast udløb, men hvor vandet i stedet rislede ud af brinken, evt. under nogle træerødder (fig. 34). Et enkelt af de fundne drænuidløb var for dybt dykket til at der kunne måles.



Figur 34. Udløb med sammenskredet lerrør under rødder. Kan ikke måles.

4.3 Resultater fra felttests og evaluering af målemetoder

De tre felttests blev som nævnt udført i drænsæsonen 2015/2016, med en felttest i november, en i januar og en i marts. Vandføringsniveauet var forskelligt ved de tre felttests, og i forbindelse med felttesten i januar kom der en hel del nedbør og dermed var der særligt meget vand i drænene, og i den forbindelse blev der målt en ekstra gang i nogle af udløbene. Herved er der målt et meget stort interval af flow fra omkring 0,01 til næsten 20 l/sek. i de forskellige dræn.

I forbindelse med de tre felttests blev der også indsamlet vandprøver i drænene. Vandprøverne blev udtaget som foreskrevet i SEGES' *Vejledning til prøvetagning i drænvandsundersøgelsen 2014/15* og prøverne blev via SEGES sendt til analyse for bl.a. total N (TN)-koncentrationer. En oversigt over samtlige målinger med resultater, bemærkninger mv. er angivet i tabel 6.

Den største flowmåler (Doppler, clamp-on på 110 mm rør) har specifikke krav til længden af rette ind- og udløbsrør af hensyn til at forhindre turbulens, som kan forøge usikkerheden på målingerne. Derfor er den ikke så let håndterbar, men den er dog ret uproblematisk at transportere og anvende. Den kan anvendes til målinger i intervallet fra omkring 0,1 til 20 l/sek. med størst usikkerhed på målingerne ved de lave værdier. Fra omkring 20 l/sek. er der betydelig risiko for at måleren medfører opstuvning i drænet, og at der derfor bliver målt for lave værdier. Samtidig er det vanskeligt at opnå en tæt forbindelse mellem drænudløb og måler.

Den mindre (50 mm elektromagnetiske) flowmåler er nemmere at håndtere end Doppler måleren, da den ikke har krav til ind- og udløb. I forhold til den mindre dimension er den dog relativt tungere, men den er også relativt nem at anvende. Den kan anvendes til målinger i intervallet 0,01 til ca. 2-3 l/sek. uden særlig risiko for opstuvning. Også her er der størst usikkerhed på de små målinger.

Tabel 6. Oversigt over drænvandføringsresultater fra de tre felttest i oplandet til Saltø Å, vandføringssæsonen 2015/2016. *** = God måling, ** = Acceptabel måling, * = Ikke brugbar

Prø- ve nr.	Dræn nr.	Dato	Tid	Rør dim. Indv/udv. cm	Flowmåler 1 l/sek	Flowmåler 2 l/sek	Spand l/sek	Pose l/sek	Elefant l/sek	Usikkerhed (bedste måling)	Øvrige Bemærkninger	TN koncen- tration (mg/l)
	1	09-11-2015	10:30	Ca. 20 cm							Ødelagt lerrør, kan ej måles	
6	2	09-11-2015	10:00	20/25 cm	0,87***					10%	Betonrør	20
23	2	09-02-2016	13:25		8,1***					5%		14,03
18	2	10-02-2016	10:25		18**					15%	Flowmåler stuver lidt, så noget går udenom	12,96
31	2	21-03-2016	10:05		0,6**	0,62***	0,65***			10%	Usikkerhed på flowmaler 1 er 30%	12,9
21	4	10-02-2016	08:45	8,5/11,5	4,7**	1,8*		2,9*		10%	Lille flowmåler stuver op og måler for lidt. Pose kunne ikke fange alt.	5,89
37	4	21-03-2016	11:40			0,88***	0,85***	0,9***		5%		6,69
	5	09-11-2015	16:00	13,5/17,5 cm							Lerrør delvist sedimentfyldt, kunne ikke måles.	
20	5	09-02-2016	15:30		0,72**					10%		8,15
38	5	21-03-2016	12:10			0,007**		0,0063**		30%		6,2
15	8	10-02-2016	12:35				7,8**			20%	I pumpebrønd	9,02
32	8	21-03-2016	13:05				0,38***			10%		7,7
7	12	09-11-2015	11:00	16/20 cm	0,75**					20%	For lidt fald og for meget vand til at elefantmåleren kunne bruges. Betonrør (fra nord)	7,07
22	12	09-02-2016	14:15		2,56**					10%		9,45
39	12	21-03-2016	10:40			0,45***		0,46**		10%		8,7
	13	09-11-2015	11:30	Ca. 28 cm							Sandsynligvis betonrør, 40 cm under vand, kan ej måles.	
	14	09-11-2015	12:00								Fra syd. Ødelagt lerrør, kan ej måles.	
	15	09-11-2015	13:00								Lerrør under rødder, kan ej måles.	
4	16	08-11-2015	12:30	-/20 cm	0,35**				0,15*	20%	Betonrør, Usikkerhed på elefant er 200% pga opstuvning.	12,9
28	16	09-02-2016	10:45		0,6**	0,62***				5%		9,47
19	16	10-02-2016	10:00		1,6**					10%		7,75
29	16	21-03-2016	09:00			0,23***				10%		9,86

1	17	08-11-2015	10:10	30/38 cm	3,9*		4,77***		10%	Betonrør, ikke alt vand i flowmåler(-20%), manglende overgang. Foulum flowmåler: 4,85 l/sek	15,9
25	17	09-02-2016	09:40		7,1*		13***		10%	Flowmåler tager kun en del af vandet, manglende overgang. Spand: OK	9,25
42	17	21-03-2016	08:40		2,35**		2,66***		15%		8,09
2	22	08-11-2015	11:34	15/20 cm						Ødelagt lerrør, kan ej måles	
3	23	08-11-2015	14:00	-/16 cm	0,36**				10%	PVC drænrør, blåt. Lidt tab gennem perforering	16,4
26	23	09-02-2016	10:40		1,55**	0,7*	0,86*		10%	FM2 og pose har stort tab gennem perforering og måler alt for lidt	9,51
17	23	10-02-2016	09:45		3,3**				10%		8,62
30	23	21-03-2016	09:05			0,13**			20%	lidt tab gennem perforering	10,5
5	26	08-11-2015	16:00	15/- cm	0,08***			0,08***	10%	Betonrør. Elefant uden slange, minimal stuvning	17,7
24	26	09-02-2016	12:00		0,85**	0,62**	0,68**		20%		12,91
34	26	21-03-2016	09:40			0,038***	0,037***		10%		13,2

For begge flowmålere gælder, at det er vigtigt at have de rette overgangsstykker, så der kan etableres en tæt forbindelse mellem måler og drænudløb. Især i de store rør kan det være en udfordring, da der skal samles flere stykker, og opstillingen derved bliver ret stor. Begge flowmålere har krav til, at røret gennem måleren er fuldtløbende. Dvs. at i dræn, der ikke er dykkede, skal der monteres en opadrettet bøjning i udløbet fra måleren. Ved anvendelse af den store flowmåler var det i visse tilfælde nødvendigt at anvende en bøjning, da den modsatte brink ellers ville være i vejen (fig. 35).



Figur 35. Måling med stor flowmåler med afbøjning i et lille vandløb og med dykket drænudløb.

Direkte opsamling i en beholder (spand eller lign.) er en nem og præcis metode i de tilfælde, hvor drænudløbet har en fri stråle, og det er muligt at få en tilstrækkelig stor beholder ind under. Hvis beholderen fyldes på mindre end ca. 2 sekunder, bliver usikkerheden stor, typisk mere end 10 %.

Metoden med afspærring og opsamling i beholder via en slange har vist sig kun at kunne bruges i meget få tilfælde. Problemet er, at der ofte vil ske en opstuvning af drænvand et stykke op i drænet, og man vil derfor underestimere vandføringen. Endvidere var den instrumentmodel, der her er forsøgt anvendt, for lille til mange af de undersøgte dræns dimensioner.

Under de to seneste målekampagner blev det ved en del af de dykkede dræn forsøgt at måle ved hjælp af en plastsæk (pose), der holdes tæt om udløbet, hvor vandmængden efter et fastlagt tidsrum måles. Denne metode virker i nogle tilfælde og med rimelig sikkerhed på målingen. Det kan dog være vanskeligt at være sikker på, at sækken slutter tæt om udløbet, og ved stort flow er tiden for "tilslutning" kritisk.

4.4 Sammenligning med vandløbsvandføringer

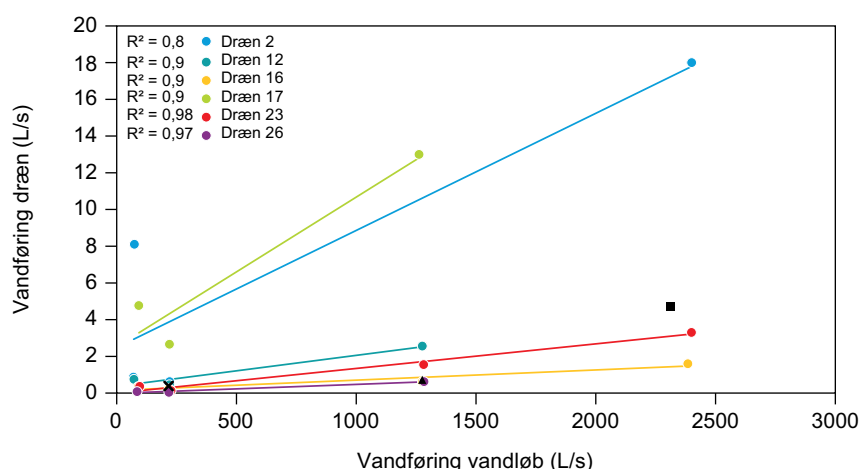
For at undersøge, om der på baggrund af de tre udførte felttests er mulighed for at etablere en relation imellem vandvandføringen i drænene og vandvandføringen i vandløbet i Saltø å, er der lavet en sammenligning imellem

de målte drænvandføringer og vandløbsvandføringerne målt i Saltø å, som indsamles i GUDP projektet *Emissionsbaseret areal- og kvælstofregulering*. Sammenligningen er lavet ved, at der på de tidspunkter, hvor der blev udført drænvandføringsmålinger, er udtaget vandføringsværdier fra hydrografen i Saltø Å. Sammenligningen er altså baseret på direkte drænvandføringsmålinger og modellerede vandføringer i vandløbet. Fejlen ved at lave denne sammenligning med hydrografen fremfor direkte synkrone (målinger indenfor et kort tidsrum) vandføringer målt i vandløbet anses for at være acceptabel i denne sammenhæng, idet hydrografen ved stationen i Saltø å er meget godt bestemt, pga. hyppige direkte vandføringsmålinger (hver 14. dag i 2015, hver 3. uge i 2016).

Generelt er der en tendens til gode sammenhænge imellem de øjebliksmålinger, der er udført i drænudløbene og de vandføringsværdier, der er registreret ved den nedstrøms vandføringsstation i Saltø Å (fig. 36). Dette stemmer godt overens med de resultater der er fundet i forbindelse med GUDP-projektet. I GUDP projektet er der udført et stort antal synkrone målinger af vandføringer nedstrøms i Saltø Å og i mindre vandløb og grøfter opstrøms i oplandet. Da oplandet er systematisk drænet er det forventeligt, at de gode relationer, der er fundet imellem hovedoplandets vandføring og vandføringen i de små opstrøms deloplande, kan genfindes ved at lave en lignende analyse af oplandsvandføringen og drænoplandsvandføringerne. Det skal dog bemærkes, at det er et ganske begrænset antal datapunkter (højest 4), der ligger bag de lineære sammenhænge i fig. 36. Derfor skal sammenhængene kun ses som en første indikation på, at $Q_{\text{vandløb}}-Q_{\text{dræn}}$ relationer kan etableres i Saltø Å oplandet.

Tendensen til de gode Qq-relationer skyldes givetvis, at det undersøgte opland er leret og systemdrænet i den største del af oplandet. Det betyder, at vandet under en nedbørshændelse relativt hurtigt strømmer igennem drænsystemet og ud i vandløbet og samtidig forventes det, at langt den største andel af nedbøren strømmer i drænene (dette er ikke målt). Dermed er vandets forsinkelse ned igennem oplandssystemet begrænset, hvilket betyder, at den tidlige variation i vandføringsdynamikker er relativt homogen på tværs af oplandet. De gode afstrømningsrelationer er også fundet imellem afstrømning i vandløb/grøfter i Saltø Å oplandet i forbindelse med målinger udført i GUDP-projektet *Emissionsbaseret kvælstof- og arealregulering*.

Figur 36. Vandføringsdata fra henholdsvis dræn i Saltø Å oplandet og vandløbsstationen ved Ting Jellinge bro (data fra vandløb indsamlet i forbindelse med GUDP projektet *Emissionsbaseret areal- og kvælstofregulering*). Drænmålinger er kun medtaget hvis de har to eller tre stjerner (se tabel 6). Lineær sammenhæng er kun etableret, hvis der findes minimum tre måleværdier.



4.5 Fosforkoncentrationer i dræn

De drænvandprøver, der blev indsamlet i forbindelse med de tre felttests i Saltø Å oplandet, blev også som supplerende information analyseret for fosfor (P). Da denne rapport's hovedfokus er på vandvandføring og N-transport, er der ikke lavet en detaljeret analyse af P værdierne, men P værdierne medtages alligevel som dokumentation for øjebliksværdierne. P koncentrationer er generelt væsentligt mere variable sammenlignet med N-koncentrationer, og derfor vil en analyse af P transporter i et drænopland kræve en anderledes monitoringsstrategi, end den der er benyttet i forbindelse med dette projekt. Derfor siger de målte data ikke noget om fosforudledningen.

I tabel 7 ses resultaterne af analyser for P i drænvandprøverne, angivet som intervaller for alle de målte dræn. Til sammenligning ses værdierne for de LOOP dræn, der indgår i vandføringsanalysen. Generelt er P værdierne målt i Saltø Å oplandet relativt lave og niveauerne svarer til de P værdier, der er målt i LOOP drænene.

Tabel 7. Fosforkoncentrationer målt i drænsæsonen 2015/2016 for henholdsvis udvalgte LOOP dræn og drænene målt under de tre felttests i Saltø Å oplandet.

Dato	Total P (mg/l)*				
	LOOP 1	LOOP 2	LOOP 4, dræn 2	LOOP 4, dræn 6	Saltø å (interval)
11-12-2015 (Saltø Å)					
14-12-2015 (LOOP 2)		0,08	0,01	0,01	0,02 - 0,06
09-12-2015 (LOOP 4)					
09-02-2015 (Saltø Å)		0,06	0,08	0,05	0,002 – 0,06
10-02-2015 (LOOP 2, 4)					
21-03-2015 (Saltø Å)		0,01	0,01	0,11	< 0,01 – 0,02
23-03-2015 (LOOP 2, 4)					

* der tages forbehold for ændringer i LOOP værdierne i forbindelse med endelig kvalitetssikring NOVANA 2016.

4.6 Konklusioner - felttests

Selv med alle de tilgængelige målemetoder i denne undersøgelse var det ikke muligt at foretage målinger på ca. 1/3 af de fundne dræn. Herudover var der en del dræn, der slet ikke blev fundet, f.eks. fordi de var dykkede for langt under vandspejlet i vandløbet. Disse lokale drænforhold vil give vis variere meget fra drænopland til drænopland, og det vil derfor afhænge helt af de lokale forhold, hvorvidt drænudløbene både kan kortlægges, findes og måles.

Samlet set er det den store flowmåler (flowmåler 1), der i denne undersøgelse har kunnet anvendes i de fleste dræn til måling med tilfredsstillende resultat. Den mindre flowmåler (flowmåler 2) er tilsvarende anvendelig, men vandmængderne har i mange tilfælde været for store. De 2 flowmålere anvender forskellige principper til registrering af vandhastigheden, men dette har ikke umiddelbart en betydning for anvendeligheden. Dog kan den elektromagnetiske måler tilsyneladende registrere meget lave hastigheder med lille usikkerhed, så til meget lave drænvandføringer, vil dette princip være bedst egnet. Ved anvendelse af flowmåler er det særdeles vigtigt at have de rigtige rør-overgangsstykker, så der kan sikres en tæt forbindelse mellem udløb og måler. Endvidere skal man være opmærksom på, at dimensionen på måleren sætter begrænsninger på i hvilket interval, der kan måles. Op-

stuvning i drænet skal undgås, og det kan være vanskeligt at vurdere, om det er et problem.

Direkte opsamling i beholder er også en anvendelig metode, der giver tilfredsstillende resultat, men kun i de drænudløb, hvor der er fri stråle. Delvis afspærring med opsamling via slange er kun sjældent en mulighed, især på grund af risiko for opstuvning i drænet. Hvis man har en dimension på ventil og slange, der er tilpasset specifikt til udløbet, ville metoden evt. kunne anvendes flere steder.

Opsamling i sæk kan i dykkede dræn i nogle tilfælde anvendes med tilfredsstillende resultat, men metoden kan være vanskelig at benytte i praksis. Anvendeligheden vil afhænge af, hvorvidt det kan lade sig gøre at undgå, at der kommer vand i sækken ved påsætning og afgang.

5 N-min målinger og markoverskud

5.1 N-min målinger og markoverskud, LOOP 1 og 4

Det er indledningsvist analyseret, hvorvidt der umiddelbart kan findes en sammenhæng mellem markoverskud og N-min analyser. N-min er et mål for, hvor meget mineralsk kvælstof (nitrat og ammonium), der findes i jorden, og N-min om efteråret antages ofte at udtrykke potentialet for kvælstofudvaskningen i den følgende vinter. Således er der udtaget N-min analyser på stationsmarker i LOOP 1 og 4 i oktober 2015, ved drænstationerne. Disse er sammenholdt med markbalancerne opgjort på baggrund af interviewdata på stationsmarkerne for høstår 2015. Det ses af tabel 8, at der ikke på disse marker kan ses nogen sammenhæng mellem markoverskud for 2015 og de udtagne N-min prøver fra efteråret 2015.

Tabel 8. Resultater af N-min prøver indsamlet i LOOP 1 og 4 efterår 2015, samt opgjorte markbalancer.

Stationsnr	Nmin kg/ha i 0-25 cm dybde	Markoverskud kg N/ha	Afgrøde	Udbytte i hkg
LOOP 1, dræn 103	67,2	-26	Vårbyg	82,5
LOOP 1, dræn 105	21,0	37,1	Vinterhvede	94,4
LOOP 1, dræn 107	60,2	18,3	Vinterhvede	102
LOOP 4, dræn 402	61,2	78,3	Vinterraps	4,5
LOOP 4, dræn 406	55,0	131	Vårbyg m. græsudlæg	69

5.2 N-min målinger og markoverskud, Saltø Å oplandet

5.2.1 Baggrund

Det er en udbredt opfattelse, at der er en sammenhæng mellem kvælstofoverskuddet på marken, jordens mineralske kvælstofindhold (N-min) og kvælstofudvaskningen fra marken. Det er også en udbredt opfattelse, at kvælstofudvaskningen afspejler sig i kvælstofkoncentrationerne i dræne. Fra tidligere undersøgelser ved vi dog, at sådanne sammenhænge ofte ikke kan findes på markniveau (Hansen et al., 2015). Man ved dog også, f.eks. fra landbrugets egne drænvandsundersøgelser, at drænvandskoncentrationer blandt andet afspejler dyrkningspraksis, hvis der ses på gennemsnit af et stort antal marker (Piil og Knudsen 2014). I dette kapitel er der lavet en analyse af, om der er en sammenhæng mellem markoverskud, jordens N-min indhold og de målte drænkonzentrationerne i Saltø Å oplandet, samt om de målte drænvandskoncentrationer har relation til N-min indhold eller markoverskud.

5.2.2 Datagrundlag

I alt er der taget drænprøver fra 10 dræn, hvor af 6 har kunnet prøvetages ved hver prøvetagningsdato.

For 8 af de dræn, der er prøvetaget, har det været muligt at indhente drænkort, og det topografiske drænopland er derfor kendt. Der er ikke lavet en nærmere analyse af drænoplandet, men i det flade lerede terræn, hvor alle marker i praksis er systemdræned, må det antages at drænoplandet stort set modsvarer drænenes topografiske opland.

Der er indhentet sædskifteoplysninger fra i alt 10 marker med 9 dræn. Ud fra oplysninger om gødskning og høstudbytte er kvælstofoverskuddet beregnet.

Der er taget N-min prøver i efteråret 2015 (oktober og november) på 9 af markerne, idet den ene mark, hvor der blev taget drænvandsprøver, først blev identificeret som egnet, efter N-min prøverne blev taget.

5.2.3 Resultater og diskussion

Undersøgelsens resultater fremgår af tabel 9. De gennemsnitlige drænvandskoncentrationer var 10,3 mg TN pr. liter og 9,2 mg nitrat-N pr. liter. Den laveste TN koncentration var 6,3 mg TN pr. liter ved mark 2, mens den højeste var på 15,6 mg total-N pr. liter. Nitrat-N udgør 85-93 % af TN i drænvandet i Saltø Å oplandet (kilde: målinger udført i GUDP-projektet *Emissionsbaseret areal- og kvælstofregulering*), og koncentrationen af TN og nitrat-N følger derfor hinanden tæt.

Sædskiftet er relativt ens. Alle marker er dyrket med enten vintersæd eller vinterraps, og forfrugten er også enten vinterraps eller vinterhvede. 8 marker var tilsået med vintersæd i vinterhalvåret, mens en henlå med stub og spildkorn forud for vårsåning af konserverærter.

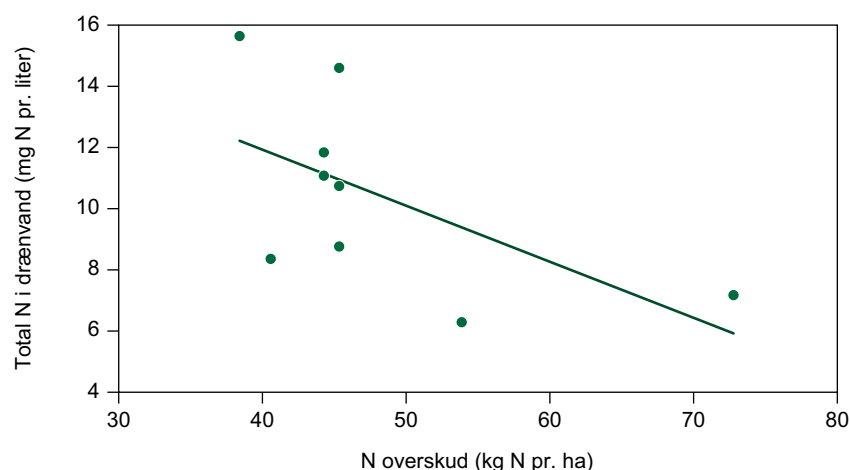
Det er ikke muligt at se en effekt af sædskiftet i drænvandskoncentrationerne. Koncentrationerne efter høst af raps er på samme niveau eller lidt lavere end hvad der ses i vintersæd. I landbrugets drænvandsundersøgelser har man omvendt set, at drænvandskoncentrationerne ofte er højere efter høst af raps end efter vintersæd, fordi rapsen har stor kvælstofeftervirkning (Piil og Knudsen, 2014). Det indsamlede datasæt har for få observationer til, at afgrødens påvirkning af drænvandskoncentrationen kan ses.

Tabel 9. Drænvandskoncentrationer, sædskifte, kvælstofoverskud og N-min. Saltø Å oplandet.

Mark	Total-N (mg N pr. liter)	Nitrat-N (mg N pr. liter)	Jordtype	Forfrugt	Afgrøde	Efterafgrøde	Næste års afgrøde	N-overskud (kg N pr. ha)	N-min Kg N pr. ha
1	15,6	13,8	JB 6	Vinterraps	Vinterhvede	Nej	Markært	38	51
2	6,3	5,9	JB 6	Vinterhvede	Vinterhvede	Nej	Vinterhvede	54	38
3	7,2	6,6	JB 6	Vinterhvede	Vinterraps	Nej	Vinterhvede	73	-
4	8,4	7,1	JB 6	Vinterhvede	Vinterhvede	Nej	Markært	41	53
5	8,4	7,5	-	-	-	-	-	-	78
6	10,7	9,6	JB 6	Vinterhvede	Vinterhvede	Nej	Vinterhvede	45	82
7	11,1	9,9	JB 6	Vinterhvede	Vinterraps	Nej	Vinterhvede	44	55
8	8,8	7,7	JB 6	Vinterhvede	Vinterhvede	Nej	Vinterhvede	45	82
9	11,8	10,6	JB 6	Vinterhvede	Vinterraps	Nej	Vinterhvede	44	55
10	14,6	12,9	JB 6	Vinterhvede	Vinterhvede	Nej	Vinterhvede	45	78

I figur 37 kan man se drænvandskoncentrationen (TN) plottet som funktion af markoverskuddet. Der er ingen sammenhæng mellem markoverskuddet og total-N koncentrationen og trendlinjen er drevet af et enkelt punkt med højt markoverskud og lav drænvandskoncentration. Hældningen for linjen er da heller ikke signifikant (lineær regression $t = -1,93$, $p > 0,05$).

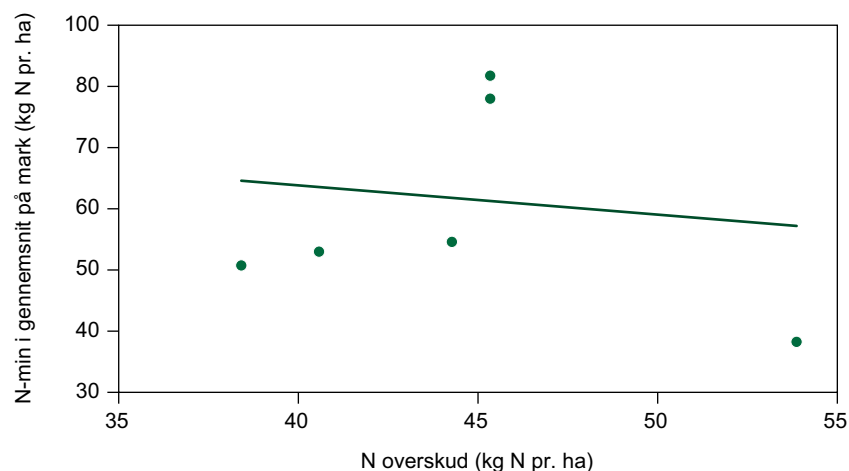
Figur 37. Sammenhæng mellem drænvandskoncentrationen (gennemsnit af to til tre prøvetagningstidspunkter) og markoverskuddet.



Der er heller ikke nogen sammenhæng mellem drænvandskoncentrationen og N-min på markniveau. Denne sammenstilling er vist i figur 38. Linjens hældning er ikke signifikant ($t = 2,1$, $p > 0,05$). Ikke alle dræne dræner en hel mark, men hvis kun de N-min transsektorer, der er placeret i drænenes opland, medtages, er der heller ikke nogen sammenhæng (data ikke vist, $t = 1,1$, $p > 0,05$).

Der er heller ikke nogen sammenhæng mellem det beregnede kvælstofoverskud og N-min ($t = 1,2$, $p > 0,05$).

Figur 38. Sammenhæng mellem drænvandskoncentrationen (gennemsnit af to til tre prøvetagningstidspunkter) og N-min på markniveau.



De manglende sammenhænge mellem drænvandskoncentrationen, N-min og kvælstofoverskud skyldes formentlig flere forhold. For det første afgøres drænvandskoncentrationen ikke kun af dyrkningspraksis, men særligt af den afstrømmende vandmængde, denitrifikation i jorden, opholdstiden inden vandet når drænet og evt. tilstrømning af reduceret vand fra dybere grundvand. Disse forhold er generiske for det enkelte dræn og påvirkes ikke af landmandens praksis. For det andet er jordens kvælstofpulje meget dynamisk, og jorden kan tilbageholde store mængder kvælstof under nogle forhold, mens der kan frigøres store mængder kvælstof under andre forhold. Derfor vil kvælstofoverskud i foregående høstår ofte kun give en dårlig forudsigtelse af udvaskningen fra en enkelt mark - og dermed af drænvandskoncentration.

Kvælstofudledningen fra dræn er i højere grad afgjort af afstrømningen fra drænet end af kvælstofkoncentrationen i drænvandet, og derfor beskriver kvælstofkoncentrationen ofte ikke kvælstofudledningen fra drænet. Hansen et al. (2015) har ydermere vist, at der ikke er nogen sammenhæng imellem N overskud og kvælstofudvaskning på markniveau. Man kan således heller ikke regne med at finde nogen sammenhæng mellem kvælstofoverskud og kvælstofudledningen fra dræn bestemt ved måling af både afstrømning og kvælstofkoncentration i drænet.

6 Referencer

Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Rolighed, J., Andersen, H.E., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2015: Landovervågningsoplande 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. – Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 164. <http://dce2.au.dk/pub/SR164.pdf>

Blicher-Mathiesen G., Grant R., Jensen C. og Nielsen H. (1990) Landovervågningsoplande - næringsstofudvaskning fra rodzonen. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1989. Danmarks Miljøundersøgelser, 1990. Faglig rapport fra DMU, nr. 6.

Bøgestrand, J. og Johansson, L. S., 2013. Vandløbskemi: prøvetagning, feltmålinger og -analyser. Teknisk anvisning B01 Version 1. DCE, Aarhus Universitet.

Ernsten, V., Olsen, P., Rosenbom, A. E., 2015. Long term monitoring of nitrate transport to drainage from three agricultural clayey till fields. *Hydrol. Earth. Syst. Sci.*, 19, 3475-3488

Hansen EM, Munkholm LJ, Olesen JE, Melander B (2015), Nitrate Leaching, Yields and Carbon Sequestration after Noninversion Tillage, Catch Crops, and Straw Retention. *J Environ Qual.* 44(3), pp. 868-81.

Hedeselskabet, 1989a. Landovervågningsoplandet Højvadsrende LOOP 1. Afleveringsrapport. H.U. Hedeselskabet, pp 23.

Hedeselskabet, 1989b. Landovervågningsoplandet Odder Bæk LOOP 2. Afleveringsrapport. H.U. Hedeselskabet, pp 22.

Hedeselskabet, 1989d. Landovervågningsoplandet Lillebæk LOOP 4. Afleveringsrapport. H.U. Hedeselskabet, pp 18.

Henriksen, H. J., 1987. Metoder til estimering af daglige vandføringer ved hjælp af enkeltmålinger. Hedeselskabet, Hydromteriske undersøgelser, beretning nr. 34, pp. 35.

Højberg A.L., Stisen, S., Olsen, M., Troldborg, L., Uglebjerg, T.B., Jørgensen, L.F. (2015) DK-model2014, Model opdatering og kalibrering. GEUS rapport 2015/8.

Kronvang, B., Kristiansen, S. M., Schelde, K., Børgesen, C. D., 2013. Udredningsprojekt vedrørende dræns betydning for afvanding – og de naturlige og menneskeskabte faktorer som influerer på dræns virke som vand-afleder fra marker. Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, pp. 47.

Lindhardt, B., Abildstrup, C., Vosgerau, H., Olsen, P., Torp, S., Iversen, B. S., Jørgensen, J. O., Plauborg, F., Rasmussen, P., and Gravesen, P., 2001. The Danish pesticide leaching assessment programme, Site characterization and monitoring design, GEUS, Copenhagen, Denmark.

Ovesen, N. B., 2011. Hydrometriske stationer, etablering, drift og vedligeholdelse. Teknisk anvisning B02, DCE Aarhus Universitet.

Piil og Knudsen (2014). Drænvandsundersøgelserne 2011-2014 – Resultater. Videncenteret for Landbrug.

Rubæk, G. H., Sørensen, P. (RED), 2011. Jordanalyser – kvalitet og anvendelse. DCA rapport 002. Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.

Bilag 1

Oversigt over, hvor mange direkte øjebliksmålinger af vandføringer (i LOOP oplandene 1 og 4) og vandprøver (i VAP oplande) der indgår i Qq-analyserne. Måned er angivet med månedsnummer.

LOOP1 antal målinger pr. måned													
Dræn 3							Dræn 5						
hydaar	1	2	3	11	12		hydaar	1	12	2	3	11	
2007/08	1	4	3	.	.		2006/07	2	1	.	.	.	
2008/09	4	3	3	1	2		2007/08	1	.	4	3	.	
2009/10	4	.	4	4	3		2008/09	4	2	4	4	1	
2010/11	4	3	5	4	3		2009/10	4	3	.	4	4	
2011/12	5	4	2	4	4		2010/11	4	3	4	5	4	
2012/13	1	0	1	2	2		2011/12	5	4	4	2	4	
2013/14	0	4	4	2	1		2012/13	1	2	1	1	3	
2014/15	3	4	4	3	5		2013/14	1	3	3	4	0	
2015/16	1	.	.	4	4		2014/15	2	5	3	5	3	
							2015/16	1	4	.	.	4	
Dræn 6							Dræn 7						
hydaar	1	2	3	11	12		hydaar	1	2	3	11	12	
2006/07	1	.	.	.	.		2007/08	3	4	3	.	.	
2007/08	3	4	3	.	.		2008/09	4	4	4	1	2	
2008/09	3	4	4	1	2		2009/10	4	.	3	3	3	
2009/10	4	.	4	3	3		2010/11	4	4	5	4	3	
2010/11	4	4	5	4	3		2011/12	5	4	2	4	4	
2011/12	5	4	2	4	4		2012/13	1	1	1	0	0	
2012/13	0	0	0	0	1		2013/14	0	4	4	0	0	
2013/14	0	4	4	0	2		2014/15	3	4	3	4	5	
2014/15	4	4	5	4	5		2015/16	.	.	.	3	4	
2015/16	1	.	.	5	4								

LOOP4 antal målinger pr. måned											
Dræn 2						Dræn 6					
hydaar	1	2	3	11	12	hydaar	1	2	3	11	12
1988/89	4	4	4	.	.	1988/89	4	4	4	.	.
1989/90	5	4	4	3	1	1989/90	5	4	4	3	1
1990/91	5	4	4	3	4	1990/91	5	4	4	4	4
1991/92	5	4	4	4	3	1991/92	5	4	3	3	2
1992/93	4	2	5	2	4	1992/93	4	3	5	4	4
1993/94	3	4	4	4	4	1993/94	3	3	4	4	4
1994/95	3	3	5	3	3	1994/95	2	4	5	4	3
1995/96	2	3	4	4	2	1995/96	3	2	3	4	3
1996/97	4	3	4	.	4	1996/97	4	4	4	.	4
1997/98	4	3	4	4	1	1997/98	4	3	4	4	3
1998/99	4	3	3	4	4	1998/99	4	3	3	4	4
1999/00	4	8	10	2	4	1999/00	4	8	10	2	4
2000/01	5	4	4	5	4	2000/01	5	4	4	5	4
2001/02	3	3	3	4	2	2001/02	3	3	4	4	2
2002/03	4	4	4	4	5	2002/03	4	1	3	4	5
2003/04	4	4	5	4	3	2003/04	4	4	5	4	3
2004/05	4	4	5	4	5	2004/05	4	4	5	4	5
2005/06	4	4	4	5	4	2005/06	4	3	4	5	4
2006/07	4	4	4	.	.	2006/07	4	4	4	.	.
2007/08	4	3	3	3	3	2007/08	4	3	3	3	3
2008/09	4	4	4	3	3	2008/09	4	4	4	3	3
2009/10	4	4	4	4	3	2009/10	4	4	4	4	3
2010/11	1	4	5	4	4	2010/11	2	4	4	4	4
2011/12	4	5	4	5	4	2011/12	4	5	4	5	4
2012/13	5	4	4	3	4	2012/13	5	4	4	3	4
2013/14	5	4	4	4	5	2013/14	5	4	3	4	5
2014/15	5	4	4	4	5	2014/15	5	4	4	4	5
2015/16	4	4	5	3	3	2015/16	3	4	5	3	3

VAP dræn antal målinger pr. måned											
Estrup						Faardrup					
hydaar	1	2	3	11	12	hydaar	1	2	3	11	12
2000/01	7	5	5	6	5	1999/00	4	4	4	4	5
2001/02	7	6	6	5	4	2000/01	5	4	4	1	2
2002/03	6	3	3	4	3	2001/02	4	4	4	4	4
2003/04	5	5	5	2	6	2002/03	5	4	3	2	4
2004/05	4	4	5	4	5	2003/04	2	3	5	.	.
2005/06	4	4	5	4	5	2004/05	4	4	5	4	5
2006/07	4	4	5	5	4	2005/06	.	3	5	.	.
2007/08	5	4	4	5	4	2006/07	5	4	4	3	4
2008/09	4	4	4	4	5	2007/08	5	4	4	5	4
2009/10	4	1	5	4	5	2008/09	1	4	4	.	1
2010/11	3	4	3	4	4	2009/10	.	.	5	.	.
2011/12	4	4	4	5	4	2010/11	4	4	5	4	5
						2011/12	4	5	4	4	4
Silstrup											
hydaar	1	2	3	11	12						
2000/01	4	3	2	6	8						
2001/02	5	4	3	5	3						
2002/03	4	3	3	4	2						
2003/04	4	5	5	1	5						
2004/05	4	2	4	4	5						
2005/06	4	4	4	3	5						
2006/07	4	4	4	5	4						
2007/08	5	4	4	.	4						
2008/09	3	2	2	4	2						
2009/10	1	1	5	4	5						
2010/11	4	3	4	4	2						
2011/12	4	3	1	.	4						

Bilag 2

Tabel B1. $Q_{\text{dræn}}-Q_{\text{dræn}}$ analyse i mellem LOOP 4 dræn 2 (benyttet som hovedstation) og dræn 6, udført på baggrund af alle tilgængelige øjebliksmålinger af vandføringerne (målingen må ikke være 0 og de skal være målt samme dag). Kun en $Q_{\text{dræn}}-Q_{\text{dræn}}$ relation er opstillet for hvert år, da alle tilgængelige målinger er benyttet, og dermed kan der ikke laves forskellige kombinationer, som ved brug af kun 3 og 5 vandføringsværdier.

År (nov-mar)	Afvigelse af den simulerede afstrømning i dræn 6 fra den QH-beregnete afstrømning i dræn 6 (%)
1990/91	-24.131
1991/92	-31.659
1992/93	34.861
1993/94	-14.635
1994/95	-21.134
1995/96	
1996/97	-21.844
1997/98	32.927
1998/99	-36.278
1999/00	5.676
2000/01	48.790
2001/02	-21.629
2002/03	108.797
2003/04	-57.318
2004/05	-27.004
2005/06	140.544
2006/07	-10.721
2007/08	-23.149
2008/09	54.381
2009/10	-6.738
2010/11	60.137
2011/12	105.251
2012/13	132.567
2013/14	-1.781
2014/15	96.990

PROJEKT OM MÅLING AF NITRAT I DRÆN OG VANDLØB

Rapporten beskriver resultaterne af en analyse af mulighederne for at udvikle et screeningsværktøj til estimering af drænvandsafstrømning. Analysen er primært baseret på eksisterende data, men der indgår også data fra DK-modellens afstrømningsestimater, nye drænvandføringsmålinger og supplerende N-min målinger.

ISBN: 978-87-7156-212-5
ISSN: 2244-999X