

Homogenitetsbrud og potentielle fejl i nedbørsdata

Eksempler på konsekvenser for myndighedsbetjeningen

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 21 August 2020 | 51



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Homogenitetsbrud og potentielle fejl i nedbørsdata
Undertitel: Eksempler på konsekvenser for myndighedsbetjeningen

Redaktion: Lars M. Svendsen og Signe Jung-Madsen
Forfatter(e): Se under hvert kapitel
Institution(er): se under hvert kapitel

Faglig kommentering: Se under hvert kapitel
Kvalitetssikring, DCE: Susanne Boutrup (indledning), Lars Moeslund Svendsen (kapitel 2 og 3) Signe Jung-Madsen (kapitel 4)

Ekstern kommentering: Ikke relevant

Rekvirent: Ingen ekstern finansiering

Bedes citeret: Svendsen, L.M. & Jung-Madsen, S. (red.) 2020. Homogenitetsbrud og potentielle fejl i nedbørsdata. Eksempler på konsekvenser for myndighedsbetjeningen. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 28 s. -- Fagligt notat nr. 2020|51
https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet_2020/N2020_51.pdf

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: Colorbox

Sideantal: 28

Indhold

1	Indledning	4
2	Homogenitetsbrud i nedbørsdata	6
2.1	Baggrund	6
2.2	Sammenstilling af nedbørsdata og afstrømningsdata	6
2.3	Korrigeret nedbør vs. vandløbsafstrømning	7
2.4	Ukorrigeret nedbør vs. vandløbsafstrømning	7
2.5	Beregning af oplandsfordampning	10
2.6	Anvendelse af nedbør i hydrologiske modeller	10
2.7	Konsekvenser af homogenitetsbrud i nedbørstidsserier	12
2.8	Konklusioner	13
3	Betydning af inhomogenitet i nedbørstidsserie i forbindelse med den nationale retentionskortlægning og vurdering af den kvantitative grundvandstressource	14
3.1	Baggrund	14
3.2	Anvendelse og betydning af nedbør i retentionskortlægningen	15
3.3	Anvendelse og justering af nedbør	15
3.4	Vurdering på betydningen af skift i nedbørsdata for beregning af N-retentionskort	16
3.5	Betydning af nedbørskorrektion i forbindelse med kvantitativ tilstandsvurdering (basisanalysen)	17
3.6	Betydning af nedbørskorrektion i forbindelse med VandWeb	18
4	Betydning af homogenitetsbrud i nedbørsdata for udvaskning og afstrømnings- vægtet nitratkoncentration opgjort i Landovervågningen	19
4.1	Baggrund	19
4.2	Sammenligning af gridnedbør og målt afstrømning i LOOP oplande	20
4.3	Sammenligning af nedbør målt på DMI's målestationer og målt afstrømning i LOOP oplande	22
4.4	Betydning af nedbør og perkolation for NLES5 modelberegnet udvaskning	26
5	Referencer	28

1 Indledning

Forfatter: Lars M. Svendsen og Signe Jung-Madsen, DCE Aarhus Universitet

AU og GEUS anvender nedbørsdata fra DMI blandt andet i forbindelse med en række forskningsbaserede myndighedsopgaver. Ud over de nedbørsdata DMI direkte måler, har DCE også købt såkaldte korrigerede nedbørsdata, hvor DMI beregner den mængde nedbør, der faktisk når ned på jordoverfladen (på døgnbasis) samt griddata, hvor DMI beregner nedbørsmængder for 10 km gange 10 km grid, som dækker hele landet.

DCE og GEUS er blevet opmærksomme på, at de målte og korrigerede nedbørsdata der købes af DMI, sandsynligvis er fejlbehæftede. Dette blev drøftet på et møde mellem DMI, GEUS og AU (DCE og DCA) den 1. juli 2020. På mødet sandsynliggjorde DCE sammen med GEUS at nedbøren efter 2010 har været underestimeret og at DMI's nedbørsdata har et homogenitetsbrud mellem perioderne 1990-2010 og 2011-2019.

Nærværende notat giver indledningsvis en beskrivelse af den inhomogenitet, der er observeret i produkter ved anvendelse af DMI's nedbørsdata. De efterfølgende kapitler indeholder eksempler på nogle af de analyser, der lå til grund for DCE's og GEUS' mistanke om et homogenitetsbrud i nedbørstidsserien (korrigerede som målte nedbørsdata). Endvidere er der eksempler på, hvilke produkter fra DCE og GEUS, der laves som en del af den forskningsbaserede myndighedsbetjening, og som er påvirket heraf.

DMI har gradvist ændret på deres nedbørsstationsnet. I starten af 1990'erne havde DMI ca. 500 nedbørsstationer, men det blev reduceret til knap 150 i slutningen af 2000'erne. I løbet af 2011 havde DMI renoveret hele deres nedbørsmålernet og udskiftet den målerstype, som var anvendt frem til og med 2010 med 3 nye modeller. Det nye nedbørsstationsnet består af 60 automatiske Pluvio2-målere, 40 synopstationer samt ca. 130 målere fra Spildevandskomiteen.

Samtidig med anvendelse af andre typer af nedbørsmålere ændrede DMI metoden til beregning af korrigeret nedbør, så den blev tilpasset de tre måletyper, der anvendes efter 2010. Blandt andet korrigeres der efter 2010 ikke længere for fordampningstab (wetting-tab). Dette medførte, at hvor DMI frem til og med 2010 i gennemsnit korrigerede den målte årsnedbør med ca. + 15%, har korrektioner fra 2011 årligt i gennemsnit været ca. + 9%.

I følge DMI betød reduktionen i antal målere, at netværket gik fra at være forholdsvis homogent til mere inhomogent med målere geografisk placeret i klumper omkring større danske byer. Der er nu relativt få nedbørsmålere i den centrale del af Jylland, Fyn og Sjælland (hvor det regner mest) og flest tættere på kysten (hvor det regner mindst). De fleste store byer med mange målere ligger ved kysterne. I de centrale dele af landet, hvor der falder mest nedbør, er der primært opstillet Pluvio2-nedbørsmålere, for hvilke korrektionsfaktorerne til beregning af den korrigerede nedbør i følge DMI notat af 6. august 2020¹ bør revurderes, hvilket skal ske ud fra resultater fra et nyligt afsluttet forskningsprojekt.

¹ DMI 6. August 2020. DMI's nedbørsdata. Notat til Miljøstyrelsen, 4 sider

Miljøstyrelsen har ønsket, at DCE ved beregning af kvælstof- og stofafstrømningen fra de godt 35% af landets areal, der ikke er dækket af målinger (umålte oplande) fra 2019 skulle baseres på simulerede vandmængder fra den seneste version af Den Nationale Vandressource Model (DK-model). GEUS udarbejdede en revideret DK-model i 2018-2019 under et projekt finansieret af Miljøstyrelsen, hvori den dynamisk korrigerede nedbør fra DMI blev anvendt. Indtil da havde DCE beregnet vandafstrømningen for umålt opland ved hjælp af en relation imellem afstrømningen ved en referencevandføringsstation og afstrømningen for det pågældende umålte opland beregnet med en gammel version af DK-modellen (DK-model 2005). Relationen blev anvendt til simulering af vandafstrømning fra umålte oplande ud fra målinger fra referencevandføringsstationer. Stoftilførslerne, med vandmængder fra DK-modellen, blev i 2019 beregnet for hele perioden 1990-2018 og publiceret primo 2020. GEUS og DCE sammenholdt beregnede og målte vandføringer for perioderne 1990-2010 samt 2011 og frem med målte og korrigerede nedbør i de samme perioder. Herved fik GEUS og DCE en mistanke om, at der tilsyneladende var et brud i tidsserien mellem perioden 1990-2010 og 2011 og frem. På baggrund heraf, valgte GEUS i et forsøg på at skabe konsistens i korrektionsniveauet, selv at beregne den korrigerede nedbør for perioden 2011-2018, til anvendelse i deres DK model og anvende den korrektionsmetode, som DMI havde anvendt frem til og med 2010 på målt nedbør fra 2011 og frem, men det fjernede ikke brud i tidsserien. Analysen af relationen mellem nedbør og vandføring, sandsynliggjorde at der er et homogenitetsbrud i både de målte og korrigerede nedbørsdata fra DMI.

Da udvaskningen af næringsstoffer afhænger af nedbørsmængden, betyder det f.eks., at den del af næringstoftransporten, der er baseret på modellering, potentielt kan være underestimeret, hvis nedbøren er underestimeret. Et homogenitetsbrud i nedbørstidsserien vurderes derfor, at kunne have konsekvenser for flere produkter, DCE og GEUS leverer til MFVM, herunder stoftilførsler til havet, rapporteringer til EU og havkonventioner samt input til Miljø- og Fødevarerministeriets vandområdeplaner.

2 Homogenitetsbrud i nedbørsdata

Forfattere: Hans Thodsen¹, Henrik Tornbjerg¹, Mette Vodder Carstensen¹, Niels Bering Ovesen¹,

Faglig kvalitetssikring: Hans Estrup Andersen¹

¹*Institut for Bioscience, Aarhus Universitet.*

2.1 Baggrund

Dette kapitel indeholder en analyse af, hvorvidt DMIs griddede nedbør har et homogenitetsbrud² omkring årsskiftet 2010-2011, hvor der sker en række ændringer i metoden til opgørelse af nedbøren og en udskiftning af målertypen. Både DMIs ukorrigerede og korrigerede 10x10 km griddede nedbør analyseres. Den ukorrigerede nedbør (rå måleværdier) korrigeres for at kompensere for, at en del nedbør ikke opsamles af måleren. Specielt i tilfælde hvor nedbøren falder, mens det blæser, eller nedbøren falder som sne/slud, er der brug for korrektion. Analysen af et evt. homogenitetsbrud foretages ved at sammenstille nedbøren med målte vandafstrømninger i vandløb for tre perioder med en længde på ca. 10 år, 1990-2000, 2001-2010 og 2011-2019 for 20 større vandløbsoplande fordelt over hele landet. Vandafstrømningen afhænger i høj grad af nedbøren og kan således anvendes til at analysere for et homogenitetsbrud.

Nedbøren indgår som en drivende parameter i fx. beregningen af den årlige vandafstrømning til havet samt i opgørelsen af kvælstof- og fosfortilførslen til havet. Dette sker dels igennem en empirisk modellering af totalkvælstof- og totalfosforkoncentrationer fra den del af Danmark, der ikke ligger opstrøms en vandløbsmålestation (har været godt 35% af landet) samt yderligere ca. 10%, der kun er målt en del af tiden siden 1990, hvor analysen strækker sig tilbage til, og dels igennem modellering af vandafstrømningen fra den umålte del af landet. Tilførslen af vand, kvælstof og fosfor rapporteres årligt igennem NOVANA-rapporterne, fx. Vandløb 2018 (<https://dce2.au.dk/pub/SR353.pdf>)..

2.2 Sammenstilling af nedbørsdata og afstrømningsdata

Nedbør fra hhv. før og efter metodeskiftet mellem 2010 og 2011 er sammenstillet med vandføringsdata fra 20 vandløbsmålestationer. Set over lange perioder (fx 10 år) vil der være god sammenhæng imellem nedbøren og vandafstrømningen i et vandløbsopland. Det skal understreges, at der i sammenligningen udelukkende er tale om måledata; der indgår altså ikke modelberegninger (alle anvendte vandafstrømningsmåledata er tilgængelige igennem <https://odaforalle.au.dk/>). De to datasæt er endvidere målt uafhængigt af hinanden. Under forudsætning af, at der ikke er sket ændringer i måling af vandføring, der systematisk har påvirket den målte vandføring, er det derfor muligt at teste, om der er homogenitetsbrud i nedbørstidsserien. Hvis der ses

² Med homogenitetsbrud menes et spring i niveauet for nedbøren, som skyldes en ændring i metoden til opgørelsen af denne på et givent tidspunkt. Metoden kan fx være ændret måleudstyr, ændret måletæthed, ændret metode til gridning af data, ændret korrektionsmetode eller en kombination af flere faktorer.

et skift i sammenhængen mellem nedbør og vandløbsafstrømningen hhv. før og efter årsskiftet 2010-2011, er det en stærk indikation af, at der forekommer homogenitetsbrud i nedbørs-tidsserien.

Det er tidligere undersøgt, bl.a. igennem interkalibreringer, om måling af vandføring i vandløb udviser homogenitetsbrud som følge af skiftende Qh-kurver (sammenhæng mellem vandføring og vandstand på en hydrometristation), flytning af målestationer eller anvendelse af forskellige måleinstrumenter. Det er generelt ikke tilfældet, men vandføringsdata må antages at have en usikkerhed på omkring 5%. Vandløbsstationer med kendte homogenitetsbrud, fx i form af fysiske ændringer omkring målestationen, er udeladt. For de 20 udvalgte hydrometristationer gælder, at de har været målt efter samme metode (Qh) igennem hele perioden, at stationerne ikke har været flyttet, samt at der måles på større vandløb. Generelt er usikkerheden på hydrometriske målinger mindre i store vandløb end i små.

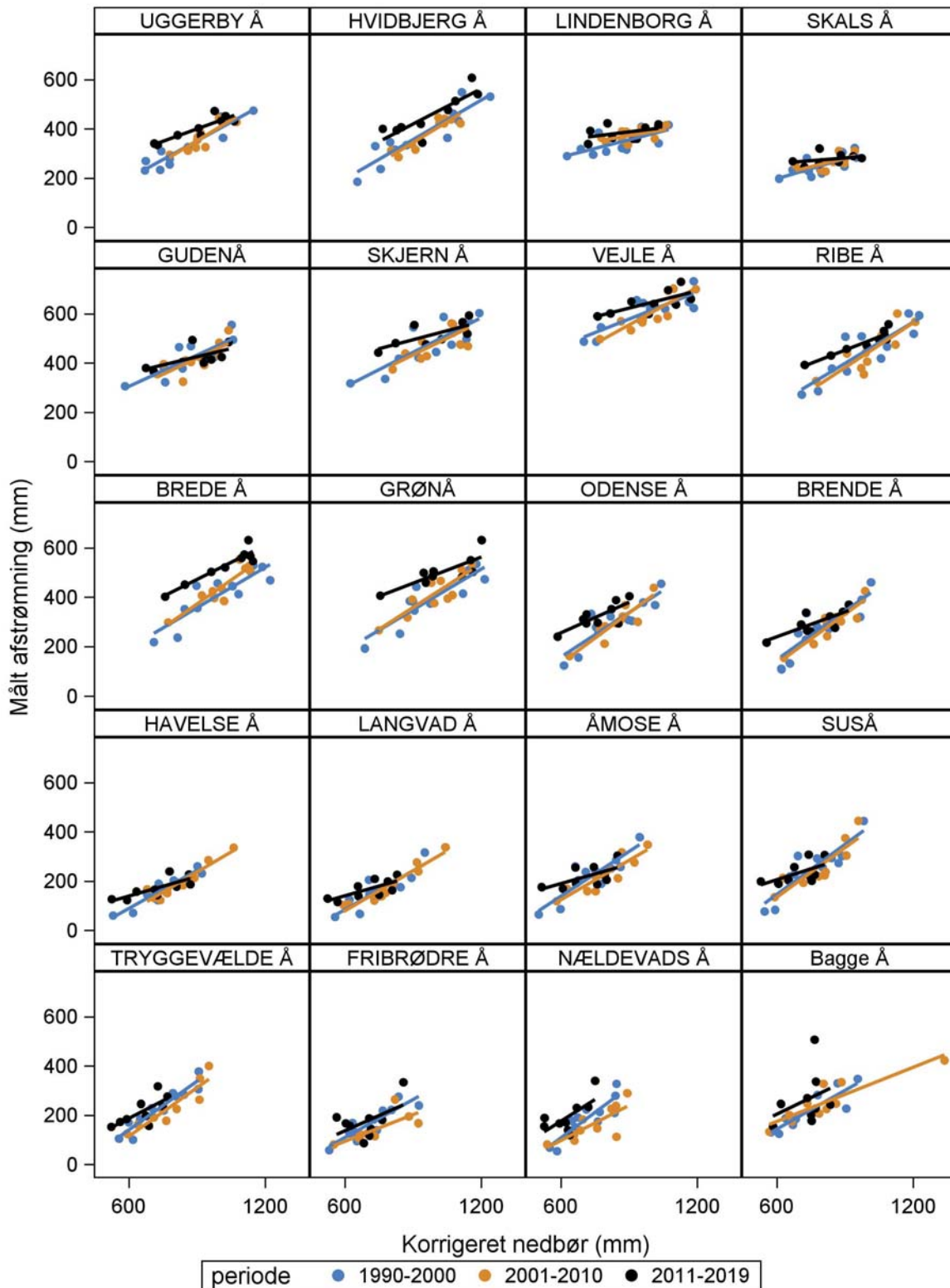
Der ligger i det følgende ingen stillingtagen til, om perioden før eller efter årsskiftet 2010 til 2011 har den "mest rigtigt" opgjorte grid-nedbør.

2.3 Korrigeret nedbør vs. vandløbsafstrømning

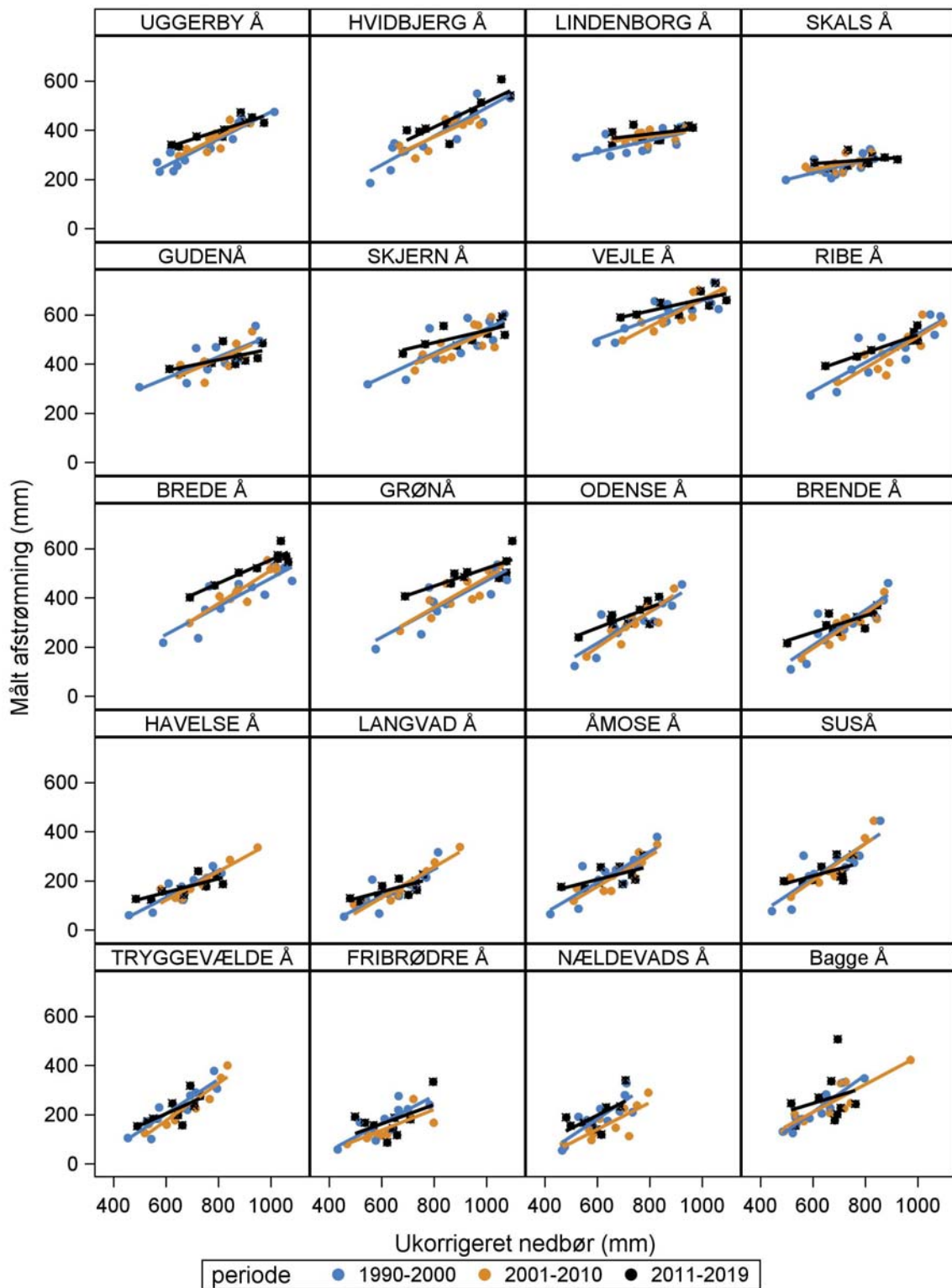
Den korrigerede årlige 10x10 km grid-nedbør er plottet imod den målte vandløbsafstrømning for en række oplande fordelt over hele landet i Figur 1. Der er fittet tre linjer igennem de plottede punkter for hhv. perioderne 1990-2000, 2001-2010 og 2011-2019. Det ses generelt, at linjerne for de to første perioder ligger tæt sammen, mens linjen for den sidste periode ligger for sig selv over de to øvrige. I de fleste tilfælde ses det, at en given afstrømning er associeret med en lavere nedbør i perioden 2011-2019 end i de tidligere perioder. Dette indikerer, at nedbøren i den sene periode er relativt lavere i forhold til de tidligere perioder. Dog er der specielt for østdanske oplande en tendens til, at linjerne samles/krydser for år med høj afstrømning/nedbør. Hældningen på linjen for 2011-2019 er mange steder lavere end for de to øvrige perioder.

2.4 Ukorrigeret nedbør vs. vandløbsafstrømning

Den ukorrigerede årlige nedbør fra 10x10 km grid er plottet imod den målte vandløbsafstrømning for en række oplande fordelt over hele landet (Figur 2). Der er fittet tre linjer igennem de plottede punkter for hhv. perioderne 1990-2000, 2001-2010 og 2011-2019. Det ses for de jyske og fynske oplande, undtagen 21000084 Gudenåen, at linjerne for de to tidlige perioder ligger tæt, mens linjen for perioden 2011-2019 ligger for sig selv over de to andre. For Sjælland er forskellen mindre og den sorte linje (2011-2019) ses flere steder at krydse linjerne fra de to øvrige perioder. Mønsteret er næsten det samme, som ses i Figur 1.



Figur 1. Plots mellem korrigeret 10x10 km grid-nedbør (DMI) og målt vandafstrømning for oplande, som geografisk dækker Danmark. ODA database nr: 3000003 Uggerby å Vendsyssel, 11000011 Hvidbjerg å i Thy, 14000022 Lindenberg å i Himmerland, 18000077 Skals å, Løvel Bro Himmerland, 21000084 Gudenå ved Tvillum, 25000082 Skjern å Midt og Vestjylland, 32000001 Vejle å Haraldskær, 38000024 Ribe å Sydjylland, 40000001 Brede å, Sønderjylland, 42000016 Grøn å Sønderjylland, 45000003 Odense å Fyn, 46000001 Brende å Fyn, 52000029 Havelse å Nordsjælland, 52000068 Langvad å Nordsjælland, 55000018 Åmose Vestsjælland, 57000058 Suseåen Sjælland, 59000006 Tryggevælde å Sydøstsjælland, 61000013 Fribrødre å Falster, 64000025 Nældevads rende Lolland, 66000014 Bagge Å Bornholm.



Figur 2. Plots mellem ukorrigeret 10x10 km grid-nedbør (DMI) og målt vandafstrømning for oplande, som geografisk dækker Danmark. ODA nr: 3000003 Uggerby å Vendsyssel, 11000011 Hvidbjerg å i Thy, 14000022 Lindenberg å i Himmerland, 18000077 Skals å, Løvel Bro Himmerland, 21000084 Gudenå ved Tvillum, 25000082 Skjern å Midt og Vestjylland, 32000001 Vejle å Haraldskær, 38000024 Ribe å Syddjylland, 40000001 Brede å, Sønderjylland, 42000016 Grøn å Sønderjylland, 45000003 Odense å Fyn, 46000001 Brende å Fyn, 52000029 Havelse å Nordsjælland, 52000068 Langvad å Nordsjælland, 55000018 Åmose Vestsjælland, 57000058 Suseåen Sjælland, 59000006 Tryggevælde å Sydøstsjælland, 61000013 Fribrødre å Falster, 64000025 Nældevads rende Lolland, 66000014 Bagge Å Bornholm.

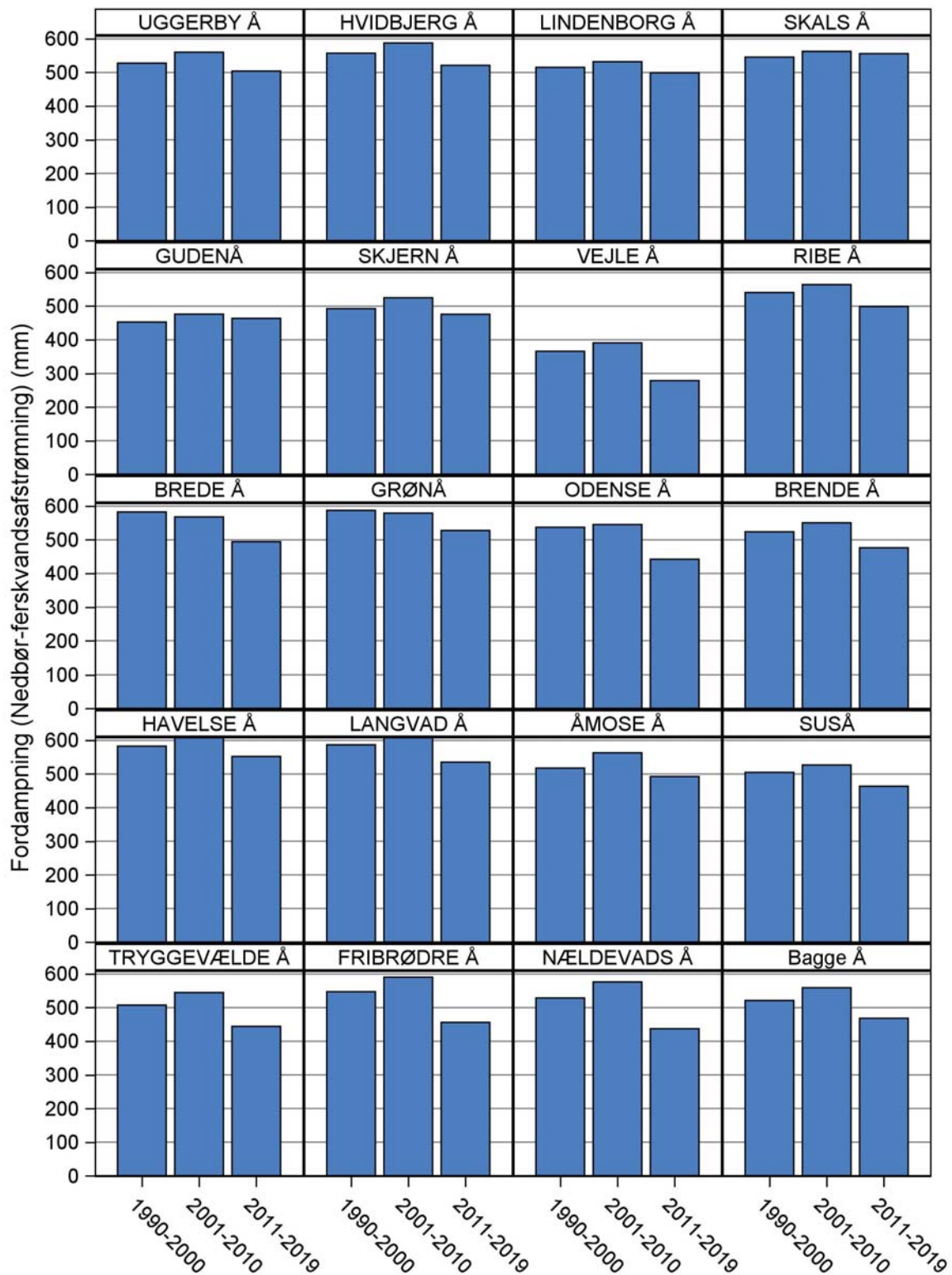
2.5 Beregning af oplandsfordampning

Oplandsfordampningen, beregnet som: *korrigeret 10x10 km grid-nedbør (mm) – målte vandløbs-vandafstrømning (mm) = oplandsfordampning (mm)*, er beregnet for en række oplande for tre perioder, Figur 3. I 16 af 20 oplande ses det tydeligt, at oplandsfordampningen falder i den sidste periode 2011-2019 i forhold til de to øvrige perioder. Forskellen er generelt i størrelsesordenen 50-100 mm/år. Til sammenligning kan det nævnes, at DMIs griddede beregning af potentiel fordampning (Makkink metoden) beregnet for hele landet giver en forøget fordampning igennem perioden, 1990-2000 (587 mm), 2001-2010 (623 mm) og 2011-2019 (633 mm).

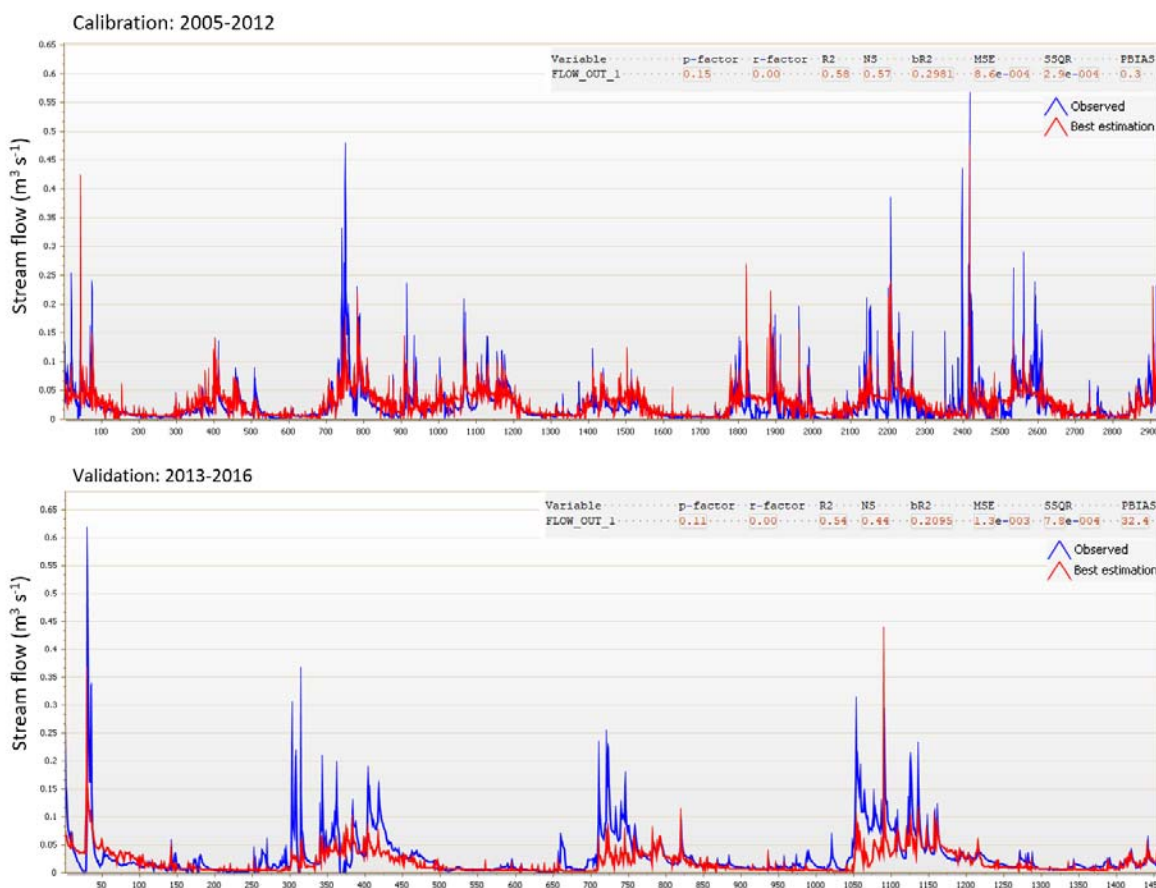
Der ses mindre forskelle imellem de to tidlige perioder og perioden 2011-2019 for stationerne 14000022, 18000077, 21000084 og til dels 25000082 end for de øvrige stationer (Figur 3). Disse oplande er alle placeret i Himmerland eller den centrale del af Midtjylland. Andre dele af landet fx Sydjylland, Fyn og Lolland Falster har relativt store forskelle i oplandsfordampningen imellem de hhv. de to første perioder og perioden 2011-2019. Der ses således nogen geografisk variation. Den geografiske variation ses også i Figur 1 og Figur 2.

2.6 Anvendelse af nedbør i hydrologiske modeller

Hydrologiske modeller har nedbør som den vigtigste drivparameter, derfor er hydrologiske modeller sårbare over for homogenitetsbrud. Omvendt kan hydrologiske modeller også afsløre homogenitetsbrud, da parameteriseringen af modellen er den samme over en hel simuleringsperiode. I Figur 4 ses et eksempel fra den hydrologiske model SWAT, hvor kalibreringen er foretaget på perioden 2005-2012, og valideringen på 2013-2016 (eksemplet er ikke lavet med det formål at vise homogenitetsbrud i nedbør, derfor er skiftet imellem de to perioder ikke 2010-2011). Forskellen imellem observeret og simuleret vandløbsafstrømning er 0,3% for kalibreringsperioden 2005-2012, mens den simulerede vandafstrømning er 32% lavere end den observerede for perioden 2013-2016. Det er AU's erfaring fra opsætning af talrige hydrologiske modeller, at perioden før og efter 1/1 2011 giver forskellige kalibrerings- og valideringsresultater.



Figur 3. Oplandsfordampning (10x10 km korrigeret nedbør – målte vandløbsafstrømning) beregnet for en række oplande geografisk dækkende Danmark. ODA nr: 3000003 Uggerby å Vendsyssel, 11000011 Hvidbjerg å i Thy, 14000022 Lindenberg Å i Himmerland, 18000077 Skals å, Løvel Bro Himmerland, 21000084 Gudenå ved Tvillum, 25000082 Skjern å Midt og Vestjylland, 32000001 Vejle å Haraldskær, 38000024 Ribe å Sydjylland, 40000001 Brede å, Sønderjylland, 42000016 Grøn å Sønderjylland, 45000003 Odense å Fyn, 46000001 Brende å Fyn, 52000029 Havelse å Nordsjælland, 52000068 Langvad å Nordsjælland, 55000018 Åmose Vestsjælland, 57000058 Suseåen Sjælland, 59000006 Tryggevælde å Sydøstsjælland, 61000013 Fribrødre å Falster, 64000025 Nældevals rende Lolland, 66000014 Bagge Å Bornholm.



Figur 4. Kalibrerings- og valideringsplot for SWAT-model, hvor der ses en tydelig forskel i modelleret vandmængde før og efter 2010-2011. Vandbalancefejlen, dvs. forskellen mellem observeret og modelberegnet vandføring, for 2005-2012 er 0,3% mod 32% for 2013-2016. Blå kurve: målt vandføring, rød kurve: modelberegnet vandføring.

2.7 Konsekvenser af homogenitetsbrud i nedbørstidsserier

I den årlige beregning af kvælstof- og fosfortilførslen til havet indgår den ukorrigerede nedbør som modelparameter i beregningen for umålt opland (dvs. områder der ikke er dækket af en målestation, hvilket gælder for godt 35% af landets areal, hertil kommer ca. 10% som ikke er målt i hele perioden 1990-2019). Ved et homogenitetsbrud i nedbørs-tidsserien introduceres således en kunstig trend i den beregnede kvælstof- og fosfortilførsel til havet. Den opgjorte kvælstoftilførsel til havet har fx betydning for regulering af landbruget og har stor politisk bevågenhed. Vi har ikke fuldt overblik over, hvad et homogenitetsbrud i nedbøren på fx 50 mm/år betyder for opførelsen af kvælstof-/ fosfortilførslen til havet fra den umålte del af landet, men det kan være betydeligt. Der foretages en trend- og bias-korrektion af de modellerede værdier for vandafstrømning, og bias-korrektion af kvælstof- og fosfortilførsel. Ved bias-korrektionen³ justeres de modelberegne værdier ved at sammenholde dem med målte værdier fra målte oplande. Bias-korrektionen vil i nogen grad kompensere for homogenitetsbruddet i nedbøren.

³ Biaskorrektion er at modellerede værdier korrigeres på basis af sammenligning med observerede værdier. Dette gøres for, at kompensere for generelle model fejl. Trend korrektion foretages for, at sikre at modellerede værdier og observerede værdier har sammenlignelig udvikling igennem tid. Trend korrektion foretages før bias korrektion.

Til vandplanerne beregnes indsatsbehov for både marine områder og søer ud fra opgørelser af næringsstofftilførsler. Næringsstofftilførslerne er ofte helt eller delvist beregnet med empiriske modeller, hvor nedbøren indgår som drivparameter (der vil næsten altid være en del af oplandet, der er umålt). Et homogenitetsbrud i nedbørstidsserien har således potentielt betydning for det beregnede indsatsbehov i søer og marine områder.

Nedbørstidsserier anvendes hyppigt i hydrologiske og økologiske modeller (fx for søer) samt i beregninger af næringsstofftab i både forsknings- og myndighedsbetjeningsammenhæng. Det er således meget uheldigt, hvis nedbørsdata har homogenitetsbrud, der giver kunstige trends.

2.8 Konklusioner

For den korrigerede nedbør fra 10x10 km grid sammenstillet med vandløbsafstrømningen ses der et skifte i sammenhængen mellem perioden 2011-2019 og perioderne 1990-2000 og 2001-2010. Dette viser, at der med stor sandsynlighed introduceres et homogenitetsbrud i tidsserien for korrigeret nedbør mellem 2010 og 2011.

For den ukorrigerede nedbør fra 10x10 km grid sammenstillet med vandløbsafstrømningen ses det, at de to perioder 1990-2000 og 2001-2010 ligner hinanden, mens perioden fra 2011 ser ud til at have en relativt lavere nedbør (dvs. højere afstrømning ved samme nedbør). Der er således med stor sandsynlighed også et homogenitetsbrud i tidsserien for ukorrigeret nedbør.

Nedgangen i den beregnede oplandsfordampning (nedbør - afstrømning) i perioden 2011-2019 sammenlignet med de to tidligere perioder indikerer, at den korrigerede nedbør ikke er sammenlignelig perioderne imellem.

Eksemplet på kalibrering og validering af en hydrologisk model indikerer ligeledes et homogenitetsbrud omkring 2010-2011, da vandbalancefejlen er markant større for perioden efter 2011. Simuleringen indikerer, at nedbøren (såvel ukorrigeret som korrigeret) er relativt lavere efter 2011.

Eksemplet på kalibrering og validering af en hydrologisk model indikerer ligeledes et homogenitetsbrud omkring 2010-2011, da vandbalancefejlen er markant større for perioden efter 2011. Simuleringen indikerer, at nedbøren (såvel ukorrigeret som korrigeret) er relativt lavere efter 2011.

Sammenstillingen mellem vandafstrømningen og hhv. ukorrigeret og korrigeret nedbør viser sammenlignelige mønstre, og at det indikerede homogenitetsbrud findes i både ukorrigerede og korrigerede nedbørsdata.

Der ses regionale forskelle i størrelsen af homogenitetsbruddet.

Homogenitetsbrud på nedbørstidsserierne giver kunstige trends/knækpunkter i modellerede tidserier af vandafstrømning og næringsstofftilførsler til søer og hav og har således potentielt indflydelse på vandplanernes indsatsbehov.

3 Betydning af inhomogenitet i nedbørstids-serie i forbindelse med den nationale retentionskortlægning og vurdering af den kvantitative grundvandstressource

Forfattere: Anker L. Højberg¹, Lars Trolborg¹, Hans Jørgen Henriksen¹, Hans Thodsen², Henrik Tornbjerg², Christen Duus Børgesen³

¹GEUS

²Aarhus Universitet, Institut for Bioscience

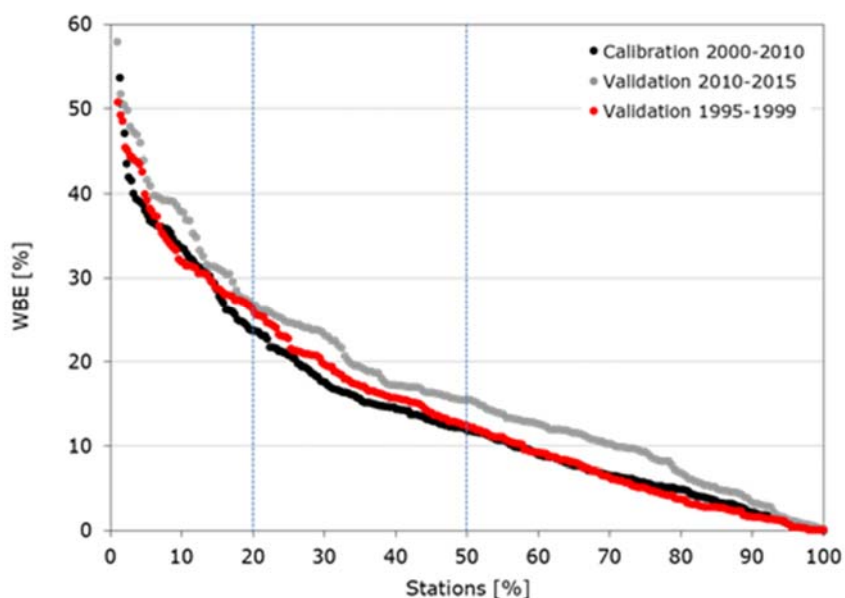
³Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi

Faglig kvalitetssikring: Simon Stisen¹

3.1 Baggrund

Ved anvendelse af vandafstrømningen fra DK-modellen til beregning af kvælstof- og stofafstrømningen fra de godt 35% af landets areal, der ikke er dækket af målinger (umålte oplande), blev der lavet en detaljeret sammenstilling af simulerede og målte vandføringer ved vandløbsstationer. Denne analyse, der blev gennemført i 2018, indikerede et skift i modellens evne til at beskrive vandføringerne, med en generel underestimering af den simulerede vandføring for perioden efter 2011. Dette var i overensstemmelse med tidligere erkendelser fra kalibrering af modellen, hvor der blev fundet et spring i DK-modellen performance for perioden efter 2011. Dette er illustreret i Figur 1, der viser den absolutte vandbalancefejl mellem observeret og simuleret vandføring for 306 vandføringsstationer opgjort for tre perioder 1) 1995-1999, 2) 2000-2010 og 3) 2010-2015. Som det fremgår af Figuren, er modellens performance næsten identisk for kalibreringsperioden (2000-2010) og den tidligere valideringsperiode (1995-1999), mens der er en større fejl i valideringsperioden 2010-2015.

Figur 1. Performance af den nationale vandressourcemodel udtrykt ved samlet absolutte vandbalancefejl (WBE) og opgjort for perioderne 1995-1999, 2000-2010 og 2010-2015.



3.2 Anvendelse og betydning af nedbør i retentionskortlægningen

I projektet om opdatering af nationalt N-retentionskort, anvendes nedbørsdata i forbindelse med 1) beregning af kvælstof (N) udvaskningen fra rodzonen, og 2) beregning af grund- og overfladevandstrømninger med DK-modellen.

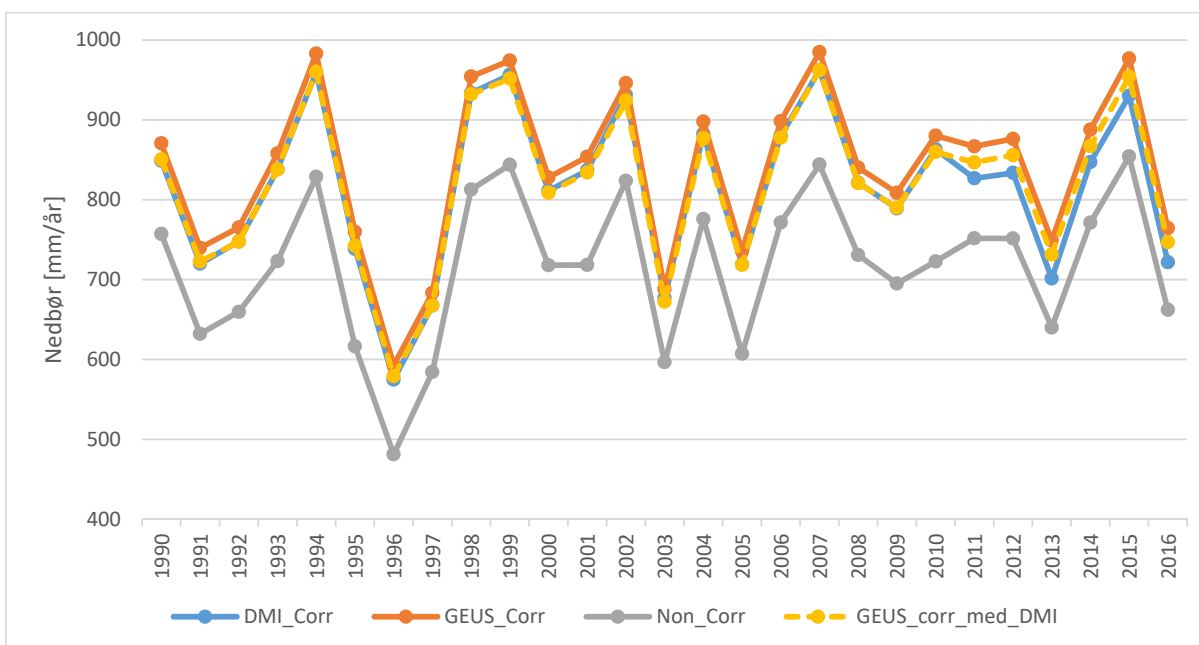
En af de vigtigste drivende variable for bestemmelsen af N-udvaskningen er det aktuelle klima, hvor udvaskningen vil forøges med øget nedbør. N-udvaskningen øges proportionalt mere ved lave afstrømninger end ved høje afstrømninger – hvilket medfører, at en konstant underestimering af nedbøren (i mm/år) vil resultere i, at udvaskningen i øst Danmark underestimeres mere, end i det mere nedbørsrige Vestdanmark. Da jordtyper er koblet til øst Danmark og vest Danmark vil denne effekt også have betydning for retentionsopgjort for jordtyperne.

Det aktuelle klimainput har betydning for vandets transportveje herunder fordelingen mellem vand der strømmer af overfladenært, såsom dræning, og vand der transporteres til de dybere grundvandslag. Netop vandets transportveje har stor betydning i forhold til estimering af, hvor meget kvælstof der bliver omsat i undergrunden, da kvælstof kun omsættes i reducerede miljøer, der primært optræder i de dybere jordlag. Klimainput vil ligeledes have betydning for afstrømningen i vandløb, hvilket påvirker den beregnede N-koncentration i vandløbene samt gennemløb og opholdstider i søer, hvilket begge dele har betydning for kvælstofomsætningen.

3.3 Anvendelse og justering af nedbør

Analysen mellem dynamisk korrigerede nedbørsdata og vandføring indikerer, at der sker et homogenitetsbrud i tidsserien for nedbørsdata omkring 2011, se også kapitel 2. Dette betyder, at der ikke er konsistens mellem den opgjorte nedbør og responsen i vandløb for de to perioder. I forbindelse med anvendelse af data i en hydrologisk model betyder det, at de hydrologiske parametre, der bestemmes igennem en modelkalibrering, vil være forskellige afhængig af, hvilken periode der anvendes. Ved en efterfølgende anvendelse af modellen til prædiktioner af forskellige forhold og scenarier, vil resultaterne være afhængig af de anvendte modelparametre. Det betyder således, at modelresultaterne er afhængig af hvilken periode, modellen er kalibreret på.

For at afbøde dette problem, har GEUS valgt kun at anvende dynamisk korrigerede data fra DMI til model kalibrering, det vil sige perioden frem til 2010 men ikke at anvende disse data, til validering af modellen i perioden efter 2010. I stedet anvendes en alternativ korrektion for perioden fra 2011 og frem. Metoden anvender den samme korrektionsmodel som DMI, beskrevet i eksempelvis Vejen (2012), forskellen ligger i datagrundlaget. DMI beregner den korrigerede nedbør på stationsniveau ved anvendelse af stationsværdier for nedbør og grid data for vind og temperatur, hvorefter nedbøren interpoleres til klimagriddet (10x10 km grid). I GEUS' variant beregnes nedbørsgriddet direkte baseret på gridværdier for vind, temperatur og ukorrigeret nedbør. GEUS' metode er holdt op imod DMI's data for perioden 1990-2010, hvor der er konstateret en mindre bias på 2,5% ved anvendelse af nedbørsgriddet (2,8% for Bornholm). GEUS' metode er efterfølgende korrigeret for denne bias, og den samlede nedbørstidsserie der anvendes i DK-modellen består således af en tidsserie sammensat af DMI's dynamisk korrigerede data frem til 2010, hvorefter GEUS' korrektion anvendes for den resterende periode, Figur 2.

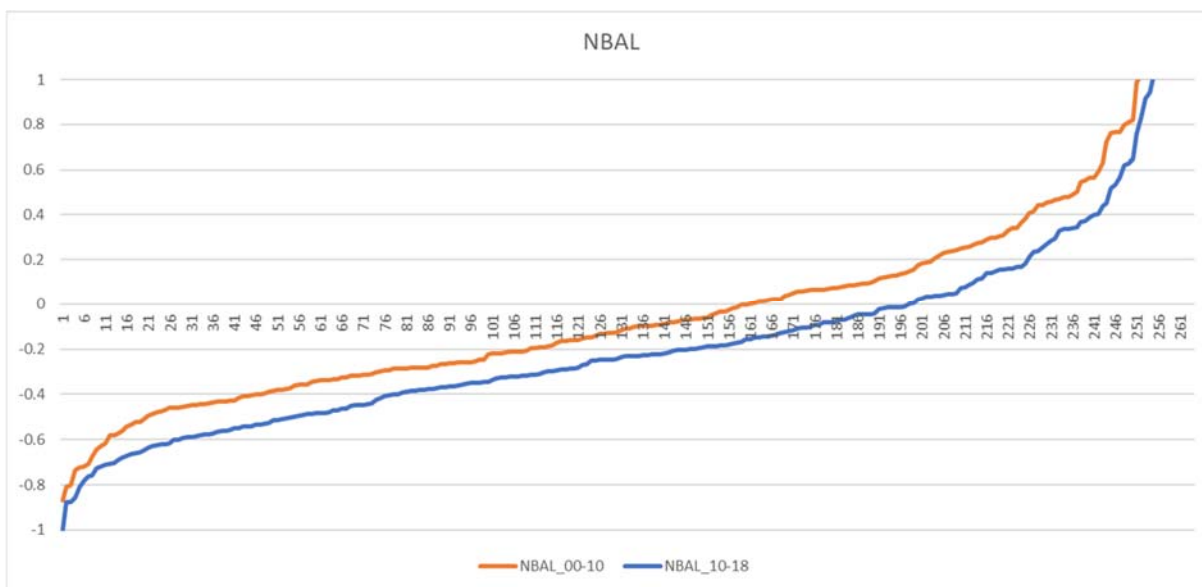


Figur 2. Sammenstilling mellem årlige nedbørsmængder. DMI_corr: Dynamisk korrigeret nedbør fra DMI, GEUS_corr: Dynamisk korrigeret nedbør foretaget af GEUS ved anvendelse af griddata for ukorrigeret nedbør, vind og temperatur, Non_corr: ukorrigeret nedbør, GEUS_corr_med_DMI: Anvendt tidsserie.

3.4 Vurdering af betydningen af skift i nedbørsdata for beregning af N-retentionskort

Til opdatering af retentionskortet anvendes den sammensatte tidsserie som beskrevet ovenfor for DK-modellen, dvs. DMI's dynamiske data frem til 2010 og derefter data korrigeret af GEUS. Disse data anvendes både til DK-modellen og ved beregning af N-udvaskningen. Som det fremgår af Figur 3, øges nedbøren fra 2011 og frem ved anvendelse af data korrigeret af GEUS. I kapitel 2 er nedbøren holdt op imod vandføringer, heraf fremgår det dog, at selvom GEUS' korrektion i nogen grad afbøder homogenitetsbruddet, indikerer resultaterne, at det ikke er tilstrækkeligt.

Til vurdering af betydningen af nedbørskorrektionen i forbindelse med opdatering af de nationale retentionskort, er der, i lighed med analysen for DK-modellen, gennemført en beregning med den nationale kvælstofmodel (foreløbig version), hvor modellens evne til at simulere den samlede kvælstoftransport i vandløbene er opgjort for perioderne 2000-2010 og 2011-2018. Resultatet er vist i Figur 4, hvor den samlede kvælstofbalancefejl (NBAL) er vist for stationer med data i begge perioder. En positiv fejl betyder, at kvælstofmodellen overestimerer N-transporten, mens negative værdier angiver, at der simuleres for lidt. Som det fremgår af Figuren, sker der en forskydning mod lavere værdier for perioden 2010-2018. Dette betyder, at den relative forskel mellem den observerede og simulerede N-transport ændres, hvor den simulerede transport for den seneste periode er reduceret i forhold til observationerne. Da der ikke er ændret i modelopsætningen for de to perioder, vurderes det, at den mindre N-transport primært skyldes en mindre modelleret udvaskning i den seneste periode. Dette er samstemmende med, at nedbøren og derved udvaskningen reduceres for den sidste periode.



Figur 3. Forskel mellem observerede og simulerede kvælstoftransporter opgjort for perioderne 2000-2010 (NBAL_00-10) og 2011-2018 (NBAL_11-18).

Kvælstofreduktionen i de nationale N-retentionskort viser den procentuelle omsætning af kvælstof mellem rodzonen og de marine områder. Denne opgøres som fjernelsen af kvælstof fra rodzonen til de marine områder. Beregnes reduktionen på basis af en udvaskning fra rodzonen der er for lav, vil dette resultere direkte i estimering af N-reduktion, der ligeledes er for lav. Dette vil få konsekvenser i forhold til implementering af den målrettede regulering, idet N-virkemidler, mht. til placering og antal, dimensioneres i forhold til N-retentionskortet. Underestimeres den naturlige reduktion, vil det lede til en underdimensionering af N-virkemidlerne.

3.5 Betydning af nedbørskorrektion i forbindelse med kvantitativ tilstandsvurdering (basisanalysen)

Konsekvenser for evt. fejl på nedbørskorrektion i forhold til vurdering af kvantitativ tilstand er primært relateret til vurderinger af udnyttelsesgrad og afsenkning af grundvandsspejl samt vandløbspåvirkning. I basisanalysen (kvantitativ tilstand) er anvendt perioden 2011-2017. Som det fremgår af Figur 1, viser en valideringstest for 2011-2015 at vandbalancefejlen (på den samlede årlige afstrømning) er få % større for valideringsperioden for 2011-2015 i forhold til valideringsperioden for 1995-1999 og i forhold til kalibreringsperioden (f.eks. for 50% percentil), som kan skyldes en fejl i nedbørskorrektionen. Derfor vil udnyttelsesgrad og afsenkning evt. være lidt overvurderet, men formentlig kun med få %.

Der inddrages desuden øvrige data (f.eks. vandkemi) og samlet vurderet er konsekvenser af evt. vandbalancefejl efter 2000 (for 2011-2017 der anvendes i beregninger) at være lille i forhold til den endelige tilstandsvurdering. Med hensyn til vandløbspåvirkning anvendes i basisanalysen ændringer i flow mellem scenarie uden indvinding og scenarie med indvinding, dvs. ikke de simulerede absolutte afstrømninger. Simulerede ændringer i flow vil i mindre grad være påvirket af en evt. vandbalancefejl, så her er betydningen meget begrænset.

3.6 Betydning af nedbørskorrektion i forbindelse med VandWeb

I VandWeb⁴ er hovedfokus på simulerede ændringer i økologisk flow som følge af vandindvinding og der foreligger scenarier for forskellige perioder bl.a. 1993-1997, 1998-2003, 2004-2010 og 2011-2016. Betydningen af en fejl på vandbalancen på nogen få procent for 2011-2016 vurderes derfor kun at vedrøre perioden 2011-2016. Der er funktionalitet til at sammenligne vandbalancefejl for målte og simulerede afstrømninger i værktøjet, så en evt. vandbalancefejl har minimal betydning i forhold til brugernes anvendelse af VandWeb.

⁴ VandWeb er et web-baseret screeningsværktøj til brug for kommunernes administration af vandindvindingstilladelser. Det indeholder tidsserier for afstrømning i vandløb beregnet med den landsdækkende vandressourcemodel (DK-modellen) for forskellige indvindingsscenarier

4 Betydning af homogenitetsbrud i nedbørsdata for udvaskning og afstrømningsvægtet nitratkoncentration opgjort i Landovervågningen

Forfatter: Gitte Blicher-Mathiesen, Institut for Bioscience

Faglig Kvalitetssikring: Hans Thodsen, Institut for Bioscience

4.1 Baggrund

Når nedbøren måles, er der en række fejlkilder som den faktuelle måling skal korrigeres for inden, der kommer en troværdig værdi for nedbøren. Korrektionen består af et fordampningstab og korrektion for vind. Korrektionen foretages dynamisk ift. vind og temperatur for hver enkelt døgn. Korrektioner er dog afhængig af det måleudstyr som anvendes til opsamling af nedbøren. Fra 2011 er der sket et skift i det udstyr nedbøren er opsamlet med (Vejen, 2012 og 2013). For perioden frem til 2010 er der desuden også sket en ændring i antal af målestationer og deres placering i landet (se indledning).

Det har betydet flere væsentlig ændringer i) korrektionsmetoden for fejl på den målte nedbør er ændret fra 2011 og frem og ii) antallet af målestationer der anvendes til at beregne gennemsnit for 10x10 km grid er ændret fra 2011 og frem iii) nedbørsnettet er blevet inhomogent fordelt med flest målestationer nær de større byer.

Korrigerede nedbørsdata anvendes i landovervågning til beregning af vandafstrømning ud af rodzonen, også benævnt perkolation. Perkolationen ganges på den målte nitratkoncentration for at opgøre nitratudvaskning fra marker, hvor der udtages jordvand.

Udvaskningsdata for marker med jordvandsstationer anvendes til at vurdere udviklingen i nitratudvaskning og i den afstrømningsvægtede nitratkoncentration for ler- og sandjordsoplande. Disse indgår i NOVANA rapporteringen. Opgørelserne rapporteres desuden til EU kommissionen som et element af den danske undtagelse fra Nitratdirektivet, hvor kvægbrug må anvende mere organisk gødning på deres marker end andre husdyrbrug, såfremt de overholder en række sædskiftmæssige betingelser. Det er derfor vigtigt, at det anvendte nedbør opgøres konsistent igennem opgørelsesperioden, således at opgørelserne viser den tidsmæssige udvikling og at denne ikke er inhomogen/biased grundet ændring i datagrundlaget for nedbør.

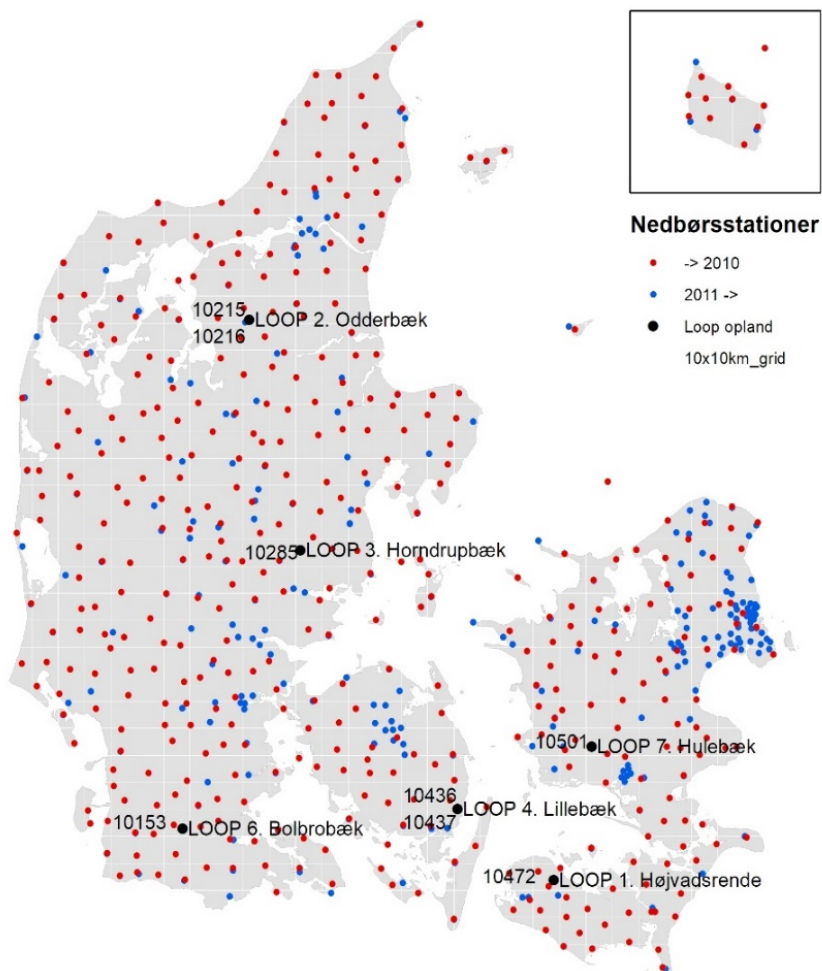
Dette kapitel viser sammenhæng mellem nedbør og målt afstrømning for perioden før 2011 og perioden fra 2011 til 2018 for de fem Landovervågningsoplande med jordvandsstationer.

Lokalitet for LOOP oplande

De fem LOOP oplande er fordelt med to sandjordsoplande, henholdsvis LOOP2, Odderbæk i Himmerland og LOOP6, Bolbrobæk ved Løgumkloster, samt 3 lerjordsdominerede oplande fordelt med LOOP3, Horndrup Bæk ved

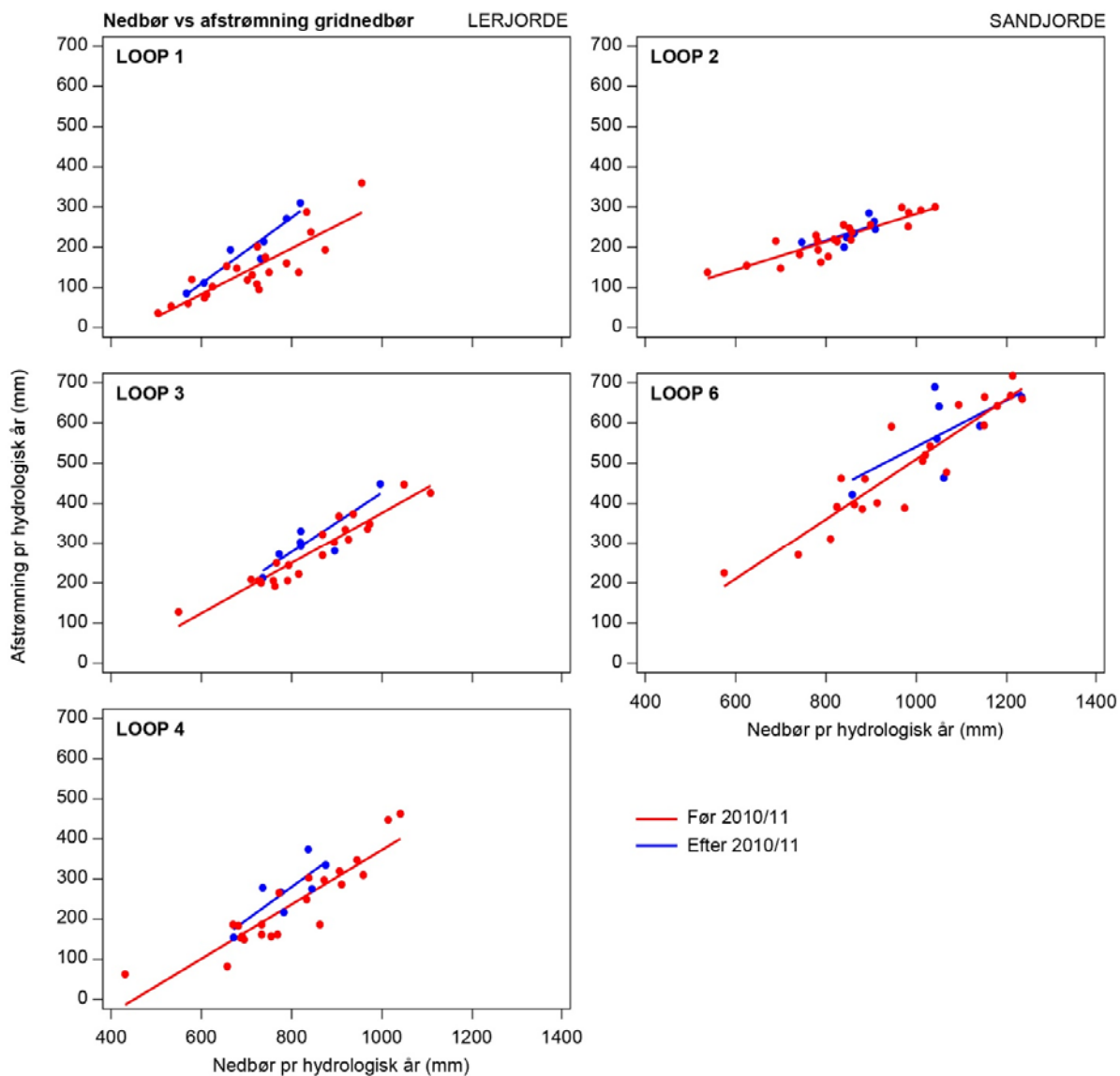
Ejer bavnehøj, LOOP4, Lillebæk på Sydfyn og LOOP1, Højvads Rende på Lolland (Figur 1). I det sidste opland LOOP 7, Hulebæk på Sydsjælland gennemføres der ikke målinger i jordvand.

Figur 1. Placering af DMI's målestationer for nedbør fordelt på manuelle målestationer (røde prikker) frem til 2010 og automatiske målestationer (blå prikker) med målinger fra 2011 og frem. Desuden vises beliggenhed for landovervågningsoplande og de 10x10 km² grid for nedbør, der anvendes til beregning af perkolation ud af rodzonen.

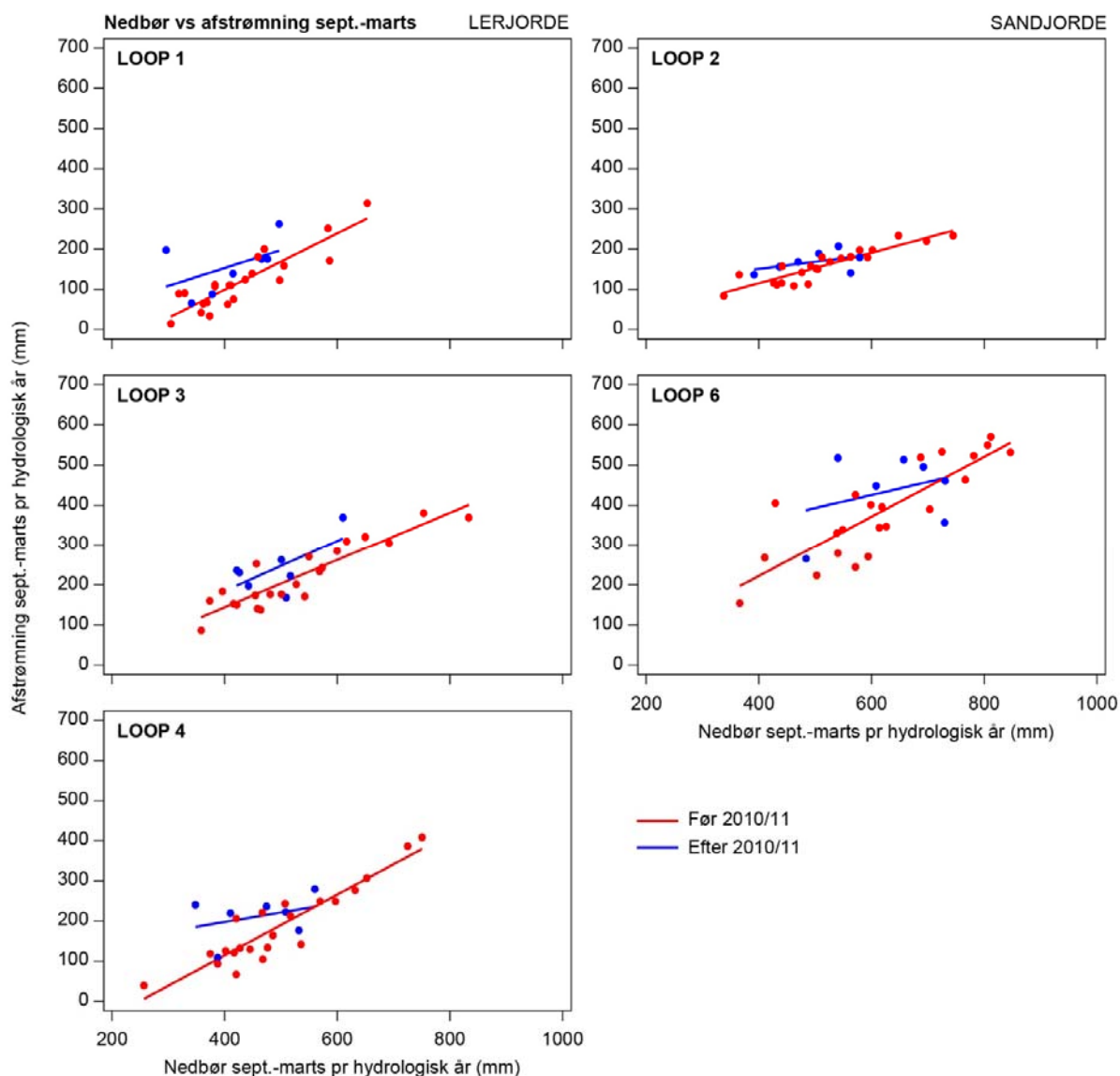


4.2 Sammenligning af gridnedbør og målt afstrømning i LOOP oplande

I gennem overvågningsperioden er anvendt 10x10 km gridnedbør til beregning af perkolation. De anvendte grid for hver LOOP-opland fremgår af Figur 1. I Figur 2 ses sammenhæng mellem døgnkorrigerede gridnedbør og den målte afstrømning for de fem LOOP oplande. Af Figuren ses det overordnede billede, at i perioden fra 2011 er den målte afstrømning ofte knyttet til en lavere gridnedbør end i perioden før 2011. Dette indikere, at nedbøren relativt er undervurderet i den sene periode fra 2011 og frem i forhold til den tidligere periode før 2011. Lidt mindre konsistent ses dette forhold, når data kun er opgjort for den typiske afstrømningsperiode september-marts i Figur 3. Dette kunne tyde på, at nedbørskorrekturen for sommermånederne afviger relativt mere end for afstrømningsmånederne september-marts for de viste to perioder.



Figur 2. Sammenhæng mellem gridnedbør og målt vandafstrømning i 5 LOOP lande. Data er opgjort for hydrologiske år 1. juni-31. maj og er vist for to perioder før 2011 (røde prikker) som dækker de hydrologiske år 1990/91-2009/10 og fra 2011 og frem (blå prikker), som dækker 2011/12-2017/18. Trendlinje er desuden vist for de opgjorte værdier af hydrologiske år.



Figur 3. Sammenhæng mellem døgnkorrigeret gridnedbør og målt vandafstrømning i 5 LOOP lande. Data er opgjort for typiske måneder med afstrømning, september-marts og sammenhæng er vist for to perioder før 2011 (røde prikker), som dækker de hydrologiske år 1990/91-2009/10 og fra 2011 og frem (blå prikker), som dækker 2011/12-2017/18.

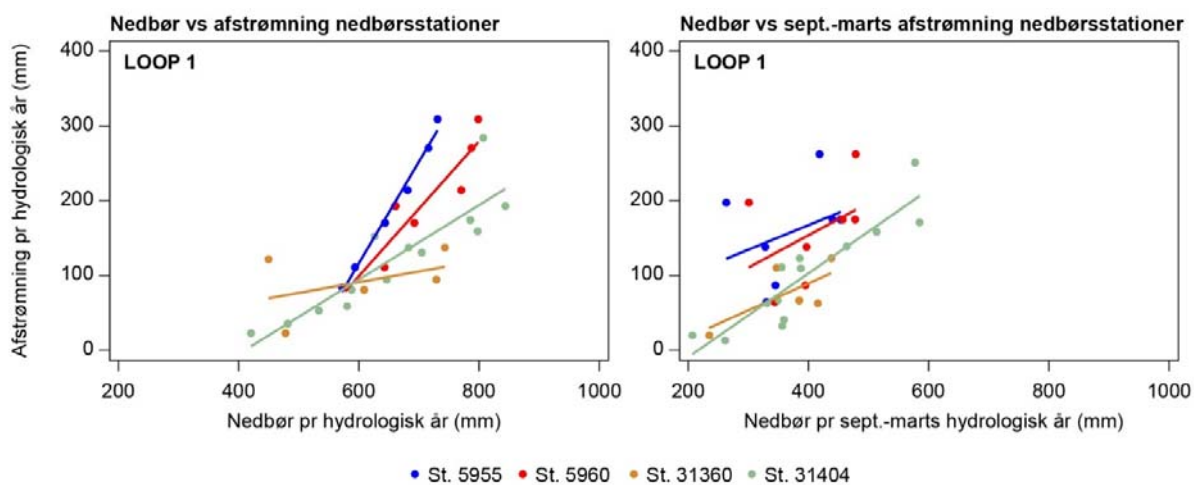
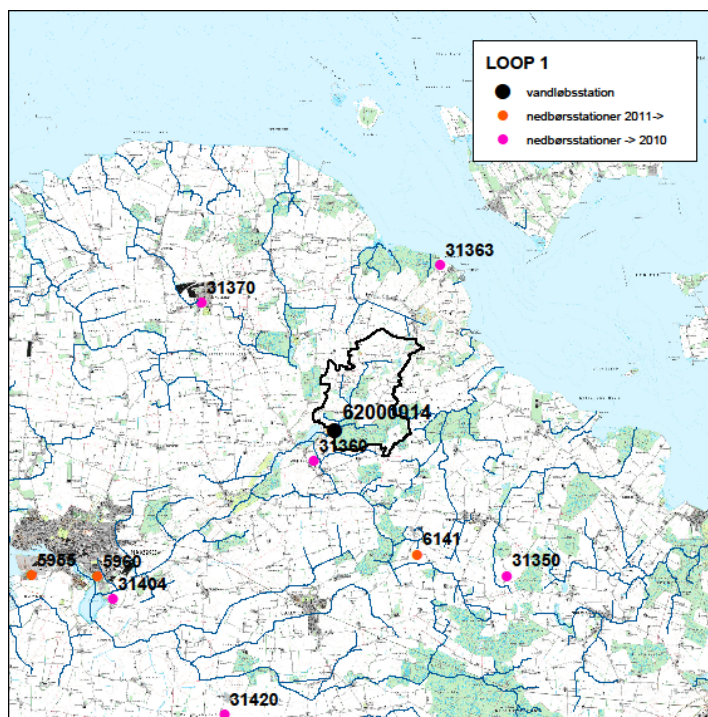
4.3 Sammenligning af nedbør målt på DMI's målestationer og målt afstrømning i LOOP oplande

I dette afsnit sammenholdes den målte døgnkorrigerede nedbør for DMI's målestationer direkte med en målt afstrømning for LOOP oplande. Her er valgt at vise data for tre oplande, hvor målestationer med nedbørsmålinger gennemført før 2011 ligger forholdsvis tæt på en eller flere målestationer med nedbørsmålinger fra 2011 og frem.

Nær ved LOOP1, Højvads Rende findes to målestationer i Nakskov, 5955 og 5960, som er målt fra 2011 og en målestation 31404 tæt herpå, som er målt frem til 2010 (Figur 4). Når nedbør og afstrømning opgøres for hele år som her, ses det meget tydeligt at afstrømningen er højere ved samme nedbør på nedbørsstationerne 5955 og 5960 målt fra 2011 og frem end tilsvarende sammenhæng for nedbørsstation 31404 målt for den tidlige periode før 2011 (Figur 5). Ved

at sammenligne opgørelser for de fulde hydrologiske år (Figur 5 tv) med tilsvarende opgørelser alene for de typiske afstrømningsmåneder (Figur 5 th) ses, at sommernedbøren påvirker relationen, men der er stadig en inhomogenitet på relationen mellem nedbør og afstrømning mellem målestationer målt før 2011 og fra 2011 og frem.

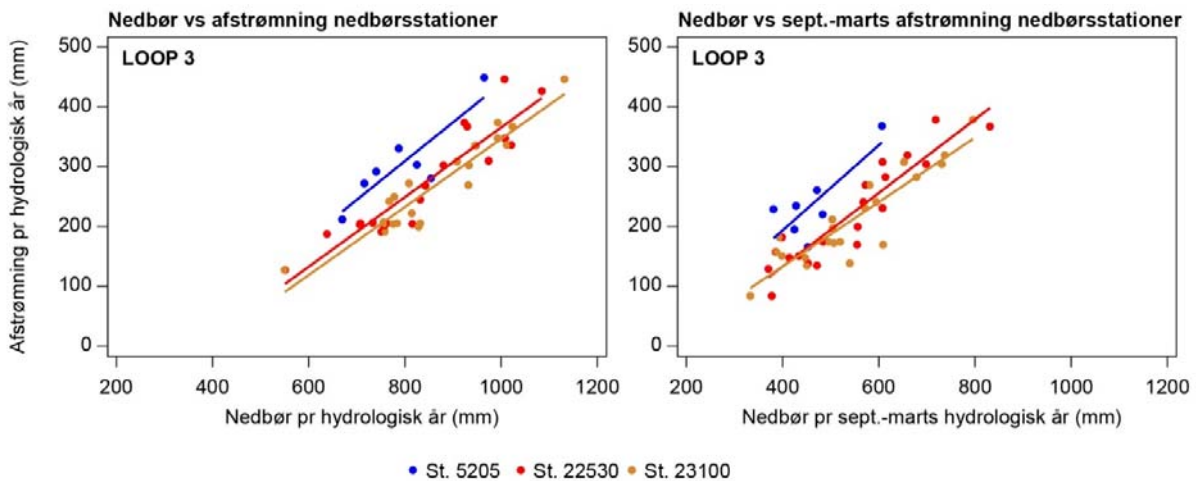
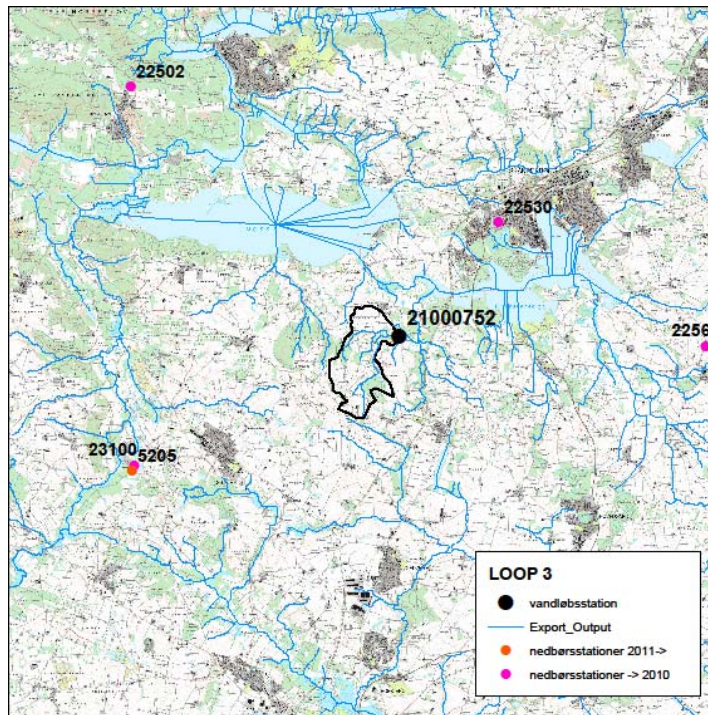
Figur 4. Kort med DMI's nedbørsstationer opdelt på nedbørsstationer målt før 2011 (pink prikker) og nedbørsstationer målt fra 2011 og frem (orange prikker) og det topografiske opland LOOP1, Højvads Rende på Lolland.



Figur 5. Sammenhæng mellem gridnedbør og målt vandafstrømning for nedbørs-målestationer nær ved LOOP 1, Højvads Rende. Data er opgjort for hydrologiske år, 1. juni-31. maj på Figur tv. og for de typiske måneder med afstrømning september-marts (th.). St5955 og 5960 er nedbørsstationer målt fra 2011 og frem, mens st31404 og 31360 er manuelle stationer målt før 2011.

For nedbørsmålestationer tæt på LOOP 3, Horndrup bæk ses denne inhomogenitet mere tydeligt. Her ligger de to nedbørsmålestationer, st. 5205 målt fra 2011 og frem og st. 23100 målt før 2011 meget tæt på hinanden, vest for Østbirk (Figur 6). Afstrømningen er højere ift. nedbør på stationen målt fra 2011 og frem end for stationen målt før 2011 uanset om opgørelsen er for fulde hydrologiske år eller kun for de typiske afstrømningsmåneder september-marts (Figur 7).

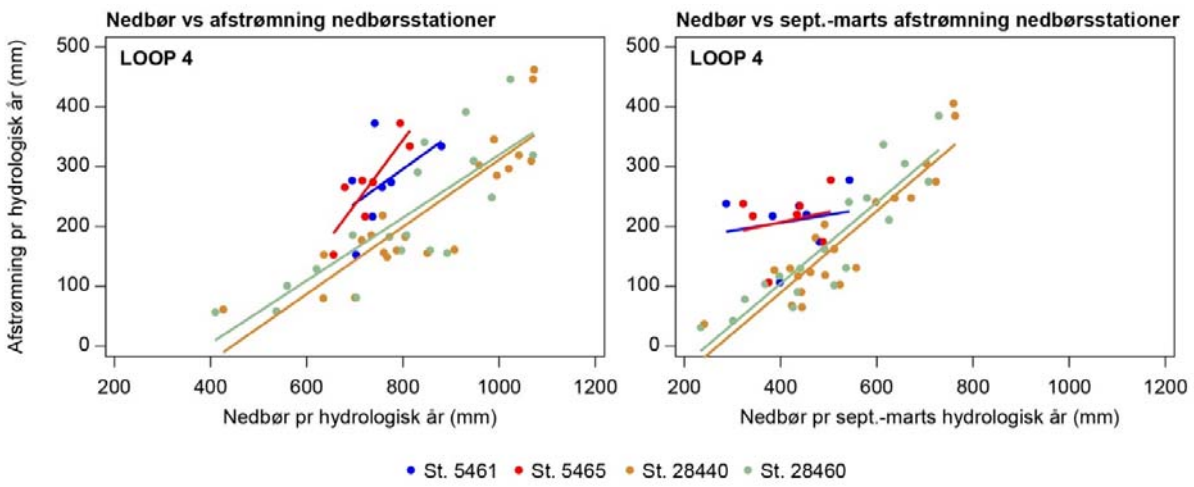
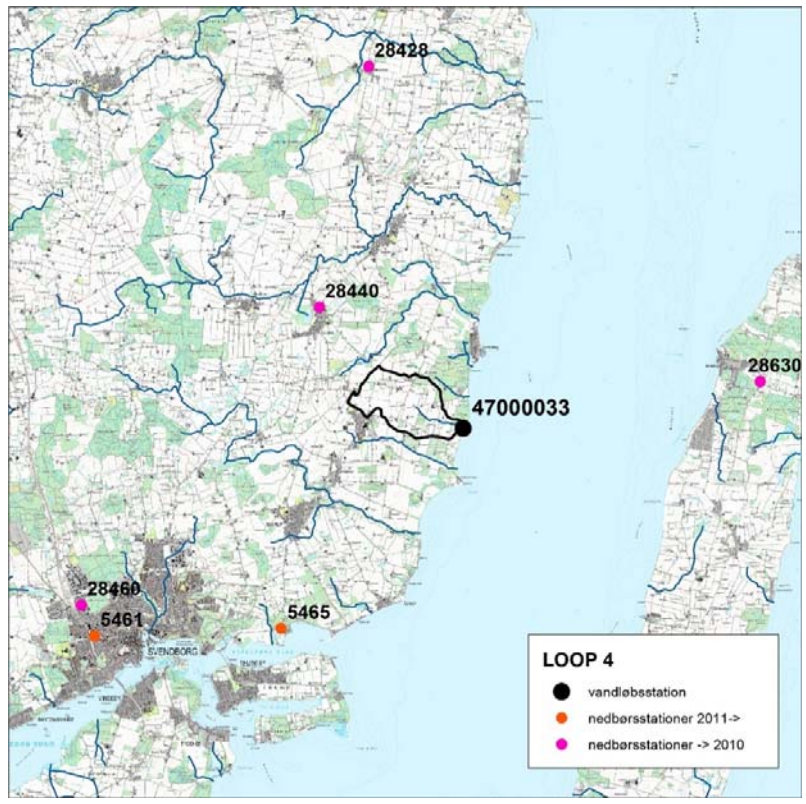
Figur 6. Kort med DMI's nedbørsstationer opdelt på nedbørsstationer målt frem til 2010 (pink prikker) og nedbørsstationer målt fra 2011 og frem (orange prikker) og det topografiske opland til LOOP3, Horndrup bæk ved Ejer Bavnehøj.



Figur 7. Sammenhæng mellem gridnedbør og målt vandafstrømning for nedbørs målestationer nær ved LOOP 3, Horndrup bæk. Data er opgjort for hydrologiske år, 1. juni-31. maj på Figur tv. og for de typiske måneder med afstrømning september-marts th. St5205 er en nedbørsstation målt fra 2011 og vist for perioden 2011/12-2017/18 og st23100 og 22530 er vist for perioden 1990/91-2009/10.

For nedbørsmålestationer tæt på LOOP 4, Lillebæk ses denne inhomogenitet også tydeligt. Her ligger de to nedbørsmålestationer, 5461 målt fra 2011 og frem og 28460 målt før 2011 meget tæt på hinanden i Svendborg by (Figur 8). Afstrømningen er højere ift. nedbør på stationen målt fra 2011 og frem end for stationen målt før 2011 uanset om opgørelsen er for fulde hydrologiske år eller kun for de typiske afstrømningsmåneder september-marts (Figur 9).

Figur 8. Kort med DMI's nedbørsstationer opdelt på nedbørsstationer målt før 2011 (pink prikker) og nedbørsstationer målt fra 2011 og frem (orange prikker) og det topografiske opland til LOOP4, Lillebæk på Sydfyn.

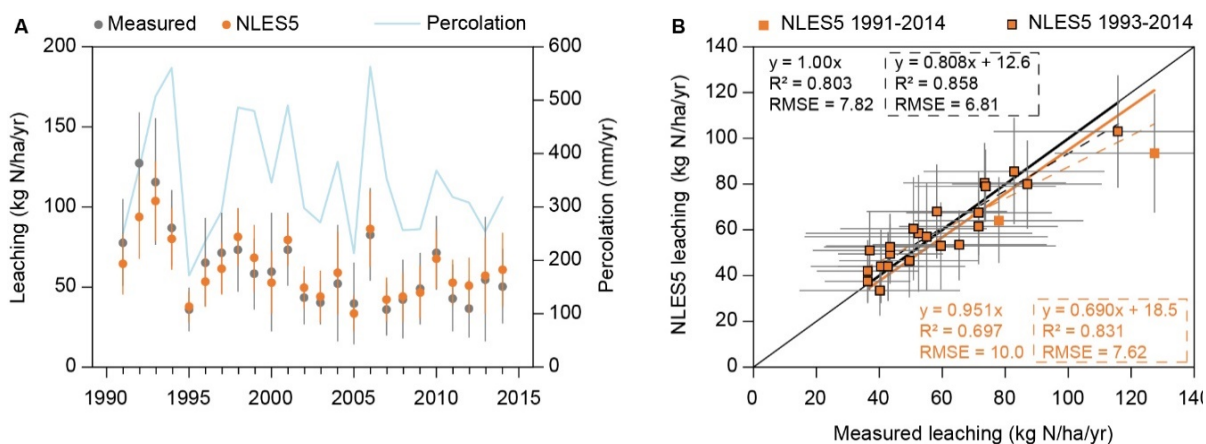


Figur 9. Sammenhæng mellem døgncorrigeret gridnedbør og målt vandafstrømning for nedbørs målestationer nær ved LOOP 4, Lillebæk. Data er opgjort for hydrologiske år, 1. juni-31. maj på Figur tv. og for de typiske måneder med afstrømning, september-marts th. St5205465 er nedbørsstationer henholdsvis i Svendborg by og lidt øst for Svendborg og målt fra 2011 og frem og vist for perioden 2011/12-2017/18 og st28460 ligger også i Svendborg by og 28440 ligger i Gudme nordvest for oplandet til Lillebæk, begge er vist for perioden før 2011 (1990/91—2009/10).

4.4 Betydning af nedbør og perkolation for NLES5 modelberegnet udvaskning

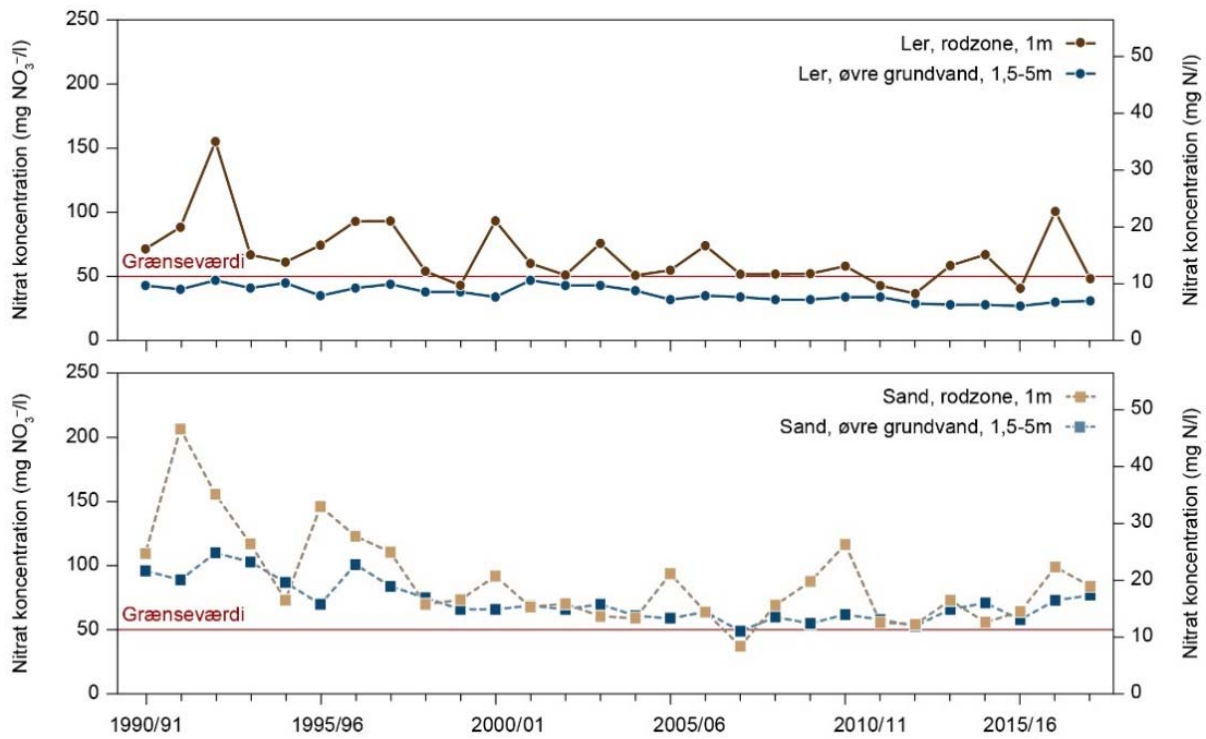
Beregnet udvaskning som udgør målt nitratkoncentration i jordvand ganget med modelberegnet perkolation fra LOOP-område anvendes til at estimere den empiriske udvaskningsmodel NLES5 (Børgesen et al., 2020).

I rapporteringen af NLES5 modellen er vist, hvor godt NLES5 modellen rammer målt nitratudvaskning (Figur 10). Af Figuren ses, at NLES5 overestimerer udvaskningen i årene 2011-2014. En af grundene kan være, at den opgjorte nitratudvaskningen er for lille, grundet at den anvendte gridnedbør for denne periode er underestimeret. I NLES5 modellen udgør ca. 10 pct. af kalibreringsdataene målte udvaskninger opgjort med perkolation baseret på nedbør fra 2011 og frem. Den inhomogene nedbør fra 2011 og frem vil formentlig i begrænset omfang påvirke den beregnede effekt af perkolation i NLES5 modellen. Men modellens evne til at ramme målt udvaskning fra 2011 og frem kan formentlig være mindre god end for årene før 2011 grundet niveauskiftet i nedbørstidsserien efter 2010.



Figur 10. Målt og NLES5 modelberegnet nitratudvaskning for jordvandsstationer i LOOP. Figur fra NLES5 rapporten fra Børgesen et al. (2020).

Desuden anvendes udvikling i den afstrømningsvægtede nitratkoncentration som førnævnt i rapportering af Landovervågningen i regi af NOVANA samt i rapportering af Danmarks Undtagelse fra nitratdirektivet. Her kan den afstrømningsvægtede nitratkoncentration være påvirket i årene efter 2011 (Figur 11), idet nedbør og perkolationen er underestimeret ift. perioden før 2011. Det er yderst uheldigt, at udviklingen i den målte afstrømningsvægtede nitratkoncentration ikke er opgjort med en konsistent beregnet perkolation grundet afvigelse i nedbøren før og efter 2011.



Figur 11. Udvikling i målte nitratkoncentrationer for hydrologiske år i perioden 1990/91 til 2017/18 for rodzonevand og det øvre iltede grundvand i tre lerjordsoplunde (øverst) og to sandjordsoplunde (nederst). For jordvand er data opgjort som afstrømningsvægtede koncentrationer og for grundvand er data baseret på det gennemsnitlige nitratindhold pr. indtag (Figur fra Landovervågning 2018 Blicher-Mathiesen et al. (2020)).

5 Referencer

Blicher-Mathiesen, G., Holm, H., Houlborg, T., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2019. Landovervågningsoplande 2018. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 241 s. - Videnskabelig rapport nr. 352 <http://dce2.au.dk/pub/SR352.pdf>

Børgesen, C.D., Sørensen P., Blicher-Mathiesen G., Kristensen M.K., Pullens, J.W.M., Zhao J., Olesen J.E. 2019. NLES5 - An empirical model for predicting nitrate leaching from the root zone of agricultural land in Denmark. Aarhus University, DCA - Danish Centre for Food and Agriculture. 116 p. - DCA report No. 163. <http://web.agrsci.dk/djffublikation/index.asp?action=show&id=1313>

Thodsen, H., Tornbjerg, H., Rasmussen, J.J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Ovesen, N.B., Blicher-Mathiesen, G., Kjeldgaard, A. & Windolf, J. 2019. Vandløb 2018. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 70 s. - Videnskabelig rapport nr. 353 <http://dce2.au.dk/pub/SR353.pdf>

Vejen, F. (2012), Korrigeret Nedbør 1989-2010. Del 3 af 6: Præsentation. Metodebeskrivelse. Dokumentation og beskrivelse. Dataleverance til DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. Danmarks Meteorologiske Institut, april 2012, 20 sider.

Vejen, F. (2013) Korrigeret Nedbør 2011-2012. Del 2 af 2: Beskrivelse af metode, resultater og modeltekniske specialtilfælde. Dataleverance til DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. Danmarks Meteorologiske Institut, april 2013, 58 sider.