



VANDLØB 2018

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 353

2019



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

VANDLØB 2018

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 353

2019

Hans Thodsen
Henrik Tornbjerg
Jes Jessen Rasmussen
Jens Bøgestrand
Søren Erik Larsen
Niels Bering Ovesen
Gitte Blicher-Mathiesen
Ane Kjeldgaard
Jørgen Windolf

Aarhus Universitet, Institut for Bioscience



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 353
Titel:	Vandløb 2018
Undertitel:	NOVANA
Forfattere:	Hans Thodsen, Henrik Tornbjerg, Jes Jessen Rasmussen, Jens Bøgestrand, Søren Erik Larsen, Niels Bering Ovesen, Gitte Blicher-Mathiesen, Ane Kjeldgaard & Jørgen Windolf
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Bioscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	December 2019
Redaktion afsluttet:	December 2019
Revideret:	Februar 2020
Faglig kommentering:	Hans Estrup Andersen (ikke kapitel 3) Torben Linding Lauridsen (kapitel 3)
Kvalitetssikring, DCE:	Signe Jung-Madsen
Sproglig kvalitetssikring:	Charlotte Elisabeth Kler
Ekstern kommentering:	Miljøstyrelsen. Kommentarerne findes her: http://dce2.au.dk/pub/komm/SR353_komm.pdf
Finansiell støtte:	Miljø- og Fødevareministeriet
Bedes citeret:	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
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Dette års rapport beskriver status og udvikling i vandkemiske forhold i vandløb, stoftransport af kvælstof og fosfor til kystvandene for perioden før og under NOVANA – og frem til og med 2018. Ligeledes beskrives den tidlige udvikling i Dansk Vandløbs Fauna Indeks (DVFI) på cirka 250 tidsseriestationer for perioden 1994-2018.
Emneord:	Vandløb, overvågning, NOVANA, kvælstof, fosfor, havbelastning, vandkemi, vandløbsøkologi, Nitrat, Suspenderet stof i vandløb
Layout:	Grafisk Værksted, AU Silkeborg
Foto forside:	Jens Skriver, Gels å ved Bevtøft
ISBN:	978-87-7156-452-5
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	70
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR353.pdf
Supplerende oplysninger:	NOVANA er et program for en samlet og systematisk overvågning af både vandig og terrestrisk natur og miljø. NOVANA erstattede 1. januar 2004 det tidligere overvågningsprogram NOVA-2003, som alene omfattede vandmiljøet. Revideret februar 2020. I den reviderede version af rapporten er der foretaget ændringer i opgørelsen af transporten af kvælstof og fosfor til havet, jf. redegørelsen herfor i Thodsen og Thorbjerg (2020) . Ændringerne vedrører kapitel 1, 2, 6 og 7.

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	7
Kvælstof og fosfor tilførsel til havet	7
Økologisk tilstand	7
Summary	8
Nitrogen and phosphorus load to the sea	8
Ecological status	8
1 Datagrundlag, databehandling og rapportindhold	10
1.1 Om overvågningsprogrammet	10
1.2 Kemisk vandkvalitet og stoftransport	10
1.3 Den økologiske overvågning	12
1.4 Særlige forhold ved årets rapportering	12
2 Klima og ferskvandsafstrømning	19
2.1 Datagrundlag og metoder	19
2.2 Klima og ferskvandsafstrømning	20
2.3 Ferskvandsafstrømninger fra det målte opland	24
3 Økologisk tilstand	25
3.1 Måling af økologisk tilstand i danske vandløb	25
3.2 Dansk Vandløbs Fauna Indeks (DVFI)	26
4 Kvælstof i vandløb	28
4.1 Tilstanden i 2018	28
4.2 Udvikling siden 1989	29
5 Fosfor i vandløb	31
5.1 Tilstanden i 2018	31
5.2 Udviklingen siden 1989	33
6 Kvælstoftilførslen til havet	34
6.1 Datagrundlag og metoder	34
6.2 Kvælstoftilførsel til havet i 2018	36
6.3 Sæsonvariation i vandafstrømning og kvælstoftilførsel	39
6.4 Udviklingen i kvælstoftilførslen til havet 1990-2018	41
6.5 Kvælstoftilførsel fra målt opland	43
6.6 Udvikling i nøgleindikatorer af betydning for kvælstoftilførslen	44
6.7 Sammenfatning af resultaterne	47
7 Fosfortilførslen til havet	48
7.1 Datagrundlag og metode	48
7.2 Fosfortilførsel til havet i 2018	48
7.3 Sæsonvariation i vandafstrømning og fosfortilførsel	50
7.4 Udvikling i fosfortilførslen til havet 1990 – 2018	54

7.5	Fosfortilførsel fra målt opland	55
7.6	Sammenfatning af resultaterne	56
8	Nitrat-N-koncentrationer og -transport på målestationer	58
8.1	Introduktion	58
8.2	Nitrattransport og -koncentration for 77 havbelastningsoplande i 2018	59
8.3	Nitrattransport og -koncentration for 31 landbrugsdominerede typeoplande	61
9	Suspenderede stoffer	63
9.1	Introduktion	63
9.2	Resultater	63
10	Referencer	67

Forord

Denne rapport udgives af DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet (DCE) som et led i den landsdækkende rapportering af det Nationale program for Overvågning af Vandmiljøet og Naturen (NOVANA). NOVANA er fjerde generation af nationale overvågningsprogrammer, som med udgangspunkt i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram blev iværksat i efteråret 1988. Nærværende rapport omfatter data til og med 2018.

Overvågningsprogrammet er målrettet mod at tilvejebringe det nødvendige dokumentations- og vidensgrundlag til at understøtte Danmarks overvågningsbehov og -forpligtelser, bl.a. i forhold til en række EU-direktiver inden for natur- og miljøområdet. Programmet er løbende tilpasset overvågningsbehovene og omfatter overvågning af tilstand og udvikling i vandmiljøet og naturen, herunder den terrestriske natur og luftkvalitet.

DCE har som en væsentlig opgave for Miljø- og Fødevarerministeriet at bidrage med forskningsbaseret rådgivning til styrkelse af det faglige grundlag for miljøpolitiske prioriteringer og beslutninger. Som led heri forestår DCE med bidrag fra Institut for Bioscience og Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet, den landsdækkende rapportering af overvågningsprogrammet inden for områderne ferske vande, marine områder, landovervågning, atmosfæren samt arter og naturtyper.

I overvågningsprogrammet er der en arbejds- og ansvarsdeling mellem fagdatacentre og Miljøstyrelsen (MST). Fagdatacentret for Grundvand er placeret hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Fagdatacentret for Punktkilder hos MST, mens fagdatacentre for vandløb, søer, marine områder, landovervågning samt arter og naturtyper er placeret hos Institut for Bioscience, Aarhus Universitet, og Fagdatacentret for Atmosfæren hos Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet.

Denne rapport er udarbejdet af Fagdatacenter for ferskvand. MST har haft mulighed for at kommentere på udkast til rapporten. Rapporten er baseret på data indsamlet af Miljøstyrelsen, de tidligere amter og diverse konsulenter på vegne af de nævnte offentlige institutioner.

Dette års rapport er som udgangspunkt en opdatering af tidligere års rapport om vandløb med data indsamlet i 2018. Den seneste rapport er Vandløb 2017 (Thodsen, H. m.fl. 2019a). Ikke alle indsamlede data bliver rapporteret hvert år, men først når der er tilstrækkeligt datagrundlag for rapportering. I dette års rapport indgår i forhold til foregående år tilføjet et kapitel om suspenderet materiale i vandløb.

Data fra overvågning af arter og naturtyper er ikke med i dette års rapport. Disse data indgår sammen med de foregående års data fra overvågning af arter og naturtyper i grundlaget for Danmarks rapportering til EU i medfør af habitatdirektivets artikel 17 og fuglebeskyttelsesdirektivets artikel 12. Dette er rapporteret selvstændigt som DCEs bidrag til Miljø- og Fødevarerministeriets rapportering til EU (Fredshavn m.fl., 2019).

Konklusionerne i denne rapport sammenfattes med konklusionerne fra de øvrige fagdatacenter-rapporter i 'Vandmiljø og natur 2018', som udgives i et samarbejde mellem DCE, GEUS og MST.

Sammenfatning

Dette års rapport behandler emner som udviklingen i afstrømningen af vand og tilførslen af kvælstof og fosfor til de kystnære havområder. Samtlige data er indsamlet via det Nationale program for Vandmiljø og Natur (NOVANA).

Kvælstof- og fosfortilførsel til havet

Indholdet af kvælstof og fosfor i vandløbene er faldet markant siden 1989. Reduceret udvaskning fra dyrkede arealer er hovedårsagen til, at kvælstof-indholdet i gennemsnit er reduceret med ca. 43 %, mens reduktionen er på ca. 40% for fosfor. For fosfors vedkommende skyldes det forbedret spildevandsrensning i byområder og virksomheder. Koncentrationerne af kvælstof og fosfor i vandløbene er dog stadig omkring henholdsvis 4 og 2 gange så høje som dem, man finder i upåvirkede naturvandløb.

Der er for perioden 1990 til 2018 sket reduktioner i den samlede tilførsel af kvælstof og fosfor fra land til de danske kystvande. Reduktionen i kvælstof- og fosfortilførslen er henholdsvis 51% og 72%, beregnet for den årlige vandføringsvægtede koncentration. For kvælstof er der alene for den diffuse tilførsel (tilførsel fra dyrkede og udyrkede arealer samt bidrag fra ejendomme, som ikke er tilkøbet offentlige renseanlæg) tale om en reduktion på ca. 38%.

Tilførslen fra land til kystvandene er for 2018 beregnet til hhv. ca. 50.000 tons kvælstof og godt 1.600 tons fosfor. Disse tilførsler er for alle årets måneder mindre end gennemsnittet for perioden 1990-2018, og væsentligt mindre end gennemsnittet for perioden 1990-1994. For 2018 er den normaliserede kvælstoftilførsel fra diffuse kilder på 50.000 tons N mod 52.000 i 2017. Den normaliserede diffuse tilførsel er som middel af de foregående 5 opgjorte år (2013 – 2017) 48.000 tons N, med et interval på 47.000 – 52.000 tons N / år. Ferskvandsafstrømningen i 2018 var 292 mm mod et gennemsnit på 323 mm i perioden 1990-2017.

Eftersom det ikke er muligt at måle på alt vand og stof, som tilføres havet (hverken rumligt eller tidsligt), og der nødvendigvis må anvendes modeller, er der en vis usikkerhed på de beregnede tal.

I årets rapport er alle tidsserier med total-kvælstof og total-fosfor præsenteret på en mørk baggrund for perioden 2007-2014. Dette skyldes, at total-kvælstof / fosfor-analyserne pt. gennemgår en undersøgelse, da de er foretaget med en forkert metode, der angiveligt underestimerer koncentrationen.

Økologisk tilstand

Den økologiske tilstand i vandløb beskrives på baggrund af forskellige biologiske kvalitetslementer: smådyr, fisk og planter. For smådyrene anvendes Dansk vandløbs Fauna Indeks (DVFI), der har været benyttet i mere end 20 år, mens indices for fisk (DFFVa og DFFVø) og planter (DVPI) kun har været brugt i de foregående to overvågningsperioder. Kun med DVFI er det muligt at beskrive udviklingen i økologisk tilstand over en længere periode og på et relativt begrænset antal tidsseriestationer (250). I dette års rapport indgår kun DVFI målt på disse tidsseriestationer. Her er tilstanden generelt blevet væsentligt forbedret siden 1994. Specielt er andelen af vandløb med faunaklasse 6 eller 7 øget markant. Dog er den positive udvikling stagneret, og fordelingen af faunaklasser har været stabil gennem de seneste 5-7 år.

Summary

This year's report presents topics on the nitrogen and phosphorus runoff to Danish coastal waters. All field data were collected in accordance with the National Monitoring Program for the Aquatic Environment and Nature (NOVANA).

Nitrogen and phosphorus load to the sea

The concentrations of nitrogen and phosphorus in streams have been markedly reduced since 1989. The main reason is reduced leaching from cropped areas, resulting in a mean reduction of approximately 43% for nitrogen, whereas an approximate 40% reduction in phosphorus is found, mainly due to improved treatment of residential- and industrial wastewater. However, concentrations of nitrogen and phosphorus in the streams are still approximately 4 and 2 times higher, respectively, than in un-impacted streams.

Reduced loads of nitrogen and phosphorus from land to Danish coastal waters are calculated for the period 1990-2018. The reductions are 51% and 72% for nitrogen and phosphorus, respectively, if calculated as discharge weighted mean annual concentrations. Considering the diffuse runoff of nitrogen alone, including leaching from cropped as well as uncropped areas and contribution of wastewater from scattered dwellings, the reduction is approximately 38%.

In 2018, the total load from land was estimated to about 50 000 tons of nitrogen and 1600 tons of phosphorus. For most months, these amounts were significantly lower than the average for the period 1990-2018. The normalised diffuse nitrogen load was calculated to 50 000 ton N compared to 52 000 ton N in 2017. The normalised mean diffuse load for the presiding five years (2013 – 2017) is 48 000 ton N, ranging between 47 000 and 52 000 ton N. The annual runoff of water was 292 mm compared to 323 mm as the average from 1990-2017.

Since it is impossible to measure the total load of water and nutrients to the sea, the estimated loads are accompanied by uncertainty, as these loads need to be based on both measurements of discharge and nutrient concentrations combined with model estimates for ungauged catchments.

In this year's report, presented time series of total nitrogen loads have a dark background covering the period 2007-2014, as total nitrogen analyses from this period are under investigation for being analysed using a wrong method, supposedly underestimating the concentration.

Ecological status

Ecological quality in streams is assessed based on a suite of ecological quality elements: macroinvertebrates, fish, and aquatic plants. The Danish Stream Fauna Index (DSFI) is used to assess the ecological status based on macroinvertebrate community composition, while the Danish Stream Plant Index (DSPI) and Danish Fish Index for Streams (DFIS) assess the ecological status based on community composition of aquatic plants and fish, respectively. DSFI has been used for more than two decades, while DSPI and DFIS have been used during the previous two monitoring cycles. The temporal development of ecological status in Danish streams can only be assessed using DSFI on a limited part of the NOVANA stream stations (250) that are sampled every

second year (every year in previous monitoring cycles). This report only contains DSFI measurements on these 250 stream stations. Overall, the ecological status steadily increased from 1994 till approximately 2012, especially the relative amount of faunal classes 6 and 7 has increased in this period. However, the positive development in ecological status now appears stagnant, as the relative distribution of faunal classes among stream stations has been stable during the past 5-7 years.

1 Datagrundlag, databehandling og rapportindhold

Jens Bøgestrand, Jes Rasmussen & Hans Thodsen

1.1 Om overvågningsprogrammet

Denne rapport indeholder data indsamlet i vandløb under NOVANA programmet (og forudgående programmer), omhandlende vandafstrømning, næringsstofkoncentrationer og heraf beregnede stoftransporter. Desuden indgår lufttemperatur og nedbørsdata.

For vandløbenes vedkommende er der foretaget to typer overvågning og undersøgelser: (a) Overvågning af den økologiske, fysiske og kemiske tilstand og (b) målinger af tilførsel af vand og forskellige stoffer til søer og marine områder.

Der indsamles ligeledes data for vandløbstilknyttede arter og naturtyper i henhold til Habitatdirektivet. Dog rapporteres disse data i den forestående artikel 17 rapportering og indgår således ikke i denne NOVANA rapport.

Samtlige data i NOVANA er indsamlet / tilvejebragt af medarbejdere i de tidligere amter (frem til og med 2006), de nuværende statslige regionale enheder under Miljøstyrelsen samt af en række konsulentfirmaer på vegne af amterne / enhederne.

Indsamlingen / tilvejebringelsen af data har bygget på tekniske anvisninger for hhv. ”delprogram for vandløb” og ”delprogram for stoftransport og landovervågning”. Med revisionen af NOVANA i 2017 er programmet justeret for perioden 2017-2021, men stadig baseret på de tekniske anvisninger. Disse kan ses på Institut for Bioscience hjemmeside (Aarhus Universitet): <http://bios.au.dk/raadgivning/fagdatacentre/fdcfersk/>

Alle måledata og stoftransporter (på målestationer og 2. ordens kystafsnit) kan findes på <http://odaforalle.au.dk>.

1.2 Kemisk vandkvalitet og stoftransport

Undersøgelserne i NOVANA-programmet af transporten af vand og stof har i 2018 omfattet målinger ved i alt 412 stationer, hvilket er væsentligt flere end tidligere år og hænger sammen med behovet for flere målinger, foranlediget af Fødevarer- og landbrugspakken (FLP). Måleprogrammet har således omfattet vandføring samt en række fysiske og kemiske parametre. Næringsstofferne kvælstof og fosfor samt organisk stof har været vigtige elementer, men der har også indgået målinger af pH, vandtemperatur og andre fysiske / kemiske parametre. Desuden er der tilvejebragt en række oplandsrelaterede informationer omfattende oplandsafgrænsning, arealanvendelse, jordtype, spildevandsudledninger, dyrkningspraksis m.m. Undersøgelser er foretaget efter samme principper hvert år, dvs. med et forud fastsat antal årlige målinger for at sikre en så præcis bestemmelse af den meget varierende vand- og stoftransport som økonomisk og praktisk muligt. NOVANA programbeskrivelsen kan ses på Miljøstyrelsens hjemmeside (<https://mst.dk/media/141463/novana-2017-21-programbeskrivelse.pdf>).

Ved hovedparten af stoftransportstationerne måles med en frekvens på 18 prøver pr. år. For et mindretal (ca. 5%) af stationer (naturoplande) er frekvensen mindre (12 prøver/år og overvåges hvert 3. år) og for søtilløb / -afløb (ca. 5%) lidt mindre (16 prøver/år).

Gennem alle årene i overvågningsperioden har der været anvendt de samme principper for databehandling, analyse og præsentation i forbindelse med undersøgelserne af vand- og stoftransport.

Hvis intet andet er nævnt, er der anvendt tidsvægtede gennemsnit for at tage højde for, at målingerne ikke er jævnt fordelt over året. I relation til stoftransport er der anvendt vandføringsvægtede gennemsnitskoncentrationer, som tager højde for svingninger i vandføring, både over året og fra år til år. Vandføringsvægtede gennemsnitskoncentrationer er beregnet ved for en given periode at dividere den samlede stoftransport med den samlede vandafstrømning.

I mange af rapportens analyser er stoftransportstationerne grupperet på grundlag af karakteren af menneskelig påvirkning i oplandet, dvs. i såkaldte typeoplande (Tabel 1.1) – se kapitel 4 & 5. Kriterierne er beskrevet for hver type i Tabel 1.1. Det skal bemærkes, at en del vandløb ikke længere lever op til kriterierne for den oplandstype de blev tildelt i 1991 og som bruges ved tidsserieanalyserne. Det kan fx skyldes reduceret spildevandstilledning eller nedlæggelse af dambrug. Kriterierne for klassifikationen af dyrkede oplande er lidt forskellige for kvælstof og fosfor. Antallet af stationer i kategorien dyrkede oplande er derfor ikke det samme i kvælstof- og fosforkapitlerne. For 2018 skelnes der kun mellem naturoplande og ikke-naturoplande, da bidraget fra dambrug og andre punktkilder er reduceret så kraftigt, at en kategorisering ikke længere er relevant.

Tabel 1.1 Stationstyper i vandløb baseret på en inddeling efter typeopland. I de anvendte kriterier for denne inddeling er der i punktkildebidraget ikke medregnet spildevand fra spredt bebyggelse. Antal stationer fordelt på oplandstyper, der er anvendt i tidsserie-analyse (1989-2018) og aktuelt status i 2018. Oplandstyper for tidsserie-analyser er opgjort efter situationen i 1991.

Oplandstype	1989-2018		2018
	Type nr.	tidsserie-analyser	aktuel status
Naturoplande *	1	6	18
Vandløb i dyrkede oplande (P):			
Dyrkningsgrad > 15%			
Bebyggelse < 50 %	2	29	#
Punktkildebidrag			
< 25 g P/ha, 0,5 kg N/ha			
Vandløb i dyrkede oplande (N):			
Dyrkningsgrad > 15 %			
Bebyggelse < 50 %	3	51	#
Punktkildebidrag < 0,5 kg N/ha			
Vandløb med punktkilder:			
Punktkildebidrag > 0,5 kg N/ha	4	68	#
Vandløb med dambrugsudledninger:			
P fra dambrug:			
> 30% af total transport	5	13	#
> 40% af punktkildebidrag			
Vandløb i bebyggede områder			
> 50% bebyggelse	6	2	#
Ikke-naturoplande, i alt		134	353

*undersøges kun hvert tredje år (2005, 2008, etc.) siden 2003

ikke opgjort separat for typerne 2-6

For at vurdere betydningen af forskellige forureningskilder er bidragene til den samlede stoftransport fra diverse kilder opgjort. Kildeopsplitningen er beregnet både for de enkelte vandløbsstationer og for den samlede stoftransport til havet. Beregningsmetoderne er detaljeret beskrevet i Svendsen (1998), men går i korthed ud på, at man på basis af den kendte samlede stoftransport samt det kendte bidrag fra en række punktkilder (byspildevand, industri, dambrug m.m.) beregner det diffuse bidrag fra det åbne land som differencen mellem punktkildebidraget og den samlede transport.

Beregninger af udviklingstendenser i transporter af kvælstof og fosfor følger Larsen m.fl. (2014). Derudover følger rapporteringen af stoftransporterne til havet samme principper og har samme omfang som i de foregående års NOVANA-rapporter.

1.3 Den økologiske overvågning

Den økologiske overvågning udføres i perioden 2017-2021 på ca. 800 stationer (kontroludviklingsstationer) for at vurdere den økologiske tilstand. I selve vandløbene foretages undersøgelser af biologiske kvalitetselementer, herunder makrofyter (vandløbsplanter), makroinvertebrater (smådyr), bundlevende alger og fisk, suppleret med undersøgelser af vandløbenes fysiske og vandkemiske forhold. Der indsamles også oplysninger om menneskeskabte påvirkninger af vandløbene (fx om udnyttelsen af de ånære omgivelser og oplandet til vandløbsstationerne) for at belyse sammenhængen mellem disse faktorer og den økologiske tilstand. Undersøgelserne foretages i en 5-årig cyklus, således at alle stationer bliver undersøgt én gang i overvågningsperioden. Ved ca. 250 af vandløbsstationerne foretages der dog undersøgelser af smådyrsfaunaen hvert andet år. Disse stationer har således til formål at tilvejebringe viden om den tidslige udvikling i bundfaunaen. Yderligere undersøges cirka 35 stationer årligt for samtlige biologiske kvalitetselementer samt fysiske og kemiske støttparametre, hvor disse data suppleres med intensive temperatur- og iltmålinger. Disse stationer har til formål at tilvejebringe viden om, hvorvidt de igangværende klimaforandringer påvirker økologiske forhold i danske vandløb.

Med revisionen af NOVANA for 2017-2021 er undersøgelserne ved de ovenfor nævnte ca. 800 stationer videreført – dog med udskiftning af et mindre antal stationer. Enkelte stationer er udtaget af programmet fra og med 2017, fordi de ikke indgår i vandplanerne.

Dette års rapportering omfatter resultater fra de ca. 250 tidsseriestationer, hvori smådyrsfaunaen i vandløb undersøges.

1.4 Særlige forhold ved årets rapportering

1.4.1 Genopretning af TN og TP prøver for 2016 og første kvartal 2017

Det blev i 2017 opdaget, at alle total-kvælstof (TN) og total-fosfor (TP) analyser i forbindelse med NOVANA programmet i 2016 og første kvartal 2017 var blevet analyseret med en forkert metode (Miljøstyrelsen, 2017a). Den forkerte metode (on-line metode) underestimerede TN og TP i forhold til off-line metode/autoklavemetoden, som skulle have været anvendt (Miljøstyrelsen, 2017b). På grund af denne fejl er det blevet undersøgt, om de fejlbehæftede resultater kunne genoprettes på grundlag af prøver (383 prøver for TN og 293 prøver for TP i vandløb) analyseret med begge metoder (Larsen m.fl., 2018).

Konklusionen på undersøgelsen er, at for prøver taget i vandløb kan de fejlbehæftede resultater godt genoprettes til anvendelse i belastningsopgørelse (ligning 1 og ligning 2). De genoprettede prøveværdier for TN kan anvendes selvstændigt, fx til beregning af stoftransport (Larsen m.fl., 2018). De korrigerede prøveværdier for TP bør ikke anvendes, hverken enkeltvis eller på enkeltstations niveau, men udelukkende for større dele af landet (Larsen m.fl., 2018).

$$\text{(Ligning 1)} \quad TN_{\text{korr}} = 0,131541 + 1,035184 \times TN_{\text{online}}$$

$$\text{(Ligning 2)} \quad TP_{\text{korr}} = \exp(-0,12548 + 0,88367 \times \ln(TP_{\text{online}}))$$

For stoftransporter opgjort i kapitel 5 og 6 er værdier genoprettet med hhv. ligning 1 og ligning 2 anvendt for året 2016 og første kvartal 2017. For ligning 2 er der indført et afskæringskriterie ved 0,34 mg/l, da ligningen vil korrigere højere værdier negativt ($TP_{\text{korr}} < TP_{\text{online}}$), hvilket ikke er i overensstemmelse med den fundne analyse metodefejl.

1.4.2 Genopretning af TN og TP prøver for perioden 2007 til 2014

Der er sket en genopretning (korrektion) af TN data målt af laboratoriet Eurofins i perioden 2007-2014 (Larsen, 2018). De genoprettede værdier er anvendt i denne rapport. Baggrunden for genopretningen er, at laboratoriet har anvendt online-metoden, men skulle have anvendt autoklavemetoden (Larsen m.fl. 2018).

Genopretningen er baseret på godt 1000 metodetest imellem on line metoden og autoklavemetoden for både TN og TP foretaget af Eurofins, men er begrænset til nogle få sommermåneder i 2015. Notatet, Larsen (2018), er derfor en midtvejsrapportering på det foreliggende datagrundlag. Det samlede resultat af genopretning med det nuværende datagrundlag og supplerende parallelanalyser fra oktober-december 2018 er endnu ikke rapporteret. Der er derfor mulighed for, at en ny genopretning af data fra perioden 2007-2014 (begge år inklusiv) bliver foretaget i fremtiden. Derfor er alle TN-tidsserier præsenteret med en mørk baggrund dækkende perioden 2007-2014 for at understrege den forøgede usikkerhed på opgørelser for disse og den potentielle BIAS, der er på dem.

Fejlen på TP har vist sig at være meget lille (0,13%), derfor sker der ingen genopretning af TP-værdierne.

Overordnede resultater på det foreliggende datamateriale.

For TN er der fundet en relativ fejl på 1,3 % (TN korrigeres 1,3% op).

For TP er den relative fejl meget lille (0,13%), og den statistiske analyse viser, at det ikke er nødvendigt at foretage en korrektion.

1.4.3 Anvendelse af nitrat-analyser

NOVANA NO₃-N (nitrat-N) prøver indsamlet samme tid og sted som TN prøverne er ikke berørt af den metodefejl, der har været på TN analyserne (se overstående afsnit 1.4.1 og 1.4.2). Da NO₃-N stabilt udgør >75% af TN, kan NO₃-N anvendes som en indikator for udviklingen i TN-koncentration / -transport (Blicher-Mathiesen m.fl., 2017). Derfor er der i dette års rapport inkluderet et kapitel, der viser udviklingen i NO₃-N koncentrationen og -transporten.

1.4.4 Kvælstof tilført Lillebælt ved ulykke på Fredericia havn 2016

Den 3. februar 2016 var der som følge af en brand på Fredericia havn et udslip af kvælstof fra firmaet Dan Gødning A/S. Nærværende rapporters formål er dels at opgøre den årlige tilførsel af kvælstof fra land til havet og dels at belyse udviklingen i kvælstoftilførslen på et fra år til år sammenligneligt grundlag. Derfor er mængden af kvælstof, der blev tilført Lillebælt ved udslippet, ikke inkluderet i opgørelser for 2016, der anvendes til analyser af udviklingen over tid eller den klimanormaliserede opgørelse. Tilførslen fra ulykken er tilføjet i Figur 6.5b som en separat hændelse (hverken som diffus tilførsel eller som spildevandsudledning).

Det totale udslip fra Dan Gødning A/S på Fredericia havn er opgjort til 4.800 ton N. Dansk Miljørådgivning A/S og NIRAS A/S opgør, at 2.045 ton N ikke er tilført Lillebælt, men er ophobet i jorden / grundvand, 1.840 ton (hvoraf 90 ton skønnes at være fordampet imellem ulykkestidspunktet og august 2017), opsamlet 60 ton, tilført rensningsanlæg 145 ton, i alt 2.045 ton (<https://www.fredericia.dk/haendelse-den-3-februar-paa-havnen>). Det giver en mængde, der er tilført Lillebælt på 4.800 ton N – 2.045 ton N = 2.755 ton N afrundet til nærmeste hele antal 100 ton N, er det 2800 ton N (Fredericia kommune, 2017).

De 2.800 ton N, der som følge af ulykken blev tilført Lillebælt i 2016, er ikke inkluderet i opgørelsen af kvælstoftilførselen til havet for 2016 i nærværende rapport. Ønskes den reelle kvælstoftilførsel til havet opgjort, skal de 2.800 ton N adderes til den opgjorte værdi. Kvælstof tilført Lillebælt ved ulykken indgår ikke i beregningen af den afstrømningsnormaliserede tilførsel.

1.4.5 Udvidelse af stationsgrundlaget for opgørelse af vandafstrømning og stoftransport

Vandløbsstationsnettet og dermed det målte oplandsareal (arealet opstrøms en vandløbsstation) er blevet forøget i denne opgørelse i forhold til tidligere års opgørelser. Stationsgrundlaget er forøget igennem oprettelsen af en række nye stationer og genoptagelse af drift på tidligere nedlagte stationer som følge af Fødevarer og landbrugs-pakken (FLP). Derudover har man yderligere inddraget en række andre stationer, som ikke tidligere har været anvendt.

Hydrometristsationsgrundlaget for vandafstrømningsopgørelsen blev for opgørelsen for 2017 udvidet fra 179 til 201 stationer, hvoraf hhv. 127 og 176 var i drift i hhv. 2016 og 2017. Til dette års opgørelse er stationsgrundlaget udvidet til 240 stationer, hvoraf 208 er i drift. Det målte oplandsareal (arealet opstrøms hydrometristsationer) er udvidet fra ca. 57% til 62%.

Stoftransportstationsgrundlaget er udvidet geografisk ved at udvide fra 169 til 237 stationer. Det målte opland udgjorde i 2016 55% af Danmarks areal mod 61% i år. I 2017 var 144 stationer i drift mod 209 i 2018.

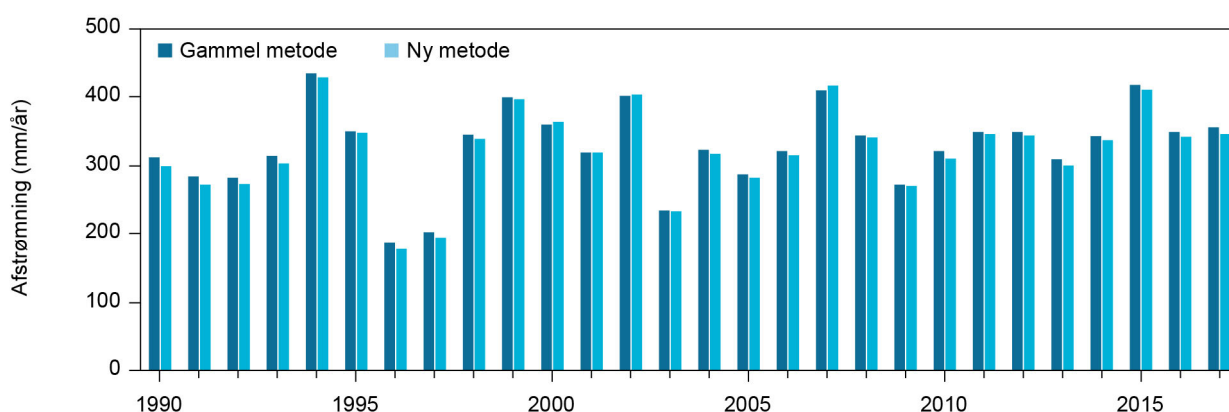
Udvidelsen af stationsnettet har forøget det målte opland generelt, og i enkelte kystafsnit er andelen af målt opland forøget betragteligt. Samtidigt er usikkerheden på opgørelsen blevet mindre, da en større andel af landet er målt i stedet for modelleret.

1.4.6 Ændring i kortgrundlag

Der er som en del af den løbende udvikling af beregningssystemet DK-QNP (en model, der benyttes til at opgøre vand og næringsstof tilførsel til havet) skiftet til et nyt kortgrundlag i forbindelse med årets opgørelse af kvælstof- og fosfortilførslerne til havet. Det nye kortgrundlag er ID15v1.5, som består af >3100 deloplande med en middelstørrelse på ca. 15 km². ID15 kortet afløser ID25 kortet, der indeholdt oplande med en middelstørrelse på ca. 25 km². ID15 kortet matcher flere målestationer og større søers udløb end ID25 kortet (deloplande har nedstrøms udløb samme sted som fx målestationer eller søudløb). Derfor kan der medtages flere målestationer, og der kan regnes retention på flere søer med ID15 kortet end med ID25 kortet. Begge dele bidrager til en bedre kvantitativ- og mere detaljeret opgørelse af næringsstofftilførslen. ID15 kortet kan rekvireres ved at skrive til id15@bios.au.dk.

1.4.7 Ændret metode til opgørelse af afstrømningen

Metoden til opgørelse af vandafstrømningen er ændret i årets rapport. Den nye metode er beskrevet i Thodsen m.fl. (2019b). Ændringerne indebærer, at afstrømninger fra det umålte opland (afstrømning fra områder uden målestationer) nu opgøres på basis af modellerede afstrømninger fra GEUSs DK-model (den nationale vandresourcemodel). Kortgrundlaget er ligeledes opdateret til ID15v1.5, hvilket har muliggjort, at væsentligt flere målestationer nu kan inddrages. Forøgelsen af antallet af målestationer er både en effekt af ændret kortgrundlag og oprettelsen af en lang række nye stationer i forbindelse med "Fødevarer og landbrugspakken". I rapporten "Vandløb 2016" anvendtes således 179 målestationer, i "Vandløb 2017" anvendtes 201 målestationer, mens der i "vandløb 2018" anvendes 240 målestationer. Antallet af stationer forventes at være stabilt omkring det nuværende niveau de næste år. Ændringen i metoden og datagrundlaget giver små ændringer i de årlige afstrømning (Figur 1.1), middelaflstrømningen for perioden 1990-2017 er med den gamle metode 329 mm/år og med den nye metode 323 mm/år, altså 2% lavere som middel over perioden. Ændringen vil i enkelte måneder/år og på mindre geografisk skala være større (spænd på årsforskelle: +2% til -5%).

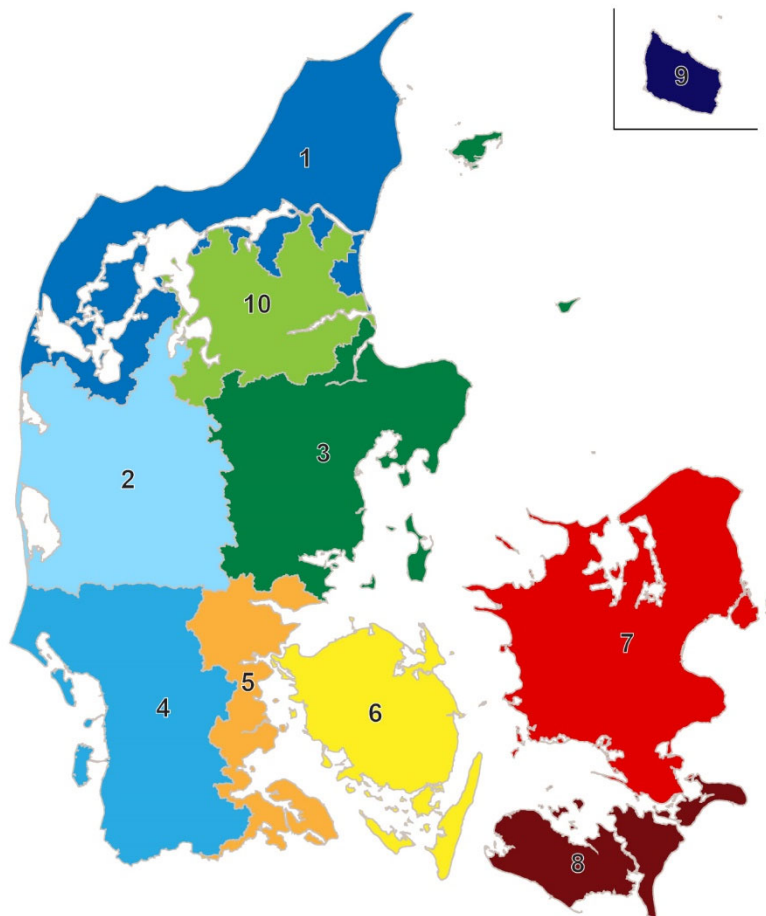


Figur 1.1. Vandafstrømning opgjort med hhv. gammel og ny metode

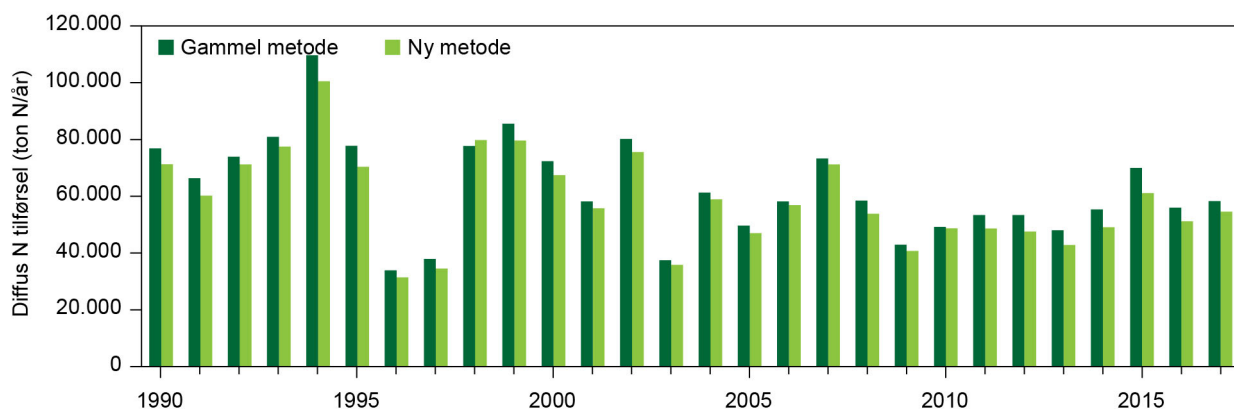
1.4.8 Ændret metode til opgørelse af diffuse tilførsler fra umålt opland

Der er udviklet en bias-korrektionsmetode, der korrigerer modelfejlen i store geografiske bias-regioner (10 for TN og 9 for TP) (Figur 1.2).

Figur 1.2. Biasregioner anvendt til bias-korrektion af afstrømning, diffus kvælstoftilførsel og diffus fosfortilførsel. Region 10 anvendes kun ved bias-korrektion af kvælstoftilførsel. For afstrømning og fosfor er region 10 en del af region 1.



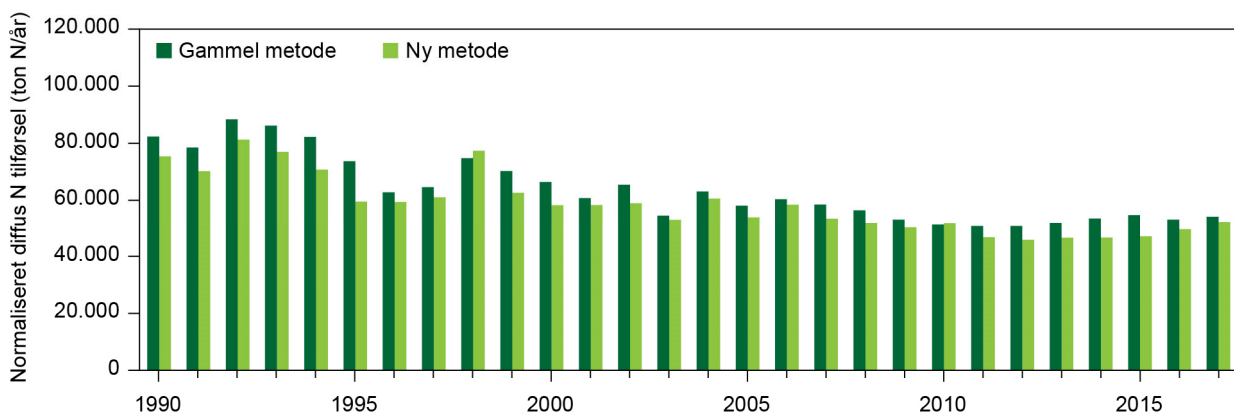
Den hidtidigt anvendte bias-korrektionsmetode korrigerede kun den modellerede TN-tilførsel for en del af landet og slet ikke TP. Den nye metode omfatter hele landet og både TN og TP. Bias-korrektion tager udgangspunkt i hhv. målte og modellerede månedlige vandføringsvægtede totale TN / TP- koncentrationer (begge baseret på målt vandafstrømning) ved 97 målestationer med fuldstændige måletidsserier siden 1990. Målestationer placeret i oplande indeholdende store søer som gennemstrømmes af hovedparten af vandet i oplandet er fra-valgt. Dette skyldes bl.a. en forholdsvis stor usikkerhed på beregningen af månedlig fjernelse af hhv. N og P i søer samt at punktkilde data kun forefindes som årsværdier og månedsværdier derfor er estimerede ved at antage en ligelig fordeling over årets 12 måneder. Forskelle i koncentration mellem målte og modellerede værdier ses som en generel model-bias, som det er rimeligt at korrigere. Der beregnes således for hver måned for hvert år en samlet målt og modelleret vandføringsvægtet TN / TP-koncentration for de af de 97 stationer, der ligger i en given region. Den relative forskel herpå multipliceres på den modellerede koncentration for regionens umålte opland. Bias-korrektionen gør endvidere, at modellerede TN- og TP-tilførsler fra det umålte opland i højere grad følger den tidslige udvikling, der ses for det målte opland (Figur 1.3). Dette gør, at evt. forkerte analyseresultater (se afsnit 1.4.1 og 1.4.2) vil have en effekt ikke kun på tilførslen fra det målte opland, men også den beregnede tilførsel fra det umålte opland, hvilket er en forskel til tidligere års opgørelse. Aktuelt er det potentielt et problem for opgørelsen i perioden 2007-2014 hvor der blev konstateret fejl i analysemetoden (jf. afsnit 1.4.1 og 1.4.2). Den diffuse kvælstoftilførsel er som middel 8% lavere end med den gamle opgørelsesmetode. En del af denne forskel stammer fra ændringen i vandafstrømningen og inddragelse af nye målestationer, se afsnit 1.4.6 & 1.4.7.



Figur 1.3. Kvælstoftilførsel til havet fra diffuse kilder opgjort hhv. med gammel- og ny metode. En del af forskellen mellem metoderne skyldes ændringen i vandafstrømningsopgørelsen.

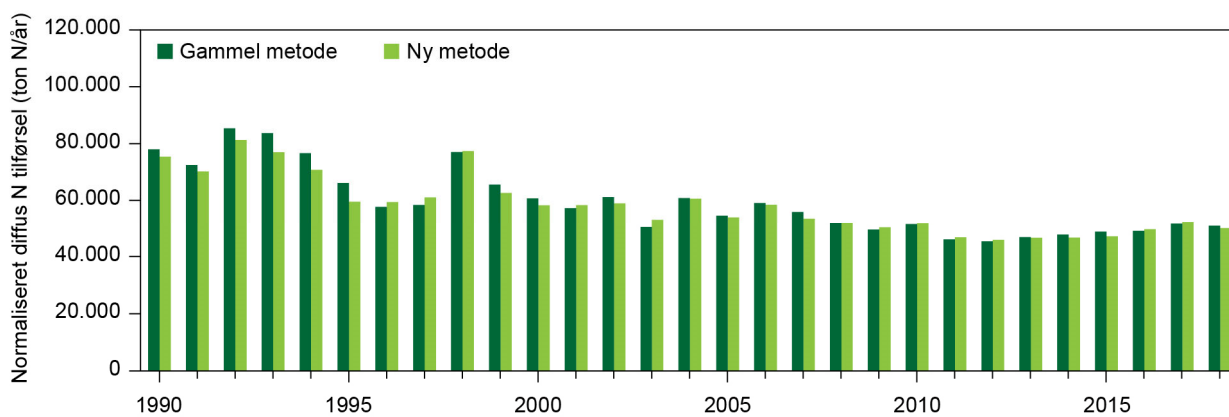
1.4.9 Ændret metode til klimanormalisering

Til dette års opgørelse af kvælstofafstrømningen er der udviklet en ny klimanormaliseringsmetode. Derfor er de normaliserede tilførsler i de tidligere års vandløbsrapporter ikke direkte sammenlignelige med normaliserede tilførsler beregnet med den nye metode. Metoden er beskrevet i detaljer i Larsen m.fl. (under udarbejdelse). Med skiftet i metode er der introduceret en bias-korrektion af de normaliserede værdier, således at der er massebevarelse set igennem hele perioden fra 1990. Massebevarelse vil sige, at set over hele perioden siden 1990 er den klimanormaliserede og den aktuelle tilførsel ens. Den gamle metode indeholdt ikke en bias-korrektion. Det er beregnet, at de normaliserede værdier over perioden 1990 – 2017 var 1% højere end de aktuelle tilførsler med den gamle metode. I Figur 1.4 ses en sammenstilling af normaliserede årstilførsler af total-N fra diffuse kilder, hvor de aktuelle opgørelser er forskellige jf. afsnit 1.4.5 til 1.4.8.



Figur 1.4. Klimanormaliserede kvælstoftilførsler fra diffuse kilder opgjort hhv. med den gamle og den nye metode. En del af den forskel, der ses, stammer fra forskelle i opgørelsen af den aktuelle kvælstoftilførsel.

I Figur 1.5 ses en sammenstilling af klimanormaliserede årlige diffuse tilførsler beregnet med hhv. den gamle og den nye metode på de aktuelle tilførsler beregnet med opgørelsesmetoden anvendt for dette års rapportering jf. afsnit 1.4.5 til 1.4.8. I Figur 1.5 skyldes forskellene derfor udelukkende ændringen i klimanormaliseringsmetode, mens forskellene i Figur 1.4 også skyldes ændringer i opgørelsesmetode.



Figur 1.5. Normaliseret kvælstoftilførsel beregnet med hhv. den nye og den gamle normaliseringsmetode, på basis af samme opgørelse af tilførselsen – opgørelsen anvendt i nærværende rapport.

2 Ferskvandsafstrømning, klima og vejr

Niels Bering Ovesen, Henrik Tornbjerg & Hans Thodsen

De klimatiske forhold og variationerne heri har stor betydning for vandmiljøet. I nedbørsrige år er vandafstrømningen i vandløbene således typisk større end i mere 'tørre' år. Med en øget vandafstrømning vil der også foregå en større tilførsel af fosfor og kvælstof fra dyrkede og udyrkede arealer til vandløbene end i mere 'tørre' år. Et nedbørsrigt år giver derfor større risiko for algeopblomstringer og iltsvind i søer, fjorde og øvrige marine områder end år med mindre nedbør og mindre ferskvandsafstrømning.

Tilførslen af kvælstof og fosfor til vandområderne vil også variere hen over året som følge af variationerne i de klimatiske forhold. Ud over variationer i nedbøren kan variationer i temperaturen have betydning for mængden af kvælstof, der udvaskes til vandmiljøet.

Vejret i de enkelte år skal derfor tages i betragtning, når man vurderer variationen og udviklingen i tilførslen af næringsstofferne fosfor og kvælstof til det danske vandmiljø.

2.1 Datagrundlag og metoder

Data om temperatur og nedbør er tilvejebragt via DMI's GRID-data (<http://novana.dmi.dk/novana/>). Månedsnedbøren og temperaturdata er således baseret på data fra kvadrater på henholdsvis 10×10 km og 20×20 km gridværdier. Grid er 'klippet' med kystlinjen, og nationale data for nedbør og temperatur er derefter beregnet for arealet inden for kystlinjen. Det bemærkes, at de anvendte nedbørsværdier ikke er korregeret for, at nedbørsmåleren ikke fanger al den nedbør, der rammer jordoverfladen. Faktorer, der influerer målerens underestimering af nedbøren, er vind, temperatur og wetting (vanddråber, der afsættes på regnmålerens sider, hvorfra de fordamper uden at blive registreret). Forskellen imellem den målte og den reelle nedbør er størst, når nedbøren falder som sne. Månedssdata for temperatur og nedbør anvendes i de modeller for næringsstofftab (N og P), der bruges ved beregninger af den diffuse næringsstoftransport fra umålte oplande (kapitel 6 og 7).

Ferskvandsafstrømningen er beregnet på baggrund af det datagrundlag og med den metode, der er beskrevet i Thodsen m.fl. (2019b). Til denne rapport (Vandløb 2018) er metoden ændret sådan, at afstrømningen fra det umålte opland beregnes med "Den Nationale Vandresourcemodel", som er en hydrologiske model (for det meste kaldet DK-Modellen) afviklet af GEUS (Højberg m.fl. 2015). Undtaget er en række øer i Kattegat, som ikke er dækket af DK-Modellen. Disse øer tildeles et referenceopland med sammenlignelige klimatiske og geologiske forhold. Huludfyldning af stationer uden fuld måletidsserie foregår nu ligeledes ved at sammenstille afstrømninger fra DK-Modellen og hydrometriske måledata. Metoden for huludfyldning er beskrevet i Thodsen m.fl. (2019b). For hvert opgørelsesår køres DK-modellen for hele perioden fra 1990, således at den nyeste version af modellen anvendes, og der anvendes en konsistent tidsserie.

I beregningerne (1990-2018) indgår måledata fra i alt 240 vandføringsmålestationer, der samlet dækker 26.840 km², svarende til 62% af landets areal. Anvendelsen af 240 stationer er en udvidelse af stationsantallet fra de foregående år, hvor der har været anvendt 179 stationer i en lang periode fra 2016 og bagud i tid og 201 stationer i 2017 (se afsnit 1.4.5). Der er ikke måledata fra alle stationer i alle år, men også antallet af stationer i drift er steget fra 127 i 2016 til 176 i 2017 og 208 i 2018 (se afsnit 1.4.5), dvs. at der er for 2018 er anvendt 32 stationer som kun har målinger for en del af perioden 1990-2017 og ikke målinger i 2018. Det samlede oplandsareal til disse 208 stationer er ca. 25.770 km², svarende til ca. 60% af landets areal.

Den relative usikkerhed på opgørelsen af ferskvandsafstrømningen er størst i små oplande, hvor der ofte kun er en meget lille andel eller slet intet af arealet, der er dækket af målestationer.

2.2 Vejr klima og ferskvandsafstrømning

Vejret i 2018 var som helhed væsentligt varmere end gennemsnittet for perioden 1990-2017, (Figur 2.1 & 2.3). Middeltemperaturen for landet blev 9,5°C, hvilket er 1,8°C over normalen (1961-1990) (7,7°C) jf. Cappelen (2019). I forhold til gennemsnittet for 1990-2017 blev 2018 0,8°C varmere. Det var især månederne maj, juni og juli, der var meget varmere end gennemsnittet (Figur 2.3A). Til gengæld var både februar og marts noget koldere end gennemsnittet for 1990 til 2017.

Nedbørsmængden i 2018 var for hele landet 593 mm, hvilket er 121 mm (17 %) under normalen for 1961-90 og 170 mm (22 %) under gennemsnittet for 1990-2017 (763 mm). 2018 var således meget nedbørsfattigt.

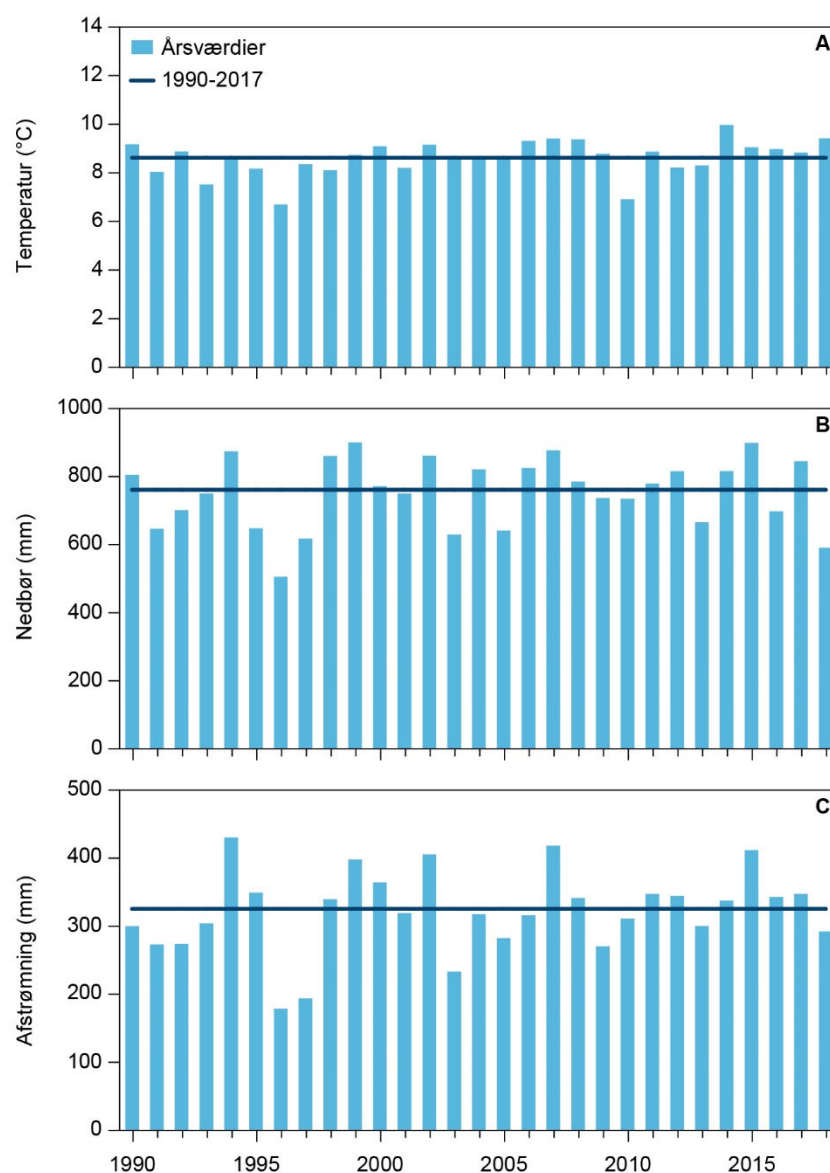
Generelt var nedbøren i 2018 stærkt varierende (Figur 2.3B). Især maj, juni og juli fik meget mindre nedbør end normalt, hvilket også var tilfældet i oktober og november. Derimod var januar og august forholdsvis våde. Sommeren og efteråret var præget af en række skybrud forskellige steder i landet.

Den samlede ferskvandsafstrømning til de danske farvande er for 2018 opgjort til 12.600 millioner m³, hvilket svarer til en arealspecifik afstrømning på 292 mm (Figur 2.1C). Gennemsnittet for perioden 1990-2017 er 323 mm, afstrømningen blev dermed 10% lavere end gennemsnittet.

Ferskvandsafstrømningen i 2018 varierede noget atypisk hen over året i forhold til normalt (Figur 2.3C). I begyndelsen af året (januar) var afstrømningen meget høj, hvilket har sammenhæng med den megen nedbør i januar, men også at den sidste del af 2017 var forholdsvis nedbørsrig. I løbet af foråret var afstrømningen nær det normale i alle månederne, men i sommerperioden og især i perioden oktober til december var den væsentligt mindre end normalt.

Det afvigende mønster i afstrømningsfordelingen over året skyldes især, at en del af vandmængderne forsinkes i jord- og grundvandsmagasinerne. Fordampningen er meget lav i vinterperioden, så her er afstrømningen tættere koblet til den aktuelle nedbør, men alligevel ses en mindre forskydning på ca. en måned. De ekstraordinært nedbørsfattige måneder i sommeren betinger ikke umiddelbart en helt tilsvarende lav afstrømning, da grundvandstilstrømningen fortsat giver et vist tilskud til vandløbenes vandføring, men da den sidste del af året også er meget nedbørsfattig, bliver afstrømningen meget lav især i de 3 sidste måneder af året. (Figur 2.3B og C).

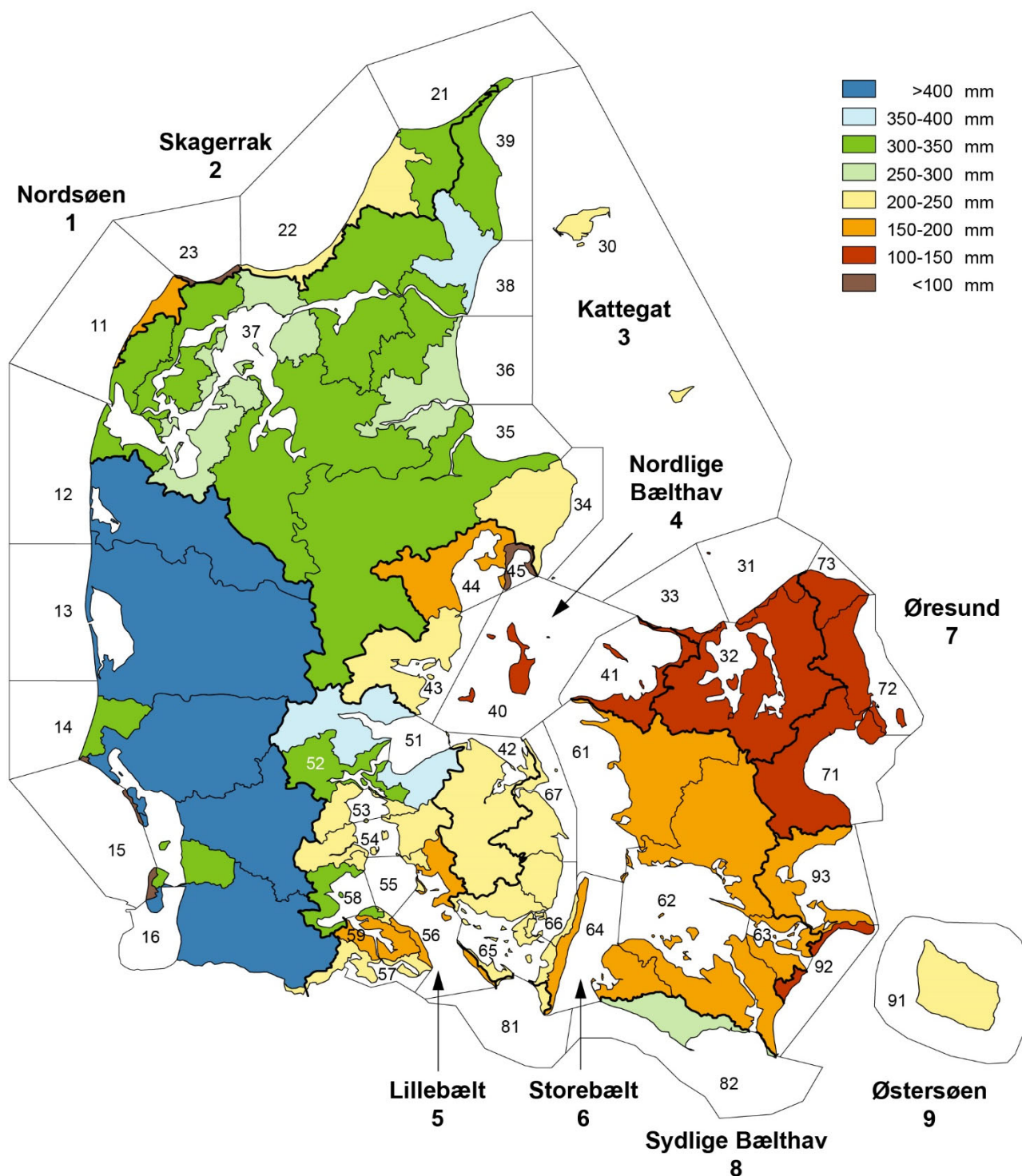
Figur 2.1. Årsmiddelværdier for temperatur (A), nedbør (ukorrigeret) (B) og ferskvandsafstrømning (C) fra 1990 til 2018 samt gennemsnit for perioden 1990-2017. Data for temperatur og nedbør er aggregeret fra DMI's Gridværdier.



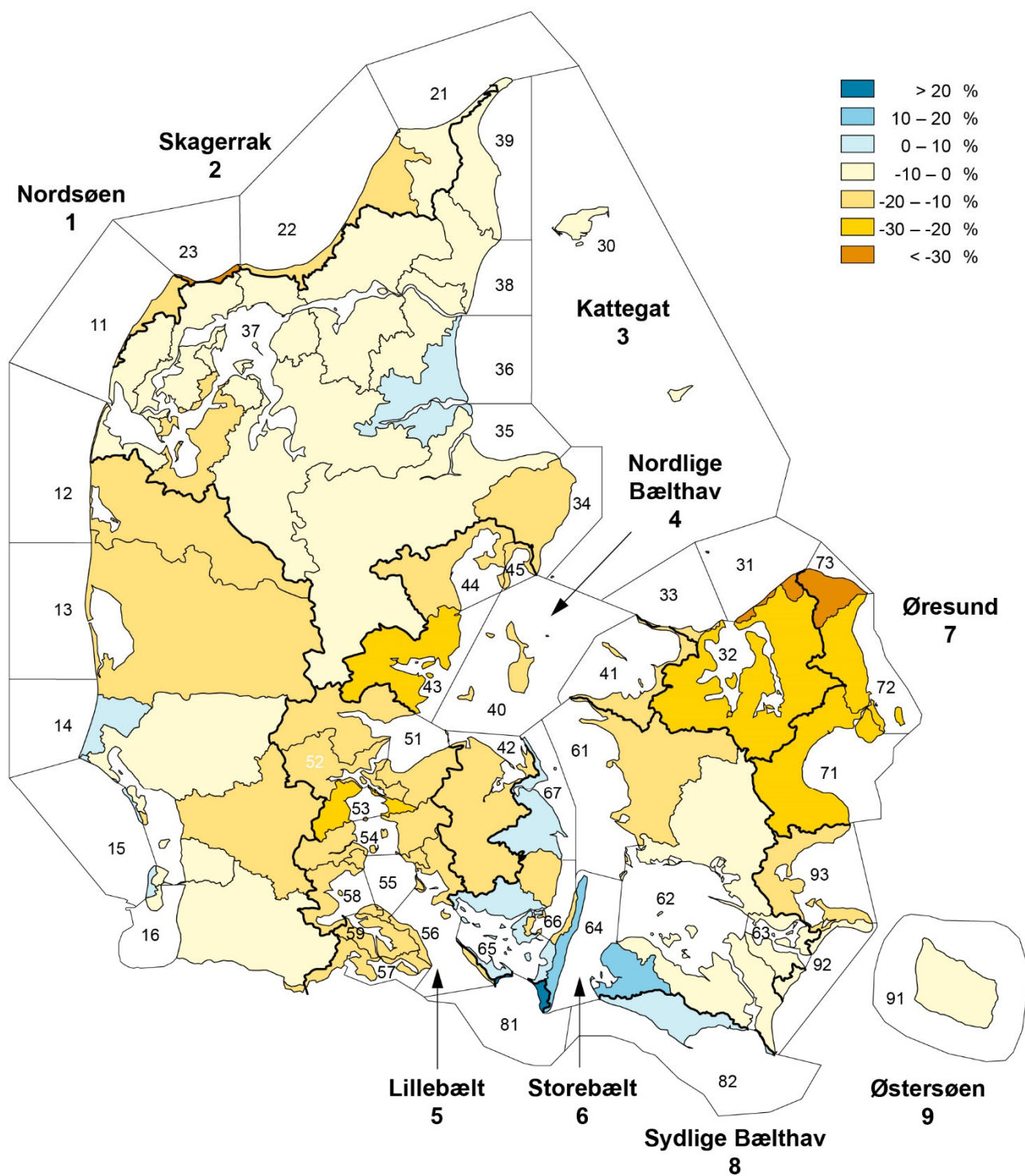
Afstrømningsforholdene udviser normalt - ligesom nedbøren - en stor geografisk variation, hvilket også var tilfældet i 2018 (Figur 2.2A). I det midt- og vestlige samt sydlige Jylland var årsafstrømningen typisk 400-500 mm, mens afstrømningen til Limfjorden og fra det centrale Jylland var noget mindre (200-350 mm). I Vendsyssel og i Østjylland var der meget betydelige, lokale forskelle, og her ligger værdierne i et interval mellem (150-400 mm). For Sjælland var afstrømningen typisk mellem 100 og 200 mm, og på Fyn mellem 200 og 400 mm. For landet som helhed ses således en meget stor forskel i afstrømningsfordelingen fra øst mod vest, med 2 til 3 gange så store mængder i vest i forhold til øst. Den meget tørre sommer medførte især meget ringe afstrømning i de sjællandske vandløb.

I de små oplande ses i visse tilfælde en meget afvigende afstrømningsmængde i forhold til de nærværende liggende store oplande, fx farvandsområderne 45 i forhold til 34, 15 i forhold til 16 og 23 i forhold til 37. (Figur 2.2A). Disse forskelle kan skyldes betydelige forskelle i oplandenes hydrologiske og geologiske forhold, men også at usikkerheden på opgørelserne for de små oplande er meget betydelig.

Det var generelt for store dele af landet, at afstrømningen i 2018 var betydeligt mindre end normalt (Figur 2.2.B). Dog var der i visse områder, bl.a. Mariager Fjord, Sydfyn og dele af Lolland-Falster, en lidt større afstrømning end normalt.

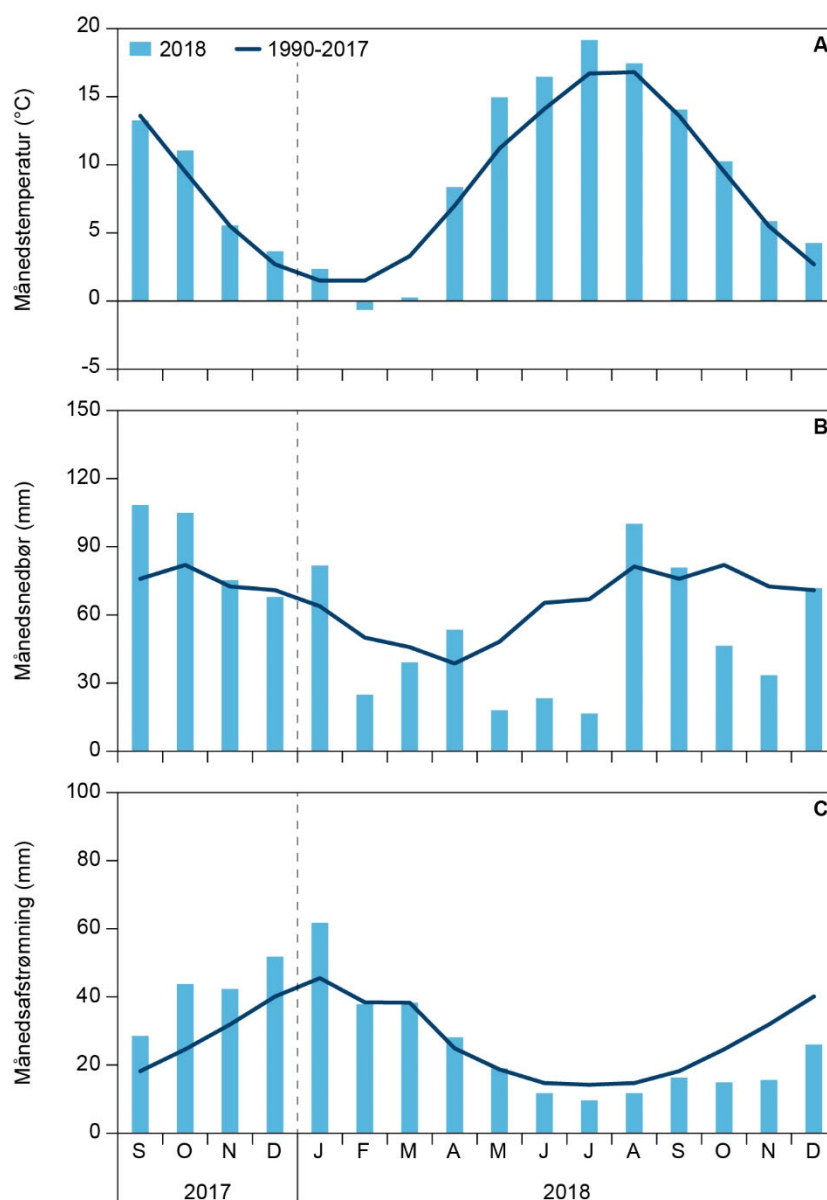


Figur 2.2 A. Ferskvandsafstrømning til marine kystafsnit i 2018 (mm/år).



Figur 2.2 B. Afvigelse i ferskvandsafstrømning til marine kystafsnit i 2018 i forhold til gennemsnit for 1990 til 2017, (%).

Figur 2.3. Månedsværdier for temperatur (A), nedbør (B) og ferskvandsafstrømning (C) for Danmark i 2018 og de sidste 4 måneder i 2017. Desuden er vist gennemsnit for perioden 1990-2017.



2.3 Ferskvandsafstrømninger fra det målte opland

Afstrømningen er opgjort for de 240 hydrometristationer, der indgår i årets opgørelse af landsafstrømningen. I 2018 er der målt afstrømning på 208 stationer, mens der på 104 stationer er målt i alle år siden 1990. For alle stationer med perioder uden målinger er der foretaget en huludfyldning af disse perioder (se afsnit 1.1 og Thodsen m.fl. 2019b).

Afstrømningen for 104 hydrometristationer med fuld måletidsserie siden 1990 er for 2018 opgjort til 336 mm mod 408 mm året før (17% lavere). Gennemsnitsafstrømningen for de sidste 20 år er 383 mm, mens den for perioden siden 1990 er 367 mm.

Afstrømningen (mm/år) fra det målte opland er opgjort til at være højere end afstrømningen fra hele landet. Det skyldes primært, at nedbøren er større inde i landet (målt opland) end langs kysten (umålt opland).

3 Økologisk tilstand

Jes J. Rasmussen

Som omtalt i indledningen (kapitel 1) er det et vigtigt formål med NOVANA, at kunne præsentere en oversigt over den generelle økologiske tilstand i danske vandløb samt at beskrive udviklingen i denne tilstand. En sådan beskrivelse er en forudsætning for at kunne afrapportere iht. internationale direktiver og konventioner. Derudover er overvågningen et væsentligt element til belysning af betydningen af miljø- og klimamæssige faktorer samt effekten af indgreb over for disse på den generelle tilstand.

3.1 Måling af økologisk tilstand i danske vandløb

Vandløbenes økologiske tilstand bedømmes ifølge Vandrammedirektivet primært på baggrund af biologiske kvalitetselementer. Der er som udgangspunkt tale om planteplankton (fytoplankton), bundlevende alger og større vandplanter (makrofytter), smådyr (makroinvertebrater) og fisk. Dog skal fytoplankton ikke benyttes som kvalitetselement i danske vandløb, da disse generelt er forholdsvis små og korte og derfor ikke udvikler markante bestande af fytoplankton. Inden for hvert kvalitetselement anvendes indikatorer til at klassificere den økologiske tilstand i hhv. høj, god, moderat, ringe og dårlig økologisk tilstand. Baggrunden for at anvende flere forskellige kvalitetselementer er at opnå en optimal og fyldestgørende beskrivelse af tilstanden, idet en bestemt organisme-gruppe typisk vil være særlig egnet til at afspejle bestemte påvirkninger.

Derudover kan beskrivelser af den økologiske tilstand understøttes med data for fysisk-kemiske forhold. Der kan fx være tale om udvalgte vandkemiske parametre, parametre der karakteriserer den fysiske tilstand (vandløbets form, bundsubstrat, hydrologisk regime), eller om der er kontinuitet i vandløbet (således at vandrefisk kan komme til og fra deres gydepladser).

For danske vandløb er der i dag udviklet indikatorer inden for kvalitetselementerne vandløbsplanter (Dansk Vandløbsplante Indeks, DVPI), smådyr (Dansk Vandløbs Fauna Indeks, DVFI) og fisk (Dansk Fiskeindeks for Vandløb, DFFVa / DFFVø). Ligeledes er der udviklet et indeks for bundlevende alger, der dog endnu ikke officielt er taget i brug.

I NOVANA-programmets vandløbsøkologiske del foretages der undersøgelser af kvalitetselementerne vandplanter, smådyr og fisk. Desuden indsamles data for bundlevende alger, således at den økologiske tilstand vil kunne afrapporteres for dette biologiske kvalitetselement, når det danske indeks for bundlevende alger officielt tages i brug. Derudover måles en række andre parametre til karakterisering af den fysiske og kemiske tilstand, ligesom der indsamles oplysninger om forholdene i oplandet til de enkelte målestationer samt om karakteren af de vandløbsnære omgivelser. I alt undersøges ca. 815 stationer i perioden 2016-2021, alle ovennævnte undersøgelser udføres mindst én gang på hver vandløbsstation i perioden. Samtlige stationer er udvalgt, således at de giver en god geografisk dækning og samtidig dækker vandløb, der repræsenterer en påvirkningsgradient inden for udvalgte menneskeskabte påvirkninger (se i øvrigt kapitel 1). I 2018 indgik ca. 1/6 af stationsnettet fra overvågningsperioden 2016-2021. Derudover indgik ca. 245 stationer til beskrivelse af den tidlige udvikling i DVFI. Bundfaunaprøver fra

disse tidsseriestationer har i de foregående to overvågningsperioder (2004-2009 og 2010-2015) været indsamlet årligt, mens der i den nuværende overvågningsperiode indsamles bundfaunaprøver hvert andet år. Tidsseriestationerne udgør en delmængde af de 815 kontrolovervågningsstationer.

Til dette års rapportering af miljøtilstanden i danske vandløb er der fokuseret på at give en status over den økologiske tilstand og udvikling på de 245 stationer, hvor der i 2018 er indsamlet bundfaunaprøver til bedømmelse med DVFI. Der er i nærværende rapport foretaget vurderinger af vandløbenes økologiske tilstandsklasser i forhold til de gældende målsætninger i de nationale vandplaner.

Tilstandsvurderinger på de ca. 815 kontrolovervågningsstationer på baggrund af DFFVa/DFFVø, DVPI, DVFI samt det danske indeks for bundlevende alger i vandløb vil blive afrapporteret, når alle data er indsamlet med udgangen af overvågningsperioden 2016-2021, og dermed et fuldt datasæt tilgængeligt til at underbygge konklusioner om udviklingen på national skala.

3.2 Dansk Vandløbs Fauna Indeks (DVFI)

Dansk Vandløbs Fauna Indeks klassificerer ud fra sammensætningen af smådyr den økologiske tilstand i syv faunaklasser (Miljøstyrelsen 1998). Faunaklasse 7 angiver den bedste tilstand (det upåvirkede/næsten upåvirkede vandløb), mens faunaklasse 1 betegner den dårligste tilstand.

DVFI er en semi-kvantitativ indikator, som især kan beskrive påvirkninger af organisk belastning. En lav faunaklasse (fx 1, 2 eller 3) findes derfor typisk i vandløb med dårlige iltf forhold på grund af forurening med spildevand fra kommunale spildevandsanlæg, enkeltliggende ejendomme i det åbne land eller dambrug. Der kan også forekomme lave faunaklasseverdier i vandløb, som er stærkt påvirket af okker (som i nogle vestjyske vandløb) samt i vandløb med dårlige fysiske forhold. For eksempel kan udrettede og uddybede vandløb og/eller vandløb, der vedligeholdes intensivt med oprensning og grødeskæring, kun sjældent opnå faunaklasseverdier over 4. Generelt er indekset ikke særligt følsomt over for ændringer i hydrologi og forurening med miljøfarlige stoffer (fx Gräber m.fl. 2014; Wiberg-Larsen m.fl. 2016).

3.2.1 År til år-udviklingen i faunaklasse

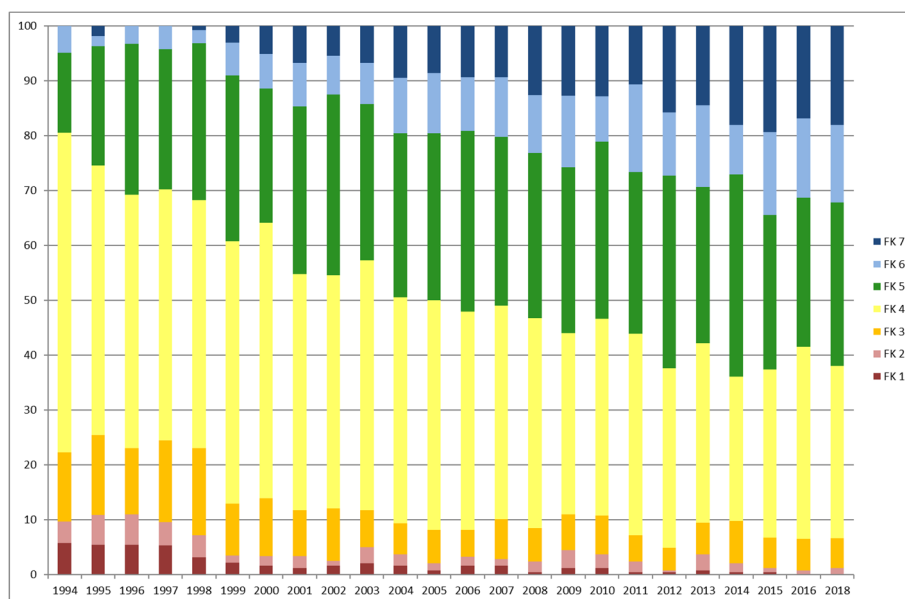
Siden 1994 har der i de nationale overvågningsprogrammer været foretaget standardiserede årlige undersøgelser af DVFI på et udvalgt landsdækkende net af stationer. Antallet af stationer og den overordnede strategi bag udpegnen af disse stationer har varieret gennem perioden, men det er muligt at beskrive en udvikling ud fra 91-247 specifikke stationer. Langt størstedelen af de stationer, der indgik i tidsseriestationsnettet, da der var færrest stationer, har gennemgående indgået i tidsseriestationsnettet i hele perioden 1994-2018, hvilket underbygger, at fortolkningsgrundlaget er fagligt forsvarligt. Dog skal udviklingen i DVFI på disse stationer fortolkes med det forbehold, at disse stationer ikke nødvendigvis har samme udpegningsgrundlag som det overordnede sæt af kontrolovervågningsstationer og dermed ikke i samme grad afspejler gradienterne i de udpegede stresspåvirkninger.

Bundfaunaprøverne fra tidsseriestationerne viser, at den økologiske tilstand generelt er blevet afgørende forbedret siden 1994 (Figur 3.1). Således er andelen af faunaklasserne 1-3 reduceret fra 22-26% i perioden 1994-1998 til 5-10% i perioden 2011-2015, ligesom andelen med faunaklasse 4 er reduceret fra 45-58% til 27-37 %. Modsat er andelen med faunaklasse 5-7 (god til høj tilstand)

øget fra 19-32% i 1994-1998 til 56-65% i 2011-2015. Specielt er andelen med faunaklasse 6 eller 7 øget markant.

I 2018 var der data fra i alt 244 stationer. På disse stationer var fordelingen i faunaklasser overordnet stærkt sammenlignelig med de foregående 5-7 år (2012-2016). På den andel af stationer, hvor der foreligger DVFI værdier for både 2016 og 2018, var der en positiv udvikling i DVFI på 44 stationer, mens udviklingen var negativ på 36 stationer. Ud af de 36 stationer med negativ udvikling havde 13 af disse faunaklasse 5-7 i 2016 og faunaklasse 4 i 2018, mens 19 af de stationer, som havde en positiv udvikling i DVFI, havde faunaklasse 4 i 2016 og faunaklasse 5-7 i 2018. Den samlede andel af stationer med positiv udvikling er således marginalt større end andelen af stationer med negativ udvikling. Det skal dog understreges, at den samlede fordeling af faunaklasser mellem tidsseriestationer synes stabil fra cirka 2012 til 2018 (se også Figur 3.1).

Figur 3.1. Udvikling i faunaklassen (Dansk Vandløbs Fauna Indeks) ved 91-247 stationer undersøgt på standardiseret vis igennem perioden 1994-2018.



Baggrunden for den generelle udvikling i hele perioden er indgående beskrevet i Wiberg-Larsen m.fl. (2015). Den overordnede forklaring er forbedret spildevandsrensning ved kommunale renseanlæg og dambrug, hvorimod forbedret rensning ved ejendommene i det åbne land formodentlig endnu ikke har slået igennem i samme grad. Dels er sidstnævnte endnu ikke gennemført i fuldt omfang på landsplan, dels er udledningerne primært af væsentlig betydning i små vandløb, som i mindre omfang indgår i nærværende analyser. Efterhånden som den vandkemiske tilstand er blevet forbedret, kan rekoloniseringen af fysisk egnede vandløbsstrækninger gradvist foregå med arter af smådyr, som er indikatorer for god-høj økologisk tilstand. Denne rekolonisering foregår med en naturlig forsinkelse ift. stigningen i antallet af egnede levesteder, idet smådyrenes etablering på nye levesteder til dels afhænger af spredning over land i dyrenes voksne livsstadier.

Stagnationen i væksten af antallet af stationer med faunaklasse 5-7 gennem de seneste ca. fem til syv år skyldes sandsynligvis, at andre miljømæssige forhold, herunder dårlige fysiske forhold i mange regulerede vandløb, sætter den nedre grænse for, hvor mange arter af smådyr, som er indikatorer for god-høj økologisk tilstand, der kan etablere bæredygtige populationer på strækningerne. Dette skyldes til dels, at en række arter af smådyr har særligt specifikke krav til de fysiske forhold i vandløb, som ikke kan imødekommes i regulerede vandløb med dårlige fysiske forhold.

4 Kvælstof i vandløb

Jens Bøgestrand

Kvælstof er et plantenæringsstof, og de menneskeskabte forøgede tilførsler af kvælstof til havet er en af de vigtigste årsager til opblomstring af alger om foråret og tidligt på sommeren. Disse algeopblomstringer kan medføre ilt-svind i sensommeren og det tidlige efterår, når en stor del af algerne nedbrydes (Conley m.fl., 2009). Forhøjede tilførsler af kvælstof kan også have en negativ betydning i nogle af vores søer. Vandområdeplanerne har som et af de vigtigste mål at reducere tilførslen af kvælstof til havmiljøet og til grundvand / drikkevand.

Kvælstof i vandmiljøet stammer primært fra udvaskning fra landbrugsarealer, men der udledes også noget fra renseanlæg, industrier og dambrug.

Kvælstof har normalt relativt lille betydning for miljøet i selve vandløbene, bortset fra forhøjede koncentrationer af ammoniak, der har giftvirkning på smådyr og fisk, ligesom forhøjede koncentrationer af ammonium-N kan udelukke tilstedeværelsen af visse vandplanter. Til gengæld er vandløbene en vigtig transportvej for kvælstof til søer og havet. Målinger af koncentrationer og transport af kvælstof i vandløbene viser, om tilførslen til havet (eller søerne) bliver mindre, sådan som det er hensigten med Vandområdeplanerne.

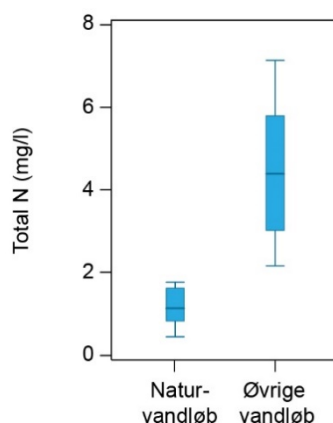
Der er ingen landsdækkende målsætninger / grænseværdier for koncentrationen af kvælstof i vandløb.

4.1 Tilstanden i 2018

Vurderingen af kvælstofkoncentrationer i vandløb er i år baseret på et væsentligt større antal vandløb end tidligere år, da NOVANA er blevet udvidet til næsten det dobbelte antal vandløb. Dette giver et mere dækkende geografisk billede.

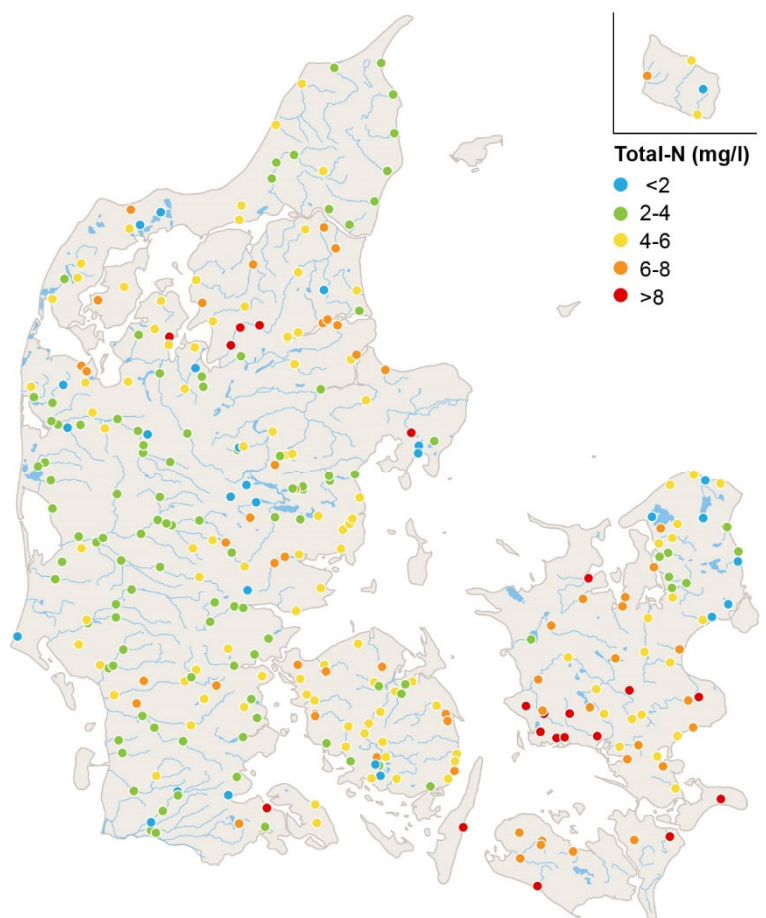
Median-koncentrationen af kvælstof i vandløb, som ligger i dyrkede oplande eller modtager udledninger fra punktkilder, var i 2018 omkring 4 gange så høj som baggrundsniveauet målt i naturvandløb (Figur 4.1).

Figur 4.1. Koncentrationen af total-kvælstof i vandløb i 2018. Vandføringsvægtede årsmiddelværdier. Box-whiskers angiver 10, 25, 50, 75 og 90 percentiler.



Der er en betydelig variation i koncentrationerne. Tidligere analyser af resultater fra naturvandløb har således vist, at der er regionalt betingede forskelle, som kan forklare noget af variationen. Således er koncentrationen af nitratkvælstof væsentligt højere i oplande med lerjord end i sandjordsoplande. Vandløb i Vestjylland har bl.a. derfor generelt en lavere koncentration af kvælstof end, for eksempel, de sydsjællandske vandløb (Figur 4.2). I Vestjylland siver en stor del af regnvandet en lang vej gennem dybtliggende, regionale grundvandsmagasiner, før det når frem til vandløbene. Under denne transport passerer meget af vandet iltfrie zoner i jorden, hvor nitrat bliver omsat ved biologisk eller kemisk denitrifikation. I Østdanske vandløb vil en stor del af nedbøren til gengæld strømme gennem øvre grundvandsmagasiner eller dræn uden at skulle passere iltfrie zoner. Derfor bliver der ikke fjernet så meget nitrat ved denitrifikation i denne region, og vandløbene har derfor højere kvælstofkoncentrationer.

Figur 4.2. Koncentrationen af total-kvælstof i vandløb i 2018. Vandføringsvægtede årsmiddelværdier.

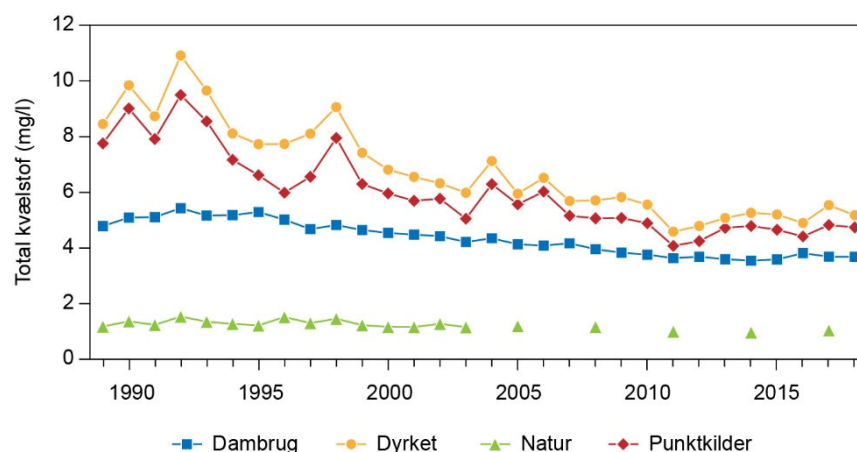


4.2 Udvikling siden 1989

Udviklingen i kvælstofkoncentration er beregnet ved hjælp af ”change-point” modeller (Carstensen & Larsen, 2006). For total N er der defineret knæpunkter ved årskiftene 1996/97 og 2010/11. Koncentrationsændringen i det enkelte vandløb er herefter beregnet som den relative forskel på modelestimater for 1989 og 2018. Analysen er baseret på vandløb med data fra hele tidsserien. Et mindretal af vandløb er dog med i analysen, selv om der mangler data for enkelte år i begyndelsen eller slutningen af tidsserien, nemlig årene 1989, 1990 eller 2018. For naturvandløbene bruges kun det tidligste knæk grundet en lavere overvågningsfrekvens siden 2008.

Kvælstofkoncentrationen i vandløbene har for størstedelen af perioden været faldende, men de seneste 5-10 år har den været omtrent konstant. Faldet har været tydeligst i de vandløb, der ligger i dyrkede oplande eller modtager betydende udledninger af by- eller industrispildevand (Figur 4.3 og Tabel 4.1). Der har været betydelige udsving fra år til år, eksempelvis i perioden 2004-2006 og i 2011, hvor koncentrationen faldt brat for i de efterfølgende år at nærme sig det tidligere niveau. I 2018 er koncentrationen faldet lidt efter at være steget i 2017. I vandløb med betydelige udledninger fra dambrug har der været en mindre, men dog betydelig, reduktion siden 1989. Her har koncentrationsniveauet dog været lavere gennem hele perioden, primært fordi dambrugsdrift er koncentreret i grundvandsfødte vandløb i egne, hvor kvælstofindholdet i det tilstrømmende grundvand er relativt lavt og mere konstant. De senere år har vist tegn på et fald i kvælstofkoncentrationen i naturvandløb. Der er dog tale om meget få vandløb, hvoraf nogle har svinget meget i koncentration gennem årene, så der kan endnu ikke drages endelige konklusioner. Siden 2011 er der blevet målt på et større antal naturvandløb, hvilket på længere sigt vil give et bedre grundlag for at vurdere eventuelle ændringer.

Figur 4.3. Udvikling i kvælstofkoncentration siden 1989. Gennemsnit af vandføringsvægtede årsmiddelværdier for vandløb med forskellige påvirkninger, klassificeret ud fra forholdene i 1991.



Tabel 4.1. Nøgletal for statistisk test (Seasonal Mann-Kendall) af udviklingstendenser siden 1989 for vandføringskorrigerede koncentrationer samt procentvis ændring i vandføringsvægtede koncentrationer af kvælstof. Middelværdier $\pm$ 95% konfidensinterval. (+: stigning; -: fald).

Alle vandløb omfatter et antal vandløb udover de 4 nævnte typer.

Oplandstype 1991	Antal stationer	Antal med signifikant fald ($p < 0,05$)	Antal med signifikant stigning ($p < 0,05$)	Procentvis ændring i koncentration
Natur	6	1	0	-26 ± 16
Dyrket	52	45	0	-44 ± 4
Punktkilder	68	64	0	-45 ± 3
Dambrug	14	11	0	-31 ± 7
Alle	143	123	0	-43 ± 2

5 Fosfor i vandløb

Jens Bøgestrand

Fosfor er, lige som kvælstof, et plantenæringsstof og den vigtigste årsag til forekomsten af en forøget mængde af planktonalger i mange søer. Fosfor kan også være af betydning for mængden af alger på visse tider af året i nogle fjorde. Af disse årsager har vandmiljøplanerne haft som et mål at reducere tilførslen af fosfor til vandmiljøet.

Fosfor er tidligere blevet udledt i store mængder til vandmiljøet fra byernes rensningsanlæg og industrier. Efter de seneste årtiers store forbedringer i spildevandsrensning er tabet fra det åbne land og de spredt beliggende ejendomme uden for kloakerede områder nu den vigtigste kilde til fosfor i vandløbene.

Fosfor har relativt lille betydning for den økologiske tilstand i de fleste danske vandløb, idet andre faktorer som dårlige fysiske forhold, fysiske forstyrrelser og spildevandets indhold af let nedbrydeligt organisk stof generelt har større betydning. En analyse af data fra NOVANA har imidlertid vist, at koncentrationen af opløst fosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$) kan spille en vis rolle for visse plantearter og i visse vandløb og herigennem påvirke den generelle økologiske tilstand negativt (Wiberg-Larsen m.fl., 2012).

Fosfor transporteres via vandløb til søer og fjorde. Derfor er målte koncentrationer og beregnede tilførsler vigtige for at kunne vurdere, om tilførslerne til søer og fjorde bliver mindre.

Der er ingen landsdækkende målsætninger / grænseværdier for koncentrationen af fosfor i vandløb.

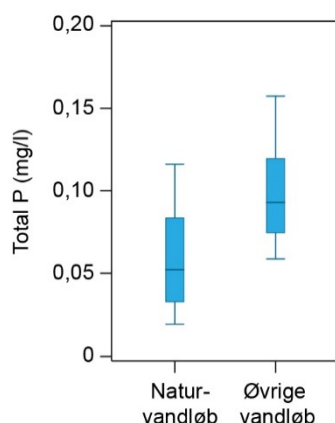
5.1 Tilstanden i 2018

Vurderingen af fosforkoncentrationer i vandløb er i år baseret på et væsentligt større antal vandløb end tidligere år, da NOVANA er blevet udvidet til næsten det dobbelte antal vandløb. Dette giver et mere dækkende geografisk billede.

Mediankoncentrationen af fosfor i vandløb, som ligger i dyrkede oplande eller modtager udledninger fra punktkilder, var i 2018 næsten dobbelt så høj som niveauet målt i naturvandløb (Figur 5.1).

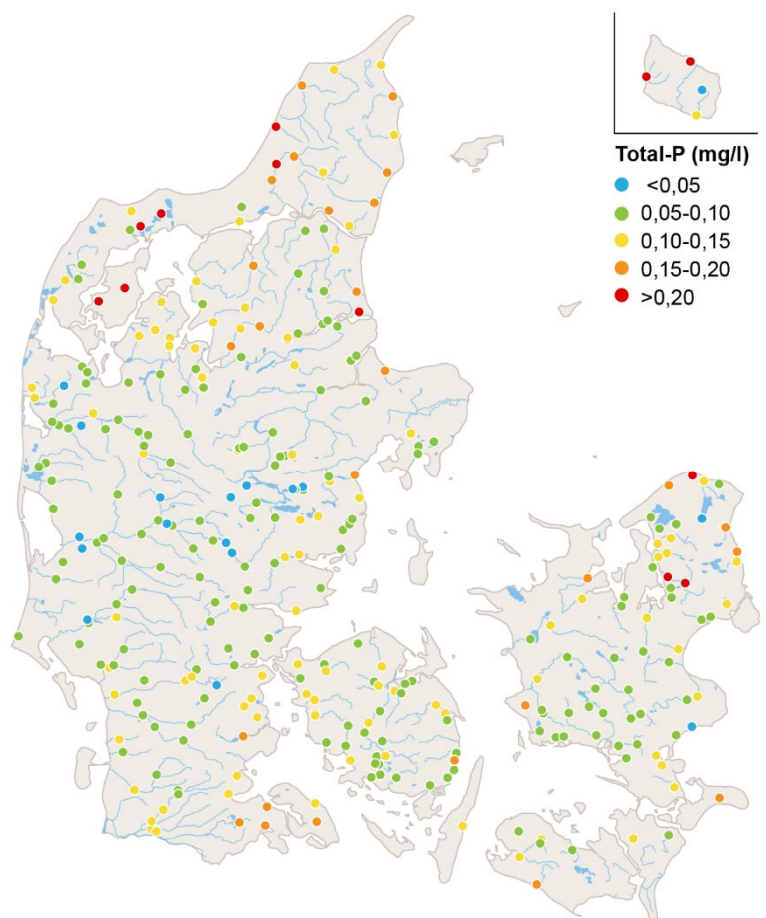
Der er en betydelig variation i koncentrationerne. Tidligere analyser af resultater fra naturvandløb har vist, at der er regionalt betingede forskelle i koncentrationen af fosfor, som kan forklare noget af variationen.

Figur 5.1. Koncentrationen af total-fosfor i vandløb i 2018. Vandfø-ringsvægtede årsmiddelværdier. Box-whisker diagrammet giver 10, 25, 50, 75 og 90 percentiler.



Høje koncentrationer af fosfor optræder især i det tæt befolkede Nordsjælland (Figur 5.2), men også i den øvrige del af Sjælland er der fundet relativt meget fosfor i vandløbene, idet den store befolkningstæthed giver anledning til forholdsvis store udledninger fra renseanlæg og spredt bebyggelse. Samtidig er der generelt mindre afstrømning og dermed mindre vand til at fortynde med i de sjællandske vandløb (Figur 2.2.a). I de mere tyndt befolkede egne i Midt- og Vestjylland, hvor afstrømningen generelt også er større, er der lavere koncentrationer af fosfor.

Figur 5.2. Koncentrationen af total-fosfor i vandløb i 2018. Vandfø-ringsvægtede årsmiddelværdier.

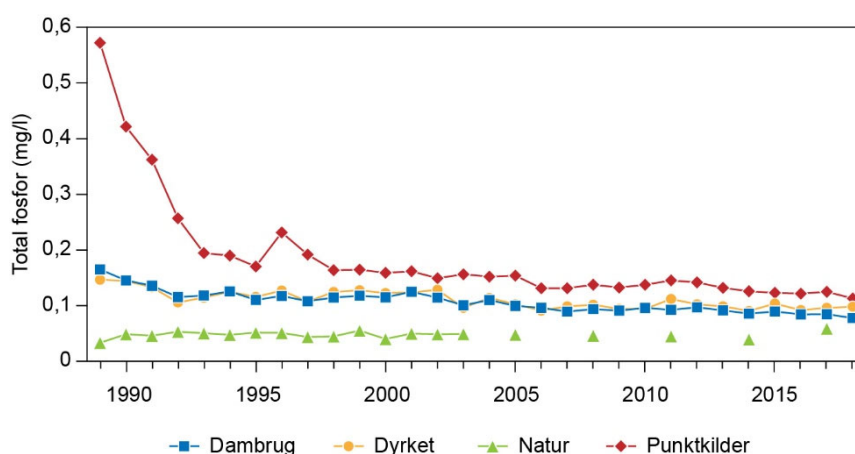


5.2 Udviklingen siden 1989

Udviklingen i kvælstofkoncentration er beregnet ved hjælp af ”change-point” modeller (Carstensen & Larsen, 2006). For total P er der defineret knæpunkter ved årskiftene 1995/96 og 2001/02. Koncentrationsændringen i det enkelte vandløb er herefter beregnet som den relative forskel på modelestimatet for 1989 og 2018. Analysen er baseret på vandløb med data fra hele tidsserien. Et mindretal af vandløb er dog med i analysen, selv om der mangler data for enkelte år i begyndelsen eller slutningen af tidsserien, nemlig årene 1989, 1990 eller 2018. For naturvandløbene bruges kun det tidligste knæk grundet en lavere overvågningsfrekvens siden 2008.

Koncentrationen af total-fosfor i punktkildebelastede vandløb er faldet markant gennem første halvdel af 1990’erne og er nu kun lidt højere end i dyrkningspåvirkede vandløb (Figur 5.3 og Tabel 5.1). Faldet skyldes de foranstaltninger, der er sat i værk for at reducere forureningen fra byspildevand og industrielle udledere, både i forbindelse med Vandmiljøplanerne og regionale tiltag. I dambrugspåvirkede vandløb er fosforkoncentrationen også faldet signifikant som følge af formindskede udledninger fra dambrug. I naturvandløb er der ingen signifikant ændring. I vandløb i dyrkede områder er der forskelligt rettede ændringer, men en klar overvægt af vandløb, i hvilke der forekommer fald i koncentrationen. Som gennemsnit er faldet dog mindre end i vandløb med påvirkninger fra punktkilder eller dambrug. Regionale forskelle er ikke testet.

Figur 5.3. Udvikling i fosforkoncentration siden 1989. Gennemsnit af vandføringsvægtede årsmiddelværdier for vandløb med forskellige påvirkninger, klassificeret ud fra forholdene i 1991.



Tabel 5.1 Nøgletal for statistisk test (Seasonal Mann-Kendall) af udviklingstendenser siden 1989 for vandføringskorrigerede koncentrationer samt procentvis ændring i vandføringsvægtede koncentrationer af fosfor. Middelværdier $\pm$ 95% konfidensinterval. (+: stigning; -: fald).

*Alle vandløb omfatter et antal vandløb udover de 4 nævnte typer.

Oplandstype 1991	Antal stationer	Antal med signifikant fald ($p < 0,05$)	Antal med signifikant stigning ($p < 0,05$)	Procentvis ændring i koncentration
Natur	6	1	1	- 3 $\pm$ 16
Dyrket	30	15	0	-25 $\pm$ 10
Punktkilder	68	64	0	-54 $\pm$ 6
Dambrug	14	14	0	-47 $\pm$ 8
Alle*	144	115	1	-41 $\pm$ 5

6 Kvælstoftilførslen til havet

Henrik Tornbjerg, Hans Thodsen, Jørgen Windolf, Jens Bøgestrand, Gitte Blicher-Mathiesen, Ane Kjeldgaard, Søren Erik Larsen & Niels Bering Ovesen

Danmarks kystlinje er inddelt i kystafsnit af 1.-4. orden, hvor 1. orden som den groveste er inddelt i 9 afsnit, mens 2.-4. orden er underinddelinger heraf. Kystafsnittene har siden 1980'erne været grundlaget for arbejdet i de marine konventioner, som Danmark har tilsluttet sig.

Kvælstoftilførslen er i dette kapitel opgjort for 2. og 3. ordens kystafsnit, jf. oplandene på kortene fig. 6.1 – 6.3.

6.1 Datagrundlag og metoder

Til beregning af den samlede tilførsel fra land af total-kvælstof til havet omkring Danmark for perioden siden 1990 er der anvendt data fra i alt 237 målestationer dækkende et oplandsareal på 26.290 km². Det svarer til 61% af landets samlede areal. Det er en udvidelse af stationsnettet i forhold til tidligere. I opgørelsen for 2017 og tidligere år indgik 169 målestationer, som dækkede et samlet opland på 24.380 km², svarende til 57% af landets samlede areal. For 104 stationer er der kontinuerede måledata for hele perioden. For 2018 har der været måledata fra 209 af stationerne. I opgørelsen for 2017 anvendtes 144 stationer.

For 133 af de 237 målestationerne (5.750 km² svarende til 13% af landet) er der ikke kontinuerede måledata for hele perioden. Stoftransporter for disse stationer er for måneder uden måledata beregnet via procedurer for 'huludfyldning'. Den valgte metode hertil er beskrevet i Windolf m.fl. (2013).

TN og TP-koncentrationer målt i vandløb i 2016 og første 4 måneder af 2017 er analyseret med en forkert analysemetode. Der er foretaget en korrektion af TN og TP-koncentrationer målt i denne periode, se afsnit 1.4.1. Der er ligeledes gennemført en korrektion af data målt fra 2007 til 2014, denne korrektion er dog markant mindre, se afsnit 1.4.2.

For de umålte oplande er tilførslen af total-kvælstof beregnet ved brug af empiriske/statistiske modeller for tilførsel og omsætning af kvælstof i overfladevandssystemet, samlet i den såkaldte DK-QNP model_v2. Dokumentation for metoden er givet i Windolf m.fl. (2010, 2011, 2012a). Det er tidligere påvist (Bøgestrand m.fl. 2009), at den anvendte metode har en regional bias og generelt overestimerer kvælstofkoncentrationerne i det vestlige Danmark, mens der er en tendens til underestimering i den østlige del af landet. Denne bias opfattes som en generel model-bias. Derfor foretages der en bias-korrektion af enkelt månedstilførsler i de samme geografiske regioner, som anvendt i Thodsen m.fl. (2019b). Dog er der tilføjet en ekstra region dækkende Himmerland, hvor det er kendt, at den tidlige udvikling i den målte tilførsel ikke falder i takt med den modellerede tilførsel. Bias-korrektionen af den modellerede tilførsel fra umålt og delvist målt opland (huludfyldte stationer uden fuld tidsserie) er ny i forhold til de foregående år.

En vigtig modelvariabel i DK-QNP modellen til beregning af tilførsel af total diffus kvælstof er det årligt beregnede kvælstofoverskud på 'mark-niveau'. Der er i Blicher- Mathiesen m.fl. (2015) foretaget visse justeringer ved beregning i

tidsserien (1990-2013) for denne markbalance. I de modelberegninger, der er foretaget i de aktuelle opgørelser, er markbalancerne beregnet i henhold til (Blicher-Mathiesen m.fl., 2015).

Data for udledninger af spildevand fra punktkilder er for samtlige år leveret af Fagdatacentret for Punktkilder (Miljøstyrelsen). Der er ikke foretaget en korrektion af TN og TP værdier for eventuelt forkerte analysemetoder på data fra 2016 eller tidligere år (Miljøstyrelsen, 2018). For særskilte opgørelser af punktkilde tilførsler af total-N og total-P henvises der til rapporten Punktkilder 2018 udgivet samtidigt med nærværende rapport (Miljøstyrelsen, 2019). Det skal nævnes, at punktkilde tilførslen af total-N og total-P anvendte i denne rapport er opdateret ift. tilførsler præsenteret i punktkilde rapporten (Miljøstyrelsen, 2019). Dette skyldes, at Miljøstyrelsen har ønsket, at der blev inddraget et nyt punktkildedatasæt, produceret af Miljøstyrelsen, i denne reviderede rapport. Ændringerne har mindre betydning for den opgjorte tilførsel til havet på national skala men kan have større indflydelse på lokal skala, lige som ændringen ikke er ens over hele perioden 1990-2018.

For rensningsanlæg, særskilte industrielle udledere, ferskvandsdambrug og saltvandsbaseret fiskeopdræt er udledningerne knyttet til et punkt. Spredt bebyggelse har indtil 2009 været knyttet til et opland, men er fra og med 2010 knyttet til punkter i form af enkelte ejendomme. Regnvandsbetingede udledninger (RBU) har ligeledes været knyttet til et opland, men er fra og med 2013 knyttet til punkter i form af de udledningspunkter, som kommunerne er ansvarlige for, og som forefindes i den fællesoffentlige database for punktkildeudledninger, PULS.

For at opnå en konsistent tidsserie for spildevandsudledningerne er der foretaget huludfyldning i tilfælde af manglende data. I de tilfælde, hvor der mangler oplysninger fra begyndelsen af 1990'erne, er det antaget, at udledningerne har været af samme størrelse som den tidligst kendte udledning; tidsserien er så at sige blevet forlænget bagud. Hvis der modsat ikke forefindes tal for udledningen fra et givet anlæg fra et givent år og fremefter, antages det, at anlægget er nedlagt. Manglende værdier midt i tidsserien er udfyldt ved interpolation.

Udledningerne fra spredt bebyggelse og regnvandsbetingede udledninger er bearbejdet for at opnå en god geografisk distribution og en fuld tidsserie, som kan bruges i det samlede modelkoncept. For spredt bebyggelse er det sket ved at udnytte den geografiske distribution for 2010 på enkeltejendomme kombineret med viden fra tidligere år om den samlede udledning. Der er for hvert 1. ordens kystafsnit beregnet et indeks for hvert år, som er brugt til at estimere udledningen fra hver enkelt ejendom gennem hele tidsserien. Dermed kan udledningerne aggregeres på et vilkårligt geografisk niveau gennem alle årene. For regnvandsbetingede udledninger er det tilsvarende sket ved at udnytte den geografiske distribution for 2013 på udledningspunkterne fra PULS kombineret med viden om den samlede 'aktuelle årsudledning' gennem hele perioden.

Visse anlæg udleder direkte til havet. Det drejer sig især om større renseanlæg, særskilte industrielle udledere, regnvandsbetingede udledninger og saltvandsbaserede fiskeopdræt. Tidligere angivelser i den hydrologiske reference af, hvorvidt et anlæg udleder direkte til havet, var desværre fejlbehæftede. Det er aftalt mellem fagdatacentrene for punktkilder og ferskvand at definere direkte udledninger således, at koordinaterne for udledningspunktet enten ligger ude i havet eller på land højst 100 meter fra kystlinjen.

Metoden er brugt til renseanlæg, industrielle udledere, dambrug og regnvandsbetingede udledninger. Saltvandsbaserede fiskeopdræt betragtes konsekvent som direkte udledere til havet.

De tilgængelige spildevandsdata omfatter alene udledninger på årsbasis. Hvor der har været behov for at anvende månedsudledninger, er det antaget, at disse har været ens hele året igennem. Endelig skal det bemærkes, at spildevandsudledninger fra spredt bebyggelse er indregnet under den diffuse kvælstofudledning.

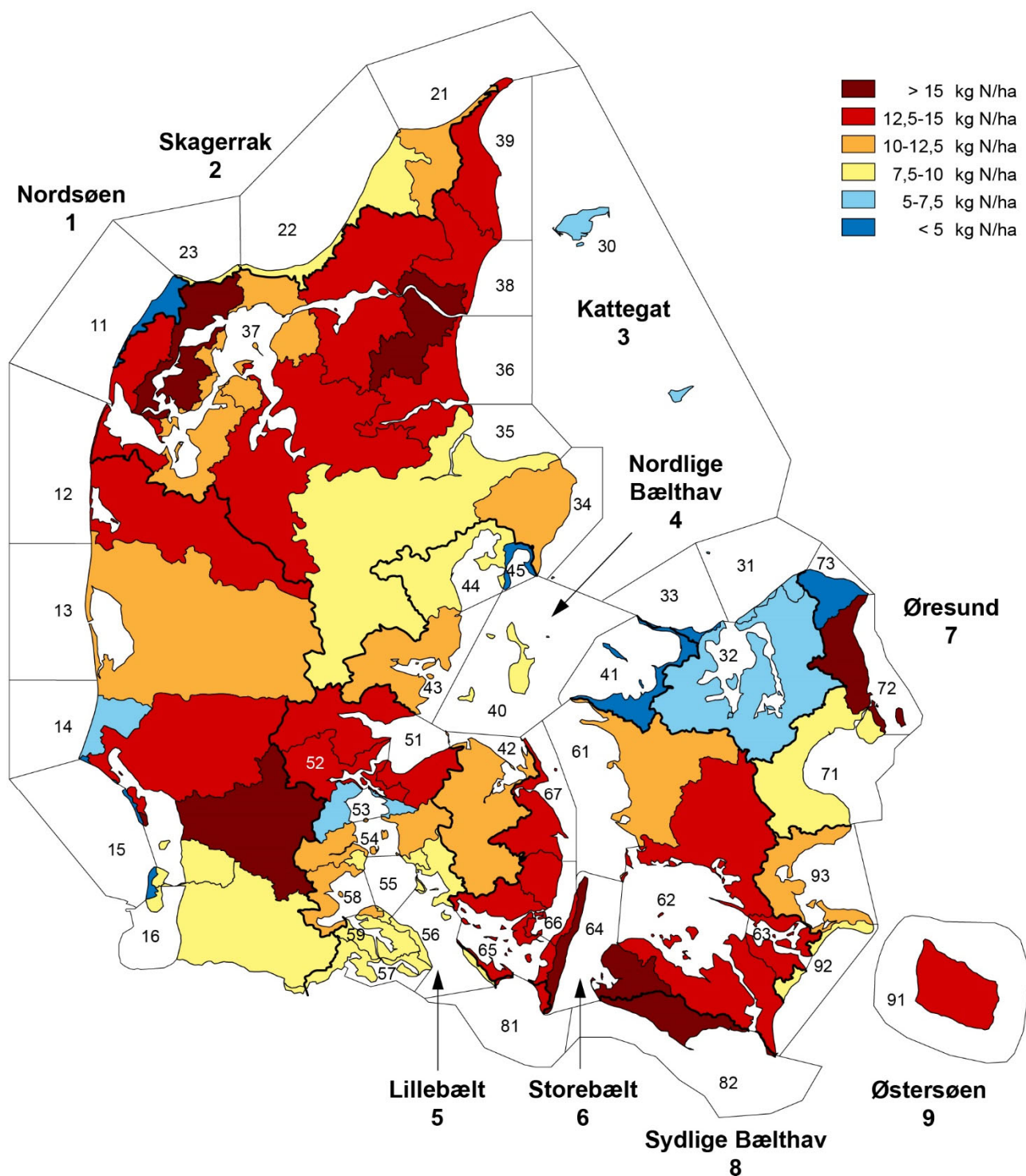
6.2 Kvælstoftilførsel til havet i 2018

For hele 2018 blev der i alt beregnet en tilførsel på omkring 50.000 tons totalkvælstof fra land til kystafsnittene omkring Danmark. Dette er 17% mindre end for 2017, hvor den var 61.000 ton N. Samtidig var vandafstrømningen på 292 mm i 2018 ca. 16% mindre end i 2017. Dermed blev såvel vandafstrømningen som kvælstoftilførslen i 2018 lavere end året før.

Tabet af totalkvælstof pr. ha opland til de kystnære vande var som gennemsnit i 2018 omkring 11.7 kg N/ha mod ca. 14.1 kg N/ha i 2017. Der var dog betydelige afvigelser imellem de forskellige dele af landet (Figur 6.1). I nogle oplande var tabet til de kystnære vandområder mindre, fx i Gudenå systemet. Her sker der via vandsystemets mange søer en væsentlig fjernelse af det tilførte kvælstof, inden vandet løber ud i Randers Fjord (Figur 6.1).

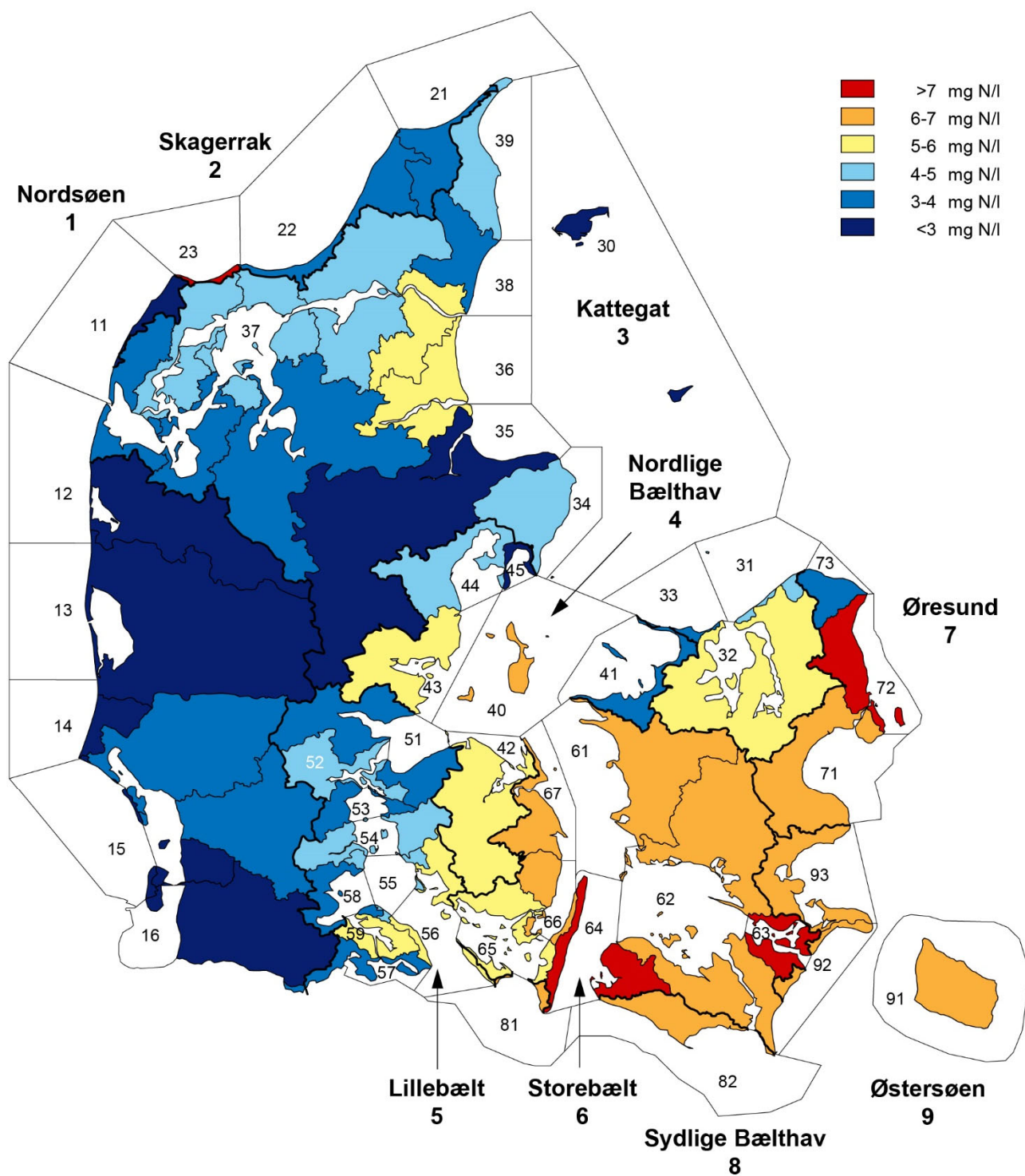
Kvælstoftabet var i 2018 mere varierende end normalt og med et mindre tydeligt geografisk mønster end normalt (Figur 6.1). Det almindelige mønster er forholdsvis små oplandstab i Østdanmark, mens der ses større oplandstab i de vestlige og nordlige dele af Jylland. Det skyldes, at kvælstofoverskudet på markerne i Østdanmark typisk er mindre end gennemsnittet (Windolf m.fl. 2012b), samt at vandafstrømningen i det østlige Danmark er væsentligt mindre end mod vest. Dette sædvanlige mønster er ikke så tydeligt i 2018. Der ses forholdsvis små oplandstab i Nordsjælland. Der ses forholdsvis høje tab på Lolland Falster og Sydsjælland samt Nordjylland og Syddanmark og dele af Fyn (Figur 6.1).

Den vandføringsvægtede koncentration af TN for hele landet er for 2018 opgjort til 4,0 mg N/L, mod også 4,0 mg N/l i 2017. Indholdet af totalkvælstof i det afstrømmende vand til kystvandene var i store dele af Jylland mindre end 4 mg N/l og typisk større i det østlige Danmark (Figur 6.2). Den relative variation over landet var meget lig med den fra året før, hvor Sjælland, Lolland Falster og Østfyn har forholdsvis høje koncentrationer ofte >6 mg N/L. I oplandene til fx Randers Fjord, Nissum Fjord, Ringkøbing fjord og den sydlige del af Vadehavet var koncentrationerne i 2018 under 3 mg N/l. Der ses for 2018 således en markant forskel på de østlige og vestlige dele af landet. De mange søer i Gudenå-systemet medvirker, som nævnt ovenfor, til via denitrifikation til at fjerne en betydelig mængde af den kvælstof, der udledes til vandløbene inden vandet med resterende kvælstof når frem til Randers Fjord. For Storåen og Skjern å, der afvander til hhv. Nissum Fjord og Ringkøbing Fjord, sker der en væsentlig fjernelse af den kvælstof, der udvaskes til grundvand. I disse typer af oplande passerer det udvaskede kvælstof således nitratreducerende lag i undergrunden, hvorved der sker en fjernelse (denitrifikation) af en væsentlig andel af den udvaskede kvælstof. I enkelte jyske oplande – fx visse områder omkring Limfjorden, Mariager Fjord, Horsens Fjord og på Als - var koncentrationerne generelt større end 5 mg N/l.

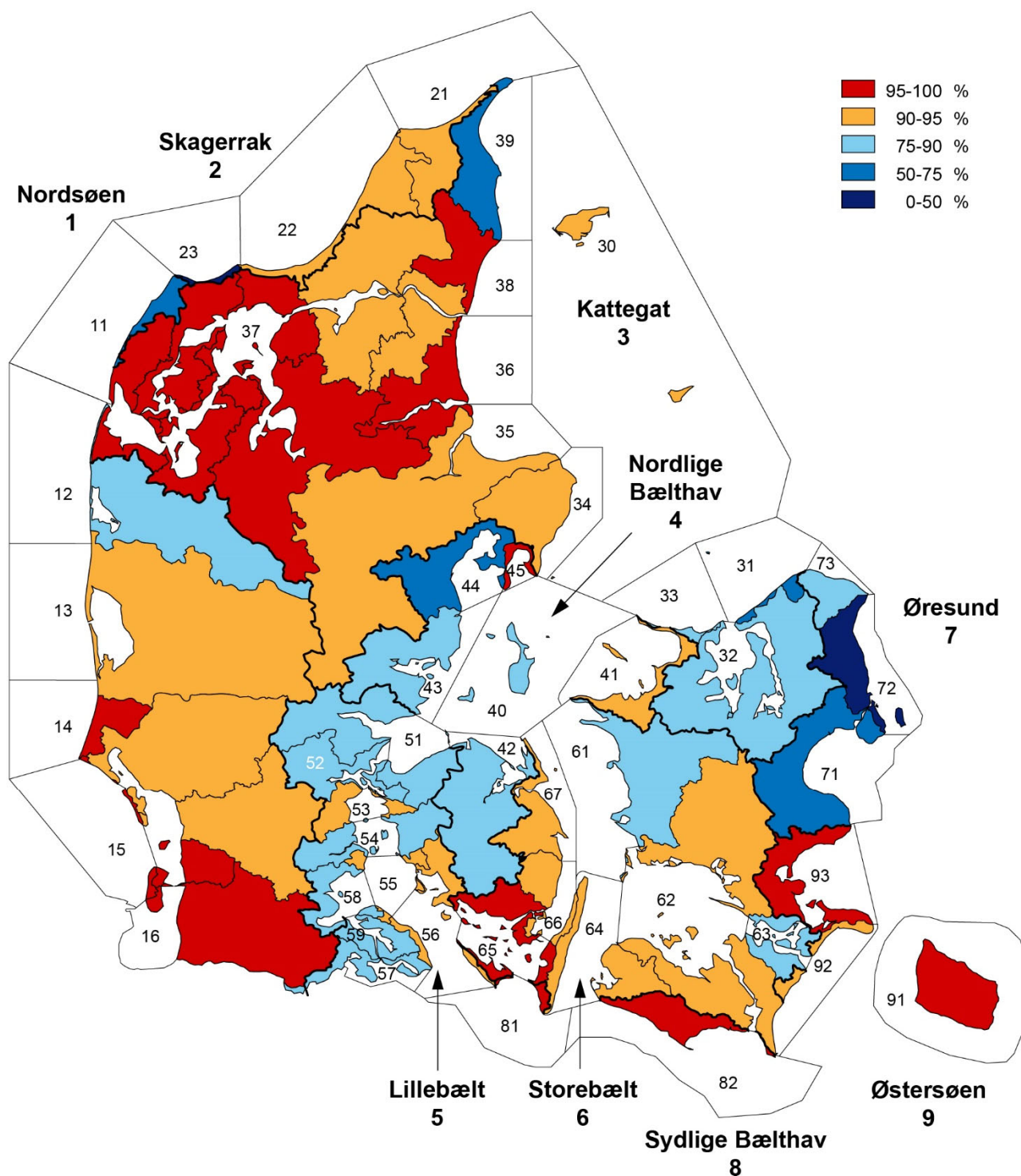


Figur 6.1. Areal specifikt tab af kvælstof fra oplandene til marine kystafsnit i 2018.

De diffuse kilders andel af den samlede kvælstoftilførsel til kystområderne varierede – som i tidligere år – en del fra landsdel til landsdel. De diffuse kilder omfatter tilførsler fra såvel dyrkede som udyrkede jorder, men også i mindre omfang udledninger af spildevand fra spredtliggende ejendomme uden for de offentlige kloaksystemer. De diffuse kilder var derfor mindst betydende omkring de større byer og størst i de åbne landområder (Figur 6.3). For landet som helhed var den samlede udledning af totalkvælstof fra punktkilder (dvs. rens anlæg, regnbetingede udledninger, akvakultur, industri med særskilt udledning) på ca. 5.200 tons i 2018. Den diffuse tilførsel udgjorde ca. 45.000 tons. Det svarer til en fordeling på henholdsvis 10% og 90% af den totale kvælstoftilførsel, meget lig fordelingen til kystområderne de seneste 5 opgjorte år (9-11% og 89-91%).



Figur 6.2. Vandføringsvægtet kvælstofkoncentration i vand der afstrømmer til marine kystafsnit i 2018.



Figur 6.3. Diffus (Samlet kvælstoftilførsel minus kvælstof fra punktkilder) andel af den totale kvælstoftilførsel til marine kystafsnit i 2018.

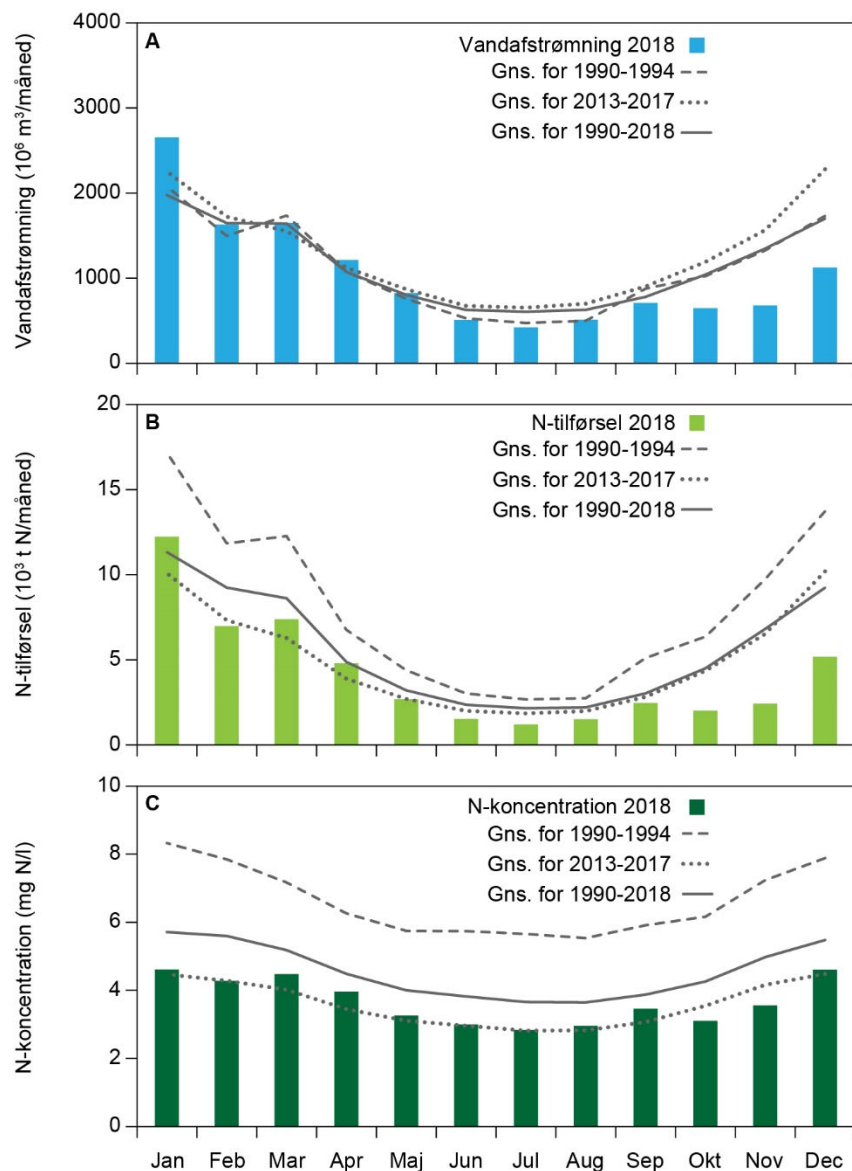
6.3 Sæsonvariation i vandafstrømning og kvælstoftilførsel

I 2018 var vandafstrømningen til havet omkring Danmark 10% mindre end gennemsnittet for perioden 1990-2017 (Figur 6.4, A, se også kapitel 2). Der var dog i de enkelte måneder betydelige afvigelser i forhold til gennemsnittet. I januar var afstrømningen betydeligt højere end gennemsnittet i perioden siden 1990. Generelt var afstrømningen mellem februar og maj tæt på gennemsnittet for den forudgående periode siden 1990, mens afstrømningen i juni til december

var lavere end gennemsnittet. Specielt afstrømningen i juni og juli samt oktober til december var markant under gennemsnittet.

Kvælstoftilførslen i 2018 var i januar, ligesom vandafstrømningen, noget højere end gennemsnittet for januar de seneste 5 år (2013-2017). I marts og april er kvælstoftilførslen igen højere end midlet over de foregående 5 år, mens februar og maj ligger tæt på middel. Fra juni og frem ligger tilførslen under middel for de foregående 5 år og ligesom afstrømningen markant under i årets sidste tre måneder (Figur 6.4, B). Kvælstofkoncentrationerne i det afstrømmende vand var for alle måneder tydeligt mindre end gennemsnittet for perioden 1990 - 2018 (Figur 6.4, C). Kvælstofkoncentrationen ligger for de fleste måneder tæt på samme niveau som middel for perioden 2013-2017. Marts, april og september ligger højere, mens oktober og november koncentrationerne er lavere. Det reducerede kvælstofindhold igennem perioden 1990-2018 i den samlede vandafstrømning er betinget af de markant reducerede tab af kvælstof fra de dyrkede marker samt af de reducerede udledninger af kvælstof med spildevand.

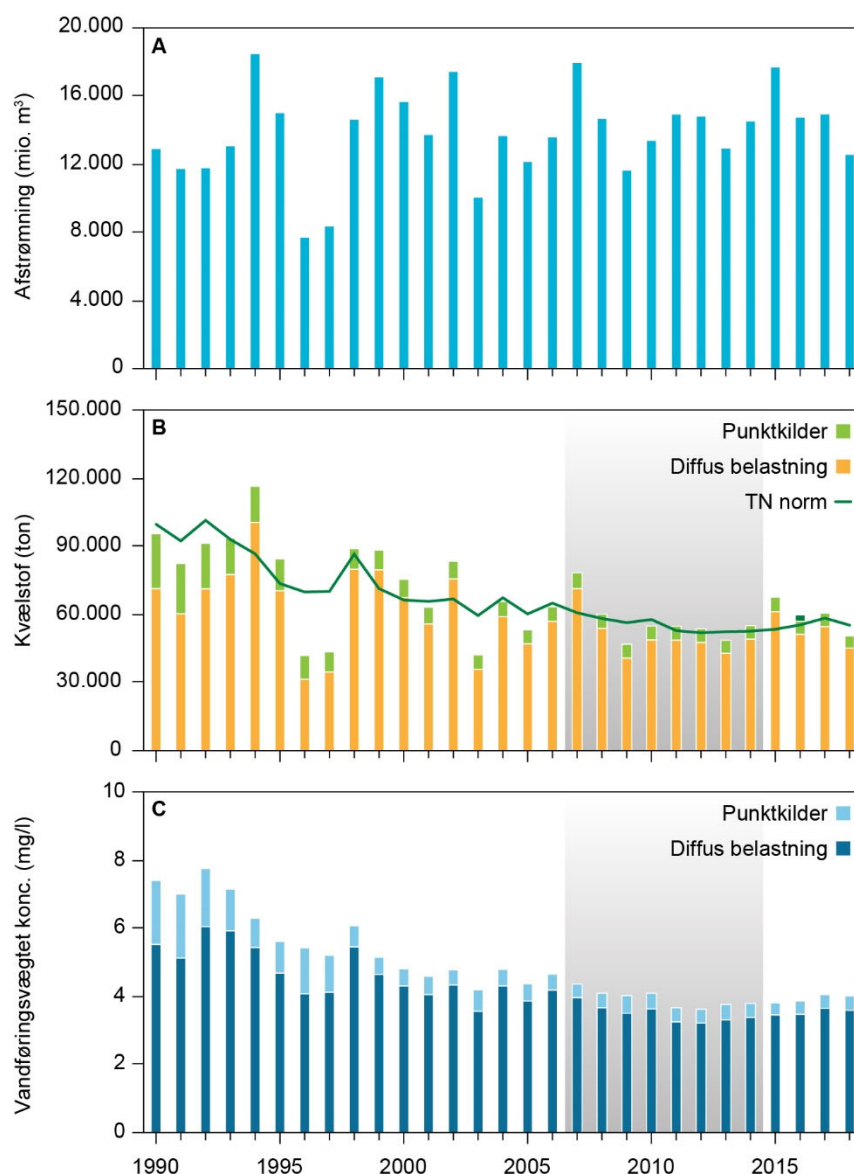
Figur 6.4. Månedsvis vandafstrømning (A), kvælstoftilførsel (B) og vandføringsvægtet kvælstofkoncentration i det afstrømmende vand til havet omkring Danmark (C) i 2018 og som gennemsnit for perioderne 1990-2018, 2013-2017 og 1990-1994.



6.4 Udviklingen i kvælstoftilførslen til havet 1990-2018

Variationen i de årlige samlede kvælstoftilførsler til kystvandene følger i udpræget grad variationen i vandafstrømningen (Figur 6.5). Det ses dog også klart af figuren, at kvælstoftilførslen generelt har været faldende siden 1990. Faldet har specielt været tydeligt, når der ses på udviklingen i den vandføningsvægtede koncentration af total-kvælstof (Figur 6.5, C). Koncentrationerne er således faldet fra et niveau på >7 mg N/l i begyndelsen af 1990'erne til i de seneste 5 år i gennemsnit at være 3,9 mg N/l. Størstedelen af faldet gennem perioden forklares af en reduktion i de landbrugsrelaterede diffuse tab af kvælstof (Figur 6.5, B & C).

Figur 6.5. Udvikling i ferskvandsafstrømning (A), kvælstoftilførsel (B) og vandføningsvægtet kvælstofkoncentration i det afstrømmende vand til havet omkring Danmark (C), 1990-2018. Kvælstoftilførslen er fordelt på diffuse kilder (inkl. spildevand fra spredt bebyggelse) og spildevand fra punktkilder. Der er i den beregnede kildeopsplitning ikke indregnet retention af udledt N med spildevand til ferskvand. Perioden 2007 til 2014 er markeret med grå baggrund, da TN analyser for denne periode er under udredning for at være udført med en forkert metode, der underestimerer kvælstofkoncentrationen (se afsnit 1.4.2). De anvendte koncentrationer er korrigerede med en foreløbig korrektionsfaktor. For 2016 er der en ekstraordinær tilførsel på 2.755 tons N som følge af ulykke på Fredericia havn (se afsnit 1.4.4)



Den gennemførte forbedrede spildevandsrensning har dog også bidraget signifikant til den samlede reduktion i kvælstoftilførslerne. Således er udledningerne af kvælstof med spildevand fra punktkilder gennem perioden reduceret med 15-20.000 tons eller omkring 79% siden 1989/90 ifølge Miljøstyrelsen (2019) medregnende spredt bebyggelse som ikke er med inkluderet som punktkilde i denne rapport. I 2018 udgjorde spildevandsudledninger fra punktkilder således kun ca. 10% af de samlede kvælstoftilførsler fra land til havet mod typisk 20-25% i begyndelsen af 1990'erne.

En statistisk analyse (Mann-Kendall trend test, Tabel 6.1) viser, at der er tale om et signifikant fald i den vandføringsvægtede koncentration af totalkvælstof i den samlede afstrømning til havet. Signifikansen af tidsserietrenden er testet ved anvendelse af Mann-Kendalls trend test samt "change-point" modeller (Carstensen & Larsen, 2006). For Total N er der defineret et knæpunkt mellem 2000 og 2001, og to lineære modeller er estimeret, og det totale fald er beregnet ved formlen:

$$100 \cdot \frac{\hat{x}_{1990} - \hat{x}_{2018}}{\hat{x}_{2018}},$$

hvor $\hat{x}_{1990}$ er den estimeret værdi for året 1990 og tilsvarende er $\hat{x}_{2018}$ den estimeret værdi for 2018. Estimeret er beregnet ud fra de to lineære modellers matematiske formler. Konfidensintervaller på det samlede fald er beregnet ved anvendelse af standard error på estimerterne for årene 1990 og 2018. Faldet i den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration af den samlede tilførsel er estimeret til 51% (95% konfidensgrænser: 43 til 58%). Netop udviklingen i den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration er et godt mål for den reelle udvikling i kvælstoftilførslen, fordi der delvist tages højde for betydningen af de store naturlige år til år udsving i vandafstrømning. Også for hvert af de 11 farvandsområder kan der konstateres et signifikant fald i kvælstofkoncentrationen (Tabel 6.1). For hele landet faldt de vandføringsvægtede koncentrationer i den diffuse tilførsel ligeledes signifikant. Faldet i det diffuse koncentrationsbidrag estimeres på landsplan til 38% i perioden 1990-2018, (95% konfidensgrænser: 19% til 54%). I oplandene til farvandsområderne varierede de beregnede fald i det diffuse koncentrationsbidrag mellem 28% og 50%. For Diffus TN er der estimeret et knæpunkt mellem 2011 og 2012.

Analyserne af udviklingen i kvælstoftilførselen i Tabel 6.1 er udført på de samlede tilførsler fra målte og umålte oplande. Gennemføres en lignende statistisk analyse af udviklingen i den samlede kvælstoftransport fra vandløbsmålestationer, der indgår i beregningerne med måletidsserier for hele perioden 1990-2018, finder man en tilsvarende udvikling i den diffuse kvælstoftilførsel.

Tabel 6.1. Mann-Kendall trend-test af udviklingen i hhv. den samlede og i den diffuse tilførsel af kvælstof til kystområderne for perioden 1990–2018. Resultaterne er angivet som procentvis ændring i forhold til et estimeret niveau for 1990. Testen er lavet på vandføringsvægtede koncentrationer. Tallene i parentes angiver 95% konfidensinterval. Alle udviklinger er signifikante på 5%-niveau.

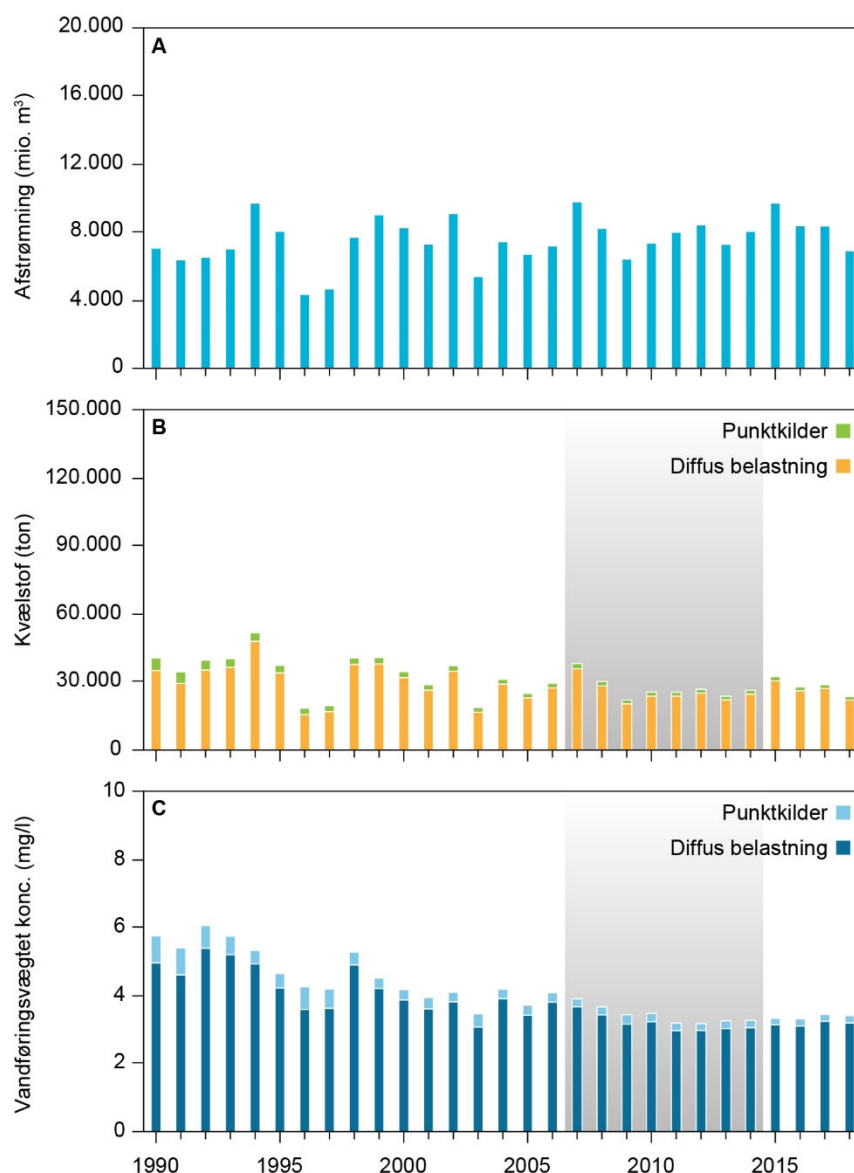
Kvælstof		
Farvandsområde	Diffus tilførsel % ændring	Samlede tilførsel % ændring
Nordsøen	-31	-44
Skagerrak	-45	-59
Kattegat	-34	-51
Nordlige Bælthav	-50	-59
Lillebælt	-46	-63
Storebælt	-28	-40
Øresund	-48	-76
Sydlig Bælthav	-37	-34
Østersøen	-38	-57
Limfjorden	-30	-32
Isefjorden/Roskilde fjord	-37	-42
Danmark	-38 (-54;-19)	-51 (-58;-43)

6.5 Kvælstoftilførsel fra målt opland

I dette afsnit er kvælstoftransporten opgjort for det målte opland, altså den del af Danmark, som er placeret opstrøms målestationer, som har været i drift med TN og TP-målinger igennem hele perioden 1990-2018. Det er tilfældet for 104 stationer og dækker ca. 48% af landets areal (20.540 km²).

Vandafstrømningen for det målte opland (104 stationer) er for 2018 opgjort til 336 mm, hvilket er 17% lavere end i 2017 (408 mm) og 9% lavere end gennemsnittet for perioden 1990-2017 på 368 mm (Figur 6.6, A). Den relative forskel mellem 2017 og 2018 er således den samme som for hele landet. Vandafstrømningen for det målte opland er opgjort til at være noget højere end for hele landet, hvor afstrømningen er opgjort til 294 mm i 2018.

Figur 6.6. Udvikling i ferskvandsafstrømning (A), kvælstoftilførsel (B) og vandføringsvægtet kvælstofkoncentration (C) i det afstrømmende vand fra det målte opland, 1990-2018. Kvælstoftilførslen er fordelt på diffuse kilder (inkl. spildevand fra spredt bebyggelse) og spildevand fra punktkilder. Der er i den beregnede kildeopsplitning ikke indregnet retention af kvælstof udledt med spildevand til ferskvand. Perioden 2007 til 2014 er markeret med grå baggrund, da TN analyser for denne periode er under udredning for at være udført med en forkert metode, der underestimerer kvælstofkoncentrationen (se afsnit 1.4.2). De anvendte koncentrationer er korrigerede med en foreløbig korrektionsfaktor.



Kvælstoftilførselen fra det målte opland var i 2018 ca. 24.000 ton, hvilket er et fald på ca. 18% i forhold til kvælstoftilførselen på 29.000 i 2017 (Figur 6.6, B). Andelen af kvælstoftransporten, som stammer fra punktkilder, er opgjort til 6%, 1500 ton. Denne andel har været faldende igennem perioden siden 1990, hvor gennemsnittet for 1990-1994 var ca. 11% mod et gennemsnit på ca. 6% for

de sidste 5 år. Opgørelsen indregner ikke retention i overfladevandssystemet imellem udledningsstedet og målestationen, hvorfor punktkildeandelen er lidt overestimeret.

Den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration for det målte opland er for 2018 opgjort til 3,4 mg N/l lige som i 2017 (Figur 6.6, C). Kvælstofkoncentrationen i begyndelsen af måleperioden 1990 til 2018 var højere, end den er nu. Middel kvælstofkoncentrationen 1990 til 1994 var 5,7 mg N/l mens middel for de sidste fem år er 3,3 mg N/l.

Ved sammenligning mellem Figur 6.5 og Figur 6.6 ses det, at den overordnede udvikling på det målte opland og hele landet er tæt på at være ens. For perioden 2011 til 2014 ses det dog, at de forholdsvis lave vandføringsvægtede koncentrationer, der ses i denne periode, er tydeligere på opgørelsen for hele landet end for det målte opland.

6.6 Udvikling i nøgleindikatorer af betydning for kvælstoftilførslen

Som bl.a. vist i dette kapitel er der en væsentlig kobling mellem størrelsen af ferskvandsafstrømningen og den tilknyttede kvælstoftilførsel. I 'våde' år med megen nedbør og stor ferskvandsafstrømning vil der typisk også være en større kvælstoftilførsel end i 'tørre' år med lille nedbørsmængde. Variationer i ferskvandsafstrømningen fra år til år medfører således en betydelig år-til-år variation i kvælstofafstrømningen. Denne variation vanskeliggør i nogen grad en vurdering af, hvorledes de kvælstofbegrænsende tiltag generelt er slået igennem.

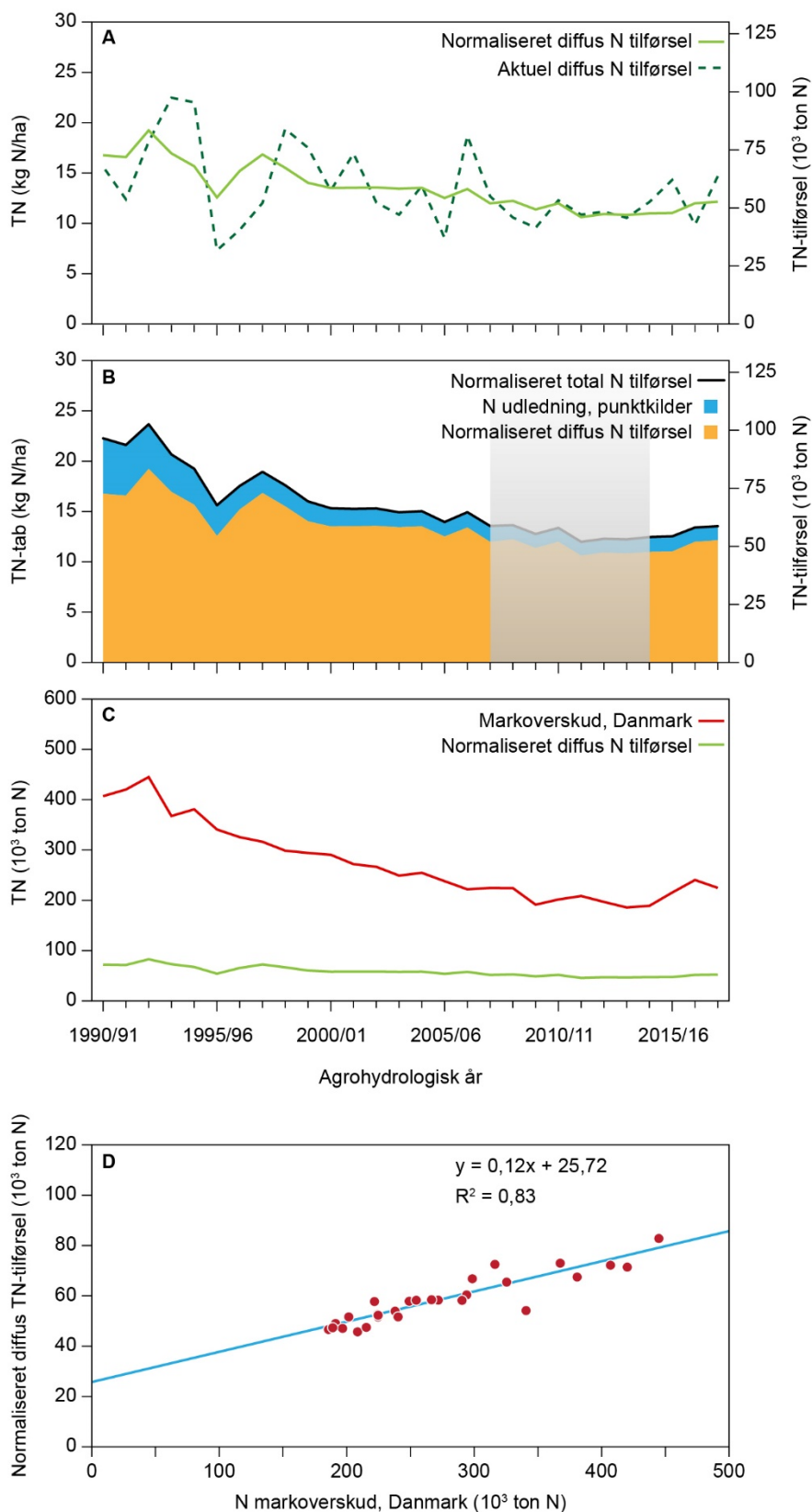
Betydningen af variationer i ferskvandsafstrømningen for det enkelte års kvælstoftilførsel er i Figur 6.7 (A) søgt reduceret. Figuren viser dels den – stærkt varierende – aktuelle samlede kvælstoftransport i vandløb fra diffuse kilder de enkelte år i perioden siden 1990 og dels den normaliserede kvælstoftransport. Den anvendte metode til normalisering er beskrevet i Larsen m.fl. (under udgivelse). Metoden består i at fitte en lineær model til logaritme transformerede månedstransporter og månedsvandafstrømninger. Modellen har en hældningskoefficient som afhænger lineært af år og ingen afskæringskoefficient. Efter modelfit og beregning af normaliserede værdier, tilbage-transformeres disse og adderes op til årsniveau. Den normaliserede transport illustrerer den kvælstoftransport, der ville have været det enkelte år, såfremt vandafstrømningen havde været konstant gennem hele perioden 1990-2018 (322 mm/år).

Det bemærkes, at den anvendte normaliseringsmetode ikke tager højde for alle effekter af vejret på dyrkningen og den heraf afledte effekt på kvælstoftilførslen til havet. Der kan fx ikke normaliseres for effekten af dårlig høst som følge af tørke eller for effekten af manglende såning af- eller misvækst af efterafgrøder pga. en våd periode efter høst.

Når kvælstoftilførslen til havet søges normaliseret, er det med den hensigt bedre at kunne belyse betydningen af de påvirkninger af kvælstoftabet til vandmiljøet, der ikke kan forklares af naturlige variationer i klimaforhold. Den helt dominerende påvirkning er her kvælstoftabet fra de dyrkede arealer.

Det ses tydeligt, at der gennem perioden er sket et fald i den normaliserede kvælstoftilførsel fra diffuse kilder (Figur 6.7 A). Det totale fald i kvælstoftilførslen ses tydeligt at være størst i den første del af perioden (Figur 6.7, delfigur A & B).

Figur 6.7. Udvikling i indikatorer for kvælstoftilførsler beregnet for agrohydrologiske år (1. april til 31. marts). (A) aktuel og klimanormaliseret kvælstoftilførsel. (B) normaliseret total kvælstoftilførsel, normaliseret diffus kvælstoftilførsel og punktkildetilførsel, opgivet både som areal tab (kg/ha) og som tilførsler. (C) Kvælstof markoverskud og normaliseret diffus kvælstoftilførsel. D plot af kvælstof-markoverskud mod normaliseret diffus tilførsel. Perioden 2007 til 2014 er markeret med grå baggrund, da TN analyser for denne periode er under udredning for at være udført med en forkert metode, der underestimerer kvælstofkoncentrationen (se afsnit 1.4.2). De anvendte koncentrationer er korrigerede med en foreløbig korrektionsfaktor.



Ud over de diffuse kilder til kvælstoftransporten udledes der også kvælstof med spildevand til vandmiljøet. Spildevandsudledninger er ikke i samme grad som tilførslerne fra de diffuse kilder påvirket af variationer i nedbøren. Tillægges de aktuelle spildevandsudledninger fra punktkilder (ekskl. spildevand fra spredt bebyggelse, som medregnes under den diffuse tilførsel) fås

således et estimat for, hvordan udviklingen i den samlede 'normaliserede' kvælstoftilførsel til de kystnære områder har været siden 1990.

Den samlede normaliserede kvælstoftilførsel fra såvel diffuse kilder som fra punktkilder er illustreret i Figur 6.7 (B). Her er regnet i agrohydrologiske år (1. april til 31. marts), idet dette er mest korrekt ved sammenstillinger af landbrugspraksis (markbalancer) og diffus kvælstoftilførsel til havet. Diffus tilførsel i 2017/18 er opgjort til 52.000 tons N ca. det samme som i 2016/17. Den samlede (diffus + spildevand) normaliserede tilførsel på agrohydrologiske år er i 2017/18 på 58.000 tons N mod også 58.000 tons N i 2016/17. For de seneste 5 år (2012/13-2016/17) har de beregnede diffuse normaliserede kvælstoftilførsler været mellem 47.000-52.000 tons N. Den samlede normaliserede kvælstoftilførsel har ligget imellem 53.000 til 58.000 tons N.

Normaliseres der på kalenderår, fås for 2018 en normaliseret tilførsel fra diffuse kilder på 50.000 tons N mod 52.000 i 2017. Den normaliserede diffuse tilførsel er som middel af de sidste 5 opgjorte år (2013 – 2017) 48.000 tons N, med et interval på 47.000 – 52.000 tons N /år. Tillagt udledninger af spildevand fra punktkilder på 5.200 tons N beregnes således en samlet normaliseret tilførsel på ca. 55.000 tons N. For 2017 beregnes på lignende vis en samlet normaliseret N tilførsel på 58.000 tons N. For de fem år forud for 2018 (2013-2017) er den gennemsnitlige normaliserede N tilførsel på 54.000 tons N med et interval imellem 52.000 – 58.000 tons N /år.

Den dominerende kilde til den diffuse kvælstoftransport i vandløbene er tabet af kvælstof fra de dyrkede arealer. Den markante reduktion i den diffuse, normaliserede kvælstoftilførsel er vist sammen med udviklingen i overskuddet af kvælstof, altså det kvælstof som potentielt kan udvaskes fra markerne (Figur 6.7 C). Markoverskuddet er beregnet som beskrevet i Blicher-Mathiesen m.fl. (2015) og omfatter det samlede markoverskud for hele landets areal, dvs. fra såvel dyrkede som udyrkede arealer. Det ses af figuren, at såvel markoverskud som den diffuse normaliserede kvælstoftilførsel falder i takt med hinanden.

Der er således – for perioden som helhed - en meget stærk, signifikant lineær relation mellem det nationale markoverskud og den samlede, normaliserede kvælstoftransport fra diffuse kilder (Figur 6.7, D). I de seneste 5 opgjorte agrohydrologiske år (1. april til 31. marts) har kvælstofoverskuddet (mark) varieret mellem 186.000 – 240.000 tons N.

På kvælstoffets vej fra mark til rodzone og ud i vandløb mod fjorde og øvrige kystvande sker der en reduktion i den transporterede kvælstofmængde (Figur 6.7 C). Reduktionen i den transporterede kvælstofmængde er tidligere vist - ikke alene for landet som helhed, men også for en række deloplande til danske fjorde (Windolf m.fl. 2012b, 2012c).

Det er påvist, at der ikke for alle fjordoplande ses en lige hurtig respons på den diffuse kvælstoftilførsel af nedgangen i markoverskuddet (Windolf m.fl. 2012b, 2012c). Det gælder fx oplandet til Mariager Fjord og visse deloplande til Limfjorden (Hjarbæk Fjord m.m.). I disse oplande er den diffuse kvælstoftilførsel til fjordene reduceret mindre, end man umiddelbart kunne forvente ud fra den generelle nedgang i markoverskuddet, og som relationen vist i Figur 6.7 D indikerer. En væsentlig medvirkende forklaring herpå er forekomst af ikke reduceret dybereliggende grundvand og deraf følgende højt indhold af kvælstof kombineret med høj opholdstid af grundvandet (gammelt grundvand), som bidrager væsentligt til kvælstoftransporten i vandløbene i disse områder.

6.7 Sammenfatning af resultaterne

- Den samlede kvælstoftilførsel fra land til kystvandene i 2018 er beregnet til ca. 50.000 tons N / år. Heraf udgør kvælstof udledt med spildevand fra punktkilder ca. 5.200 tons N / år. Beregningerne dette år er baseret på målinger fra 209 kystnære målestationer i vandløb og en model for det resterende umålte opland.
- Den vandføringsvægtede TN-koncentration for hele landet var i 2018 4,0 mg N / l, det samme som året før.
- Den vandføringsvægtede TN-koncentration for 104 målestationer med fuld måletidsserie var i 2018 3,3 mg N / l.
- Den normaliserede kvælstoftilførsel fra diffuse kilder til kystvandene for 2018 (kalender år) er beregnet til ca. 50.000 tons N.
- Den normaliserede totale kvælstoftilførsel til kystvandene for 2018 (kalender år) er beregnet til ca. 55.000 tons N.
- Kvælstoftilførslerne fra land til havet er siden 1990 reduceret med omkring 51% (beregnet ud fra udviklingen i vandføringsvægtede koncentrationer)
- Kvælstoftilførslerne fra diffuse kilder er reduceret med omkring 38% siden 1990.
- Reduktionen i tilførslerne fra diffuse kilder forklares af et fald i kvælstofoverskuddet og kvælstofudvaskningen på de dyrkede marker. Der er dog stor lokal og oplandsspecifik variation i, hvor meget tilførslerne er reduceret gennem perioden.
- De diffuse kilders andel af den samlede kvælstoftilførsel til kystvandene var i 2018 omkring 90%.
- Punktkildernes andel af den samlede kvælstoftilførsel til kystvandene var i 2018 omkring 10%.

7 Fosfortilførslen til havet

Henrik Tornbjerg, Hans Thodsen, Jørgen Windolf, Jens Bøgestrand, Søren Erik Larsen og Niels Bering Ovesen

7.1 Datagrundlag og metode

Fosfortilførslen er, som kvælstoftilførslen, opgjort for 2. og 3. ordens kystafsnit, jf. oplandene på kortene fig. 7.3–7.5. For måledatagrundlaget og den metodiske tilgang for opgørelserne henvises til kapitel 6. Der anvendes data fra i alt 237 stationer dækkende et oplandsareal på 26.290 km², svarende til 61% af landets samlede areal. Det er en udvidelse af stationsnettet i forhold til tidligere. I opgørelsen for 2017 og tidligere år indgik 169 målestationer, som dækkede et samlet opland på 24.380 km², svarende til 57% af landets samlede areal. For 136 stationer findes der ikke komplette måletidsserier for perioden siden 1990, og der foretages derfor en huludfyldning for fosfortransporten på disse stationer på tilsvarende vis som for kvælstof (Windolf m.fl. 2013). For den øvrige del af landet (helt umålte oplande) er tilførslen beregnet ved hjælp af en model for den diffuse tilførsel, og resultaterne herfra er summeret med spildevandsudledningerne (fra renseanlæg, regnbetingede udledninger, akvakultur og industriudledninger) og derefter fratrullet retentionen i søer inden for de respektive oplande. Den diffuse tilførsel omfatter blandt andet tab af fosfor fra dyrkede og udyrkede jorder, eroderede vandløbsbrinker og udledninger af spildevand fra spredt liggende ejendomme i det åbne land (dvs. uden for kloakerede områder) (Kronvang m.fl. 2005). Modellen for den diffuse tilførsel anvender data for jordtype, dyrkningsgrad, andel af vådområder, nedbør og base-flow (dvs. grundvandsandelen af den samlede afstrømning) som forklarende variable. Opgørelsesmetoder og modelberegninger er beskrevet i Ovesen m.fl. (2009). Modellen er verificeret og testet på et supplerende datagrundlag, og der er her specielt fundet behov for at korrigere modellen for det vestlige Jylland, idet der her beregnes for høje fosfortilførsler (bias) med den nuværende model (Tornbjerg m.fl. 2019). Denne bias opfattes som en generel model bias. Derfor foretages der en bias korrektion af enkelt månedstilførsler i de samme 9 geografiske regioner som anvendt i Thodsen m.fl. (2019b). Bias-korrektionen af den modellerede tilførsel fra umålt og delvist målt opland (huludfyldte stationer uden fuld tidsserie) er ny i forhold til de foregående år.

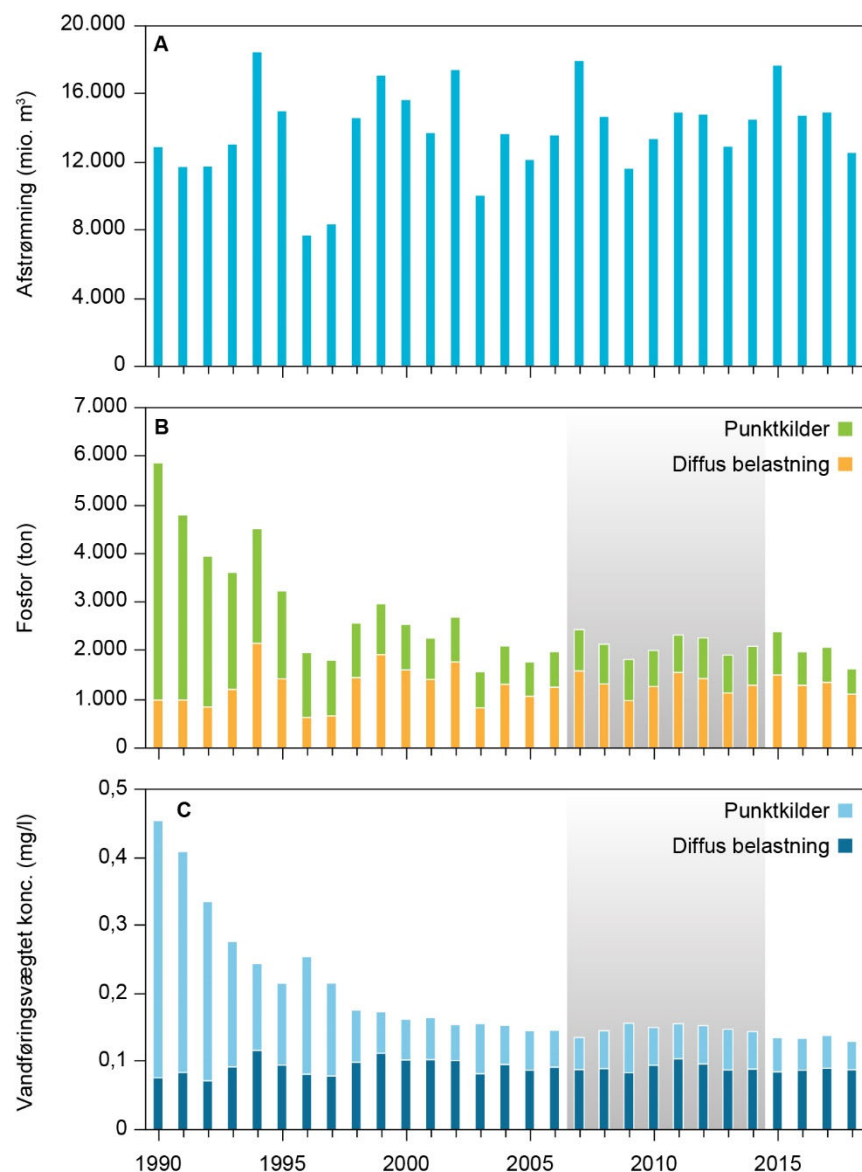
Ved kildeopsplitningen er den samlede diffuse tilførsel angivet som differensen mellem totaltilførslen og spildevandsudledningerne. Det tilgængelige datasæt for spildevandsudledningerne er tilvejebragt som beskrevet i afsnit 6.1. For data analyseret i 2016 og første 4 måneder af 2017 med forkert analysemetode er der foretaget en korrektion, se afsnit 1.4.1. Der er ligeledes gennemført en analyse af, om data målt fra 2007 til 2014 skulle korrigeres. Der blev ikke på det foreliggende grundlag fundet grund til at korrigere TP data fra denne periode, se afsnit 1.4.2. Der er ikke foretaget korrektion af eventuelle fejlanalyser på spildevand (Miljøstyrelsen, 2018).

7.2 Fosfortilførsel til havet i 2018

I 2018 blev der i alt beregnet en tilførsel af ca. 1.600 tons fosfor (P) til de danske farvandsområder (Figur 7.1, B). Det er omkring 21% mindre end året før og den næstmindste tilførsel, der er opgjort i overvågningsperioden siden 1990, kun tilførslen i 2003 er mindre. Vandafstrømningen var i 2018 292

mm, hvilket er 16% lavere end året før. Koncentrationen af fosfor i den samlede ferskvandsafstrømning var i gennemsnit 0,13 mg P/l i 2018 mod 0,14 mg P/l i 2017, og er dermed faldet ca. 7% (Figur 7.1, C). En del af forskellen i fosfortilførsel kan forklares ved variation i vandafstrømningen.

Figur 7.1. Ferskvandsafstrømning (A), samlet tilførsel af fosfor til de marine kystafsnit (B) og vandføringsvægtet fosfor koncentration (C) for 1990 til 2018. Fosfor er fordelt på tilførsler fra diffuse kilder (inkl. spildevand fra spredt bebyggelse) og udledninger med spildevand fra punktkilder (renseanlæg m.v.). Det bemærkes, at der ikke er indregnet retention i ferskvand af P udledt med spildevand fra punktkilder. Perioden 2007 til 2014 er markeret med grå baggrund, da TP-analyser for denne periode er under udredning for at være udført med en forkert metode, der underestimerer fosforkoncentrationen (se afsnit 1.4.2).



Siden 1990 er der sket et markant fald i de samlede fosfortilførsler til kystvandet. Faldet forklares af den store reduktion i fosforudledningerne med spildevand gennem perioden (Figur 7.1, B), hvilket er en direkte effekt af den forbedrede rensning, som i forbindelse med de daværende amters skærpede krav og kravene i den første vandmiljøplan blev iværksat omkring og umiddelbart efter 1990. De samlede udledninger af fosfor med spildevand fra punktkilder (uden spildevand fra spredt bebyggelse, der indregnes som diffus kilde) er således faldet fra omkring 4.900 tons fosfor i 1990 til et niveau på 500-900 tons fosfor de seneste 5 år. Spildevandsudledningerne af fosfor fra punktkilder udgjorde i 2018 520 tons og blev dermed ca. 28% lavere end i 2017. Spildevandsandelen af total-P tilførslen er således ca. 32%. Dette skyldes både lave udledninger- specielt fra regnbetingede udledninger- og ændringer i opgørelsesmetoden anvendt for 2018 bl.a. for regnbetingede udledninger (jf. Fagdatacenter for Punktkilder). Det

skal bemærkes, at allerede i 1980'erne blev der på foranledning af krav fra de daværende amter reduceret kraftigt på udledningerne med fosforholdigt spildevand til visse vandområder. Spildevandstillædningerne med fosfor til fx Limfjorden og Randers fjord blev således halveret i perioden forud for 1990 (jf. upublicerede oplysninger fra Naturstyrelsen). Fosfortilførslerne fra diffuse kilder (dyrkede og udyrkede arealer samt spildevand fra spredt bebyggelse) har derved fået relativt større betydning. De varierer nu – ligesom kvælstof – fra år til år primært med variationerne i den årlige vandafstrømning (Figur 7.1, A).

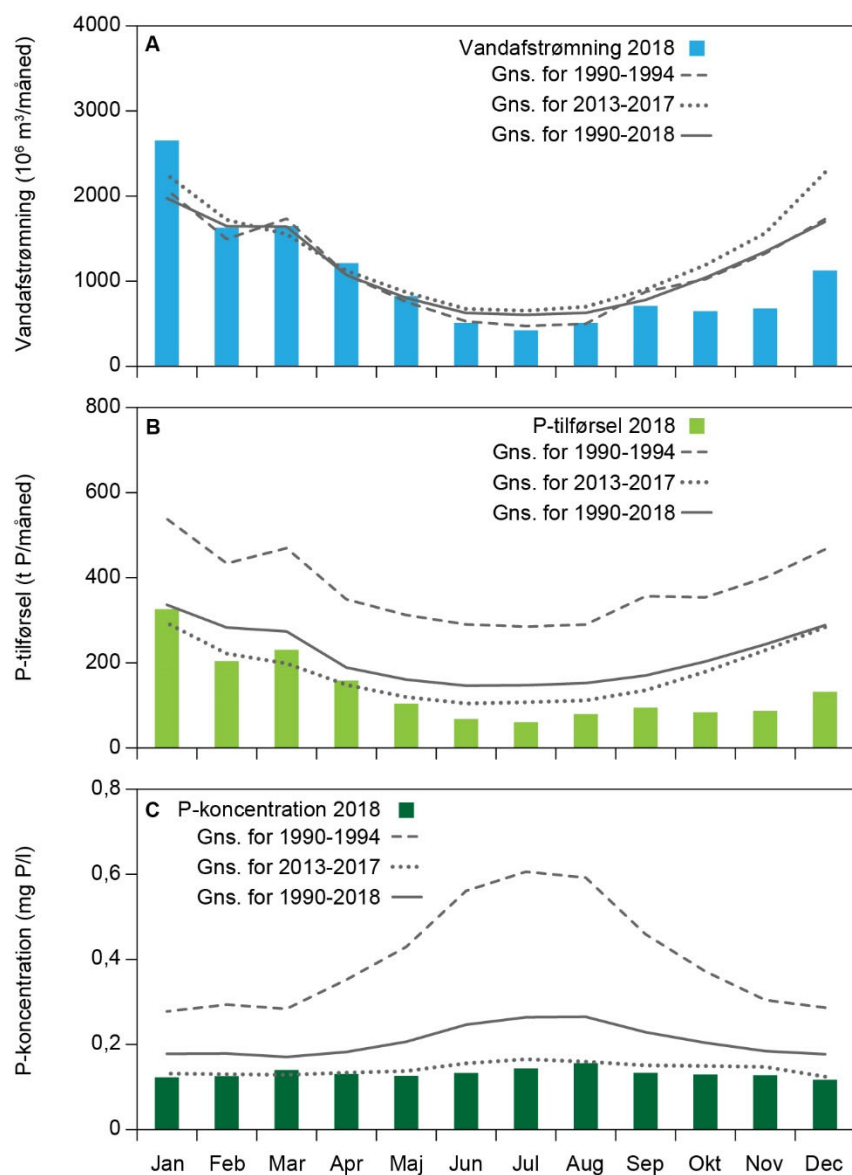
Den markante reduktion i fosfortilførslerne ses specielt tydeligt i udviklingen i de vandføringsvægtede fosforkoncentrationer i den samlede vandmængde, der strømmer fra land til kystvandene omkring Danmark (Figur 7.1, C). Efter det markante fald frem til slutningen af 1990'erne ses et nær konstant niveau de følgende år.

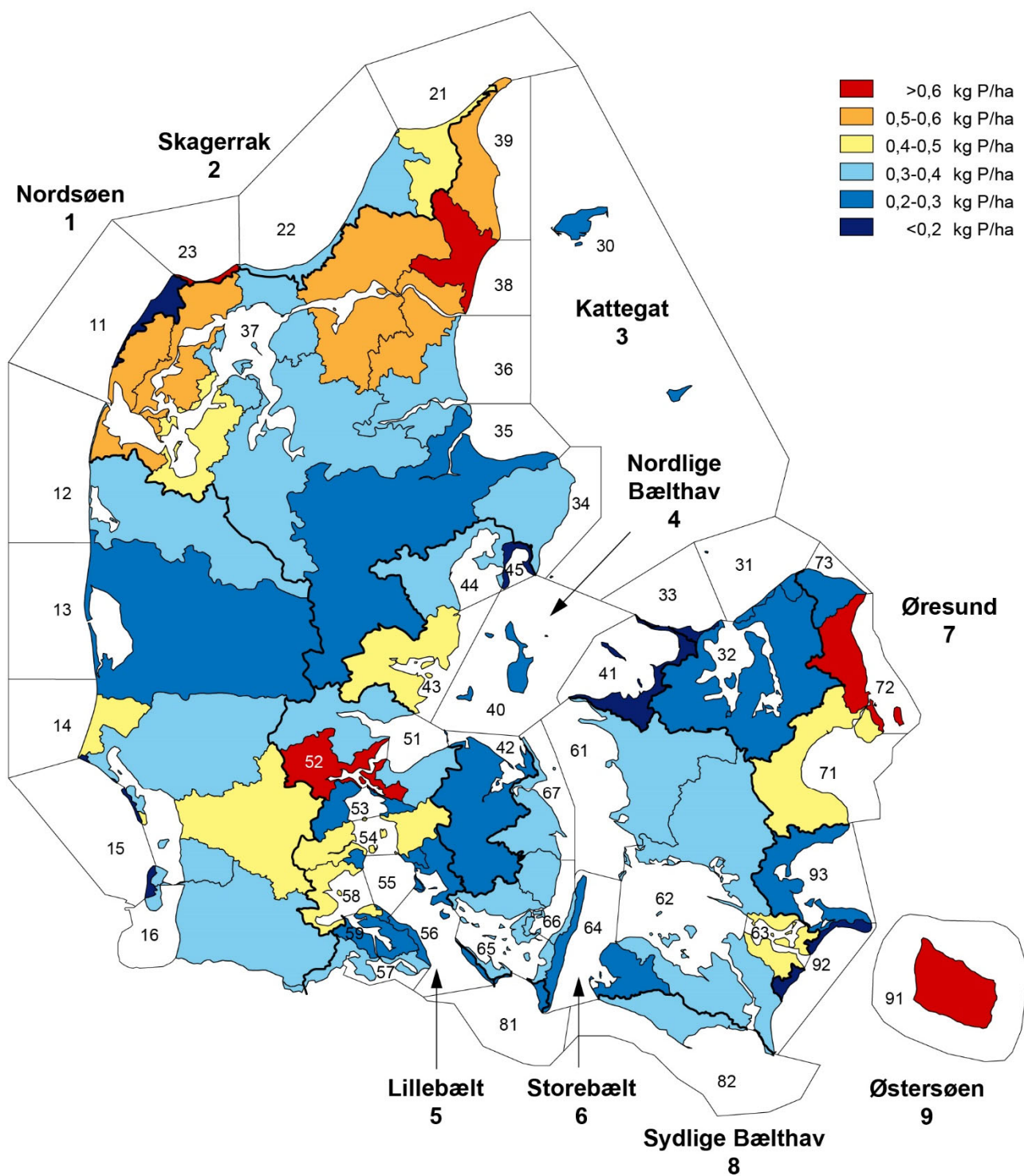
7.3 Sæsonvariation i vandafstrømning og fosfortilførsel

Hen over året 2018 var fosfortilførslerne i alle måneder markant lavere end gennemsnittet for årene 1990-1994 og også lavere end gennemsnittet for perioden 1990-2018, undtagen januar. I forhold til gennemsnittet for de foregående 5 år 2013-2017 er fosfortilførslen i 2018 lidt højere eller på niveau i årets første 4 måneder og lavere i de resterende 8 måneder og markant lavere i årets sidste 3 måneder (Figur 7.2, B). Variationen i fosfortilførslerne fulgte som i tidligere år variationen i ferskvandsafstrømningen. De relativt høje fosfortilførsler i vintermånederne forklares således af den store vandafstrømning i disse måneder (Figur 7.2, A). For 2018 er det specielt, at fosfortilførslen er meget lav i årets sidste 3 måneder, hvilket primært skyldes den usædvanligt lave vandafstrømning i disse måneder. Fosforkoncentrationerne i det afstrømmende vand fra land varierede hen over året 2018, men var på grund af de reducerede spildevandsudledninger – i alle måneder undtagen januar – markant mindre end gennemsnittet for perioden siden 1990-2018 (Figur 7.2, C). Fosforkoncentrationen ligger for årets første 4 måneder samt i august og december forholdsvis tæt på gennemsnitskoncentrationen for de sidste 5 år (2013-2017), og lidt under de øvrige måneder. Generelt er fosforkoncentrationerne størst i sommermånederne, fordi ferskvandsafstrømningen her er mindst (Figur 7.2, A), hvorved det udledte spildevand ikke fortyndes så meget som i øvrige måneder. Dette fænomen er dog mindre tydeligt nu end tidligere, hvor spildevandstilførslen bidrog relativt mere til den samlede koncentration (Figur 7.2, C).

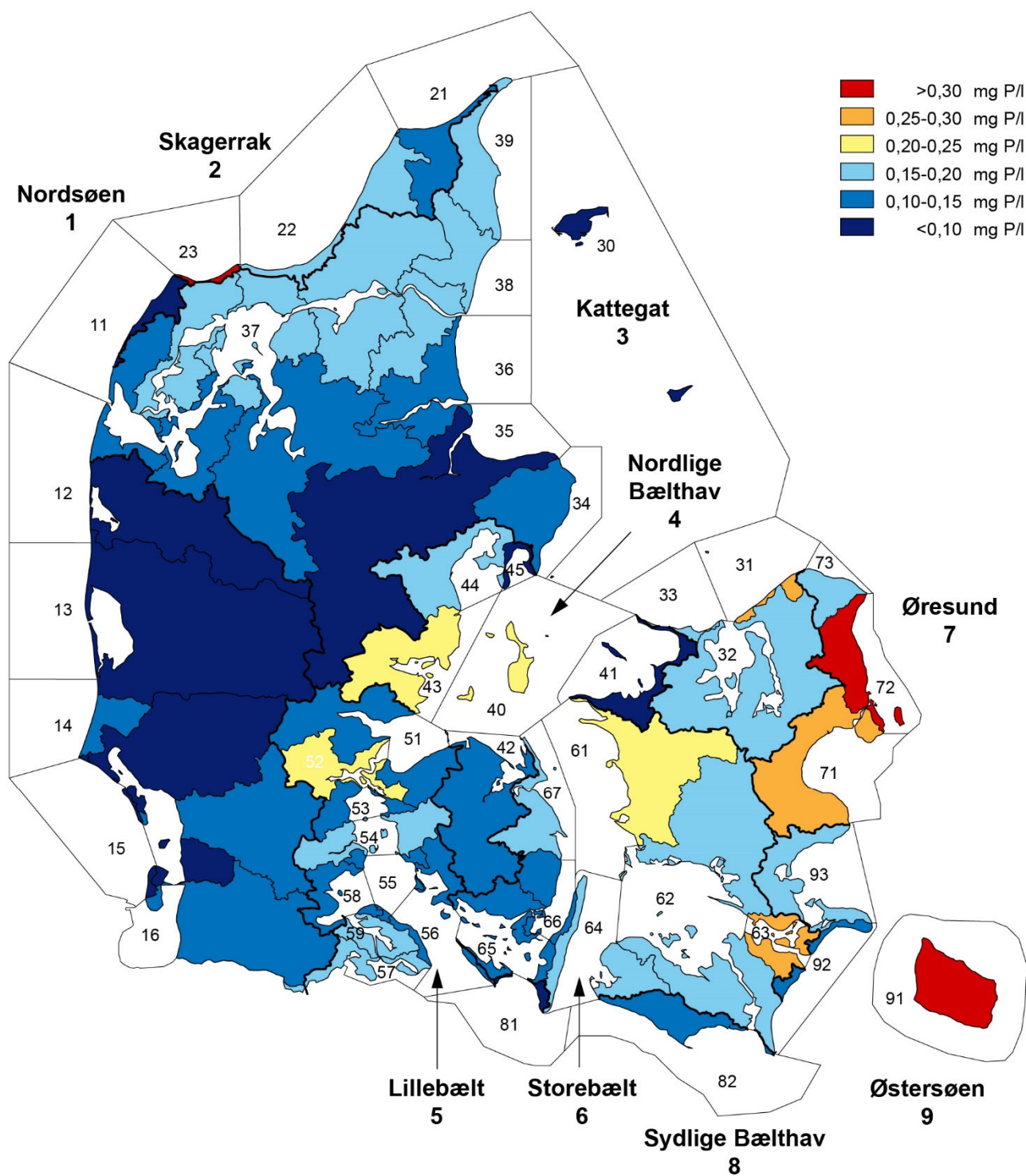
Den regionale tilførsel til kystområderne varierede betragteligt i 2018 (Figur 7.3). Størst var oplandstabet (målt som kg P/ha) i enkelte oplande til Lillebælt, Øresund samt for Bornholm og den nordlige del af Aalborg bugt, hvor tabet generelt var større end 0,6 kg P/ha. Den vandføringsvægtede koncentration af total-fosfor var i store dele af Midtjylland <0,1 mg/l og i størstedelen af det øvrige Jylland, Fyn, Sjælland og Lolland Falster på mellem 0,1 og 0,2 mg P/l. Koncentrationen var generelt højere Øresund og Køge bugt og Vestsjælland samt Horsensfjord og den nordlige del af Lillebælt (Figur 7.4). De diffuse fosforkilders betydning var generelt størst i Jylland, Sydfyn med øer, det sydlige Lolland og Bornholm. De diffuse kilder betyder mindst i oplandet til Øresund, Køgebugt, Storstrømmen, det nordlige Lillebælt og Århus bugt (Figur 7.5).

Figur 7.2. Månedsvise vandafstrømning (A), fosfortilførsel (B) og vandføringsvægtet fosforkoncentration (C) i det afstrømmende vand til havet omkring Danmark i 2018 og som gennemsnit for 1990-2018, 2013-2017 og 1990-1994.

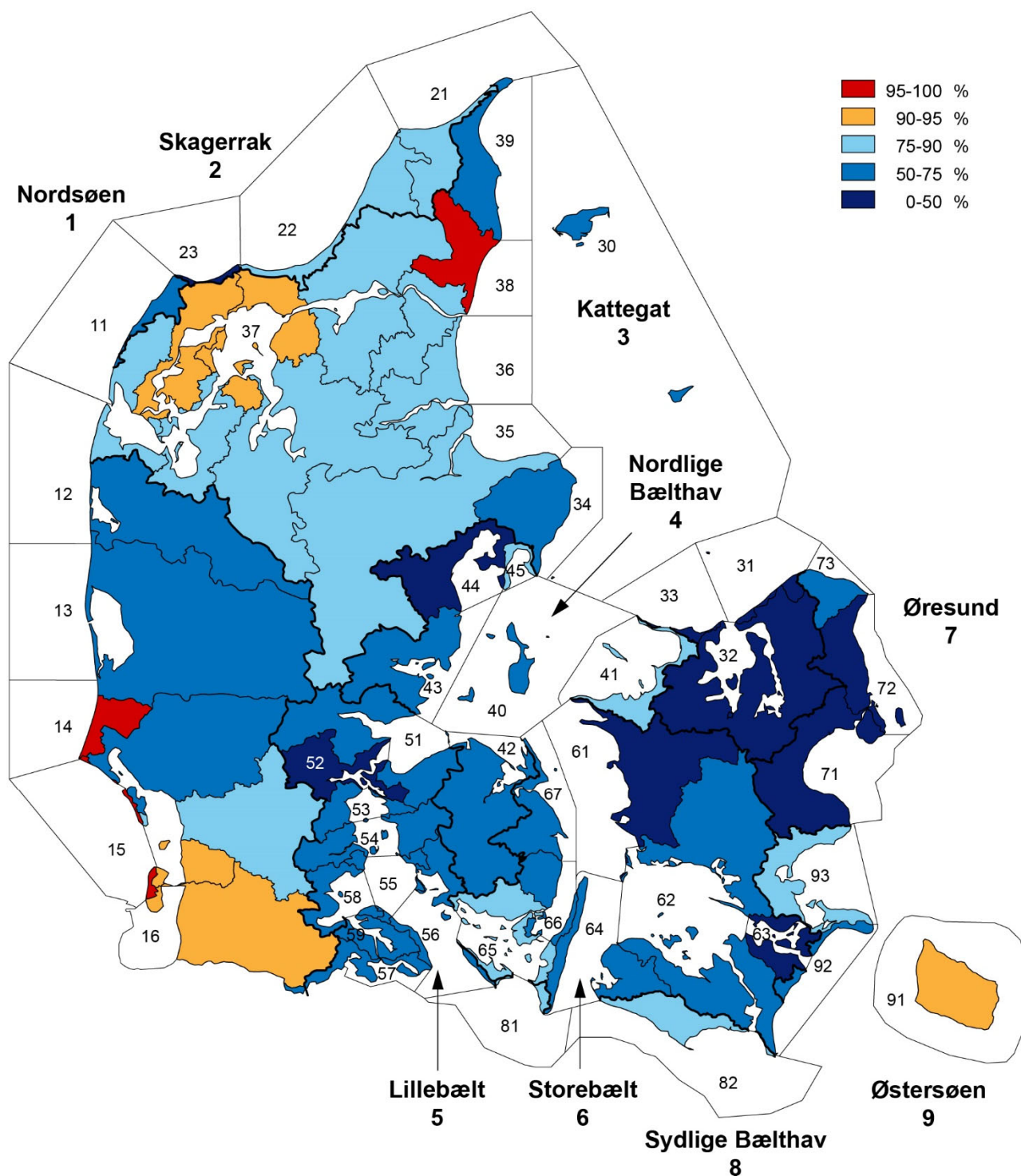




Figur 7.3. Arealspecifikt tab af total-fosfor fra oplandene til marine kystafsnit i 2018



Figur 7.4. Vandføringsvægtet total-fosforkoncentration i vand afstrømmende til marine kystafsnit i 2018



Figur 7.5. Diffus (samlet fosfortilførsel minus fosfor fra punktkilder) andel af den totale fosfortilførsel til kystområderne i 2018

7.4 Udvikling i fosfortilførslen til havet 1990 – 2018

Der har i perioden 1990-2018 været et statistisk signifikant fald i den samlede tilførsel af total-fosfor fra land til havet omkring Danmark (Figur 7.1) og (Tabel 7.1). Signifikansen af tidsserier er testet ved anvendelse af Mann-Kendalls trend test samt "brocken-stick" modeller (Carstensen & Larsen, 2006). For Total P er der defineret et knæpunkt mellem 1994 og 1995, og to lineære modeller er estimeret, og det totale fald er beregnet ved formlen:

$$100 \cdot \frac{\hat{x}_{1990} - \hat{x}_{2018}}{\hat{x}_{2018}},$$

hvor $\hat{x}_{1990}$ er den estimeret værdi for året 1990 og tilsvarende er $\hat{x}_{2018}$ den estimeret værdi for 2018. Estimeret er beregnet ud fra de to lineære modellens matematiske formler. Konfidensintervaller på det samlede fald er beregnet ved anvendelse af standard error på estimeret for årene 1990 og 2018. Faldet er estimeret til omkring 72%, varierende mellem 17% til Limfjorden og 92% fald i tilledningen til Øresund.

Reduktionen i tilførslen til havet med fosfor kan – som allerede fremhævet – forklares ved de reducerede udledninger af fosfor med spildevand. For tilførslerne fra diffuse kilder kan der derimod ikke på landsplan påvises en statistisk sikker udvikling over tid. De signifikante fald i fosforkoncentrationer, der kan påvises i 14 ud af 32 type-vandløb uden udledninger fra egentlige punktkilder (jf. kapitel 5), afspejles således ikke i landstallene.

Tabel 7.1. Mann-Kendall trend-test af udviklingen i den samlede tilførsel af fosfor til kystområderne for perioden 1990–2018. Resultaterne er angivet som procentvis ændring i forhold til et estimeret niveau for 1990. Testen er lavet på vandføringsvægtede koncentrationer. Tallene i parentes angiver 95% konfidensinterval. Alle udviklinger er signifikante på 5 %-niveau.

Fosfor	
Farvandsområde	Samlede tilførsel % ændring
Nordsøen	-58
Skagerrak	-73
Kattegat	-67
Nordlige Bælthav	-71
Lillebælt	-75
Storebælt	-71
Øresund	-92
Sydlig Bælthav	-63
Østersøen	-82
Limfjorden	-17
Isefjorden/Roskilde fjord	-80
Danmark	-72 (-77; -64)

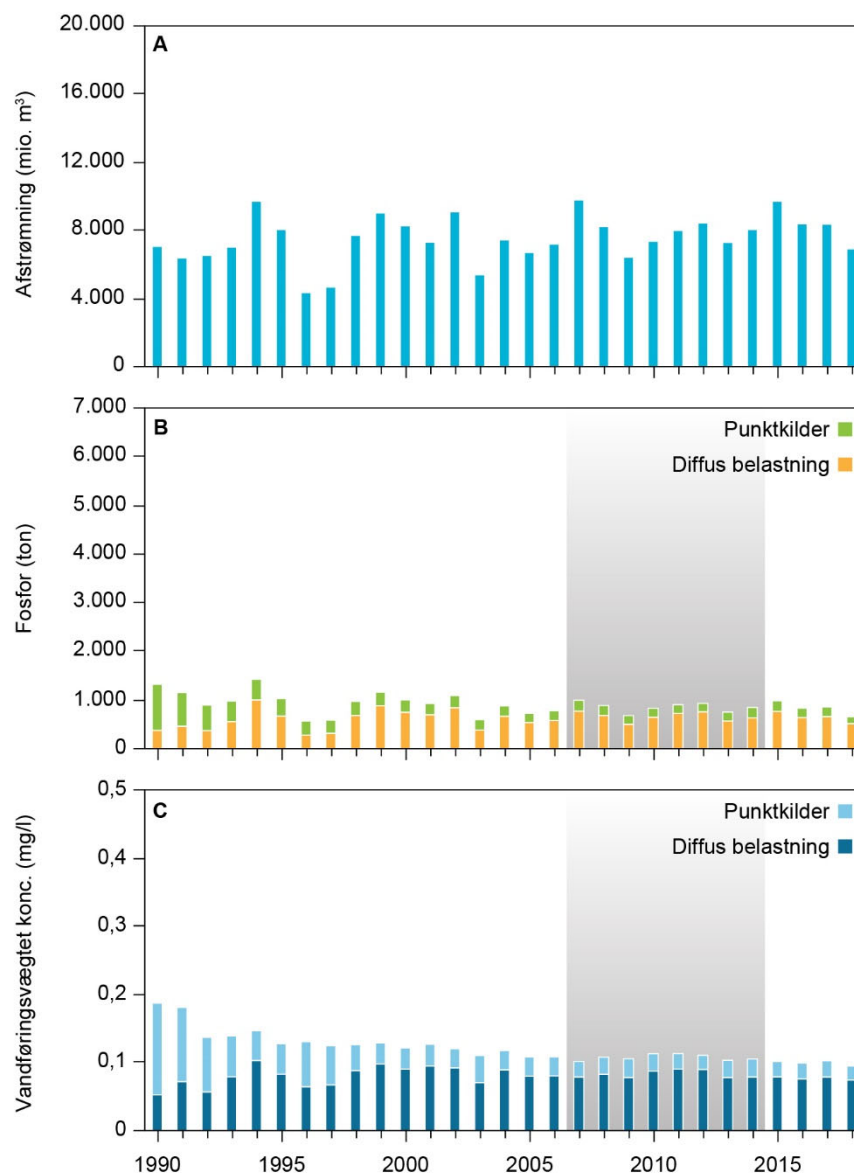
7.5 Fosfortilførsel fra målt opland

I dette afsnit er fosfortransporten opgjort for det målte opland, altså den del af Danmark, som er placeret opstrøms målestationer, som har været i drift med TN og TP-målinger igennem hele perioden 1990-2018. Det er tilfældet for 104 stationer og dækker ca. 48% af landets areal (20.540 km²).

Vandafstrømningen for det målte opland (104 stationer) er for 2018 opgjort til 336 mm, hvilket er 17% lavere end i 2017 (408 mm) og 9% lavere end gennemsnittet for perioden 1990-2017 på 368 mm (Figur 7.6, A). Vandafstrømningen for det målte opland er altså opgjort til at være noget højere end for hele landet, hvor afstrømningen er opgjort til 294 mm i 2018.

Fosfortilførselen fra det målte opland var i 2018 ca. 650 ton, hvilket er et fald på ca. 24% i forhold til fosfortilførslen i 2017 (Figur 7.6, B). Fosfortilførselen, som stammer fra punktkilder, er opgjort til 140 ton P, svarende til 22%. Denne andel har været faldende igennem perioden siden 1990, hvor gennemsnittet for 1990-1994 var ca. 51% mod et gennemsnit på ca. 24% for de sidste 5 år. Opgørelsen indregner ikke retention i overfladevandssystemet imellem udledningsstedet og målestationen, hvorfor punktkilde andelen er overestimeret.

Figur 7.6. Udvikling i ferskvands-afstrømning (A), fosfortilførsel (B) og vandførings-vægtet fosforkoncentration (C) i det afstrømmende vand fra det målte opland, 1990-2018. Fosfortilførslen er fordelt på diffuse kilder (inkl. spildevand fra spredt bebyggelse) og spildevand fra punktkilder. Der er i den beregnede kildeopsplitning ikke indregnet retention af fosfor udledt med spildevand til ferskvand. Perioden 2007 til 2014 er markeret med grå baggrund, da TP analyser for denne periode er under udredning for at være udført med en forkert metode, der underestimerer fosforkoncentrationen (se afsnit 1.4.2).



Den vandføringsvægtede fosforkoncentration for det målte opland er for 2018 opgjort til 0,095 mg P/l, hvilket er ca. 7% lavere end de 0.102 mg P/l i 2017 (Figur 7.6, C). TP-koncentrationen i 2018 er den hidtil laveste, der er opgjort siden 1990. Middel fosforkoncentrationen 1990 til 1994 var 0,153 mg P/l, mens gennemsnittet for de sidste fem år er 0,101 mg P/l.

Ved sammenligning mellem Figur 7.1 og Figur 7.6 ses det, at den overordnede udvikling på det målte opland og hele landet er næsten ens.

7.6 Sammenfatning af resultaterne

- Den samlede fosfortilførsel fra land til kystvandene i 2018 er beregnet til ca. 1.600 tons P/år. Heraf udgør fosfor udledt med spildevand fra punktkilder ca. 520 tons P/år. Beregningerne dette år er baseret på målinger fra 209 kystnære målestationer i vandløb og en model for det resterende umålte opland

- Den vandføringsvægtede TP-koncentration for hele landet var i 2018 0,13 mg P/l
- Den vandføringsvægtede TP-koncentration for 104 målestationer med fuld måletidsserie var i 2018 0,095 mg P/l
- Fosfortilførslerne fra land til havet er siden 1990 reduceret med omkring 72% (vurderet ud fra udviklingen i vandføringsvægtede koncentrationer)
- De diffuse kilders andel af den samlede fosfortilførsel til kystvandene var i 2018 omkring 68%
- Punktkildernes andel af den samlede fosfortilførsel til kystvandene var i 2018 omkring 32%

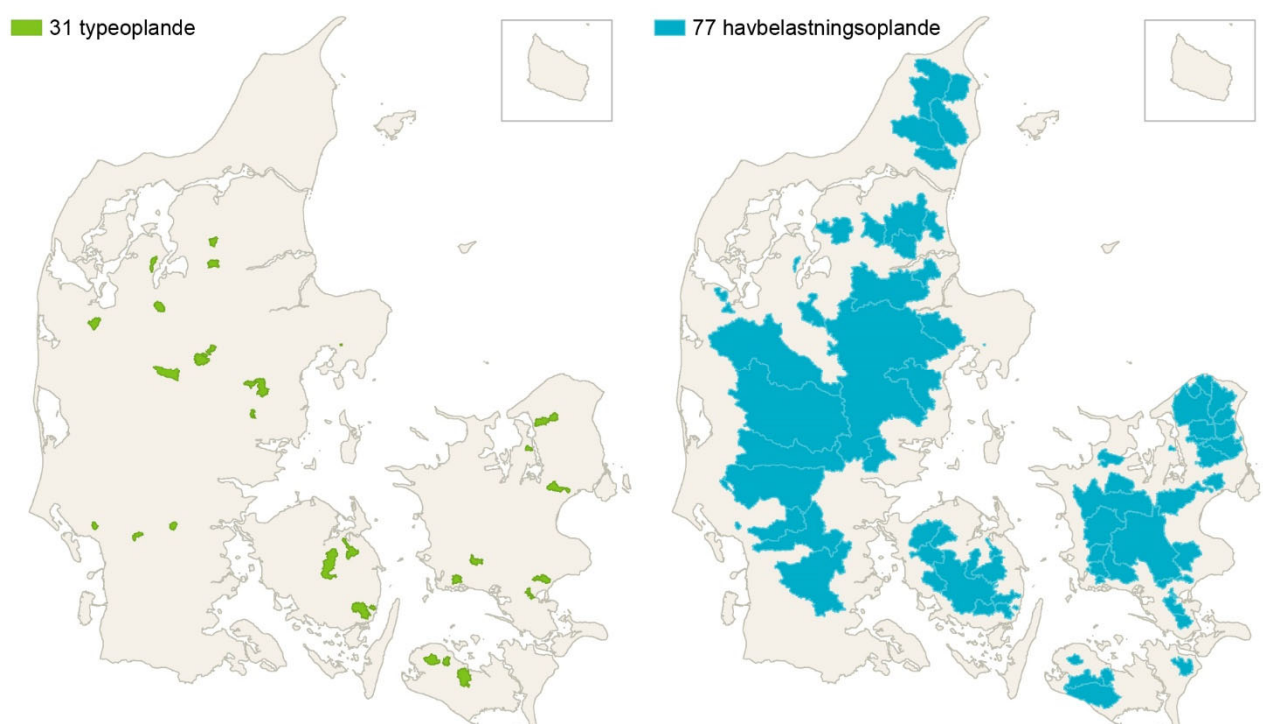
8 Nitrat-N-koncentrationer og -transport på målestationer

Henrik Tornbjerg, Hans Thodsen, Gitte Blicher-Mathiesen

8.1 Introduktion

Nitrat-N analyserne er i modsætning til TN-analyserne ikke analyseret med en forkert metode (jf afsnit 1.4.2). Derfor er det interessant at se på udviklingen i nitrat-N og sammenligne med udviklingen i TN. Det er desuden interessant, at sammenstille nitrat-N-data med TN-data.

Udviklingen i nitrat-N-koncentrationen og -transporten i perioden 1990 til 2018 er belyst i dette kapitel. Udviklingen kan beskrives for 31 typeoplande (>60% dyrkning) og 77 havbelastningsstationer med månedlig måletidsserie for hele perioden. Havbelastningsstationerne dækkende ca. 38% af landet, svarende til et samlet målt areal på 16.550 km², og har en gennemsnitlig dyrkningsgrad på 61 pct., hvilket stort set svarer til dyrkningsgraden for hele landet, der er på ca. 60%. Det målte areal er vist i Figur 8.1.



Figur 8.1. Placering af de 31 typeoplande (tv) og 77 havbelastningsoplande (th), der i dette kapitel anvendes til at opgøre nitrat-N-transport (Blicher-Mathiesen m.fl., 2017).

Der findes færre kystnære målestationer med en fuld måletidsserie for nitrat-N end for TN, hvorfor der indgår færre stationer i dette afsnit end i afsnittet 6.5 om det målte opland.

Der foreligger ikke metoder til at estimere nitrat-N værdier for målestationer med manglende måledata for en del af måleperioden eller for umålt opland, hvorfor der ikke kan beregnes en nitrat-N tilførsel for hele landet, som det er gjort for TN i kapitel 6.

Nitrat-N udgør for de fleste danske vandløb en forholdsvis stabil og høj andel af TN, hvorfor nitrat-N kan bruges som verifikation af TN udviklingen på målestationer (Blicher-Mathiesen, 2017). Vurderinger af status og udvikling i koncentrationen og transporten af nitrat-N er således et supplement til de tilsvarende vurderinger af TN. Nitrat-N's andel af TN opgjort årligt for den samlede transport på de 77 målestationer - varierede mellem 78% og 87% for perioden 1990 til 2017 (Blicher-Mathiesen, 2017). Der er en tendens til, at de højeste værdier findes i den første del af perioden. Således findes de 3 værdier over 85% alle i perioden 1990 – 1993. Dermed kan der ved samme TN transport to forskellige år være ca. 10% variation i nitrat-N-transporten. For 31 typeoplande (>60% dyrkning) med fuldstændig tidsserie varierede nitrat-N's andel af TN mellem 82% og 91% for perioden 1990 til 2017. For typeoplande ses også høje værdier for den tidlige del af perioden (Blicher-Mathiesen, 2017).

8.2 Nitrattransport og -koncentration for 77 havbelastningsoplande i 2018

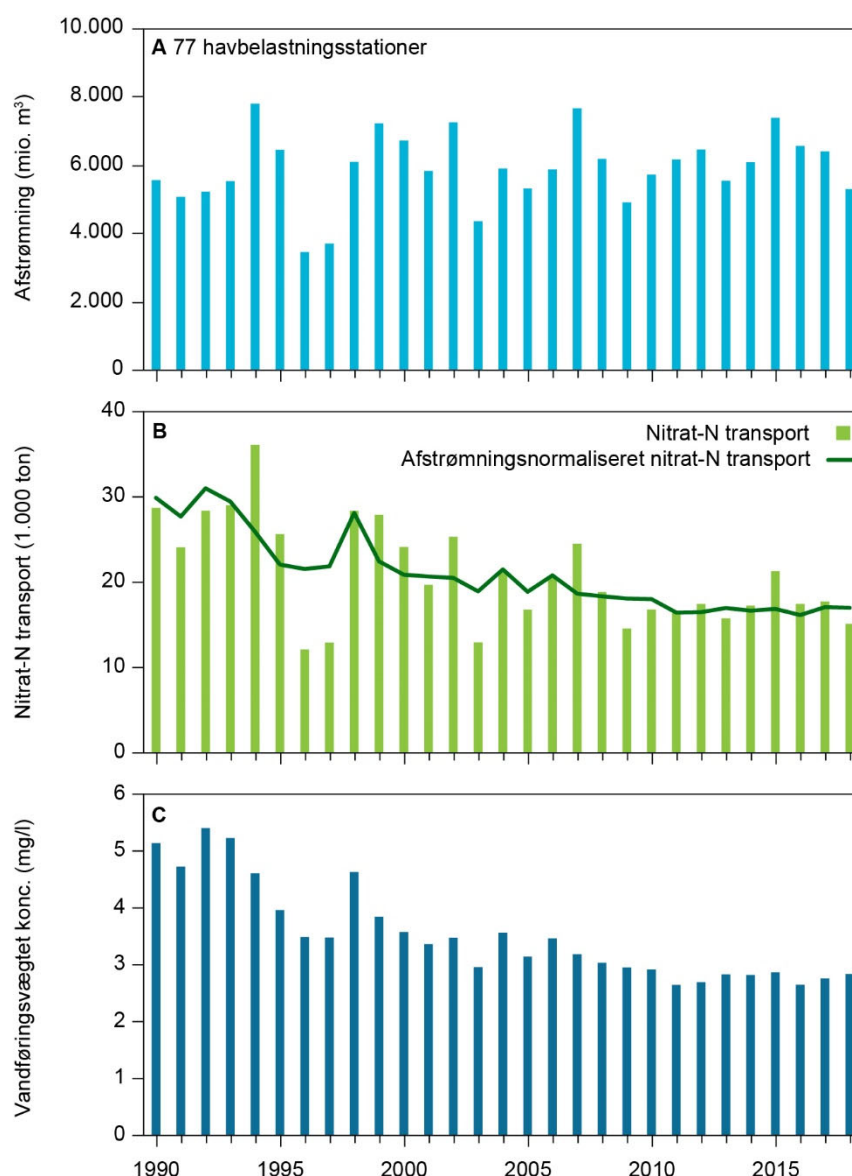
Den aktuelle nitrat-N transport for havbelastningsoplandene viser en stor år til år variation, som det også ses for vandafstrømningen (Figur 8.2) og af TN transporten (Figur 6.6). I perioden 2010-2016 varierer den aktuelle nitrat N-transport mellem 15.800 og 21.400 tons N, i 2017 var transporten 17.800 tons N og i 2018 15.200 tons N. Vandafstrømningen på de 77 stationer var i 2018 322 mm, svarende til 11% under middel i forhold til måleperioden 1990 til 2017 (361 mm).

Den afstrømningsnormaliserede nitrat-N transport varierede i perioden 2010 - 2016 mellem 16.200 til 18.000 tons. I 2017 var den 17.100 tons og i 2018 17.000 tons nitrat-N.

Den vandføringsvægtede nitrat-N koncentration varierede i perioden mellem 2010 til 2016 mellem 2,7 og 2,9 mg Nitrat-N/l. I 2017 var den 2,8 mg Nitrat-N/l og i 2018 2,8 mg Nitrat-N/l (Figur 8.2). Der ses et markant fald i den vandføringsvægtede nitrat koncentration fra omkring 5 mg-Nitrat-N/l i begyndelsen af 1990'erne, til under 3 mg Nitrat-N/l i de seneste år.

Figur 8.2. Havbelastningsoplandenes udvikling i ferskvandsafstrømning som sum af 77 oplande (A), beregnet årlig sum for nitrat-N transport (lysegrønne søjler) og afstrømningsnormaliseret nitrat N-transport (grøn linje) ved de 77 stationer (B) samt gennemsnitlig vandføringsvægtet nitrat-N koncentration (C) opgjort for kalenderår i perioden 1990-2018.

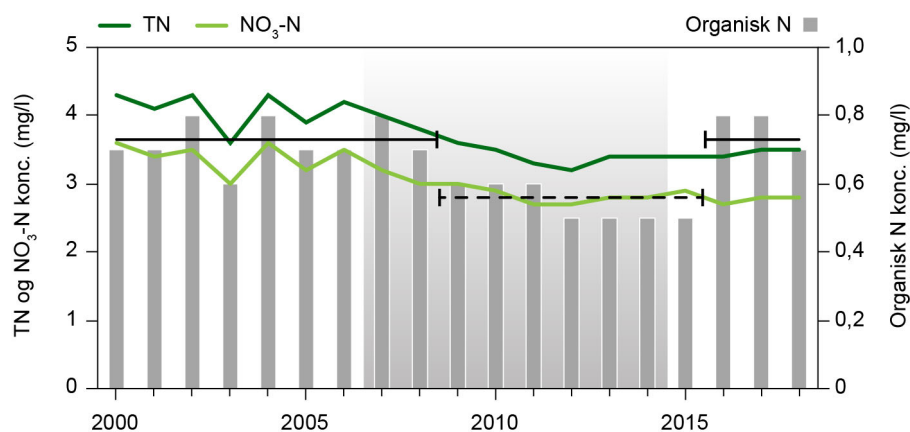
Kort med geografiske placering af de 77 havbelastningsoplande Figur 8.1. (Blicher-Mathiesen m.fl., 2017).



8.2.1 Sammenstilling af TN- & nitrat-N koncentrationer

Der er lavet en sammenstilling af TN- og nitrat-N vandføringsvægtede koncentrationer på de 77 målestationer for perioden fra år 2000 og frem (Figur 8.3). TN værdier er korrigerede jf afsnit 1.4.2. Det ses, at udviklingerne ikke er helt ens, specielt i perioden 2009 til 2015 ses der en mindre forskel imellem de to kurver end for resten af perioden. Søjlerne i diagrammet viser forskellen (residualet) imellem de to kurver, denne forskel angiver det organiske kvælstofindhold. De to vandrette linjer er middel af hhv. perioderne 2000-2007 plus 2016-2018 og 2009-2015. Der ses altså en forskel i koncentration af organisk N på ca. 0,17 mg N/L mellem disse perioder for denne periode, hvilket kan indikere, at TN målingerne bør korrigeres yderligere op. Der kan ikke umiddelbart gives en naturlig forklaring på, hvorfor koncentrationen af organisk kvælstof skulle være lavere i 2009-2015 end i resten af perioden.

Figur 8.3. Mørkegrøn linje er vandføringsvægtet TN koncentration (aflæst på venstre akse), lysgrøn linje er Nitrat-N ($\text{NO}_3\text{-N}$) koncentration (aflæst på venstre akse), Sort linje (fuldt optrukket) er organisk kvælstof middel koncentration for perioden 2000-2008 og 2016-2018 (aflæst på højre akse), stiplet sort linje er organisk kvælstof middel koncentration for perioden 2009-2015 (aflæst på højre akse). Stolperne angiver årlig Organisk kvælstof-koncentration (aflæst på højre akse). TN værdier er korrigerede jf afsnit 1.4.1 og 1.4.2



8.3 Nitrattransport og -koncentration for 31 landbrugsdominerede typeoplande

Med typeoplande menes dyrkningsdominerede, små oplande, der overvåges for bl.a. nitrat og total kvælstof transport igennem NOVANA. Oplandene er valgt, så der ikke forekommer spildevandsudledning fra større punktkilder. Vandløbene ligger øverst i vandløbssystemerne og er derfor minimalt påvirkede af omdannelse af nitrat til organisk kvælstof, der sker i ferskvandssystemet, og som er særligt stor i oplande med store søer som fx i Gudenåen. En respons på ændring i dyrkningspraksis, herunder ændret gødskning, vil forholdsvis hurtigt kunne måles i disse små og stærkt dyrkningspåvirkede oplande/vandløb. Mange af disse små vandløb er dog også meget dynamiske, og den tidlige variation i vandafstrømning, nitrat-koncentration og -transport er relateret til variationer i klimaet. Først og fremmest variationer i nedbøren.

De nationale data for dyrkningsdominerede typeoplande omfatter årlige målinger af total-N på 44 målestationer i perioden 1990-2018, hvor der er målt i alle år. På 31 af disse stationer findes desuden en fuld tidsserie, hvor der hvert år (siden 1990) også er målt nitrat. Her præsenteres derfor nitratmålinger for disse 31 typeoplande. De anvendte typeoplande er forholdsvis små 0,6 - 65 km² og ligger spredt over det meste af landet, dog indgår der ikke typeoplande i Nordjylland og i Sønderjylland eller på Bornholm på grund af manglende stationer med fuld tidsserie af årlige nitratmålinger i perioden siden 1990 (Figur 8.1). De 31 typeoplande dækker et samlet areal på 568 km² og har en gennemsnitlig dyrkningsandel på 71% af oplandsarealet (Blicher-Mathiesen, 2017).

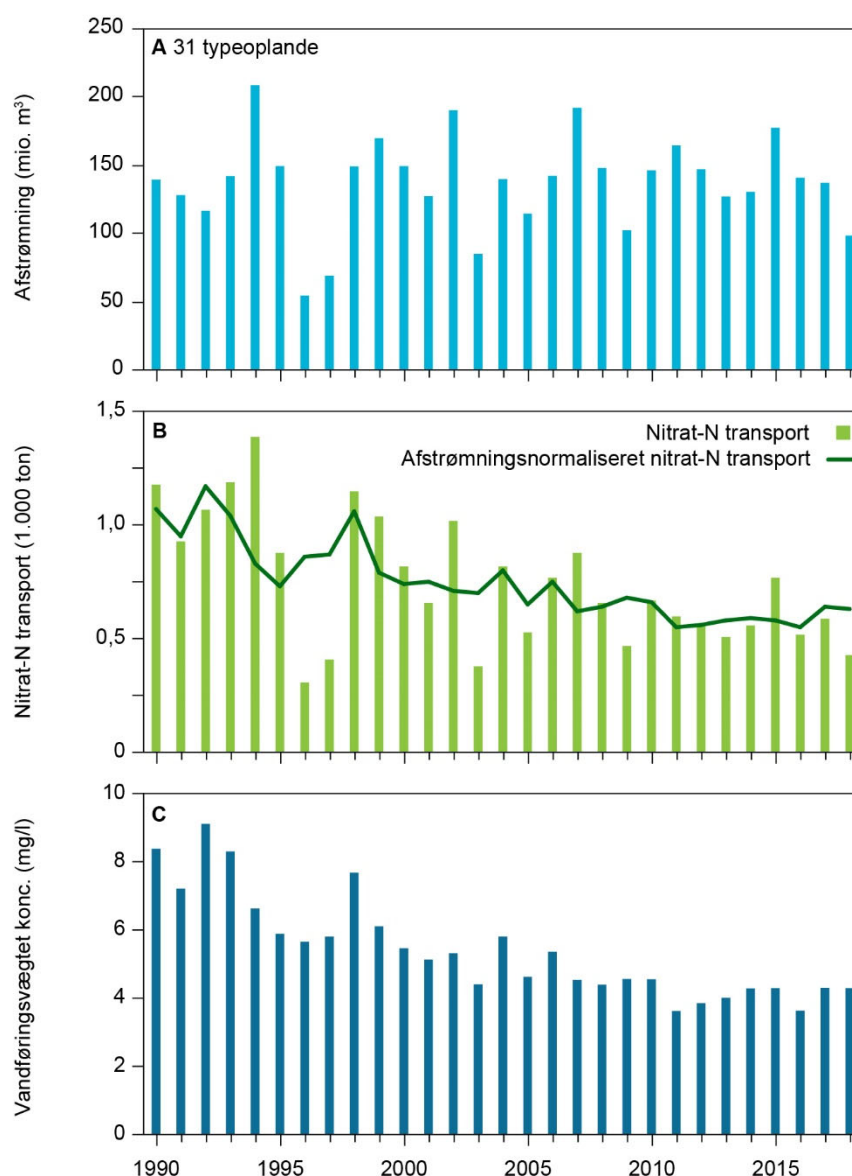
Den aktuelle nitrat-N transport for de 31 typeoplande viser stor år til år variation, som det også ses for vandafstrømningen (Figur 8.4). Den aktuelle nitrat-N transport varierer i perioden 2010-2016 imellem 510 og 770 tons Nitrat-N. I 2017 er nitrat-N transporten på 590 tons nitrat-N og i 2018 430 tons nitrat-N. Afstrømningen for 2018 var 175 mm, svarende til 29% under middel for måleperioden 1990 – 2017 (246 mm).

Den afstrømningsnormaliserede nitrat-N-transport udgjorde i perioden 2010 – 2016 mellem 550 og 660 tons nitrat-N. I 2017 er den afstrømningsnormaliserede nitrat N-transport 640 tons nitrat-N og 635 tons nitrat-N i 2018. Den afstrømningsnormaliserede nitrat-N transport er opgjort som en sum for alle typeoplande.

Den vandføringsvægtede nitrat N-koncentration varierer i perioden 2010 – 2016 imellem 4,6 mg nitrat-N/l og 3,6 mg nitrat-N/l. I 2017 er koncentrationen 4,3 mg nitrat-N/l og i 2018 4,3 mg nitrat-N/l. Der ses et markant fald i den vandføringsvægtede nitrat koncentration fra omkring 8 mg-Nitrat-N/l i begyndelsen af 1990'erne, til omkring 4 mg Nitrat-N/l i de seneste år.

Fælles for udviklingen i den afstrømningsnormaliserede nitrat-N transport for både de 31 landbrugsdominerede typeoplande og de 77 havbelastningsoplande er et fald fra 2010 til 2011, et stabilt niveau i perioden 2011-2016 og et lidt højere niveau i 2017 og 2018.

Figur 8.4. Typeoplandenes udvikling i afstrømning som sum for de 31 oplande (A), beregnet årlig sum for nitrat N-transport (lysegrønne søjler) og afstrømningsnormaliseret nitrat N-transport (grøn linje) (B) samt gennemsnitlig vandføringsvægtet nitrat N-koncentration (C). Data er opgjort for kalenderår i perioden 1990-2018. Kort med den geografiske placering af typeoplandene Figur 8.1. Blicher-Mathiesen m.fl., 2017).



8.4 Konklusion

Der ses, at være en forskel i udviklingen af den klimanormaliserede tilførsel til havet (Figur 6.5B) og den klimanormaliserede transport på de 77 havbelastningsstationer (Figur 8.2B). En del af denne forskel vurderes at stamme fra analysefejlen. Sammenstillingen af Nitrat-N og TN data i Figur 8.3 tyder også på at analysefejlen har en betydning.

9 Suspenderede stof i vandløb

Hans Thodsen, Søren Erik Larsen

9.1 Introduktion

Suspenderede stoffer er partikler, der er opslæmmede (suspenderede) i vandløbets vandsøjle. Suspenderet stof består både af mineralske partikler/sediment (sand, silt, ler) og organiske partikler. Hovedparten af det suspenderede stof holdes i suspension af turbulensen i vandløbsvandet og vil således falde til bunds og aflejres, hvis vandets hastighed formindskes, og turbulensen derved formindskes. Dette sker f.eks. hvor vandløbet løber igennem en sø. Den organiske del af det suspenderede stof bestemmes ved analyse af glødetabet (afbrænding af det organiske stof ved opvarmning til 550 °C). Den mineralske del af suspenderet stof (sedimentet) beregnes ved at fratrække glødetabet fra vægten af den totale mængde suspenderet stof.

Suspenderet stof måles som en del af NOVANA programmet. Der findes i ODA databasen (<https://odaforalle.au.dk/login.aspx>) analyser af >120.000 prøver indsamlet i vandløbene mellem 1990 og 2018. I samme periode er der analyseret >61.000 prøver for glødetab. I den sidste del af perioden er der som standard analyseret både for suspenderet stof og glødetab. Prøverne er indsamlede dels som enkeltprøver og dels som puljede prøver, der består af flere enkeltprøver indsamlet automatisk over en kort tidsperiode og derefter blandet sammen og analyseret på den sammenblandede prøve. I 2018 er der tilføjet >7600 analyser af suspenderet stof.

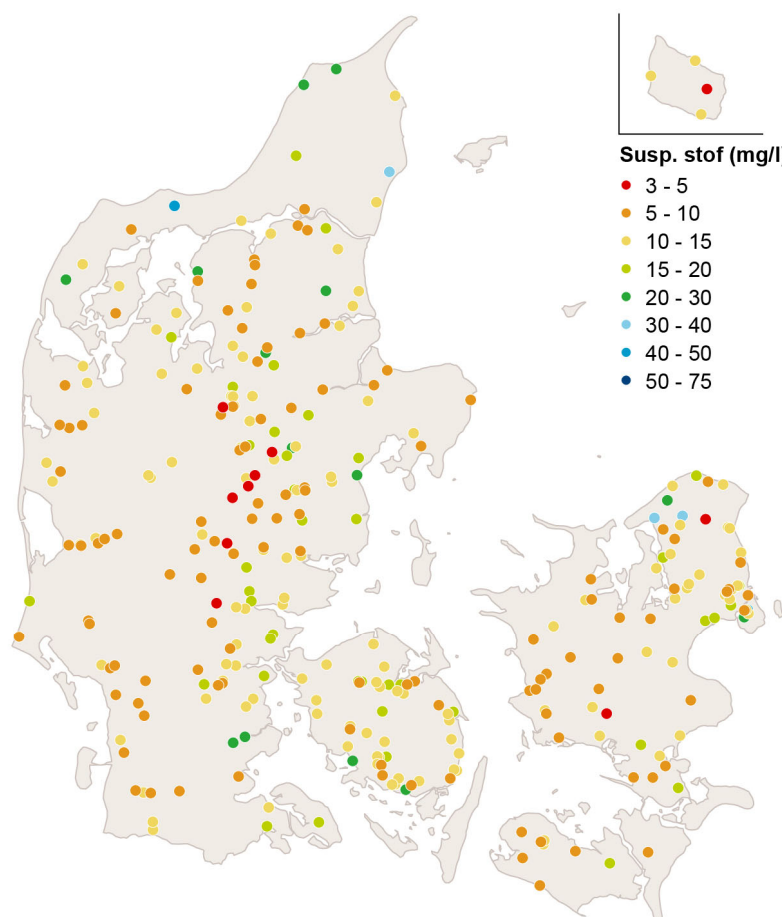
9.2 Resultater

Der er foretaget en analyse af alle enkelt prøver indsamlet mellem 1976 og 2016 (Thodsen m.fl. 2019c). Resultater præsenteret i dette kapitel stammer fra denne videnskabelige artikel. Analysen baserer sig på 79.538 enkeltprøver af suspenderet stof.

9.2.1 Middelkoncentration

Middelkoncentrationen af suspenderet stof er 12 mg/l, heraf udgør den organiske fraktion i gennemsnit 40%. Andelen af organiske materiale er generelt højere, hvis der er målt kort nedstrøms for en sø, hvor der produceres meget organisk materiale. I Figur 9.1 ses den geografiske fordeling af middelkoncentrationerne. Der er ikke noget tydeligt mønster, men der ses en del meget lave middelkoncentrationer af suspenderet stof i Midtjylland, mens mange af de høje værdier findes i Nordjylland. På øerne ses der få høje og lave værdier.

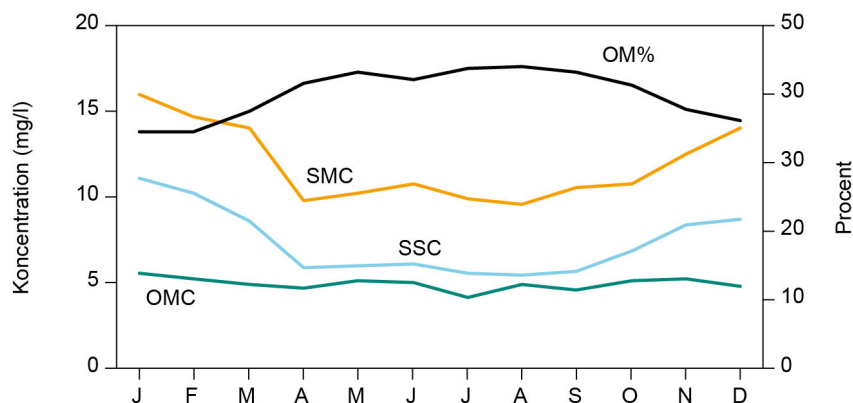
Figur 9.1. Middelkoncentration af suspenderet stof på 319 vandløbsmålestationer med ≥ 50 analyser i perioden 1976-2016



9.2.2 Månedlig koncentrationsfordeling

Middelmånedlige koncentrationer ses i Figur 9.2. De højeste koncentrationer ses i vinterhalvåret. Dette skyldes, at den mineralske del af suspenderet stof er størst i denne del af året, mens den organiske del er næsten konstant igennem året. Sedimentkoncentrationen er højest i vinterhalvåret. Det skyldes dels høje afstrømninger, der kan transportere og erodere mere sediment, og dels at sedimentet er mere tilgængeligt og lettere kan transporteres gennem- og til vandløbet fx pga. mindre grøde i vandløbene og mindre vegetation på markerne.

Figur 9.2. Middelmånedlig koncentration af suspenderet stof (SMC), suspenderede mineralske partikler (SSC), suspenderet organisk stof / glødetab (OMC) og procent organisk stof (OM%).

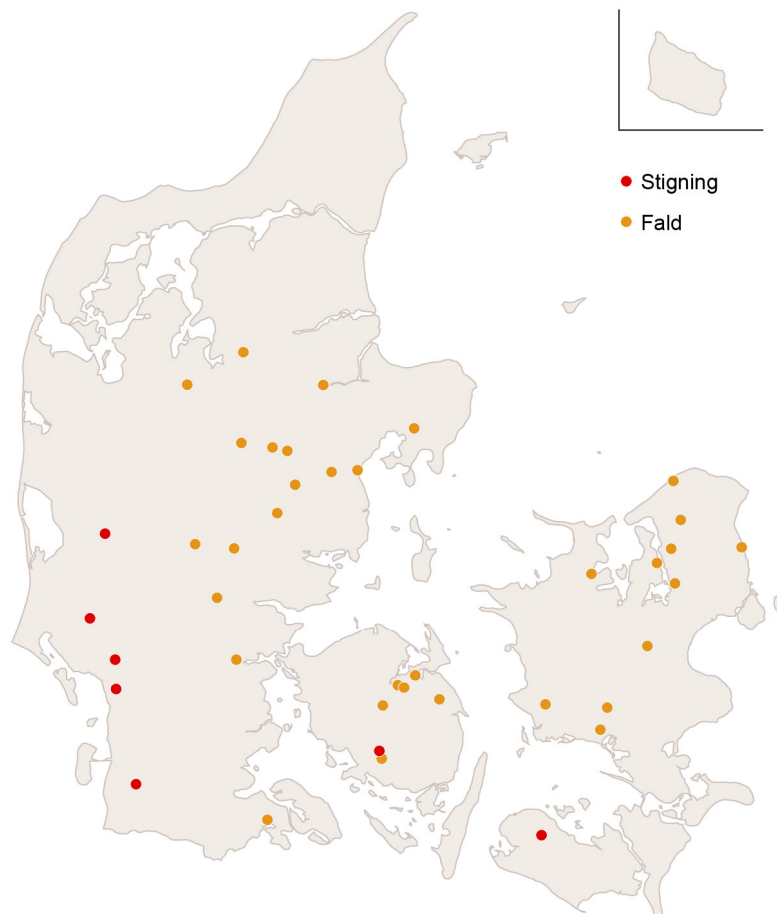


9.2.3 Udvikling igennem tid

For 174 målestationer er der indsamlet mindst 100 prøver over en periode på minimum 10 år. For disse stationer er den tidslige udvikling (trend) beregnet. For 40 stationer er der en statistisk signifikant udvikling ($P < 0,05$). For 33 stationer er der en aftagende udvikling imod lavere koncentrationer af suspenderet stof, og for 7 er der en stigende udvikling. Der er en klar geografisk gruppering af stationer, hvor 5 af 7 stationer med stigende udvikling i koncentrationen af suspenderet stof er placeret i den sydlige halvdel af Vestjylland, hvor der ikke findes stationer med en faldende udvikling i koncentrationen af suspenderet stof (Figur 9.3). Der ses ingen stationer med en signifikant udvikling i Nord- og Nordvestjylland.

Det skal nævnes, at Bartholdy og Hasholt (1986) undersøgte transporten af suspenderet stof i 10 vandløb, der løber til Vadehavet i 1983-1984. Tre af disse stationer er sammenfaldende med stationer med stigende koncentrationer undersøgt i dette studie. Sammenlignet med Bartholdy og Hasholts (1986) resultater fra 1983-1984 viser alle tre stationer et fald i koncentrationen i stedet for en stigning, som det er tilfældet, når der ses separat på værdierne i dette studie.

Figur 9.3. Tidslig udvikling i koncentration af suspenderet stof for 40 målestationer med statistisk signifikant udvikling. Orange er faldende koncentration, rød er stigende koncentration.



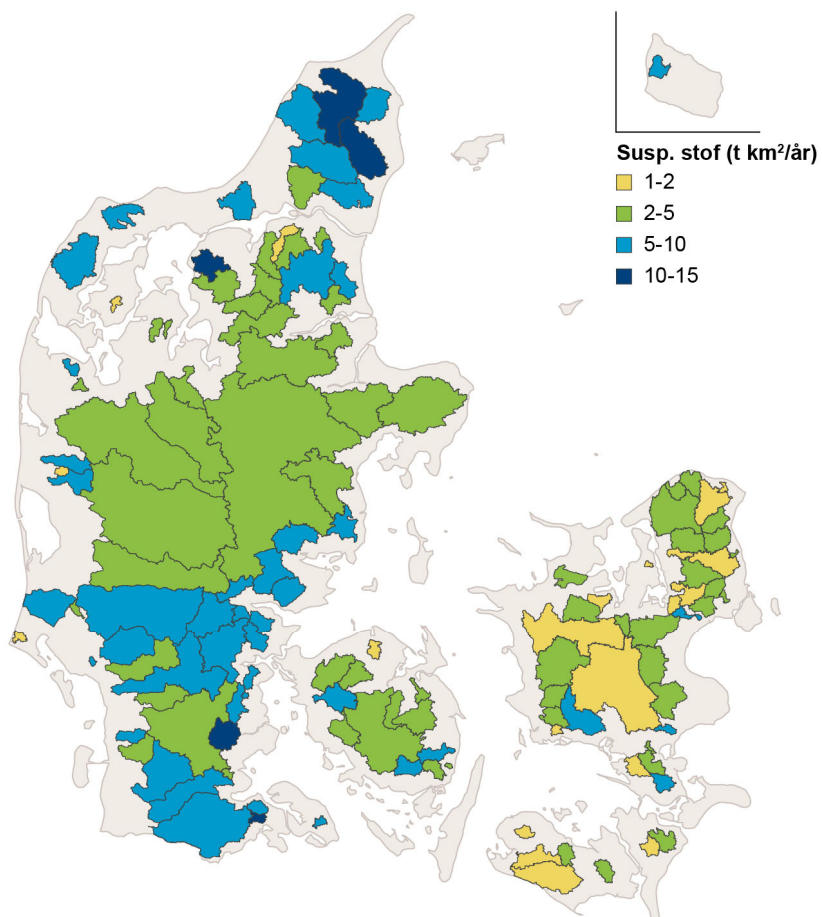
9.2.4 Tab af suspenderet stof

Det arealspecifikke tab af suspenderet stof (opgjort i $\text{ton}/\text{km}^2/\text{år}$) er opgjort for 132 målestationer med minimum 3 år med ≥ 12 prøver pr. år. Målestationerne ligger alle nederst i vandløbssystemerne. Middeltabet af suspenderet

stof er 4,5 ton / km² / år. Der er en del geografisk variation med de højeste værdier i Vendsyssel og forholdsvis høje værdier i hhv. Nord- og Sydjylland, mens de laveste værdier findes på Sjælland og Lolland (Figur 9.4).

Sammenlignet med tab af suspenderet sediment i Skandinavien og sammenlignelige områder i Europa er tabene i Danmark forholdsvis små (fx Vanmaercke m.fl., 2011).

Figur 9.4. Oplandstab af suspenderet stof fra 132 oplande med ≥ 3 år med ≥ 12 prøver pr. år.



10 Referencer

Bartholdy, J. and Hasholt, B., 1986. Fluvialt tilført materiale til Det Danske Vadehav. Nordisk Hydrologisk Program, 14: 123-134.

Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Andersen, H.E., Timmermann, A., Jensen, P.G., Hansen, B. & Thorling, L. (2015) Landovervågningsoplande 2013. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 154 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 120.

Blicher-Mathiesen, Gitte, Henrik Tornbjerg, Jørgen Windolf, Hans Thodsen, Hans Estrup Andersen, Niels Bering Ovesen og Brian Kronvang (2017). Nitrat N-udledning for typeoplande og havbelastningsoplande med målt kontinuert tidsserie 1990-2016. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi Dato: 22. november 2017. http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2017/Nitrat_N-udledning_for_typeoplande_og_havbelastningsoplande_1990-2016.pdf

Bøgestrand, J. (red.) (2009) Vandløb 2007. NOVANA, 2009. *Faglig rapport fra DMU* nr. 711. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 108 s. (<http://www.dmu.dk/pub/FR711.pdf>)

Cappelen, J.(ed.), 2019. Danmarks klima 2018. DMI rapport 19-01. pp 91 <http://www.dmi.dk/laer-om/generelt/dmi-publikationer/>

Carstensen, J. & Larsen, S.E. 2006: Statistisk bearbejdning af overvågningsdata - Trendanalyser. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser. 38 s. - Teknisk anvisning fra DMU nr. 24. <http://www.dmu.dk/Pub/TA24.pdf>

Conley, D.J., Bjorck, S., Bonsdorff, E., Carstensen, J., Destouni, G., Gustafsson, B.G., Hietanen, S., Kortekaas, M., Kuosa, H., Meier, H.E.M., Muller-Karulis, B., Nordberg, K., Norkko, A., Nurnberg, G., Pitkanen, H., Rabalais, N.N., Rosenberg, R., Savchuk, O.P., Slomp, C.P., Voss, M., Wulff, F. and Zillen, L., (2009) Hypoxia-Related Processes in the Baltic Sea. *Environmental Science & Technology*, 43(10): 3412-3420.

Fredericia Kommune, 2017. Statusorientering om hændelsen på Fredericia Havn den 3. februar 2016. Findes under bilag 08.09.17 her <https://www.fredericia.dk/haendelse-den-3-februar-paa-havnen>

Fredshavn Jesper, Bettina Nygaard, Rasmus Ejrnæs, Christian Damgaard, Ole Roland Therkildsen, Morten Elmeros, Peter Wind, Liselotte Sander Johansson, Anette Baisner Alnøe, Karsten Dahl, Erik Haar Nielsen, Helle Buur Pedersen, Signe Sveegaard, Anders Galatius & Jonas Teilmann. 2019. Bevaringsstatus for naturtyper og arter – 2019. Habitatdirektivets Artikel 17-rapportering. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 52 s. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 340 <http://dce2.au.dk/pub/SR340.pdf>

Gräber, D., Wiberg-Larsen, P., Bøgestrand, J., Baattrup-Pedersen, A. (2014) Vurdering af effekten af vandindvinding på vandløbs økologiske tilstand. Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 29s.

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., Bechmann, M., Lundekvam, H., Behrendt, H., Rubaek, G.H., Schoumans, O.F., Syversen, N., Andersen, H.E. and Hoffmann, C.C., 2005. Phosphorus losses from agricultural areas in river basins: Effects and uncertainties of targeted mitigation measures. *Journal of Environmental Quality*, 34(6): 2129-2144.

Larsen, S.E. 2018. Dokumentation for genopretning af TN og TP data fra perioden 2007-14. Notat fra DCE – Nationalt center for Miljø og Energi. 8 sider. http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2018/Dokumentation_genopretning_TN_TP.pdf

Larsen, S.E., Thodsen, H., Tornbjerg, H., Windolf, J. (under udarbejdelse 2019) Klimanormalisering af kvælstofafstrømning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, XX s. - Teknisk rapport nr. 1XX

Larsen, S.E., Windolf, J. & Kronvang, B. (2014) Præcisering af trendanalyser af den normaliserede totale og diffuse kvælstoftransport i perioden 2005-2012. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi (30. april 2014), 9 pp.

Larsen, S.E., Windolf, J., Tornbjerg, H., Hoffmann, C.C., Søndergaard, M. & Blicher-Mathiesen, G. 2018. Genopretning af fejlbehæftede kvælstof- og fosforanalyser. Ferskvand. Aarhus Universitet, DCE- Nationalt center for Miljø og Energi, 70 s. – Teknisk rapport fra DCE- Nationalt center for Miljø og Energi nr. 110. <http://dce2.au.dk/pub/TR110.pdf>

Miljøstyrelsen (1998). Biologisk bedømmelse af vandløbskvalitet. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 5, Miljø- og Energiministeriet, 42s.

Miljøstyrelsen 2018. Punktkilder 2016. Miljøstyrelsen. 94 s. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/04/978-87-93614-44-4.pdf>

Miljøstyrelsen 2017a. Leverandør-fejl i laboratorieanalyser. <http://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2017/jun/leverandør-fejl-i-laboratorieanalyser/>

Miljøstyrelsen 2017b. Miljøstyrelsen igangsætter serviceeftersyn af laboratorier. <http://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2017/jul/miljoestyrelsen-igangsætter-serviceeftersyn-af-laboratorier/>

Miljøstyrelsen 2019. Punktkilder 2018. Miljøstyrelsen. 72 s. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2019/12/978-87-7038-132-1.pdf>

Naturstyrelsen 2011. Det nationale overvågningsprogram for vand og natur. NOVANA 2011-2015. Programbeskrivelse. Miljøministeriet. 179s.

Ovesen, N.B. Larsen, S.E., Bøgestrand, J., Kronvang, B. 2009. Fosforbelastningen af havet. Kapitel 7 i: Bøgestrand, J. (red.) 2009: Vandløb 2007. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 108 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 711 <http://www.dmu.dk/Pub/FR711.pdf>

Svendsen, L.M. (1998) Input of Nutrients to OSPAR and HELCOM Marine Areas from Land-based Sources in Denmark. NIVA uppubliceret note for the HARP-Conference, Jan. 1998, 20 pp.

Thodsen, H., Rasmussen, J.J., Kronvang, B., Andersen, H.E., Nielsen, A. and Larsen, S.E., 2019b. Suspended matter and associated contaminants in Danish streams: a national analysis. *Journal of Soils and Sediments*, 19(7): 3068-3082.

Thodsen, H., Tornbjerg, H., Rasmussen, J.J., Bøgestrand, J., Blicher-Mathiesen, G., Larsen, S.E., Ovesen, N.B., Windolf, J. & Kjeldgaard, A. 2019a. Vandløb 2017. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 74 s. - Videnskabelig rapport nr. 306.
<http://dce2.au.dk/pub/SR306.pdf>

Thodsen, H., Tornbjerg, H., Troldborg, L., Windolf, J., Ovesen, N.B., Kjeldgaard, A. & Højbjerg, A.L. 2019b. Udvikling af vanddelen af DK-QNP til havbelastningsberegninger. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 20 s. - Teknisk rapport nr. 145 <http://dce2.au.dk/pub/TR145.pdf>

Tornbjerg, H., Windolf, J., Larsen, S.E., Kronvang, B. 2019. Notat om opgørelse af fosfortransport i NOVANA – målinger og modeller. Notat fra DCE – Nationalt center for Miljø og Energi, 32 pp. http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2019/Opgørelser_af_fosfortransport_i_NOVANA.pdf

Vanmaercke, M., Poesen, J., Verstraeten, G., de Vente, J. and Ocakoglu, F., 2011. Sediment yield in Europe: Spatial patterns and scale dependency. *Geomorphology*, 130(3): 142-161.

Wiberg-Larsen, P., Friberg, N., Baattrup-Pedersen, A. & Kristensen, E.A. (2012) Er miljøkvaliteten i vore vandløb forbedret? *Vand & Jord* 19: 62-65.

Wiberg-Larsen, P., Gräber, D., Kristensen, E.A., Baattrup-Pedersen, A., Friberg, N., Rasmussen, J.J. (2016) Trait characteristics determine pyrethroid sensitivity in nonstandard test species of freshwater macroinvertebrates – A reality check. *Environmental Science and Technology* 50(10): 4971-4978.

Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Thodsen, H., Ovesen, N.B., Bjerring, R., Kronvang, B., Kjeldgaard, A. (2015) Vandløb 2013 – Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 121, 52 s.

Windolf, J., Blicher-Mathiesen, G. & Larsen, S. (2012b) Markbalancer og den diffuse kvælstofafstrømning. Fagligt notat fra DCE til Naturstyrelsen, 47 pp.

Windolf, J., Blicher-Mathiesen, G., Carstensen, J. and Kronvang, B. (2012c) Changes in nitrogen loads to estuaries following implementation of Governmental Action Plans in Denmark: A paired catchment and estuary approach for analysing regional responses. *Environmental Science and Policy* 24: 24-33.

Windolf, J., Bøgestrand, J. & Kjeldgaard, A. (2012a) Beregning af kvælstoftilførsel til en række udpegede danske fjorde. Fagligt notat fra DCE til Naturstyrelsen.

Windolf, J., Bøgestrand, J., Kjeldgaard, A., Kronvang, B., Larsen, S.E., Ovesen, N.B. & Thodsen, H. (2010) TEMA: Geografisk distribueret beregning af tilførslen af vand og kvælstof til havet. Pp. 40-58 i: Wiberg-Larsen P. (red.) Vandløb

2008. NOVANA. Faglig rapport fra DMU nr. 764. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, 66 s.

Windolf, J., Thodsen, H., Troldborg, L., Larsen, S.E., Bøgestrand, J., Ovesen, B. & Kronvang, B. (2011) A distributed modelling system for simulation of monthly runoff and nitrogen sources, loads and sinks for ungauged catchments in Denmark. *Journal of Environmental Monitoring* 13: 2645-2658.

Windolf, J., Timmermann, A., Kjeldgaard, A., Bøgestrand, J., Larsen, S. E., & Thodsen, H. (2013) Landbaseret tilførsel af kvælstof og fosfor til danske fjorde og kystafsnit, 1990-2011. Teknisk rapport fra DCE nr. 31. Aarhus Universitet. (<http://dce2.au.dk/pub/TR31.pdf>)

[Tom side]

VANDLØB 2018

NOVANA

Dette års rapport beskriver status og udvikling i vandkemiske forhold i vandløb, stoftransport af kvælstof og fosfor til kystvandene for perioden før og under NOVANA – og frem til og med 2018. Ligeledes beskrives den tidlige udvikling i Dansk Vandløbs Fauna Indeks (DVFI) på cirka 250 tidsseriestationer for perioden 1994-2018.

ISBN: 978-87-7156-452-5

ISSN: 2244-9981