



VANDLØB 2017

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 306

2019



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

VANDLØB 2017

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 306

2019

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

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. 306
Titel:	Vandløb 2017 - Kemisk vandkvalitet og stoftransport
Undertitel:	NOVANA
Forfattere:	Hans Thodsen, Henrik Tornbjerg, Jes Jessen Rasmussen, Jens Bøgestrand, Gitte Blicher-Mathiesen, Søren Erik Larsen, Niels Bering Ovesen, Jørgen Windolf & Ane Kjeldgaard
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Bioscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Februar 2019
Redaktion afsluttet:	Februar 2019
Faglig kommentering:	Miljøstyrelsen og internt i Aarhus Universitet
Kvalitetssikring, DCE:	Signe Jung-Madsen og Poul Nordemann Jensen
Finansiel støtte:	Miljø- og Fødevareministeriet
Bedes citeret:	Thodsen, H., Tornbjerg, H., Rasmussen, J.J., Bøgestrand, J., Blicher-Mathiesen, G., Larsen, S.E., Ovesen, N.B., Windolf, J. & Kjeldgaard, A. 2019. 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
	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 2017.
Emneord:	Vandløb, overvågning, NOVANA, kvælstof, fosfor, havbelastning, vandkemi
Layout:	Grafisk Værksted, AU-Silkeborg
Foto forside:	Gels å ved Bevtøft. Jens Skriver
ISBN:	978-87-7156-384-9
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	76
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) på: http://dce2.au.dk/pub/SR306.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.

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	6
Kvælstof og fosfor tilførsel til havet	6
Summary	7
Nitrogen and phosphorus load to the sea	7
1. Datagrundlag, databehandling og rapportindhold	8
1.1 Om overvågningsprogrammet	8
1.2 Kemisk vandkvalitet og stoftransport	8
1.3 Særlige forhold ved årets rapportering	10
2. Klima og ferskvandsafstrømning	13
2.1 Datagrundlag og metoder	13
2.2 Klima og ferskvandsafstrømning	14
2.3 Ferskvandsafstrømninger fra det målte opland	18
3. Økologisk tilstand	19
3.1 Måling af økologisk tilstand i danske vandløb	19
3.2 Dansk Vandløbsfauna Indeks (DVFI)	20
3.3 Dansk Vandløbsplante Indeks (DVPI)	21
3.4 Dansk Fiskeindeks For Vandløb (DFFV)	22
4. Kvælstof i vandløb	25
4.1 Tilstanden i 2017	25
4.2 Udvikling siden 1989	26
5. Fosfor i vandløb	28
5.1 Tilstanden i 2017	28
5.2 Udviklingen siden 1989	30
6. Kvælstoftilførslen til havet	31
6.1 Datagrundlag og metoder	31
6.2 Kvælstoftilførsel til havet i 2017	33
6.3 Sæsonvariation i vandafstrømning og kvælstoftilførsel	36
6.4 Udviklingen i kvælstoftilførslen til havet 1990-2017	38
6.5 Kvælstoftilførsel fra målt opland	40
6.6 Udvikling i nøgleindikatorer af betydning for kvælstoftilførslen	41
6.7 Sammenfatning af resultaterne	45
7. Fosfortilførslen til havet	46
7.1 Datagrundlag og metode	46
7.2 Fosfortilførsel til havet i 2017	46
7.3 Sæsonvariation i vandafstrømning og fosfortilførsel	48
7.4 Udvikling i fosfortilførslen til havet 1990 – 2017	53
7.5 Fosfortilførsel fra målt opland	53

7.6	Sammenfatning af resultaterne	55
8.	Nitrat-N-koncentrationer og -transport på målestationer	56
8.1	Introduktion	56
8.2	Nitrattransport og -koncentration for 77 havbelastningsoplande i 2017	57
8.3	Nitrattransport og -koncentration for 31 landbrugsdominerede typeoplande	58
9.	Alkalinitet i Danske vandløb	60
9.1	Introduktion	60
9.2	Resultater	60
9.3	Trend	62
10.	Miljøfremmede forurenende stoffer og tungmetaller	63
10.1	Miljøfremmede forurenende stoffer og tungmetaller	63
10.2	Fund under detektionsgrænsen	63
10.3	Miljøkvalitetskrav	63
10.4	Miljøfremmede forurenende stoffer og metaller i vandfasen	64
10.5	Miljøfremmede forurenende stoffer i sediment og biota	67
11.	Referencer	71

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 efteråret 1988. Nærværende rapport omfatter data til og med 2017.

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. Fagdatacentret for grundvand er placeret hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), fagcentret for punktkilder hos Miljøstyrelsen, 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, og den har været i høring hos Miljøstyrelsen. Rapporten er baseret på data indsamlet af Miljøstyrelsen, de tidligere amter og diverse konsulenter på vegne af de nævnte offentlige institutioner.

Konklusionerne i denne rapport sammenfattes med konklusionerne fra de øvrige fagdatacenter-rapporter i Vandmiljø og Natur 2017, som udgives af DCE, GEUS og Miljøstyrelsen.

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 fosfor tilførsel til havet

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

Der blev fundet lignende reduktioner i den samlede tilførsel til havet fra land af kvælstof og fosfor til de danske kystvande for perioden 1990 til 2017. Reduktionen i kvælstof-, og især fosfortilførslen, er dog endnu større, henholdsvis 49% og 67% beregnet for den 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. 37%.

Tilførslen fra land er for 2017 beregnet til hhv. ca. 64.000 tons kvælstof og godt 2.500 tons fosfor. Disse tilførsler er for alle årets måneder mindre end gennemsnittet for perioden 1990-2017, og væsentligt mindre end gennemsnittet for perioden 1990-1994. Samtidig var vandafstrømningen i 2017 ca. 9 % større end gennemsnittet for 1990-2016.

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

Summary

This year's report presents topics on the nitrogen and phosphorus run off to Danish coastal waters. All data presented were collected in accordance to the National Monitoring Program for the Aquatic Environment and Nature (NO-VANA).

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 due to several general regulations of farming practices (e.g. fertilization norms, seasonal regulation of manure application, catch-crops), whereas an approximate 40 % reduction in phosphorus is due to improved treatment of residential- and industrial waste water. However, concentrations of nitrogen and phosphorus in the streams are still approximately 4 and 2 times higher, respectively, than in un-impacted streams.

Similar reductions in the total load of nitrogen and phosphorus from land to Danish coastal waters have been estimated for the period 1990-2017. The reductions are 49% and 67% for nitrogen and phosphorus, respectively, if calculated as discharge weighted mean concentrations to take climatic differences between years into consideration. Considering the diffuse run-off of nitrogen alone, including leaching from cropped as well as uncropped areas and contribution of wastewater from scattered dwellings, the reduction is approximately 37%.

In 2017, the total load from land was estimated to about 64 000 tons of nitrogen and 2500 tons of phosphorus. For most months, these amounts being significantly lower than the average for the period 1990-2017. This should be seen in the context that total runoff of water was 9% larger in 2017 than the yearly average for the period 1990-2017.

As it is impossible to measure all water transported to the Sea, there is some statistical uncertainty on the estimated transports, as these needs to be based on both measurements of discharge and nutrient concentrations combined with model estimates for ungauged catchments.

1. Datagrundlag, databehandling og rapportindhold

Jens Bøgestrand & 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 2017 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 3 & 4. Det skal dog bemærkes, at en del vandløb har skiftet oplandstype siden overvågningsprogrammets begyndelse, fx på grund af 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.

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. Angivet antal stationer fordelt på oplandstyper, der er anvendt i tidsserie-analyse (1989-2017) og aktuelt 2017. Oplandstyper for tidsserie-analyser er opgjort efter situationen i 1991.

Oplandstype	Type nr.	1989-2017 tidsserie-analyser	2017 aktuel status
Naturoplande *	1	6	18
Vandløb i dyrkede oplande (P):			
Dyrkningsgrad > 15 %			
Bebyggelse < 50 %	2	30	#
Punktkildebidrag			
< 25 g P/ha, 0,5 kg N/ha			
Vandløb i dyrkede oplande (N):			
Dyrkningsgrad > 15 %			
Bebyggelse < 50 %	3	52	#
Punktkildebidrag			
< 0,5 kg N/ha			
Vandløb med punktkilder:			
Punktkildebidrag > 0,5 kg	4	68	#
N/ha			
Vandløb med dambrugsudledninger:			
P fra dambrug:			
> 30 % af total transport	5	14	#
> 40 % af punktkildebidrag			
Vandløb i bebyggede områder			
> 50 % bebyggelse	6	2	#
Ikke-naturoplande, i alt		138	394

*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. (2014a). Derudover følger rapporteringen af stoftransporterne til havet samme principper og har samme omfang, som i de foregående års NOVANA-rapporter.

1.3 Særlige forhold ved årets rapportering

1.3.1 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; 293 prøver for TP i vandløb) analyseret med begge metoder (Larsen m.fl., 2018). Konklusionen på undersøgelsen var, 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).

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

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

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 ($TP_{korr} < TP_{online}$), hvilket ikke er i overensstemmelse med den fundne analyse metodefejl.

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

Der er sket en genopretning (korrektur) 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 metodeløst imellem online-metoden og autoklavemetoden, for både TN og TP, foretaget af Eurofins, men 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 parallel-analyser fra oktober-december 2018, forventes rapporteret til marts 2019. Der er derfor mulighed for at en ny genopretning af data fra perioden 2007-2014 (begge år inklusiv), bliver foretaget i 2019.

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.

1.3.3 Anvendelse af Nitrat analyser

NOVANA NO₃-N (Nitrat-N) prøver indsamlet samme tid og sted som TN prøverne er ikke berørt af den metode fejl der har været på TN analyserne. 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.

1.3.4 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 rapports 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.

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.

1.3.5 Udvidelse af datagrundlaget 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 opgørelse. Stationsgrundlaget er forøget dels igennem oprettelsen af en række nye stationer og genoptagelse af drift på tidligere nedlagte stationer,

som følge af Fødevarer og Landbrugs –pakken (FLP) og dels ved at en række andre stationer er blevet inddraget.

Hydrometristationsgrundlaget for vandafstrømningsopgørelsen er udvidet fra 179 til 201 stationer hvoraf hhv. 127 og 176 var i drift i hhv. 2016 og 2017. Det målte oplandsareal (arealet opstrøms hydrometristationer) er udvidet fra ca. 57% til 61%.

Stoftransportstationsgrundlaget er udvidet geografisk ved at inddrage station 50000024 Grenåen ved Grenå. Herved udvides det målte opland på Djursland betragteligt. Stationen på Grenåen afløser en station med et meget mindre areal i samme opland. Det målte opland udgør i 2017 57% af Danmarks areal mod 55% i de foregående år. I 2016 var 132 stationer i drift mod 144 i 2017.

Udvidelsen af stationsnettet har forøget det målte opland for vandafstrømningen 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. Det forventes at stationsnettet udvides igen ved opgørelsen for 2018 med flere hydrometristationer og specielt med flere kemistationer.

2. Klima og ferskvandsafstrømning

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 i 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.

Klimaet 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, de såkaldte Grid værdier. 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 korigeret for at nedbørsmåleren ikke fanger al den nedbør, der rammer jordoverfladen. Faktorer der influerer målerens underestimering af nedbøren er højde over terrænet, 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. Måneddata 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 5 og 6).

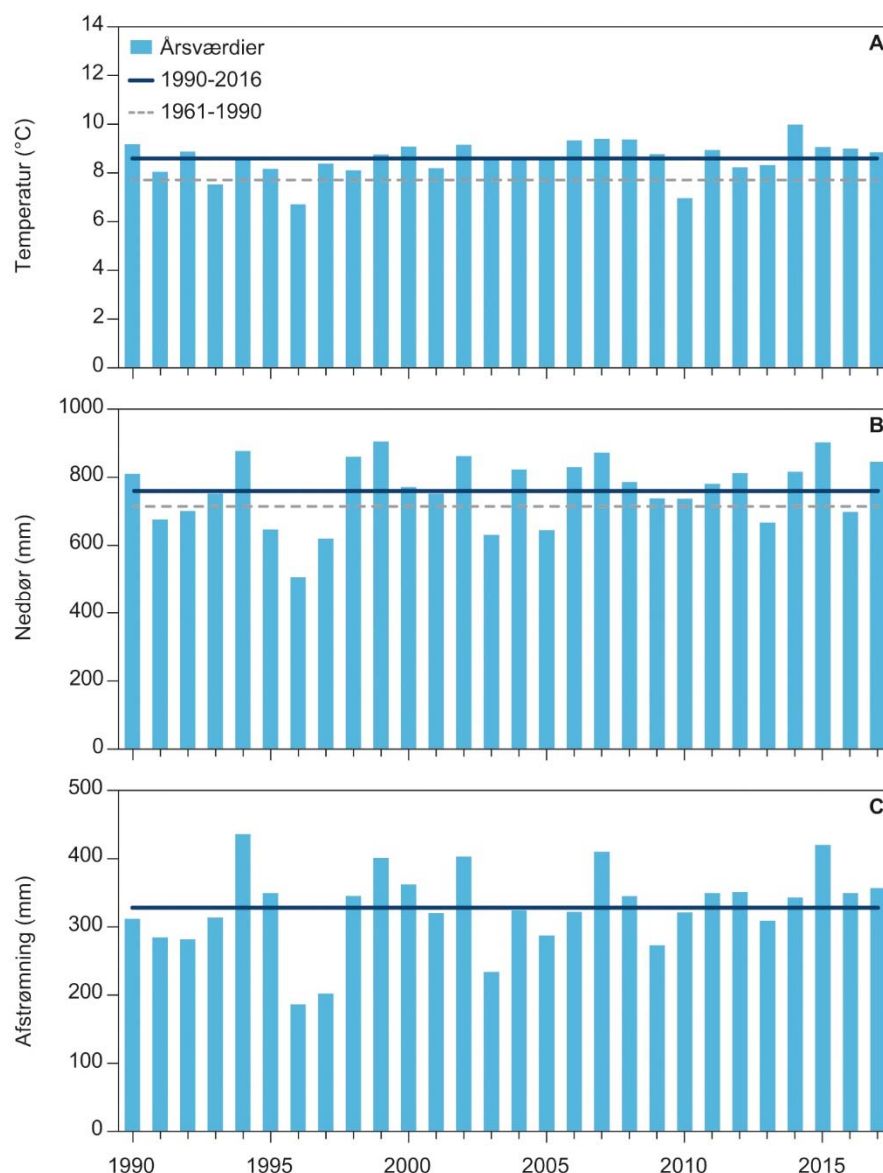
Ferskvandsafstrømningen er beregnet på baggrund af det datagrundlag og med den metode, der er beskrevet i Windolf m.fl. (2009) og Windolf m.fl. (2011). I beregningerne (1990-2017) indgår måledata fra i alt 201 vandføring-smålestationer, der samlet dækker 61 % af landets areal. Anvendelsen af 201 stationer er en udvidelse af stationsantallet fra de foregående år, hvor der har været anvendt 179 stationer (se afsnit 1.3.5). Der er ikke måledata fra alle stationer i alle år. I 2017 blev der målt på 176 af de 201 stationer. Det samlede oplandsareal til disse 176 stationer er ca. 25.000 km², svarende til ca. 58 % af landets areal. Også antallet af stationer i drift er steget fra 127 i 2016 til 176 i 2017 (se afsnit 1.3.5).

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 Klima og ferskvandsafstrømning

Vejret i 2017 var som helhed noget varmere end normalen for perioden 1961-1990, (figur 2.1 & 2.3). Middeltemperaturen for landet blev 8,9°C, hvilket er 1,2°C over normalgennemsnittet (7,7°C) jf. Cappelen (2018). I forhold til gennemsnittet for 1990-2016 blev 2017 0,3°C varmere. Det var især månederne marts, oktober og december, der var væsentligt varmere end normalen, (figur 2.3A). Til gengæld var både juli og august noget koldere end normalen for 1990 til 2016.

Figur 2.1. Årsmiddelværdier for temperatur (A), nedbør (ukorrigeret) (B) og ferskvandsafstrømning (C) fra 1990 til 2017, samt gennemsnit for perioden 1961-1990 og 1990-2016. Data aggregeret fra DMI's Gridværdier.



Nedbørsmængden i 2017 var for hele landet 848 mm, hvilket er 134 mm (19 %) over normalen for 1961-90 og 88 mm (12 %) over gennemsnittet for 1990-2016 (760 mm). 2017 var således meget nedbørsrig.

Generelt var nedbøren i 2017 stærkt varierende (figur 2.3B). Især juni, august, september og oktober fik meget mere nedbør end normalt, hvorimod januar og maj var meget tørre. Sommeren og efteråret var præget af en række skybrud forskellige steder i landet.

Den samlede ferskvandsafstrømning til de danske farvande er for 2017 opgjort til 15.350 millioner m³, hvilket svarer til en arealspecifik afstrømning på 358 mm (figur 2.1C). Gennemsnittet for perioden 1990-2016 er 328 mm, så afstrømningen blev dermed 9% større end normalen.

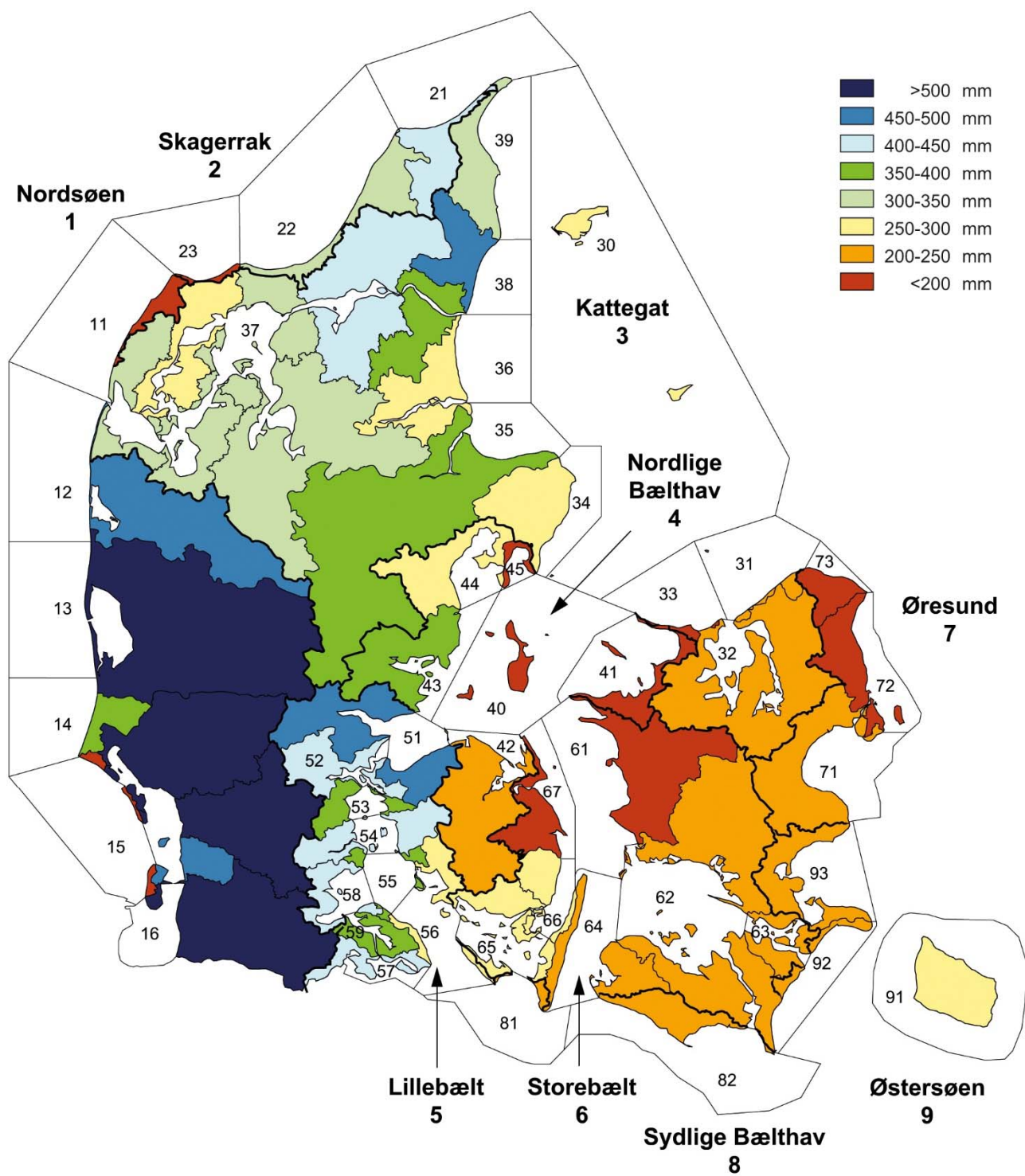
Ferskvandsafstrømningen i 2017 varierede noget atypisk hen over året i forhold til normalt (figur 2.3C). I begyndelsen af året (januar og februar) var afstrømningen meget lav, hvilket har sammenhæng med den ringe nedbør i januar og i december 2016. I løbet af foråret og sommeren var afstrømningen nær det normale i alle månederne, men i de sidste 4 måneder af året var den væsentlig over 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 nedbørsrige måneder i sommeren betinger ikke umiddelbart en tilsvarende høj afstrømning, da fordampningen her er meget høj, men da efteråret også er meget nedbørsrig, bliver afstrømningen stor i alle de 4 sidste måneder af året. (Figur 2.3B og C).

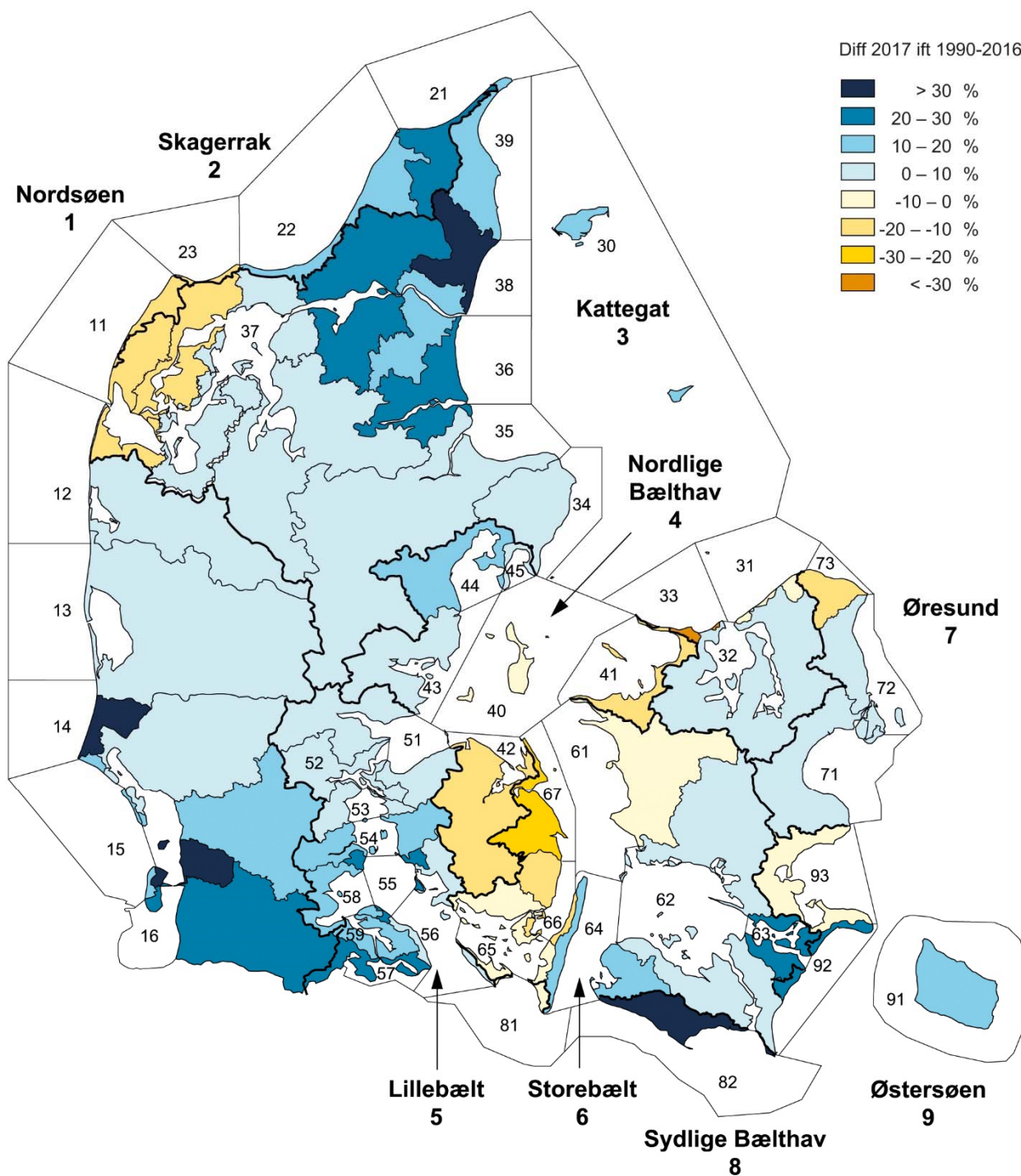
Afstrømningsforholdene udviser normalt - ligesom nedbøren - en stor geografisk variation, hvilket også var tilfældet i 2017 (figur 2.2A). I det midt- og vestlige samt sydlige Jylland var årsafstrømningen typisk 450-550 mm, mens afstrømningen til Limfjorden og fra det østlige Jylland var noget mindre (250-400 mm). Dog var den i dele af Nordjylland noget større (400-500 mm). For Sjælland og øerne var afstrømningen typisk mellem 150 og 250 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.

I de små oplande ses i visse tilfælde en meget afvigende afstrømningsmængde i forhold til nærved liggende stor oplande, f.eks. farvandsområderne 45 i forhold til 44 og 34 samt i 14 og 15 i forhold til 13 og 16. (figur 2.2). Disse forskelle kan skyldes betydelige forskelle i oplandenes hydrologiske og geologiske forhold, men også at usikkerheden på opgørelserne for de små oplande kan være betydelig.

Det var generelt for store dele af landet, at afstrømningen i 2017 var lidt større end normalt (figur 2.2.B). Dog var det især i visse områder, bl.a. Vendsyssel, Himmerland, Lolland-Falster, Bornholm samt det sydvestlige Jylland, at afstrømningen var særlig stor. Derimod var den i Thy – Mors, store dele af Fyn og enkelte områder i Nordsjælland noget mindre end normalt.

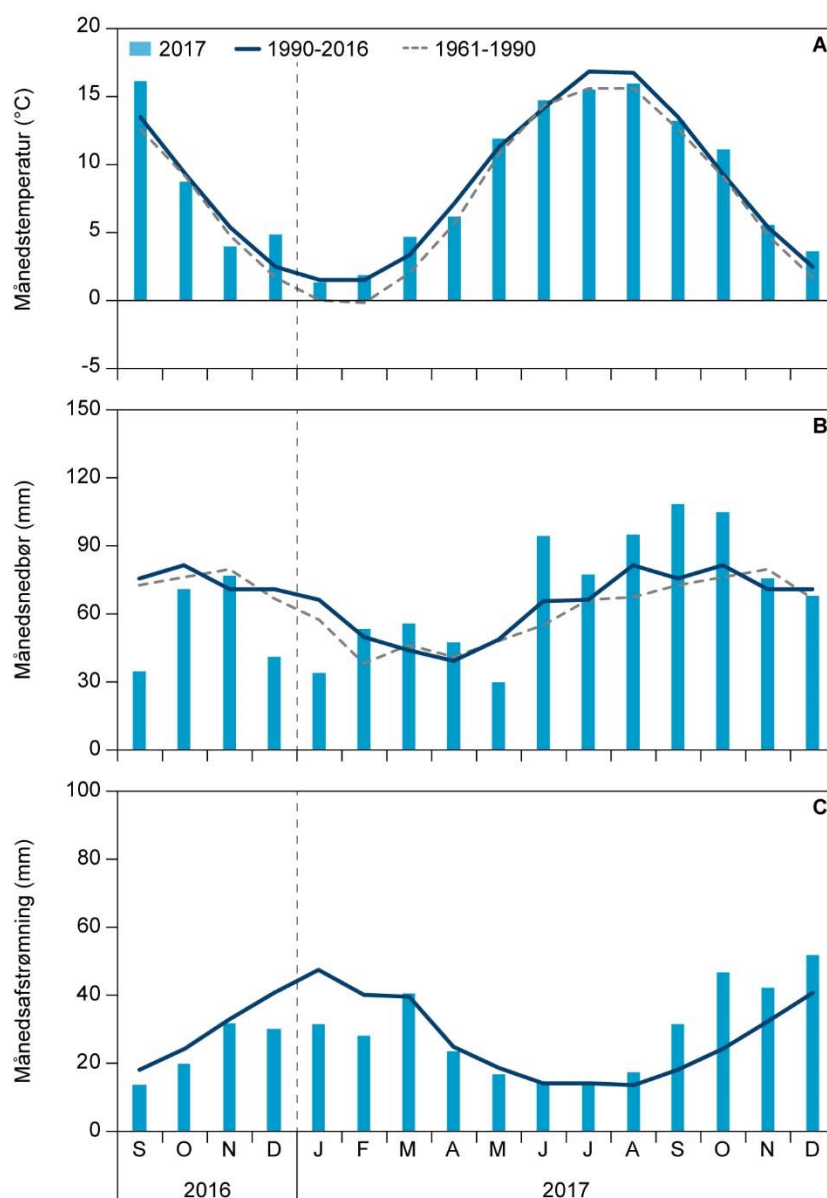


Figur 2.2 A. Ferskvandsafstrømning til marine kystafsnit i 2017 (mm/år).



Figur 2.2 B. Afvigelse i ferskvandsafstrømning til marine kystafsnit i 2017 i forhold til normal for 1990 til 2016, (%).

Figur 2.3. Månedsværdier for temperatur (A), nedbør (B) og ferskvandsafstrømning (C) for Danmark 2017 og de sidste 4 måneder i 2016. Desuden er vist gennemsnit for perioderne 1961-1990 og 1990-2016. Ferskvandsafstrømningen er dog ikke opgjort for 1961-1990.



2.3 Ferskvandsafstrømninger fra det målte opland

Afstrømningen er opgjort de 201 hydrometristationer, der indgår i årets opgørelse af landsafstrømningen. I 2017 er der målt afstrømning på 176 stationer, mens der på 101 stationer er målt i alle år siden 1990. For alle stationer med perioder uden målinger er der foretaget en huludfyldning (se afsnit 1.1).

Afstrømningen for 2017, for 201 hydrometristationer, opgjort til 385 mm mod 382 mm året før (<1% forøgelse). Gennemsnitsafstrømningen for de sidste 20 år er 368 mm mens den for perioden siden 1990 er 354 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. 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 (fytobenthos), større vandplanter (makrofyter), smådyr (makroinvertebrater) og fisk. Dog benyttes fytoplankton ikke 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 organismegruppe typisk vil være særlig egnet til at afspejle bestemte påvirkninger. Overvågningen af den økologiske tilstand er ikke tilrettelagt, så der kan fremvises en ny udviklingstendens hvert år – men først når hele stationsnettet er overvåget på ny. Dog indsamles data for DVFI på en række tidsseriestationer hvert andet år i indeværende overvågningsperiode, og disse data kan anvendes til at beskrive udviklingstendenser for DVFI på landsniveau.

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 vandrende organismer kan bevæge sig i vandløbets længdegående retning).

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). Der er endvidere udviklet et biologisk indeks for bundlevende alger, der i øjeblikket er under implementering.

I NOVANA-programmets vandløbsøkologiske del er der foretaget undersøgelser af kvalitetselementerne vandplanter, smådyr og fisk. Der er også foretaget dataindsamling for fytobenthos, men disse data er dog ikke behandlet endnu. Desuden er der målt en række andre parametre til karakterisering af den fysiske og kemiske tilstand, ligesom der er indsamlet oplysninger om forholdene i oplandet til de enkelte målestationer samt om karakteren af de vandløbsnære omgivelser. I alt er der undersøgt ca. 815 stationer i perioden 2010-2015 med én undersøgelse pr. vandløbsstation i perioden. Samtlige stationer er udvalgt, således at de giver en god geografisk dækning og samtidig dækker vandløb, der repræ-

senterer en påvirkningsgradient inden for udvalgte menneskeskabte påvirkninger (se i øvrigt kapitel 1). I 2017 er der indsamlet data for smådyr, fisk og vandplanter på ca. 110 stationer.

Den tidlige udvikling i DVFI på de ca. 250 tidsseriestationer undersøges tre gange i perioden 2016-2021 og er ikke undersøgt i 2017.

Til dette års rapportering af miljøtilstanden i danske vandløb er der – med udgangspunkt i de nævnte biologiske kvalitetselementer – fokuseret på at give en status over den økologiske tilstand på de stationer, der indgik i NOVANA kontrolovervågningsprogrammet i 2017. Denne status er baseret på beregnede biologiske indikatorværdier for DVFI, DVPI og DFFVa/DFFVø. Der er i nærværende rapport foretaget vurderinger af vandløbenes økologiske tilstandsklasser i forhold til de gældende målsætninger i de nationale vandplaner, men de økologiske indikatorer er vurderet enkeltvis for at opretholde fokus på vandløbenes tilstand for hvert enkelt kvalitetselement. Det skal dog understreges, at den rapporterede økologiske tilstand kun beskrives for de stationer, der indgik i overvågningsprogrammet i 2017. Derfor kan resultaterne for 2017 ikke forventes at være repræsentativ for det samlede stationsnet.

3.2 Dansk Vandløbsfauna 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 iltforhold på grund af forurening med spildevand fra kommunale spildevandsanlæg, enkeltliggende ejendomme i det åbne land eller dambrug. Der kan også forekomme lave faunaklasseværdier 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 faunaklasseværdier over 4. Generelt er indekset ikke særligt følsomt over for ændringer i hydrologi og pesticidforurening (Gräber m.fl. 2014; Wiberg-Larsen m.fl. 2016).

3.2.1 Økologisk tilstand vurderet med DVFI

Der var tilgængelige data for bundfauna på i alt 104 stationer indsamlet i 2017 fordelt med 18, 71 og 15 på hhv. vandløb med bredde <2, 2-10 og >10 m. Fordelingen af faunaklasser inden for disse stationer fremgår af tabel 3.1.

Tabel 3.1. Fordelingen af faunaklasser inden for vandløb med bredde på hhv. <2, 2-10 og >10 m. Der var ingen stationer med faunaklasse 1 eller 2.

Antal stationer	Bredde (m)	FK7	FK6	FK5	FK4	FK3
18	<2 m	3	4	7	4	0
71	2-10 m	23	13	22	12	1
15	>10 m	6	3	4	2	0
Sum		32	20	33	18	1
Samlet andel (%)		31	19	32	17	1

De relative andele af stationer med hhv. FK7, FK6 og FK5 (samlet 82%) er højere sammenlignet med de tilsvarende resultater for hele stationsnettet i sidste overvågningsperiode (samlet 63%) (2010-2015) (Thodsen m.fl. 2016). Det skal dog bemærkes, at andelen af vandløb med bredde < 2 m er markant underrepræsenteret i 2017 sammenlignet med hele stationsnettet, da de mindste vandløb udgør ca. 45% af hele stationsnettet. Da de mindste vandløb generelt har en lavere andel af stationer med FK7, FK6 og FK5 end større vandløb (jf. Thodsen m.fl. 2016) har en underrepræsentation af de mindste vandløb i 2017 indflydelse på den relative fordeling af vandløbsstationer med FK7, FK6 og FK5. Den relative underrepræsentation af små vandløb viser, at de stationer, der indgik i overvågningsprogrammet i 2017, ikke er fuldt repræsentative for det samlede stationsnet. Derfor kan resultaterne heller ikke anvendes til at beskrive den generelle udvikling for DVFI i danske vandløb.

3.3 Dansk Vandløbsplante Indeks (DVPI)

Vandplanter har kun i relativt få år været anvendt som indikatorer for miljøtilstand i vandløb. I de fleste lande (herunder Danmark) er det først med implementeringen af vandrammedirektivet, at vandplanter er blevet inddraget som indikatorer i den økologiske tilstandsvurdering. Som for fisk og smådyr påvirkes vandplanterne af menneskelige aktiviteter, der ændrer de fysiske og kemiske forhold i vandløbene.

DVPI-indeksværdier angiver en EQR-værdi (Ecological Quality Ratio), som beskriver plantesamfundets økologiske tilstand. DVPI ændrer sig som funktion af ændringer i de påvirkninger, der anses for væsentlige for plantesamfund i vandløb: næringsforhold, vandløbets fysiske dimensioner (nedgravning, udretning) og grødeskæringshyppighed (Baatrup-Pedersen m.fl. 2015b; 2016). DVPI er blevet interkalibreret med sammenlignelige EU-lande, og der er i den forbindelse blevet fastsat grænseværdier for de fem økologiske tilstandsklasser (Søndergaard m.fl. 2013). Dog har det ikke været muligt at interkalibrere DVPI i små Type 1 vandløb (Baatrup-Pedersen m.fl. 2015a), og derfor er DVPI ikke beregnet til brug i denne gruppe af vandløb. Et planteindeks for små Type 1 vandløb er dog under udvikling.

3.3.1 Økologisk tilstand vurderet med DVPI

Der var tilgængelige data for vandplanter på i alt 89 stationer fordelt med 74 og 15 på hhv. vandløb med bredde 2-10 og >10 m. Fordelingen af de økologiske tilstandsklasser inden for disse stationer fremgår af tabel 3.2.

Tabel 3.2. Fordelingen af økologiske tilstandsklasser vurderet med DVPI inden for vandløb med bredde på hhv. 2-10 og >10 m.

Antal stationer	Bredde (m)	Høj	God	Moderat	Ringe	Dårlig
74	2-10 m	7	24	24	19	0
15	>10 m	0	6	5	4	0
Sum		7	30	29	23	0
Samlet andel (%)		8	34	32	26	0

De relative andele af stationer med hhv. høj, god, moderat og ringe økologisk tilstand bedømt med DVPI er ikke sammenlignelig med de tilsvarende resultater fra den foregående overvågningsperiode (2010-2015) indsamlet på det fulde stationsnet (Thodsen m.fl. 2016). I den foregående overvågningsperiode

var 70% af alle overvågningsstationerne karakteriseret ved høj eller god økologisk tilstand, hvor dette kun var tilfældet for 42% af stationerne overvåget i 2017. Disse resultater kan dog ikke ekstrapoleres til at beskrive den generelle udvikling for DVPI i danske vandløb, da andelen af stationsnettet, der er overvåget i 2017, ikke kan forventes at repræsentere hele stationsnettet.

3.4 Dansk Fiskeindeks For Vandløb (DFFV)

Dansk Fiskeindeks for Vandløb (DFFV) består af to delelementer, DFFVa og DFFVø, og bruges til bedømmelsen af den økologiske tilstand i alle typer af danske vandløb. DFFVa er baseret på artssammensætningen af fiskesamfund og kan anvendes, hvis der i elektrofiskeriet er fanget mindst tre arter i første befiskning. DFFVø er udviklet til karakterisering af den økologiske tilstand i vandløb, hvor ørreder gyder, og indikatoren er baseret på tætheden af naturligt produceret ørredyngel. DFFVø er fortrinsvist tiltænkt brug i Type 1 vandløb (bredde < 2 m) men kan dog også bruges i større vandløb (Kristensen m.fl. 2014) såfremt vandløbet har potentiale for en naturlig produktion af ørredyngel. Med anvendelse af både DFFVa og DFFVø kan den økologiske tilstand kategoriseres i fem tilstandsklasser (høj, god, moderat, ringe og dårlig) iht. vandrammedirektivet.

En lav tilstandsklasse kan skyldes flere forskellige typer af påvirkninger. Spærringer kan udøve en negativ indflydelse på både DFFVa og DFFVø, idet passagen for migrerende arter, herunder laksefisk, som er positive miljøindikatorer i DFFVa og udgør grundelementet i DFFVø, helt eller delvist blokeres. Dårlige eller suboptimale fysiske forhold forringer både mulige levesteder og egnede skjul for en række fiskearter med specifikke miljøkrav. Især manglende tilstedeværelse af egnede strøm- og substratforhold kan være hæmmende for klækningssucces hos fx ørred (*Salmo trutta*) (Kristensen m.fl. 2014). Tilsvarende er lav vandkvalitet (fx forhøjede BI5-koncentrationer og eutrofiering) også negativt korreleret med indekssværdier for begge DFFV-tilstandsindikatorer (Kristensen m.fl. 2014).

I princippet vil både DFFVa og DFFVø kunne beregnes for en række NOVANA-stationer, hvor naturlig ørredyngel forekommer, og hvor første befiskning samtidig har resulteret i fangst af tre arter eller mere. Ligeledes vil en stringent afgrænsning for brugen af DFFVø til Type 1 vandløb give anledning til en række nulværdier i de tilfælde, hvor der ikke fanges ørred, men hvor fangsten rummer tre eller flere fiskearter. Omvendt vil en stringent afgrænsning for brugen af DFFVa på Type 2 og 3 vandløb give anledning til en række nulværdier, hvor der findes naturligt produceret ørredyngel, men hvor den samlede fangst rummer mindre end tre arter. Da DFFVa samtidig er det officielt interkalibrerede fiskeindeks, er det derfor fagligt meningsfuldt først at beregne DFFVa for alle NOVANA-stationer, hvor der er fanget tre eller flere arter for derefter at beregne DFFVø for den restmængde, hvor der er fanget naturligt produceret ørredyngel.

3.4.1 Økologisk tilstand målt med Dansk Fiskeindeks For Vandløb (DFFV)

For 2017 var der tilgængelige fiskedata for 152 stationer. Foruden fangst af mindst tre arter skal der bruges stationsdata for oplandsstørrelse og vandspejlsfald for at beregne DFFVa. Disse data er indrapporteret i WinBio. Der kunne i alt beregnes DFFVa-indekssværdier for 72 stationer, hvoraf langt hovedparten er vandløb med bredde på hhv. 2-10 m (mellemstore) og > 10 m

(store). Den relativt større andel af mellemstore og store vandløb, der kan bedømmes med DFFVa-indekset, skal ses i lyset af, at større vandløb naturligt rummer flere fiskearter end små vandløb (Kristensen m.fl. 2014). Resultaterne for DFFVa er præsenteret i tabel 3.3.

For de stationer, hvor der ikke kunne beregnes DFFVa (i alt 80 stationer), kunne der beregnes DFFVø for yderligere 48 stationer. Resultaterne for DFFVø er præsenteret i tabel 3.4. På de resterende 32 stationer blev der hverken fanget tre eller flere arter eller registreret forekomst af naturligt produceret ørredyngel. Disse stationer bør i princippet betragtes som havende dårlig økologisk tilstand, hvis det vurderes, at ørreder kan gyde i vandløbene i deres naturlige form. Der er tidligere lavet en undersøgelse af de stationer i det samlede NOVANA kontrolovervågningsprogram for vandløb, hvor det blev vurderet, at langt størstedelen af de vandløb, hvor der hverken var fanget ≥ 3 arter eller naturligt produceret ørredyngel, kunne have potentiale til at danne gydeområder for ørred i vandløbenes naturlige tilstand (Thodsen m.fl., 2016).

3.4.2 DFFVa

Ingen af de stationer, der er overvåget i 2017 opnåede høj økologisk tilstand bedømt med DFFVa, mens i alt 17 % af stationerne opnåede god økologisk tilstand (tabel 3.3). Thodsen m.fl. (2016) viste, at der for alle stationer i overvågningsperioden 2011-2015 var en signifikant positiv sammenhæng mellem vandløbsbredde og DFFVa. For hele overvågningsperioden 2011-2015 opnåede 22% af alle stationerne god økologisk tilstand. Sammenlignes resultaterne fra 2017 med resultaterne fra hele overvågningsperioden 2011-2015 ses således, at der i 2017 var en mindre andel af stationer med mindst god økologisk tilstand, og at der ikke er nogen synlig sammenhæng mellem økologisk tilstand og vandløbsbredde (8, 19 og 16% af stationerne med vandløbsbredde på hhv. <2 , 2-10 og >10 m havde god økologisk tilstand. Resultaterne fra 2017 kan dog ikke anvendes til at beskrive den generelle udvikling for DFFVa i danske vandløb, da de stationer, der blev overvåget i 2017, ikke kan forventes at repræsentere hele stationsnettet.

Tabel 3.3. Fordelingen af økologiske tilstandsklasser vurderet med DFFVa inden for vandløb med bredde på hhv. <2 , 2-10 og >10 m.

Antal stationer	Bredde (m)	Høj	God	Moderat	Ringe	Dårlig
13	<2 m	0	1	8	3	1
47	2-10 m	0	9	29	8	1
12	>10 m	0	2	8	2	0
Sum		0	12	45	13	2
Samlet andel (%)		0	17	63	18	2

3.4.3 DFFVø

De indrapporterede fangster for de resterende 80 stationer, hvor der ikke kunne beregnes en DFFVa indekssværdi, blev undersøgt for forekomst af ørredyngel. Ørredyngel blev defineret på baggrund af en antaget maksimal længde på 13 cm. For de stationer, hvor der kun blev gennemført 1 gennemfiskning og hvor bestandsstørrelsen for ørred / laks, derfor ikke kan beregnes ud fra udtyndingsmetoden, blev der antaget en fangsteffektivitet på 0,7 (jf. den gældende tekniske anvisning TA V18).

Som for DFFVa var andelen af stationer med høj eller god økologisk tilstand vurderet med DFFVØ lavere end de tilsvarende resultater for alle overvågningsstationer i den foregående overvågningsperiode (20%) (Thodsen m.fl., 2016) (tabel 3.4). Disse resultater kan dog ikke anvendes til at beskrive den generelle udvikling i danske vandløb, da de stationer, der er overvåget i 2017, ikke kan forventes at repræsentere hele stationsnettet.

Tabel 3.4. Tabeloversigt med økologisk tilstand målt med DFFVØ. Tabellen viser det samlede antal stationer, hvor der ikke kunne beregnes en DFFVa-værdi, men hvor der kunne beregnes en DFFVØ-indeksværdi. Stationerne er opdelt efter størrelseskategori.

Antal stationer	Bredde (m)	Høj	God	Moderat	Ringe	Dårlig
23	2-10	0	1	2	10	10
25	< 2	1	2	3	8	11
Sum		1	3	5	18	21
Samlet andel (%)		2	6	10	38	44

4. Kvælstof i vandløb

Jens Bøgestrand

Kvælstof er et plantenæringsstof, og de menneskeskabte forøgede tilførsler af kvælstof til havet er her en af de vigtigste årsager til opblomstring af alger om foråret og tidligt på sommeren og deraf følgende iltsvind i sensommeren og det tidlige efterår, når en stor del af algerne nedbrydes (Conley et al., 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. Koncentrationer og transport af kvælstof i vandløbene viser, om tilførslen til havet (eller søerne) bliver mindre, sådan som det er hensigten med Vandområdeplanerne.

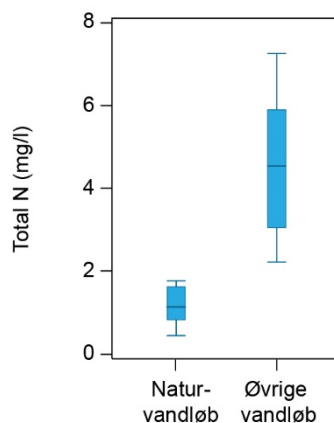
Der er ingen landsdækkende målsætninger / grænseværdier for koncentrationen af kvælstof i vandløb.

4.1 Tilstanden i 2017

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.

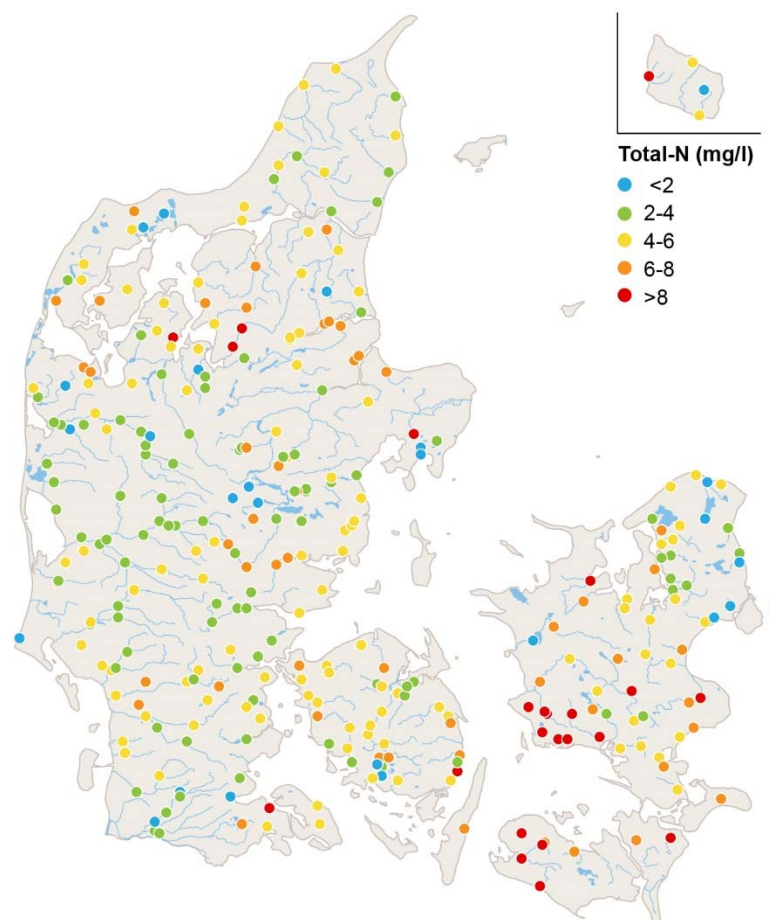
Koncentrationen af kvælstof i vandløb, som ligger i dyrkede oplande eller modtager udledninger fra punktkilder, var i 2017 gennemsnitligt (medianværdien) omkring 4 gange så høj som baggrundsniveauet målt i naturvandløb (figur 4.1).

Figur 4.1. Koncentrationen af total-kvælstof i vandløb i 2017. 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 med sit kvælstofindhold 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 2017. Vandføringsvægtede årsmiddelværdier.

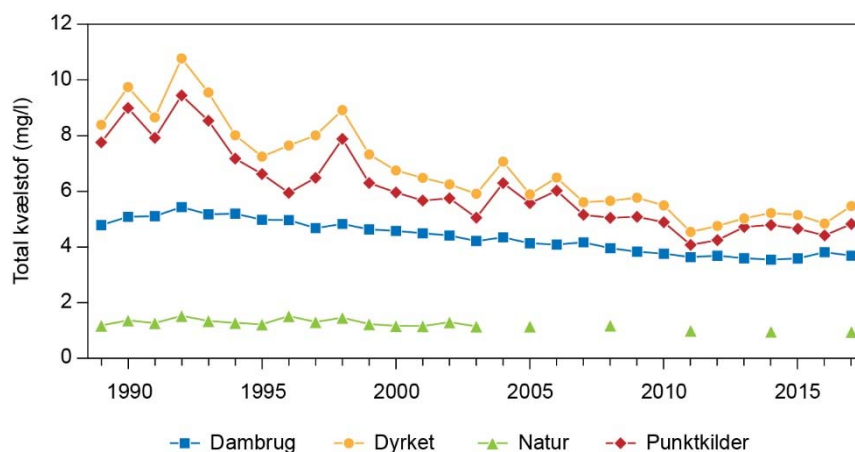


4.2 Udvikling siden 1989

Udviklingen i kvælstofkoncentration er beregnet ved hjælp af lineær regression med 2 knæpunkter, hvor "knækkene" er fastlagt til årskiftene 1996/97 og 2010/11, hvor der i mange vandløb synes at være en ændring i udviklingstendensen. 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 2017. For naturvandløbene bruges kun det tidligste knæk grundet en lavere overvågningsfrekvens siden 2008.

Kvælstofkoncentrationen i vandløbene har generelt været faldende, dog med tegn på et langsommere fald gennem de senere år. 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 2017 er koncentrationen steget efter at være faldet i 2016. Stigningen synes mere udtalt i disse relativt små vandløb end i de vandløb som udgør det målte opland for havbelastningen (se afsnit 6.5). I vandløb med betydelige udledninger fra dambrug har der været en mindre, men dog betydelig, reduktion. 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	Antal med signifikant stigning	Procentvis ændring i koncentration
Natur	6	1	0	-27 $\pm$ 17
Dyrket	52	46	0	-44 $\pm$ 3
Punktkilder	68	65	0	-45 $\pm$ 3
Dambrug	14	12	0	-31 $\pm$ 6
Alle	144	127	0	-43 $\pm$ 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 tilstanden på visse tider af året og 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 landbrugsjorder 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 nyere 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 et al. 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.

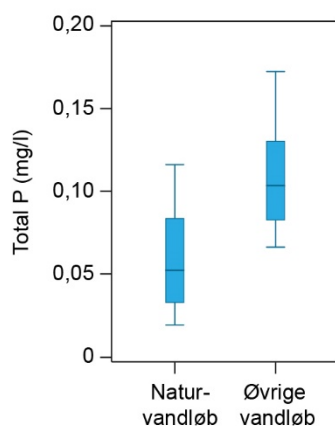
5.1 Tilstanden i 2017

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.

Koncentrationen af fosfor i vandløb, som ligger i dyrkede oplande eller modtager udledninger fra punktkilder, var i 2017 gennemsnitligt (median-værdien) næsten dobbelt så høj som niveauet målt i naturvandløb (figur 5.1).

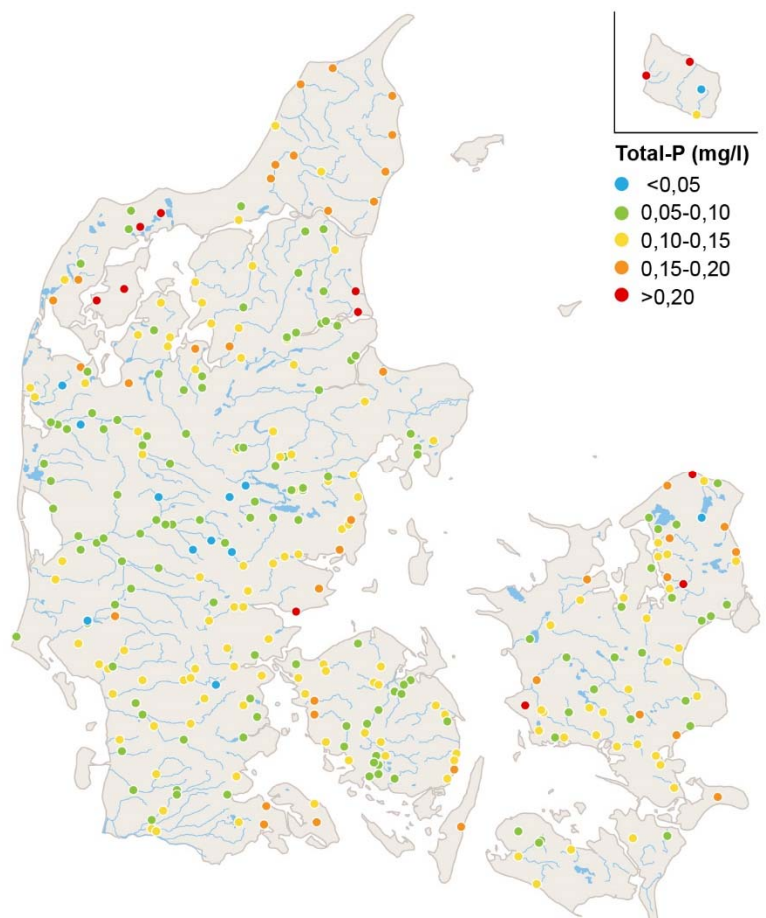
Der er en betydelig variation i koncentrationerne. Tidligere analyser af resultater fra naturvandløb har vist, at der er regionalt betingede forskelle i koncentrationen af fosfor, som kan forklare noget af variationen.

Figur 5.1. Koncentrationen af total-fosfor i vandløb i 2017. 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 to-
tal-fosfor i vandløb i 2017. Vand-
føringsvægtede årsmiddelvær-
dier.

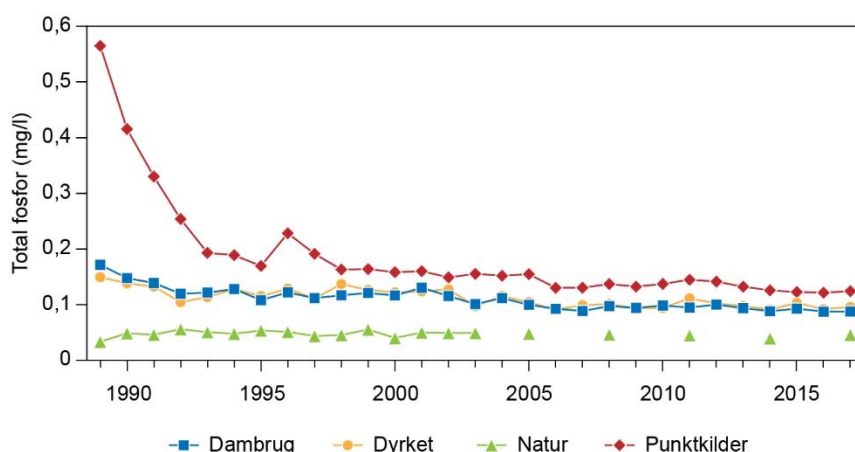


5.2 Udviklingen siden 1989

Udviklingen i kvælstofkoncentration er beregnet ved hjælp af lineær regression med 2 knæpunkter, hvor ”knækkene” er fastlagt til årskiftene 1995/96 og 2001/02, hvor der i mange vandløb synes at være en ændring i udviklingstendensen. 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 2017. 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 Vandmiljøplanen 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 fosfor-koncentration 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	Antal med signifikant stigning	Procentvis ændring i koncentration
Natur	6	1	1	- 6 $\pm$ 16
Dyrket	30	14	1	-24 $\pm$ 10
Punktkilder	68	63	0	-52 $\pm$ 6
Dambrug	14	14	0	-46 $\pm$ 9
Alle*	145	112	2	-40 $\pm$ 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 169 målestationer. For 113 af disse stationer er der kontinuerede måledata for hele perioden. For 2017 har der været måledata fra 144 af stationerne. De 169 målestationer dækker et samlet opland på 24.380 km² svarende til 57 % af landets samlede areal. For 56 af målestationerne (2.915 km² opland) 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 fejlagtig analysemetode. Der er foretaget en korrektion af TN og TP koncentrationer målt i denne periode, se afsnit 1.3.1. Der er ligeledes gennemført en korrektion af data målt fra 2007 til 2014, denne korrektion er dog markant mindre, se afsnit 1.3.2.

For de umålte oplande er tilførslen af total-kvælstof beregnet ved brug af simple modeller for tilførsel og omsætning af kvælstof i overfladevandssystemet, den såkaldte DK-QNP model, en nærmere dokumentation for metoden er givet i Windolf m.fl. (2010, 2011, 2012a). Det er tidligere påvist (Bøgestrand m.fl. 2009), at den anvendte metode generelt overestimerer kvælstofkoncentrationerne i det vestlige Danmark og med tendens til underestimering i den østlige del af landet. For kvælstof er en vigtig modelvariabel i DK-QNP modellen 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).

For den del af landet, der afvandes til de såkaldte V1-fjorde, er der foretaget korrektioner for ovennævnte modelbias (Windolf m.fl., 2012a). Korrektionerne er foretaget i 2 trin. Først en oplands- og månedsspecifik opretning af de modellerede koncentrationer af kvælstof for de V1-oplande, hvor der også har været måledata fra vandløb. Disse korrektioner er antaget også at være gældende for de umålte oplande til de enkelte V1-fjorde. Dernæst er undersøgt, om der for de målte oplande har kunnet påvises en signifikant udvikling over tid for modelresidualerne. Har dette været tilfældet i mindst 9 af årets 12 måneder over perioden siden 1990, er der foretaget en korrektion af denne 'trend-residual' i de modellerede data. Korrektionen er således udledt oplandsspecifikt for de enkelte fjordes målte oplande og antaget at kunne overføres til de umålte oplande. Der er konkret foretaget en korrektion for 'trend-residualer' i oplandet

til Mariager Fjord (opland 36) samt enkelte deloplande til Limfjorden (371, 372, 374, 376). Disse korrektioner er nærmere beskrevet i Windolf m.fl. (2012a).

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 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. Springet i udledninger fra RBU fra 2012 til 2013 er opgjort til at være i størrelsesorden 30-40 %, hovedsageligt på grund af et forbedret datagrundlag (Naturstyrelsen, 2015), hvilket betyder at tidligere års opgørelser har undervurderet de samlede udledninger. Vi har ikke forsøgt at korrigere for dette i nærværende rapport.

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 på 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 (om end dette næppe er tilfældet). Endelig skal det bemærkes, at spildevandsudledninger fra spredt bebyggelse er indregnet under den diffuse kvælstofudledning.

6.2 Kvælstoftilførsel til havet i 2017

For hele 2017 blev der i alt beregnet en tilførsel på omkring 64.000 tons totalkvælstof fra land til kystafsnittene omkring Danmark. Dette er 4% mere end for 2016, hvor den var 62.000 ton N. Samtidig var vandafstrømningen på 358 mm i 2017 ca. 2% mere end i 2016. Dermed blev såvel vandafstrømningen som kvælstof tilførslen i 2017 lidt højere end året før.

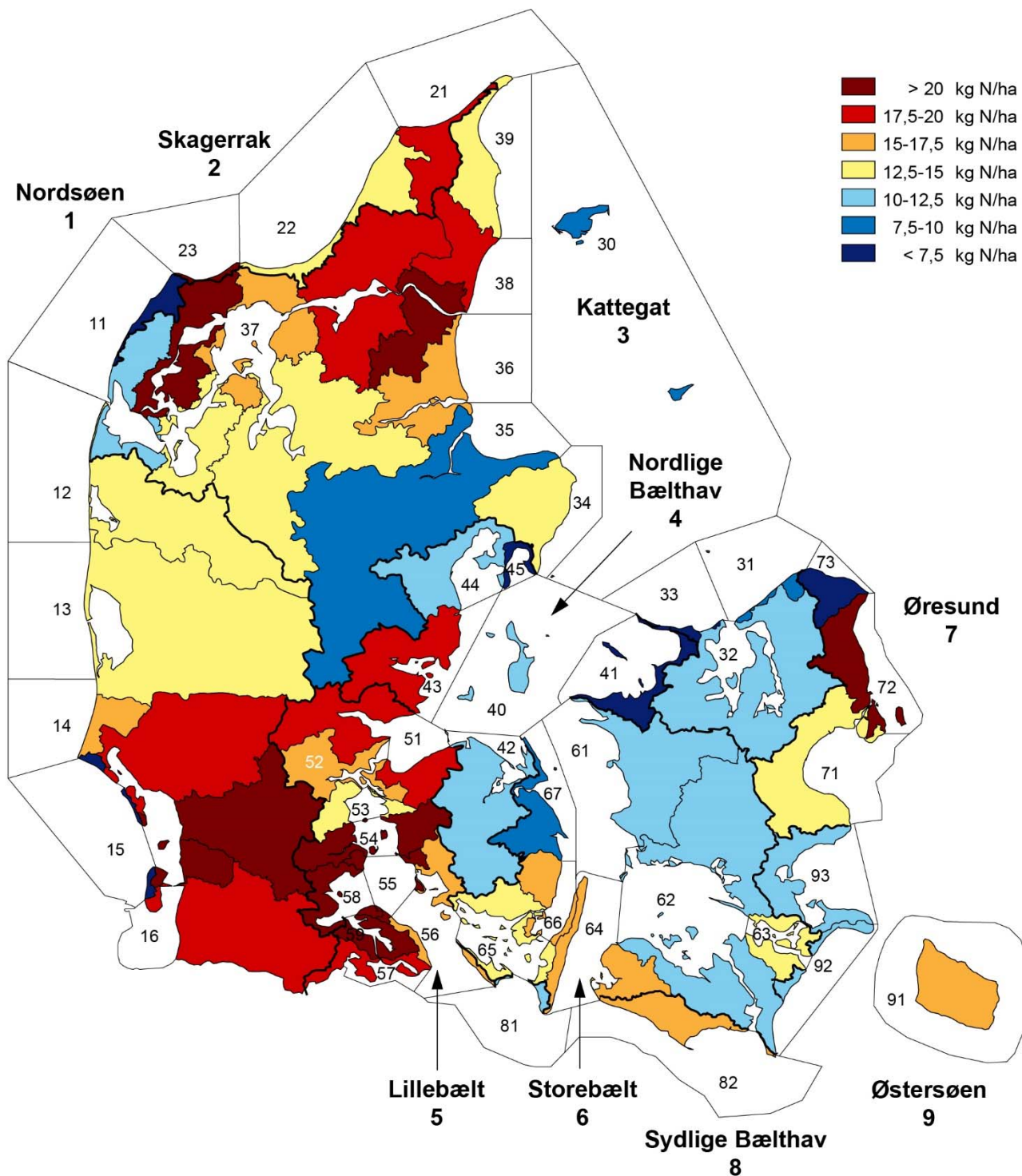
Tabet af total-kvælstof pr. ha opland til de kystnære vande var som gennemsnit i 2017 omkring 15.0 kg N/ha mod ca. 14.4 kg N/ha i 2016. Der var dog betydelige afvigelser imellem de forskellige dele af landet (figur 6.1). I nogle oplande var tabet til de kystnære vandområder mindre, fx i Gudenå systemet. Her sker der via vandsystemets mange søer en væsentlig fjernelse af det udledte kvælstof, inden vandet løber ud i Randers Fjord (figur 6.1). Også i det østlige Danmark var kvælstoftabet generelt mindre end gennemsnittet. Det skyldes her, at kvælstofoverskud på markerne typisk er mindre end gennemsnittet (Windolf m.fl. 2012b), samt at vandafstrømningen i det østlige Danmark er væsentligt mindre end mod vest. Relativt store oplandstab af kvælstof forekom i 2017 – som i 2016 - i dele af oplandet til Limfjorden og fra oplandene i det sydlige Jylland, strømmende til Vadehavet (figur 6.1).

Den vandføringsvægtede koncentration af TN for hele landet er for 2017 opgjort til 4,2 mg N/L mod 4,1 mg N/L i 2016. Indholdet af total-kvælstof i det afstrømmende vand til kystvandene var i Jylland generelt mindre end 5 mg N/l og typisk lidt større i det østlige Danmark (figur 6.2). Den absolutte og relative variation over landet var meget lig med den fra året før. I oplandene til f.eks. Randers Fjord, Nissum Fjord og Ringkøbing fjord var koncentrationerne i 2017 endda under 3 mg N/l. De mange søer i Gudenå systemet medvirker som nævnt ovenfor til via denitrifikation 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 mængde af den udvaskede kvælstof.

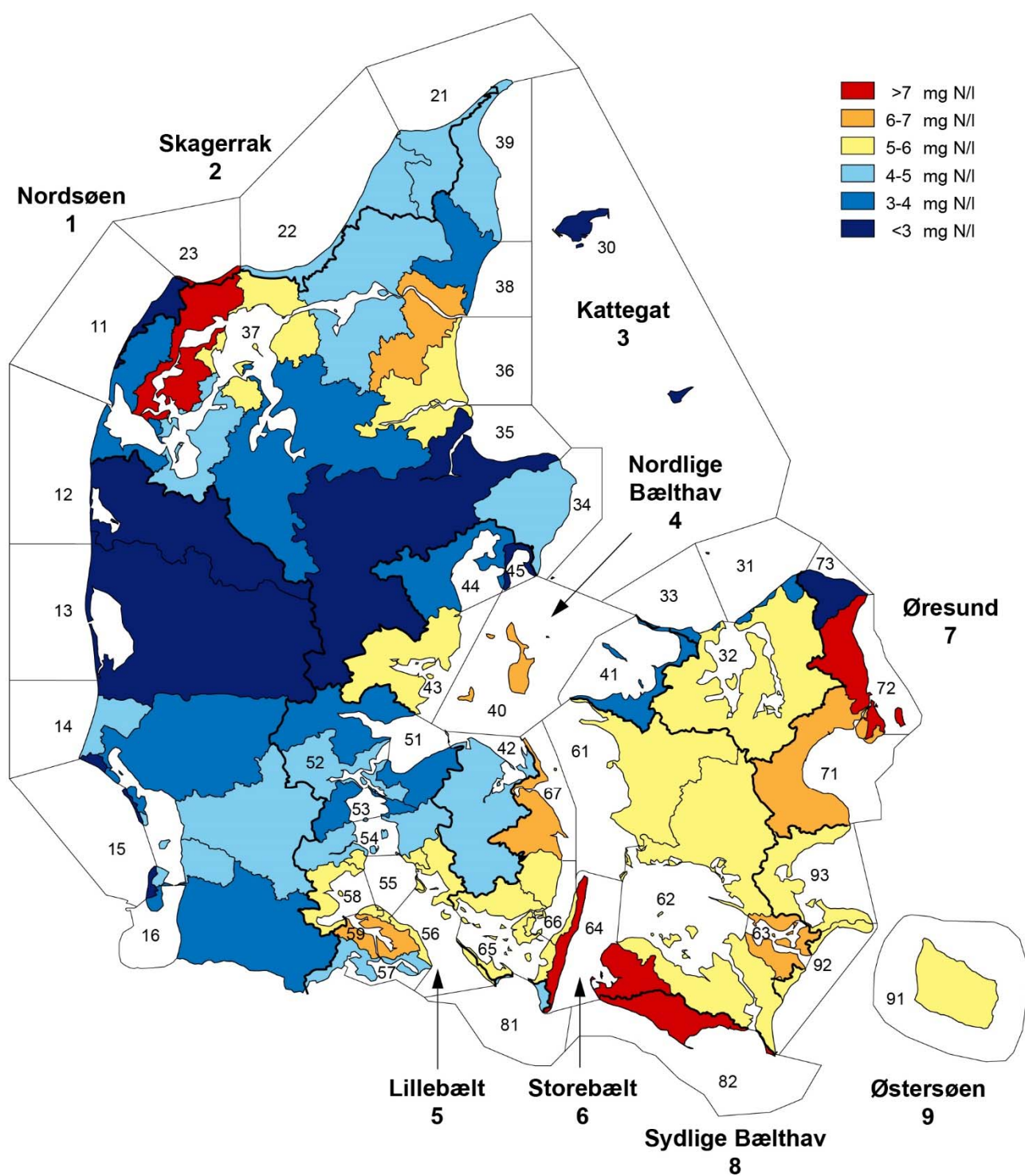
I enkelte oplande – f.eks. visse områder omkring Limfjorden, Mariager Fjord, Horsens Fjord og størstedelen af det østlige Danmark - var koncentrationerne generelt større end 5 mg N/l.

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. renseanlæg, regnbetingede udledninger, akvakultur, industri

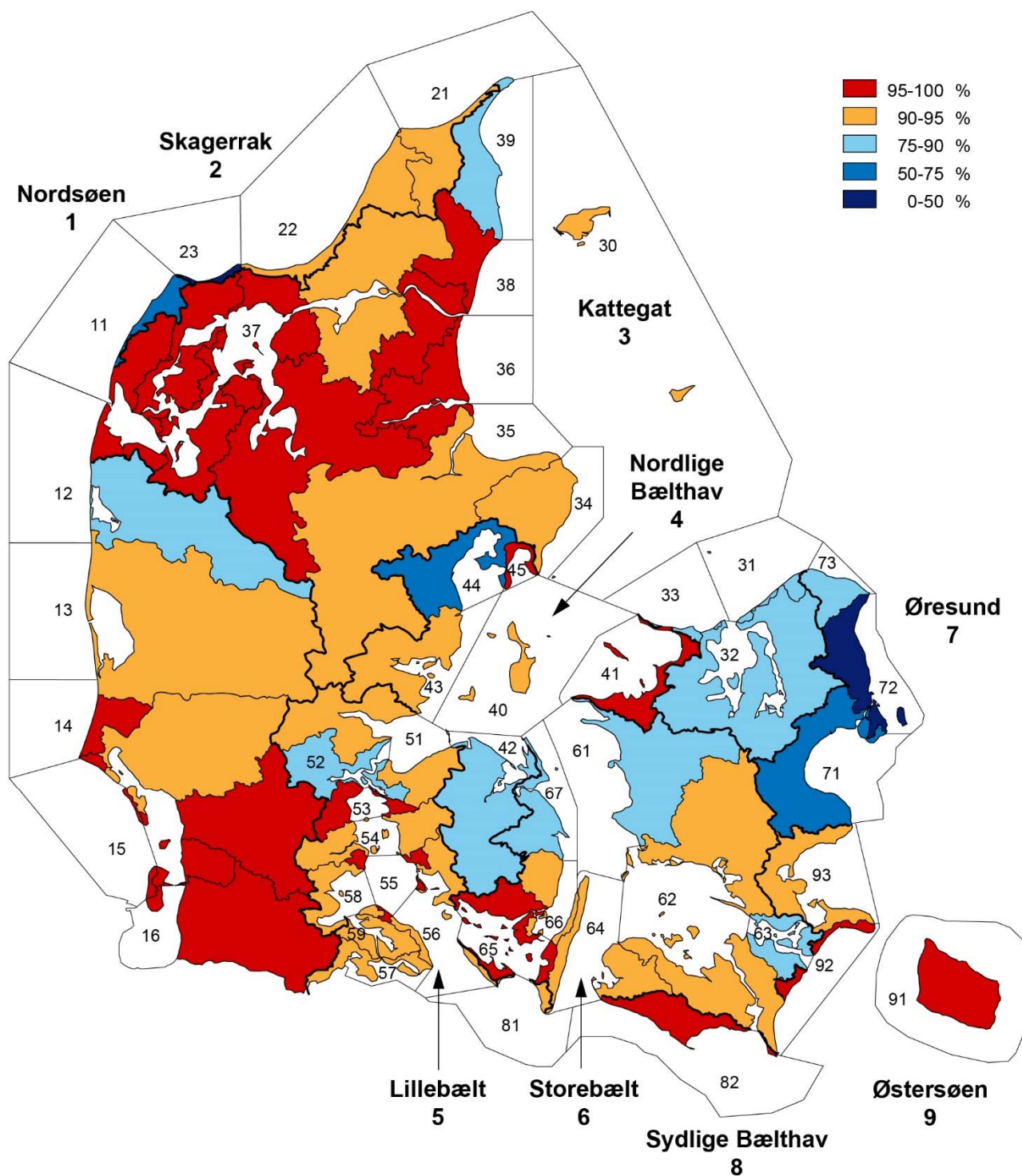
med særskilt udledning) på ca. 6.200 tons i 2017. Den diffuse tilførsel udgjorde ca. 58.000 tons mod ca. 56.000 tons i 2016. Det svarer til en fordeling på henholdsvis 10 % og 90 % af den totale kvælstoftilførsel, meget lig fordelingen til kystområderne de seneste 5 opgjorte år (9-11% og 89-91%).



Figur 6.1. Areal specifikt tab af kvælstof fra oplandene til marine kystafsnit i 2017.



Figur 6.2. Vandføringsvægtet-kvælstofkoncentration i vand der afstrømmer til marine kystafsnit i 2017.



Figur 6.3. Diffus (Samlet kvælstoftilførsel minus kvælstof fra punktkilder) andel af den totale kvælstoftilførsel til marine kystafsnit i 2017.

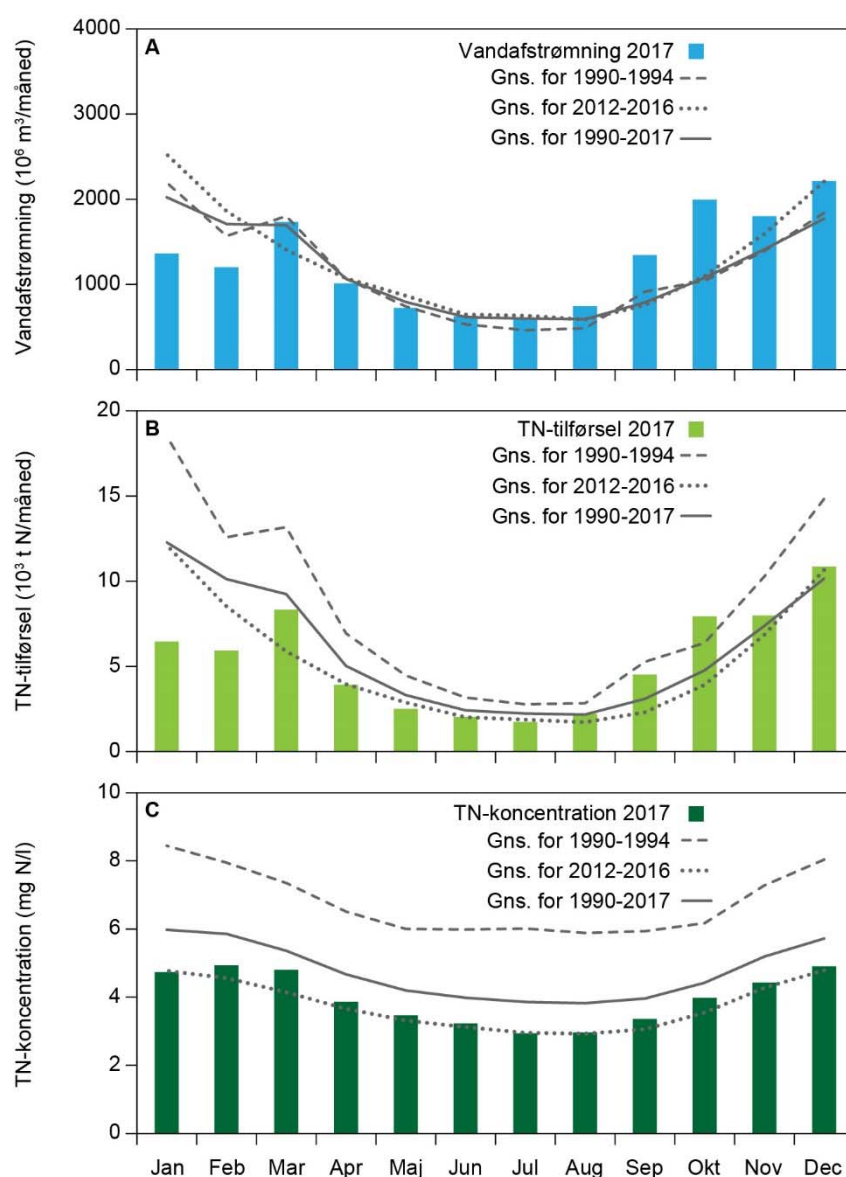
6.3 Sæsonvariation i vandafstrømning og kvælstoftilførsel

I 2017 var vandafstrømningen til havet omkring Danmark 9% større end gennemsnittet for perioden 1990-2016 (Figur 6.4, se også kapitel 2). Der var dog i de enkelte måneder betydelige afvigelser i forhold til gennemsnittet. I vintermånederne januar og februar var afstrømningen betydeligt lavere end gennemsnittet i perioden siden 1990. Generelt var afstrømningen mellem marts og august tæt

på gennemsnittet for den forudgående periode siden 1990 mens afstrømningen i september, til december var højere end gennemsnittet.

Kvælstoftilførslen i 2017 var i januar og februar lige som vandafstrømningen mindre end gennemsnittet for de seneste 5 år 2012-2016. Kvælstoftilførslen er de fleste måneder noget mindre end gennemsnittet for perioden 2012 - 2016, men i de tre måneder marts, september og oktober var vandafstrømningen højere end gennemsnittet (Figur 6.4 midt). I de samme tre måneder er kvælstoftilførslen også højere end gennemsnittet for de sidste 5 år. Kvælstofkoncentrationerne i det afstrømmende vand var for alle måneder tydeligt mindre end gennemsnittet for perioden 1990 - 2017 (Figur 6.4, C). Kvælstofkoncentrationen ligger for de fleste måneder tæt på samme niveau som midlet for perioden 2012-2016, i marts er koncentrationen dog højere. Det reducerede kvælstofindhold, igennem perioden 1990-2017, i den samlede vandafstrømning er relateret til de markant reducerede tab af kvælstof fra de dyrkede marker samt af de reducerede udledninger af kvælstof med spildevand.

Figur 6.4. Månedsvise vandafstrømning (A), kvælstoftilførsel (B) og vandføringsvægtet kvælstofkoncentration i det afstrømmende vand til havet omkring Danmark (C) i 2017 og som gennemsnit for perioderne 1990-2017, 2012-2016 og 1990-1994.

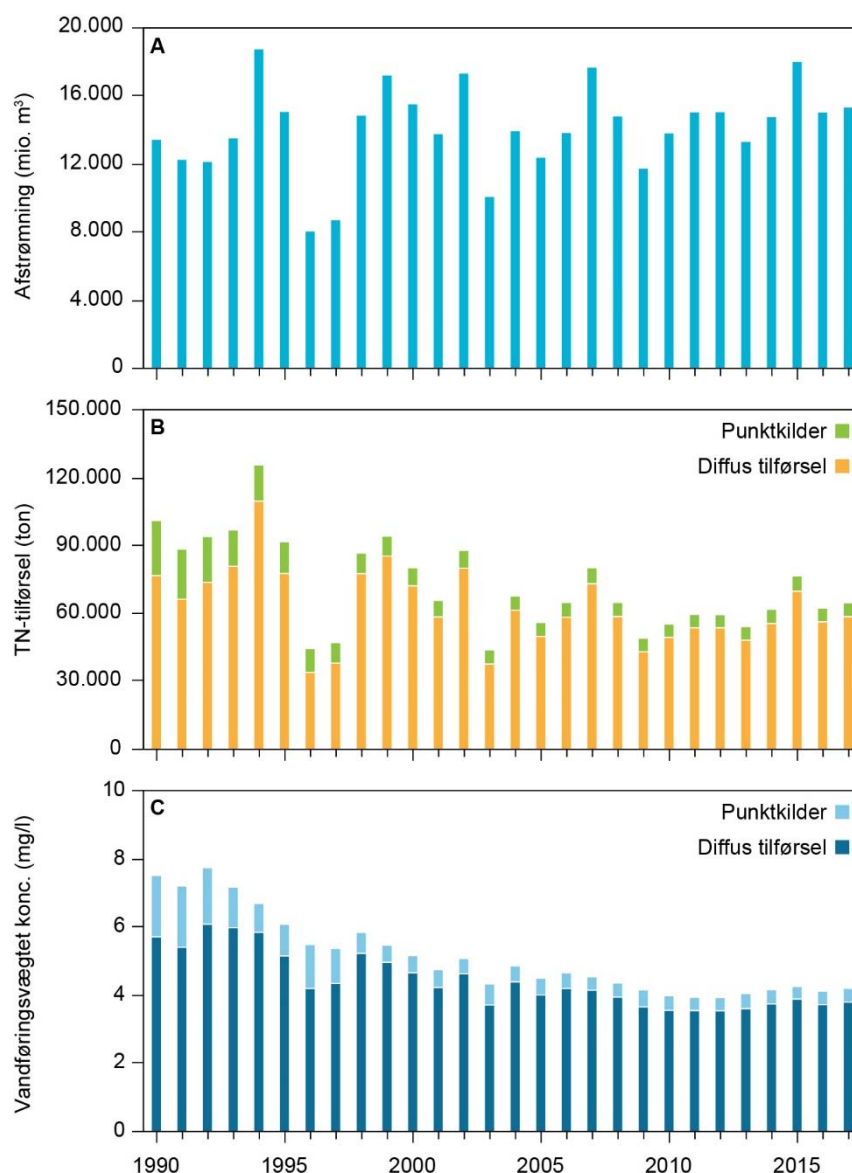


6.4 Udviklingen i kvælstoftilførslen til havet 1990-2017

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 vandføringsvægtede koncentration af total-kvælstof (Figur 6.5, C). Koncentrationerne er således faldet fra et niveau på 7-8 mg N/l i begyndelsen af 1990'erne til i de seneste 5 år i gennemsnit at være 4,2 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 vandføringsvægtet kvælstofkoncentration i det afstrømmende vand til havet omkring Danmark (C), 1990-2017. 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.



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 70 %. I 2017 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 tidsserie trenden 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:

$$100 \cdot \frac{\hat{x}_{1990} - \hat{x}_{2017}}{\hat{x}_{2017}},$$

Estimerer er beregnet ud fra de to lineære modellers forskrifter. Konfidensintervaller på det samlede fald er beregnet ved anvendelse af standard error på estimererne for årene 1990 og 2017. Faldet i vandføringsvægtede kvælstofkoncentration af den samlede tilførsel er estimeret til 49% (95 % konfidensgrænser: 43 til 54 %). 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 37 % i perioden 1990-2017, (95 % konfidensgrænser: 25% til 47%). I oplandene til farvandsområderne varierede de beregnede fald i det diffuse koncentrationsbidrag mellem 22% og 52%.

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 vand- løbsmålestationer, der indgår i beregningerne med måletidsserier for hele perioden 1990-2017 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 1990–2017. 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.

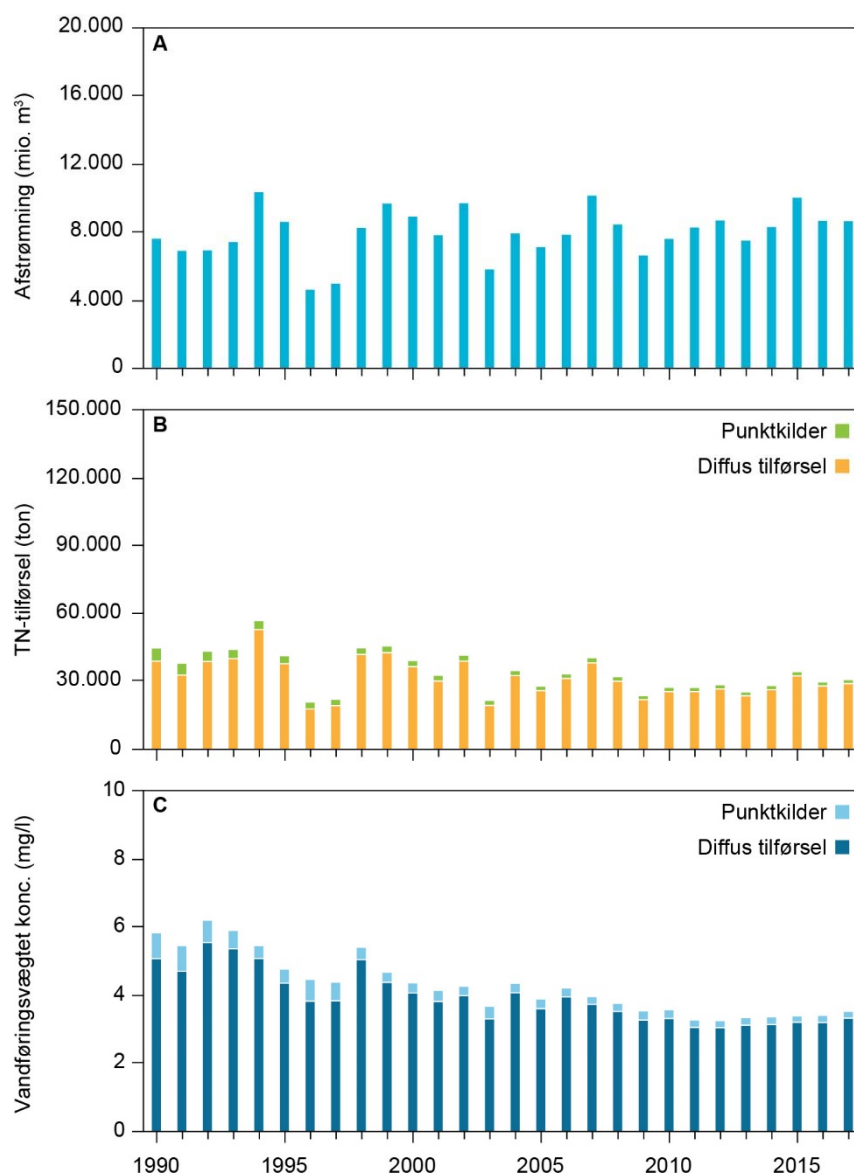
Farvandsområde	Kvælstof	
	Diffus tilførsel % ændring	Samlede tilførsel % ændring
Nordsøen	-31	-43
Skagerrak	-39	-56
Kattegat	-27	-39
Nordlige Bælthav	-52	-57
Lillebælt	-40	-58
Storebælt	-36	-48
Øresund	-47	-72
Sydlig Bælthav	-31	-46
Østersøen	-41	-55
Limfjorden	-22	-25
Isefjorden/Roskilde fjord	-49	-57
Danmark	-37 (-47;-25)	-49 (-54;-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 1990-2017. Det er tilfældet for 108 stationer og dækker ca. 48% af landets areal (20.830 km²).

Vandafstrømningen for det målte opland (108 stationer) er for 2017 opgjort til 406 mm hvilket er næsten det samme som i 2016 (407 mm) og 9% højere end gennemsnittet for perioden 1990-2016 på 373 mm (figur 6.6, A). Vandafstrømningen for det målte opland er altså opgjort til at være noget højere end for hele landet hvor afstrømningen er opgjort til 358 mm i 2017.

Figur 6.6. Udvikling i ferskvands-afstrømning (A), kvælstoftilførsel (B) og vandføringsvægtet kvælstofkoncentration (C) i det afstrømmende vand fra det målte opland, 1990-2017. 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.



Kvælstoftilførselen fra det målte opland var ca. 29.000 ton hvilket er en lille stigning på ca. 1% i forhold til kvælstoftilførselen i 2016 (figur 6.6, B). Andelen af kvælstoftransporten som stammer fra punktkilder er opgjort til 6%, 1700 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 punktkilde andelen er lidt overestimeret.

Den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration for det målte opland er for 2017 opgjort til 3,5 mg N/l mod 3,3 mg N/l i 2016, en stigning på ca. 4% (figur 6.6, C). Kvælstofkoncentrationen i begyndelsen af måleperioden 1990 til 2017 var højere end den er nu. Middel kvælstofkoncentrationen 1990 til 1994 var 5,7 mg N/l mens midlet for de sidste fem år er 3,4 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 forureningsbegrænsende tiltag generelt er slået igennem.

Betydningen af variationer i ferskvandsafstrømningen for det enkelte års kvælstoftilførsel er i Figur 6.7 (A) søgt elimineret. 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 gengivet i Windolf m.fl. (2012a, 2012c). Den normaliserede transport illustrerer den kvælstoftransport, der ville have været det enkelte år, såfremt vandafstrømningen havde været konstant gennem hele perioden 1990-2017 (330 mm / år).

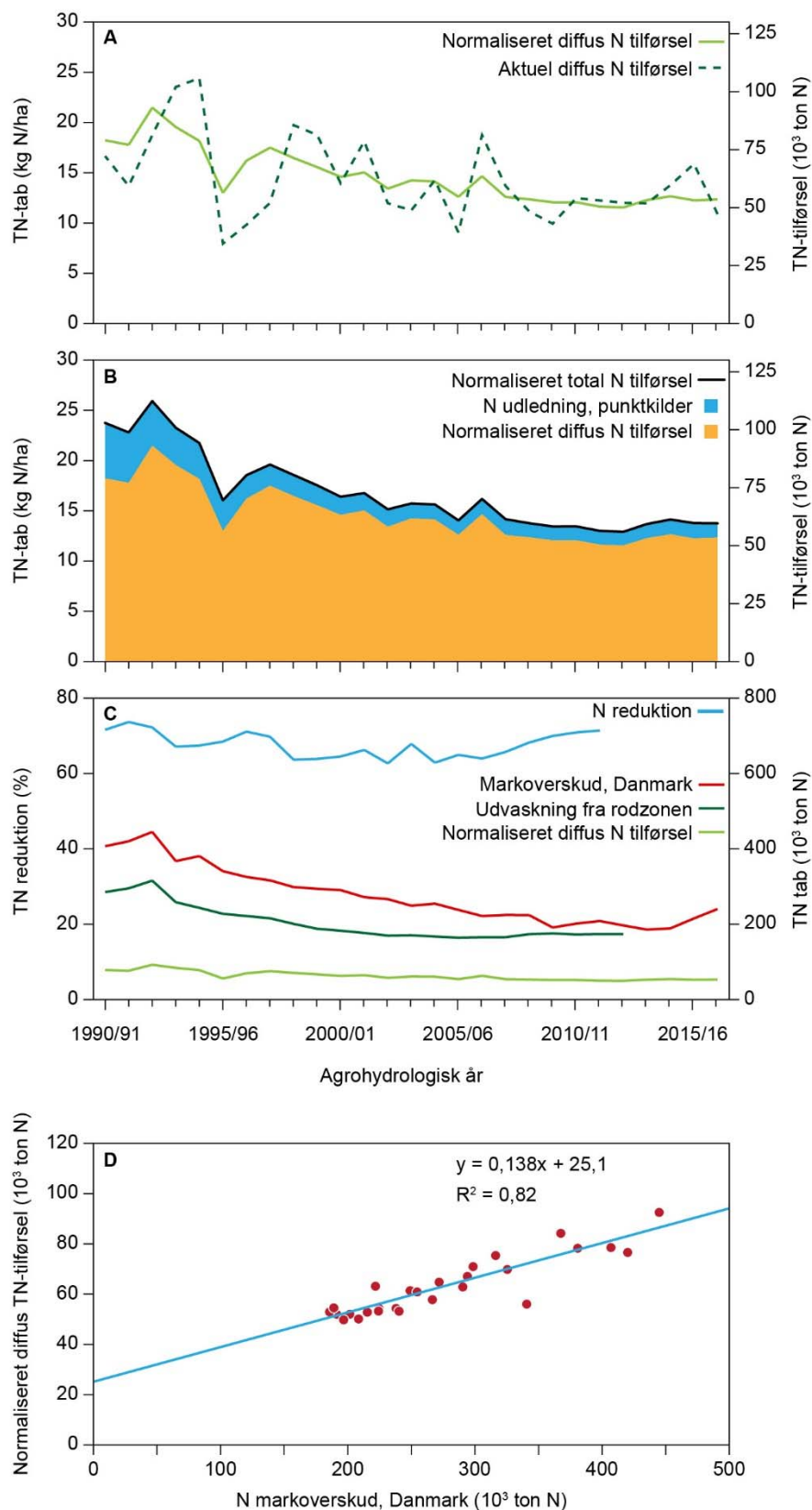
Det bemærkes, at den anvendte normaliseringsmetode ikke tager højde for betydningen af alle klimatiske faktorer. Dette gælder f.eks. betydning af år til år variationen i månedsvandafstrømninger og der er ej heller taget højde for eventuelle betydninger af varierende temperaturer.

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 kvælstoftransport fra diffuse kilder (Figur 6.7 A).

Selv om det totale fald i kvælstoftilførslen tydeligt ses, at være størst i den første del af perioden (Figur 6.7, delfigur A & B), antydes der dog også et mindre fald i den afstrømningsnormaliserede kvælstoftilførsel siden 2005. Den normaliserede totale kvælstoftilførsel fra diffuse kilder i det senest opgjorte agrohydrologiske år (2016/17) (1. april til 31. marts) er beregnet til ca. 53.000 ton N.

Figur 6.7. Udvikling i indikatorer for kvælstoftilførsler beregnet for agrohydrologiske år (1. april til 31. marts).



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 udviklet sig 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. Det fremgår, at der med den anvendte metode beregnes en kvælstoftilførsel på over 100.000 tons N i starten af perioden. For de seneste 5 år har de beregnede normaliserede kvælstoftilførsler været mellem 56.000-61.000 tons N. Heraf stammer 6.000 til 6.700 tons fra spildevandsudledninger fra punktkilder.

For senest opgjorte agrohydrologiske år (2016/17) (1. april til 31. marts) fås en årlig normaliseret total kvælstoftilførsel på ca. 59.000 tons N / år.

Normaliseres der på kalenderår, fås for 2017 en normaliseret tilførsel fra diffuse kilder på 54.000 tons N. Tillagt udledninger af spildevand fra punktkilder på 6.200 tons N beregnes således en samlet normaliseret tilførsel på ca. 60.000 tons N. For 2016 beregnes på lignende vis en samlet normaliseret N tilførsel på 59.000 tons N. For de fem år forud for 2017 (2012-2016) er den gennemsnitlige normaliserede N tilførsel på 59.000 tons N, med et interval imellem 56.000 – 61.000 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 tydeligt 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.

I figur 6.7 (C) er også vist udviklingen i den samlede normaliserede kvælstofudvaskning fra rodzonen under dyrkede og udyrkede arealer. For år, hvor der ikke har foreligget anden information om kvælstofudvaskningen, er der indledningsvist udledt en generel relation mellem N-markoverskud og N-udvaskning ud fra tilgængelige nationale data. Denne relation er så efterfølgende anvendt til at beregne udvaskningen af nitrat-kvælstof i år, hvor alene information om N overskuddet har foreligget.

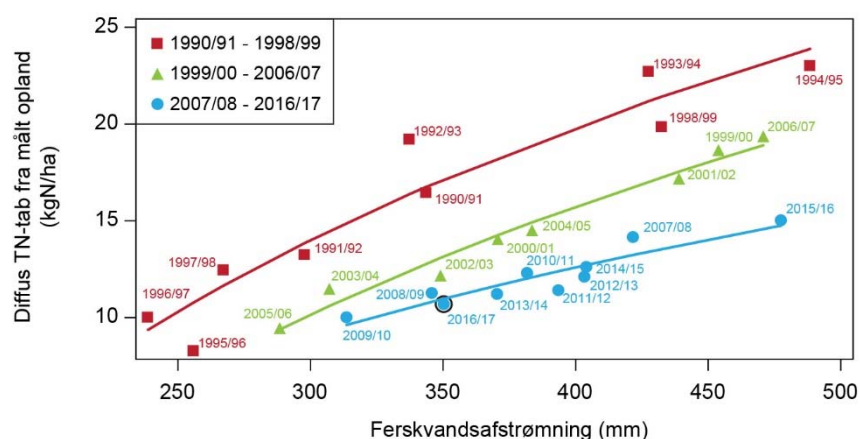
På kvælstoffets vej fra mark til rodzone og ud i vandløb mod fjorde og øvrige kystvande sker der en reduktion i den transporterede kvælstof-mængde (Figur 6.7 C).

Tilsvarende sammenhænge er tidligere vist - ikke alene for landet som helhed, men også for en række deloplande til danske fjorde (Windolf m.fl. 2012b, 2012c). Dog er det også vist, at der ikke for alle fjordoplande er forekommet hurtigt indtrædende reduktioner i den diffuse kvælstoftilførsel (Windolf m.fl.

2012b, 2012c). Det gælder f.eks. 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 relation vist i Figur 6.7 D. En væsentlig medvirkende forklaring herpå er forekomst af ikke reduceret dybereliggende grundvand med høj opholdstid og deraf følgende, højt indhold af kvælstof, som bidrager væsentligt til kvælstoftransporten i vandløbene.

I figur 6.8 vises sammenhæng mellem TN-tabet og vandafstrømningen for det målte opland for tre perioder relateret til implementerede virkemidler i forskellige vandmiljøplaner, henholdsvis årene 1990-1998, 1999-2006, 2007-2015, samt 2016 og 2017 (tabel 6.2). Figur 6.8 er lavet for 108 stationer med fuld tids-serie af månedlige TN stoftransporter (1990 – 2017).

Figur 6.8. Grafer der viser sammenhængen mellem ferskvandsafstrømningen (mm) og Diffus TN-tab (kgN/ha) på agrohydrologiske år (1. april til 31. marts) for tre perioder (1990/91 – 1998/99, 1999/2000 – 2006/07 og 2007/08 – 2016/17. 2016/17 er markeret separat i figuren, men indgår i relationen for 2007/08-2016/17.



I perioden 1990-1998 udnyttes kvælstof i husdyrgødningen bedre end tidligere og fra 1994 stilles krav om indberetning af gødningsregnskaber med faste krav til, hvor meget af husdyrgødningens kvælstofindhold, der skulle indregnes i gødningsforbruget til de dyrkede afgrøder.

Fra 1999 implementeres virkemidler i aftalen om Vandmiljøplan II, primært reduktionen i gødningsnormer for kvælstoftilførsel til de dyrkede afgrøder og flere efterafgrøder. Vandmiljøplan III indebærer, at kravet til efterafgrøder øges i to omgange. Fra 2005 skal bedrifter, der anvender mindre eller mere end 80 kg N/ha som organisk gødning have efterafgrøder på henholdsvis 6 og 10 pct. af afgrødearealet. Det lave krav på 6 pct. svarer til det generelle krav i Vandmiljøplan II. Imidlertid kunne bedrifter blive fritaget for etablering af efterafgrøder, hvis de havde 100 pct. grønne marker med fx vinterkorn. Derfor var det etablerede areal med efterafgrøder forholdsvis konstant i perioden 2004-2007.

I 2008 ophørte reglen om fritag af efterafgrøder ved 100 % grønne marker og kravet til efterafgrøder blev øget til hhv. 10 og 14 pct. af efterafgrødegrundarealet for bedrifter, der anvender henholdsvis mindre og mere end 80 kg N/ha i organisk gødning.

I Fødevarer- og Landbrugspakken blev det vedtaget, at udfase normreduktionen for tilførsel af kvælstofgødning. For 2016 blev det tilladt at anvende 2/3 af forskellen mellem den reducerede N-kvote og den økonomisk optimale gødningsnorm.

Tabel 6.2. Tabel over reguleringer af gødningsforbrug og efterafgrøde regler

Periode	Regulering	Regulering
1990-1998	Øget udnyttelse af husdyrgødning og mindre forbrug af handelsgødning.	Vandmiljøplan I og Bæredygtig landbrug
1999-2006	Flere efterafgrøder og normreduktion blev implementeret i 1999	Vandmiljøplan II og III frem til 2006
2007-2015	Flere efterafgrøder	Vandmiljøplan III og Grøn Vækst
2016 - 2017	Ophævet normreduktion og flere efterafgrøder	Fødevarer- og Landbrugspakken

6.7 Sammenfatning af resultaterne

- Den samlede kvælstoftilførsel fra land til kystvandene i 2017 er beregnet til ca. 64.000 tons N/år. Heraf udgør kvælstof udledt med spildevand fra punktkilder ca. 6.200 tons N/år. Beregningerne dette år er baseret på målinger fra 142 kystnære målestationer i vandløb og en model for det resterende umålte opland.
- Den vandføringsvægtede TN koncentration for hele landet var i 2017 4,2 mg N/l mod 4,1 mg N/l året før.
- Den normaliserede kvælstoftilførsel fra diffuse kilder til kystvandene for 2017 (kalender år) er beregnet til ca. 54.000 tons N.
- Den normaliserede totale kvælstoftilførsel til kystvandene for 2017 (kalender år) er beregnet til ca. 60.000 tons N.
- Kvælstoftilførslerne fra land til havet er siden 1990 reduceret med omkring 49%, (beregnet ud fra udviklingen i vandføringsvægtede koncentrationer)
- De diffuse kilders andel af den samlede kvælstoftilførsel til kystvandene var i 2017 omkring 90%.
- Punktkildernes andel af den samlede kvælstoftilførsel til kystvandene var i 2017 omkring 10%.
- Kvælstoftilførslerne fra diffuse kilder er reduceret med omkring 37% 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.

7. Fosfortilførslen til havet

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

7.1 Datagrundlag og metode

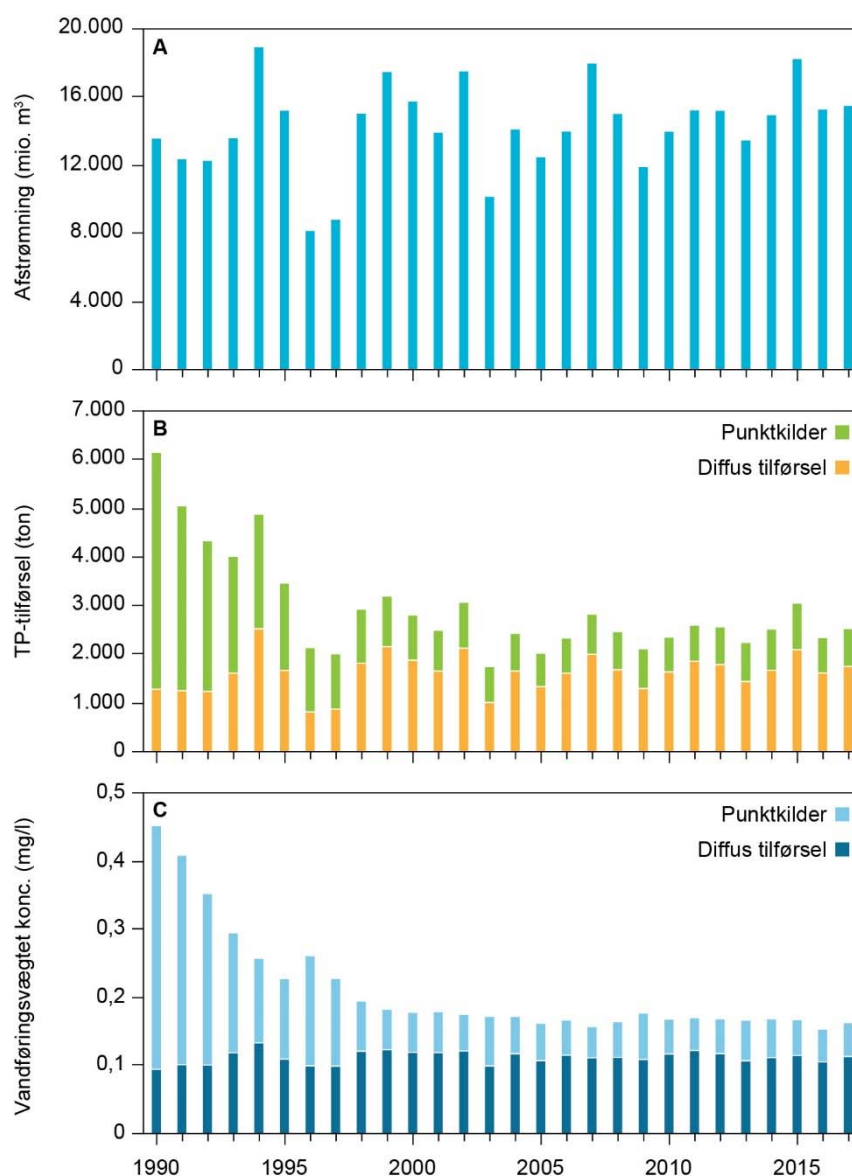
Fosfortilførslen er, som kvælstoftilførslen, opgjort for 2. og 3. ordens kystafsnit, jf. oplandene på kortene fig. 7.3–7.5. For måledatagrundlaget og den metodiske tilgang for opgørelserne henvises til kapitel 5. Måledatagrundlaget for opgørelser af fosfortilførslen er – ligesom for kvælstof – i alt 169 målestationer. For 55 af disse har der ikke været komplette måletidsserier for perioden siden 1990 og der har derfor været foretaget en 'huludfyldning' for fosfortransporten på disse stationer på tilsvarende vis som for kvælstof (Windolf m.fl. 2014). 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 fratrasket 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 et al., 2005). Modellen for den diffuse tilførsel anvender data for jordtype, dyrkningsgrad, andel af vådområder, nedbør og base flow 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 med den nuværende model (Larsen m.fl., 2014b). En sådan bias-korrektion er endnu ikke udarbejdet og data i nærværende rapport er derfor tilvejebragt med den hidtidige "ukorrigerede model".

Ved kildeopsplitningen er den samlede diffuse tilførsel angivet som differensen mellem totaltilførslen og spildevandsudledningerne. Det tilgængelige datasæt for spildevandsudledningerne er tilvejebragt som beskrevet i kapitel 5.1. For data analyseret i 2016 og første 4 måneder af 2017, med forkert analysemetode er der foretaget en korrektion, se afsnit 1.3.1. Der er ligeledes gennemført en analyse af data målt fra 2007 til 2014 skulle korrigeres, der blev ikke fundet grund til at korrigere data fra denne periode, se afsnit 1.3.2. Der er ikke foretaget korrektion af eventuelle fejl analyser på spildevand (Miljøstyrelsen, 2018).

7.2 Fosfortilførsel til havet i 2017

I 2017 blev der i alt beregnet en tilførsel af ca. 2.500 tons fosfor (P) til de danske farvandsområder (Figur 7.1, B). Det er omkring 8% mere end året før. Vandafstrømningen var i 2017 2% højere end året før. Koncentrationen af fosfor i den samlede ferskvandsafstrømning var i gennemsnit 0,163 mg P/l i 2017 mod 0,153 mg P/l i 2016, og er dermed 6% højere (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 2017. 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.



Siden 1990 er der sket et markant fald i de samlede fosfortilførsler til kystvandene. 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 700-1.000 tons fosfor de seneste år. Spildevandsudledningerne af fosfor fra punktkilder udgjorde i 2017, 790 tons og blev dermed ca. 6% højere end i 2016. 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. Spildevandstilledningerne med fosfor til f.eks. 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).

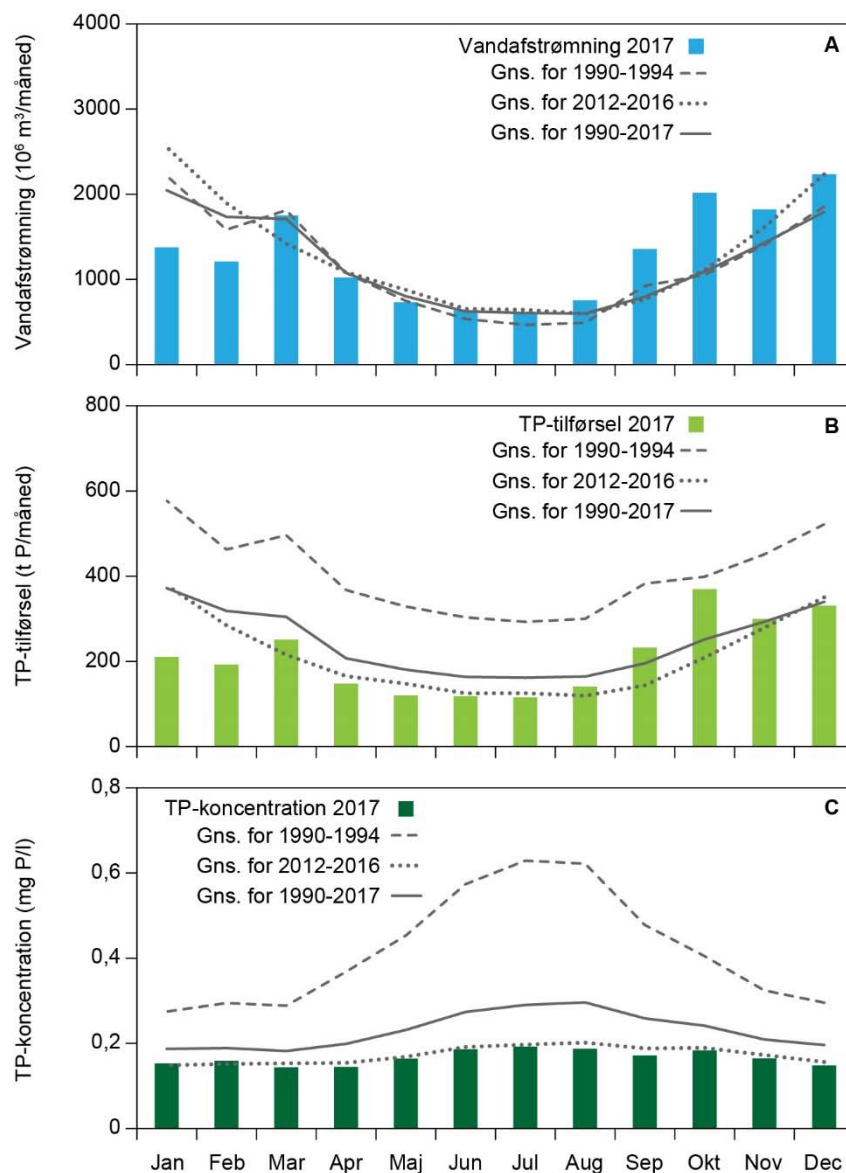
Den markante reduktion i fosfortilførslerne ses specielt tydeligt i udviklingen i de vandføringsvægtede fosforkoncentrationer i den samlede vand- mængde, der strømmer fra land til kystvandene omkring Danmark (Figur 7.1, C). Efter det markante fald frem til slutningen af 1990'erne ses et nær konstant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

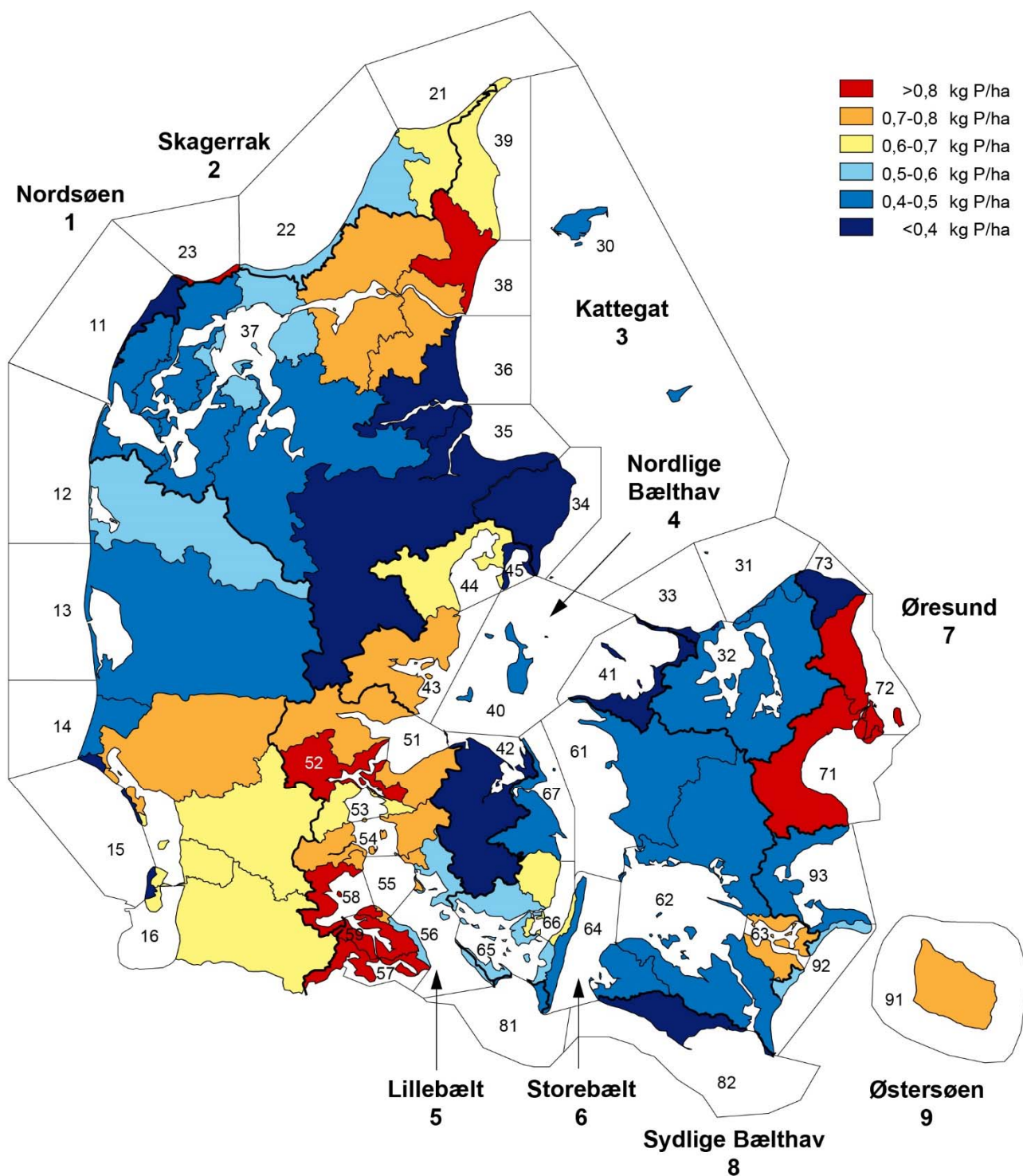
7.3 Sæsonvariation i vandafstrømning og fosfortilførsel

Hen over året 2017 var fosfortilførslerne i alle måneder markant lavere end gennemsnittet for årene 1990-1994 og også lavere end gennemsnittet for perioden 1990-2017, undtagen for årets sidste 4 måneder. I forhold til gennemsnittet for de foregående 5 år 2012-2016 er fosfor tilførslen i 2017 lavere i januar og februar men højere i marts, september og oktober. (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 2017 er det specielt, at fosfortilførslen er højest i oktober hvilket primært skyldes den usædvanligt høje vandafstrømning i oktober. Fosforkoncentrationerne i det afstrømmende vand fra land varierede hen over året 2017, men var – på grund af de reducerede spildevandsudledninger – i alle måneder markant mindre end gennemsnittet for perioden siden 1990-2017 (Figur 7.2, C). Fosforkoncentrationen ligger for alle måneder tæt på gennemsnitskoncentrationen for de sidste 5 år, 2012-2016. Generelt er fosforkoncentrationerne noget større i sommermånederne, fordi ferskvandsafstrømningen er mindre (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).

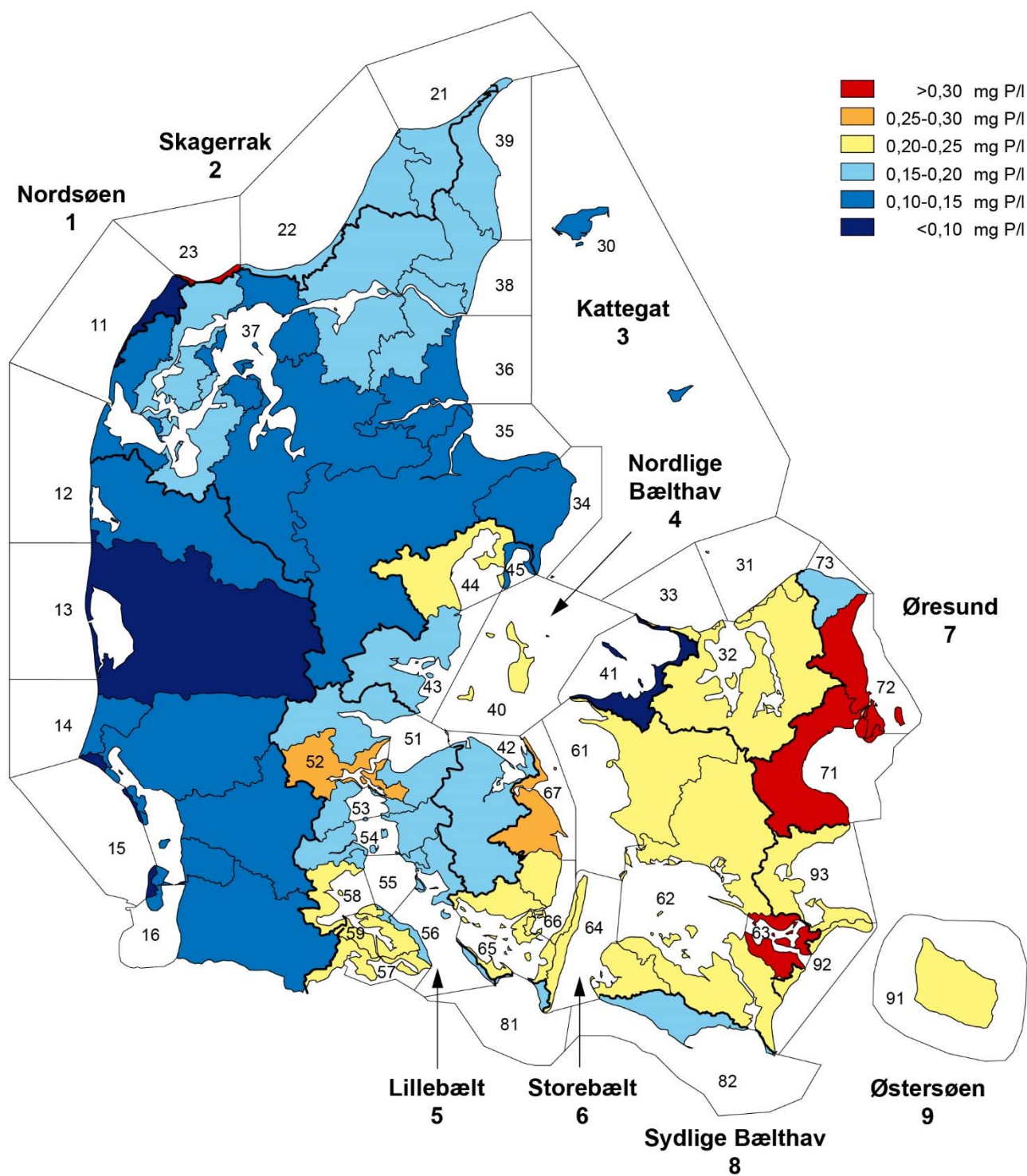
Den regionale tilførsel af kystområderne varierede betragteligt i 2017 (figur 7.3). Størst var oplandstabet (målt som kg P / ha) i enkelte oplande til Lillebælt samt Øresund og Køge bugt, hvor tabet generelt var større end 0,8 kg P / ha. Den vandføringsvægtede koncentration af total-fosfor var i størstedelen af Jylland og Fyn på mellem 0,1 og 0,2 mg P / l, men generelt højere på Sjælland, Østfyn og Lolland Falster (Figur 7.4). De diffuse fosforkilders betydning var generelt størst i Jylland samt oplandene til sydlige Bælthav og Østersøen, mens det var mindst i oplandet til Øresund og Isefjord / Roskildefjord (Figur 7.5).

Figur 7.2. Månedsvise vandafstrømning (A), fosfortilførsel (B) og vandføringsvægtet fosforkoncentration (C) i det afstrømmende vand til havet omkring Danmark i 2017 og som gennemsnit for 1990-2017, 2012-2016 og 1990-1994.

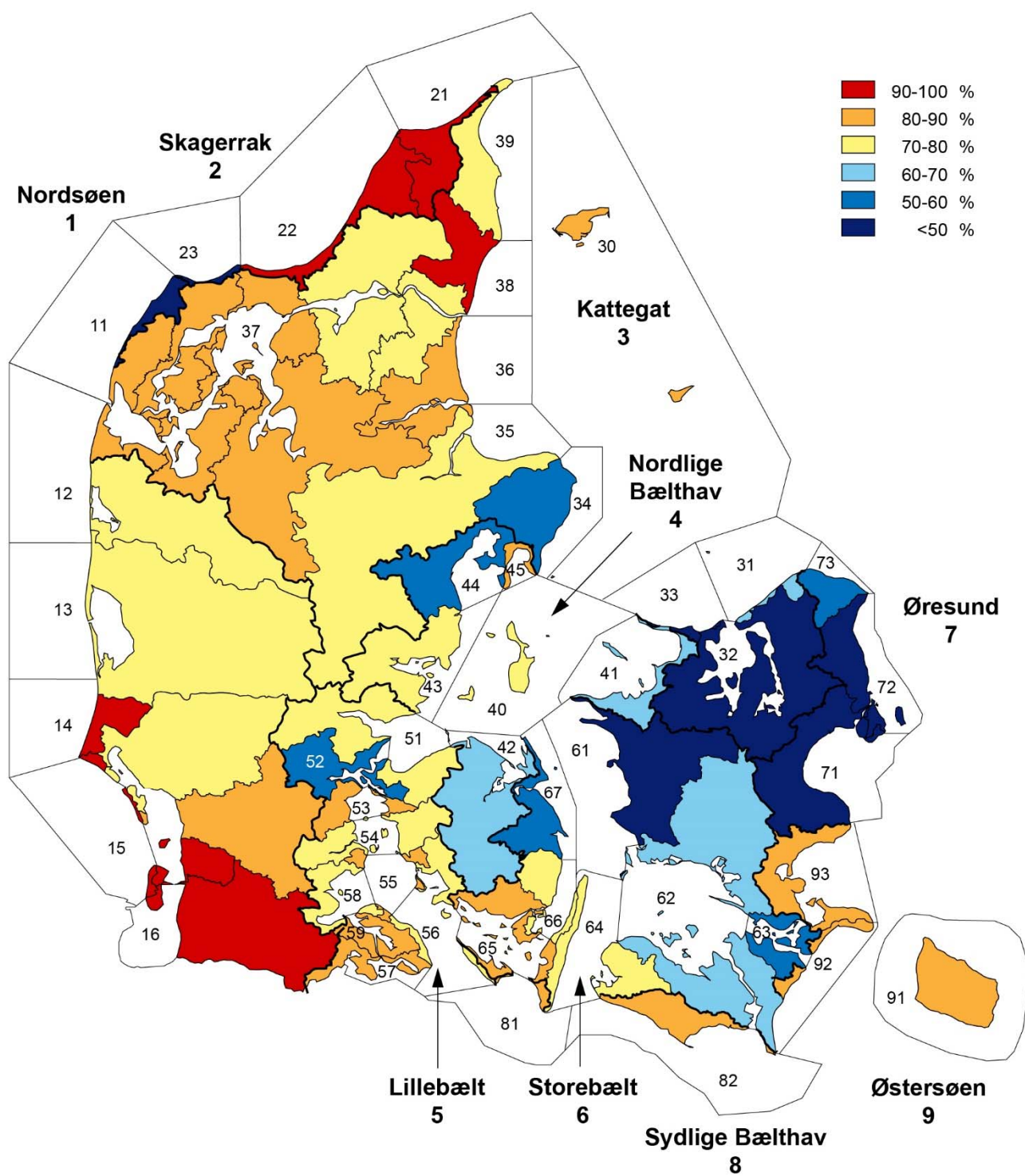




Figur 7.3. Arealspecifikt tab af total-fosfor fra oplandene til marine kystafsnit i 2017.



Figur 7.4. Vandføringsvægtet total-fosforkoncentration i vand afstrømmende til marine kystafsnit i 2017.



Figur 7.5. Diffus (Samlet fosfortilførsel minus fosfor fra punktkilder) andel af den totale fosfortilførsel til kystområderne i 2017

7.4 Udvikling i fosfortilførslen til havet 1990 – 2017

Der har i perioden 1990-2017 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:

$$100 \cdot \frac{\hat{x}_{1990} - \hat{x}_{2017}}{\hat{x}_{2017}},$$

Estimater er beregnet ud fra de to lineære modellers forskrifter. Konfidensintervaller på det samlede fald er beregnet ved anvendelse af standard error på estimerterne for årene 1990 og 2017. Faldet er estimeret til omkring 67 %, varierende mellem 13% til Limfjorden og 80% 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 3), afspejles således ikke i landstallene.

Tabel 7.1. Mann-Kendall trend-test af udviklingen i hhv. den samlede tilførsel af fosfor til kystområderne for perioden 1990–2017. 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	-52
Skagerrak	-69
Kattegat	-51
Nordlige Bælthav	-58
Lillebælt	-67
Storebælt	-64
Øresund	-80
Sydlig Bælthav	-59
Østersøen	-68
Limfjorden	-13
Isefjorden/Roskilde fjord	-76
Danmark	-67 (-74; -57)

7.5 Fosfortilførsel fra målt opland

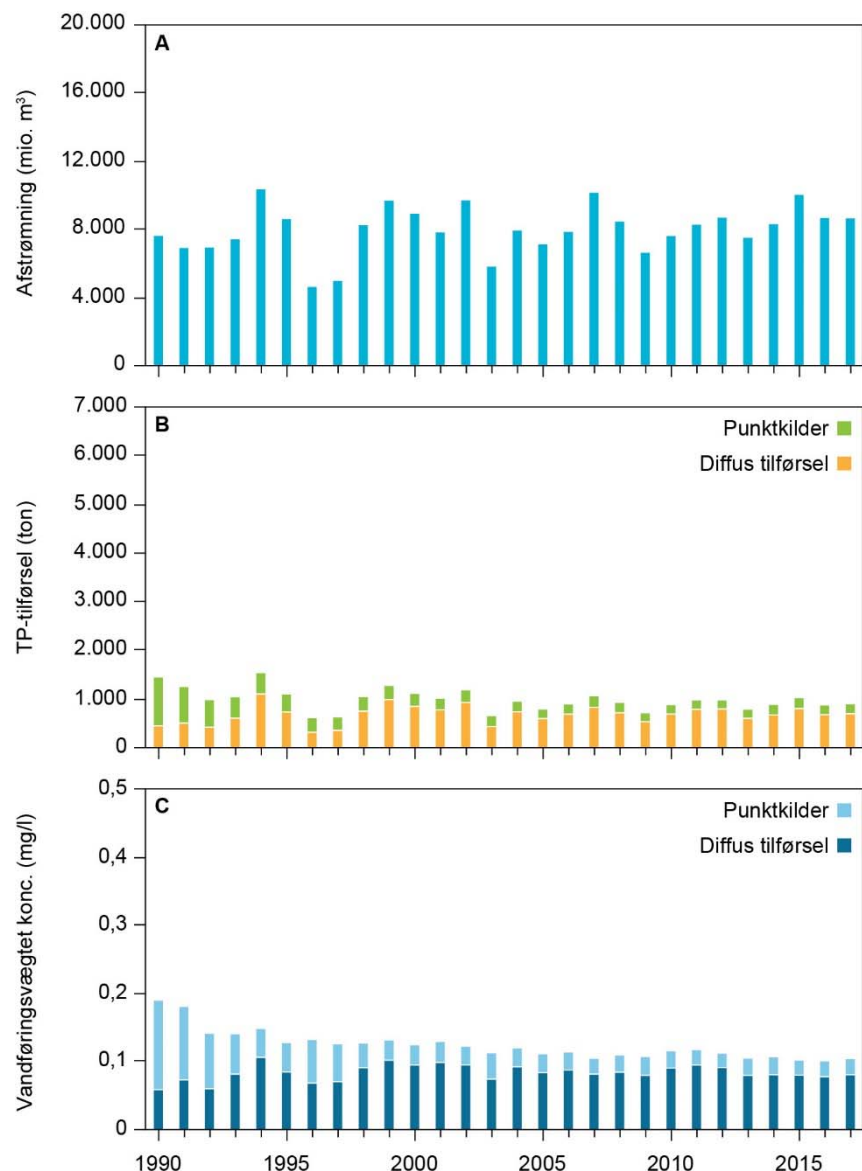
I dette afsnit er fosfortransporten opgjort for det målte opland, altså den del af Danmark som er placeret opstrøms målestationer som har været i drift med TN og TP målinger igennem hele perioden 1990-2017. Det er tilfældet for 108 stationer og dækker ca. 48% af landets areal (20.830 km²).

Vandafstrømningen for det målte opland (108 stationer) er for 2017 opgjort til 406 mm hvilket er næsten det samme som i 2016 (407 mm) og 9% højere end

gennemsnittet for perioden 1990-2016 på 373 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 358 mm i 2017.

Fosfortilførselen fra det målte opland var ca. 870 ton hvilket er en stigning på ca. 3% i forhold til fosfortilførselen i 2016 (figur 7.6, B). Andelen af fosfortilførselen som stammer fra punktkilder er opgjort til 200 ton P, svarende til 23%. 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 udladningsstedet 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, 1990-2017. 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.



Den vandføringsvægtede fosforkoncentration for det målte opland er for 2017 opgjort til 0,103 mg P/l hvilket er ca. 3% højere end de 0,099 mg P/l for 2016 (figur 7.6, C). Fosforkoncentrationen i begyndelsen af måleperioden 1990 til 2017 var højere end den er nu. Middel fosforkoncentrationen 1990 til 1994 var 0,158 mg P/l mens midlet for de sidste fem år er 0,102 mg P/l.

Ved sammenligning mellem Figur 7.5 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

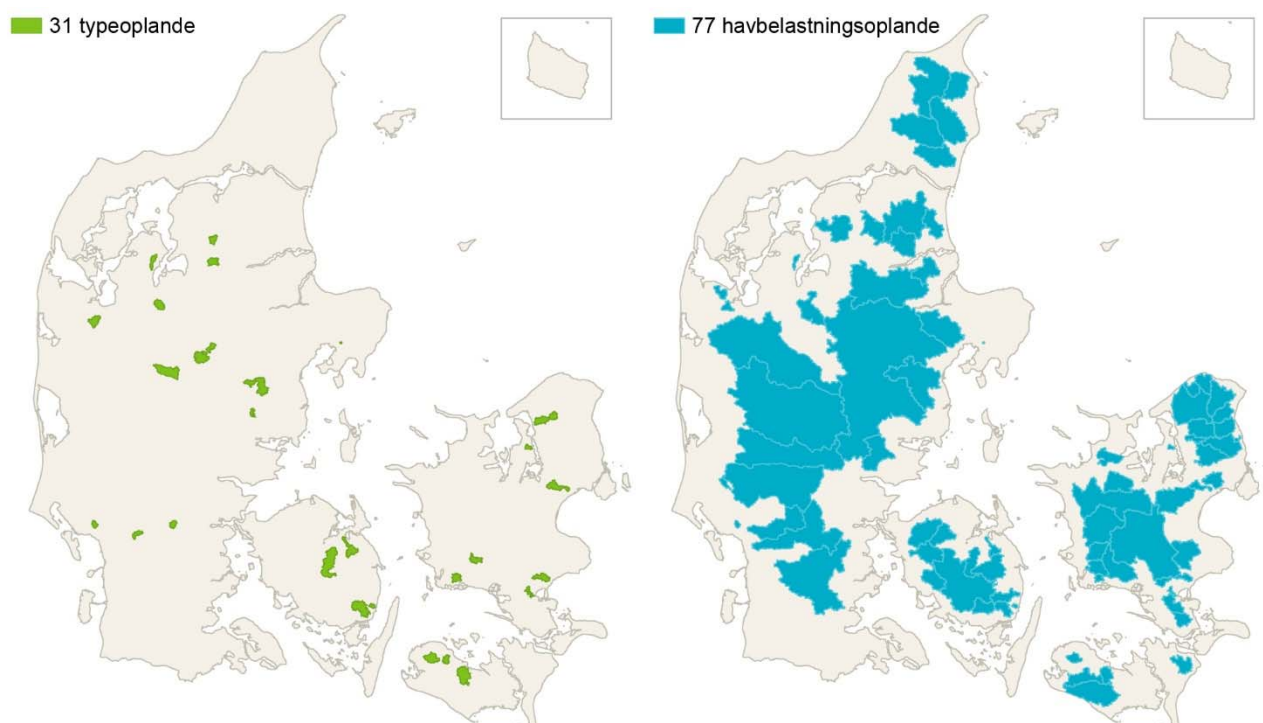
- Den samlede fosfortilførsel fra land til kystvandene i 2017 er beregnet til ca. 2.500 tons P / år. Heraf udgør fosfor udledt med spildevand fra punktkilder ca. 790 tons P / år. Beregningerne dette år er baseret på målinger fra 142 kystnære målestationer i vandløb og en model for det resterende umålte opland.
- Den vandføringsvægtede TP koncentration for hele landet var i 2017 0,163 mg P / l.
- Den vandføringsvægtede TP koncentration for 108 målestationer var i 2017 0,103 mg P / l.
- Fosfortilførslerne fra land til havet er siden 1990 reduceret med omkring 67%, (vurderet ud fra udviklingen i vandføringsvægtede koncentrationer)
- De diffuse kilders andel af den samlede fosfortilførsel til kystvandene var i 2017 omkring 71%.
- Punktkildernes andel af den samlede fosfortilførsel til kystvandene var i 2017 omkring 29%.

8. Nitrat-N-koncentrationer og -transport på målestationer

Henrik Tornbjerg, Hans Thodsen, Gitte Blicher-Mathiesen

8.1 Introduktion

Udviklingen i nitrat-N-koncentrationen og -transporten i perioden 1990 til 2017 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 notat 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.

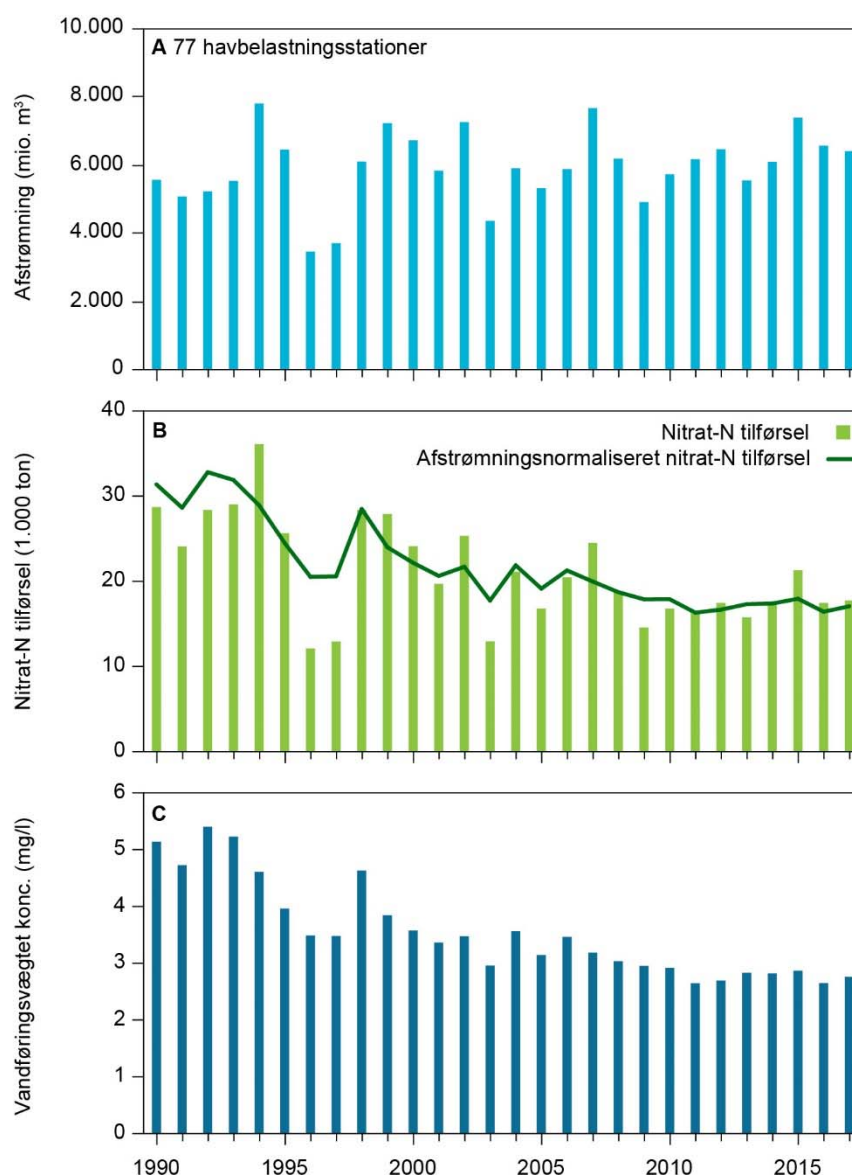
Nitrat-N udgør for de fleste danske vandløb en forholdsvis stabil og høj andel af TN, hvorfor nitrat-N kan bruges som verifikation af TN udviklingen på målestationer (Blicher-Mathiesen, 2017). Vurderinger af status og udvikling i koncentrationen og transporten af nitrat-N er således et supplement til 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.

8.2 Nitrattransport og -koncentration for 77 havbelastningsoplande i 2017

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 2010-2015 varierer den aktuelle nitrat N-transport mellem 15.800 og 21.400 tons N, i 2016 til 17.500 tons N, i 2017 til 17.800 tons N. Vandafstrømningen på de 77 stationer var i 2017, 8% over middel i forhold til for måleperioden 1990 til 2016.

Figur 8.2. Havbelastningsoplandenes udvikling i ferskvandsafstrømning som sum 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 1990-2017. Kort med geografiske placering af de 77 havbelastningsoplande figur 8.1. (Blicher-Mathiesen m.fl., 2017).



Den afstrømningsnormaliserede nitrat-N transport var i perioden mellem 2010 - 2015 til 16.300 til 17.900 tons. I 2016 var den 16.400 tons, og i 2017 17.100 tons nitrat-N.

Den vandføringsvægtede nitrat-N koncentration var imellem 2010 og 2015 2,7 og 3,0 mg Nitrat-N /l. I 2016 var den 2,7 mg Nitrat-N /l og i 2017 2,9 mg Nitrat-N /l.

8.3 Nitrattransport og -koncentration for 31 landbrugsdominerede typeoplande

Med typeoplande menes dyrkningsdominerede, små oplande. 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 f.eks. i Gudenåen. En respons på ændring i dyrkningspraksis, herunder ændret gødsning, 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 tidslige variation i vandafstrømning, nitrat-koncentration og -transport er relateret til variationer i klimaet. Først og fremmest variationer i nedbøren.

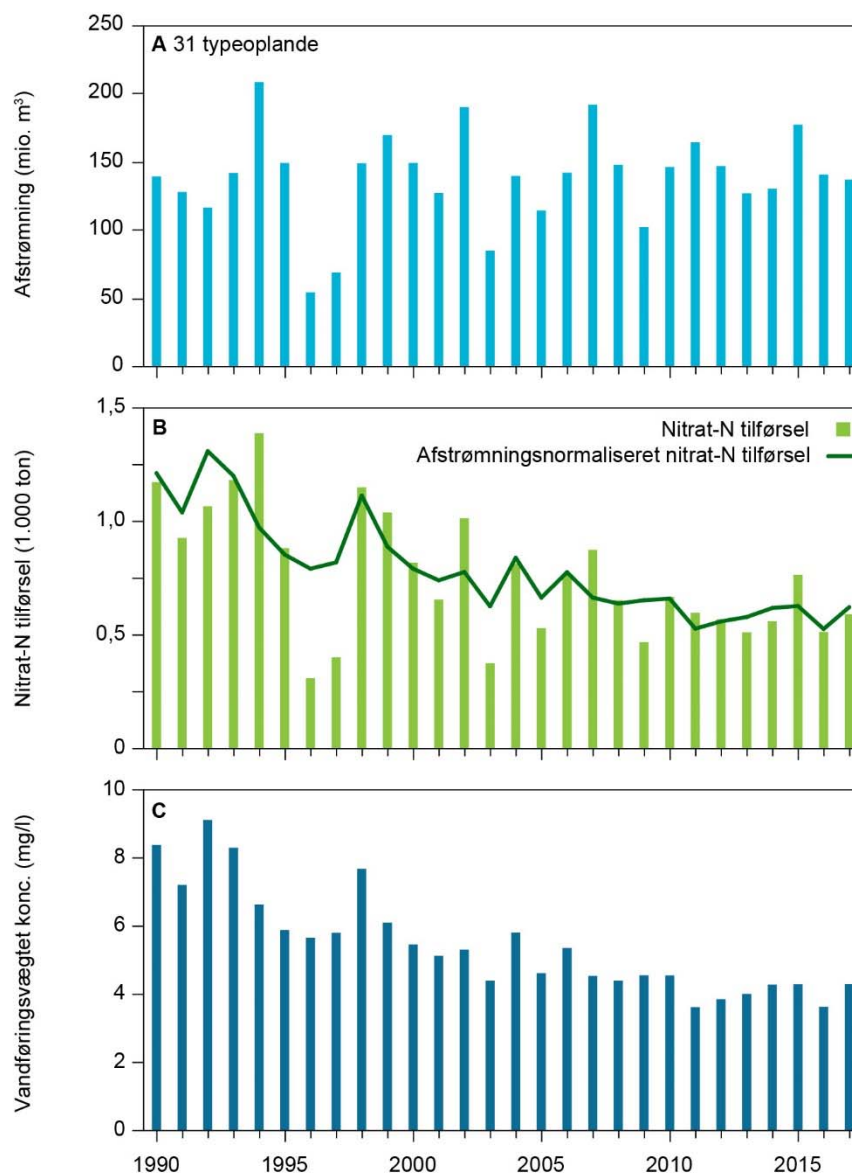
De nationale data for dyrkningsdominerede typeoplande omfatter årlige målinger af total-N på 44 målestationer i perioden 1990-2017, hvor der er målt i alle år. På 31 af disse stationer findes desuden en fuld tidsserie, hvor der hvert år også er målt nitrat. Her præsenteres derfor nitratmålinger for disse 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 på grund af manglende stationer med fuld tidsserie af årlige nitratmålinger i perioden 1990-2017 (figur 8.1). De 31 typeoplande dækker et samlet areal på 566 km² og har en gennemsnitlig dyrkningsandel på 71 % af oplandsarealet.

Den aktuelle nitrat-N transport for de 31 typeoplande viser stor, år til år, variation, som det også ses for vandafstrømningen (Figur 8.3). Den aktuelle nitrat-N transport variere i periode 2010-2015 imellem 510 og 770 tons Nitrat-N. I 2016, er nitrat-N transporten på 520 tons nitrat-N og i 2017 590 tons nitrat-N. Afstrømningen for 2017 var 246 mm lidt under middel for måleperioden 1990 – 2016 (243 mm).

Den afstrømningsnormaliserede nitrat-N-transport udgjorde i perioden 2010 – 2015 mellem 530 og 660 tons nitrat-N. I 2016 er den afstrømningsnormaliserede nitrat N-transport 530 tons nitrat-N og 620 tons nitrat-N i 2017. Den afstrømningsnormaliserede nitrat-N transport er opgjort som en sum for alle typeoplande.

Den vandføringsvægtede nitrat N-koncentration svinger i perioden 2010 – 2015 imellem 4,7 mg nitrat-N /l og 3,8 mg nitrat-N /l. I 2016 er koncentrationen 3,8 mg nitrat-N /l og i 2017 4,5 mg nitrat-N /l.

Figur 8.3. 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 1990-2017. Kort med den geografiske placering af typeoplandene figur 8.1. Blicher-Mathiesen m.fl., 2017).



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, en stigning i perioden 2011-2015 og et fald i 2016 til stort set det samme lave niveau som i 2011 mens 2017 er på niveau med 2014 - 2015.

Når nitrat-N transport opgøres for kalenderår som her, vil der typisk være større år til år variation, end hvis opgørelsen følger hydrologiske år (1. april til 31.marts). Det betyder, at der skal måles i en årrække, for at der kan konkluderes på trend i nitrat-N transport. Desuden er det som før nævnt vanskeligt at udjævne år til år variation fuldstændigt med metoden, der anvendes til at afstrømningsnormalisere den målte nitrat-N transport.

9. Alkalinitet i Danske vandløb

Hans Thodsen, Søren E. Larsen, Henrik Tornbjerg

9.1 Introduktion

Alkalinitet er et mål for mængden af kemiske baser (basiske ioner) i vandet. Alkalinitet er således et mål for vandløbets evne til at neutralisere syrepåvirkninger. Alkalinitet måles i mmol/L.

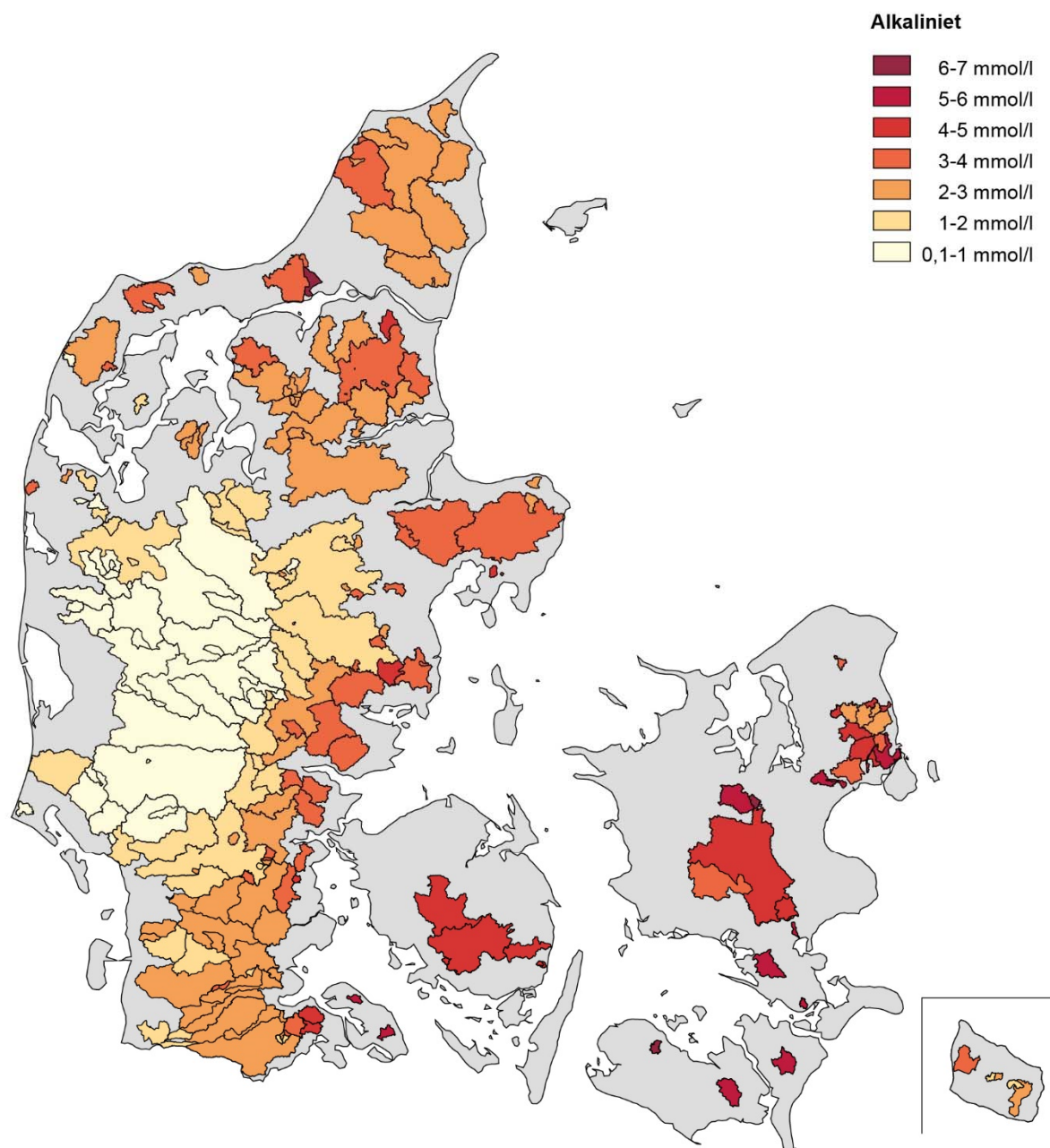
Alkaliniteten af vandløbsvand afhænger af mængden/koncentrationen af basiske ioner i det til strømmende vand og derved af mængden af opløselige basiske ioner i de geologiske lag som vandet passere på vej fra overfladen til vandløbet. Vand fra kalkrige og svagt udvaskede jorde/geologiske lag (øst for sidste istids hovedopholdslinje) vil derfor have en højere alkalinitet end vand fra stærk udvaskede jorde/geologiske lag uden kalk (vest for sidste istids hovedopholdslinje).

Alkalinitet er siden oprettelsen af overvågningsprogrammet i 1990 til udgangen af 2017 målt ca. 49.400 gange i vandløb, kilder og dræn, på 2043 stationer. For 440 stationer er alkalinitet målt ≥ 20 gange (op til 1038 gange). Landovervågningsprogrammet (LOOP) bidrager med mange målinger. Antallet af årlige målinger er faldet igennem perioden fra >1600 pr år i 1990-1992 til ca. 400 pr år i 2013-2016 og 577 i 2017, hvor der er kommet flere stationer med.

9.2 Resultater

Middelkoncentrationen af alle værdier er 2.46 mmol/L.

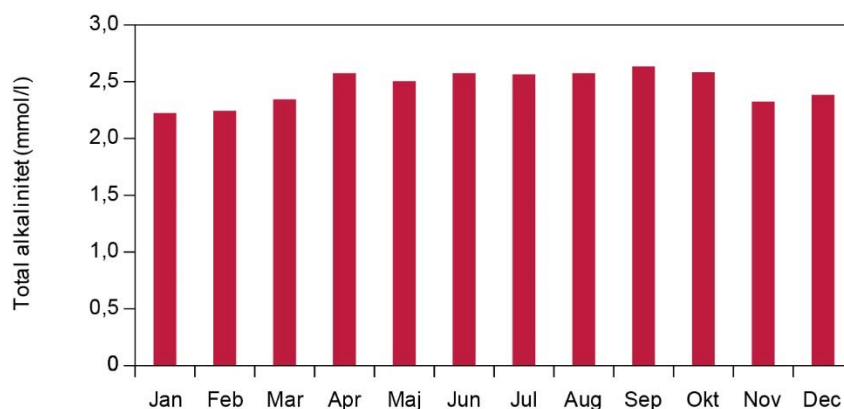
Geografisk fordeler stationerne sig over landet som vist på Figur 9.1. Det ses tydeligt, at de højeste værdier findes på Sjælland, Fyn, i Østjylland samt enkelte steder i Nordjylland mens de laveste værdier findes i Vestjylland og langs hovedopholdslinjen i Midtjylland.



Figur 9.1. Gennemsnitlig alkalinitet i danske vandløbsoplande med minimum 20 målinger og hvor oplandet findes som kort i oplandsdatabasen.

Den månedsgennemsnitlige alkalinitet (af alle målinger, 3225 pr. måned (Juli) til 5545 pr. måned (April)) er vist i Figur 9.2. Alkaliniteten ses at være højest i månederne april til oktober (ca. 2,6 mmol/L) og lavere i den resterende del af året (ca. 2,3 mmol/L).

Figur 9.2. Månedsgennemsnitlig alkalinitet i danske vandløb, dræn og kilder. Baseret på ca. 49400 målinger, minimum 3225 pr. måned.



9.3 Trend

Der er foretaget en trend analyse (Mann-Kendall) på årsmiddel værdier. Analysen er begrænset til stationer med ≥ 120 målinger, fordelt på ≥ 10 år med ≥ 12 målinger pr. år, i alt 45 stationer (42 vandløb og 3 dræn). Kun en station har, på de betingelser, fuld tidsserie med 28 års data (1990-2017).

19 stationer (16 vandløb og 3 dræn) har en signifikant trend ($P < 0,05$) af disse har alle 19 en positiv trend (stigende alkalinitet igennem perioden).

Af de 42 vandløb der indgår i analysen, er der 20 større vandløb (80-1550 km² opland) (de fleste vest danske). Seks af disse Brøns å, Ry å, Holtum å, Ribe å, Kongeåen og Skjern å viser en signifikant ($P < 0,05$) positiv trend, ved den længst nedstrøms station.

10. Miljøfremmede forurenende stoffer og tungmetaller

Jes J. Rasmussen

10.1 Miljøfremmede forurenende stoffer og tungmetaller

Kontrolovervågningen af miljøfremmede forurenende stoffer (MFS) og metaller i NOVANA-overvågningen af vandløb omfatter 25 vandløbsstationer med undersøgelse ved hver station i ét år i løbet af programperioden 2017-2021. Overvågningen er tilrettelagt, således at der i udgangspunktet skal indsamles prøver fra fem stationer pr. år. De årlige undersøgelser omfatter 12 vandprøver pr. vandløbsstation (indsamlet med månedlige intervaller) samt en sedimentprøve. Derudover indsamles ved hver station fisk til kvantificering af udvalgte stoffer, som bioakkumuleres i biotaen.

De stoffer, hvis forekomst kvantificeres under kontrolovervågningsprogrammet for vandløb, er fordelt på ni grupper: metaller, pesticider, aromatiske kulbrinter, phenoler, polyaromatiske hydrocarboner (PAH), blødgørere, halogenerede alifatiske kulbrinter, perflourerede forbindelser og organotinforbindelser. Den samlede liste over analyserede parametre kan findes i programbeskrivelsen for NOVANA 2017-2021 (Miljøstyrelsen og Nationalt Center for Miljø og Energi 2017).

I det følgende gives en overordnet beskrivelse af indholdet af hvert af stofferne i de vandløb, der er undersøgt ifm. NOVANA-kontrolovervågningsprogrammet for 2017. Resultater for den foregående fulde programperiode (2010-2015) er beskrevet i Thodsen m.fl. (2016).

10.2 Fund under detektionsgrænsen

I tilfælde, hvor et stof forekommer i vandprøver i lavere koncentrationer end den analytiske detektionsgrænse, anvendes følgende fremgangsmåde til beregning af middelværdi, median osv. (Boutrup m.fl. 2015): Hvis fundhyppigheden er større end 20 % for prøver indsamlet i samme vandløb, indgår værdier mindre end detektionsgrænsen i beregning af middelværdi, median osv. med værdien $1/2 \cdot \text{detektionsgrænse}$. Ved fundhyppigheder under 20 % indgår værdier under detektionsgrænsen med værdien nul.

For evt. fund under detektionsgrænsen i sedimentprøver foretages ingen justering af koncentrationerne, disse beskrives som egentlige nul-værdier.

10.3 Miljøkvalitetskrav

Endnu findes kun miljøkvalitetskrav (MKK) for få miljøfremmede forurenende stoffer og metaller i vandløbssediment og biota (bekendtgørelse nr. 1625 af 19/12/2017), mens der findes miljøkvalitetskrav for de fleste stoffer i vandløbsvand. Miljøkvalitetskrav for miljøfremmede forurenende stoffer og metaller i vandløbsvand sammenholdes med den årlige gennemsnitsværdi for den enkelte vandløbsstation. Den årlige gennemsnitskoncentration for stoffer, der indgår på EU's liste for prioriterede stoffer udregnes på baggrund af 12 årlige målinger. For øvrige stoffer, hvor der er fastsat nationale MKK

beregnes den årlige gennemsnitskoncentration på baggrund af 4 årlige målinger.

Ved vurderinger af evt. overskridelser af de fastsatte MKK for metaller er baggrundskoncentrationer, hvor de er fastlagt, indregnet i MKK.

10.4 Miljøfremmede forurenende stoffer og metaller i vandfasen

Der er indsamlet vandprøver til kvantificering af den fulde analysepakke for miljøfremmede forurenende stoffer (MFS) og metaller i vandfasen på 5 kontrolovervågningsstationer i 2017. For hver af disse stationer regnes årlige gennemsnitskoncentrationer for hvert stof, og der rapporteres middel, minimum og maksimum koncentrationer på baggrund af disse data (n=5). For de stoffer, hvor der findes MKK, angives hyppigheden af overskridelser af disse.

10.4.1 Metaller

Metaller er naturligt forekommende i miljøet, men frigivelse fra fossile brændstoffer, indhold i handelsgødning og dyrefoder og frigivelse i forbindelse med sænkning af grundvandsspejl betyder, at de kan forekomme i forhøjede koncentrationer. De koncentrationer, der måles i NOVANA-programmet, repræsenterer summen af baggrundsniveau og menneskeskabte udledninger (Boutrup m.fl. 2015).

De fleste metaller blev fundet med detektionsfrekvenser tæt på 100 %. Miljøkvalitetskravene for de fleste metaller skal vurderes i relation til aktuelle baggrundskoncentrationsniveauer for at kunne sammenholde fundkoncentrationerne med tilladte grænseværdier (Boutrup m.fl. 2015). Disse baggrundskoncentrationsniveauer er estimeret for barium, kobber, nikkel, zink og vanadium (Bak & Larsen 2014). Dog er MKK for vanadium uafhængig af baggrundskoncentrationer (jf. Bek. nr 1625 af 19/12/2017).

Barium, kobber og zink blev i 2017 fundet i gennemsnitskoncentrationer, der var højere end miljøkvalitetskravet på mindst en af de fem undersøgte stationer (Tabel 10.1). Dog er der for både kobber og zink opstillet et supplerende MKK, der gælder for den biotilgængelige fraktion, og det er ikke undersøgt, hvorvidt beregninger af den biotilgængelige fraktion medfører et ændret billede af de registrerede overskridelser af MKK. Kobber og specielt zink har en stor og bred anvendelse i Danmark og kan som følge heraf genfindes i udledninger fra punktkilder som renseanlæg og regnbetingede udledninger fra fælleskloakerede områder. Ligeledes anvendes zink i betydelige mængder i landbrug. På baggrund af datagrundlaget i NOVANA er det ikke muligt at fastslå hvilke af disse mulige kilder, der har givet ophav til overskridelse af miljøkvalitetskravene.

Tabel 10.1. Metaller i vandløbsvand fra kontrolovervågningsstationer i 2017. Det er angivet, om de årlige koncentrationer for hver station er beregnet på baggrund af 4 eller 12 årlige målinger. De angivne gennemsnitskoncentrationer samt min. og maks. koncentrationer er beregnet på baggrund af de stationsspecifikke årlige gennemsnitskoncentrationer (n=5). DG = Detektionsgrænse.

Parameter	Antal stationer	Antal årlige målinger per station	Gns. konc. (µg/L)	Koncentrationsinterval af årlige gns. (µg/L)	Andel af målinger > DG (%)	Generelt kvalitetskrav (µg/L)	Antal stationer, hvor MKK er overskredet
Arsen	5	4	0,60	0,17-0,95	100	4,3	0
Barium	5	4	54,33	28,75-90,0	100	34 ¹	3
Bly	5	12	0,06	0,04-0,08	73,8	1,2 ²	0
Cadmium	5	12	0,019	0,005-0,045	85,3	0,08-0,25 ³	0
Krom	5	4	0,31	0,10-0,46	95,8	3,4	0
Kobber	5	4	0,94	0,25-1,75	100	1,66 ¹	1
Nikkel	5	12	1,19	0,50-1,65	98,4	4,82 ¹	0
Vanadium	5	4	0,38	0,12-0,95	100	23,6	0
Zink	5	4	8,97	2,75-18,29	100	9,3 ¹	1

¹Kvalitetskravet er korrigeret for baggrundskoncentrationen.

²Kvalitetskravet kan ikke korrigeres for baggrundsniveau.

³Afhængig af vandets hårdhedsgrad.

10.4.2 Pesticider

Pesticider er en samlet betegnelse for midler anvendt til ukrudts-, insekt- og svampebekæmpelse samt til vækstregulering i afgrøder. Stofferne har udbredt anvendelse i landbruget, men mange aktivstoffer anvendes ligeledes som biocider f.eks. til desinfektion, konservering eller skadedyrsbekæmpelse. Overvågningen af pesticider i vandløbsvand omfatter en række herbicider og nedbrydningsprodukter af disse samt to insekticider. Der indsamles mindst 4 vandprøver per station, og disse vandprøver ligger til grund for beregnede årsgennemsnitskoncentrationer for hvert stof på hver station. For stofferne på EU's liste over prioriterede stoffer er der indsamlet 12 årlige prøver (se Tabel 10.2).

De hyppigst fundne stoffer er glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA, og MCPA (tabel 10.2). Tilsvarende er de højeste årsgennemsnitskoncentrationer af enkeltstoffer fundet for glyphosat og AMPA (tabel 10.2). I det omfang, der er fastsat miljøkvalitetskrav for enkeltstoffer, er der ikke fundet overskridelse af kvalitetskravene på NOVANA-stationerne. Ligeledes er de fundne koncentrationsniveauer langt under de regulatoriske acceptable koncentrationer (RAC), der benyttes i risikovurderingen af pesticider inden for EU (se Pesticide Properties DataBase for økotoksikologiske data for pesticider; <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>).

Generelt er der i 2017 fundet betydeligt færre bekæmpelsesmidler samt betydeligt lavere fundprocenter og koncentrationer for de enkelte bekæmpelsesmidler sammenlignet med gennemsnitsværdierne for hele den foregående overvågningsperiode (2011-2015) (Thodsen m.fl. 2016). Dog er fundprocenter og årsgennemsnitskoncentrationer af udvalgte stoffer (glyphosat, AMPA og MCPA) sammenlignelige med foregående overvågningsperiode på de enkelte stationer.

Internationale undersøgelser har vist, at maksimumkoncentrationerne af pesticider, især de stærkt lipofile stoffer (fx pyrethroide insekticider), typisk forekommer ifm. kraftige nedbørshændelser, hvor koncentrationsniveauet

overordnet øges betragteligt (op til en faktor 10) sammenlignet med koncentrationer under basisvandføring (f.eks. Bundschuh m.fl. 2014; Rasmussen m.fl. 2015). Da vandprøverne i forbindelse med overvågningen er indsamlet uafhængigt af klima og nedbør, må det forventes, at de fundne årsgennemsnitkoncentrationer kan være underestimerede især for de lipofile stoffer. Ydermere, fra og med 2017 er der for alle stoffer, der ikke er på EU's liste for prioriterede stoffer, ændret målefrekvens fra tidligere 12 årlige målinger til nu 4 årlige målinger, hvilket øger usikkerheden på de udregnede årsgennemsnitkoncentrationer.

Tabel 10.2. Pesticider og nedbrydningsprodukter af herbicider i vandløbsvand fra kontrolovervågningsstationer for 2017. Koncentrationerne er gennemsnit af de stationsspecifikke årsgennemsnit (n=5). Koncentrationer er angivet med enheden µg/L. Forreliggende generelle miljøkvalitetskrav er præsenteret. Pesticidtyperne er indikeret med I (insekticider), H (herbicider) samt N (nedbrydningsprodukter). DG = Detektionsgrænse.

Parameter	Type	Antal stationer	Antal årlige målinger per station	Gns. konc. (µg/L)	Konc. inter-val af årlige gns. (µg/L)	Andel af målinger > DG (%)	Generelt kvalitetskrav (µg/L)	Antal stationer, hvor MKK er overskredet
2,6 dichlorobenzamid (BAM)	N	5	4	<DG	<DG	0	78	0
AMPA ²	N	5	4	0,039	<DG-0,095	54,5		
Atrazin	H	5	12	<DG	<DG	0	0,6	0
Bentazon	H	5	4	<DG	<DG	0	45	0
Chlorpyrifos	I	5	12	<DG	<DG	0	0,03	0
Cypermethrin	I	5	12	<DG	<DG	0	8*10 ⁻⁵	0
Diuron	H	5	12	<DG	<DG	0	0,2	0
DNOC ³	N	5	4	<DG	<DG	0		
Glyphosat	H	5	4	0,098	<DG-0,177	40,9		
Isoproturon	H	5	12	<DG	<DG	0	0,3	0
Irgarol 1051	H	5	12	<DG	<DG	0		
MCPA ⁴	H	5	4	0,003	<DG-0,014	23,6		
Mechlorprop	H	5	4	<DG	<DG	0	18	0
Prosulfocarb	H	5	4	<DG	<DG	0		
Simazin	H	5	12	<DG	<DG	0	1	0
Trichloredikesyre	H	5	4	0,002	<DG-0,006	9,1		

¹ Fundprocent baseret på alle prøver (n = 20-60)

² Amino Methyl Phosphonic Acid

³ DiNitro-Ortho-Cresol

⁴ 2-phenyl-4-chlorphenoxy eddikesyre

10.4.3 Øvrige miljøfremmede forurenende stoffer i vandløbsvand

Ud over metaller og bekæmpelsesmidler indgår en række øvrige miljøfremmede forurenende stoffer i kontrolovervågningsprogrammet for NOVANA. Sammensætningen af stoffer, der analyseres under NOVANA kontrolovervågningsprogrammet for vandløbsvand, er ændret fra og med 2017 og rummer nu blødgørere og et enkelt stof fra gruppen af halogenerede alifatiske kulbrinter. Fundhyppigheder og koncentrationer for disse ses i tabel 10.3. Generelt blev der i 2017 fundet lave fundfrekvenser og koncentrationer (sammenholdt med miljøkvalitetskravene) af alle disse stoffer, og ingen af stofferne blev fundet i koncentrationer højere end kvalitetskravet.

Tabel 10.3. Phtalater, detergenter og blødgørere i vandløbsvand fra kontrolovervågningsstationer i 2017. Koncentrationer er angivet med enheden µg/L. Foreliggende generelle miljøkvalitetskrav er præsenteret. DG = detektionsgrænse.

Parameter	Antal stationer	Antal årlige målinger per station	Gns. konc. (µg/L)	Konc. interval af årlige gns. (µg/L)	Andel af målinger > DG	Generelt kvalitetskrav (µg/L)	Antal stationer, hvor MKK er overskredet
Blødgørere							
Benzylbutylphthalat	5	4	<DG	<DG	0		
Dibutylphthalat	5	4	0,031	<DG-0,088	36,4	2,3	0
Diisononylphthalat	5	4	<DG	<DG	0		
Di-n-octylphthalat	5	4	<DG	<DG	0		
DEHP	5	12	0,002	<DG-0,01	1,7		
Di(2-ethylhexyl)adipat	5	4	<DG	<DG		0,7	0
Halogenerede alifatiske kulbrinter							
Chloroform	5	12	0,012	<DG-0,044	27,1		

10.5 Miljøfremmede forurenende stoffer i sediment og biota

Der er indsamlet sedimentprøver til kvantificering af MFS og metaller bundet til vandløbssedimenter på 4 kontrolovervågningsstationer i 2017. Ved en af de planlagte 5 stationer var det ikke muligt at indsamle en sedimentprøve. I modsætning til vandprøver indsamles der kun én sedimentprøve per station. Det vil sige, at der ikke angives årlige gennemsnitkoncentrationer på stationsniveau. I stedet angives gennemsnitskoncentrationer samt minimum og maksimumkoncentration for hvert stof på tværs af de 4 overvågningsstationer.

For de stoffer, hvor der findes MKK, angives hyppigheden af overskridelser af disse. For en række stoffer er MKK afhængig af fraktionen af organisk kulstof (f_{oc}) i sedimentet. Der var kun tilgængelige data for organisk kulstof for tre af stationerne. Derfor er der for alle fire stationer i stedet anvendt glødetab som proxy for f_{oc} (jf. Boutrup m.fl. 2015).

Data for MFS i biota er indsamlet på de samme 4 stationer, på hvilke sedimentprøver også er indsamlet til analyser for MFS. Disse data er imidlertid ikke tilgængelige i overfladevandsdatabasen (ODA), men vil blive medtaget i næste års NOVANA rapportering.

Som for MFS og metaller i vandløbsvand, er analysepakken for MFS i vandløbssedimenter ændret fra og med 2017, herunder analyseres der ikke længere for metaller i vandløbssedimenter, mens analysepakken er blevet suppleret med en række øvrige MFS, herunder en række fenoler. Nedenstående gennemgås fund og koncentrationer opdelt efter stofgrupper.

10.5.1 Aromatiske kulbrinter

Aromatiske kulbrinter findes som naturlige bestanddele i olieprodukter samt nedbrydningsprodukter af olieprodukter. Aromatiske kulbrinter med en kulbrintering er oftest flygtigt forekommende og hurtigt nedbrydelige og findes oftest kun i vandfasen. Derimod har aromatiske kulbrinter med to kulbrinteringe (naphtalener) større affinitet for at binde sig til sedimenter og andre partikler.

Vandløbssedimenter på de 4 kontrolovervågningsstationer er undersøgt for indhold af 5 forskellige aromatiske kulbrinter, hvoraf de fire hører til gruppen af methylnaphtalener. Det gældende MKK (jf. bek. nr. 1625 af 19/12/2017)

for methylnaphthalener omfatter sumkoncentrationen af methylnaphthalener. Dette MKK er for den enkelte vandløbsstation derudover afhængig af den målte fraktion af organisk kulstof (f_{OC}). Det stationsspecifikke MKK blev beregnet ved anvendelse af glødetab som proxy for f_{OC} . Sumkoncentrationen af methylnaphthalener var højere end MKK ved 2 af de 4 stationer (sumkoncentrationsinterval = 41,6 – 143,6 $\mu\text{g/kg}$). For naphthalen blev der ikke fundet koncentrationer højere end MKK ved nogen af de 4 stationer.

Tabel 10.4. Aromatiske kulbrinter i vandløbssediment fra 4 kontrolovervågningsstationer i 2017. Alle koncentrationer er angivet med enheden $\mu\text{g/kg}$ TS. DG=detektionsgrænse.

Parameter	Antal stationer	Gns. konc. ($\mu\text{g/kg}$)	Konc. inter-val. ($\mu\text{g/kg}$)	Andel af fund > DG (%)	MKK ($\mu\text{g/kg}$)	Antal stationer, hvor MKK er overskredet
1-methyl-naphthalen	4	5,6	4,0-9,0	100	$\Sigma=478 \times f_{OC}^1$	2
2-methyl-naphthalen	4	4,5	4,0-6,8	100		
Dimethylnaphthalener	4	53	27-110	100		
Trimethylnaphthalener	4	113	<DG-64	75	138	0
Naphthalen	4	36,4	3,6-65	100		

¹MKK er baseret på sumkoncentrationen af alle methylnaphthalener i sedimentet og normaliseres ift. fraktionen af organisk stof i den enkelte sedimentprøve.

10.5.2 Polyaromatiske kulbrinter

Polyaromatiske kulbrinter (PAH) er en væsentlig bestanddel i mange typer af råolie og dannes desuden også ved ufuldstændig forbrænding af organisk stof. Derfor er der både naturlige og antropogene kilder til PAH'ere. De spredes primært ved atmosfærisk transport, men vil også via overfladeafstrømning kunne blive tilført vandløbene.

De polyaromatiske kulbrinter er fundet over detektionsgrænserne i alle 4 vandløb. Der ses en stor spredning i koncentrationsniveauerne for størstedelen af stofferne, hvor spredningen spænder op til flere størrelsesordener mellem vandløbsstationerne (tabel 10.5). Koncentrationen af antracen var højere end miljøkvalitetskravet på den ene af vandløbsstationerne (tabel 10.5).

Tabel 10.5. Polyaromatiske kulbrinter i vandløbssediment fra 4 kontrolovervågningsstationer i 2017. Alle koncentrationer er angivet med enheden µg/kg TS. DG=detektionsgrænse.

Parameter	Antal stationer	Gns. konc.	Konc. interval.	Andel af fund > DG (%)	MKK	Antal stationer, hvor MKK er overskredet
1-methylpyren	4	<DG	<DG	0		
2-methylphenanthren	4	3,9	<DG-10	50		
2-methylpyren	4	<DG	<DG	0		
Acenaphten	4	7,5	<DG-19	50		
Acenaphtylen	4	7,8	<DG-17	75		
Antracen	4	16,9	6-37	100	24	1
Benz(a)anthracen	4	39,8	<DG-110	75		
Benz(a)fluoren	4	<DG	<DG	0		
Benz(ghi)perylene	4	82,5	22-230	100		
Benz[a]pyren	4	72	<DG-230	75		
Benzfluranthen b+j+k	4	158	42-440	100		
Benzo(e)pyren	4	58,5	15-160	100		
Crysen/triphylen	4	57,8	19-140	100		
Dibenz(ah)anthracen	4	24,8	<DG-57	75		
Dibenzothiophen	4	<DG	<DG	0		
Dimethylphenanthren	4	<DG	<DG	0		
Fluoranthren	4	73	12-160	100		
Fluoren	4	8,3	4,8-13	100		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	4	80	23-200	100		
Naphtalen	4	36,4	3,6-65	100	138	0
Perylen	4	266	75-640	100		
Phenanthren	4	44	14-90	100		
Pyren	4	59,3	7,1-130	100		

10.5.3 Fenoler

Gruppen af fenoler består af mange forskellige undergrupper, men i NO-VANA overvågningen af vandløbssedimenter indgår kun gruppen af alkylfenoler, helt konkret kun nonylfenoler. Alkylfenoler anvendes ved fremstilling af andre kemiske stoffer, bl.a. alkylphenolethoxylater som historisk set har været meget anvendt som overfladeaktive stoffer i rengøringsmidler og bekæmpelsesmidler. Derudover kan de indgå som bestanddele i maling og udvaskes fra tage og facader i urbane områder. Fenoler bliver primært transporteret til vandløb via spildevand, regnbetingede overløb fra befæstede arealer samt fra sprøjtede marker. Stofferne kan både forekomme i vandfasen samt bundet til partikler i eksempelvis sediment.

Der er i bekendtgørelsen (BEK. nr. 1625 af 19/12/2017) opstillet et MKK for hele gruppen af nonylfenoler (CAS nr. 25154-52-3). Derfor sammenholdes MKK med sumkoncentrationerne af alle målte nonylfenoler på den enkelte station. MKK normaliseres iht. bekendtgørelsen i forhold til f_{OC} , og glødetab anvendes som proxy for denne parameter for alle stationerne.

Der blev kun fundet nonylfenoler på en enkelt af stationerne, og her var koncentrationen lavere end det gældende MKK (Tabel 10.6).

Tabel 10.6. Fenoler i vandløbssediment fra 4 kontrolovervågningsstationer i 2017. Alle koncentrationer er angivet med enheden µg/kg TS. DG=detektionsgrænse.

Parameter	Antal stationer	Gns. konc.	Konc. interval.	Andel af fund > DG (%)	MKK ¹	Antal stationer, hvor MKK er overskredet
4-nonylphenol	4	<DG	<DG	0		
4-tert-nonylphenol	4	<DG	<DG	0		
Nonylphenol-diethoxylater (NP1EO)	4	2,8	<DG-11	25	25000×f _{oc}	0
Nonylphenoler	4	<DG	<DG	0		
Nonylphenol-monoethoxylater (NP1EO)	4	<DG	<DG	0		

¹MKK er baseret på sumkoncentrationen af alle nonylfenoler i sedimentet og normaliseres ift. fraktionen af organisk stof i den enkelte sedimentprøve.

10.5.4 Organotinforbindelser

De mest udbredte anvendelser af organotinforbindelser har været anvendelsen af tributyltin og triphenyltin som antibegroningsmiddel i bundmaling til skibe og som biocid i træbeskyttelsesmidler. Denne anvendelse er dog ikke længere tilladt. De øvrige organotinforbindelser, herunder dibutyltin og monobutyltin anvendes som stabilisator i PVC plast og forekommer derudover som nedbrydningsprodukter af tributyltin.

Organotinforbindelser er stærkt miljøpersistente og bioakkumulerbare og vil qua deres fysisk-kemiske egenskaber primært forekomme partikulært bundne i bl.a. sedimenter. Der findes ingen gældende MKK for organotinforbindelser bundet i vandløbssedimenter. Koncentrationsniveauer og fundfrekvenser er gengivet i nedenstående tabel 10.7.

Tabel 10.7. Organotinforbindelser i vandløbssediment fra 4 kontrolovervågningsstationer i 2017. Alle koncentrationer er angivet med enheden µg/kg TS. DG=detektionsgrænse.

Parameter	Antal stationer	Gns. konc.	Konc. interval.	Andel af fund > DG (%)	MKK	Antal stationer, hvor MKK er overskredet
Dibutyltin	4	<DG	<DG	0		
Monobutyltin	4	7,9	6,1-11	100		
Tributyltin	4	11,3	<DG-45	25		
Triphenyltin	4	<DG	<DG	0		

11. Referencer

Bak, J. & Hansen, M.M. (2014) Baggrunds niveau for barium, zink, kobber, nikkel og vanadium i fersk- og havvand. Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 11s.

Blicher-Mathiesen, G., Grant, R., Jensen, P.G., Hansen, G. & Thorling, L. (2012) Landovervågningsoplande 2011. NOVANA. Aarhus Universitet – Nationalt Center for Miljø og Energi. *Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi* nr. 31.

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

Boutrup, S., Holm, A.G., Bjerring, R., Johansson, L.S., Strand, J., Thorling, L., Brusch, W., Ernsten, V., Ellermann, T. & Bossi, R. (2015) Miljøfremmede stoffer og tungmetaller i vandmiljøet. Tilstand og udvikling 2004-2012. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 142, 241 s.

Bundschuh, M., Goedkoop, W., Kreuger, J. (2014) Evaluation of pesticide monitoring strategies in agricultural streams based on the Toxic Unit concept – Experiences from long-term measurements. *Science of the Total Environment* 484: 84-91.

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>)

Baatrup-Pedersen, A., Wiberg-Larsen, P., Larsen, S.E. & Bøgestrand, J. (2015a) Brug af dansk vandløbsplante indeks i små danske vandløb. Verifikation af de økologiske grænseværdier for Dansk Vandløbsplante Indeks (DVPI) i forhold til den fælleseuropæiske interkalibrering. Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 20 s.

Baatrup-Pedersen, A., Göthe, E. & Riis, T. (2015b) DVPI og økologisk tilstand: Karakteristik af plantesamfundene og relation til påvirkninger. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 135, 46 s.

Baatrup-Pedersen, A., Göthe, E., Riis, T. & O'Hare, M. (2016) Functional trait composition of aquatic plants can serve to disentangle multiple interacting stressors in lowland streams. *Science of the Total Environment* 543: 230-238.

Baatrup-Pedersen, A. & Larsen, S.E. (2013). Udvikling af planteindeks i danske vandløb. Vurdering af økologisk tilstand (Fase I). Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 32 s. - *Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi* nr. 60. (<http://www.dmu.dk/Pub/SR60.pdf>)

Cappelen, J.(ed.), (2016) Danmarks klima 2015. DMI rapport 16-01. pp 95 <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>.

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

Kristensen, E.A., Jepsen, N., Nielsen, J., Pedersen, S. & Koed, A. (2014) Dansk Fiskeindeks for Vandløb (DFFV). Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 95, 58 s. (<http://dce2.au.dk/pub/SR95.pdf>)

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., Windolf, J. & Kronvang, B. (2014a) 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, 42 s.

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

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

Miljøstyrelsen (2017c) Status på serviceeftersyn af laboratorieanalyser. <http://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2017/okt/status-paa-serviceeftersyn-af-laboratorieanalyser/>

Miljøstyrelsen (2017d) NOVANA – Det nationale overvågningsprogram for vand og natur 2017-2021. Programbeskrivelse. Miljøstyrelsen, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, GEUS – De nationale geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland, 184s.

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

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

Naturstyrelsen (2015) Punktkilder 2014. Miljø- & Fødevareministeriet, Naturstyrelsen, 140 s.

Pedersen, M.L., Baattrup-Petersen, A. & Wiberg-Larsen, P. (2007) Økologisk overvågning i vandløb under NOVANA 2004-2009. *Teknisk anvisning fra DMU* nr. 21, 5. udgave. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.

Pedersen, M.L., Sode, A., Kaarup, P. & Bundgaard, P. (2006) Fysisk kvalitet i vandløb. Test af to danske indices og udvikling af et nationalt indeks til brug ved overvågning af vandløb. Faglig rapport fra DMU nr. 590. Danmarks Miljøundersøgelser, 44s.

Rasmussen, J.J., Wiberg-Larsen, P., Baattrup-Pedersen, A., Cedergreen, N., McKnight, U.S., Kreuger, J., Jacobsen, D. & Friberg, N. (2015) The legacy of pesticide pollution: An overlooked factor of current risk assessments of freshwater systems. *Water Research* 84: 25-32.

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

Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Kristensen, E.A., Baattrup-Pedersen, A., Wiberg-Larsen, P., Bjerring, R. & Friberg, N. (2013) Biologiske indikatorer til vurdering af økologisk kvalitet i danske søer og vandløb. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 78 s. - *Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi* nr. 59. (<http://www.dmu.dk/Pub/SR59.pdf>)

Thodsen, H., Windolf, J., Rasmussen, J.J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Ovesen, N.B., Kjeldgaard, A. & Wiberg-Larsen, P. (2016) Vandløb 2015. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 206, 70 s.

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., Kronvang, B. & Kjeldgaard, A. (2012). Vandløb 2011. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 70 s. - Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 32. (<http://www.dmu.dk/Pub/SR32.pdf>)

Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Ovesen, N.B., Nielsen, A., Kronvang, B. & Kjeldgaard, A. (2015) Vandløb 2014. NOVANA. Videnskabelig rapport fra DCE – National Center for Miljø og Energi nr. 165. Aarhus Universitet, 58s.

Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Baattrup-Pedersen, A., Bøgestrand, J., Ovesen, N.B., Larsen, S.E., Thodsen, H., Sode, A., Kristensen, E., Kronvang, B. & Kjeldgaard, A. (2010) Vandløb 2009. NOVANA. *Faglig rapport fra DMU* nr. 804. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 100 pp. (<http://www.dmu.dk/Pub/FR804.pdf>)

Windolf, J., Ovesen, NB, Troldborg, L & Henriksen, HJ (2009) 'Ferskvandsafstrømning' Vand og Jord, bind 16, nr. 3, s. 100-103.

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

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. 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 2017

NOVANA

Dette års rapport beskriver status og udvikling i vandkemi-ske forhold i vandløb, stoftransport af kvælstof og fosfor til kystvandene for perioden før og under NOVANA – og frem til og med 2017.