



VANDLØB 2013

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 121

2015



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

VANDLØB 2013

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 121

2015

Peter Wiberg-Larsen
Jørgen Windolf
Jens Bøgestrand
Søren Erik Larsen
Hans Thodsen
Niels Bering Ovesen
Rikke Bjerring
Brian Kronvang
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. 121
Titel:	Vandløb 2013
Undertitel:	NOVANA
Forfattere:	Peter Wiberg-Larsen, Jørgen Windolf, Jens Bøgestrand, Søren Erik Larsen, Hans Thodsen, Niels Bering Ovesen, Rikke Bjerring, Brian Kronvang & 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 2015
Redaktion afsluttet:	December 2014
Faglig kommentering:	Naturstyrelsens regionale enheder og internt i Aarhus Universitet
Kvalitetssikring, DCE:	Poul Nordemann Jensen
Finansiel støtte:	Miljøministeriet
Bedes citeret:	Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Thodsen, H., Ovesen, N.B., Bjerring, R., Kronvang, B. & Kjeldgaard, A. 2015. Vandløb 2013. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 50 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 121 http://dce2.au.dk/pub/SR121.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, samt økologisk tilstand for perioden før og under NOVANA – og frem til og med 2013. Der er udført ny analyser af økologisk tilstand, herunder sammenhæng mellem denne og vigtige miljøvariable.
Emneord:	Vandløb, overvågning, NOVANA, udvikling i økologisk tilstand, kvælstof, fosfor, havbelastning, vandkemi
Layout:	Grafisk Værksted, AU Silkeborg
Foto forside:	Danmarks største slørvinge <i>Periodes microcephalus</i> har i disse år stor fremgang i de jyske vandløb. Den kendes ikke fra resten af landet. Foto: Biopix ©
ISBN:	978-87-7156-098-5
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	50
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR121.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
Økologisk tilstand	6
Kvælstof og fosfor	6
1 Datagrundlag, databehandling og rapportindhold	8
1.1 Om overvågningsprogrammet	8
1.2 Den økologiske overvågning	8
1.3 Kemisk vandkvalitet og stoftransport	9
2 Klima	11
2.1 Datagrundlag og metoder	11
2.2 Klima og ferskvandsafstrømning	12
3 Økologisk tilstand	16
3.1 Måling af økologisk tilstand i danske vandløb	16
3.2 Dansk Vandløbs Fauna Indeks	17
3.3 Den aktuelle økologiske tilstand (faunaklasse) i danske vandløb	18
3.4 Udvikling i økologisk tilstand (faunaklasse)	18
4 Kvælstof i vandløb	22
4.1 Tilstanden i 2013	22
4.2 Udvikling siden 1989	23
5 Fosfor i vandløb	25
5.1 Tilstanden i 2013	25
5.2 Udviklingen siden 1989	26
6 Kvælstofbelastning af havet	28
6.1 Datagrundlag og metoder	28
6.2 Afstrømningen af kvælstof til havet i 2013	30
6.3 Sæsonvariation i vand- og kvælstofafstrømning	34
6.4 Udviklingen i kvælstofafstrømning	35
6.5 Udvikling i nøgleindikatorer af betydning for kvælstoftransporten	36
6.6 Sammenfatning af resultaterne	39
7 Fosforbelastning af havet	40
7.1 Datagrundlag og metode	40
7.2 Fosfortilførsel til havet 2013	40
7.3 Udvikling i fosforafstrømning 1990 – 2013	42
8 Referencer	47

[Tom side]

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 2013.

Overvågningsprogrammet er målrettet mod at tilvejebringe det nødvendige dokumentations- og videngrundlag til at understøtte Danmarks overvågningsbehov og -forpligtelser. Programmet er løbende tilpasset overvågningsbehovene og omfatter overvågning af tilstand og udvikling i vandmiljøet og naturen, herunder den terrestriske natur og luften.

DCE har som en væsentlig opgave for Miljøministeriet 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 klar arbejds- og ansvarsdeling mellem fagdatacentre og Naturstyrelsen. Fagdatacentret for grundvand er placeret hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), fagcentret for punktkilder hos Naturstyrelsen, 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 Institut for Bioscience i samråd med Naturstyrelsen, hvor rapporten har været i høring. Rapporten er baseret på data indsamlet af Naturstyrelsens decentrale enheder og en række konsulenter.

Konklusionerne i denne rapport sammenfattes sammen med konklusionerne fra de øvrige fagdatacenter-rapporter i Vandmiljø og natur 2013, som udgives af DCE, GEUS og Naturstyrelsen.

Sammenfatning

Dette års rapport behandler emner som udviklingen i miljøtilstand (økologisk tilstand) i udvalgte vandløb, samt i afstrømningen af vand, kvælstof og fosfor til de kystnære havområder.

Økologisk tilstand

Den økologiske tilstand i vandløb beskrives i denne rapport kun ved brug af Dansk vandløbs Fauna Indeks (DVFI), hvor der også kunne have været anvendt fisk og planter til at bedømme tilstanden. Ved ca. 250 vandløbsstationer er tilstanden – på dette grundlag - generelt blevet væsentlig forbedret siden 1994. Således er andelen af faunaklasserne 1-3 (dårlig til ringe tilstand) reduceret fra 22-26 % i perioden 1994-1998 til 5-11 % i perioden 2009-2013, ligesom andelen med faunaklasse 4 (moderat tilstand) er reduceret fra 45-58 % til 33-37 %. Tilsvarende er andelen med faunaklasse 5-7 (god til højtilstand) øget fra 19 % i 1994 til hele 58 % i 2013. Specielt er andelen med faunaklasse 6 eller 7 øget markant.

De ca. 250 stationer udgør ikke et repræsentativt udsnit af danske vandløb, idet der er en underrepræsentation af små vandløb, der strækingsmæssigt udgør mere end 2/3 af alle danske vandløb. Desuden er den økologiske tilstand i de små vandløb typisk dårligere end i de større. De aktuelle andele af de forskellige faunaklasser dækker derfor ikke danske vandløb generelt. Men "tendensen" er sikker: Tilstanden i danske vandløb ER blevet væsentlig forbedret inden for de sidste ca. 20 år. Årsagen er utvivlsomt en forbedret spildevandsrensning, primært ved de kommunale renseanlæg, ligesom belastningen fra dambrug er reduceret. Men man kan ikke alene rense sig til en forbedring af den økologiske tilstand. De fysiske forhold i vandløbene skal også være "i orden", for at spildevandsrensning kan have fuld effekt. Der er god dokumentation for, at dårlige fysiske forhold nu det væsentligste miljøproblem i danske vandløb. Effekten af forbedret spildevandsrensning (eller fysiske forbedringer) slår i øvrigt ikke altid hurtigt igennem. Det er veldokumenteret, at indikatorarter for god og høj miljøtilstand i mange tilfælde skal have god tid til at indvandre til ny egnede levesteder, men at arternes evne til spredning varierer betydeligt.

Kvælstof og fosfor

Indholdet af kvælstof og fosfor i vandløbene er faldet markant siden 1989. Reduceret udvaskning fra dyrkede arealer har hovedansvaret for, at kvælstofindholdet nu i gennemsnit er reduceret med ca. 45 %, mens reduktionen for fosfors vedkommende på ca. 31 % skyldes forbedret spildevandsrensning i byområder og for virksamheder. Koncentrationerne af kvælstof og fosfor i vandløbene er dog stadig henholdsvis 3-4 gange og 2-3 gange så høje som de, man finder i upåvirkede naturvandløb.

Der blev fundet lignende reduktioner i den samlede tilførsel fra land af kvælstof og fosfor til de danske kystvande for perioden 1990-2013. Reduktionen i kvælstof-, og især fosforudledningen, er dog endnu større, henholdsvis 51 og 63 %, beregnet for den vandføringsvægtede koncentration. For kvælstof er der alene for den såkaldt diffuse tilførsel (tilførsel fra dyrkede og

udyrkede arealer, samt bidrag fra ejendomme, som ikke er tilkøbet offentlige renseanlæg) tale om en reduktion på ca. 43 %.

Udledningen fra land blev for 2013 beregnet til hhv. godt 58 000 tons kvælstof og ca. 2300 tons fosfor. Disse udledninger er for samtlige årets måneder væsentlig mindre end gennemsnittet for perioden 1990-2012. Samtidig var vandafstrømningen i 2013 på 310 mm, hvilket kun var ca. 4 % mindre end gennemsnittet for 1990-2011. Der er dog en vis usikkerhed på de beregnede udledninger.

1 Datagrundlag, databehandling og rapportindhold

Peter Wiberg-Larsen & Jens Bøgestrand

1.1 Om overvågningsprogrammet

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

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

Indsamlingen/tilvejebringelsen af data har bygget på tekniske anvisninger for hhv. det vandløbsøkologiske program (Pedersen m.fl. 2007) og stoftransport (DMU 2003, 2004). Med revisionen af NOVANA i 2010 er programmet justeret for perioden 2011-2015, hvilket ligeledes har medført en revision af de tekniske anvisninger. Disse kan ses på Institut for Bioscience's hjemmeside (Aarhus Universitet): http://bios.au.dk/videnudveksling/til-myndigheder-og-saerligt-interessede/fagdatacentre/fdcfersk/programgrundlag_og_vejledninger/novana11-15tekanv/

1.2 Den økologiske overvågning

Den økologiske overvågning er i perioden 2004-2009 udført på 800 stationer (det ekstensive program) for at vurdere den økologiske tilstand ikke blot i selve vandløbene, men også på de ånære arealer. I selve vandløbene er der foretaget undersøgelser af biologiske kvalitetselementer som makrofytter (bl.a. vandplanter), makroinvertebrater (smådyr) og fisk, suppleret med undersøgelser af vandløbenes fysiske og vandkemiske forhold, ligesom der er foretaget planteundersøgelser på brinker og ånære arealer. Sidst nævnte opførte dog i 2007, således at der ikke er indsamlet data fra samtlige 800 stationer. Der er også indsamlet oplysninger om menneskeskabte påvirkninger af vandløbene (fx om udnyttelsen af de ånære omgivelser og oplandet til vandløbsstationerne) for at belyse sammenhængen mellem disse faktorer og den økologiske tilstand. Undersøgelserne er generelt foretaget i en 3- eller 6-årig cyklus, men ved ca. 250 af vandløbsstationerne er der foretaget årlige undersøgelser af smådyrsfaunaen.

På yderligere 50 lokaliteter i 12 større vandløbssystemer (det intensive program) er foretaget en lignende men mere detaljeret økologisk overvågning med årlige undersøgelser af de fleste parametre. Formålet er bedre at belyse betydningen af forskellige miljøfaktorer, tidlig udvikling og mulige interaktioner mellem de øvre og nedre dele af vandløbene.

Med revisionen af NOVANA for 2011-2015 er undersøgelserne ved de ovenfor nævnte ca. 800 stationer videreført – dog med udskiftning af et mindre antal stationer. Der er desuden sket en reduktion i antallet af stationer, hvor vandløbene ikke indgår i de statslige vandplaner. Disse stationer tilhører

den såkaldte kontrolovervågning (landsnet af stationer). Ligeledes er en del af de 50 intensive stationer videreført under kontrolovervågningens program af klimastationer, der i alt omfatter 35 stationer.

I 2010 er dele af det oprindelige program videreført som et "ekstra" år i den første NOVANA periode, idet data fra de undersøgte stationer dog samtidig indgår som en del af programmet for 2011-2015.

Dette års rapportering omfatter resultater fra de ca. 250 stationer med årlige undersøgelser af den økologiske tilstand (se kap. 3). Der er ikke foretaget yderligere rapportering af det meget store datamateriale fra den økologiske overvågning i perioden 2004-2013. Dette skyldes, at der for perioden siden 2010 endnu ikke foreligger data fra tilstrækkelig mange stationer til at give et "repræsentativt" billede af den samlede økologiske tilstand mv. Sidst nævnte er for perioden 2004-2009 beskrevet i Wiberg-Larsen et al. (2010).

I perioden 2007-2011 er der i et parallelt program (DEVANO/operationel overvågning under NOVANA) gennemført en række undersøgelser af hhv. smådyrsfaunaen og fiskebestandene (kun frem til 2009) ved et antal vandløbsstationer udvalgt af Naturstyrelsens enheder efter regionale behov. Data fra disse undersøgelser er ikke søgt inddraget i denne rapport, fordi disse data primært er indsamlet med henblik på forvaltningsmæssigt at understøtte den statslige vandplanlægning. Dermed er der en "skævhed" i disse data med overvægt af vandløb i en relativt dårlig tilstand.

1.3 Kemisk vandkvalitet og stoftransport

Undersøgelserne i NOVANA-programmet af transporten af vand og stof har omfattet målinger ved i alt 223 stationer. 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.

Gennem alle årene i overvågningsperioden har der været anvendt nogle gennemgående 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 dog ofte anvendt vandføringsvægtede gennemsnitskoncentrationer, som tager højde for svingninger i vandføring, både over året og fra år til år. De 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 typeoplunde (tabel 1.1) – se kapitel 4 & 5. Det skal dog bemærkes, at en del vandløb har skiftet oplandstype siden overvågningsprogrammets start, fx på grund af reduceret spildevandstilledning eller nedlæggelse af dambrug. Kri-

terierne for klassifikationen af dyrkede oplande er lidt forskellige for kvælstof og fosfor. Antallet af stationer i denne kategori er derfor ikke det samme i kvælstof- og fosforkapitlerne.

Ca. 120 vandløbsstationer, som er søgt placeret så tæt på vandløbenes udmunding i havet som muligt, er anvendt ved beregning af tilførslen af kvælstof, fosfor og organisk stof til havet. Oplandet til disse stationer dækker ca. halvdelen af Danmarks areal. Vand- og stoftilførslen fra den resterende del af landets areal (det umålte opland) er modelleret som beskrevet i Bøgestrand (2009).

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 (1989-2013) og aktuelt 2013. Oplandstyper for tidsserie-analyser er opgjort efter situationen i 1991.

Oplandstype	Type nr.	1989-2013 tidsserie-analyser	2013 aktuel status
Naturoplande *	1	6	19
Vandløb i dyrkede oplande (P):			
Dyrkningsgrad > 15 %			
Bebyggelse < 50 %	2	32	#
Punktkildebidrag < 25 g P/ha, 0,5 kg N/ha			
Vandløb i dyrkede oplande (N):			
Dyrkningsgrad > 15 %			
Bebyggelse < 50 %	3	54	#
Punktkildebidrag < 0,5 kg N/ha			
Vandløb med punktkilder:			
Punktkildebidrag > 0,5 kg N/ha	4	70	#
Vandløb med dambrugsudledninger:			
P fra dambrug:			
> 30 % af total transport	5	15	#
> 40 % af punktkildebidrag			
Vandløb i bebyggede områder			
> 50 % bebyggelse	6	1	#
Ikke-naturoplande, i alt		172	211

*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 bidraget til den samlede stoftransport fra disse opgjort. Dette er gjort 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 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.

2 Klima

Jørgen Windolf, Rikke Bjerring Hansen & Niels Bering Ovesen

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. Og med 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 indenfor kystlinjen. Det bemærkes, at de anvendte nedbørs-værdier ikke er korigeret for faktorer, som har indflydelse på de faktiske værdier. Disse faktorer er højde over terrænet, vind og wetting (vanddråber der afsættes på regnmålerens sider, hvorfra de fordamper uden at blive registreret). Måneddata for temperatur og nedbør anvendes i de modeller for næringsstofftab (N og P), der bruges ved beregninger af den diffuse næringsstofftransport fra umålte oplande (kapitel 6 og 7).

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 (1990-2013) indgår måledata fra i alt 179 vandføring-smålestationer, der samlet dækker 57 % af landets areal. Der er dog ikke måledata fra alle stationer i alle år. I 2013 blev der målt på 129 af de 179 stationer. Det samlede oplandsareal til disse 129 stationer er 22.400 km², svarende til ca. 52 % af landets areal.

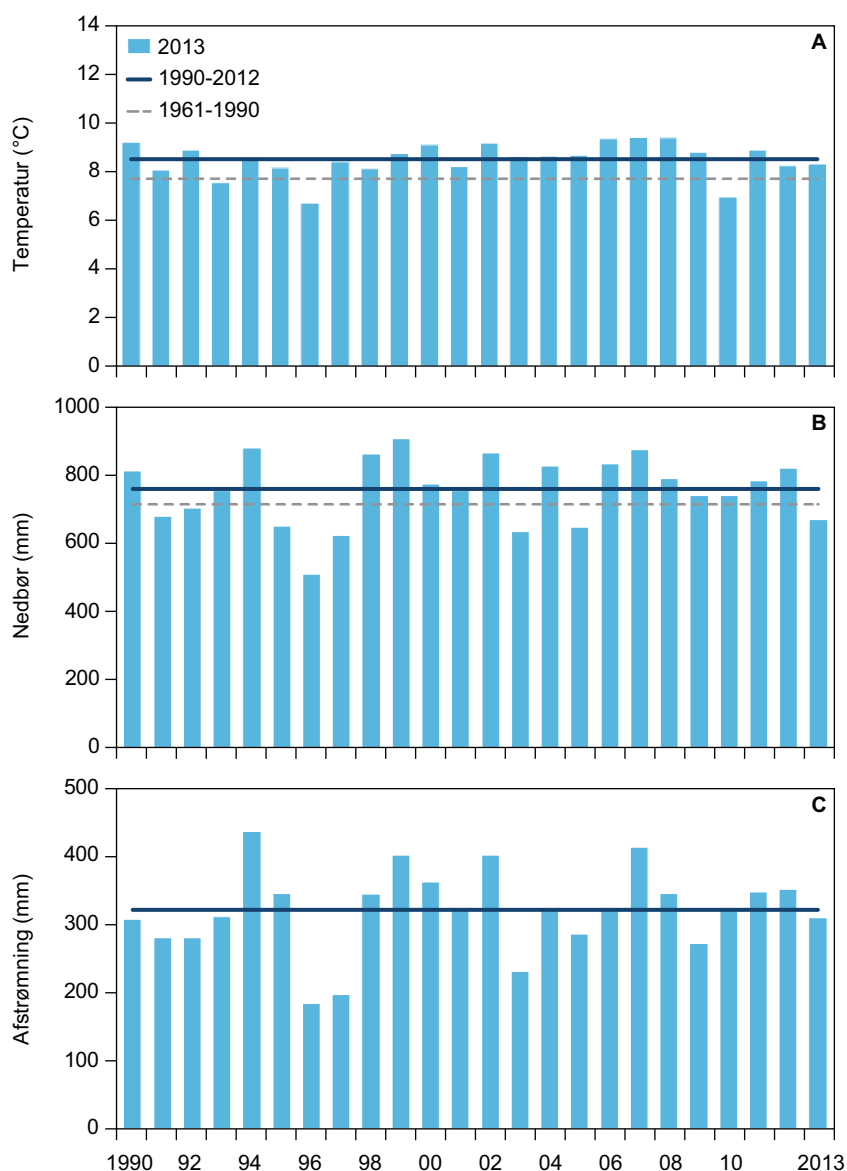
2.2 Klima og ferskvandsafstrømning

Vejret i 2013 var som helhed lidt varmere end normalen for perioden 1961-1990, (figur 2.1 & 2.3). Middeltemperaturen for landet blev 8,3°C og var dermed som året før (8,2°C). I forhold til gennemsnittet for 1990-2012 blev 2013 lidt (0,2°C) køligere, men middeltemperaturen var dog 0,6°C højere end gennemsnittet for 1961-1990, (figur 2.1A). Fra januar til marts var det koldt i 2013 med gennemsnitlige temperaturer omkring eller under frysepunktet, (figur 2.3A). Middeltemperaturen i marts måned (-0,8°C) var hele 3,4°C mindre end gennemsnittet for de forudgående år siden 1990. Også april måned var betydeligt koldere end i de senere år.

Mens første kvartal i 2013 således var relativt 'koldt' i forhold til tidligere år, så blev sommeren til gengæld ret varm. Særlig juli og august var varme måneder med gennemsnitlige temperaturer over 17°C.

Resten af året 2013 var temperaturerne nær det normale. Dog var årets sidste måned relativ varm. Middeltemperaturen i december var således godt 5°C og dermed 3-4°C højere end normalen.

Figur 2.1. Årsmiddelværdier for temperatur, nedbør (ukorrigeret) og ferskvandsafstrømning i 2013, samt gennemsnit for perioden 1961-1990 og 1990-2012. Data aggregeret fra DMI's Gridværdier.



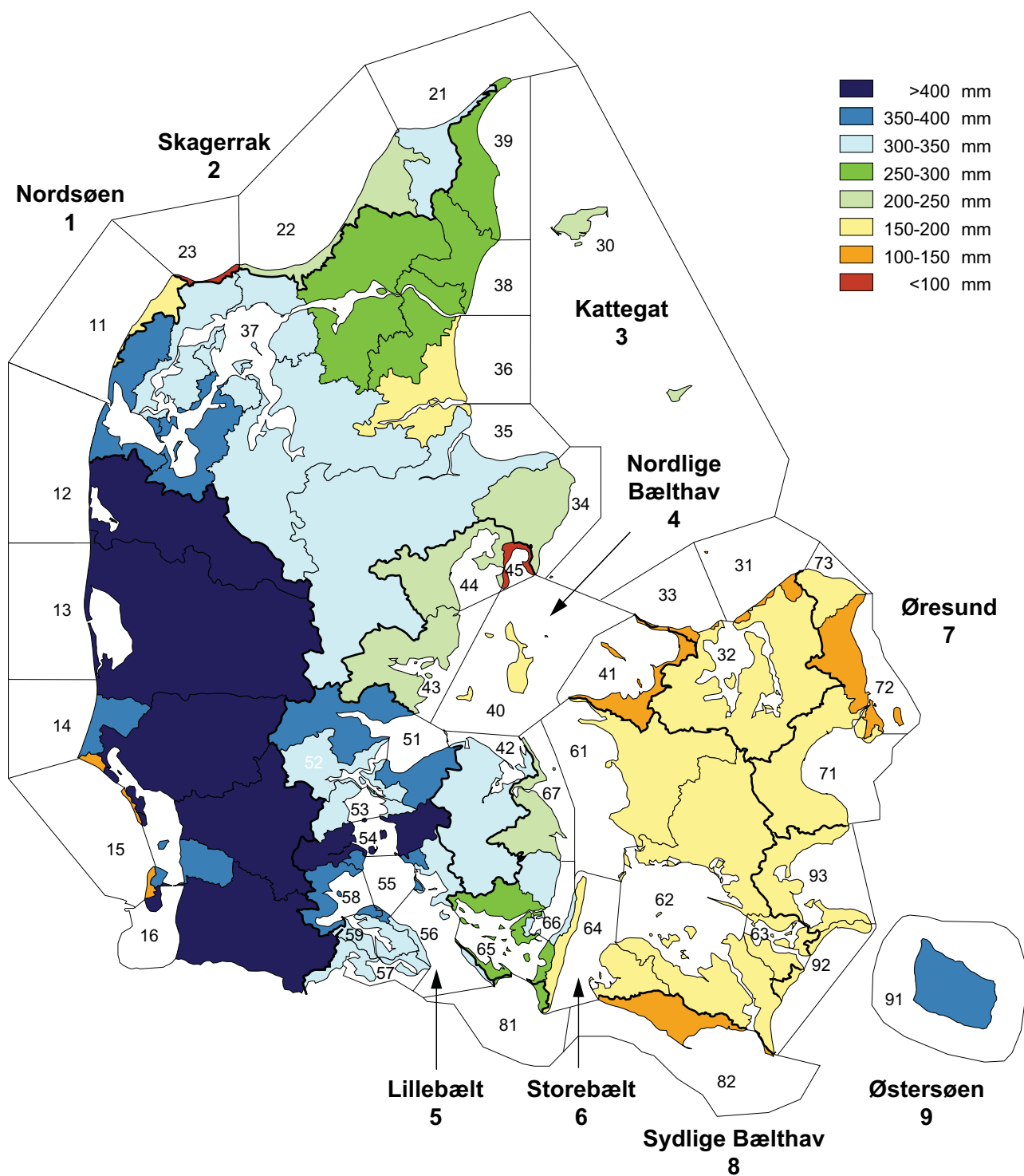
Nedbøren i 2013 var for hele landet 669 mm og dermed 12% mindre end gennemsnittet for 1990-2012 (758 mm). Til sammenligning var den gennemsnitlige årsnedbør 714 mm i perioden 1961-1990 (figur 2.1). Generelt var nedbøren i 2013 stærkt varierende (figur 2.3B). Fire nedbørsfattige måneder først på året efterfulgtes af en nedbør, der i maj og juni 2013 var lidt højere end normalt. I juli og august var nedbøren igen ringe - omkring 20-50 mm - og dermed relativt langt fra normalen på 60-80 mm for disse måneder. Fra september og året ud faldt der relativt megen nedbør, omkring eller over normalen for perioden.

Den samlede ferskvandsafstrømning til de danske farvande er opgjort til godt 13.300 millioner m³ for 2013, svarende til en arealspecifik afstrømning på 310 mm (figur 2.1). Afstrømningen blev dermed noget mindre end året før (352 mm) og også lidt mindre end gennemsnittet for perioden 1990-2012 (322 mm). Ferskvandsafstrømningen i 2013 var således ca. 4 % mindre end den gennemsnitlige afstrømning for perioden 1990-2012 (figur 2.1).

Ferskvandsafstrømningen i 2013 varierede hen over året som i tidligere år (figur 2.3C) med markant større afstrømninger om vinteren (40-60 mm/måned) end om sommeren (10-20 mm/måned). I marts-april og igen for juli-oktober var afstrømningen mindre end gennemsnittet for 1990-2012. Omvendt var afstrømningen omkring eller lidt over gennemsnittet i januar-februar og i november-december 2013 (figur 2.3C).

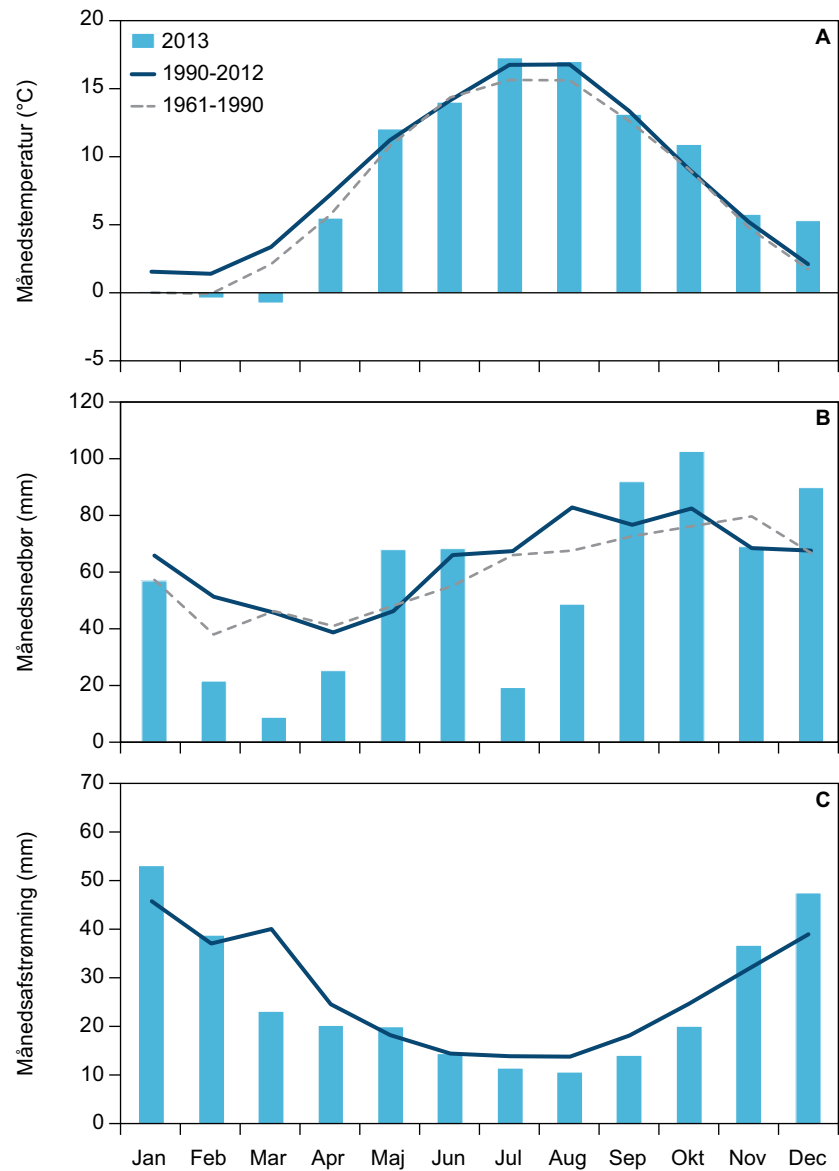
Afstrømningsforholdene udviser normalt - ligesom nedbøren - en stor geografisk variation, hvilket også var tilfældet i 2013 (figur 2.2). Vest for israndslinjen i Jylland var årsafstrømningen typisk 400-475 mm, mens afstrømningen til Limfjorden var lidt mindre (300-400 mm). For Limfjorden ses tydeligt en vest-østlig gradient med den største afstrømning mod vest (350-400 mm) mod lidt under 300 mm i Limfjordens østlige opland.

For landet som helhed ses også en forskel i afstrømningsfordelingen fra vest mod øst. I det østligste Danmark var afstrømningen mindre på grund af den - klimatisk betingede - generelt mindre nedbør i denne del af landet. Typisk var afstrømningen her i 2013 under 200 mm, (figur 2.2). Dog var afstrømningen på Bornholm omkring 375 mm.



Figur 2.2. Ferskvandsafstrømning til marine kystafsnit i 2013 (mm/år).

Figur 2.3. Månedsværdier for temperatur, nedbør og ferskvandsafstrømning for Danmark 2013. Desuden er vist gennemsnit for perioderne 1961-1990 og 1990-2012. Ferskvandsafstrømningen er dog ikke opgjort for 1961-1990.



3 Økologisk tilstand

Peter Wiberg-Larsen

Som omtalt i indledningen (Kapitel 1) er et vigtigt formål med NOVANA at kunne præsentere en oversigt over den generelle økologiske tilstand i danske vandløb samt beskrive udviklingen i denne tilstand. I den forbindelse er det væsentligt også at kunne klarlægge betydningen af forskellige påvirkninger, samt effekten af indgreb over for disse.

3.1 Måling af økologisk tilstand i danske vandløb

Vandløbenes økologiske tilstand eller kvalitet bedømmes ifølge Vandrammedirektivet primært på baggrund af såkaldte biologiske kvalitetselementer. Der er som udgangspunkt tale om planteplankton (fytoplankton), bundlevende alger og større vandplanter (makrofytter), samt smådyr (makroinvertebrater) og fisk. Inden for hvert af disse kvalitetselementer skal der anvendes indikatorer, som kan beskrive den økologiske tilstand og afspejle omfanget af menneskeskabte påvirkninger. Baggrunden for at anvende flere forskellige kvalitetselementer er at opnå en optimal og fyldestgørende beskrivelse af tilstand og påvirkninger, idet en bestemt organismegruppe typisk vil være særlig egnet til at afspejle bestemte påvirkninger.

Når der anvendes en given indikator, skal der tages hensyn til hvilken type vandløb, der er tale om. Derudover skal det fastlægges, hvordan referencetilstanden er i den pågældende vandløbstype – og hvordan indikatoren afspejler dette. Med referencetilstanden forstås den tilstand, der findes, når et vandløb er helt upåvirket eller kun meget svagt påvirket af menneskets aktiviteter.

Mens de fleste lande i EU som foreskrevet anvender flere kvalitetselementer, og inden for hvert af disse én til flere indikatorer, er der i dansk Vandrammesammenhæng hidtil kun anvendt smådyr (i første generations vandplanerne). Desuden er der kun anvendt ét indeks for smådyr, Dansk Vandløbsfauna Indeks, som i sin første version blev opstillet i 1980. Dette indeks er således indført før Vandrammedirektivet, men er blevet interkalibreret med andre europæiske makroinvertebrat indices (EU Kommissionen 2013).

Der er udviklet et dansk planteindeks (Baatrup-Pedersen et al. 2011, Baatrup-Pedersen & Larsen 2013, Søndergaard et al. 2013), ligesom der nu foreligger to indices for fisk (Kristensen et al. 2014) til beskrivelse af økologisk tilstand i vandløb. Så vel planteindekset som det ene fiskeindeks (DFFVa, der i praksis er en adoptering af det Litauiske Fiskeindeks) er interkalibreret med andre europæiske indices for middelstore/større danske vandløb (EU Kommissionen 2013). Derimod er planteindekset og det ene fiskeindeks (DFFVø, der er baseret på tætheder af ørredyngel), ikke EU-interkalibreret for små danske vandløb. Såvel planteindekset som de to fiskeindices er taget i anvendelse i forbindelse med de danske anden generations vandplaner.

Derudover forventes der at blive udviklet et indeks for bundlevende alger (helt konkret kiselalger). Der er indsamlet data fra en række danske vandløb til brug for denne opgave.

Til gengæld vil der ikke blive udviklet et indeks baseret på fytoplankton, fordi dette ikke er et relevant kvalitetselement i danske vandløb på grund af disses i europæisk sammenhæng ringe størrelse. Fytoplankton er således bedst egnet til større floder, hvor der på grund af vandets lange opholdstid og forekomsten af såkaldt "bagvande" kan udvikles egentlige samfund af i vandmassen "frit svævende" alger (der ellers forekommer i søer og havet).

I NOVANA programmets vandløbsøkologiske del er der foretaget undersøgelser af kvalitetselementerne vandplanter, smådyr og fisk. 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 op til 850 stationer igennem perioden 2004-2010, ligesom der undersøges ca. 815 stationer i perioden 2011-2015. Samtlige stationer er udvalgt, således at de giver en god geografisk dækning og samtidig dækker vandløb med forskellig grad af menneskeskabte påvirkninger (se i øvrigt kap. 1).

De biologiske data for det samlede nationale stationsnet er for perioden 2004-2009 (i større og mindre grad) rapporteret i tidligere NOVANA vandløbsrapporter (se fx Wiberg-Larsen et al. 2010, 2013). Derimod er det for tidligt at rapportere for det samlede nationale stationsnet for perioden 2011-2015, fordi der p.t. kun er data til rådighed fra ca. halvdelen af stationerne. Data vil derfor tidligst blive rapporteret samlet efter 2015.

Til dette års rapportering af miljøtilstanden er der derfor – for at kunne give et bud på den aktuelle tilstand samt udviklingen i samme – alene anvendt data for smådyr undersøgt ved en delmængde af det nationale stationsnet.

3.2 Dansk Vandløbs Fauna Indeks

Smådyr har igennem mange år været anvendt til bedømmelse af miljøtilstanden i vandløb, ikke blot i Danmark men i store dele af den øvrige verden. Baggrunden er, at gruppen af disse hvirvelløse dyr (fx orme, krebsdyr, insekter, snegle og muslinger) er rig på arter, hvoraf nogle er meget tolerante, andre meget følsomme, over for en række menneskeskabte påvirkninger af vandløbenes miljø. Mange arter er derfor gode indikatorer, ligesom det er ret nemt at indsamle smådyrene på en repræsentativ måde.

Dansk Vandløbs Fauna Indeks er indført som officiel dansk metode i 1998 (Miljøstyrelsen 1998) og bygger på et forarbejde udført i 1979-1980 (Andersen et al. 1982, 1984). Metoden, der forudsætter en standardiseret prøvetagning og prøvebearbejdning, har været anvendt på et varierende antal vandløbslokaliteter i forbindelse med nationale overvågningsprogrammer siden 1989, men har også været anvendt i forbindelse med dele af de tidligere amters regionale vandløbstilsyn. Dansk Vandløbsfauna Indeks (DVFI) inddeler ud fra sammensætningen af smådyr tilstanden i syv såkaldte faunaklasser. Både bestemte indikator-arter og diversiteten har betydning ved beregning af faunaklassen. Faunaklasse 7 angiver den bedste tilstand (det upåvirkede/næsten upåvirkede vandløb), mens faunaklasse 1 betegner den dårligste tilstand.

En lav faunaklasse (fx 1, 2 eller 3) findes typisk i vandløb med dårlige iltforhold på grund af forurening med let omsætteligt organisk stof. Dette stof stammer primært fra udledning af spildevand fra kommunale spildevandanlæg, enkeltliggende ejendomme i det åbne land, dambrug eller i visse tilfælde ulovlige udledninger af gylle eller ensilagesaft fra landbruget. Der kan også

forekomme lave faunaklasse-værdier i vandløb, som er stærkt påvirket af enten okker (som i mange vestjyske vandløb) eller udledninger af insekticider. Desuden vil vandløb med dårlige fysiske forhold, for eksempel udrettede og uddybede vandløb og/eller vandløb der vedligeholdes intensivt med opgravning af bunden og grødeskæring, kun sjældent kunne opnå faunaklasser over 4. Modsat vil et naturligt bugtet vandløb, som får "lov at passe sig selv", og som samtidig er ubelastet eller kun relativt lidt belastet med organisk stof (eller okker og pesticider), normalt have en høj faunaklasse (5, 6 eller 7).

En stor del af de danske vandløb var medtaget i de regionplaner, som de tidligere amter udarbejdede. Heri var der fastsat mål for den ønskede tilstand (herunder en bestemt faunaklasse). Regionplanernes mål er reelt stadig gældende, fordi de endnu ikke er afløst af målene i første generations vandplanerne, som udarbejdes af Miljøministeriet som en del af implementeringen af EU's Vandrammedirektiv. De ny miljømål i henhold til vandplanerne forventes at være gældende fra slutningen af 2014.

Der er i nærværende rapport ikke foretaget nogen vurdering af vandløbenes tilstand i forhold til de gældende målsætninger, idet denne opgave henhører under Naturstyrelsen.

3.3 Den aktuelle økologiske tilstand (faunaklasse) i danske vandløb

Kun NOVANA programmets ca. 800 såkaldte kontrolovervågningsstationer er aktuelt egnede til at give en samlet status for danske vandløbs tilstand. Der er senest givet en sådan status for perioden 2004-2009, hvor samtlige stationer havde været undersøgt (Wiberg-Larsen m.fl. 2010). Først i 2015 vil samtlige stationer igen være undersøgt, således at der gøres en ny samlet status. Det er dog vigtigt at fastslå, at selvom kontrolovervågningsstationerne er geografisk landsdækkende, er de ikke repræsentative for danske vandløb. Bl.a. er vore mindste vandløb underrepræsenteret (Wiberg-Larsen m.fl. 2010).

Ud over den nævnte kontrolovervågning foretages der undersøgelser ved et langt større antal (tusindvis) såkaldte operationelle stationer. Data herfra kan imidlertid ikke benyttes til en status over danske vandløbs tilstand, idet de primært er udvalgt ud fra en konstateret eller formodet dårlig tilstand. Således er stationerne ikke repræsentative for tilstanden i danske vandløb, idet formålet med programmet er at understøtte de allerede omtalte vandplaner (via identifikation af de vandløb, hvor der er behov for at forbedre tilstanden, og som opfølgning på de tiltag der allerede er gjort for at forbedre tilstanden).

3.4 Udvikling i økologisk tilstand (faunaklasse)

3.4.1 Datagrundlag

Siden 1994 har der været foretaget standardiseret indsamling af og bearbejdning af prøver fra vandløb i det nationale overvågningsprogram til beregning af faunaklassen. Antallet af stationer og den overordnede strategi under de nationale overvågningsprogrammer har varieret gennem perioden. Således har antallet af stationer, som årligt er undersøgt, ændret sig fra 222 i 1994-1997, 444 i 1998, 1053 i 1999-2003, til ca. 250 siden 2004. For hele perioden er der imidlertid kun ca. 84 stationer, for hvilke der foreligger en i ubrudt serie (19-20 år ud af samlet set 20 år) med årlige prøver. For en række yderligere

stationer foreligger kortere tidsserier, således at en beskrivelse af udviklingen i danske vandløb inden for de seneste 20 år i praksis kan foretages på baggrund af årligt 91-247 stationer (i gennemsnit 214). De i denne rapport viste resultater er baseret på dette fulde datasæt, ikke de ca. 84 stationer, som har været gennemgående i hele perioden. Der kan argumenteres for, at det havde været mest korrekt at basere analyserne på de gennemgående stationer, men så ville man tabe vigtig information for perioden 1999-2012 (hvor der forefindes stort set fulde datasæt) og ikke mindst for årene fremover.

Ud over stationerne i de nævnte nationale programmer er der foretaget bestemmelse af faunaklassen ved et langt større antal stationer i forbindelsen med de nedlagte amters regionale tilsyn. Datamaterialet er imidlertid så inhomogent mht. frekvens, tidspunkt (år), omfang (antal stationer) og metode, at det reelt ikke er muligt at beskrive en generel udvikling for danske vandløb (Wiberg-Larsen et al. 2012). Desuden er der i nyeste tid indsamlet data med "operationelt" formål (DEVANO m.v.), men på grund af disse datas karakter, er de (jf. afsnit 3.3) heller ikke egnede til at indgå i tidsserieanalyser.

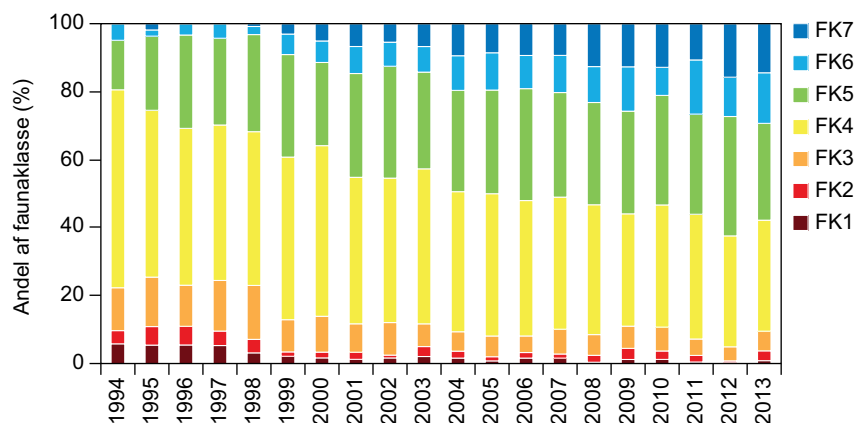
Udviklingen i økologisk tilstand ved de op til ca. 250 NOVANA stationer er blevet rapporteret i de årlige NOVANA vandløbsrapporter. Disse stationer udgør i endnu mindre grad end de ca. 800 stationer, som de er en delmængde af (se afsnit 3.3), et repræsentativt udvalg af danske vandløb (Wiberg-Larsen m.fl. 2010, Wiberg-Larsen m.fl. 2012). Således er store og mellemstore vandløb overrepræsenteret, og små vandløb tilsvarende underrepræsenteret, i stationsnettet i forhold til de vandløb, som indgår i seneste udkast til vandplaner, ligesom stationerne som udgangspunkt omfatter vandløb, som er påvirket på forskellig vis (udledninger fra renseanlæg, dambrug, landbrugsdrift, reguleringer, fysisk vedligeholdelse). Man skal derfor IKKE lægge vægt på de konkrete procentvise andele af faunaklasserne, hvorimod selve tendensen i udviklingen formodentlig er repræsentativ for landets middelstore og store vandløb. Fordelingen af vandløbstyperne i vandplanerne er i øvrigt "tættest" på at repræsentere danske vandløb som helhed. Vandplanerne omfatter dog ikke en væsentlig del af de danske vandløb.

3.4.2 Hvad viser data?

Den økologiske tilstand, således som den er beskrevet ud fra faunaklassen, er generelt blevet væsentlig forbedret siden 1994 (se figur 3.1). Således er andelen af faunaklasserne 1-3 reduceret fra 22-26 % i perioden 1994-1998 til 5-11 % i perioden 2009-2013, ligesom andelen med faunaklasse 4 er reduceret fra 45-58 % til 33-37 %. Modsat er andelen med faunaklasse 5-7 (god til høj tilstand) øget fra 19 % i 1994 til hele 58 % i 2013. Specielt er andelen med faunaklasse 6 eller 7 øget markant.

Udviklingen i retning af en bedre tilstand er stærkt statistisk signifikant (linær regression for hhv. faunaklasse 1-3, 4 og 5-7: $r^2 = 0,84-0,93$, $p < 0,001$). Ses alene på de seneste 5 år er der imidlertid ingen statistisk signifikant udvikling, om end der synes at være tendens til forsat forbedring. Set over de seneste 10 år er der derimod en stærk statistisk signifikant positiv udvikling i tilstanden ($r^2 = 0,75-0,79$, $p < 0,001$). Det ser altså ud til, at den positive udvikling er ved at "klinge af" og tilstanden er ved at finde et "stabilt leje".

Figur 3.1. Udvikling i faunaklassen (Dansk Vandløbs Fauna Indeks) ved 91-247 stationer undersøgt på standardiseret vis igennem perioden 1994-2013 (se afsnit 3.4.1 for nærmere forklaring).



Men hvad er forklaringen på den markant positive udvikling? Er der tale om forbedring af vandkvaliteten gennem forbedret spildevandsrensning ved offentlige renseanlæg, ejendomme i det åbne land, ferskvandsdambrug, eller er de fysiske forhold forbedret som følge af en mere miljøvenlig vedligeholdelse eller endda fysiske restaurering? Dette er diskuteret ret indgående i Wiberg-Larsen m.fl. 2012. Konklusionen var, at udviklingen i perioden 1994-2007 primært følger en reduktion i vandløbenes indhold af let nedbrydeligt organisk stof. Denne reduktion i belastning er et resultat af indgreb over for udledninger af spildevand, bl.a. i form af bedre rensning af byernes udledninger via de offentlige renseanlæg, reduktion i udledninger fra dambrug (i Jylland), samt eliminering af ulovlige udledninger af ajle, møddingsvand, ensilagesaft mv. fra landbruget. Denne indsats blev primært gennemført i forbindelse med Vandmiljøplan I og blev primært foretaget omkring 1990.

To forhold er afgørende for, om en kemisk forbedring af vandkvaliteten slår igennem i form af forbedret faunaklasse. "Rentvandsarterne" skal således være i stand til at indvandre og udkonkurrere "forureningstolerante" arter. Hastigheden af denne indvandring er betinget af, om rentvandsarterne allerede findes i et givet vandløbssystem (for så kan det gå relativt hurtigt) eller om de skal indvandre over land fra andre vandsystemer (for så vil det tage årtier, hvis afstandene er store), se fx Wiberg-Larsen & Nørum (2009). Indvandring kan dog ikke stå alene. Ligeså vigtigt er, at der også er fysiske levesteder i de vandløb, hvor vandkvaliteten er forbedret. Der er således påvist en signifikant positiv sammenhæng mellem fysisk kvalitet, målt ved Dansk Fysisk Indeks, og faunaklassen (se Wiberg-Larsen et al. 2010). Dette fremgår også af tabel 3.1, som viser signifikant større værdier af fysisk indeks i de aktuelle vandløbsstationer med faunaklasse 5-7 sammenlignet med de, som kun har faunaklasse 1-4.

Selvom der kan peges på vandkvalitetsforbedringer som den primære årsag til den positive udvikling i miljøtilstand, kan det ikke udelukkes at også fysiske forbedringer har haft betydning. Imidlertid er der en udpræget mangel på dokumentation for ændringer i de fysiske forhold i danske vandløb inden for de seneste 20-25 år. Der er således ikke foretaget systematiske målinger, fx i form af fysisk indeks eller lignende. Man kunne ellers forvente en forbedring som følge af ændringen af formålet med vandløbsloven i 1985. Her blev afvanding og miljøinteresser i princippet ligestillet, hvor afvanding var hovedformålet før den tid. Miljøvenlig vedligeholdelse af vandløb blev efterfølgende indbygget i ny regulativer, som dog først blev fuldt implementeret omkring midten af 1990'erne (senest i de mindre vandløb). Men selvom ved-

ligeholdelsen af vandløbene herefter generelt skulle være blevet mere ”miljøvenlig” – og derved burde føre til bedre fysiske forhold – er der tegn på, at vedligeholdelsen ikke er udført så miljøvenligt som angivet i regulativerne (Moeslund & Schlünsen 2011). Dertil kommer, at ”miljøvenlig” vedligeholdelse udført i overensstemmelse med regulativerne ikke nødvendigvis er tilstrækkelig til at sikre forbedrede fysiske forhold, ligesom det kan være nødvendigt at supplere med egentlige fysiske restaureringer for at give tilstrækkelig positiv effekt.

Tabel 3.1. Sammenligning af væsentlige miljøparametre for vandløbsstationer med hhv. dårlig til moderat og god-høj økologisk tilstand baseret på faunaklasse efter DVFI. Angivet statistisk signifikante forskelle for enten median eller middelværdi: Ikke signifikant - NS, $P < 0,05^*$, $P < 0,001^{***}$.

Parameter	Statistisk værdi	Faunaklasse 1-4	Faunaklasse 5-7
Bredde (m)	Minimum	0,8	0,6
	Maksimum	19,5	16,9
	Median ^{NS}	2,6	2,7
	Middelværdi	3,6	3,9
Fysisk Indeks	Minimum	-5	-4
	Maksimum	46	51
	Median	12	27
	Middelværdi ^{***}	15	27
BOD ₅ (mg/L)	Minimum	0,00	0,00
	Maksimum	4,77	4,34
	Median	1,41	1,21
	Middelværdi [*]	1,48	1,23

Forbedringen i vandkvalitet og økologisk tilstand er primært et resultat af forbedret spildevandsrensning ved kommunale renseanlæg og dambrug. Derimod har forbedret rensning ved ejendommene i det åbne land næppe haft nogen større betydning - endnu. Dels er den endnu ikke gennemført i fuldt omfang på landsplan, dels er udledningerne kun af væsentlig betydning i de små vandløb, som i mindre omfang indgår i nærværende analyser. Det må dog forventes, at den forbedrede spildevandsrensning i det åbne land vil få en synlig positiv effekt på tilstanden i landets små vandløb generelt.

Som nævnt ovenfor ser tilstanden i de undersøgte vandløb ud til at have nået et relativt ”stabilt leje” med svag tendens til, at der bliver flere stationer med faunaklasse 5-7 og tilsvarende færre med faunaklasse 1-4 (figur 3.1). Den væsentligste årsag til dette er tilsyneladende forskelle i vandløbenes fysiske tilstand, hvor stationer med faunaklasse 5-7 har markant højere median/middelværdi af fysisk indeks sammenlignet med stationer med faunaklasse 1-4. Stationerne med faunaklasse 5-7 har dog også gennemsnitlig lavere indhold af BOD₅ (en indikator for let nedbrydeligt organisk stof), men forskellen er relativt mindre (sammenlignet med de fysiske forhold) og effekten heraf formodentlig marginal. Interessant er også, at der ikke er nogen statistisk signifikant forskel i størrelsen (målt som vandløbsbredde) af vandløbene mellem de to grupper. Konklusionen er derfor, at man ikke kan forvente yderligere væsentlige forbedringer i den økologiske tilstand (faunaklassen) uden at der foretages indgreb, der afgørende forbedrer de ”dårlige” fysiske forhold i de vandløb, som har dårlig til moderat økologisk tilstand. Det underbygger, at det væsentligste miljøproblem i danske vandløb aktuelt er dårlige fysiske forhold. Det betyder også, at der er behov for forbedringer af de fysiske forhold i det omfang man ønsker at forbedre den økologiske tilstand.

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. Forhøjede tilførsler af kvælstof kan også have en negativ betydning i vore søer. Vandmiljøplanerne har som et af de vigtigste mål at reducere tilførslen af kvælstof til havmiljøet.

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

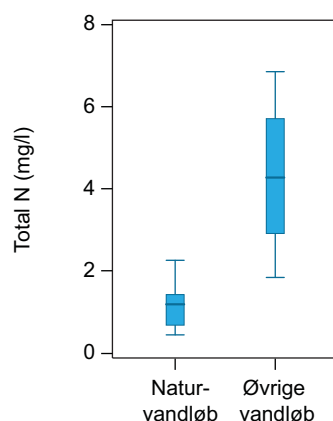
Kvælstof har normalt relativt lille betydning for miljøet i selve vandløbene, bortset fra forhøjede koncentrationer af ammoniak, der har giftvirkning på smådyr og fisk, ligesom forhøjede koncentrationer af ammonium-N kan udelukke tilstedeværelsen af visse vandplanter. Til gengæld er vandløbene en vigtig 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 vandmiljøplanerne.

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

4.1 Tilstanden i 2013

Koncentrationen af kvælstof i vandløb, som ligger i dyrkede oplande eller modtager udledninger fra punktkilder, var i 2013 gennemsnitligt omkring 4 gange så høj som baggrundsniveauet målt i naturvandløb (figur 4.1).

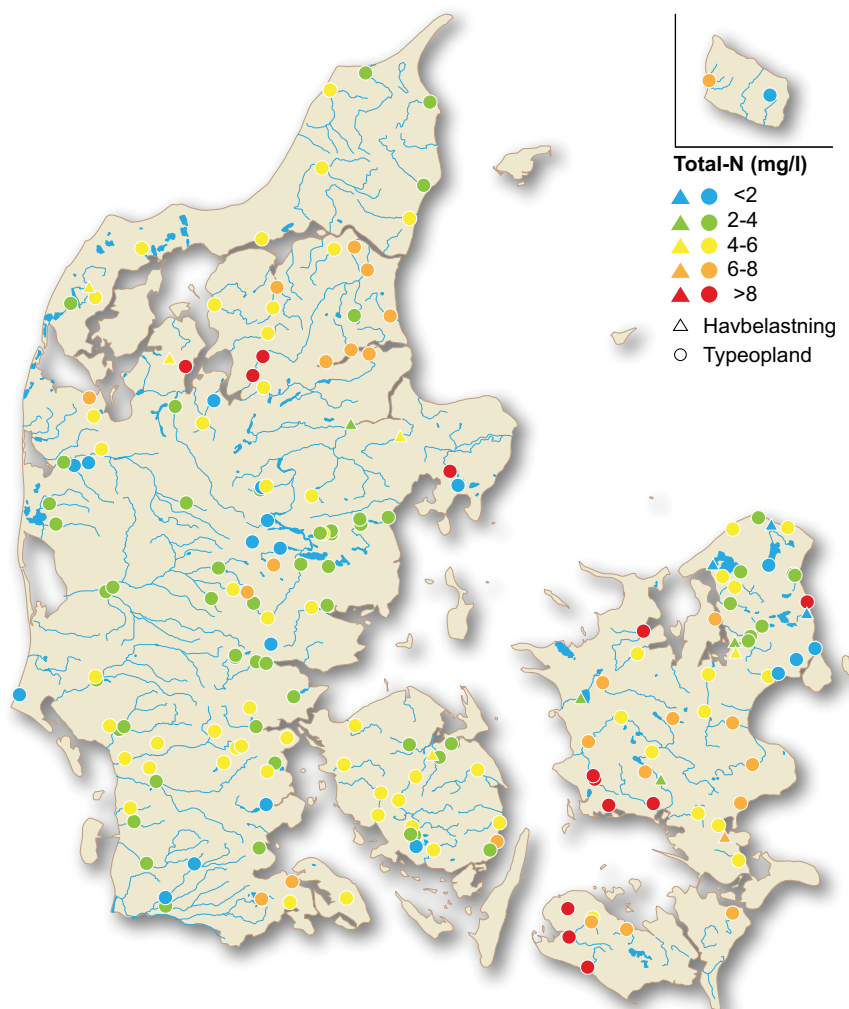
Figur 4.1. Koncentrationen af total kvælstof i vandløb i 2013. For naturvandløbene dog 2011, da de kun undersøges hvert 3. år. Vandføringsvægtede årsmiddelværdier. Box-whiskers angiver 10, 25, 50, 75 og 90 percentiler.



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 lang vej gennem 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.

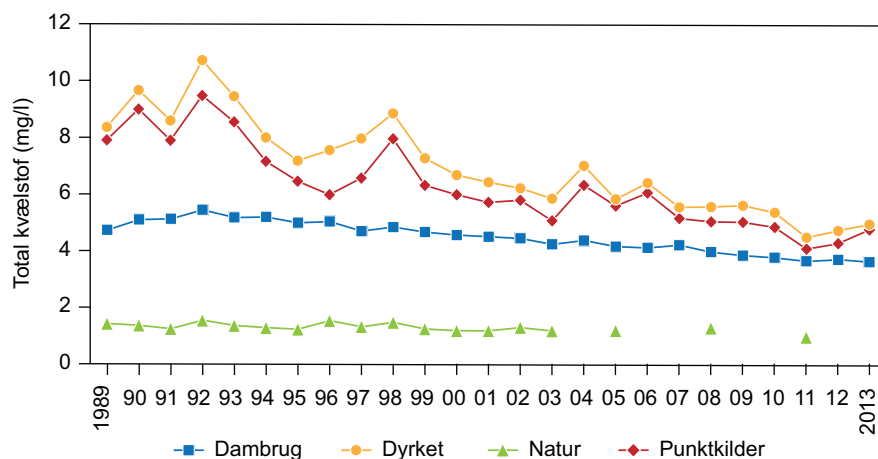
Figur 4.2. Koncentrationen af total-kvælstof i vandløb i 2013. Vandføringsvægtede årsmiddelværdier.



4.2 Udvikling siden 1989

Kvælstofkoncentrationen i vandløbene har generelt været faldende, bortset fra i naturvandløbene, hvor den har været stort set uændret. 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). 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.

Figur 4.3. Udvikling i kvælstof-koncentration 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 og Senn's trend estimator) af udviklingstendenser siden 1989 for vandføringskorrigerede koncentrationer og transport 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	Procentvis ændring i transport
Natur	6	2	0	-16 $\pm$ 12	-21 $\pm$ 10
Dyrket	54	48	0	-48 $\pm$ 5	-51 $\pm$ 5
Punktkilder	70	66	0	-50 $\pm$ 4	-49 $\pm$ 4
Dambrug	15	13	0	-34 $\pm$ 7	-35 $\pm$ 11
Alle	146	130	0	-45 $\pm$ 3	-48 $\pm$ 3

5 Fosfor i vandløb

Jens Bøgestrand

Fosfor er, lige som kvælstof, et plantenæringsstof og er den vigtigste årsag til forekomsten af en forøget mængde af planktonalger i mange søer. Fosfor er også af betydning for tilstanden i nogle fjorde. Af disse årsager har vandmiljøplanerne haft som et mål at reducere udledningen 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 imidlertid 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 væsentlig rolle for visse plantearter og i visse vandløb, og herigennem påvirke den generelle økologiske tilstand (Wiberg-Larsen et al. 2012).

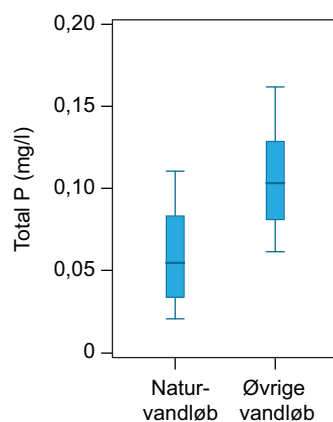
Fosfor transporteres via vandløb til søer og fjorde. Derfor er målte koncentrationer og beregnede transporter vigtige for at kunne vurdere, om tilførslerne til søer og fjorde som ønsket bliver mindre.

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

5.1 Tilstanden i 2013

Koncentrationen af fosfor i vandløb, som ligger i dyrkede oplande eller modtager udledninger fra punktkilder, var i 2013 gennemsnitligt (medianværdien) dobbelt så høj som niveauet målt i naturvandløb (figur 5.1).

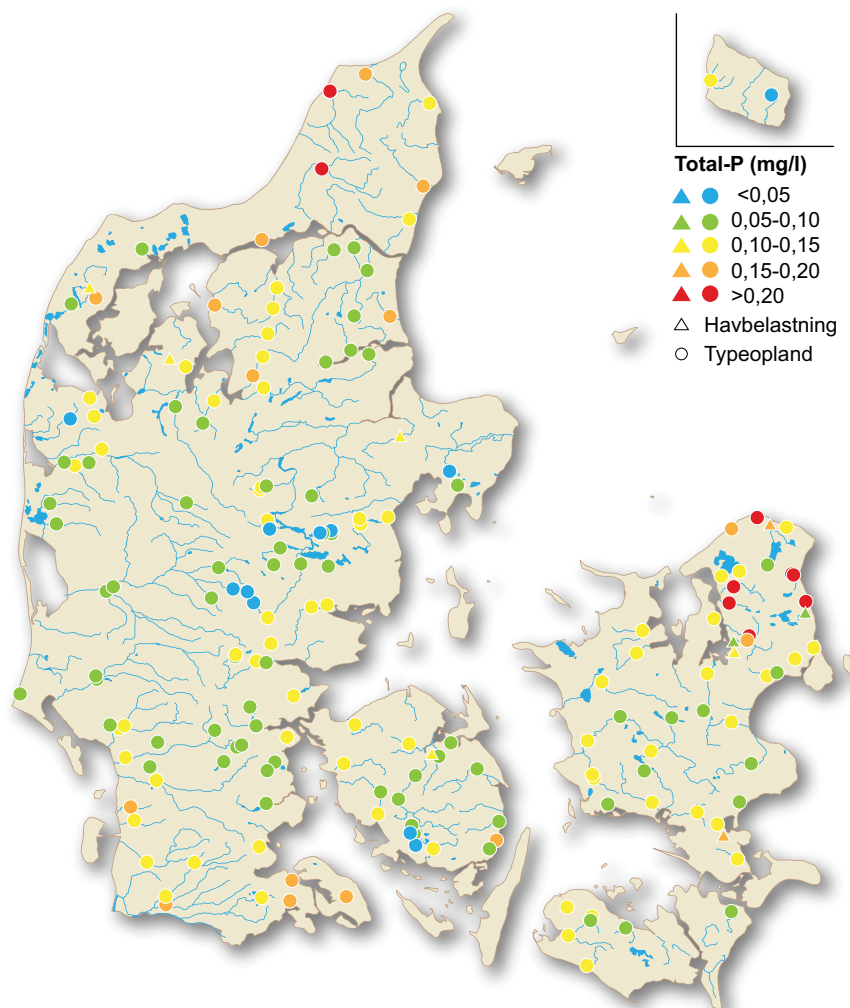
Figur 5.1. Koncentrationen af total fosfor i vandløb i 2013. For naturvandløbene dog 2011, da de kun undersøges hvert 3. år. Vandføringsvægtede årsmiddelværdier. Box-whisker diagrammet giver 10, 25, 50, 75 og 90 percentiler.



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.

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). I de mere tyndt befolkede egne i Midt- og Vestjylland, hvor afstrømningen generelt også er større, er der lavere koncentrationer af fosfor.

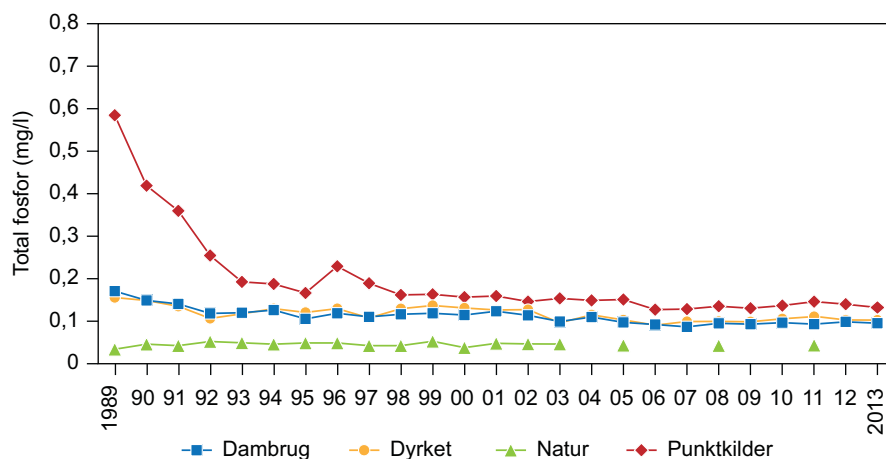
Figur 5.2. Koncentrationen af total fosfor i vandløb i 2013. Vandføringsvægtede årsmiddelværdier.



5.2 Udviklingen siden 1989

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. 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 og Senn's trend estimator) af udviklingstendenser siden 1989 for vandføringskorrigerede 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	Procentvis ændring i transport
Natur	6	0	0	-2 $\pm$ 11	-5 $\pm$ 3
Dyrket	32	15	2	-15 $\pm$ 9	-16 $\pm$ 8
Punktkilder	70	60	0	-41 $\pm$ 5	-41 $\pm$ 6
Dambrug	15	13	0	-27 $\pm$ 10	-27 $\pm$ 10
Alle*	147	101	3	-31 $\pm$ 4	-32 $\pm$ 4

6 Kvælstofbelastning af havet

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

Kvælstofbelastningen (dvs. kvælstoftilførslen) er i dette kapitel opgjort for 2. og 3. ordens kystafsnit, jf. oplandene på kortene fig. 6.1 – 6.3.

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

6.1 Datagrundlag og metoder

Til beregning af den samlede tilførsel af total-kvælstof fra land for perioden siden 1990 er der anvendt data fra i alt 169 målestationer. For 115 af disse stationer har der været kontinuerte måledata til stede for hele perioden. De 169 målestationer dækker et samlet opland på 23.887 km² svarende til 55 % af landets samlede areal. For 54 af målestationerne (2320 km² opland) har der IKKE været kontinuerte måledata til stede. Stoftransporter for disse stationer er for måneder uden måledata beregnet via procedurer for 'huludfyldning'. Den valgte metode hertil er beskrevet i Windolf m.fl. (2014).

For de såkaldt umålte oplande er afstrømningen af total-kvælstof beregnet ved brug af simple modeller for udledning og omsætning af kvælstof, 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-QN 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 der dog bevaret den hidtidige tidsserie for markbalancen (Blicher-Mathiesen m.fl., 2012). Dette er gjort fordi det er denne tidsserie, som kalibreringen af DK-QN modellen er baseret på.

For den del af landet, der afvandes til de såkaldte V1-fjorde og som indgår i udkastene til vandplaner, er der forsøgt foretaget korrektioner for ovennævnte modelbias. Korrektionerne er foretaget i 2 trin. Først er der sket 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 (371, 372, 374, 376) til Limfjorden. Disse korrektioner er nærmere beskrevet i Windolf m.fl. (2012a). Det

bemærkes, at der ikke nødvendigvis med dette forsøg på modeltilpasning i umålte oplande er taget højde for betydningen af systematiske afvigelser mellem målte og umålte oplande. Det gælder fx betydningen af lavbunds-områder og den stofomsætning, der kan ske her.

Data for udledninger af spildevand fra punktkilder er for samtlige år leveret af Fagdatacentret for punktkilder (tidligere Miljøstyrelsen, nu under Naturstyrelsen).

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 denne rapport knyttet til punkter i form af de udledningspunkter, som kommunerne er ansvarlige for, og som forefindes i den nye fællesoffentlige database for punktkildeudledninger, PULS. De samlede udledninger fra RBU i 2013 er opgjort til at være væsentligt (størrelsesorden 30-40 %) højere end tidligere år, hovedsageligt på grund af et forbedret datagrundlag (Naturstyrelsen, 2014), 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 'hul-udfyldning' 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 år X 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 bedre 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. De eksisterende angivelser i den hydrologiske reference af, hvor vidt et anlæg udleder direkte til havet, er desværre fejlbehæftede. Derfor er det aftalt mellem fagdatacentre 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 og regnvandsbetingede udledninger. Saltvandsbaserede fiskeopdræt betragtes konsekvent som direkte udledere til havet.

Under bearbejdning af data har der vist sig fejlagtige lokaliseringer af et antal renseanlæg. Problemet er måske mere generelt, og kan være betydningsfuldt i områder af landet med stor befolkningstæthed og dermed mange renseanlæg, men omfanget kendes ikke. Forholdet kan i målte oplande betyde at det diffuse bidrag underestimeres.

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 Afstrømningen af kvælstof til havet i 2013

For hele 2013 blev der i alt beregnet en tilførsel på godt 54.000 tons totalkvælstof fra land til kystafsnittene omkring Danmark. Samtidig var vandafstrømningen i 2013 på 310 mm. Dermed blev såvel vand- som kvælstofafstrømningen i 2013 lidt mindre end året før.

Tabet af totalkvælstof pr. ha opland til de kystnære vande var som gennemsnit i 2013 omkring 12,6 kg N/ha mod 14 kg N/ha i 2012. 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.

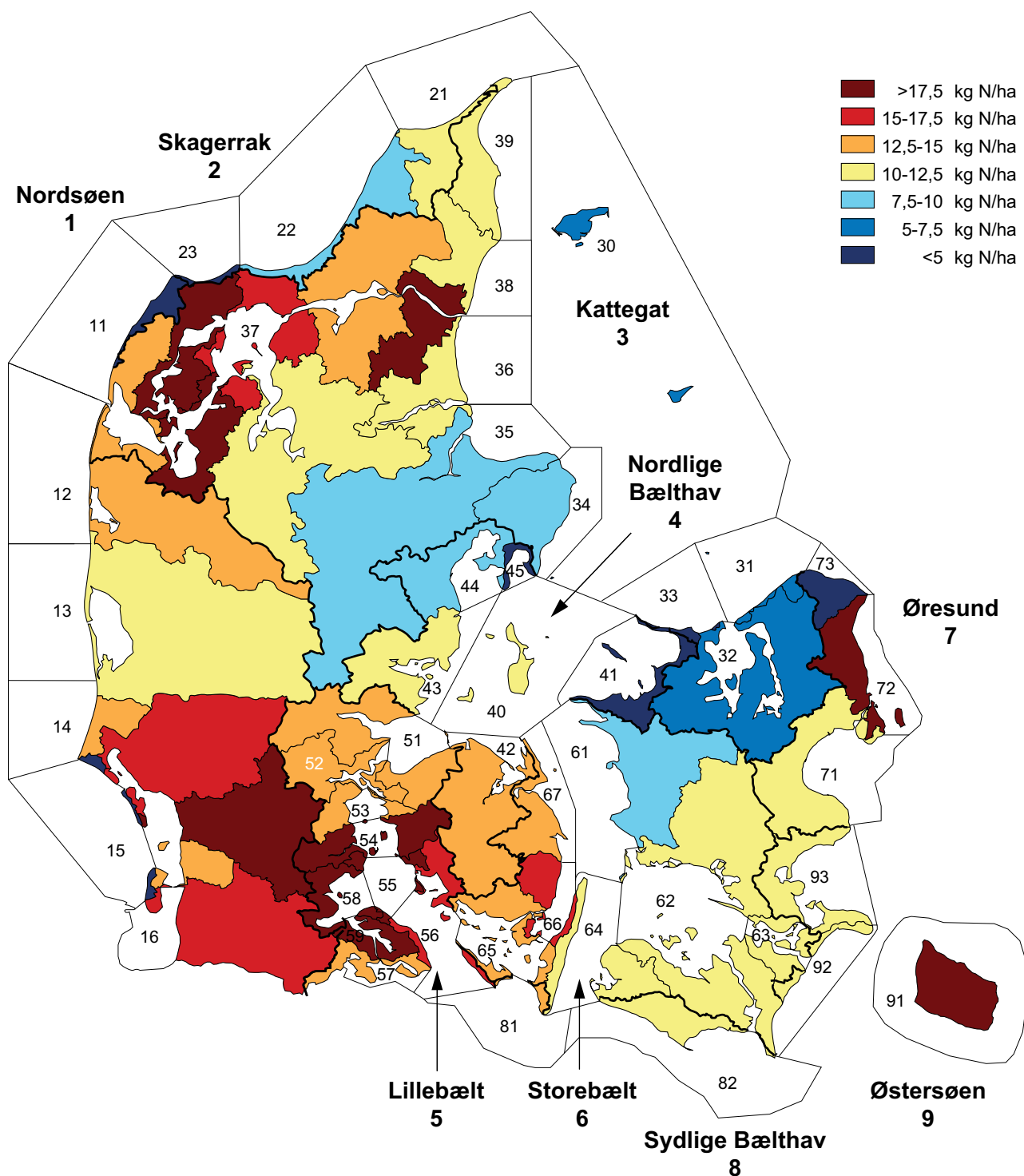
Relativt store oplandstab af kvælstof forekom i 2013 – som i 2012 – i store dele af oplandet til Limfjorden og fra oplandene i det sydlige Jylland (figur 6.1).

Indholdet af totalkvælstof i det afstrømmende vand til kystvandene var generelt mindre end 5 mg N/l (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, Nisum Fjord og Ringkøbing fjord var koncentrationerne – som i 2012 – 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 det kvælstof, der udledes til vandløbene inden vandet med resterende kvælstof når frem til Randers Fjord. For Storåen og Skjernå, der afvander til Nisum Fjord og Ringkøbing Fjord, sker der en væsentlig fjernelse af det kvælstof, der udvaskes til dræn og 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 det udvaskede kvælstof.

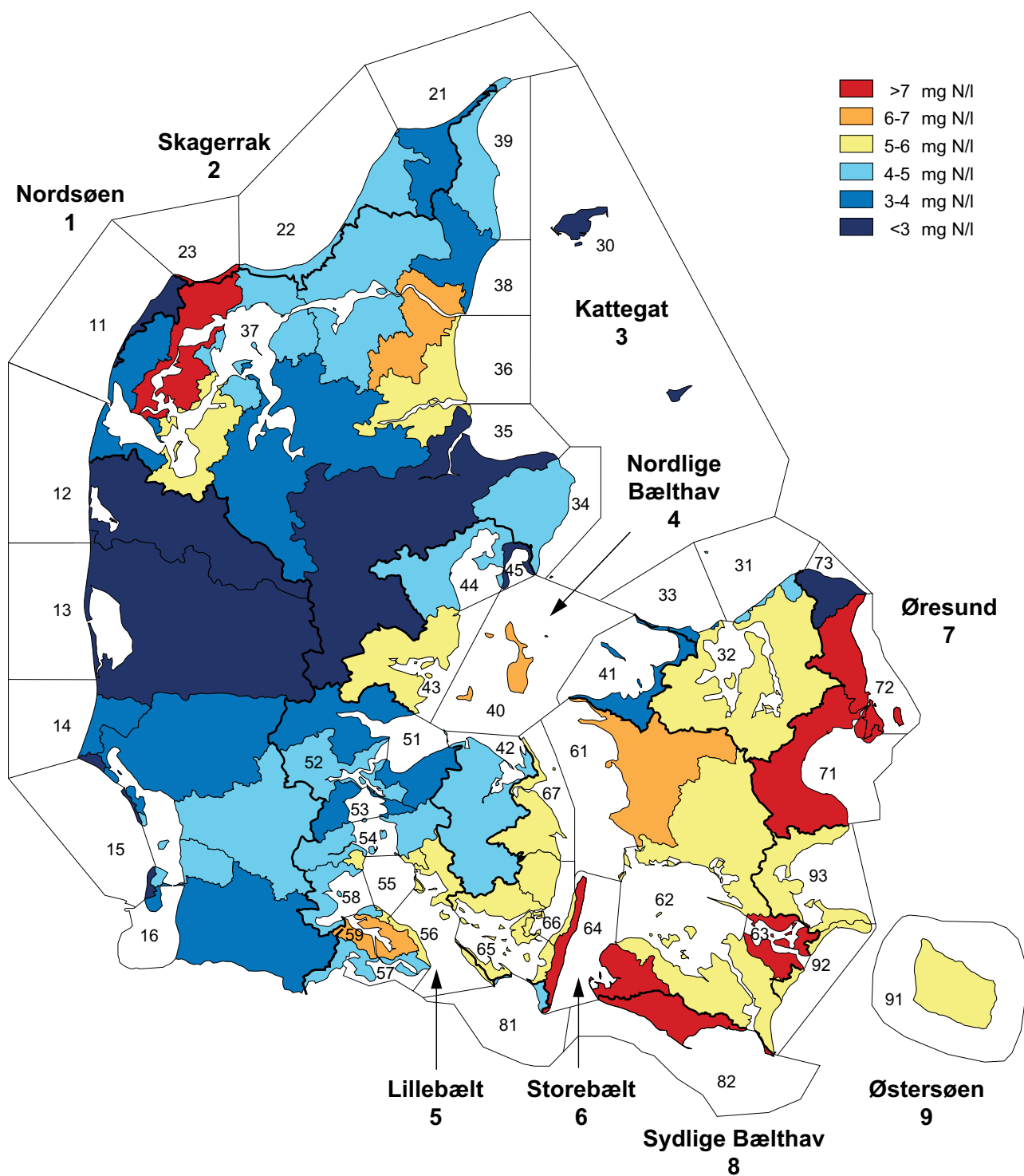
I enkelte oplande – f.eks. visse områder omkring Limfjorden, Mariager Fjord, Horsens Fjord og størstedelen af det østlige Danmark – var koncentrationerne generelt større end 5 mg N/l.

De diffuse kilders andel af den samlede kvælstoftilførsel til kystområderne varierede – som i tidligere år – noget fra landsdel til landsdel. De diffuse kilder omfatter tilførsler fra såvel dyrkede som udyrkede jorder, men også i mindre omfang udledninger af spildevand fra spredt liggende ejendomme

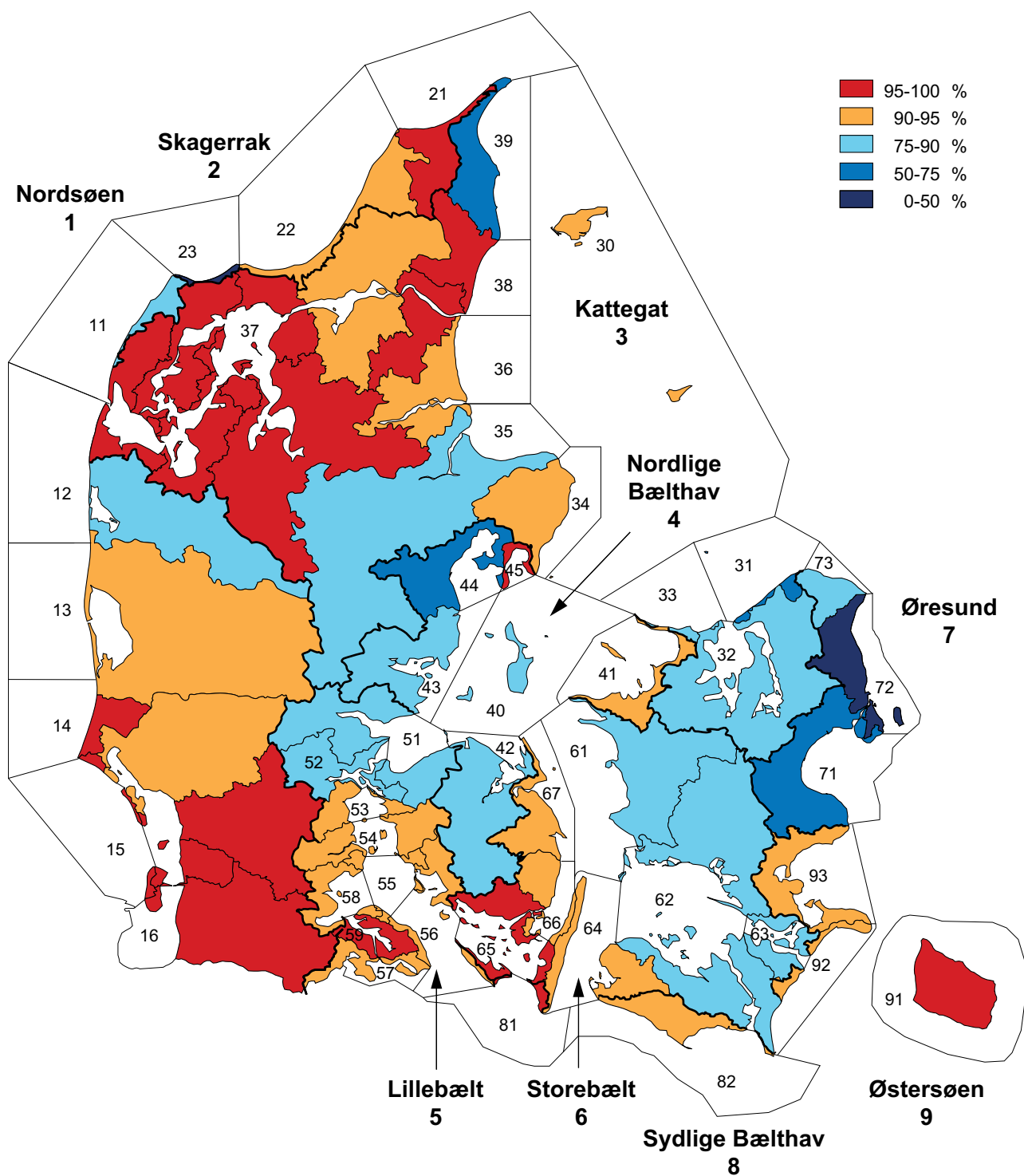
uden for de offentlige kloaksystemer. De diffuse kilder var derfor mindst betydende omkring de større byer og størst i de åbne landområder (figur 6.3). For landet som helhed var den samlede udledning af total-kvælstof fra punktkilder (dvs. renselanlæg knyttet til bymæssig bebyggelse, dambrug, virksomheder) på 5.900 tons i 2013, mens den diffuse udledning udgjorde knap 49.000 tons mod 54.000 tons i 2012. Det svarer til en fordeling på henholdsvis 10-11 og 89-90 % af den totale kvælstoftilførsel til kystområderne for 2012-2013.



Figur 6.1. Tab af total kvælstof fra oplandene til kystområderne i 2013.



Figur 6.2. Kvælstofbelastning af kystområderne i 2013 angivet som vandføringsvægtede koncentrationer.

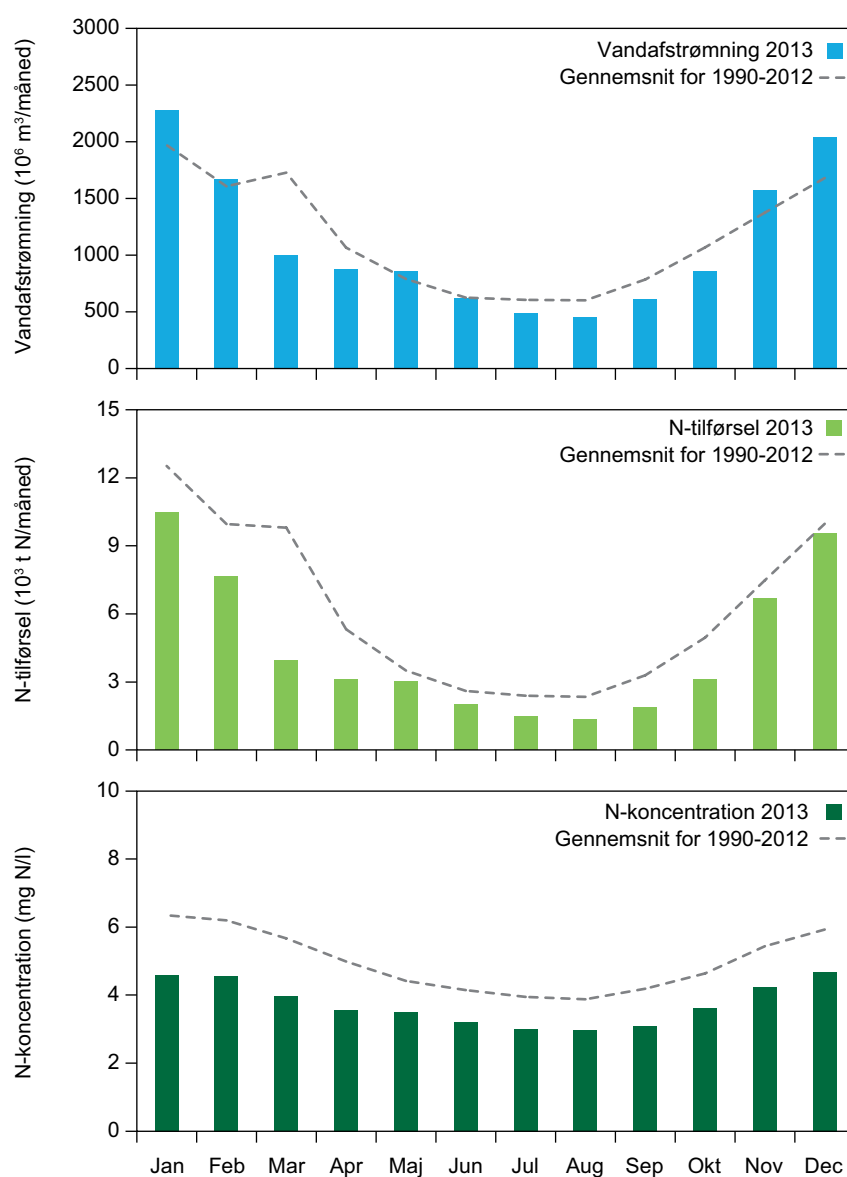


Figur 6.3. Diffus andel af den totale kvælstoftilførsel til kystområderne i 2013

6.3 Sæsonvariation i vand- og kvælstofafstrømning

I 2013 var vandafstrømningen til havet omkring Danmark 4 % mindre end gennemsnittet for perioden 1990-2012 (figur 6.4, se også kapitel 2). Der var dog i de enkelte måneder betydelige afvigelser i forhold til gennemsnittet. I januar måned – og igen mod årets slutning i november-december - var afstrømningen lidt større end i forudgående år. Omvendt var afstrømningen i sommerhalvåret 2013 generelt noget mindre end normalt (figur 2.1). Kvælstofafstrømningen i 2013 var dog bortset fra november-december måneder klart mindre end gennemsnittet for perioden 1990-2012 (figur 6.4 midt). Dette kan forklares ved, at kvælstofkoncentrationerne i det afstrømmende vand for alle måneder var markant mindre end gennemsnittet for perioden (figur 6.4, nederst). Det reducerede kvælstofindhold 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. Månedsvis vandafstrømning (øverst), kvælstoftilførsel (midterst) og vandføringsvægtet kvælstofkoncentration i det afstrømmende vand til havet omkring Danmark (nederst) i 2013 og som gennemsnit for perioden 1990-2012.

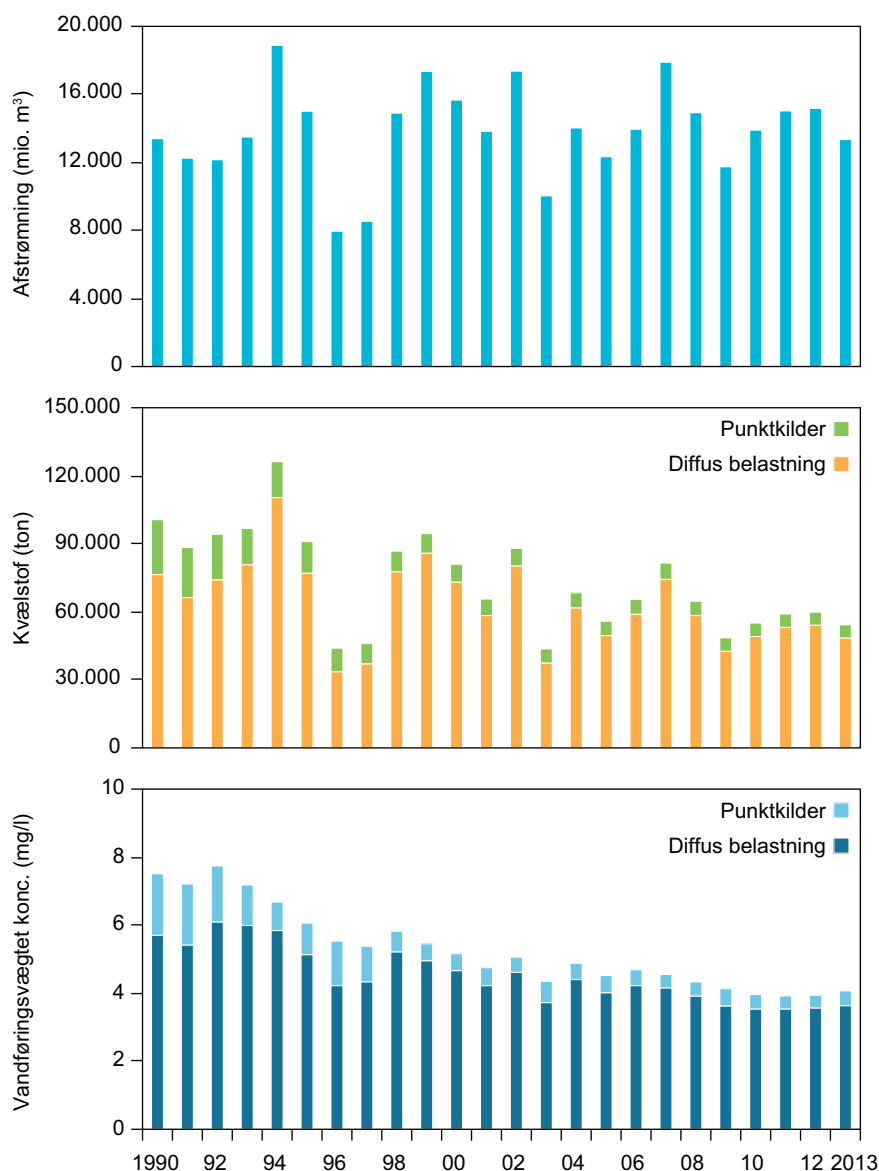


6.4 Udviklingen i kvælstofafstrømning

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, nederst). Koncentrationerne er således faldet fra et niveau på omkring 7-8 mg N/l i starten af 1990'erne til i de seneste 5 år at variere mellem 3,9 og 4,1 mg N/l. Koncentrationerne på 3,9-4,0 mg N/l i 2010, 2011 og 2012 er de lavest målte/beregnedes værdier for hele perioden siden 1990. I 2013 beregnedes en lidt større koncentration på 4,1 mg N/l.

Størstedelen af faldet forklares af en reduktion i de landbrugsrelaterede diffuse udledninger af kvælstof (figur 6.5, midt og nederst).

Figur 6.5. Udvikling i ferskvandsafstrømning (øverst), kvælstoftilførsel (midterst) og vandføringsvægtet kvælstofkoncentration i det afstrømmende vand til havet omkring Danmark (nederst), 1990-2013. Kvælstoftilførslen er fordelt på diffuse kilder (inkl. spildevand fra spredt bebyggelse) og spildevand fra punktkilder.



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 2013 udgjorde spildevandsudledninger fra punktkilder således kun ca. 11 % af de samlede kvælstoftilførsler fra land til havet omkring Danmark mod typisk 20-25 % i starten af 1990'erne.

En nøjere statistisk analyse (Mann-Kendall trend test, tabel 6.1) viser, at der reelt er tale om et signifikant fald i den vandføringsvægtede koncentration af total-kvælstof i den samlede afstrømning til havet. Faldet er estimeret til 51 % (95 % konfidensgrænser: 39-60 %). Netop udviklingen i den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration er et godt mål for den reelle udvikling i kvælstofafstrømningen, fordi der delvist tages højde for betydningen af de store naturlige år til år udsving i vandafstrømning. Også for hvert af de 9 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 43 % i perioden 1990-2013, (95 % konfidensgrænser: 34-53 %). I oplandene til farvandsområderne varierede de beregnede fald i det diffuse koncentrationsbidrag mellem 37 og 53 %.

Analyserne af udviklingen i kvælstoftransporten i tabel 6.1 er udført på de samlede transporter fra målte og umålte oplande. Gennemføres en lignende statistisk analyse af udviklingen i den samlede kvælstoftransport fra vandløbsmålestationer, der indgår i beregningerne med måletidsserier for hele perioden 1990-2013 finder man en tilsvarende udvikling i den diffuse kvælstoftransport.

Tabel 6.1. Mann-Kendall trend-test af udviklingen i hhv. den samlede og i den diffuse tilførsel af kvælstof til kystområderne for perioden 1990–2013. 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	-37	-46
Skagerrak	-46	-61
Kattegat	-35	-40
Nordlige Bælthav	-53	-56
Lillebælt	-51	-54
Storebælt	-50	-50
Øresund	-49	-66
Sydlig Bælthav	-43	-41
Østersøen	-45	-51
Danmark	-43 (-53;-34)	-51 (-60;-39)

6.5 Udvikling i nøgleindikatorer af betydning for kvælstoftransporten

Som bl.a. vist i dette kapitel er der en væsentlig kobling mellem størrelsen af ferskvandsafstrømningen og den tilknyttede kvælstoftransport. I 'våde' år med megen nedbør og stor ferskvandsafstrømning vil der typisk også være en større kvælstoftransport end i 'tørre' år med ringe nedbør. 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 kvælstoftransport er i figur 6.6 (øverst) 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 denne 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 (322 mm/år).

Det ses tydeligt, at der gennem perioden er sket et fald i den normaliserede kvælstoftransport fra diffuse kilder (Figur 6.6, øverst). Faldet kan beregnes til omkring 41 % eller ganske tæt på det fald, der er beregnet med den alternative metode (se tabel 6.1).

Selv om det totale fald i kvælstofafstrømningen tydeligt ses at være størst i den første del af perioden (figur 6.6, to øverste delfigurer), er der dog også sket et fald i den afstrømningsnormaliserede totale kvælstofafstrømning siden 2005. For de hydrologiske år 2011/12 og 2012/13 beregnedes således en normaliseret diffus kvælstofafstrømning på ca. 49.000 tons kvælstof.

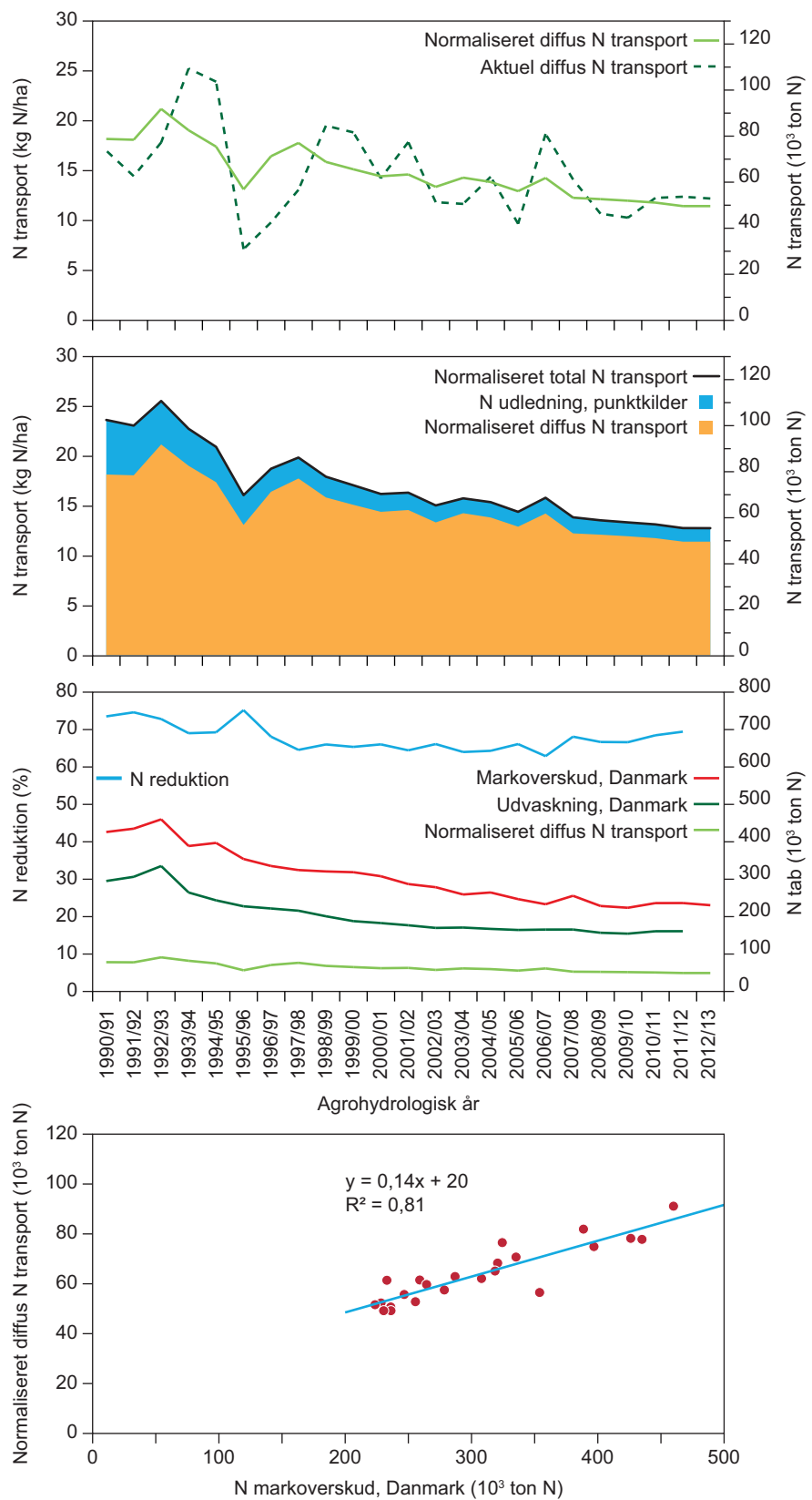
Udover de diffuse kilder til kvælstoftransporten udledes der også kvælstof med spildevand til vandmiljøet. Disse spildevandsudledninger er ikke i samme grad som udledningerne fra de diffuse kilder påvirket af variationer i nedbøren. Tillægges de aktuelle spildevandsudledninger fra punktkilder (ekskl. spildevand fra spredt bebyggelse som medregnes under den diffuse afstrømning) 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 6.6 (næstøverst). Her er regnet i agrohydrologiske år, idet dette er mest korrekt ved sammenstillinger af landbrugspraksis (markbalancer) og diffus N tilførsel til havet. Det fremgår, at der med den anvendte metode beregnes en N-tilførsel på over 100.000 tons N i starten af perioden. For de seneste 5 år har de beregnede normaliserede N-tilførsler været mellem 55.000-59.000 tons N. Heraf stammer knap 6.000 tons fra spildevandsudledninger.

Den altovervejende 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 6.6 næstnederst). 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 kvælstoftransport falder i takt med hinanden.

Figur 6.6. Udvikling i indikatorer for kvælstoftransporter beregnet for agrohydrologiske år.



Der er således en meget stærk, signifikant lineær relation mellem det nationale markoverskud og den samlede, normaliserede kvælstoftransport fra diffuse kilder (Figur 6.6, nederst).

I figur 6.6 (næstnederst) er også vist udviklingen i den samlede 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. Denne reduktion har de seneste 5 år varieret mellem 65 og 70 % (figur 6.6 næstnederst).

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 kvælstoftransport (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 6.6. En væsentlig medvirkende forklaring herpå er forekomst af ikke reduceret dybere liggende grundvand med stadig høje indhold af kvælstof, som bidrager væsentligt til kvælstoftransporten i vandløbene (Mariager Fjord's opland).

6.6 Sammenfatning af resultaterne

- Den samlede kvælstoftilførsel fra land til kystvandene i 2013 er beregnet til godt 58.000 tons N/år. Heraf udgør kvælstof udledt med spildevand fra punktkilder ca. 5.900 tons N/år.
- Kvælstoftilførslerne fra land til fjorde og øvrige kystnære områder er siden 1990 reduceret med omkring 51 %, (vurderet ud fra udviklingen i vandføringsvægtede koncentrationer)
- De diffuse kilders andel af den samlede kvælstofafstrømning til kystvandene var i 2013 omkring 89 %.
- Kvælstoftilførslerne fra diffuse kilder er reduceret med omkring 43 % siden 1990.
- Reduktionen i tilførslerne fra diffuse kilder forklares af et fald i kvælstofoverskuddet og kvælstofudvaskningen på de dyrkede marker.
- Kvælstofretentionen på vandets vej fra 'jord-til-fjord' har de seneste 5 år varieret mellem 65-70 % af det nitrat-kvælstof, der udvaskes fra rodzonen.
- Den afstrømnings-normaliserede kvælstoftilførsel til havet fra diffuse kilder er for de hydrologiske år 2008/09-2012/13 estimeret til mellem 49.000-53.000 tons. Hertil skal lægges et bidrag fra punktkilder på omkring 6.000 tons, således at det nuværende niveau for den samlede normaliserede kvælstoftilførsel til havet omkring Danmark er omkring 55.000-59.000 tons N.

7 Fosforbelastning af havet

Jørgen Windolf, Jens Bøgestrand, Søren Erik Larsen og Niels Bering Ovesen

7.1 Datagrundlag og metode

Fosforbelastningen er, som kvælstofbelastningen, opgjort for 2. og 3. ordens kystafsnit, jf. oplandene på kortene fig. 7.3 – 7.5. For måledatagrundlaget og den metodiske tilgang for opgørelserne henvises til kapitel 6. Måledatagrundlaget for opgørelser af fosforbelastningen er – ligesom for kvælstof – i alt 169 målestationer. For 54 af disse har der ikke været komplette måletids-serier 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 belastningen beregnet ved hjælp af en model for den diffuse tilførsel, og resultaterne herfra er summeret med spildevandsudledningerne (fra renseanlæg, dambrug, industriudledninger) og derefter fratrasket retentio-nen i søer inden for de respektive oplande. Den diffuse tilførsel omfatter dels tab af fosfor fra dyrkede og udyrkede jorder, dels udledninger af spildevand fra spredt liggende ejendomme i det åbne land (dvs. uden for kloakerede områder). Modellen for den diffuse udledning anvender data for jordtype, dyrkningsgrad, andel af vådområder, nedbør og baseflow som forklarende variable. Opgørelsesmetoder og modelberegninger er beskrevet i Ovesen m.fl. (2009). Modellen er nyligt søgt verificeret og aftestet på et supplerende datagrundlag og der er her specielt fundet behov for at korrigere modellen for det vestlige Jylland, idet der her beregnes klart for høje fosforudledninger 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 metode".

Ved kildeopsplitningen er den samlede diffuse belastning angivet som differensen mellem totalbelastningen og spildevandsudledningerne. Det tilgængelige datasæt for spildevandsudledningerne (inkl. dambrug) er tilvejebragt som beskrevet i kapitel 6.1.

7.2 Fosfortilførsel til havet 2013

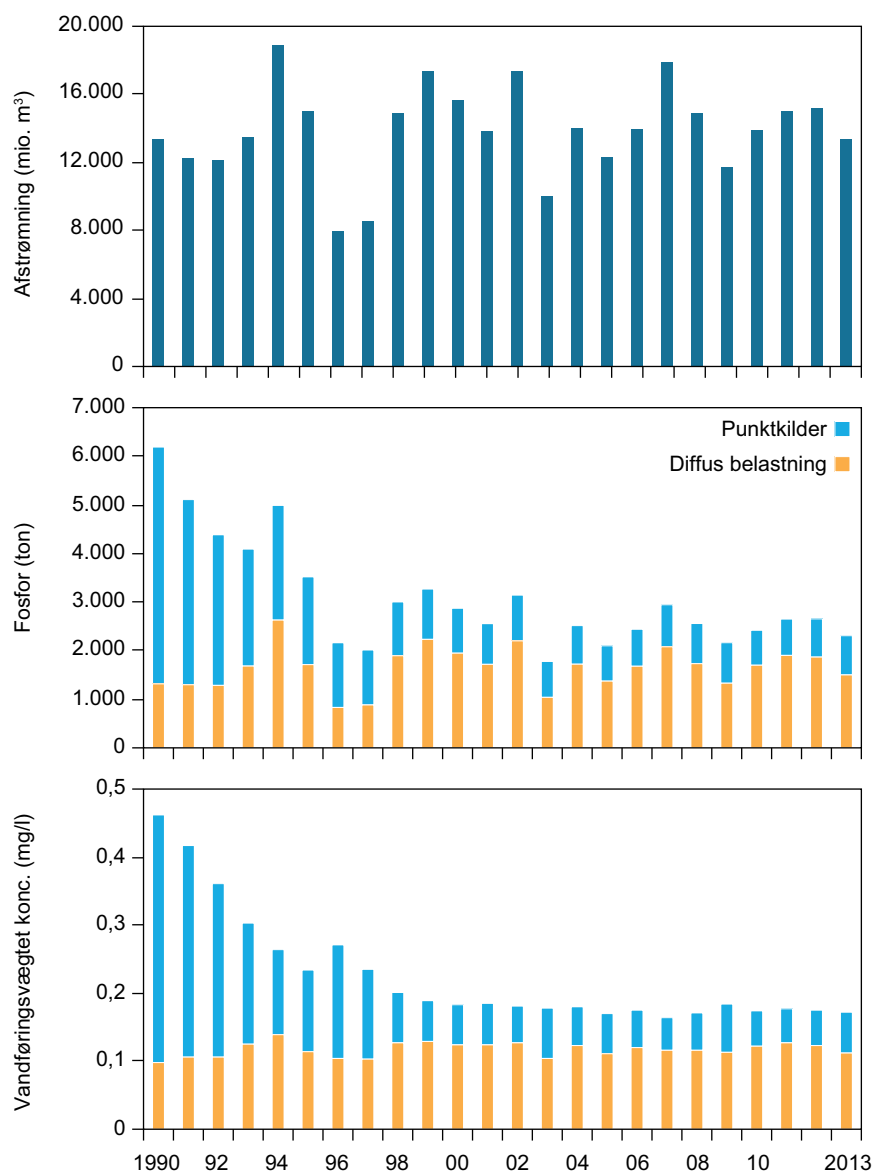
I 2013 blev der i alt beregnet en tilførsel af godt 2300 tons fosfor (P) til de danske farvandsområder (figur 7.1, midt). Det er omkring 12 % mindre end året før. Også vandafstrømningen var i 2013 12 % mindre en året før. Koncentrationerne af fosfor i den samlede ferskvandsafstrømning var 0,17 mg P/l i 2012 og 2013, (figur 7.1, nederst), så forskellen i fosfortilførsel forklares ved variation i vandafstrømningen.

Siden 1990 er der sket et markant fald i de samlede fosfortilførsler til kystvande-ne. Faldet forklares af den store reduktion i fosforudledningerne med spildevand gennem perioden (figur 7.1, midt), 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 (eks. spildevand fra spredt bebyggelse, der indregnes som diffus kilde) er således faldet fra omkring 4900 tons fosfor i 1990 til 700-800 tons fosfor de seneste år. Det skal bemærkes, at også i 1980'rne blev der på foranled-

ning 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 – ligesom kvælstof - fra år til år primært med variationerne i den årlige vandafstrømning (figur 7.1, øverst).

Figur 7.1. Ferskvandsafstrømning, samlet tilførsel af fosfor til de marine kystafsnit og vandføringsvægtet fosfor koncentration for 1990 til 2013.



Den markante reduktion i fosfortilførslerne ses specielt tydeligt i udviklingen i de vandføringsvægtede fosforkoncentrationer i den samlede vandmængde, der strømmer fra land til kystvandene omkring Danmark (figur 7.1, nederst). Efter det markante fald i 1990'erne ses et konstant niveau de 15 år. Fosfor-koncentrationerne i den samlede ferskvandsafstrømning fra Danmark har de sidste 10 år ligget omkring 0,174 mg P/l (+/- 0,005 S.D.), hvoraf 0,118 mg P/l (+/- 0,005 S.D.) kan tilskrives fosfor udledt fra diffuse kilder. Resten stammer således fra spildevand fra punktkilder.

Det bemærkes, at bidrag for spildevandsudledninger fra spredt bebyggelse, dvs. spildevand fra ejendomme i det åbne land, der ikke afleder spildevand til centrale renseanlæg, indgår i det diffuse bidrag.

Hen over året 2013 var fosfortilførslerne i alle måneder mindre end gennemsnittet for perioden siden 1990 (figur 7.2, midt). Variationen i fosfortilførslerne fulgte som i tidligere år variationen i ferskvandsafstrømningen.

Fosforkoncentrationerne i det afstrømmende vand fra land varierede hen over året 2013, men var – på grund af de reducerede spildevandsudledninger – i alle måneder markant mindre end gennemsnittet for hele perioden siden 1990 (figur 7.2, nederst). Generelt er fosforkoncentrationerne noget større i sommermånederne, fordi ferskvandsafstrømningen er mindre (figur 7.2, øverst), hvorved det udledte spildevand ikke 'fortyndes' så meget som i øvrige måneder. Dette fænomen er dog meget mindre tydeligt nu end tidligere, hvor spildevandstilførslen bidrog relativt mere til den samlede koncentration.

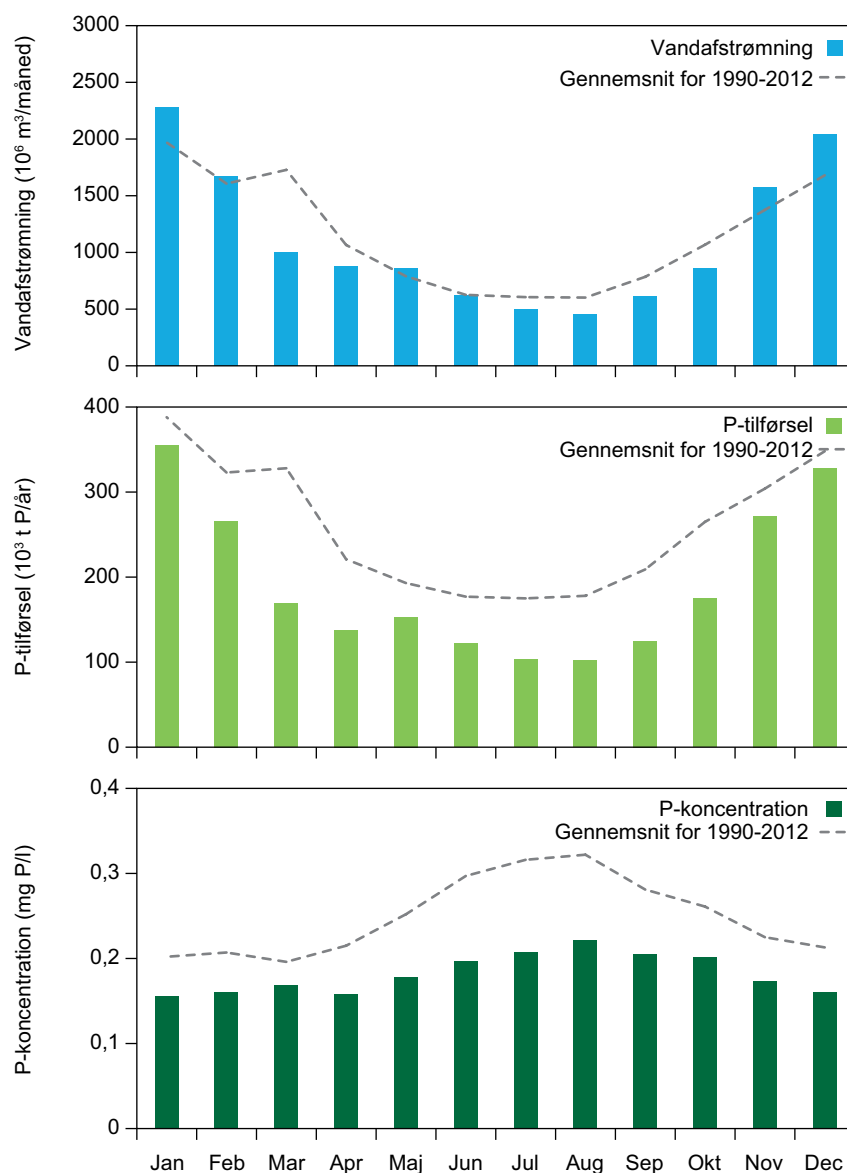
Den regionale belastning af kystområderne varierede betragteligt i 2013 (figur 7.3) Det relative mønster i variationen svarede generelt til året før. Størst var oplandstab (målt som kg P/ha) fra Sønderjylland, i oplandet til Lillebælt og Øresund, samt til fravandet omkring Bornholm, hvor tabet generelt var større end 0,6 kg P/ha. Den vandføringsvægtede koncentration af total fosfor var i langt størstedelen af Jylland, det meste af Fyn og de sydlige Sjælland og Lolland-Falster på mellem 0,1 og 0,2 mg P/l (figur 7.4). Koncentrationer mindre end 0,1 mg P/l fandtes i ferskvandsafstrømningen til Ringkøbing Fjord og Randers Fjord. I det østlige Danmark og specielt omkring Hovedstadsområdet, samt omkring Aarhus og nordlige Lillebælt, var fosforkoncentrationerne i den samlede vandafstrømning dog noget større. De diffuse fosforkilders betydning var generelt størst i Jylland og mindst i det østlige Danmark (figur 7.5).

7.3 Udvikling i fosforafstrømning 1990 – 2013

Der har i perioden 1990-2013 været et statistisk signifikant (Mann-Kendall trend test) fald i den samlede tilførsel af total fosfor fra land til havet omkring Danmark (figur 7.1). Faldet er estimeret til 63 % (95 % konfidensinterval: 27-92 %), se tabel 7.1. Ligeledes er der for alle overordnede farvandsområder (1. orden) påvist et statistisk sikkert fald gennem perioden. Faldene estimeres til 48-76 %.

Reduktionen i belastningen af havet med fosfor kan 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 (tabel 7.1). De signifikante fald i fosforkoncentrationer, der kan påvises i 15 ud af 32 type-vandløb uden udledninger fra egentlige punktkilder (jf. kapitel 5), afspejles således ikke i landstallene. Foreløbige analyser peger på, at faldet i type-vandløbene er relateret til tætheden af spredt bebyggelse i oplandene og derfor muligvis til den indsats, der mange steder har været for at reducere spildevandsudledningerne fra spredt bebyggelse, (Windolf m.fl., 2014).

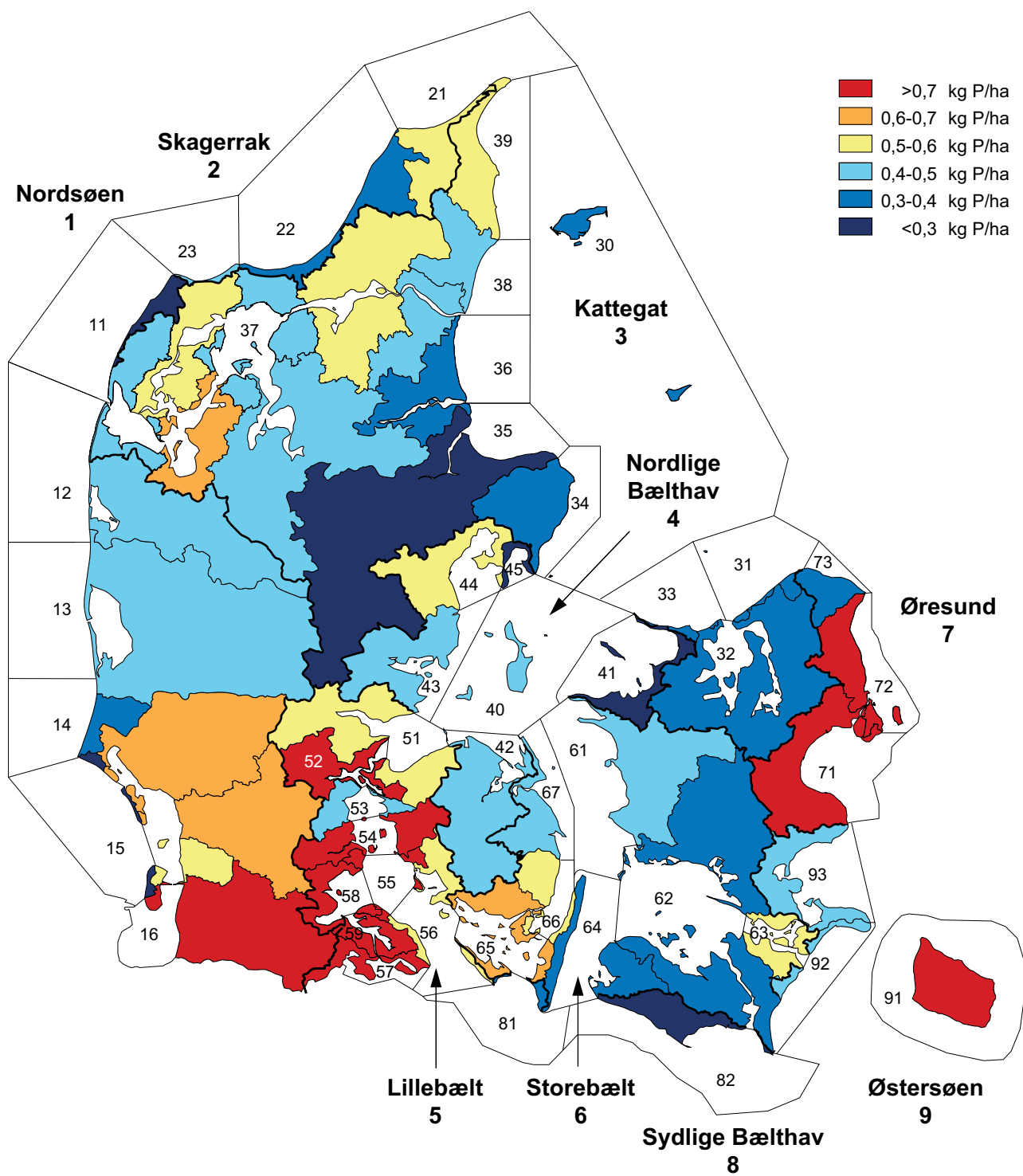
Figur 7.2. Månedsvise vandafstrømning, fosfortilførsel og vandføringsvægtet fosforkoncentration i det afstrømmende vand til havet omkring Danmark i 2013 og som gennemsnit for 1990-2012



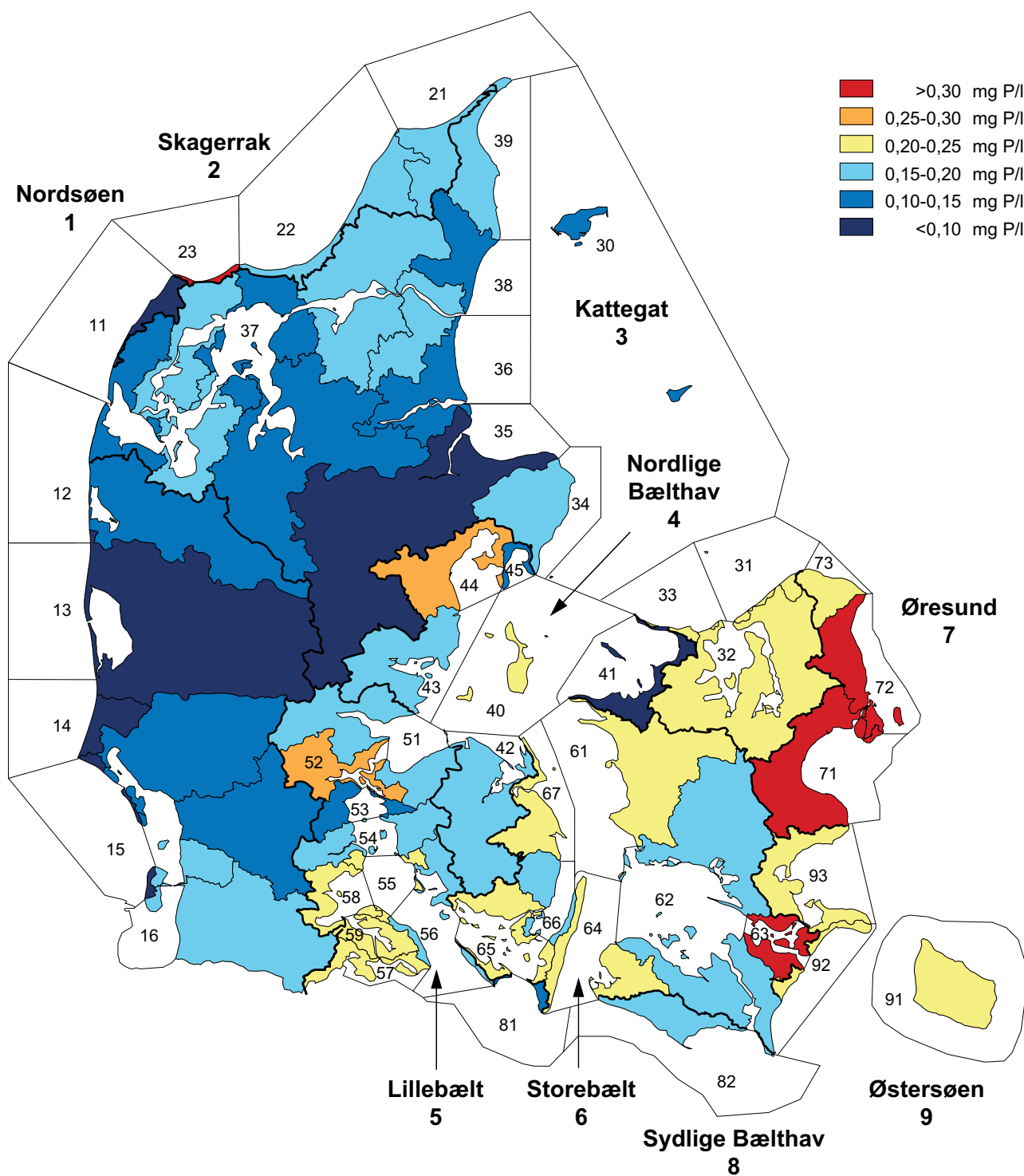
Tabel 7.1. Mann-Kendall trend-test af udviklingen i hhv. den samlede og i den diffuse tilførsel af fosfor til kystområderne for perioden 1990–2013. Resultaterne er angivet som procentvis ændring i forhold til et estimeret niveau for 1990. Testen er lavet på vandføringsvægtede koncentrationer. Tallene i parentes angiver 95 % konfidensinterval.

Farvandsområde	Fosfor	
	Diffus tilførsel % ændring	Samlede tilførsel % ændring
Nordsøen		-48
Skagerrak		-69
Kattegat		-50
Nordlige Bælthav		-62
Lillebælt		-66
Storebælt		-63
Øresund		-76
Sydlig Bælthav		-58
Østersøen		-71
Danmark	5 (-9;19)*	-63 (-92;-27)

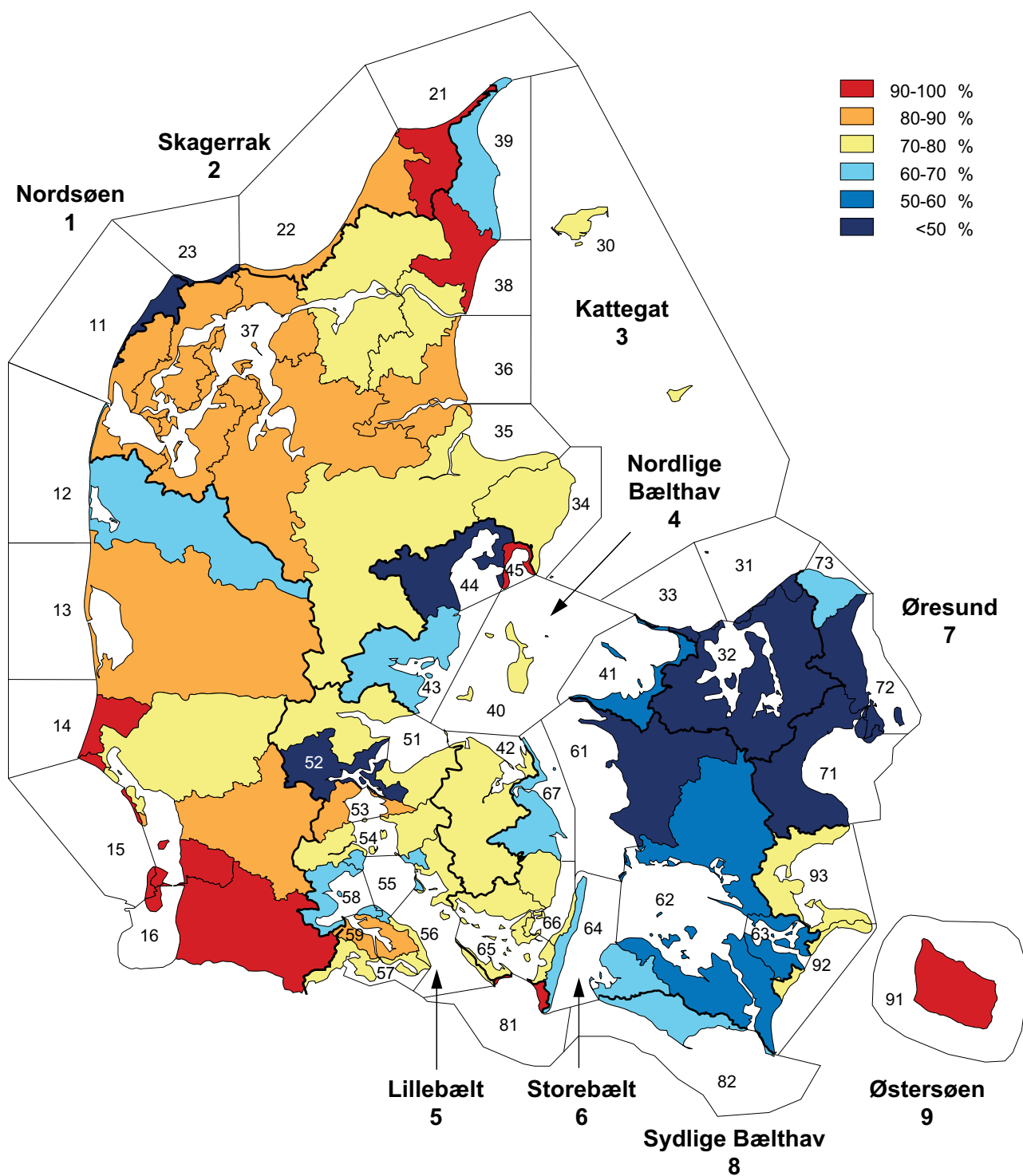
*Testen viser ikke en signifikant udvikling på 5 %-niveau.



Figur 7.3. Oplandstab af total fosfor fra oplandene til kystområderne i 2013.



Figur 7.4. Fosforbelastning af kystområder angivet som vandføringsvægtet koncentration i 2013.



Figur 7.5. Diffus andel af den totale fosfortilførsel til kystområderne i 2013.

8 Referencer

Andersen, M.M., Jørgensen, H.S. & Riget, F.F. (1982): Nyt biologisk forureningsindeks til danske vandløb. *Stads- og Havneingeniøren* 1/1982: 12-16.

Andersen, M.M., Riget, F.F. & Sparholt, H. (1984): A modification of the Trent index for use in Denmark. *Water Research* 18: 145-151.

Baatrup-Pedersen, A., Larsen, S.E., Moeslund, B., Sode, A., Pedersen, T., Thomsen, A.G., Riis, T., Buchwald, E., Pedersen, M., Bøgestrand, J. & Larsen, L.M.K. (2011): Planteindeks på vej i vandløb. *Vand & Jord* 3: 101-103.

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>

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>)

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.

EU Kommissionen (2013): Kommissionens afgørelse af 20. september 2013 om fastsættelse i overensstemmelse med Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2000/60/EF af værdierne for klassifikationerne i medlemsstaternes overvågningssystemer som resultat af interkalibreringen og om ophævelse af beslutning 2008/915. Den Europæiske Unions Tidende L266/8.10.2013.

Kristensen, E.A., Jepsen, N., Nielsen, J., Pedersen, S. & Koed A. (2014): Dansk Fiskeindeks For Vandløb (DFFV). Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 58 s. - *Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi* nr. 95 (<http://dce2.au.dk/pub/SR95.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. & Kronvang, B. (2014b): Validering af fosformodelen (Upubliceret).

Miljøstyrelsen (1998): Biologisk bedømmelse af vandløbskvalitet. *Vejledning fra Miljøstyrelsen* nr. 5/1998.

Moeslund, B. & Schlünsen, K. (2011): Konsekvensanalyser af ændret grødeskæring i vandløb. 3. Konsekvensanalyser af ændret grødeskæring i 3 udvalgte vandløb. Orbicon/Leif Hansen A/S, rapport til Landbrug & Fødevarer, 62 pp.

Ovesen, N.B., Larsen, S.E., Bøgestrand, J. & Kronvang, B. (2009): Fosforbelastning af havet. S. 33-41 i: Bøgestrand, J. (red), Vandløb 2007. NOVANA. *Faglig rapport fra DMU* nr. 711. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, 108 pp.

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.

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>)

Wiberg-Larsen, P. & Nørum, U. (2009): Effekter af pyrethroidet lambda-cyhalothrin på biologisk struktur, funktion og rekolonisering i vandløb. *Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen* 126, 166 pp.

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>)

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., Baattrup-Pedersen, A., Kristensen, E.A., Larsen, S.E., Thodsen, H., Ovesen, N.B., Bjerring, R., Kronvang, B. & Kjeldgaard, A. (2013): Vandløb 2012. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 84 s. - *Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi* nr. 75. (<http://dce2.au.dk/pub/SR75.pdf>)

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

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., Bøgestrand J. & Kjeldgaard, A. (2012a): Beregning af kvælstoftilførsel til en række udpegede danske fjorde. Fagligt notat fra DCE til Naturstyrelsen
(http://dce.au.dk/fileadmin/dmu.au.dk/Notat_kvaelstoftilfoersel_til_fjorde.pdf)

Windolf, J., Blicher-Mathiesen, G. & Larsen, S. (2012b): Markbalancer og den diffuse kvælstofafstrømning. Fagligt notat fra DCE til Naturstyrelsen, 47 pp.
(http://dce.au.dk/fileadmin/dmu.au.dk/Notat_Markbalancer_01.pdf)

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., Timmermann, A., Bøgestrand, J. & Kjeldgaard, A. (2014): Land-baseret tilførsel af kvælstof og fosfor til danske fjorde og kystafsnit, 1990-2011 (arbejdstitel). Fagligt notat fra DCE til Naturstyrelsen (under udarbejdelse).

VANDLØB 2013

NOVANA

Dette års rapport beskriver status og udvikling i vandkemiske forhold i vandløb, stoftransport af kvælstof og fosfor til kystvandene, samt økologisk tilstand for perioden før og under NOVANA – og frem til og med 2012. Der er udført ny analyse af økologisk tilstand og biodiversitet, ligesom der er undersøgt mulig sammenhæng mellem vandløbsvegetation og næringsstoffer. Desuden er betydningen af brug af mere end et biologisk kvalitetselement til vurdering af økologisk kvalitet evalueret.