

---

Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. xxx, 20xx

Udkast

Revision:

# Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. xxx
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Stoftransport 2023
Undertitel:	NOVANA
Forfatter(e):	Hans Thodsen, Henrik Tornbjerg, Søren Erik Larsen, Albert Rosenkrantz Conradsen, Emil Muff, Gitte Blicher-Mathiesen
Institution(er):	Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	<a href="http://dce.au.dk">http://dce.au.dk</a>
Udgivelsesår:	December 2024
Redaktion afsluttet:	December 2024
Faglig kommentering:	Hans Estrup Andersen
Kvalitetssikring, DCE:	Hanne Bach
Sproglig kvalitetssikring:	(ikke foretaget endnu)
Ekstern kommentering:	Miljøstyrelsen. Kommentarerne findes her: <a href="https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_500-599/KommentarerSR/xxx_komm.pdf">https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_500-599/KommentarerSR/xxx_komm.pdf</a>
Finansiel støtte:	Ingen ekstern finansiering
Bedes citeret:	Thodsen, H., Tornbjerg, H., Larsen, S.E., Conradsen, A.R., Muff, E. & Blicher-Mathiesen, G. 2024. Stoftransport 2023. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 80 s. - Videnskabelig rapport nr. xxx
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Dette års rapport beskriver status og udvikling i vandkemiske forhold i vandløb, stoftransport af kvælstof og fosfor til kystvandene for perioden før og under NOVANA - og frem til og med 2023
Emneord:	Vandløb, overvågning, NOVANA, kvælstof, fosfor, havbelastning, vandkemi, Nitrat, Alkalinitet
Layout:	Grafisk værksted, AU Ecoscience, Århus
Foto forside:	x
ISBN:	978-87-7156-xxx-x
ISSN (elektronisk):	2244-999X
Sideantal:	71
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som <a href="http://dce2.au.dk/pub/SRxxx.pdf">http://dce2.au.dk/pub/SRxxx.pdf</a>
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, som efterfølger til det tidligere overvågningsprogram NOVA-2003, som alene omfattede vandmiljøet.

# Indhold

<b>Forord</b>	<b>5</b>
<b>Sammenfatning</b>	<b>6</b>
Kvælstof- og fosfortilførsel til havet	6
<b>Summary</b>	<b>7</b>
Nitrogen and phosphorus load to the sea	7
<b>1 Datagrundlag, databehandling og rapportindhold</b>	<b>8</b>
1.1 Om overvågningsprogrammet	8
1.2 Kemisk vandkvalitet og stoftransport	8
1.3 Særlige forhold ved årets rapportering	10
<b>2 Ferskvandsafstrømning, klima og vejr</b>	<b>12</b>
2.1 Datagrundlag og metoder	12
2.2 Klima, vejr og ferskvandsafstrømning	13
2.3 Ferskvandsafstrømninger fra det målte opland	17
<b>3 Alkalinitet i danske vandløb</b>	<b>18</b>
3.1 Introduktion	18
3.2 Geografisk variation	19
3.3 Trend	21
3.4 Vandføring og alkalinitet	21
3.5 Alkalinitet ved søer og i dræn	24
3.6 Stoftransport	26
<b>4 Kvælstof i vandløb</b>	<b>28</b>
4.1 Tilstanden i 2023	28
4.2 Udvikling siden 1990	30
<b>5 Fosfor i vandløb</b>	<b>32</b>
5.1 Tilstanden i 2023	32
5.2 Udviklingen siden 1990	34
<b>6 Kvælstoftilførslen til havet</b>	<b>36</b>
6.1 Datagrundlag og metoder	36
6.2 Kvælstoftilførsel til havet i 2023	38
6.3 Sæsonvariation i vandafstrømning og kvælstoftilførsel	42
6.4 Udviklingen i Kvælstoftilførslen til havet	44
6.5 Kvælstoftilførsel fra målt opland	46
6.6 Udvikling i nøgleindikatorer af betydning for kvælstoftilførslen	48
6.7 Sammenfatning af resultaterne	50
<b>7 Fosfortilførslen til havet</b>	<b>52</b>
7.1 Datagrundlag og metode	52
7.2 Fosfortilførsel til havet i 2023	53
7.3 Sæsonvariation i vandafstrømning og fosfortilførsel	54

7.4	Udvikling i fosfortilførslen til havet	58
7.5	Fosfortilførsel fra målt opland	59
7.6	Sammenfatning af resultaterne	61
<b>8</b>	<b>Nitrat-N-koncentrationer og -transport på målestationer</b>	<b>62</b>
8.1	Nitrattransport og -koncentration for 71 havbelastningsoplande i 2023	63
8.2	Nitrattransport og -koncentration for 26 landbrugsdominerede typeoplande	64
8.3	Sammenligning til opgørelsen for hele landet	66
<b>9</b>	<b>Referencer</b>	<b>67</b>

UDKAST

# Forord

1

2

3

4

5

6

7

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 2023.

8

9

10

11

12

13

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

14

15

16

17

18

19

20

DCE har som en væsentlig opgave for Ministeriet for Grøn Trepert og 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 Ecoscience og Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet, den landsdækkende rapportering af overvågningsprogrammet inden for områderne ferske vande, marine områder, landovervågning, atmosfæren, arter og naturtyper samt miljøfarlige forurenende stoffer.

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

I overvågningsprogrammet er der en arbejds- og ansvarsdeling mellem fagdatacentrene, Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø (SGAV) og Miljøstyrelsen (MST). Fagdatacentret for grundvand og borerer er placeret hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), fagdatacentret for hydrologiske punktkilder hos SGAV, mens de øvrige fagdatacentre (vandløb, hydrometri og næringsstoftransport, søer, det marine fagdatacenter, stofudvaskning fra dyrkede arealer (LOOP), biodiversitet og terrestrisk natur, luftkvalitet og miljøfarlige forurenende stoffer) er placeret hos DCE, Aarhus Universitet. Denne rapport er udarbejdet af Fagdatacenter for hydrometri og næringsstoftransport, Institut for Ecoscience. SGAV har haft mulighed for at kommentere på udkast til rapporten. Rapporten er baseret på data indsamlet af SGAV. Dette års rapport er som udgangspunkt en opdatering af tidligere års rapportering af hydrometri og stoftransport med data indsamlet i 2023. Det skal dog bemærkes at opgørelsen er genberegnet for hele perioden 1990 til 2023 for at sikre metodemæssigt konsistente opgørelser og for at basere opgørelserne på det nyeste og datagrundlag.

37

38

39

Konklusionerne i denne rapport sammenfattes med konklusionerne fra de øvrige fagdatacenter-rapporter i 'Vandmiljø og Natur 2023', som udgives i et samarbejde mellem DCE, GEUS og SGAV.

40

41

## Sammenfatning

42  
43  
44  
45

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

46

### Kvælstof- og fosfortilførsel til havet

47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54

Indholdet af kvælstof (N) og fosfor (P) i vandløbene er faldet markant siden 1989. Reduceret udvaskning fra dyrkede arealer er hovedårsagen til, at den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration i typeoplønde i gennemsnit er reduceret med ca. 40 %, mens reduktionen er på ca. 35 % for fosfor. For fosfors vedkommende skyldes det forbedret spildevandsrensning i byområder og virksomheder. Koncentrationerne af kvælstof og fosfor i vandløbene er dog stadig omkring henholdsvis ca. 3 gange og 60% højere end dem, man finder i upåvirkede naturvandløb.

55  
56  
57  
58  
59  
60

Der er for perioden 1990 til 2023 sket reduktioner i den samlede tilførsel af kvælstof og fosfor fra land til de danske kystvande. Reduktionen i kvælstof- og fosfortilførslen er henholdsvis 50 % og 67 %, beregnet ud fra årlige afstrømningsnormaliserede tilførsler. For kvælstof er der alene for den diffuse tilførsel (tilførsel fra dyrkede og udyrkede arealer samt bidrag fra ejendomme, som ikke er tilkoblet renseanlæg) tale om en reduktion på ca. 38 %.

61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74

Tilførslen fra land til kystvandene er for 2023 beregnet til hhv. ca. 65.000 tons kvælstof og ca. 2.100 tons fosfor. Disse tilførsler er for de fleste af årets måneder mindre end gennemsnittet for perioden 1990-2022, og væsentligt mindre end gennemsnittet for perioden 1990-1994. For 2023 er den normaliserede kvælstoftilførsel fra diffuse kilder på 44.000 tons N mod 48.000 ton N i 2022. Den normaliserede diffuse tilførsel er som gennemsnit af de foregående 5 opgjorte år (2018 - 2022) 51.000 tons N, med et interval på 46.000 - 58.000 tons N/år. Tillagt udledninger af spildevand fra punktkilder på 6.200 tons N beregnes for 2023 således en samlet normaliseret kvælstoftilførsel på ca. 50.000 tons N. For 2022 beregnedes på lignende vis en samlet normaliseret N tilførsel på 53.000 tons. For de fem år forud for 2023 (2018-2022) er den gennemsnitlige normaliserede N tilførsel på 56.000 tons N med et interval imellem 51.000 - 64.000 tons N/år. Ferskvandsafstrømningen i 2023 var 404 mm mod et gennemsnit på 321 mm i perioden 1990-2022.

75  
76  
77

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

78

## Summary

80  
81  
82  
83

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

84

### Nitrogen and phosphorus load to the sea

85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93

The concentrations of nitrogen and phosphorus in streams have been markedly reduced since 1989. The main reason for the nitrogen reduction is reduced leaching from cropped areas, resulting in a mean reduction of the discharge-weighted mean annual nitrogen concentration of approximately 40%, whereas an approximate 35% reduction in the discharge-weighted mean annual phosphorus concentration is found, mainly due to improved treatment of residential- and industrial wastewater. However, concentrations of nitrogen and phosphorus in the streams are still approximately 3 times and 60% higher, respectively, compared with un-impacted streams.

94  
95  
96  
97  
98  
99

Reduced loads of nitrogen and phosphorus from land to Danish coastal waters have been calculated for the period 1990-2023. The reductions are 50% and 67% for nitrogen and phosphorus, respectively, if calculated as discharge-normalised annual loads. Considering the diffuse runoff of nitrogen alone, including leaching from cropped as well as uncropped areas and contribution of wastewater from scattered dwellings, the reduction is approximately 38%.

100  
101  
102  
103  
104  
105  
106  
107  
108  
109  
110  
111

In 2023, the total load from land was calculated to about 65 000 tons of nitrogen and 2100 tons of phosphorus. For most months, these amounts were significantly lower than the average for the period 1990-2021. The normalised diffuse nitrogen load for 2023 was calculated to 44,000 ton N compared with 48 000 ton N in 2022. The normalised mean diffuse load for the presiding five years (2018 - 2022) was 51,000 ton N, ranging between 46 000 and 58 000 ton N. Adding the point source load of 6 200 ton N, the total flow normalised load of 2023 is calculated at approximately 50 000 ton N. For the year 2022, the corresponding value was 53,000 ton N. For the five presiding years (2018 - 2022), the average flow normalised total N load was calculated to be 56,000 ton N with a range between 51 000 and 64 000 ton N/yr. The annual runoff of water was 404 mm compared with 321 mm as the average from 1990-2022.

112  
113  
114  
115

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

116

# 1 Datagrundlag, databehandling og rapportindhold

Hans Thodsen, Søren E. Larsen, Niels Bering Ovesen & Henrik Tornbjerg

## 1.1 Om overvågningsprogrammet

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

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

Langt hovedparten af data i NOVANA er indsamlet/tilvejebragt af medarbejdere i de tidligere amter (frem til og med 2006), de nuværende statslige regionale enheder under Miljøstyrelsen (MST) samt af en række konsulentfirmaer på vegne af amterne/MST. En lille andel af de anvendte data er indsamlede af andre end amterne og MST, fx kommuner.

Indsamlingen/tilvejebringelsen af data har bygget på tekniske anvisninger for "Delprogram for stoftransport og landovervågning". Disse kan ses på Institut for Ecoscience hjemmeside (Aarhus Universitet): (<https://ecos.au.dk/forskningraadgivning/fagdatacentre/ferskvand/>).

Med revisionen af NOVANA i 2021/22 er programmet justeret for perioden 2023-2027.

Måledata og stoftransporter (på målestationer) og tilførsler (på 2. ordens kystafsnit) kan findes på <http://odaforalle.au.dk>. Enkelte af de i denne rapport anvendte stoftransporter, som er baseret på tidsproportionalt indsamlede puljede prøver, er ikke de samme som i ODA-databasen, da der er sket en rebergning af stoftransporter uden for ODA databasen.

## 1.2 Kemisk vandkvalitet og stoftransport

Undersøgelserne i NOVANA-programmet har i 2023 omfattet en række fysiske og kemiske parametre samt vandføring og transporten af næringsstoffer og en række andre forbindelser. Næringsstofferne kvælstof og fosfor har været vigtige elementer, men der har også indgået målinger af pH, vandtemperatur, suspenderet stof 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 konsistent bestemmelse af den meget varierende vand- og stoftransport med den højest mulige præcision givet de økonomiske og praktiske rammer. NOVANA-programbeskrivelsen kan ses på Miljøstyrelsens hjemmeside



(<https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2023/09/978-87-7038-556-5.pdf>).

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

Gennem alle årene i overvågningsperioden har der været anvendt de samme principper for databehandling, analyse og præsentation i forbindelse med undersøgelse 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. Ved præsentation af stofkoncentrationer er der anvendt vandføringsvægtede gennemsnitskoncentrationer, som tager højde for svingninger i vandføring, både over året og fra år til år. Vandføringsvægtede gennemsnitskoncentrationer er beregnet ved, for en given periode, at dividere den samlede stoftransport med den samlede vandafstrømning.

For at sikre en konsistent tidsserie foretages der for hver opgørelse (hver ny rapportering) af vandafstrømning og næringsstofftilførsler til havet en ny beregning for hele perioden fra 1990 til aktuelt opgørelsesår. Det betyder, at flere parametre kan ændre sig imellem hver opgørelse, fx målstationsgrundlaget, modelgrundlaget, inputparametre så som fx nedbøren eller punktkildedata. Der foretages løbende rettelser i måledata, der fører til mindre ændringer i de opgjorte tilførsler. Desuden sker der med mellemrum forbedringer af opgørelsesmetoderne. På grund af disse løbende ændringer vil opgørelsen af tilførsler, afstrømninger og stoftransporter af kvælstof (N) og fosfor (P) (og normaliserede versioner af disse) ændres også for år forud for det aktuelle opgørelsesår (Thodsen & Tornbjerg, 2022).

I en del af rapportens analyser er stoftransportmålestationerne grupperet på grundlag af karakteren af menneskelig påvirkning i oplandet, dvs. i såkaldte ty-peoplande (Tabel 1.1) – se kapitel 4 & 5. Kriterierne er beskrevet for hver type i Tabel 1.1. Det skal bemærkes, at en del vandløb ikke længere lever op til kriterierne for den oplandstype, de blev tildelt i 1991, og som bruges ved tidsserieanalyserne. Det kan fx skyldes reduceret spildevandstilledning eller nedlæggelse af dambrug. Kriterierne for klassifikationen af dyrkede oplande er lidt forskellige for kvælstof og fosfor. Antallet af stationer i kategorien dyrkede oplande er derfor ikke det samme i kvælstof- og fosforkapitlerne. For 2023 (lige som for de senere år) skelnes der kun mellem naturoplande og ikke-naturoplande, da bidraget fra dambrug og andre punktkilder er reduceret så kraftigt, at en kategorisering ikke længere er relevant.

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

**Tabel 1.1.** Stationstyper i vandløb baseret på en inddeling efter typeopland. I de anvendte kriterier for denne inddeling er der i punktkildebidraget ikke medregnet spildevand fra spredt bebyggelse. Antal stationer fordelt på oplandstyper, der er anvendt i tidsserieanalyse (1990-2023) og aktuel status i 2023. Oplandstyper for tidsserie-analyser er opgjort efter oplandskarakteristika i 1991.

Oplandstype		1990-2023	2023
	Type nr. tidsserie-analyser aktuel status		
Naturoplande*	1	5	17
<b>Vandløb i dyrkede oplande (P):</b>			
Dyrkningsgrad >15 %			
Bebyggelse < 50 %	2	20	
Punktkildebidrag < 25 g P/ha, 0,5 kg N/ha			
<b>Vandløb i dyrkede oplande (N):</b>			
Dyrkningsgrad > 15 %	3	61	#
Bebyggelse < 50 %			
Punktkildebidrag < 0,5 kg N/ha			
<b>Vandløb med punktkilder:</b>			
Punktkildebidrag > 0,5 kg N/ha	4	37	#
<b>Vandløb med Dambrugsudledninger</b>			
P fra dambrug	5	6	#
P fra dambrug:			
>30 % af total transport			
> 40% af punktkildebidrag			
Ikke-naturoplande i alt		124	363

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

207 # ikke opgjort separat for typerne 2-5

208 Analyser og estimater af udviklingstendenser i transporter af totalfosfor, ni-  
 209 trat-N og totalkvælstof i denne rapport (kapitel 4, 5, 6, 7 og 8) foretages på  
 210 baggrund af afstrømningsnormaliserede tilførsler (Larsen & Svendsen, 2021).  
 211 Derudover følger rapporteringen af stoftransporterne til havet samme prin-  
 212 cipper og har samme omfang som i de foregående års NOVANA-rapporter.

213 Kortgrundlaget for beregningen af total-kvælstof- og total fosfortilførsler til  
 214 havet er ID15v2.6. Kortet kan rekvireres ved at skrive til ID15@ecos.au.dk

### 215 1.3 Særlige forhold ved årets rapportering

#### 216 1.3.1 Homogenitetsbrud i vandføringsmålinger

217 Frem til 2004 er vandføringsmålinger udelukkende foretaget med vingein-  
 218 strumenter, men i årene herefter er der sket en gradvis overgang til primært  
 219 to nye typer af måleinstrumenter. I 2005 blev de første ADCP-målinger intro-  
 220 duceret i nogle af de større vandløb, og fra 2014 og frem har elektromagnetisk  
 221 strømmåler gradvist overtaget vingeinstrumenterne i de mindre vandløb  
 222 (Ovesen m.fl. 2023). Skiftene i instrument-typerne har betydet, at der er intro-  
 223 duceret homogenitetsbrud i vandføringstidsserierne, idet de nye instrumenter  
 224 har systematiske afvigelser i forhold til de tidligere anvendte vingeinstrumen-  
 225 ter (Ovesen m.fl. 2023).

226 De overordnede tests i Ovesen m.fl. (2023) viser, at ADCP-instrumentet i gen-  
 227 nemsnit måler 2,6 % højere vandføring end vingeinstrumentet, mens den elek-  
 228 tromagnetiske strømmåler giver 5,7 % mindre vandføring end

229 vingeinstrumentet. Før 2019 anvendtes andre beregningsrutiner til ADCP-må-  
230 lingerne, og her var resultaterne i vandføringsberegningerne yderligere 1,9 %  
231 højere end vingemålingerne (i alt 4,5 %). Det kan ikke afgøres, om ADCP- eller  
232 vingeinstrumentet måler den faktisk korrekte (sande) vandføring, men det er  
233 påvist, at ved hastigheder under 0,5 m/s registrerer den elektromagnetiske  
234 strømmåler mindre end den korrekte hastighed (Kainz, 2021). Dette medfører,  
235 at på målestationer, hvor den elektromagnetiske strømmåler er anvendt, bli-  
236 ver der beregnet for lav vandføring. Der er behov for yderligere undersøgelser  
237 for at afklare mere vandløbsspecifikke forskelle, og muligheder og procedurer  
238 for evt. korrektioner af vandføringstidsserier er pt. ikke afklaret.

239 Homogenitetsbruddet i vandføringen influerer alle opgjorte vandafstrømning-  
240 ger i denne rapport. Vandafstrømningen anvendes til beregning af nærings-  
241 stoftransporter for målestationer, som således også er direkte påvirkede. Op-  
242 gørelser af næringsstoffertilførsler til havet er ligeledes influerede, da de dels er  
243 baseret på målte næringsstoffertilførsler og dels på modellerede næringsstoffil-  
244 førsler, der er biaskorrigerede imod målte tilførsler. Både aktuelle og normali-  
245 serede næringsstoffertilførsler/-transporter er influerede.

### 246 **1.3.2 Inkludering af år kun med målt næringsstofkoncentration**

247 I de hidtidige opgørelser af tilførslen af total-kvælstof (TN) og total-fosfor (TP)  
248 til havet har perioder for de anvendte stationer, hvor der kun er målt nærings-  
249 stofkoncentrationer, ikke været anvendt. Der været anvendt stoftransporter  
250 for stationer, hvor der er målt både vandføring og næringsstofkoncentratio-  
251 ner. Desuden har vandføringen været anvendt for en række stationer, hvor  
252 der ikke har været målt næringsstofkoncentrationer. For disse beregnes en  
253 stoftransport på baggrund af målt vandføring og modelberegnet og bias-kor-  
254 rigeret næringsstofkoncentration. Fra og med denne rapport er der inkluderet  
255 perioder (år) fra stationer, hvor der kun er målt næringsstofkoncentrationer.  
256 For disse beregnes således en stoftransport på baggrund af målte næringsstof-  
257 koncentrationer og huludfyldt vandafstrømning. Der er således tale om stati-  
258 oner, der har en længere periode med målte næringsstofkoncentrationer end  
259 vandføring. På denne måde baseres opgørelsen på flere måledata end tidli-  
260 gere og hermed mindskes usikkerheden på opgørelsen.

## 2 Ferskvandsafstrømning, klima og vejr

Hans Thodsen & Henrik Tornbjerg

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

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

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

### 2.1 Datagrundlag og metoder

Målt temperatur og observeret nedbørsdata er tilvejebragt via DMI's GRID-data og er downloadede fra DMI, 18.juni 2024. Månedsnedbøren og -temperatur er således baseret på data fra grids bestående af kvadrater på henholdsvis 10×10 km og 20×20 km. Grids er 'klippet' med kystlinjen, og landsgennemsnit for observeret nedbør og temperatur er derefter beregnet for arealet inden for kystlinjen. Det bemærkes, at de anvendte nedbørsværdier både er "observeret nedbør" der ikke er korrigeret for, at nedbørsmåleren ikke fanger al den nedbør, der rammer jordoverfladen (ukorrigeret nedbør) og "korrigeret nedbør" hvor der er foretaget en korrektion. Brugen af observeret nedbør skyldes, at den empiriske model for TN, hvor nedbørsdata anvendes, er bygget på disse data. Faktorer, der influerer målerens underestimering af nedbøren, er vind, temperatur og wetting (vanddråber, der afsættes på regnmålerens sider, hvorfra de fordamper uden at blive registreret). Forskellen imellem den målte og den reelle nedbør er størst, når nedbøren falder som sne. Månedssdata for temperatur og nedbør anvendes i de modeller for næringsstofftab (N og P), der bruges ved beregninger af den diffuse næringsstoftransport fra umålte oplande (kapitel 6 og 7). Det skal bemærkes, at ud over den manglende korrektion, er den anvendte observerede og korrigerede nedbør med stor sandsynlighed undervurderet for det meste af landet i perioden 2011 og frem (Svend- sen og Jung-Madsen (red.), 2020; Thodsen m.fl., 2020; Andersen (red.), 2021) (se Thodsen m.fl., 2024).

Ferskvandsafstrømningen er beregnet på baggrund af det datagrundlag og med den metode, der er beskrevet i Thodsen m.fl. (2019a). Afstrømningen fra det umålte opland beregnes med "Den Nationale Vandresourcemodel", som er en hydrologisk model (benævnt DK-Modellen) opereret af GEUS (Stisen m.fl. 2019). Undtaget er en række øer i Kattegat, som ikke er dækket af DK-Modellen. Ferskvandsafstrømningen for disse øer beregnes på grundlag af et referenceopland med sammenlignelige klimatiske og geologiske forhold. Til opgørelsen af ferskvandsafstrømningen anvender GEUS den korrigerede 10x10

307 km daglige gridnedbør, som også med stor sandsynlighed er undervurderet i  
308 perioden 2011 og frem (Svendsen og Jung-Madsen (red.), 2020; Thodsen m.fl.  
309 2020; Andersen (red). 2021) (se afsnit 1.4.2). Effekten heraf på den opgjorte  
310 ferskvandsafstrømning er estimeret til 0-4 % for perioden 2011-2018 for hele  
311 landet i Thodsen m.fl. (2020). Den korrigerede daglige gridnedbør, der er an-  
312 vendt i DK-modellen, er downloadet fra DMI i sommeren 2024.

313 Huludfyldning af stationer uden fuld måletidsserie foregår ved at sammen-  
314 stille afstrømninger fra DK-Modellen og hydrometriske måledata. Metoden til  
315 huludfyldning er beskrevet i Thodsen m.fl. (2019a). I forbindelse med hver ny  
316 afrapportering køres DK-modellen for hele perioden fra 1990, således at den  
317 nyeste version af modellen anvendes, og der anvendes en konsistent tidsserie.

318 I beregningerne for hele overvågningsperioden (1990-2023) indgår måledata  
319 fra i alt 244 vandføringsmålestationer, der samlet dækker ca. 26.711 km<sup>2</sup>, sva-  
320 rende til 62 % af landets areal. Det er ikke alle stationer der har været i drift i  
321 alle år, men antallet af stationer i drift er også steget fra 127 i 2016 til 208 i 2018  
322 hvorefter antallet har været forholdsvis konstant og i 2023 er 208 stationer i  
323 drift. Det samlede oplandsareal til de 208 stationer i drift er ca. 25.252 km<sup>2</sup>,  
324 svarende til ca. 59 % af landets areal.

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

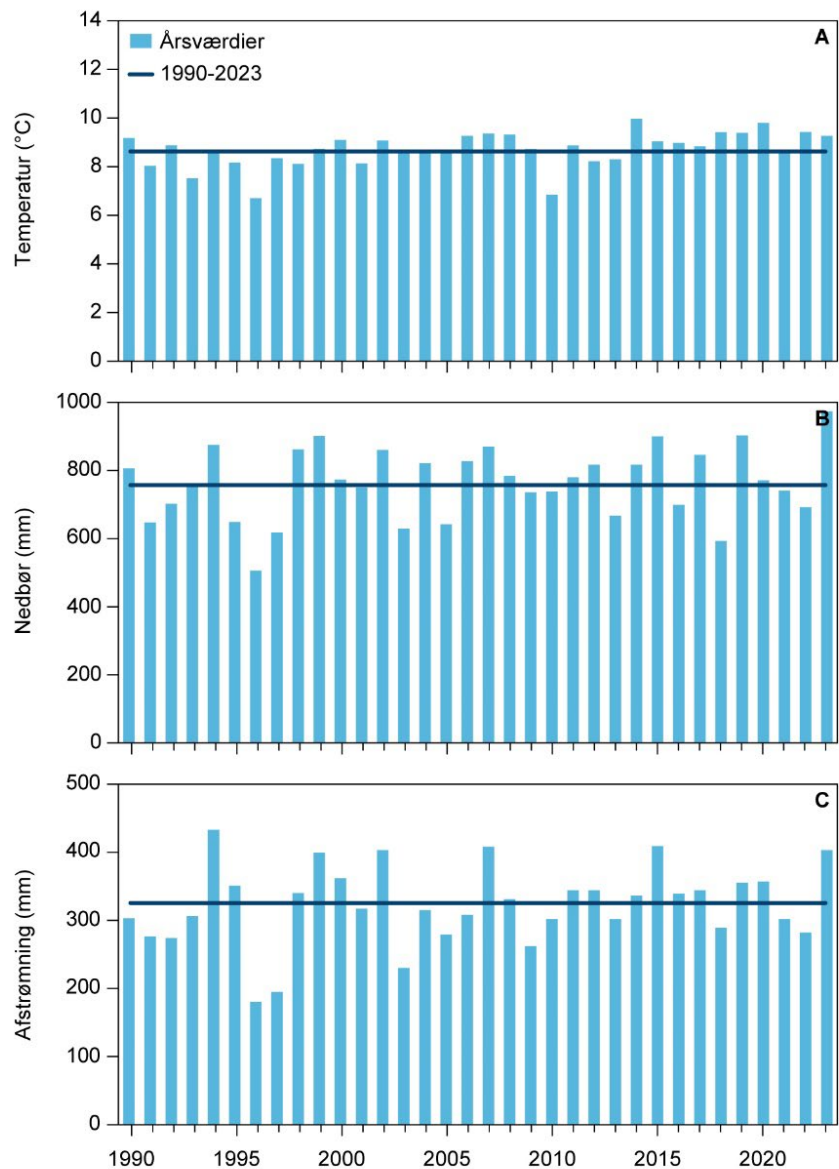
## 328 **2.2 Klima, vejr og ferskvandsafstrømning**

329 Vejret i 2023 var som helhed lidt varmere og noget vådere end gennemsnittet  
330 for overvågningsperioden 1990-2022, (Figur 2.1 & 2.4). Middeltemperaturen  
331 for landet blev 9,3°C, hvilket er 0,6°C over normalgennemsnittet (8,7°C) for pe-  
332 rioden 1991-2020 (Rubek m.fl. 2022). Det var især månederne januar, februar,  
333 juni og september, der var varmere end gennemsnittet (Figur 2.4A). Til gen-  
334 gæld var juli, august og november koldere end gennemsnittet for 1990 - 2022.

335 Nedbørsmængden, beregnet på basis af 10x10 km observeret gridnedbør over  
336 land, var i 2023 for hele landet 976 mm, hvilket er hele 216 mm (28 %) over  
337 normalen for 1991-2020 (760 mm) og 217 mm (29 %) over gennemsnittet for  
338 1990 - 2021 (759 mm). 2023 var således det vådeste år siden målingerne be-  
339 gyndte i 1874 (Rubek, 2024). DMI (Rubek, 2024) angiver en nedbør for 2023 på  
340 977 mm, 29% over klimanormalen for 1991-2020. Januar, juli og oktober var  
341 meget våde, mens også marts, november og december havde forholdsvis høje  
342 nedbørsmængder. Maj og juni måned var forholdsvis tørre.

343 Den samlede ferskvandsafstrømning til de danske farvande er for 2023 op-  
344 gjort til 17.400 millioner m<sup>3</sup>, hvilket svarer til en arealspecifik afstrømning på  
345 404 mm (Figur 2.1C). Vandafstrømningen blev dermed 43 % højere end i 2022,  
346 hvor den var 283 mm. Gennemsnittet for perioden 1990-2022 er 321 mm, af-  
347 strømningen blev dermed 26 % højere end gennemsnittet. Gennemsnittet for  
348 hele perioden siden 1990 er 324 mm og for de sidste 20 år 2004 - 2023 er middel-  
349 afstrømningen 331 mm. Afstrømningen i 2023 er opgjort til at være den 5. hø-  
350 jeste i perioden 1990-2023.

**Figur 2.1.** Årsmiddelværdier for temperatur (A), nedbør (ukorrigeret) (B) og arealspecifik ferskvandsafstrømning (C) fra 1990 til 2023 samt gennemsnit for perioden 1990-2023. Data for temperatur og nedbør er aggregeret fra DMI's gridværdier. Afstrømningsdata for den senere del af måleperioden er influeret af homogenitetsbrud i vandføringsmålingerne, se afsnit 1.3.1.



Afstrømningsforholdene udviser normalt - ligesom nedbøren - en stor geografisk variation, hvilket også var tilfældet i 2023 (Figur 2.2).

I største delen af Jylland og nordvest Fyn var den arealspecifikke årsafstrømningen i 2023 større end 400 mm. For Sjælland og Bornholm var afstrømningen typisk 200 mm til 300 mm. Der ses en stor gradient i afstrømningen for Fyn og øerne, med afstrømninger >400 mm i den nordvestlige del og < 150 mm på Langeland. Der ses også afstrømninger <150 mm nogle steder på Lolland, Falster og Møn. For landet som helhed ses således en forholdsvis stor forskel i afstrømningsfordelingen fra øst mod vest med omkring tre gange så stor afstrømning i vest i forhold til sydøst. Generelt var afstrømningen i 2023 høj og i nogle fjerde ordens kystoplande den højeste i perioden siden 1990.

I de små oplande ses i visse tilfælde en afvigende afstrømningsmængde i forhold til de nærvæd liggende store oplande, fx farvandsområderne 45 (Ebeltoft vig) i forhold til 34 (østsiden af Djursland) (Figur 2.2). Disse forskelle kan skyldes betydelige forskelle i oplandenes hydrologiske og geologiske forhold, men også at usikkerheden på opgørelserne for de små oplande er betydelig.

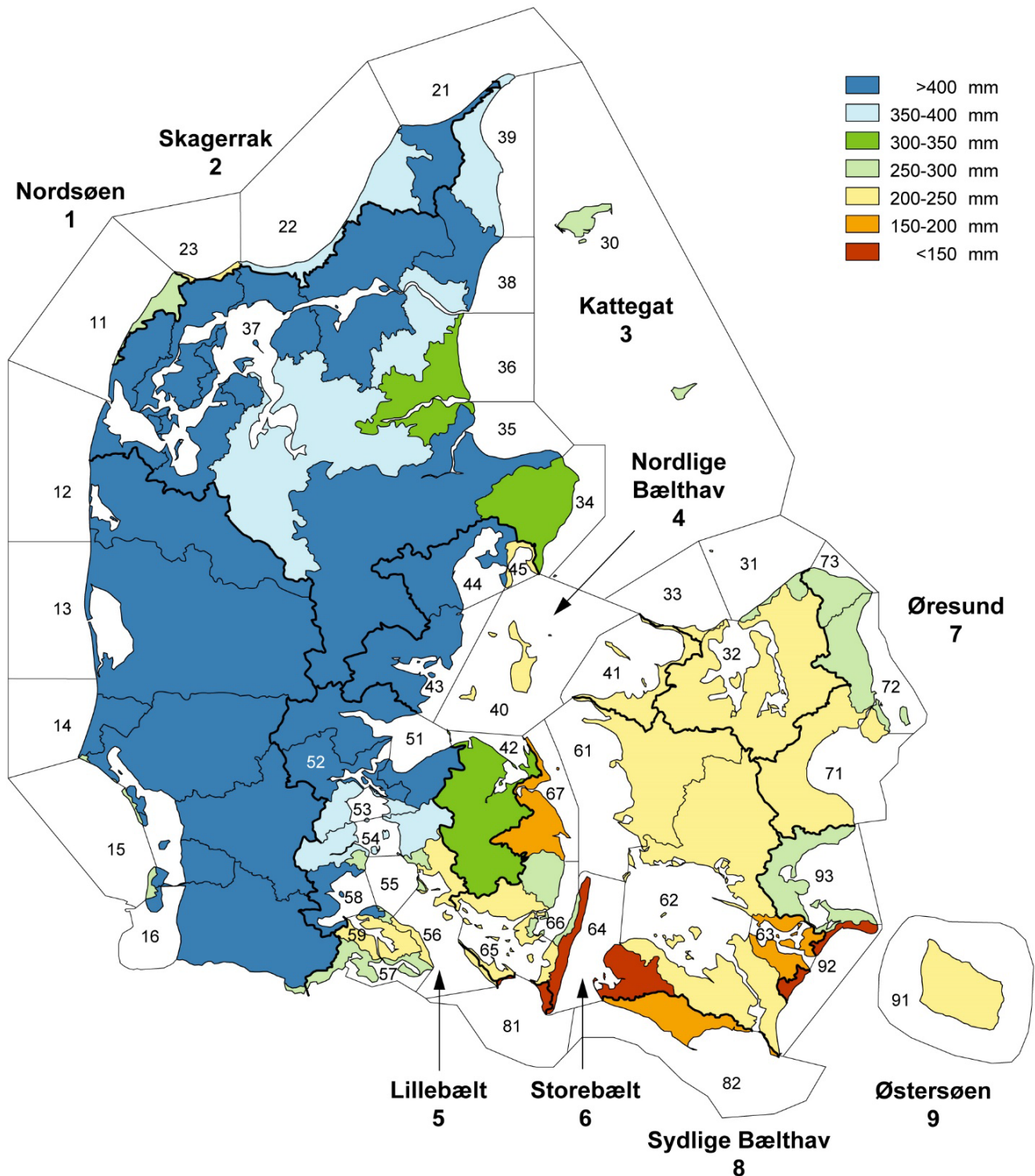
351  
352

353  
354  
355  
356  
357  
358  
359  
360  
361

362  
363  
364  
365  
366

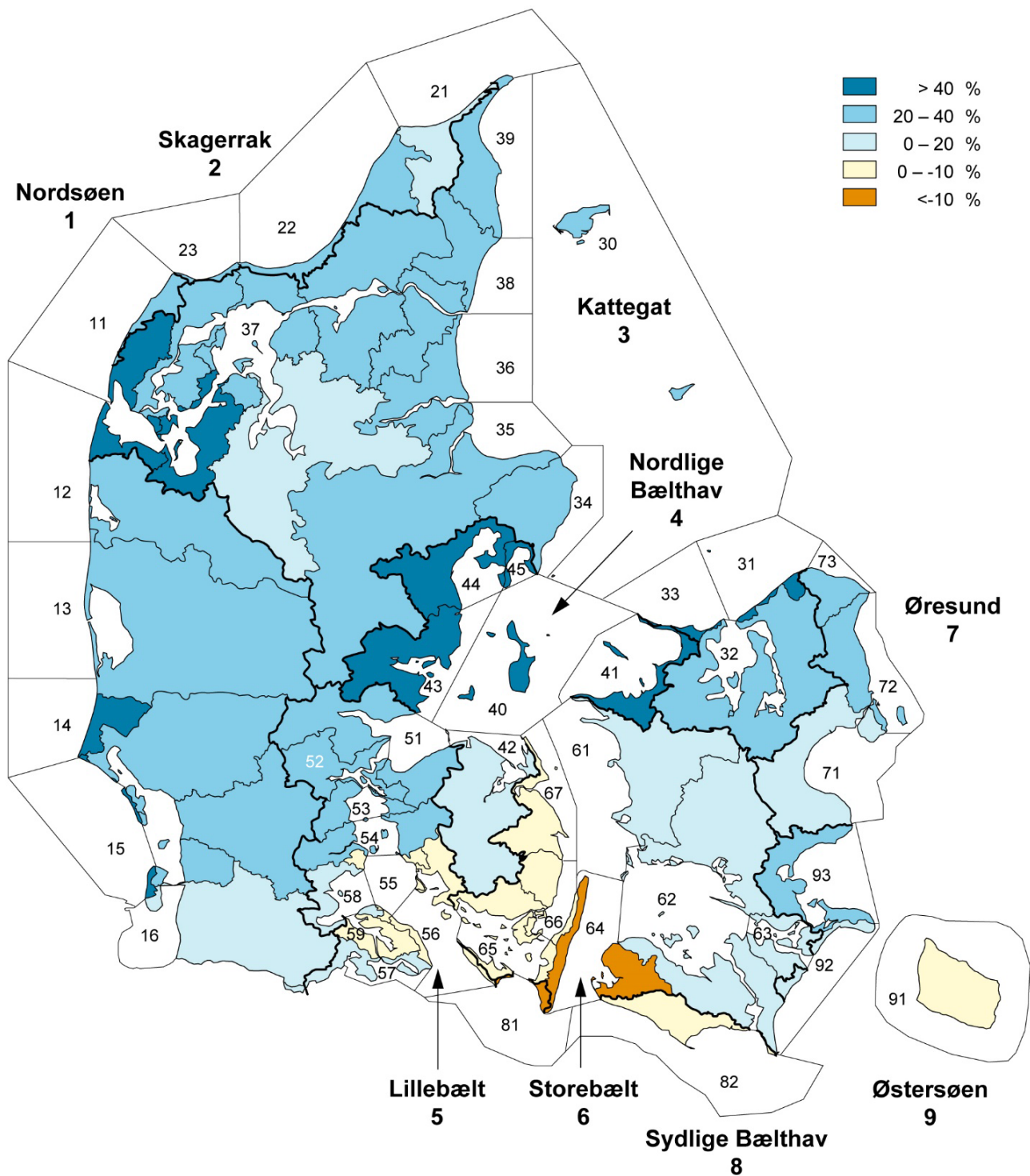
367  
368  
369  
370  
371

Afstrømningen i 2023 var i næsten hele landet, bortset fra øst- og Sydfyn, dele af Als, Lolland og Bornholm højere end det normale (gennemsnit for 1990-2022). Særligt oplandene til den vestlige del af Limfjorden, Århus bugt, Horsens fjord og Sejerø bugten har opgjort en markant højere afstrømning end normalt (Figur 2.3).



Figur 2.2. Arealsspecifik ferskvandsafstrømning til marine kystafsnit i 2023 (mm/år).

372



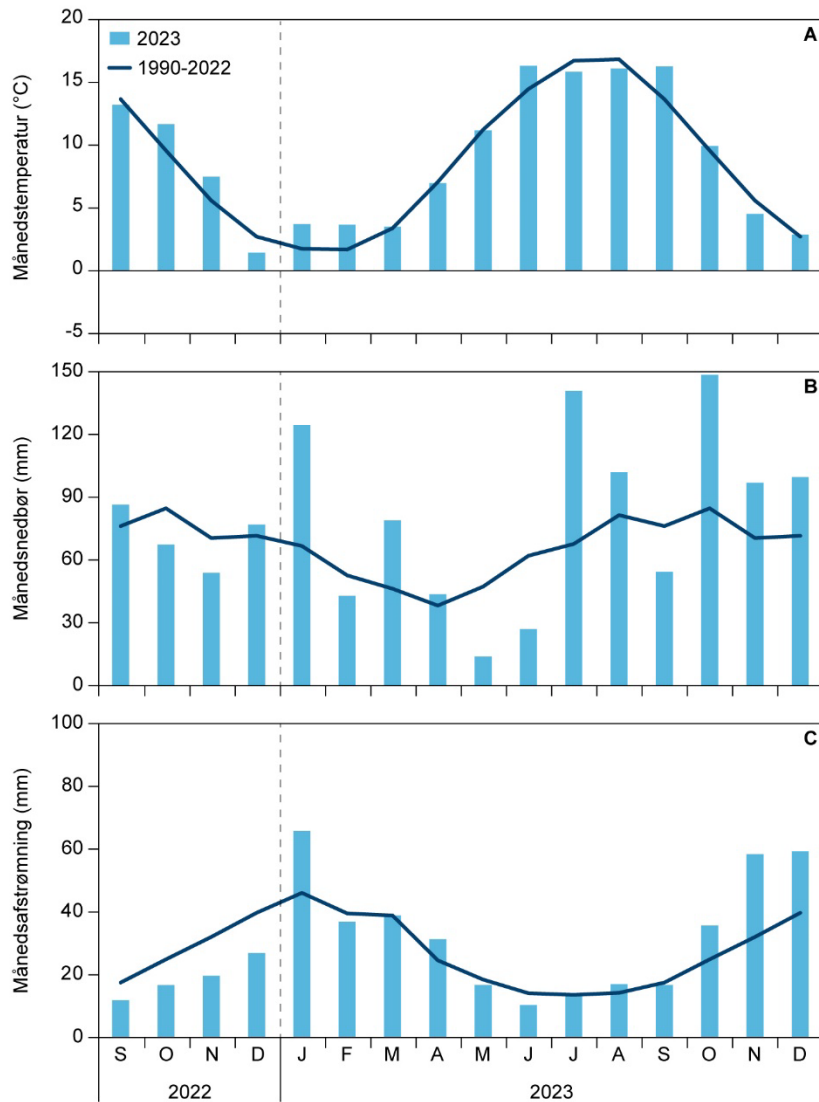
**Figur 2.3.** Afvigelse (%) i ferskvandsafstrømning til marine kystafsnit i 2023 i forhold til gennemsnittet for 1990-2022.

373  
374  
375  
376  
377  
378  
379  
380  
381

Ferskvandsafstrømningen i 2023 varierede noget hen over året (Figur 2.4C). I de sidste fire måneder af 2022 var afstrømningen under gennemsnittet for de enkelte måneder. Afstrømningen var i månederne januar, oktober, november og december noget højere (>40 %) end gennemsnittet, november var meget høj med 83 % over gennemsnittet. Afstrømningen var i den resterende del af året forholdsvis gennemsnitlig. Vinterperioden 2022/23 (september – april) har samlet set en afstrømning tæt på gennemsnittet (5 % under). November 2023 har den højeste november afstrømning i perioden 1990-2023. December har den 3. højeste december afstrømning.



**Figur 2.4.** Månedsværdier for temperatur (A), nedbør (B) og arealspecifik ferskvandsafstrømning (C) for Danmark i 2023 og de sidste fire måneder i 2022. Desuden er vist månedsgennemsnit for perioden 1990-2022. Afstrømningsdata er influeret af homogenitetsbrud i vandføringsmålingerne, se afsnit 1.3.1.



### 2.3 Ferskvandsafstrømninger fra det målte opland

Afstrømningen er opgjort for de 244 hydrometristationer, der indgår i årets opgørelse af landsafstrømningen. I 2023 er der målt afstrømning på 208 stationer (dækkende ca. 59 % af landets areal), mens der på 99 stationer er målt i alle år siden 1990. De 99 hydrometristationer dækker et areal på ca. 19.581 km<sup>2</sup>, svarende til ca. 45 % af landets areal. For alle stationer med perioder uden målinger er der foretaget en huludfyldning (se afsnit 1.1 og Thodsen m.fl. 2019a).

Afstrømningen for de 99 hydrometristationer med fuld måletidsserie siden 1990 er for 2023 opgjort til 474 mm mod 343 mm året før (38 % højere). 474 mm er den 4. højeste afstrømning i perioden 1990-2023. Gennemsnitsafstrømningen for de sidste 20 år (2004 - 2023) er 399 mm, mens den for perioden 1990-2023 er 387 mm.

Den arealspecifikke afstrømning (mm) fra det målte opland er opgjort til at være højere end afstrømningen fra hele landet, i 2023 hhv. 474 mm og 404 mm. Det skyldes primært, at nedbørsmængden er større inde i landet (målt opland) end langs kysten (umålt opland) og at en større andel af Jylland hvor afstrømningen er stor er målt opland end den østlige del af landet hvor afstrømningen er lavere (Thodsen m.fl. 2020).

### 3 Alkalinitet i danske vandløb

Albert Rosenkrantz Conradsen, Hans Thodsen

#### 3.1 Introduktion

Alkalinitet er et mål for mængden/koncentrationen af kemiske baser (basiske ioner) i vandet, og måles i millimol pr. liter (mmol/l). Alkalinitet er således et mål for vandløbets evne til at neutralisere syrepåvirkninger, og høje alkalinitetsniveauer virker derfor som en buffer mod skadelig syrepåvirkning af vandløb og søer (Baattrup-Pedersen, Pacheco & Riis, 2024). Omvendt kan meget høje alkalinitetsniveauer lede til u hensigtsmæssige aflejring af mineraler (Mg, Ca mfl.) på planters overflade.

Alkalinitet er siden oprettelsen af overvågningsprogrammet i 1990 til udgangen af 2023 målt ca. 65.300 gange i vandløb, kilder og dræn på 2321 stationer. Der er 8086 målinger før 1990. For 672 stationer er alkalinitet målt  $\geq 20$  gange (op til 1191 gange) (1990-2023). Landovervågningsprogrammet (LOOP) bidrager med mange målinger. I perioden siden 2021 stammer en stor del af alkalinitetsværdierne fra Delprogram for miljøfarlige forurenende stoffer i overfladevand og for punktkilder under NOVANA (MFS). Tabel 3.1 præsenterer fordelingen af målingerne.

**Tabel 3.1.** Fordeling af alkalinitetsmålinger i perioden 1990-2023.

	LOOP (dræn og vandløb)	MFS	Vandløb	I alt
1990	137	0	2747	2884
1991	132	0	2604	2736
1992	126	0	2601	2727
1993	144	0	1916	2060
1994	211	0	1928	2139
1995	168	0	1893	2061
1996	126	0	1876	2002
1997	133	0	1775	1908
1998	196	0	2073	2269
1999	162	0	1547	1709
2000	150	0	1677	1827
2001	153	0	1428	1581
2002	143	0	1386	1529
2003	123	0	1511	1634
2004	156	0	2441	2597
2005	153	0	2404	2557
2006	130	0	2053	2183
2007	156	0	1798	1954
2008	157	0	693	850
2009	146	0	628	774
2010	174	0	843	1017
2011	213	0	818	1031
2012	172	0	1042	1214
2013	204	0	701	905
2014	233	0	716	949

2015	254	0	631	<b>885</b>
2016	285	0	591	<b>876</b>
2017	348	0	1714	<b>2062</b>
2018	282	0	1591	<b>1873</b>
2019	270	0	1554	<b>1824</b>
2020	253	0	2344	<b>2597</b>
2021	239	501	1166	<b>1906</b>
2022	220	2411	1005	<b>3636</b>
2023	307	2828	1364	<b>4499</b>
<b>I alt</b>	<b>6456</b>	<b>5740</b>	<b>53059</b>	<b>65255</b>

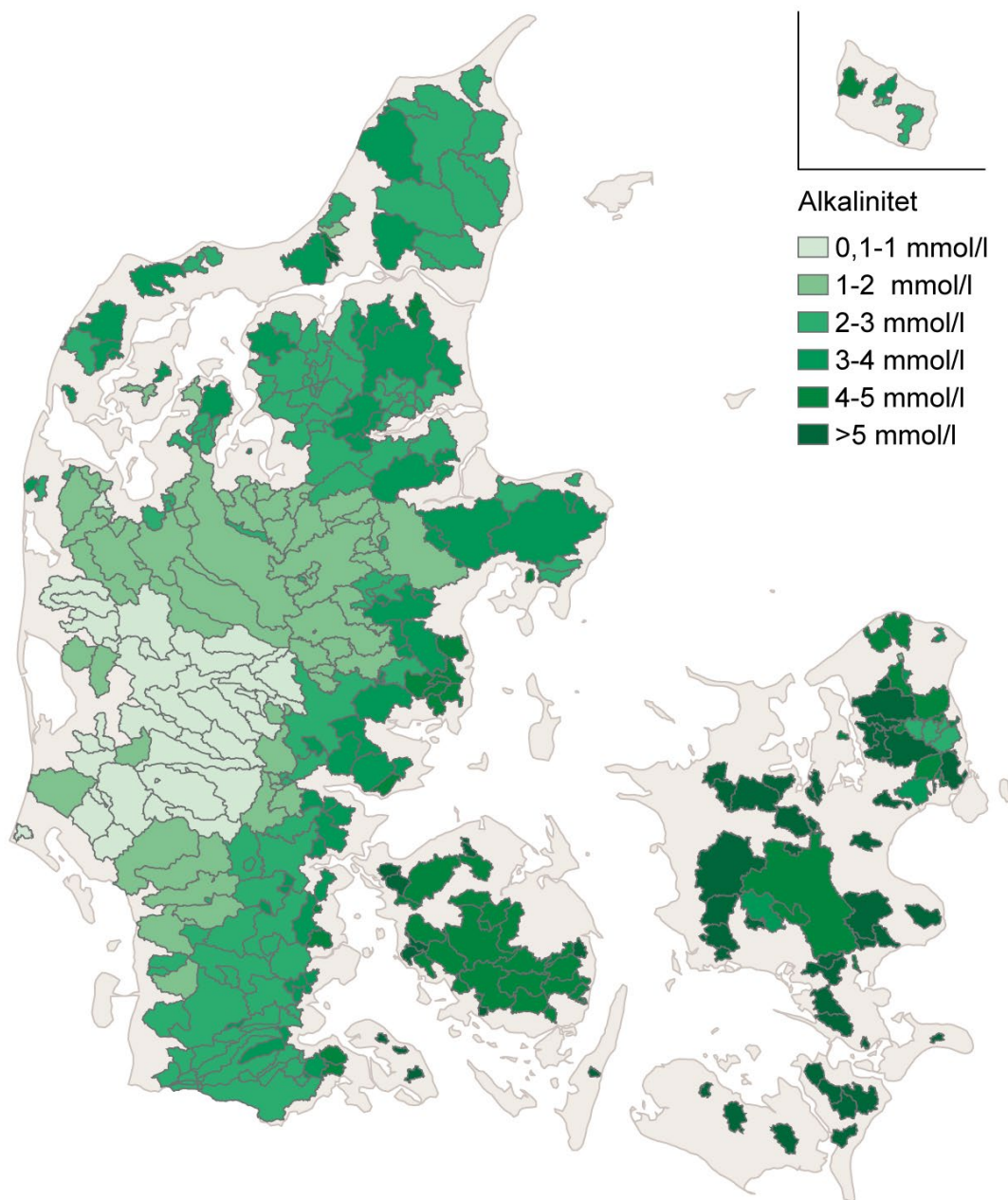
419  
420  
421  
422  
423  
424  
425  
426

Der er en ubalance i observationerne over tid i relation til prøvetagningstidspunkt og geografisk placering. Prøvetagningen er ikke distribueret ensformigt hverken geografisk eller tidsmæssigt. Således er cirka 30 % af prøverne i 1990'erne foretaget i årets første tre måneder mod kun 25 % i 2000'erne og 2010'erne, ligesom mængden af observationer i Jylland væsentligt overgår mængden på Fyn, Sjælland og øerne over tid. Dog er de senere års MFS-prøvetagninger i overvejende grad foretaget på Sjælland og øerne hvilket gør, at antallet af prøver herfra i 2022 og 2023 er i overtal relativt til resten af landet.

427  
428  
429  
430  
431

### 3.2 Geografisk variation

Geografisk fordeler stationerne sig over landet, som vist på figur 3.1. Det ses tydeligt, at de højeste værdier findes på Sjælland, Fyn, i Østjylland samt enkelte steder i Nordjylland, mens de laveste værdier findes i Vestjylland og langs hovedopholdslinjen i Midtjylland.



**Figur 3.1.** Gennemsnitlig alkalinitet i danske vandløbsoplande med minimum 20 målinger, og hvor oplandet findes med en digital oplandsafgrænsning i oplandsdatabasen

432

Middelkoncentrationen af alle observationer er 2,6 mmol/l.

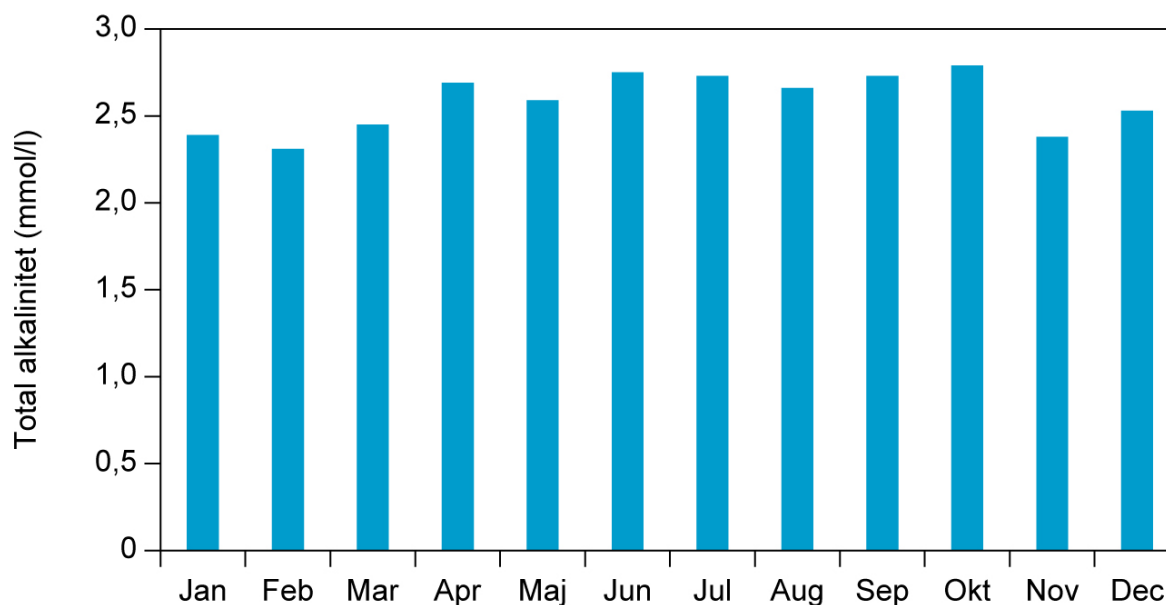
433

Figur 3.2 viser den månedsgennemsnitlige alkalinitet. Der er færrest observationer i juli (4571) og flest i april (6952). Alkaliniteten er højest i månederne april til oktober (ca. 2,7 mmol/l) og lavere i den resterende del af året (ca. 2,4 mmol/l).

434

435

436



Figur 3.2. Årsfordeling af alkalinitet på tværs af alle observationer.

### 3.3 Trend

Der er foretaget en trendanalyse (Mann-Kendall) på årsmiddelværdier. Analysen er begrænset til stationer med  $\geq 100$  målinger, fordelt på  $\geq 10$  år med  $\geq 10$  målinger pr. år, hvilket i alt giver 48 stationer (43 vandløb og 5 dræn). Kun en station har på de betingelser fuld tidsserie med 33 års sammenhængende data (1990-2023).

Af de 43 vandløb der indgår i analysen, er der 16 større vandløb (80-1550 km<sup>2</sup> opland), hvoraf de fleste er vestdanske. Fire af disse; Brøns å, Holtum å, Ribe å og Kongeåen viser en signifikant ( $P < 0,05$ ) positiv trend ved den længst nedstrøms station. Der er også få større stationer med negativ trend over tid, men de er ikke signifikant forskellige fra nul.

### 3.4 Vandføring og alkalinitet

En central bestemmende faktor for alkalinitetsniveauet er mængden af opløselige basiske ioner i de geologiske lag, som vandet passerer på vej fra overfladen til vandløbet. Vand fra kalkrige og svagt udvaskede jorder/geologiske lag (især øst og nord for sidste istids hovedopholdslinje) vil have en højere alkalinitet end vand fra stærkt udvaskede jorder/geologiske lag uden kalk (især vest for sidste istids hovedopholdslinje). Det skyldes, at kalk er rigt på basiske ioner.

En anden bestemmende faktor er andelen af vandføringen, som kommer fra henholdsvis overfladenært vand og egentligt grundvand. Grundvandet har passeret igennem de øvre jordlag og har i kortere eller længere tid været i kontakt med geologiske lag i undergrunden, og vil som hovedregel have højere alkalinitet end overfladevand. Overfladevand, der løber direkte fra overfladen til vandløbene eller forholdsvis hurtigt passerer igennem de øvre dele af jorden/undergrunden, vil have en lavere alkalinitet, fordi den samme mulighed for optagelse af basiske ioner ikke forekommer (USGS, 2018).

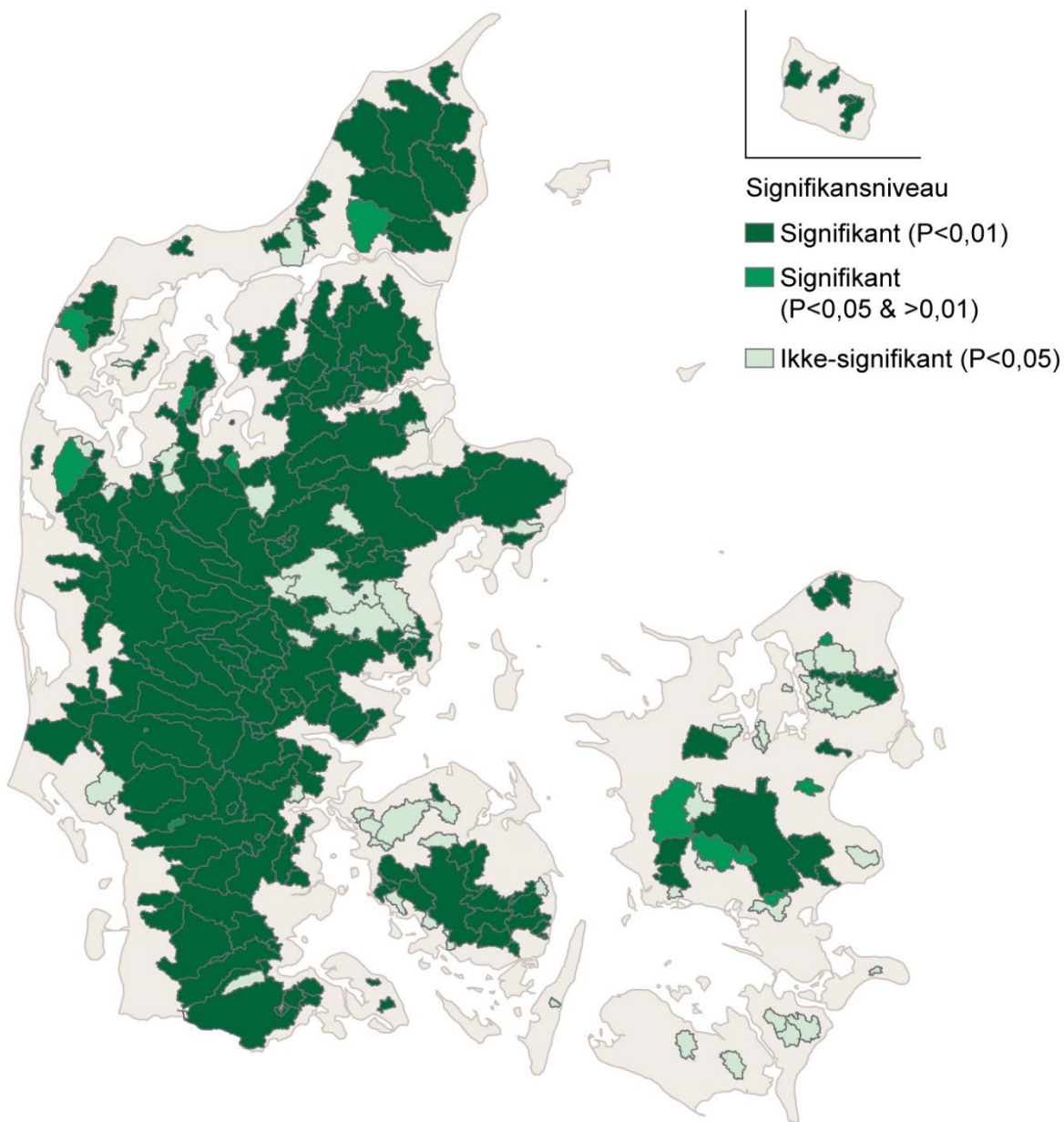
464  
465  
466  
467  
468  
469  
470

For at undersøge om ovenstående er gældende for danske vandløb, er sammenhængen mellem vandføring og alkalinitet undersøgt med data, hvor hver alkalinitetsmåling er parret med en vandføringsværdi ved samme station og samme dag. Det giver et samlet datasæt på 33.935 observationspar. Ved høje vandføringer vil både bidraget fra overflade- og grundvandet øges, men det relative forhold vil gå mod større andel af overfladevand relativt til grundvand.

471  
472  
473  
474  
475  
476  
477  
478  
479  
480

Stationerne og de dertilhørende oplande indgår i figur 3.3, hvis de har  $\geq 20$  observationspar. Det giver i alt 33.175 observationspar fordelt på 292 stationer. Figur 3.3 viser, at stationer med en signifikant sammenhæng mellem alkalinitet og vandføring er i væsentligt overtal, og er bredt fordelt geografisk set. Der er en klynge af ikke-signifikante sammenhænge omkring de store søer i Gudenå-systemet, hvilket kan skyldes, at opblandingen af vandet mindsker sammenhængen. Det uddybes yderligere i afsnit 3.5. Ligeledes synes der ikke at være en statistisk signifikant sammenhæng for stationer fx på Sydsjælland og Lolland/Falster, ligesom de fleste stationer på Nordfyn ikke har en signifikant sammenhæng.

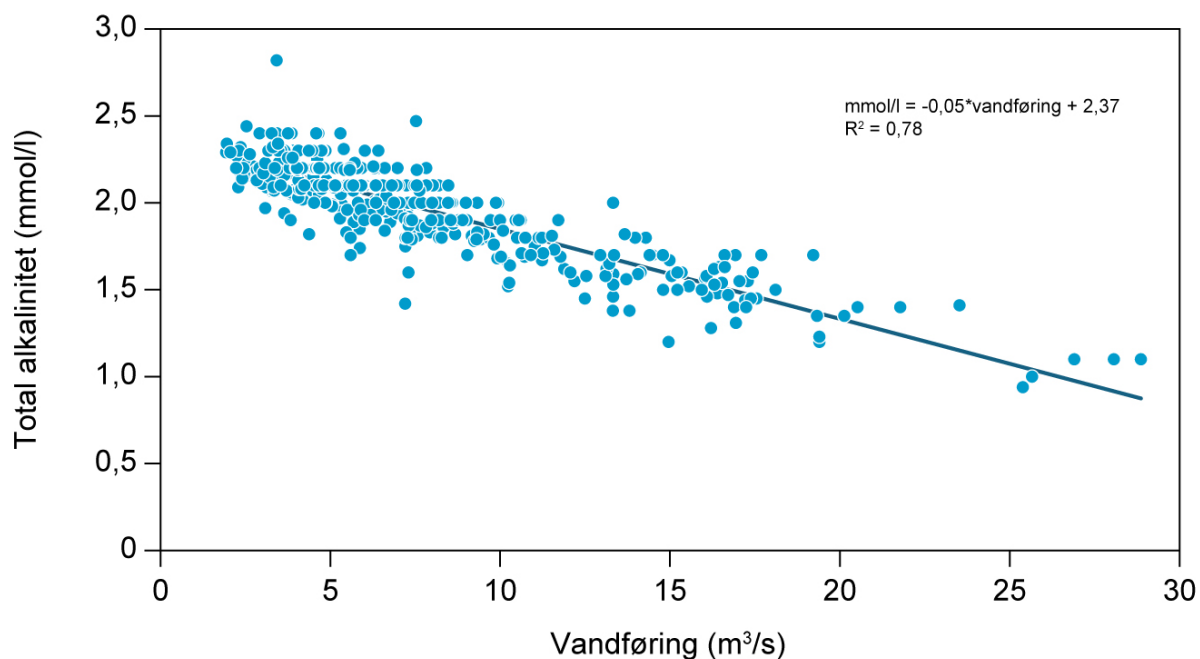
481



**Figur 3.3.** Signifikansniveau for lineære regressioner mellem vandføring og alkalinitet for stationer med  $\geq 20$  observationspar, og hvor oplandets afgrænsning findes digitalt i oplandsdatabasen. Polygonerne på kortet repræsenterer oplandet til de specifikke stationer og er farvelagt efter, hvorvidt sammenhængen er signifikant med en P-værdi henholdsvis under 0,01, mellem 0,01 og 0,05 eller over 0,05 (ikke-signifikant).

482  
483  
484

Figur 3.4 et eksempel på den typiske sammenhæng mellem alkalinitet og vandføring. Det ses, at alkaliniteten er aftagende med stigende vandføring.



**Figur 3.4.** Sammenhæng imellem daglig middel vandføring og målt total alkalinitet. Station 36000009 (Konge Å, V. Vilslev Spang).

485  
486  
487  
488

Af de 292 stationer med  $\geq 20$  observationspar har 220 en signifikant udvikling. Af disse har 216 stationer en negativ trend (som i figur 3.4). Den negative trend er oftest lineær, men for en andel af stationerne har trenden i højere grad en eksponentielt aftagende karakter.

489  
490  
491  
492  
493  
494  
495

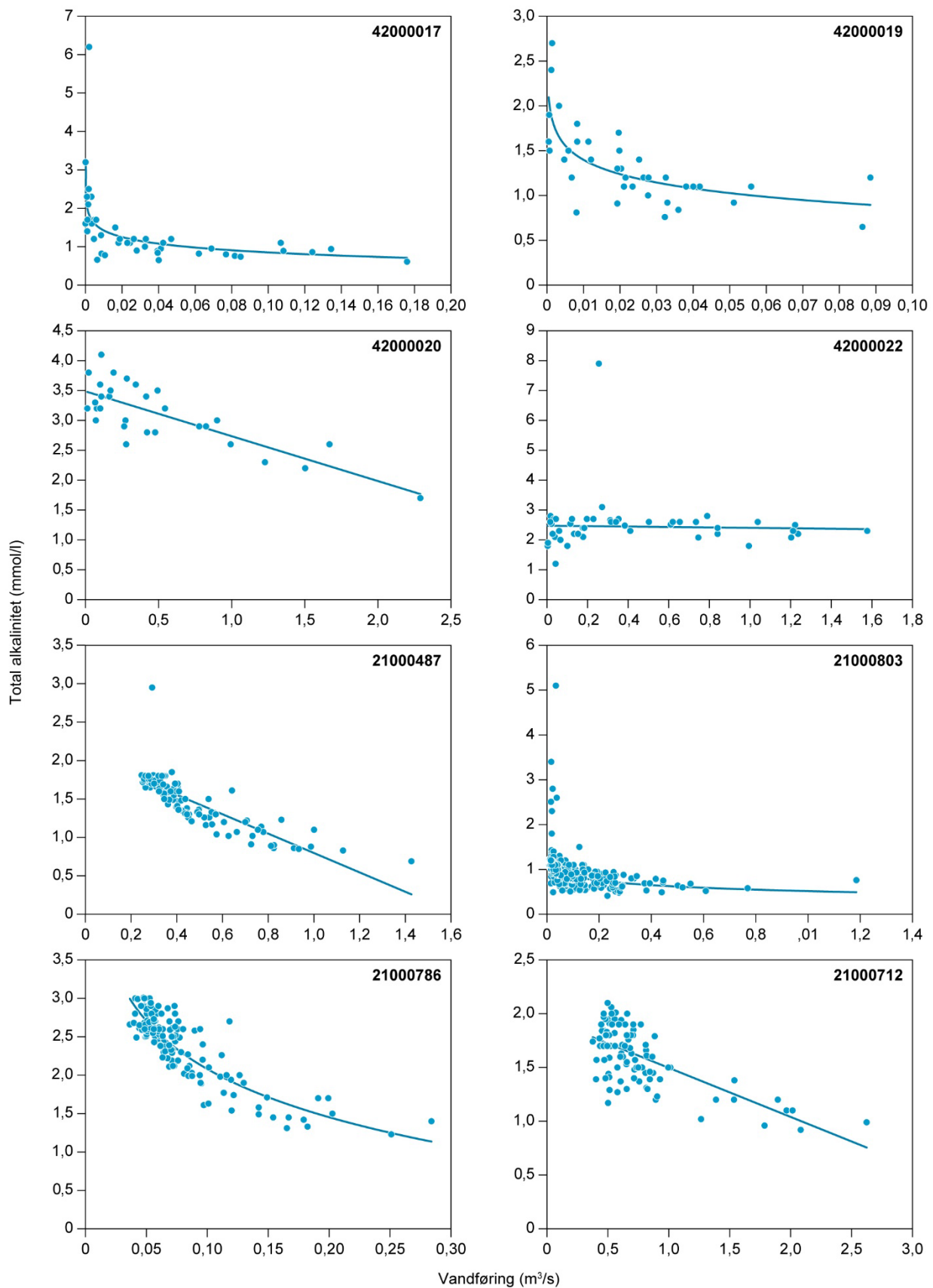
### 3.5 Alkalinitet ved søer og i dræn

Nogle steder påvirkes sammenhængen mellem alkalinitet og vandføring i vandløb af søer opstrøms for stationen. Stationer med søer umiddelbart opstrøms modtager vand, som har haft forskellig opholdstid i søen. Indløbsvandet vil ofte have varierende alkalinitet, men som en konsekvens af opblandingen vil alkaliniteten i udløbsvandet variere mindre, og vandføringen ud af søen vil derfor være mindre tæt associeret med alkalinitetsniveauet.

496  
497  
498  
499

For at undersøge om ovenstående gør sig gældende i kapitlets data undersøger figur 3.5 sammenhængen for tre stationer opstrøms for Hinge Sø nord for Silkeborg og Store Søgaard Sø vest for Gråsten og sammenligner med én station nedstrøms.





**Figur 3.5.** Total Alkalinitet og daglig middelvandføring for Udløb af Hinge sø (21000712) og Store Søgaard Sø (42000022) og indløb til hhv. Store Søgaard sø (42000017, 42000019, 42000020) og Hinge sø (21000487, 21000803, 21000786). For alle stationer er der minimum 20 observationspar.

500 For Store Søgaard Sø udviser indløbene en negativ sammenhæng mellem  
501 vandføring og alkalinitet, mens sammenhængen for udløbet er ikke-signifi-  
502 kant, hvilket er i tråd med forventningen ovenfor. Det samme gør sig ikke  
503 gældende for Hinge Sø, hvor sammenhængen består på tværs af ind- og ud-  
504 løb. Forskellen kan potentielt tilskrives, at den gennemsnitlige opholdstid i  
505 Store Søgaard Sø (33 dage) er væsentlige længere end i Hinge Sø (20 dage).

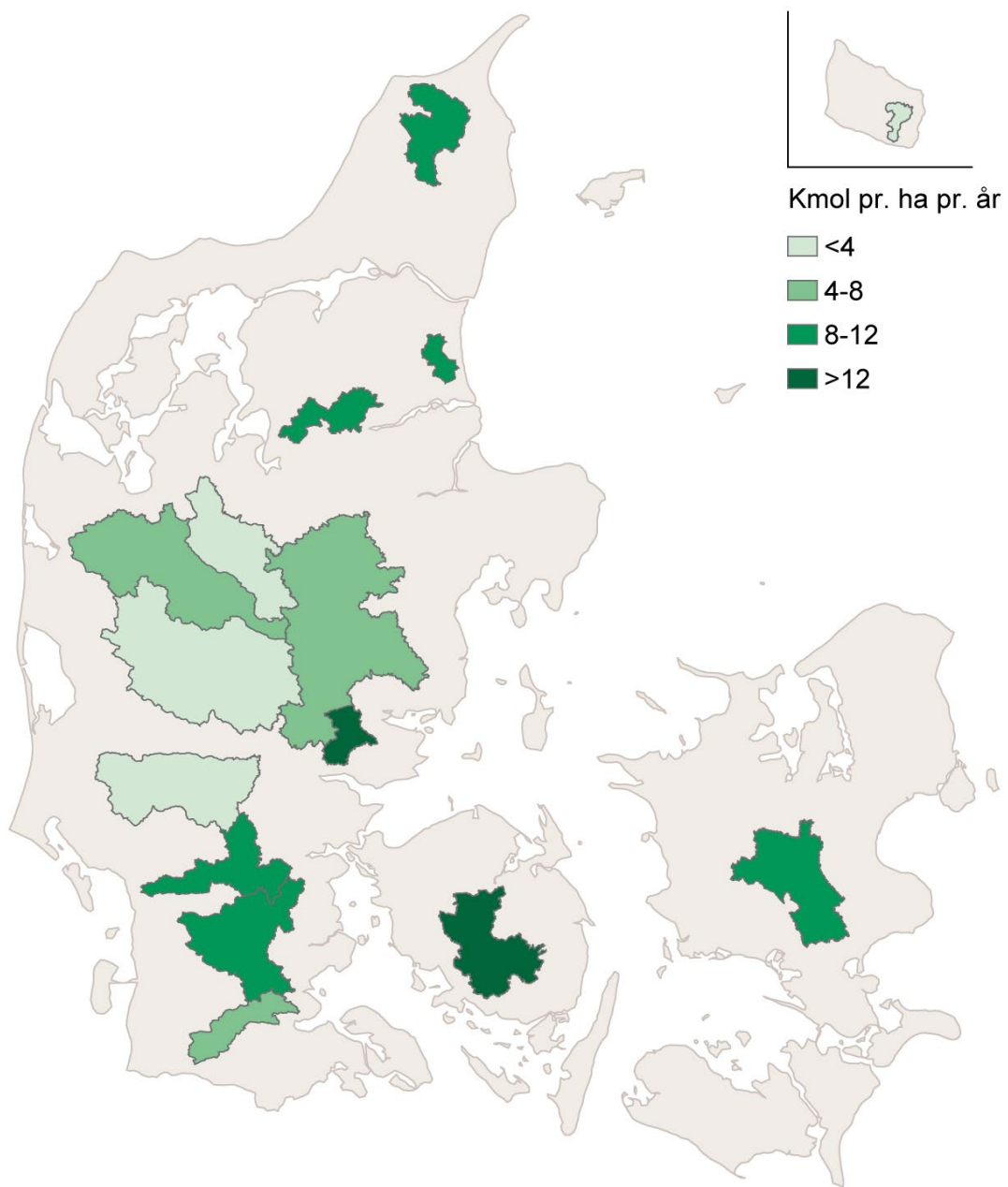
506 Som nævnt i afsnit 3.4 er der i figur 3.3 en samling af stationer omkring de  
507 store søer i Midtjylland, som har en ikke-signifikant sammenhæng. Af disse  
508 befinder størstedelen (stationerne 21000061, 21000084, 21000643 og 21000800)  
509 sig umiddelbart nedstrøms for en af gudenåsystemets søer, hvorfor fraværet  
510 af signifikans støtter hypotesen om opblandings effekt på sammenhængen  
511 mellem vandføring og alkalinitet.

512 Udover nedstrøms stationer er der grund til at mistænke, at også drænstation-  
513 ner skiller sig ud, fordi vandets vej til stationen adskiller sig fra grundvands-  
514 eller overfladevandsdominerede vandløb. Den generelle tendens er, at den  
515 signifikante negative sammenhæng består på tværs af drænstationer. Punk-  
516 terne har dog gennemsnitligt en større afstand til regressionslinjen end for  
517 ordinære vandløb, hvilket blandt andet kan tilskrives de lave vandføringer,  
518 der ofte forekommer i drænen om sommeren, og hvor usikkerheden ofte er stor.

### 519 **3.6 Stoftransport**

520 Figur 3.1 ovenfor viste, at alkalinitetsniveauerne er højest øst og nord for op-  
521 holdslinjen, mens vandføringen omvendt er højest i det vestlige Jylland. Figur  
522 3.6 illustrerer den gennemsnitlige transporterede mængde opgjort som areal-  
523 specifik tab i kmol pr. ha pr. år for stationer/oplande udvalgt efter størrelse  
524 og geografi. De inkluderede stationer har en betydelig vandføring og sam-  
525 menhængen mellem vandføring og alkalinitet er stærk. Derudover er station-  
526 nerne spredte rundt i Danmark for at give en jævn geografisk repræsentation.  
527 Det daglige alkalinitetsniveau er bestemt ud fra funktionen af vandføring og  
528 alkalinitet for umålte såvel som målte dage. De udvalgte oplande udviser  
529 overordnet set samme tendens som i figur 3.1 med de laveste transporter vest  
530 og syd for opholdslinjen.

531



**Figur 3.6.** Total alkalinitetstab (kmol alkalinitet pr. ha pr. år) for udvalgte oplande

## 4 Kvælstof i vandløb

*Hans Thodsen, Albert Rosenkrantz Conradsen, Henrik Tornbjerg*

Kvælstof er et plantenæringsstof, og de menneskeskabte tilførsler af kvælstof til havet er en af de vigtigste årsager til opblomstring af alger om foråret og tidligt på sommeren. Disse algeopblomstringer kan medføre iltvind i sensommeren og det tidlige efterår, når en stor del af algerne nedbrydes (Conley m.fl., 2009). Forhøjede tilførsler af kvælstof kan også have en negativ betydning i nogle søer. Vandområdeplanerne har til formål at sikre renere vand i kystvande, søer, vandløb og grundvand. Reduktion af tilførslen af kvælstof til vandmiljøet er et af de vigtigste redskaber til at nå målene i vandområdeplanerne.

Kvælstof i vandmiljøet stammer primært fra udvaskning fra landbrugsarealer, men kvælstof udledes også fra renseanlæg, industrier, dambrug, spredt bebyggelse og udvaskning fra ikke dyrkede arealer.

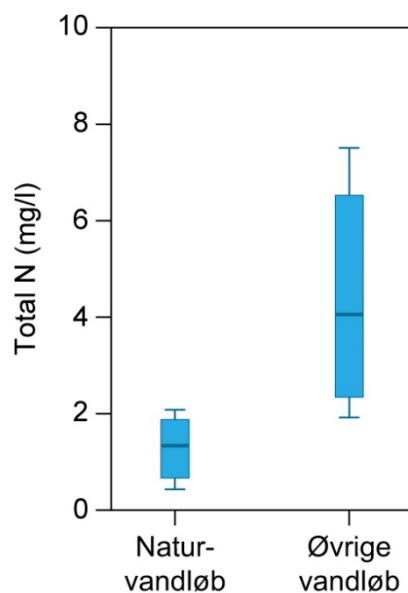
I selve vandløbene har kvælstof normalt relativt lille betydning for miljøet. Dog har forhøjede koncentrationer af ammoniak giftvirkning på smådyr og fisk, ligesom forhøjede koncentrationer af ammonium-N kan udelukke tilstedeværelsen af visse vandplanter. Vandløbene er en vigtig transportvej for kvælstof til søer og havet. Målinger af koncentrationer og transport af kvælstof i vandløbene indikerer udviklingen i kvælstoftilførslen til søer og havområder. Disse oplysninger kan bl.a. bruges til evaluering af den samlede effekt af virkemidlerne, der anvendes til at opnå målene i vandområdeplanerne.

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

### 4.1 Tilstanden i 2023

Vurderingen af kvælstofkoncentrationer i vandløb er siden 2018 baseret på et væsentligt større antal vandløb end tidligere år, da NOVANA er blevet udvidet til næsten det dobbelte antal vandløb. Dette giver et mere dækkende geografisk billede. Median-koncentrationen af kvælstof i vandløb, som ligger i dyrkede oplande eller modtager udledninger fra punktkilder, var i 2023 omkring 3 gange så høj (4,1 mg N/l) som baggrundsniveauet målt i naturvandløb i 2023 (1,3 mg N/l) (Figur 4.1).

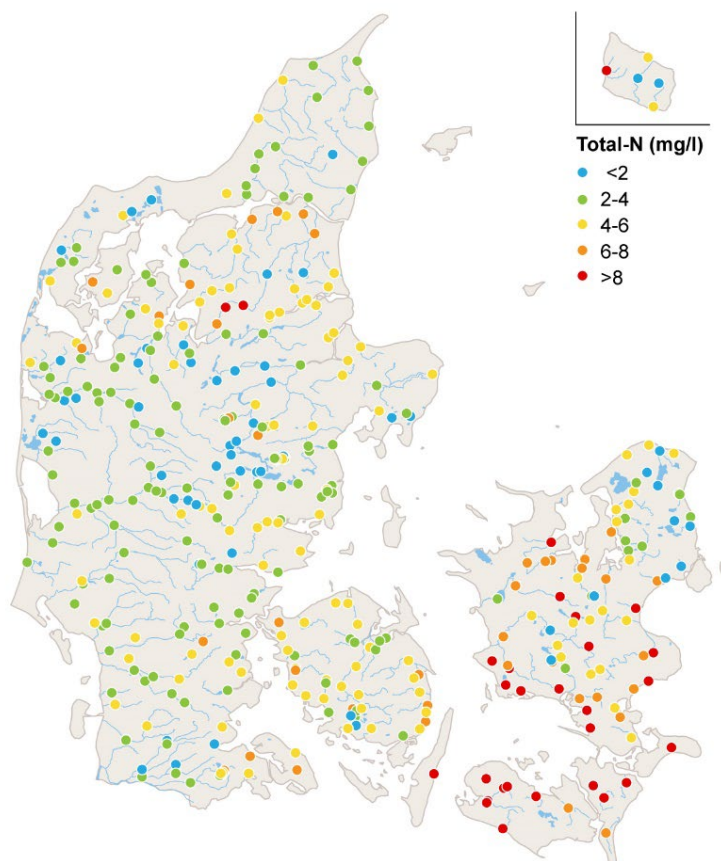
**Figur 4.1.** Koncentrationen af total-kvælstof i vandløb i 2023 baseret på vandføringsvægtede årsmiddelværdier. Data fra naturvandløb stammer fra 2023. Boxwhiskers angiver 10, 25, 50, 75 og 90 percentiler



Der er en betydelig variation i de målte koncentrationer af kvælstof i både naturvandløb og øvrige vandløb. Tidligere analyser af målinger fra naturvandløb har 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 (Bøgestrand m.fl. 2014). 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 gennem dybtliggende grundvandsmagasiner, før det når frem til vandløbene. Under denne transport passerer en del af vandet iltfrie zoner i undergrunden, hvor nitrat bliver omsat ved biologisk eller kemisk denitrifikation. I østdanske vandløb vil en stor del af nedbøren strømme gennem øvre grundvandsmagasiner eller dræn uden at skulle passere iltfrie zoner. Dette er medvirkende til, at der ikke fjernes så meget nitrat ved denitrifikation i denne region, hvilket forårsager højere kvælstofkoncentrationer i vandløbene.

566  
567  
568  
569  
570  
571  
572  
573  
574  
575  
576  
577  
578  
579  
580

**Figur 4.2.** Koncentrationen af total-kvælstof i vandløb i 2023. Vandføringsvægtede årsmiddelkoncentrationer. Der indgår 380 stationer.



## 4.2 Udvikling siden 1990

Udviklingen i normaliseret kvælstoftab er beregnet ved hjælp af Mann-Kendall's trendtest og Sen's hældningsestimator (Carstensen & Larsen, 2006). Ændringen i normaliseret kvælstoftab i det enkelte vandløb er herefter beregnet som den relative forskel på modelestimatet for 1990 og 2023. Analysen er baseret på vandløb med data for årligt kvælstoftab for hele perioden 1990-2023, som er normaliseret efter Larsen & Svendsen (2021). For naturoplandene ses en lavere overvågningsfrekvens efter 2003.

Kvælstofkoncentrationen i vandløbene har for størstedelen af perioden været faldende, mens koncentrationen de seneste 5-10 år har været omtrent konstant (Figur 4.3). Faldet i kvælstofkoncentration har været tydeligst i de vandløb, der ligger i dyrkede oplande eller modtager betydende udledninger af by- eller industrispildevand (Tabel 4.1). Der har været betydelige udsving i den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration fra år til år, eksempelvis i perioden 2004-2006 og i 2011, hvor koncentrationen faldt brat for i de efterfølgende år at nærme sig det tidligere niveau. I 2019 steg koncentrationen i mange vandløb drastisk i forhold til de foregående år, blandt andet på grund af en dårlig høst i 2018, som efterlod meget kvælstof i jorden, og et meget tørt efterår i 2018, som forhindrede udvaskning af kvælstof. Den store kvælstofpulje i jorden blev derfor først udvasket i forbindelse med store mængder regn i efteråret 2019. Kvælstofkoncentrationen i 2023 ligger på niveau med årene før 2019. For de grundvandsrige dambrugsoplande er koncentrationen i 2023 den laveste i overvågningsperioden.

I vandløb med betydelige udledninger fra dambrug har der været en reduktion siden 1990. Her ligger koncentrationsniveauet lavere end i vandløb i dyrkede

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

595

596

597

598

599

600

601

602

603

604

605

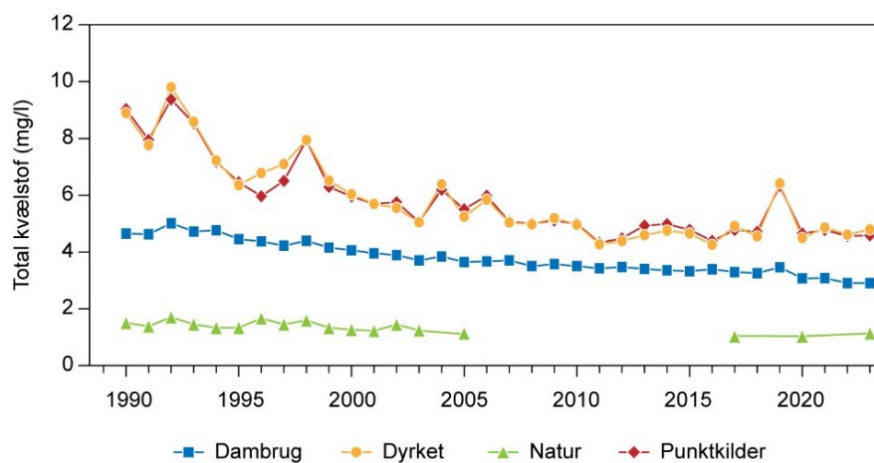
606  
607  
608  
609  
610  
611  
612  
613

områder og vandløb med betydelig spildevandstilførsel gennem hele perioden, primært fordi dambrugsdrift er koncentreret i grundvandsfødte vandløb i egne, hvor kvælstofindholdet i det tilstrømmende grundvand er relativt lavt og mere konstant. Det skal nævnes at tilførslen af næringsstoffer til vandløb her klassificeret som hhv. dambrugsoplande og punktkildeoplande også har en tilførsel fra diffuse kilder, som kan være mere betydende end tilførslen fra dambrug og punktkilder. Således ses punktkildeoplande og dyrkede oplande at have et næsten identisk forløb i figur 4.3.

614  
615  
616  
617  
618

I den sidste halvdel af perioden siden 1990 er der tegn på et fald i kvælstofkoncentrationen i naturvandløb i forhold til den første halvdel. Der er dog tale om meget få vandløb, hvoraf nogle har svinget meget i koncentration gennem årene. Siden 2011 er der blevet målt på et større antal naturvandløb, hvilket på længere sigt vil give et bedre grundlag for at vurdere eventuelle ændringer.

**Figur 4.3.** Udvikling i kvælstofkoncentration siden 1990. Gennemsnit af vandføringsvægtede årsmiddelværdier for vandløb med forskellige påvirkninger klassificeret ud fra forholdene i 1991 (vandløb, hvor forholdene er ændrede siden 1991, er fortsat med i analysen). For naturvandløb (antal=5) er årene 2008, 2011 og 2014 udeladt af tidsserien, da ikke alle stationer har målinger disse år.



619

**Table 4.1.** Nøgletal for statistisk test (Mann-Kendall trendtest og Sen's hældningsestimator) af udviklingstendenser siden 1990 for normaliseret kvælstoftab samt procentvis ændring i normaliseret kvælstoftab. Middelværdier  $\pm$  95 % konfidensinterval for gennemsnittet (+ : stigning, - : fald).

Oplandstype 1991	Antal stationer	Antal med signifikant fald ( $p < 0,05$ )	Antal med signifikant stigning ( $p < 0,05$ )	Procentvis ændring i koncentration
Natur	5	3	0	$-31 \pm 39$
Dyrket	36	34	0	$-40 \pm 9$
Punktkilder	61	60	0	$-41 \pm 6$
Dambrug	12	12	0	$-36 \pm 14$
Alle	114	109	0	$-40 \pm 9$

## 5 Fosfor i vandløb

*Hans Thodsen, Henrik Tornbjerg, Søren E. Larsen*

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

Fosfor er tidligere blevet udledt i store mængder til vandmiljøet fra byernes rensningsanlæg og industrier. Efter de seneste årtiers store forbedringer i spildevandsrensning er tabet fra det åbne land og de spredt beliggende ejendomme uden rensning af spildevand nu den vigtigste kilde til fosfor i vandløbene (se kapitel 7).

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

Fosfor transporteres via vandløb til søer og fjorde. Derfor er målte koncentrationer og beregnede tilførsler vigtige for at kunne vurdere udviklingen i tilførslerne af fosfor til søer og fjorde.

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

### 5.1 Tilstanden i 2023

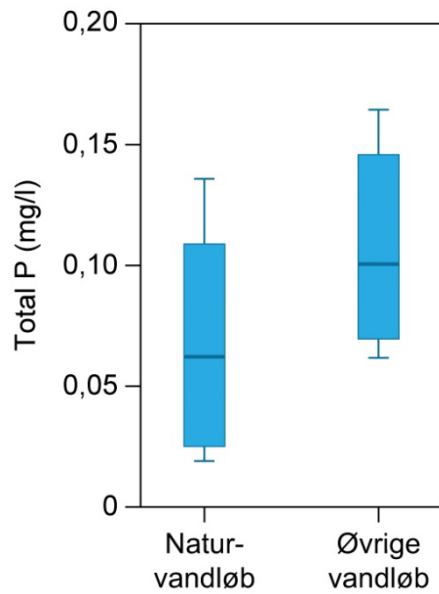
Vurderingen af fosforkoncentrationer i vandløb er siden 2018 baseret på et væsentligt større antal vandløb end tidligere år, da NOVANA er blevet udvidet til næsten det dobbelte antal vandløb. Dette giver et mere dækkende geografisk billede.

Mediankoncentrationen af fosfor i vandløb, som ligger i dyrkede oplande eller oplande, der modtager udledninger fra punktkilder, var i 2023 omkring 60% højere (0,101 mg P/l) end niveauet målt i naturvandløb i 2023 (0,062 mg P/l) (Figur 5.1).

Der er en betydelig variation i koncentrationerne. Tidligere analyser af målinger fra naturvandløb har vist, at der er regionalt betingede forskelle i koncentrationen af fosfor, som kan forklare noget af variationen (Bøgestrand m.fl. 2009; Andersen et al., 2022).



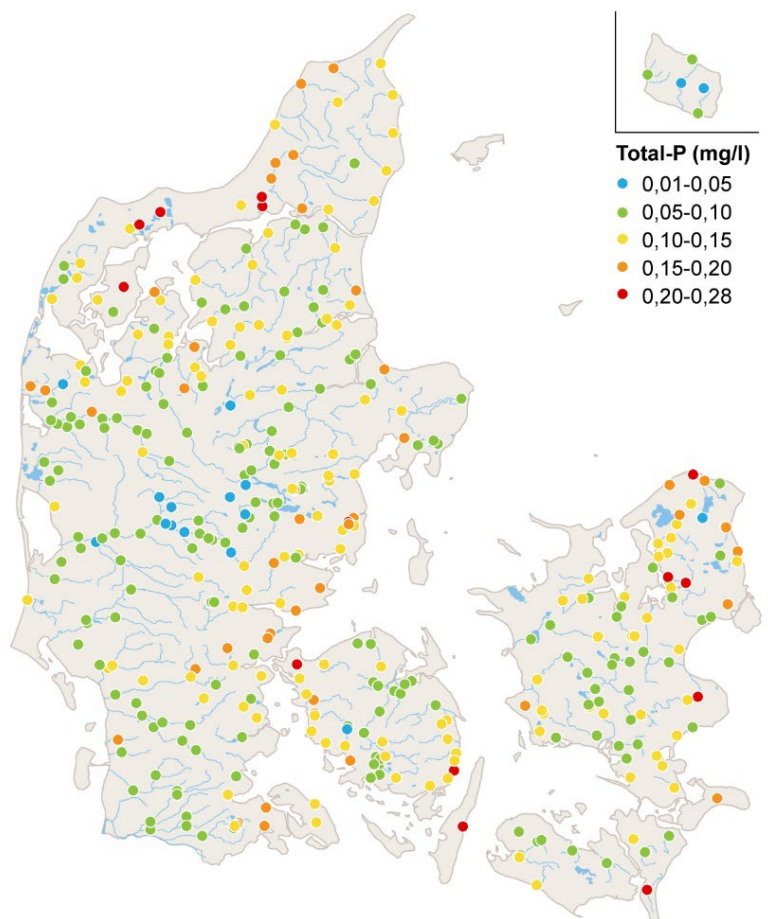
**Figur 5.1.** Koncentrationen af total-fosfor i vandløb i 2023. Vandføringsvægtede årsmiddel- værdier. Data fra naturvandløb stammer fra 2023. Box- whisker diagrammet angiver 10, 25, 50, 75 og 90 percentiler.



658  
659  
660  
661  
662  
663  
664  
665  
666  
667  
668

Høje koncentrationer af fosfor optræder især i det tæt befolkede Nordsjælland (Figur 5.2), men også på 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 lavere afstrømning (Figur 2.2) og dermed mindre vand til at fortynde udledningerne i de sjællandske vandløb end i jyske vandløb. Også i Nordjylland ses høje koncentrationer, hvilket kan skyldes en høj erosionsrate af de finsandede jorde og vandløbsbrinker med høj sedimenttransport til følge (Thodsen m.fl. 2019c). I de mere tyndt befolkede egne i Midt- og Vestjylland, hvor afstrømningen generelt også er forholdsvis høj, er der lavere koncentrationer af fosfor.

**Figur 5.2.** Koncentrationen af total-fosfor i vandløb i 2023. Vandføringsvægtede årsmiddelkoncentrationer.



## 5.2 Udviklingen siden 1990

Udviklingen i normaliseret fosfortab er beregnet ved hjælp af Mann-Kendall's trend-test og Sen's hældningsestimator (Carstensen & Larsen, 2006). Ændringen i normaliseret fosfortab i det enkelte vandløb er herefter beregnet som den relative forskel på modelestimatet for hhv. 1990 og 2023. Analysen er baseret på vandløb med data for årligt fosfortab, som er normaliseret efter Larsen & Svendsen (2021) for hele perioden 1990-2023. For naturoplandene ses en lavere overvågningsfrekvens (målinger hvert 3. år) efter 2003.

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 & Tabel 5.1). Faldet i fosfortabet skyldes de foranstaltninger, der er sat i værk for at reducere forureningen fra byspildevand og industriel udledning, både i forbindelse med vandmiljøplanerne og regionale tiltag. I dambrugspåvirkede vandløb er fosfortabet faldet signifikant som følge af formindskede udledninger fra dambrug. I naturvandløb er der ikke fundet signifikante udviklinger. I vandløb i dyrkede områder ses fald i fosfortab i over halvdelen af vandløbene. Det gennemsnitlige fald i fosfortab er størst for oplande belastet med punktkilder og dambrug og mindst for naturoplandene. Generelt er udledningen fra spredt bebyggelse også faldet og kan være en medvirkende årsag til fald i fosfortabet i alle typer af vandløb. Der er ikke testet for regionale forskelle.

669

670

671

672

673

674

675

676

677

678

679

680

681

682

683

684

685

686

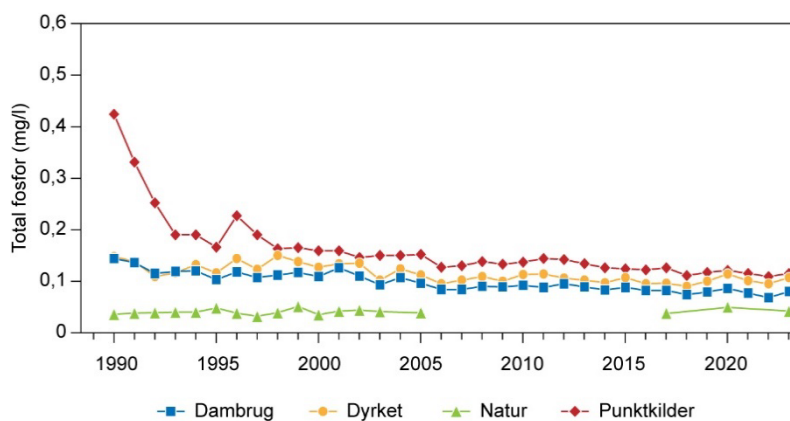
687

688

689

690

**Figur 5.3.** Udvikling i fosforkoncentration siden 1990. Gennemsnit af vandføringsvægtede årsmiddelværdier for vandløb med forskellige påvirkninger, klassificeret ud fra forholdene i 1991 (vandløb, hvor forholdene er ændrede siden 1991, er fortsat med i analysen). For naturvandløb (antal=5) er årene 2008, 2011 og 2014 udeladt af tidsserien, da ikke alle stationer har komplet tidsserie.



691

**Table 5.1.** Nøgletal for statistisk test (Mann-Kendall trend-test og Sen's hældningsestimator) af udviklingstendenser siden 1990 for fosfortab samt procentvis ændring i fosfortab. Middelværdier  $\pm$  95 % konfidensinterval for gennemsnittet. (+ : stigning; - : fald).

Opland klassificeret for 1991	Antal stationer	Antal med signifikant fald ( $p < 0,05$ )	Antal med signifikant stigning ( $p < 0,05$ )	Procentvis ændring i koncentration
Natur	5	0	0	$7 \pm 26$
Dyrket	22	13	0	$-25 \pm 12$
Punktkilder	61	55	0	$-40 \pm 10$
Dambrug	12	12	0	$-43 \pm 22$
Alle	100	80	0	$-35 \pm 13$

## 6 Kvælstoftilførslen til havet

*Henrik Tornbjerg, Hans Thodsen, Søren Erik Larsen, & Gitte Blicher- Mathiesen*

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

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

### 6.1 Datagrundlag og metoder

Til beregning af den samlede tilførsel fra land af total-kvælstof til havet omkring Danmark for perioden siden 1990 er der anvendt data fra i alt 232 målestationer dækkende et oplandsareal på 25.963 km<sup>2</sup>, hvilket svarer til ca. 60% af landets samlede areal. I opgørelserne for 2023 indgik 232 stationer, for 2017 og tidligere år indgik 169 målestationer, som dækkede et samlet opland på 24.380 km<sup>2</sup>, svarende til 57 % af landets samlede areal. For 90 målestationer er der fuld tidsserie af målinger siden 1990, disse stationer dækker ca. 18.926 km<sup>2</sup>, svarende til 44 % af landets areal. For 2023 er der måledata fra 205 af stationerne (de resterende 27 stationer (232-205=27) er for største delen nedlagte stationer). For 142 af de 232 målestationerne er der ikke kontinuerte måledata for hele perioden. Stoftransporter for disse stationer er for måneder uden måledata beregnet via procedurer for 'huludfyldning'. Den valgte metode hertil er beskrevet i Windolf m.fl. (2013).

Total-kvælstof- og total-fosfor-koncentrationer målt i vandløb i 2016 og de første 4 måneder af 2017 er analyseret med en forkert analysemetode. Der er foretaget en korrektion af total-kvælstof- og total-fosfor-koncentrationer målt i denne periode (Thodsen m.fl., 2021). Der er ligeledes gennemført en korrektion af total-kvælstof-data målt fra 2009 til 2015, da data for denne periode er analyseret med den samme forkerte metode. Denne korrektion er beskrevet i Thodsen m.fl. (2024) og Larsen m.fl. (2021a, b).

For de umålte oplande er tilførslen af total-kvælstof beregnet ved brug af empiriske/statistiske modeller for tilførsel og omsætning af kvælstof i overfladevandssystemet, samlet i den såkaldte DK-QNPv2-model. Dokumentation for metoden er givet i Windolf m.fl. (2010, 2011, 2012a). Det er tidligere påvist (Bøgestrand m.fl., 2009), at den anvendte metode har en regional bias og generelt overestimerer kvælstofkoncentrationerne i det vestlige Danmark, mens der er en tendens til underestimering i den østlige del af landet. Denne bias opfattes som en generel model-bias. Derfor foretages der en biaskorrektion af enkelt månedstilførsler i de samme geografiske regioner, som anvendt i Thodsen m.fl. (2019a). Dog er der tilføjet en ekstra region dækkende Himmerland, hvor det er kendt, at den tidlige udvikling i den målte tilførsel ikke falder i takt med den modellerede tilførsel. Biaskorrektionsmetoden er beskrevet i Thodsen m.fl. (2019b).

En vigtig modelvariabel i DK-QNPv2-modellen til beregning af tilførsel af total diffust kvælstof fra umålt opland er det beregnede årlige nationale kvælstofoverskud på mark-niveau (markbalancen). Der er i Blicher-Mathiesen

737 m.fl. (2015) foretaget visse justeringer ved beregning i tidsserien (1990-2013)  
738 for denne markbalance. I de modelberegninger, der er foretaget i de aktuelle  
739 opgørelser, er markbalancerne beregnet i henhold til Blicher-Mathiesen m.fl.,  
740 (2015). Den statistiske total-kvælstofmodel der anvendes for umålt opland er  
741 konstrueret ud fra data fra et antal målestationer (Windolf m.fl., 2011). Disse  
742 målestationer dækker i sagens natur ikke hele landet og dermed alle kombi-  
743 nationer af alle inputparametre, som findes i den resterende del af landet. Der-  
744 for anvendes modellen til en vis grad uden for dens modeldomæne.

745 Data for udledninger af spildevand fra punktkilder er for samtlige år leveret af  
746 Fagdatacentret for Punktkilder (Miljøstyrelsen). Der er ikke foretaget en korrek-  
747 tion af total-kvælstof- og total-fosfor-værdier for eventuelt forkerte analyseme-  
748 toder på data fra 2016 eller tidligere år (Miljøstyrelsen, 2018). Udledningerne fra  
749 spredt bebyggelse, regnbetingede udløb, havbrug og i et vist omfang dambrug  
750 er for en stor dels vedkommende opgjort på baggrund af enhedstal og modeller  
751 og er derfor ikke berørt af analysefejlen (Miljøstyrelsen, 2018). For kvælstof ud-  
752 gør disse udledninger 40 % af den totale punktkildeudledning (Miljøstyrelsen,  
753 2023). For særskilte opgørelser af punktkildetilførsler af total-kvælstof og total-  
754 fosfor henvises der til rapporten Punktkilder 2022 (Miljøstyrelsen, 2024).

755 For rensningsanlæg, særskilte industrielle udledere, ferskvandsdambrug og  
756 saltvandsbaseret fiskeopdræt er udledningerne knyttet til et punkt. Regn-  
757 vandsbetingede udledninger (RBU) har tidligere været knyttet til et opland,  
758 men er fra og med 2013 også knyttet til punkter i form af de udledningspunk-  
759 ter, som kommunerne er ansvarlige for, og som forefindes i den fællesoffent-  
760 lige database for punktkildeudledninger, PULS.

761 Fagdatacentret for Punktkilder (MST) har ændret opgørelsen af udledning fra  
762 spredt bebyggelse, så der nu tages udgangspunkt i BBR-data fra 2018, og ud-  
763 ledningen fra spredt bebyggelse er tilbageskrevet med udgangspunkt i 2018.  
764 For kvælstof anvendes for alle år den beregnede udledning fra 2018. For fosfor  
765 anvendes den beregnede udledning i 2018 justeret i forhold til udviklingen i  
766 fosforindholdet i en personækvivalent (PE) (Miljøstyrelsen, 2020a).

767 For at opnå en konsistent tidsserie for spildevandsudledningerne er der fore-  
768 taget huludfyldning i tilfælde af manglende data. I de tilfælde, hvor der  
769 mangler oplysninger fra begyndelsen af 1990'erne, er det antaget, at udled-  
770 ningerne har været af samme størrelse som den tidligst kendte udledning;  
771 tidsserien er dermed blevet forlænget bagud. Hvis der modsat ikke forefin-  
772 des tal for udledningen fra et givet anlæg fra et givent år og fremefter, antages  
773 det, at anlægget er nedlagt. Manglende værdier midt i tidsserien er udfyldt  
774 ved interpolation.

775 Udledningerne fra regnvandsbetingede udledninger er bearbejdet for at opnå  
776 en god geografisk distribution og en fuld tidsserie, som kan bruges i det sam-  
777 lede modelkoncept. Den geografiske distribution af udledningspunkterne for  
778 2013 fra PULS-databasen er kombineret med viden om den samlede 'aktuelle  
779 årsudledning' gennem hele perioden. Ud fra disse oplysninger distribueres et  
780 givent års udledning fra regnbetingede udledningspunkter geografisk (Skov-  
781 mark, 2020).

782 Visse anlæg udleder direkte til havet. Det drejer sig især om større rensean-  
783 læg, særskilte industrielle udledere, regnvandsbetingede udledninger og salt-  
784 vandsbaserede fiskeopdræt. Tidligere angivelser i den hydrologiske refe-

785 rence af, hvorvidt et anlæg udleder direkte til havet, var desværre fejlbehæf-  
786 tede. Det er aftalt mellem fagdatacentrene for punktkilder og ferskvand at de-  
787 finere direkte udledninger således, at koordinaterne for udledningenspunktet  
788 enten ligger ude i havet eller på land, højst 100 meter fra kystlinjen. Metoden  
789 er brugt til renseanlæg, industrielle udledere, dambrug og regn- vandsbetin-  
790 gede udledninger. Saltvandsbaserede fiskeopdræt betragtes konsekvent som  
791 direkte udledere til havet.

792 De tilgængelige spildevandsdata omfatter alene udledninger på årsbasis. Da  
793 der er behov for at anvende månedsudledninger, er der beregnet/estimeret  
794 månedlige fordelinger for de enkelte punktkildetyper (Thodsen m.fl. 2023;  
795 Lassen & Frank-Gopolos, 2022). Endelig skal det bemærkes, at spildevands-  
796 udledninger fra spredt bebyggelse er indregnet under den diffuse kvælstof-  
797 udledning.

798 Der foretages for kvælstof, fosfor og nitrat en normalisering (nogle gange om-  
799 talt som klimanormalisering) af transporter/tilførsler i form af en månedlig af-  
800 strømningsnormalisering på den aktuelle geografiske skala. Afstrømnings-  
801 normalise- ringen er nærmere beskrevet i Larsen & Svendsen (2021). Afstrøm-  
802 ningsnormaliseringen foretages for bedst muligt at kunne tage højde for varia-  
803 tioner i ferskvandsafstrømningen for det enkelte års kvælstoftilførsel. Metoden be-  
804 står i at fitte en lineær model til 1. ordens differenser for logaritme-transforme-  
805 rede data hver kalendermåned. Der er ingen afskæringsparameter i modellen og  
806 1. ordens differensen er mellem år i og i-1 for en given kalendermåned. 1. ordens  
807 differenser beregnes både for transport- og afstrømningsdata og efter at data er  
808 logaritme- transformeret. Den naturlige logaritmfunktion anvendes ved transfor-  
809 mationen. Efter modelfit og beregning af residualer og normaliserede værdier, til-  
810 bage-trans- formeres disse, adderes op på årsniveau og korrigeres for bias, så  
811 de normaliserede værdier kommer til at passe i niveau med de ikke-normalise-  
812 rede værdier. Den normaliserede transport illustrerer den kvælstoftransport, der  
813 ville have væ- ret det enkelte år, såfremt vandafstrømningen havde været konstant  
814 gennem perioden 1990-2023 (324 mm/år).

## 815 **6.2 Kvælstoftilførsel til havet i 2023**

816 For 2023 blev der i alt beregnet en tilførsel på omkring 65.000 tons total- kvæl-  
817 stof fra land til kystafsnittene omkring Danmark. Dette er 44 % mere end for  
818 2022, hvor tilførslen var ca. 45.000 ton N. Samtidig var vandafstrømningen på  
819 404 mm i 2023 ca. 43 % højere end i 2022 hvor den var 282 mm. Dermed blev  
820 både vandafstrømningen og kvælstoftilførslen i 2023 noget højere end året  
821 før.

822 Tabet af total-kvælstof pr. ha opland til de kystnære vande var som gennem-  
823 snit i 2023 omkring 15,1 kg N/ha mod ca. 10,5 kg N/ha i 2022. Der var dog  
824 betydelige afvigelser imellem de forskellige dele af landet (Figur 6.1). I nogle  
825 oplande var tabet til de kystnære vandområder mindre end gennemsnittet, fx i  
826 Gudenå-systemet. Her sker der via vandløbssystemets mange søer en væ-  
827 sentlig fjernelse af det tilførte kvælstof, inden vandet løber ud i Randers Fjord  
828 (Figur 6. 1). Det almindelige mønster er forholdsvist små oplandstab i Øst-  
829 danmark, mens der ses større oplandstab i de vestlige og nordlige dele af Jyl-  
830 land. Det skyldes, at kvælstofoverskuddet på markerne i Østdanmark typisk er  
831 mindre end gennemsnittet (Windolf m.fl. 2012b), samt at vandafstrømningen i  
832 det østlige Danmark er væsentligt mindre end mod vest. Dette sædvanlige  
833 mønster ses også for 2023 (Figur 6.1). Der ses forholdsvist høje oplandstab i dele  
834 af oplandet til Limfjorden, Ringkøbing fjord og oplandene til den nordlige del

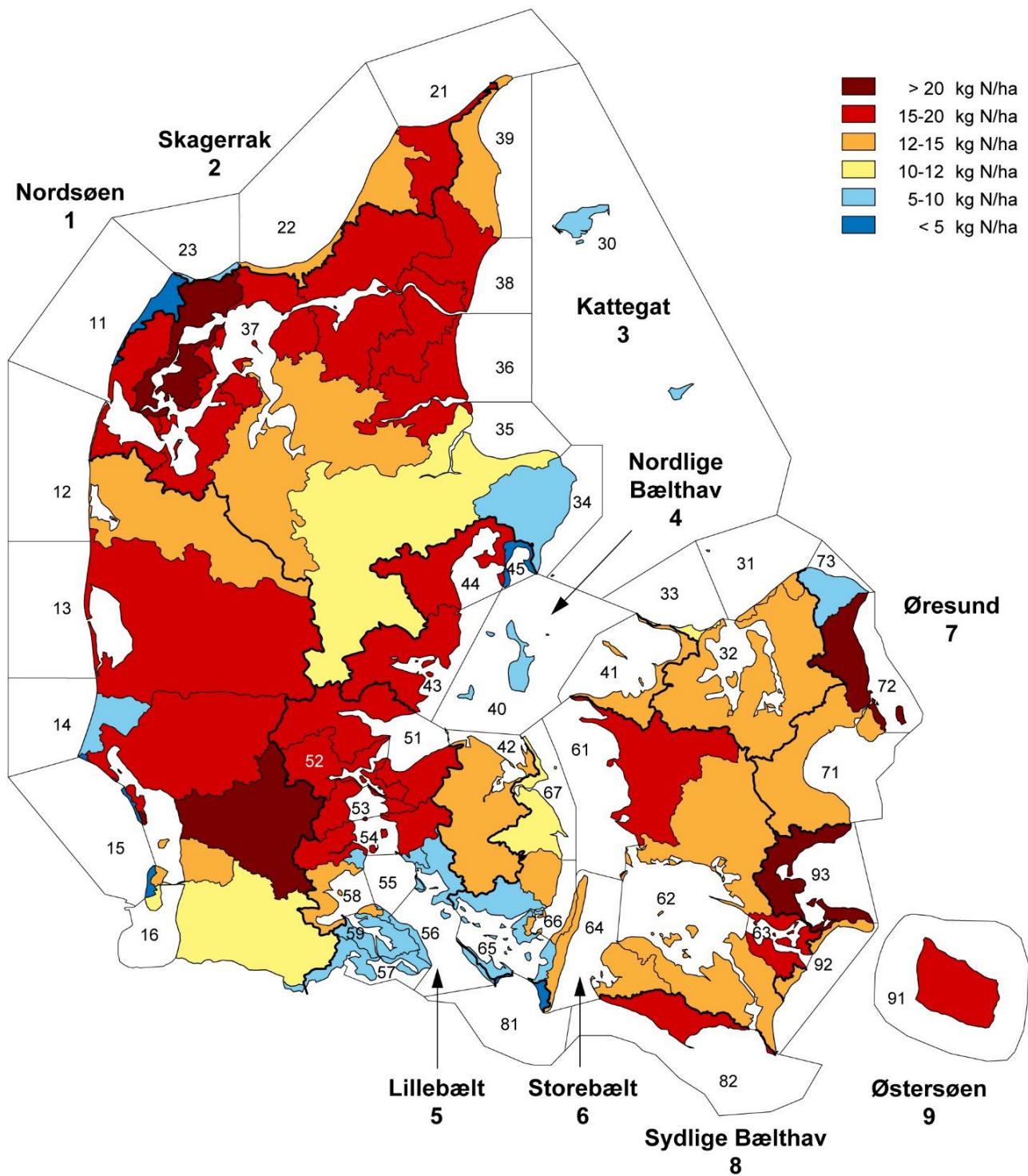
835  
836  
837

af Vadehavet og Bornholm. Men også for Øresund, hvor hovedparten af kvælstoftilførslen kommer fra punktkilder. Der ses forholdsvis lave tab på Djursland og i oplandet til Randers- og Flensborg fjord, på Als og dele af Fyn. (Figur 6.1)

838  
839  
840  
841  
842  
843  
844  
845  
846  
847  
848  
849  
850  
851  
852  
853  
854

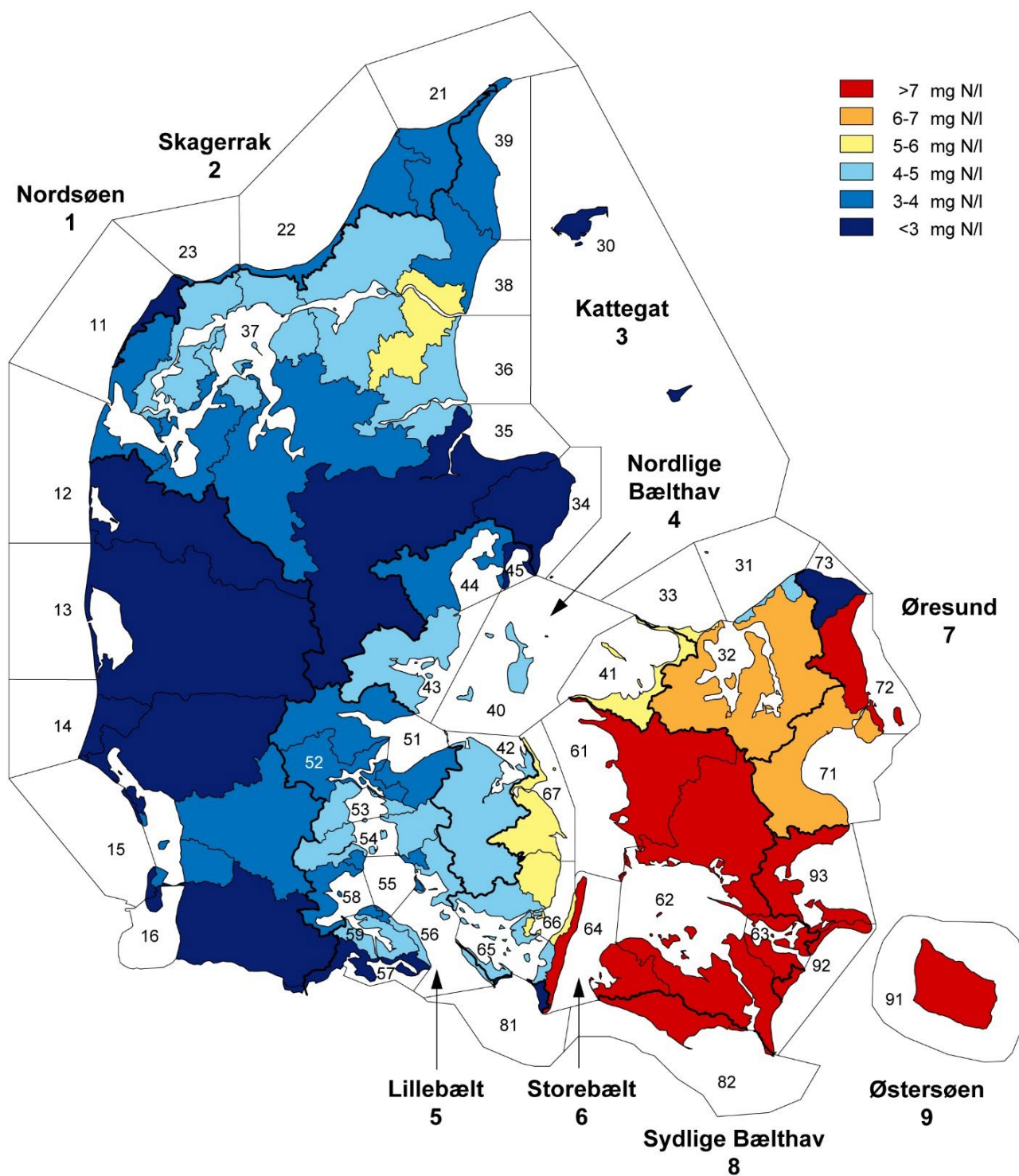
Den vandføringsvægtede koncentration af total-kvælstof for hele landet er for 2023 opgjort til 3,7 mg N/L, og dermed næsten det samme som de 3,7 mg N/l i 2022 (Figur 6.5b). Indholdet af total-kvælstof i det afstrømmende vand til kystvandene var i store dele af Jylland mindre end 3 mg N/l og er typisk større i det østlige Danmark (Figur 6.2). Sydsjælland og Lolland-Falster samt Møn har forholdsvis høje koncentrationer over 7 mg N/L. Der ses for 2023 således, som for tidligere år, en markant forskel på de østlige og vestlige dele af landet. De mange søer i Gudenå-systemet medvirker, som nævnt ovenfor, til via denitrifikation at fjerne en betydelig andel af det kvælstof, der udledes til vandløbene, inden vandet med den resterende mængde kvælstof når frem til Randers Fjord. For fx Storåen og Skjern å, der afvander til hhv. Nissum Fjord og Ringkøbing Fjord, sker der en væsentlig fjernelse af det kvælstof, der udvaskes til grundvand. I disse typer af oplande passerer det udvaskede kvælstof således nitratreducerende lag i undergrunden, hvorved der sker en fjernelse (denitrifikation) af en væsentlig andel af det udvaskede kvælstof. I enkelte jyske oplande - fx visse områder omkring Limfjorden, Mariager Fjord, Alssund og Horsens Fjord - var koncentrationerne generelt større end 4 mg N/l.

UDKAST



Figur 6.1. Areal specifikt tab af kvælstof fra oplandene (inklusive bidrag fra punktkilder) til marine kystafsnit i 2023





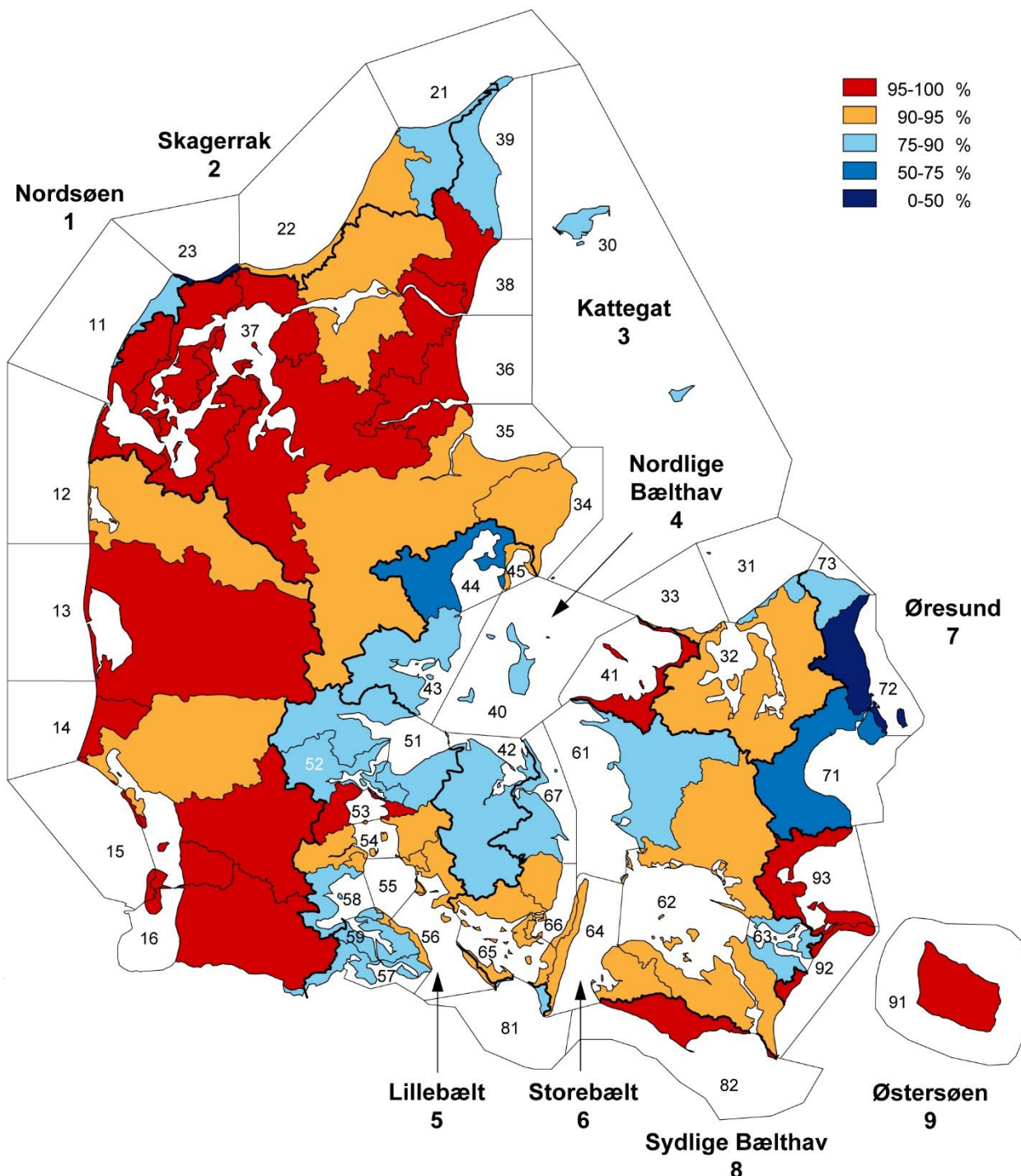
Figur 6.2. Vandføringsvægtet kvælstofkoncentration i vand, der afstrømmer til marine kystafsnit i 2023.

856  
857  
858  
859  
860  
861  
862  
863  
864

De diffuse kilders andel af den samlede kvælstoftilførsel til kystområderne varierede – som i tidligere år – en del fra landsdel til landsdel (Figur 6.3). De diffuse kilder omfatter tilførsler fra såvel dyrkede som udyrkede jorde, men også i mindre omfang udledninger af spildevand fra spredtliggende ejendomme i ikke kloakerede egne. De diffuse kilder har derfor mindst betydning omkring de større byer og størst betydning i de åbne landområder (Figur 6.3). For landet som helhed var den samlede udledning af total-kvælstof fra punktkilder (dvs. renseanlæg, regnbetingede udledninger, akvakultur og industri med særskilt udledning) på ca. 6.200 tons i 2023. Den diffuse tilførsel

865  
866  
867  
868

udgjorde ca. 59.000 tons. Det svarer til en fordeling på henholdsvis 10 % fra punktkilder og 90 % fra diffuse kilder af den totale kvælstoftilførsel, meget lig fordelingen til kystområderne de seneste 5 opgjorte år (8-11 % punktkilder og 89-92 % diffuse kilder).



**Figur 6.3.** Diffus (samlet kvælstoftilførsel minus kvælstof fra punktkilder) andel af den totale kvælstoftilførsel til marine kystafsnit i 2023.

869  
870  
871  
872  
873

### 6.3 Sæsonvariation i vandafstrømning og kvælstoftilførsel

I 2023 var vandafstrømningen til havet omkring Danmark ca. 26 % højere end gennemsnittet for perioden 1990-2022 (Figur 6.4, A, se også kapitel 2). Der var i de enkelte måneder betydelige afvigelser i forhold til gennemsnittet. I januar var afstrømningen noget højere end gennemsnittet i perioden siden

874 1990, det samme var gældende for årets sidste 3 måneder. November havde  
875 den højeste november afstrømning i overvågningsperioden. I resten af året var  
876 vandafstrømningen tæt på det normale niveau.

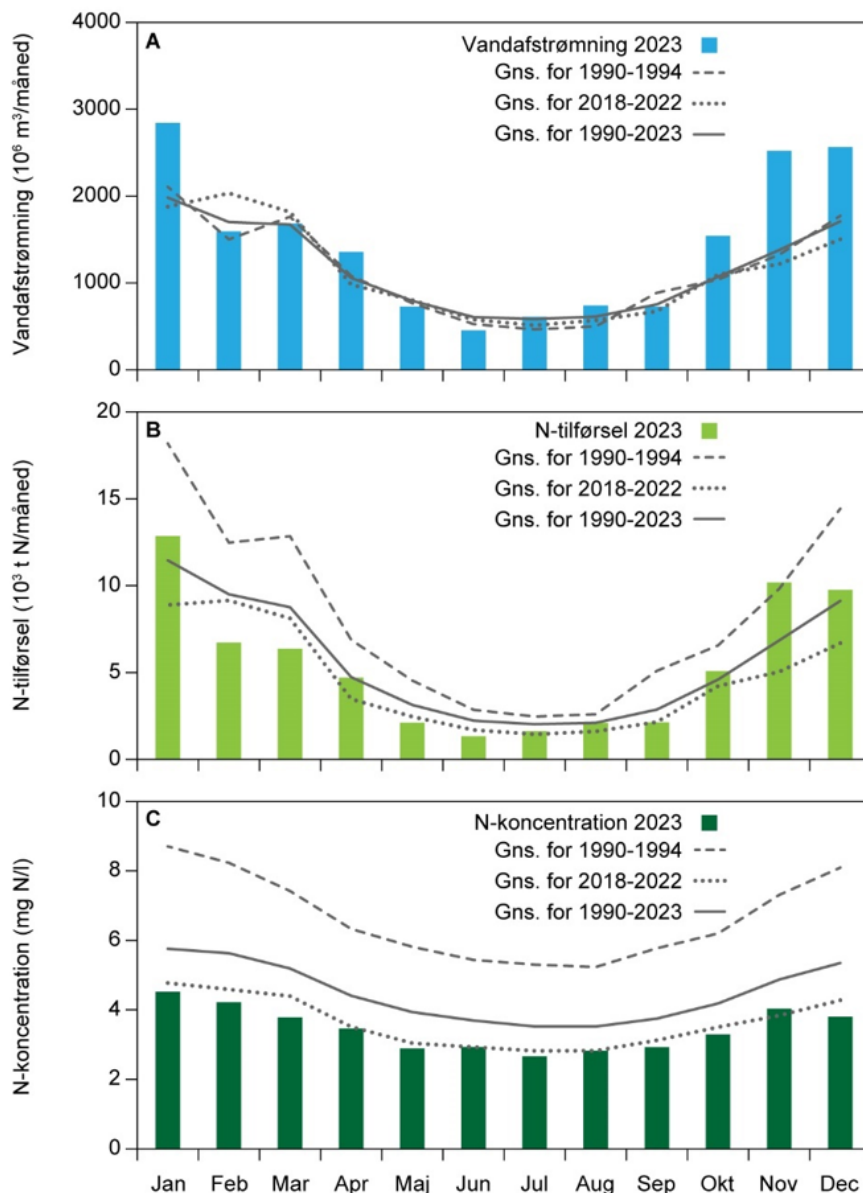
877 Ligesom vandafstrømningen var kvælstoftilførslen i januar noget højere end  
878 gennemsnittet for januar måned de seneste 5 år (2018-2022), det samme er til-  
879 fældet i årets sidste to måneder og i lidt mindre grad i april og oktober. I må-  
880 nederne maj til september var kvælstoftilførslen tæt på gennemsnittet for de  
881 foregående 5 år. I februar og marts var kvælstoftilførslen under gennemsnittet  
882 for de foregående 5 år (Figur 6.4, B).

883 Kvælstofkoncentrationerne i det afstrømmende vand var for alle måneder tyde-  
884 ligt mindre end gennemsnittet for perioden 1990 - 2023 (Figur 6.4, C). Kvælstof-  
885 koncentrationen lå for alle måneder tæt på eller under middel for periode 2018-  
886 2022 undtagen november som ligger lidt over.

887 Det reducerede kvælstofindhold igennem perioden 1990-2023 i den samlede  
888 vandafstrømning er betinget af de markant reducerede tab af kvælstof fra de  
889 dyrkede marker samt af de reducerede udledninger af kvælstof med spilde-  
890 vand og i mindre grad som følge af reduceret atmosfærisk kvælstof deposition.

UDKAST

**Figur 6.4.** Månedsvise vandafstrømning (A), kvælstoftilførsel (B) og vandføringsvægtet kvælstofkoncentration i det afstrømmende vand til havet omkring Danmark (C) i 2023 og som gennemsnit for perioderne 1990-2023, 2018-2022 og 1990-1994. Afstrømningsdata er influeret af homogenitetsbrud i vandføringsmålingerne, se afsnit 1.3.1



## 6.4 Udviklingen i Kvælstoftilførslen til havet

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 er specielt tydeligt, når der ses på udviklingen i den vandføringsvægtede koncentration af total-kvælstof (Figur 6.5, C). Den vandføringsvægtede koncentration er således faldet fra et niveau på over 7 mg N/l i begyndelsen af 1990'erne til i de foregående 5 år (2018-2022) i gennemsnit at være 4,0 mg N/l. Størstedelen af faldet gennem perioden kan forklares af en reduktion i de landbrugsrelaterede diffuse tab af kvælstof (Figur 6.5, B & C).

891

892

893

894

895

896

897

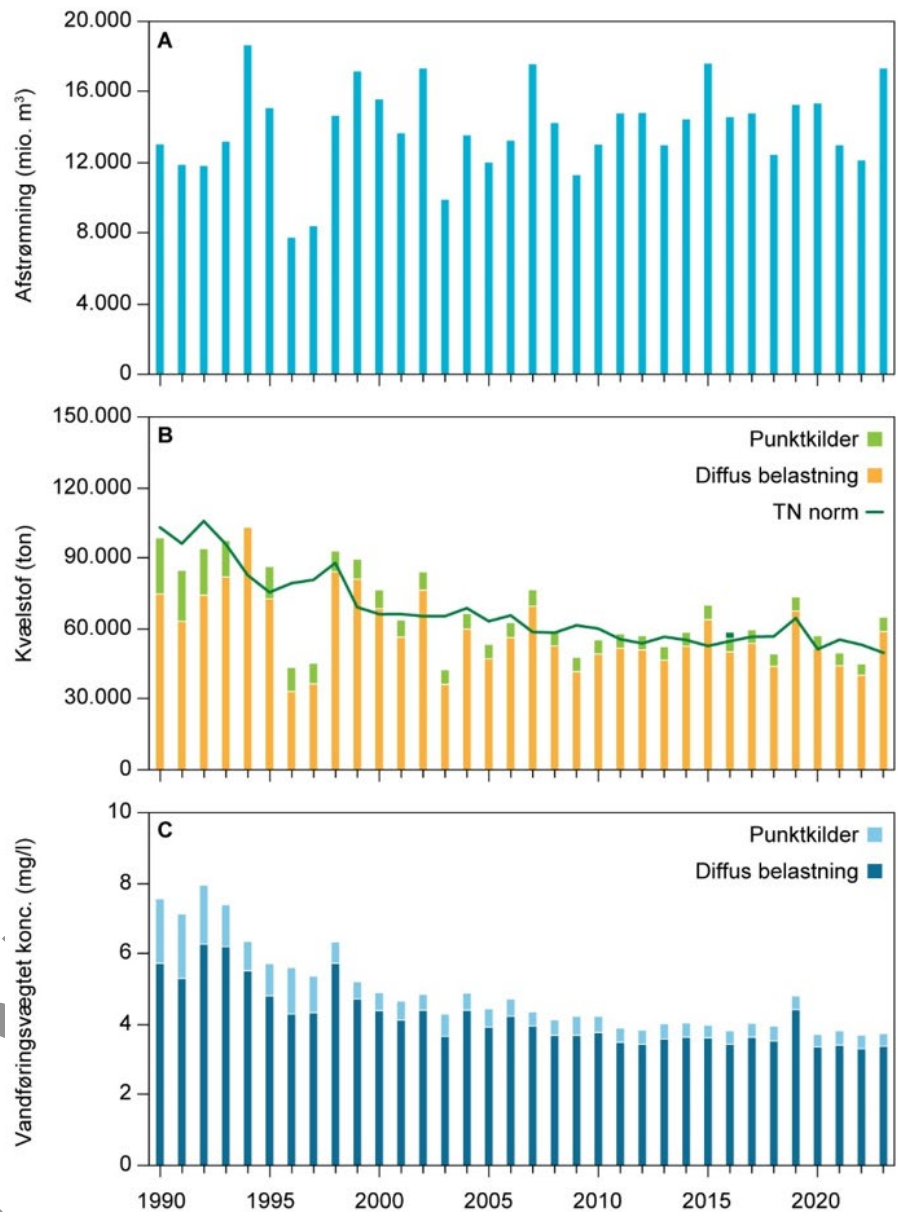
898

899

900

901

**Figur 6.5.** Udvikling i areal specifik ferskvands- afstrømning (A), kvælstoftilførsel, afstrømnings- normaliseret kvælstoftilførsel (TN-norm) og tilførsel fra hhv. diffuse- og punktkilder(B) og vandførings- vægtet kvælstofkoncentration i det afstrømmende vand til havet omkring Danmark (C), 1990- 2023. Kvælstoftilførslen er fordelt på diffuse kilder (inkl. spildevand fra spredt bebyggelse) og spildevand fra punktkilder. Der er i den beregnede kildeopsplitning ikke indregnet retention af udledt kvælstof med spildevand til fersk- vand. For 2016 er der en ekstraordinær tilførsel på 2.755 tons N som følge af ulykke på Fredericia havn (Thodsen m.fl. 2018). Af- strømningsdata for den senere del af måleperioden er influeret af homogenitetsbrud i vandføringsmålingerne, se afsnit 1.3.1.



Den gennemførte forbedrede spildevandsrensning har dog også bidraget signifikant til den samlede reduktion i kvælstoftilførslerne. Således er udledningerne af kvælstof fra punktkilder gennem perioden reduceret med 15-20.000 tons, eller omkring 80 % siden 1989/90 ifølge Miljøstyrelsen (2023). Miljøstyrelsen medregner i deres opgørelse kvælstof fra spredt bebyggelse, som ikke er inkluderet som punktkilde i denne rapport, hvor den betragtes som en del af de diffuse kilder. I 2023 udgjorde spildevandsudledninger fra punktkilder således kun ca. 10 % af den samlede kvælstoftilførsel fra land til havet mod typisk 20-25 % i begyndelsen af 1990'erne.

En statistisk analyse (Mann-Kendall trend-test, Tabel 6.1) viser, at der er tale om et signifikant fald i den afstrømningsnormaliserede årstilførsel af totalkvælstof til havet (Larsen & Svendsen, 2021). Signifikansen af tidsserietrenden er testet ved anvendelse af Mann-Kendalls trend-test samt "change-point"-modeller (Carstensen & Larsen, 2006). For tilførslen fra hele landet er knæpunktet mellem årene 1994/1995 og 2010/2011. Derved er tre lineære

902  
903  
904  
905  
906  
907  
908  
909  
910  
911  
912  
913  
914  
915  
916

modeller estimeret, og det totale fald gennem perioden er beregnet ved formlen:

$$100 \cdot \frac{x_{2023} - x_{1990}}{x_{1990}}$$

hvor  $x_{1990}$  er den estimerede værdi for året 1990, og tilsvarende er  $x_{2023}$  den estimerede værdi for 2023. Estimerer er beregnet ud fra de tre lineære modelers matematiske formler. Konfidensintervaller på det samlede fald er beregnet ved anvendelse af standard error på estimaterne for årene 1990 og 2023. Det signifikante fald i den afstrømningsnormaliserede kvælstoftilførsel for hele landet er estimeret til 50%. Udviklingen i den afstrømnings-normaliserede kvælstoftilførsel er et godt mål for den reelle udvikling i kvælstoftilførslen, fordi der delvist tages højde for betydningen af de store naturlige udsving i vandafstrømning. Ligeledes kan der for 10 af de analyserede 14 farvandsområder konstateres et signifikant fald i den afstrømningsnormaliserede kvælstoftilførsel (Tabel 6.1). Faldet i den afstrømningsnormaliserede diffuse kvælstoftilførsel er også signifikant og estimeres på landsplan til 38 % i perioden 1990-2023. I oplandene til farvandsområderne varierede de beregnede fald i den afstrømningsnormaliserede diffuse kvælstoftilførsel mellem 13 % og 49% (dog er trenden for det sydlige Bælthav ikke angivet da den ikke er statistisk signifikant). For diffus total-kvælstof er der for de 14 farvandsoplande estimeret et eller to knæpunkter (alt efter farvandsopland). For hele landet er der to knæpunkter for den diffuse tilførsel hhv. imellem 1993/1994 og 2010/2011, mens der for den totale tilførsel kun er et knæpunkt imellem 2001/2002.

**Tabel 6.1.** Mann-Kendall trend-test af udviklingen i hhv. den samlede og i den diffuse tilførsel af kvælstof til kystområderne for perioden 1990–2023. Procentvist fald er beregnet med en trendmodel. Resultaterne er angivet som procentvis ændring i forhold til et estimeret niveau for 1990. Testen er lavet på afstrømningsnormaliserede tilførsler. Alle udviklinger er signifikante på 5 %-niveau.

Farvandsområde	Diffus tilførsel	Samlede tilførsel
	% ændring	% ændring
Nordsøen	-39	-45
Skagerrak	-47	-55
Kattegat	-41	-45
Nordlige Bælthav	-47	-49
Lillebælt	-45	-52
Storebælt	-16	-23
Øresund	-21	-68
Sydlig Bælthav	-	-
Østersøen	-33	-39
Limfjorden	-36	-37
Isefjorden/Roskilde fjord	-23	-32
Vadehavet	-36	-45
Ringkøbing fjord	-27	-31
Odense fjord	-45	-47
Danmark	-38	-50

Udviklingen i kvælstoftilførslen til havet over de foregående 20 år 2004 – 2023 beregnet på afstrømningsnormaliserede værdier viser et statistisk signifikant ( $P < 0.05$ ) fald på 18 %.

## 6.5 Kvælstoftilførsel fra målt opland

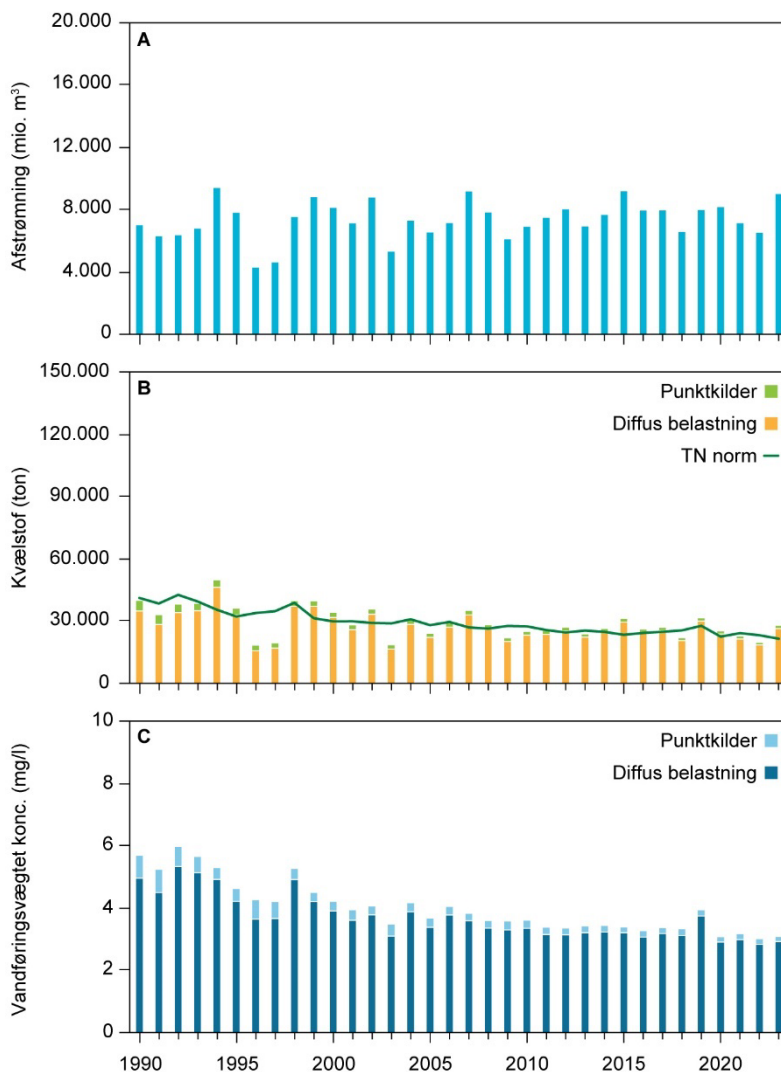
I dette afsnit er kvælstoftransporten opgjort for det målte opland, altså den del af Danmark, som er placeret opstrøms målestationer, som har været i

947  
948  
949  
950  
951  
952  
953  
954  
955  
956

drift med total-kvælstof- og total-fosfor-målinger igennem hele perioden 1990- 2023. Det er tilfældet for 90 stationer, som dækker ca. 44 % af landets areal (18.863 km<sup>2</sup>).

Vandafstrømningen for det målte opland (90 stationer) er for 2023 opgjort til 478 mm, hvilket er 38 % højere end i 2022 (378 mm) og 23 % højere end gennemsnittet for perioden 1990-2022 på 387 mm (Figur 6.6, A). Den relative forskel mellem 2022 og 2023 er således tæt på forskellen for hele landet (ca. 43 %). Vandafstrømningen (mm) for det målte opland er opgjort til at være noget højere end for hele landet, hvor afstrømningen er opgjort til 404 mm i 2023.

**Figur 6.6.** Udvikling i areal specifik ferskvands-afstrømning (A), kvælstoftransport fra hhv. diffuse kilder og punktkilder samt afstrømningsnormaliseret total kvælstof transport (B) og vandføringsvægtet kvælstofkoncentration (C) i det afstrømmende vand fra det målte opland, 1990-2023. Kvælstoftransporten er fordelt på diffuse kilder (inkl. spildevand fra spredt bebyggelse) og spildevand fra punktkilder. Der er i den beregnede kildeopsplitning ikke indregnet retention af kvælstof udløst med spildevand til ferskvand. Afstrømningsdata for den senere del af måleperioden er influeret af homogenitetsbrud i vandføringsmålingerne, se afsnit 1.3.1.



957  
958  
959  
960  
961  
962  
963  
964

Kvælstoftilførselen fra det målte opland var i 2023 ca. 27.900 ton, hvilket er en stigning på ca. 42 % i forhold til kvælstoftilførselen på 19.700 i 2022 (Figur 6.6, B). Andelen af kvælstoftransporten, som stammer fra punktkilder, er opgjort til 5 %, 1500 ton. Denne andel har været faldende igennem perioden siden 1990, hvor gennemsnittet for 1990-1994 var ca. 11 % mod et gennemsnit på ca. 6 % for de foregående 5 år (2018-2022). Opgørelsen indregner ikke retention i overfladevandssystemet imellem punktkildeudledningsstedet og målestationen, hvorfor punktkildeandelen er lidt overestimeret.

965 Den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration for det målte opland er for  
966 2023 opgjort til 3,1 mg N/l mod 3,0 mg N/l i 2022 (Figur 6.6, C). Kvælstofkon-  
967 centrationen i begyndelsen af måleperioden 1990 til 2023 var højere, end den er  
968 nu. Middelkvælstofkoncentrationen 1990 til 1994 var 5,6 mg N/l, mens middel  
969 for de foregående fem år (2018-2022) er 3,3 mg N/l. Ved sammenligning med  
970 kvælstofkoncentrationen for hele landet som er opgjort til 3,7 mg N/l for 2023  
971 ses det at koncentrationen for det permanent målte opland er lavere. Det skyl-  
972 des sandsynligvis primært tre forhold; 1) de fleste store punktkilder udleder  
973 direkte til kysten eller i umålt opland og er derfor kun med til at hæve koncen-  
974 trationen for hele lan- det 2) kvælstofretentionen for både overfladevand og  
975 grundvand er sandsynligvis generelt størst i de centrale dele af landet som er  
976 målt opland 3) nedbøren er størst i de centrale dele af landet (specielt i Jylland)  
977 hvilket kan medføre en fortynding af kvælstofmængden mod en lavere kon-  
978 centration.

979 Ved sammenligning mellem Figur 6.5 og Figur 6.6 ses det, at den overordnede  
980 udvikling på det målte opland og hele landet er tæt på at være ens. Faldet i  
981 den diffuse transport fra permanent målt opland er således beregnet til 37 %  
982 sammenlignet med 38% for hele landet. Faldet i total-kvælstof (diffus + punkt-  
983 kilde) er beregnet til 45 %, dvs. næsten det samme som for hele landet, hvor  
984 faldet er 50 %. Forskellen skyldes primært at punktkildeudledningen er fal-  
985 det mere end det diffuse tab, og da hovedparten af punktkilderne udleder til  
986 umålt opland eller direkte til havet, bidrager det til et større fald for hele lan-  
987 det end for det permanent målte opland.

## 988 **6.6 Udvikling i nøgleindikatorer af betydning for kvælstoftil-** 989 **førslen**

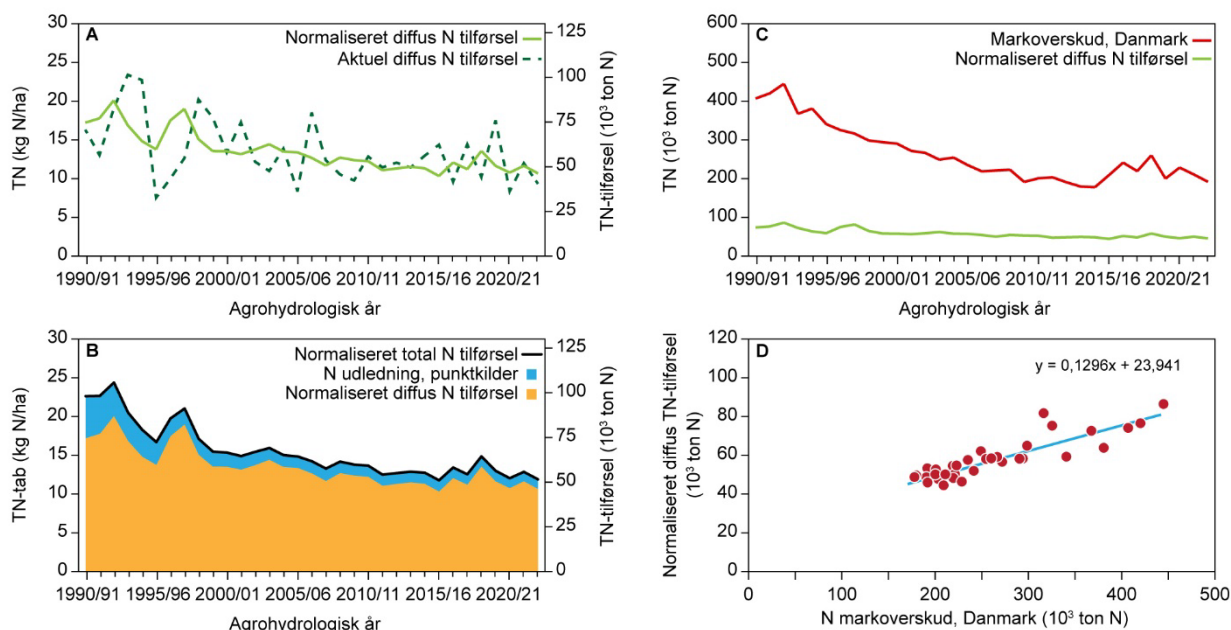
990 Som bl.a. vist i dette kapitel er der en væsentlig kobling mellem størrelsen af  
991 ferskvandsafstrømningen og den tilknyttede kvælstoftilførsel. I nedbørsrige  
992 år med stor ferskvandsafstrømning vil der typisk også være en større kvæl-  
993 stoftilførsel end i nedbørsfattige år. Variationer i ferskvandsafstrømningen  
994 medfører således en betydelig år til år variation i kvælstofafstrømningen.  
995 Denne variation vanskeliggør i nogen grad en vurdering af, hvorledes de  
996 kvælstofbegrænsende tiltag generelt er slået igennem. Betydningen af variati-  
997 oner i ferskvandsafstrømningen for det enkelte års kvælstoftilførsel er i bl.a. Fi-  
998 gur 6.7A søgt reduceret. Figuren viser dels den - stærkt varierende - aktuelle  
999 samlede kvælstoftransport i vandløb fra diffuse kilder de enkelte agrohydrolo-  
1000 giske år (1. april til 31. marts det følgende kalenderår) i perioden siden 1990/91  
1001 og dels den afstrømningsnormaliserede kvælstoftransport, der varierer betyde-  
1002 ligt mindre end den aktuelle tilførsel (der indgår også afstrømningsnormalise-  
1003 rede tilførsler af total-kvælstof, målt kvælstoftransport og målt nitrattransport i  
1004 Figur 6.5, 6.6, 8.2 og 8.3). Det er således nemmere, både statistisk og visuelt, at  
1005 erkende udviklingen i årstilførslen på normaliserede- end aktuelle tilførsler.  
1006 Når kvælstoftilførslen til havet søges normaliseret, er det således med den  
1007 hensigt bedre at kunne belyse betydningen af de påvirkninger af kvælstof-  
1008 tabet til vandmiljøet, der ikke kan forklares af naturlige variationer i klima-  
1009 forhold. Den helt dominerende påvirkning er her kvælstoftabet fra de dyr-  
1010 kede arealer.

1011 Den anvendte metode til afstrømningsnormalisering er beskrevet i Larsen  
1012 & Svendsen (2021) og kort i afsnit 6.1. Det bemærkes, at den anvendte nor-  
1013 maliseringsmetode ikke tager højde for alle effekter af vejret på dyrkningen  
1014 og den heraf afledte effekt på kvælstoftilførslen til havet. Der kan fx ikke  
1015 normaliseres for effekten af dårlig høst som følge af tørke eller for effekten af



1016  
1017  
1018  
1019  
1020

manglende såning af- eller misvækst af efterafgrøder fx pga. en våd periode efter høst. Det ses tydeligt, at der gennem perioden siden 1990 er sket et fald i den normaliserede kvælstoftilførsel fra diffuse kilder (Figur 6.7 A). Det totale fald i kvælstoftilførslen ses tydeligt at være størst i den første del af perioden (Figur 6.7, delfigur A & B).



**Figur 6.7.** Udvikling i indikatorer for kvælstoftilførsler beregnet for agrohydrologiske år (1. april til 31. marts). (A) Aktuel og afstrømningsnormaliseret kvælstoftilførsel. (B) Normaliseret total-kvælstoftilførsel, normaliseret diffus kvælstoftilførsel og punktkildetilførsel, opgivet både som arealtab (kg/ha) og som tilførsler. (C) Kvælstof markoverskud og normaliseret diffus kvælstoftilførsel. (D) Plot af kvælstof-markoverskud mod normaliseret diffus tilførsel.

1021  
1022  
1023  
1024  
1025  
1026  
1027

Ud over de diffuse kilder til kvælstoftransporten udledes der også kvælstof med spildevand til vandmiljøet. Spildevandsudledninger er ikke i samme grad som tilførslerne fra de diffuse kilder påvirket af variationer i nedbøren. Tillægges de aktuelle spildevandsudledninger fra punktkilder (ekskl. spildevand fra spredt bebyggelse, som medregnes under den diffuse tilførsel) fås således et estimat for, hvordan udviklingen i den samlede 'normaliserede' kvælstoftilførsel til de kystnære områder har været siden 1990.

1028  
1029  
1030  
1031  
1032  
1033  
1034  
1035  
1036  
1037  
1038  
1039  
1040

Den samlede normaliserede kvælstoftilførsel fra såvel diffuse kilder som fra punktkilder er illustreret i Figur 6.7 (B). Her er der regnet i agrohydrologiske år (1. april til 31. marts), idet dette følger dyrkningsåret ved sammenstillinger af landbrugspraksis (markbalancer) og diffus kvælstoftilførsel til havet. Den aktuelle diffuse kvælstoftilførsel i 2022/23 er opgjort til 40.000 tons N, dvs. lavere end i 2021/22, hvor tilførslen var på 52.000 tons. Den samlede (diffus + spildevand) normaliserede kvælstoftilførsel på agrohydrologiske år er i 2022/23 på 51.000 tons N mod 57.000 tons N i 2021/22. For de foregående 5 år (2017/18-2021/22) har den samlede normaliserede kvælstoftilførsel ligget på 52.000 til 64.000 tons N. Den normaliserede diffuse tilførsel er i 2022/23 opgjort til ca. 46.000 tons N, hvilket er den næstlaveste værdi i tilførslerne. For de foregående 5 år (2017/18-2021/22) har de beregnede normaliserede diffuse kvælstoftilførsler været mellem 46.000-58.000 tons N.

1041  
1042  
1043

Normaliseres der på kalenderår, fås for 2023 en normaliseret tilførsel fra diffuse kilder på 44.000 tons N mod 48.000 i 2022. Den normaliserede diffuse tilførsel er som middel af de foregående 5 opgjorte år (2018 – 2022) er ca. 51.000

1044 tons N med et interval på 46.000 – 58.000 tons N/år. Tillagt udledninger af  
1045 spildevand fra punktkilder på 6.200 tons N beregnes for 2023 således en samlet  
1046 normaliseret kvælstoftilførsel på ca. 50.000 tons N. For 2022 beregnes på lig-  
1047 nende vis en samlet normaliseret N-tilførsel på 53.000 tons N. For de fem år  
1048 forud for 2023 (2018-2022) er den gennemsnitlige normaliserede N-tilførsel på  
1049 56.000 tons N med et interval imellem 51.000 – 64.000 tons N/år.

1050 Den dominerende kilde til den diffuse kvælstoftransport i vandløbene er tabet  
1051 af kvælstof fra de dyrkede arealer. Den markante reduktion i den diffuse, nor-  
1052 maliserede kvælstoftilførsel er vist sammen med udviklingen i overskuddet af  
1053 kvælstof, altså den kvælstofmængde som potentielt kan udvaskes fra markerne  
1054 (Figur 6.7 C). Markoverskuddet er beregnet som beskrevet i Blicher-Mathiesen  
1055 m.fl. (2015) og omfatter det samlede markoverskud for hele landets areal, dvs.  
1056 fra såvel dyrkede som udyrkede arealer. Det ses af figuren, at markoverskud og  
1057 den diffuse normaliserede kvælstoftilførsel falder i takt med hinanden. Der er  
1058 således – for perioden som helhed – en signifikant lineær relation mellem det  
1059 nationale markoverskud og den samlede, normaliserede kvælstoftransport  
1060 fra diffuse kilder (Figur 6.7, D). Det skal dog nævnes, at relationen for de se-  
1061 nere år er markant svagere end for hele perioden. I de seneste 5 opgjorte  
1062 agrohydrologiske år (1. april til 31. marts) har kvælstofoverskuddet (mark)  
1063 varieret mellem 192.000 – 260.000 tons N.

1064 På kvælstoffets vej fra mark til rodzone og ud i vandløb mod fjorde og øvrige  
1065 kystvande sker der en reduktion i den transporterede kvælstofmængde (Fi-  
1066 gur 6.7 C). Reduktionen i den transporterede kvælstofmængde er tidligere  
1067 vist ikke alene for landet som helhed, men også for en række deloplande til  
1068 danske fjorde (Windolf m.fl. 2012b, 2012c).

1069 Det er påvist, at der ikke for alle fjordoplande ses en lige hurtig respons på  
1070 den diffuse kvælstoftilførsel af nedgangen i markoverskuddet (Windolf m.fl.  
1071 2012b, 2012c). Det gælder fx oplandet til Mariager Fjord og visse deloplande  
1072 til Limfjorden (Hjarbæk Fjord m.m.). I disse oplande er den diffuse kvælstof-  
1073 tilførsel til fjordene reduceret mindre, end man umiddelbart kunne forvente  
1074 ud fra den generelle nedgang i markoverskuddet, og som relationen vist i Fi-  
1075 gur 6.7 D indikerer. En væsentlig medvirkende forklaring herpå er forekomst  
1076 af ikke-reduceret dybereliggende grundvand og deraf følgende højt indhold  
1077 af kvælstof kombineret med høj opholdstid af grundvandet (gammelt grund-  
1078 vand), som bidrager væsentligt til kvælstoftransporten i vandløbene i disse  
1079 områder (Kronvang m.fl. 2023).

## 1080 6.7 Sammenfatning af resultaterne

- 1081 • Den samlede kvælstoftilførsel fra land til kystvandene i 2023 er be-  
1082 regnet til ca. 65.000 tons N/år. Heraf udgør kvælstof udledt med spil-  
1083 devand fra punktkilder ca. 6.200 tons N/år. Beregningerne dette år  
1084 (2023) er baseret på målinger fra 205 kystnære målestationer i vandløb  
1085 og en model for det resterende umålte opland.
- 1086 • Den vandføringsvægtede total-kvælstof-koncentration for hele landet  
1087 var i 2023 3,7 mg N/l, stort set det samme som de 3,7 mg N/l året før.
- 1088 • Den vandføringsvægtede total-kvælstof-koncentration for 90 måle-  
1089 stationer med fuld måletidsserie (1990-2023) var i 2023 3,1 mg N/l.

- 1090  
1091
- Den normaliserede kvælstoftilførsel fra diffuse kilder til kystvandene for 2023 (kalender år) er beregnet til ca. 44.000 tons N.
- 1092  
1093
- Den normaliserede totale kvælstoftilførsel til kystvandene for 2023 (kalender år) er beregnet til ca. 50.000 tons N.
- 1094  
1095
- Den normaliserede kvælstoftilførsel fra diffuse kilder til kystvandene for 2022/23 (agro-hydrologisk år) er beregnet til ca. 46.000 tons N.
- 1096  
1097  
1098
- Kvælstoftilførslerne fra land til havet er siden 1990 reduceret med omkring 50 % (beregnet ud fra udviklingen i afstrømningsnormaliseret tilførsel).
- 1099  
1100
- Kvælstoftilførslerne fra diffuse kilder er reduceret med omkring 38 % siden 1990.
- 1101  
1102  
1103  
1104
- Reduktionen i tilførslerne fra diffuse kilder forklares af et fald i kvælstofoverskuddet og kvælstofudvaskningen på de dyrkede marker. Der er dog stor lokal og oplandsspecifik variation i, hvor meget tilførslerne er reduceret gennem perioden.
- 1105  
1106
- De diffuse kilders andel af den samlede kvælstoftilførsel til kystvandene var i 2023 omkring 90 %.
- 1107  
1108
- Punktkildernes andel af den samlede kvælstoftilførsel til kystvandene var i 2023 omkring 10 %.

1109

## 7 Fosfortilførslen til havet

1110

*Henrik Tornbjerg, Hans Thodsen og Søren Erik Larsen*

1111

### 7.1 Datagrundlag og metode

1112

1113

1114

Fosfortilførslen er som kvælstoftilførslen opgjort for 2. og 3. ordens kystafsnit, jf. oplandene på kortene fig. 7.3 – 7.5. For måledatagrundlaget og den meto-  
diske tilgang for opgørelserne henvises til kapitel 6.

1115

1116

1117

1118

1119

1120

1121

1122

1123

1124

1125

1126

1127

1128

1129

1130

1131

1132

Der anvendes data fra i alt 232 målestationer dækkende et oplandsareal på ca. 25.963 km<sup>2</sup>, svarende til 60 % af landets samlede areal. Det er en udvidelse af stationsnettet i forhold til tidligere. I opgørelsen for 2017 og tidligere år indgik 169 målestationer, som dækkede et samlet opland på 24.380 km<sup>2</sup>, svarende til 57 % af landets samlede areal. For 90 målestationer er der fuld tidsserie af målinger siden 1990, disse stationer dækker ca. 18.926 km<sup>2</sup>, svarende til 44 % af landets areal. For 2023 har der været måledata fra 205 aktive stationer. For 142 stationer findes der ikke komplette måletidsserier for perioden siden 1990, og der foretages derfor en huludfyldning for fosfortransporten på disse stationer på tilsvarende vis som for kvælstof (Windolf m.fl. 2013). For den øvrige del af landet (helt umålte oplande) er tilførslen beregnet ved hjælp af en empirisk model for den diffuse tilførsel (Larsen m.fl. 2022a). Resultaterne herfra er summeret med spildevandsudledningerne (fra renseanlæg, regnbetingede udledninger, akvakultur og industriudledninger) og derefter fratrukket retentionen i søer inden for de respektive oplande. Den diffuse tilførsel omfatter blandt andet tab af fosfor fra dyrkede og udyrkede jorder, eroderede vandløbsbrinker og udledninger af spildevand fra spredtliggende ejendomme i det åbne land (dvs. uden for kloakerede områder) (Andersen & Heckrath (red.), 2020).

1133

1134

1135

1136

1137

1138

1139

1140

1141

1142

1143

Den statistiske total-fosformodel, der anvendes for umålt opland, er konstrueret ud fra data fra et antal målestationer (Larsen m.fl., 2022a). Disse målestationer dækker i sagens natur ikke hele landet og dermed alle kombinationer af alle inputparametre, som findes i den resterende del af landet. Derfor anvendes modellen til en vis grad uden for dens modeldomæne. Den, af Larsen m.fl. (2022a), udviklede maskinlæringsmodel for årlige vandføringsvægtede TP-koncentrationer er af typen 'eXtreme Gradient Boosted Trees Regressor with early stopping' og indeholder i alt 13 forklarende variable, herunder, som eksempler på de mest betydende variable i modellen, procent drænet areal i oplandet, befæstet areal i oplandet, dyrkningsgrad i oplandet, omfanget af brinkerrosion i oplandet og den årlige nedbørsafvigelse fra et langtidsgennemsnit.

1144

1145

1146

1147

1148

1149

1150

De overordnede opgørelsesmetoder for fosfortransporten er beskrevet i Ovesen m.fl. (2009). Lige som det er tilfældet for vandafstrømningen og TN-transporten beregnes der en regional bias for hver enkelt måned i overvågningsperioden (ud fra total kvælstofkoncentrationen). Denne bias opfattes som en generel model-bias. Derfor foretages der en biaskorrektur af enkelt-månedstilførsler i 10 geografiske regioner. Biaskorrektionsmetoden er beskrevet i Thodsen m.fl. (2019b).

1151

1152

1153

Ved kildeopsplitningen er den samlede diffuse tilførsel angivet som differensen mellem totaltilførslen og spildevandsudledningerne. Det tilgængelige datasæt for spildevandsudledningerne er tilvejebragt som beskrevet i afsnit 6.1.

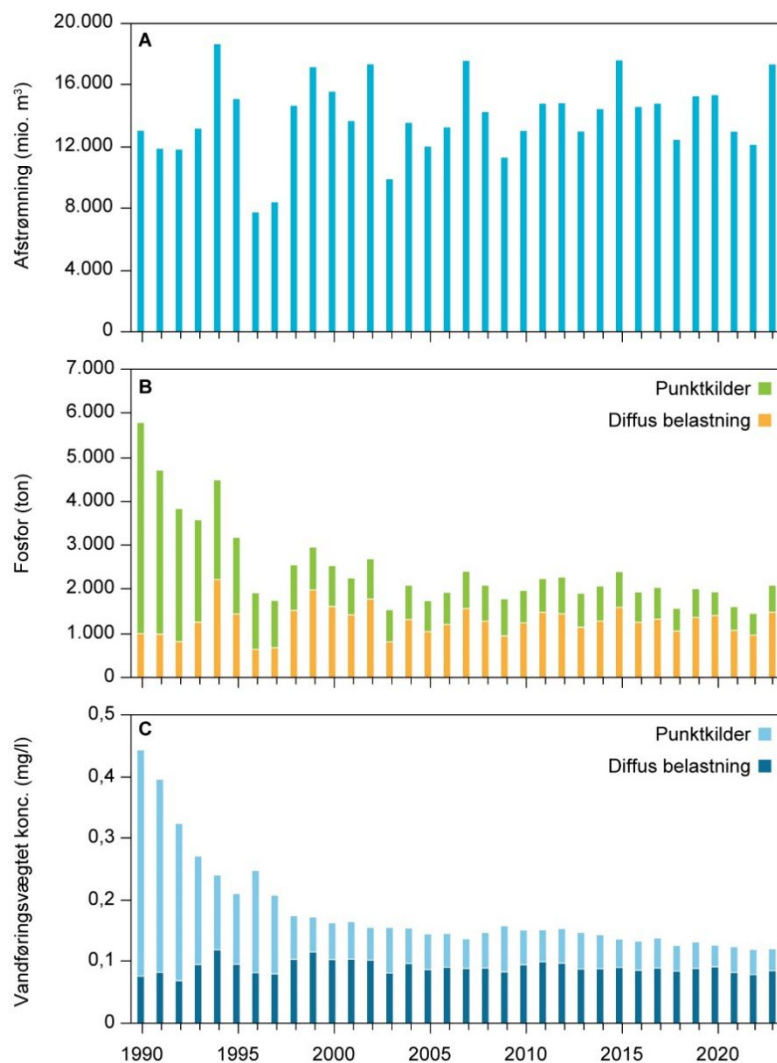
1154  
1155  
1156  
1157  
1158  
1159  
1160  
1161  
1162  
  
1163  
1164  
1165

## 7.2 Fosfortilførsel til havet i 2023

For 2023 blev der i alt beregnet en tilførsel på ca. 2.100 tons fosfor (P) til de danske farvandsområder (Figur 7.1, B). Det er omkring 44 % mere end året før. Vandafstrømningen var i 2023 404 mm, hvilket er ca. 44 % mere end året før (282 mm). Den vandføringsvægtede samlede fosforkoncentration (diffus + punktkildetilførsel) i den samlede ferskvandsafstrømning til havet var 0,12 mg P/l i 2023 mod ca. 0,12 mg P/l i 2022 og er steget <1 % (på ufrundede værdier) (Figur 7.1, C). Koncentrationen på 0,12 mg P/l er den næstlaveste koncentration opgjort for overvågningsperioden siden 1990.

En del af forskellen i fosfortilførsel mellem år kan forklares ved variation i vandafstrømningen. Specielt tilførslen fra diffuse kilder følger vandafstrømningen forholdsvist tæt med en forklaringsgrad  $R^2 = 0,85$  for perioden siden år 2000.

**Figur 7.1.** Arealsspecifik ferskvandsafstrømning (A), samlet tilførsel af fosfor til de marine kystafsnit (B) og vandføringsvægtet fosforkoncentration (C) for 1990 til 2023. Fosfor er fordelt på tilførsler fra diffuse kilder (inkl. spildevand fra spredt bebyggelse) og udledninger med spildevand fra punktkilder (renseanlæg m.v.) Det bemærkes, at der ikke er indregnet retention i ferskvand af P udledt med spildevand fra punktkilder. Afstrømningsdata for den senere del af måleperioden er influeret af homogenitetsbrud i vandføringsmålingerne, se afsnit 1.3.1.



1166  
1167  
1168  
1169  
1170  
1171  
1172

Siden 1990 er der sket et markant fald i de samlede fosfortilførsler til kystvandet. Faldet forklares af den store reduktion i fosforudledningerne med spildevand gennem perioden (Figur 7.1, B), hvilket er en direkte effekt af den forbedrede rensning, som i forbindelse med de daværende amters skærpede krav og kravene i den første vandmiljøplan blev iværksat omkring og umiddelbart efter 1990. De samlede udledninger af fosfor med spildevand fra punktkilder (uden spildevand fra spredt bebyggelse, der indregnes som

1173  
1174  
1175  
1176  
1177  
1178  
1179  
1180  
1181  
1182  
1183  
1184  
1185

diffus kilde) er således faldet fra omkring 4.800 tons fosfor i 1990 til et niveau på 500-660 tons fosfor de seneste 5 år. Spildevandsudledningerne af fosfor fra punktkilder udgjorde i 2023 ca. 620 tons og blev dermed ca. 24 % højere end i 2022. Spildevandsandelen af total-fosfor tilførslen er således ca. 29 %. Det skal bemærkes, at allerede i 1980'erne blev der på foranledning af krav fra de daværende amter reduceret kraftigt i udledningerne af fosforholdigt spildevand til visse vandområder. Spildevandstildningerne med fosfor til fx Limfjorden og Randers fjord blev således halveret i perioden forud for 1990 (jf. upublicerede oplysninger fra Naturstyrelsen). Fosfortilførslerne fra diffuse kilder (dyrkede og udyrkede arealer samt spildevand fra spredt bebyggelse) har derved fået relativt større betydning. Den totale tilførsel varierer nu – ligesom kvælstof - fra år til år primært med variationerne i den årlige vandafstrømning (Figur 7.1, A).

1186  
1187  
1188  
1189  
1190

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

1191

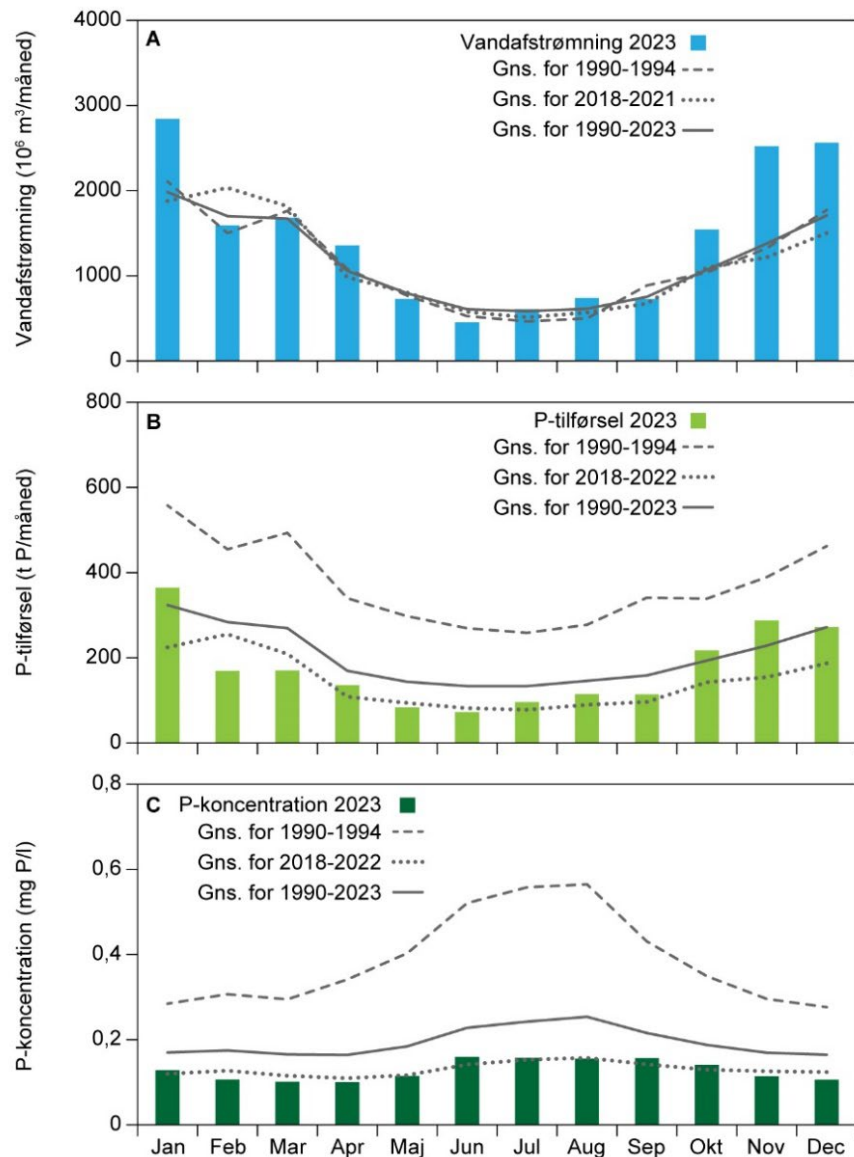
### 7.3 Sæsonvariation i vandafstrømning og fosfortilførsel

1192  
1193  
1194  
1195  
1196  
1197  
1198  
1199  
1200  
1201  
1202  
1203  
1204  
1205  
1206  
1207  
1208  
1209  
1210

Hen over året 2023 var fosfortilførslerne i alle måneder markant lavere end gennemsnittet for årene 1990-1994 og også lavere end gennemsnittet for perioden 1990-2023 undtagen i januar og årets sidste 3 måneder. I forhold til gennemsnittet for de foregående 5 år 2018-2022 er fosfortilførslen i 2023 højere i januar og årets sidste tre måneder, lavere i februar og marts og tæt på middeltilførslen i de resterende måneder (Figur 7.2, B). Variationen i fosfortilførslerne fulgte som i tidligere år variationen i ferskvandsafstrømningen. De relativt høje fosfortilførsler i efteråret forklares således af den høje vandafstrømning i disse måneder (Figur 7.2, A,B). Fosfor-koncentrationerne i det afstrømmende vand fra land varierede hen over året 2023, men var på grund af de reducerede spildevandsudledninger – i alle måneder - markant mindre end gennemsnittet for perioden 1990-2023 (Figur 7.2, C). Fosforkoncentrationen ligger for alle årets måneder forholdsvis tæt på gennemsnitskoncentrationen for de sidste 5 år (2018-2022), dog lidt over i september til december. Generelt er fosforkoncentrationerne størst i sommermånederne, fordi ferskvandsafstrømningen her er mindst (Figur 7.2, A), hvorved det udledte spildevand ikke fortyndes så meget som i øvrige måneder. Dette fænomen er dog mindre tydeligt nu end tidligere, hvor spildevandstilførslen bidrog relativt mere til den samlede koncentration (Figur 7.2, C).

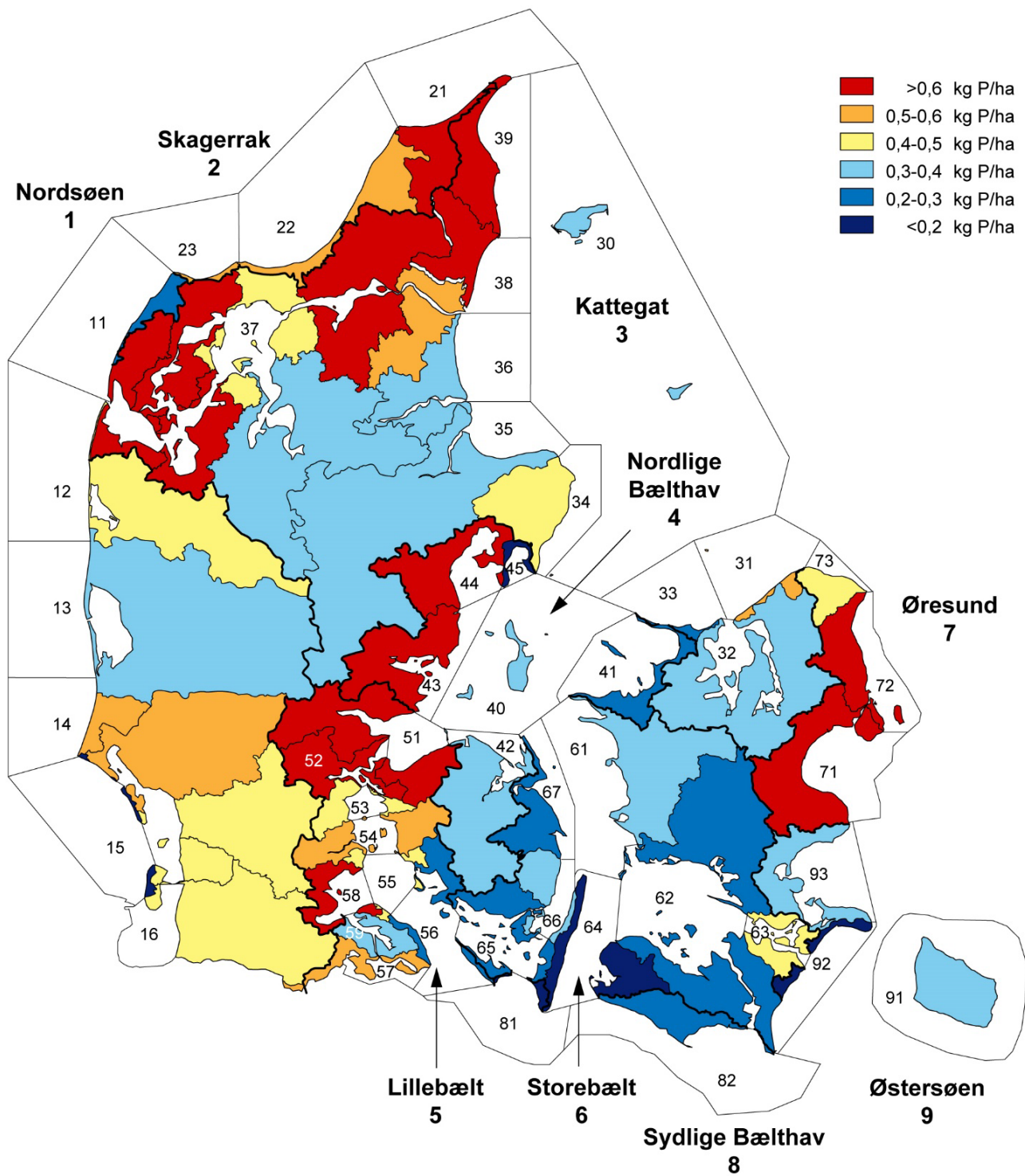
1211

**Figur 7.2.** Månedsvise vandafstrømning (A), fosfortilførsel (B) og vandføringsvægtet fosforkoncentration (C) i det afstrømmende vand til havet omkring Danmark i 2023 og som gennemsnit for 1990-2023, 2018-2022 og 1990-1994. Afstrømningsdata er influeret af homogenitetsbrud i vandføringsmålingerne, se afsnit 1.3.1.



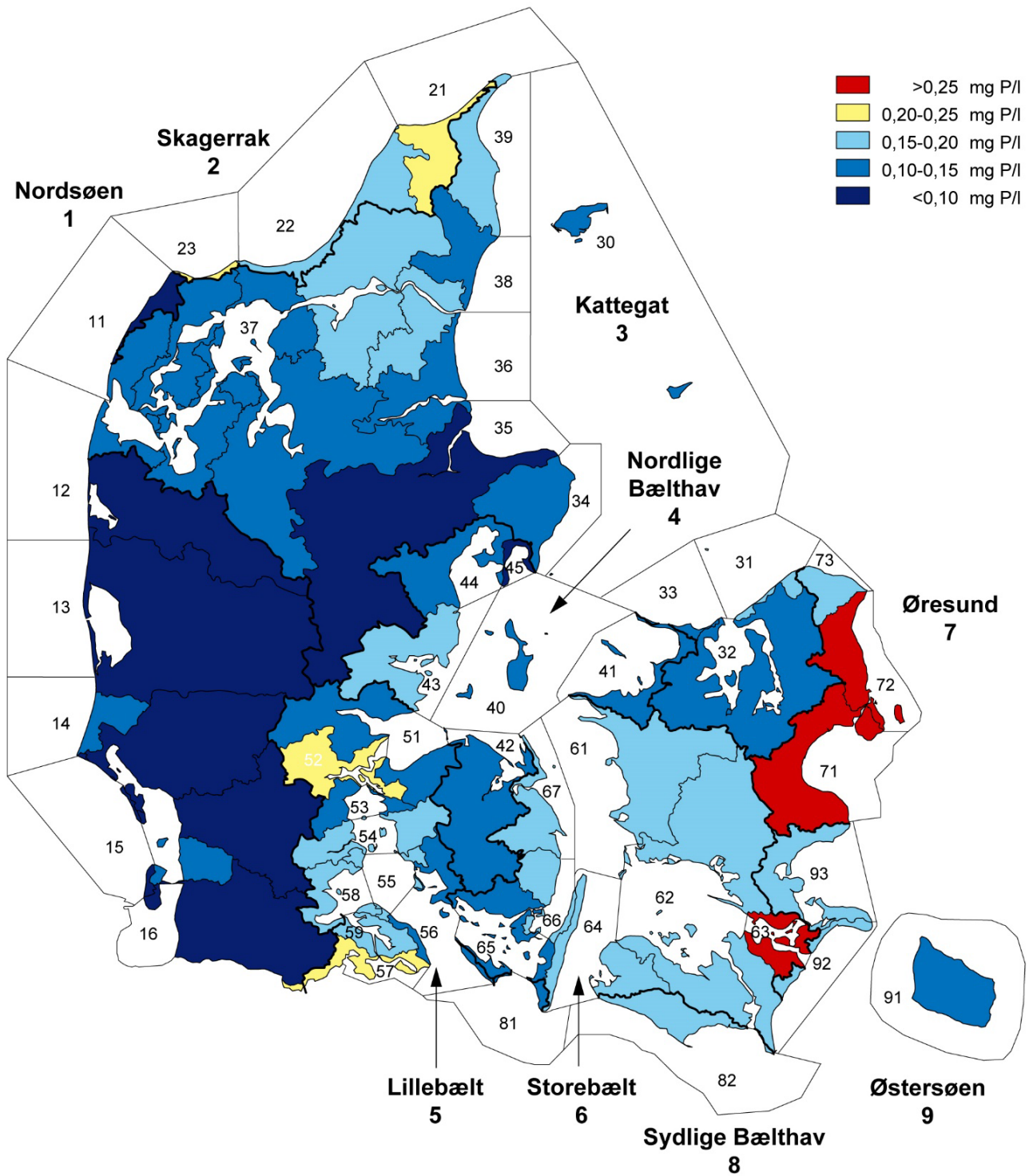
1212  
1213  
1214  
1215  
1216  
1217  
1218  
1219  
1220  
1221  
1222  
1223

Den regionale tilførsel til kystområderne varierede betragteligt i 2023 (Figur 7.3). Størst var oplandstabet (målt som kg P/ha) i enkelte oplande til Lillebælt, Øresund, Køgebugt, flere områder i Østjylland og Nordjylland samt for enkelte dele af det nordlige Jylland, hvor tabet generelt var større end 0,6 kg P/ha. Den vandføringsvægtede koncentration af total-fosfor var i store dele af Jylland under 0,1 mg/l og i størstedelen af det øvrige Jylland, Fyn og Bornholm på mellem 0,1 og 0,2 mg P/l. Koncentrationen var generelt højere i oplandet til Øresund, Køge bugt, Storstrømmen, Flensborg fjord, det nordlige Lillebælt og i Vigsø bugt og Tannis bugt (Figur 7.4). De diffuse fosforkilders betydning var generelt størst i hhv. det nordlige- og sydvestlige Jylland. De diffuse kilder betød generelt mindst i oplandene omkring store dele af Sjælland og Storstrømmen (Figur 7.5).

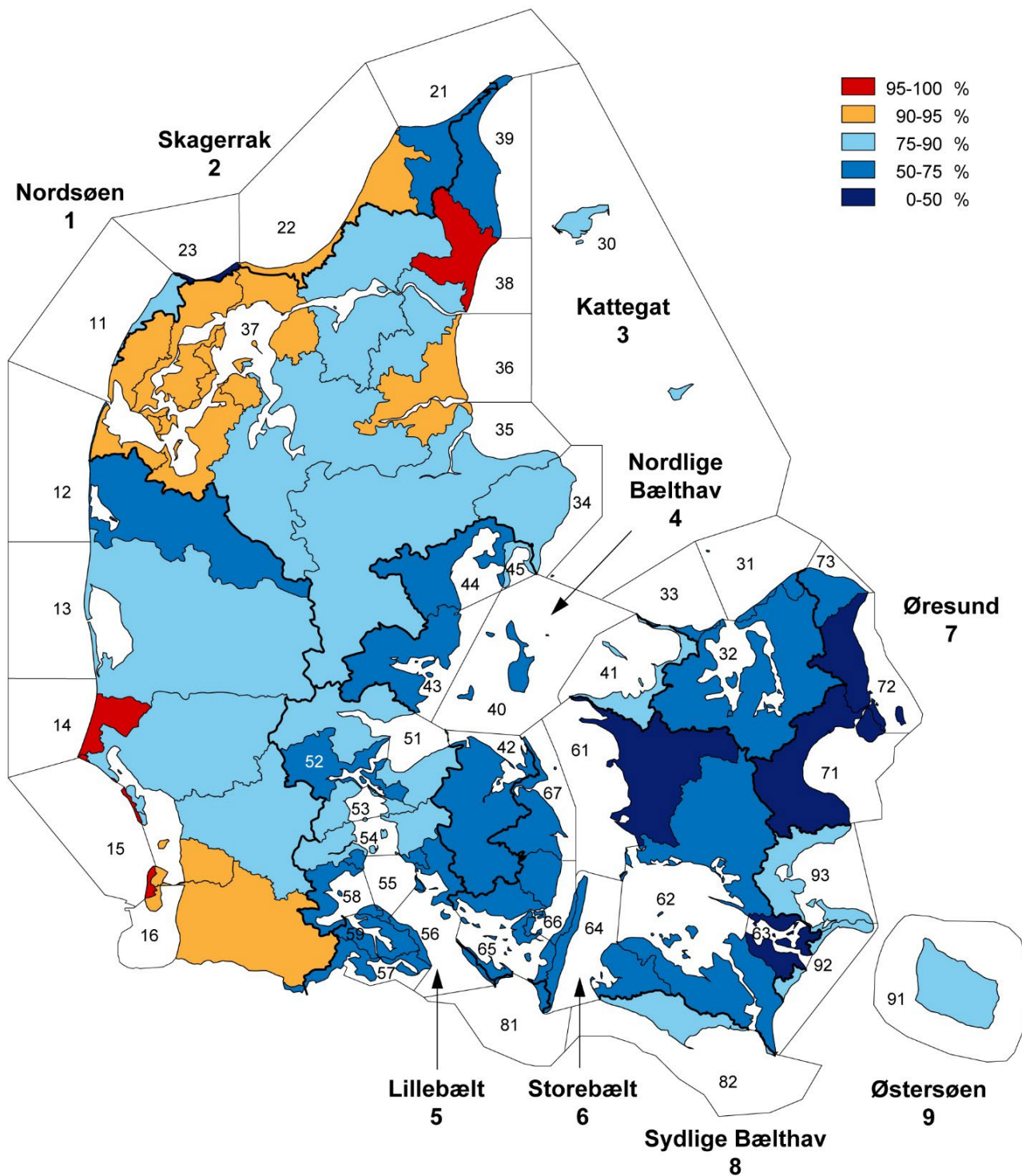


Figur 7.3. Areal specifikt tab af total-fosfor fra oplandene (inklusive punktkilder) til marine kystafsnit i 2023





Figur 7.4. Vandføringsvægtet total-fosforkoncentration i vand afstrømmende til marine kystafsnit i 2023



Figur 7.5. Diffus (samlet fosfortilførsel minus fosfor fra punktkilder) andel af den totale fosfortilførsel til kystområderne i 2023

1226  
1227  
1228  
1229  
1230  
1231  
1232  
1233

#### 7.4 Udvikling i fosfortilførslen til havet

Der har i perioden 1990-2023 været et statistisk signifikant fald i den samlede tilførsel af total-fosfor fra land til havet omkring Danmark (Figur 7.1 og Tabel 7.1). Signifikansen af trenden er testet ved anvendelse af Mann-Kendalls trend-test samt "brocken-stick"-modeller (Carstensen & Larsen, 2006). For TP er der defineret et knæpunkt mellem 1997 og 1998, to lineære modeller er estimeret, og det totale fald er beregnet ved formlen:

1234

$$100 \cdot \frac{\hat{x}_{2023} - \hat{x}_{1990}}{\hat{x}_{1990}}$$

1235  
1236  
1237  
1238  
1239  
1240

hvor  $\hat{x}_{1990}$  er den estimerede værdi for året 1990, og tilsvarende er  $\hat{x}_{2023}$  den estimerede værdi for 2023. Estimerer er beregnet ud fra de to lineære modellens matematiske formler. Konfidensintervaller på det samlede fald er beregnet ved anvendelse af standard error på estimererne for årene 1990 og 2023. Faldet er estimeret til omkring 67 %, varierende mellem 22 % til Limfjorden og 88 % fald i tilledningen til Øresund.

1241  
1242  
1243  
1244  
1245  
1246

Reduktionen i tilførslen til havet med fosfor kan – som allerede fremhævet – forklares ved de reducerede udledninger af fosfor med spildevand. For tilførslerne fra diffuse kilder kan der derimod ikke på landsplan påvises en statistisk sikker udvikling over tid. De signifikante fald i fosforkoncentrationer, der kan påvises i 13 ud af 22 dyrkede type-oplande uden udledninger fra egentlige punktkilder (jf. kapitel 5), afspejles således ikke i landstallene.

**Tabel 7.1.** Mann-Kendall trend-test af udviklingen i den samlede tilførsel af fosfor til kyst- områderne for perioden 1990–2023. Procentvist fald er beregnet med en trendmodel. Resultaterne er angivet som procentvis ændring i forhold til et estimeret niveau for 1990 og 2023. Testen og trendmodellen er baseret på afstrømningsnormaliserede tilførsler og efter metoderne beskrevet i Larsen & Svendsen (2021). Alle udviklinger er signifikante på 5 %-niveau.

Fosfor	Samlede tilførsel	
		% ændring
Farvandsområde		
Nordsøen		-54
Skagerrak		-61
Kattegat		-52
Nordlige Bælthav		-63
Lillebælt		-75
Storebælt		-70
Øresund		-88
Sydlig Bælthav		-66
Østersøen		-79
Limfjorden		-22
Isefjorden/Roskilde fjord		-75
Vadehavet		-52
Ringkøbing fjord		-30
Odense fjord		-64
Danmark		-67

1247

## 7.5 Fosfortilførsel fra målt opland

1248  
1249  
1250  
1251  
1252

I dette afsnit er fosfortransporten opgjort for det målte opland, altså den del af Danmark, som er placeret opstrøms målestationer, som har været i drift med total-kvælstof- og total-fosfor-målinger igennem hele perioden 1990-2023. Det er tilfældet for 90 stationer, som dækker ca. 44 % af landets areal (18.863 km<sup>2</sup>).

1253  
1254  
1255  
1256  
1257

Vandafstrømningen for det målte opland (90 stationer) er for 2023 opgjort til 478 mm, hvilket er 38 % højere end i 2022 (378 mm) og 23 % højere end gennemsnittet for perioden 1990-2023 på 387 mm (Figur 7.6, A). Den relative forskel mellem 2022 og 2023 er således ikke langt fra afstrømningen for hele landet (ca. 43 %). Vandafstrømningen (mm) for det målte opland er opgjort til at være

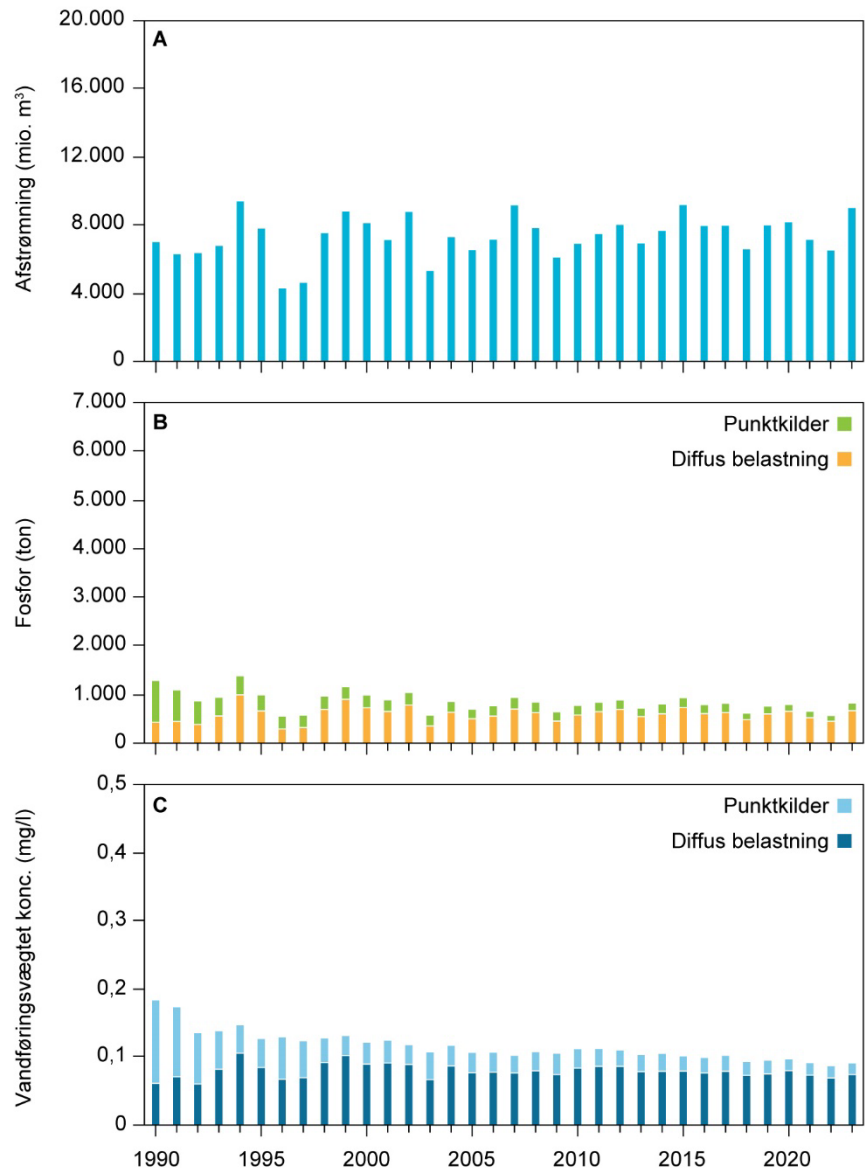
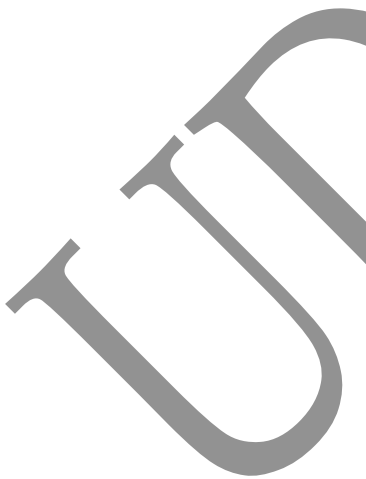
1258  
1259

1260  
1261  
1262  
1263  
1264  
1265  
1266  
1267

noget højere end for hele landet, hvor afstrømningen er opgjort til 404 mm i 2023.

Fosfortilførslen fra det målte opland var i 2023 ca. 820 ton, hvilket er en stigning på ca. 44 % i forhold til fosfortilførslen i 2022 (Figur 7.6, B). Fosfortilførslen, som stammer fra punktkilder, er opgjort til ca. 150 ton P, svarende til 19 % af den samlede tilførsel. Denne andel har været faldende igennem perioden siden 1990, hvor gennemsnittet for 1990-1994 var ca. 50 % mod et gennemsnit på ca. 20 % for de foregående 5 år (2018-2022). Opgørelsen indregner ikke retention i overfladevandssystemet imellem punktkildeudledningsstedet og målestationen, hvorfor punktkildeandelen er overestimeret.

**Figur 7.6.** Udvikling i arealspecifik ferskvands-afstrømning (A), fosfortilførsel (B) og vandføringsvægtet fosforkoncentration (C) i det afstrømmende vand fra det målte opland, 1990-2023. Fosfortilførslen er fordelt på diffuse kilder (inkl. spildevand fra spredt bebyggelse) og spildevand fra punktkilder. Der er i den beregnede kildeopsplitning ikke indregnet retention af fosfor udledt med spildevand til ferskvand. Afstrømningsdata for den senere del af måleperioden er influeret af homogenitetsbrud i vandføringsmålingerne, se afsnit 1.3.1.



1268  
1269  
1270  
1271  
1272  
1273

Den vandføringsvægtede fosforkoncentration for det målte opland er for 2023 opgjort til 0,091 mg P/l, hvilket er ca. 5 % højere end de 0,087 mg P/l målt i 2022 (Figur 7.6, C). Middel vandføringsvægtet fosforkoncentrationen 1990 til 1994 var 0,155 mg P/l, mens gennemsnittet for de foregående fem år (2018-2022) er 0,093 mg P/l. Det ses ved sammenligning med fosforkoncentrationen fra hele landet (0,12 mg P/l), at den er lavere end for hele landet. Det skyldes

1274 primært, at de fleste større punktkilder udleder direkte til kysten eller til  
1275 umålt opland, og at tilførslen herfra kun påvirker tilførslen fra hele landet.

1276 Ved sammenligning mellem Figur 7.1 og Figur 7.6 ses det, at den overordnede  
1277 udvikling på det målte opland er sammenlignelig med udviklingen for hele lan-  
1278 det. Dog er faldet i transporten over perioden mindre for det målte opland: 49  
1279 % mod 67 % for hele landet. Forskellen skyldes primært, at hovedparten af  
1280 punktkildetilførslen er placeret i det umålte opland eller udleder direkte til  
1281 havet, og da punktkilderne har haft et større fald end det diffuse tab, giver det  
1282 et mindre fald for de totale tilførsler fra målt opland end for hele landet.

## 1283 **7.6 Sammenfatning af resultaterne**

- 1284 • Den samlede fosfortilførsel fra land til kystvandene i 2023 er beregnet  
1285 til ca. 2.100 tons P/år. Heraf udgør fosfor udledt med spildevand fra  
1286 punkt- kilder ca. 620 tons P/år. Beregningerne dette år er baseret på  
1287 målinger fra 205 aktive (i 2023) kystnære målestationer i vandløb og  
1288 en model for det resterende umålte opland
- 1289 • Den vandføringsvægtede total-fosfor-koncentration for hele landet  
1290 var i 2023 0,12 mg P/l mod 0,12 mg P/l året før
- 1291 • Den vandføringsvægtede total-fosfor-koncentration for 90 målestati-  
1292 oner med fuld måletidsserie (1990-2023) var i 2023 0,091 mg P/l
- 1293 • Fosfortilførslerne fra land til havet er siden 1990 reduceret med omkring  
1294 67% (vurderet ud fra udviklingen i afstrømningsnormaliseret tilførsel)
- 1295 • De diffuse kilders andel af den samlede fosfortilførsel til kystvandene  
1296 var i 2023 omkring 71 %
- 1297 • Punktkildernes andel af den samlede fosfortilførsel til kystvandene  
1298 var i 2023 omkring 29 %

1299  
1300

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

1301

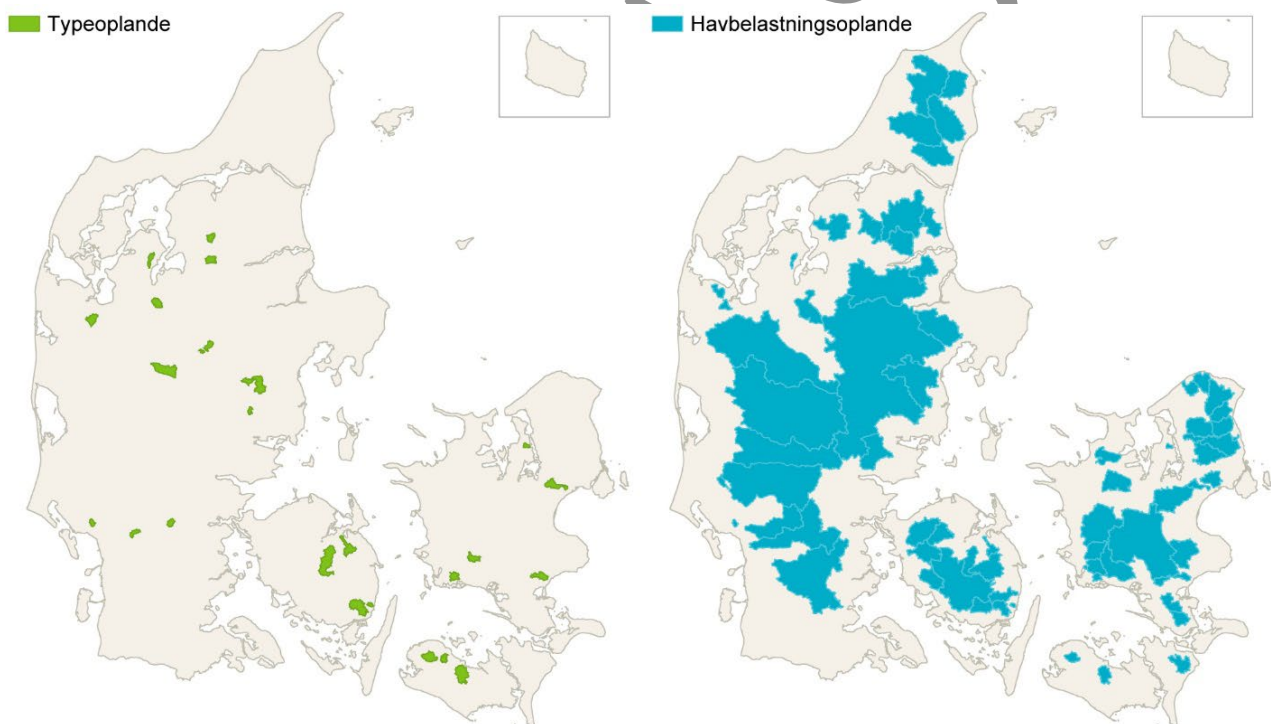
*Hans Thodsen, Henrik Tornbjerg, Søren E. Larsen & Gitte Blicher-Mathiesen*

1302  
1303  
1304  
1305

Nitrat-N udgør for de fleste målestationer den største del af den totale kvælstofmængde (TN). Derfor er det interessant at se på udviklingen i nitrat-N og sammenligne med udviklingen i TN. Det er desuden interessant at sammenstille nitrat-N-data med TN-data.

1306  
1307  
1308  
1309  
1310  
1311  
1312  
1313

Udviklingen i nitrat-N-koncentrationen og -transporten i perioden 1990 til 2023 er belyst i dette kapitel. Udviklingen kan beskrives for 26 typeoplande (>60 % dyrkning) og 71 havbelastningsstationer med månedlig måletidsserie for hele perioden. Havbelastningsstationerne dækker ca. 36 % af landet, svarende til et samlet målt areal på 15.570 km<sup>2</sup>, og har en gennemsnitlig dyrkningsgrad på 54 %, hvilket stort set svarer til dyrkningsgraden for hele landet, der er på ca. 53 % (Intensivt dyrket areal opgjort for 2019). Det målte areal er vist i Figur 8.1.



**Figur 8.1.** Placering af de 26 typeoplande (tv) og 71 havbelastningsoplande (th), der i dette kapitel anvendes til at opgøre nitrat-N-transport.

1314  
1315  
1316

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

1317  
1318  
1319  
1320

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

1321  
1322  
1323  
1324  
1325  
1326  
1327  
1328  
1329  
1330  
1331  
1332  
1333

Nitrat-N udgør for de fleste danske vandløb en forholdsvis stabil og høj andel af TN, hvorfor nitrat-N kan bruges som verifikation af TN-udviklingen på målestationer (Blicher-Mathiesen, 2017). Vurderinger af status og udvikling i koncentrationen og transporten af nitrat-N er således et supplement til de tilsvarende vurderinger af TN. I Blicher-Mathiesen (2017) er Nitrat-N's andel af TN opgjort årligt for den samlede transport på 77 målestationer varierede mellem 78 % og 87 % for perioden 1990 til 2017. Der er en tendens til, at de højeste værdier findes i den første del af perioden. Således findes de 3 værdier over 85 % alle i perioden 1990 - 1993. Dermed kan der ved samme TN-transport to forskellige år være ca. 10 %-point variation i nitrat-N-transporten. For 30 typeoplande (>60 % dyrkning) med fuldstændig tidsserie varierede nitrat-N's andel af TN mellem 82 % og 91 % for perioden 1990 til 2017. For typeoplande ses også høje værdier for den tidlige del af perioden (Blicher-Mathiesen, 2017).

1334  
1335

### **8.1 Nitrattransport og -koncentration for 71 havbelastningsoplande i 2023**

1336  
1337  
1338  
1339

Der er fra 2018 til 2023 forsvundet seks målestationer med fuld måletidsserie siden 1990, da vandafstrømningen ikke har kunnet opgøres for stationerne i mindst et af årene siden 2018. Derfor indgår der nu 71 stationer i opgørelsen og ikke 77 som i Blicher-Mathiesen (2017).

1340  
1341  
1342  
1343  
1344  
1345  
1346

Den aktuelle nitrat-N-transport for havbelastningsoplandene viser en stor år-til-år variation, som det også ses for vandafstrømningen (Figur 8.2A) og for TN-transporten (Figur 6.6). I perioden 2010-2022 varierede den aktuelle nitrat N-transport mellem 13.500 og 20.600 tons N, i 2022 var transporten ca. 13.500 tons N og i 2023 18.600 tons N (Figur 8.2B). Vandafstrømningen på de 71 stationer var i 2023 458 mm, hvilket er 23 % over middel i forhold til måleperioden 1990 til 2022 (371 mm).

1347  
1348  
1349

Den afstrømningsnormaliserede nitrat-N-transport varierede i perioden 2010 - 2022 mellem 14.900 og 18.000 tons. I 2022 var den 15.600 tons og i 2023 14.300 tons nitrat-N.

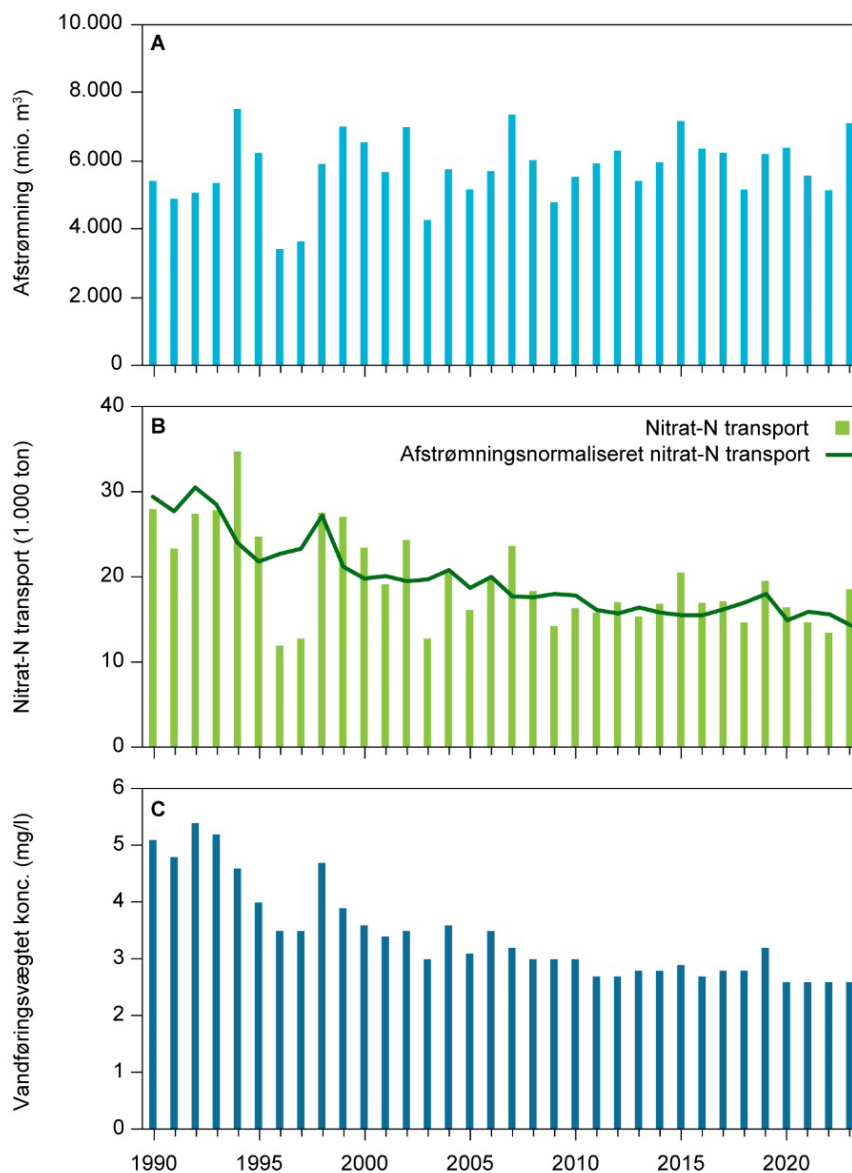
1350  
1351  
1352  
1353  
1354  
1355  
1356

Den vandføringsvægtede nitrat-N koncentration varierede i perioden 2010 til 2022 mellem 2,6 og 3,2 mg nitrat-N/l. I 2022 var den 2,6 mg nitrat-N/l og i 2023 2,6 mg nitrat-N/l (Figur 8.2C). Der ses et markant fald i den vandføringsvægtede nitrat-koncentration fra omkring 5 mg nitrat-N/l i begyndelsen af 1990'erne til under 3 mg nitrat-N/l i de seneste år (bortset fra 2019). For hele perioden svarer dette til et signifikant fald i den afstrømningsnormaliserede nitrattransport på 45 %.

**Figur 8.2.** Udvikling i samlet arealspecifik ferskvandsafstrømning for 71 havbelastningsoplande (A), beregnet samlet årlig nitrat-N transport (lysegrønne søjler) og afstrømningsnormaliseret nitrat N-transport (grøn linje) ved de 71 stationer (B) samt vandføringsvægtet nitrat-N koncentration (C) opgjort for kalenderår i perioden 1990-2023.

Kort med geografiske placering af de 71 havbelastningsoplande i Figur 8.1.

Afstrømningsdata for den senere del af måleperioden er influeret af homogenitetsbrud i vandføringsmålingerne, se afsnit 1.3.1.



1357  
1358

1359  
1360  
1361  
1362  
1363  
1364  
1365  
1366  
1367

1368  
1369  
1370  
1371  
1372  
1373

## 8.2 Nitrattransport og -koncentration for 26 landbrugsdominerede typeoplande

Med typeoplande menes dyrkningsdominerede, små oplande, der overvåges for bl.a. nitrat- og TN-transport igennem NOVANA. Oplandene er valgt, så der ikke forekommer spildevandsudledning fra større punktkilder. Vandløbene ligger øverst i vandløbssystemerne og er derfor minimalt påvirkede af omdannelse af nitrat til organisk kvælstof, der sker i ferskvandssystemet, og som er særligt stor i oplande med store søer som fx i Gudenå-systemet. Mange af disse små vandløb er dog også meget dynamiske, og den tidslige variation i vandafstrømning, nitrat-koncentration og -transport er relateret til variationer i klimaet/vejret. Først og fremmest variationer i nedbøren.

De nationale data for dyrkningsdominerede typeoplande omfatter målinger af TN på 44 målestationer i perioden 1990-2023, hvor der er målt i alle år. På 26 af disse stationer findes desuden en fuld tidsserie (siden 1990) for nitrat. Her præsenteres således nitratmålinger for disse 26 typeoplande. I Blicher-Mathiesen (2017) anvendes 31 typeoplande, men fire af disse har ikke længere en fuld måletidsserie. De anvendte typeoplande er forholdsvis små 0,6 - 65



1374  
1375  
1376  
1377  
1378  
1379

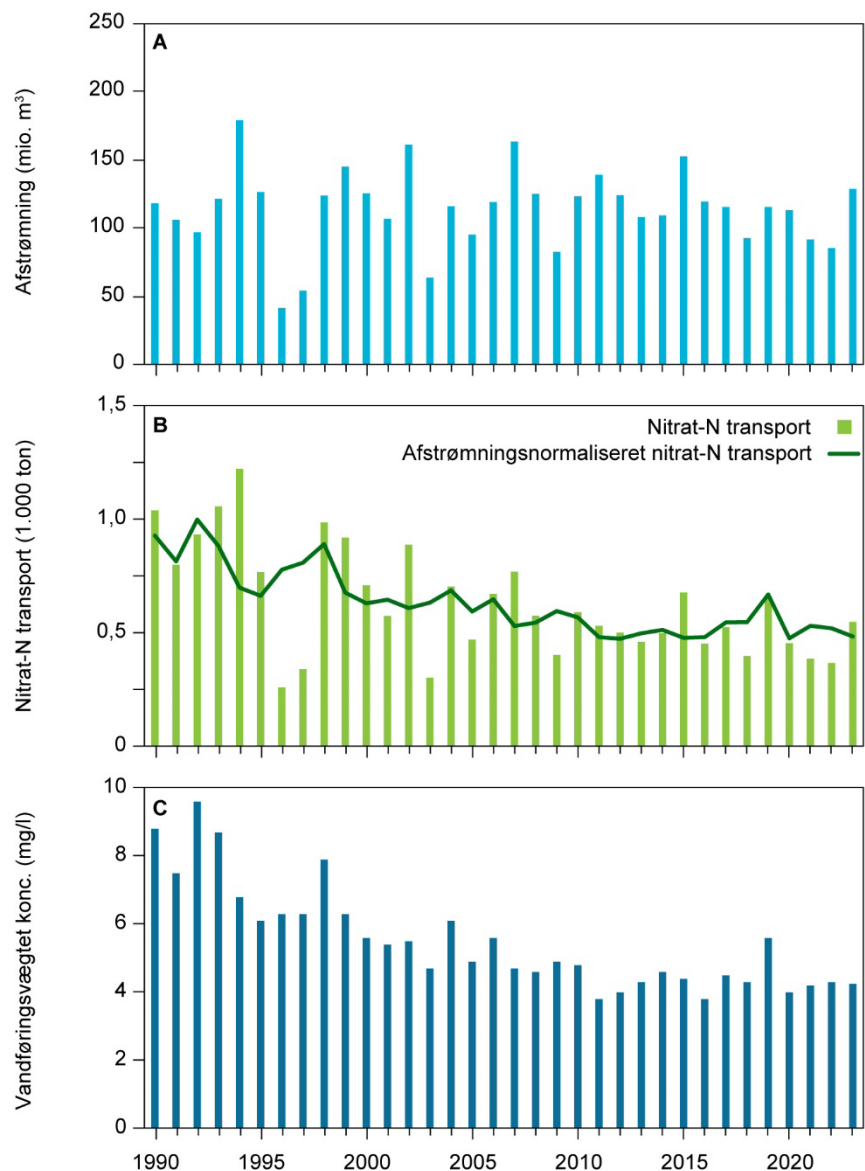
km<sup>2</sup> og ligger spredt over det meste af landet, dog indgår der ikke typeoplande i Nordjylland og i Sønderjylland eller på Bornholm på grund af manglende stationer med fuld tidsserie af årlige nitratmålinger i perioden siden 1990 (Figur 8.1) (Blicher-Mathiesen, 2017). De 26 typeoplande dækker et samlet areal på ca. 499 km<sup>2</sup> og har en gennemsnitlig intensivt dyrkningsandel på 66 % (2019) af oplandsarealet.

1380  
1381  
1382  
1383  
1384  
1385  
1386  
1387  
1388

Den aktuelle nitrat-N-transport for de 26 typeoplande viser stor år-til-år variation, som det også ses for vandafstrømningen (Figur 8.3A). Den aktuelle nitrat-N-transport varierede i perioden 2010-2022 imellem 370 og 680 tons nitrat-N (Figur 8.3B). I 2022 var nitrat-N transporten på ca. 370 tons nitrat-N og i 2023 550 tons nitrat-N. Vandafstrømningen for 2023 var 259 mm, og er således 13 % over middel for måleperioden 1990 - 2022 (229 mm). Den, forholdsvis, lave vandafstrømning i forhold til landsgennemsnittet skyldes, at hovedvægten af arealet i de 26 typeoplande er lokaliseret i Østdanmark, hvor afstrømningen er lavere end landsgennemsnittet.

**Figur 8.3.** Udvikling i den samlede arealspecifikke vandafstrømning fra de 26 typeoplande (A), beregnet samlet årlig nitrat N-transport (lysegrønne søjler) og afstrømningsnormaliseret nitrat N-transport (grøn linje) (B) samt vandføringsvægtet nitrat N-koncentration (C). Data er opgjort for kalenderår i perioden 1990-2023. Kort med den geografiske placering af typeoplandene Figur 8.1. Afstrømningsdata for den senere del af måleperioden er influeret af homogenitetsbrud i vandføringsmålingerne, se afsnit 1.3.1.

1389  
1390  
1391  
1392  
1393  
1394  
1395  
1396  
1397  
1398  
1399  
1400



1401 Den afstrømningsnormaliserede nitrat-N-transport varierer i perioden 2010 –  
1402 2022 mellem 470 og 670 tons nitrat-N. I 2022 var den afstrømningsnormalise-  
1403 rede nitrat-N-transport 520 tons nitrat-N og 480 tons nitrat-N i 2023. Den af-  
1404 strømningsnormaliserede nitrat-N transport er opgjort som en sum for alle  
1405 typeoplande.

1406 Den vandføringsvægtede nitrat-N-koncentration varierede i perioden 2010 –  
1407 2022 imellem 3,8 mg nitrat-N/l og 5,6 mg nitrat-N/l (Figur 8.3C). I 2022 var  
1408 koncentrationen 4,3 mg nitrat-N/l og i 2023 4,3 mg nitrat-N/l. Der ses et mar-  
1409 kant fald i den vandføringsvægtede nitrat-N-koncentration fra omkring 8 mg  
1410 nitrat-N/l i begyndelsen af 1990'erne til omkring 4 mg nitrat-N/l i de seneste  
1411 år, dog med en højere værdi i 2019. For hele perioden svarer dette til et signi-  
1412 fikant fald i den afstrømningsnormaliserede nitrattransport på 42 %.

1413 Fælles for udviklingen i den afstrømningsnormaliserede nitrat-N-transport for  
1414 både de 26 landbrugsdominerede typeoplande og de 71 havbelastningsoplande  
1415 er et fald fra 2010 til 2011, et stabilt niveau i perioden 2011-2016 og et lidt højere  
1416 niveau i 2017 -2018, et højt niveau i 2019 og et lavere niveau i 2020 - 2023.

### 1417 **8.3 Sammenligning til opgørelsen for hele landet**

1418 Ved en sammenligning med trenden i total-kvælstoftilførslen til havet fra hele  
1419 landet ses det, at udviklingen i de tre opgørelser er sammenlignelig, da faldet i  
1420 nitrat-N-tilførslen for de 71 havbelastningsoplande er 45 % mens der er be-  
1421 regnet et fald i tilførslen fra hele landet på 50 % (kapitel 6). Faldet i nitrat-N-  
1422 tilførslen for de 26 typeoplande er 42 %.

## 9 Referencer

- 1424 Andersen, H. E. & Heckrath, G. (redaktører). 2020. Fosforkortlægning af dyrk-  
1425 ningsjord og vandområder i Danmark. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt  
1426 Center for Miljø og Energi, 340 s. - Videnskabelig rapport nr. 397  
1427 <http://dce2.au.dk/pub/SR397.pdf>
- 1428 Andersen, HE, Heckrath, G., Rubæk, G. 2022. Phosphorus losses from the Dan-  
1429 ish land area to the sea around year 1900. I: Jung-Madsen, S. and Bach H. (red.)  
1430 2022. Transport of nitrogen and phosphorus from land to sea around year  
1431 1900. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy,  
1432 192 pp. Scientific Report No. 498. <http://dce2.au.dk/pub/SR498.pdf>
- 1433 Baattrup-Pedersen, A., Pacheco, J. P., & Riis, T. (2024). Benthiske alger og økolo-  
1434 gisk tilstand i vandløb. *Vand & Jord*, 31(1), 7-10.
- 1435 Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Andersen, H.E., Timmermann, A., Jen-  
1436 sen, P.G., Hansen, B. & Thorling, L. (2015) Landovervågningsoplande 2013.  
1437 NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi,  
1438 154 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi  
1439 nr. 120.
- 1440 Blicher-Mathiesen, Gitte, Henrik Tornbjerg, Jørgen Windolf, Hans Thodsen,  
1441 Hans Estrup Andersen, Niels Bering Ovesen og Brian Kronvang (2017). Nitrat  
1442 N-udledning for typeoplande og havbelastningsoplande med målt kontinuert  
1443 tidsserie 1990-2016. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi  
1444 Dato:22. november 2017. [http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2017/Ni-trat\\_N-udledning\\_for\\_typeoplande\\_og\\_havbelastningsoplande\\_1990-2016.pdf](http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2017/Ni-trat_N-udledning_for_typeoplande_og_havbelastningsoplande_1990-2016.pdf)
- 1447 Bøgestrand, J. (red.) (2009) Vandløb 2007. NOVANA, (2009). Faglig rapport fra  
1448 DMU nr. 711. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 108 s.  
1449 (<https://www.dmu.dk/pub/FR711.pdf>)
- 1450 Bøgestrand, J., Kronvang, B., Windolf, J. & Kjeldgaard, A. 2014. Baggrundsbe-  
1451 lastning med total N og nitrat-N. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og  
1452 Energ. Aarhus Universitet. 11 s. [https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2014/Baggrundsbelastning\\_med\\_total\\_N\\_opdatering.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2014/Baggrundsbelastning_med_total_N_opdatering.pdf)
- 1454 Carstensen, J. & Larsen, S.E. 2006: Statistisk bearbejdning af overvågningsdata-  
1455 Trendanalyser. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser. 38 s. - Teknisk an-  
1456 visning fra DMU nr. 24. <http://www.dmu.dk/Pub/TA24.pdf>
- 1457 Conley, D.J., Bjorck, S., Bonsdorff, E., Carstensen, J., Destouni, G., Gustafsson,  
1458 B.G., Hietanen, S., Kortekaas, M., Kuosa, H., Meier, H.E.M., Muller-Karulis, B.,  
1459 Nordberg, K., Norkko, A., Nurnberg, G., Pitkanen, H., Rabalais, N.N., Rosen-  
1460 berg, R., Savchuk, O.P., Slomp, C.P., Voss, M., Wulff, F. and Zillen, L., (2009)  
1461 Hypoxia-Related Processes in the Baltic Sea. *Environmental Science & Techno-*  
1462 *logy*, 43(10): 3412-3420.

- 1463 Kainz, S. 2021. Ringversuch eines  
1464 magnetisch-induktiven Fließgeschwindigkeitsmessgeräts und daraus  
1465 gewonnene Erkenntnisse für die hydrologische Praxis. Österr Wasser und Ab-  
1466 fallw 73:210-219. <https://doi.org/10.1007/s00506-021-00755-3>
- 1467 Kronvang, B., Tornbjerg, H., Larsen, S. E. & Windolf, J. 2023. Opgørelser af kil-  
1468 der, udvikling og tidsforsinkelser i næringsstofbelastning til kystvandene  
1469 Hjarbæk Fjord og Skive Fjord, Lovns Bredning, Risgårde Bredning og Bjørns-  
1470 holm Bugt. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 70  
1471 s. Teknisk rapport nr. 285
- 1472 Larsen, S.E. 2018. Dokumentation for genopretning af TN og TP data fra peri-  
1473 oden 2007-14. Notat fra DCE – Nationalt center for Miljø og Energi. 8 sider.  
1474 [http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2018/Doku-](http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2018/Doku-)  
1475 [mentation\\_genopretning\\_TN\\_TP.pdf](http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2018/Dokumentation_genopretning_TN_TP.pdf)
- 1476 Larsen, S.E., & Svendsen, L.M. 2021. Statistical aspects in relation to Baltic Sea  
1477 Pollution Load Compilation. Task under HELCOM PLC-8 project. Aarhus  
1478 University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 60 pp. Tech-  
1479 nical Report No. 224 <http://dce2.au.dk/pub/TR224.pdf>
- 1480 Larsen, S.E., Windolf, J., Tornbjerg, H., Hoffmann, C.C., Søndergaard, M. &  
1481 Blicher-Mathiesen. 2018. Genopretning af fejlbehæftede kvælstof- og fosfor-  
1482 analyser. Ferskvand. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og  
1483 Energi, 72 s. Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr.  
1484 110 <http://dce2.au.dk/pub/TR110.pdf>
- 1485 Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Thodsen, H., Kronvang, B. & Blicher-Mathiesen, G.  
1486 2021a. Analyse af organisk kvælstof koncentrationer i vandløb i to perioder  
1487 med henblik på at udvikle en korrektionsformel for perioden 2009-2014. Aar-  
1488 hus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 115 s. – Fagligt  
1489 notat nr. 2021 | 29 <https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Nota->  
1490 [ter\\_2021/N2021\\_29.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2021/N2021_29.pdf)
- 1491 Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Thodsen, H., Kronvang, B. & Blicher-Mathiesen, G.  
1492 2021b. Analyse af organisk kvælstof koncentrationer i vandløb med henblik på  
1493 at udvikle en korrektionsformel for 2015. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt  
1494 Center for Miljø og Energi, 19 s. – Fagligt notat nr. 2021 | 39  
1495 <https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Nota->  
1496 [ter\\_2021/N2021\\_39.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2021/N2021_39.pdf)
- 1497 Larsen, S.E., Kjeldgaard, A., Windolf, J., Tornbjerg, H. & Kronvang, B. 2022a.  
1498 Ny fosformodel til estimering af årlig vandføringsvægtet koncentration af to-  
1499 tal fosfor fra diffuse kilder i ID15-oplande. Aarhus Universitet, DCE – Natio-  
1500 nalt Center for Miljø og Energi, 80 s. Teknisk rapport nr. 246  
1501 <http://dce2.au.dk/pub/TR246.pdf>
- 1502 Lassen, J. & Frank-Gopolos, T. 2022: Undersøgelse af månedsvariation for stof-  
1503 udledning fra rensesanlæg (samt ferskvandsdambrug og industri). Notat fra  
1504 miljøstyrelsen. 27 sider.
- 1505 Miljøstyrelsen 2018. Punktkilder 2016. Miljøstyrelsen. 94 s.  
1506 <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/04/978-87-93614-44-4.pdf>

- 1507 Miljøstyrelsen 2020a. Opdatering af tidserie for udledning af spildevand fra  
1508 Regnbetingede Udløb (RBU) og spredt bebyggelse 1990-2018. Ikke offentlig-  
1509 gjort notat fra Miljøstyrelsen. 4 pp.
- 1510 Miljøstyrelsen 2023. Punktkilder 2021. Miljøstyrelsen. 91 s.
- 1511 Ovesen, N.B., Larsen, S.E., Bøgestrand, J., Kronvang, B. 2009. Fosforbelastningen  
1512 af havet. Kapitel 7 i: Bøgestrand, J. (red.) 2009: Vandløb 2007. NOVANA.  
1513 Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 108 s. – Faglig rapport fra  
1514 DMU nr. 711 <http://www.dmu.dk/Pub/FR711.pdf>
- 1515 Ovesen, N.B., Kronvang, B., Larsen, S.E. & Andersen, P.M. 2023. Betydning af  
1516 skift i instrument-typer til vandføringsmåling ved hydrometristationer i NO-  
1517 VANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 63 s.-  
1518 Teknisk rapport nr. 258 <http://dce2.au.dk/pub/TR258.pdf>
- 1519 Rubek F., Scharling M., Cappelen j. 2022. Danmarks klima 2021 – with English  
1520 Summary. Danmarks meteorologiske institut. DMI rapport 22-01. s 76.  
1521 <https://www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/2022/DMIRap22-01.pdf>
- 1522 Rubek F., Cappelen j., Scharling M. og Jensen CD. 2024. Danmarks klima 2023  
1523 – with English Summary. Danmarks meteorologiske institut. DMI rapport 24-  
1524 01. s 78. <https://www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/2024/DMIRap24-01.pdf>
- 1525 Stisen S., Ondracek M., Troldborg L., Schneider R.M.J., van Til M.J., (2019). Na-  
1526 tional Vandressource Model Modelopstilling og kalibrering af DK-model 2019.  
1527 Danmarks og Grønlands geologiske undersøgelser. GEUS rapport 2019/31.  
1528 s 125. [https://vandmodel.dk/media/8096/geusrap-  
1529 port2019\\_31\\_dkmodel2019\\_web-1.pdf](https://vandmodel.dk/media/8096/geusrapport2019_31_dkmodel2019_web-1.pdf)
- 1530 Svendsen, L.M. (1998) Input of Nutrients to OSPAR and HELCOM Marine Ar-  
1531 eas from Land-based Sources in Denmark. NIVA upubliceret note for the  
1532 HARP-Conference, Jan. 1998, 20 pp.
- 1533 Svendsen, L.M. & Jung-Madsen, S. (red.) 2020. Homogenitetsbrud og poten-  
1534 tielle fejl i nedbørsdata. Eksempler på konsekvenser for myndighedsbetjenin-  
1535 gen. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 28 s. –  
1536 Fagligt notat nr. 2020 | 51 [https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivel-  
1537 ser/Notatet\\_2020/N2020\\_51.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet_2020/N2020_51.pdf)
- 1538 Thodsen, H., Tornbjerg, H., Windolf, J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Ovesen,  
1539 N.B. & Kjeldgaard, A., 2018: Vandløb 2016. Kemisk vandkvalitet og stoftrans-  
1540 port. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og  
1541 Energi, 54 s. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og  
1542 Energi nr. 270 <http://dce2.au.dk/pub/SR270.pdf>
- 1543 Thodsen, H., Tornbjerg, H., Troldborg, L., Windolf, J., Ovesen, N.B., Kjeld-  
1544 gård, A. & Højberg, A.L. 2019a. Udvikling af vanddelen af DK-QNP til hav-  
1545 belastningsberegninger. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø  
1546 og Energi, 20 s. Teknisk rapport nr. 145. <http://dce2.au.dk/pub/TR145.pdf>

- 1547 Thodsen, H., Tornbjerg, H., Rasmussen, J.J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Ove-  
1548 sen, N.B., Blicher-Mathiesen, G., Kjeldgaard, A. & Windolf, J. 2019b. Vandløb  
1549 2018. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og  
1550 Energi, 70 s. Videnskabelig rapport nr. 353 <http://dce2.au.dk/pub/SR353.pdf>
- 1551 Thodsen H, Rasmussen JJ, Kronvang B, Andersen HE, Nielsen A & Larsen SE  
1552 2019c. Suspended matter and associated contaminants in Danish streams: a  
1553 national analysis. *Journal of Soils and Sediments* 2019; 19: 3068-3082.
- 1554 Thodsen, H., Tornbjerg, H., Blicher-Mathiesen, G., Højberg, A.L., Stiesen, S. &  
1555 Troldborg, L. 2020. Betydning af sandsynligvis underestimeret nedbør på den  
1556 beregnede tilførsel af vand, kvælstof og fosfor til havet. Aarhus Universitet,  
1557 DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 32 s. Teknisk rapport nr. 185  
1558 <http://dce2.au.dk/pub/TR185.pdf>
- 1559 Thodsen, H., Tornbjerg, H., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Ovesen, N.B., Blicher-  
1560 Mathiesen, G., Rolighed, J., Holm, H. & Kjeldgaard, A. 2021a. Vandløb 2019 -  
1561 Kemisk vandkvalitet og stoftransport. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE –  
1562 Nationalt Center for Miljø og Energi, 74 s. Videnskabelig rapport nr. 452  
1563 <http://dce2.au.dk/pub/SR452.pdf>
- 1564 Thodsen, H. & Tornbjerg, H. 2022. Årsager til år til år forskelle i de beregnede  
1565 tilførsler af vand og næringsstoffer til havet imellem forskellige NOVANA-  
1566 opgørelser. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 17  
1567 s. – Fagligt notat nr. 2022 | 72 [https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgi-  
1568 velser/Notater\\_2022/N2022\\_72.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2022/N2022_72.pdf)
- 1569 Thodsen, H., Tornbjerg, H., Rolighed, J., Kjær, C., Larsen, S.E., Ovesen, N.B. &  
1570 Blicher-Mathiesen, G. 2023. Vandløb 2021. -Kemisk vandkvalitet, stoftrans-  
1571 port og miljøfarlige forurenende stoffer. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE -  
1572 Nationalt Center for Miljø og Energi, 90 s. Videnskabelig rapport nr. 527  
1573 <http://dce2.au.dk/pub/SR527.pdf>
- 1574 Thodsen, H., Kjær, C., Tornbjerg, H., Rolighed, J., Larsen, S.E. & Blicher-Mathi-  
1575 esen, G. 2024. Vandløb 2022. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for  
1576 Miljø og Energi, 80 s. Videnskabelig rapport nr. 590. [https://dce.au.dk/filead-  
1577 min/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige\\_rapporter\\_500-599/SR590.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_500-599/SR590.pdf)
- 1578 U.S. Geological Survey. (n.d.). Alkalinity and water. Water Science School. Re-  
1579 trieved [29-10-2024], from [https://www.usgs.gov/special-topics/water-sci-  
1580 ence-school/science/alkalinity-and-water](https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/alkalinity-and-water)
- 1581 Wiberg-Larsen, P. 2010. Makroinvertebrater i vandløb. Teknisk anvisning.  
1582 [https://ecos.au.dk/fileadmin/ecos/Fagdatacentre/Ferskvand/V07\\_Makro-  
1583 invertebrater\\_Ver2\\_5.pdf](https://ecos.au.dk/fileadmin/ecos/Fagdatacentre/Ferskvand/V07_Makroinvertebrater_Ver2_5.pdf)
- 1584 Wiberg-Larsen, P., Friberg, N., Baattrup-Pedersen, A. & Kristensen, E.A. 2012.  
1585 Er miljøkvaliteten i vore vandløb forbedret? *Vand & Jord* 19: 62-65.
- 1586 Windolf, J., Bøgestrand, J. Kjeldgaard, A. Kronvang, B. Larsen, S.E. Ovesen,  
1587 N.B. & Thodsen, H. (2010) TEMA: Geografisk distribueret beregning af tilførs-  
1588 len af vand og kvælstof til havet. Pp. 40-58 i: Wiberg-Larsen P. (red.) Vandløb

- 1589 2008. NOVANA. Faglig rapport fra DMU nr. 764. Danmarks Miljøundersø-  
1590 gelser, Aarhus Universitet, 66 s.
- 1591 Windolf, J., Thodsen, H., Troldborg, L., Larsen, S.E., Bøgestrand, J., Ovesen,  
1592 N.B. & Kronvang, B. (2011) A distributed modelling system for simulation of  
1593 monthly runoff and nitrogen sources, loads and sinks for ungauged catch-  
1594 ments in Denmark. *Journal of Environmental Monitoring* 13: 2645-2658.
- 1595 Windolf, J., Bøgestrand J. & Kjeldgaard, A. 2012a. Beregning af kvælstoftilfø-  
1596 rel til en række udpegede danske fjorde. Fagligt notat fra DCE til Naturstyrel-  
1597 sen. [https://dce.au.dk/fileadmin/dmu.au.dk/Notat\\_kvaelstoftilfo-](https://dce.au.dk/fileadmin/dmu.au.dk/Notat_kvaelstoftilfoersel_til_fjorde.pdf)  
1598 [ersel\\_til\\_fjorde.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dmu.au.dk/Notat_kvaelstoftilfoersel_til_fjorde.pdf)
- 1599 Windolf, J., Blicher-Mathiesen, G. & Larsen, S. 2012b. Markbalancer og den dif-  
1600 fuse kvælstofafstrømning. Fagligt notat fra DCE til Naturstyrelsen, 47 pp.  
1601 [https://pure.au.dk/portal/files/44570035/Notat\\_Markbalancer.pdf](https://pure.au.dk/portal/files/44570035/Notat_Markbalancer.pdf)
- 1602 Windolf, J., Blicher-Mathiesen, G., Carstensen, J. and Kronvang, B. 2012c.  
1603 Changes in nitrogen loads to estuaries following implementation of Govern-  
1604 mental Action Plans in Denmark: A paired catchment and estuary approach  
1605 for analysing regional responses. *Environmental Science and Policy* 24: 24-33.
- 1606 Windolf, J., Timmermann, A., Kjeldgaard, A., Bøgestrand, J., Larsen, S. E., &  
1607 Thodsen, H. (2013) Landbaseret tilførsel af kvælstof og fosfor til danske fjorde  
1608 og kystafsnit, 1990-2011. Teknisk rapport fra DCE nr. 31. Aarhus Universitet.  
1609 <http://dce2.au.dk/pub/TR31.pdf>
- 1610
- 1611