



# VAND- OG STOFTRANSPORT 2023

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 629

2024



AARHUS  
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI



# VAND- OG STOFTRANSPORT 2023

NOVANA

---

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 629

2024

Hans Thodsen  
Henrik Tornbjerg  
Søren Erik Larsen  
Albert Rosenkrantz Conradsen  
Emil Muff  
Gitte Blicher-Mathiesen

Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience



AARHUS  
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

# Datablad

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Serietitel og nummer:      | Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 629  |
| Kategori:                  | Rådgivningsrapporter  |
| Titel:                     | Vand- og 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: | Charlotte Elisabeth Kler  |
| Ekstern kommentering:      | Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø. <a href="#">Kommentarerne findes her</a> .  |
| Finansiel støtte:          | Ingen ekstern finansiering  |
| Bedes citeret:             | Thodsen, H., Tornbjerg, H., Larsen, S.E., Conradsen, A.R., Muff, E. & Blicher-Mathiesen, G. 2024. Vand- & Stoftransport 2023. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 71 s. - Videnskabelig rapport nr. 629             |
|                            | 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, hydrologi, stoftransport  |
| Layout:                    | Grafisk værksted, AU Ecoscience, Århus  |
| Foto forside:              | Hans Thodsen. Kongeåen ved Jedsted mølle, omløbsstryg etableret 2017.   |
| ISBN:                      | 978-87-7156-908-7   |
| ISSN (elektronisk):        | 2244-9981   |
| Sideantal:                 | 71  |
| 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>  |
| <b>Summary</b>   | <b>7</b>  |
| <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>19</b> |
| 3.1 Introduktion   | 19        |
| 3.2 Geografisk variation   | 20        |
| 3.3 Trend  | 22        |
| 3.4 Vandføring og alkalinitet  | 22        |
| 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            | 43        |
| 6.4 Udviklingen i Kvælstoftilførslen til havet                       | 44        |
| 6.5 Kvælstoftilførsel fra målt opland                                | 47        |
| 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> |

## Forord

Denne rapport udgives af DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet (DCE) som et led i den landsdækkende rapportering af det Nationale program for Overvågning af Vandmiljøet og Naturen (NOVANA). NOVANA er fjerde generation af nationale overvågningsprogrammer, som med udgangspunkt i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram blev iværksat i efteråret 1988. Nærværende rapport omfatter data til og med 2023.

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

DCE har som en væsentlig opgave for 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.

I overvågningsprogrammet er der en arbejds- og ansvarsdeling mellem fagdatacentre, Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø (SGAV) og Miljøstyrelsen (MST). Fagdatacentret for grundvand og borer 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 datagrundlag.

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.

## Sammenfatning

Dette års rapport behandler 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).

### **Kvælstof- og fosfortilførsel til havet**

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 typeopløst vand 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 fra virksomheder. Koncentrationerne af kvælstof og fosfor i vandløbene er dog stadig omkring henholdsvis ca. 3 og 1,55 gange højere end dem, man finder i upåvirkede naturvandløb.

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 tilkøbt renseanlæg) tale om en reduktion på ca. 38 %.

Tilførslen fra land til kystvandene er for 2023 beregnet til hhv. ca. 65.000 tons kvælstof og ca. 2.100 tons fosfor. 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.

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.



## Summary

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

### **Nitrogen and phosphorus load to the sea**

The concentrations of nitrogen and phosphorus in streams have been markedly reduced since 1989. The main reason 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 55% higher, respectively, compared with un-impacted streams.

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%.

In 2023, the total load from land was calculated to be about 65,000 tons of nitrogen and 2,100 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 tons N compared with 48,000 tons N in 2022. The normalised mean diffuse load for the presiding five years (2018 – 2022) was 51,000 tons N, ranging between 46,000- and 58,000 tons N. Adding the point source load of 6,200 tons N, the total flow normalised load of 2023 is calculated at approximately 50,000 tons N. For the year 2022, the corresponding value was 53,000 tons N. For the five presiding years (2018 – 2022), the average flow normalised total N load was calculated to be 56,000 tons N, with a range between 51,000- and 64,000 tons N/yr. The annual runoff of water was 404 mm compared with 321 mm as the average from 1990-2022.

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.

# 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 styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø (SGAV) tidligere 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 SGAV/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's hjemmeside (Aarhus Universitet): (<https://ecos.au.dk/forskningraadgivning/fagdatacentre/ferskvand/>).

Måledata og stoftransporter (på målestationer) og tilførsler (på 2. ordens kyst-afsnit) 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 SGAVs 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).

Gennem alle årene i overvågningsperioden har der været anvendt de samme principper for databehandling, analyse og præsentation i forbindelse med undersøgelserne af vand- og stoftransport. Hvis intet andet er nævnt, er der anvendt tidsvægtede gennemsnit for at tage højde for, at målingerne ikke er jævnt fordelt over året. 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 næringsstoffertilførsler 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 og inputparametre så som fx nedbøren eller punktkilde-data. 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 typeoplande (Tabel 1.1) – se kapitel 4 & 5. Kriterierne er beskrevet for hver type i Tabel 1.1. Det skal bemærkes, at en del vandløb ikke længere lever op til kriterierne for den oplandstype, de blev tildelt i 1991, og som bruges ved tidsserieanalyserne. Det kan fx skyldes reduceret spildevandstilledning eller nedlæggelse af dambrug. Kriterierne for klassifikationen af dyrkede oplande er lidt forskellige for kvælstof og fosfor. Antallet af stationer i kategorien dyrkede oplande er derfor ikke det samme i kvælstof- og fosforkapitlerne. For 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 næringsstoffertilførsel 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 |
| <b>Naturoplande*</b>   | 1         | 5                  | 18            |
| <b>Vandløb i dyrkede oplande (P):</b>  |           |                    |               |
| Dyrkningsgrad >15 %<br>Bebyggelse < 50 %<br>Punktkildebidrag<br>< 25 g P/ha, 0,5 kg N/ha | 2         | 20                 |               |
| <b>Vandløb i dyrkede oplande (N):</b>  |           |                    |               |
| Dyrkningsgrad > 15 %<br>Bebyggelse < 50 %<br>Punktkildebidrag < 0,5 kg N/ha              | 3         | 61                 | #             |
| <b>Vandløb med punktkilder:</b>  |           |                    |               |
| Punktkildebidrag > 0,5 kg N/ha   | 4         | 37                 | #             |
| <b>Vandløb med Dambrugsudledninger</b>   |           |                    |               |
| P fra dambrug<br>>30 % af total transport<br>> 40 % af punktkildebidrag                  | 5         | 6                  | #             |
| Ikke-naturoplande i alt  |           | 124                | 363           |

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

# ikke opgjort separat for typerne 2-5

Analyser og estimater af udviklingstendenser i transport af totalfosfor, nitrat-N og totalkvælstof i denne rapport (kapitel 4, 5, 6, 7 og 8) foretages på baggrund af afstrømningsnormaliserede tilførsler (Larsen & Svendsen, 2021). Derudover følger rapporteringen af stoftransporterne til havet samme principper og har samme omfang som i de foregående års NOVANA-rapporter.

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

## 1.3 Særlige forhold ved årets rapportering

### 1.3.1 Homogenitetsbrud i vandføringsmålinger

Frem til 2004 er vandføringsmålinger udelukkende foretaget med vingeinstrumenter, men i årene herefter er der sket en gradvis overgang til primært to nye typer af måleinstrumenter. I 2005 blev de første ADCP-målinger introduceret i nogle af de større vandløb, og fra 2014 og frem har elektromagnetisk strømmåler gradvist overtaget fra vingeinstrumenterne i de mindre vandløb (Ovesen m.fl. 2023). Skiftene i instrumenttyperne har betydet, at der er introduceret homogenitetsbrud i vandføringstidsserierne, idet de nye instrumenter har systematiske afvigelser i forhold til de tidligere anvendte vingeinstrumenter (Ovesen m.fl. 2023).

De overordnede tests i Ovesen m.fl. (2023) viser, at ADCP-instrumentet i gennemsnit måler 2,6 % højere vandføring end vingeinstrumentet, mens den elektromagnetiske strømmåler giver 5,7 % mindre vandføring end vingeinstrumentet. Før 2019 anvendtes andre beregningsrutiner til ADCP-målingerne, og her

var resultaterne i vandføringsberegningerne yderligere 1,9 % højere end vingemålingerne (i alt 4,5 %). Det kan ikke afgøres, om ADCP- eller vingeinstrumentet måler den faktisk korrekte (sande) vandføring, men det er påvist, at ved hastigheder under 0,5 m/s registrerer den elektromagnetiske strømmåler mindre end den korrekte hastighed (Kainz, 2021). Dette medfører, at på målestationer, hvor den elektromagnetiske strømmåler er anvendt, bliver der beregnet for lav vandføring. Der er behov for yderligere undersøgelser for at afklare mere vandløbsspecifikke forskelle, og muligheder og procedurer for evt. korrektioner af vandføringstidsserier er pt. ikke afklaret.

Homogenitetsbruddet i vandføringen influerer alle opgjorte vandafstrømninger i denne rapport. Vandafstrømningen anvendes til beregning af næringsstoftransporter for målestationer, som således også er direkte påvirkede. Opgørelser af næringsstofftilførsler til havet er ligeledes influerede, da de dels er baseret på målte næringsstofftilførsler og dels på modellerede næringsstofftilførsler, der er biaskorrigerede imod målte tilførsler. Både aktuelle og normaliserede næringsstofftilførsler/-transporter er influerede.

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

I de hidtidige opgørelser af tilførslen af total-kvælstof (TN) og total-fosfor (TP) til havet har perioder for de anvendte stationer, hvor der kun er målt næringsstofkoncentrationer, ikke været anvendt. Der har været anvendt stoftransporter for stationer, hvor der er målt både vandføring og næringsstofkoncentrationer. Desuden har vandføringen været anvendt for en række stationer, hvor der ikke har været målt næringsstofkoncentrationer. For disse beregnes en stoftransport på baggrund af målt vandføring og modelberegnet og bias-korrigeret næringsstofkoncentration. Fra og med denne rapport er der inkluderet perioder (år) fra stationer, hvor der kun er målt næringsstofkoncentrationer. For disse beregnes således en stoftransport på baggrund af målte næringsstofkoncentrationer og huludfyldt vandafstrømning. Der er således tale om stationer, der har en længere periode med målte næringsstofkoncentrationer end vandføring. På denne måde baseres opgørelsen på flere måledata end tidligere, 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 (Svendesen 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

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

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

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

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

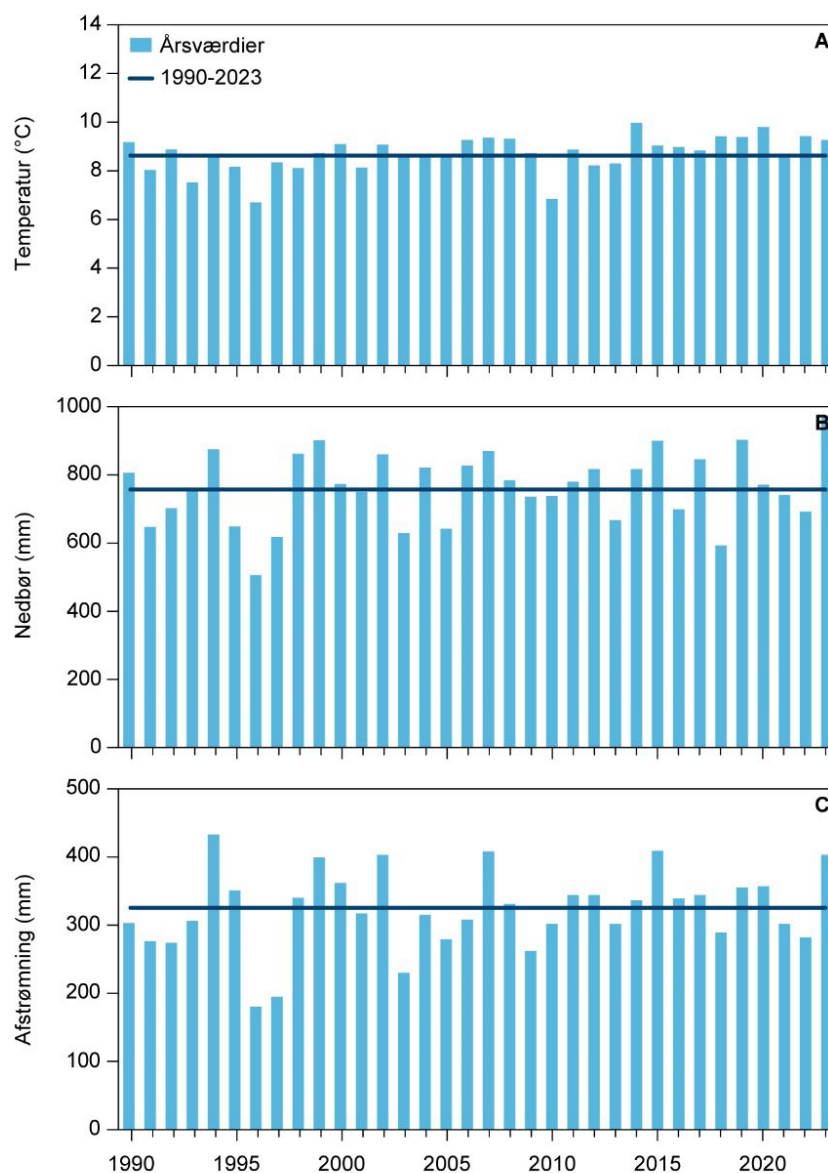
## 2.2 Klima, vejr og ferskvandsafstrømning

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

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

Den samlede ferskvandsafstrømning til de danske farvande er for 2023 opgjort til 17.400 millioner m<sup>3</sup>, hvilket svarer til en arealspecifik afstrømning på 404 mm (Figur 2.1C). Vandafstrømningen blev dermed 43 % højere end i 2022, hvor den var 283 mm. Gennemsnittet for perioden 1990-2022 er 321 mm, afstrømningen blev dermed 26 % højere end gennemsnittet. Gennemsnittet for hele perioden siden 1990 er 324 mm, og for de sidste 20 år 2004 - 2023 er middelafstrømningen 331 mm. Afstrømningen i 2023 er opgjort til at være den 5. højeste i perioden 1990-2023. Der testes for tidlig udvikling (trend) i vandafstrømningen. Der er ikke fundet en statistisk signifikant udvikling i vandafstrømningen for hele landet siden 1990. Der er en ikke signifikant tendens til en stigning. Trendanalysen kan være influeret af homogenitetsbrud i vandføringsmålingerne, se afsnit 1.3.1.

**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.



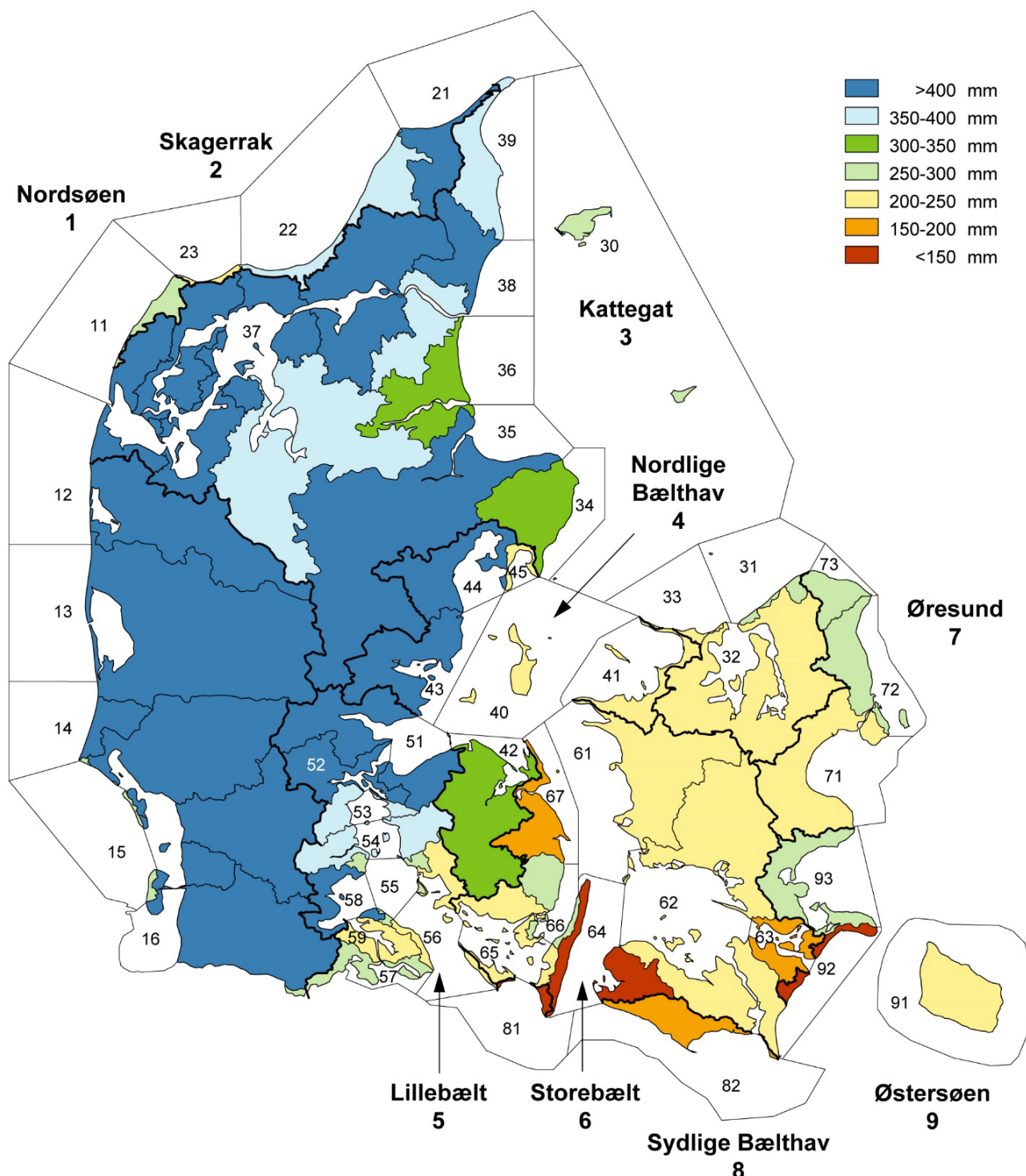
Afstrømningsforholdene udviser normalt - ligesom nedbøren - en stor geografisk variation, hvilket også var tilfældet i 2023 (Figur 2.2).

I største delen af Jylland og nordvest Fyn var den arealspecifikke årsafstrømning 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.

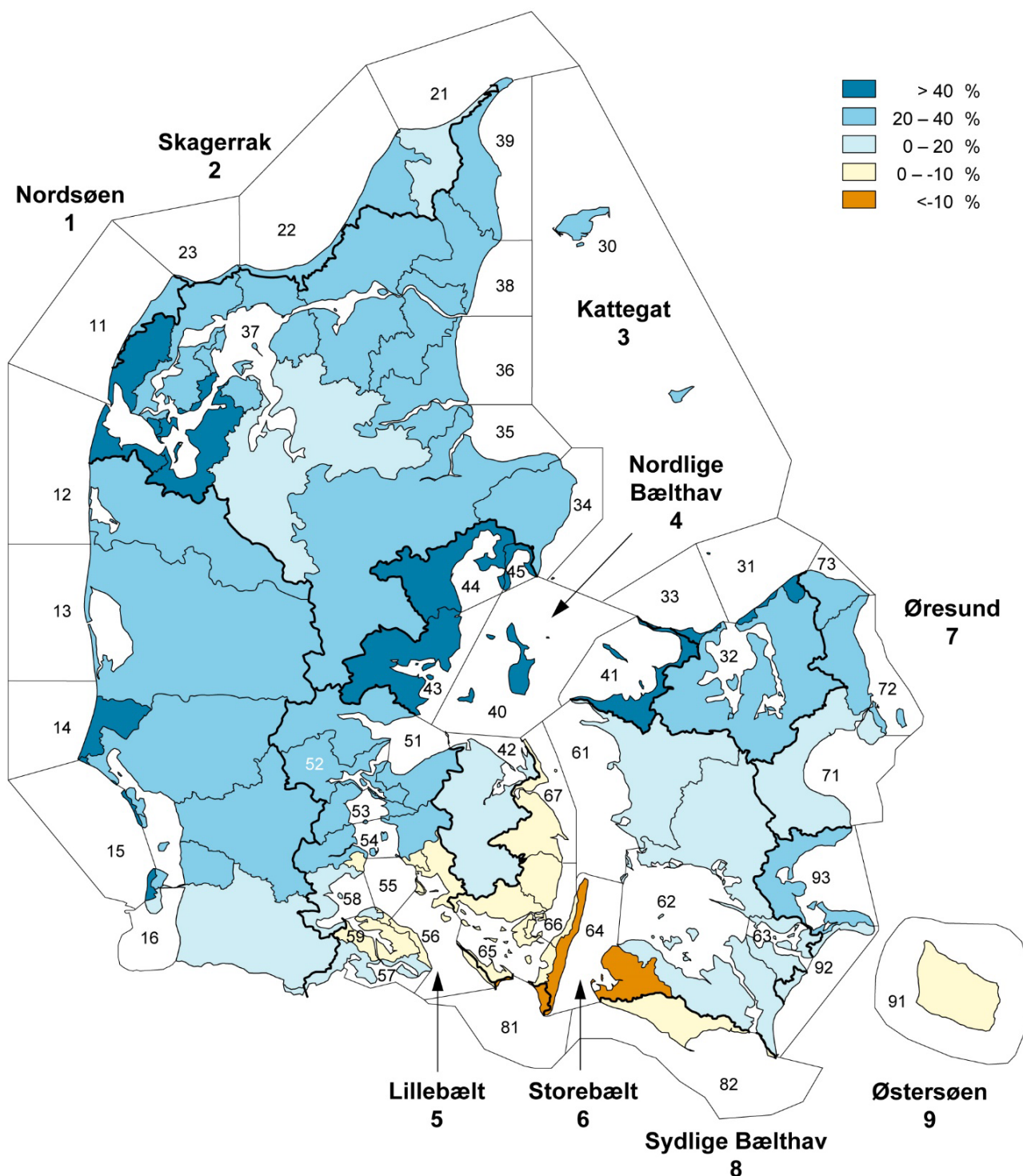
I de små oplande ses i visse tilfælde en afvigende afstrømningsmængde i forhold til de nærvæd liggende store oplande, fx farvandsområderne 45 (Ebeltoft vig) i forhold til 34 (østsiden af Djursland) (Figur 2.2). Disse forskelle kan skyldes betydelige forskelle i oplandenes hydrologiske og geologiske forhold,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



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).



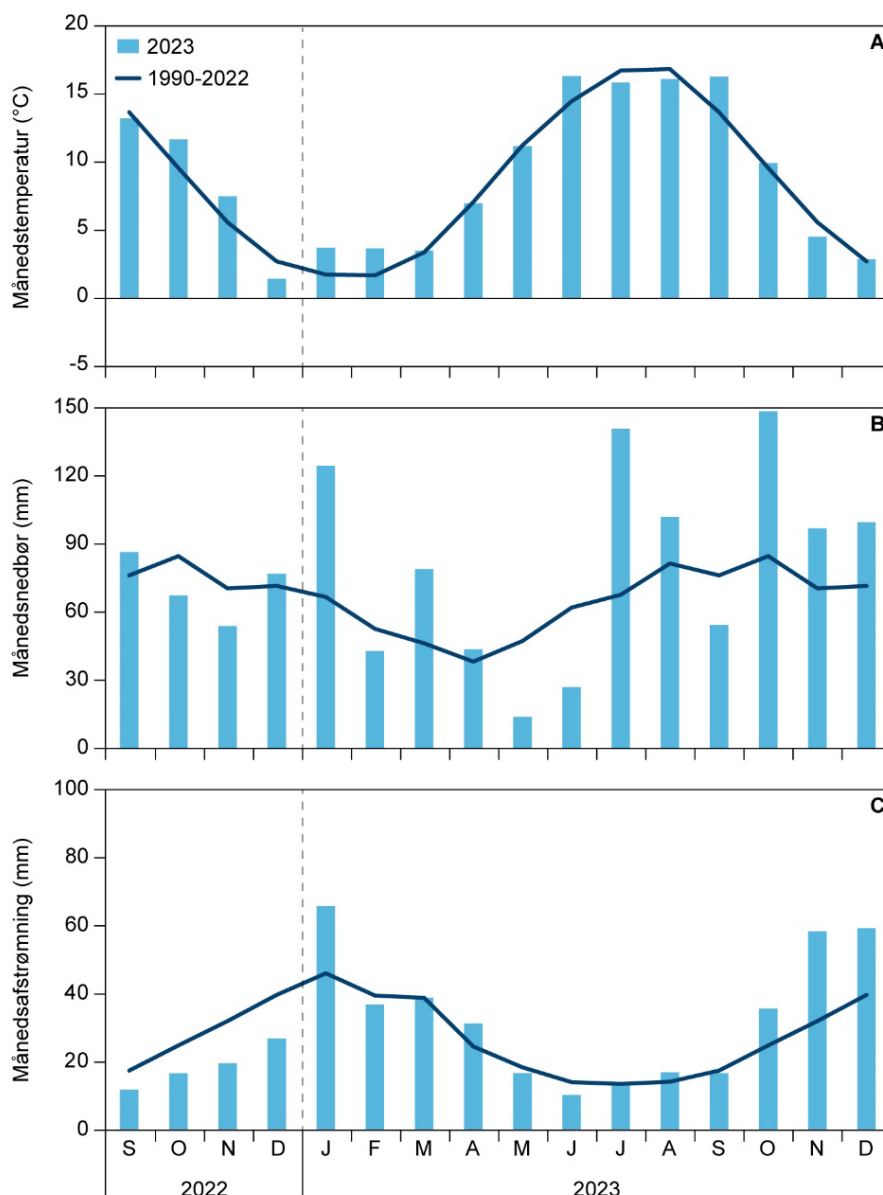
Figur 2.2. Areal-specifik ferskvandsafstrømning til marine kystafsnit i 2023 (mm/år).



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

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). Syrepåvirkning af danske vandløb kan fx forekomme ved iltning af pyrit fra drænedede lavbunds-jorder (Kjærgaard, 2007). I årets NOVANA rapport "Vandløbsøkologi 2023" er der et afsnit omkring samspillet imellem fx alkalinitet og økologisk kvalitet for bentiske (bundlevende) kiselalger (Pacheco & Larsen, 2024). Her findes der er sammenhæng imellem forholdsvis lav alkalinitet og forholdsvis høj økologisk tilstand. Det skal dog nævnes at den geografiske variation i alkaliniteten ser ud til i høj grad at være naturbestemt.

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 der har gennemløbet 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.

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.

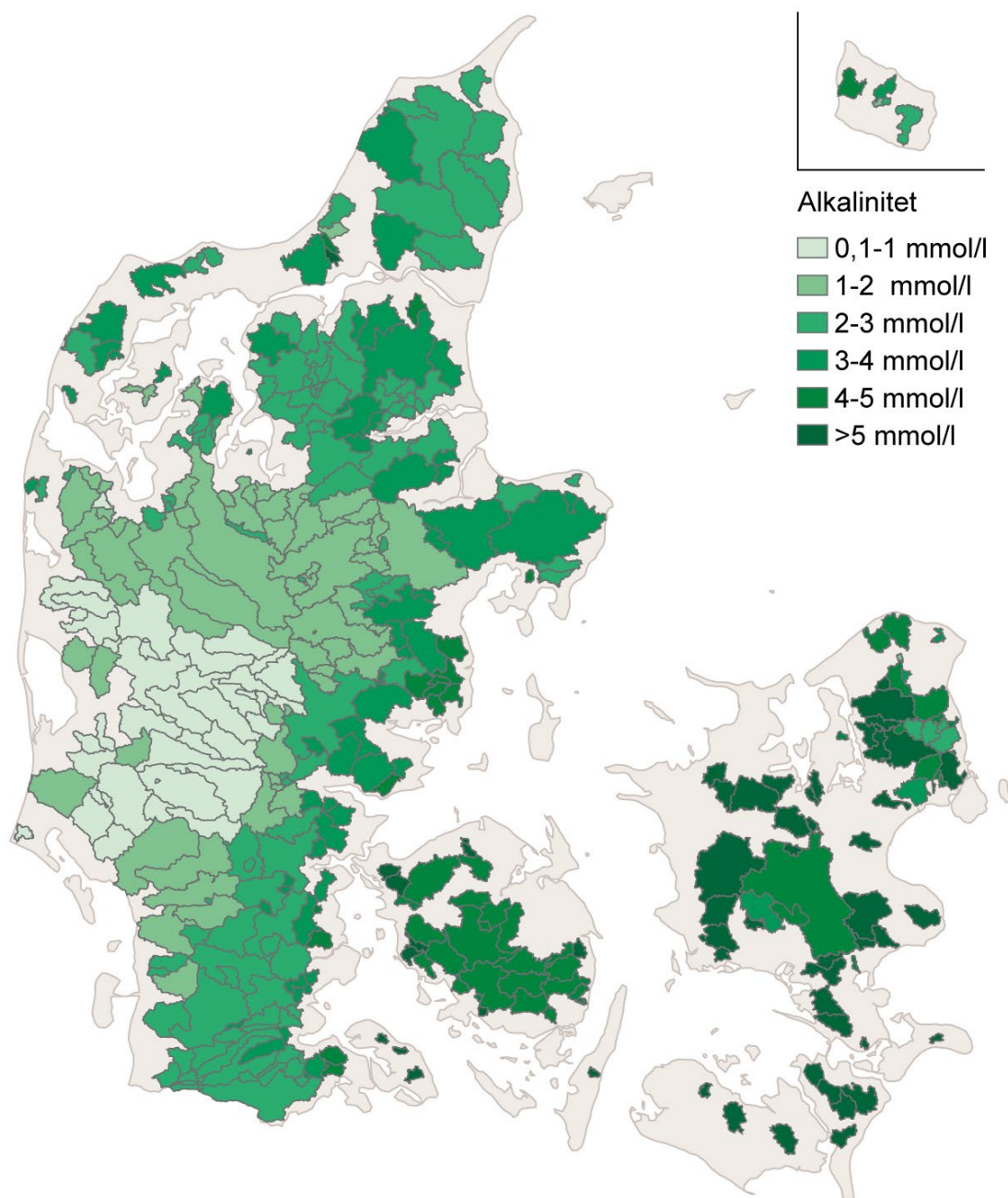
|      | LOOP<br>(dræn og vand-<br>løb) | MFS | Vandløb | I alt       |
|------|--------------------------------|-----|---------|-------------|
| 1990 | 137                            | 0   | 2747    | <b>2884</b> |
| 1991 | 132                            | 0   | 2604    | <b>2736</b> |
| 1992 | 126                            | 0   | 2601    | <b>2727</b> |
| 1993 | 144                            | 0   | 1916    | <b>2060</b> |
| 1994 | 211                            | 0   | 1928    | <b>2139</b> |
| 1995 | 168                            | 0   | 1893    | <b>2061</b> |
| 1996 | 126                            | 0   | 1876    | <b>2002</b> |
| 1997 | 133                            | 0   | 1775    | <b>1908</b> |
| 1998 | 196                            | 0   | 2073    | <b>2269</b> |
| 1999 | 162                            | 0   | 1547    | <b>1709</b> |
| 2000 | 150                            | 0   | 1677    | <b>1827</b> |

|              |             |             |              |              |
|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 2001         | 153         | 0           | 1428         | <b>1581</b>  |
| 2002         | 143         | 0           | 1386         | <b>1529</b>  |
| 2003         | 123         | 0           | 1511         | <b>1634</b>  |
| 2004         | 156         | 0           | 2441         | <b>2597</b>  |
| 2005         | 153         | 0           | 2404         | <b>2557</b>  |
| 2006         | 130         | 0           | 2053         | <b>2183</b>  |
| 2007         | 156         | 0           | 1798         | <b>1954</b>  |
| 2008         | 157         | 0           | 693          | <b>850</b>   |
| 2009         | 146         | 0           | 628          | <b>774</b>   |
| 2010         | 174         | 0           | 843          | <b>1017</b>  |
| 2011         | 213         | 0           | 818          | <b>1031</b>  |
| 2012         | 172         | 0           | 1042         | <b>1214</b>  |
| 2013         | 204         | 0           | 701          | <b>905</b>   |
| 2014         | 233         | 0           | 716          | <b>949</b>   |
| 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> |

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.

### 3.2 Geografisk variation

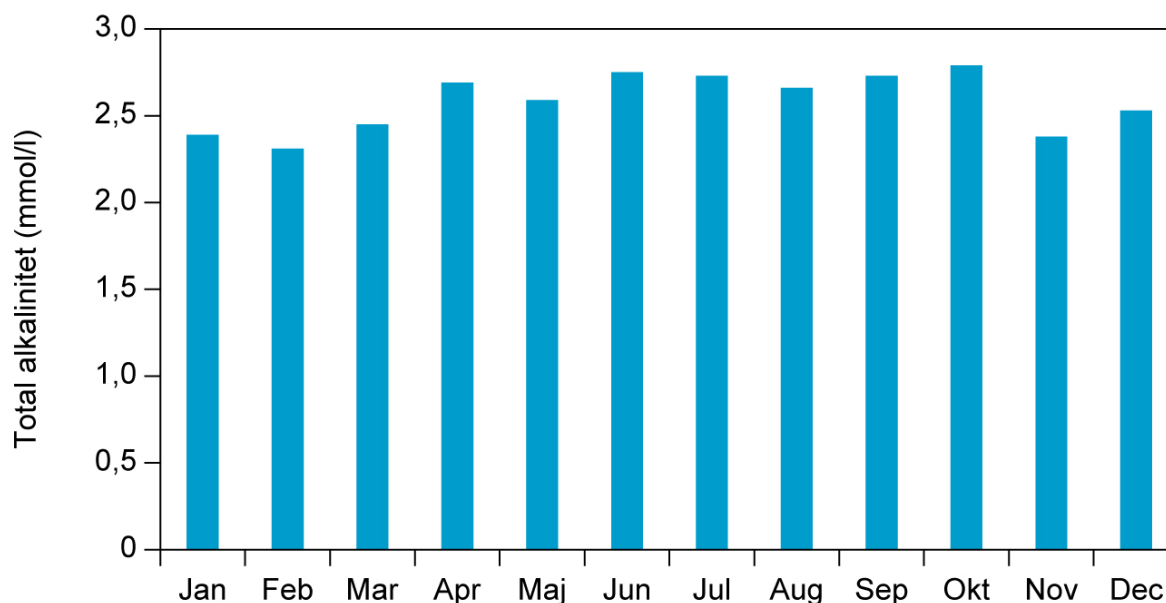
Geografisk fordeler stationerne sig over landet, som vist på figur 3.1. Det ses tydeligt, at de højeste værdier findes på Sjælland, Fyn, i Østjylland samt enkelte steder i Nordjylland, mens de laveste værdier findes i Vestjylland og langs hovedopholdslinjen i Midtjylland.



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

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

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).



**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 34 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.

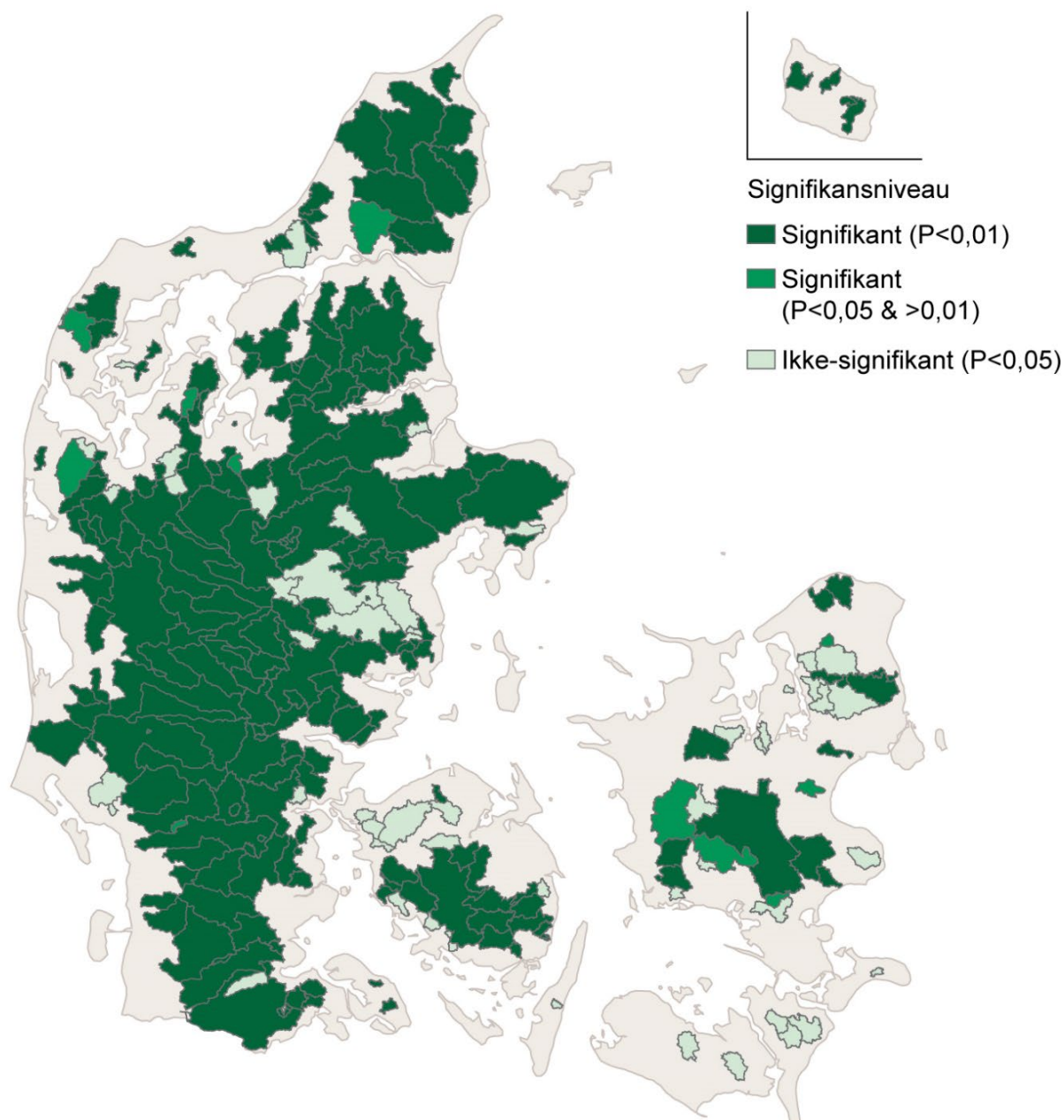
### 3.4 Vandføring og alkalinitet

En bestemmende faktor, udover geologien, for alkalinitetsniveauet 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 muligheden for optagelse af basiske ioner er mindre (USGS, 2018).

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.

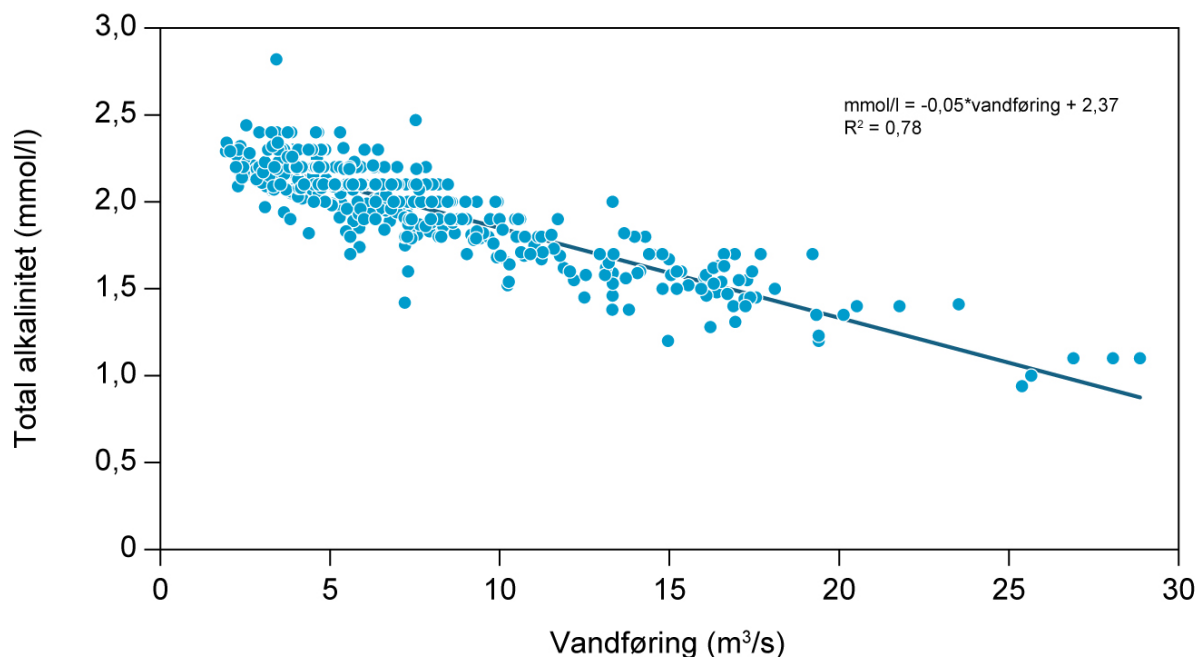


Stationerne og de dertilhørende oplande indgår i figur 3.3, hvis de har  $\geq 20$  observationspar. Det giver i alt 33.175 observationspar fordelt på 292 stationer. Figur 3.3 viser, at stationer med en signifikant sammenhæng mellem alkalinitet og vandføring er i væsentligt overtal og er bredt fordelt 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.



**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).

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



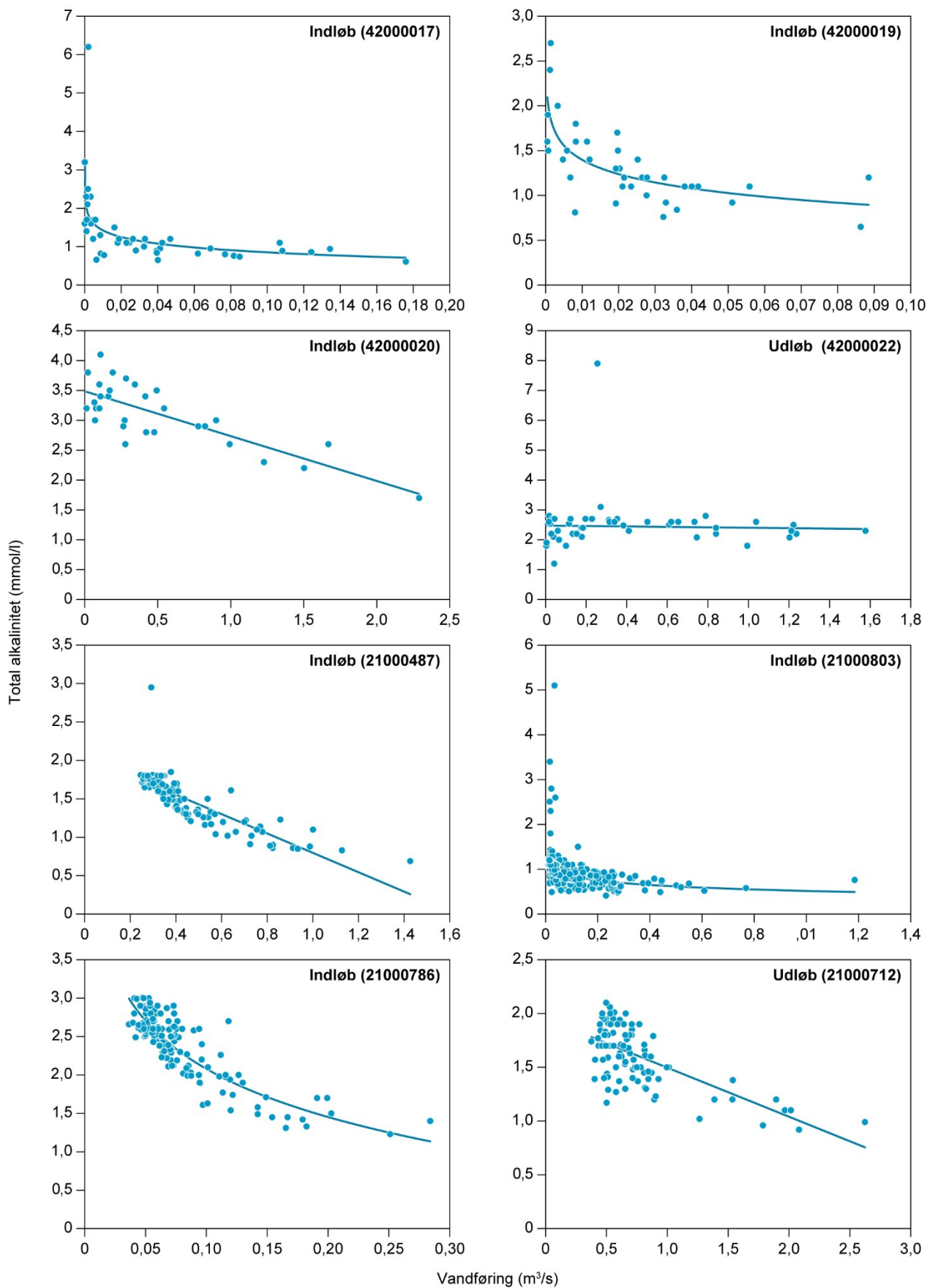
**Figur 3.4.** Sammenhæng imellem daglig middel vandføring og målt total alkalinitet. Station 36000009 (Konge Å, V. Vilslev Spang).

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.

### 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.

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.

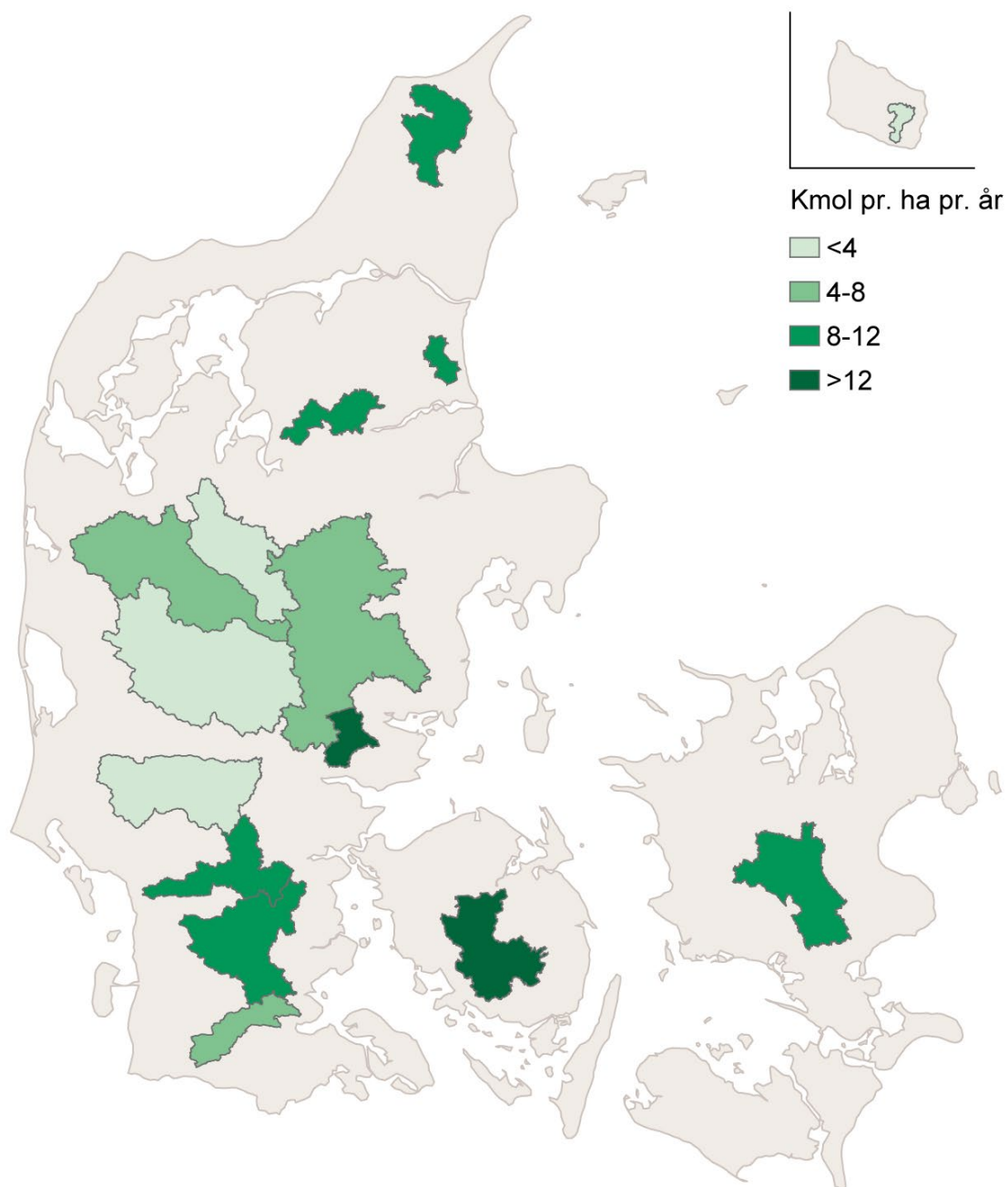
For Store Søgaard Sø udviser indløbene en negativ sammenhæng mellem vandføring og alkalinitet, mens sammenhængen for udløbet er ikke-signifikant, hvilket er i tråd med forventningen oven for. Det samme gør sig ikke gældende for Hinge Sø, hvor sammenhængen består på tværs af ind- og udløb. Forskellen kan potentielt tilskrives, at den gennemsnitlige opholdstid i Store Søgaard Sø (33 dage) er væsentligt længere end i Hinge Sø (20 dage).

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

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

### 3.6 Stoftransport

Figur 3.1 oven for viste, at alkalinitetsniveauerne er højest øst og nord for opholdslinjen, mens vandføringen omvendt er højest i det vestlige Jylland. Figur 3.6 illustrerer den gennemsnitlige transporterede mængde opgjort som areal-specifikt tab i kmol pr. ha pr. år for stationer/oplande udvalgt efter størrelse og geografi. De inkluderede stationer har en betydelig vandføring, og sammenhængen mellem vandføring og alkalinitet er stærk. Derudover er stationerne spredte rundt i Danmark for at give en jævn geografisk repræsentation. Det daglige alkalinitetsniveau er bestemt ud fra funktionen af vandføring og alkalinitet for umålte såvel som målte dage. De udvalgte oplande udviser overordnet set samme tendens som i figur 3.1 med de laveste transporter vest og syd for opholdslinjen.



**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.

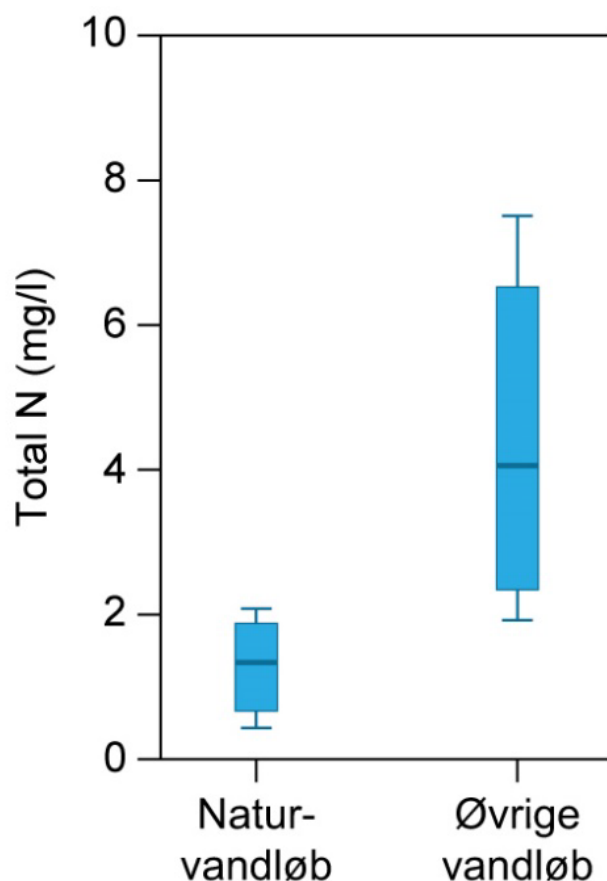
I selve vandløbene har kvælstof normalt relativt lille betydning for miljøet. Dog har forhøjede koncentrationer af ammoniak giftvirkning på smådyr og fisk, ligesom forhøjede koncentrationer af ammonium-N kan udelukke tilstedeværelsen af visse vandplanter. Vandløbene er en vigtig transportvej for kvælstof 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

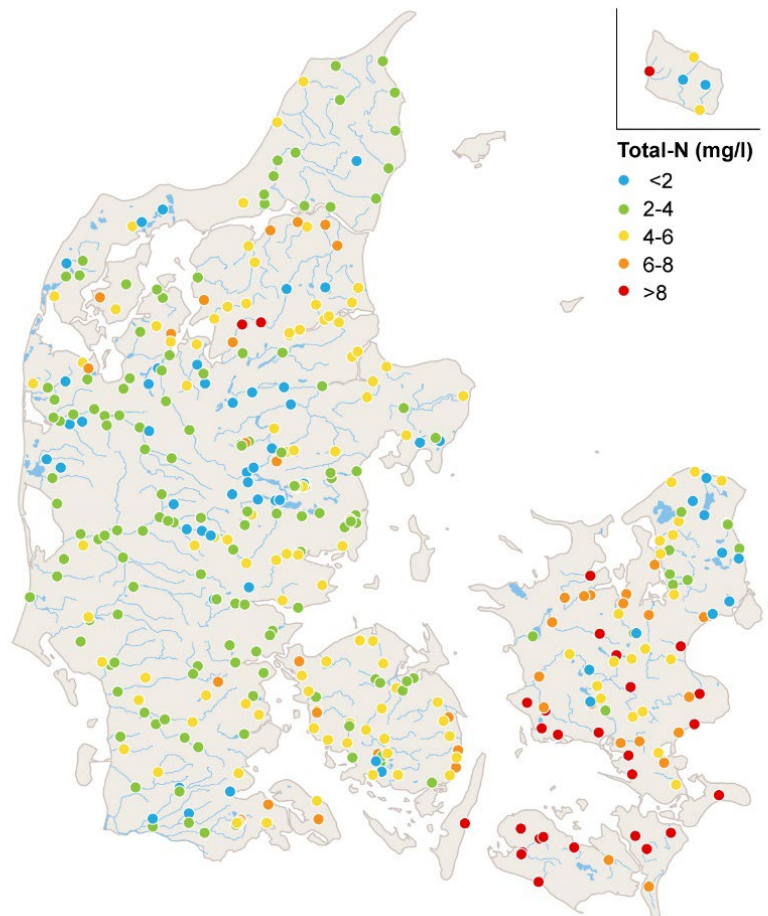
Vurderingen af kvælstofkoncentrationer i vandløb er siden 2018 baseret på et væsentligt større antal vandløb end tidligere år, da NOVANA er blevet udvidet til næsten det dobbelte antal vandløb. Dette giver et mere dækkende geografisk billede. Median-koncentrationen af kvælstof i vandløb, som ligger i 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 (1,4 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.

**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.

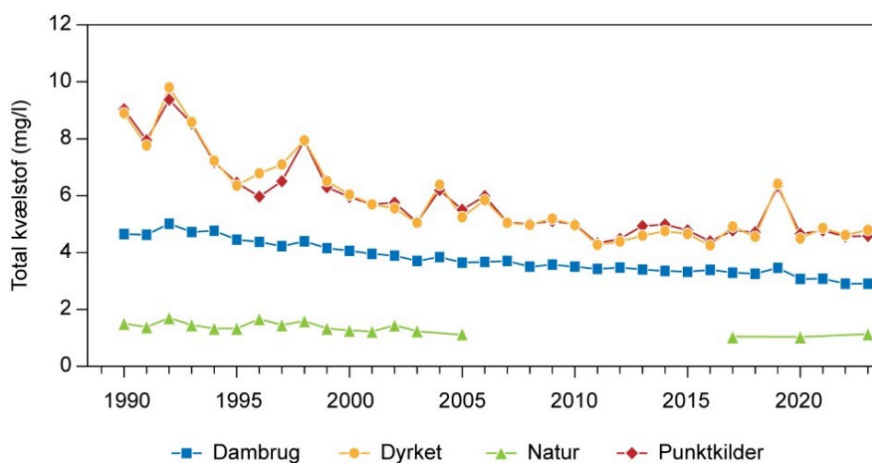
Kvælstofkoncentrationen i vandløbene har for størstedelen af perioden været faldende, mens koncentrationen de seneste 5-10 år har været omtrent konstant (Figur 4.3). Faldet i kvælstofkoncentration har været tydeligst i de vandløb, der ligger i dyrkede oplande eller modtager betydende udledninger af by- 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 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.

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.



**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<br>( $p < 0,05$ ) | Antal med signifikant stigning<br>( $p < 0,05$ ) | 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.

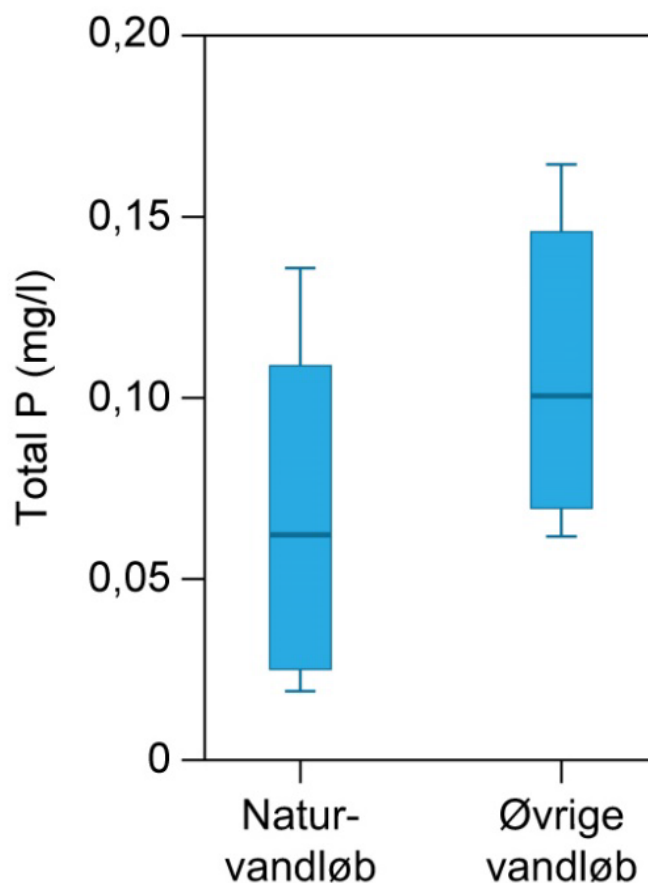
### 5.1 Tilstanden i 2023

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 55 % højere (0,101 mg P/l) end niveauet målt i naturvandløb i 2023 (0,065 mg P/l) (Figur 5.1).

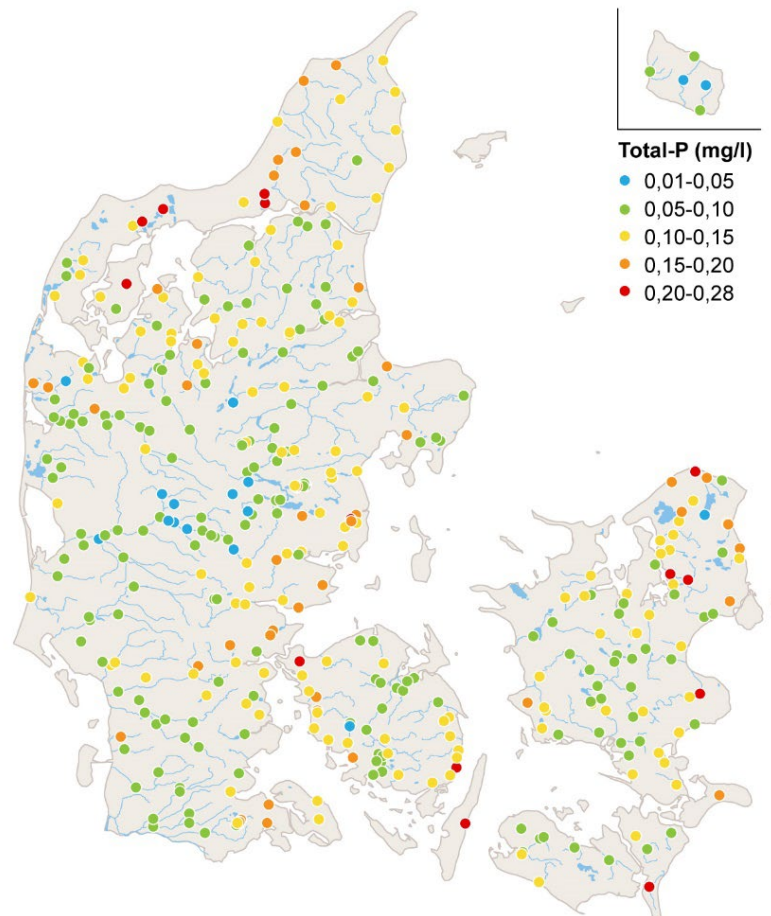
Der er en betydelig variation i koncentrationerne. Tidligere analyser af målinger fra naturvandløb har vist, at der er regionalt betingede forskelle i koncentrationen af fosfor, som kan forklare noget af variationen (Bøgestrand m.fl. 2009; Andersen et al., 2022).

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



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.

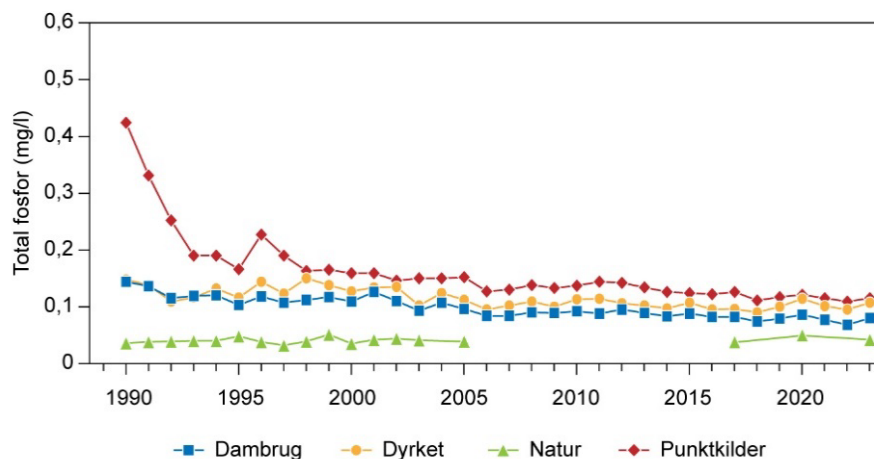


## 5.2 Udviklingen siden 1990

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.

**Figur 5.3.** Udvikling i fosforkoncentration siden 1990. Gen-nemsnit 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.



**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. I 2023 er der aktuelle måledata fra 205 stationer. De resterende 27 stationer (232-205=27) er for største delen nedlagte stationer. For 142 af de 232 målestationer 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 totalt diffust kvælstof fra umålt opland er det beregnede årlige nationale kvælstofoverskud på mark-niveau (markbalancen). Der er i Blicher-Mathiesen

m.fl. (2015) foretaget visse justeringer ved beregning i tidsserien (1990-2013) for denne markbalance. I de modelberegninger, der er foretaget i de aktuelle opgørelser, er markbalancerne beregnet i henhold til Blicher-Mathiesen m.fl., (2015). Den statistiske total-kvælstofmodel, der anvendes for umålt opland, er konstrueret ud fra data fra et antal målestationer (Windolf m.fl., 2011). 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.

Data for udledninger af spildevand fra punktkilder er for samtlige år leveret af Fagdatacentret for Punktkilder (Styrelsen for Grøn Arealomlægning, tidligere under Miljøstyrelsen). Der er ikke foretaget en korrektion af total-kvælstof- og total-fosfor-værdier for eventuelt forkerte analysemetoder på data fra 2016 eller tidligere år (Miljøstyrelsen, 2018). Udledningerne fra spredt bebyggelse, regnbetingede udløb, havbrug og i et vist omfang dambrug er for en stor dels vedkommende opgjort på baggrund af enhedstal og modeller og er derfor ikke berørt af analysefejlen (Miljøstyrelsen, 2018). For kvælstof udgør disse udledninger 40 % af den totale punktkildeudledning (Miljøstyrelsen, 2023). For særskilte opgørelser af punktkildetilførsler af total-kvælstof og total- fosfor henvises der til rapporten Punktkilder 2022 (Miljøstyrelsen, 2024).

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

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

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

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

Visse anlæg udleder direkte til havet. Det drejer sig især om større renselanlæg, særskilte industrielle udledere, regnvandsbetingede udledninger og salt-

vandsbaserede fiskeopdræt. Tidligere angivelser i den hydrologiske reference af, hvorvidt et anlæg udleder direkte til havet, var desværre fejlbehæftede. Det er aftalt mellem fagdatacentre for punktkilder og ferskvand at definere direkte udledninger således, at koordinaterne for udledningspunktet enten ligger ude i havet eller på land, højst 100 meter fra kystlinjen. Metoden er brugt til renseanlæg, industrielle udledere, dambrug og regnvandsbetingede udledninger. Saltvandsbaserede fiskeopdræt betragtes konsekvent som direkte udledere til havet.

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

Der foretages for kvælstof, fosfor og nitrat en normalisering (nogle gange omtalt som klimanormalisering) af transporter/tilførsler i form af en månedlig afstrømningsnormalisering på den aktuelle geografiske skala. Afstrømningsnormaliseringen er nærmere beskrevet i Larsen & Svendsen (2021). Afstrømningsnormaliseringen foretages for bedst muligt at kunne tage højde for variationer i ferskvandsafstrømningen for det enkelte års kvælstoftilførsel. Metoden består i at fitte en lineær model til 1. ordens differenser for logaritme-transformerede data hver kalendermåned. Der er ingen afskæringsparameter i modellen, og 1. ordens differensen er mellem år  $i$  og  $i-1$  for en given kalendermåned. 1. ordens differenser beregnes både for transport- og afstrømningsdata og efter, at data er logaritmetransformeret. Den naturlige logaritmfunktion anvendes ved transformationen. Efter modelfit og beregning af residualer og normaliserede værdier tilbagetransformeres disse, adderes op på årsniveau og korrigeres for bias, så de normaliserede værdier kommer til at passe i niveau med de ikke-normaliserede værdier. Den normaliserede transport illustrerer den kvælstoftransport, der ville have været det enkelte år, såfremt vandafstrømningen havde været konstant gennem perioden 1990-2023 (324 mm/år).

## 6.2 Kvælstoftilførsel til havet i 2023

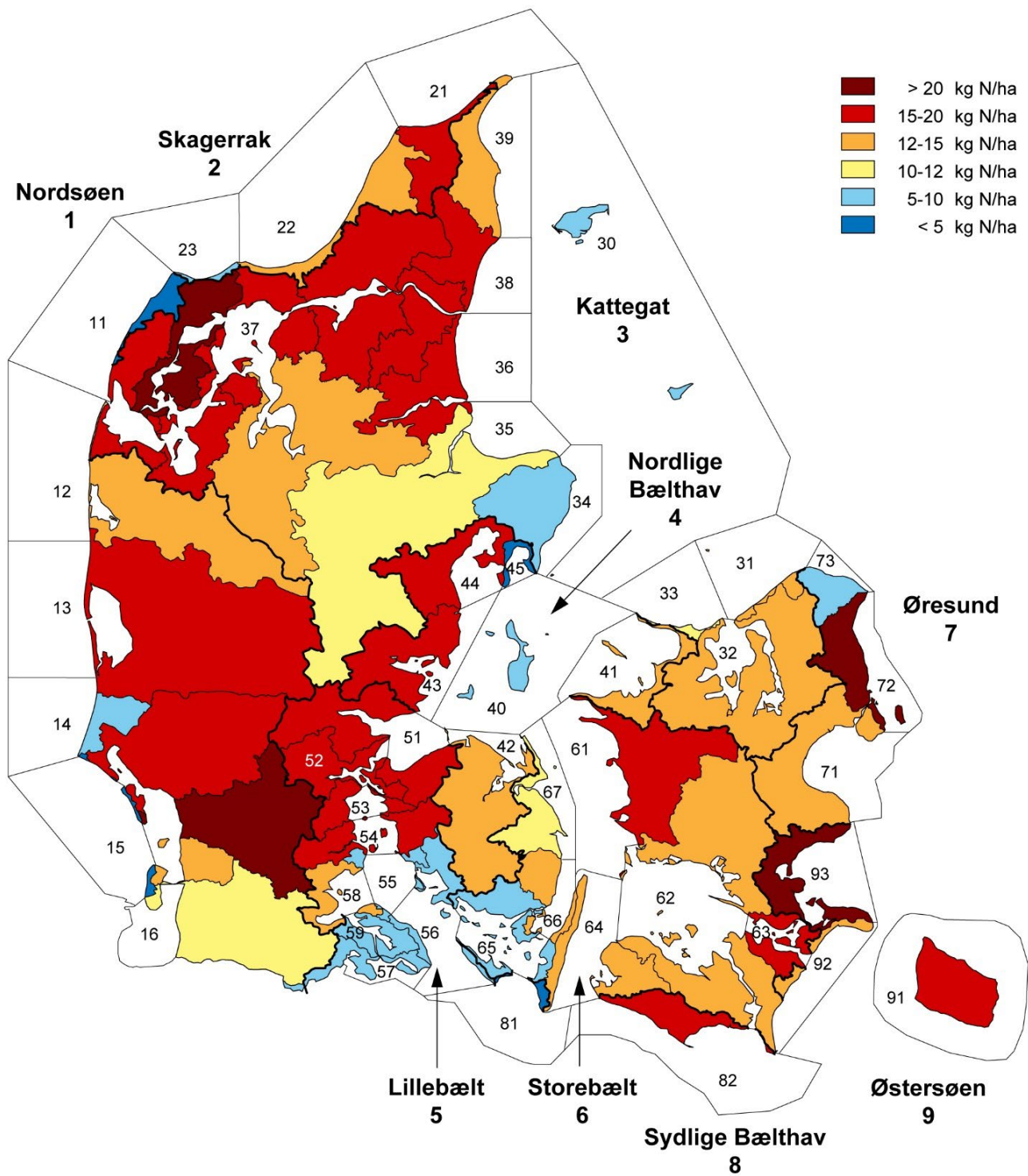
For 2023 blev der i alt beregnet en tilførsel på omkring 65.000 tons total- kvælstof fra land til kystafsnittene omkring Danmark. Dette er 44 % mere end for 2022, hvor tilførslen var ca. 45.000 ton N. Samtidig var vandafstrømningen på 404 mm i 2023 ca. 43 % højere end i 2022, hvor den var 282 mm. Dermed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

Tabet af total-kvælstof pr. ha opland til de kystnære vande var som gennemsnit i 2023 omkring 15,1 kg N/ha mod ca. 10,5 kg N/ha i 2022. Der var dog betydelige afvigelser imellem de forskellige dele af landet (Figur 6.1). I nogle oplande var tabet til de kystnære vandområder mindre end gennemsnittet, fx i Gudenå-systemet. Her sker der via vandløbssystemets mange søer en væsentlig fjernelse af det tilførte kvælstof, inden vandet løber ud i Randers Fjord (Figur 6. 1). Det almindelige mønster er forholdsvist små oplandstab i Østdanmark, mens der ses større oplandstab i de vestlige og nordlige dele af Jylland. Det skyldes, at kvælstofoverskuddet på markerne i Østdanmark typisk er mindre end gennemsnittet (Windolf m.fl. 2012b), samt at vandafstrømningen i det østlige Danmark er væsentligt mindre end mod vest. Dette sædvanlige mønster ses også for 2023 (Figur 6.1). Der ses forholdsvist høje oplandstab i dele

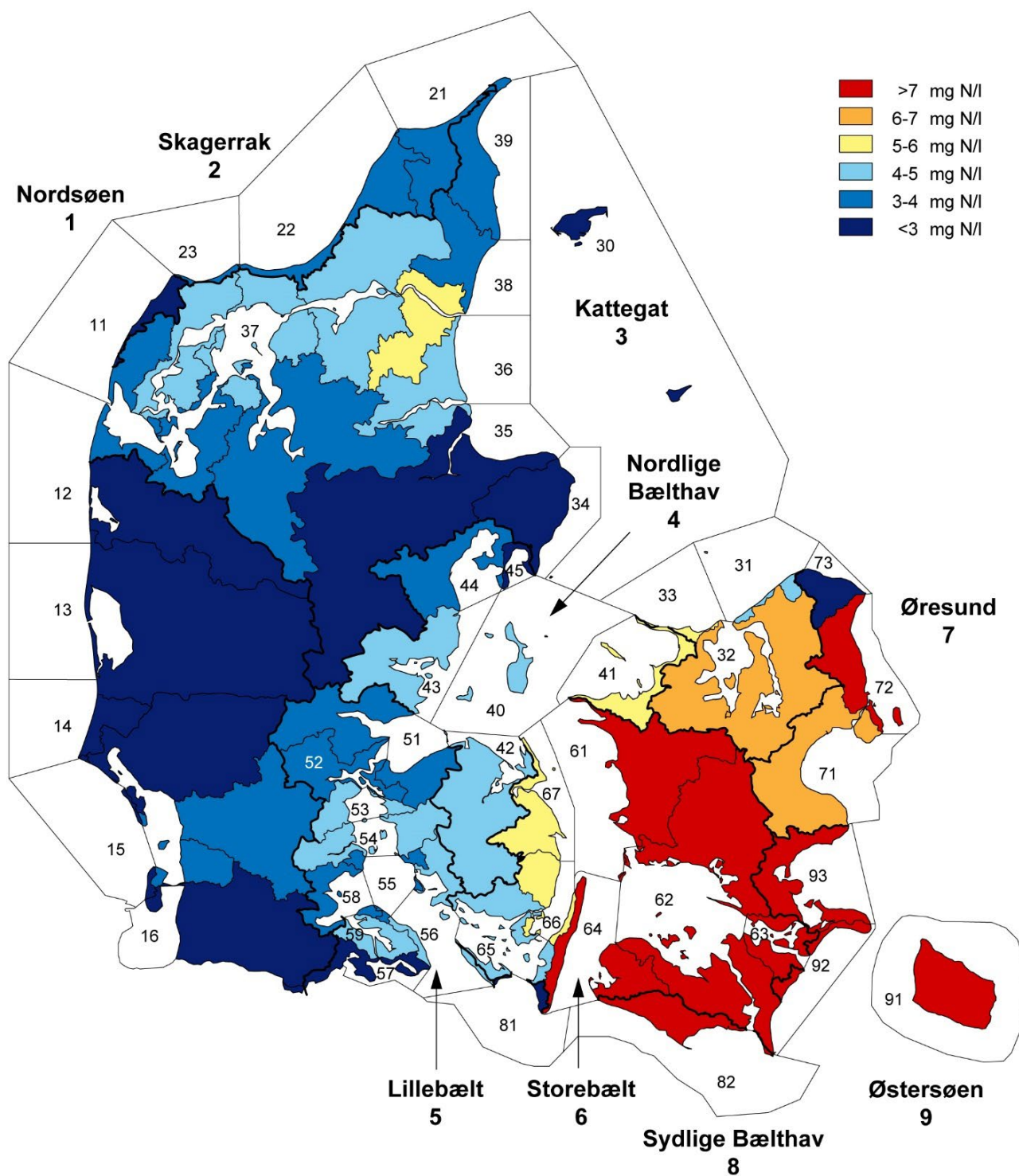


af oplandet til Limfjorden, Ringkøbing fjord og oplandene til den nordlige del af Vadehavet og Bornholm. Men også for Øresund, hvor hovedparten af kvælstoftilførslen kommer fra punktkilder. Der ses forholdsvis lave tab på Djursland og i oplandet til Randers- og Flensborg fjord, på Als og dele af Fyn.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

Den vandføringsvægtede koncentration af total-kvælstof for hele landet er for 2023 opgjort til 3,7 mg N/L og er dermed den samme som de 3,7 mg N/l i 2022 i afrundede værdier (Figur 6.5c). 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.



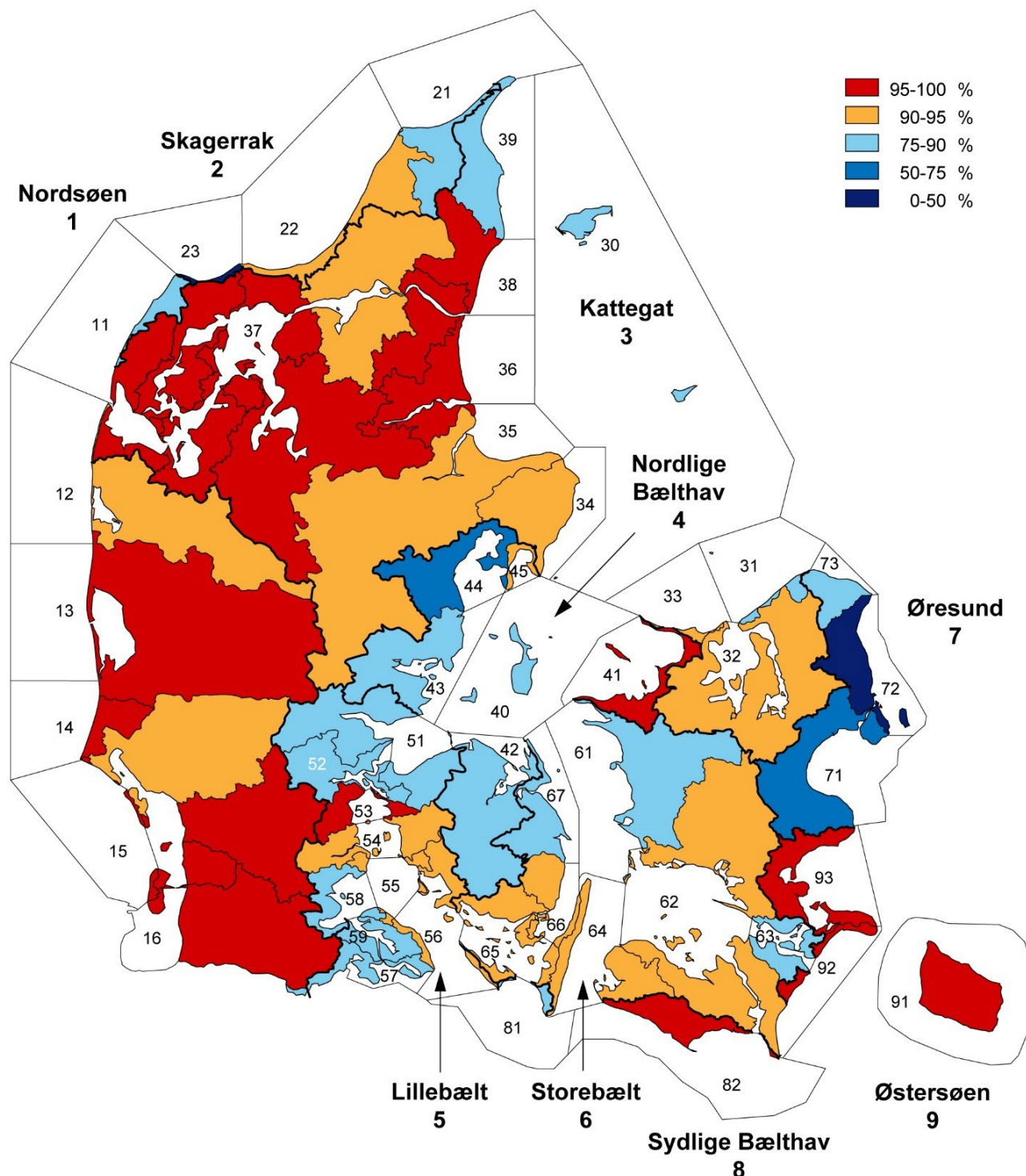
Figur 6.1. Areal specifikt tab af kvælstof fra oplandene (inklusive bidrag fra punktkilder) til marine kystafsnit i 2023



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

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. renselanlæg, regnbetingede udledninger, akvakultur og industri med særskilt udledning) på ca. 6.200 tons i 2023. Den diffuse tilførsel

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). Da der ikke er beregnet retention imellem punktkildens udløb og havet er punktkildetilførslen lidt overestimeret. Retentionen imellem alle punktkilder og havet kan beregnes til ca. 5 %, hvorved punktkildetilførslen kan opgøres til ca. 5.900 tonN (Højberg m.fl. 2021; Thodsen m.fl. 2023).



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

### 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

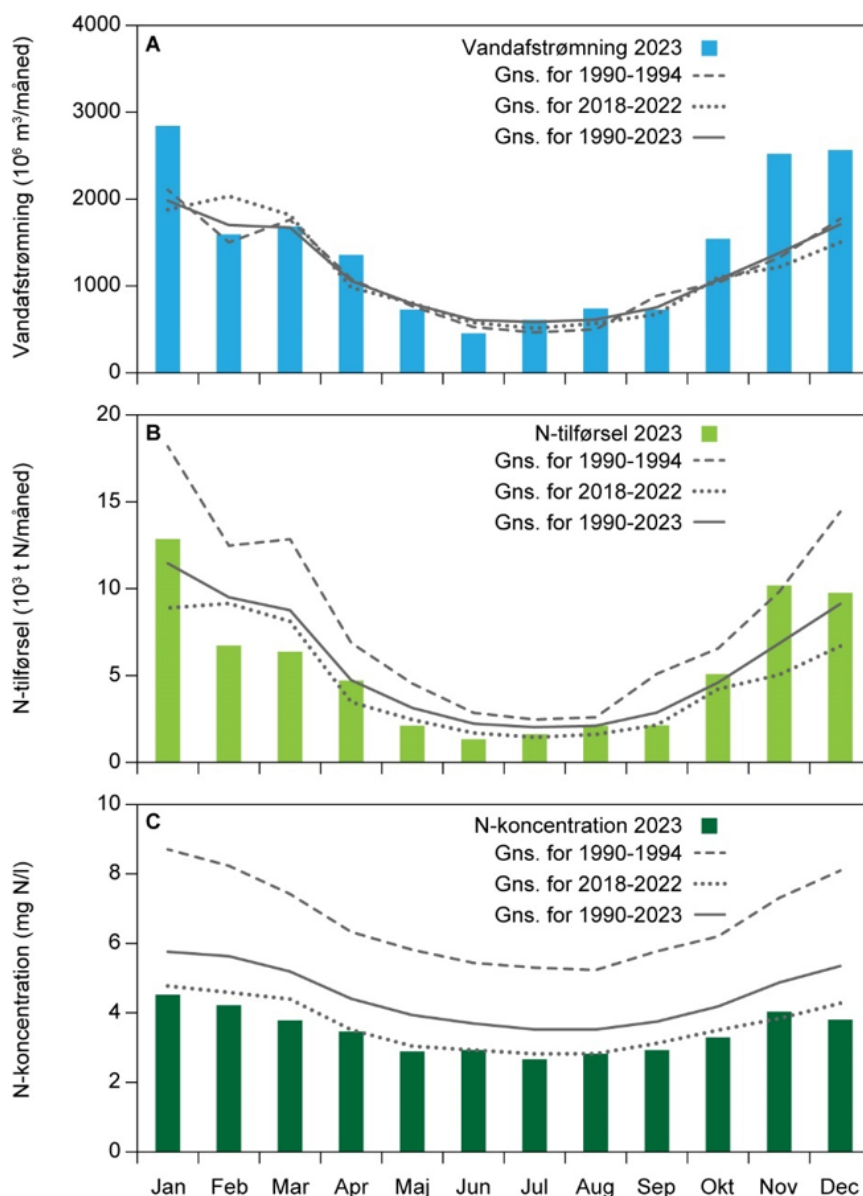
1990, det samme var gældende for årets sidste 3 måneder. November havde den højeste november afstrømning i overvågningsperioden. I resten af året var vandafstrømningen tæt på det normale niveau.

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

Kvælstofkoncentrationerne i det afstrømmende vand var for alle måneder tydeligt mindre end gennemsnittet for perioden 1990 - 2023 (Figur 6.4, C). Kvælstofkoncentrationen lå for alle måneder tæt på eller under middel for periode 2018-2022, undtagen november som ligger lidt over.

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

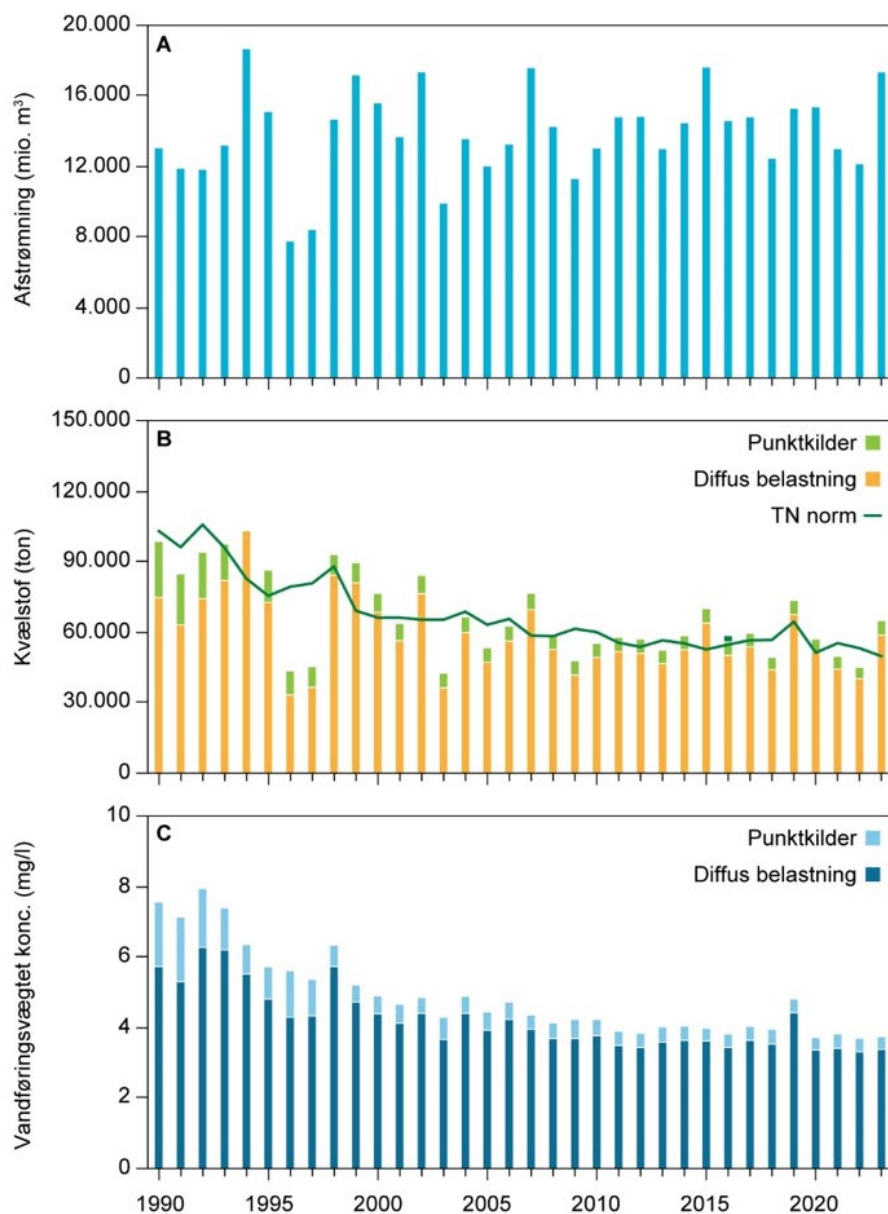
**Figur 6.4.** Månedsvise vandafstrømning (A), kvælstoftilførsel (B) og vandføringsvægtet kvælstofkoncentration i det afstrømmende vand til havet omkring Danmark (C) i 2023 og som gennemsnit for perioderne 1990-2023, 2018-2022 og 1990-1994. Afstrømningsdata er influeret af homogenitetsbrud i vandføringsmålingerne,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

**Figur 6.5.** Udvikling i areal specifik ferskvandsafstrømning (A), kvælstoftilførsel, afstrømningsnormaliseret kvælstoftilførsel (TN-norm) og tilførsel fra hhv. diffuse- og punktkilder(B) og vandføringsvægtet 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 ferskvand. For 2016 er der en ekstraordinær tilførsel på 2.755 tons N som følge af ulykke på Fredericia havn (Thodsen m.fl. 2018). Afstrømningsdata 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 nu SGAV 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

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

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

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 tre lineære modelers matematiske formler. Konfidensintervaller på det samlede fald er beregnet ved anvendelse af standard error på estimererne 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 Bælt hav 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 Bælt hav         | -47              | -49               |
| Lillebælt                 | -45              | -52               |
| Storebælt                 | -16              | -23               |
| Øresund                   | -21              | -68               |
| Sydlig Bælt hav           | -                | -                 |
| 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 %.

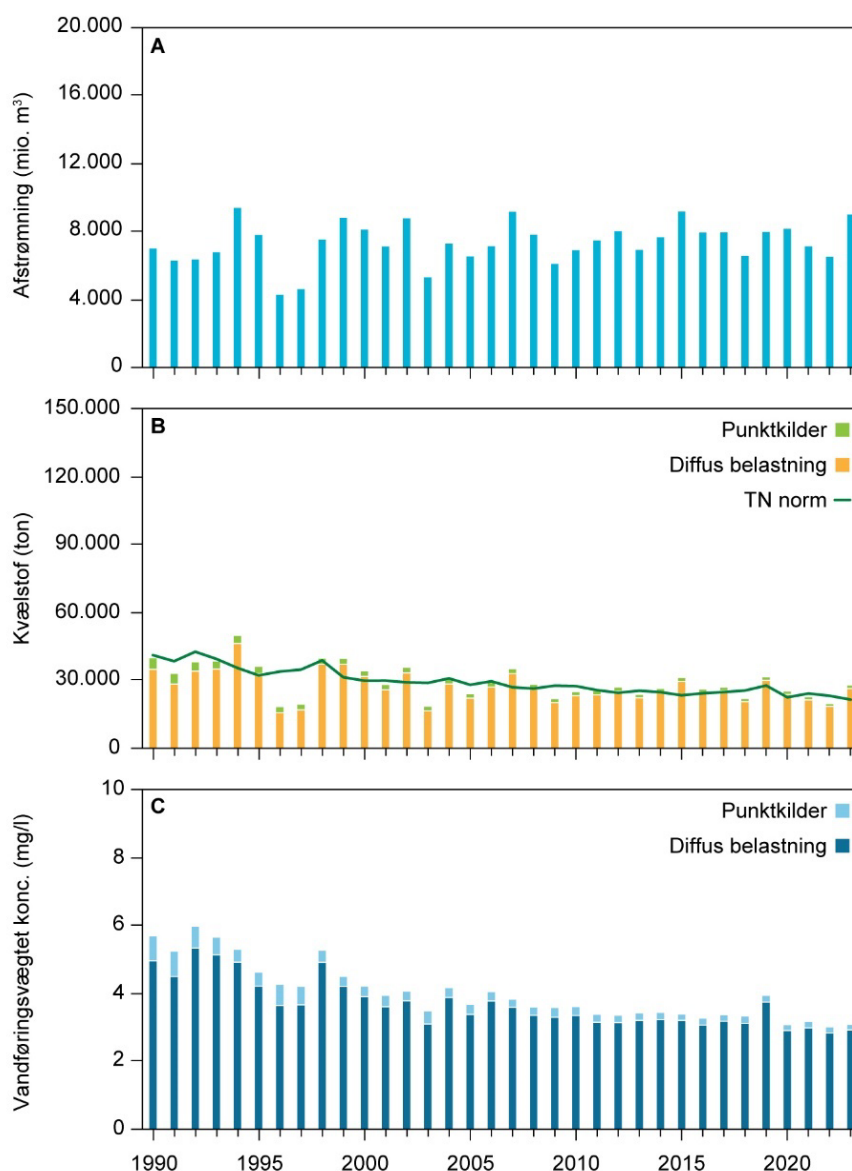


## 6.5 Kvælstoftilførsel fra målt opland

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



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.

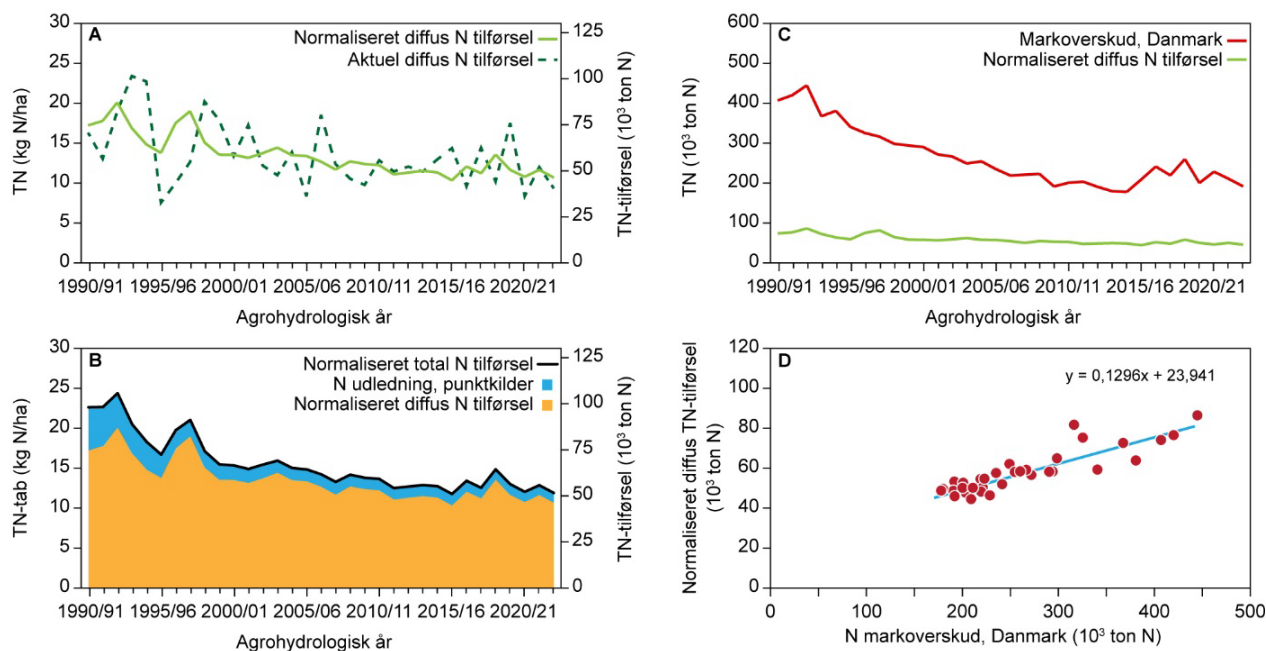
Den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration for det målte opland er for 2023 opgjort til 3,1 mg N/l mod 3,0 mg N/l i 2022 (Figur 6.6, C). Kvælstofkoncentrationen i begyndelsen af måleperioden 1990 til 2023 var højere, end den er nu. Middelkvælstofkoncentrationen 1990 til 1994 var 5,6 mg N/l, mens middel for de foregående fem år (2018-2022) er 3,3 mg N/l. Ved sammenligning med kvælstofkoncentrationen for hele landet, som er opgjort til 3,7 mg N/l for 2023, ses det, at koncentrationen for det permanent målte opland, er lavere. Det skyldes sandsynligvis primært tre forhold; 1) de fleste store punktkilder udleder direkte til kysten eller i umålt opland og er derfor kun med til at hæve koncentrationen for hele landet 2) kvælstofretentionen for både overfladevand og grundvand er sandsynligvis generelt størst i de centrale dele af landet, som er målt opland 3) nedbøren er størst i de centrale dele af landet (specielt i Jylland), hvilket kan medføre en fortynding af kvælstofmængden mod en lavere koncentration.

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

## **6.6 Udvikling i nøgleindikatorer af betydning for kvælstoftilførslen**

Som bl.a. vist i dette kapitel er der en væsentlig kobling mellem størrelsen af ferskvandsafstrømningen og den tilknyttede kvælstoftilførsel. I nedbørsrige år med stor ferskvandsafstrømning vil der typisk også være en større kvælstoftilførsel end i nedbørsfattede år. Variationer i ferskvandsafstrømningen medfører således en betydelig år til år variation i kvælstofafstrømningen. Denne variation vanskeliggør i nogen grad en vurdering af, hvorledes de kvælstofbegrænsende tiltag generelt er slået igennem. Betydningen af variationer i ferskvandsafstrømningen for det enkelte års kvælstoftilførsel er i bl.a. Figur 6.7A søgt reduceret. Figuren viser dels den - stærkt varierende - aktuelle samlede kvælstoftransport i vandløb fra diffuse kilder de enkelte agrohydrologiske år (1. april til 31. marts det følgende kalenderår) i perioden siden 1990/91 og dels den afstrømningsnormaliserede kvælstoftransport, der varierer betydeligt mindre end den aktuelle tilførsel (der indgår også afstrømningsnormaliserede tilførsler af total-kvælstof, målt kvælstoftransport og målt nitrattransport i Figur 6.5, 6.6, 8.2 og 8.3). Det er således nemmere, både statistisk og visuelt, at erkende udviklingen i årstilførslen på normaliserede- end aktuelle tilførsler. Når kvælstoftilførslen til havet søges normaliseret, er det således med den hensigt bedre at kunne belyse betydningen af de påvirkninger af kvælstoftabet til vandmiljøet, der ikke kan forklares af naturlige variationer i klimaforhold. Den helt dominerende påvirkning er her kvælstoftabet fra de dyrkede arealer.

Den anvendte metode til afstrømningsnormalisering er beskrevet i Larsen & Svendsen (2021) og kort i afsnit 6.1. Det bemærkes, at den anvendte normaliseringsmetode ikke tager højde for alle effekter af vejret på dyrkningen og den heraf afledte effekt på kvælstoftilførslen til havet. Der kan fx ikke normaliseres for effekten af dårlig høst som følge af tørke eller for effekten af manglende såning af- eller misvækst af efterafgrøder 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) Aktual 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.

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

Den samlede normaliserede kvælstoftilførsel fra såvel diffuse kilder som fra punktkilder er illustreret i Figur 6.7 (B). Her er 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.

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) ca. 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 beregnes på lignende vis en samlet normaliseret N-tilførsel på 53.000 tons N. 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.

Den dominerende kilde til den diffuse kvælstoftransport i vandløbene er tabet af kvælstof fra de dyrkede arealer. Den markante reduktion i den diffuse, normaliserede kvælstoftilførsel er vist sammen med udviklingen i overskuddet af kvælstof, altså den kvælstofmængde som potentielt kan udvaskes fra markerne (Figur 6.7 C). Markoverskuddet er beregnet som beskrevet i Blicher-Mathiesen m.fl. (2015) og omfatter det samlede markoverskud for hele landets areal, dvs. fra såvel dyrkede som udyrkede arealer. Det ses af figuren, at markoverskud og den diffuse normaliserede kvælstoftilførsel falder i takt med hinanden. Der er således – for perioden som helhed – en signifikant lineær relation mellem det nationale markoverskud og den samlede, normaliserede kvælstoftransport fra diffuse kilder (Figur 6.7, D). Det skal dog nævnes, at relationen for de senere år er markant svagere end for hele perioden. I de seneste 5 opgjorte agrohydrologiske år (1. april til 31. marts) har kvælstofoverskuddet (mark) varieret mellem 192.000 – 260.000 tons N.

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

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

## 6.7 Sammenfatning af resultaterne

- Den samlede kvælstoftilførsel fra land til kystvandene i 2023 er beregnet til ca. 65.000 tons N/år. Heraf udgør kvælstof udledt med spildevand fra punktkilder ca. 6.200 tons N/år. Beregningerne dette år (2023) er baseret på målinger fra 205 kystnære målestationer i vandløb og en model for det resterende umålte opland.

- Den vandføringsvægtede total-kvælstof-koncentration for hele landet var i 2023 3,7 mg N/l, den samme som de 3,7 mg N/l året før i afrundede værdier.
- Den vandføringsvægtede total-kvælstof-koncentration for 90 målestationer med fuld måletidsserie (1990-2023) var i 2023 3,1 mg N/l.
- Den normaliserede kvælstoftilførsel fra diffuse kilder til kystvandene for 2023 (kalender år) er beregnet til ca. 44.000 tons N.
- Den normaliserede totale kvælstoftilførsel til kystvandene for 2023 (kalender år) er beregnet til ca. 50.000 tons N.
- Den normaliserede kvælstoftilførsel fra diffuse kilder til kystvandene for 2022/23 (agro-hydrologisk år) er beregnet til ca. 46.000 tons N.
- Kvælstoftilførslerne fra land til havet er siden 1990 reduceret med omkring 50 % (beregnet ud fra udviklingen i afstrømningsnormaliseret tilførsel).
- Kvælstoftilførslerne fra diffuse kilder er reduceret med omkring 38 % siden 1990.
- Reduktionen i tilførslerne fra diffuse kilder forklares af et fald i kvælstofoverskuddet og kvælstofudvaskningen på de dyrkede marker. Der er dog stor lokal og oplandsspecifik variation i, hvor meget tilførslerne er reduceret gennem perioden.
- De diffuse kilders andel af den samlede kvælstoftilførsel til kystvandene var i 2023 omkring 90 %.
- Punktkildernes andel af den samlede kvælstoftilførsel til kystvandene var i 2023 omkring 10 %.

## 7 Fosfortilførslen til havet

*Henrik Tornbjerg, Hans Thodsen og Søren Erik Larsen*

### 7.1 Datagrundlag og metode

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

Der anvendes data fra i alt 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).

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.

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).

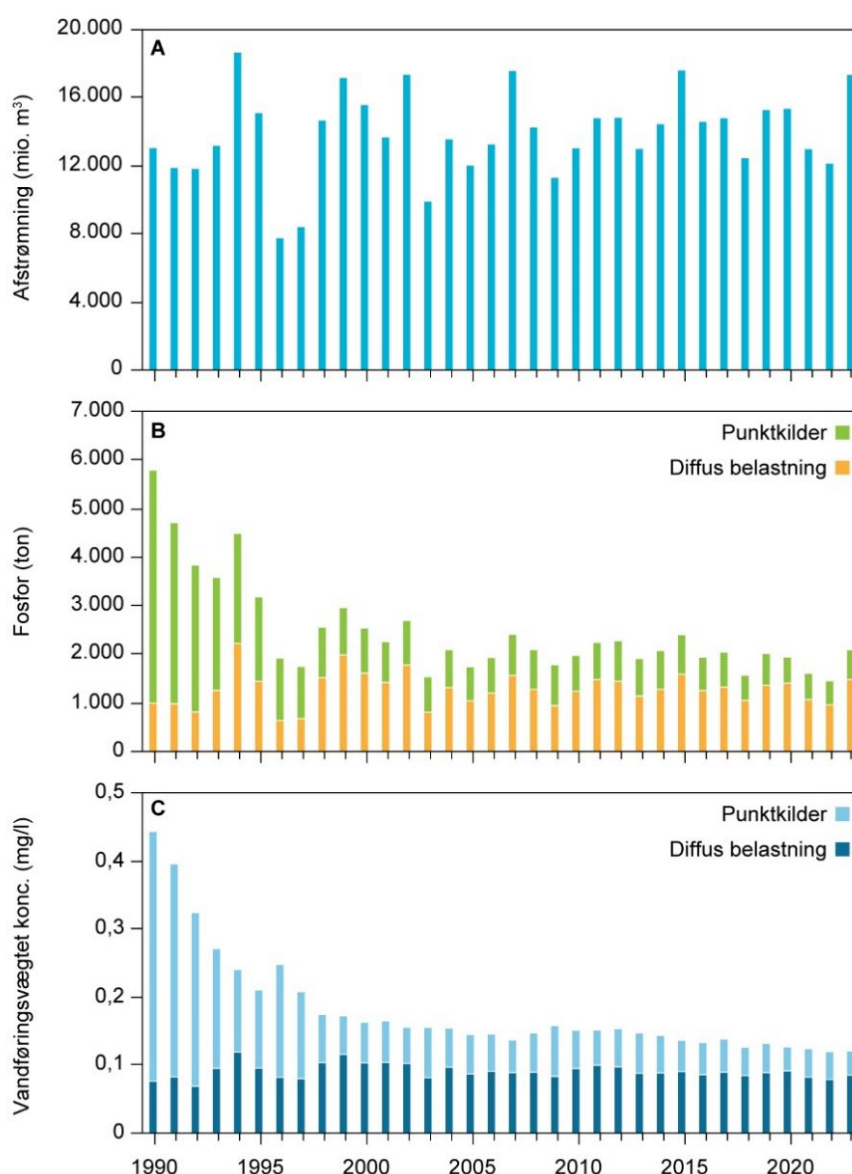
Ved kildeopsplitningen er den samlede diffuse tilførsel angivet som differensen mellem totaltilførslen og spildevandsudledningerne. Det tilgængelige datasæt for spildevandsudledningerne er tilvejebragt som beskrevet i afsnit 6.1.

## 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 forholdsvis 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.



Siden 1990 er der sket et markant fald i de samlede fosfortilførsler til kystvandet. Faldet forklares af den store reduktion i fosforudledningerne med spildevand gennem perioden (Figur 7.1, B), hvilket er en direkte effekt af den forbedrede rensning, som i forbindelse med de daværende amters skærpede

krav og kravene i den første vandmiljøplan blev iværksat omkring og umiddelbart efter 1990. De samlede udledninger af fosfor med spildevand fra punktkilder (uden spildevand fra spredt bebyggelse, der indregnes som diffus kilde) er således faldet fra omkring 4.800 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. Spildevandstilførslerne 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).

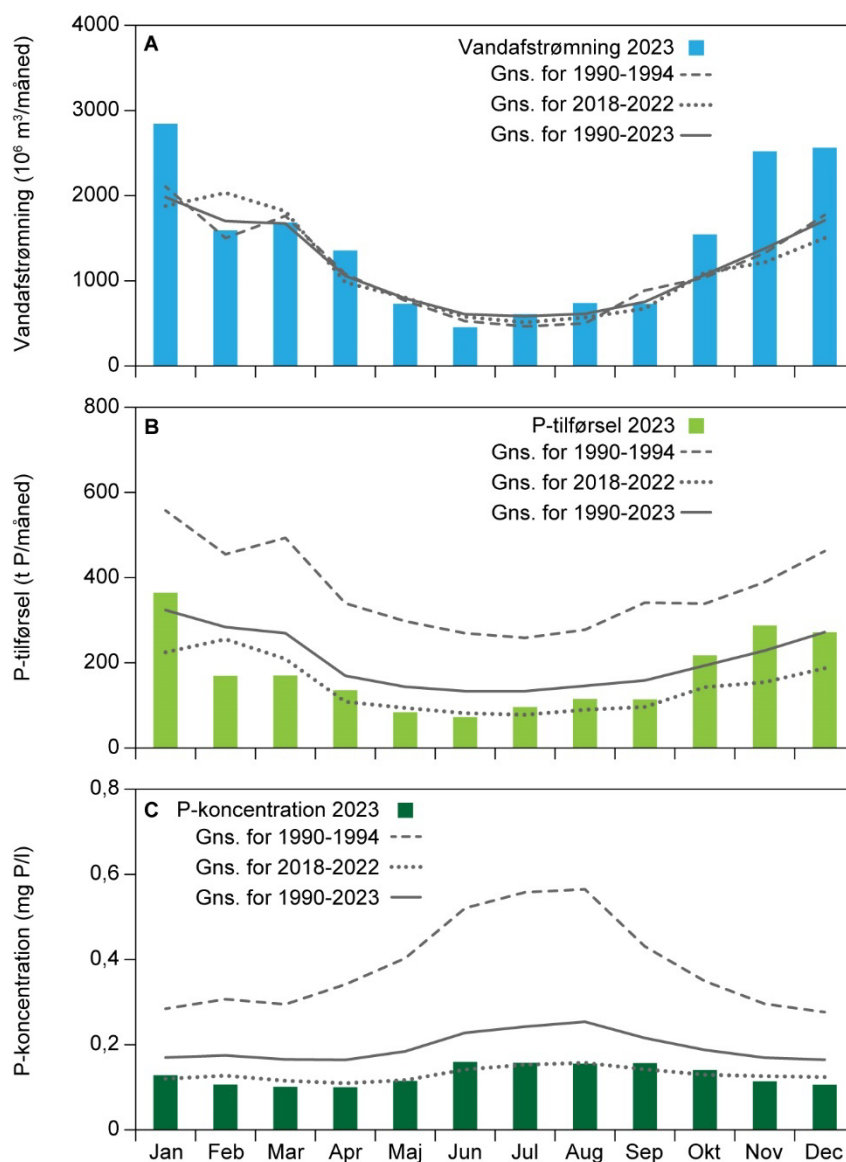
Den markante reduktion i fosfortilførslerne ses specielt tydeligt i udviklingen i de vandføringsvægtede fosforkoncentrationer i den samlede vandmængde, der strømmer fra land til kystvandene omkring Danmark (Figur 7.1, C). Efter det markante fald frem til slutningen af 1990'erne ses et nær konstant niveau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

### 7.3 Sæsonvariation i vandafstrømning og fosfortilførsel

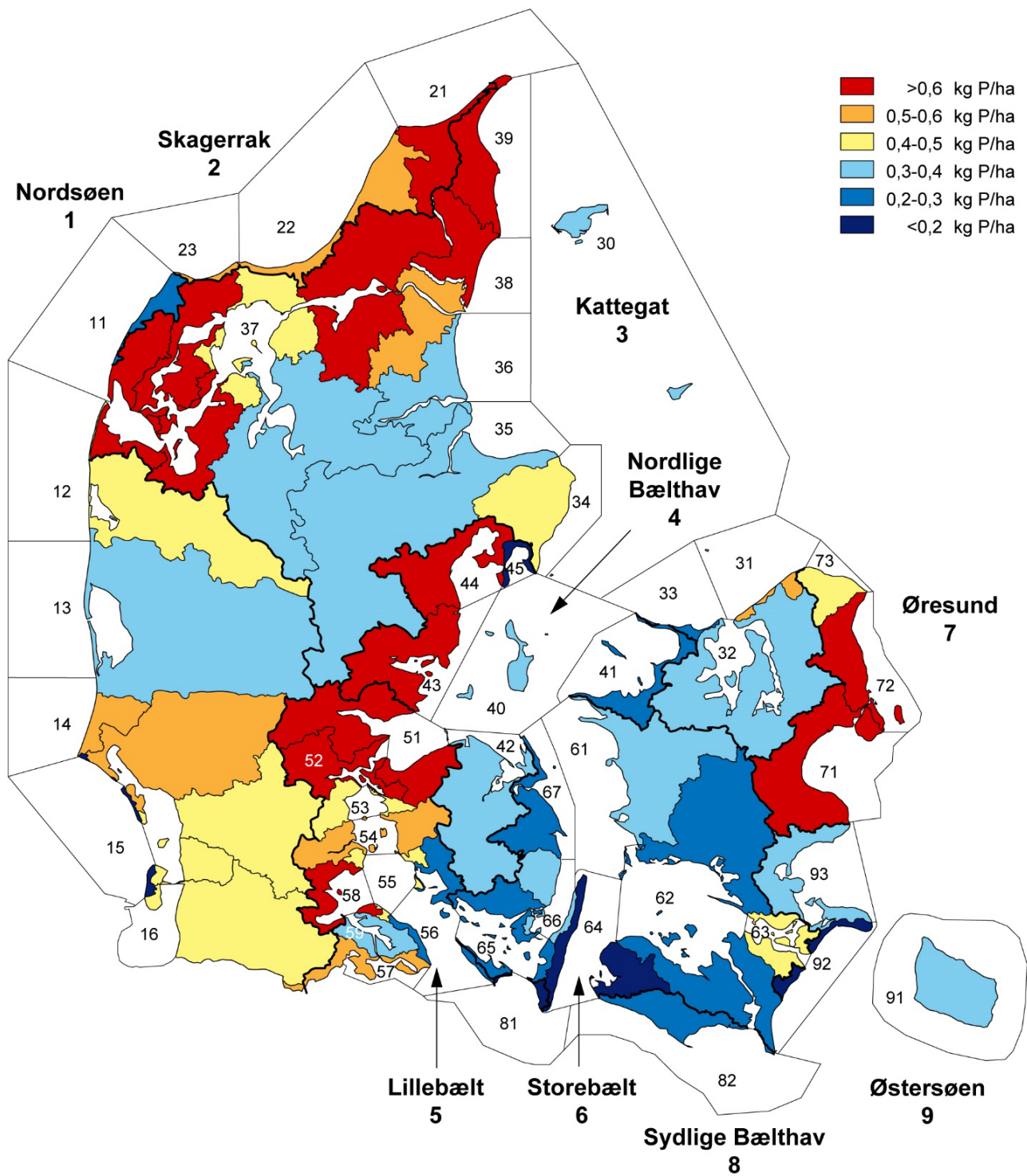
Hen over året 2023 var fosfortilførslerne i alle måneder markant lavere end gennemsnittet for årene 1990-1994 og også lavere end gennemsnittet for perioden 1990-2023 undtagen i januar og årets sidste 3 måneder. I forhold til gennemsnittet for de foregående 5 år 2018-2022 er fosfortilførslen i 2023 højere 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).



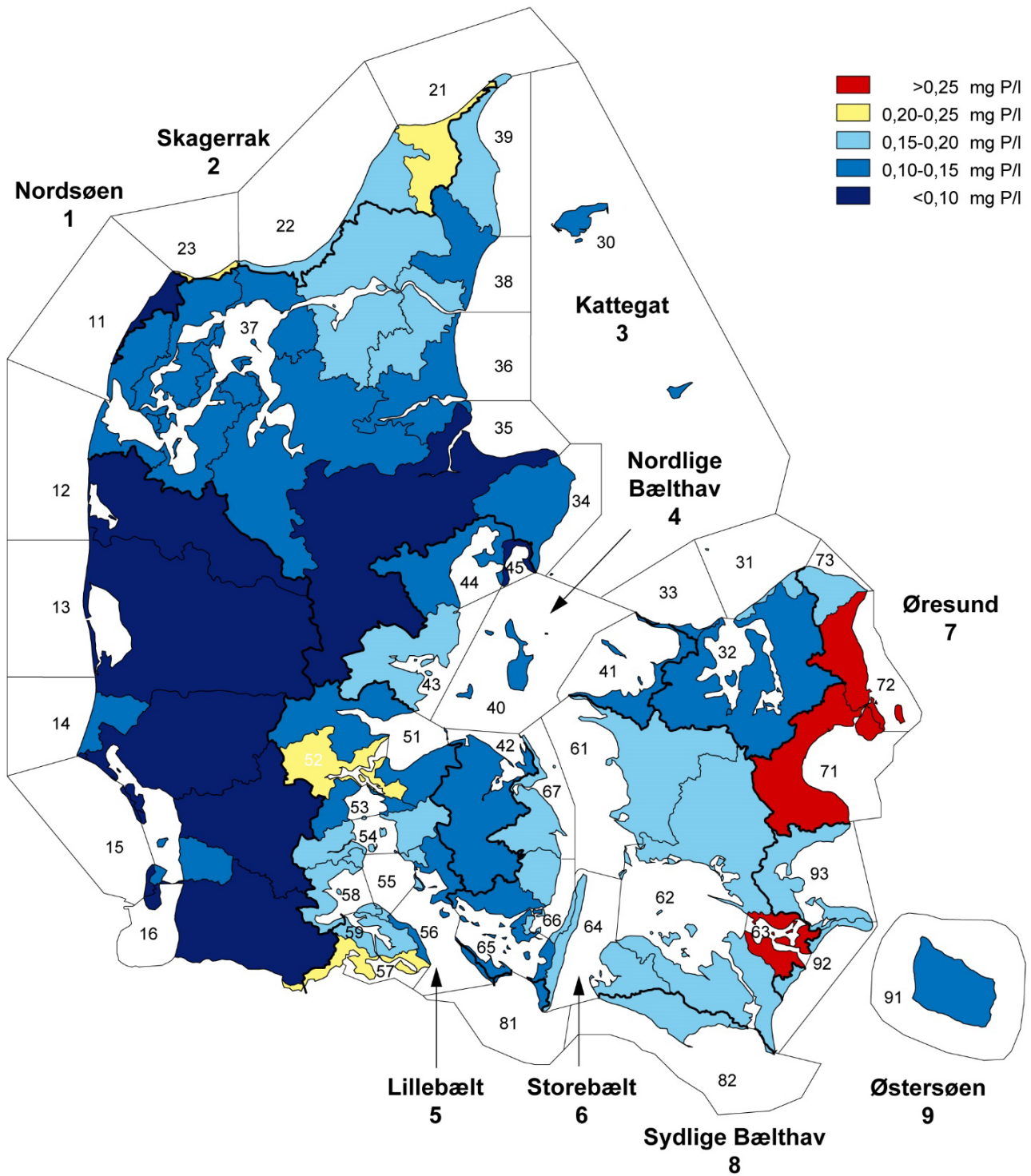
**Figur 7.2.** Månedvis vandafstrømning (A), fosfortilførsel (B) og vandføringsvægtet fosforkoncentration (C) i det afstrømmende vand til havet omkring Danmark i 2023 og som gennemsnit for 1990-2023, 2018-2022 og 1990-1994. Afstrømningsdata er influeret af homogenitetsbrud i vandføringsmålingerne, se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



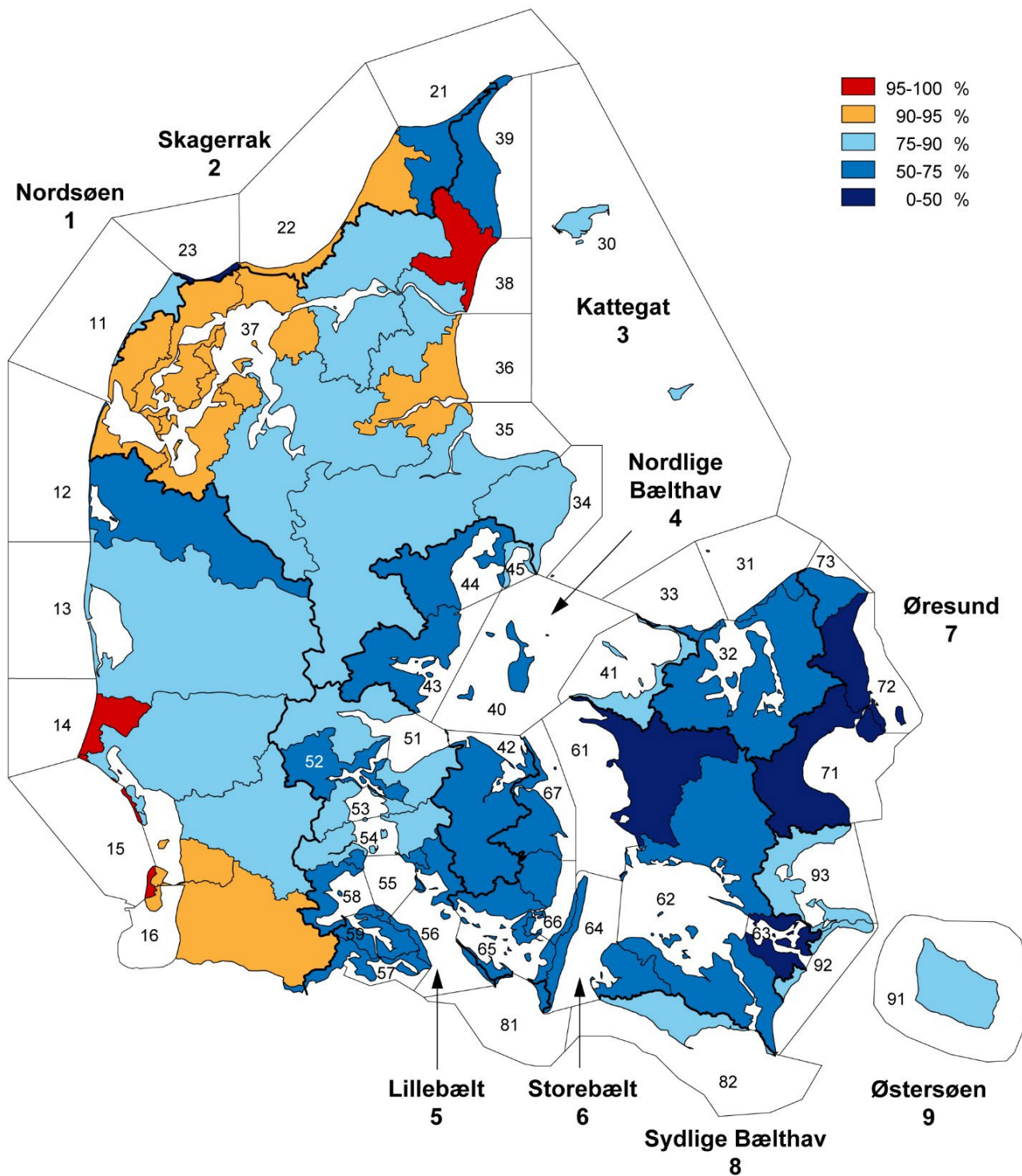
Den regionale tilførsel til kystområderne varierede betragteligt i 2023 (Figur 7.3). Størst var oplandstabet (målt som kg P/ha) i enkelte oplande til Lillebælt, Øresund, Køgebugt, flere områder i Østjylland og Nordjylland samt for enkelte dele af det nordlige Jylland, hvor tabet generelt var større end 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

## 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:

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

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 udledningen til Øresund.

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

**Tabel 7.1.** Mann-Kendall trend-test af udviklingen i den samlede tilførsel af fosfor til kystområderne for perioden 1990–2023. 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.

| Farvandsområde            | Samlede tilførsel |
|---------------------------|-------------------|
|                           | % ændring         |
| 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               |

## 7.5 Fosfortilførsel fra målt opland

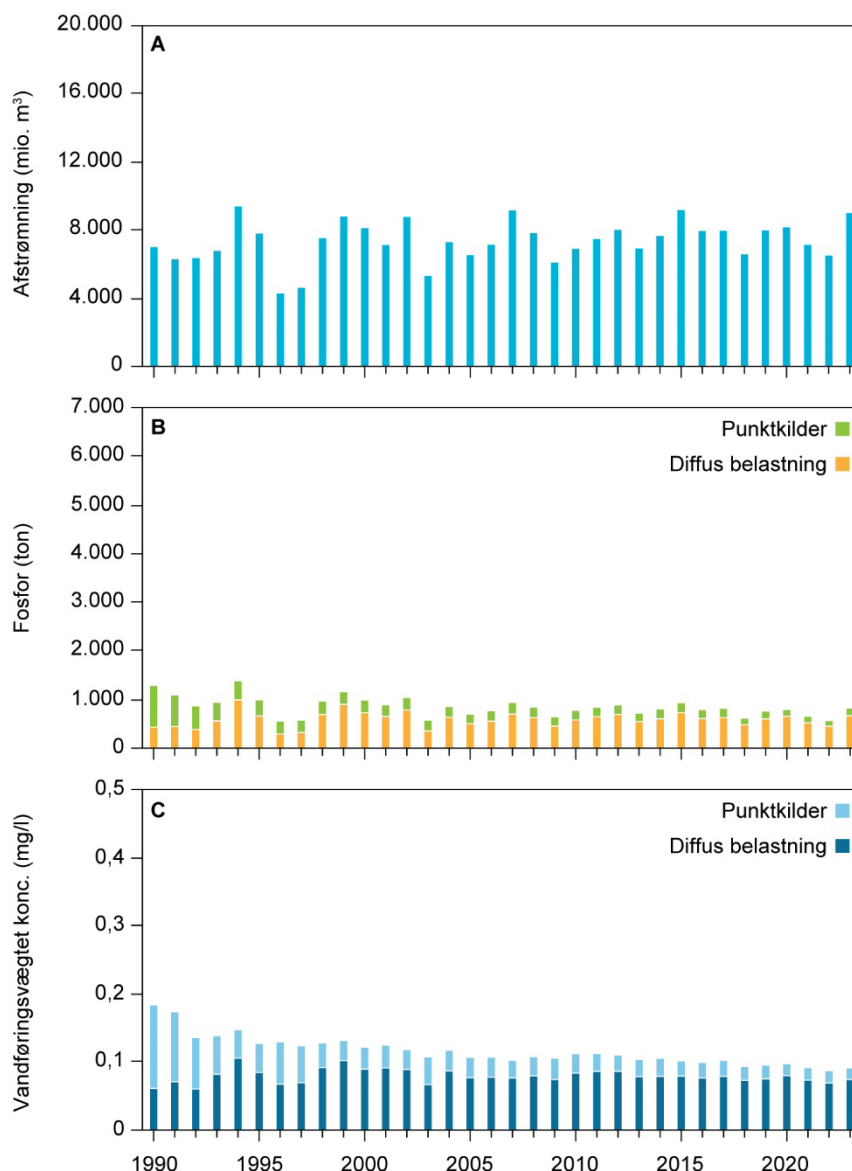
I dette afsnit er fosfortransporten opgjort for det målte opland, altså den del af Danmark, som er placeret opstrøms målestationer, som har været i drift med total-kvælstof- og total-fosfor-målinger igennem hele perioden 1990-2023. Det er tilfældet for 90 stationer, som dækker ca. 44 % af landets areal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

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.



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

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

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

## 7.6 Sammenfatning af resultaterne

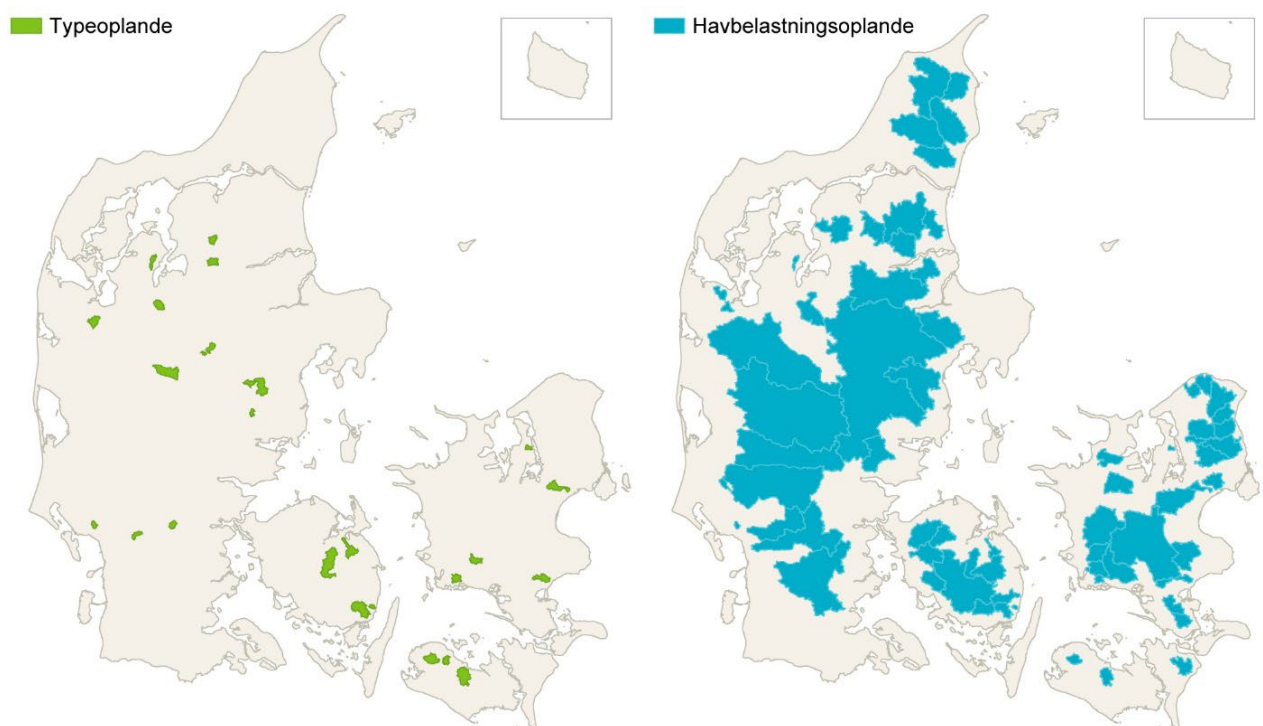
- Den samlede fosfortilførsel fra land til kystvandene i 2023 er beregnet til ca. 2.100 tons P/år. Heraf udgør fosfor udledt med spildevand fra punktkilder ca. 620 tons P/år. Beregningerne dette år er baseret på målinger fra 205 aktive (i 2023) kystnære målestationer i vandløb og en model for det resterende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

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

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

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.

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.

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.

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



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

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

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).

Den aktuelle nitrat-N-transport for havbelastningsoplandene viser en stor årtil-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).

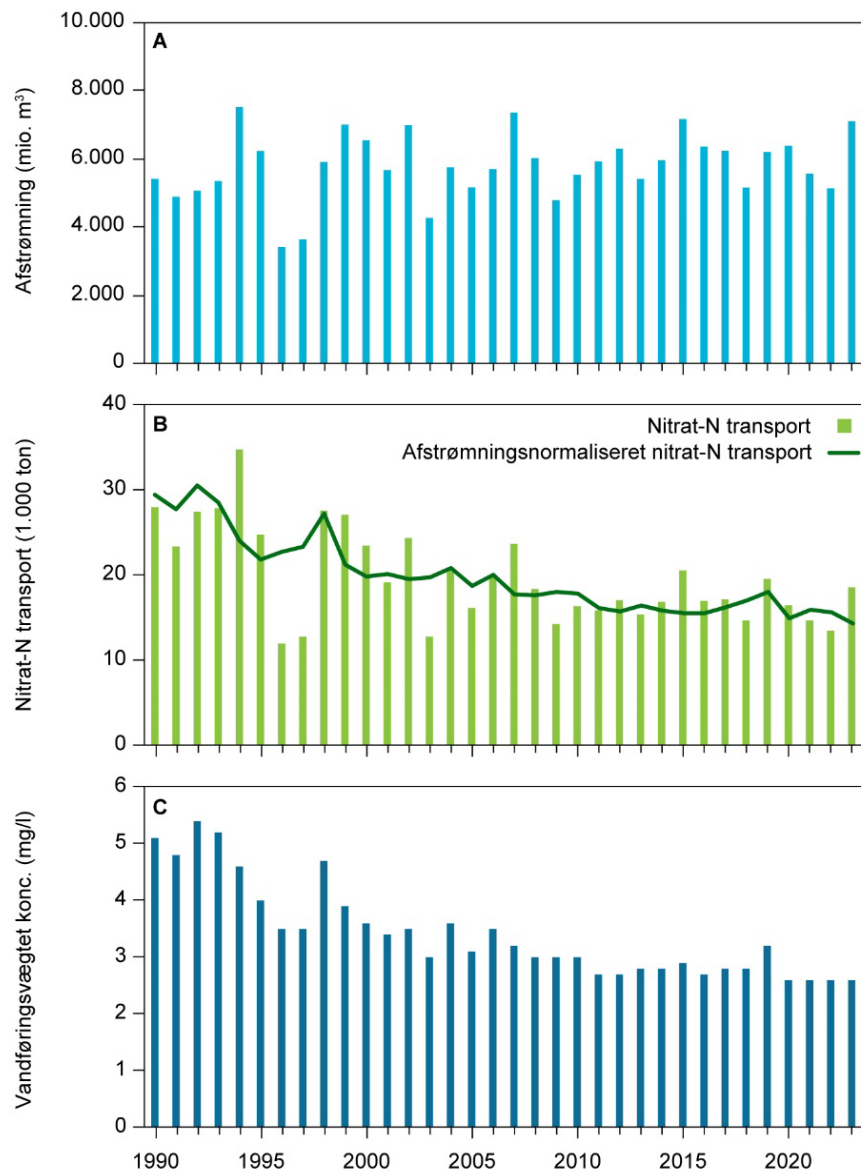
Den afstrømningsnormaliserede nitrat-N-transport varierede i perioden 2010 - 2022 mellem 14.900 og 18.000 tons. I 2022 var den 15.600 tons og i 2023 14.300 tons nitrat-N.

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.



## 8.2 Nitrattransport og -koncentration for 26 landbrugsdominerede typeoplande

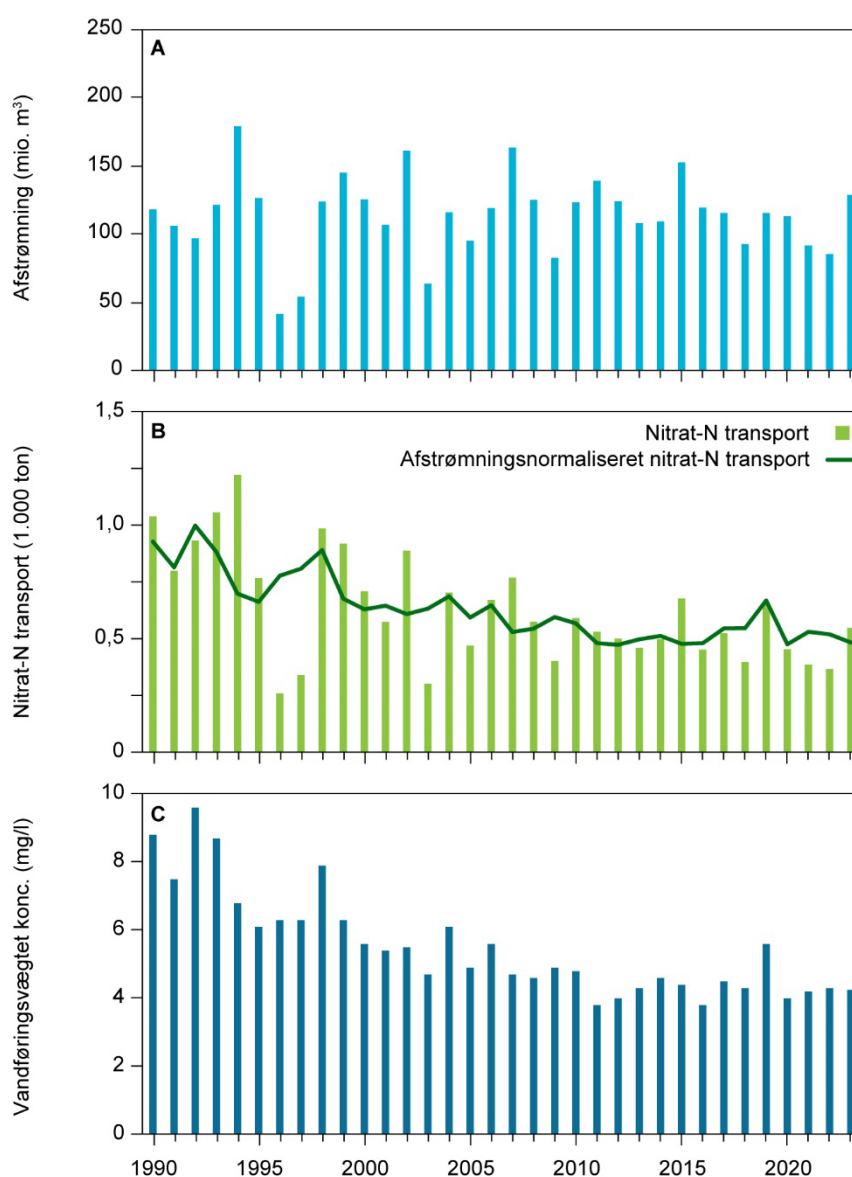
Med typeoplande menes dyrkningsdominerede, små oplande, der overvåges for bl.a. nitrat- og TN-transport igennem NOVANA. Oplandene er valgt, så der ikke forekommer spildevandsudledning fra større punktkilder. Vandløbene ligger øverst i vandløbssystemerne og er derfor minimalt påvirkede af omdannelse af 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

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.

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.



Den afstrømningsnormaliserede nitrat-N-transport varierer i perioden 2010 – 2022 mellem 470 og 670 tons nitrat-N. I 2022 var den afstrømningsnormaliserede nitrat-N-transport 520 tons nitrat-N og 480 tons nitrat-N i 2023. Den afstrømningsnormaliserede nitrat-N transport er opgjort som en sum for alle typeoplande.

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

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

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

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

## 9 Referencer

Andersen, H. E. & Heckrath, G. (redaktører). 2020. Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 340 s. - Videnskabelig rapport nr. 397 <http://dce2.au.dk/pub/SR397.pdf>

Andersen, HE, Heckrath, G., Rubæk, G. 2022. Phosphorus losses from the Danish land area to the sea around year 1900. I: Jung-Madsen, S. and Bach H. (red.) 2022. Transport of nitrogen and phosphorus from land to sea around year 1900. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 192 pp. Scientific Report No. 498. <http://dce2.au.dk/pub/SR498.pdf>

Baatrup-Pedersen, A., Pacheco, J. P., & Riis, T. (2024). Benthiske alger og økologisk tilstand i vandløb. *Vand & Jord*, 31(1), 7-10.

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

Blicher-Mathiesen, Gitte, Henrik Tørnbjerg, Jørgen Windolf, Hans Thodsen, Hans Estrup Andersen, Niels Bering Ovesen og Brian Kronvang (2017). Nitrat N-udledning for typeoplande og havbelastningsoplande med målt kontinuert tidsserie 1990-2016. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi Dato:22. november 2017. [http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2017/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)

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

Bøgestrand, J., Kronvang, B., Windolf, J. & Kjeldgaard, A. 2014. Baggrundsbelastning med total N og nitrat-N. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. 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)

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

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

Højberg, A.L., Thodsen, H., Børgesen, C.D., Tornbjerg, H., Nordstrøm, B.O., Troldborg, L., Hoffmann, C.C., Kjeldgaard, A., Holm, H., Audet, J., Ellermann, T., Christensen, J.H., Bach, E.O. & Pedersen, B.F. 2021. National kvælstofmodel – version 2020, Metode rapport. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland. GEUS Specialrapport. S 104.  
[https://www.geus.dk/Media/637576521860083405/NKM2020\\_Rapport\\_18maj2021\\_web.pdf](https://www.geus.dk/Media/637576521860083405/NKM2020_Rapport_18maj2021_web.pdf)

Kainz, S. 2021. Ringversuch eines magnetisch-induktiven Fließgeschwindigkeitsmessgeräts und daraus gewonnene Erkenntnisse für die hydrologische Praxis. Österr Wasser und Abfallw 73:210–219. <https://doi.org/10.1007/s00506-021-00755-3>

Kjærgaard, C., 2007. Organogene lavbundsJORDE – fosforstatus, binding og tabsrisiko. Institut for Jordbrugsproduktion og Miljø, Det Jordbrugsvidenskabelige fakultet. Aarhus Universitet. S 21. [https://np-risikokort.dk/Docs/organogene\\_lavbundsJORDE.pdf](https://np-risikokort.dk/Docs/organogene_lavbundsJORDE.pdf)

Kronvang, B., Tornbjerg, H., Larsen, S. E. & Windolf, J. 2023. Opgørelser af kilder, udvikling og tidsforsinkelser i næringsstofbelastning til kystvandene Hjarbæk Fjord og Skive Fjord, Lovns Bredning, Risgårde Bredning og Bjørns-holm Bugt. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 70 s. Teknisk rapport nr. 285

Larsen, S.E. 2018. Dokumentation for genopretning af TN og TP data fra perioden 2007-14. Notat fra DCE – Nationalt center for Miljø og Energi. 8 sider. [http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2018/Dokumentation\\_genopretning\\_TN\\_TP.pdf](http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2018/Dokumentation_genopretning_TN_TP.pdf)

Larsen, S.E., & Svendsen, L.M. 2021. Statistical aspects in relation to Baltic Sea Pollution Load Compilation. Task under HELCOM PLC-8 project. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 60 pp. Technical Report No. 224 <http://dce2.au.dk/pub/TR224.pdf>

Larsen, S.E., Windolf, J., Tornbjerg, H., Hoffmann, C.C., Søndergaard, M. & Blicher-Mathiesen. 2018. Genopretning af fejlbehæftede kvælstof- og fosforanalyser. Ferskvand. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 72 s. Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 110 <http://dce2.au.dk/pub/TR110.pdf>

Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Thodsen, H., Kronvang, B. & Blicher-Mathiesen, G. 2021a. Analyse af organisk kvælstof koncentrationer i vandløb i to perioder med henblik på at udvikle en korrektionsformel for perioden 2009-2014. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 115 s. – Fagligt notat nr. 2021 | 29 [https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2021/N2021\\_29.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2021/N2021_29.pdf)

Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Thodsen, H., Kronvang, B. & Blicher-Mathiesen, G. 2021b. Analyse af organisk kvælstof koncentrationer i vandløb med henblik på at udvikle en korrektionsformel for 2015. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 19 s. – Fagligt notat nr. 2021 | 39 [https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2021/N2021\\_39.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2021/N2021_39.pdf)

Larsen, S.E., Kjeldgaard, A., Windolf, J., Tornbjerg, H. & Kronvang, B. 2022a. Ny fosformodel til estimering af årlig vandføringsvægtet koncentration af total fosfor fra diffuse kilder i ID15-oplande. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 80 s. Teknisk rapport nr. 246 <http://dce2.au.dk/pub/TR246.pdf>

Lassen, J. & Frank-Gopolos, T. 2022: Undersøgelse af månedsvariation for stofudledning fra renselanlæg (samt ferskvandsdambrug og industri). Notat fra miljøstyrelsen. 27 sider.

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

Miljøstyrelsen 2020a. Opdatering af tidserie for udledning af spildevand fra RegnBetingede Udløb (RBU) og spredt bebyggelse 1990-2018. Ikke offentliggjort notat fra Miljøstyrelsen. 4 pp.

Miljøstyrelsen 2023. Punktkilder 2021. Miljøstyrelsen. 91 s.

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

Ovesen, N.B., Kronvang, B., Larsen, S.E. & Andersen, P.M. 2023. Betydning af skift i instrument-typer til vandføringsmåling ved hydrometristationer i NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 63 s.- Teknisk rapport nr. 258 <http://dce2.au.dk/pub/TR258.pdf>

Pacheco, J.P. og S. E. Larsen 2024. Vandløb 2023. Benthiske Kiselalger. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, xx s. - Teknisk rapport nr. xxx <http://dce2.au.dk/pub/TRxxx.pdf>

Rubek F., Scharling M., Cappelen j. 2022. Danmarks klima 2021 – with English Summary. Danmarks meteorologiske institut. DMI rapport 22-01. s 76. <https://www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/2022/DMIRap22-01.pdf>

Rubek F., Cappelen j., Scharling M. og Jensen CD. 2024. Danmarks klima 2023 – with English Summary. Danmarks meteorologiske institut. DMI rapport 24-01. s 78. <https://www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/2024/DMIRap24-01.pdf>

Stisen S., Ondracek M., Troldborg L., Schneider R.M.J, van Til M.J., (2019). National Vandressource Model Modelopstilling og kalibrering af DK-model 2019. Danmarks og Grønlands geologiske undersøgelser. GEUS rapport 2019/31. s 125. [https://vandmodel.dk/media/8096/geusrapport2019\\_31\\_dkmodel2019\\_web-1.pdf](https://vandmodel.dk/media/8096/geusrapport2019_31_dkmodel2019_web-1.pdf)

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

Svendson, L.M. & Jung-Madsen, S. (red.) 2020. Homogenitetsbrud og potentielle fejl i nedbørsdata. Eksempler på konsekvenser for myndighedsbetjeningen. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 28 s. – Fagligt notat nr. 2020 | 51 [https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet\\_2020/N2020\\_51.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet_2020/N2020_51.pdf)

Thodsen, H., Tornbjerg, H., Windolf, J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Ovesen, N.B. & Kjeldgaard, A., 2018: Vandløb 2016. Kemisk vandkvalitet og stoftransport. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 54 s. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 270 <http://dce2.au.dk/pub/SR270.pdf>

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

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

Thodsen H, Rasmussen JJ, Kronvang B, Andersen HE, Nielsen A & Larsen SE 2019c. Suspended matter and associated contaminants in Danish streams: a national analysis. *Journal of Soils and Sediments* 2019; 19: 3068-3082.

Thodsen, H., Tornbjerg, H., Blicher-Mathiesen, G., Højberg, A.L., Stiesen, S. & Troldborg, L. 2020. Betydning af sandsynligvis underestimeret nedbør på den beregnede tilførsel af vand, kvælstof og fosfor til havet. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 32 s. Teknisk rapport nr. 185 <http://dce2.au.dk/pub/TR185.pdf>

Thodsen, H., Tornbjerg, H., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Ovesen, N.B., Blicher-Mathiesen, G., Rolighed, J., Holm, H. & Kjeldgaard, A. 2021a. Vandløb 2019 - Kemisk vandkvalitet og stoftransport. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 74 s. Videnskabelig rapport nr. 452 <http://dce2.au.dk/pub/SR452.pdf>

Thodsen, H. & Tornbjerg, H. 2022. Årsager til år til år forskelle i de beregnede tilførsler af vand og næringsstoffer til havet imellem forskellige NOVANA-opgørelser. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 17 s. – Fagligt notat nr. 2022 | 72 [https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2022/N2022\\_72.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2022/N2022_72.pdf)

Thodsen, H., Tornbjerg, H., Rolighed, J., Kjær, C., Larsen, S.E., Ovesen, N.B. & Blicher-Mathiesen, G. 2023. Vandløb 2021. -Kemisk vandkvalitet, stoftransport og miljøfarlige forurenende stoffer. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 90 s. Videnskabelig rapport nr. 527 <http://dce2.au.dk/pub/SR527.pdf>

Thodsen, H., Kjær, C., Tornbjerg, H., Rolighed, J., Larsen, S.E. & Blicher-Mathiesen, G. 2024. Vandløb 2022. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for



- Miljø og Energi, 80 s. Videnskabelig rapport nr. 590. [https://dce.au.dk/fileadmin/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)
- Thodsen, H., Tornbjerg, H., Trolle, D., Erichsen, A. & Larsen, T. 2023. Næringsstofbelastning, kildeopsplitning og kvælstofretention -AP1 i "Second opinion" fase III (Vandplan 3 genbesøg). Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 47 s. - Teknisk rapport nr. 293. [https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Tekniske\\_rapporter\\_250-299/TR293.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Tekniske_rapporter_250-299/TR293.pdf)
- U.S. Geological Survey. (n.d.). Alkalinity and water. Water Science School. Retrieved [29-10-2024], from <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/alkalinity-and-water>
- Wiberg-Larsen, P. 2010. Makroinvertebrater i vandløb. Teknisk anvisning. [https://ecos.au.dk/fileadmin/ecos/Fagdatacentre/Ferskvand/V07\\_Makroinvertebrater\\_Ver2\\_5.pdf](https://ecos.au.dk/fileadmin/ecos/Fagdatacentre/Ferskvand/V07_Makroinvertebrater_Ver2_5.pdf)
- Wiberg-Larsen, P., Friberg, N., Baattrup-Pedersen, A. & Kristensen, E.A. 2012. Er miljøkvaliteten i vore vandløb forbedret? *Vand & Jord* 19: 62-65.
- Windolf, J., Bøgestrand, J., Kjeldgaard, A., Kronvang, B., Larsen, S.E., Ovesen, N.B. & Thodsen, H. (2010) TEMA: Geografisk distribueret beregning af tilførslen af vand og kvælstof til havet. Pp. 40-58 i: Wiberg-Larsen P. (red.) *Vandløb 2008*. NOVANA. Faglig rapport fra DMU nr. 764. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, 66 s.
- Windolf, J., Thodsen, H., Trolborg, L., Larsen, S.E., Bøgestrand, J., Ovesen, N.B. & Kronvang, B. (2011) A distributed modelling system for simulation of monthly runoff and nitrogen sources, loads and sinks for ungauged catchments in Denmark. *Journal of Environmental Monitoring* 13: 2645-2658.
- Windolf, J., Bøgestrand J. & Kjeldgaard, A. 2012a. Beregning af kvælstoftilførsel til en række udpegede danske fjorde. Fagligt notat fra DCE til Naturstyrelsen. [https://dce.au.dk/fileadmin/dmu.au.dk/Notat\\_kvaelstoftilfoersel\\_til\\_fjorde.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dmu.au.dk/Notat_kvaelstoftilfoersel_til_fjorde.pdf)
- Windolf, J., Blicher-Mathiesen, G. & Larsen, S. 2012b. Markbalancer og den diffuse kvælstofafstrømning. Fagligt notat fra DCE til Naturstyrelsen, 47 pp. [https://pure.au.dk/portal/files/44570035/Notat\\_Markbalancer.pdf](https://pure.au.dk/portal/files/44570035/Notat_Markbalancer.pdf)
- Windolf, J., Blicher-Mathiesen, G., Carstensen, J. and Kronvang, B. 2012c. Changes in nitrogen loads to estuaries following implementation of Governmental Action Plans in Denmark: A paired catchment and estuary approach for analysing regional responses. *Environmental Science and Policy* 24: 24-33.
- Windolf, J., Timmermann, A., Kjeldgaard, A., Bøgestrand, J., Larsen, S. E., & Thodsen, H. (2013) Landbaseret tilførsel af kvælstof og fosfor til danske fjorde og kystafsnit, 1990-2011. Teknisk rapport fra DCE nr. 31. Aarhus Universitet. <http://dce2.au.dk/pub/TR31.pdf>

# VAND- OG STOFTRANSPORT 2023

NOVANA

Dette års rapport beskriver status og udvikling i vandkemiske forhold i vandløb, stoftransport af kvælstof og fosfor til kystvandene for perioden før og under NOVANA – og frem til og med 2023