

Vurdering af grundvandets kemiske påvirkning på vandløb og kystvande

Volume 1(2): Hovedrapport

Bertel Nilsson, Brian Kronvang, Sofie van't Veen, Lars Trolborg,
Lærke Thorling, Susanne Boutrup, Martin Mørk Larsen,
Jes Rasmussen, Klaus Hinsby & Jolanta Kazmierczak



Vurdering af grundvandets kemiske påvirkning på vandløb og kystvande

Volume 1(2): Hovedrapport

Bertel Nilsson¹, Brian Kronvang², Sofie van't Veen², Lars Trolborg¹,
Lærke Thorling¹, Susanne Boutrup², Martin Mørk Larsen²,
Jes Rasmussen², Klaus Hinsby¹ & Jolanta Kazmierczak¹

¹De Nationale Geologiske Undersøgelser for
Danmark og Grønland (GEUS)

²Aarhus Universitet



Rapportering af Miljøstyrelsens projekt

Vurdering af grundvandets kemiske påvirkning på vandløb og kystvande

Forfattere:

Bertel Nilsson
Brian Kronvang
Sofie van't Veen
Lars Trolborg
Lærke Thorling
Susanne Boutrup
Martin Mørk Larsen
Jes Rasmussen
Klaus Hinsby
Jolanta Kazmierczak

Forkortelsesliste

DK-model	Den nationale vandressource model
GATØ	Grundvandsafhængige terrestriske økosystemer
GRUMO	Det nationale overvågningsprogram for grundvand
ID15-opland	ca. 15km ² store deloplande i vandløbsopland
JUPITER	Grundvandsdatabase ved GEUS
Matricer	Grundvand, vandløb eller kystvande
MKK	Miljøkvalitetskrav
N2000-GATØ	Grundvandsafhængige terrestriske økosystemer i Natura2000 områder
NOVANA	Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur
ODA	Vandløbsdatabase ved DCE/Aarhus Universitet
OSPAR	International havkonvention til beskyttelse af det marine miljø i nordøst Atlanten
PFAS	Undergruppe af fluorerede organiske stoffer
PFOS	Fluorholdige forbindelser, der typisk bruges i imprægnering
PHK	Potentiel hydraulisk kontakt mellem grundvandsforekomst og vandløb i DK-modellen, hvor der er mindre end 3m mellem grundvandsforekomsten og vandløbsbunden, og hvor der er opadrettet gradient
PK	Potentiel kontakt hvor der er mindre end 3m mellem grundvandsforekomst og vandløbsbund
PULS	Fællesoffentlig punktkildedatabase
Q95	95 percentil af daglig vandføring
Q50	Medianværdi for vandføring

Indhold

Forkortelsesliste	4
1. Resume	8
2. Baggrund og formål	11
3. Eksisterende viden om kontakten mellem grundvand, vandløb og kystvande	13
3.1 Grundvandets kemiske og kvantitative kontakt til vandløb	13
3.1.1 Grindsted Å megasite – kontakt grundvand-vandløb	14
3.2 Grundvandets kemiske og kvantitative kontakt med kystvande	16
3.2.1 Høfde 42 megasite – udstrømning af forurenede grundvand til kystvand	18
3.3 Opsummering	19
4. Opsamling af viden om overvågning og metoder fra Holland og Tyskland	20
4.1 Situationen i Holland	20
4.2 Situationen i Tyskland	21
4.3 Opsummering	23
5. Analyse af nationale måleprogrammer	24
5.1 Historik	24
5.2 Indhold i delprogrammer	25
5.3 Opsummering	26
6. Udvalgelse af stoffer	27
6.1 Metaller og sporstoffer	27
6.2 Pesticider	29
6.3 Andre organiske miljøfarlige stoffer	30
6.4 Opsummering	33
7. Forekomst af miljøfarlige stoffer i grundvand, vandløb og kystvande	34
7.1 Cadmium	35
7.1.1 Grundvand	35

7.1.2 Vandløb	36
7.1.3 Kystvande	41
7.1.4 Opsummering.....	42
7.2 Zink	43
7.2.1 Grundvand.....	43
7.2.2 Vandløb	44
7.2.3 Kystvande	49
7.2.4 Opsummering.....	49
7.3 PFOS (perfluoroktansulfonsyre)	50
7.3.1 Grundvand.....	50
7.3.2. Vandløb	51
7.3.3 Kystvande	56
7.3.4 Opsummering.....	56
7.4 BAM (2,6 dichlorbenzamid).....	57
7.4.1 Grundvand.....	57
7.4.2 Vandløb	58
7.4.3 Kystvande	63
7.4.4 Opsummering.....	63
7.5 Nitrat	63
7.5.1 Grundvand.....	63
7.5.2 Vandløb	68
7.5.3 Kystvande	72
7.5.4 Opsummering.....	72
8. Analyse af potentiel kontakt mellem grundvandsforekomster og overfladevand	73
8.1 Metode til beregning af kontakt mellem grundvandsforekomst og vandløb	73
8.2 Kontakt mellem grundvand og kystvande.....	77
8.3 Opsummering.....	78
9. Metode til vurdering af grundvandsforekomsters påvirkning af overfladevande	79

9.1 Beskrivelse af den udviklede metode	79
9.2 Pilot oplandsanalyse	83
9.2.1 Skjern Å-oplandet	86
9.2.2 Grindsted Engsø-oplandet	95
9.2.3 Smedbæk oplandet	103
9.3 Opsummering af de tre pilot oplande.....	110
10. Stofspecifikke begrænsninger ved metoden	113
10.1 Opsummering	115
11. Anbefalinger og forslag til forbedring af måleprogrammer - Videreudvikling af den trinvis metode	116
11.1 Data tilgængelighed	116
11.2 Modelleringsbehov	116
11.3 Vidensbehov	117
11.4 Videreudvikling af den foreslåede trinvis metode.....	118
12. Referencer	119

1. Resume

Miljøstyrelsen har igangsat flere forsknings- og udviklingsprojekter med henblik på at tilvejebringe viden og fastlægge metoder, der kan vurdere hvordan og i hvilket omfang, indholdet af forurenende stoffer i en grundvandsforekomst kan påvirke tilstanden i tilknyttede målsatte overfladevandsområder eller grundvandsafhængige terrestriske økosystemer i Natura 2000 områder (N2000 GATØ). Denne rapport afrapporterer det projekt, der har undersøgt grundvandets mulige påvirkning af vandløb og kystvandes kemiske tilstand.

I dette projekt er den relevante viden om interaktionen mellem grundvand og henholdsvis vandløb og kystvande gennemgået. Litteraturgennemgangen viser, at der findes mere litteratur om påvirkningen af vandløb end af kystvande, hvor der kun eksisterer sparsom viden. Der er desuden præsenteret et overblik over Hollands og Tysklands arbejde med miljøovervågning samt deres respektive tilgang til vurdering af grundvandsforekomster påvirkning af ferske overfladevandområder.

Projektet omfatter en gennemgang og eksemplificering af hvilke data fra det nationale program for overvågning af vand og natur (NOVANA), der er til rådighed for vurderingen af påvirkning fra forurenende stoffer i grundvandsforekomster på tilknyttede målsatte vandløbsstrækninger og kystvande. Gennemgang af de tre delprogrammer viser, at det er muligt at udvælge stoffer, som er målt på tværs af de tre delprogrammer og dermed kan danne grundlag for nærværende projekt. Dette skal ses i lyset af, at delprogrammerne for grundvand, vandløb og kystvande er tilrettelagt med henblik på at imødekomme nationale forpligtelser og behov for data inden for de tre områder, og således ikke med henblik på at udgøre et fælles datagrundlag for projekter som det nærværende. Historikken bag overvågningen og de enkelte delprogrammer belyser de forskelle og ligheder, der er i data som følge af ændrede overvågningsbehov. Gennemgangen af de stofgrupper, der indgår på tværs af delprogrammerne for overvågning af grundvand, vandløb og kystvande viser, at kun få stoffer kan genfindes på tværs af alle tre medier. Ofte er der dog fund af samme stofgrupper i grundvand og vandløb. Udvælgelsen af stofferne i projektet er baseret på følgende kriterier: (a) stofferne indgår i overvågning på tværs af delprogrammerne grundvand og vandløb og helst også kystvande, (b) stofferne er hyppigt fundet i koncentrationer over kvalitetskravet eller alternativt påvist hyppigt, samt (c) stofferne er på vandrammedirektivets liste over prioriterede stoffer. De valgte stoffer er fordelt på forskellige stofgrupper og er repræsenteret ved nitrat, tungmetallerne cadmium og zink, fluorholdig forbindelse PFOS samt pesticidet BAM. Det bemærkes, at gennemgangen af stofgrupperne ikke udgør en vurdering af aktuel kemisk tilstand for grundvand og overfladevand.

Projektet indeholder tillige en udarbejdelse af og vejledning i anvendelse af et digitalt kort, der viser kontakten mellem grundvandsforekomsterne og de målsatte vandløb og kystvande. Med afsæt i dette kort er der udviklet en trinvis metode til at vurdere en grundvandsforekomsts potentielle påvirkning af målsatte vandløbsstrækninger og kystvande. Herunder hvilke data, der skal tilvejebringes for at gennemføre valide vurderinger efter den foreslåede metode.

Den foreslåede metode er trinvist opbygget og beskriver en oplandsanalyse for til vurdering af, hvorvidt grundvandet er en sandsynlig og væsentlig kilde til målte problemstoffer i et overfladevand.

- Trin 1 vurderer, om der er overskridelser af miljøkvalitetskrav og/eller forekommer signifikante opadgående trends for specifikke stoffer.
- Trin 2 foretager en kildeopsplitning for de specifikke stoffer, der blev identificeret som problematiske i trin 1, på overfladepunktkilder og andre kilder.
- Trin 3 analyserer den potentielle kontakt (PK) mellem overfladevandet og de associerede grundvandsforekomster. Et afstandskrav på mindre end 3m fra grundvandsforekomst til vandløbsbund (potentiel kontakt) eller mere end 3m afstand (ingen potentiel kontakt) anvendes. Graden af hydrologisk kontakt inddeles i et grundvandsindeks på ID15-oplandsskala med DK-modellen.
- Trin 4 kobler overfladevandet med placeringen af (og evt. udledning fra) kendte underjordiske punktkilder.
- Trin 5 analyserer den potentielle hydrauliske kontakt (PHK), hvor PK suppleres af den potentielle hydrauliske kontakt (PHK) beregnet med DK-modellen. Der udføres en screening for forekomsten af de problematiske, specifikke stoffer i 250 meter og i 500 meter bufferzoner i grundvandsforekomsten nærmest overfladevandet. Baseret på en ekspertvurdering af stoftransporten, vurderes grundvandsforekomstens kemiske tilstand med henblik på påvirkning af overfladevand. En grundvandsforekomst kan dog kun vurderes i ringe tilstand med hensyn til påvirkning af overfladevand i de tilfælde, hvor grundvandsforekomstens kemiske tilstand medfører en påvirkning af overfladevand, så overfladevandet ikke kan opnå fastsatte miljømål.

Den foreslåede metode har en recipientbaseret tilgang baseret på målinger fra vandløb og kystvande. Metoden er begrænset til de tilfælde, hvor der foreligger kemiske målinger i vandløb og kystvande. Metoden tager generelt udgangspunkt i målinger fra NOVANA-delprogrammerne for grundvand, vandløb og kystvande. Metoden suppleres af data fra den fællesoffentlige punktkildedatabase (PULS databasen) for de overjordiske forureningskilder, nøgletal for rensningsanlægs udledning samt nationale tal for atmosfærisk deposition i metodens trin 2. Identifikationen af kendte underjordiske punktkilder under trin 4 skal tage udgangspunkt i regionernes jordforureningsdata og risikoanalyser.

I tre pilot-vandløbsoplande, Skjern Å, Grindsted Å og Smedbæk, er metoden delvist afprøvet. Ud fra analyser i trin 1 og 2 fremgår det, at det generelt er de samme stoffer der er fundet med overskridelser af miljøkvalitetskravene. Samtidig er det de samme stoffer der ud fra en kildeopsplitning igen går videre fra trin 2 til trin 3 på tværs af oplandene. For både Grindsted og Smedbæk er der fundet overskridelser for de miljøfarlige stoffer nikkel, barium, cadmium, zink og PFOS. Der er ikke anlagt rensesanlæg i de to oplande, og den atmosfæriske deposition udgør ikke en væsentlig del af stofbelastningen for de pågældende stoffer. Stofbelastningen stammer derfor højst sandsynligt fra andre 'diffuse' kilder, herunder grundvandsforekomster. Det skal nævnes, at det i nærværende rapport ikke har været muligt at undersøge udledninger fra de resterende overfladepunktkilder såsom industri og dambrug. Nøgletal fra de forskellige overfladepunktkilder kunne med fordel være benyttet i kildeopsplitningsanalysen. Desuden kunne der med fordel være benyttet data fra overvågningen af de miljøfremmede stoffer udledt ved de enkelte rensesanlæg inden for de undersøgte oplande, da dette ville give et mere nøjagtigt

bud på udledningen fra renseanlæg i det enkelte opland. Data fra overvågningen er dog ikke tilstrækkelig til dette, og det var derfor nødvendigt at benytte nøgletal over udledning fra renseanlæg opgjort af Miljøministeriet. I trin 3 er den potentielle kontakt for vandløbene beregnet med DK-modellen og sammenstillet med Q95/Q50 indeks samt et indekskort med GeoDanmark vandløb (tidligere FOTdanmark) og kontakten til grundvandsforekomster med potentiel kontakt til vandløbene. I trin 4 er foretaget en opgørelse af antallet af potentielle underjordiske punktkildeforureninger (V2 kortlagte arealer) indenfor 500m buffer zonen i alle tre oplande, hvor der er påvist et relativt stort antal i både Skjern Å og Grindsted Å-oplandene, mens Smedbæk-oplandet på få km² kun har en enkelt punktkilde, der skal vurderes nærmere. Stofbelastningen fra de underjordiske kilder skal vurderes med Regionernes allerede udførte risikoenalyse. Denne analyse er ikke udført i nærværende projekt, hvorfor trin 4 ikke er testet i nærværende projekt. Metoden trin 5 er rettet mod stofspecifikke problemstillinger. Den potentielle hydrauliske kontakt (PHK) er beregnet for de tre pilotoplande og skal sammenstilles med koncentrationer af specifikke stoffer og stofbelastning vurderes på baggrund af en ekspertvurdering. En nærmere analyse for hver enkelt ID15-opland i en trin 5 analyse vil sandsynligvis indikere god overensstemmelse mellem fund af stoffer i vandløb med god kontakt til grundvandsforekomsten og forekomst af forhøjede stofkoncentrationer i grundvandsforekomsten. Helt generelt er der behov for mere viden omkring stoffers skæbne i ferske vande i stil med det vidensniveau, der i dag foreligger for nitrat.

Den foreslåede metode er ikke testet på kontakten mellem grundvand og kystvande. Den opnåede viden i forbindelse med dette projekt har gjort det klart, at både den kvantitative kontakt og kemiske kontakt mellem grundvand og kystvande er så mangelfuldt belyst, at dette ikke lader sig gøre på det foreliggende data- og vidensgrundlag.

2. Baggrund og formål

Ved udarbejdelsen af Vandområdeplanerne for anden planperiode (2015-2021) konkluderede Miljøstyrelsen, at der ikke var et tilstrækkeligt vidensgrundlag til at vurdere i hvilket omfang, forurenende stoffer i de danske grundvandsforekomster: 1) Påvirkede den kemiske og økologiske tilstand i tilknyttede målsatte overfladevandområder og/eller 2) medførte en væsentlig skade på terrestriske økosystemer, som er direkte afhængige af en grundvandsforekomst og beliggende i Natura 2000 områder (N 2000 GATØ). Dette aspekt af grundvandsforekomsternes samspil med de målsatte overfladevandsområder og N 2000 GATØ indgik derfor ikke i vurderingen af grundvandsforekomsternes (samlede) kemiske tilstand. I konsekvens heraf blev der heller ikke fastsat tærskelværdier¹ for forurenende stoffer på grundlag af et konkret vurderet behov for beskyttelse af de målsatte overfladevande og N 2000 GATØ.

På denne baggrund har Miljøstyrelsen igangsat flere forsknings- og udviklingsprojekter med henblik på at tilvejebringe viden og fastlægge metoder, der kan vurdere hvordan og i hvilket omfang, indholdet af forurenende stoffer i en grundvandsforekomst vil påvirke tilstanden i tilknyttede målsatte overfladevandområder, herunder søer (Nilsson med flere, 2019) og N 2000 GATØ. Denne rapport anviser en metode til vurdering af grundvandets kemiske påvirkning på vandløb og kystvande.

I dette projekt er relevant viden om interaktionen mellem grundvand og henholdsvis vandløb og kystvande i Danmark gennemgået. Der er tilvejebragt et overblik over arbejdet med overvågning samt vurdering af grundvandsforekomster og ferske overfladevandområder i Holland og Tyskland. Projektet omfatter en gennemgang og eksemplificering af hvilke data fra det nationale program for overvågning af vand og natur (NOVANA), der er til rådighed, når det skal vurderes, hvilken påvirkning forurenende stoffer i grundvandsforekomster har på tilknyttede målsatte vandløbsstrækninger og kystvande. Der er tillige udarbejdet et digitalt kort, der viser kontakten mellem grundvandsforekomsterne og de målsatte vandløb og kystvande samt en vejledning til anvendelse af dette kort. Med afsæt heri er der udviklet en trinvis metode, der gør det muligt at vurdere en grundvandsforekomsts potentielle påvirkning af målsatte vandløbsstrækninger og kystvande, herunder hvilke data, der skal tilvejebringes for at gennemføre valide vurderinger efter den foreslåede metode.

Reglerne om krav til en grundvandsforekomsts kemiske tilstand samt vurderingen af denne tilstand er fastsat i EU's vandrammedirektiv² og grundvandsdirektiv³, hvoraf de væsentligste er

¹ En tærskelværdi er et kvalitetskrav for grundvand, som en medlemsstat har fastsat efter grundvandsdirektivets artikel 3.

² EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger med senere ændringer

³ EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelse med senere ændringer

gengivet i Bilag A. Grundvandsforekomsternes kemiske tilstand vurderes på baggrund af en generel kvalitetsvurdering af grundvandets påvirkning af overfladevand og terrestrisk natur, indtrængning af saltvand eller andre stoffer, samt kemiske trends, jf. definitionen af god kemisk tilstand i vandrammedirektivet. Med hensyn til kemisk påvirkning af overfladevand vurderes det, om god økologisk og kemisk tilstand kan opnås for grundvandsforekomster jf. vandrammedirektivet. Arbejdet i dette projekt bidrager desuden til tilstandsvurderinger af grundvandets kemiske tilstand i henhold til vandrammedirektivet og grundvandsdirektivet, samt følgende vejledninger fra medlemslandenes samarbejde, *Common Implementation Strategy For the Water Framework Directive(CIS)* om at implementere vandrammedirektivet *CIS Guidance Document No. 18 Groundwater Status and Trend assessment*, 2009 , *CIS Guidance document No. 28 Preparation of Priority Substance Inventory*, 2012 og *CIS Technical Report No 9 Groundwater Associated Aquatic Ecosystems*, 2015-093).

3. Eksisterende viden om kontakten mellem grundvand, vandløb og kystvande

I alle typer af overfladevand bidrager grundvand med en vis del af vandbalancen og indstrømningen af grundvand fra underliggende magasiner kan ske gennem fokuseret indstrømning på mindre arealer eller mere diffust på større områder i bunden af vandløbet, søen eller kystvandet. I visse tilfælde vil vandkvaliteten og mængden af grundvand, der kommer ind i overfladevandet, have stor indflydelse på vandkvaliteten i overfladevandet. Med implementeringen af vandrammedirektivet (EU, 2000) på tværs af Europa er der nu skabt forvaltningsmæssig sammenhæng mellem grundvand og overfladevandssystemerne. Dette foregår i dag ved en koordineret indsats og planlægning for alle vandforekomster, der indgår i Vandområdeplanerne.

Der findes en omfattende mængde litteratur med fokus på at identificere indstrømningszoner og kvantificere indstrømningsmængder af grundvand til vandløb (Winter med flere, 1998; Winter, 1999; Sophocleus, 2002;) og kystvande (Taniguchi med flere, 2002; Haider med flere, 2015). Desuden blev der for ca. 15 år siden gennemført en udredning af betydningen af grundvandets påvirkning af overfladevand under danske forhold (Refsgaard med flere, 2002).

3.1 Grundvandets kemiske og kvantitative kontakt til vandløb

Grundvandets strømningsveje både i terrænnære, regionale eller dybe grundvandsforekomster og i kontaktzonen med vandløbene (hyphoreisk zone) er styrende for en række forhold (f.eks. pH og oxidationsforhold og organisk stof indhold), der i sidste ende bestemmer grundvandets kemiske påvirkning af vandløbene (Winter, 1999, 2001; Toth, 1999; Devito med flere, 2005). I et samarbejde mellem GEUS og Aarhus Universitet er Grundvand-Overfladevand-Interaktion (GOI) typologien siden 2002 blevet udviklet som en konceptuel forståelsesramme, der giver en grundlæggende forståelse af de styrende forhold for vand- og stofudveksling mellem grundvandsforekomster og overfladevande på forskellige rumlige og tidslige skalaer under danske forhold (Dahl med flere, 2007). Konceptet bruges indirekte til at vurdere, hvordan grundvandets kemiske sammensætning og mængde kan påvirke overfladevandområdets kvantitative og kemiske tilstand gennem kontakten med terrænnære og regionale grundvandsforekomster.

Tidligere analyser af kontakten mellem grundvand og overfladevand har oftest anvendt medianminimums vandføringer og dennes tilvækst gennem vandløbssystemer bestemt ved synkronmålinger som et kvantitativt mål for kontakt (f.eks. Dahl med flere, 2005). Dahl med flere (2005) foretog en analyse af den kvantitative kontakt i Odense Å, hvor vandtilvæksten i å og tilløb blev kortlagt for mange delstrækninger. Der blev konstateret en nettotilvækst af vand på de fleste delstrækninger med op til 10-15 L/s/km (Dahl med flere, 2005). Kun enkelte strækningen viste ingen tilvækst og meget få en negativ tilvækst (nedsivning til grundvandsmagasiner). Synkronmålinger af medianminimumsvandføringen og regionale kortlægninger af vandtilvæksten var en del af amtens kortlægning til brug for evalueringer af vandindvindingsgodkendel-

ser og udledninger fra punktkilder. Disse synkronmålinger blev indsamlet af Danmarks Miljøundersøgelser i slutningen af 1990'erne, bl.a. til brug for DK-modellen (Ovesen, pers. komm.). Siden dette tidspunkt er der så vidt vides ikke foretaget synkronmålinger af medianminimum på national skala til kvantificering af grundvandsindsivningen.

Termografiske undersøgelser i vandløb med temperatursonder og *distributed temperature sensors* (DTS-kabel) har vist, at udstrømningszoner i størrelsesorden fra få meter til under 100 meter kan identificeres på denne måde. Metodernes egnethed er veldokumenteret ved danske undersøgelser (Sebok med flere, 2015; Karan med flere, 2017). Brugen af DTS-kabler er lidt omstændelig, hvor droner udstyret med termografikameraer vil kunne skabe en større arealdækning ved kortlægning af indstrømningszoner i vandløbsbunden. En anden gruppe af feltmetoder til kortlægning af indstrømningszoner omfatter brug af konservative sporstoffer, isotoper til aldersdatering og stabile iltisotoper, der med held har været anvendt i en dansk undersøgelse til bestemmelse af flukse af vand- og stof mellem grundvand og overfladevand (Poulsen med flere, 2015).

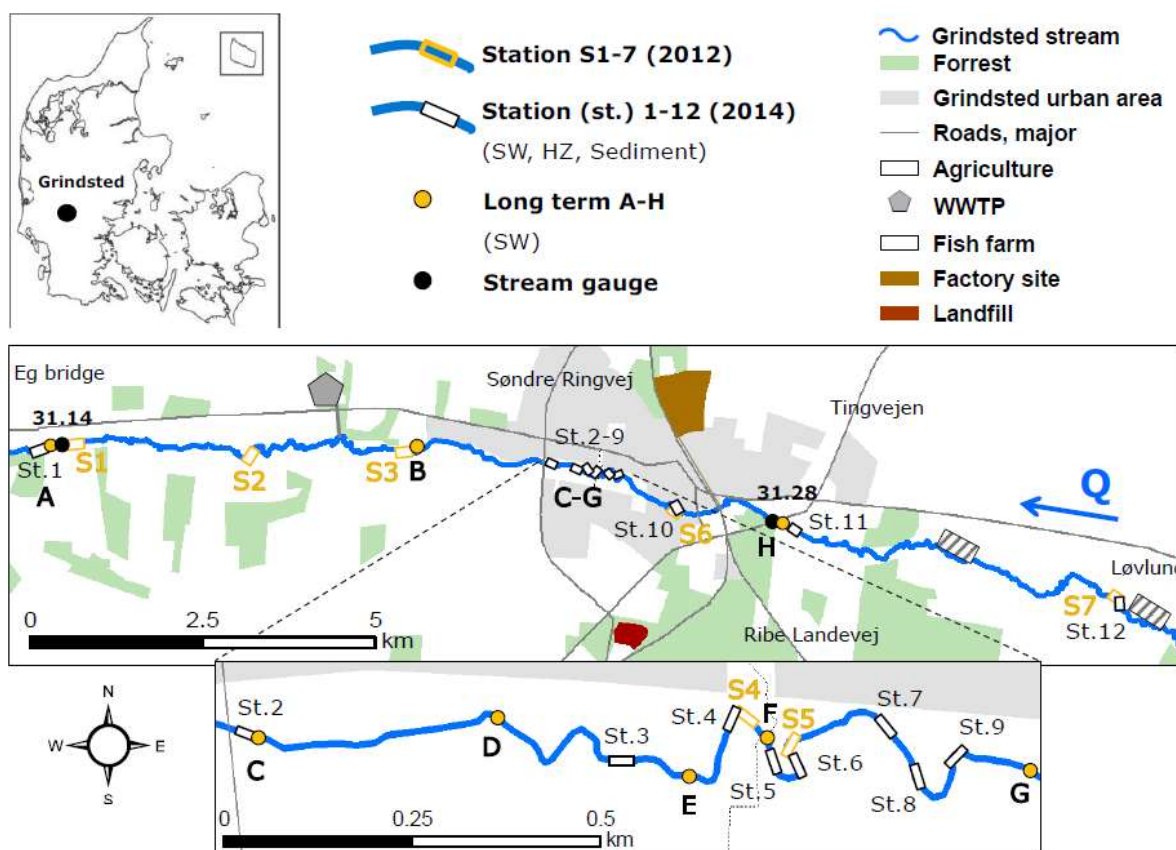
Danske undersøgelser af den kemiske kontakt mellem grundvand og naturlige ripariske zoner (grænseområde mellem vandløb og omgivende land) viser, at afhængigt af de hydrogeologiske og biogeokemiske forhold kan den ripariske zone og dens bredde (Hoffmann med flere, 2009; Dybkær med flere, 2012) have signifikant effekt på omsætning og tilbageholdelse af næringsstoffer (Brüsch og Nilsson, 1993; Hoffmann med flere, 2009; Ribas med flere, 2017; Graeber med flere, 2017), pesticider (Kidmose med flere, 2010) og klorerede opløsningsmidler (Milosevic med flere, 2012). Dog afhænger tilbageholdelse og nedbrydning af miljøfarlige stoffer af en længere række af miljøfaktorer såsom vegetationsstruktur og artssammensætning i den ripariske zone, tilstedeværelse af erosionsriller og lokale klimatiske forhold (fx Bundschuh med flere, 2016). Dermed kan restaurering af ripariske zoner og vandløb have stor effekt på tilbageholdelsen af næringsstoffer og - afhængigt af miljøforhold - også miljøfarlige stoffer (Kronvang med flere, 2009; Hoffmann med flere, 1998, 2011; Bundschuh med flere, 2016; Jensen med flere, 2017; Graeber med flere, 2017).

Miljøstyrelsen har de senere år igangsat flere projekter med fokus på beskrivelse og udvikling af metoder til vurdering af punktkilders (jordforureningers) påvirkning af overfladevand (primært vandløb) (Miljøstyrelsen, 2014; 2016a; 2016b). En multi-stressor-metode (*source-pathway-receptor*) er udviklet til vurdering af vandkvaliteten i vandløb som følge af påvirkning fra punkt- og diffus forurening af vandløbene (Miljøstyrelsen, 2018). I sidstnævnte undersøgelse indgår ikke påvirkninger fra potentiel forurening fra grundvandforekomster i kontakt med vandløbene.

3.1.1 Grindsted Å megasite – kontakt grundvand-vandløb

En detailundersøgelse af Grindsted Å (som et værkstedsområde for forekomst og effekter af miljøfarlige stoffer) blev gennemført i forskellige studier i perioden 2011-2014 (Rasmussen med flere, 2015; Sonne med flere, 2017a, 2017b). Undersøgelserne blev gennemført over en ca. 15 km lang strækning af åen med etablering af flere målestationer fra opstrøms til ned-

strøms byen (Figur 3.1). I Grindsted by er der en stærkt forurenet grund, hvorfra der udstrækker sig en underjordisk og rumlig kompleks forureningsfane, der udmunder i åen. Der blev konstateret flere kemiske stressorer omfattende både tungmetaller og organiske miljøfarlige stoffer i åen. Den kombinerede påvirkning fra de kendte underjordiske (forureningsfanen) og overjordiske punktkilder i oplandet, samt diffuse oplandskilder kunne adskilles ud fra de detaljerede vandkemiske målinger i åen (Sonne med flere, 2017b). Åvandskvaliteten var stærkt påvirket af udledningen af metaller fra diffuse, naturligt forekommende (geogene) kilder og antropogene kilder. Metallerne var aluminium, barium, kobber, bly, nikkel og zink (Sonne med flere, 2017b). Frigivelsen af metallerne kobber, zink og nikkel fra jorden blev yderligere forstærket af en forsurening af den kalkfattige undergrund (Sonne med flere, 2017b). Forurenende grunde med stærkt forurenede grundvandsfaner viste sig at være en betydelig kilde til en kontinuert påvirkning af vandløbskvaliteten med udsivning af mere end 500 kg pr. år miljøfarlige stoffer i form af aromatiske kulbrinter og klorerede ethener samt deres nedbrydningsprodukter. Endvidere blev der også konstateret en række farmaceutiske stoffer samt en del pesticider i Grindsted Å (Sonne med flere, 2017b).



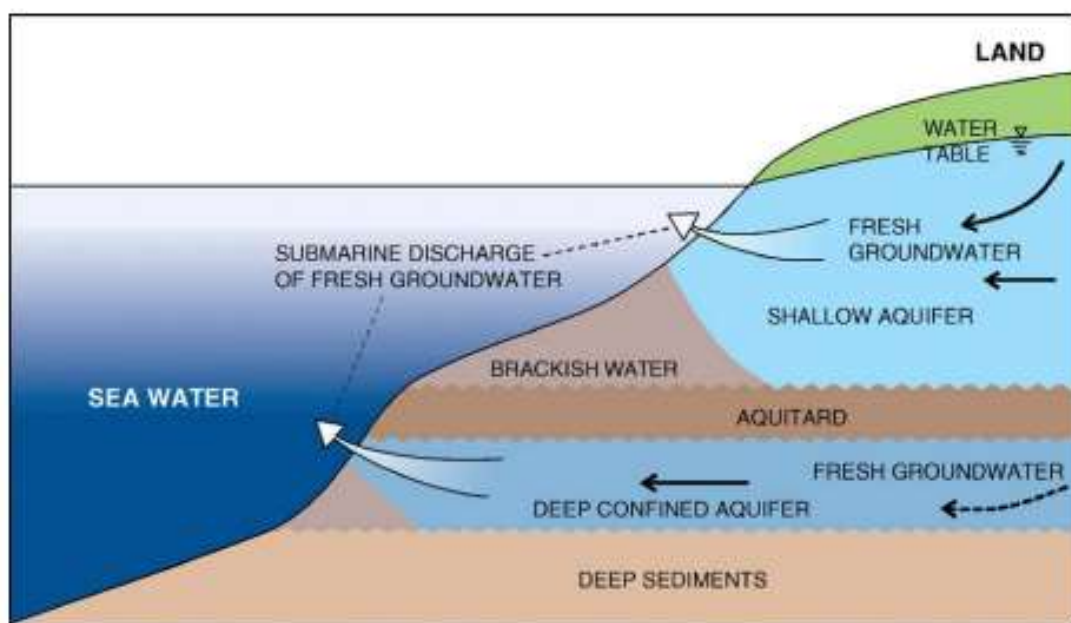
Figur 3.1: Måleopstillingen ved Grindsted Å, der er anvendt som et værkstedsområde for studier af forekomst og effekt af miljøfremmede stoffer (Sonne med flere, 2017b).

3.2 Grundvandets kemiske og kvantitative kontakt med kystvande

Grundvandets kemiske kontakt til kystvande har været studeret i en årrække specielt i udlandet (Figur 3.2). Specielt har salt/ferskvandskontakten fået stor opmærksomhed, da den kan true vandforsyningen af et stigende antal kystnære storbyer og ferieområder ikke mindst i ændret fremtidigt klima med stigende havniveau. Det er eksempelvis undersøgt i flere nyere EU projekter: CLIWAT (Hinsby med flere, 2011), BaltCICA (Rasmussen med flere, 2013), SubSol (Rasmussen med flere, 2018) samt i Miljø og Fødevareministeriets Miljøteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram (Ecoinnovation) i projektet Water4Coasts (Hinsby med flere, 2016).

Flere studier viser desuden, at der i visse tilfælde kan føres mere kemisk stof til kystvandene via grundvand end via vandløb (Johannes, 1980; Burnett med flere, 2003; Kim med flere, 2005). Lignende observationer er imidlertid ikke rapporteret i danske undersøgelser. I Danmark, Polen, Tyskland og Finland er der igangværende undersøgelser i BONUS SEAMOUNT projektet (www.seamount.eu), hvor den direkte udstrømning af grundvand til kystvande i Østersøen lokaliseres og monitoreres. Eksempelvis viser polske undersøgelser i et andet EU støttet projekt BONUS AMBER, at meiofaunaen i kystzonen ændrer sammensætning pga. en øget tilførsel af metan via grundvandet til den polske Østersøkyst (Kotwicki med flere, 2013).

Tidligere projekter har set på en række kemiske aspekter af forurenede grundvandstilstrømning til kystvande med øget koncentration af sporelementer, metaller, næringsstoffer, pesticider, stabile og radioaktive isotoper både omkring Østersøen og Nordsøen gennem snart tre årtier (Vanek og Lee, 1991; Schlüter med flere, 2004; Andersen med flere, 2007; Moore med flere, 2011; Donis med flere, 2017; Krall med flere 2017). Geologiske forhold spiller ofte en afgørende rolle og kontrollerer lokaliseringen af udstrømningspunkterne (Jensen med flere, 2002).



Figur 3.2: Konceptuel model for udstrømning af grundvand til kystvandene (SGD = submarine groundwater discharge) (fra Burnett med flere, 2006).

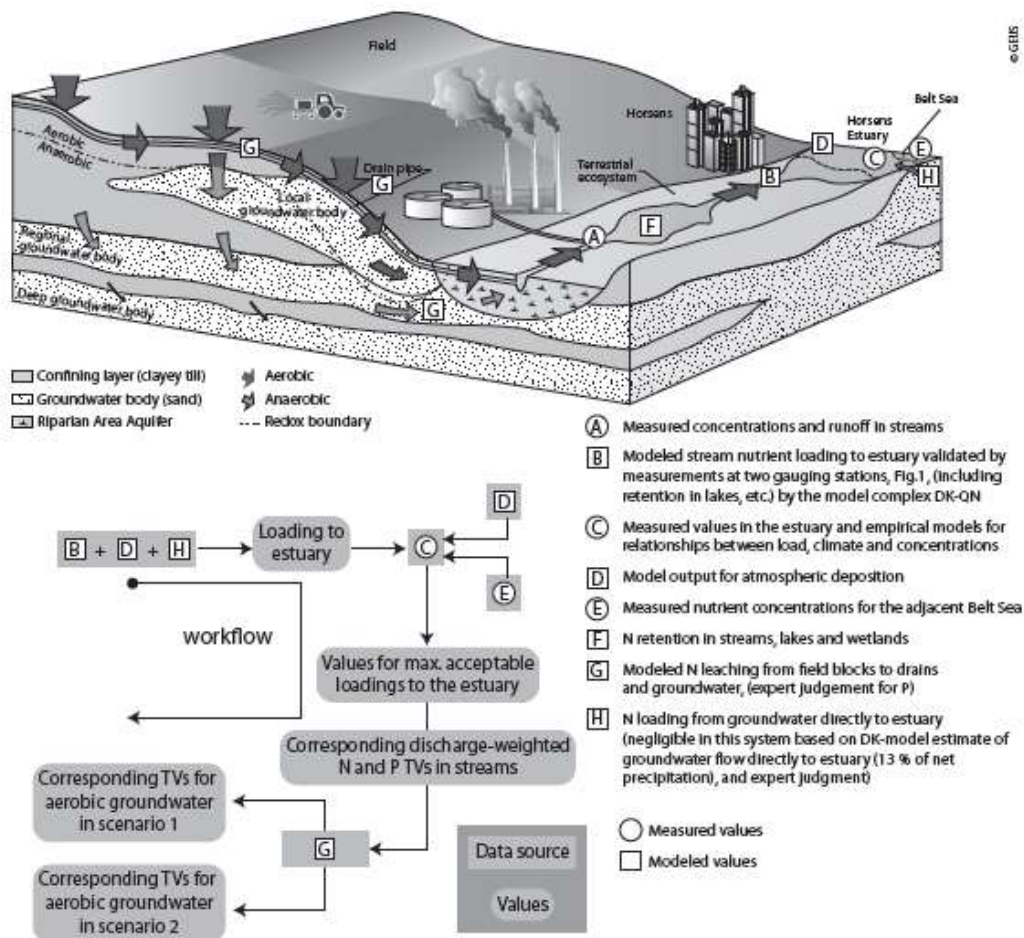
I Danmark er der 91 kystvandoplande, hvor af 75 er defineret som lavvandede estuarier (Conley med flere, 2000). I Danmark er der kun enkelte undersøgelser, der adresserer den kemiske og eller kvantitative kontakt mellem grundvand og kystvandene. Disse undersøgelser omfatter case studies langs den jyske vestkyst, på Falster og Isefjord.

Langs den jyske vestkyst er salt/ferskvandsgrænsen blevet kortlagt med airborne geofysisk metode (SKYTEM) ved den dansk/tyske grænse (Jørgensen med flere, 2012) og i Ringkøbing Fjord, hvor et grundvandsmagasin med ferskvand kiler ud under Ringkøbing Fjord (Kirkegaard med flere, 2011; Kinnear med flere, 2013). Udstrømningen er blevet kortlagt med samme metoder, som anvendes i kontakten mellem grundvand og vandløb (tracere og stabile isotoper). Varme som tracer viser, at udstrømningen af grundvand til Ringkøbing Fjord er lav (Duque med flere, 2016). Ved Esbjerg er udstrømningen af nitrat fra grundvandszonen til Vesterhavet blevet undersøgt af Andersen med flere (2007). Undersøgelsen viste, at alderen på det udsivende grundvand er op til 100 år, og sammenholdes dette med, at kvælstofgødning kun er blevet brugt og kan måles i grundvand infiltreret siden 1950-erne, er det ikke sandsynligt, at der måles nitrat af betydning i udsivningen til Vesterhavet i undersøgelsesområdet i den nærmeste fremtid.

Saltvandsindtrængning er desuden blevet undersøgt eksempelvis ved Skansehage i Isefjord (Andersen med flere, 2005), Stevns (Thorn, 2011) og på Falster (Rasmussen med flere, 2013, 2018). Ved Skansehage blev benyttet klorid, deuterium og ilt-isotoper samt strontium-isotoper ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) til at beskrive opblandingen mellem det salte havvand og ferskvand (Jørgensen med flere, 2008). Makroioner, sporelementer, stabile og radioaktive isotoper er ligeledes anvendt til at belyse grundvandets alder og kilder til saltvandsindtrængningen ved Stevns (Thorn, 2011) og på Falster (Hinsby med flere, 2018). Saltvandsindtrængningen på Falster er primært forårsaget af dræning etableret i 1860'erne, af grundvandsindvinding til drikkevand og til markvanding (Rasmussen med flere, 2013), mens saltvandsindtrængningen på Stevns primært er forårsaget af indvinding til drikkevand.

Horsens Fjord og Odense Fjord har begge været brugt som case studies til vurdering af tærskelværdier for N og P i grundvand med henblik på at vurdere økosystemernes sårbarhed med udgangspunkt i, hvor store mængder næringsstof, der maksimalt må udvaskes til fjordene for at sikre god økologisk tilstand (Hinsby med flere 2008; 2012). Derudover belyser blandt andet Sonnenborg med flere (2012) og Hinsby med flere (2012), hvordan øget vinternedbør som følge af klimaændringer må forventes at øge kvælstofudvaskningen til kystområder, såfremt nuværende landbrugspraksis ikke ændres. Det er dog uklart, i hvilket omfang direkte udstrømning fra grundvand til kystvande vil blive påvirket af dette.

Undersøgelserne ved Horsens Fjord indikerede, at der måtte være direkte udstrømning fra grundvandet til fjorden (Hinsby med flere, 2012, Figur 3.3), men det er uklart hvor og hvordan dette sker, og i hvilket omfang en sådan udstrømning påvirker næringsstofbalancen i fjorden. Dette undersøges i øjeblikket i BONUS SEAMOUNT projektet (www.seamount.eu) i samarbejde mellem danske, finske, polske og tyske forskningsinstitutioner samt små og mellemstore virksomheder (SME).



Figur 3.3: Konceptuel model for næringsstofbelastningen af Horsens Fjord inklusivt et potentielt bidrag fra direkte udstrømning af grundvand (H) – Hinsby med flere (2012).

3.2.1 Høfde 42 megasite – udstrømning af forurenet grundvand til kystvand

Et kendt eksempel på en kystnær punktkildeforurening med miljøfarlige stoffer i megasite klassen i Danmark er Cheminova/Høfde 42-lokaliteten, der ligger på Harboøre Tange mellem Vesterhavet og Nissum Bredning i Limfjorden (Figur 3.4). Høfde 42-forureningen skete tilbage i 1950'erne til 60'erne i forbindelse med Cheminovas udledning af spildevand og deponering af fast affald i klitterne tæt på havet. Forureningen består af pesticider og tungmetaller, hvor den samlede forureningsmasse vurderes til at være ca. 110 tons (heraf 70 tons ethyl-parathion og ca. 7 tons kviksølv). Der er flere underjordiske forureningskilder på Harboøre Tange, hvor Høfde 42-forureningen nærmest kystlinjen nu er indkapslet med en spunsvæg så yderligere udsivning til kystvandene er stoppet. Der findes dog flere markante forureninger på tangen. Harboøre Tange er en del af et N2000 område, der er omfattet af EF-Fuglebeskyttelsesområde

nr. 39 og Ramsarområde nr. 5. Engene og lagunesøerne på Harboøre Tange udgør vigtige levesteder og ynglepladser for truede fuglearter. I årene 2014-2018 skal regionerne identificere, hvilke underjordiske punktkilder, der potentielt kan påvirke lagunesøer, kystvandene og naturen i området.



Figur 3.4: Oversigtskort over kendte forureninger på Harboøre Tange. Forureningerne har forskellig styrke og udstrækning (Region Midtjylland, 2016)

3.3 Opsummering

En litteraturgennemgang af grundvandets kemiske påvirkning på vandløb og kystvande viser at der findes noget mere litteratur om danske (inklusive vores nabolandes) undersøgelser af grundvandets påvirkning af vandløb end kystvande.

4. Opsamling af viden om overvågning og metoder fra Holland og Tyskland

I dette kapitel er præsenteret viden fra Holland og Tyskland, som begge har større områder med interaktion mellem grundvand og overfladevand, hvilket inddrages i tilrettelæggelsen af deres Vandområdeplaner. Landenes overvågning af kemisk kvalitet og prioriterede stoffer i grundvand og overfladevand, herunder deres anvendelse af interaktion grundvand-overfladevand i bedømmelsen af tilstand og regulering er forsøgt præsenteret i opsamlingen.

Tre institutioner i de to lande er kontaktet for at undersøge, hvordan de har håndteret analysen af interaktion mellem grundvandsforekomster og overfladevande vedrørende især prioriterede miljøfarlige stoffer. Henvendelser er sket til de lande og institutioner som fremgår af tabel 4.1. Der er indkommet oplysninger og henvisninger til skriftligt materiale fra begge lande, som er anvendt som baggrund i nedenstående analyse af landenes tilgang til problemstillingen.

Tabel 4.1: Oversigt over lande og institutioner som er kontaktet ud over søgninger på nettet.

Lande	Institutioner
Holland	RIVM National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven, the Netherlands
Tyskland	Forschungszentrum Juelich, Institute of Bio- and Geosciences (IBG) Institute 3: Agrosphere 52425 Juelich, Germany
Tyskland	Umweltbundesamt, Berlin (hjemmeside)

4.1 Situationen i Holland

Kilde til oplysningerne

Information er søgt ved institutionen RIVM, som har bibragt skriftlige oplysninger via mail og referencer til databaser og rapportlister.

Overvågningen og monitoreringen

I Holland er 24 vandmyndigheder (*Waterboards*) ansvarlige for regionale og lokale overfladevandsområder. Desuden er den national institution 'Rijkswaterstaat' ansvarlig for de større nationale overfladevandsområder. Der er ca. 700 overfladevandsområder (SWB) i Holland.

Grundvandet administreres af 12 provinser (*Provinces*), og grundvandet er opdelt i 23 grundvandsforekomster hver bestående af flere magasiner. Overvågningen foregår således i forskelligt regi, men der findes en samlet database med både overfladevands- og grundvandsdata (<https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/Beheer>).

Håndtering af analyse af kemisk tilstand

Holland har etableret et netværk af målestationer i overfladevand, som anvendes til at afgøre, om der er overskridelser af de kemiske kvalitetskrav. Data lagres i en offentlig database med 'fact sheets' og data for den økologiske og kemiske kvalitet i overfladevandsområder. Bedømmelsen af kemisk kvalitet sker både i forhold til overskridelser for enkeltstoffer (prioriterede) og ud fra en vurdering af den generelle kemiske kvalitet. Disse vurderinger sker på baggrund af målinger i overfladevand.

De regionale vandmyndigheder har hidtil anvendt egne hydrologiske modeller til at modellere den kvantitative interaktion mellem øvre grundvand og overfladevand (SOBEK, SIMGRO). Desuden findes der en national hydrologisk model (*Nederlands Hydrologic Instrumentarium: NHI*), som også beregner kvantitative fluxe mellem grundvand og overfladevand, men som kommer til andre resultater end de regionale modeller. Det har og giver stadigvæk anledning til mange diskussioner i Holland om resultaterne. De regionale vandmyndigheder tager pt. ikke hensyn til grundvand-overfladevandsinteraktion i forhold til prioriterede stoffer, men beregner input fra øvre grundvand og drænvand som en diffus kilde (påvirkning).

Grundvandsovervågningen foregår hovedsageligt i dybder fra 10–25m og ikke for de samme stoffer som i overfladevand, og derfor er der endnu ikke foretaget en sammenligning mellem prioriterede stoffers forekomst i grundvand og overfladevand. Følgelig kan grundvand godt være i god kemisk tilstand, mens overfladevand er i dårlig tilstand pga. påvirkninger fra drænvand og øvre grundvand.

Som eksempel er der i det nordlige Holland lavet en bedømmelse for den kemiske kvalitet i forhold til prioriterede stoffer, der oversat siger: "På grundlag af de foreliggende oplysninger er det vanskeligt at afgøre, om en utilstrækkelig status i overfladevand er forårsaget af overskridelse af tærskelværdierne i grundvandet. Fordi der træffes foranstaltninger på omfanget af forureningen i overfladevandområder, er alle grundvandsområder for denne komponent blevet vurderet som gode for øjeblikket".

4.2 Situationen i Tyskland

Kilde til oplysninger

Information er søgt ved institutionen *Research Centre Jülich* og ved *Umweltbundesamt* i Berlin i form af deres rapporter på nettet.

Overvågningen og monitoreringen

I Tyskland overvåges den kemiske status af grundvand og overfladevand i de enkelte *Länder* i form af både et kontrolovervågningsnet (*surveillance*) og et operationelt netværk af overvågningsstationer.

I overvågningen af den kemiske kvalitet i grundvand indgår der 4.892 kontrolsteder og 2.273 operationelle overvågningssteder. Derudover er der i overvågningen af grundvands kemiske kvalitet et nationalt netværk af stationer på ca. 800, der anvendes til rapportering til bl.a. *European Environment Agency* (EEA). Netværket til rapportering af nitratkoncentrationer i henhold til Nitratdirektivet er nu udvidet til at omfatte i alt 1.200 monitoringssteder i grundvand, der også anvendes til rapportering til EEA. Det nationale netværk af stationer i grundvand dækker alle arealanvendelser, og tætheden af grundvandsstationer i det nationale netværk er på ca. 3,5 pr. 1.000 km².

Overvågningen af den kemiske kvalitet i overfladevand som vandløb foregår i et nationalt netværk ved 257 repræsentative monitoringsstationer (LAWA-netværket), som anvendes ved rapportering til EU direktiver (UBA 2017). Specifikke forurenende stoffer, som udledes i betydelige mængder, skal overvåges under vandrammedirektivet. Der er opsat kvalitetsstandarder for stofkoncentrationen i vand – typisk som totalkoncentration, dog for enkelte stoffer for den opløste fraktion. Der findes tabeloversigter over kvalitetsstandarder i vandløb/søer og overgangsvande i form af gennemsnitskoncentrationer (AA-EQS) og maksimumskoncentrationer (MAC-EQS) for i alt 68 stoffer fordelt på 7 stofgrupper (UBA 2017). Prioriterede miljøfarlige stoffer i form af den opdaterede liste under vandrammedirektivet fra 2013 med 45 stoffer er også inkluderet i overvågningen. Overskridelse af den gennemsnitlige kvalitetsgrænse (AA-EQS) overvåges altid. Hertil kommer, at der er tale om bioakkumulerende stoffer, er der fastsat grænseværdier for biota (bioate-EQS), og denne indgår derfor i overvågningen af stofferne og anvendes frem for den gennemsnitlige koncentration (AA-EQS). Reduceret overvågning må anvendes for stoffer, der forekommer ganske udbredt, for eksempel dioxiner, bromerede flammehæmmere, PFOS, 5 PAH'er, kviksølv og tributyltin. En 'Watch' liste af stoffer fra EU er også inkluderet i Tyskland på et netværk af 24 monitoringsstationer.

Monitoring og analyse af kemisk tilstand

Den kemiske tilstand er angivet til at være lavere end god i 34,8 % af alle grundvandsforekomster (UBA, 2017). Dette skyldes mest nitrat (27,1 %) og pesticider (2,8 %) fra landbrug.

I Tyskland beregnes input af de enkelte stoffer, herunder kilderne til udledningen, for en periode af f.eks. 3 år (tungmetaller, UBA, 2017). Overskridelse af kvalitetsstandarder for f.eks. gennemsnitskoncentrationer (AA-EQS) undersøges derefter for en tilsvarende 3-års periode på baggrund af LAWA-monitoringsnettet i vandløb.

Mht. specifikke stoffer som tungmetaller er der overskridelser af-EQS værdien for arsen, cadmium (opløst), kobber, nikkel (opløst) og zink. Flest overskridelser ses for zink (ca. 23 %), kobber (ca. 10 %) mens de andre tungmetaller repræsenterede mindre end 5 % med overskridelser (UBA 2017). Mht. pesticider, hvor der i alt overvåges 30 stoffer, blev der i 3-års perioden

2013-2015 fundet overskridelser af AA-EQS for især imidacloprid (insekticid), nicolsufuron, flufenacet, bentazon og 2,4D (herbicider) og triclosan og cybutryn (fungicider) (UBA 2017).

For de prioriterede stoffer er der især konstateret overskridelser ved LAWA-stationer for TBT, PAH, nikkel (opløst), isoproturon, cadmium (opløst), HCH'er og fluoranthene (UBA 2017).

Der er i et enkelt Länder – Brandenburg - fundet rapporter som viser, at der regionalt foregår en analyse af interaktionen mellem grundvand og overfladevand, som inddrages ved bedømmelse af den kemiske tilstand i overfladevand (Landesumweltamt Brandenburg, 2010). I et eksempel er det for grundvandsforekomsterne beskrevet, at der for visse stoffer enten stammende fra diffuse kilder, punktkilder eller mineaktivitet må forventes en belastning fra grundvand til overfladevand også efter 2027. I en anden rapport fra *Umweltbundesamt* (2010) fastslås det ligeledes, at en god kemisk tilstand i grundvand giver dobbelt sikkerhed: på den ene side for at grundvandet selv har en god kvalitet, på den anden side for at det ikke forårsager tilstandsændringer af overfladevand og jordøkosystemer, der er afhængige af grundvandet.

4.3 Opsummering

Der er tilvejebragt et overblik over hvordan kemisk kvalitet og prioriterede stoffer monitoreres i grundvand og overfladevand i Holland og Tyskland, herunder en status for hvordan landene anvender interaktion grundvand-overfladevand i bedømmelsen af kontakten mellem grundvandsforekomster og ferske overfladevande. I Holland er der pt. Ikke foretaget en sammenligning mellem prioriterede stoffers forekomst i grundvand og overfladevand. Derfor kan grundvand godt være i god kemisk tilstand, mens overfladevand er i dårlig tilstand pga. påvirkninger fra drænvand og øvre grundvand. Dog er der i Holland gennemført modelberegninger af den kvantitative kontakt mellem grundvandsforekomster og overfladevande. I Tyskland er der i enkelte regioner – Bundesländer, som f.eks. Brandenburg, gennemført beskrivelser af hvordan virkningen af grundvands-overfladevands interaktionen skal inddrages i bedømmelserne af god kemisk kvalitet, og at en god kemisk tilstand i grundvandsforekomster giver dobbelt sikkerhed: på den ene side for at grundvandet selv har en god kvalitet, på den anden side for at det ikke forårsager tilstandsændringer af overfladevand og jordøkosystemer, der er afhængige af grundvandet.

5. Analyse af nationale måleprogrammer

5.1 Historik

Projektet baserer sig på data, der er indsamlet i forbindelse med NOVANA (Det Nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur). NOVANA blev senest revideret i 2016, hvilket betyder, at det nuværende program gælder for perioden 2017-21 (NOVANA 2017-21, Miljøstyrelsen, 2017). Dette program erstattede NOVANA 2011-2015 (Naturstyrelsen, 2011a) og NOVANA 2016 (Naturstyrelsen, 2016). Systematisk national overvågning af vandmiljøet startede med Vandmiljøplan 1 i 1988-89, og er efterfølgende blevet revideret ca. hvert sjette år. Før 1989 blev der ikke foretaget koordineret, sammenhængende overvågning, men alene undersøgelser for at imødekomme regionale behov, fx i amterne.

Overvågningen af grundvand omfatter overvågning i GRUMO-program (Grundvandsmonitoring) suppleret med data fra vandværkernes boringskontrol, mens overvågning af næringsstoffer i spildevand fra renseanlæg i NOVANA-punktkildeprogrammet er baseret på renseanlæggenes egenkontrol.

Miljøfarlige stoffer blev inddraget i overvågningen af overfladevand og spildevand med NOVA-2003 (Miljøstyrelsen 2000), mens der fra programmets start var inddraget miljøfarlige stoffer (fx pesticider og uorganiske sporstoffer) i overvågningen af grundvand. Der er ved hver revision af overvågningsprogrammet foretaget justeringer af hvilke stoffer, der er med i overvågningen. Hvis den hidtidige overvågning har vist, at et stof ikke eller stort set ikke påvises, eller hvis det over længere tid forekommer på uændret koncentrationsniveau, tages stoffet ud af overvågningsprogrammet. Data for disse stoffer vil fortsat være lagrede i databaser, og det har således været muligt at inddrage historiske data om disse stoffer i projektet i det omfang, det har været relevant. Nye stoffer tages ind i overvågningen i det omfang, der er kommet et lov-mæssigt krav om overvågning eller andre undersøgelsesresultater har vist, at det er relevant. Justeringerne er sket med udgangspunkt i strategien for overvågning af miljøfarlige stoffer, som blev udarbejdet og beskrevet i forbindelse med tilrettelæggelse af NOVANA 2011-2015 (Naturstyrelsen, 2011b) og justeret i forbindelse med tilrettelæggelse af NOVANA 2017-21. Det betyder samlet set, at længden af tilgængelige tidsserier varierer for de enkelte stoffer.

I nærværende projekt er metoden til fastlæggelse af grundvandsforekomsternes kemiske på-virkning på vandløb og kystvande primært baseret på data fra overvågning af overfladevand i NOVANA 2011-2015 og 2016. For grundvandets vedkommende stammer data fra overvågning i perioden 2000 -2013 for de parametre, hvor der tidligere er lavet en tilstandsvurdering, og 2000-2016 for andre parametre. Ved overvågning af overfladevand skelnes der mellem kontrol- og operationel overvågning, jf. § 2, stk. 2 og 3, jf. bilag 1 og 2 i bekendtgørelse om overvågning. Kontrolovervågningen er tilrettelagt med henblik på at beskrive den generelle tilstand og udvikling, hvilket betyder, at overvågningen gennemføres ved stationer, som er udvalgt med henblik på at være repræsentative såvel geografisk som typemæssigt. Den operationelle overvågning gennemføres ved stationer, hvor der er risiko for manglende målopfyldelse, eller

hvor der er manglende viden. Identifikationen af miljøfarlige stoffer, som er relevante for projektet er baseret på NOVANA-rapporteringen, som primært omfatter data fra kontrolovervågningen, jf. kap. 6, mens beskrivelserne af forekomst af både miljøfarlige stoffer og næringsstoffer i vandløb og marine områder er baseret på data fra både kontrol- og operationel overvågning, jf. kap. 7. I det marine program skelnes ikke mellem data fra kontrol- og operationel overvågning, da de fleste marine områder indgår i såvel kontrol- som operationel overvågning. For grundvand har denne skelnen alene betydning for prøvetagningsfrekvensen og ikke for stationsnettet.

Overvågningen af miljøfarlige stoffer har fokus på at måle stofferne i de matricer (dvs. vandfase, sediment og biota), som stofferne kan forventes at forekomme i, men samtidig under hensyntagen til i hvilke matricer, der er fastsat miljøkvalitetskrav. Det betyder, at overvågning af miljøfarlige stoffer i vandløb sker i både vandfase, sediment og fisk. I kystvande sker overvågningen i sediment, muslinger og fisk. I det omfang forekomsten af stoffer ikke overvåges i vandfasen, er det ikke muligt at lave en direkte korrelation mellem koncentrationerne i grundvand og påvirkningen af overfladevand. Problemstillingen gælder primært for data fra kystvande, og der er i stedet foretaget en relativ vurdering i forhold til koncentrationsniveauer, jf. kap. 6. Næringsstoffer måles i både vandløb og kystvande i vandfasen, og der er dermed mulighed for direkte korrelation med stoffernes forekomst i grundvand.

Overvågning af grundvandsforurening som følge af jordforurening varetages af regionerne. Regionernes data vil i vidt omfang være relevante for belysning af grundvandets kemiske påvirkning af overfladevand. Disse data er imidlertid ikke alle tilgængelige i Jupiter, og de er kun anvendt i det omfang, de er indberettede til Jupiter, og anvendt til tilstandsvurderingen til Vandområdeplanerne 2015-2021 (Vandområdeplan 2). Hvis tilstandsvurderingen af overfladevandet viser en påvirkning, der peger på et behov for at inddrage jordforureningsdata, vil det være muligt at rekvirere disse hos regionerne. <https://www.miljoeogressourcer.dk/>.

5.2 Indhold i delprogrammer

De vandkemiske data i overvågningen af grundvand, vandløb og kystvande kan opdeles i følgende overordnede stofgrupper,

1. Næringsstoffer og andre hovedbestanddele
2. Metaller og andre uorganiske sporstoffer
3. Pesticider
4. Andre organiske miljøfarlige stoffer

Der skelnes i vandfasen mellem det totale indhold og det opløste indhold af de enkelte stoffer. Det totale indhold bestemmes på ufiltrerede prøver, mens det opløste indhold bestemmes på filtrerede prøver.

Hovedbestanddelene analyseres som det totale indhold eller den opløste fraktion afhængig af de enkelte stoffer. Uorganiske sporstoffer analyseres som den opløste fraktion (filtrerede prøver) i såvel grundvand som overfladevand, mens pesticider og andre organiske miljøfarlige stoffer analyseres som det totale indhold.

I bilag B gennemgås hvilke stoffer inden for ovennævnte fire grupper, der indgår i de enkelte delprogrammer. De stoffer, der er med i overvågningen i de enkelte delprogrammer, er angivet med krav til detektionsgrænse ifølge bekendtgørelse nr. 974, 2018 (Miljø- og Fødevareministeriet, 2018). Derudover er det i bilaget omtalt, hvilke ændringer der har været i NOVANA 2017-21 i forhold til NOVANA 2011-2015.

Overvågningen i marine områder er i NOVANA 2017-21 udvidet til også at omfatte overvågning, der skal ske i medfør af havstrategidirektivet⁴, og som har sammenhæng med den øvrige NOVANA-overvågning. Overvågningen i medfør af havstrategidirektivet har tidligere været et selvstændigt overvågningsprogram (Naturstyrelsen, 2014).

Overvågningen i vandfasen i vandløb er i NOVANA 2017-21 ændret i forhold til NOVANA 2011-2015 til at være 12 gange pr. år (månedlig) for stoffer på vandrammedirektivets liste over prioriterede stoffer og 4 gange årligt for øvrige forurenende stoffer mod 12 gange pr. år i foregående program. I begge programperioder indgår hver station et år/én gang i perioden i kontrol-overvågningen.

5.3 Opsummering

Gennemgang af de tre delprogrammer viser, at det er muligt at udpege stoffer, som er målt på tværs af de tre delprogrammer og dermed kan danne grundlag for nærværende projekt. Dette skal ses i lyset af, at delprogrammerne for grundvand, vandløb og kystvande er tilrettelagt med henblik på at imødekomme nationale forpligtelser og behov for data inden for de tre områder, og således ikke med henblik på at udgøre et fælles datagrundlag for projekter som det nærværende. Historikken bag overvågningen og de enkelte delprogrammer belyser de forskelle og ligheder, der er i data som følge af ændrede overvågningsbehov.

⁴ EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2008/56/EF af 17. juni 2008 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets havmiljøpolitiske foranstaltninger (havstrategirammedirektivet)

6. Udvælgelse af stoffer

Der er foretaget en afgrænsning og udvælgelse af de kemiske parametre, der kan indgå i analyserne af grundvandsforekomsternes påvirkning af vandløb og kystvande. Dette er i dette kapitel sket ved at udarbejde oversigter over de kemiske parametre som overvåges og er fundet i grundvand, vandløb og kystvande med overskridelser af kvalitetskrav i grundvand og overfladevand og/eller deres fundhyppighed. Ud fra disse analyser er der lavet forslag til de kemiske parametre, der indgår i de videre analyser i projektet, hvoraf nogle som eksempler er medtaget i hovedrapporten og de resterende udvalgte stoffer i bilagsrapporten. Kvælstof er medtaget i hovedrapporten som eksempelstof, selvom der i dag findes en landsdækkende kvælstof-model (Trolborg med flere, 2016), der kan anvendes til beregninger på ID15-skala, men endnu ikke på grundvandsforekomstniveau. Fosfor er ikke medtaget i hovedrapporten, da der endnu ikke foreligger miljøkvalitetskrav til koncentrationer af fosforforbindelser i vandløb og kystvande.

Udvælgelse af stofferne i projektet er baseret på følgende kriterier:

- Stofferne indgår i overvågning på tværs af delprogrammerne grundvand og vandløb og helst også kystvande
- Stofferne er hyppigt fundet i koncentrationer over kvalitetskrav eller alternativt påvist hyppigt
- Stofferne på Vandrammedirektivets liste over prioriterede stoffer

6.1 Metaller og sporstoffer

Nikkel er blandt vandrammedirektivets prioriterede stoffer og er i blandt de sporstoffer, der er fundet hyppigst i grundvand i koncentrationer over kravværdien for drikkevand (tabel 6.1). Der er inddraget data fra 2013 i tabel 6.1, da data fra 2015 ikke var repræsentative, idet en større andel af data var fra surt vand, hvilket medfører højere nikkelkoncentrationer. Ved overvågningen i 2013 var mediankoncentrationen af nikkel 1,50 µg/L og andelen af indtag med koncentrationer højere end kravværdien 21 % (28/134) (Thorling med flere, 2015). Nikkel er desuden fundet hyppigst i sediment fra kystvande i koncentrationer over det af OSPAR fastsatte baggrunds niveau BAC. I vandløb er nikkel blandt de tre metaller, der er i 2011-2015 er fundet hyppigst i koncentrationer, der er højere end miljøkvalitetskravet.

Zink adskiller sig fra nikkel ved ikke at være blandt vandrammedirektivets prioriterede stoffer. Zink er imidlertid det metal, der er i vandløb er fundet hyppigst i koncentrationer højere end miljøkvalitetskravet, og det metal, der i grundvandsovervågningen er fundet næst hyppigst i koncentrationer højere end kravværdien i drikkevand. Mediankoncentrationerne i vandløb er dog væsentlig højere end i grundvand. Der er kendte potentielle kilder til forekomst af zink i overfladevand, heriblandt udvaskning fra gylle (Bak med flere, 2015).

Tabel 6.1: Metaller og sporstoffer. Andel af indtag med fund og mediankoncentrationer i grundvandsovervågningen (80 indtag) og vandløbsvand (21 stationer) i kontrolovervågningen samt sediment fra kystvande (Thorling med flere, 2016; Thodsen med flere, 2016; Hansen (red.), 2016).

	Grundvand (2015)			Vandløb (2011-2015)			Kystvande (2015)
	Antal indtag med konc. >kravværdi/antal indtag	Hyppighed af indtag med konc. >kravværdi	Median konc. (µg/L)	Antal fund >MKK / antal prøver	Hyppighed af fund > MKK	Median konc. (µg/L)	Sediment**. Hyppighed af fund >BAC (n=24)
Arsen (As)	5/80	6 %	0,43	i.r.	i.r.		i.r.
Bly (Pb)	6/80	8 %	0,22	27/304***	8,9 %***	0,029	71 %
Cadmium (Cd)	3/80	4 %	0,08	0/316	0 %	0,005	46 %
Kobber (Cu)	3/80	4 %	1,65	58/172*	34 %*	1,05	67 %
Nikkel (Ni)	28/134*** *	21 %****	1,50*** *	46/304*, ** *	15 %*, ***	1,0	79 %
Zink (Zn)	11/80	14 %	1,65	54/74*	73 %*	7,75	58 %

*korrigeret for baggrunds niveau, **normaliseret til 5% Al, i.r. ikke rapporteret i 2015, *** vurderet i forhold til miljøkvalitetskrav gældende i Bek. Nr. 1625, 2017. **** data fra 2013 (Thorling med flere, 2015)

Kobber er blandt de metaller, der er fundet hyppigst i vandløb i koncentrationer højere end miljøkvalitetskravet. Ligesom for zink er udvaskning fra gylle tilført til landbrugsjord en kendt potentiel kilde til forekomst af kobber i overfladevand, og desuden kan anvendelse af kobber i dambrug være en kilde. Mediankoncentrationerne af kobber i grundvand og vandløbsvand er imidlertid på samme koncentrationsniveau.

Både zink og kobber er essentielle mikro-næringsstoffer, der har et snævert interval mellem gavnlig og toksisk effekt for de forskellige vandløbsorganismer.

Bly og cadmium er fundet i både grundvand og vandløb med lave hyppigheder af koncentrationer højere end kravværdi og miljøkvalitetskrav i forhold til de øvrige metaller.

Kviksølv overvåges i fisk og forekommer udbedt i koncentrationer, der er højere end miljøkvalitetskravet for kviksølv. Kviksølv overvåges ikke længere i grundvand og måles ikke i vandfasen ved overvågning af vandløb og kystvande. Derfor er kviksølv, på trods af at stoffet er blandt de prioriterede stoffer og den udbredte overskridelse af miljøkvalitetskravet, ikke inddraget i projektet.

Arsen er inddraget i overvågningen af vandløb fra og med 2016. Det betyder, at der ikke foreligger data fra vandløb, som kan danne grundlag for en faglig vurdering af relevansen af at inddrage arsen i projektet.

På baggrund af ovenstående vurderes det, at blandt sporstofferne er nikkel og zink og kobber de mest relevante at inddrage i projektet. Derudover kan der være forvaltningsmæssige hensyn, som gør at også andre metaller skal inddrages.

6.2 Pesticider.

Der analyseres for langt flere pesticider i grundvand end i overfladevand. Ved udvælgelse af pesticider til projektet fokuseres der på pesticider, der analyseres i både grundvand og vandløb (tabel 6.2).

Udvælgelsen af pesticider, der er relevante for projektet, baseres på hyppigheden hvormed pesticiderne er påvist eller fundet i grundvand i koncentrationer over grænseværdien på 0,1 µg/. I det omfang, der er fastsat miljøkvalitetskrav for pesticider i fersk overfladevand, er maksimumskoncentrationerne fundet ved overvågningen i vandløb i perioden 2011-2015 væsentlig lavere end disse. Derfor baseres udvælgelsen af pesticider, der er relevante i forhold til vandløb, på hyppigheden af fund over detektionsgrænsen. Ud fra disse kriterier er de fem mest relevante pesticider (oplistet i prioriteret rækkefølge):

- BAM
- Glyphosat
- AMPA
- Trichloredikesyre
- Bentazon

De fem pesticider er identificeret ved en rankning af fundhyppigheden af pesticiderne i henholdsvis grundvand og vandløb. De fem pesticider med højest rankning er vurderet til at være mest relevante for projektet.

Tabel 6.2: Pesticider (herbicider) og nedbrydningsprodukter. Andel af indtag med fund i grundvandsovervågningen i perioden 2011-2015 (7.500-17.300 indtag) og i vandløbsvand (21 stationer) i kontrolovervågningen i NOVANA i perioden 2011-15 (<http://dce2.au.dk/pub/SR206.pdf>). Miljøkvalitetskrav er anført for de stoffer, de er fastsat for.

	Grundvand (GRUMO)		Vandløb			
	Andel indtag med fund (%)	Andel indtag >0,1 µg/L	Median (µg/L)	Maks. (µg/L)	% fund >DG	Miljøkvalitetskrav (µg/L)*
BAM	20,3	7,8	0,011	0,083	40	78
AMPA	4,4	1,1	0,12	2,2	81	-
Atrazin	5,3	1,1	<DG	0,017	0,7	0,6
Bentazon	6,8	1,9	<DG	0,23	6,7	45
DEIA	14,8	3,5	<DG	0,015	1,2	-
Diuron	0,9	0	<DG	0,074	5,5	0,2
DNOC	1,0	0,2	<DG	0,12	1	-
Glyphosat	6,2	1,3	0,087	8,9	79	-
Isoproturon	0,2	0,1	<DG	0,041	1,2	0,3
MCPA	2,3	0,4	0,070	26	36	-
Mechlorprop	3,8	1,0	<DG	0,62	14	18
Pendimethalin	1,3	0,1	<DG	0,019	0,7	-
Prosulfocarb			<DG	0,3	17	-
Simazin	2,7	0,4	<DG	0,052	0,7	1
Terbutylazin	1,0	0	<DG	0,05	1,2	-
Trichloreddikesyre	4,6	1,9	0,013	0,29	37	-

*Bek. Nr. 1625, 2017 (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017)

6.3 Andre organiske miljøfarlige stoffer

Halogenerede alifatiske kulbrinter

Chloroform (trichlormetan) er ifølge programbeskrivelsen det eneste stof fra gruppen af halogenerede alifatiske kulbrinter, der er med i overvågningen af både grundvand og vandløb.

Chloroform er i grundvandsovervågningen i perioden 2011-2014 påvist 9,8 % af de undersøgte indtag, og i 1,1 % af indtagene blev chloroform påvist i koncentrationer, der var højere end drikkevandskravet (Thorling med flere, 2015b). Der foreligger ingen data fra overvågning af chloroform i vandløb i perioden 2011-15 (ingen data i ODA databasen). I 2006 blev chloroform påvist i 14 % af i alt 58 prøver fordelt på 5 vandløbsstationer. Koncentrationen var i alle tilfælde væsentligt lavere (90%-fraktil: 0,29 µg/L) end miljøkvalitetskravet på 2,5 µg/L (Boutrup med flere, 2015).

Der er på baggrund af det foreliggende datagrundlag ikke faglig begrundelse for at inddrage chloroform eller andre halogenerede alifatiske kulbrinter i projektet.

Blødgørere

DEHP er den eneste af blødgørerne (ftalater), der indgår i NOVANA-rapporteringen på tværs af de tre delprogrammer. Fundhyppigheden er mindre end 5 % i både grundvandsovervågningen og i overvågning af vandløbsvand i perioden 2011-14/15, mens fundhyppigheden er væsentlig højere ved måling i sediment (tabel 6.3).

DEHP er det eneste stof fra gruppen af blødgørere, hvor der findes overvågningsdata fra både grundvand og overfladevand, og som der dermed er muligt at inddrage i projektet. Den lave fundhyppighed i grundvand indikerer imidlertid ikke stor relevans.

Tabel 6.3: Blødgørere. Andel af indtag med fund i NOVANA (Thorling med flere, 2016; Thodsen med flere, 2016; Boutrup med flere, 2015)

	Grundvand (2011-2014)		Vandløb (2011-2015)		Kystvande (2004-2012)	
	GRUMO		Vand	Sediment	Sediment	
	Andel indtag med fund (%)	Andel indtag >0,1 µg/L (%)	% fund >DG	% fund > DG	% fund >DG	90 %-fraktil
DEHP	3,9	0,1	4,2	85	96	562
Disononylphthalat (DNP)	2,5	-			96	696
Dibutylphthalat (DBP)	0,1	-			94	158
Di(2-ethylhexyl)adipat				0		

Perfluorerede forbindelser

Indholdet af perfluorerede forbindelser er i 2015 undersøgt i grundvand i vandværkernes indvindingsboringer (Thorling med flere, 2016). Stofgruppen er i vandløb undersøgt i vandfasen,

mens undersøgelserne i marine prøver har været i fiskelever, da stofferne i modsætning til mange andre organiske miljøfarlige stoffer ophobes i leveren, da de er proteinbundne og derfor har et ca. 20 gange højere indhold i lever end muskel.

Tabel 6.4: Perfluorerede forbindelser. Andel af indtag med fund i NOVANA (Thorling med flere, 2016; Thodsen med flere, 2016)

	Grundvand (2013-2016)	Vandløb (2011-2015)
	Boringskontrol	Vand
	Antal indtag med fund /antal indtag	% fund >DG (6 stationer)
Perfluorhexansulfosyre (PFHxA)	9/64 (14 %)	36
Perfluordecansyre (PFDA)	0/43 (0 %)	4,2
Perfluoroktansulfosyre (PFOS)	7/70 (10 %)	0
Perfluoroktansyre (PFOA)	15/72 (21 %)	64
Perfluorononansyre (PFNA)	0/57 (0 %)	42

Det fremgår af tabel 6.4, at PFHxA og PFOA er de hyppigst fundne stoffer i grundvand og blandt de tre hyppigst fundne stoffer i vandfasen i vandløb. PFOS blev som den eneste af de undersøgte perfluorerede forbindelser ikke påvist i vandfasen i vandløb.

Fordelingen af hyppigheden blandt stofferne er anderledes i lever fra marine fisk end grundvand og vandfasen fra vandløb. Resultatet af den marine overvågning af perfluorerede forbindelser i 2015 blev beskrevet således: "PFOS udgjorde i 2015 60-76 % af den samlede mængde PFAS efterfulgt af stofferne PFNA (9-19 %), PFDA (7-12 %), PFUnA (6-12 %) og PFOA (1-3 %). Stofferne PFOSA og PFHxS var under detektionsgrænsen i samtlige prøver i 2015." (Hansen (red.), 2016).

Da der ikke er påvist PFOS i vandfasen i vandløb, er der ikke ud fra de foreliggende data indikation på, at der kan findes en relation mellem PFOS i grundvand og overfladevand. På baggrund af fundhyppigheder af de perfluorerede stoffer i henholdsvis grundvand og vandløb vurderes PFHxA og PFOA at være de mest oplagte kandidater til projektet blandt perfluorerede stoffer.

6.4 Opsummering

Gennemgangen af stofgrupper der indgår på tværs af delprogrammerne for overvågning af grundvand, vandløb og kystvande viser, at det kun er få stoffer der kan genfindes på tværs af alle tre medier. Oftest er det fund af samme stofgrupper i grundvand og vandløb hvad angår næringsstofferne kvælstof og fosfor, tungmetallerne nikkel og zink, pesticidet BAM, blødgøremidlet DEHP, samt PFHxA og PFOA blandt de perfluorerede stoffer.

7. Forekomst af miljøfarlige stoffer i grundvand, vandløb og kystvande

I dette kapitel gennemgås fem eksempelstoffer, hvor fire indgår i de nationale overvågningsprogrammer for såvel grundvand, vandløb som kystvande. I princippet vil det således være muligt at følge et eksempelstof fra udstrømning af stoffet i grundvand til vandløbet og/eller til kystvandet. De valgte stoffer er fordelt på forskellige stofgrupper og er repræsenteret ved næringsstoffet nitrat, tungmetallerne cadmium og zink, PFOS, samt pesticidet BAM, hvor sidstnævnte dog kun måles i de nationale overvågningsprogrammer for grundvand og vandløb. I bilag E, F og G findes en række yderligere eksempler med en gennemgang af både næringsstoffet opløst fosfat, samt 13 sporstoffer og miljøfarlige stoffer for grundvand, vandløb og kystvande. Tabel 7.1 giver en oversigt over stoffer omtalt i bilag E, F og G. Det skal bemærkes, at fosfor ikke behandles i kapitel 7, da dette stof ikke har miljøkvalitetskriterier fastsat for vandløb og kystvande. Desuden indgår nitrat i en række andre tiltag som pågår i regi af eksempelvis arbejdet med kvælstofmodellen (Trolborg med flere, 2016). Kvælstofmodellen er udviklet for ID15-skala (15 km²) og kan simulere kvælstofs transport fra mark til kystvand med den retention, som nitrat undergår under transporten. Kvælstofmodellen kan simulere bidraget til vandløb og kystvande fra grundvand, men ikke opsplittet på de enkelte grundvandsforekomster (Højbjerg med flere, 2015). I bilag C er der en detaljeret beskrivelse af de metodiske overvejelser, beregnede af årsgennemsnit samt oversigter over overskridelser af de forskellige danske og internationale miljøkvalitetskrav, samt en redegørelse for datatilgængeligheden. Det bemærkes, at analysen af forekomst af miljøfarlige stoffer i grundvand, vandløb og kystvande ikke udgør en vurdering af kemisk tilstand af grundvand eller overfladevand. Vurdering af kemisk tilstand for grund- og overfladevand fremgår af Vandområdeplanerne.

Tabel 7.1: Øvrige eksempelstoffer der behandles i bilagene E, F og G

Stof	Grundvand (vandfase)	Vandløb (vandfase)	Kystvande (biota)	Kystvande (sediment)
Næringsstoffer	Opløst total fosfor	Opløst fosfat		
Metaller og sporstoffer	Ni, As, Ba, Hg, Cu	Ni, As, Ba, Hg, Cu	Pb, Zn	Ni, Pb, Hg, Cu
Pesticider og organiske forbindelser	Bentazon, DEHP, trichlorethylen	Bentazon, Iso-proturon, DEHP, trichlorethylen, vinylchlorid	Anthracen, benz(a)pyren, PFAS, sum af brommerede flammehæmmere	Anthracen, benz(a)pyren

7.1 Cadmium

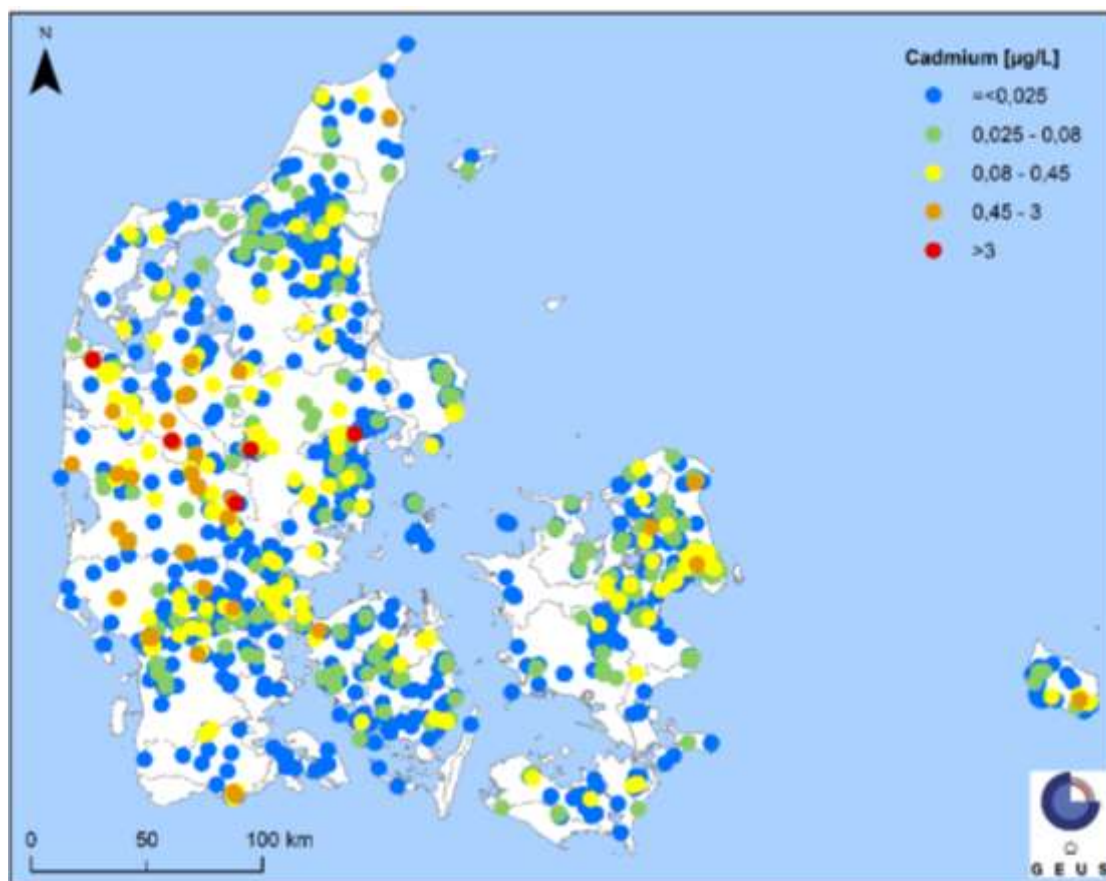
Tungmetaller og andre uorganiske sporstoffer findes i jordens geologiske udgangsmateriale og frigives herfra ved kemiske, fysiske og biologiske nedbrydningsprocesser. Stofferne er således en naturlig del af de terrestriske og akvatiske økosystemer. Menneskets industrielle aktiviteter gennem tiderne har desuden resulteret i, at metaller bundet i fossile brændstoffer og andre geologiske materialer er frigivet til miljøet. Dette har resulteret i, at mange metaller i dag forekommer i miljøet i koncentrationer, der ligger over baggrundsniveauet. Ved forhøjede niveauer er alle metaller skadelige for organismer i vandmiljøet. Menneskeskabt forurening kan give forhøjede værdier både gennem diffus- og punktkildeforurening.

Cadmium (Cd) tilføres primært det terrestriske miljø via menneskeskabte kilder. En målrettet regulering af cadmiumforbruget i Danmark har i de sidste årtier resulteret i en kraftig reduktion af tilførslen til danske jorder (Boutrup med flere, 2015). De væsentligste reduktioner er sket i forbruget af cadmium til plast, maling og korrosionsbeskyttelse, som dog i et vist omfang er modsvaret af et øget forbrug af cadmiumbaserede batterier. Tilførslen til de danske jorder er ligeledes reduceret væsentligt siden starten af 80'erne. Dette skyldes primært en kombination af et formindsket forbrug af handelsgødning samt brugen af råfosfat med lavere indhold af cadmium (Jensen med flere, 1996). De vigtigste kilder til belastning i dag er derfor det atmosfæriske nedfald, gødning, kalkning og spildevandsslam.

Cadmium er blandt Liste I-stofferne og på vandrammedirektivets liste over prioriterede stoffer (EU, 2001).

7.1.1 Grundvand

Figur 7.1 viser den geografiske fordeling af cadmium i Danmark baseret på GRUMO-indtag og boringskontrollen i aktive vandværksboringer. De højeste koncentrationer af cadmium ser ud til at optræde dels i det sure vand i Vestjylland, hvor miocæne aflejringer med højt organisk indhold præger geologien, og dels omkring hovedstadsregionen. De forhøjede koncentrationer i hovedstadsregionen kan hænge sammen med en påvirkning fra bymæssige aktiviteter. Kravværdien for drikkevand er 3 µg/L. Der er ikke lavet baggrundskoncentrationer for cadmium i forbindelse med Vandområdeplanerne 2015-2021 (Vandområdeplan 2). Ved etablering af baggrundskoncentrationer for cadmium vil det være relevant med en geografisk distribueret værdi, fx tilknyttet de forskellige hovedvandoplande eller grupper af disse.



Figur 7.1: Cadmium i grundvand middelværdier for perioden 2000-2017. Kravværdien for cadmium i drikkevand er 3 µg/L. Den højeste koncentrationsklasse er vist øverst.

7.1.2 Vandløb

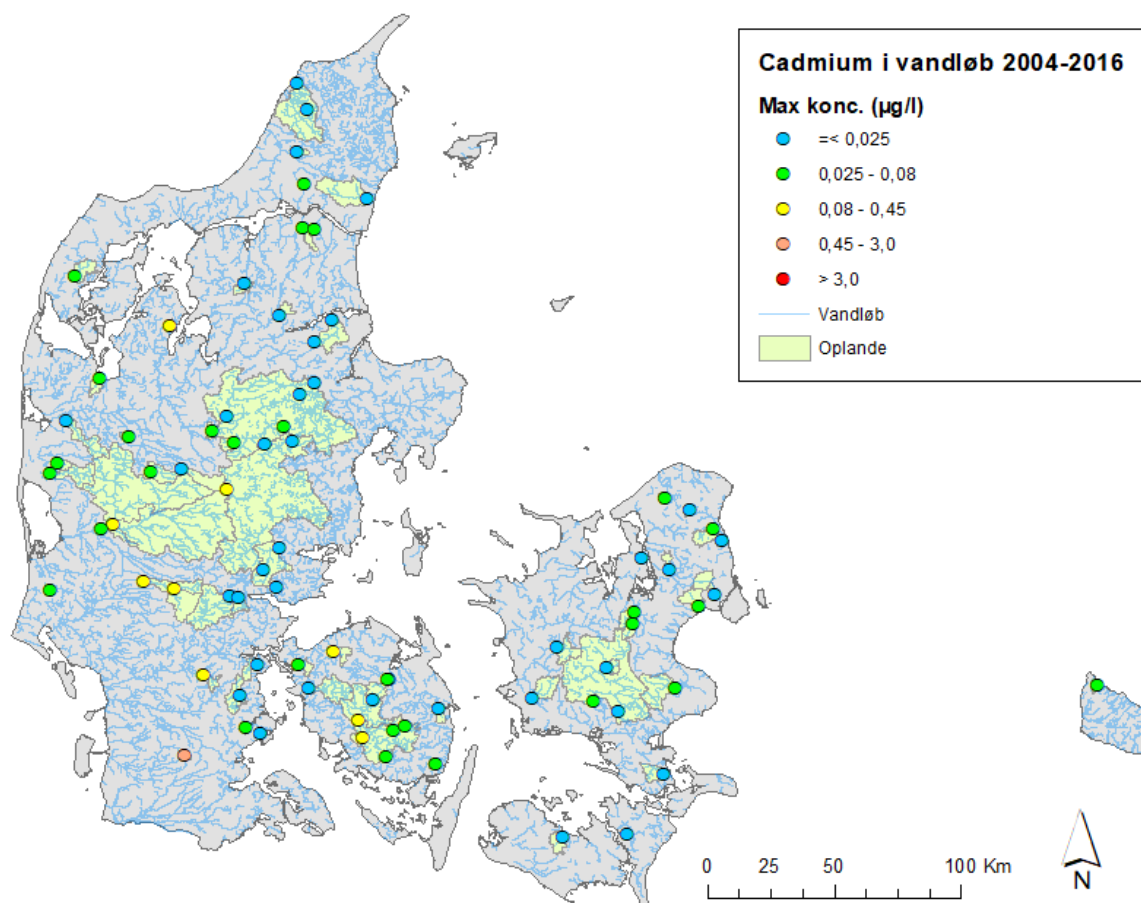
Kvalitetskravene for cadmium afhænger af vandets hårdhedsgrad, som opdeles i fem klasser (klasse 1: < 40 mg CaCO₃/L, klasse 2: 40 til < 50 mg CaCO₃/L, klasse 3: 50 til < 100 mg CaCO₃/L, klasse 4: 100 til < 200 mg CaCO₃/L og klasse 5: ≥ 200 mg CaCO₃/L), jf. bekendtgørelse nr. 1625 af 19. december 2017 om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvande.

Det generelle kvalitetskrav (årsgennemsnit) for cadmium i ferskvand er i bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål fastsat ud fra de forskellige klasser for vandets hårdhed til ≤ 0,08 µg/L (klasse 1), 0,08 µg/L (klasse 2), 0,09 µg/L (klasse 3), 0,15 µg/L (klasse 4) og 0,25 µg/L (klasse 5). Der er for data benyttet i rapporten pt. ikke målt CaCO₃ ved vandløbsstationerne som bruges til bestemmelse af vandets hårdhed. Der foreligger derfor pt. ikke tilstrækkelig data til, at vandets hårdhed kan bestemmes, og derfor er vurderingen i nærværende rapport foretaget i forhold til de målte koncentrationer. Derfor anvendes et generelt kvalitetskrav for cadmium på 0,08 µg/L.

Maksimumkoncentration kvalitetskravet (korttidskvalitetskravet) for cadmium i ferskvand er ifølge bekendtgørelse nr. 1625 (2017) ligeledes fastsat ud fra de forskellige klasser for vandets hårdhed til $\leq 0,45 \mu\text{g/L}$ (klasse 1), $0,45 \mu\text{g/L}$ (klasse 2), $0,6 \mu\text{g/L}$ (klasse 3), $0,9 \mu\text{g/L}$ (klasse 4) og $1,5 \mu\text{g/L}$ (klasse 5) (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017). Der foreligger derfor pt. ikke tilstrækkelig data til, at vandets hårdhed kan bestemmes, og derfor er vurderingen i nærværende rapport foretaget i forhold til de målte koncentrationer. Derfor anvendes et maksimumkoncentrationkvalitetskrav for cadmium på $0,45 \mu\text{g/L}$.

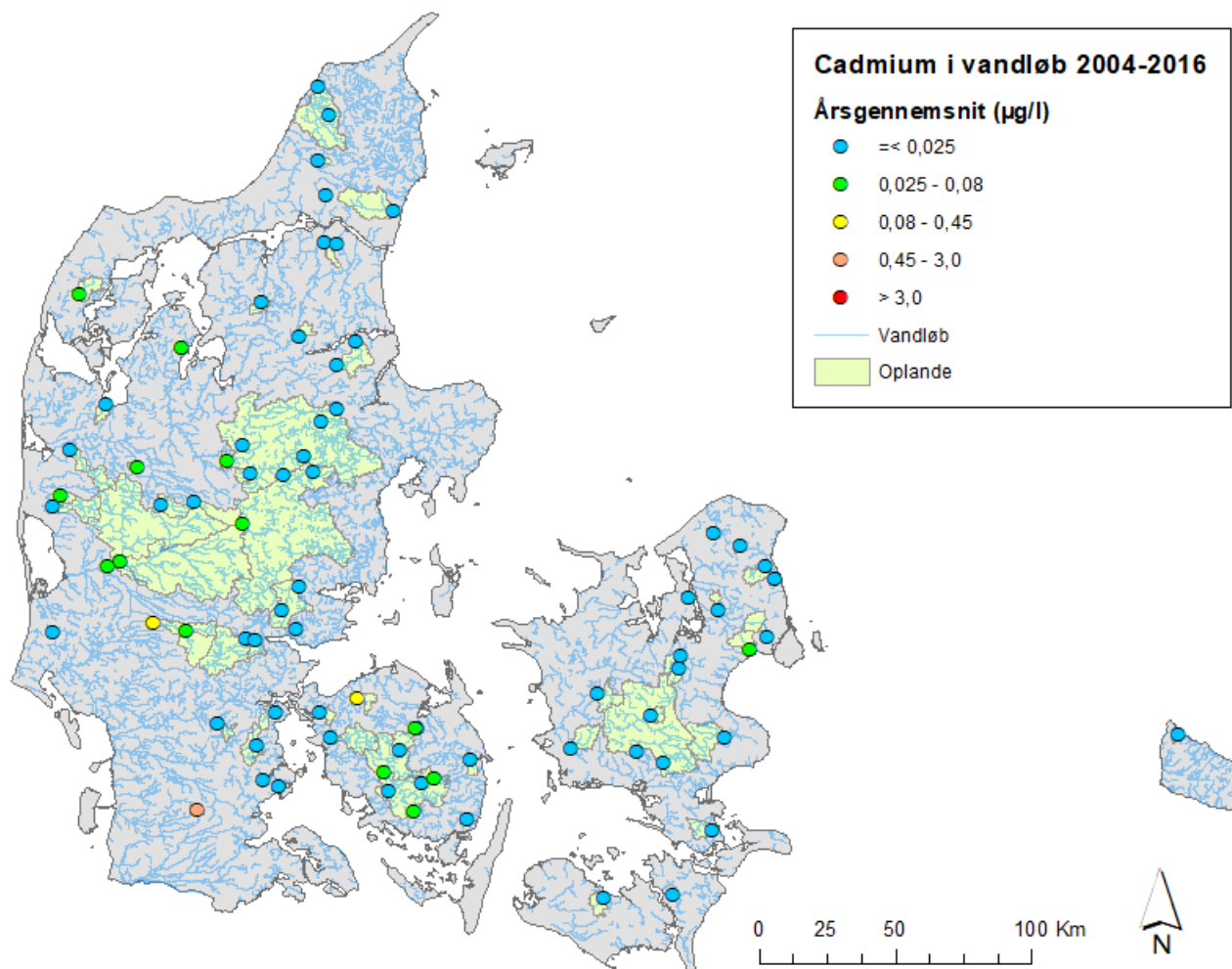
Kvalitetskravene for cadmium gælder for det opløste cadmium-indhold. Alle måledata anvendt i kapitlet er fra prøver, hvor der er analyseret for den opløste fraktion af cadmium efter filtrering gennem et $0,45 \mu\text{m}$ polycarbonat membranfilter, jf. den tekniske anvisning for miljøfarlige stoffer og tungmetaller i ferskvand (Wiberg-Larsen, 2011). Ved cadmium-målingerne var detektionsgrænsen i intervallet $0,01\text{-}0,04 \mu\text{g/L}$.

Fordelingen af maksimumkoncentrationer af cadmium målt ved de enkelte stationer i vandløb i perioden 2004-2016 fremgår af figur 7.2. Der er målt koncentrationer over $0,45 \mu\text{g/L}$ ved en af de i alt 66 stationer hvorfra der findes målinger og koncentrationer over $0,08 \mu\text{g/L}$ ved 10 stationer (figur 7.2).



Figur 7.2: Cadmium i vandløb i Danmark i perioden 2004-2016. Figuren viser de maksimalt målte koncentrationer ved de enkelte stationer i perioden. Der er i alt behandlet data fra 66 vandløbsstationer.

Årsgennemsnit for koncentrationen af cadmium ved de enkelte vandløbsstationer fremgår af figur 7.3. Der er fundet årsgennemsnitskoncentrationer over 0,45 µg/L ved en af de i alt 66 undersøgte stationer og årsgennemsnit over 0,08 µg/L ved to af de undersøgte stationer.



Figur 7.3: Cadmium i vandløb i Danmark i perioden 2004-2016. Figuren viser årsgennemsnit for hver vandløbsstation udregnet på baggrund af metode 2 (NOVANA metoden) for hvert kalenderår. Der er i alt behandlet data fra 66 forskellige vandløbsstationer. I de tilfælde, hvor der er flere årsgennemsnit ved samme station er årsgennemsnittet fra det seneste år anvendt.

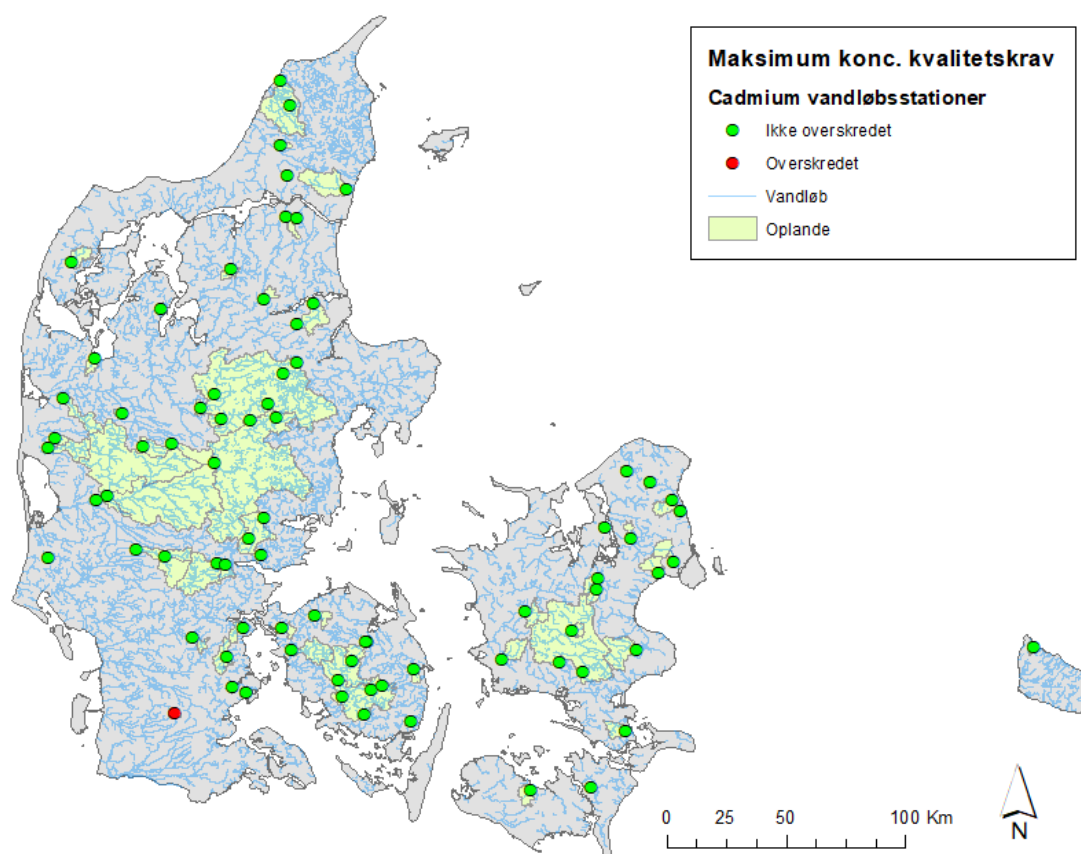
Overskridelser af maksimumkoncentration kvalitetskravet og det generelle kvalitetskrav

Ved een vandløbsstation er der i perioden 2004-2016 fundet koncentrationer, der er højere end maksimumkoncentration kvalitetskravet på 0,45 µg/L for cadmium i vandløb, hvilket svarer til, at der er fundet overskridelse ved 2% af det samlede antal undersøgte vandløbsstationer (tabel 7.2 og figur 7.4).

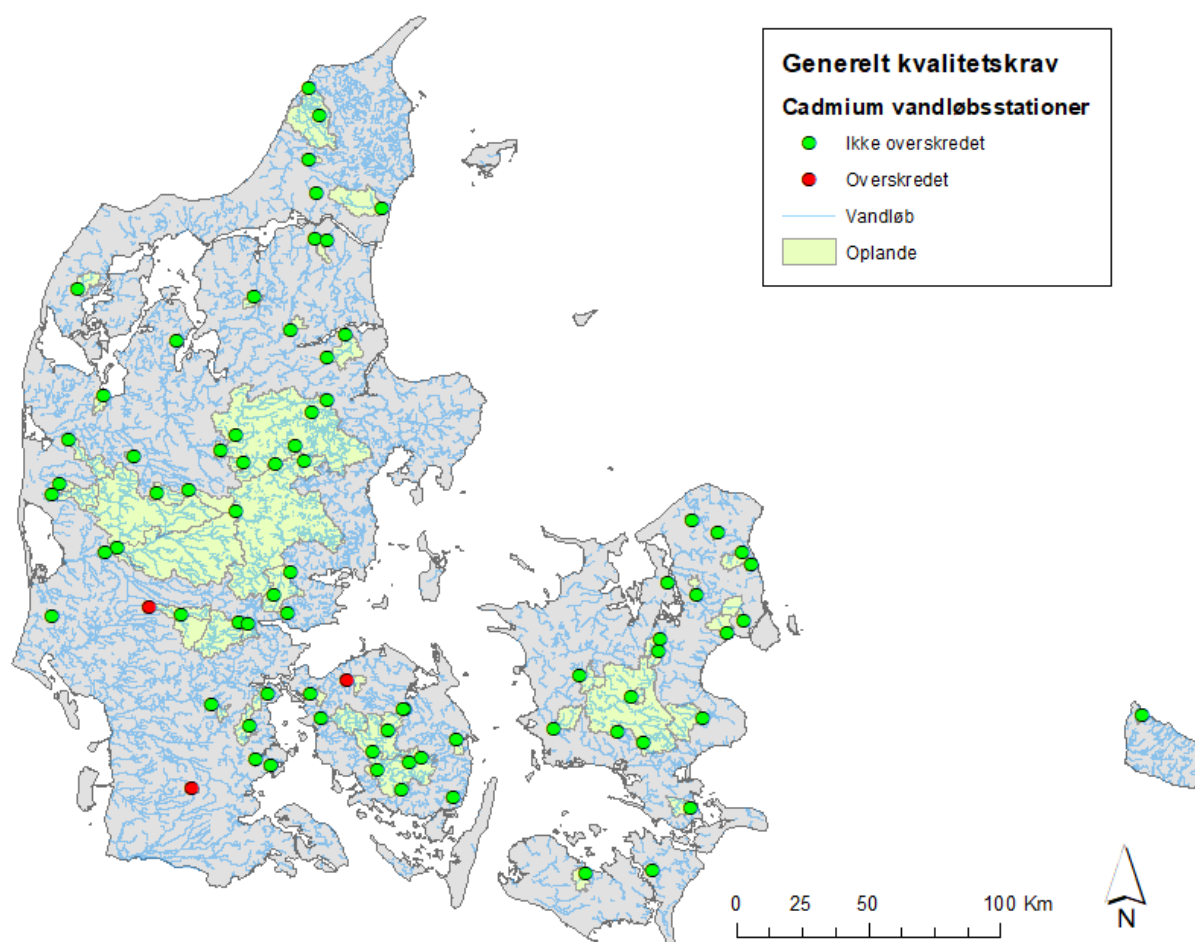
Ved tre vandløbsstationer er der i perioden 2004-2016 fundet årsgennemsnitskoncentrationer, der er højere end det generelle kvalitetskrav på 0,08 µg/L for cadmium i vandløb, hvilket svarer til, at der er fundet overskridelse ved 5% af det samlede antal undersøgte vandløbsstationer (tabel 7.2 og figur 7.5).

Tabel 7.2: Antallet af vandløbsstationer, hvor der er fundet overskridelse af maksimumkoncentration kvalitetskravet og det generelle kvalitetskrav for cadmium i perioden 2004-2016. Derudover fremgår det, hvor stor en procentdel antallet udgør ud fra det samlede antal undersøgte vandløbsstationer.

	Maksimumkoncentration kvalitetskrav	Generelt kvalitetskrav
Antal undersøgte vandløbsstationer: 66	- Max. konc. > 0,45 µg/L	- Årsgennemsnit > 0,08 µg/L
Cadmium i vandløb (antal)	1	3
Cadmium i vandløb (%)	2	5



Figur 7.4: Den rumlige fordeling af målte maksimumkoncentrationer i forhold til maksimumkoncentrations kvalitetskravet på 0,45 µg/L for cadmium i vandløb.



Figur 7.5: Den rumlige fordeling af årsgennemsnitskoncentrationer i forhold til det generelle kvalitetskrav på 0,08 µg/L for cadmium i vandløb.

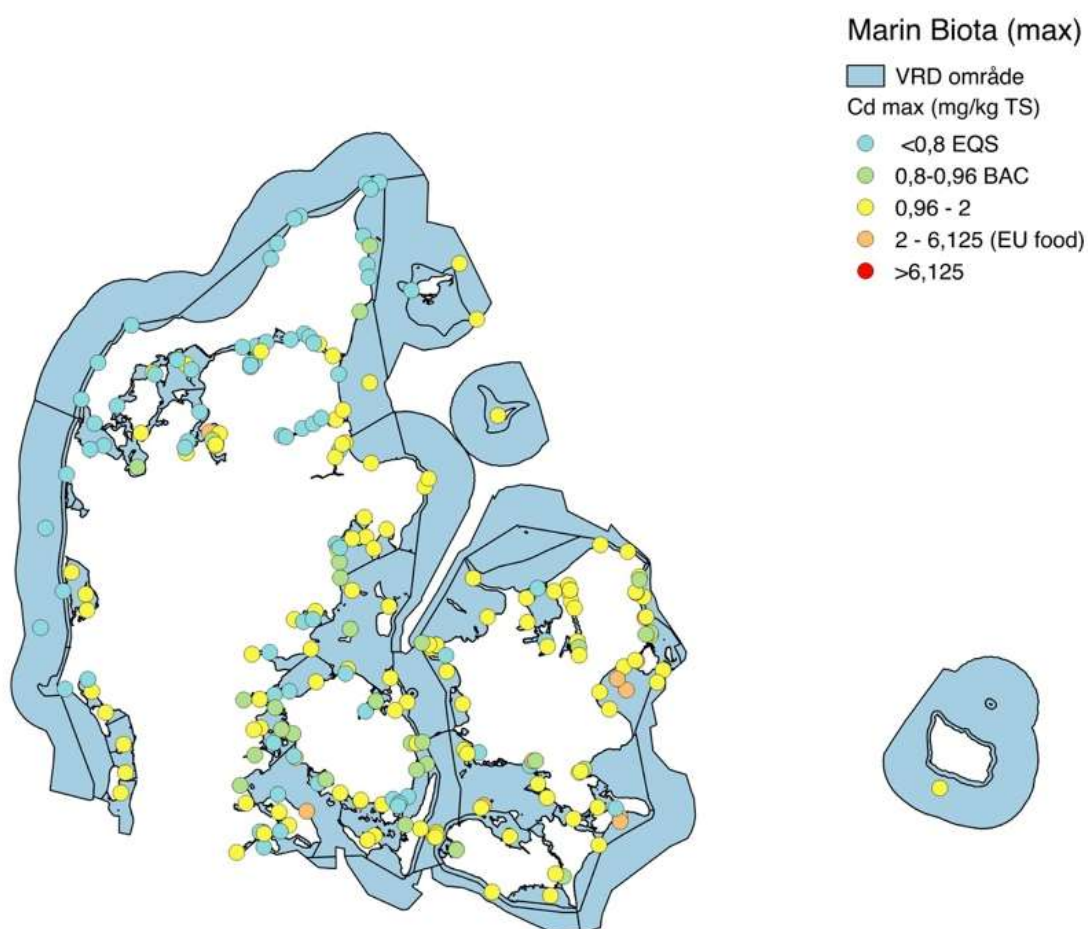
Det samlede opland til de vandløbsstationer, hvor der er målt cadmium, dækker i alt et areal på 7.905 km². Det svarer til, at 18,3% af Danmarks areal er blevet overvåget for forekomsten af cadmium i vandløb (tabel 7.3).

Tabel 7.3: Arealet af oplandene til vandløbsstationerne, hvor cadmium er blevet overvåget i perioden 2004-2016, samt hvor stor en del af Danmarks samlede areal, det udgør procentmæssigt.

Areal af cadmium oplande (km ²)	Areal DK (km ²) (Folketinget, 2017)	Hvor stor andel af landet er undersøgt (%)
7.905	43.094	18,3

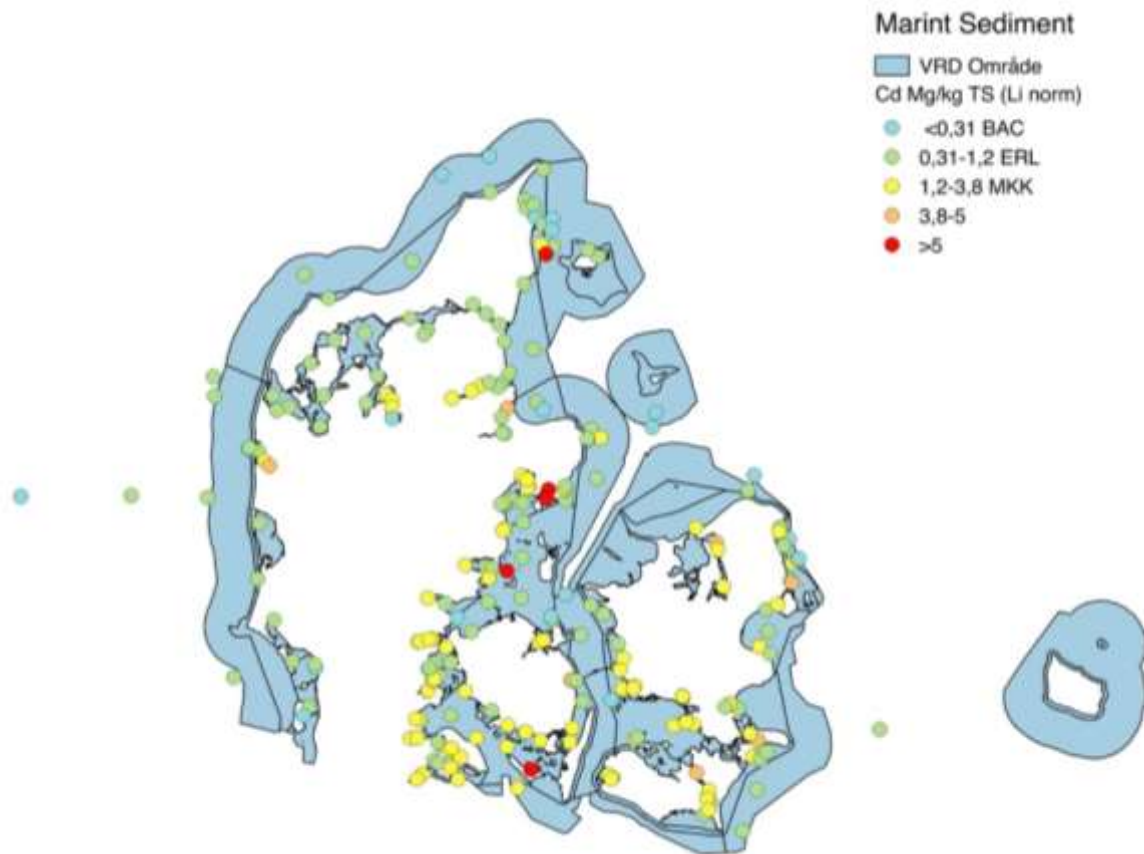
7.1.3 Kystvande

Niveauet for cadmium i muslinger og fisk i kystvande er vist i figur 7.6. De fleste steder er der overskridelser af EQS, som er lavere end OSPAR's baggrunds-assessment koncentration. Specielt er der større overskridelser i Øresund og Køge Bugt, Ringkøbing Fjord, Vadehavet, Smålandsfarvandet og den østlige Østersø



Figur 7.6: Cadmium i muslinger og fisk.

Forekomsten af cadmium i sediment i kystvande er vist i figur 7.7. Der er generelt forhøjede værdier langs Jyllands østkyst, men mange steder med relativ stor usikkerhed pga. litium korrektioner på under 10 mg/kg TS til 52 mg/kg TS.



Figur 7.7: Cadmium i sediment, normaliseret til Litium.

7.1.4 Opsummering

I vandløbene overskrides kravværdien på 0,08 µg/L i områder, hvor der i grundvandet kan findes cadmium i dette koncentrationsniveau. Der er derfor behov for lokalt at undersøge, om vandløbene er påvirket af grundvands tilført cadmium, eller om det er human påvirkning, idet forholdet mellem regnvand og grundvand kan spille en afgørende rolle for kildeopsplittingen for cadmium.

De højeste koncentrationer i det marine miljø kan ikke umiddelbart korreleres til områder med høje koncentrationer i grundvand og vandløb.

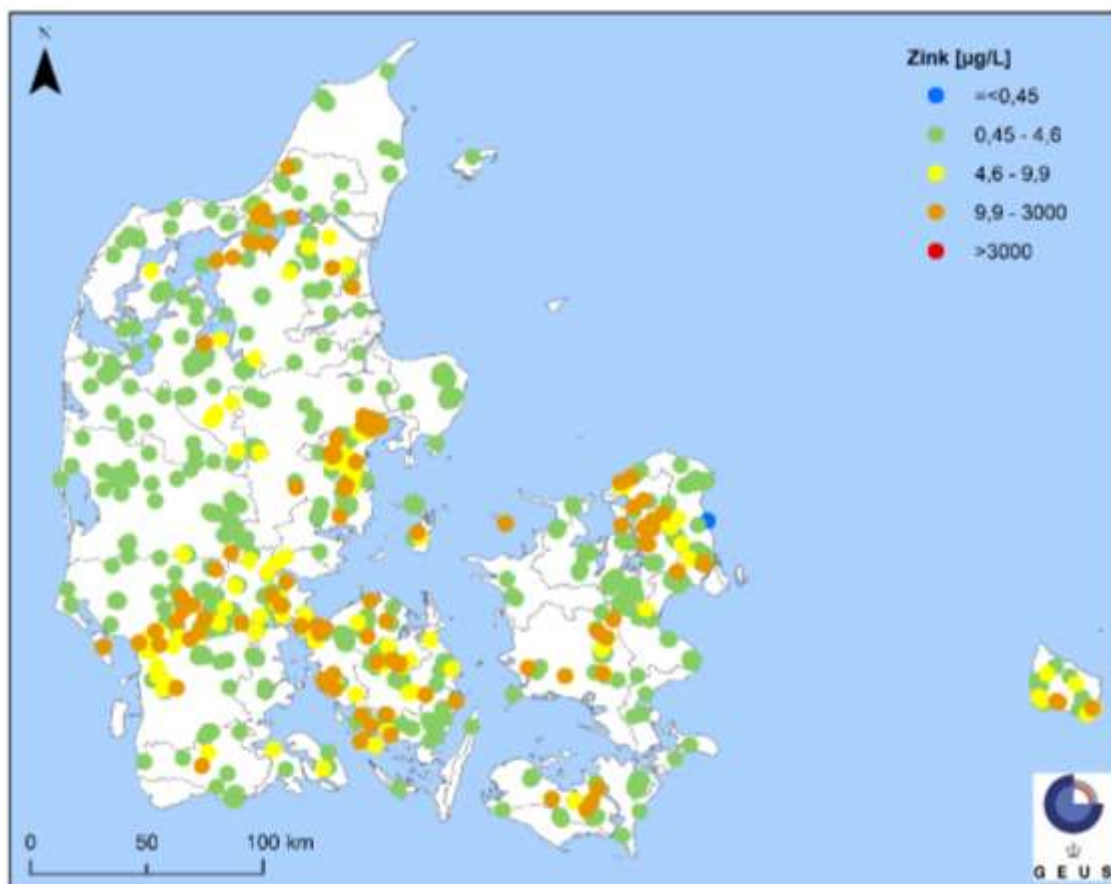
7.2 Zink

Zink har en stor og bred anvendelse i Danmark og optræder som følge heraf i betydelige koncentrationer i punktkilder som renseanlæg. Således er det på basis af data fra perioden 1998-2013 estimeret, at næsten 90 tons zink udledes årligt til recipienter fra de danske renseanlæg og andre punktkilder. Til sammenligning oppumpes årligt ca. 500.000 m³ grundvand med et zinkindhold omkring ca. 3 µg/L svarende til i alt 1,5 ton (Thorling med flere, 2016). Dvs. hovedparten af zink i renseanlæggene bliver tilført vandet hos forbrugerne, inden det ledes til rensningsanlæggene. Zinktag og -tagrender er en af de væsentlige kilder til zink i bl.a. overløb fra fælleskloakerede områder, ligesom vejvand fra stærkt trafikerede veje kan indeholde zink fra slid af bremses og dæk. Om end dette ikke er nærmere undersøgt i Danmark, så er der ingen tvivl om, at tab via dræn og overfladeafstrømning fra landbrugsjorder ligeledes må forventes at udgøre en stor andel af den samlede tilførsel af zink til ferskvandsområder. Tidligere undersøgelser har vist, at der i danske landbrugsjorder i perioden 1998-2014 skete en markant stigning i indholdet af zink på ca. 24 % (Jensen og Bak, 2018).

7.2.1 Grundvand

Figur 7.8 viser den geografiske fordeling af zink i grundvandet i Danmark. Der er ikke vurderet baggrundskoncentrationer for zink i grundvand forbindelse med Vandområdeplanerne 2015-2021.

Der er ingen tydelig sammenhæng mellem zinkindholdet i grundvandet og nogen specifik geologi, eller forekomst af sure forhold i grundvandet. Det er således ikke på foreliggende grundlag relevant at lave geografiske regioner for naturligt forekommende zink. Derfor er det heller ikke relevant at slå zink sammen med de pH-følsomme metaller, da koncentrationerne er lavest i det vestlige Jylland.



Figur 7.8: Zink i grundvand, middelværdier 2007-2016 (Data fra Thorling og Sørensen, 2014). Kravværdien for zink i drikkevand er 100 µg/L. Den højeste koncentrationsklasse er vist øverst i laget.

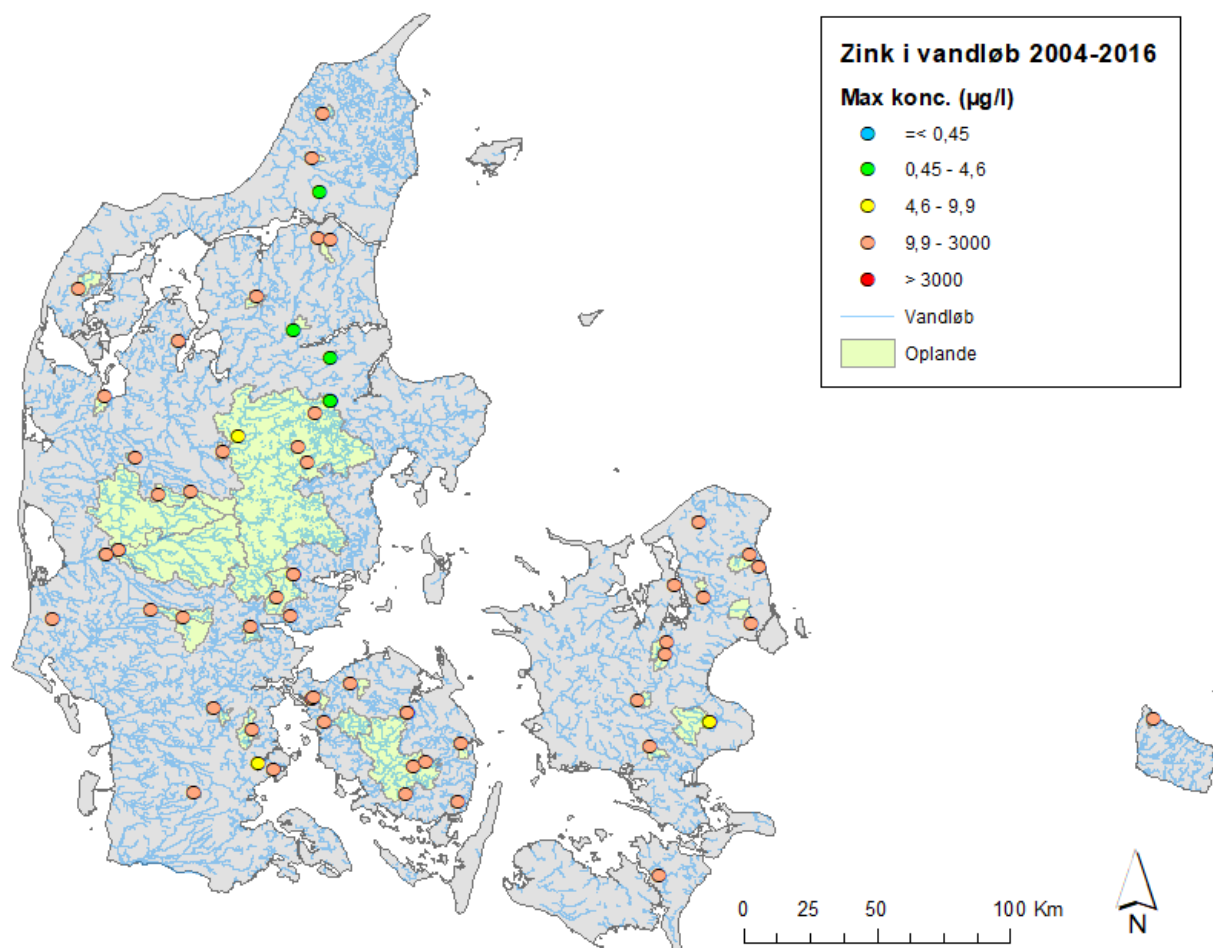
7.2.2 Vandløb

Baggrundsværdien for opløst zink i ferskvand er angivet til 1,5 µg/L i Danmark (Bak og Larsen, 2014). Det generelle kvalitetskrav (årsgennemsnit) for zink i ferskvand er ifølge bekendtgørelsen om fastlæggelse af miljømål for blødt vand (det vil sige med en hårdhed under 24 mg CaCO₃/L) tilføjet den naturlige baggrundskoncentration. Dette betyder at det generelle kvalitetskrav for zink i blødt vand er 4,6 µg/L i bekendtgørelsen. På grund af de manglende CaCO₃ – målinger ved vandløbsstationerne anvendes i denne rapport et generelt kvalitetskrav for zink på 4,6 µg/L. Maksimumkoncentration kvalitetskravet (korttidskvalitetskravet) er fastsat til 8,4 µg/L tilføjet den naturlige baggrundskoncentration uanset vandets hårdhed. Dette betyder at maksimumkvalitetskravet er fastsat til 9,9 µg/L.

Kvalitetskravene for zink gælder for det opløste zink-indhold. Alle måledata anvendt i kapitlet er fra prøver, hvor der er analyseret for den opløste fraktion af zink efter filtrering gennem et

0,45 µm polycarbonat membranfilter, jf. den tekniske anvisning for miljøfarlige stoffer og tungmetaller i ferskvand (Wiberg-Larsen, 2011). Ved zink-målingerne var detektionsgrænsen i intervallet 0,0005-0,5 µg/L.

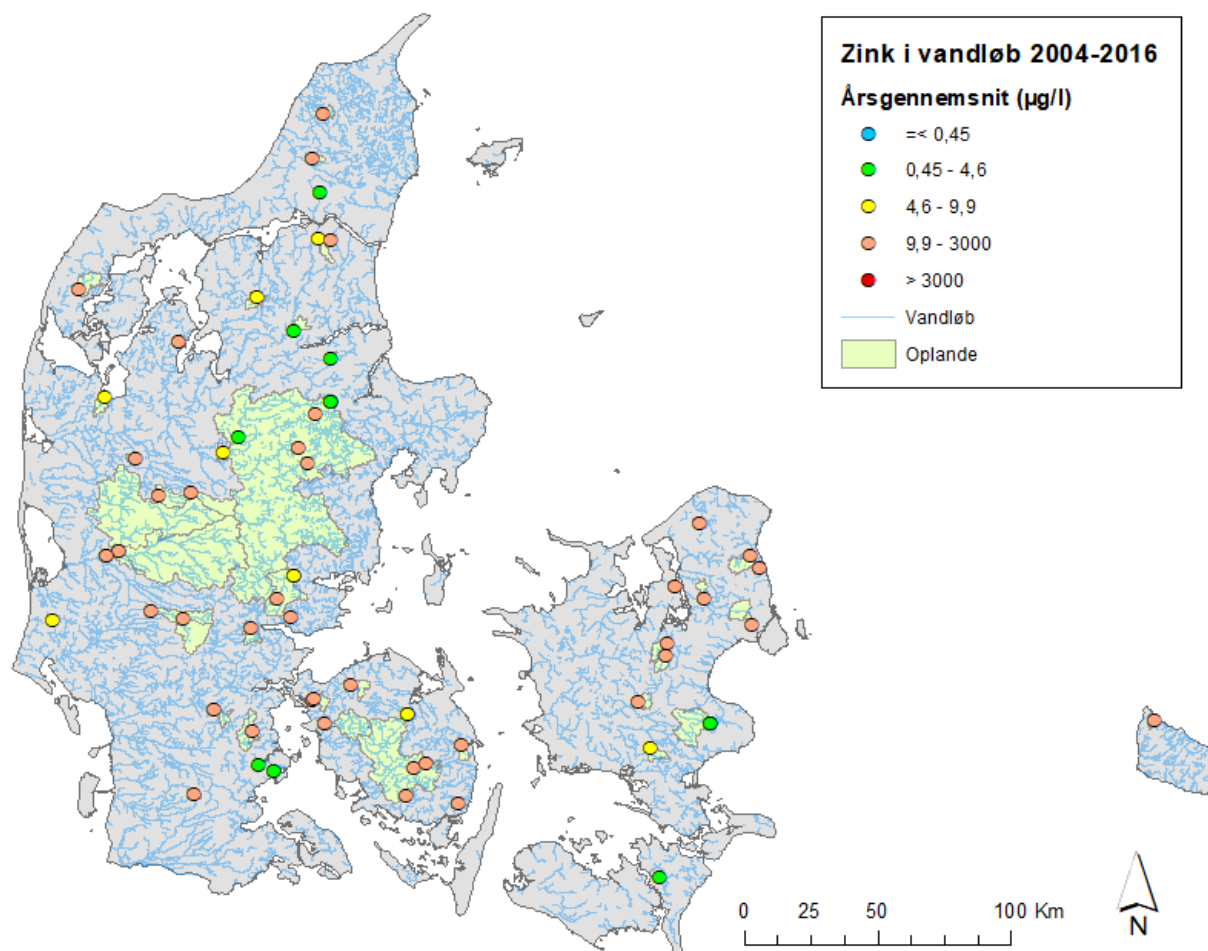
Fordelingen af maksimum koncentrationer af zink målt i vandløb i perioden 2004-2016 fremgår af figur 7.9. Der er målt koncentrationer over 9,9 µg/L ved 49 af de i alt 56 stationer, hvorfra der findes målinger (figur 7.9).



Figur 7.9: Zink i vandløb i Danmark i perioden 2004-2016. Figuren viser de maksimalt målte koncentrationer ved de enkelte stationer i perioden. Der er i alt behandlet data fra 56 vandløbsstationer.

Årsgennemsnit for koncentrationen af zink ved de enkelte vandløbsstationer fremgår af figur 7.10. Hvis der er flere årsgennemsnit ved samme station vises årsgennemsnittet fra det seneste år. Der er fundet årsgennemsnitkoncentrationer over 9,9 µg/L ved 40 ud af de i alt 56 undersøgte stationer og årsgennemsnit over 4,6 µg/L ved 47 af de undersøgte stationer.

Umiddelbart ses der ikke noget geografisk mønster i de målte koncentrationer af opløst zink i vandløb.



Figur 7.10: Zink i vandløb i Danmark i perioden 2004-2016. Figuren viser årsgennemsnit for hver vandløbsstation udregnet på baggrund af metode 2 (NOVANA metoden) for hvert kalenderår. Der er i alt behandlet data fra 56 forskellige vandløbsstationer. I de tilfælde, hvor der er flere årsgennemsnit ved samme station er det årsgennemsnittet fra det seneste år der er vist.

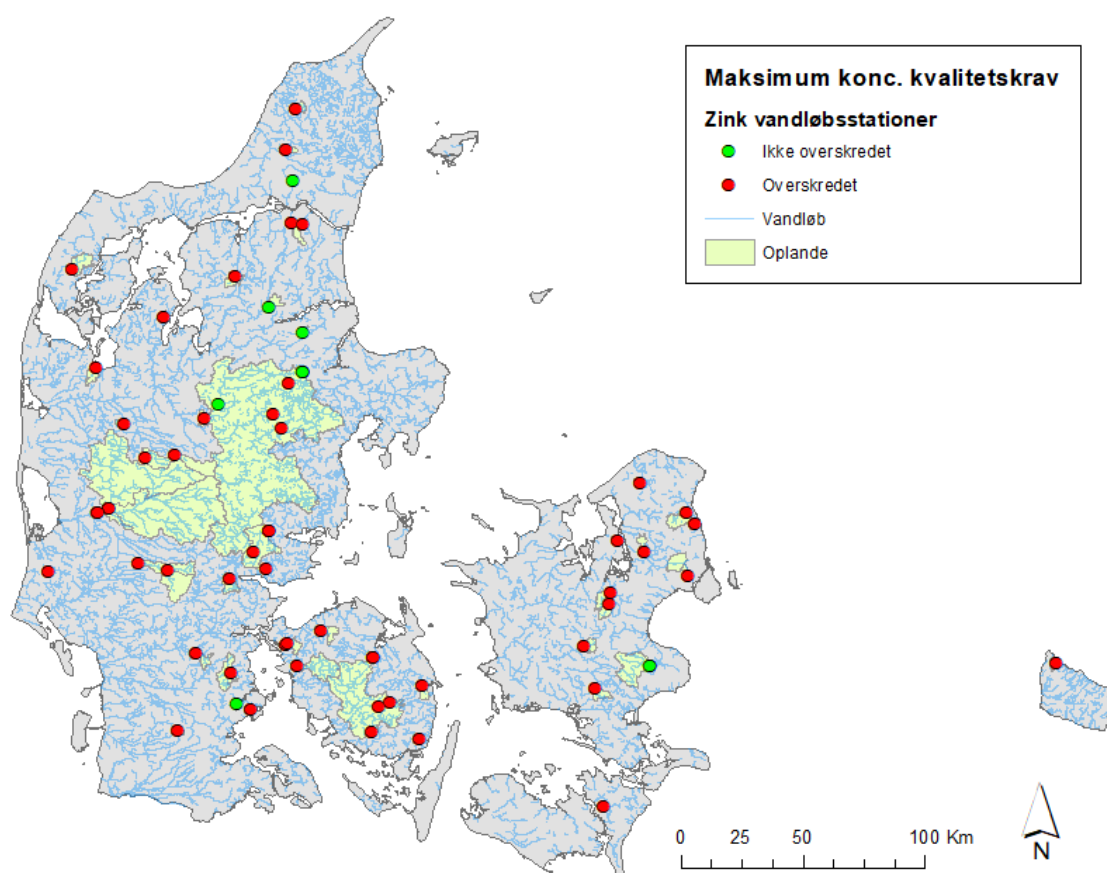
Vurdering i forhold til kvalitetskrav

Ved 49 vandløbsstationer er der i perioden 2004-2016 fundet maksimum-koncentrationer, der er højere end maksimumkoncentration kvalitetskravet på 9,9 µg/L for zink i vandløb, hvilket svarer til, at der er fundet overskridelse ved 88% af det samlede antal undersøgte vandløbsstationer (tabel 7.4 og figur 7.11).

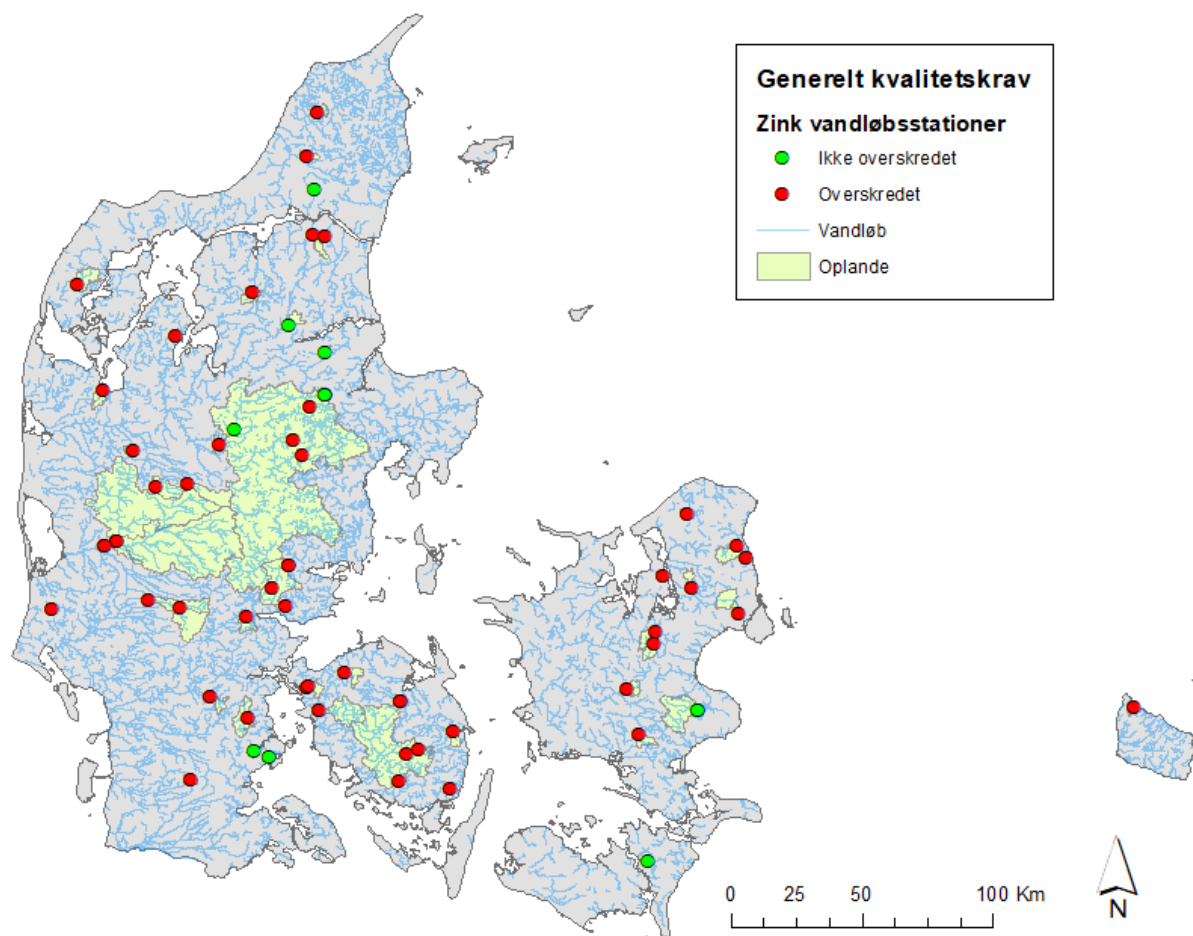
Ved 47 vandløbsstationer er der i perioden 2004-2016 fundet årsgennemsnitskoncentrationer, der er højere end det generelle kvalitetskrav på 4,6 µg/L for zink i vandløb, hvilket svarer til, at der er fundet overskridelse ved 84% af det samlede antal undersøgte vandløbsstationer (tabel 7.4 og figur 7.12).

Tabel 7.4: Antallet af vandløbsstationer, hvor der er fundet overskridelse af maksimumkoncentration kvalitetskravet og det generelle kvalitetskrav for zink i perioden 2004-2016. Derudover fremgår det, hvor stor en procentdel antallet udgør ud fra det samlede antal undersøgte vandløbsstationer.

	Maksimumkoncentration kvalitetskrav - Max. konc. > 9,9 µg/L	Generelt kvalitetskrav - Årsgennemsnit > 4,6 µg/L
Antal undersøgte vandløbsstationer: 56		
Zink i vandløb (antal)	49	47
Zink i vandløb (%)	88	84



Figur 7.11: Den rumlige fordeling af målte maksimumkoncentrationer i forhold til maksimumkoncentrations kvalitetskravet på 9,9 µg/L for zink i vandløb.



Figur 7.12: Den rumlige fordeling af årsgennemsnits-koncentrationer i forhold til det generelle kvalitetskrav på 4,6 µg/L for zink i vandløb.

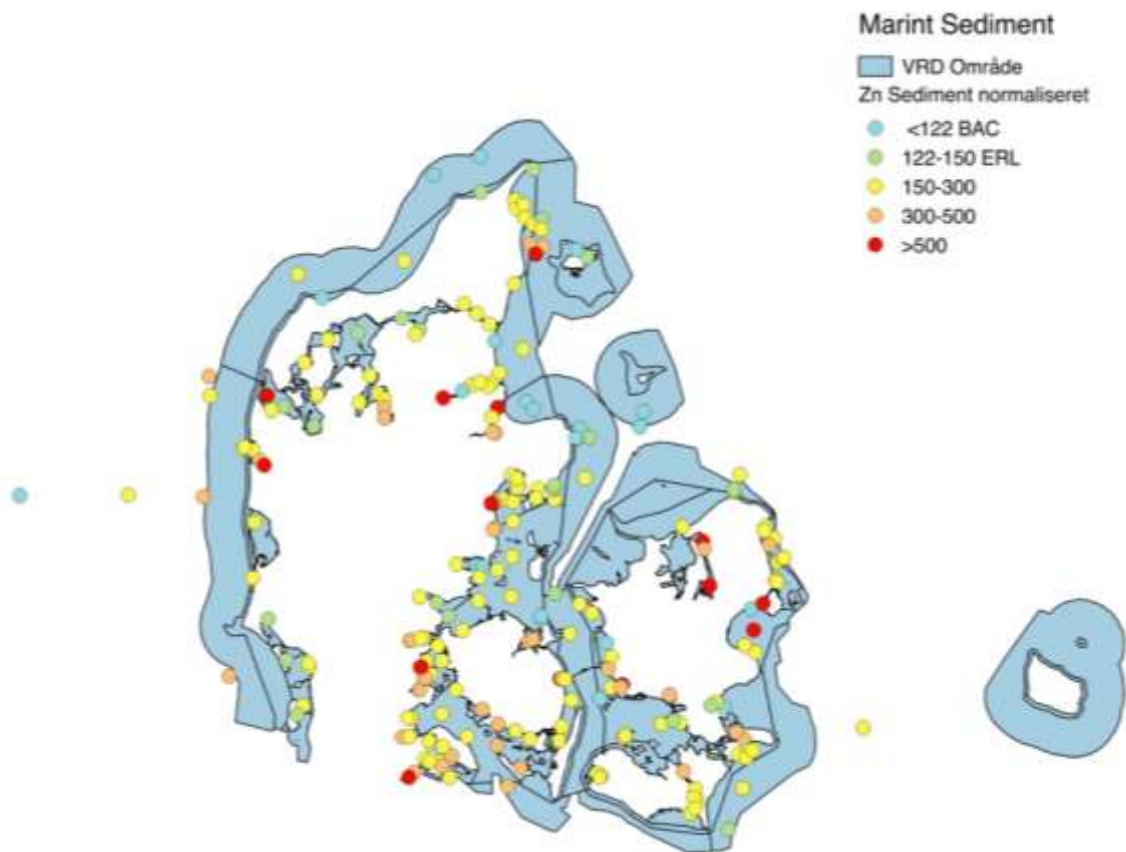
Det samlede opland til de vandløbsstationer, hvor der er målt zink, dækker i alt et areal på 6.025 km². Det svarer til, at 14% af Danmarks areal er blevet overvåget for forekomsten af zink i vandløb (tabel 7.5).

Tabel 7.5: Arealet af oplandene til vandløbsstationerne, hvor zink er blevet overvåget i perioden 2004-2016, samt hvor stor en del af Danmarks samlede areal, det udgør procentmæssigt.

Areal af zink oplande (km ²)	Areal DK (km ²) (Folketinget, 2017)	Hvor stor andel af landet er undersøgt (%)
6.025	43.094	14

7.2.3 Kystvande

I figur 7.13 er zink indholdet i marint sediment fra kystvande vist. Der er forhøjede zink koncentrationer i en del kystvande spredt over hele landet.



Figur 7.13: Zink i sediment, normaliseret til litium indholdet.

7.2.4 Opsummering

Der er mange overskridelser for zink i overfladevandsmiljøet, og de humane kilder vurderes at være af størst betydning, idet de er højere end grundvandskoncentrationerne generelt, og mønsteret for høje zinkkoncentrationer i grundvandet ikke er sammenfaldende med mønsteret for høje zinkkoncentrationer i vandløbene.

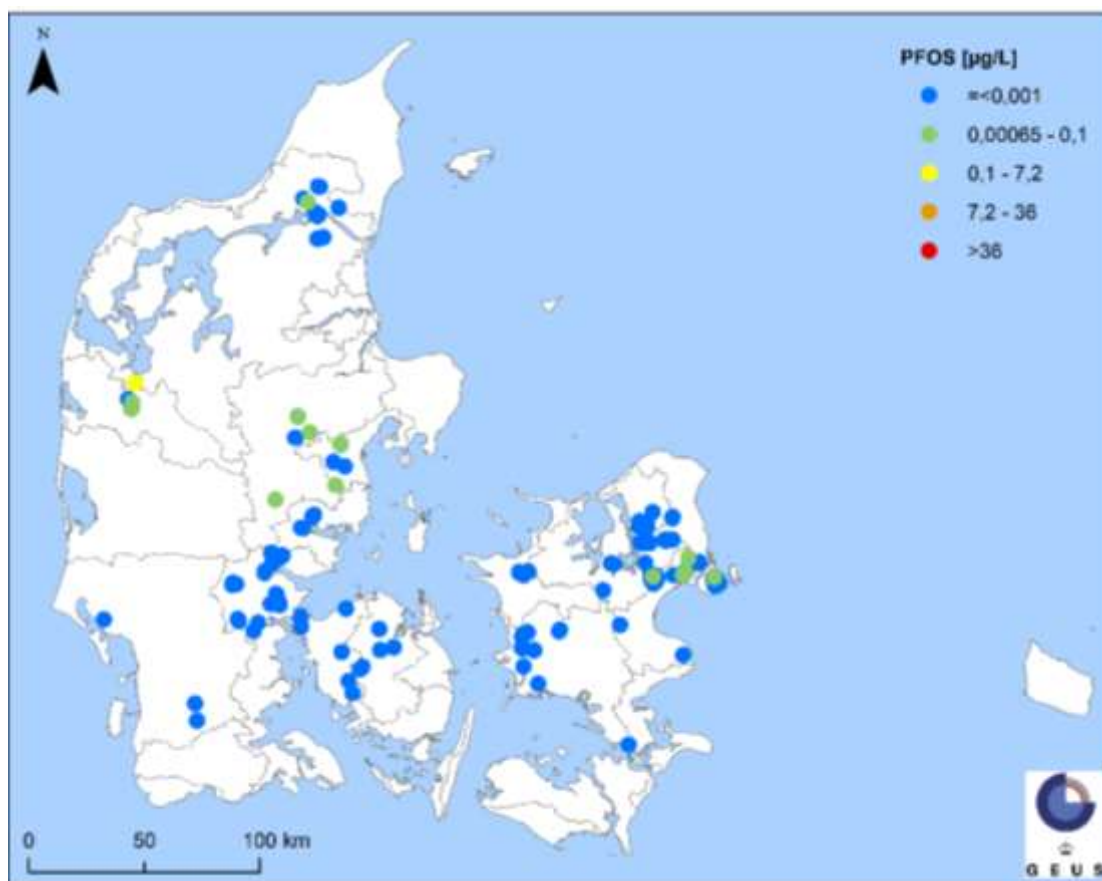
7.3 PFOS (perfluoroktansulfonsyre)

PFOS tilhører en gruppe af organiske forbindelser, PFAS-erne, som alle indeholder en fluorholdig kulstofkæde. Stofferne er karakteriseret ved, at de på én gang er både vand og fedtafvisende. PFOS bruges typisk til imprægnering og andre specielle anvendelser, hvor der ønskes en vand og/eller fedtafvisende effekt. Der er i Danmark et generelt forbud, med enkelte undtagelser, mod at importere eller sælge PFOS eller kemiske produkter, der indeholder PFOS i koncentrationer på 0,005 % eller derover. Herudover er det forbudt at importere eller sælge halvfabrikata, varer, eller dele heraf, hvis de indeholder PFOS i en koncentration på 0,1 % eller herover. PFOS kan dog dannes som nedbrydningsprodukter af en lang række af de øvrige andre PFAS stoffer.

Kulstof-fluor bindingen er en af de sværest nedbrydelige, der findes. PFOS har derfor en meget langvarige nedbrydningstider i miljøet, og PFOS er optaget på listen over persistente organiske stoffer, hvis udledning til miljøet bør begrænses ifølge Stockholmkonventionen. Halveringstider i jordmiljøet skal ofte tælles i år, idet stofferne bindes hårdt til jorden. Af samme grund er udsivningen til grundvand og overfladevand formodentlig meget lav, om end der ikke foreligger mange undersøgelser til at bekræfte dette. Når der på trods af dette alligevel er målt meget lave koncentrationer af PFOS og PFOA i drænvand, kan det eventuelt skyldes partikelbåren udsivning (Jensen med flere, 2012).

7.3.1 Grundvand

Figur 7.14 viser den geografiske fordeling af PFOS i grundvandet i Danmark. Generelt er findes der meget få filtre med målinger af PFOS i grundvandet, hvilket gør det umuligt at analysere for forskelle mellem regioner. Da stoffet er kommet på listen over stoffer der skal indgå i boringskontrollen, forventes datagrundlaget forbedret væsentligt i de kommende år.



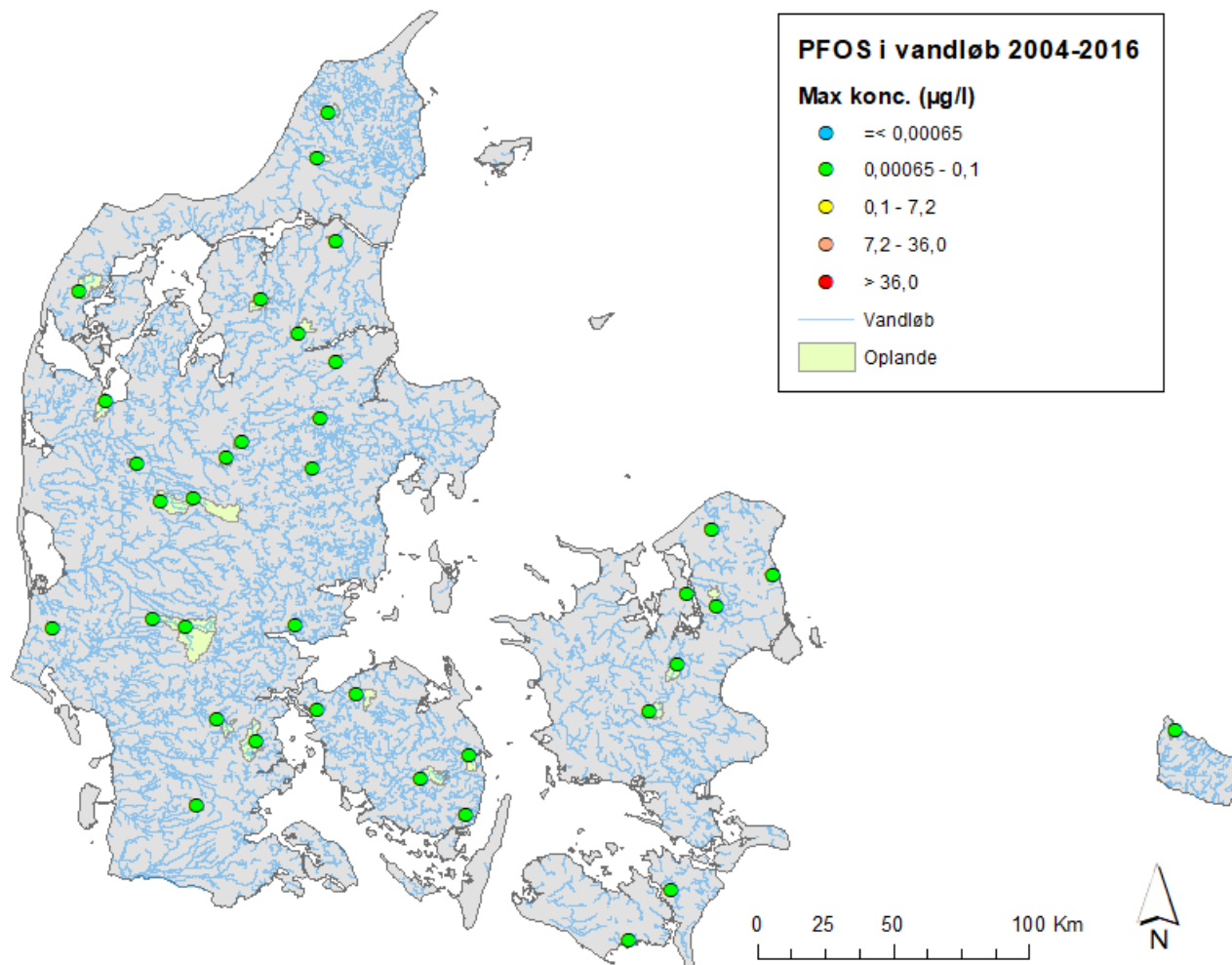
Figur 7.14 PFOS ($\mu\text{g/L}$) grundvand middelværdier for alle datatyper. Gennemsnit for perioden 2007-2016. Kravværdien i drikkevand er en sumværdi for PFAS på $0,1 \mu\text{g/L}$.

7.3.2. Vandløb

Det generelle kvalitetskrav (årsgennemsnit) for PFOS i ferskvand er fastsat i bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål til $0,00065 \mu\text{g/L}$ (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017). Maksimum-koncentration kvalitetskravet (korttidskvalitetskravet) er i bekendtgørelsen fastsat til $36 \mu\text{g/L}$.

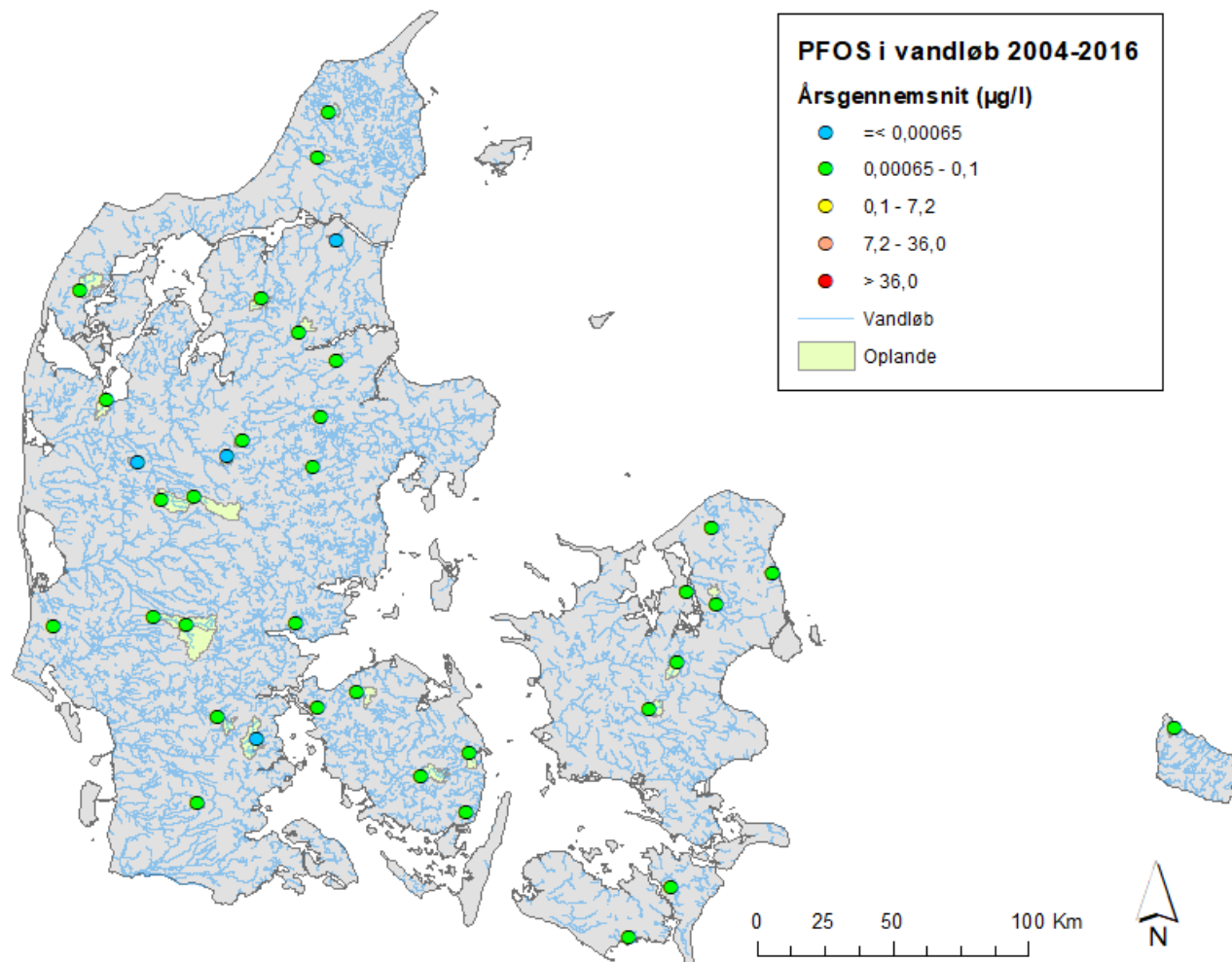
Kvalitetskravene gælder for det totale PFOS-indhold. Alle måledata anvendt i kapitlet er fra prøver, hvor der er analyseret for det totale indhold af PFOS, jf. den tekniske anvisning for miljøfarlige stoffer og tungmetaller i ferskvand (Wiberg-Larsen, 2011). Ved PFOS-målingerne var detektionsgrænsen i intervallet $0,000065$ - $0,065 \mu\text{g/L}$.

Fordelingen af maksimum koncentrationer af PFOS målt ved de enkelte stationer i vandløb i perioden 2004-2016 fremgår af figur 7.15. Der er ikke målt koncentrationer over $0,1 \mu\text{g/L}$ ved nogen af de i alt 36 stationer, hvorfra der findes målinger (figur 7.15).



Figur 7.15: PFOS i vandløb i Danmark i perioden 2004-2016. Figuren viser de maksimalt målte koncentrationer ved de enkelte stationer i perioden. Der er i alt behandlet data fra 36 vandløbsstationer.

Årsgennemsnit for koncentrationen af PFOS ved de enkelte vandløbsstationer fremgår af figur 7.16. Hvis der er flere årsgennemsnit ved samme station vises årsgennemsnittet fra det seneste år. Der er fundet årsgennemsnitskoncentrationer over 0,0065 µg/L ved 32 af de i alt 36 undersøgte stationer.



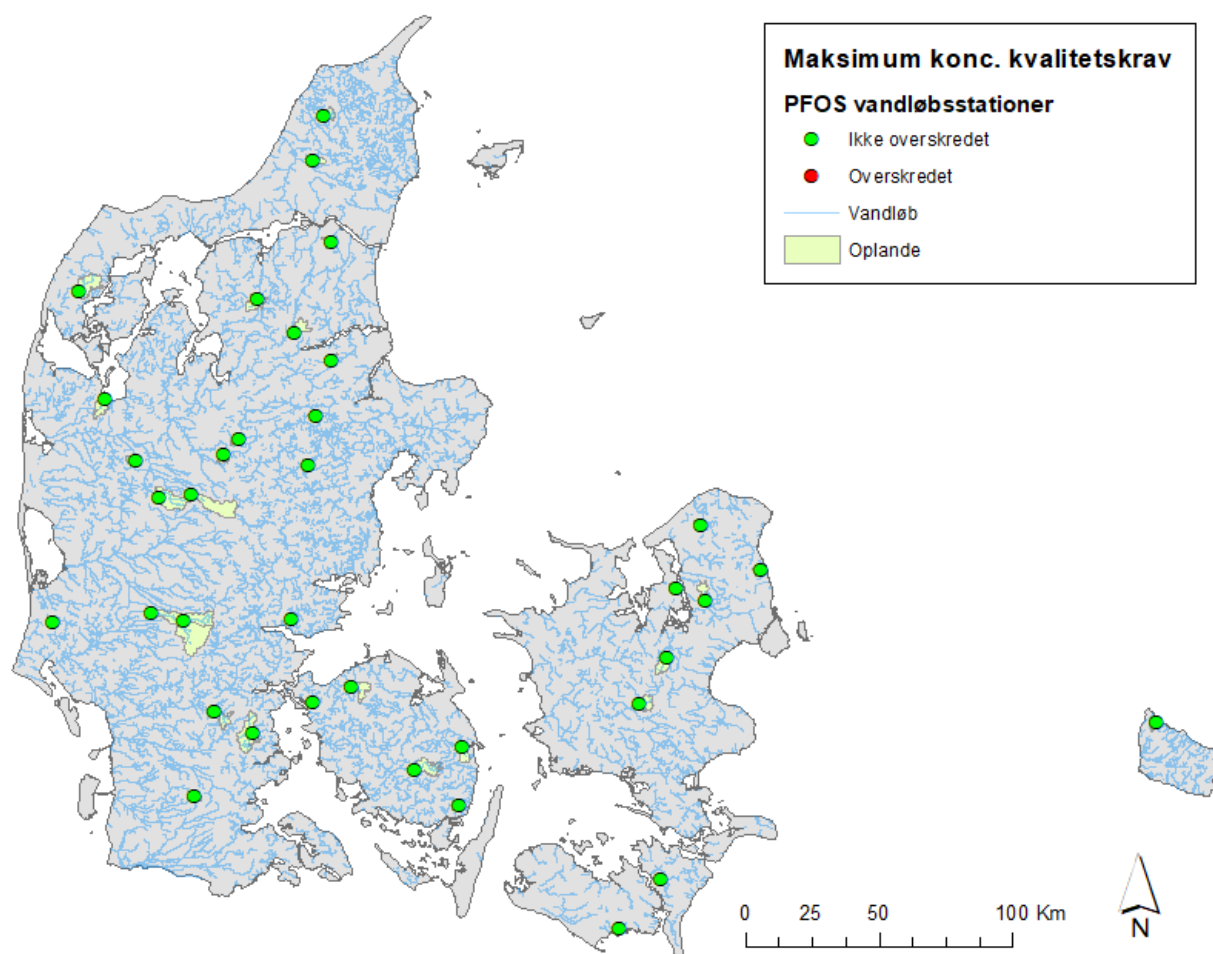
Figur 7.16: PFOS i vandløb i Danmark i perioden 2004-2016. Figuren viser årsgennemsnit for hver vandløbsstation udregnet på baggrund af metode 2 (NOVANA metoden) for hvert kalenderår. Der er i alt behandlet data fra 36 forskellige vandløbsstationer. I de tilfælde, hvor der er flere årsgennemsnit ved samme station er det årsgennemsnittet fra det seneste år der er vist.

Vurdering i forhold til kvalitetskrav

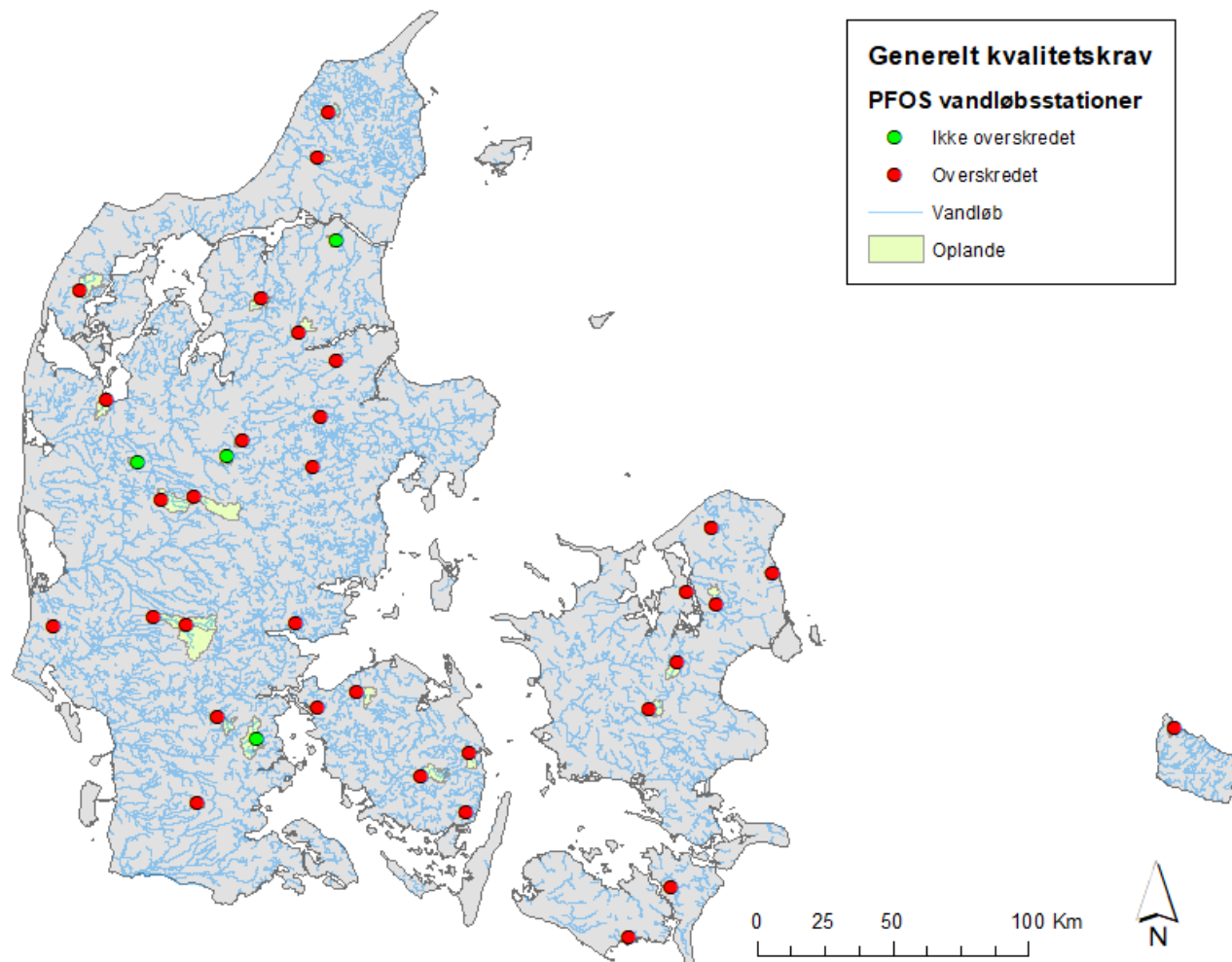
Der er i perioden 2004-2016 ikke målt højere koncentrationer end maksimumkoncentration kvalitetskravet på 36 µg/L for PFOS i vandløb ved nogen af de i alt 36 undersøgte stationer (tabel 7.6 og figur 7.17). Ved 32 vandløbsstationer er der i perioden 2004-2016 fundet årsgennemsnitskoncentrationer, der er højere end det generelle kvalitetskrav på 0,00065 µg/L for PFOS i vandløb, hvilket svarer til, at der er fundet overskridelse ved 89% af det samlede antal undersøgte vandløbsstationer (tabel 7.6 og figur 7.18).

Tabel 7.6: Antallet af vandløbsstationer, hvor der er fundet overskridelse af maksimumkoncentration kvalitetskravet og det generelle kvalitetskrav for PFOS i perioden 2004-2016. Derudover fremgår det, hvor stor en procentdel antallet udgør ud fra det samlede antal undersøgte vandløbsstationer.

	Maksimumkoncentration kvalitetskrav - Max. konc. > 36 µg/L	Generelt kvalitetskrav - Årsgennemsnit > 0,00065 µg/L
Antal undersøgte vandløbsstationer: 36		
PFOS i vandløb (antal)	0	32
PFOS i vandløb (%)	0	89



Figur 7.17: Den rumlige fordeling af målte maksimumkoncentrationer i forhold til maksimumkoncentrations kvalitetskravet på 36 µg/L for PFOS i vandløb.



Figur 7.18: Den rumlige fordeling af årsgennemsnitskoncentrationer i forhold til det generelle kvalitetskrav på 0,00065 µg/L for PFOS i vandløb.

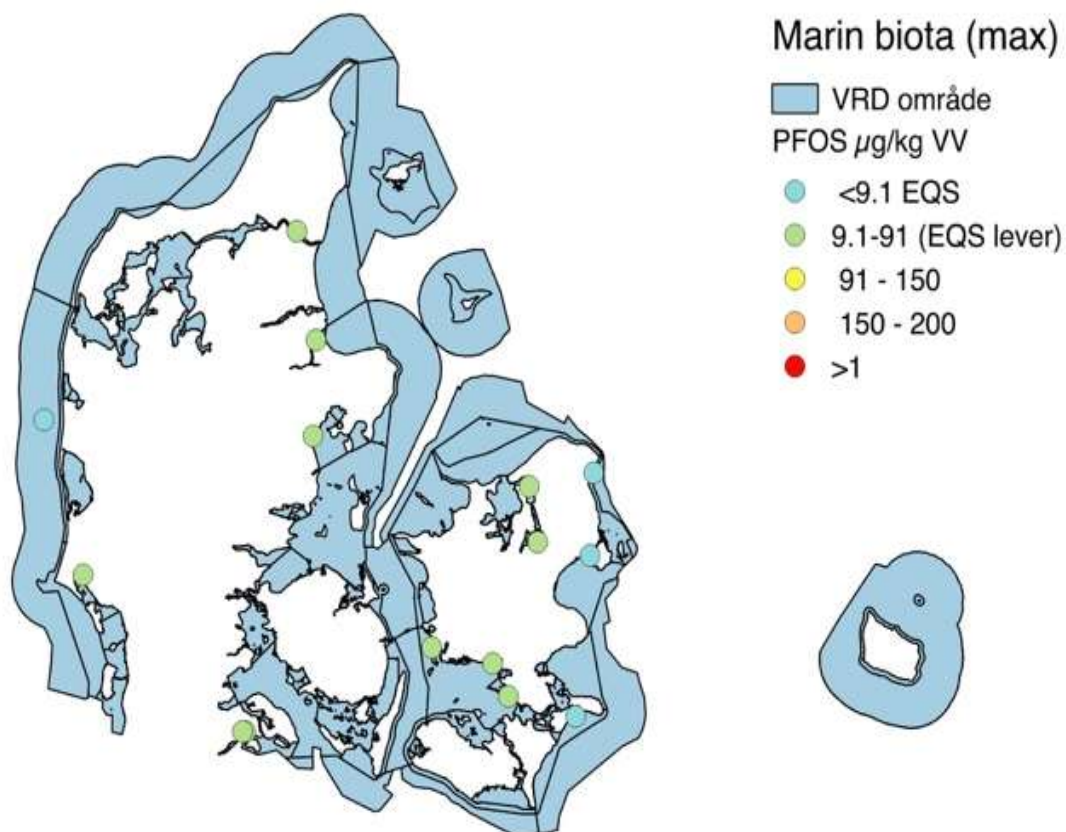
Det samlede opland til de vandløbsstationer, hvor der er målt PFOS, dækker i alt et areal på 0,74 km². Det svarer til, at 0,002% af Danmarks areal er blevet overvåget for forekomsten af PFOS i vandløb (tabel 7.7).

Tabel 7.7: Arealet af oplandene til vandløbsstationerne, hvor PFOS er blevet overvåget i perioden 2004-2016, samt hvor stor en del af Danmarks samlede areal, det udgør procentmæssigt.

Areal af PFOS oplande (km ²)	Areal DK (km ²) (Folketinget, 2017)	Hvor stor andel af landet er undersøgt (%)
0,74	43.094	0,002

7.3.3 Kystvande

PFOS i biota (fiskelever) er vist i figur 7.19. Der ses ingen overskridelser af et kvalitetskrav på 91 $\mu\text{g/kg VV}$ i de udtagne prøver.



Figur 7.19: Perfluoroktansulfonsyre (PFOS) i fiskelever. EQS værdien er sat for hele fisk (9,1 $\mu\text{g/kg VV}$), men der er dokumenteret en faktor ca. 17 mellem lever- og filetindhold af Perfluoroktansulfonsyre (PFOS), så en faktor 10 anvendes her som udgangspunkt for en "grøn" overgang.

7.3.4 Opsummering

På baggrund af den lave mobilitet i vand, vurderes grundvandet ikke at være den væsentligste kilde til PFOS i overfladevand, bortset fra muligheden af helt lokale punktforureninger.

7.4 BAM (2,6 dichlorbenzamid)

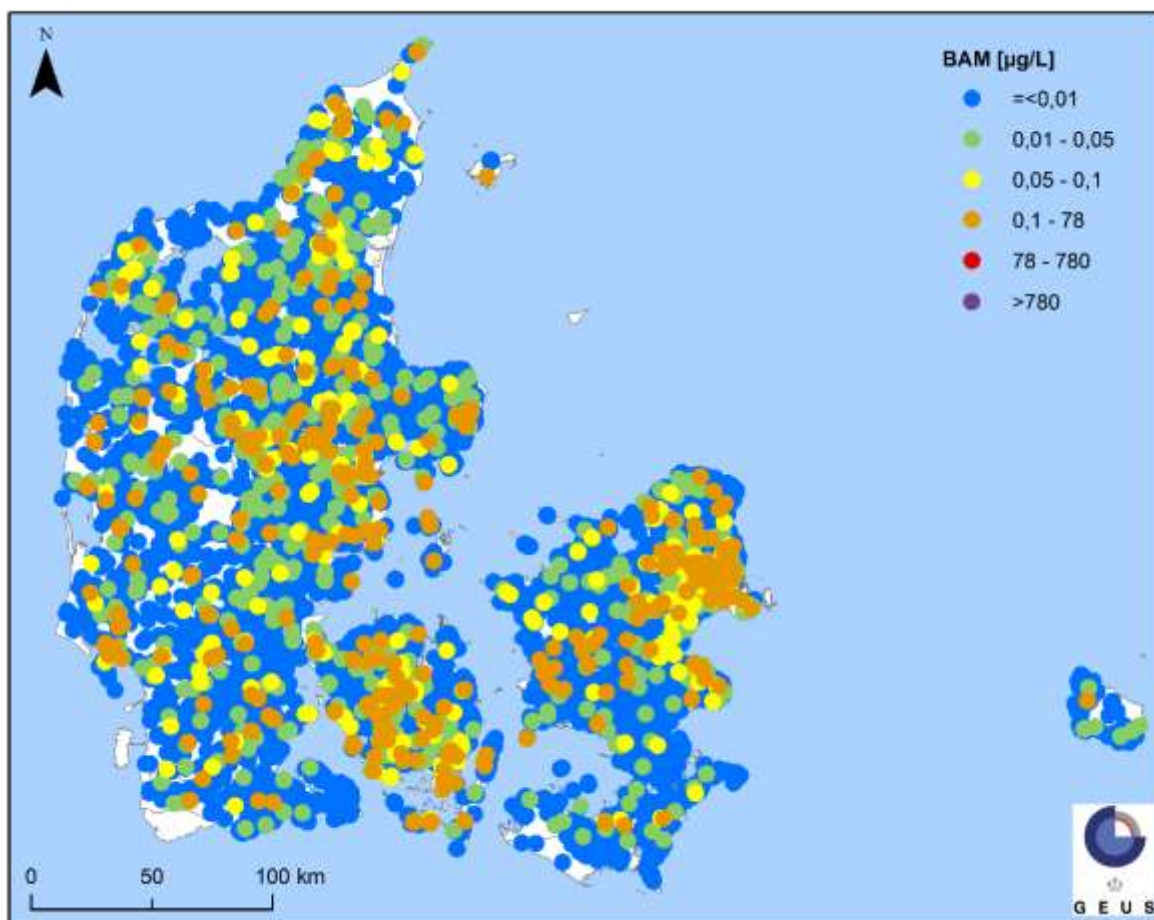
Pesticider har udbredt anvendelse i landbruget, men anvendelse andre steder har også vist sig at have betydning for pesticidernes forekomst i miljøet, eksempelvis tidligere anvendelse på jernbanearealer og bebyggede områder.

BAM (2,6-dichlorbenzamid) er et nedbrydningsprodukt fra pesticiderne dichlobenil og chlorthi-amid, der blev brugt i perioden fra 1965 til 1997, hvor stofferne blev forbudt. Pesticiderne er ukrudtsmidler og har været brugt til bekæmpelse af ukrudt på arealer, der ønskes helt fri for vegetation så som gårdspladser og indkørsler, arealer omkring etageejendomme, veje, jernbaner, private haver, byer mv. Dette betyder, at stofferne også har været anvendt til renholdelse af de ubefæstede arealer omkring boringerne ved flere vandværker.

BAM er blandt de hyppigst fundne nedbrydningsprodukter i såvel grundvand som overfladevand.

7.4.1 Grundvand

Koncentrationer af BAM i grundvand er vist i Figur 7.20. Bemærk, at de koncentrationsintervaller, der er anvendt til at illustrere disse pesticider i grundvand, er fastsat ud fra økotoksikologiske hensyn og ikke ud fra, hvad der er relevant i forhold til drikkevandskriteriet på 0,1 µg/L. Der kan ikke afgrænses egentlige geografiske regioner, men der er tydeligt et mønster med fund af høje koncentrationer i forhold til drikkevandskvalitetskravet omkring større byområder som Storkøbenhavn, mv.



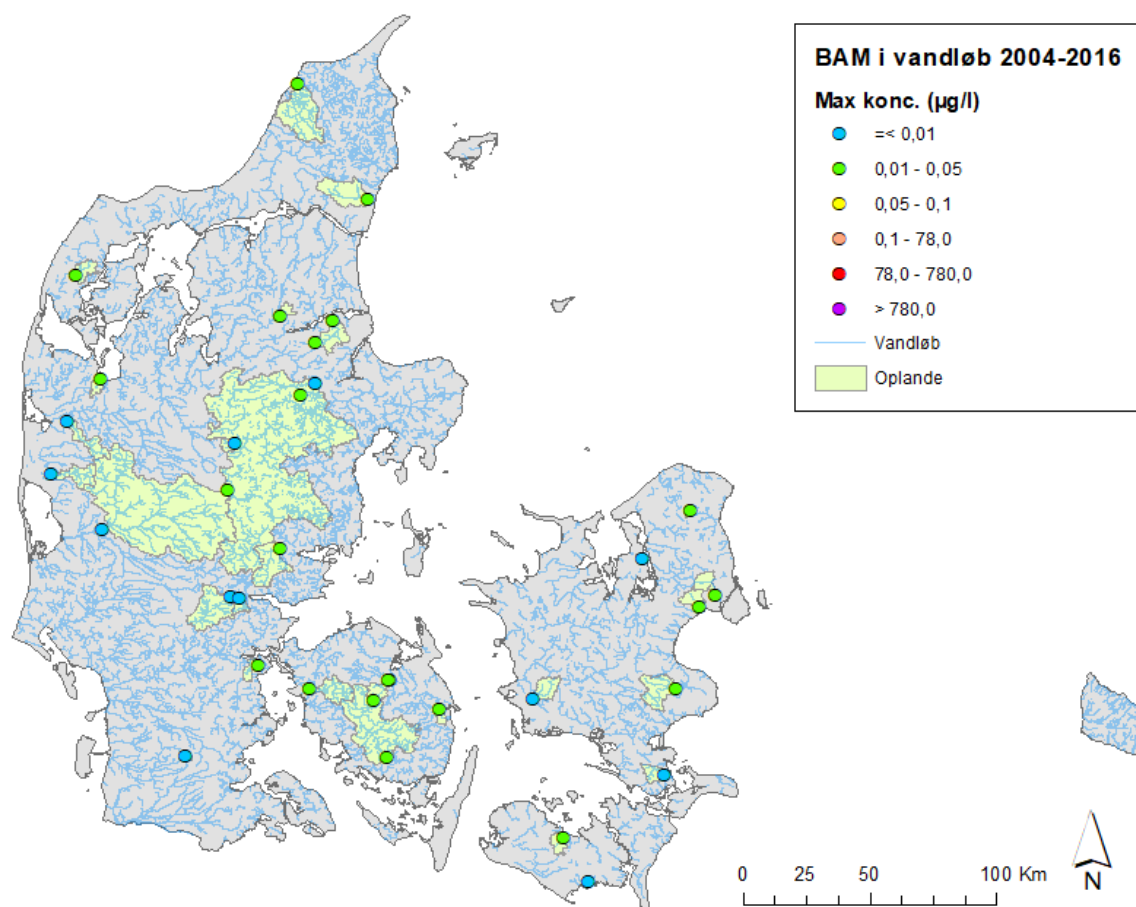
Figur 7.20: BAM ($\mu\text{g/L}$) i grundvand. Middelværdier for alle datatyper. Gennemsnit for perioden 2007-2017. Drikkevandskvalitetskravet i drikkevand for BAM er som for andre pesticider $0,1 \mu\text{g/L}$.

7.4.2 Vandløb

Det generelle kvalitetskrav (årgennemsnit) for BAM i ferskvand er ifølge bekendtgørelsen om fastlæggelse af miljømål $78 \mu\text{g/L}$ (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017). Maksimumkoncentration kvalitetskravet (korttidskvalitetskravet) er i bekendtgørelsen fastsat til $780 \mu\text{g/L}$.

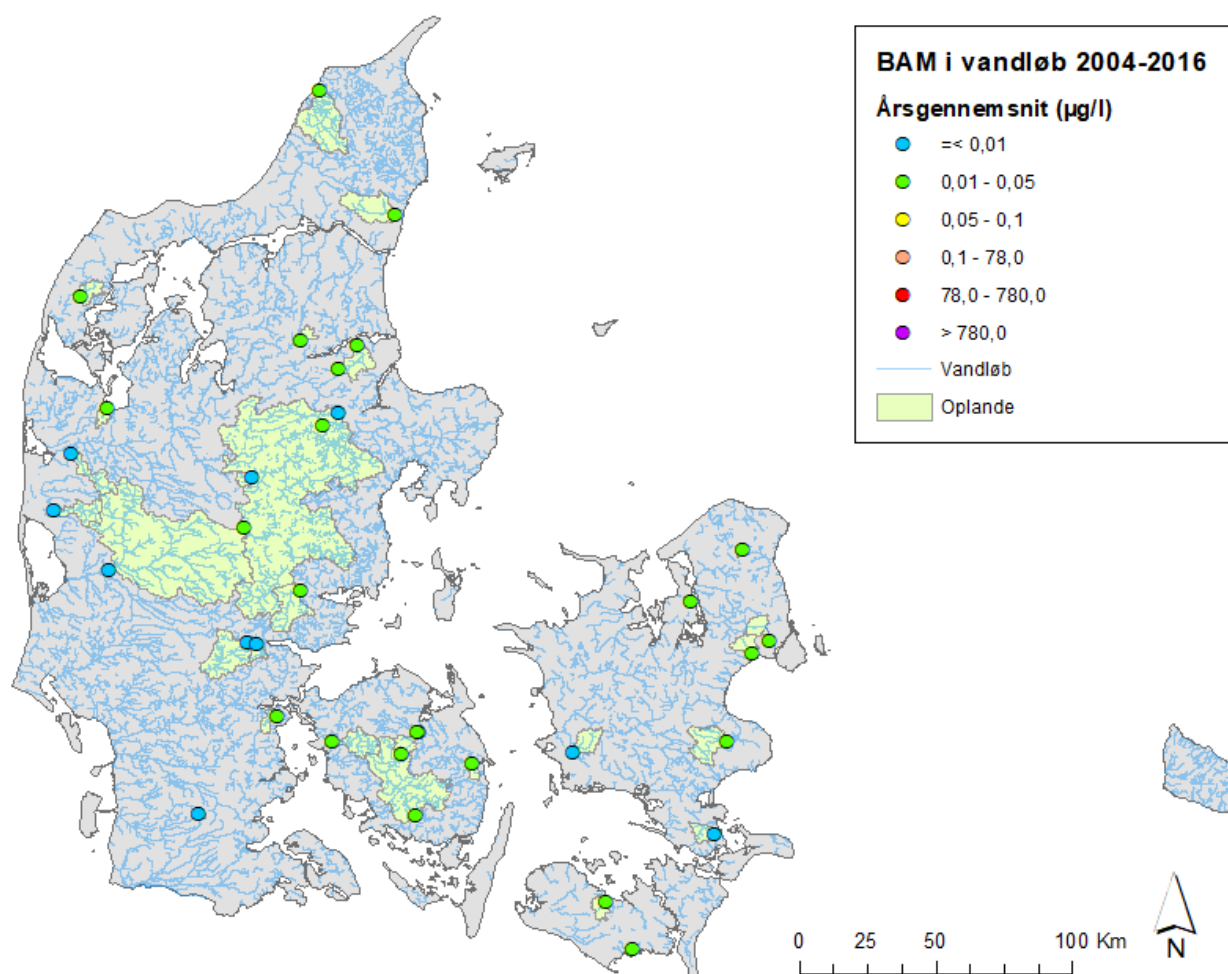
Kvalitetskravene for BAM gælder for det totale indhold af BAM. Alle måledata anvendt i kapitlet er fra prøver, hvor der er analyseret for det totale indhold af BAM, jf. den tekniske anvisning for miljøfarlige stoffer og tungmetaller i ferskvand (Wiberg-Larsen, 2011). Ved BAM-målingerne var detektionsgrænsen i intervallet $0,01-0,05 \mu\text{g/L}$.

Fordelingen af maksimumskoncentrationer for BAM målt i vandløb i perioden 2004-2016 fremgår af figur 7.21. Der er ikke målt koncentrationer over 0,05 µg/L ved nogle af de i alt 34 stationer, hvor der forefindes målinger af BAM-koncentrationer (figur 7.21).



Figur 7.21: BAM i vandløb i Danmark i perioden 2004-2016. Figuren viser de maksimalt målte koncentrationer ved de enkelte stationer i perioden. Der er i alt behandlet data fra 34 vandløbsstationer.

Årsgennemsnit for koncentrationen af BAM ved de enkelte vandløbsstationer fremgår af figur 7.22. Hvis der er flere årsgennemsnit ved samme station vises årsgennemsnittet fra det seneste år. Der er ikke fundet årsgennemsnit over 0,05 µg/L ved nogle af de i alt 34 stationer.



Figur 7.22: BAM i vandløb i Danmark i perioden 2004-2016. Figuren viser årsgennemsnit for hver vandløbsstation udregnet på baggrund af metode 2 (NOVANA metoden) for hvert kalenderår. Der er i alt behandlet data fra 34 forskellige vandløbsstationer. I de tilfælde, hvor der er flere årsgennemsnit ved samme station er det årsgennemsnittet fra det seneste år der er vist.

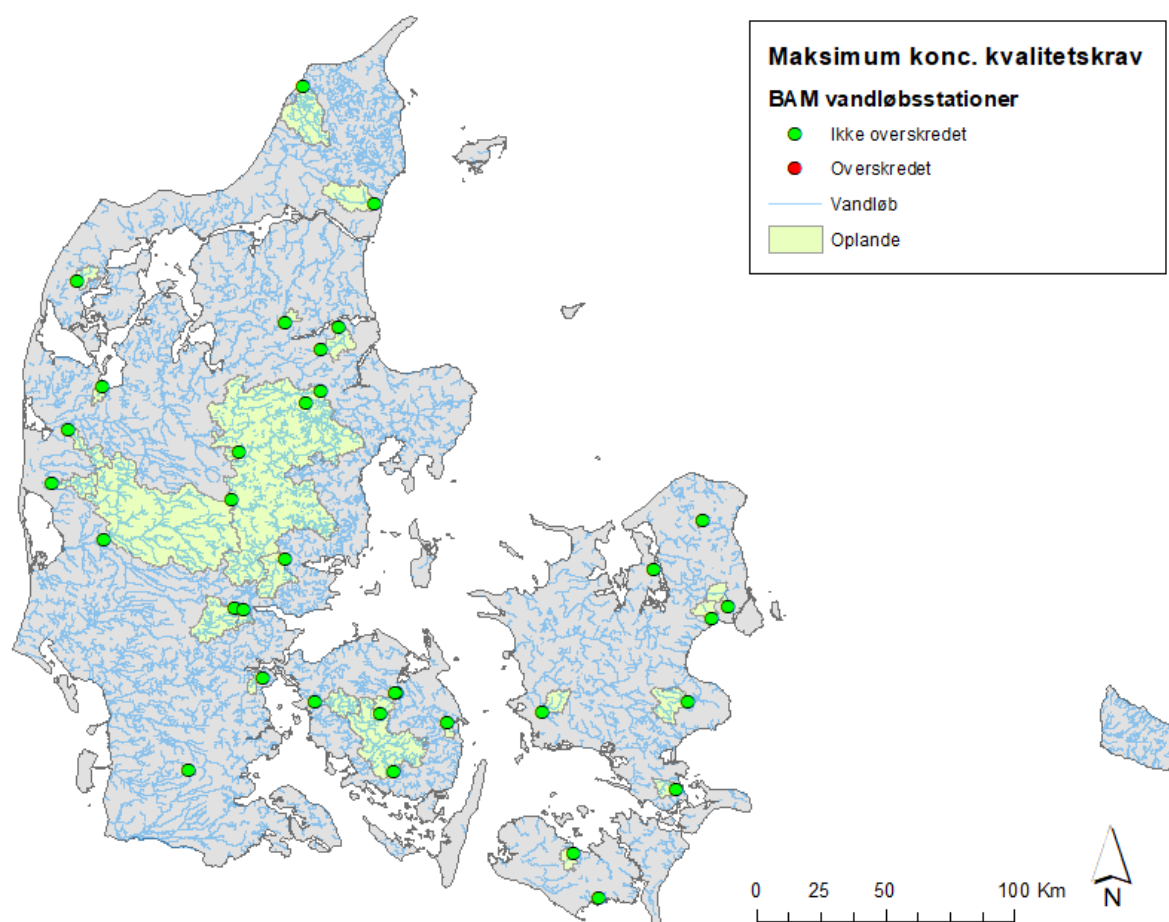
Vurdering i forhold til kvalitetskrav

Der er i perioden 2004-2016 ikke målt højere koncentrationer end maksimumkoncentration kvalitetskravet på 780 µg/L for BAM i vandløb ved nogen af de i alt 34 undersøgte stationer (tabel 7.7 og figur 7.23).

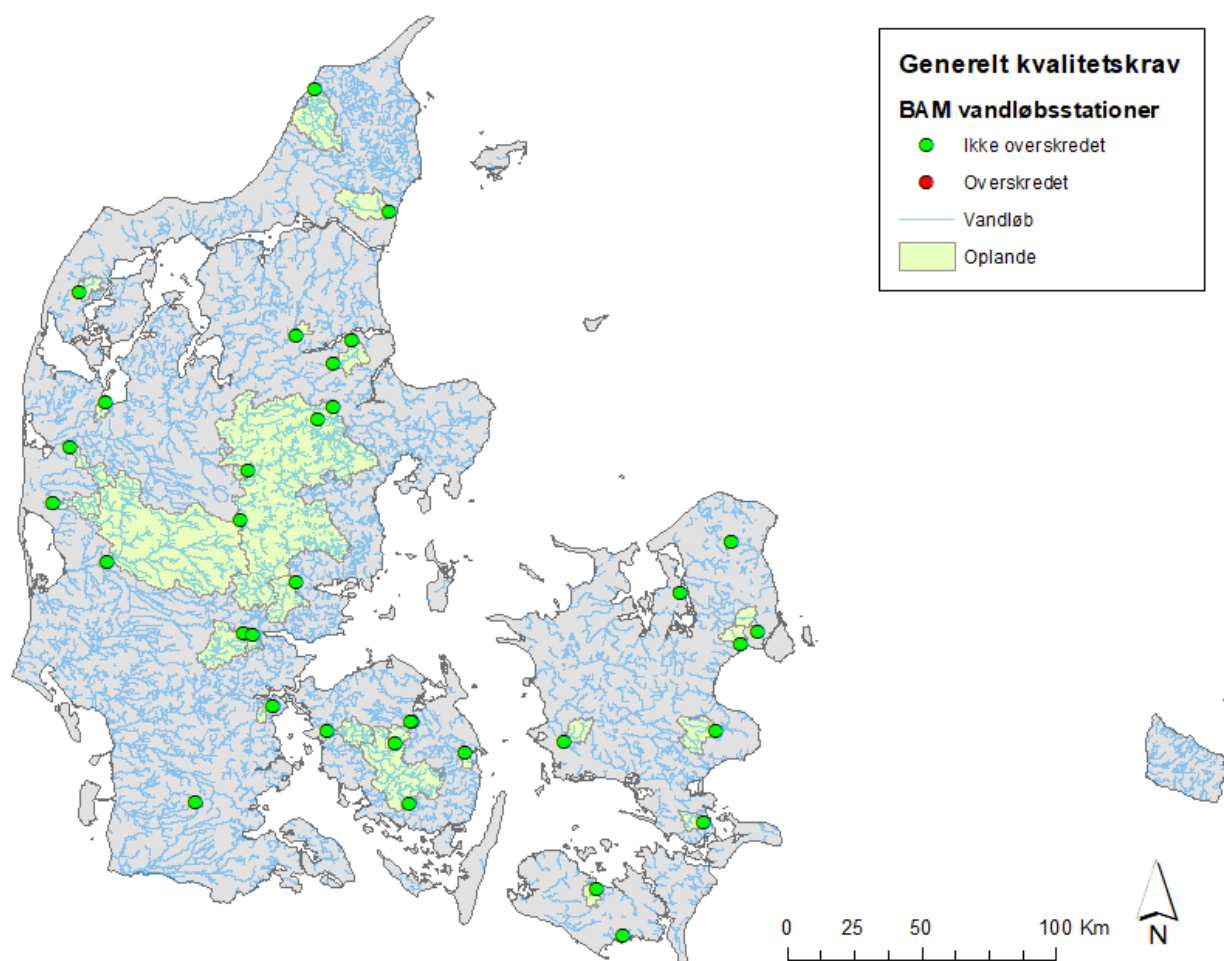
Der er i perioden 2004-2016 heller ikke målt højere koncentrationer end det generelle kvalitetskrav på 78 µg/L for BAM i vandløb ved nogen af de i alt 34 undersøgte stationer (tabel 7.7 og figur 7.24).

Tabel 7.7: Antallet af vandløbsstationer, hvor der er fundet overskridelse af maksimumkoncentration kvalitetskravet og det generelle kvalitetskrav for BAM i perioden 2004-2016. Derudover fremgår det, hvor stor en procentdel antallet udgør ud fra det samlede antal undersøgte vandløbsstationer.

	Maksimumkoncentration kvalitetskrav - Max. konc. > 780 µg/L	Generelt kvalitetskrav - Årsgennemsnit > 78 µg/L
Antal undersøgte vandløbsstationer: 34		
BAM i vandløb (antal)	0	0
BAM i vandløb (%)	0	0



Figur 7.23: Den rumlige fordeling af målte maksimumkoncentrationer i forhold til maksimumkoncentrations kvalitetskravet på 780 µg/L for BAM i vandløb.



Figur 7.24: Den rumlige fordeling af årsgennemsnitskoncentrationer i forhold til det generelle kvalitetskrav på 78 µg/L for BAM i vandløb.

Det samlede opland til de vandløbsstationer, hvor der er målt BAM, dækker i alt et areal på 6.402 km². Det svarer til, at 14,9% af Danmarks areal er blevet overvåget for forekomsten af BAM i vandløb (tabel 7.8).

Tabel 7.8: Arealet af oplandene til vandløbsstationerne, hvor BAM er blevet overvåget i perioden 2004-2016, samt hvor stor en del af Danmarks samlede areal, det udgør procentmæssigt.

Areal af BAM oplande (km ²)	Areal DK (km ²) (Folketinget, 2017)	Hvor stor andel af landet er undersøgt (%)
6.402	43.094	14,9

7.4.3 Kystvande

BAM indgår ikke i det marine overvågningsprogram i analyser af vandfasen, sediment eller biota.

7.4.4 Opsummering

BAM er ikke konstateret i koncentrationer der overskrider kvalitetskravet i vandløb og er ikke undersøgt i kystvande. I grundvand er der i forhold til drikkevandskvalitetskravet især konstateret overskridelser omkring større byområder.

7.5 Nitrat

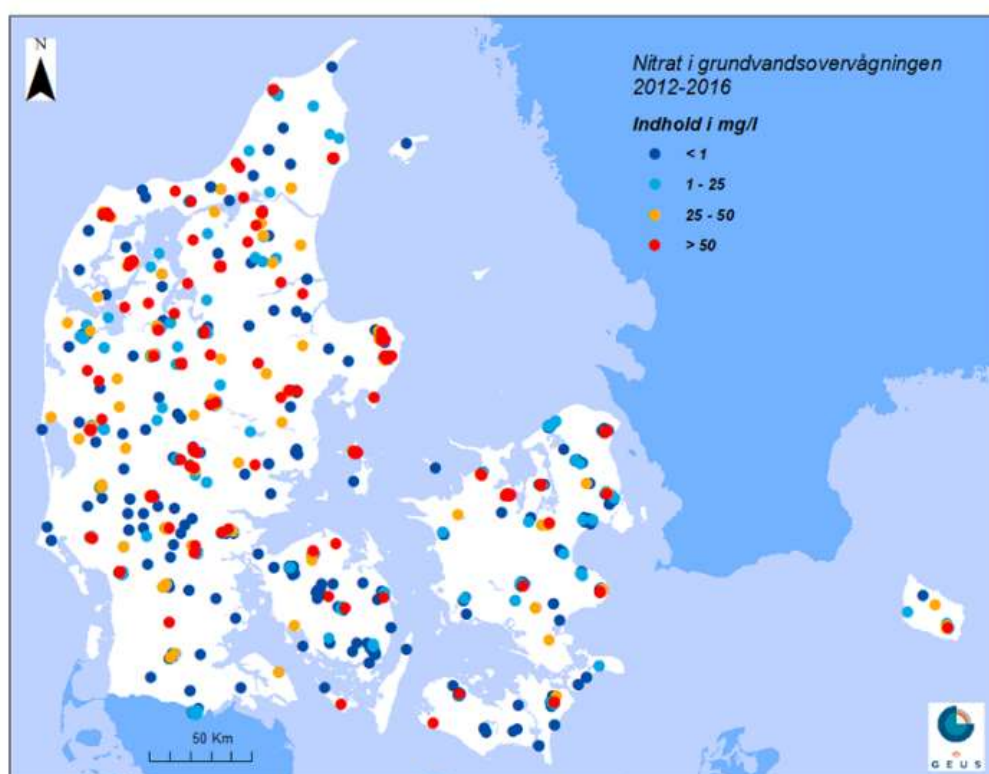
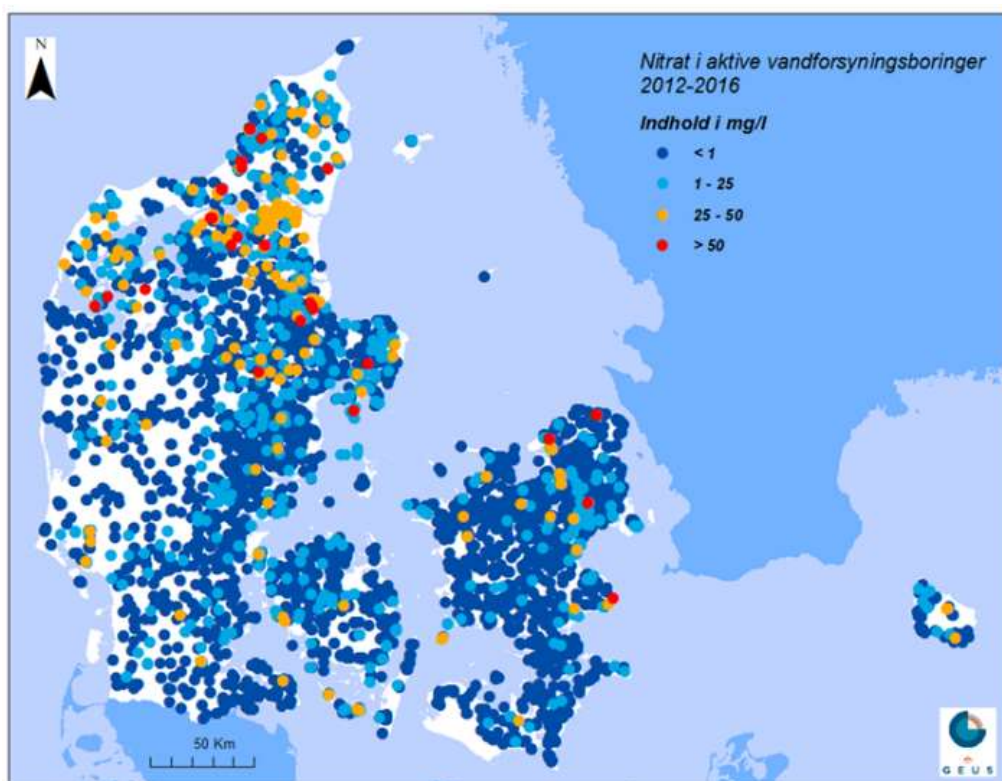
Nitrat i grundvand og vandløb stammer hovedsageligt fra udvaskningen fra dyrkede arealer. Der er etableret en landsdækkende kvælstofmodel som kan simulere, hvor nitrat udvasket fra markerne, der når frem til vandløb og kystvande med inddragelse af retentionen i både grundvand, vandløb, vådområder og søer (Højbjerg med flere, 2015). Modellen simulerer transporten af total kvælstof på ID15-skala.

Der er hverken fastsat et generelt kvalitetskrav (årgennemsnit) eller et maksimumkoncentration kvalitetskrav (korttidskvalitetskrav) for nitrat i ferskvand efter bekendtgørelsen om fastlæggelse af miljømål (2017) (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017). Dog er der efter Bekendtgørelse nr. 1068 af 23. august 2018 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg (drikkevandsbekendtgørelsen) fastsat et maksimum kvalitetskrav for nitrat i drikkevand på 50 mg/l svarende til 11,3 mg N/L .

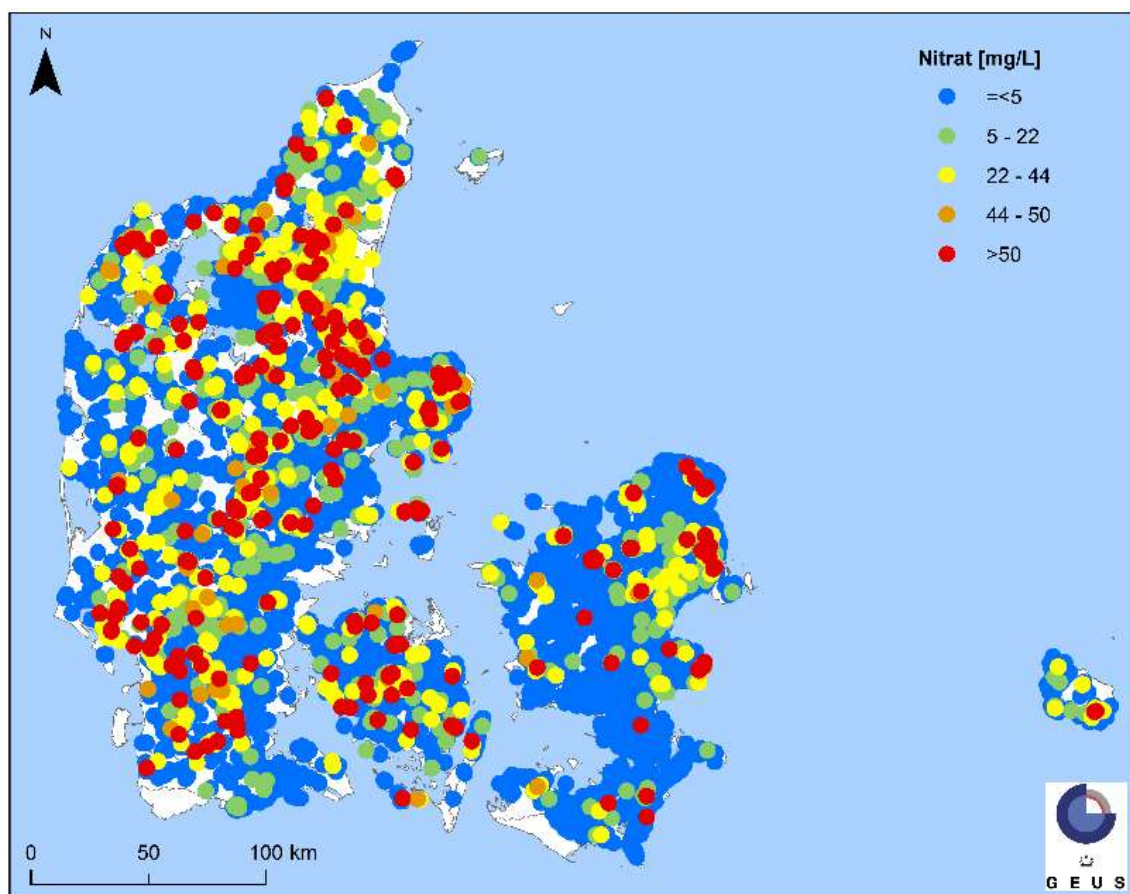
7.5.1 Grundvand

Figur 7.25 viser den geografiske fordeling af nitrat i grundvand i Danmark baseret på GRUMO og boringskontrollen i aktive vandværksboringer. Alle koncentrationer over ca. 5 mg/l kan forventes at stamme fra påvirkning fra landbrugssystemer eller anden arealanvendelse i haver, parker mm.

For vandværkerne ligger de højeste koncentrationer i Øst- og Nordjylland, hvor det af geologiske grunde er vanskeligt at finde reducerede vandressourcer af tilstrækkeligt omfang. For GRUMO ses derimod, at der kan findes nitrat over 50 mg/l i grundvandet i hele Danmark. Her udtages også prøver fra mindre eller mere terrænnære grundvandsmagasiner i de områder, hvor der er dybere indvindingsmuligheder. Alle nitratdata er vist på figur 7.26.



Figur 7.25: Nitrattindholdet i grundvandet i 5.951 aktive vandværksboringer fordelt på fire koncentrations-klasser og 1.236 GRUMO indtag. Kortet er baseret på gennemsnit pr. indtag for perioden 2012-2016. Den højeste koncentrationsklasse ligger øverst. (Thorling med flere 2018).

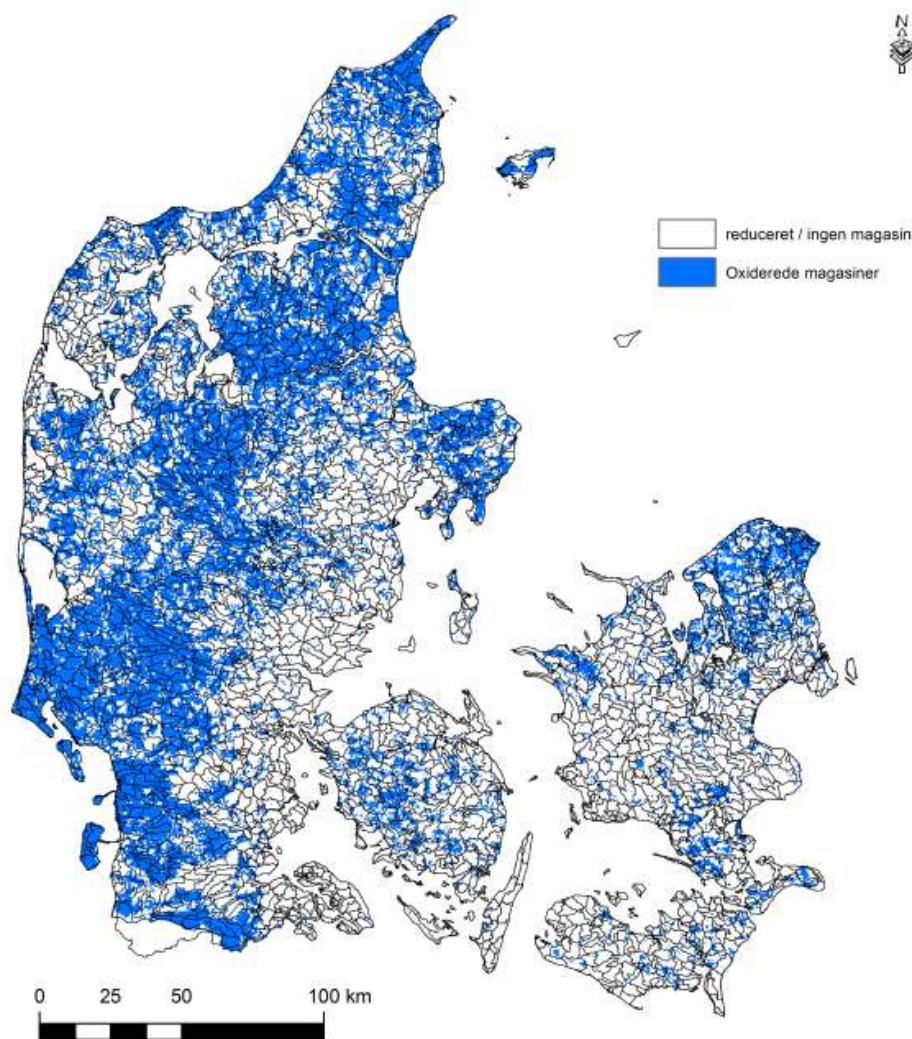


Figur 7.26: Nitratindholdet i grundvandet, middelværdier for alle datatyper 2007-2013. Den højeste koncentrationsklasse ligger øverst.

Grundvandsforekomsternes påvirkning af overfladevand med nitrat er bestemt af to forhold:

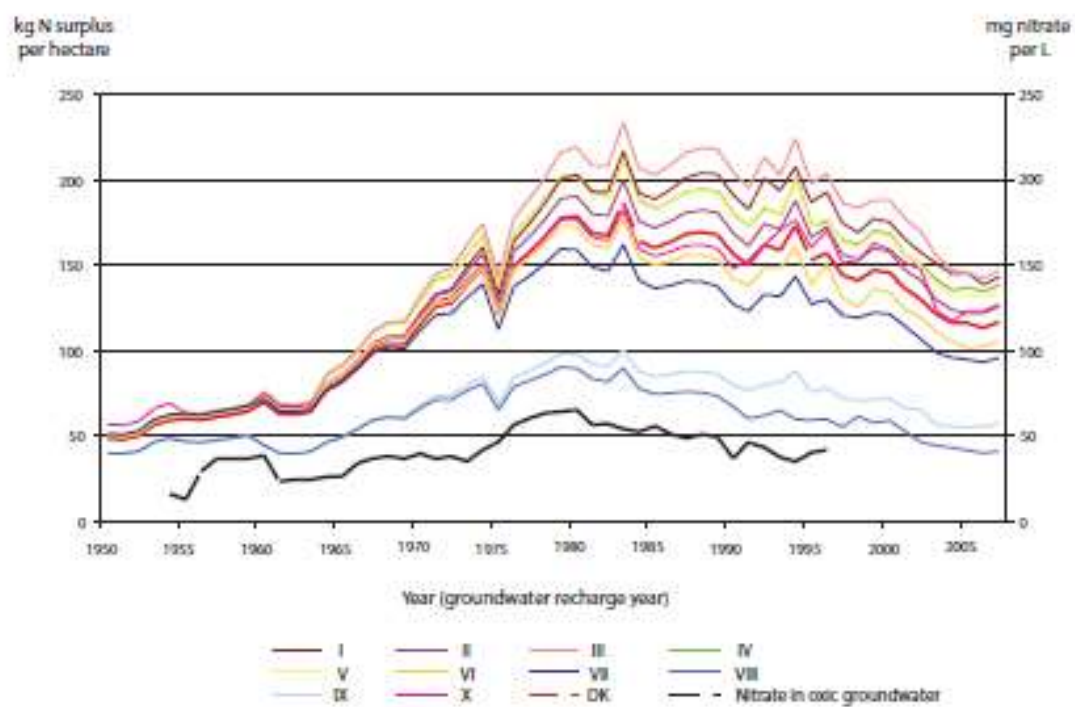
1. Hvor stor er andelen af tilstrømmende vand fra et oxideret nitratholdigt lag
2. Hvor stor er nitratudvaskningen fra landbrug mm i oplandet.

Det første forhold, der vedrører andelen af oxideret vand, er først og fremmest geologisk bestemt, og kan håndteres såvel gennem detaljerede studier af redoxfronten tæt ved de steder, der er kontakt til overfladevand, eller på et overordnet niveau, hvor der tages udgangspunkt i modellerede hydrauliske strømningsmønstre og den modellerede nitratfront (Figur 7.27). For disse naturgivne betingelser for nitratpåvirkning af overfladevand kan udpeges georegioner, som tager udgangspunkt i, hvor der er størst andel iltet grundvand, der når vandløbene. Disse er imidlertid ikke nødvendigvis sammenfaldende med de georegioner, der har betydning for størrelsen af nitratudvaskningen.

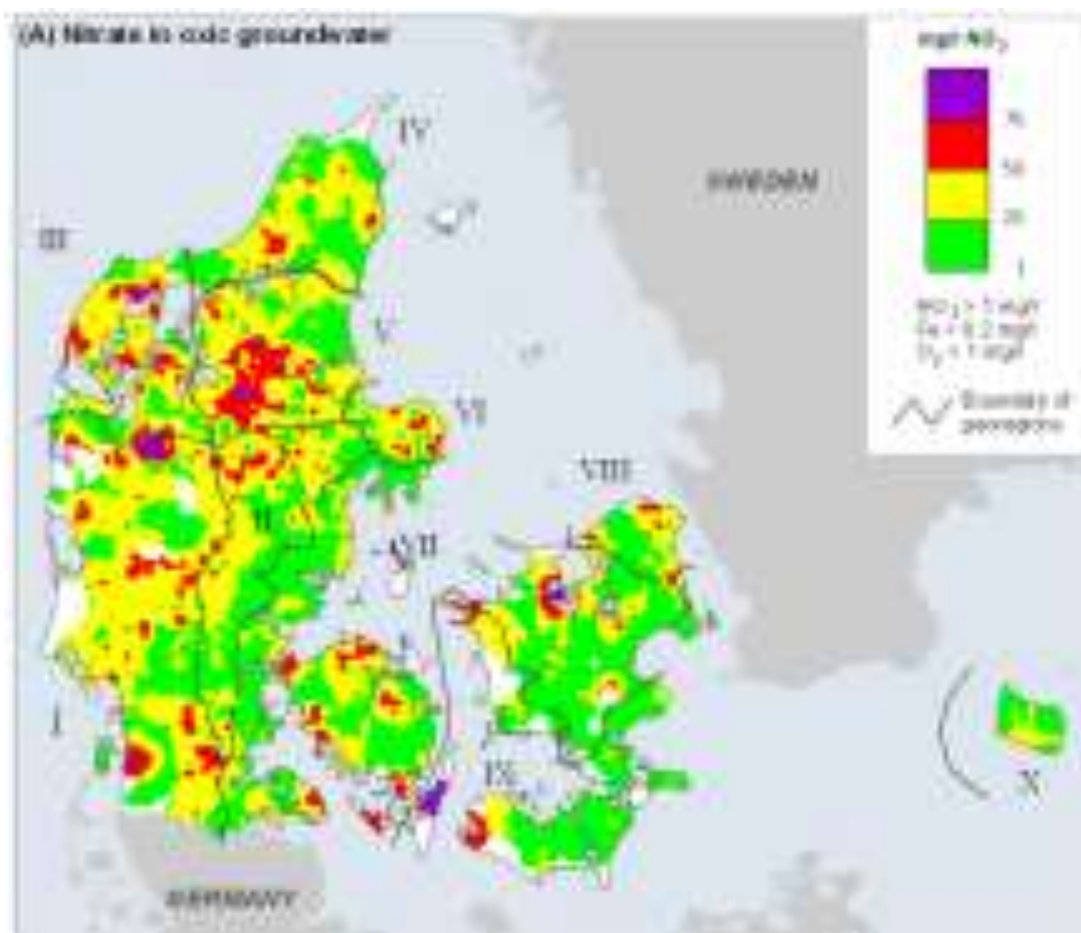


Figur 7.27: Fordeling af oxiderede og reducerede magasiner samt ID15-oplande.

Figur 7.28 viser størrelsen af landbrugets kvælstofoverskud og det iltede grundvands gennemsnitlige nitratindehold i perioden 1960-2007 opdelt på georegioner som anvendt af overfladevandsfolk og AU-Agro. Den geografiske udbredelse af georegionerne og nitratindeholdet i iltet grundvand er vist på Figur 7.29. Det fremgår af Figur 7.28, at der er meget stor forskel kvælstofoverskuddet fra område til område, hvilket skyldes forskelle i landbrugsstrukturen, samt forskelle i jordbund mm. Figur 7.29. viser imidlertid, at der ikke nogen simpel sammenhæng mellem georegioner, defineret efter denne metode, og nitratindeholdet i den iltede del af grundvandet. Det må derfor konkluderes, at de georegioner, der anvendes af "overfladevandsfolket", ikke nødvendigvis er egnede til grundvandsformål og for vurdering af grundvandsforekomsternes påvirkning af overfladevand. Den vigtigste faktor er nemlig ikke den absolutte nitratkoncentration, der bliver udvasket, men hvor stor en andel af det udvaskede nitrat, der ender i overfladevandssystemet, og dermed de geologiske forhold.



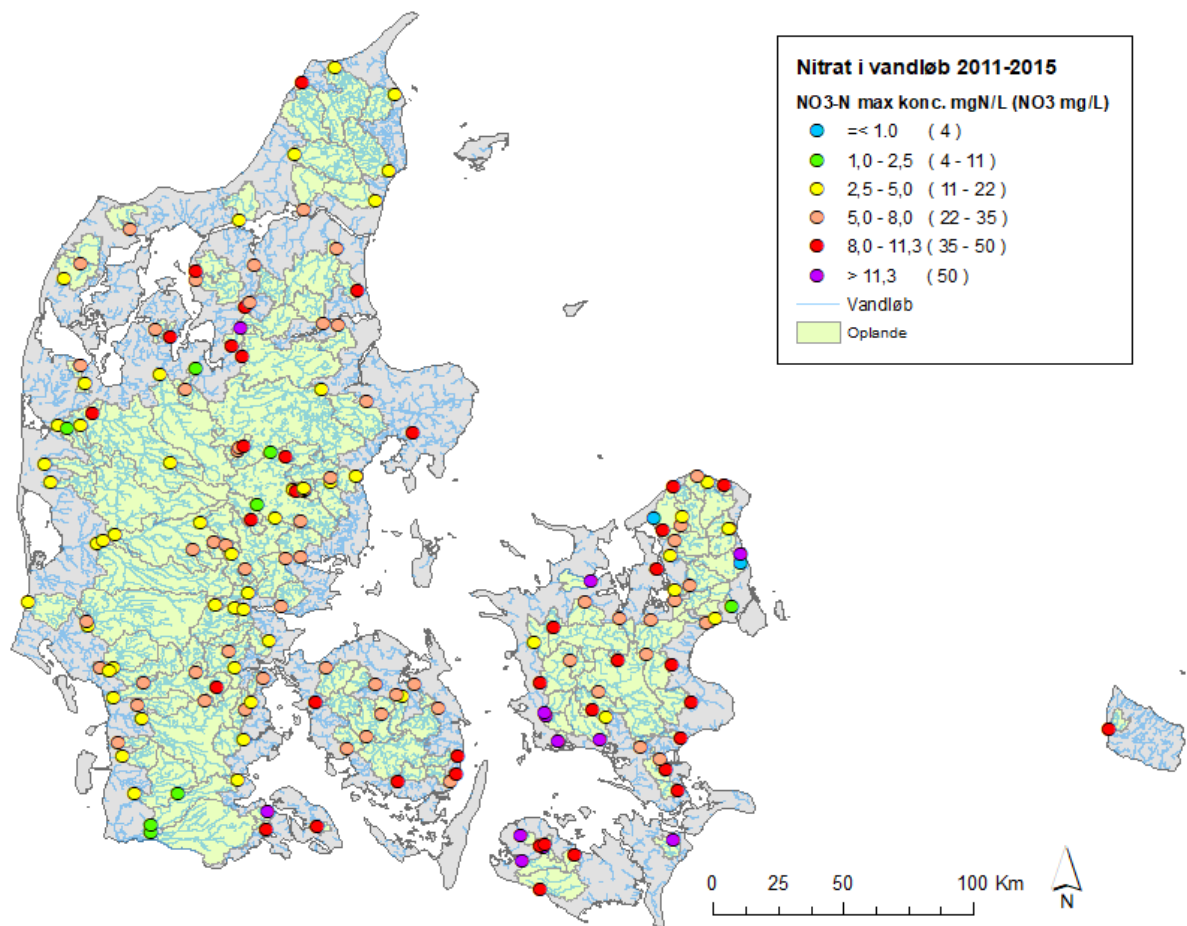
Figur 7.28: Kvælstofoverskuddet i georegioner i Danmark, og nitrat i iltet grundvand. (Hansen med flere, 2012)



Figur 7.29: Georegioner og nitrat i iltet grundvand. Hansen med flere (2012).

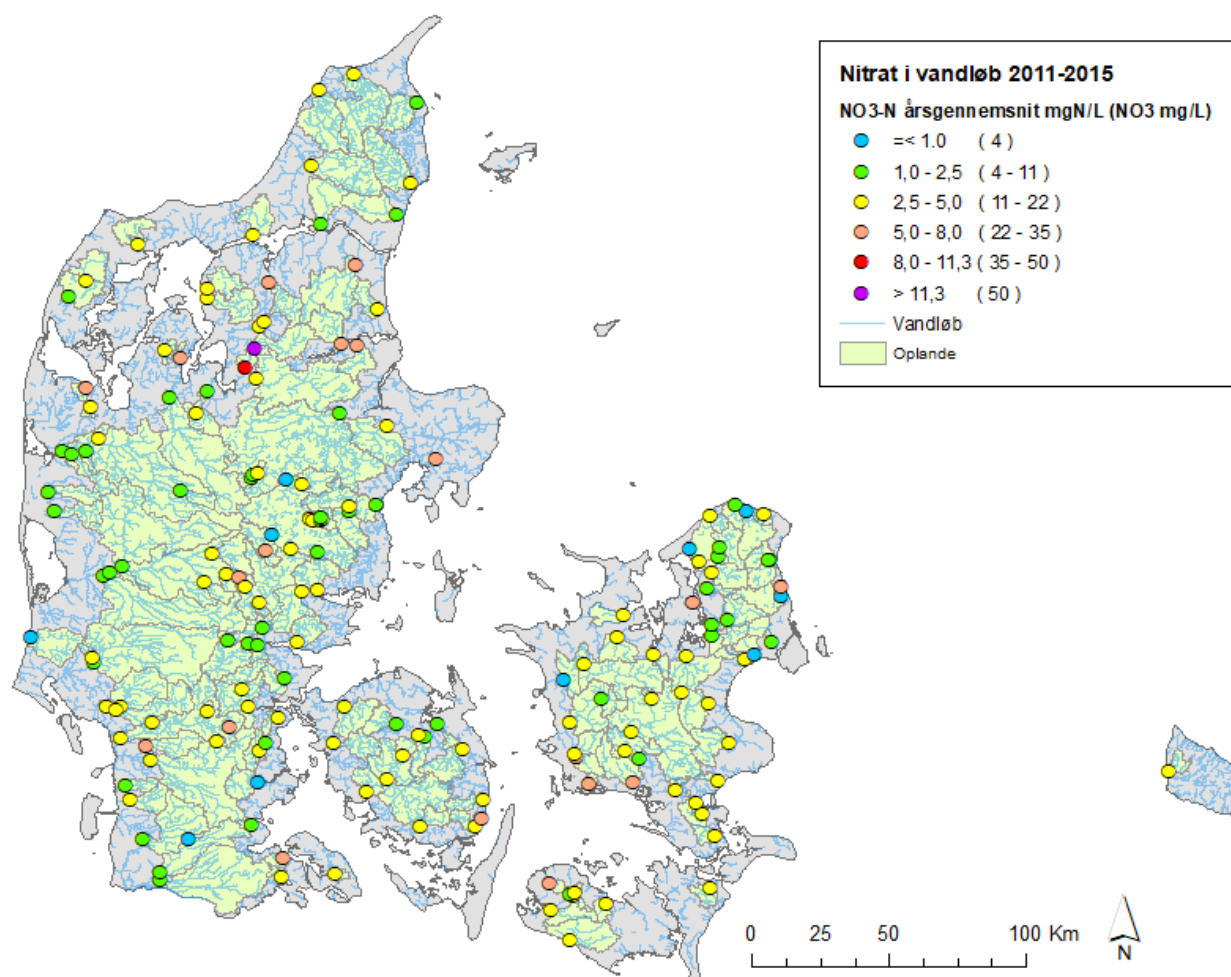
7.5.2 Vandløb

Fordelingen af maksimum koncentrationer af nitrat målt i vandløb ved de enkelte stationer i perioden 2011-2015 fremgår af figur 7.30. Der er målt koncentrationer over 8 mg N/l (35 mg/L) ved 50 af de i alt 171 undersøgte stationer, hvorfra der findes målinger. Der er målt koncentrationer over 11,3 mg N/L (50 mg/L) ved 12 af stationerne (figur 7.30). De fem højeste koncentration for nitrat er målt i Fladmose Å, hvor der er målt en koncentration på 18,2 mg N/l (80,6 mg/L), Hvam Bæk, hvor der er målt en koncentration på 17,1 mg N/l (75,7 mg/L), Kighanerenden, hvor der er målt en koncentration på 16,7 mg N/l (74 mg/L), Fribrødre Å, hvor der er målt en koncentration på 14,3 mg N/l (63,3 mg/L) og Marrebæksrende, hvor der er målt en koncentration på 14,1 mg N/l (62,4 mg/L).



Figur 7.30: Nitrat i vandløb i Danmark i perioden 2011-2015. Figuren viser de maksimalt målte koncentrationer ved de enkelte stationer i perioden. Der er i alt behandlet data fra 171 vandløbsstationer.

Årsgennemsnit for koncentrationen af nitrat ved de enkelte stationer fremgår af figur 7.31. Der er fundet årsgennemsnitskoncentrationer over 8 mg N/l ved to af de i alt 171 undersøgte stationer og een station overskrider 11,3 mg N/l. Disse to højeste årsgennemsnit for nitrat er fundet i vandløbene: Hvam Bæk, hvor der er fundet et årsgennemsnit på 13,3 mg N/l (58,7 mg/L) og Simested Å, hvor der er fundet et årsgennemsnit på 8,03 mg N/l (35,6 mg/L).



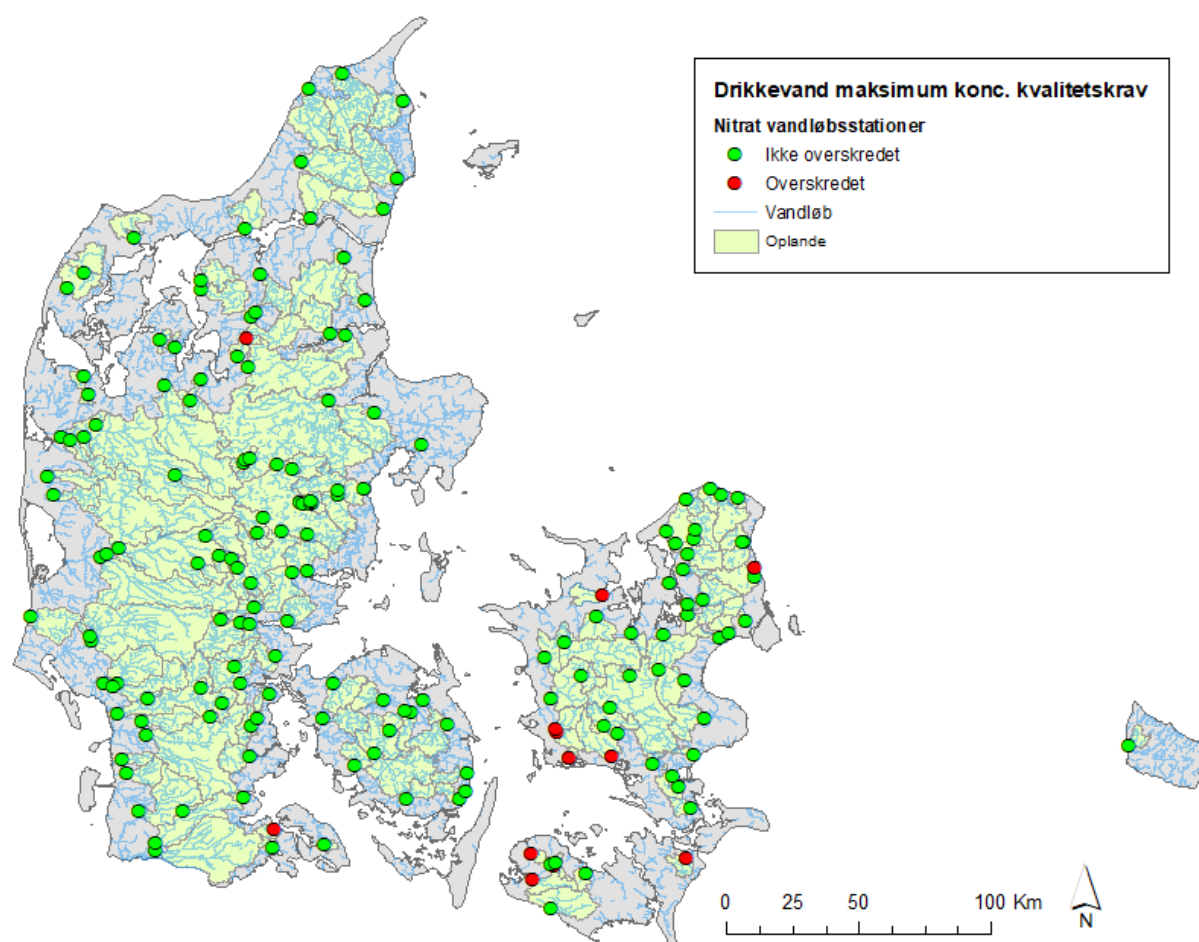
Figur 7.31: Nitrat i vandløb i Danmark i perioden 2011-2015. Figuren viser årgennemsnit for de enkelte vandløbsstationer udregnet på baggrund af metode 2 (NOVANA metoden) for hvert kalenderår. Der er i alt behandlet data fra 171 forskellige vandløbsstationer. I de tilfælde, hvor der er flere årgennemsnit ved samme station er det årgennemsnittet fra det seneste år der er vist.

Vurdering i forhold til kvalitetskrav

Ved 13 vandløbsstationer er der i perioden 2011-2015 fundet koncentrationer, der er højere end kvalitetskravet på 11,3 mg N/l (50 mg/l) for nitrat i drikkevand, hvilket svarer til, at der er fundet overskridelse ved 7,6% af det samlede antal undersøgte vandløbsstationer (tabel 7.9 og figur 7.32). Det er generelt i Himmerland, østlige del af Sønderjylland og på Sjælland at kvalitetskravet er overskredet i vandløbene (figur 7.32).

Tabel 7.9: Antallet af vandløbsstationer, hvor der er fundet overskridelse af maksimumkoncentration kvalitetskravet for nitrat i drikkevand i perioden 2011-2015. Derudover fremgår det, hvor stor en procentdel antallet udgør ud fra det samlede antal undersøgte vandløbsstationer.

	Maksimumkoncentration kvalitetskrav - Max. konc. > 11,3 mg N/l	Generelt kvalitetskrav - Årsgennemsnit (anvendes ikke)
Antal undersøgte vandløbsstationer: 171		
Nitrat i vandløb (antal)	13	-
Nitrat i vandløb (%)	7,6	-



Figur 7.32: Den rumlige fordeling af målte maksimumkoncentrationer i forhold til maksimumkoncentrations kvalitetskravet for nitrat i drikkevand på 11.3 mg N/l (50 mg/l).

Samlet areal undersøgt for nitrat i vandløb i DK

Det samlede opland til de vandløbsstationer, hvor der er målt nitrat, dækker i alt et areal på 21.885 km². Det svarer til, at 50,8% af Danmarks areal er blevet overvåget for forekomsten af nitrat i vandløb (tabel 7.10).

Tabel 7.10: Areal af oplandene til vandløbsstationerne, hvor nitrat er blevet overvåget i perioden 2011-2015, samt hvor stor en del af Danmarks samlede areal, det udgør procentmæssigt.

Areal af nitrat oplande (km ²)	Areal DK (km ²) (Folketinget, 2017)	Hvor stor andel af landet er undersøgt (%)
21.885	43.094	50,8

7.5.3 Kystvande

Nitrat indgår i det marine overvågningsprogram i analyser af vandfasen. Der er ikke fastsat miljøkvalitetskrav i form af grænseværdier for nitratkoncentrationen i vandfasen i kystvande. I stedet arbejdes der i Vandplanerne med en maksimum belastning af kystvande med total kvælstof, der er fastsat individuelt for hvert kystvand ved hjælp af marine modeller.

7.5.4 Opsummering

Nitrat er konstateret i koncentrationer der overskrider kvalitetskravet for drikkevand i både grundvand og vandløb. De højeste nitratkoncentrationer findes i Himmerland, oplandet til den sydlige del af Limfjorden, Østjylland og på Øerne. Der er generelt en rimelig overensstemmelse mellem områder med høj nitratkoncentration i grundvand og høj nitratkoncentration i vandløb. Undtagelser er områder med lav nitratkoncentration i grundvand som på Øerne, hvor nitrat koncentrationen i vandløb er bestemt af nitrat som tilføres med drænvand fra de dyrkede arealer.

8. Analyse af potentiel kontakt mellem grundvandsforekomster og overfladevand

8.1 Metode til beregning af kontakt mellem grundvandsforekomst og vandløb

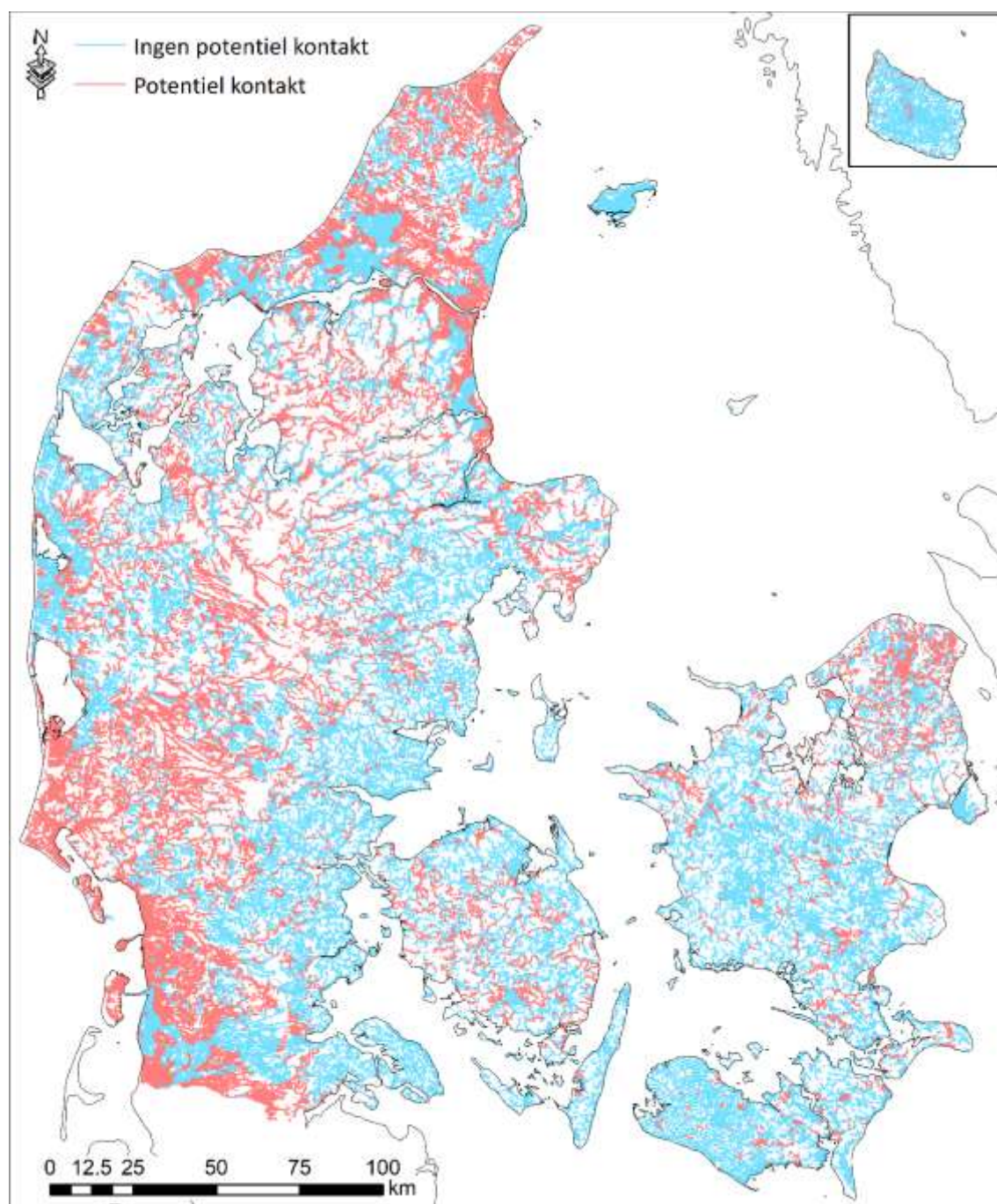
På baggrund af modelberegninger udført i DK-modellen er der udarbejdet et landsdækkende kort for den potentielle kontakt (PK) mellem grundvandsforekomsterne og vandløb (GeoDanmark temaet). Karakteriseringen af kontakten er baseret på en analyse, hvor afstanden mellem toppen af grundvandsforekomsten og bunden af vandløbet i GeoDanmark temaet er inddelt i intervallerne: under 0,1m, mellem 0,1m og 1m, mellem 1m og 3m, og over 3m. Der er opstillet et afstandskriterium således at hvor afstanden er mindre end 3, vurderes der at være en potentiel kontakt mellem grundvandsforekomsten og vandløbet. Figur 8.1 viser det landsdækkende kort, hvor vandløbsstrækninger er inddelt i "ingen potentiel kontakt" og "potentiel kontakt" mellem grundvandsforekomst og vandløb baseret på dette 3m afskæringskriterium. Det er muligt at underinddele i flere kategorier end potentiel kontakt/ingen potentiel kontakt ved 3m afskæringskravet, men det vurderes, at der er for stor usikkerhed forbundet med at underinddele i fx god, mindre god og ingen kontakt. Dette skyldes skalaudfordringer med geologien i DK-modellen på skala mindre end 500m.

Figur 8.2 viser tilsvarende kort for kontakt til de målsatte vandløb anvendt i Vandområdeplanerne 2015-2021. Grundvandsforekomsterne kan både være terrænnære grundvandsforekomster med en lokal udbredelse og være grundvandsforekomster med regional udbredelse. Kortet siger intet om påvirkningsgraden af vandløb.

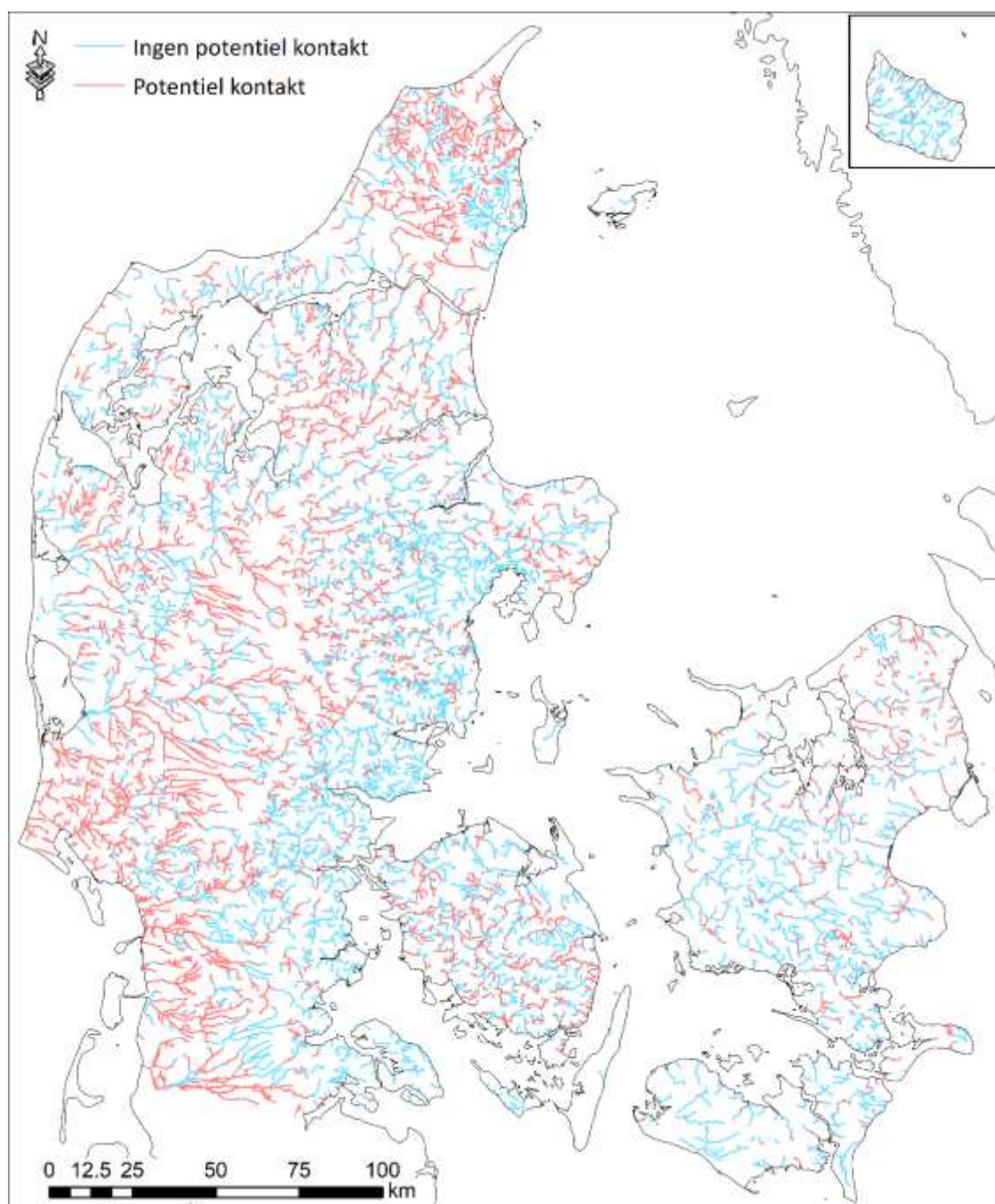
Proceduren for beskrivelsen grundvandsforekomsternes kontakt til overflade vandelementer er vist i tabel 8.1 og er nærmere beskrevet i Troldborg med flere (2014).

Tabel 8.1: Teknisk beskrivelse af den trinvis procedure anvendt i DK-modellen til beregning af kontakten mellem grundvandsforekomst og vandløb. Der henvises til Trolborg (2014) for nærmere beskrivelse af tekniske termer.

	Arbejdsprocedure i DK-modellen
Del 1	<u>Første del</u> bestemmer, hvilke arealer der har mindre end 3 meter ler mellem de laveste områder (10x10m) af terrænoverfladen indenfor et 100x100m grid og magasinernes overfladebeskrivelse (DK-modellens lagflader på raster grid format). Beregningsmæssigt er der dannet en minimums terrænmodel, hvor hvert 100x100m grid er tildelt den mindste værdi fra Danmarks højdemodel i 10m grid udgaven (Geodatastyrelsen, DHM/Terræn [10m grid]). Dette minimums topografiske grid (100m) er fratrasket lagflader for toppen af de enkelte magasiner (100m grid) og de resulterende raster grid (benævnt dkm_x_terr, hvor x angiver magasinlaget, f.eks. KS1) er herefter kategoriseret i fire enheder (grid med mindre end 0,1 meter, mellem 0,1 og 1 meter, mellem 1 og 3 meter, samt mere end 3 meters afstand).
Del 2	<u>Andet del</u> bestemmer fællesmængden af områder med mindre end 3 meters afstand til terræn og områder defineret som tilhørende magasiner. Rent praktisk dannes et polygontema med information om de lagspecifikke resulterende difference rastergrid (dkm_x_terr), hvilket klippes med tilsvarende magasiner (polygon) afgrænsninger indenfor de specifikke lag (f.eks. magasiner indenfor KS1). De resulterende polygontemaer navngives og gemmes internt i proceduren (dkm_x_TerrPolClip). Herved dannes områder indenfor de enkelte magasiner som har lille afstand til terræn.
Del 3	<u>Tredje del</u> bestemmer fællesmængden mellem overfladevandselementer. I Trolborg med flere 2014 blev dette gennemført for AIS ("Danmark Miljøundersøgelsers" Arealinformationssystem) temaerne for vandløb, søer og vådområder og områder af magasinerne med lille afstand til terræn (dkm_x_TerrPolClip). I nærværende rapport er koblingen gennemført for vandløbstemaerne fra GeoDanmark og Vandområdeplanerne 2015-2021 vandplan. "GIS"-teknisk set udføres en "Identity" analyse, hvorved information om magasinnummer og grundvandsforekomstnummer stemples ind i FOT vandløbs-temaet (GeoDanmark, FOT10, Rivers) henholdsvis vandplan2 vandløbs-temaet for Vandområdeplanerne 2015-2021 (VP2, vp2_2016vandlob) indenfor områder af magasinerne med lille afstand til terræn (dkm_x_TerrPolClip).



Figur 8.1: Potentiel kontakt mellem grundvandsforekomster og GeoDanmark vandløb. Potentiel kontakt er vist med rød farve og ingen potentiel kontakt med blå farve, baseret på et afstands-krav under 3m (potentiel kontakt) og over 3m (ingen potentiel kontakt).



Figur 8.2: Potentiel kontakt mellem grundvandsmagasiner og VP2 vandløb (målsatte vandløb jf. Vandområdeplanerne 2015-2021). Potentiel kontakt er vist med rød farve og ingen potentiel kontakt med blå farve, baseret på et afstandskrav under 3m (potentiel kontakt) og over 3m (ingen potentiel kontakt).

8.2 Kontakt mellem grundvand og kystvande

Direkte udstrømning fra grundvandet (og fra enkelte kystnære grundvandsforekomster) til havet eller fjorde kan approksimeres via modelberegninger med DK-modellen. I DK-modellen er have og fjorde indlagt i det øverste beregningslag i modellen, mens den ydre modelrand typisk er placeret 500-1000 meter fra kysten. Der eksisterer så godt som ingen direkte målinger eller estimeringer af grundvandstilstrømning til havet, der kan bruges til at kvalificere modelberegningerne.

Fra tidligere opgørelser med DK-modellen (Højberg med flere 2007) er tilstrømningen fra grundvandet til havet estimeret til mindre end 10mm på Sjælland og mellem 50mm og 125 mm i Jylland (Tabel 8.2). Beregninger for Sjælland, Fyn og øerne indeholder de mest valide estimater for grundvandsudstrømning, da disse områder ikke vil være påvirket af strømning mellem modelområderne. Sjælland og Fyns områderne er begge meget domineret af ler, og umiddelbart virker det som om at udstrømningen fra lerede områder er en faktor 5-10 lavere end for sandede områder, med forbehold da alle grundvandsbidrag-til-hav betragtningerne for Jylland umiddelbart virker påvirket af strømning af model til model.

Tabel 8.2: DK-model estimer af direkte grundvandsudstrømning til havet (ex. Bornholm)

DK-model område	Samlet afstrømning til havet	Direkte bidrag via grundvand	Grundvandsbidraget i %
Sjælland, Lolland, Falster og Møn	154 mm	10 mm	6
Fyn og øerne	174 mm	6 mm	3
Jylland – Syd (jsy – Ribe,)	428 mm	70 mm (*)	16
Jylland – Sydvest (jsv – Esbjerg, Skjern å)	469 mm	38 mm (*)	8
Jylland – Sydøst (jse – Århus, Vejle og Kolding)	295 mm	-6 mm (*)	-2
Jylland – Vest (jve – nord og syd for Limfjorden)	436 mm	125 mm (*)	29
Jylland – Øst (joe – Djursland, Mariager fjord)	274 mm	46 mm (*)	17
Jylland – Nord (jno – Limfjorden, Skagen)	296 mm	50 mm (*)	17

(*) Grundvandstilstrømningen er ikke beregnet direkte, tallene indeholder også strømning på tværs af modeller for Jylland (typisk på tværs af hovedopholdslinjen)

8.3 Opsummering

Et landsdækkende kort viser den potentielle kontakt mellem grundvandsforekomster og vandløb ved et afstandskrav på 3m i Trin 3. Der kan suppleres med medianminimum vandføringsmålinger, der giver et kvantitativt bud på den rumlige fordeling af grundvandsbidraget til vandløb i Trin 5. Estimeringer af grundvandsbidrag til havet kan baseres på modelberegninger, men er svære at verificere.

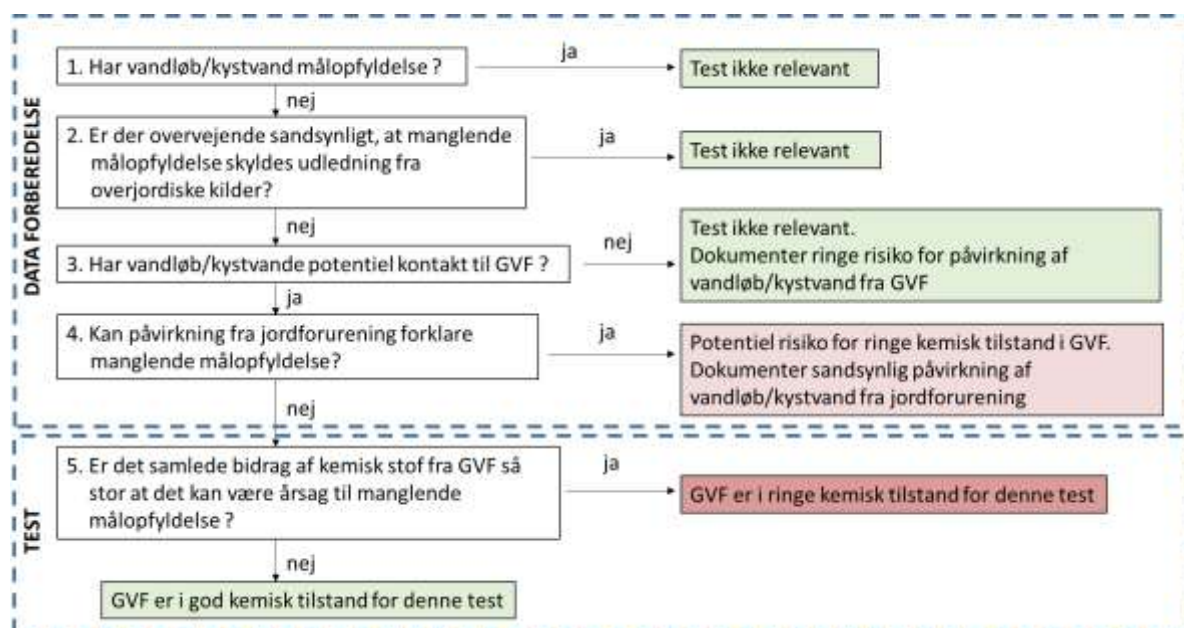
9. Metode til vurdering af grundvandsforekomsters påvirkning af overfladevande

9.1 Beskrivelse af den udviklede metode

Den foreslåede metode har en recipientbaseret tilgang, hvor der tages udgangspunkt i målinger fra vandløb og kystvande. Metoden er begrænset til de tilfælde, hvor der foreligger kemiske målinger i overfladevand. Metoden tager generelt udgangspunkt i målinger fra NOVANA-delfprogrammerne for grundvand, vandløb og kystvande. Derudover suppleres metoden af data fra PULS databasen for overjordiske kilder, samt nøgletal for rensningsanlæg (Naturstyrelsen, 2014) og atmosfærisk deposition (Ellermann med flere 2012; 2018). Data om underjordiske punktkilder skal indhentes fra regionernes risikovurderinger af jordforureninger. Miljøstyrelsens vejledning til risikoanalyse med henblik på jordforureningers potentielle forureningsbelastning af overfladevand fremgår af: https://mst.dk/media/mst/9489368/vejledning_til_screening.pdf.

Den foreslåede metode er et trinvist koncept til gennemførelse af en oplandsanalyse af problemstoffer i overfladevand med henblik på at vurdere om tilknyttede grundvandsforekomster er den sandsynlige kilde til de identificerede problemstoffer. Konceptet tager udgangspunkt i guidance steps fra Sanderson og Fausere (2018) samt i "*CIS Technical Report No. 9 on Ground-water Associated Aquatic Ecosystems*".

Konceptet består af 5 trin (figur 9.1):



Figur 9.1: Den foreslåede metode til trinvis vurdering af kemisk tilstand for en overfladevand-stilknyttet grundvandsforekomst.

En beskrivelse af indholdet og forudsætningerne for analyserne i de enkelte trin beskrives kortfattet i det følgende. En uddybende beskrivelse af metoderne findes i bilag C1-C3 og I1-I3.

Trin 1

I trin 1 tages der stilling til om vandløbet eller kystvandets målsætning er opfyldt. Der foretages en analyse af, hvorvidt der er fundet overskridelser af miljøkvalitetskravene for ferskvand i målingerne foretaget ved de enkelte vandløbsstationer. Det undersøges dels, hvorvidt der er fundet overskridelser af det generelle kvalitetskrav i året, der senest er blevet målt (A), og dels om maksimumkoncentration kvalitetskravet for de enkelte næringsstoffer eller miljøfarlige stoffer er overskredet (B). Hvis dette ikke er tilfældet, undersøges det om der er fundet overskridelser af 50 % af det generelle miljøkvalitetskrav (Sanderson og Fauser, 2018). Dette er valgt, da det vurderes, at 50% overskridelser kan betyde, at koncentrationerne af de enkelte stoffer er i risiko for at overskride miljøkvalitetskravene på et senere tidspunkt (C). Yderligere undersøges det, om der er en stigende trend i de tilgængelige, målte årsgennemsnit af forurenende stoffer over tid. Stigende trends undersøges statistisk med en simpel test for at se, om udviklingen er signifikant (bilag I1) (D).

Hvis de ovenævnte stofs specifikke analyser ikke viser overskridelser ift. de fastsatte krav, vurderes det, at testen ikke er relevant for det pågældende vandområde.

Kun stoffer og vandområder hvor enten A, B, C eller D er overskredet eller udviser signifikant stigende trend går videre til metodens trin 2.

Trin 2

Hvis vandløbet- eller kystvandområdets målsætning ikke er opfyldt pga. menneskeskabte kemiske årsager afklares det, om overjordiske kilder er årsagen. Dette undersøges ved at gennemføre en beregning af stoftransporten for problemstofferne og gennemføre en kildeopsplitning

Stoftransporten ved målestationen beregnes for det seneste år, hvor der er udført målinger. Stoftransporten beregnes som daglig vandføring multipliceret med daglig stofkoncentration, der fastsættes ved lineær interpolering mellem dage med prøvetagninger. Data for daglig vandføring udtrækkes fra ODA databasen (<http://dce.au.dk/overvaagning/databaser/oda/>). Såfremt vandføringsdata for den pågældende station mangler, beregnes et estimat med vandweb (<http://dk.vandmodel.dk/vandweb/>). Beregninger i vandweb er baseret på DK-modellen.

Dernæst gennemføres en kildeopsplitning for problemstofferne i oplandet. Først tilvejebringes information om antallet af overjordiske punktkilder i oplandet, såsom rensningsanlæg, industrier, dambrug, spredt bebyggelse og regnvandsbetingede udløb. Data for overjordiske punktkilder stammer fra PULS databasen (www.miljoportal.dk). Antallet af punktkilder opgøres i en tabel med et tilknyttet GIS-kort, det viser punktkildernes beliggenhed. Dernæst skal data om udledninger af de enkelte stoffer udtrækkes fra punktkildedatabasen PULS. Hvis der findes udledningsdata fra måleåret anvendes disse direkte i kildeopsplitningen. Såfremt måledata ikke er tilgængelige anvendes udledte vandmængder fra de enkelte anlæg for måleåret multipliceret med nøgletal for stofkoncentrationen i udledninger fra de enkelte overfladepunktkilder. Endeligt opgøres betydningen af den atmosfæriske deposition af de enkelte stoffer. Deposition beregnes ved at anvende nøgletal for stofdeposition multipliceret med arealet af overfladevand (vandløb og søer). Derudover beregnes også deposition til det samlede oplandsareal fra regnet arealet af vandløb og søer. Beregningen af atmosfærisk deposition til hele oplandet foretages alene for at vurdere muligheden for ophobning af stof i jorden i oplandet.

I de tilfælde hvor pesticider identificeres som et problemstof, skal pesticider fra diffuse overjordiske kilder (fx udvaskning fra mark), indgå i den samlede belastningsopgørelse.

Kildeopsplitningen gennemføres ved at fratrække udledningen fra overjordiske punktkilder fra den beregnede stoftransport. Den resterende stoftransport, der ikke lader sig forklare ved kildeopsplitningen, er et udtryk for stofbelastningen fra 'diffuse' kilder, herunder fra grundvandsforekomster.

Hvis kildeopsplitningen sandsynliggør, at mindst 50 % af den årlige stoftransport af problemstofferne stammer fra overfladepunktkilder, vurderes det, at testen ikke er relevant for det pågældende vandområde.

Kun problemstoffer hvor den 'diffuse' andel udgør mere end 20 % af den årlige stoftransport går videre til analysen i trin 3.

Trin 3

Gennemførelse af Trin 3 forudsætter, at det relevante overfladevandområde entydigt er knyttet til grundvandsforekomster. Koblingen af en eller flere grundvandsforekomster til konkrete overfladevandsområder sker i Trin 3

Der udføres en analyse af den potentielle kontakt (PK) mellem grundvandsforekomst og vandløbet ved at anvende et afstandskrav på mindre end 3m mellem grundvandsforekomst og vandløbsbund. Metoden er nærmere beskrevet i kapitel 8. Der er lavet et landsdækkende kort der viser kontakten mellem grundvandsforekomster og henholdsvis GeoDanmark vandløb (Figur 8.1) og Vandplan 2 vandløb (Figur 8.2). Hvis analysen resulterer i ingen potentiel kontakt, vurderes det usandsynligt, at vand fra grundvandsforekomsten bidrager til forurening i overfladevandet, og dermed er testen ikke relevant for det pågældende vandområde.

Såfremt analysen indikerer potentiel kontakt mellem det påvirkede overfladevand og de tilknyttede grundvandsforekomster går vurderingen videre til trin 4.

Trin 4

På baggrund af regionernes bearbejdede screeningsresultater af "jordforureninger, der kan true overfladevandet" (Miljøstyrelsen, 2015a, 2015b), inddrages viden om kendte jordforureninger. Miljøstyrelsens screeningsværktøj fastlægger de arealer med jordforureninger, der kan udgøre en risiko for overfladevande. Screeningprincippet består af fire hovedelementer: forureningskilde, kritisk afstand, opblanding og fortynding, samt risiko. I screeningen ses der bort fra de almindelig forekommende processer som fordampning, nedbrydning og sorption i jord, grundvand og overfladevand, for at foretage en konservativ screening. Screening har til formål at frasortere de kortlagte arealer, der på grund af stor afstand til overfladevand vurderes ikke at kunne have skadelig virkning på overfladevand (Miljøstyrelsen 2014). Eksempelvis nævnes der 500 meter maksimal fanelængde og 250 meter som "90% fraktil" som forslag til afstandskriterium for pesticider.

Data indhentes og kobles til vandløbsoplandet og grundvandsforekomster tilknyttet i trin 3.

Såfremt de identificerede nærliggende jordforureninger vurderes at være kilde til de identificerede problemstoffer, vurderes den tilknyttede grundvandsforekomst at være i risiko for at være i ringe kemisk tilstand for så vidt angår påvirkningen af overfladevand.

Hvis analysen afviser jordforureninger, som den sandsynlige kilde til problemstofferne går vurderingen videre til trin 5.

Trin 5

Der er ikke gennemført en pilotanalyse af interaktionen mellem grundvandsforekomster og kystvande ud over den kvantitative analyse vist i afsnit 8.2.

I trin 5 analyseres den potentielle hydrauliske kontakt (PHK) for hele vandløbsoplandet. Der udføres en analyse af den potentielle hydrologiske kontakt mellem det målsatte vandløb/kystvand og underliggende grundvandsforekomster med DK-modellen. Afstande på under 3 meter mellem vandløb og toppen af øverste vandførende lag i DK-modellen indikerer en potentiel kontakt imellem overfladevandet og grundvandsforekomsten. Analysen kan også suppleres med medianminimum vandføringsmålinger, såfremt disse målinger findes. I pilotoplandene beskrevet i afsnit 9.2 er den potentielle kontakt med grundvandsforekomsten og vandløbet

yderligere blevet suppleret med beregning af hydrauliske gradient forhold. Analysen baseres på den potentielle kontakt (mindre end 3m) kombineret med den potentielle hydraulisk kontakt, der er de beregnede gradientforhold for grundvandet og resultatet præsenteres på ID15-oplande. For del-vandløbsstrækninger der har opadrettede gradientforhold og samtidig har potentiel kontakt til grundvandsforekomsten efter afstandskravet (mindre end 3m) er det overvejende sandsynligt, at vandløbet modtager grundvand.

Derudover beregnes også andelen af grundvand fra grundvandsforekomsten, der som strømmer i vandløbet (Q_{95}/Q_{50}). Q_{95}/Q_{50} er sommervandføringen (Q_{95}) normaliseret til meridianvandføring (Q_{50}), og forholdet er et udtryk for hvor meget grundvand udgør af vandføringen i vandløbet. Høje ratioer indikerer stort grundvandsbidrag, og lave værdier indikerer lille bidrag til vandføringen fra grundvand.

Herefter sammenholdes forekomsten af de enkelte problemstoffer fundet i grundvandsforekomsterne (boringsindtag) inden for en bufferafstand på 250 meter og 500 meter.

Baseret på en ekspertvurdering afgøres på ID15-niveau, om minimum 50 % af den konstaterede stoftransport af problemstofferne kommer fra et eller flere af de tilknyttede grundvandsforekomster.

Såfremt ekspertvurderingen tilsiger at mindst 50 % af den forurenende stoftransport stammer fra grundvandsforekomsten, vurderes grundvandsforekomsten at være i ringe kemisk tilstand for så vidt angår påvirkningen af overfladevand. Hvis mindre end mindst 50 % af den forurenende stoftransport stammer fra grundvandsforekomsten, vurderes grundvandsforekomsten at være i god kemisk tilstand for så vidt angår påvirkningen af overfladevand.

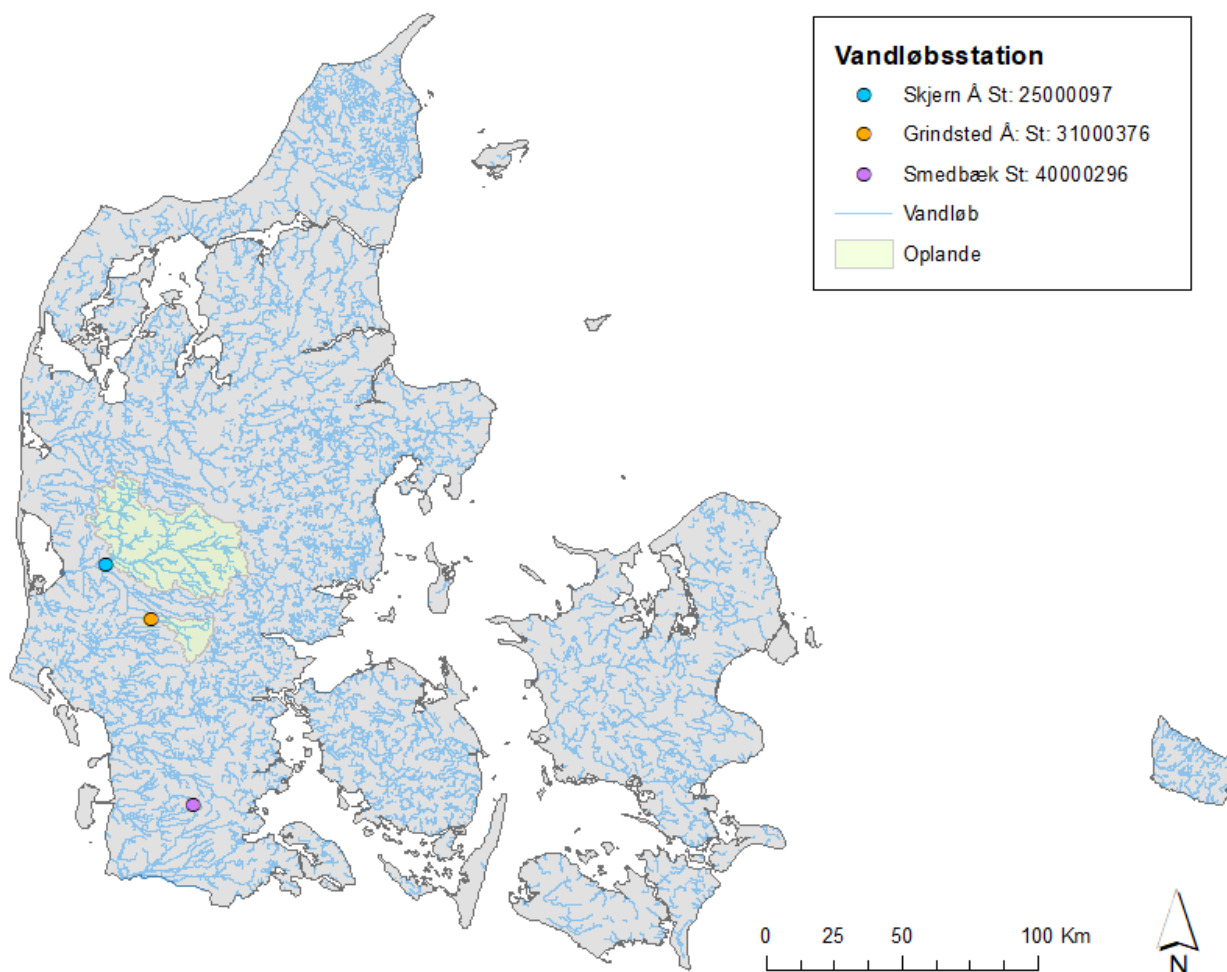
Behov for yderligere undersøgelser

Hvis det i trin 5 vurderes, at grundvandsforekomsten ikke kan forklare (bidrager med mindre end 50 % af stoftransporten) vandløbets eller kystvandets manglende målopfyldelse, igangsættes undersøgelser af andre mulige årsager. Dokumentation udarbejdes ved eventuelt at gennemføre en undersøgelsesovervågning.

9.2 Pilot oplandsanalyse

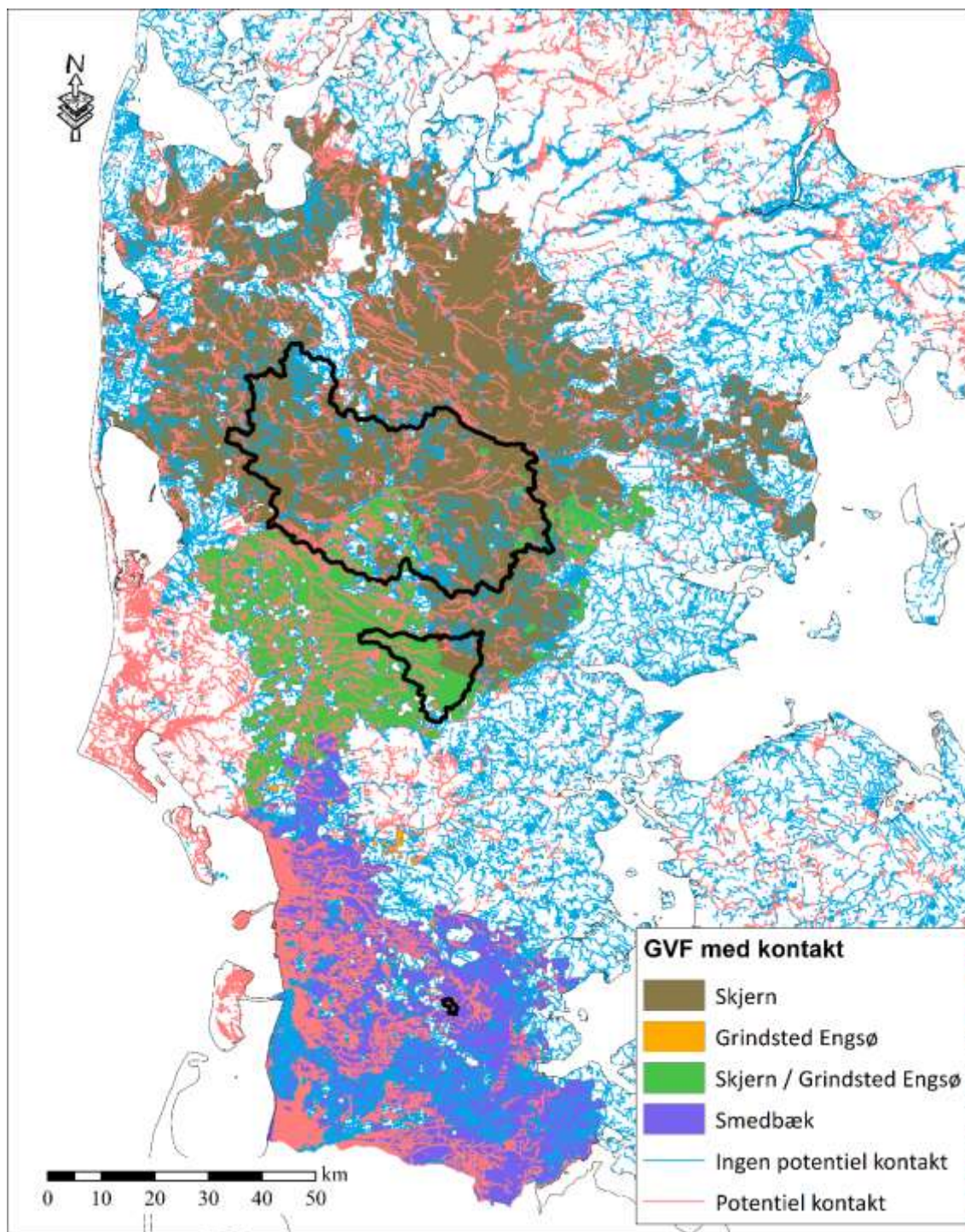
Der er ikke gennemført en pilotanalyse af interaktionen mellem grundvandsforekomster og kystvande ud over den kvantitative analyse gennemgået i afsnit 8.2. I det følgende gennemgås tre udvalgte oplandseksempler, hvor der vurderes at være kontakt mellem grundvandsforekomst og vandløb.

De tre udvalgte oplandseksempler er Skjern Å, Grindsted Å og Smedbæk. Oplandene er dels udvalgt på baggrund af deres størrelse, sådan at pilot-oplandsanalysen testes på tre skalaer og dels ud fra, at der er blevet konstateret fund af miljøfarlige stoffer i vandløbsområder. Smedbæk-oplandet på 4 km² repræsenterer et lille opland. Grindsted Å-oplandet på 187 km² repræsenterer et mellemstort opland, mens Skjern Å-oplandet på 1.552 km² repræsenterer et stort opland. Lokaliseringen af de tre udvalgte oplande fremgår af figur 9.2.



Figur 9.2: Oversigt over de tre udvalgte oplande til pilot-oplandsanalysen. Skjern Å areal: 1.552 km², Grindsted Å areal: 187 km² og Smedbæk areal: 4 km².

De tre vandløbsoplande er potentielt i kontakt med en eller flere grundvandsforekomster som vist i figur 9.3. Smedbæk-oplandet har potentielt kun kontakt til en enkel grundvandsforekomst (DK_1_456_230). Grindsted Å-oplandet har potentiel kontakt med to grundvandsforekomster (DK_1_456_8; DK_1_456_226), mens Skjern Å-oplandet potentielt er i kontakt med ni grundvandsforekomster (DK_1_456_140; DK_1_456_196; DK_1_456_194; DK_1_456_213; DK_1_456_226; DK_1_456_232; DK_1_456_233; DK_1_456_241; DK_1_456_242). Grundvandsforekomsterne er af typen kvartært sand og prækvartært sand.



Figur 9.3: Udbredelsen af grundvandsforekomster (GVF) med potentiel kontakt til de tre pilot-vandløbsoplande: Smedbæk, Grindsted Å og Skjern Å.

9.2.1 Skjern Å-oplandet

Trin 1 – Overskridelser af miljøkvalitetskrav i ferskvand og forekomst af trends

Det fremgår af tabel 9.1, at der i Skjern Å-opland St. 25000097 er fundet stofoverskridelser af det generelle kvalitetskrav og maksimumkoncentration kvalitetskravet for zink, mens der er fundet 50% overskridelser af miljøkvalitetskrav for stofferne nikkel, cadmium og DEHP. Ved en undersøgelse af trend fremgår det desuden, at der er en signifikant stigning at finde i årsgennemsnit for DEHP (tabel 9.1). Dette betyder, at de miljøfarlige stoffer som går videre til trin 2 er nikkel, zink, cadmium og DEHP.

Tabel 9.1: Tabellen viser overskridelser af det generelle miljøkvalitetskrav og maksimumkoncentration kvalitetskravet for ferskvand for de miljøfarlige stoffer målt ved vandløbsstationen Skjern Å, St. 25000097. I tabellen er overskridelser af miljøkvalitetskravene samt overskridelser af 50% af det generelle miljøkvalitetskrav undersøgt samt trend i årlige koncentrationer. Trendkolonnen indikerer, hvorvidt der er en trend i de tilgængelige målte årsgennemsnit over tid. Se bilag I1 for simple statistiske undersøgelser af de stigende trend.

Skjern Å-opland - Station 25000097				
Stof	Overskrivelse Generelt MKK	Overskridelse Max konc. MKK	50% af generelt MKK	Trend
Nitrat	MKK ikke fastsat	++	MKK ikke fastsat	Ikke beregnet
Nikkel	-	-	+	-
Arsen	-	-	-	ikke mulig
Barium	ikke målt	ikke målt	ikke målt	ikke målt
Kviksølv	-	-	-	ikke mulig
Kobber	-	-	-	-
Cadmium	-	-	+	-
Zink	+	+	+	+ (ikke sig.)
Bentazon	-	-	-	+(ikke sig.)
BAM (2,6 dichlorbenzamid)	-	-	-	-
Isoproturon	-	-	-	-
PFOS (perfluoroktansulfonsyre)	ikke målt	ikke målt	ikke målt	ikke målt
DEHP	-	MKK ikke fastsat	+	+
Trichloroethylen	-	MKK ikke fastsat	-	-
Vinylchlorid	ikke målt	ikke målt	ikke målt	ikke målt

"-" angiver at der ikke er fundet en overskridelse

"" angiver at der er fundet en overskridelse

"ikke mulig" angiver at der kun er data fra ét enkelt år tilgængelig.

"(ikke sig.)" angiver at den stigende trend ikke er signifikant stigende

"ikke målt" angiver at stoffet ikke er målt ved stationen

* Den stigende trend er signifikant.

** Overskridelser af drikkevand miljøkvalitetskravet er undersøgt for næringsstofferne

Trin 2 – Kildeopsplitning, overfladepunktkilder og andre kilder

Overfladepunktkilder og en kildeopsplitning for Skjern Å-opland fremgår af tabel 9.2. Der er beregnet stoftransport ud fra lineær interpolation for det seneste år med tilgængelig data for de enkelte miljøfarlige stoffer, der gik videre fra trin 1. Den daglige vandføring brugt til beregning af stoftransport er udtrukket fra ODA databasen. Den atmosfæriske deposition til overfladevand i oplandet er beregnet ud fra overfladevandsarealet (søer og vandløb) inden for oplandet ganget med den årlige deposition af de enkelte stoffer opgivet i NOVANA rapporten over atmosfærisk deposition (Ellermann med flere, 2018). I tabellen angiver "Fra renseanlæg i oplandet" mængden af de enkelte stoffer, udledt fra renseanlæg inden for oplandet. Dette er beregnet ved at gange den opgjorte vandudledning fra renseanlæggene i oplandet i 2016 med opgjorte nøgletal fra 2014 fra Miljøministeriet (Naturstyrelsen, 2014). Ved nøgletal forstås det bedste bud på den årlige middelværdi for et givet stof i henholdsvis indløb og udløb fra et renseanlæg (Naturstyrelsen, 2014). Kolonnen "Fra andre kilder" i tabel 9.2B angiver stoftransporten fratrukket den atmosfæriske deposition til overfladevand og stofbelastningen fra renseanlæg, og er hermed et bud på hvad der potentielt kan stamme fra grundvandsforekomster.

Placeringen af de forskellige overfladepunktkilder i Skjern Å-oplandet fremgår af figur 9.4. I oplandet var der i alt 14 rensningsanlæg i 2016 (tabel 9.2A). Desuden ligger der i oplandet del industrier, dambrug, spredt bebyggelse og regnvandsbetingede udledninger. Det er pt. kun muligt at estimere udledninger af miljøfarlige stoffer fra renseanlæggene.

Af kildeopsplitningen fremgår det, at stofferne DEHP, nikkel, zink og cadmium går videre til trin 3, da mellem 96 og 98% af stofbelastningen kommer fra andre kilder og derved potentielt kan stamme fra udsivning fra grundvandsforekomster i oplandet (tabel 9.2).

Tabel 9.2: (A) Angivelse af antallet af de fem forskellige typer af overfladepunktkilder i Skjern Å-oplandet. Dvs. antal renseanlæg med udledning, ejendomme i spredt bebyggelse, ferskvandsdambrug, industrier og regnvandsbetingede udløb. Data stammer fra PULS databasen. (B) Kildeopsplitning af overfladekilder for Skjern Å -opland.

A)

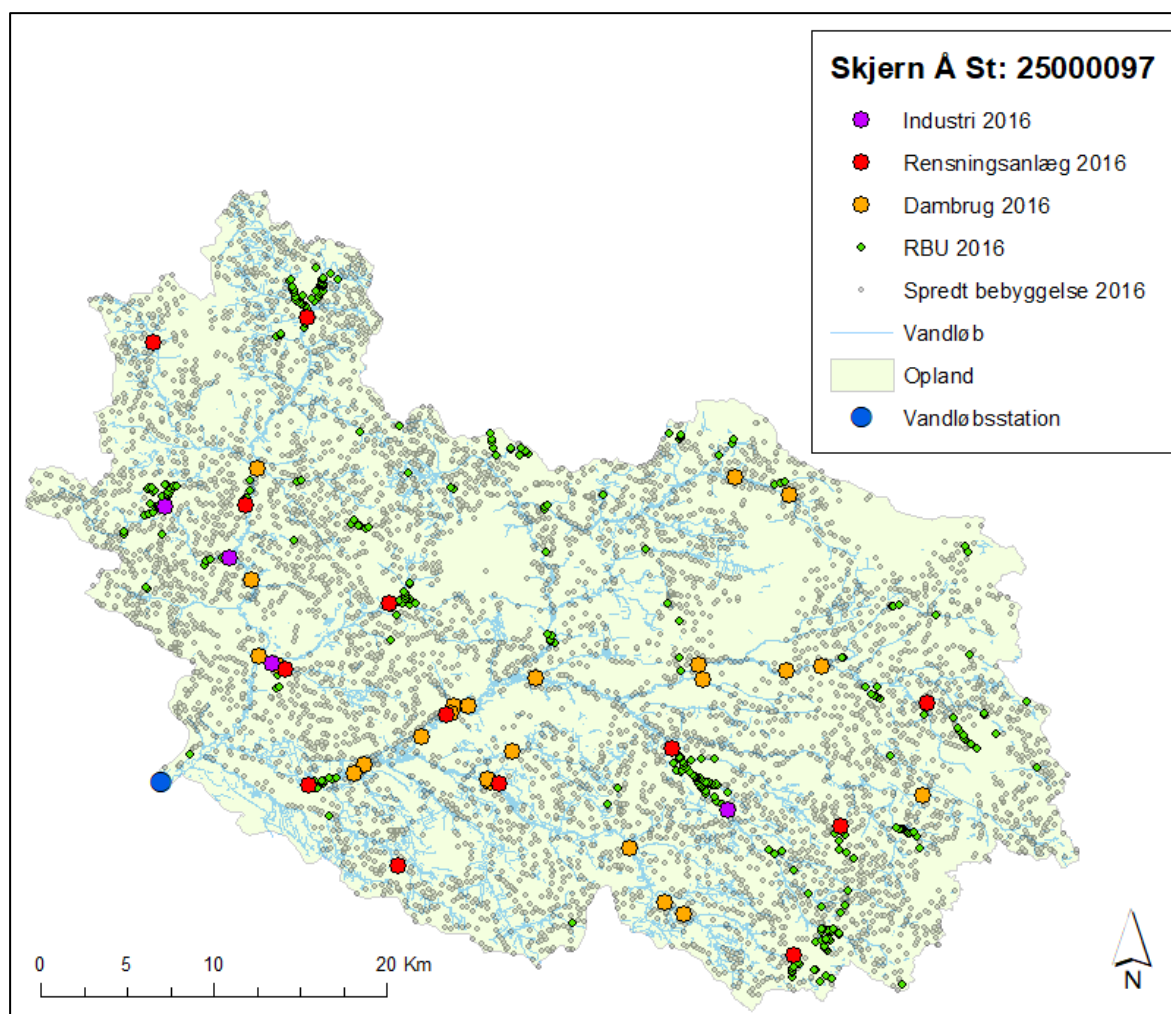
Antallet af overfladepunktkilder i Skjern Å-opland år 2016				
Rensningsanlæg	Industri	Dambrug	Spredt bebyggelse	Regnvandsbetingede udledninger
14	7	24	5428	408

B)

	Forurenende stoffer			
	DEHP**	Nikkel	Zink	Cadmium
År	2006*	2016	2016	2016
Stof transport (kg/år)	712	2873	15557	29
Atmosfærisk deposition til overfladevand (kg/år)	-	1	55	-
Fra renseanlæg i oplandet (kg/år)	22	54	609	1
Fra andre kilder (kg/år)	690	2818	14893	28
Fra andre kilder (%)	97	98	96	98

*DEHP er kun målt i Skjern Å i 2006 og ikke i 2016.

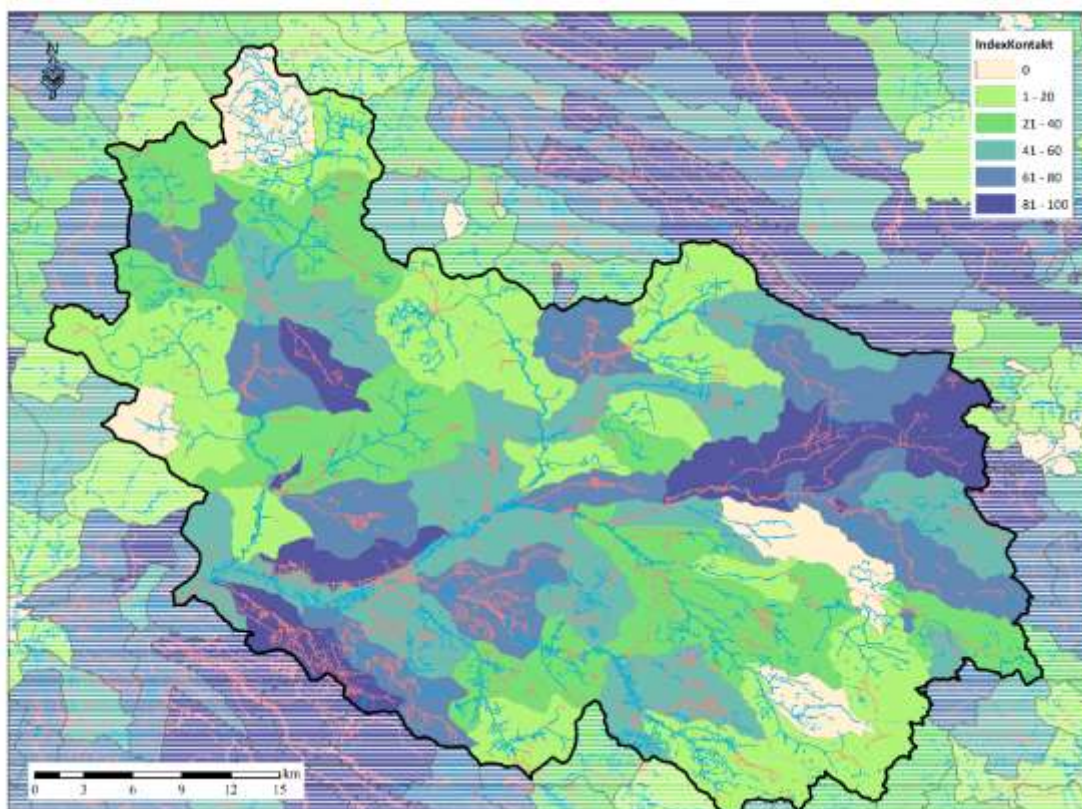
** Udledningen af DEHP er baseret på vandmængdeudledningen fra renseanlæg i oplandet fra 2016 samt nøgletal fra rapporten over miljøfarlige stoffer fra 2014.



Figur 9.4: Placeringen af de forskellige overfladepunktkilder i Skjern Å-opland år 2016. RBU: regnvandsbetingede udløb.

Trin 3 – Analyse af kontakt mellem GVF og overfladevand og grundvandsindeks

For alle ID15-oplande indenfor oplandet til Skjern Å-stationen er den procentvise fordeling af vandløbsstrækninger (længde) med den potentielle kontakt (PK) i forhold til den totale vandløbslængde beregnet. I de mørkeblå ID15-oplande har stort set alle vandløbsstrækninger god kontakt (røde vandløbsstrækninger) til en grundvandsforekomst. Skjern Å-oplandet har flere deloplande med overvægt af vandløbsstrækninger med god kontakt til en grundvandsforekomst, og det er således relevant at gå videre med analysen af kemidata (Fig. 9.5).



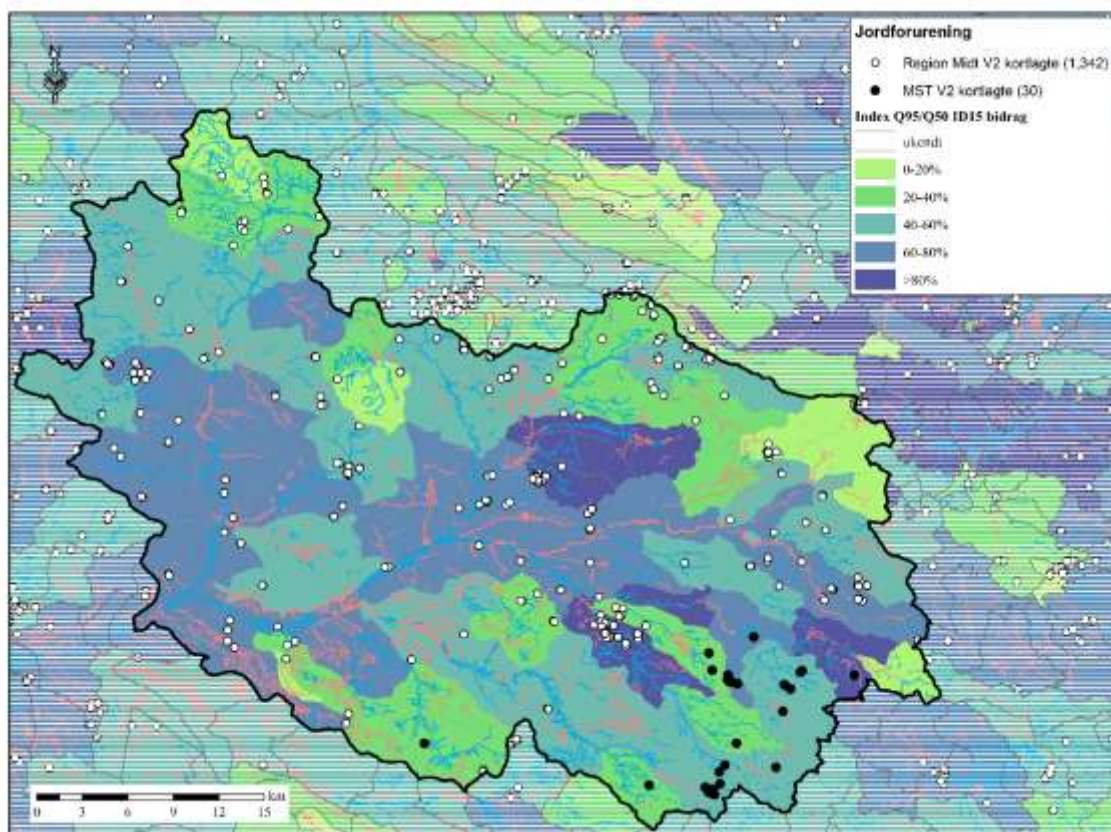
Figur 9.5: Index over kontakten mellem FOT vandløb og grundvandsforekomster. FOT vandløb vist med to farver: rød for strækninger med potentiel kontakt til grundvandsforekomst og blå for strækninger med ingen potentiel kontakt. Bemærk at den potentielle kontakt alene er vurderet ud fra 3m afstandskravet.

For oplandet til Skjern Å-stationen er der udarbejdet et indeksskort over Q95/Q50, hvor både Q50 og Q95 er udregnet som de ID15 specifikke størrelser. Flow-data til beregningen er hentet fra modelkørsler med DK-modellen via vandweb:

(<http://data.geus.dk/geusmap/?lang=da&mapname=hydrovandweb>).

Trin 4 - Analyse af placering og udledninger fra underjordiske punktkilder

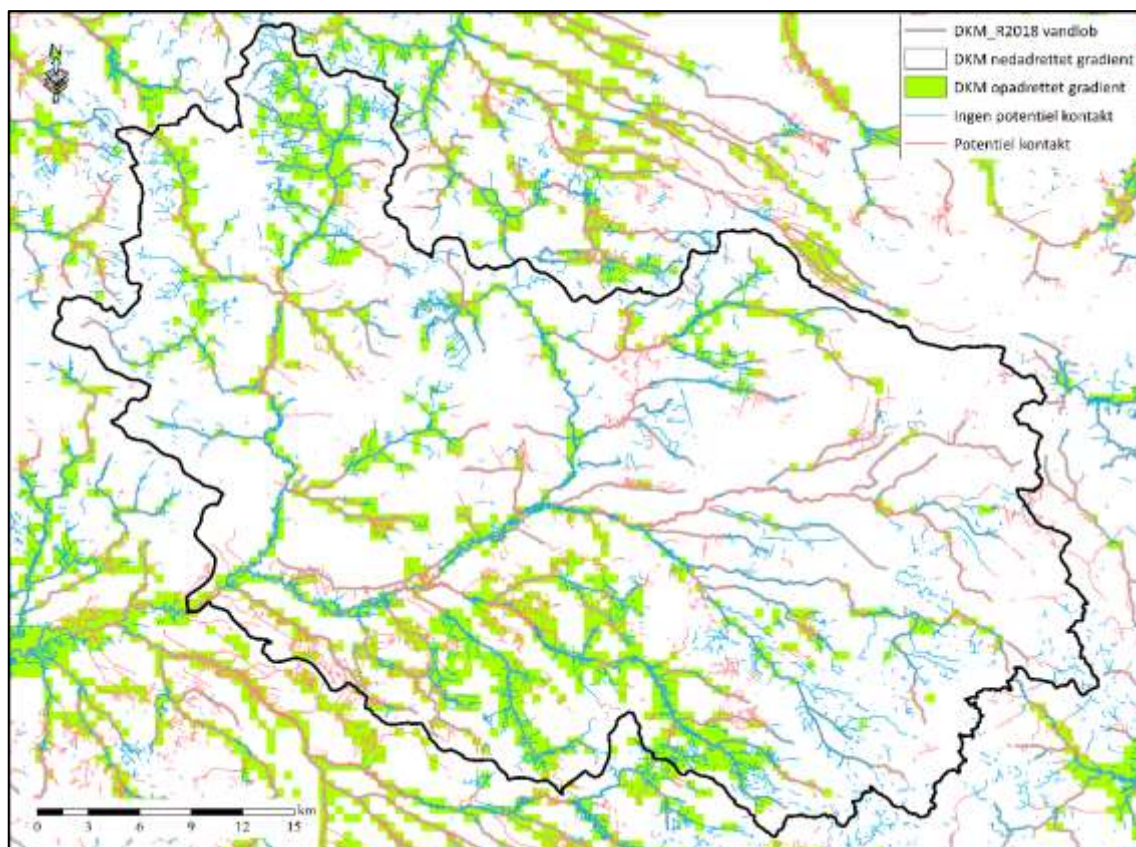
Figur 9.6 viser de V2 kortlagte grunde i Skjern Å-oplandet, hvor punktkilderne ligger 500m eller mindre fra et vandløb. På figuren er vist jordforureningsdata fra både Region Midtjylland og Region Syddanmark. Det er tydeligt, at ganske mange af punktkilderne ligger i ID15-oplande med et væsentlig Q95/Q50 bidrag til sommervandføringen i Skjern Å-oplandet. Anden del af trin 4 er at der for hver enkelt punktkilde har Regionerne beregnet en risiko for forureningspåvirkning af overfladevandene med Miljøstyrelsens screening værktøj. Den konkrete screening af hver enkelt punktkilde er ikke gennemgået i nærværende analyse af Skjern Å-oplandet, da det antages at være en velkendt procedure for Miljøstyrelsen.



Figur 9.6: V2 kortlagte jordforureningskilder i Skjern Å-området sammenstillet med Index Q95/Q50 pr. ID15-område. Hvide cirkler er data fra Region Midtjyllands jordforureningsdatabase, mens de sorte cirkler er data fra Region Syddanmarks jordforureningsdatabase.

Trin 5 Potentiel hydraulisk kontakt og stofudbredelse i grundvandsforekomst

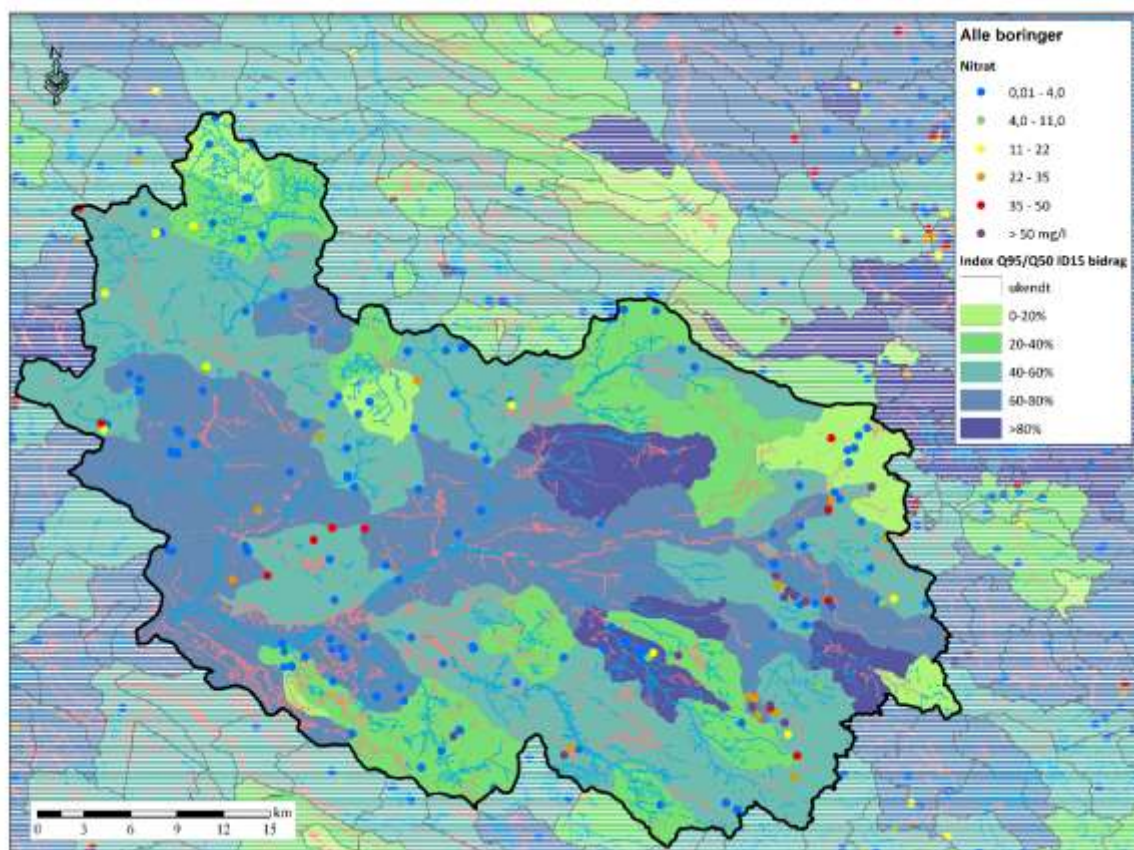
For oplandet til Skjern Å er beregnet den potentielle hydrauliske kontakt (PHK) i 500x500m pixler med DK-modellen (Figur 9.67). De steder, hvor modellen beregner opadrettede hydrauliske gradient forhold, er disse vist med grønne pixler. Desuden er Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering GeoDanmark vandløbstema vist med potentiel kontakt (røde) eller ingen potentiel kontakt (blå) til grundvandsforekomsterne. Endelig er de vandløb, der er medtaget i DK-modellen (grå) som ikke omfatter grøfter og drækanaler i de øvre dele af vandløbsoplandet vist.



Figur 9.7: Den potentielle hydrauliske kontakt (PHK) er vist inden for Skjern Å-området i 500x500m pixler, hvor opadrettet gradientforhold er vist med grønne pixler. De vandløbsstrækninger, hvor der er både opadrettede gradient forhold og potentiel god kontakt ud fra <3m afstandskravet, er det overvejende sandsynligt, at vandløbet modtager grundvand fra den underliggende grundvandsforekomst.

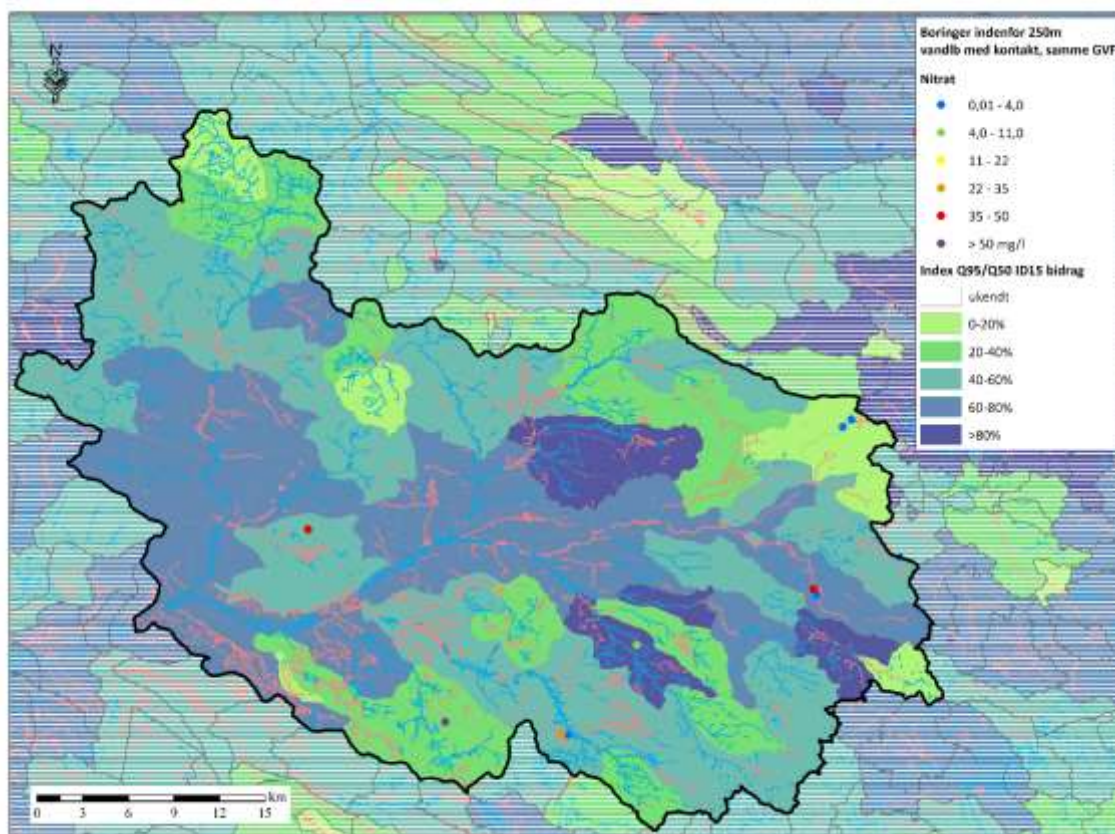
For oplandet er der gennemført en screening i forhold til nikkel, zink, cadmium, bentazon, DEHP og nitrat i borerer indenfor 250m og 500m bufferzonerne til vandløbet. Disse stoffer gik videre fra trin 1 og 2 analysen.

I første omgang er alle indtag vist i figur 9.8, hvor målt nitrat er plottet sammen med Q95/Q50 indekskortet. Kortet viser indtil flere ID15-oplande med høj andel af grundvandsbidrag, og i flere af disse oplande eller på grænsen til disse oplande finder vi indtag med nitratmålinger over 35 mg/L. I 5-6 ID15-oplande er der målt mere end 50 mg/L.

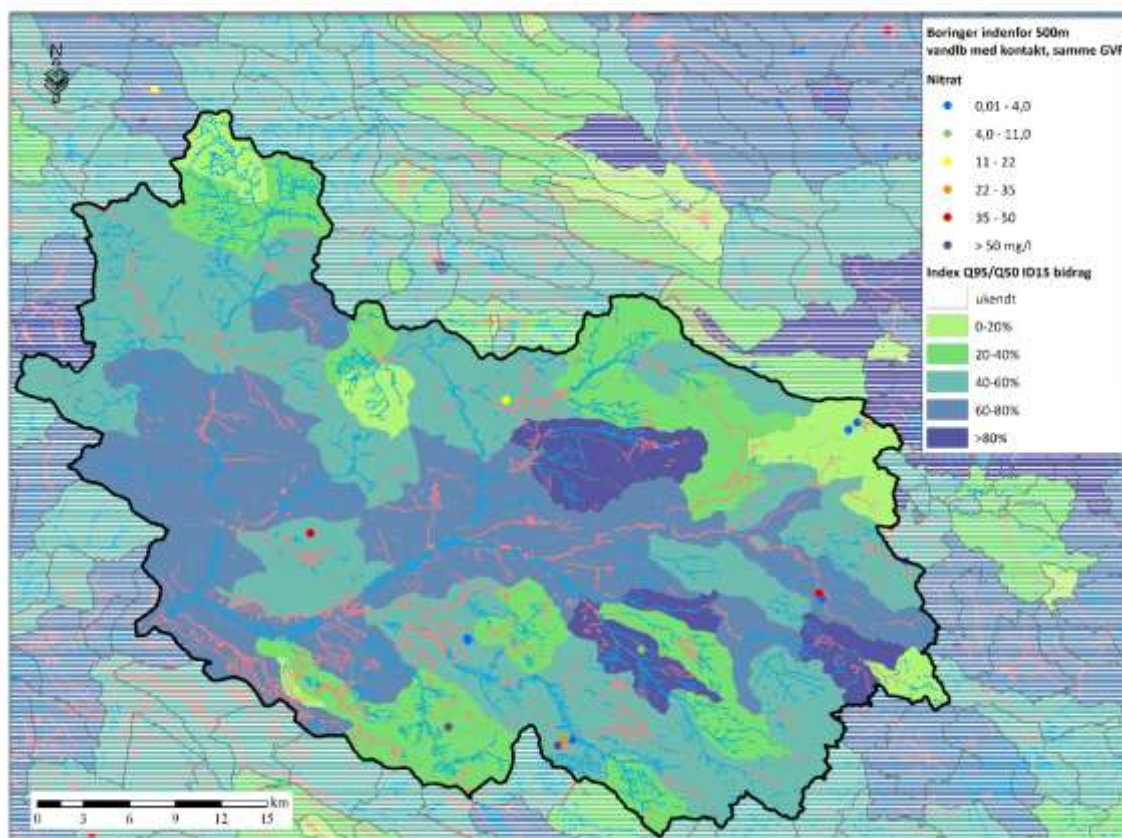


Figur 9.8: Placering af alle indtag hvor der er målt nitrat (mg/L) sammenstillet med index Q95/Q50 pr. ID15-opland. Bemærk at kontakten mellem GVF og vandløbsbund er baseret på PK.

Herefter er der udtyndet i nitratmålingerne, så kun målinger fra indtag i en grundvandsforekomst med kontakt til vandløbet og samtidigt indtag inden for en afstand af hhv. 250m og 500m fra vandløbsstrækninger med kontakt er vist (figur 9.9 og 9.10). Sammenlignes de to figurer, er der ikke den helt store forskel på om der udvælges indtag indenfor 250 eller 500 meter fra vandløb. Vurderet ud fra de ganske få indtag, som samtidigt er analyseret for nitrat og eksisterer indenfor 250m bufferen, tyder det på, at der kunne være en relation til nitratbelastning i grundvandsforekomsten. Vurderet ud fra 500m buffer zonen synes denne sammenhæng mindre åbenlys, da der i 500m bufferen er langt flere indtag med lave nitratkoncentrationer i forhold til indtag med høje koncentrationer.



Figur 9.9: Placering af indtag hvor der er målt efter nitrat, og hvor indtaget er placeret i en afstand på 250m eller mindre til en vandløbsstrækning med potentiel god kontakt, samt hvor indtaget er placeret i en grundvandsforekomst, som har hydraulisk kontakt til et vandløb i ID15-oplandet, sammenstillet med Index Q95/Q50 pr. ID15. Bemærk at kontakten mellem GVF og vandløbsbund er baseret på PK.



Figur 9.10: Placering af indtag hvor der er målt efter nitrat (mg/L), og hvor indtaget er placeret i en afstand på 500m eller mindre til en vandløbsstrækning med potentiel kontakt, samt hvor indtaget er placeret i en grundvandsforekomst, som har hydraulisk kontakt til et vandløb i ID15-oplandet, sammenstillet med Index Q95/Q50 pr. ID15. Bemærk at kontakten mellem GVF og vandløbsbund er baseret på PK.

Kendskabet til nitratinholdet ved baseflow spiller en rolle i forhold til at vurdere, hvorvidt grundvandet bidrager med nitrat. Ud fra baseflowkoncentrationerne kan nitratmængderne fra grundvand skønnes, men det bør dog medtænkes, at grundvandsbidraget i vinterperioden vil kunne være større end om sommeren, afhængig af hvor store bidrag der kommer fra henholdsvis de terrænnære magasiner og de dybere magasiner. I det omfang det forventede grundvandsbidrag er beregnet, kan det sammenholdes med de data, der er til rådighed fra forekomster med potentiel hydraulisk kontakt. Her er det vigtigt at have tilstrækkeligt mange målinger af nitrat fra grundvandet i det iltede miljø for at kunne få en idé om, hvilken fraktion af nitratholdigt vand i forhold til reduceret vand, der er endt i overfladevandet. Hvis denne fraktion er kendt, kan det også beregnes, hvor meget nitratinholdet bør sænkes.

Bilag K1 viser fordelingen af tungmetallerne cadmium, nikkel og zink samt de organiske forbindelser DEHP og bentazon. Alle fund er fra indtag placeret i en grundvandsforekomst med kontakt til vandløbet, hvor indtaget er placeret mindre eller lig med 500 meter fra et vandløb med kontakt. Datatætheden for disse fem stoffer er væsentlig mindre end for nitrat i Skjern Å-oplandet, hvorfor det er valgt at vise fordelingen af målepunkter i både en 250m og en 500m zone. Plottene for de enkelte stoffer har det til fælles, at der kun er ganske få data på trods af

det store opland, og for stofferne nikkel og zink ses der relativt høje koncentrationer inden for et delopland med stort grundvandsbidrag i forhold til total afstrømningen.

9.2.1.1 Opsummering Skjern Å-oplandet

På baggrund af de tilgængelige data af kan det ikke udelukkes, at grundvandet bidrager til forurening af Skjern Å-oplandet med nitrat, nikkel og zink.

9.2.2 Grindsted Engsø-oplandet

Trin 1 – Overskridelser af miljøkvalitetskrav i ferskvand og forekomst af trends

Det fremgår af tabel 9.3, at der i Grindsted Engsø-opland St. 31000376 er fundet stofoverskridelser af det generelle kvalitetskrav og maksimumkoncentration kvalitetskravet for zink, barium, PFOS og cadmium, mens der er fundet 50% overskridelser af det generelle kvalitetskrav for nikkel. Det er ikke muligt at undersøge trends i årsgennemsnit, da der kun er data tilgængelig for 2016 (tabel 9.3). De miljøfarlige stoffer, der går videre til trin 2, er: Nikkel, zink, barium, PFOS og cadmium.

Tabel 9.3: Tabellen viser overskridelser af det generelle miljøkvalitetskrav og maksimumkoncentration kvalitetskravet for ferskvand for de miljøfarlige stoffer målt ved vandløbsstationen Grindsted Engsø, St. 31000376. I tabellen er overskridelser af miljøkvalitetskravene samt overskridelser af 50% af det generelle miljøkvalitetskrav undersøgt. Trendkolonnen indikerer, hvorvidt der er en trend i de tilgængelige målte årsgennemsnit over tid. Da der kun er målinger fra et enkelt kalenderår tilgængelig for Grindsted Engsø-opland er det ikke muligt at undersøge trends.

Grindsted Engsø, Tilløb- opland Station 31000376				
Stof	Overskrivelse Generelt MKK	Overskridelse Max konc. MKK	50% af generelt MKK	Trend
Nitrat	MKK ikke fastsat	Ikke målt	MKK ikke fastsat	Ikke mulig
Fosfor	MKK ikke fastsat	Ikke målt	MKK ikke fastsat	Ikke mulig
Nikkel	-	-	+	Ikke mulig
Arsen	ikke målt	ikke målt	ikke målt	Ikke mulig
Barium	+	-	+	Ikke mulig
Kviksølv	-	-	-	Ikke mulig
Kobber	-	-	-	Ikke mulig
Cadmium	+	-	+	Ikke mulig
Zink	+	+	+	Ikke mulig
Bentazon	ikke målt	ikke målt	ikke målt	Ikke mulig
BAM (2,6 dichlorbenzamid)	ikke målt	ikke målt	ikke målt	Ikke mulig
Isoproturon	ikke målt	ikke målt	ikke målt	Ikke mulig
PFOS (perfluoroktansulfonsyre)	+	-	+	Ikke mulig
DEHP	-	MKK ikke fastsat	-	Ikke mulig
Trichloroethylen	ikke målt	ikke målt	ikke målt	Ikke mulig
Vinylchlorid	-	-	-	Ikke mulig

"-" angiver at der ikke er fundet en overskridelse

"+" angiver at der er fundet en overskridelse

"Ikke mulig" angiver at der kun er data fra ét enkelt år tilgængelig

"ikke målt" angiver at stoffet ikke er målt ved stationen

Trin 2 – Kildeopsplitning, overfladepunktkilder og andre kilder

Overfladepunktkilder og en kildeopsplitning for Grindsted Å-opland fremgår af tabel 9.4. Der er beregnet stoftransport ud fra lineær interpolation for det seneste år med tilgængelig data for de miljøfarlige stoffer, der gik videre fra trin 1. Den daglige vandføring brugt til beregning af stoftransport er udtrukket fra DK-modellen. Den atmosfæriske deposition til overfladevand i oplandet er beregnet ud fra overfladevandsarealet (søer og vandløb) inden for oplandet ganget med den årlige deposition af de enkelte stoffer opgivet i NOVANA rapporten over atmosfærisk deposition (Ellermann med flere 2018). "Fra renseanlæg i oplandet" angiver mængden

af de enkelte stoffer der er udledt inden for oplandet. Der var i 2016 ikke anlagt nogle renseanlæg i Grindsted oplandet (tabel 9.4). Kolonnen "Fra andre kilder" i tabel 9.4B angiver stoftransporten fratrasket den atmosfæriske deposition til overfladevand og er hermed et bud på, hvad der potentielt kan komme fra grundvandsforekomster.

Placeringen af de forskellige overfladepunktkilder i Grindsted Å-opland fremgår af figur 9.11. Tabel 9.4A viser, at der ikke var nogle aktive renseanlæg i Grindsted Å-opland i år 2016. Dog ses det, at der er to industrier og tre dambrug samt en del spredt bebyggelse og regnvandsbetingede udledninger (tabel 9.4A) i oplandet. Det er pt. kun muligt at beregne udledninger af miljøfarlige stoffer fra renseanlæggene i oplandet. Mængderne angivet i rækken "fra andre kilder" kan potentielt skyldes forurening fra grundvandsforekomster i oplandet. Som resultat af kildeopsplitningen går stofferne nikkel, zink, barium, PFOS og cadmium videre til trin 3, da mellem 99 og 100% af stofbelastningen kommer fra andre kilder og dermed potentielt kan stamme fra udsivning fra grundvandsforekomster i oplandet (tabel 9.4B).

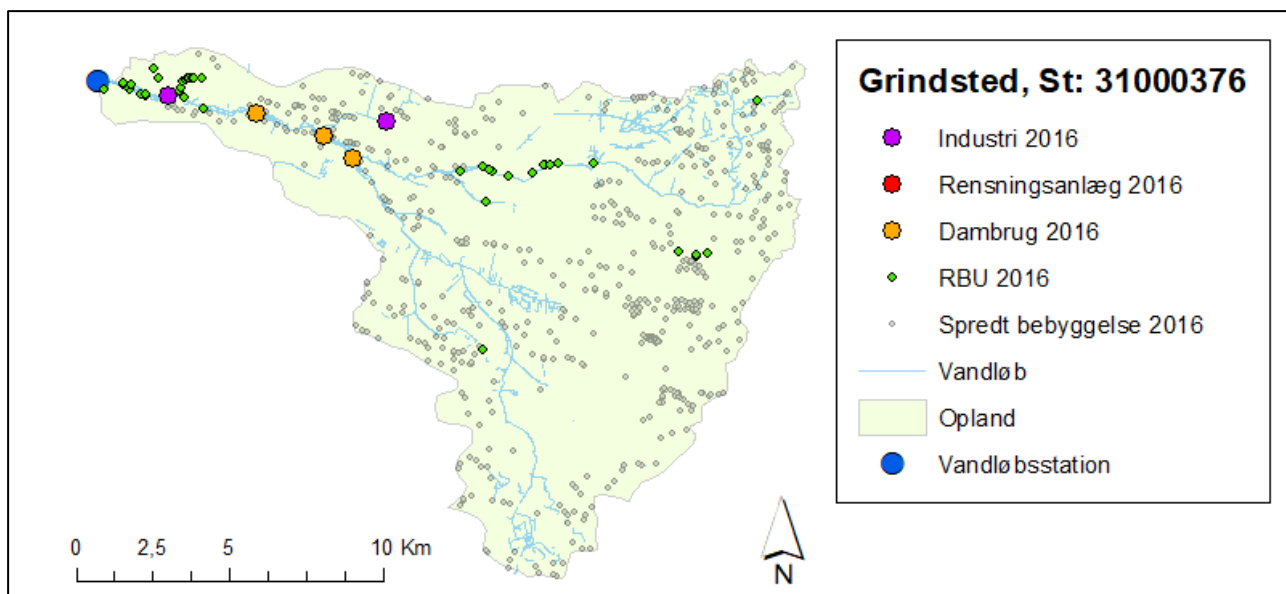
Tabel 9.4: (A) Angivelse af antallet af de fem forskellige typer overfladepunktkilder i Skjern Å-oplandet. Dvs. antal renseanlæg med udledning, ejendomme i spredt bebyggelse, ferskvandsdambrug, industrier og regnvandsbetingede udløb. Data stammer fra PULS databasen. (B) Kildeopsplitning af overfladekilder for Grindsted Å-opland.

A)

Antallet af overfladepunktkilder i Grindsted Å-opland år 2016				
Rensningsanlæg	Industri	Dambrug	Spredt bebyggelse	Regnvandsbetingede udledninger
0	2	3	586	44

B)

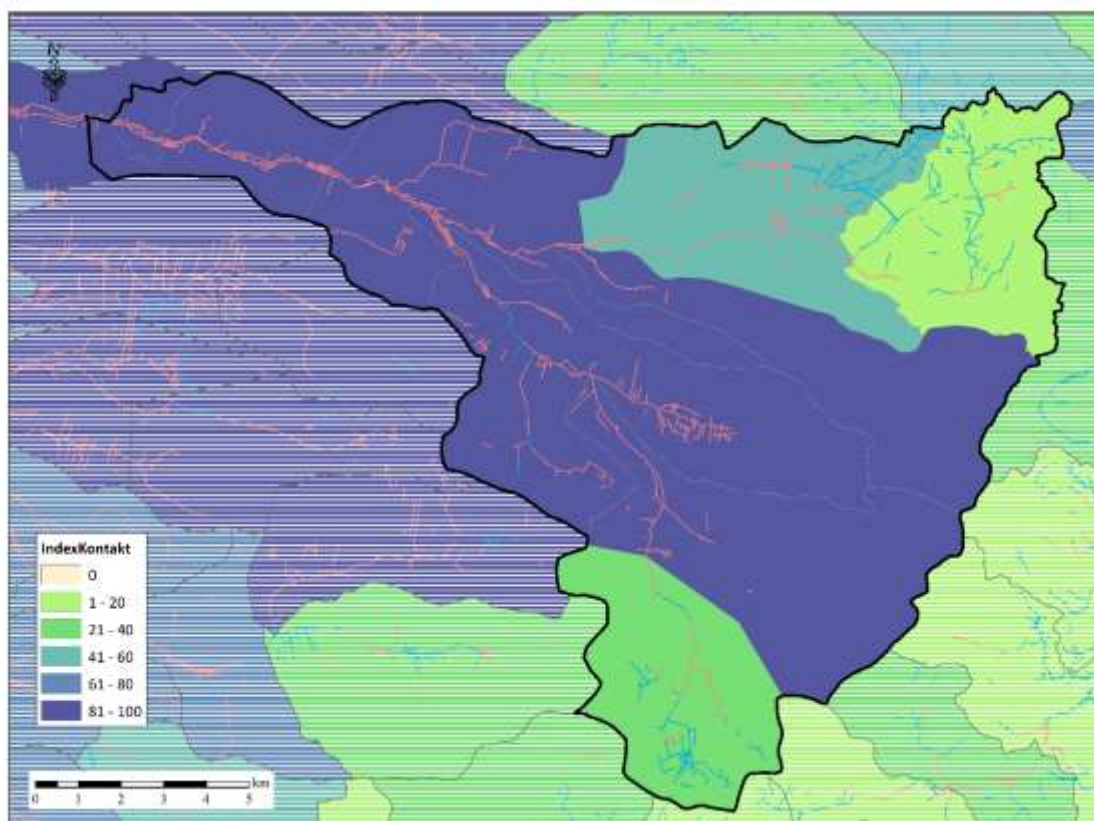
	Forurenende stoffer				
	PFOS	Nikkel	Zink	Cadmium	Barium
År	2016	2016	2016	2016	2016
Stof transport (kg/år)	0,2	337	2482	9,8	7012
Atmosfærisk deposition til overfladevand (kg/år)	-	0,1	9,1	0	-
Fra renseanlæg i oplandet (kg/år)	0	0	0	0	0
Fra andre kilder (kg/år)	0,2	336,9	2472,9	9,8	7012
Fra andre kilder (%)	97	98	96	98	



Figur 9.11: Placeringen af de forskellige overfladepunktkilder i Grindsted Å-opland år 2016. RBU: regnvandsbetinget udløb.

Trin 3 – Analyse af kontakt mellem GVF og overfladevand og grundvandsindeks

For alle ID15-oplande inden for oplandet til Grindsted Å-stationen er der udregnet den procentvise fordeling af vandløbsstrækninger (længde) med potentielle kontakt (PK) i forhold til den totale vandløbslængde. I de mørkeblå ID15-oplande har stort set alle vandløbsstrækninger har potentiel kontakt (røde vandløbsstrækninger) til en grundvandsforekomst. Grindsted Å-oplandet har overvægt af deloplande med vandløbsstrækninger der har potentiel kontakt til en grundvandsforekomst, og det er således relevant at gå videre med analysen af kemidata (fig. 9.12).



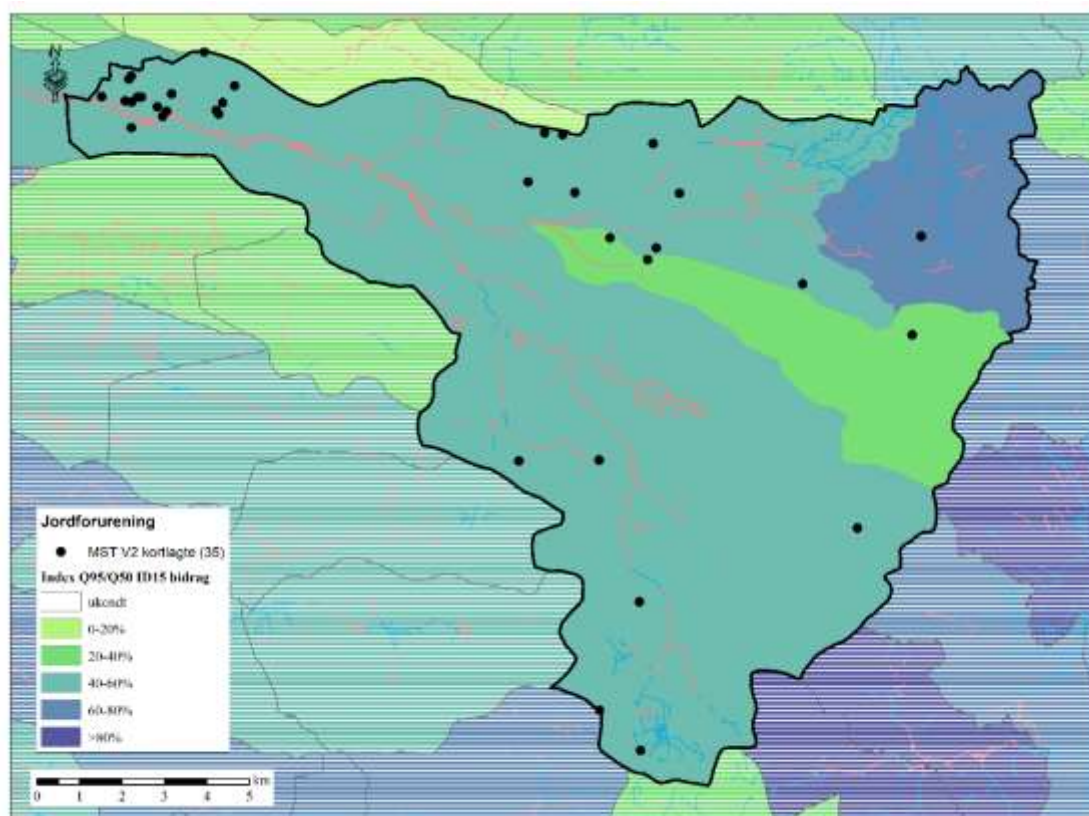
Figur 9.12: Index over kontakten mellem FOT vandløb og grundvandsforekomster. FOT vandløb vist med to farver: rød for strækninger med potentiel kontakt til grundvandsforekomst og blå for strækninger med potentiel ringe kontakt til grundvandsforekomster.

For oplandet til Grindsted Å-stationen er der udarbejdet et indekskort over Q95/Q50, hvor både Q50 og Q95 er udregnet som de ID15 specifikke størrelser. Data til beregningen er hentet fra modelkørsler med DK-modellen via vandweb:

(<http://data.geus.dk/geusmap/?lang=da&mapname=hydrovandweb>).

Trin 4 - Analyse af placering og udledninger fra underjordiske punktkilder

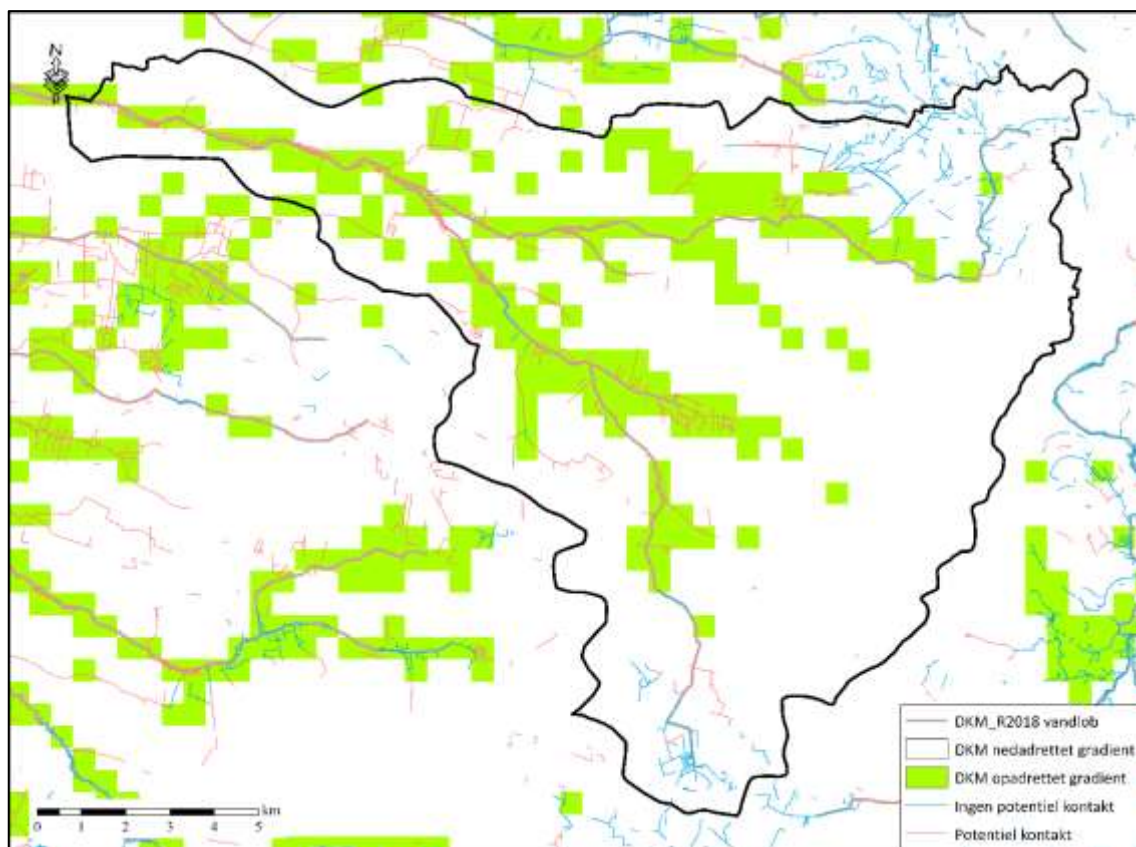
Jordforureningskilder (V2 kortlagte) i Grindsted Å-oplandet til Engsøen er vist i Figur 9.13. Alle punktkilde data stammer fra Region Syddanmarks jordforureningsdatabase. Bemærk at hovedparten af punktkilderne er beliggende i 500m bufferzonen til vandløb med god kontakt til grundvandsforekomster. Med Regionernes allerede udførte risikoanalyse skal det afklares hvorvidt nogen af disse punktkilder potentielt kan overskride miljøkvalitetskravet i Grindsted Å for det pågældende stof.



Figur 9.13: V2 kortlagte jordforureningskilder i Grindsted Å-oplandet sammenstillet med Index Q95/Q50 pr. ID15-opland. De sorte cirkler er data fra Region Syddanmarks jordforureningsdatabase.

Trin 5 Potentiel hydraulisk kontakt og stofforekomst i GVF

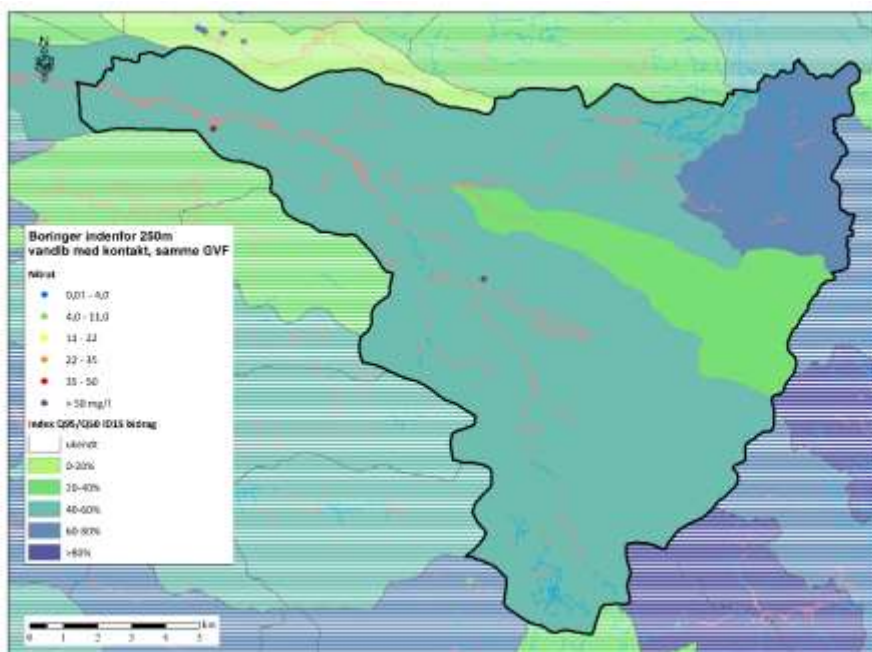
For oplandet til Grindsted Engsø oplandet er beregnet de hydrauliske gradient forhold i 500x500m pixler med DK-modellen. I figur 9.14 er vist FOT/GeoDanmark vandløb med potentiel hydraulisk kontakt (røde) eller ingen potentiel hydraulisk kontakt (blå) til grundvandsforekomsterne. Desuden er vist de vandløb der er medtaget i DK-modellen (grå) som ikke omfatter de grøfter og drækanaler i de øvre dele af vandløbsoplandet. Opadrettede gradient forhold er vist med grønne pixler. De vandløbsstrækninger der har opadrettede gradientforhold og samtidig har potentiel kontakt til grundvandsforekomsten efter afstandskravet (mindre end 3m) er det overvejende sandsynligt at vandløbet modtager grundvand. Af figur 9.14 fremgår det at hovedparten af vandløbssystemet i Grindsted Engsø oplandet modtager grundvand fra en af de to grundvandsforekomster DK_1_456_8 og/eller DK_1_456_226.



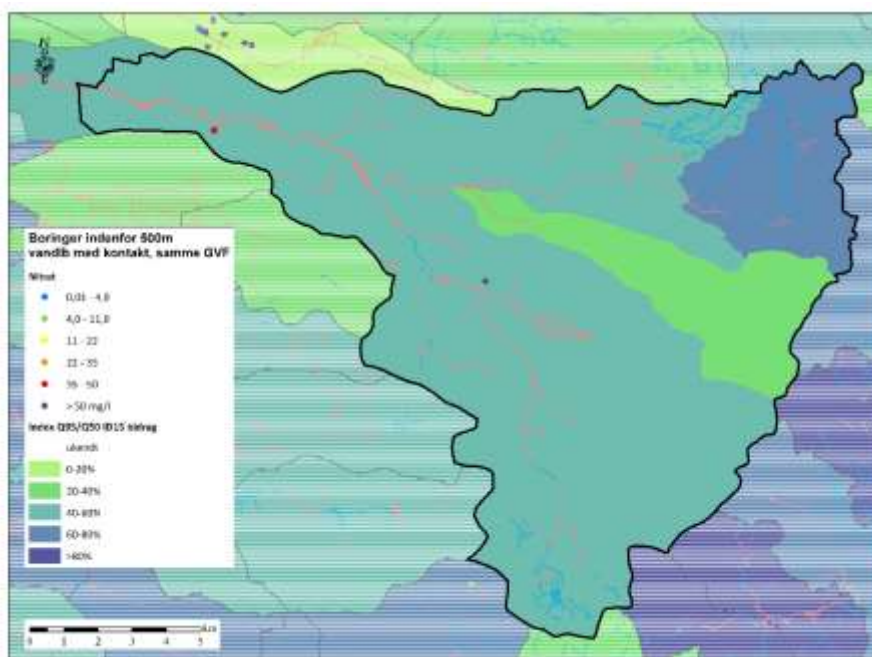
Figur 9.14: De hydrauliske gradient forhold er vist inden for Grindsted Eng sø oplandet i 500x500m pixler, hvor opadrettet gradientforhold er vist med grønne pixler. De vandløbsstrækninger hvor der er både er opadrettede gradient forhold og potentiel god kontakt ud fra <3m afstandskravet er det overvejende sandsynligt at vandløbet modtager grundvand fra den underliggende grundvandsforekomst.

For dette opland er der gennemført en screening i forhold til nikkel, zink, cadmium, barium og kobber.

Alle grundvandsindtag med nitratmålinger er plottet med Q95/Q50 indeksskottet og vist for hhv. 250m og 500m buffer zoner (Figur 9.15 og Fig. 9.16). Kortet viser indtil flere ID15-oplande med høj andel af grundvandsbidrag, og i flere af disse oplande eller på grænsen til disse oplande finder vi indtag med nitratmålinger som overskrider 35 mg/L. Der er et par oplande med målinger, der overskrider 50 mg/L.



Figur 9.15: Placering af indtag, med målinger af nitrat, der står i en afstand på 250m eller mindre til en vandløbsstrækning med god kontakt, samt hvor indtagene er placeret i en grundvandsforekomst som har kontakt til et vandløb i ID15-oplandet, sammenstillet med Index Q95/Q50 pr. ID15.



Figur 9.16: Placering af indtag, med målinger af nitrat, der står i en afstand på 500m eller mindre til en vandløbsstrækning med god kontakt, samt hvor indtagene er placeret i en grundvandsforekomst som har kontakt til et vandløb i ID15-oplandet, sammenstillet med Index Q95/Q50 pr. ID15.

I bilag K2 er vist kort med placering af indtag i Grindsted Å-oplandet for cadmium, zink, nikkel, kobber, barium og PFOS. Det fremgår at kortene at kun nikkel findes i 500m buffer zonen i oplandet men i koncentrationer fra 4 til over 20 µg/L.

9.2.2.1 Opsummering- Grindsted Å-oplandet

På baggrund af de tilgængelige data fra Grindsted oplandet kan det ikke udelukkes at grundvandet bidrager til forureningen af Grindsted Å med nitrat. Til gengæld er der intet der tyder på at sporstofferne eller metallerne nikkel, zink, cadmium, barium og kobber bidrager signifikant.

9.2.3 Smedbæk oplandet

Trin 1 – Overskridelser af miljøkvalitetskrav i ferskvand og forekomst af trends

Det fremgår af tabel 9.5 at der i Smedbæk St. 40000296 er fundet stofoverskridelser af det generelle kvalitetskrav og maksimumkoncentration kvalitetskravet for nikkel, zink, barium, PFOS og cadmium. Det er ikke muligt at undersøge trends i årsgennemsnit, da der kun er data tilgængelig for år 2012 (tabel 9.5). De miljøfarlige stoffer, der går videre til trin 2, er: Nikkel, zink, barium, PFOS, kobber og cadmium.

Tabel 9.5: Tabellen viser overskridelser af det generelle miljøkvalitetskrav og maksimumkoncentration kvalitetskravet for ferskvand for miljøfarlige stoffer målt ved vandløbsstationen Smedbæk, St. 40000296. I tabellen er overskridelser af miljøkvalitetskravene samt overskridelser af 50% af det generelle miljøkvalitetskrav undersøgt. Trendkolonnen indikerer, hvorvidt der er en trend i de tilgængelige målte årsgennemsnit over tid. Da der kun er målinger fra et enkelt kalenderår tilgængelig for Smedbæk opland, er det ikke muligt at undersøge trends.

Smedbæk St. 40000296				
Stof	Overskrivelse Generelt MKK	Overskridelse Max konc. MKK	50% af generelt MKK	Trend
Nitrat	MKK ikke fastsat	Ikke målt	MKK ikke fastsat	ikke mulig
Fosfor	MKK ikke fastsat	ikke målt	MKK ikke fastsat	ikke mulig
Nikkel	+	-	+	ikke mulig
Arsen	ikke målt	ikke målt	ikke målt	ikke mulig
Barium	+	-	+	ikke mulig
Kviksølv	ikke målt	ikke målt	ikke målt	ikke mulig
Kobber	-	-	+	ikke mulig
Cadmium	+	+	+	ikke mulig
Zink	+	+	+	ikke mulig
Bentazon	-	-	-	ikke mulig
BAM (2,6 dichlorbenzamid)	-	-	-	ikke mulig
Isoproturon	-	-	-	ikke mulig
PFOS (perfluoroktansulfonsyre)	+	-	+	ikke mulig
DEHP	-	MKK ikke fastsat	-	ikke mulig
Trichloroethylen	ikke målt	ikke målt	ikke målt	ikke mulig
Vinylchlorid	ikke målt	ikke målt	ikke målt	ikke mulig

"-" angiver at der ikke er fundet en overskridelse

"+" angiver at der er fundet en overskridelse

"Ikke mulig" angiver at der kun er data fra ét enkelt år tilgængelig

"ikke målt" angiver at stoffet ikke er målt ved stationen

Trin 2 – Kildeopsplitning, overfladepunktkilder og andre kilder

Overfladepunktkilder og en kildeopsplitning for Smedbæk opland fremgår af tabel 9.6. Der er beregnet stoftransport ud fra lineær interpolation for det seneste år med tilgængelig data for de enkelte miljøfarlige stoffer, som gik videre fra trin 1. Den daglige vandføring brugt til beregning af stoftransport er udtrukket fra DK-modellen. Den atmosfæriske deposition til overfladevand i oplandet er beregnet ud fra overfladevandsarealet (søer og vandløb) inden for oplandet ganget med den årlige deposition af de enkelte stoffer opgivet i NOVANA rapporten over atmosfærisk deposition (Ellermann med flere 2018). "Fra renseanlæg i oplandet" angiver mængden af de enkelte stoffer, der er udledt inden for oplandet. Der var ingen renseanlæg i Smed-

bæk oplandet i 2012 (tabel 9.6A). Kolonnen "Fra andre kilder" i tabel 11.6B angiver stoftransporten fratrasket den atmosfæriske deposition til overfladevand og er hermed et bud på, hvad der potentielt kan stamme fra grundvandsforekomster.

Placeringen af de forskellige overfladepunktkilder i Smedbæk opland fremgår af figur 9.17. Tabel 9.6A viser, at spredt bebyggelse udgjorde de eneste overfladepunktkilder i Smedbæk opland i år 2012. De mængder af miljøfarlige stoffer, der er angivet som "fra andre kilder" kan derfor potentielt skyldes forurening fra grundvandsforekomster. På baggrund af kildeopsplitningen går stofferne nikkel, zink, barium, kobber og cadmium videre til trin 3, da mellem 99 og 100% af stofbelastningen kommer fra andre kilder og derved potentielt kan stamme fra udsivning fra grundvandsforekomster i oplandet (tabel 9.6B).

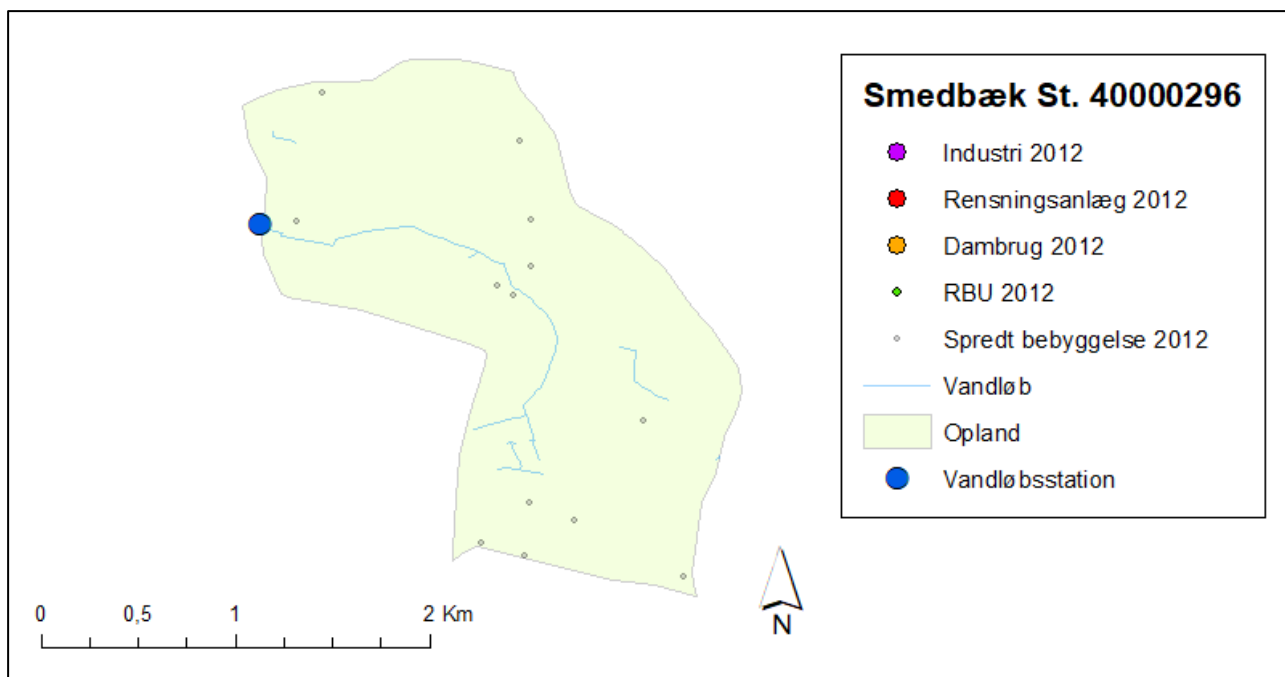
Tabel 9.6: (A) Angivelse af antallet af de fem forskellige typer overfladepunktkilder i Skjern Å-oplandet. Dvs. antal renseanlæg med udledning, ejendomme i spredt bebyggelse, ferskvandsdambrug, industrier og regnvandsbetingede udløb. Data stammer fra PULS databasen. (B) Kildeopsplitning af overfladekilder for Smedbæk opland.

A)

Antallet af overfladepunktkilder i Smedbæk opland år 2012				
Rensningsanlæg	Industri	Dambrug	Spredt bebyggelse	Regnvandsbetingede udledninger
0	0	0	13	0

B)

	Forurenende stoffer					
	PFOS	Nikkel	Zink	Cadmium	Barium	Kobber
År	2012	2012	2012	2012	2012	2012
Stof transport (kg/år)	0,0002	7,7	13,3	0,3	37,5	1,9
Atmosfærisk deposition til overfladevand (kg/år)	-	0,0	0,1	0,0	-	0,0
Fra renseanlæg i oplandet (kg/år)	0	0	0	0	0	0
Fra andre kilder (kg/år)	0,0002	7,7	13,2	0,3	37,5	1,9

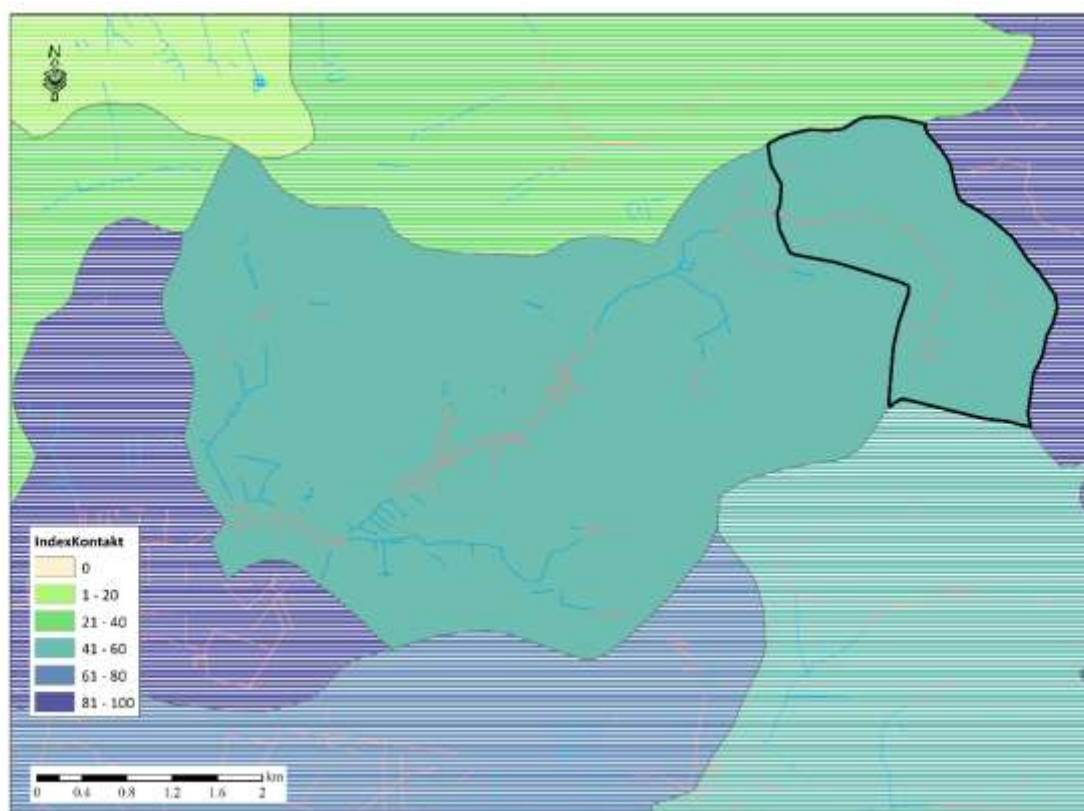


Figur 9.17: Placeringen af de forskellige overfladepunktkilder i Smedbæk opland år 2012. RBU: regnvandsbetingede udløb.

Trin 3 – Analyse af kontakt mellem GVF og overfladevand og grundvandsindeks

For alle ID15-oplande inden for oplandet til Smedbæk-stationen er den procentvise fordeling af vandløbsstrækninger (længde) med potentiel kontakt i forhold til den totale vandløbslængde udregnet. I de mørkeblå ID15-oplande har stort set alle vandløbsstrækninger potentiel kontakt (røde vandløbsstrækninger) til en grundvandsforekomst. Smedbæk oplandet har flere vandløbsstrækninger med potentiel kontakt til en grundvandsforekomst, og det er således relevant at gå videre med analysen af kemidata (Figur 9.18).

Plotning af kemidata - i første omgang alle data uanset afstand til vandløbsstrækninger med kontakt - viser, at der ikke er grundvandsindtag med målinger inden for oplandet.

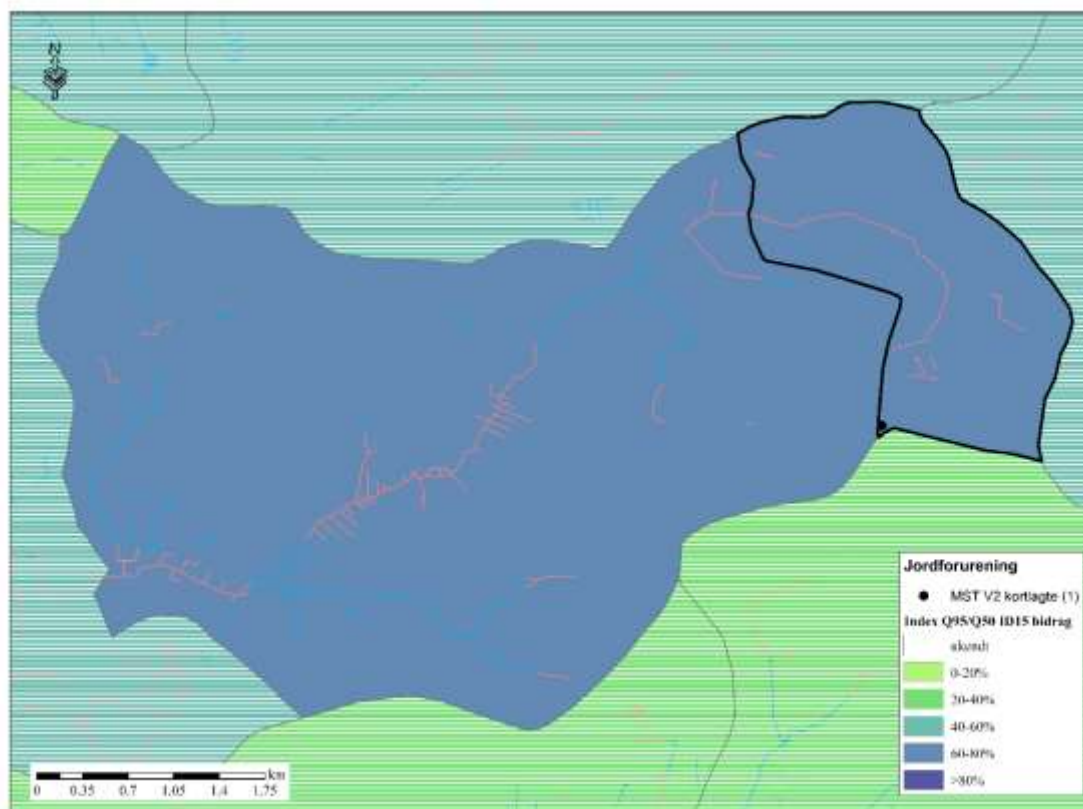


Figur 9.18: Index over kontakten mellem FOT vandløb og grundvandsforekomster. FOT vandløb vist med to farver: rød for strækninger med potentiel kontakt til grundvandsforekomst og blå for strækninger med potentiel ringe kontakt til grundvandsforekomsten. Bemærk at de potentielle kontakt for vandløbene udelukkende er vurderet ud fra 3m kravet.

For oplandet til Smedbæk oplandets station er der udarbejdet et indeksskort over Q95/Q50 hvor både Q50 og Q95 er udregnet som de ID15 specifikke størrelser. Data til beregningen er hentet fra modelkørsler med DK-modellen via vandweb (<http://data.geus.dk/geusmap/?lang=da&mapname=hydrovandweb>).

Trin 4 - Analyse af placering og udledninger fra underjordiske punktkilder

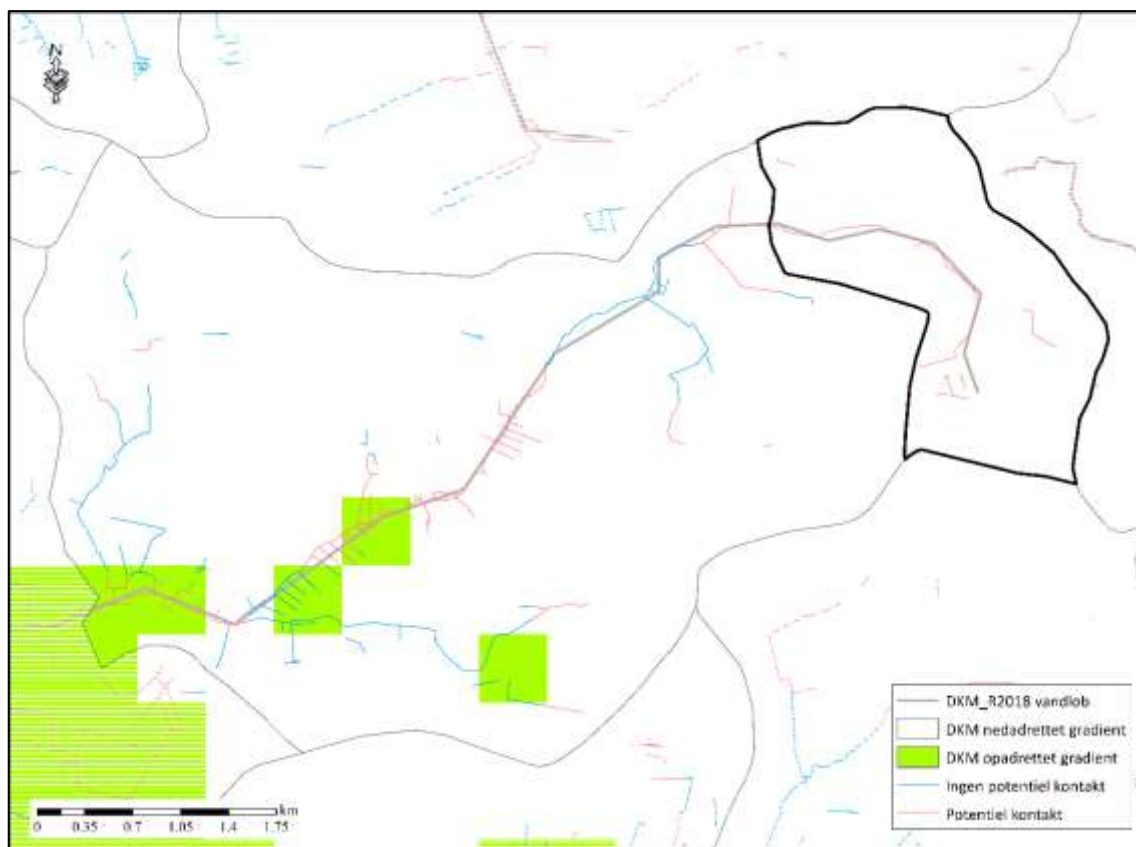
Figur 9.19 viser, at der findes en V2 kortlagt jordforureningspunktkilde i sydvestligste hjørne af Smedbæk oplandet. Denne punktkilde ligger indenfor 500m bufferzonen og skal vurderes med Regionernes risikoanalyse for at vurdere, om denne kan være årsag til en potentiel overskridelse af vandløbets miljøkvalitetskrav for det pågældende stof, samt beregning af den årlige stoftransport til vandløbet.



Figur 9.19: V2 kortlagte jordforureningskilder i Smedbæk oplandet sammenstillet med Index Q95/Q50 pr. ID15-opland. Den sorte cirkel viser data fra Region Syddanmarks jordforurenings-database. Bemærk at de potentielle kontakt for vandløbene udelukkende er vurderet ud fra 3m kravet.

Trin 5 – Potentiel hydraulisk kontakt og stofforekomst i grundvandsforekomst

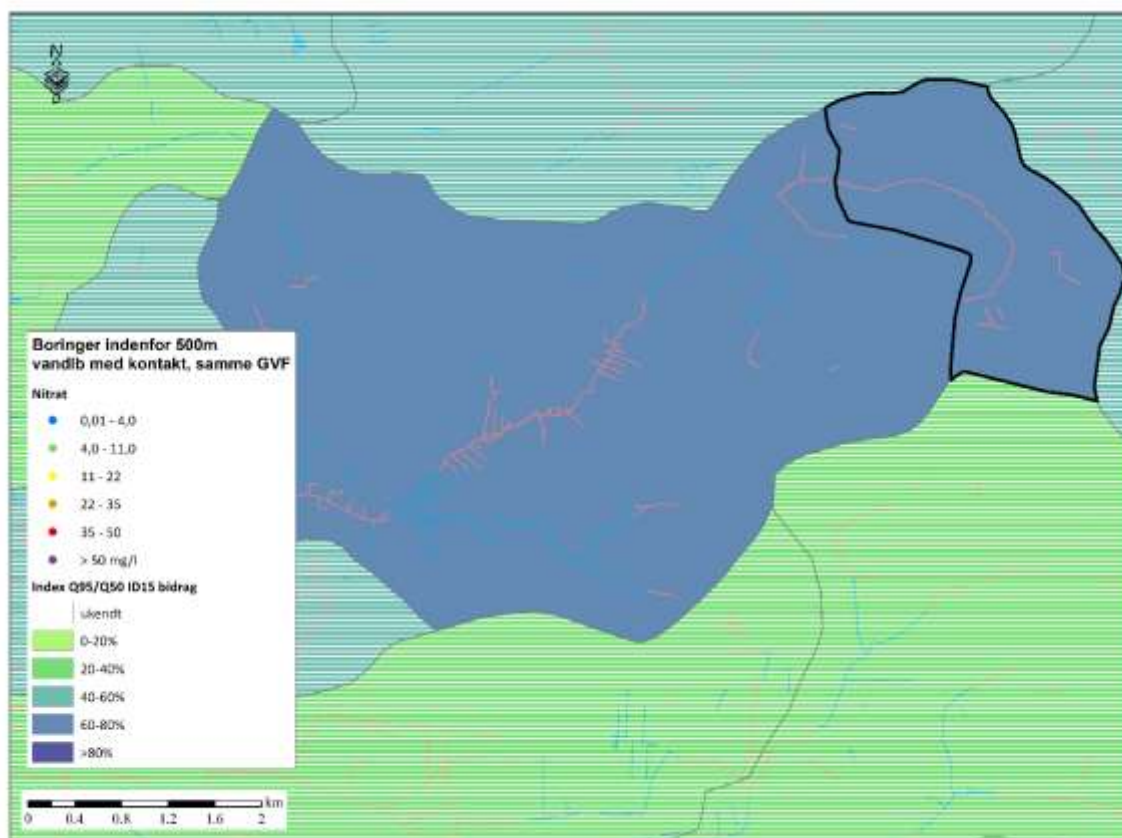
For det ganske lille opland til Smedbæk er de hydrauliske gradient forhold beregnet i 500x500m pixler med DK-modellen. I figur 9.20 er FOT/GeoDanmark vandløb med potentiel hydraulisk kontakt (røde) eller ingen hydraulisk kontakt (blå) til grundvandsforekomsterne vist. Desuden fremgår de vandløb, der er medtaget i DK-modellen (grå) og som ikke omfatter grøfter og drænkanaler i de øvre dele af vandløbsoplandet. Opadrettede gradientforhold er vist med grønne pixler. Vandløbsstrækninger med opadrettede gradientforhold samt potentiel kontakt til grundvandsforekomsten efter afstandskravet (mindre end 3m) modtager overvejende sandsynligt grundvand. Af figur 9.20 fremgår det, at der er ret lille sandsynlighed for at Smedbæk modtager grundvand, da vandløbet i delstrækninger i DK-modellen overholder afstandskravet på under 3m, men ikke har opadrettede gradientforhold.



Figur 9.20: De hydrauliske gradient forhold er vist inden for Smedbæk oplandet i 500x500m pixler, hvor opadrettede gradientforhold er vist med grønne pixler. Vandløbsstrækninger med både opadrettede gradient forhold og potentiel god kontakt ud fra <3m afstandskravet modtager overvejende sandsynligt grundvand fra den underliggende grundvandsforekomst.

For dette opland er der gennemført en screening for stofferne nikkel, zink, cadmium, barium og kobber.

Der er ingen grundvandsindtag indenfor Smedbæk oplandet, men af hensyn til systematikken i metoden er et kort for 500m buffer zonen vist (Figur 9.21), der viser, at der ikke eksisterer nitratmålinger indenfor oplandet til Smedbæk. Der er altså ingen grundvandsdata til rådighed fra grundvandsdatabasen til at vurdere en eventuel påvirkning af Smedbæk fra grundvandet.



Figur 9.21: Der er ingen indtag med nitrattmålinger i en afstand på 500m eller mindre til en vandløbsstrækning med god kontakt i Smedbæk oplandet.

I bilag K3 findes kort med placering af indtag i Smedbæk oplandet for cadmium, zink, nikkel, kobber, barium og PFOS. Det fremgår af kortene, at der ikke er registreret fund af de viste stoffer i Jupiter databasen inden for det ganske lille opland til Smedbæk.

9.2.3.1 Opsummering – Smedbæk oplandet

På baggrund af de tilgængelige data kan det ikke vurderes, om grundvandet bidrager til forurening af Smedbæk oplandet, da der ikke eksisterer vandkemiske data for stofferne nikkel, zink, cadmium, barium og kobber fra boringer indenfor 500m bufferzonen til Smedbæk.

9.3 Opsummering af de tre pilot oplande

Af de overstående analyser i trin 1 og 2 fremgår det, at det generelt er de samme stoffer der overskrider miljøkvalitetskravene og de samme stoffer der på baggrund af kildeopsplitning går videre fra trin 2 til trin 4 på tværs af oplandene (tabel 9.7).

For både Grindsted og Smedbæk er der fundet overskridelser for de miljøfarlige stoffer: Nikkel, barium, cadmium, zink og PFOS. Der er ikke anlagt renseanlæg i de to oplande, og den atmosfæriske deposition udgør ikke en væsentlig del af stofbelastningen for de pågældende stoffer. Stofbelastningen stammer derfor højst sandsynligt fra andre 'diffuse' kilder, herunder grundvandsforekomster. Det skal nævnes, at det i nærværende rapport ikke har været muligt at undersøge udledninger fra de resterende overfladepunktkilder såsom industri og dambrug. Det fremgår af tabel 9.4A, at der i Grindsted-oplandet er lokaliseret to industrier og tre dambrug mens der i Skjern-oplandet er lokaliseret syv industrier og 24 dambrug (tabel 9.2A). Nøgletal fra disse overfladepunktkilder kunne med fordel være benyttet i kildeopsplittingsanalysen.

Desuden kunne data fra overvågning af miljøfarlige stoffer udledt ved de enkelte renseanlæg indenfor de undersøgte oplande med fordel være benyttet, da dette ville give et mere nøjagtigt bud på udledningen fra renseanlæg i det enkelte opland. Data fra overvågningen er dog ikke tilstrækkelig til dette, og det var derfor nødvendigt at benytte nøgletal over udledning fra renseanlæg opgjort af Miljøministeriet.

Vandføringsdata er for både Grindsted og Smedbæk opland udtrukket fra DK-modellen, da der ikke er etableret hydrometri-stationer. Dette øger usikkerheden ved beregningerne af stoftransporten ved de to stationer.

Tabel 9.7: Sammenligning af stoffer der går videre fra trin 1 til trin 2, og fra trin 2 til trin 3 for de tre oplande Skjern, Grindsted og Smedbæk.

	Skjern Å, St. 25000097		Grindsted Å, St. 31000376		Smedbæk, St. 40000296	
Stof:	Trin 1	Trin 2	Trin 1	Trin 2	Trin 1	Trin 2
Nitrat	-	-	ikke målt	ikke målt	ikke målt	ikke målt
Fosfor	-	-	ikke målt	ikke målt	ikke målt	ikke målt
Nikkel	+	+	+	+	+	+
Arsen	-	-	ikke målt	ikke målt	ikke målt	ikke målt
Barium	ikke målt	ikke målt	+	+	+	+
Kviksølv	-	-	-	-	ikke målt	ikke målt
Kobber	-	-	-	-	+	+
Cadmium	+	+	+	+	+	+
Zink	+	+	+	+	+	+
Bentazon	-	-	ikke målt	ikke målt	-	-
BAM (2,6 dichlorbenzamid)	-	-	ikke målt	ikke målt	-	-
Isoproturon	-	-	ikke målt	ikke målt	-	-
PFOS (perfluoroktansulfonsyre)	ikke målt	ikke målt	+	+	+	+
DEHP	+	+	-	-	-	-
Trichloroethylen	-	-	ikke målt	ikke målt	ikke målt	ikke målt
Vinylchlorid	ikke målt	ikke målt	-	-	ikke målt	ikke målt

"-" angiver at stoffet ikke går videre til næste trin i analysen

"+" angiver at stoffer går videre til næste trin i analysen

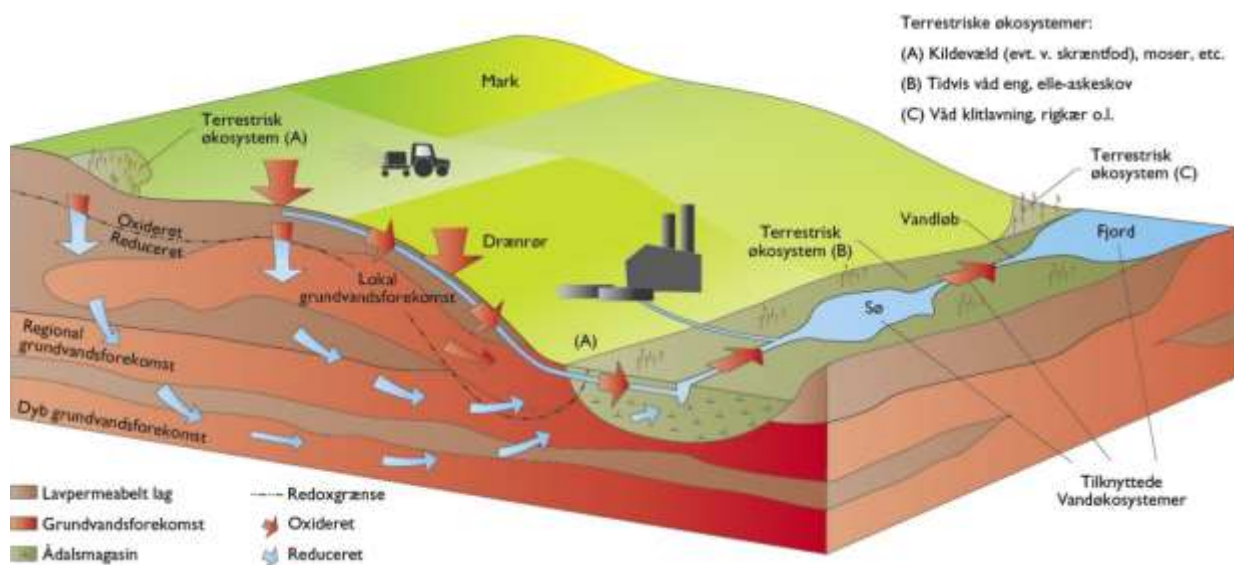
"ikke målt" angiver at stoffet ikke er målt ved stationen

I Trin 3 er den potentielle kontakt mellem grundvandsforekomst og vandløb blevet analyseret og sammenstillet med indeksskort med FOTvandløb og kontakten til grundvandsforekomster med potentiel kontakt til vandløbene. Trin 4 opgørelsen af antallet af potentielle underjordiske punktkildeforureninger (V2 kortlagte arealer) indenfor 500m buffer zonen i alle tre oplande viser, at der er et relativt stort antal i både Skjern Å og Grindsted Å-oplandene, mens Smedbæk oplandet på få km² kun har en enkelt punktkilde, der skal vurderes nærmere. Beregning af påvirkninger af vandløbene baseres på Regionernes risikoanalyse. En nærmere analyse for hver enkelt ID15-opland i trin 5 vil sandsynligvis indikerer god overensstemmelse mellem fund af stoffer i vandløb og god kontakt til grundvandsforekomsten og forekomst af forhøjede stoffekonzentrationer i grundvandsforekomsten i Skjern Å- og Grindsted Å-oplandene, mens der mangler data fra grundvand til at kunne vurdere et eventuelt bidrag af forurening fra grundvandet til vandløbet i Smedbæk oplandet.

10. Stofspecifikke begrænsninger ved metoden

Den foreslåede trinvis metode (afsnit 9.1) har en holistisk tilgang, hvor det dog skal understreges, at der er betydelige begrænsninger i den eksisterende viden om næringsstofferne og langt de fleste miljøfarlige stoffers fordampning, nedbrydning, sorption og biologisk optag i grundvand, vandløb og kystvande. Størst viden eksisterer om skæbne af nitrat fra nedsivning fra rodzonen til grundvandsmagasiner, mens skæbne i overgangszonen mellem grundvand og overfladevand er mindre belyst, og det samme gælder for skæbne under transport i vandløb. Viden om fosfor, tungmetaller og organiske forbindelser skæbne når disse stoffers passerer grundvandszonen frem til udsivning i fjorde via vandløb og søer er yderst begrænset eller slet ikke eksisterende (figur 10.1). Tabel 10.1 viser den modelberegnete skæbne for total kvælstof over en 21 års periode med den nationale kvælstofmodel (Højberg med flere, 2015). Eksemplet viser, at der for kvælstof er et ret detaljeret modelkendskab til stoffets udvaskning, transport og skæbne i grundvand og overfladevand om end der som ovenfor beskrevet stadig er videnshuller.

Tabel 10.2 viser kendskabet til fire stoffers skæbne gennem enkeltdele af det hydrologiske kredsløb fra grundvandszonen til ankomsten i et fjordsystem. I nærværende projekt er der således udelukkende taget højde for fortynding og opblanding.



Figur 10.1: En effektiv indsats og målrettet overvågning forudsætter et grundigt kendskab til vand-og stofudvekslingen mellem grundvandsforekomster, vandløb, søer, fjorde og deres afhængige terrestriske økosystemer (vådområder) samt tilknyttede akvatiske økosystemer (overfladevandområder). Efter Dahl med flere (2007) og Hinsby med flere (2008).

Tabel 10.1: Modelberegnet udvaskning, transport og skæbne af total kvælstof for hele landet som gennemsnit for perioden 1990-2010 med den nationale kvælstofmodel (Højbjerg med flere, 2015).

	Tusinde tons N (Gennemsnit 1990-2010)
Udvaskning	190,4
Grundvands retention	102,2
N fjernelse i "Konceptuelt lag"	24,4
Samlet fjernelse i grundvand + "konceptuelt lag"	119,4
Grundvand til overfladevand	71
Øvrig tilførsel til overfladevand	
Organisk N	10,3
Atmosfære	0,8
Punktkilder (inkl. spredt bebyggelse)	6,5
Samlet tilførsel til overfladevand	88,6
Retention i overfladevand	
Små søer	1,5
Store søer	10,9
Vådområder	0,3
Små vandløb	10,4
Store vandløb	5,4
Samlet retention i overfladevand	22
N-tilførsel med vandløb til kystvand	66,6
Punktkilder (direkte til kystvand)	5
Samlet tilførsel til kystvande	71,6

Tabel 10.2: Kendskab til processer der styrer stoffjernelse eller retention i de enkelte dele af det hydrologiske kredsløb

Stof	Grundvand	Hyphoreisk zone	Vandløb	Sø	Fjord
Kvælstof	++	+	+	+++	++
Fosfor	+	-	+	++	++
Nikkel	-	-	-	-	-
PFOS	-	-	-	-	-

Når grundvand strømmer til vandløbene vil der dels være et bidrag fra det iltede grundvand og dels fra det reducerede. På den måde er grundvandsbidraget for alle redoxfølsomme stoffer en linearkombination mellem de koncentrationer, der er i den iltede zone, og de koncentrationer der er i det reducerede grundvand, med en fordeling der afhænger af vandmængder fra hvert redoxmiljø. Ud over nitrat er det stoffer som fosfor, arsen mm., mens nikkel og mange miljøfremmede stoffer, herunder pesticider, i mindre grad er følsomme over for redoxforholdene, hvorfor der for disse stoffer i højere grad kan korreleres mellem grundvandskoncentrationerne og overfladevandskoncentrationerne.

Når der er konstateret høje nitratindehold i grundvandet er der stor risiko for, at dette vil påvirke tilknyttet overfladevand. Hvor meget nitrat der ender i overfladevandet, afhænger i høj grad af hvordan tilstrømningen sker. Hvis der er fri udstrømning til overfladevand via kildevæld eller udsivning gennem overvejende uorganiske lag som sandet vandløbsbund eller brinker, vil der kun ske en meget begrænset reduktion af grundvandet nitratindehold. Hvis omvendt udsivningen sker i sumpede områder, hvor der er et stort organiske indhold i jorden, vil store andele af nitraten fra grundvandet blive omsat. Denne problemstilling håndteres ikke ved flere grundvandsmålinger, men ved bedre kendskab til de fysiske forhold dér hvor grundvandet har kontakt til grundvandet.

10.1 Opsummering

Der er et generelt behov for mere viden omkring skæbnen af stoffer i ferske vande i stil med det vidensniveau, der i dag foreligger for nitrat.

11. Anbefalinger og forslag til forbedring af måleprogrammer - Videreudvikling af den trinvis metode

11.1 Data tilgængelighed

- Det anbefales, at alle vandføringsdata samles i en offentlig tilgængelig database. De nationale vandføringsdata omfatter i dag kun data i HYMER og ODA databaserne, mens kommunale data og vandselskabernes data mangler. Det anbefales, at såvel eksisterende data som fremtidige data er omfattet og skal indsamles. Dette vil ikke alene forbedre datagrundlaget for denne opgave, men være til gavn for alle aktører, der har brug for viden om vandføringer og vandbalancedata.
- Det anbefales i særlig grad, at der i NOVANA vandløb måles vandføring samme sted som prøveudtagning til analyse af næringsstoffer og andre kemiske bestanddele. Hermed øges mulighederne for at lave kvantitative vurderinger af stoftransporten, idet usikkerheden mindskes væsentligt ved beregning af den samlede stofs specifikke årlige stoftransport.
- Det anbefales, at måleprogrammerne på grundvand, vandløb og kystvande gennemgås med henblik på muligheder for mere tværgående analyser som fx i denne rapport af miljøpåvirkninger, idet det nuværende program kun i mindre grad er tilstrækkeligt sammenhængende og dækkende til, at der kan laves tværgående kvalitative og kvantitative risikovurderinger om grundvandets påvirkning af overfladevand:
 - Rent geografisk er der en utilstrækkelig hydrologisk sammenhæng mellem målepunkterne i de forskellige matricer.
 - Der analyseres ikke for de samme stoffer og med samme detektionsgrænser i alle matricer
 - Der anvendes ikke samme filtreringspraksis, da suspenderet stof spiller en stor rolle for stoftransporten i vandløb, mens kun opløste stoffer er relevante i grundvand.
 - Der er stor variation i datatætheden geografisk og i tid
 - Der måles i forskellige matricer, eksempelvis måles metaller i vandfasen i grundvand og vandløb og i sediment og biota i kystvande.
- Det anbefales, at overvågningsprogrammet for grundvand får flere målepunkter i terrænnære borer i den vandløbsnære og kystnære zone med henblik på bedre vurdering af den kemiske kontakt mellem grundvand og vandløb samt grundvand og kystvande.

11.2 Modelleringsbehov

- Det anbefales, at der arbejdes videre med at få indarbejdet udstrømningen fra grundvandsforekomster til kystzonen i den nationale numeriske model (DK-modellen). I dag

er DK-modellens resultater begrænset af, at grundvandsforekomsterne kun er udpeget til strandkanten, og de har sandsynligvis flere steder udstrækning ud under havbunden.

- Det anbefales, at der fastsættes tærskelværdier for næringsstoffer og miljøfarlige stoffer i grundvandsforekomster, hvis analyserne viser, at grundvandsforekomsterne belaster vandløb og kystvande i så høj grad, at miljøkvalitetskriterier overskrides.
- Det foreslås, at der udvikles lokale hydrologiske modeller for de fjorde, hvor den kemiske overvågning viser overskridelser af miljøkvalitetskravene. Der er ingen forventning om, at der kan udvikles en model på landsplan, der kan håndtere bidraget fra grundvandsforekomsterne til samtlige 90 fjorde samtidigt.

11.3 Vidensbehov

- I det marine måleprogram måles kemi kun på sediment og biota og kun helt ekstraordinært i vandfase, fordi det vurderes, at det er den bedste måde at overvåge miljøbelastningen af kystvandene. Det har imidlertid den ulempe, at det ikke muligt at lave en absolut sammenligning i stofkoncentrationer på tværs af de tre måleprogrammer i dag. Det anbefales fremadrettet, at der udvikles metoder, som kan anvendes i modelområder med kendt grundvandsudstrømning, så der kan benyttes en transferfunktion for den samlede belastning til havs og inputkoncentrationer/mængder af stof.
- Det anbefales at etablere et tilslutningsprojekt til forbedring af oplysninger om nøgletal fra punktkilder, idet der mangler bedre nøgletal for udledninger fra renseanlæg og øvrige typer af punktkilder end de, der er anvendt i nærværende projekt. Miljøstyrelsen bør samle nøgletallene i en fællesdatabase med offentlig adgang.
- Det anbefales, at der skabes større viden fra feltstudier og oplandsstudier af ådalshydrogeologien og de biogeokemiske stofomsætninger i overgangszonen mellem land og vand, da den er stærkt mangelfuld i Danmark. Viden om den geologiske opbygning i de øverste 5-10 m, karakterisering af stærkt skiftende redoxforhold, samt grundvandets strømningsveje i denne overgangszone vil med fordel kunne styrkes, så kvantificeringen af grundvandsbidraget til vandløb og kystvande kan forbedres betydeligt. Samtidig kan vurderinger af de årlige stoffjernelser af nitrat, fosfor og tungmetaller i netop denne zone forbedres.
- Den naturlige forekomst af næringsstoffer og miljøfarlige stoffer i undergrunden er i dette projekt præsenteret med udgangspunkt i potentielle stofs specifikke geologiske miljøer. Det vurderes, at denne inddeling kan forbedres ved at igangsætte et udviklingsprojekt specifikt møntet på dette emne.
- Der er mangel på danske feltundersøgelser, der vurderer grundvandsudstrømning til kystzonen ved direkte målinger. Eksempelvis antyder et nyt EU finansieret projekt "Seamound", at 10-15% vandbalancen kan forklares med udsivning af grundvand til kystzonen.

11.4 Videreudvikling af den foreslåede trinvis metode

- Dette projekt bekræfter nødvendigheden af at sammentænke de tre delprogrammer for grundvand, vandløb og kystvande i langt højere grad. Testen af metodens trin 1 til 3 på de tre pilot-vandløbsoplande indikerer, at metoden som udgangspunkt kan bruges til det kommende arbejde med Vandområdeplan 3. Metoden er dog begrænset af tilgængeligheden af nøgletal på udvalgte overjordiske kilder. Desuden er det blevet klart i løbet af dette projekt, at den kvantitative vurdering af stofbalancen i vandløb mange steder vil være mangelfuld, da data for vandføringsmålinger og kemiske analyser fra samme geografiske sted ofte ikke eksisterer.
- Metodens trin 4 (underjordiske punktkilder) bør forud for Vandområdeplan 3 arbejdet testes af øvede personer i Miljøstyrelsens screeningsværktøj på et af de tre pilot-vandløbsoplande.
- Forekomsten af specifikke stoffer i JUPITER databasen er indsamlet i bufferzoner på 250m og 500m fra vandløb. En kvantitativ vurdering af stoftransporten fra grundvandsforekomsten til vandløbet har dog ikke været mulig inden for projektets rammer, da viden om stoffernes skæbne (sorption, nedbrydning) er mangelfuld. Metodens trin 5 har derfor ikke kunne testes fuldt ud i nærværende projekt.
- Den foreslåede metode er ikke testet på kontakten mellem grundvand og kystvande. Den opnåede viden i forbindelse med dette projekt har gjort det klart, at både den kvantitative kontakt og kemiske kontakt mellem grundvand og kystvande er så mangelfuldt belyst, at dette ikke lader sig gøre på det foreliggende data- og vidensgrundlag.

12. Referencer

- Andersen, M., Baron, L., Gudbjerg, J., Gregersen, J., Chapellier, D., Jakobsen, R. & Postma, D. (2007): Discharge of nitrate-containing groundwater into a coastal marine environment. *J Hydrol* 336(1-2), 98–114. sciencedirect. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.12.023
- Andersen, M., Nyvang, V., Jakobsen, R. & Postma, D. (2005): Geochemical processes and solute transport at the seawater/freshwater interface of a sandy aquifer. *Geochim Cosmochim Acta* 69(16), 3979–3994. sciencedirect. doi:10.1016/j.gca.2005.03.017
- Bak, J. & Larsen, M.M. (2014): Baggrunds niveau for barium, zink, kobber, nikkel og vanadium i fersk- og havvand. Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 9. december 2014
- Bak, J.L., Jensen, J. & Larsen, M.M. (2015): Belysning af kobber- og zinkindholdet i jord. Indhold og udvikling i kvadratnettet og måling på udvalgte brugstyper. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 72 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 159 <http://dce2.au.dk/pub/SR159.pdf>
- Boutrup, S., Holm, A.G., Bjerring, R., Johansson, L.S., Strand, J., Thorling, L., Brusch, W., Ernstsen, V., Ellermann, T. & Bossi, R. (2015): Miljøfarlige stoffer og metaller i vandmiljøet. NO-VANA. Tilstand og udvikling 2004-2012. Videnskabelig rapport fra DCE nr. 142. (242pp).
- Bundschuh, B., Elsaesser, D., Stang, C. & Schulz, R. (2016): Mitigation of fungicide pollution in detention ponds and vegetated ditches within a vine-growing area in Germany. *Ecological Engineering*, 89, 121-130.
- Brusch, W., Nilsson, B. (1993): Nitrate transformation and water movement in a wetland area. *Hydrobiologia*, 251, 103-111.
- Burnett, W. C., Aggarwal, P. K., Aureli, Bokuniewicz, Cable, J. E., Charette, M. A., Kontar, et al. (2006): Quantifying submarine groundwater discharge in the coastal zone via multiple methods. *Science of The Total Environment* 367(2-3), 498–543. doi:10.1016/j.scitotenv.2006.05.009
- Burnett, W.C., Bokuniewicz, H., Huettel, M., Moore, W.S., Taniguchi, M. (2003): Groundwater and pore water inputs into the coastal zone. *Biogeochemistry* 66, 3–33.
- Dahl med flere (2005): Afslutning af ådalstypologi – grundvand-overfladevand interaktion. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 17, 2005.
- Dahl, M., Nilsson, B., Langhoff, J.L., Refsgaard, J.C. (2007): Review of classification systems and new multi-scale typology of groundwater-surface water interaction. *Journal of Hydrology* 344, 1-16.
- Devito, K., Creed, I., Gan, T., Mendoza, C., Petrone, R., Silins, U., Smerdon, B. (2005): A framework for broad-scale classification of hydrological response units on the Boreal Plain: is topography the last thing to consider ?. *Hydrological Processes*, 19, 1705-1714.

- Donis, D., Janssen, F., Liu, B., Wenzhöfer, F., Dellwig, O., Escher, P., Spitzky, A. (2017): Biogeochemical impact of submarine ground water discharge on coastal surface sands of the southern Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 189, 131–142. doi:10.1016/j.ecss.2017.03.003
- Dybkjær, J.B., Baatrup-Pedersen, A., Kronvang, B., Thodsen, H. (2012): Diversity and distribution of riparian plant communities in relation to stream size and eutrophication. *Journal of Environmental Quality*, 41, 2, 348-354.
- Ellermann, T., Andersen, H.V., Bossi, R., Christensen, J., Løfstrøm, P., Monies, C., Grundahl, L. & Geels, C. (2013): Atmosfærisk deposition 2012. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 85 s. – Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 73. <http://dce2.au.dk/pub/SR73.pdf>
- Ellermann, T., Bossi, R., Nygaard, J., Christensen, J., Løfstrøm, P., Monies, C., Grundahl, L., Geels, C., Nielsen, I. E., & Poulsen, M. B. (2018): Atmosfærisk deposition 2016. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 67s. – Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 264. <http://dce2.au.dk/pub/SR264.pdf>
- EU (2000): Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger med senere ændringer
- EU (2008): Direktiv 2008/56/EF om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets havmiljøpolitiske foranstaltninger (havstrategirammedirektivet) af 17. juni 2008
- EU (2009): Guidance Document No. 18 Guidance on groundwater status and trend assessment. Technical Report–2009-026.
- EU (2012): Guidance document No. 28. Technical guidance on the preparation of an inventory of emissions discharges and losses of priority and priority hazardous substances. Technical Report 2012-58.
- EU (2015): CIS Thematic Report-2015-093 on Groundwater Associated Aquatic Ecosystems. Technical Report No. 9.
- Krall, L., Trezzi, G., Garcia-Orellana, J., Rodellas, V., Mörtz, C.-M. & Andersson, P. (2017): Submarine groundwater discharge at Forsmark, Gulf of Bothnia, provided by Ra isotopes. *Mar Chem* 196, 162–172. doi:10.1016/j.marchem.2017.09.003
- Graeber, D., Lorenz, S., Poulsen, J.R., Heinz, M., von Schiller, H., Gücker, B., Gelbrecht, J. and Kronvang, B. (2017): Assessing net-uptake of nitrate and natural dissolved organic matter fractions in a revitalized lowland stream reach. *Limnologia* 68, 82-91. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2017.10.003>
- Haider, K., Engesgaard, P., Sonnenborg, T.O., Kirkegaard, C. (2015): Numerical modelling of salinity distribution and submarine groundwater discharge to a coastal lagoon in Denmark based on airborne electromagnetic data. *Hydrogeology Journal*, 23, 217-233.

Hansen J.W. (red.) (2016): Marine områder (2015): NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 148 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 208

Hinsby, K., Condesso de Melo, M.T., Dahl, M. (2008): European case studies supporting the derivation of natural background Levels and groundwater threshold values for the protection of dependent ecosystems and human health. *Science of the Total Environment*, 401, 1-20.

Hinsby, K., Jakobsen, R., Rasmussen, P., Sonnenborg, T.O., Sørensen, H.U., Aamand, J., Pedersen, S.A.S.P., Knudsen, C. Krüger, U.S., Gram, S., Andersen, H. og Rasmussen, N.S. (2018): Roadmap for implementation of subsurface water solutions for fractured chalk aquifer. Rapport til EU projektet SubSol, fremsendt, 2018.

Hinsby, K., Auken, E., Essink, G.H.P.O., de Louw, P., Siemon, B., Sonnenborg, T.O., Wiederholdt, A., Guadagnini, A., Carrera, J., (eds.) (2011): Assessing the impact of climate change for adaptive water management in coastal regions. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, special issue 149.

Hinsby, K., Markager, S., Kronvang, B., Windolf, J., Sonnenborg, T.O., Thorling, L. (2012): Threshold values and management options for nutrients in a catchment to an estuary with poor ecological status. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 2663-2683.

Hinsby, K., Johnsen, A.R., Rasmussen, P., Sonnenborg, T.O., Sørensen, S.R., Postma, D., Thorn, P., Scharling, P., Gudbjerg, J. (2016): Water4Coasts – nye metoder til integreret forvaltning og beskyttelse af kystnære vandressourcer. Miljøstyrelsen, Miljø og Fødevarerministeriet, København, 2016, 159 pp.

Hoffmann, C.C., Pedersen, M.L., Kronvang, B., Ovig, L. (1998): Restoration of the rivers Brede, Cole, and

Skjern: a joint Danish and EU-LIFE demonstration project, IV – Implications for nitrate and iron transformation. *Aquatic Conservation-Marine and freshwater Ecosystems*, 8, 1, 223-240.

Hoffmann, C., Kjaergaard, C., Uusi-Kamppa, J., Hansen, H.C.B., Kronvang, B. (2009): Phosphorus Retention in Riparian Buffers: Review of their Efficiency. *Journal of Environmental Quality*, 38(5), 1942-1955.

Hoffmann, C.C., Kronvang, B., Audet, J. (2011): Evaluation of nutrient retention in four restored Danish riparian wetlands. *Hydrobiologia*, 674, 1, 5-24.

Højberg A.L., Trolborg, L., Ondracek, M., Nyegaard, P. (2007): Simuleringer og rapportering til NOVANA overvågningsrapport for 2007. http://vandmodel.dk/xpdf/novana_modelle-ring2007.pdf

Højbjerg, A.L., Windolf, J., Børgesen, C.D., Trolborg, L., Tornbjerg, H., Blicher-Mathiesen, G., Kronvang, B., Thodsen, H., Ernsten, V. (2015): national kvælstofmodel – Oplandsmodel til belastning og virkemidler: Metode rapport – Revideret udgave september 2015. De Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland. ISBN 978-87-7871-417-6.

Jensen, J.K., Engesgaard, P., Johnsen, A.R., Marti, V., Nilsson, B. (2017): Hydrological mediated denitrification in groundwater below a seasonal flooded restored riparian zone. *Water Resources Research*, 53(3), 2074-2094, 10.1002/2016WR019581.

- Jensen, J., Bak, J., Larsen, M.M. (1996): Tungmetaller i danske jorder. Tema-rapport fra DMU, 1996/4. https://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_temaraapporter/rapporter/87-7772-235-3.pdf.
- Jensen, J., Ingvertsen S. T., Magild, J. (2012): Risk evaluation of five groups of persistent organic contaminants in sewage sludge. Miljøstyrelsens Environment Project No. 1406, 2012. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2012/05/978-87-92779-69-4.pdf>.
- Jensen, J. & Bak, J.L. (2018): Zink og kobber i vandmiljøet. Kilder, forekomst og den miljømæssige betydning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 44 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 263.
- Karan, S., Sebok, E., Engesgaard, P. (2017): Air/water/sediment temperature contrasts in small streams to identify groundwater seepage locations. *Hydrological Processes*, 31(6), 1258-1270.
- Kidmose, J., Dahl, M., Engesgaard, P., Nilsson, B., Christensen, B., Andersen, S., Hoffmann, C.C. (2010): Experimental and Numerical Study of the relation between Flow Paths and Fate of a Pesticide in a Riparian Wetland. *Journal of Hydrology*, 386(1-4), 67-79.
- Kim, G., Ryu, J., Yang, H., Yun, S. (2005): Submarine groundwater discharge (SGD) into the Yellow Sea revealed by Ra and Ra isotopes: implication for global silicate fluxes. *Earth Planet. Sci. Lett.* 237, 156–166.
- Kronvang, B., Hoffmann, C.C., Droge, R. (2009): Sediment deposition and net phosphorus retention in a hydraulically restored lowland river floodplain in Denmark: combining field and laboratory experiments. *Marine and Freshwater research*, 60, 7, 638-646.
- Jensen, J., Kuijpers, A., Bennike, O., Laier, T. & Werner, F. (2002): New geological aspects for freshwater seepage and formation in Eckernförde Bay, western Baltic. *Cont. Shelf Res.* 22(15), 2159–2173. doi:10.1016/S0278-4343(02)00076-6
- Johannes, R.E. (1980): The ecological significance of the submarine discharge of groundwater. *Mar Ecol Progr Ser*, 3, 365 – 373.
- Jørgensen, F., Scheer, W., Thomsen, S., Sonnenborg, T.O., Hinsby, K., Wiederhold, H., Schamper, C., Burschil, T., Roth, B., Kirsch, R., Auken, E. (2012): Transboundary geophysical mapping of geological elements and salinity distribution critical for the assessment of future sea water intrusion in response to sea level rise *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 1845-1862.
- Miljø- og fødevareministeriet (2017): Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand. BEK nr. 1625 af 27/12/2017.
- Miljøstyrelsen (2000): NOVA-2003 Programbeskrivelse for det nationale program for overvågning af vandmiljøet 1998-2003. Redegørelse fra Miljøstyrelsen Nr. 1 2000
- Miljøstyrelsen (2014). Risikovurdering af lossepladsers påvirkning af overfladevand. Miljøprojekt nr. 1604.
- Miljøstyrelsen (2014): Jordforureningens påvirkning af overfladevand, delprojekt 2. Afstandskriterier og fanebredder- Miljøprojekt nr. 1565.

Miljøstyrelsen (2015a): Screeningsprincip for jordforureninger, der kan true overfladevandet”
https://mst.dk/media/mst/9439131/screeningsprincip_for_jordforurening.pdf

Miljøstyrelsen (2015b): Vejledning til jordforureninger, der kan true overfladevandet”
https://mst.dk/media/mst/9489368/vejledning_til_screening.pdf

Miljøstyrelsen (2016a): Jordforureningers påvirkning af overfladevand Miljøprojekt nr. 1846.

Miljøstyrelsen (2016b): GrundRisk. Beregningsmodel til risikovurdering af grundvandstruende forureninger. Miljøprojekt nr. 1865.

Miljøstyrelsen, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet og GEUS – De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (2017): NOVANA Det nationale overvågningsprogram for vand og natur 2017-2021. Programbeskrivelse.

Miljøstyrelsen (2018). Assessing stream water quality impacted by contaminated sites under conditions of multi stress. Udarbejdet af DTU Miljø (editors: Bigi G, Bjerg P, McKnight U, Aabling J) Upubliceret miljøprojekt.

Milosevic, N., Thomsen, N., Juhle, R.K., Albrechtsen, H.-J., Bjerg, P. (2012): Identification of discharge zones and quantification of contaminant mass discharges into a local stream from a landfill in a heterogeneous geologic setting. *Journal of Hydrology*, 446, 13-23.

Moore, W. Beck, . Riedel, T., Loeff, R. van der, Dellwig, Shaw, Schnetger, et al. (2011): Radium-based pore water fluxes of silica, alkalinity, manganese, DOC, and uranium: A decade of studies in the German Wadden Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 75(21), 6535-6555.
doi:10.1016/j.gca.2011.08.037

Naturstyrelsen, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (2011a): NOVANA Det nationale overvågningsprogram for vand og natur 2011-2015. Programbeskrivelse 2. del.

Naturstyrelsen, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (2011b): NOVANA Det nationale overvågningsprogram for vand og natur 2011-2015. Programbeskrivelse 1. del.

Naturstyrelsen (2014): Opdatering af nøgletal for miljøfarlige forurenende stoffer i spildevand fra rensesanlæg - på baggrund af data fra det nationale overvågningsprogram for punktkilder 1998-2012. http://mst.dk/media/121330/samlet-pdf-noegletal-for-miljoefarlige-stoffer-i-spildevand-fra-renseanlaeg_02102014.pdf

Nilsson B., Søndergaard M., Johansson L.S., Olesen A., Kazmierczak J., Thorling L., Trolborg L. (2019). Vurdering af grundvandets kemiske kvantitative påvirkning af søer. GEUS rapport nr. 3.

Poulsen, J.R, Sebok, .E, Duque, C., Tetzlaff, D., Engesgaard, P.K. (2015): Detecting groundwater discharge dynamics from point-to-catchment scale in a lowland stream: combining hydraulic and tracer methods. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 1871–1886.

Rasmussen, P., Sonnenborg, T.O., Pedersen, S.A.S., Jakobsen, R. and Hinsby, K. (2018): Modeling the efficiency of subsurface water solutions for controlling saltwater intrusion in a chalk aquifer affected by glaciotectional impact. *Proceedings of the 25th Salt Water Intrusion Meeting*, 17-22 June, 2018, Gdansk, Poland, p. 243.

Rasmussen, P., Sonnenborg, T.O., Gonciar, G., Hinsby, K. (2013): Assessing impacts of climate change, sea level rise, and drainage canals on saltwater intrusion to coastal aquifer, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 221-243.

Rasmussen med flere (2015): Legacy of chemical factory site: Contaminated groundwater impacts stream macroinvertebrates. *Arch Environ Contam Toxicol* (DOI 10.1007/s00244-015-0211 2).

Refsgaard, J.C., Henriksen, H.J., Nilsson, B., Rasmussen, P., Kronvang, B., Skriver, J., Jensen, J.P., Dalgaard, T., Søndergaard, M., Hoffmann, C.C. (2002): Vidensstatus for sammenhængen mellem tilstanden i grundvand og overfladevand. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 21.

Region Midtjylland (2016): [Overblik over forureningen på Harbøre Tange](#) Notat i forbindelse med politisk temamøde om Høfde 42 29. april 2016.

Ribas, D., Calderer, M., Marti, V., Johnsen, A.R., Aamand, J., Nilsson, B., Jensen, J.K., Engesgaard, P., Morici, C. (2017): Subsurface nitrate reduction under wetlands takes place in narrow superficial zones. *Environmental Technology*, 38, 21, 2725-2732.

Sanderson, H. & Fauser P. (2018): Preparation of an inventory of emissions and loadings of priority substances to Danish river basins. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 34 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 255 <http://dce2.au.dk/pub/SR255.pdf>

Schlüter, M., Sauter, E., Andersen, C., Dahlgård, H. & Dando, P. (2004): Spatial distribution and budget for submarine groundwater discharge in Eckernförde Bay (Western Baltic Sea). *Limnology and Oceanography* 49(1), 157–167. doi:10.4319/lo.2004.49.1.0157

Sebok, E., Duque, C., Engesgaard, P., Bøgh, E. (2015): Application of Distributed Temperature Sensing for coupled mapping of sedimentation processes and spatio-temporal variability of groundwater discharge in soft-bedded streams. *Hydrological Processes*, 29(15), 3408-3422.

Sonnenborg, T.O., Hinsby, K., van Roosmalen, L. Stiesen, S. (2012): Assessment of climate change impacts on the quantity and quality of a coastal catchment using a coupled groundwater - surface water model, *Climatic Change*, 13, 1025-1048

Sonne, A.T., Rasmussen, J.J., Hoess, S., Trauensburger, W., Bjerg, P.L. & McKnight, U.S. (2017a): Linking ecological health to co-occurring organic and inorganic chemical stressors in a groundwater fed stream system. *Science of the Total Environment*, 642, 1153-1162.

Sonne, A.T., McKnight U.S., Ronde, V. & Bjerg, P.L. (2017b): Assessing the chemical contamination dynamics in a mixed land use stream system. *Water Research*, 125, 141-151. Sophocleous, M. (2002): Interactions between groundwater and surface water – the state of the science. *Hydrogeology Journal*, 10, 52-67.

Taniguchi, M., Burnett, W.C., Cable, J.E., Turner, J.V. (2002): Investigation of submarine groundwater discharge. *Hydrological processes*, 16, 2115-2129.

Thodsen, H., Windolf, J., Rasmussen, J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Ovesen, N.B., Kjeldgaard, A. & Wiberg-Larsen, P. (2016): Vandløb 2015. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE –

Nationalt Center for Miljø og Energi, 68 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 206

Thorling, L., Sørensen, B.L. (2014): Grundvandets kemiske tilstandsvurdering Vandområdeplan 2015-2021, data og metodevalg. GEUS rapport 2014/78 http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Sider/grundvand_kemiske_tilstand.aspx

Thorling, L., Brüschen, W., Ernstsen, V., Hansen, B., Laier, T., Larsen, F., B., Mielby, S og Sørensen, B. L. (2015): Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2013. Teknisk rapport, GEUS 2015.

Thorling, L., Hansen, B., Larsen, C.L., Larsen, F., Mielby, S., Johnsen, A.R., & Trolborg, L. (2016): Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2015. Teknisk rapport, GEUS 2016.

Thorling, L., Hansen, B., Johnsen, A.R., Larsen, C.L., Larsen, F., B., Mielby, S., og Trolborg, L. (2016): Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2015. Teknisk rapport, GEUS 2015.

Thorn, P. (2011): Groundwater salinity in Greve, Denmark: determining the source from historical data. *Hydrogeol J* 19(2), 445–461. springer. doi:10.1007/s10040-010-0680-3

Toth, J. (1999): Groundwater as a geologic agent: an overview of the causes, processes and manifestations. *Hydrogeology Journal*, 7, 1-14.

Trolborg, L., Sørensen, B.L., Kristensen, M., Mielby, S. (2014): Afgrænsning af grundvandsforekomster. Tredje revision af grundvandsforekomster i Danmark. GEUS rapport, nr. 58.

Trolborg, L., Børgesen, C.D., Thodsen, H., Keur, P.V. (2016): National Kvælstofmodel. Kvælstofpåvirkning af grundvand. Videnskabelig rapport GEUS og AU: DCE& DCA.

UBA – German Environment Agency (2017): Waters in Germany: Status and assessment. Dessau-Rosslau. ISSN 2363-823X. pp. 128.

Vanek, V. and Lee, D.R. (1991): Mapping submarine groundwater discharge areas - an example from Laholm Bay, southwest Sweden *Limnol and. Oceanography*, 36(6), 1250-1262.

Wiberg-Larsen, P. (2011): Miljøfarlige stoffer og tungmetaller i vandløbsvand. Teknisk anvisning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. http://bios.au.dk/fileadmin/bioscience/Fagdatacentre/Ferskvand/V19_MFS_TM_i_vand_loebsvand.pdf

Winter, T.C. (1999): Relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems. *Hydrogeology Journal*, 7, 28-45.

Winter, T.C. (2001): The concept of hydrologic landscapes. *Journal of American Water Resources Association*, 37(2), 335-349.

Winter, T.C., Harvey, J.W., Franke, O.L., Alley, W.M (1998): Ground Water and Surface Water: A single resource. US Geological Circular 1139, Denver, Colorado, USA.