

# National kvælstofmodel

Oplandsmodel til belastning og virkemidler

Kortleverancer

Anker Lajer Højberg, Jørgen Windolf, Christen Duus Børgesen,  
Lars Troldborg, Henrik Tornbjerg, Gitte Blicher-Mathiesen,  
Brian Kronvang, Hans Thodsen og Vibeke Ernstsen

**De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland**  
Klima-, Energi- og Bygningsministeriet

**Aarhus Universitet**

DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

ISBN 978-87-7871-400-8

Tilgængelig via:

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland

Øster Voldgade 10, 1350 København K

Tlf.: 38 14 20 00. Fax: 38 14 20 50

E-mail: [geus@geus.dk](mailto:geus@geus.dk)

Web: [www.geus.dk](http://www.geus.dk)

© De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, 2015

## Indholdsfortegnelse

<b>1.</b>	<b>Introduktion</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Den nationale kvælstofmodel</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Kortmateriale</b>	<b>8</b>
3.1	Retention i grundvand .....	8
3.2	Retention i overfladevand .....	10
3.3	Samlet retention fra rodzone til kyst.....	11
3.4	Usikkerhed på samlet retention.....	12
3.5	Variation i retention i grundvand .....	13
<b>4.</b>	<b>Referencer</b>	<b>15</b>

# 1. Introduktion

I delprojektet "Oplandsmodel til belastning og virkemidler" igangsæt af Naturstyrelsen, NaturErhvervstyrelsen og Miljøstyrelsen, er der udviklet en national kvælstofmodel. Delprojektet indgår i et samlet modelstrategiprojekt "Implementering af modeller til brug for vandforvaltningen" igangsæt af Naturstyrelsen, der har til formål at implementere modelværktøjer til brug for vandforvaltningen, herunder vandplanlægningen og vandmiljøovervågningen. Delprojektet blev igangsæt medio 2013 og afsluttet primo 2015, projektperioden har således været halvandet år.

GEUS og Aarhus Universitet (DCE og DCA) har stået for den faglige udvikling af kvælstofmodellen, som er dokumenteret i (Højberg et al., 2015). Ved anvendelse af modellen er der udviklet nye nationale kvælstofretentionskort. Kortene viser hvor mange procent af det kvælstof, der siver ud af rodzonen, som tilbageholdes eller fjernes ved denitrifikation. Retentionen er opgjort for hhv. grundvand, overfladevand og den samlede kvælstofretention fra rodzonen til kysten. De tre institutioner har forestået modelberegningerne med kvælstofmodelkomplekset for 21 år (1990-2011) der sammen med målingerne af kvælstoftransporten til havet i samme periode er grundlaget for disse nye N retentionskort.

Hvordan og i hvilken udstrækning den udviklede kvælstofmodel samt retentionskortene skal indgå i en fremtidig regulering af kvælstofanvendelsen har ikke været en del af projektet. Denne anvendelse vil være en administrativ og politisk beslutning, som de faglige institutioner ikke er involveret. Eventuelle spørgsmål relateret til kortenes fremtidige anvendelse i reguleringen bedes i stedet ske ved henvendelse til styrelserne

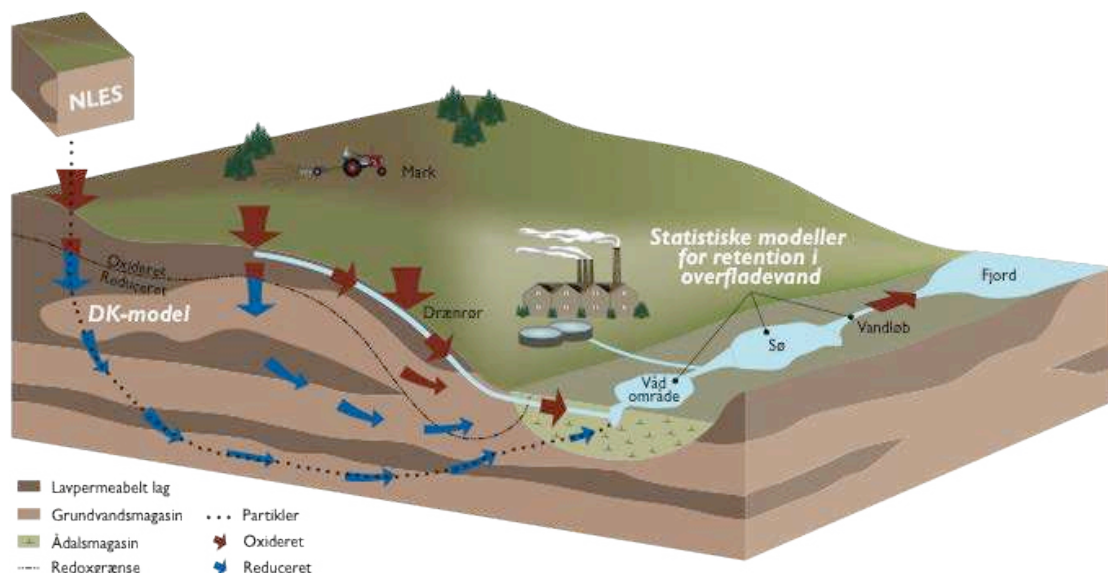
## 2. Den nationale kvælstofmodel

I dette kapitel gives et kort resumé af den nationale kvælstofmodel, samt anvendelse af modellen til udvikling af de nationale retentionskort. For en detaljeret beskrivelse af den faglige udvikling samt datagrundlaget for udviklingen henvises til (Højberg et al., 2015), hvor modellens anvendelse og begrænsninger endvidere er diskuteret.

Den nationale kvælstofmodel beskriver den samlede kvælstoftransport og –omsætning (fjernelse) fra dyrkningsfladen til kysten og er anvendt til beregning af nationale kvælstofretentionskort for hhv. grundvand, overfladevand og den samlede retention fra rodzonen til kysten. Modellen er etableret ved kobling af delmodeller udviklet ved GEUS og Aarhus Universitet (DCE og DCA). Ved valg af delmodeller har det været et krav, at disse indenfor projektperioden (2013-2014) har kunnet udvikles til national anvendelse. Der er således taget udgangspunkt i eksisterende modeller, der kun i begrænset omfang er blevet videreudviklet indenfor projektperioden. Følgende delmodeller indgår i den nationale kvælstofmodel:

1. NLES, der er en statistisk/empirisk baseret model til beregning af årlig N-udvaskningen fra rodzonen for dyrkede arealer.
2. DK-model, der er den nationale vandressource model, som beskriver vandstrømningerne i grundvandszonen.
3. Overfladevandsmodeller, der er statistiske modeller til beregning af kvælstofretentionen i hhv. vandløb, søer og etablerede vådområder.

Sammenhæng mellem de enkelte delmodeller er illustreret i Figur 1.



**Figur 1.** Illustration af sammenhæng mellem de tre modelsystemer, der indgår i den samlede nationale kvælstofmodel.

Det samlede modelkompleks er udviklet og testet på basis af måledata for årlige kvælstoftransporter ved vandløbsstationer for perioden 1990-2010. Der er anvendt data fra det nationale overvågningsprogram (NOVANA), suppleret med ekstra data indsamlet af de tidlige-

re amter ved en række yderligere målestationer. Samlet er der anvendt data fra i alt 344 målestationer til udvikling af den nationale kvælstofmodel. Måledataene er opdelt i to datasæt, hvor den ene del er benyttet til kalibrering af modellen, dvs. bestemmelse af værdier for modelparametrene, mens den anden del er anvendt til en test af modellen (validering). Der er benyttet en national tilgang ved kalibrering af modellen, hvor den rumlige variation i transport og retention er bestemt af de naturgivne variationer, eksempelvis tætheden af vandløbsnetværket og de geologiske samt geokemiske forhold i undergrunden. Denne tilgang har gjort det muligt, at anvende modellen til at overføre viden fra målte til umålte oplande og herved estimere transporten og omsætningen af kvælstof i de umålte oplande, ligesom det er muligt at underindele de målte oplande til estimering af retentionen på mindre skala.

Koblingen af de enkelte delmodeller sker på deloplandsniveau, der således udgør beregningsenhederne i den samlede kvælstofmodel. Til dette formål er der foretaget en opdeling af landet i topografiske oplande (polygoner) med en størrelse på ca. 1500 ha (ID15 oplande). Dette er den mindste skala, hvorfra vi har nøjagtige observationer af kvælstoftransport i vandløb. På denne skala er det således muligt at sammenholde modelberegningerne med de faktiske målinger.

Som en del af modeludviklingen er der for alle målte oplande foretaget en stationsspecifik korrektion af kvælstoftransporten. Det betyder, at der for alle målte oplande er foretaget en korrektion af retentionsprocenten for oplandet, som sikrer overensstemmelse mellem den observerede og modelberegnet kvælstoftransport. Med metoden opnås således bedst muligt overensstemmelse mellem de modelberegnet og målte kvælstoftransporter ved målestationerne. De anvendte delmodeller beskriver herefter den rumlige variation indenfor både de målte og umålte oplande på basis af variationer i de fysiske og biogeokemiske forhold.

På basis af en sammenligning mellem de modelberegnet og observerede kvælstoftransporter er der estimeret en usikkerhed på den samlede retention fra rodzonen til kysten. Denne er estimeret ud fra en antagelse om, at forskelle i observerede og beregnede kvælstoftransporter skyldes, at den modelberegnet retentionsprocent afviger fra den faktiske retentionsprocent. I vurderingen er der således ikke taget hensyn til usikkerheden på den beregnede rodzoneudvaskning og på opgørelsen af kvælstoftransporten ved målestationerne.

Med den anvendte tilgang afspejler de estimerede usikkerheder den generelle usikkerhed på beregningerne indenfor forskellige landsdele. Usikkerhedsestimaterne er således gældende for oplande, hvor modellen er i stand til at beskrive den observerede udvikling i oplandstabet. Der eksisterer imidlertid enkelte områder med særlige udfordringer. For enkelte vandløbsoplande viser måledata ingen eller kun meget begrænset udvikling i kvælstofkoncentrationer og kvælstoftransporter i perioden 1990-2010. En analyse af modellens resultater viser, at dette nærværende konstante niveau ikke kan genskabes af modellen, der generelt beregner et fald i kvælstoftransporten gennem perioden. Estimatet på den generelle usikkerhed vil derfor ikke være dækkende for disse oplande. I målte oplande er der foretaget en korrektion af den modelberegnet retention, så den afspejler de faktisk målte forhold. Tilsvarende er der oplande med mange søer i kæde, hvor kvælstofomsætningen i de ned-

strøms beliggende søer kan være reduceret. Dette skyldes, at nitrat-N omsættes først, og andelen af organisk N derfor øges i det vand, der strømmer videre nedstrøms. Endvidere vil en del af det uorganiske N, ved biologiske processer, omsættes og eksporteres som organisk N til nedstrøms søer. Disse processer er ikke medtaget i den anvendte delmodel for retention af kvælstof i større søer. Det skal bemærkes, at de største sø-systemer ligger i målte oplande, hvortil der sker en stationsspecifik korrektion af den samlede retention, så den afspejler de faktisk målte forhold. En varierende omsætning for søer i kæder, vil således ikke have betydning for estimatet af den samlede retention, men det kan resultere i en forkert fordeling af retentionen opgjort for hhv. grundvand og overfladevand.

### 3. Kortmateriale

Ved anvendelse af den nationale kvælstofmodel er der etableret nationale kort over kvælstofretentionen, dvs. omsætning eller tilbageholdelse af kvælstof under transport fra rodzonen til kysten. Kortene viser den procentuelle omsætning kvælstof og er opgjort for hhv. grundvand, overfladevand og den samlede transport fra rodzonen til kysten. Kvælstofretention vil variere fra år til år afhængig af de aktuelle klimatiske forhold. Til etablering af de nationale kort, er retentionsprocenterne beregnet på basis af den samlede mængde kvælstof, der er blevet reduceret, i forhold til den samlede tilførte mængde for hele perioden 1990-2010. Ved anvendelse af hele perioden udlignes effekten af klimatiske år til år variationer og der opnås et estimat for en "gennemsnitlig" kvælstofretention.

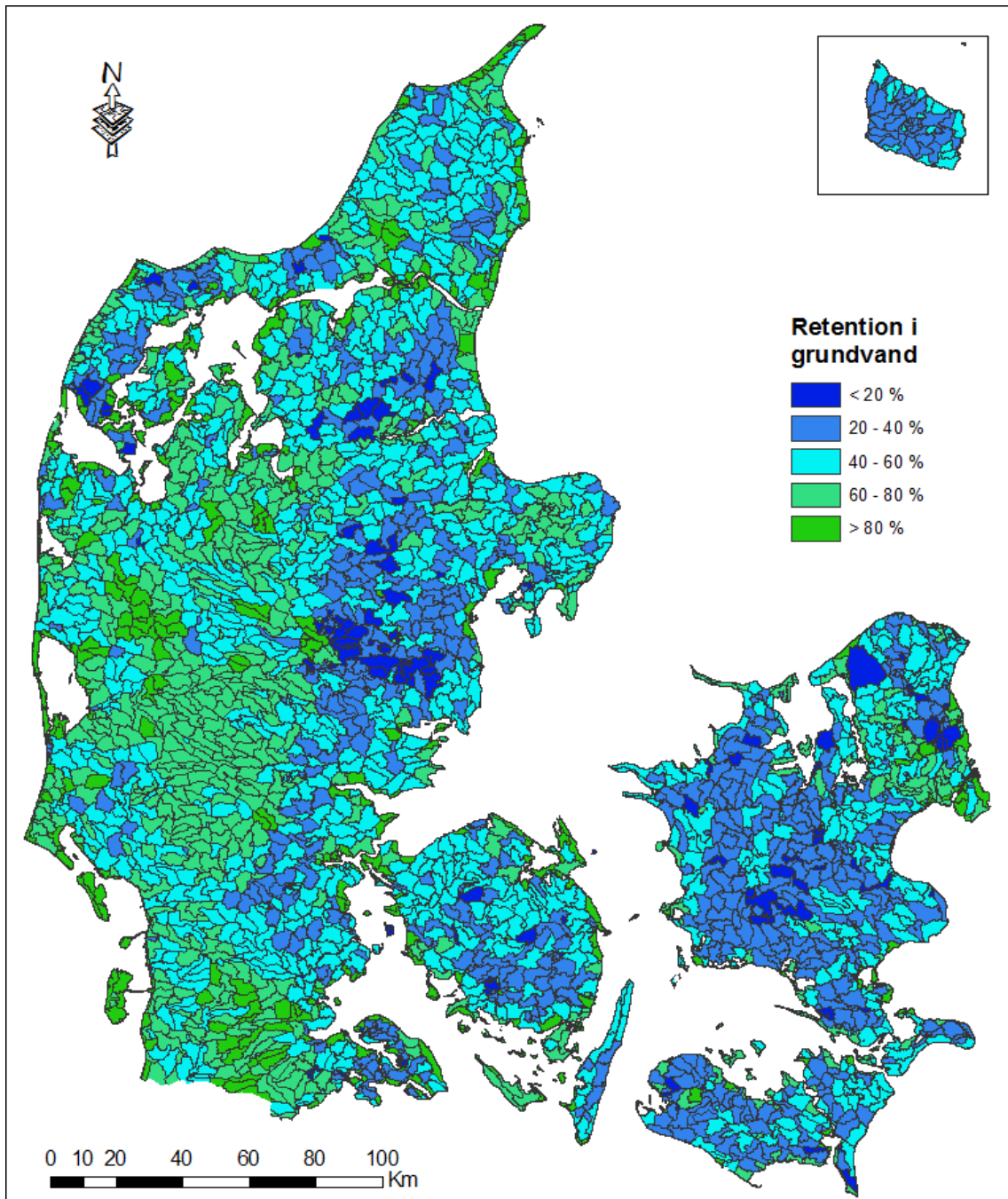
Oplandsmodellen er opstillet for hele landet med undtagelse af enkelte øer. For disse er den samlede retentionsprocent fra rodzone til kysten, estimeret som middel for de umålte oplande i den øvrige del af landet.

#### 3.1 Retention i grundvand

Retentionskortet for grundvand, Figur 2, viser den samlede retention af kvælstof fra det udvaskes fra rodzonen og til det når frem til overfladevandssystemet. Retentionsprocenter angiver, hvor mange procent af det kvælstof, der udvaskes fra et ID15 opland, som bliver reduceret (omsat) inden det når frem til overfladevandssystemet. Der tages ikke hensyn til, hvor i undergrunden reduktionen finder sted, dvs. om det sker under transport til overfladevandet indenfor det samme ID15 opland, eller om reduktionen sker under transport til overfladevandssystemet i et nabo ID15 opland.

Kvælstof omsættes under iltfrie (reducerende) forhold, men transporteres med grundvandet i de dele af undergrunden, hvor der er ilt tilstede (oxiderende forhold). De oxiderende forhold eksisterer primært i de øvre dele af grundvandsmagasinet, hvor de topografiske forhold har stor betydning for grundvandstrømningen. Da ID15 oplandene er afgrænset ved topografiske oplande, vil den overvejende del af det kvælstof, der udvaskes fra rodzonen og ikke bliver omsat i undergrunden, ende i overfladevandssystemet indenfor det samme ID15 oplande.

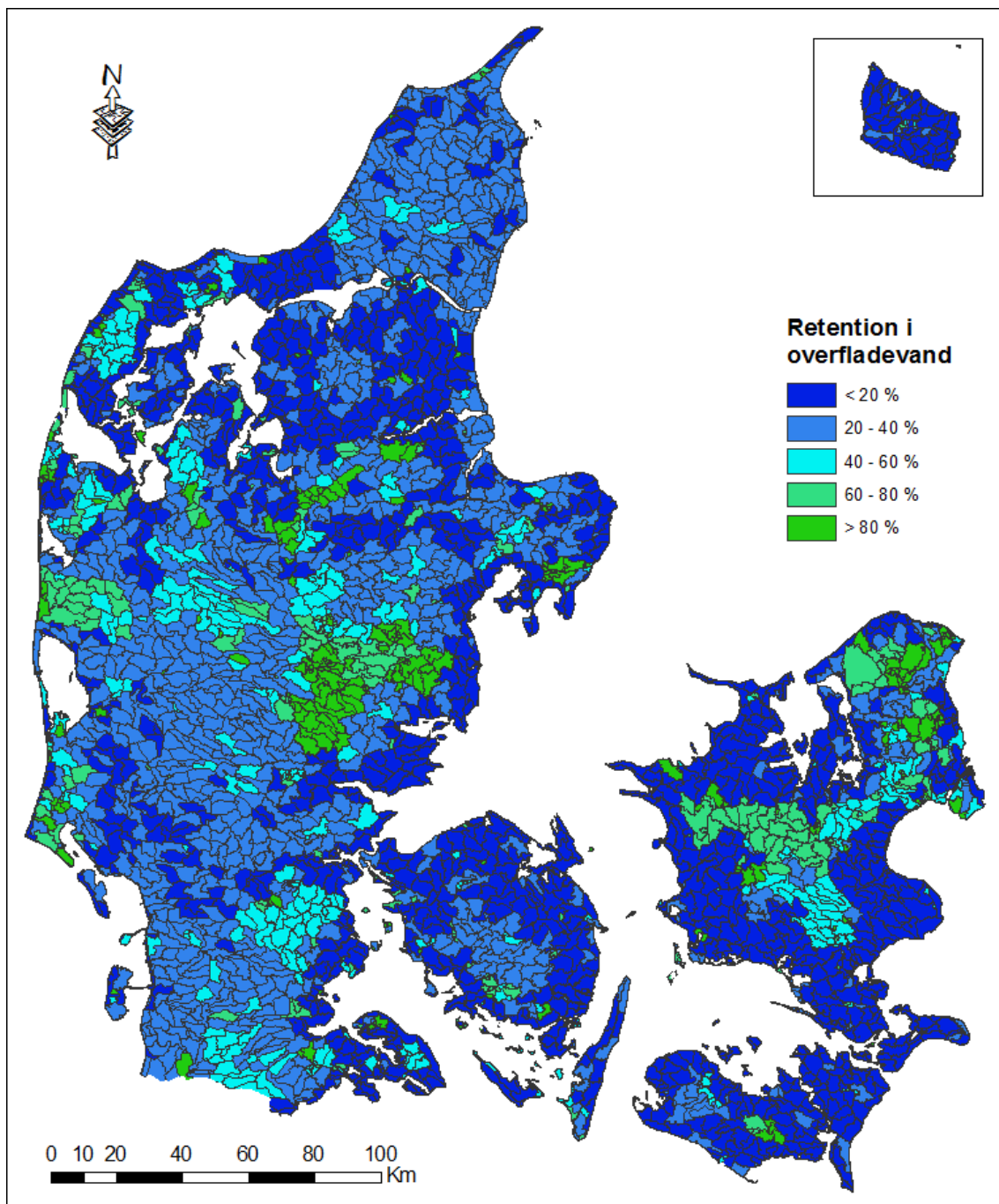




**Figur 2.** Procentuel omsætning af kvælstof i grundvand opgjort for ID15 oplande.

### 3.2 Retention i overfladevand

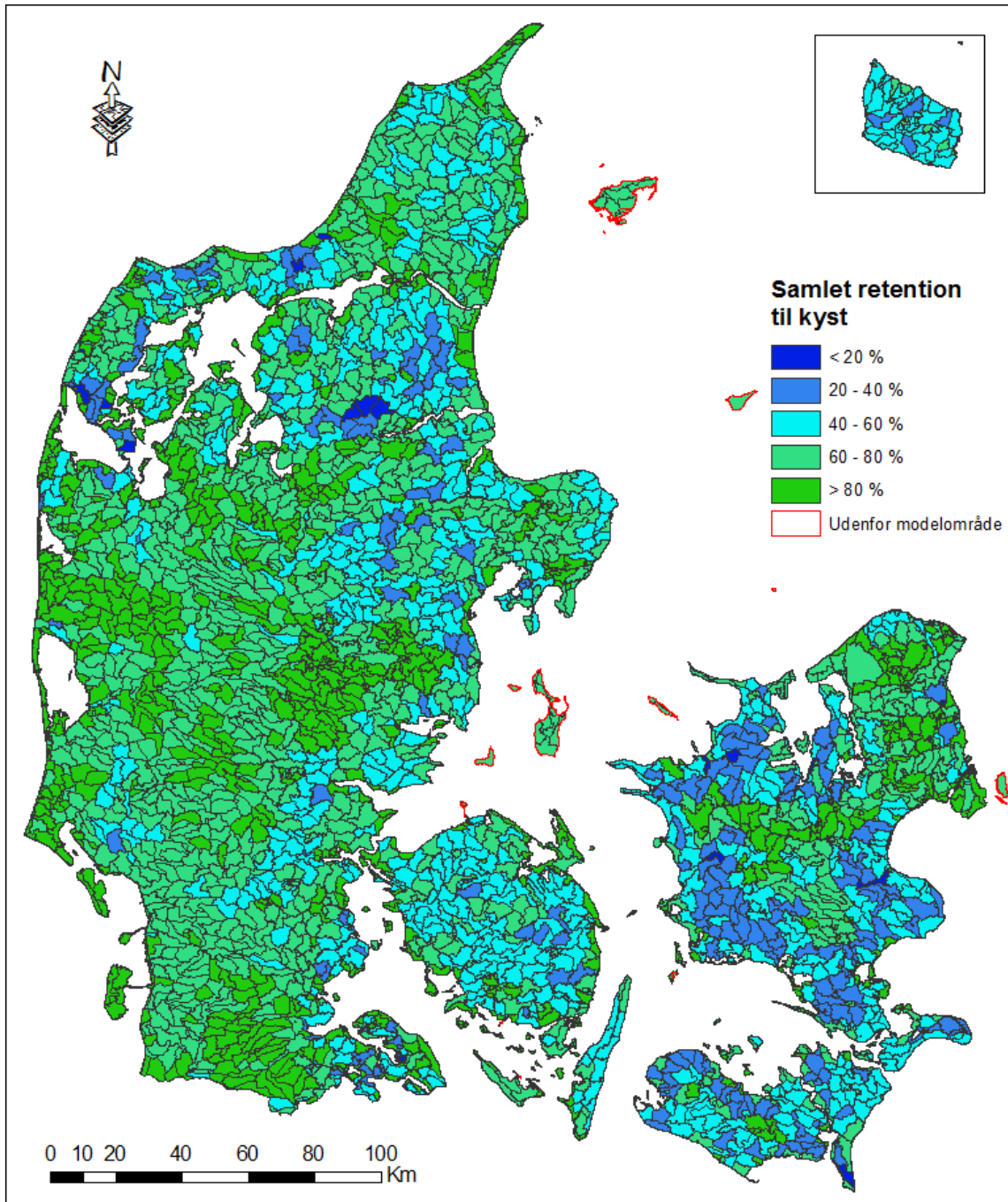
For overfladevandet viser retentionskortet, Figur 3, hvor stor en procentdel af det kvælstof, som kommer til overfladevandet indenfor et ID15 opland, der bliver omsat eller tilbageholdt i vandløb, vådområder og søer inden det transporteres til kystvandene. I denne beregning er der taget hensyn til den kumulerede effekt af retentionen ned igennem vandløbssystemet, dvs. kvælstof der ledes til et ID15 opland opstrøms i vandløbssystemet, vil undergå en retention i vandløb samt eventuelle vådområder og søer i nedstrøms ID15 oplande.



**Figur 3.** Den samlede procentuelle retention af kvælstof i overfladevandssystemet fra ID15 oplandet til det når kysten/havet.

### 3.3 Samlet retention fra rodzone til kyst

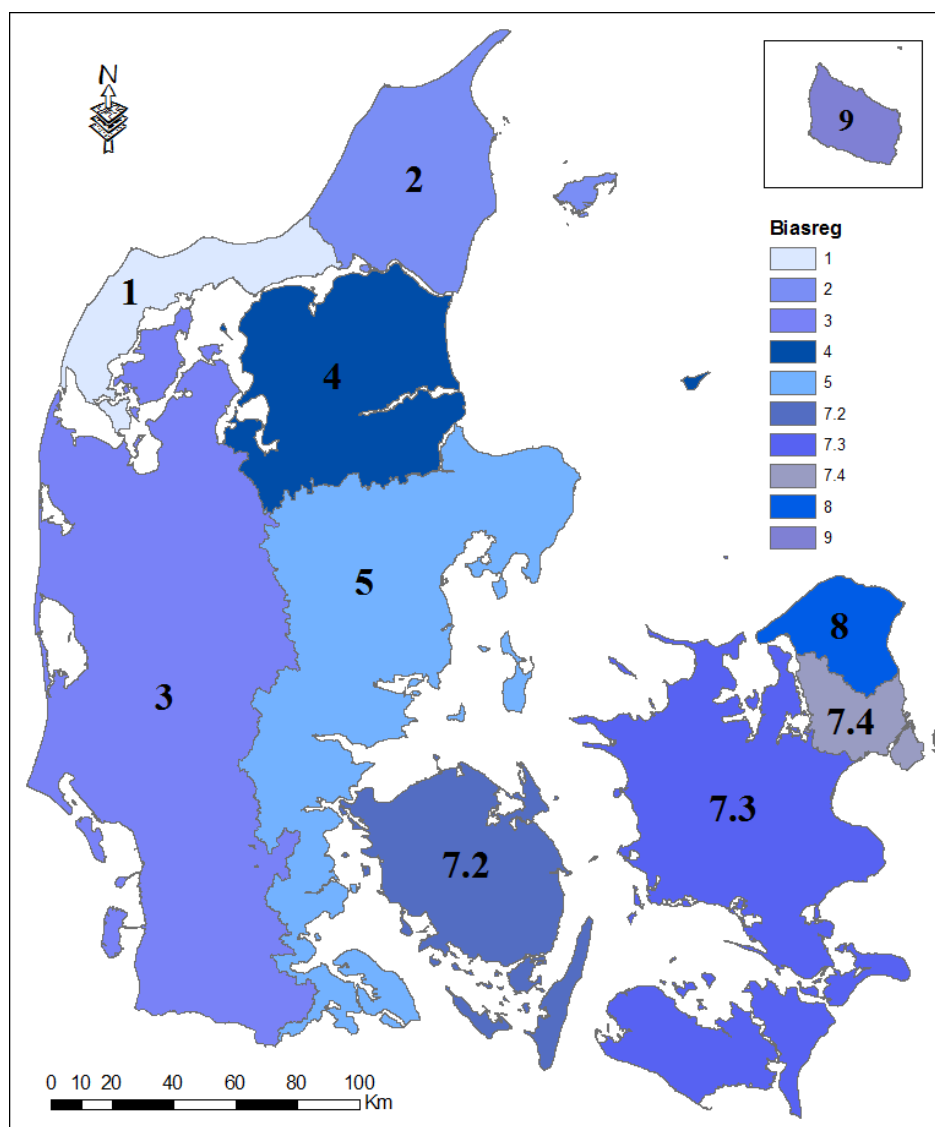
Reduktionskortet for den samlede kvælstofretention gengiver den procentvise omsætning og tilbageholdelse af kvælstof fra rodzonen til et kystafsnit, Figur 4. Da kvælstoftransporten i grundvandet ikke er begrænset af de topografiske oplandsgrænser, vil en mindre del kunne transporteres på tværs af vand- eller kystoplande. Andelen af oxideret vand der krydser disse grænser vil dog forventeligt være af underordnet betydning på kystoplandsniveau.



**Figur 4.** Samlede procentuelle retention fra rodzonen til kyst. For øer der ikke indgår i modelopstillingen (rød konturlinje) er der anvendt et middel for umålte oplande i den øvrige del af landet.

### 3.4 Usikkerhed på samlet retention

Usikkerhederne på den samlede retention er estimeret på basis af 10 regioner, der tilsammen dækker hele landet, Figur 5. Indenfor de 10 regioner er der estimeret en generel usikkerhed på de estimerede kvælstofretentioner, Tabel 1. Usikkerheden er beregnet så den tilnærmelsesvis giver et 95 % konfidensinterval, dvs. at de sande retentionsprocenter med 95 % sandsynlighed ligger indenfor det estimerede usikkerhedsinterval. Er det optimale estimat på reduktionen for et ID15 opland beliggende i region 3 eksempelvis 60 %, vil usikkerhedsintervallet for dette oplande være 39 – 81 %, idet usikkerhedsintervallet er estimeret til 21 % for region 3.



**Figur 5.** Opdeling af landet til beregning af usikkerhed på samlet retention fra rodzonen til kysten.

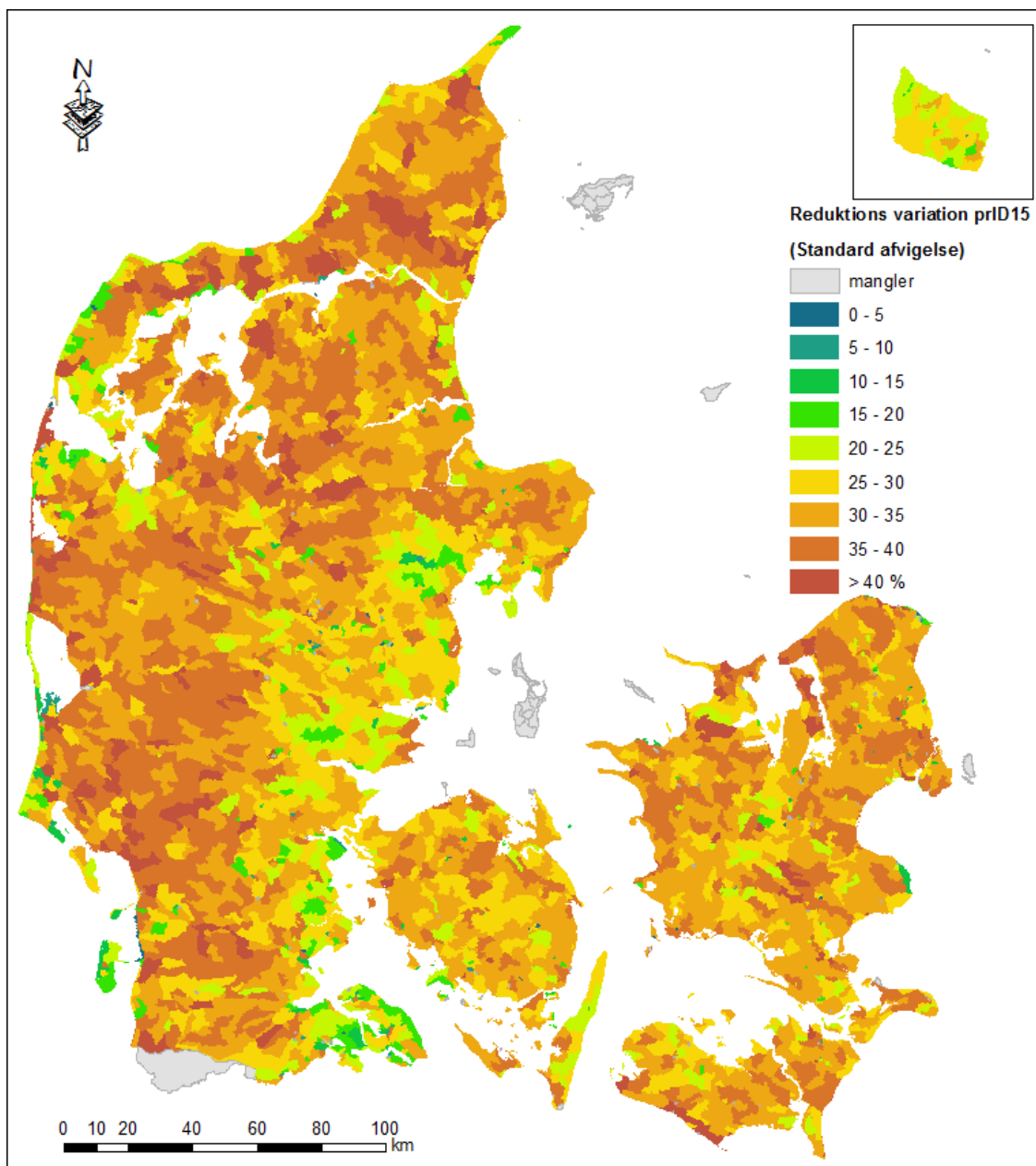
**Tabel 1.** Estimeret usikkerhed i retention i procent point for oplande i hver af de 10 regioner.

Region	1	2	3	4	5	7.2	7.3	7.4	8	9	Nationalt
Usikkerhed i procent point	18	7	21	27	16	28	22	20	12	12	21

### 3.5 Variation i retention i grundvand

Beregningsenhederne i den nationale kvælstofmodel er ID15 oplande. Transport og omsætning i grundvandssystemet er imidlertid baseret på DK-modellen, hvor beregningerne foregår i et 500 m grid, med mulighed for at opgøre en grundvandsretention på gridniveau. Tidligere studier har vist, at der kan være stor variation i grundvandsretentionen selv på lille skala (mark). Der eksisterer i dag ikke tilstrækkeligt detaljerede data på nationalt niveau til beregning af kvælstofretentionen på 500 m grid niveau eller til en vurdering af modellens gyldighed på denne skala. Variationen i grundvandsretentionen er styret af de lokale strømningsforhold og heterogeniteten i dybden til redoxgrænsen. Mens disse ikke kan verificeres på grid skala vil den hydrogeologiske tolkning i DK-modellen samt det nationale kort over dybden til redoxgrænsen udvise regionale tendenser i såvel de overordnede strukturer samt variationerne heri. Dette betyder, at der vil være større sikkerhed mht. estimering af variationen i grundvandsretention og de regionale forskelle heri, i forhold til estimering af den absolutte værdi for retentionen på gridniveau. Resultaterne på gridniveau kan derfor anvendes til at opnå et estimat for, hvor stor variationen i grundvandsretentionen er indenfor ID15 oplandene, og derved vurdere om der er regionale mønstre heri, dvs. om der er nogle landsdele, hvor modelberegningerne angiver hhv. lille eller stor variation i retentionen i grundvandet.. Dette er vist på Figur 6, hvor der på basis af den beregnede grundvandsretention på gridniveau er beregnet en standard afvigelsen for alle grids, der ligger inden ét ID15 opland. Med en middelstørrelse af ID15 oplandene på 15 km<sup>2</sup>, vil denne opgørelse i gennemsnit være baseret på 60 grid fra DK-modellen.





**Figur 6.** Simuleret grid variation i grundvandsomsætning af kvælstof opgjort pr ID 15.

## 4. Referencer

Højberg, A.L., Windolf, J., Børgesen, C.D., Troldborg, L., Tornbjerg, H., Blicher-Mathiesen, G., Kronvang B., Thodsen, H. og Ernsten, V. (2015) National kvælstofmodel, Oplandsmodel til belastning og virkemidler – Metode Rapport. GEUS.