Vejsalt i grundvandet

En del af de ca. 280.000 tons salt, som hver vinter spredes på vejene, udvaskes til grundvandet. En national opgørelse baseret på vejsaltsforbrug, modellering og grundvandskemi viser, at klorid fra vejsaltet ikke udgør et regionalt eller nationalt problem for grundvandskvaliteten i Danmark. Men i trafikintensive områder kan vejsalt forøge kloridindholdet i grundvandet væsentligt.

Søren Munch Kristiansen
Birgitte Hansen
Flemming D. Christensen

Resultaterne som præsenteres her stammer fra et udviklingsprojekt under den nationale grundvandskortlægning, som har vurderet de danske grundvandsmagasiners sårbarhed over for vejsalt. I marts 2010 blev undersøgelsen publiceret i en GEUS rapport /1/. Undersøgelsen er foretaget af Geologisk Institut, Aarhus Universitet, Rambøll og GEUS på vegne af By- og Landskabsstyrelsen under Miljøministeriet.

Det er hovedsagelig klorid fra vejsaltet, som kan påvirke grundvandskvaliteten negativt. Grænseværdien for klorid i drikkevand er 250 mg/l, og er overvejende fastsat af hensyn til smagen. Forurening af vores grundvand med klorid er kritisk, da en forurening i dag vil påvirke grundvandskvaliteten i mange år frem.

I andre skandinaviske lande og i Nordamerika er der de seneste år registreret mange tilfælde af saltforurening af brønde og indvindingsboringer nær hovedveje og større byområder, som skyldes kloridforurening fra veje/2,3/. Forhøjet saltindhold i grundvand er også vidt udbredt i Danmark, og er hidtil altovervejende tolket som indtrængning af havvand fra kyster og salt grundvand fra den dybere undergrund. Vejsaltning er dog også tidligere foreslået som kilden til forhøjet kloridindhold i grundvandet flere steder i landet.

Lovgivning om vejsalt og grundvand

Opbevaring af vejsalt på lagre skal ske under tæt tag og på befæstede arealer, hvor regnvandet ledes til kloakken. Siden 1980-erne, hvor dette blev et krav, er der ikke konstateret grundvandsforurening fra denne type kilde. Den diffuse forurening af grund- og overfladevand, som opstår som følge af selve udspredningen af vejsaltet på veje, fortove og stier er derimod ikke reguleret. Dog er vejsalt forbudt som bekæmpelsesmiddel mod fx ukrudt og snegle pga. risikoen for grundvandsforurening.

I Vandforsyningsloven er det et krav, at indsatsplaner for grundvandsbeskyttelsen skal udarbejdes på baggrund af en nærmere kortlægning af bl.a. forureningstrusler ($ 13 i LBK nr. 1026 af 20/10/2008). Desuden er klorid anført i Grundvandsdirektivet af 12. december 2006, som et bilag II stof /4/ og Det Europæiske Miljøagentur anser indtrængning af saltvand som en stor og forøget trussel imod Europas drikkevandsressourcer.

Vejsalt og tab til grundvand

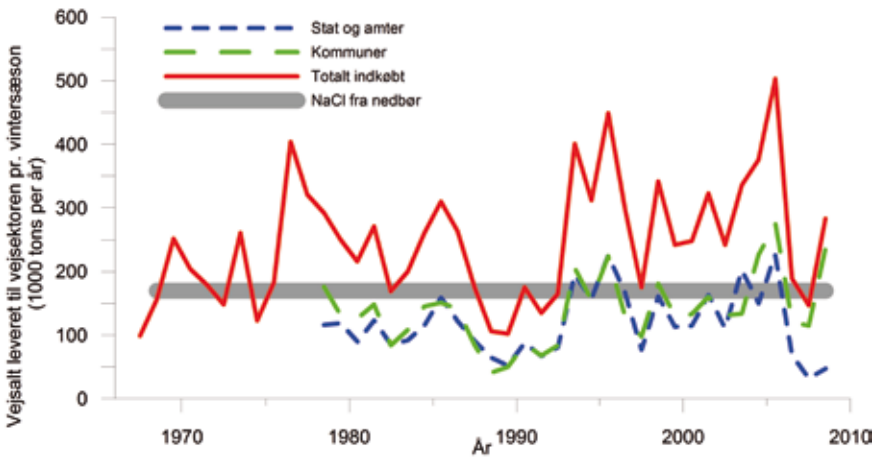
Vejsaltet spredes til det omgivende miljø enten ved overfladisk strømning, sprøjt ud i rabatten eller via vindbårne partikler. Mellem 10 og 50 % tabes til omgivelserne, hvor der er kloakeret langs vejen, mens 80-100 % havner i omgivelserne, hvor der ikke er kloakeret. Tabet af vejsaltet afhænger i høj grad af trafikale forhold som fart, men også vejens udformning samt vindpåvirkningen spiller ind. I danske byområder vurderes det, at omkring 10-20 % af det udbragte vejsalt typisk ender i grundvandet, mens resten af det tabte vejsalt strømmer af i åer og vandløb.

I Danmark startede glatførebekæmpelsen med vejsalt for alvor i midten af 1960-erne, og det er velkendt, at dette påvirker vegetationen langs vejene. Forbruget af vejsalt i Danmark var i gennemsnit i vintersæsonerne 1998/99 til 2008/09 på ca. 280.000 tons per år, men afhænger i høj grad af vintervejret (figur 1). Der bruges således 1,5 til 3 kg vejsalt pr. meter vej pr. år. I kommunerne og staten arbejdes der på at finde alternative metoder til glatførebekæmpelse og begrænse vejsaltsforbruget af såvel miljømæssige som økonomiske årsager.

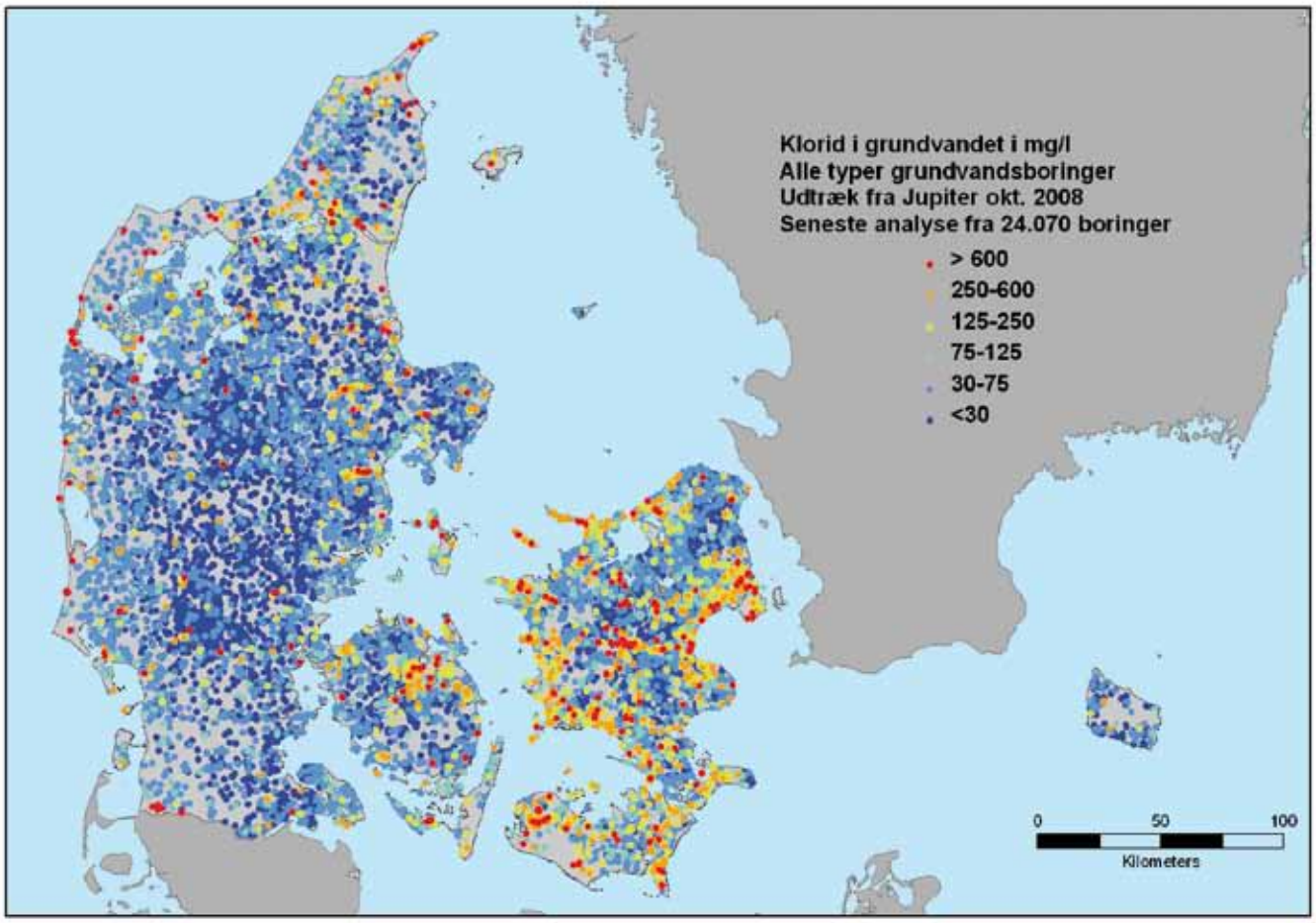
Klorid i grundvandet i Danmark

Grundvand med et kloridindhold under grænseværdien på 250 mg/l forefindes overalt i Danmark (se figur 2). De højeste koncentrationer af klorid (>250 mg/l) i grundvandet forekommer specielt i kystområderne på Sjælland, Lolland, Falster og Møn, den nordøstlige del af Fyn, Lillebæltsområdet, Limfjordsområdet, Skagen Odde og enkelte andre steder i landet.

Den største andel af grundvand med et højt kloridindhold findes i det øverste grundvand med et gradvis fald til ca. 80 meter under terræn (figur 3). Dette indikerer, at den primære kilde til klorid i grundvandet fra ca. 0-80 meter under terræn findes ved jordoverfladen. Samtidig ses en stigning i den procentvise andel af høje klorid koncentrationer



Figur 1. *Totalleverancer af vejsalt til det offentlige i vintersæsonerne 1966/67-2008/09. Saltet er ikke nødvendigvis brugt det år det indkøbes. En gennemsnitlig atmosfærisk deposition af klorid estimeret af T. Ellerman, Aarhus Universitet til hele Danmarks landareal er vist til sammenligning.*



Figur 2. *Geografisk fordeling af seneste kloridanalyse fra alle typer grundvandsboringer fra i alt 24.070 indtag inddelt i 6 koncentrationsintervaller. Højeste kloridværdier er afbilledet øverst. Baseret på dataudtræk fra JUPITER d. 7. oktober 2008.*

fra 90 til >100 meter under terræn. Dette indikerer, at den primære kilde til klorid i de dybere vandførende lag findes i det underliggende grundvand med endnu højere kloridindhold.

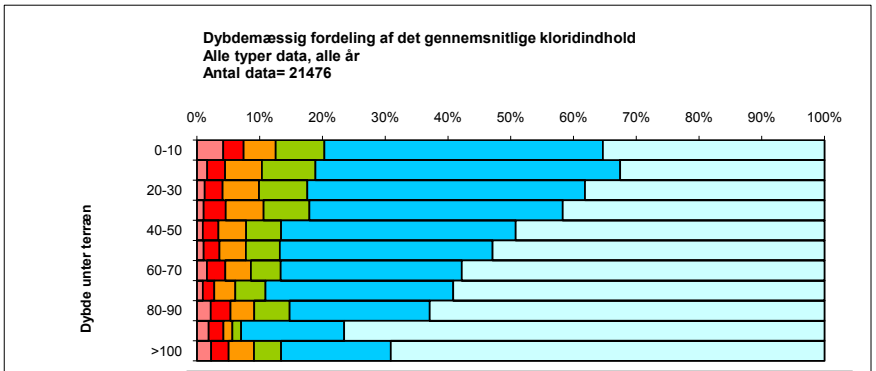
Indikatorer på saltkilder

Analysen af mulighederne for at adskille kloridkilder ved kemiske indikatorer viser, at især udviklingen i klorid-bromidforholdet i grundvand er en god indikator på årsagen til forhøjet kloridindhold (Figur 4 samt /3/). En stigende kloridkoncentration i et grundvandsmagasin (med enten dybden eller med tiden) vil nemlig følges af en udvikling i bromid-klorid forholdet, som i teorien vil følge enten opblandingskurve for vakuumsalt (typisk 40 % af vejsalt), regnvand eller havvand. En sådan udvikling kan derfor bruges som en indikator på årsagen til en stigende kloridpåvirkning.

En række andre stoffer, isotoper og forhold mellem grundstoffer i grundvandet kan også være brugbare indikatorer. Herunder er grundvandets ionbytning (forholdet mellem natrium og klorid) en god indikator på ændret kloridpåvirkning af grundvandet, idet omvendt ionbytning indikerer indtrængning af kloridholdigt vand i et mere ferskt grundvandssediment.

Risikovurdering i Storkøbenhavn

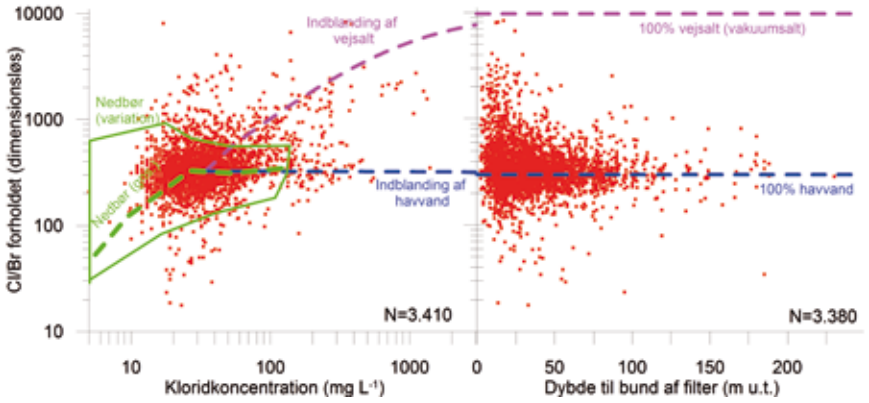
Der er i projektet udviklet et risikovurderingsværktøj, som på oplandsskala kan vurdere risikoen fra vejsaltning samt mulige tiltags virkning på grundvandskvaliteten (se detaljer i /1/). Værkstedsområdet ligger inden for Vestegnens kommuner, som deltager i Vestegnens Vandsamarbejde I/S (Albertslund, Brøndby, Glostrup, Hvidovre, Rødovre og Vallensbæk). Risikovurderingsværktøjet bygger i hovedtræk på tre trin: En kildestyrkemodel, en model for umættet strømning og en model



Dybde under terræn	>100	90-100	80-90	70-80	60-70	50-60	40-50	30-40	20-30	10-20	0-10
> 600 mg/l klorid	9	4	7	5	15	16	21	34	55	77	125
250-600 mg/l klorid	11	5	10	10	27	38	57	114	126	133	97
125-250 mg/l klorid	16	3	12	18	38	63	100	194	257	273	153
75-125 mg/l klorid	17	3	18	26	44	81	127	235	341	399	232
30-75 mg/l klorid	69	35	71	162	268	507	849	1300	1961	2268	1327
<= 30 mg/l klorid	273	163	200	320	537	792	1118	1344	1691	1520	1055

Antal indtag

Figur 3. *Dybdemæssig fordeling (m.u.t. til toppen af indtag) af det gennemsnitlige kloridindhold (mg/l) i grundvandsboringer inddelt i 6 koncentrationsintervaller fra i alt 21.476 indtag. Antallet af indtag i hvert koncentrations- og dybdeinterval er angivet. Baseret på dataudtræk fra JUPITER d. 7. oktober 2008.*



Figur 4. *Forholdet mellem klorid og bromid (mg/l mod mg/l) i dansk grundvand vist som funktion af hhv. kloridkoncentrationen og dybden til bunden af filteret. Desuden er vist forholdet i regnvand, havvand og vakuumsalt baseret på et litteraturstudie /1/. Baseret på udtræk fra JUPITER den 7. oktober 2008.*

for strømning i mættet grundvandszone. Dog er modellen for umættet strømning slået sammen med selve kildestyrkemodellen.

En stor del af usikkerheden for risikovurderingen ligger i kildestyrkemodellen. Herunder især vejsaltforbruget tilbage i tiden, fordeling af forbruget på vej og sti, samt vurderingen af tabet af vejsaltet til omgivelserne. Estimering af tabsprocenter af vejsalt til forskellige vejtyper er baseret på et litteraturstudie. Det er vurderet, at der i det meget urbaniserede Vestegnsområde, vil være et tab af vejsalt til grundvandet på 10-20 % af det samlede forbrug. Der er dog et stort behov for at opbygge mere troværdige massebalancer og for bedre vurdering af tabet af vejsalt til de omgivende recipienter for de forskellige vejtyper.

Inden de egentlige modelsimuleringer sættes op og køres, udføres en simpel overslagsberegning med det formål at vurdere om stofbelastningen er stor nok til at udgøre et problem for vandforsyningerne og om kildestyrkemodellen er rimelig. I grundvandsmodellen er implementeret tidsserier med det estimerede vejsaltsforbrug for Vestegnens Vandsamarbejde som bygger på data indhentet fra kommunerne, amter og staten. Ved tab til grundvandet på 10-20 %, ses et ekstra kloridbidrag fra vejsalt til grundvandet på mellem 40 og 125 mg/l (se figur 5). Hertil skal lægges baggrundskoncentrationen af klorid samt klorid fra residualt havvand, lossepladser, m.v. som ikke er medtaget i figuren. Resultaterne indikerer, at vejsalt kan bidrage til et problem for kvaliteten af Københavnsområdets grundvand, især hvis vejsalt ikke er den eneste kloridkilde.

Kloridforurening af grundvand under Vestegnskommunerne

Grundvandsmodellen med en kildestyrkemodel for vejsalt er kørt fra 1965 til 2007/08 med en tabsprocent på 15 % af vejsalt til grundvandet. Der er udført en række prædikative simuleringer, der illustrerer konsekvenserne for grundvandsressourcen. For det første af en fortsættelse af det nuværende vejsaltsforbrug, dernæst af et reduceret forbrug (fx 75 %, 50 %, og 25 %) eller for det tredje ved et reduceret forbrug inden for udpegede sårbare zoner (fx ved stor grundvandsdannelse).

Simulering med scenariet: "Fortsættelse af det nuværende vejsaltsforbrug" viser, at de bynære områder bliver påvirket af vejsaltningen men i stærkt varierende grad (figur 6). Ved de større vejbanefletninger kan der dannes en fane af klorid med koncentrationer over 100 mg/l.

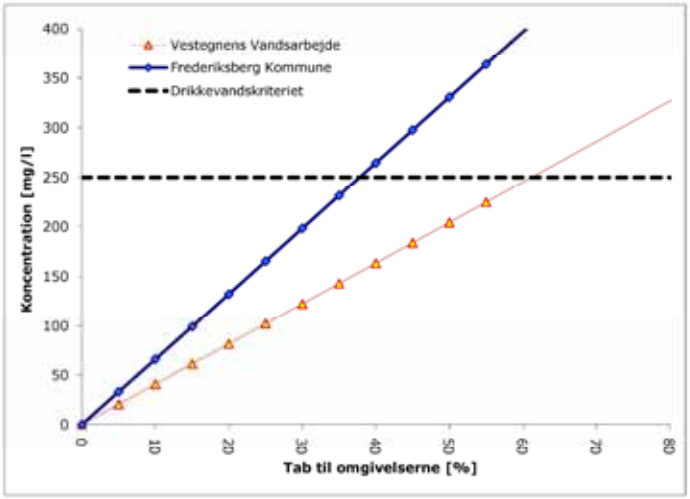
Figur 7 viser en såkaldt gennembrudskurve for en boring nær en motorvej i år 2030. Her ses, at ikke engang om 20 år er der opnået en stationær situation, idet der i gennemsnit stadigvæk er en svag stigning i kloridkoncentrationen, primært forårsaget af fortynding med kloridfattigt, gammelt grundvand. Bidraget til kloridbelastning af grundvandet må derfor forventes at stige i de kommende år med et vejsaltforbrug svarende til det nuværende forbrug. Fordobles tabet af vejsalt til fx 30 % fordobles det resulterende kloridindhold i grundvandet tilsvarende (se figur 6). På figur 7 ses desuden, at der i fremtiden skal ske store reduktioner i saltforbruget for at halvere koncentrationsniveauet i 2060.

Er vejsalt en trussel mod grundvandet?

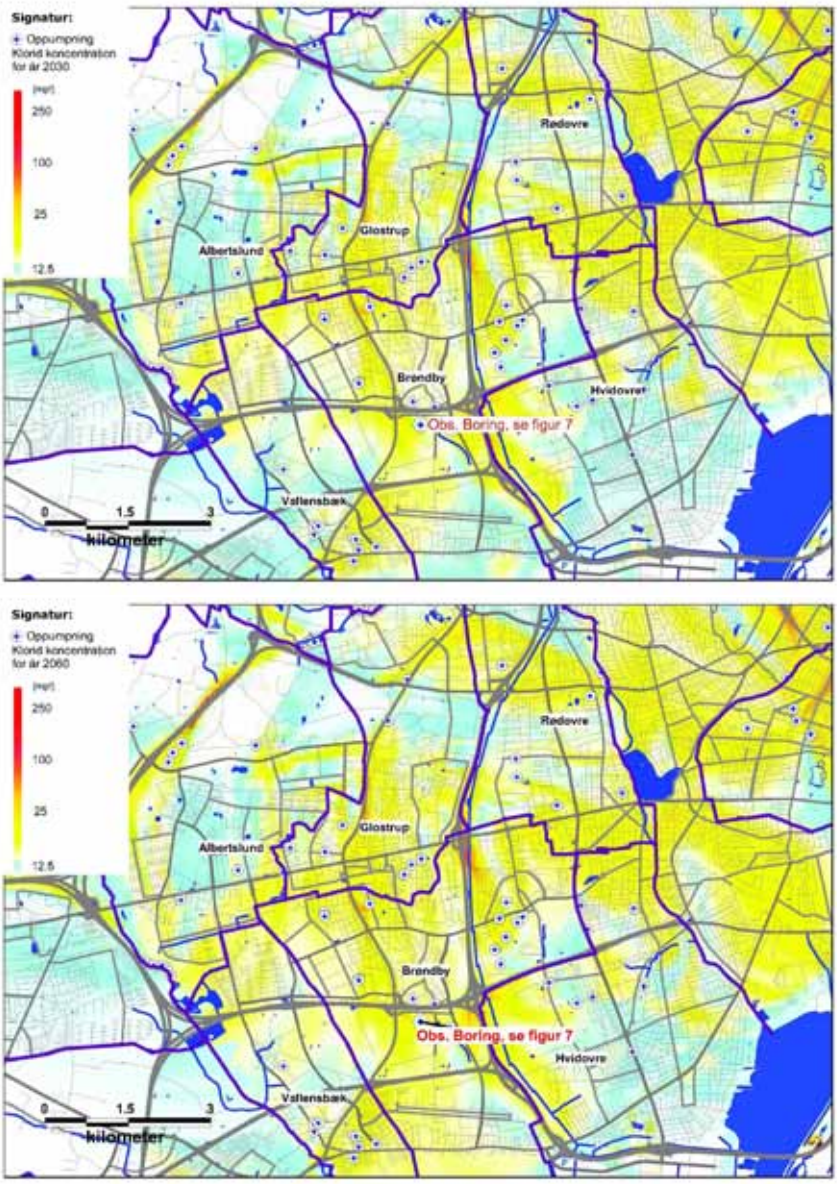
Vejsaltning udgør sandsynligvis ikke i dag en national eller regional trussel imod grundvandsressourcen. I områder med mange trafikintensive veje kan der lokalt opstå forhøjede kloridkoncentrationer, som afhænger af det aktuelle tab af vejsalt til grundvandet. Dog skal der iflg. modelleringerne andre betydelige kloridkilder til, som fx intensiv indvinding af grundvand og medfølgende op-/indtrængning af saltholdigt grundvand /6/, før vejsalt vil udgøre et egentligt problem for grundvandskvaliteten.

En mere præcis kvantificering af påvirkningen af vores grundvand fra klorid i vejsalt kræver feltundersøgelser i et større byområde. Herved kan tabet af vejsalt til grundvandet bedre vurderes, ligesom flere grundvandskemiske analyser af indikatorstoffer i eksisterende boringer vil kunne give mere viden om påvirkningen fra vejsalt på grundvandets kvalitet.

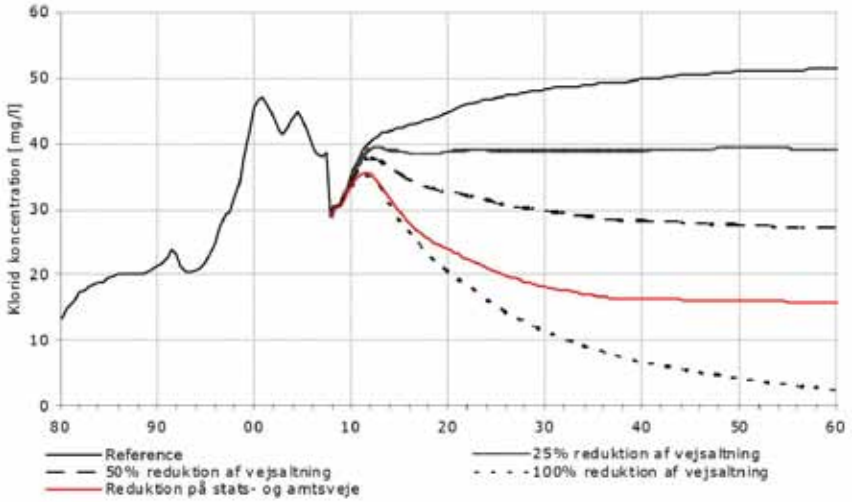
Der er i Danmark også behov for vurdering af andre miljømæssige effekter af vejsaltningen end klorid i grundvand. Der er fx brug for fokus på påvirkningen af de jordbundsmæssige forhold, vejtræer og anden vegetation langs vejene, terrestriske økosystemer og overfladerecipienter som søer og vandløb, hvortil vejsaltet også spredes. Fx vides det ikke, hvorvidt natrium fra vejsalt langsomt gør større og større jordvolumener langs vores veje mere salte, og dermed forøger proble-



Figur 5. *Simpel massebalance til vurdering af størrelsesordenen af forventede kloridkoncentrationer i grundvandet forårsaget af vejsaltning /1/. Beregningen for Frederiksberg på baggrund af /5/.*



Figur 6. *Kloridkoncentrationer i Vestegnens grundvand i hhv. 2030 og 2060 forårsaget af vejsalt, forudsat vi fortsætter det nuværende forbrug og tabet til grundvandet er 15 %.*



Figur 7. *Gennembrudskurve for observationsboringen markeret med rødt i figur 6, som viser modellerede kloridkoncentrationer på baggrund af vejsaltsforbruget 1980-2007, samt udviklingen 2008-2060 ved det nuværende forbrug (fuldt optrukken tyk linje). Scenarier forårsaget af forskellige reduktioner i vejsaltsforbruget er også vist. Der er ikke medtaget baggrundskoncentrationen.*

merne med døde træer. Fra udlandet vides det også, at stigende baggrundskoncentrationer af klorid i søer og åer langsomt med tiden kan påvirke økosystemerne negativt /7/.

Resultaterne fra denne undersøgelse viser, at der bør være mere fokus på klorid i grundvandet i forhold til kravene i Grundvandsdirektivet og Vandrammedirektivet om bedømmelse af langsigtede udviklingstendenser.

Litteratur

/1/ Kristiansen, S.M., Christensen, F.D. & Hansen, B., 2009: Vurdering af danske grundvandsmagasiners følsomhed overfor vejsalt. GEUS særudgivelse. http://gk.geus.info/grundvandskortlaegning/index.html. 107 sider.

/2/ Howard, K.W.F. & Maier, H., 2007: Road de-icing salt as a potential constraint on urban growth in the Greater Toronto Area, Canada. Journal of Contamination Hydrology 91, 146-170.

/3/ Olofsson, B., 1999: Metoder för differentiering av salt grundvatten i Sverige. Sveriges Geologiska Undersökning (SGU). Slutrapport, projekt 03-853/14.

/4/ Grundvandsdirektivet 2006/118/EF, artikel 5 og bilag 2.

/5/ Frederiksberg Kommune, 2007: Vurdering af risikoen for kloridpåvirkning af grundvandet, Frederiksberg kommune - samt en vurdering af udviklingen i grundvandet i forhold til drikkevandsproduktionen. Watertech. 41 sider.

/6/ Klitten, K., Larsen, F., Sonnenborg, T.O. 2006: Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, hovedrapport: resume af delrapporternes resultater og konklusioner samt perspektivering. GEUS rapport 2006/20. 79 sider.

/7/ Jackson, R.B.& Jabbogy, E.G. 2005: From icy roads to salty streams. PNAS 102: 14487-14488.

Søren Munch Kristiansen, lektor, ph.d., Geologisk Institut, Aarhus Universitet smk@geo.au.dk. Uddannet geolog. Har været hos Danmarks JordbrugsForskning, Rambøll og nu Geologisk Institut.

Birgitte G. Hansen, seniorforsker, ph.d., GEUS, bgh@geus.dk. Uddannet geolog. Har været hos Forskningscenter for Økologisk Jordbrug, Aarhus Amt og GEUS siden 2007.

Flemming Damgaard Christensen, Projektleder, ph.d., Rambøll A/S fdc@ramboll.dk. Uddannet civilingeniør. Har været hos Rambøll siden 2005.