

Vandbehandling

- fra regnvand til drikkevand

J. C. Blandfort og Knud Pedersen, DGE Group

Da Harald Blåtand (911-987) arvede tronen efter sin fader Gorm den Gamle og samlede og kristnede danerne, havde man også regnvejre i Danmark. En del af regnen sivede ned i undergrunden og dannede grundvand, som man i nutiden indvinder i 85 meters dybde ved Rugballegård uden for Horsens by og renser ved traditionel dansk vandværksbehandling for at levere det som drikkevand til Horsens bys indbyggere. Der er således tale om uforurennet grundvand.

Ca. 900 år efter at Harald Blåtand begyndte den industrielle udvikling i Danmark, hvor blandt andet den kemiske industri begyndte at dukke op i Danmark og gennem det sidste århundrede, har vi mennesker udnyttet kemi i vor higen efter bedre og lettere livsbetingelser. Vi troede, at vi kunne besejre naturen blandt andet med kemiske produkter, så vi glemte at leve i takt med naturen. Vi troede, at naturen kunne kapere og rense alle vore kunstigt fremkaldte produkter, som vi benyttede os af og spildte somme tider i stor mængde, bare vi fik det lettere og ikke blev slidt op i samme unge alder, som vore forfædre blev det.

Vi er blevet klogere

I det sidste halve århundrede er vi imidlertid blevet ret så meget klogere. Vi har således lært, at naturen ikke kan kapere og rense op efter vore forsømmelser med forurening med de industrielt frembragte kemikalier. Mange steder i Danmark som fx på øen Endelave indvinder man grundvand, som er dannet gennem de seneste årtier, hvorfor det kan være belastet med afsmitning af de menneskelige aktiviteter, som vi netop nu foretager os.

Der er en politisk beslutning i Danmark om kun at udnytte uforurennet grundvand til fremstilling af drikkevand. I nærværende artikel skal der redegøres for de tiltag, som skal iværksættes, når vi producerer godt drikkevand på grundvandsværker, der er bygget efter dansk tradition, hvor vi tilsligter



Rugballegårdværket (1976) i Horsens er placeret i et industriområde, hvorfor vandbehandlingens sker i et lukket kredsløb, hvor der benyttes ren oxygen til iltning af vandet. Herefter dobbeltfiltreres det iltede vand på høje lukkede filtre. Vandværket behandler grundvand, der er henholdsvis ca. 1.000 og 1.200 år gammelt fra to forskellige grundvandsmagasiner. (Foto: Ulla V. Hjuler)

at bruge naturens egne processer uden til sætning af kunstige kemikalier.

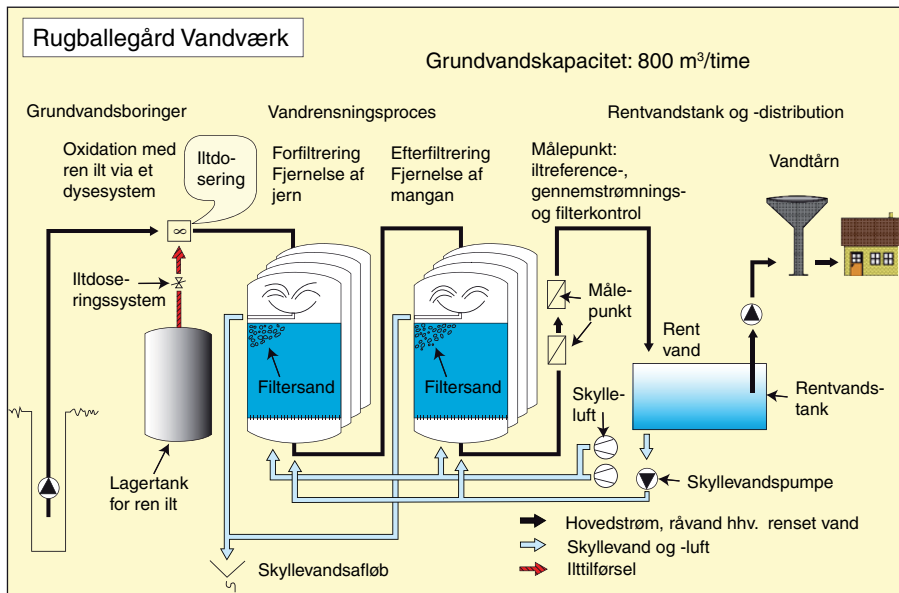
Bestemmelse af grundvandets alder

I gennem de senere år har der været snakket meget om grundvandsmagasineres sårbarhed, og om hvordan grundvandet kan beskyttes mod forurening. Hvis man derfor vidste, hvor lang tid vandet har været undervejs, fra det faldt som regn, og til det pumpes op fra borerne, så ved man med sikkerhed, om det kan have været udsat for

moderne tiders forurening.

DGE har for en række vandværker forestået en aldersdatering af grundvandet, som er udført ved kulstof-14-datering på AMS 14C Dating Centre, Aarhus Universitet. Formålet med disse aldersdateringer har været formodninger i enkelte tilfælde om en forureningstrussel og i andre tilfælde på grund af, at den kommunale planlægning af nye industriområder ikke tog hensyn til beliggenheden af eksisterende vandværkers borer. I et enkelt tilfælde er dateringen

Lokalitet	Dybde på placering af boringsfilter (m)	¹⁴ C-alder År	Kommentarer
Endelave	Ca. 25 - 30	< 50	
Give	Ca. 75	Ca. 400	Der kan være sammenblanding af ældre og yngre vand
Bjerrbro ved Brædstrup	Ca. 70 - 90	750 - 800	
Rugballegård ved Horsens	85 - 110	1.000 - 1.600	Der er tale om to adskilte magasiner
Højballegård ved Horsens	115 - 170	1.250 - 2.800	Der er tale om mindst to adskilte magasiner
Brande	115	Ca. 1.800	
Brædstrup Vandværk	Ca. 100	Ca. 2.500	
Holsted	Ca. 180	Ca. 3.000	



Principskitse over Rugballegård Vandværk. (Grafik: UVH modificeret efter folder fra værket)

brugt til en vurdering af vandets kvalitetsmæssige stabilitet over længere tid. Resultaterne er vist i tabellen på foregående side.

Når man finder grundvand, der er et par tusinde år gammelt, som fx ved Brædstrup Vandværk, kan man være sikker på, at det på nuværende tidspunkt er godt beskyttet mod forurening. Dette betyder imidlertid ikke, at man bare kan forurene løs i dette område.

Det fortæller nemlig også, at om et par tusinde år vil menneskene, som lever til den tid, forbande os som værende nogle svin, der ødelagde naturen og deres drikkevand, hvis den overfladenære forurening ikke stoppes i vor livstid. Man skal tænke på de næste 100 til 200 generationer, som jo også gerne skulle bo i Danmark.

Naturligt uforurennet grundvand?

Grundvandet er som nævnt dannet af ned-sivende regnvand – næsten destilleret vand normalt med et CO₂-indhold, som først passerer igennem naturens vækstlag, hvor det bliver påvirket af muldjordens processer. Det kan ses fx på vandkvaliteten i indholdet af metan, ammonium og højt indhold af CO₂, som er bestemmende for vandets pH-værdi. Herefter siver vandet dybere og reagerer med jordlagenes indhold af CaCO₃, som bibringer vandet temporær hårdhed i form af opløste calcium- og hydrogenkarbonat-ioner. Hvis det ned-sivende vand indeholder ilt eller nitrat, vil der kunne ske en iltning af pyrit (FeS₂), som giver vandet et indhold af jern og sulfat. Omvendt vil et indhold af bakteriologisk omsætteligt orga-

nisk stof kunne forbruge sulfatens iltindhold under dannelse af svovlbrinte, der igen danner pyrit med jern. Der er således mulighed for en lang række processer, som langsomt vil kunne foregå og give vandet et indhold af opløste salte.

Den geokemiske afsmittning fra de forskellige jordlag giver mange mulige sammensætninger af grundvandet rundt om i Danmark. Vi er fortrolige med disse sammensætninger og med, hvordan vi skal rense det for svovlbrinte, metan, jern, ammonium og mangan samt neutralisere aggressiv CO₂, hvor en mere end 100-årig tradition efterhånden har udmøntet sig i en dansk teknologi for grundvandsrensning, dog således at hver leverandør har sit eget design.

Den geokemiske afsmittning betyder imidlertid også, at der i grundvandet kan forekomme om end meget små mængder af stoffer, som man i dag tillægger en sundhedsrisiko. Ud fra gældende regler, som forudsætter, at man kan drikke vandet gennem sit hele liv uden at tage sundhedsmæssigt skade heraf, ser man i dag problemer i visse områder med indholdet af arsen. I andre områder er nikkel et problem på grund af pyrit-oxidation i grundvandsmagasinet. Endelig skal nævnes fluorid, som er et problem, der skal tages ret så alvorligt.

Uforurennet grundvand kendetegnes ved, at man i dag med alle vore fine målemetoder ikke kan påvise alle de syntetiske kemikalier, som mennesket har frembragt. Endvidere kræves der også, at grundvandet ikke er blevet påvirket ved menneskeskabte aktiviteter ved udnyttelse af naturens rigdomme fx tidligere tiders brunkulsgravning.

Uforurennet grundvand kan imidlertid godt indeholde stoffer, som man har svært ved at forstå, at naturen selv frembringer. For mere end 10 år siden påviste hollandske



Lukkede efterfilter på Rugballegårdværket. (Foto: UVH)

Lukkede forfiltre på Rugballegårdværket. Filtrene har et filterareal på 10 m², et filtrerende lag på 2,8 m, og det drives med 150 m³/time på hver af de 4 filtre. (Foto: UVH)

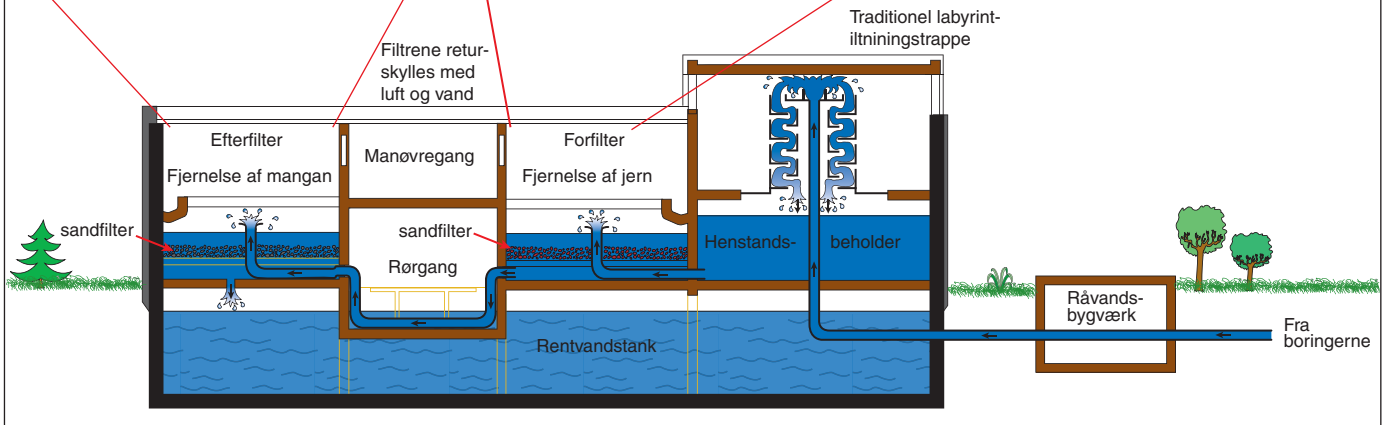




A) Efterfilter på Højballegårdværket. I filtret fjernes mangan ved en kombineret proces af ion-bytning og iltning med manganbakterier. Processen sker i de sorte belægninger af manganoxider.

B) Åbne forfiltre på Højballegårdværket. I filtrene fjernes grundvandets jernindhold i en kemisk katalytisk proces.

Højballegårdværket



Snittegning af Højballegårdværket. (Grafik: UVH modificeret efter tegning fra Højballegårdværket)

forskere, at i kloridholdige aflejringer ville der kunne ske en naturlig bakteriologisk omsætning af organisk stof, der som et biprodukt producerede kloroform (CHCl_3), og sjovt nok kan det påvises i grundvand under fyrreplantager – selv i stor dybde.

Den danske tradition for behandling

Den danske vandværksteknologi er udviklet til, gennem naturens egne processer uden

tilsætning af kemikalier, at producere godt drikkevand ud fra grundvand.

Igennem tidernes Danmark har hver vandværksleverandør udviklet sit eget vandværksdesign, hvorfor landets utallige vandværker i det ydre ikke nødvendigvis ligner hverandre, men indendørs er princippet det samme. Filtreringsprocessen sker i henholdsvis åbne filtre eller lukkede filtre gennem tiderne udført i mange forskellige typer

og designs, som alle bygger på mesterlære, hvor generation efter generation forsøger at forbedre værket.

Det er først i det seneste årti, at man videnskabeligt er begyndt at forske i vandværkets processer for at få en bedre forståelse af, hvad der sker i selve vandværksfiltret. I en tidligere artikel i dette blad (4/07) er beskrevet alle observerede muligheder for jernudfældninger, og dette forskes der bl.a.

Typisk vandværk

Et dansk vandværk består normalt af en iltningstilstand, som i enkelte tilfælde er udformet til også at afblåse uønskede gasser såsom svovlbrinte og metan. Fra denne installation ledes vandet til sandfiltre og gennemgår en enkelt eller dobbelt filtrering alt efter grundvandets beskaffenhed. Og så sørger naturen for gennem bakteriologiske og kemiske processer, at vandet bliver drikkeligt uden risiko for vort helbred.

Hvis der er aggressiv CO_2 i vandet, neutraliseres dette som oftest med kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) eller med produkter af brændt dolomitkalk ($\text{CaCO}_3, \text{Mg}(\text{OH})_2$)

De få steder, der er humus i grundvandet, koaguleres dette med aluminium eller jern for at opnå mulighed for at frafiltrere humus.



Højballegårdværket (1970) i Horsens er bygget i traditionel stil med iltningstrappe og dobbeltfiltrering på åbne filtre. Vandværket behandler 1.000 - 2.000 år gammelt grundvand og er det største vandværk uden for Københavnsområdet. (Foto: UVH)

videre i for at forstå, hvorfor man af og til konstaterer, at filtermassen er sammenlignelig med en bakteriologisk zoologisk have bl.a. forårsaget af bakterieslim fra jernbakterier.

Siden 2003 har der været skærpede krav til indhold af ammonium (NH_4^+) i drikkevandet, idet det fremover skal omsættes til nitrat (NO_3^-) for at undgå nitrit (NO_2^-) i vandet. Der er tale om en naturlig bakteriologisk proces, der sagtens kan foregå i et vandværksfilter, såfremt der er plads nok, og de rette livsbetingelser for bakterierne er til stede. Det volder problemer at overholde det skærpede krav på en række vandværker, idet disse er bygget før kravet kom, men ofte lykkes det alligevel at nå målet ved omlægning af driften.

Mangelfuld omsætning af NH_4^+ til NO_3^-

I det følgende vil vi prøve at forklare vandværksprocesserne på en utraditionel måde, som måske kan bedre forståelsen for, hvorfor der kan være problemer med den bakteriologiske omsætning af ammonium til nitrat.

Grundvand

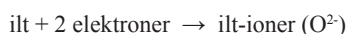
Grundvandets bestanddele, som vi har mulighed for at gøre noget ved under den traditionelle danske vandbehandling, er

1. Svovlbrinte
2. Metan
3. Jern
4. (organiske bakteriebelægninger – bivirkning i mange filtre)
5. Ammonium
6. Mangan

Der er tale om en prioriteret rækkefølge, som ikke kan ændres. Der er endvidere tale om redoxprocesser, hvor:



Hvilket i vandværkets processprog betyder for vort drikkevand, at alle stabile stoffer skal være "fattige på elektroner" svarende til, at stofferne er iltede igennem i det iltrige miljø. Elektronerne spises på en eller anden måde af vandets iltindhold:



Ryk tilbage til start

Vandværksprocessen drejer sig i al i enkelthed om at flytte elektroner fra en række stoffer over til vandets iltmolekyler. Det lyder simpelt i teorien, men kan være forbandet svært i praksis. I gamle dages kemibøger lærte vi om Spændingsrækken – det er den, vi skal

følge, og det er derfor, at reaktionerne forløber i en bestemt rækkefølge.

Problemet er imidlertid feltet, som er brugt i mange børnespil: **RYK TILBAGE TIL START**, thi det kan også forekomme i et vandværksfilter – og så går der "kagemand" i processerne.

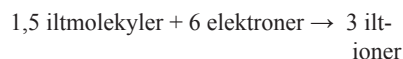


Filterfront på Højballegårdværket. Filtrene har en behandlingskapacitet på ca. 1.100 m³/time. (Foto: UVH)

Procesrækkefølge

1. Svovlbrinte

Der er tale om en prioriteret rækkefølge i behandlingsprocessen, hvilket reelt betyder, at når man ilter grundvandet, vil elektronerne lettest afgives af svovlbrinte, såfremt dette ikke afblæses 100 % under beluftningen:



Processen er bakteriologisk, idet svovlbakterier transporterer og udnytter energien fra elektronerne, når disse omsættes med vandets iltmolekyler.

2. Metan

Herefter afgives elektronerne fra metan, såfremt det ej heller afblæses 100 % under beluftningen:



Processen er bakteriologisk, da metanbakterier udnytter elektrontransporten. Metanbakterier er kendt for at danne bakterieslim (exopolymere sukkerforbindelser), som beskadiger filtermaterialet, og som fremmer bakterievækst i filtrene.

3. Jern

Med hensyn til elektronafgivelsen fra jern er der to muligheder, idet der vil være en kamp mellem biologisk afjerning (bakterier) og kemisk afjerning.



Også vandværkerne har brug for at lade idéerne gro

Gode idéer der udspringer af erfaring og ekspertise fører frem til frugtbare løsninger. Vand-Schmidt har specialiseret viden inden for:

- Vandforsyningsanlæg
- Brøndboring
- Ledningsanlæg
- Projektering/rådgivning
- Service

- ring og få gode råd og uforbindende tilbud



Vand-Schmidt a/s
Jernbanegade 5 • 6070 Christiansfeld
Tlf. 74 56 11 11 • Fax. 74 56 32 69



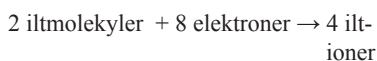
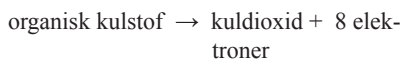
Skyllevandsbehandlingsanlæg på Rugballegårdværket. I anlægget bundfældes jernslammet i skyllevandet, således at vandfasen kan udledes til den nærliggende Torsted Bæk. (Fotos: UVH)

Vinderen af kampen mellem de to mulige afjæringsprocesser er *den hurtigste proces*, hvilket bestemmes af vandets pH-værdi og redoxpotentiale. Ofte vil der være tale om en kombination af de to processer.

Den biologisk afjæringsproces danner bakterieslim (exopolymere sukkerforbindelser), som, vi har set forskellige steder, giver vækst af mikrobiologiske svampe og skimmel, der nedbryder stoffet i mindre bestanddele, der efterfølgende er "mad" for bakterier.

4. Organiske belægninger fra ovennævnte processer

Herefter kan så følge "the dark horse", idet der fra ovennævnte dannede organiske stof fra de biologiske processer skal omsættes:



Det organiske stof sidder normalt som *biofilm* på filtermaterialet. Biofilmen har

en tykkelse på få μm (1/1000 mm) og er normalt kendetegnet ved at være anaerob på indersiden. Dette betyder, at der absolut ingen iltmolekyler er til stede hér.

Iltforbruget til processerne hentes først og fremmest fra nitrat-ilt, og når dette er opbrugt så fra sulfat-ilt:

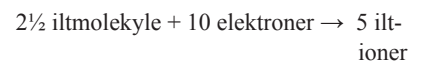
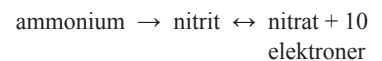


Foregår disse processer i vandværkets filtre, vil den efterfølgende omdannelse af ammonium til nitrat og iltning af mangan blive mangelfuld – til tider være helt væk og måske først kunne ske i vandværkets rentvandstank.

Det er her vi har feltet "Ryk tilbage til start" – altså at rækkefølgen af processer skal begynde forfra, hvis vi ikke passer på.

5. Ammonium

Herefter følger ammonium-omsætningen til nitrat. Der er tale om en bakteriologisk flertrinsproces:



Processen foregår som sagt ved hjælp af specielle bakterier, som gør brug af et kobberholdigt enzym til elektrontransporten.

Dette kobberholdige enzym forgiftes af svovlbrinte og sulfidsvovl.

Endvidere kan enzymets kobberatom kun fungere som transportør af elektroner, når vandets redoxpotentiale er $> +90 \text{ mV}$. Det betyder, at alle andre "elektronprocesser", der kan foregå i et vandværksfilter ved lavere redoxpotentiale, skal være 100 % tilendebragt, før end kobberatomet bliver tilgængeligt.

Da der er tale om en bakteriologisk proces, er der så også tale om, hvor meget ammonium der per time kan omsættes i et filtervolumen. De danske erfaringer udsiger her:



Vi borer over hele landet..!

- Kerneboringer
- Hulsneglsboringer
- Højslevboring
- Tørboring
- Luftslyleboring
- Skylléboring

- ring og hør nærmere...



POUL CHRISTIANSEN A/S
Brøndborer- &
Ingeniørfirma
7840 Højslev
Tlf. 97 53 52 22

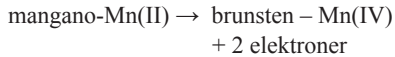
100 år

- din sikkerhed for erfaring og kompetence...

Og det skal der være plads til i filterinstallationen, ellers bliver processen mangelfuld. Herefter vil manganfjernelsesprocessen også blive mangelfuld.

6. Mangan

Manganfjernelsesprocessen er en kombination af en kemisk ionbytningsproces og en bakteriologisk iltningproces:



Bakterierne, der ilter mangan, gør brug af et kobberholdigt enzym, der forgiftes af svovlbrinte og et større indhold af nitrit.

Dette betyder, at mangelfuld omsætning af ammonium \rightarrow nitrit \rightarrow nitrat betyder ufuldstændig manganfjernelse.

Afhjælpning af mangelfuld omsætning

Redoxpotentialmålinger gennem vandværkets processtrin kombineret med en

beregning af mulig plads for processerne vil normalt afdække, hvor problemet er.

Erfaringen giver følgende håndregler (krav til processerne):

1. Ved biologisk afjerning skal der være dobbeltfiltrering, således at ammoniumomsætningen kan foregå i efterfiltret.
2. Ved biologisk afjerning skal forfiltret skylles mindst hver anden dag.
3. Hvis der er mulighed for dannelse af bakterieslim i filtret, skal der skylles meget omhyggeligt og i lang tid med luft for at gnubbe biofilmen af filtermaterialet.
4. Periodelvis bør der foretages to skylninger efter hinanden for at vurdere effekten af den normale skylning.
5. Der skal være effektiv ventilation i vandværkets beluftningsrum og filterrum, således at svovlbrinte i rumluften ikke forekommer, idet svovlbrinten genopløses i vandet – svarende til at rykke tilbage til start.
6. Der må ikke være mulighed for stagnationsvand (fx. i bunden af trykfilter) noget steder i procesforløbet. Stagnationsvand kan



Tankanlæg for oxygen på Rugballegårdværket. (Foto: UVH)

resultere i, at vandets iltindhold bliver forbrugt, hvorefter ammonium passerer filtret uomsat.

7. Jernudfældningerne fylder for meget, så der ikke bliver plads til omsætning af ammonium. Det er et spørgsmål om at returskylle ofte nok.

Ovennævnte erfaringer er med succes udnyttet til problemløsning på en række danske vandværker.

Kort nyt

Lurende miljøkatastrofe i Østersøen

Under en orkan i Sortehavet 11. november brækkede en mindre russisk olietanker midt over ud for den ukrainske havneby Kertj. Tankskibet lækkede op imod 2.000 tons olie. Da tre andre fragtskibe, der transporterede svovl også sank i det voldsomme vejr med op til 6 meter høje bølger, blev der udløst katastrofealarm. 7.000 tons svovl menes at være strømmet ud i Sortehavet. De russiske myndigheder og miljøorganisationen Greenpeace betegnede udslippene som en miljøkatastrofe.

Med olie- og svovlforureningen i Sortehavet rettes søgelyset på ny mod Ruslands

eksplosivt voksende olietransport igennem de indre danske farvande. Tankskibstrafikken i Østersøen er nemlig de senere år vokset eksplosivt.

Ifølge Søværnets Operative Kommando er mængden af olie, der transporteres igennem de danske farvande siden 2002, fordoblet. Det er sket i takt med, at væksten i den russiske olieeksport fra udskibningshavnen Primorsk, nordvest for Sankt Petersborg, er steget kraftigt.

I dag sender Rusland dagligt 1,5 mio. tdr. råolie fra Primorsk i Finskebugten ad den såkaldte rute T gennem Storebælt. Om få år, når olieudskibningshavnen i Primorsk

er fuldt udbygget, vil Rusland årligt kunne udskibe 150 mio. tons råolie, som skal sejles gennem Østersøen, Storebælt, Kattegat og Skagerrak.

Selv om de fleste tankskibe, også de russiske, er dobbeltskrogede, så er der ingen garanti mod olieudslip i forbindelse med boringer, omlastninger på åben sø eller kæntringer i hårdt vejr.

De danske myndigheder står stort set magtesløse over for den stærkt stigende russiske olietrafik, og end ikke lodsvang kan gennemføres, fordi Storebælt er klassificeret som internationalt farvand.

JP/SLJ



vi gør din jord grøn igen!

meldgaard tilbyder et totalkoncept til jordrens.

Det vil kort sagt sige - uanset hvilket problem du står overfor - så kan du nøjes med at ringe til ét nummer - **74 33 72 00**.

- transport
- opbevaring
- rådgivning
- jordrens
- prøvetagning
- handlingsplan

meldgaard MILJØ A/S

Sønderjyllands største miljøcenter
Bladknæk 19 • 6200 Aabenraa
74 33 72 00 • www.meldgaard.com