

Kriterier for udpegning af lokaliteter til eksport af smeltevand fra gletsjere i Grønland

Andreas P. Ahlstrøm, Christian N. Albers, Signe B. Andersen,
Camilla S. Andresen, Dirk van As, Michele Citterio,
Peter Gravesen & Anders R. Johnsen



DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER
FOR DANMARK OG GRØNLAND,
ENERGI-, FORSYNINGS- OG KLIMAMINISTERIET



GEUS

Kriterier for udpegning af lokaliteter til eksport af smeltevand fra gletsjere i Grønland

Andreas P. Ahlstrøm, Christian N. Albers, Signe B. Andersen,
Camilla S. Andresen, Dirk van As, Michele Citterio,
Peter Gravesen & Anders R. Johnsen

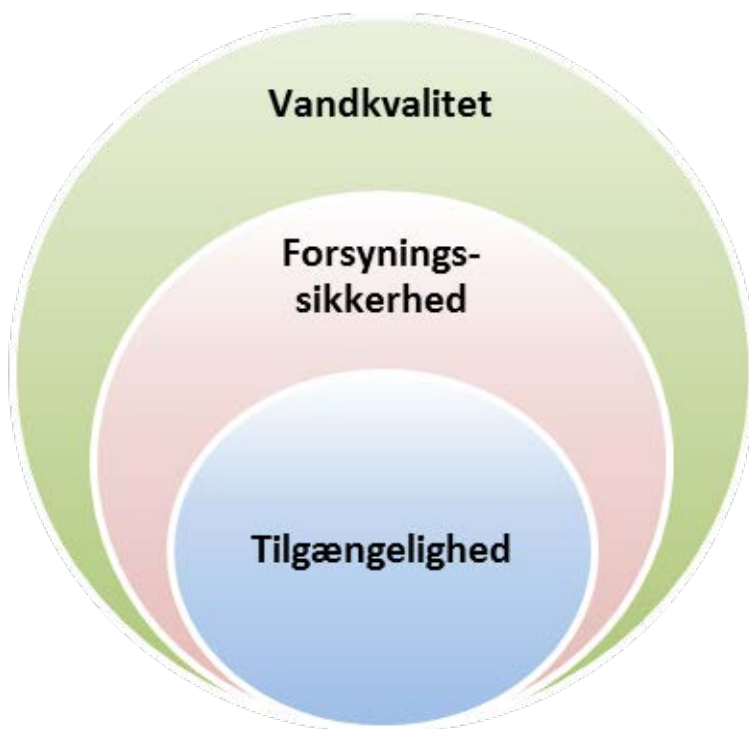
Indhold

Sammenfatning	4
1. Introduktion	8
2. Tidligere undersøgelser	9
3. Glaciologiske og geografiske kriterier	11
3.1 Tilgængelighed af lokalitet	11
3.1.1 Batymetri.....	11
3.1.2 Havisforhold.....	11
3.1.3 Isbjerge	12
3.2 Disponibelt smeltevand	12
3.2.1 Smeltevandets mængde og sæsonvariation.....	12
3.2.2 Oplagring og reservoirer af vand (proglaciale søer/oplande)	13
3.2.3 Forsyningsikkerhed ved oplandsændringer	14
4. Kriterier for vandkvalitet	15
4.1 Smeltevandets oprindelse.....	15
4.1.1 Forholdet mellem smeltevand og vand af anden oprindelse	15
4.1.2 Estimering af isens alder	16
4.2 Vandets uorganiske indhold.....	18
4.2.1 Suspenderet sediment	18
4.2.2 Radioaktivitet	19
4.2.3 Potentielt problematiske uorganiske parametre.....	20
4.2.4 Fordelagtige mineraler.....	23
4.3 Vandets organiske indhold.....	23
4.3.1 Naturlige organiske forbindelser.....	23
4.3.2 Miljøfremmede stoffer fra atmosfæren	24
4.3.3 Mikrobiologiske forureninger	25
4.4 Vandrensning	27
5. Konklusion	28
6. Referencer	31
7. Bilag	35
Bilag A.....	35

Sammenfatning

Denne rapport er udført af GEUS for Grønlands Selvstyre i maj og juni 2016. Der blev i perioden 1999-2008 på Grønlands Hjemmestyres foranledning udført en række undersøgelser for at afdække mulighederne for udnyttelse af gletsjeris, naturlige kilder og overfladevand til eksport som drikkevand. Imidlertid vil der ved udpeging af lokaliteter, hvor der i stedet fokuseres på anvendelse af smeltevand fra gletsjeris egnet til drikkevandseksport, være en række andre kriterier der vil være relevante. Denne indledende undersøgelse er iværksat for at indkredse disse kriterier.

Ud fra en gennemgang af relevante glaciologiske, geografiske og geokemiske parametre beskrevet i detaljer i indeværende rapport, kan vi etablere en række anbefalinger opdelt i tre niveauer: 1) Tilgængelighed, 2) forsynings-sikkerhed og 3) vandkvalitet, hvor hvert niveau er afhængigt af det foregående:



Figur 1. Gensidig afhængighed for anbefalede kriterier. En lokalitet skal først og fremmest være tilgængelig, derefter skal den kunne garantere en sikker forsyning, og endelig skal den leve op til en tilstrækkelig vandkvalitet.

Med denne gensidige afhængighed in mente, kan vi i punktform opstille en række anbefalinger for kriterier for en kommende udpeging af egnede lokaliteter. Nedenfor er disse anbefalinger gengivet i de tre overordnede kategorier i bokse med samme farvekode som i Figur 1.

Anbefalinger ► Tilgængelighed

- Afstand til eksisterende infrastruktur (specielt havne) og arbejdskraft bør prioriteres højt af konkurrencemæssige årsager
- Der bør foretages en overvejelse af typen af eksportlogistik, da kriterierne for tilgængelighed afhænger af denne, dvs. om der skal anvendes eksisterende udskibningsmuligheder eller om der skal etableres nye havnefaciliteter og bruges egne skibe
- Begrænsninger i besejling pga. havis og fjordis bør inddrages og kortlægges ud fra eksisterende historiske satellitdata
- Begrænsninger i besejling pga. risiko fra isbjerge bør evalueres, særligt i forbindelse med fjorde med kælvende gletsjere. Generelt bør isfjorde undgås
- Kendskab til vanddybder for besejling af lokaliteter er nødvendigt og skal sammenholdes med den valgte eksportlogistik og dybgang af skibe
- En lokalitet af en beskaffenhed der er egnet til etablering af bygninger/havnefaciliteter. Store floddeltaer, stor tidevandsforskel og lignende kan vanskeliggøre produktion og udskibning
- Lokal viden bør indsamles og inddrages før udpegede lokaliteter besøges i felten

Anbefalinger ► Forsyningsikkerhed

- En lokalitet i Syd- eller Sydvestgrønland vil sikre en længere smeltevandssæson. Der bør beregnes en prognose for den fremtidige mængde forventet smeltevand baseret på realistiske klimascenarier
- Oplandet, specielt den isdækkede del, til vandressourcen bør kortlægges så det med sikkerhed vides at være tilstrækkeligt stort til at minimere risikoen for oplandsændringer i selve isen
- En lokalitet med en proglacial smeltevandssø opstrøms vil være en fordel da den forsyningsmæssigt vil fungere som en buffer for hurtige variationer i mængden af smeltevand (på dag- til ugebasis)
- Et isdække i oplandet af tilstrækkelig størrelse til ikke at blive væsentligt reduceret i et varmere klima
- Lokaliteter med gletsjerdæmmede søer opstrøms bør identificeres og undgås for at minimere risikoen for pludselige tømninger (jökullhlaup)

Anbefalinger ► Vandkvalitet

- Isens alder og oprindelse er et vigtigt salgsargument og bør derfor estimeres ved hjælp af isdynamisk modellering
- Undgå områder med kendte radioaktive forekomster, f.eks. de alkaline intrusioner i Sydgrønland
- Evaluér lokaliteten ud fra risikoen for særligt høje koncentrationer af problematiske grundstoffer i bæksedimenter. Generelt vil områder domineret af granit og gnejs nok udgøre den mindste risiko for afsmitning af problematiske metaller
- Områder med lille nedbør, med kort gletsjerarm og med kortest mulig afstand fra gletsjerport til produktionssted vil minimere risiko for problematiske uorganiske parametre
- Undgå smeltevandssøer hvor der er vækst af cyanobakterier og undgå søer som fødes med vand fra vandløb med vækst af cyanobakterier.
- De udvalgte smeltevandssøer bør have et ringe bidrag af overfladevand eller grundvand, hvis de ligger i områder med megen vegetation og dermed risiko for udvaskning af organisk stof der kan give forhøjede kimtal
- Undgå bebyggede områder hvor der er risiko for udledning af spildevand og menneskeskabte forureningsstoffer til vandressourcen. Potentielle indvindingsøer bør screenes grundigt for forekomst af fækale bakterier. Ved en eventuel vandproduktion bør der screenes løbende for bakteriologiske parametre på et akkrediteret laboratorium
- Undgå områder med fårehold eller store bestande af rener og moskusokser for at undgå kontaminering med fækale bakterier og *Cryptosporidium*. Potentielle indvindingsøer bør screenes grundigt for forekomst af *Cryptosporidium* oocyster. Ved en eventuel vandproduktion bør der screenes løbende for *Cryptosporidium*

Det anbefales at ovenstående kriterier tages til anvendelse ved udpegningen af egnede lokaliteter til eksport af smeltevand fra gletsjere i Grønland.

Det anbefales derudover, at der igangsættes en undersøgelse i tre faser (se Figur 2) med afrapportering fra hver enkelt fase, hvor de anbefalede kriterier tages i anvendelse:

- 1) En indledende udpegning af egnede lokaliteter ud fra de opstillede kriterier, baseret på eksisterende data og indledende modellering
- 2) Feltbesøg ved de udpegede lokaliteter hvor der foretages glaciologisk, geologisk og geografisk beskrivelse, prøvetagning af smeltevand og andre relevante bestanddele, vandkvalitetsmålinger på stedet, opstilling af automatiske målestationer
- 3) Analyse af hjemtagne prøver i relevante laboratorier, numerisk modellering af isdynamik og afsmeltning, analyse af automatiserede målinger



Figur 2. De tre anbefalede kommende undersøgelsesfaser

Det anbefales yderligere at den erhvervede viden gøres alment tilgængelig og indgår som et aktiv i Naalakkersuisuts (Grønlands Selvstyres) strategi for at tiltrække investeringer indenfor is/vand-området.

1. Introduktion

Denne rapport er udført af GEUS på bestilling af Departementet for Erhverv, Arbejdsmarked og Handel, Grønlands Selvstyre, efter forudgående møde med Departementschef Jørn Skov Nielsen og Afdelingschef Tina Jensen i foråret 2016. Resultaterne fra rapporten tænkes at indgå i udarbejdelsen af en ny strategi for eksport af is og vand fra Grønland.

GEUS besidder en omfattende viden omkring glaciologi og geokemi i Grønland og har gennem årene leveret en række undersøgelser indenfor is/vand-området til støtte for de grønlandske myndigheders strategiarbejde.

Efter aftale omhandler rapporten en kort gennemgang af tidligere relaterede undersøgelser efterfulgt af en systematisk gennemgang af generelle kriterier for tilgængelighed, forsyningssikkerhed og vandkvalitet til udpegning af egnede lokaliteter. Dertil er foreslået en række specifikke vandkvalitetsundersøgelser der bør anvendes ved eventuelle kommende besøg på udpegede lokaliteter. Der er ikke opstillet kriterier af bygnings-/ingeniørmæssig karakter, da dette ligger udenfor GEUS' fagområde.

2. Tidligere undersøgelser

Muligheden for at anvende is fra gletsjere i Grønland til eksportformål var genstand for en række undersøgelser udført af GEUS for Greenland Resources/Grønlands Hjemmestyre i perioden 1999-2007, der alle havde til fælles at fokus var på minedrift af is der efterfølgende skulle smeltes for at tappes på flasker. En efterfølgende rapport om udnyttelsen af is fra isskoster indsamlet fra skib blev udført af NIRAS Greenland i 2008. Sideløbende blev muligheden for udnyttelse af overfladevand og kildevand undersøgt af Rambøll 2006-2007. En efterfølgende markedsanalyse og produktcertificering blev varetaget og rapporteret af NIRAS med forskellige partnere.

De to undersøgelsesspor blev opsummeret i to rapporter fra NIRAS Greenland i 2015 (hvh. 'Greenland Ice and Water for Export, Product Catalogue – Bulk Water, 2nd ed.' og 'Greenland Ice and Water for Export, Product Catalogue – Ice Cap Water, 2nd ed.').

Fælles for de drikkevandsrelaterede glaciologiske undersøgelser, GEUS har udført, har været et fokus på indsamling/minedrift af is direkte fra udløbsgletsjere fra indlandsisen. Årsagen hertil var den underliggende strategi om eksport af højprofileret drikkevand produceret ved smeltning af gletsjeris med kendt oprindelse.

Med dette udgangspunkt blev der i Bøggild et al. (2000) udpeget en række mulige lokaliteter i GEUS' gletsjerdatabase (Weidick et al. 1992), der alle levede op til en række opstillede kriterier: 1) Isens renhed og beskaffenhed, 2) nærhed til infrastruktur, 3) brugbare udslibningsforhold og 4) nær arbejdskraft. Lokale gletsjere blev udelukket baseret på kriterium 1 (større risiko for fremmedpartikler og lavere alder af gletsjerisen), og fokus var derfor udelukkende på udløbsgletsjere fra indlandsisen. Ud af 5692 gletsjere i gletsjerdatabase, blev 37 udvalgt og beskrevet nærmere ud fra parametrene "Lokalisering og tidsreference", "Morfologi", "Respons" og "Tilgængelighed". Den sidste parameter blev vurderet til at udgøre den største udfordring. Generelt blev Syd- og Sydvestgrønland udpeget som bedst egnede områder ud fra tilgængeligheden.

I en opfølgende og mere omfattende GEUS-rapport, Mayer et al. (2003), blev der udpeget fire lokaliteter ud af de 37 tidligere udvalgte. De fire var Sermilik Bræ (1AI05001) nær Qassimiut, Avangnardleq Bræ øst for Paamiut (1BG03002), Nákáassorsuaq (1CB08002) i Bjørnesund, nord for Frederikshåb Isblink and Narssap Sermia (1CH17002) i Godthåbsfjorden, hvor koden i parenteser indikerer gletsjerens unikke ID i GEUS' gletsjerdatabase (Weidick et al. 1992). Disse blev valgt efter et betragteligt feltarbejde, der etablerede nødvendig glaciologisk basisinformation om isens afsmeltning og isotopmæssige sammensætning. Denne information blev anvendt sammen med tilgængelige fly- og satellitmålinger til at udføre numerisk modellering af indlandsisen i Sydgrønland, hvilket gav en aldersbestemmelse på 5000-6000 år og kvantificering af isens tilbagetrækning og stabilitet, der varierede signifikant mellem de undersøgte lokaliteter.

En ny fase i arbejdet blev indledt med et baggrundsstudie i Ahlstrøm et al. (2006), hvor tre specifikke gletsjere blev anbefalet til udvinding af is: Sermilik Bræ i Sydgrønland, Nigerlikasik Bræ i Kuaersôq/Kvanefjord nær Paamiut/Frederikshåb og Narsap Sermia i Godthåbs-

fjord nær Nuuk. Disse tre lokaliteter, suppleret med Russell Gletsjer nær Kangerlussuaq, Vestgrønland, blev undersøgt i et efterfølgende feltarbejde med omfattende laboratorieanalyser af de indsamlede isprøver og beskrivelser af lokaliteternes morfologi, geologi og topografi. Dette arbejde blev rapporteret endeligt i Binderup et al. (2007b).

Det tidligere arbejde understøtter i nogen grad opstillingen af kriterier for udpegning af lokaliteter til eksport af drikkevand, men er dog fundamentalt forskelligt, da der i den kommende strategi vil være fokus på større smeltevandforekomster snarere end is, der efterfølgende skal smeltes og tappes. Denne ændrede tilgang giver en række attraktive fordele fra producentens side, men stiller også nye krav til lokaliteterne og undersøgelserne af vandkvaliteten. Det er disse kriterier, der er emnet for denne rapport.

3. Glaciologiske og geografiske kriterier

3.1 Tilgængelighed af lokalitet

Det er vigtigt med et indgående kendskab til sejladsforholdene i forbindelse med planlægning af udpegning af områder egnede til tapning og eksport af vand. Da det må forventes, at skibe af en vis størrelse vil blive brugt, kræver det overblik over batymetriske forhold samt kendskab til egnede havneforhold. Endvidere spiller fjord-tilisning, havis og isbjergsforekomst en væsentlig rolle for sejladsforholdene, og derfor må kendskabet til disse parametre være på plads, før et givent område kan udpeges som egnet til tapning- og drikkevandseksport.

3.1.1 Batymetri

Den internationale batymetriske kortlægning omkring Grønland (IBCAO, International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean) dækker ikke fyldestgørende for de grønlandske fjordområder. Planlægning af sejlads med større skibe bør blive henlagt til områder med deciderede søkort egnede til navigation. Der er pr 1. januar 2016 produceret i alt 32 søkort omkring Grønland, heraf en stor del i Sydvestgrønland (63°–67°N). Efter aftale mellem miljøministeren og Grønlands Selvstyre (Naalakkersuisut) arbejdes der på at øge fremdriften af søkort til 73 søkort i Sydgrønland (60°–63°N), Vestgrønland (Holsteinsborg til Upernavik, 67°–73°N). Disse er oprindeligt planlagt til udgivelse 2016–2018, dog regnes regeringens nylige udflytningsplan for Geodatastyrelsen at få konsekvenser i forhold til at overholde denne deadline.

Udvælgelsen af en egnet skibstype til eksportmæssigt forhold vil kræve at de eksportøkonomisk forhold bliver sammenholdt med det potentielle skibes dybgang, de batymetriske forhold, samt de muligheder der er for havneanløb i et potentielt egnet område. Angående havneanløb, så er der pt seks havne med Atlantrafik i Sydvestgrønland: Nanortalik, Qaqortoq, Narsaq, Nuuk, Sisimiut og Aasiaat. Den maksimale skibskapacitet for disse havne ligger mellem 550 og 1500 TEU.

Det anbefales at indgå i dialog med Geodatastyrelsen med henblik på at få udbedret kendskabet til sejladsforhold, særligt er der behov for kendskab til hvornår områder, der i denne sammenhæng er interessante, kan forventes at være dækket af søkort. En tæt dialog med Forsvaret vil også være anbefalelsesværdig, da de i høj grad beskæftiger sig med infrastrukturelle forhold i Grønland. Dialogen til Geodatastyrelsen og Forsvaret vil dog styrkes yderligere af et godt kendskab til interessenters eksportplaner og muligheder.

3.1.2 Havisforhold

Sejladsforholdene ved Sydvest- og Vestgrønlands kyster knytter an til isforholdene i det åbne hav samt i fjordene.

I Baffinbugten er den såkaldte Vestis-udbredelse betinget af den relativt varme nordgående Vestgrønlandske Havstrøm og den kolde sydgående Baffin Havstrøm. I området ved Disko Bugt lægger havisen sig som regel i december/januar og forsvinder i april/maj, dog har

havisdækket de senere år været mindre og mere variabelt. I området syd for 65–67°N er kysten fri for is i store dele af året, dog kan Vestisen påvirke i den sene del af vinteren. Området helt mod syd er næsten aldrig påvirket af Vestisen.

Den flerårige og tykkere Storis fra det Arktiske ocean forekommer store dele af året langs den sydlige del af Grønlands østkyst. Under normale forhold bringer den Østgrønlandske Strøm storis til Kap Farvel, hvor den ofte passerer nordpå med den Vestgrønlandske Strøm og har den største udbredelse i tidlig sommer. Isen når almindeligvis kun til Paamiut, men kan dog også nå helt til Nunarsuit og Nuuk idet udbredelsen og mængden af is varierer fra år til år. I foråret og sommeren kan der være brede bæltter med pakket storis tæt ved kysten omkring Kap Farvel og Julianehåb Bugten.

Sejladsforholdene i fjordene er stærkt betinget af forekomsten af fjordis, som dannes fra november/december. Fjordisen kan dog være påvirket eller reduceret i mængde på grund af stærk vind gennem vinteren.

3.1.3 Isbjerge

Isbjerge er, grundet deres størrelse, specielt farlige for skibsfart. De fleste store isbjerge ved kysten syd for Sisimiut kommer via den Østgrønlandske Strøm, hvorfra de føres videre nordpå via den Vestgrønlandske Strøm. Størstedelen af isbjergene runder Sydgrønland fra tidlig til midt sommer, dog er der stor variation i mængden grundet variation i bl.a. vejr og strømforhold. Mellem Kap Farvel og Narsarsuaq (61°N) kælder Indlandsisens udløbere desuden i større omfang, og der forekommer derfor mange små isbjerge i fjordene, som dog oftest smelter, inden de når havet. Mellem 61° og 68°N kælder Indlandsisens udløbere i mindre omfang, og der er færre isbjerge i fjordene, men lokalt vil der altid kunne træffes isbjerge. Forekomsten er stor ud for Vestgrønland, og især nord for 68°N.

Grønland oplever store variationer i klima og havisforhold fra år til år, og det forventes, at de fremtidige klimaforandringer i relation til global opvarmning får indflydelse. Det vil derfor være vigtigt at undersøge hvad DMI's scenarieberegninger forudsiger mht. isforekomster samt frysning af fjorde.

3.2 Disponibelt smeltevand

3.2.1 Smeltevandets mængde og sæsonvariation

Den lavtliggende is i Sydvestgrønland smelter mellem 3 og 10 m pr. år i tilgift til bidraget fra den forrige vinters sne. For en relativt lille lokal gletsjer med et afsmeltningsområde på 1 km² giver dette en smeltevandafstrømning i størrelsesordenen flere millioner m³, svarende til flere milliarder liter på et år. For et større opland på indlandsisen, som det der drænes gennem Watsonfloden ved Kangerlussuaq i Sydvestgrønland, er den årlige afstrømning fra smeltevand op mod tusind gange større (op mod 10 km³/år i varme år) (van As et al. under forberedelse).

Det vil være fordelagtigt at udvælge en lokalitet med en afstrømning, der signifikant overstiger den planlagte aftapning for at sikre den mindst mulige påvirkning af det lokale økosystem. Ud fra denne anskuelse bør der udvælges en lokalitet med et isdækket opland, hvor afsmeltningsområdet er i størrelsesordenen 10 km² eller mere.

Den årlige afsmeltning forekommer primært i smeltesæsonen. I Sydgrønland giver afsmeltning af sne og is store mængder vand fra maj til september, mens det ved polarcirklen gælder, at størstedelen af smeltevandet kommer i juni, juli og august, hvilket potentielt kan give en kortere aftapningsperiode. Afstrømningsmålinger i floder viser en voldsom variabilitet indenfor smeltesæsonen med værdier, der kan stige og falde med flere hundrede procent på få dage. Den maksimale afstrømning fra et stort opland på indlandsisen er målt til ca. 3000 m³/s under en periode med ekstrem afsmeltning i juli 2012 (Mikkelsen et al. 2016). Den store variabilitet under en smeltesæson og de potentielt destruktive kræfter, der er forbundet med ekstrem afstrømning i proglaciale smeltevandsfloder, bør tages ind i overvejelserne ved udpegelsen af en egnet lokalitet til aftapning af drikkevand. En lokalitet hvor floden er bred, eller hvor en sø modtager og afgiver store mængder smeltevand, men hvor vandstanden kun varierer i mindre grad vil være at foretrække. En lokalitet hvor der tappes fra en sø vil også kunne benyttes en større del af året, hvis der tappes vand i tilstrækkelig dybde til at ligge under et eventuelt isdække om vinteren.

3.2.2 Oplagring og reservoirer af vand (proglaciale søer/oplande)

Indenfor et givet opland til en tappefacilitet kan der eksistere forskellige typer reservoirer for vandet: Proglaciale søer på tundraen, isdæmmede søer ved isranden, smeltevandssøer på selve isens overflade og subglaciale søer under isen. De proglaciale søer udgør ikke en nævneværdig fare, da de ikke normalt kædes sammen med pludselige større vandgennembrud. Mindre vandgennembrud kan forekomme i foråret ved kollaps af en blokering dannet af søens vinter-isdække ved udløbet. Den biologiske aktivitet i og omkring proglaciale søer kan dog have en indflydelse på vandkvaliteten. Isdæmmede søer udgør en risiko, da de er kendt for pludselige voldsomme vandgennembrud over tidsrum på timer/dage, hvor store mængder vand kan volde store skader nedstrøms (Russell et al. 2011). Sådanne søer kan virke sikre, da der kan gå en årrække uden pludselige vandgennembrud (Weidick and Citterio 2011). Risikoen ved at placere en drikkevandstappefacilitet på en lokalitet, der modtager afstrømning fra en isdæmmed sø, er signifikant og bør i udgangspunktet undgås. Supraglaciale smeltevandssøer på isens overflade er almindeligt forekommende på indlandsisens afsmeltningssområde og dræner ofte ved vandgennembrud gennem isen og langs isens bund i smeltesæsonen (Fitzpatrick et al. 2014). Sådanne søer har dog typisk ikke stor volumen og deres afstrømning modereres af ismassen mellem søen og isens rand. Undersøgelse af supraglaciale søers volumen og beliggenhed bør dog foretages og oplande med store supraglaciale søer nær randen af isen undgås.

Endelig er der også indici på reservoirer af smeltevand under selve isen. Disse subglaciale søer kan dræne pludseligt (Palmer et al. 2015) og udgør derfor en risiko for eventuel nedstrøms infrastruktur. Subglaciale søer med pludselige vandgennembrud (også kendt som jökullhlaup fra islandsk) er dog ikke et almindeligt kendt fænomen for indlandsisen. Isgennemtrængende radar kan i en vis udstrækning benyttes til at kortlægge risikoen. Lokal viden og proglaciale tegn på destruktive vandgennembrud bør inddrages for at afdække om subglaciale vandgennembrud kan forventes.

3.2.3 Forsyningssikkerhed ved oplandsændringer

En langsigtet investering i en tappefacilitet for drikkevandsproduktion forudsætter en garanti for den fremtidige afstrømning af smeltevand. Indlandsisen i det sydlige Grønland, hvor afsmeltningsraterne er højest, har været præget af en kraftig udtynding og tilbagetrækning i de forudgående tiår. Særligt områder med udløbsgletsjere, der ender i fjorde, er følsomme overfor klimavariationer. I et varmere klima kan sådanne gletsjere trække sig adskillige kilometer tilbage pr. tiår; men disse er ikke af interesse for drikkevandstapning, da deres smeltevandsafstrømning primært går ud i fjorden under isen og dermed under havniveau. For udløbsgletsjere der ender på land foregår tilbagetrækningen væsentligt langsommere, i størrelsesordenen et par meter pr. år.

Ved udpegelsen af en lokalitet til drikkevandsaftapning er det vigtigt at bestemme den isdækkede del af oplandet for at reducere risikoen for en fremtidig afskæring af vandforsyningen på grund af ændringer i isen. Af samme årsag bør isens tykkelse og ændringsrate undersøges. Helt generelt vil et opland af tilstrækkelig størrelse med flere kvadratkilometer og en gennemsnitlig tykkelse på mindst et par hundrede meter garantere vandafstrømningen i mange år fremover.

4. Kriterier for vandkvalitet

4.1 Smeltevandets oprindelse

4.1.1 Forholdet mellem smeltevand og vand af anden oprindelse

Forholdet mellem vand fra gletsjersmelting og af anden oprindelse er stærkt varierende over tid og sted med konsekvenser for den samlede mængde, sæsonvariation og kvalitet af vandet fra den undersøgte lokalitet. Smeltevandets andel i vandafstrømningen vil typisk aftage med afstanden fra isranden, da graden af isdække i området opstrøms for lokaliteten vil mindskes. Ved en given afstand vil det aktuelle blandingsforhold være bestemt af oplandets hydrologi, klima og geografi. For grønlandske oplande med land-terminerende udløbsgletsjere fra såvel indlandsis som lokale ismasser, vil de mest afgørende faktorer opstrøms fra en lokalitet være:

- Størrelse og timing af gletsjersmeltingen
- Snehydrologien for både det isfri terræn og det isdækkede område
- Hydrologiske processer der resulterer i stuvning eller forsinket afstrømning af smeltevand til randen af isen, som for eksempel:
 - Retention af smeltevand i snepakken
 - Udviklingen af effektive dræningsnetværk på, i og under isen
 - Dannelsen af smeltevandssøer på isens overflade og deres tømning
- Mængden af regn over isen og det isfri terræn gennem smeltesæsonen
- Hypsometrien for både den isdækkede og den isfri del af oplandet, i det højdegradienten for både nedbør og gletsjersmelting typisk er dominerende på lokal oplandsskala
- Lokale afvigelse i nedbørsmønstret op- og nedvinds fra topografiske barrierer, så vel som forstærket/reduceret isafsmeltning på syd/nord-vendte skråninger.

For en given lokalitet vil forholdet mellem smeltevand fra isen og andet vand ændre sig, både gradvist over sæsonen og pludseligt som respons på regnskyl, varmt vejr (Mikkelsen et al. 2016) og vandgennembrud fra isdæmmede søer. Ved ekstremværdier for afstrømning forstærkes sedimenttransporten, hvor der er observeret en sammenhæng med remobilisering og udvaskning af miljøbelastende stoffer (Søndergaard et al. 2015). Eksistensen af isdæmmede søer udgør i sig selv et sikkerhedsproblem for menneskelig tilstedeværelse og infrastruktur nedstrøms på grund af risikoen for pludselige vandgennembrud.

I et grønlandsk opland kan forholdet mellem smeltevand fra isen og andet vand vurderes ved modellering af isafsmeltningen, smeltevandsdræning til randen af isen, smeltingen af årets sne, regnmængde og vandføring gennem oplandet frem til tappefaciliteten. Resultater fra regional klimamodellering (RCM), nedskaleret og justeret ved brug af observationer af isafsmeltning og vejrparametre, kan benyttes til beregning af mængden af vand der vil være til rådighed ved isoverfladen såvel som overfladen af det isfri område. De nødvendige regionale klimamodeller (Christensen et al. 2007) og automatiske vejrstationer (Citterio et al. 2015) er færdigudviklede og kan umiddelbart tages i brug, ligesom forudsigelser for fremtidige klimascenarier kan beregnes. Beregning af smeltevandets vej til randen af isen

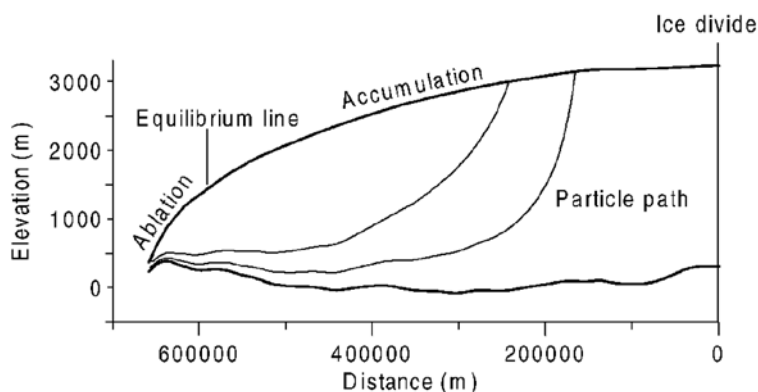
er noget mere vanskeligt fordi der må tages højde for smeltevandets retention/genfrysning i snepakken (Machguth et al. 2016), dannelse og dræning af smeltevandssøer (McMillan et al. 2007), og udviklingen af dræningssystemet i og under gletsjeren (Chandler et al. 2013). Meget information kan dog udledes ved måling af smeltevandsafstrømning tæt ved isranden kombineret med satellitmåling af smeltevandssøer på isens overflade (supraglaciale søer) og sæsonvariationen af snelinjen på isen.

Det er vigtigt at nævne at smeltevandet, der kommer ud ved isranden, typisk har en anden sammensætning, indhold af faste stoffer og mikrobiologi end gletsjerisen (Sharp et al. 1998). Interaktionen med den subglaciale hydrologi og den resulterende opsamling af materiale afhænger af sedimenter, underliggende geologi og vandforhold ved isens bund, der bedst kan kvantificeres gennem prøveindsamlinger og laboratorieanalyser. Målinger af indholdet af opløste stoffer og variationer i de stabile isotoper fra systematisk indsamlede prøver fra smeltevandsudløb ved randen af isen kan blottlægge, hvor vandet kommer fra i gletsjeren (Yde & Knudsen 2004).

4.1.2 Estimering af isens alder

Is der smelter ved overfladen af meget store ismasser, som Grønlands indlandsis, kan være adskillige tusinde år gammelt, hvis isen oprindeligt er dannet af nedbør faldet i højtliggende områder langt inde på isen (Reeh et al. 2002).

Hvert år falder der sne på isen der, hvis det ligger højt nok oppe (over ligevægtslinjen), overlever smeltesæsonen og bliver begravet af næste års sne og derved bliver til firn. Som tiden går, bliver de årlige firnlag trykket mere og mere sammen, indtil de danner gletsjeris, der langsomt begynder at flyde ud mod isranden under sin egen vægt. Dette betyder, at sne der falder højest oppe på isen vil følge den længste og dybeste vej før det igen dukker op ved overfladen for at smelte ved isranden (Figur 3). Modsat vil sne, der falder lige over ligevægtslinjen, snart komme op til overfladen igen lige under ligevægtslinjen. Denne simple konceptuelle model inddrager ikke stratigrafiske forstyrrelser som følge af foldninger og forskydninger, men viser at det overordnet gælder, at smeltevand produceret fra den lavest beliggende is generelt set kommer fra ældre is, og at isen ved overfladen bliver gradvist yngre op mod ligevægtslinjen, hvor overfladen er dækket af sidste års sne. Fordi smelterterne er højest helt ude ved kanten af isen (terminus), kommer en stor del af smeltevandet fra is med høj alder.

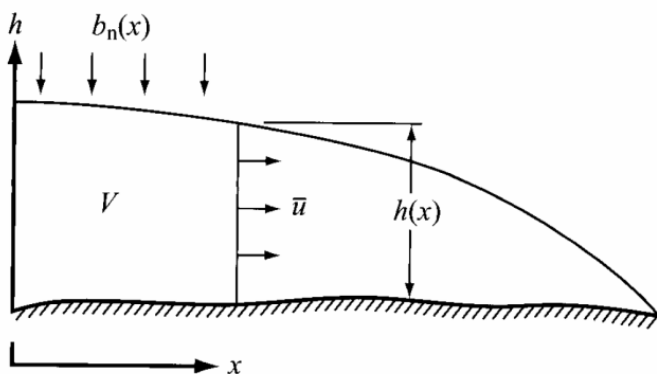


Figur 3. Eksempler på vejen ("particle path") for en iskystal gennem et idealiseret tværsnit af Grønlands indlandsis (fra Reeh et al. 2002).

Alderen af isen er ikke den samme, hvor som helst ved isranden og direkte datering er kompliceret, usikker og omkostningstung. Modellering af isens flydning under bestemte betingelser for massebalancen (akkumuleret sne minus afsmeltning og isbjerger) kan benyttes til at udlede isens vej fra akkumulationszonen, hvor den startede som snefald og frem til dens nuværende position i afsmeltningsområdet.

Alt andet lige vil områder af indlandsisen med megen vinternedbør, megen sommerafsmeltning, hurtigere isflydning, eller hvor isranden er tættere på isdeleren ("ice divide" i Figur 3) indeholde forholdsvis yngre is. Undergrundens topografi, isens temperatur, hydrologiske forhold ved bunden og andre lokale faktorer spiller alle en rolle. Disse forhold kan tages i betragtning ved anvendelsen af komplicerede numeriske 3D-isdynamiske flydemodeller som fx Elmer/Ice (Gagliardini et al. 2013), men anvendelige resultater kan også opnås fra simple 2D-flydelinjemodeller (Reeh 1988), eller endda simple modeller bygget på den konceptuelle forståelse for isens flydning beskrevet ovenfor med simplificerede antagelser (Mayer et al. 2003).

Antager man for eksempel, at klimaet forbliver ensartet over tid, vil iskappen finde en ligevægtstilstand, hvor ishøjden alle steder forbliver konstant, og hvor massebalancen for isen oven for et givent tværsnit balanceres af massebalancen nedenfor via isens flydning gennem tværsnittet (Figur 4).



Figur 4. Udligningshastighed (u) i en iskappe i ligevægt med tykkelsen $h(x)$ for en given overflademassebalance $b_n(x)$ (fra Hooke, 2005).

Den flydehastighed, der opfylder dette krav, kan umiddelbart beregnes et givent sted, og fra denne kan man udlede den gennemsnitlige transporttid (alder). Om end antagelsen om et uændret klima ikke er realistisk, har vurderingen været at den fejl denne antagelse introducerer, er acceptabel til dette formål (Mayer et al. 2003). Det bør dog understreges at mere avancerede modeller er nødvendige til forudsigelse af israndens udvikling og smeltvandets vej til en tappefacilitet, og at disse modeller i så fald vil kunne levere et mere præcist aldersestimat.

4.2 Vandets uorganiske indhold

4.2.1 Suspenderet sediment

Smeltevand dannet ved isens overflade er generelt meget klart og rent. De få sedimenter der findes i dette vand har været transporteret gennem atmosfæren til isen i fortiden og i nutiden. Målinger af sedimentindhold i overfladenær is ved fire udvalgte udløbsgletsjere viste indhold på mellem 7 og 120 mg/l, svarende til en vægtprocent på 10^{-3} – 10^{-2} % (Binderup et al. 2007). Is med en så lav sedimentkoncentration kan rubriceres som rent ud fra EU's standard for drikkevandskvalitet. Is fra lokale gletsjere må forventes at indeholde højere koncentrationer af sedimenter og vindblæst materiale fra det omkringliggende område, hvorfor disse må karakteriseres som lidt mindre velegnede til drikkevandstapning. Dette kan klarlægges ved prøvetagning.



Figur 5. Brunligt sedimentrigt smeltevand på vej ud i en grønlandsk fjord.

På trods af renheden af isens overfladevand er vandet i proglaciale smeltevandsfloder ofte meget uigennemsigtigt på grund af suspenderede sedimenter (Figur 5). Størstedelen af dette sediment er eroderet fra siderne (moræner) og bunden af gletsjere. Hasholt et al. (2013) præsenterede værdier på 1–4 g/l med en maksimal værdi på 9 g/l, svarende til omkring 100 gange den koncentration der findes ved isens overflade. Sådanne niveauer af sedimentindhold gør vandet uegnet til drikkevand uden en forudgående sedimentationsproces. Det er derfor vigtigt, at der bliver foretaget måling af det suspenderede sedimentindhold i vandet ved de udpegede lokaliteter. Vandet ved disse lokaliteter kan meget vel have lavere sedimentkoncentrationer end dem der blev rapporteret i Hasholt et al. (2013), men det er sandsynligt at der må påregnes en lokal filtrering/sedimentation for at bringe indholdet af sediment ned på et acceptabelt niveau.

Med det høje niveau af sedimentkoncentration i smeltevandet bør det overvejes, hvilken effekt sedimentindholdet vil have på de tapningsfaciliteter, der installeres. Hvis et forholdsvis lille opland leverer i størrelsesordenen 10 milliarder liter smeltevand pr. år, kunne dette

medføre omkring 10 millioner kg (eller 10.000 tons) sediment, hvoraf noget vil akkumuleres ved tapningsfaciliteten. En anbefaling kunne være at etablere faciliteten på fast, synlig klippe, da dette er et tegn på minimal forudgående netto sedimentation. Det er observeret, at der, ved målingslokaliteter på fast klippe ved smeltevandsfloder, dannes en betydelig aflejring af sedimenter hen mod slutningen af smeltesæsonen før floden tørrer ud eller fryser til – men at disse sedimenter skylles bort i foråret, når strømmen igen tager til (Hasholt et al. 2013).

4.2.2 Radioaktivitet

Smeltevand fra indlandsisen og mindre iskapper strømmer i smeltevandsfloder og samles i søer. Undersøgelser udført af Steenfelt (2004) og Rambøll (2006) indikerer, at relationer mellem bjergarter og vandet kan medføre, at vandet indeholder et radioaktivt indhold. En lang række bjergarter i Grønland har et radioaktivt indhold, selv om det mange steder er relativt lavt. Egentlige undersøgelser af det radioaktive indhold med henblik på dets udnyttelse som drikkevand/flaskevand er foretaget i beskedent omfang, men værdier refereret i Steenfelt (2004) og Rambøll (2006) har hidtil vist et indhold under f.eks. USA's drikkevandsstandard.

Det radioaktive indhold kan stamme fra bjergarter under isen, men også fra bjergarter udenfor isen, dvs. mellem isranden og kysten. Eroderet og nedmalet bjergartsmel kommer ud med smeltevandet. Det radioaktive indhold kan sidde på/i det fysiske bjergartsmel, men også opløst i vandet og derfor være til stede i både floder og søer.

GEUS har foretaget kortlægning af uran i bjergarter og i sedimenter fra floder (bæksedimenter) og data ligger i en database (Steenfelt 2001). I MiMa-rapporten fra 2014, Keulen et al. (2014), viser to kort fordelingen af uran fra henholdsvis bjergarter og bæksedimenter (Figur 6), og de er således gode indikatorer for, hvor de højeste indhold af radioaktive komponenter kan forekomme, og kan dermed være et udgangspunkt for undersøgelse af eventuelle lokaliteter. Der skal imidlertid peges på, at andre radioaktive komponenter end uran kan forekomme, især i forbindelse med de alkaline intrusioner i Sydgrønland. Fortsatte temperaturstigninger og smeltning af is og permafrost kan medvirke til at eksponere nye kilder for radioaktive komponenter.

Indholdet af radioaktive stoffer i vandet er en af de parametre, som skal undersøges, hvis vandet skal sælges i bl.a. Europa, USA og Japan, da lovgivningen i disse områder indeholder regler for indholdet; dog er disse regler forskellige.

I Europa angiver det nyeste direktiv om radioaktive stoffer i drikkevand fra 2013, at der skal testes for parameterværdier/aktivitetskoncentrationer for radon og tritium i Bq/L og indikativ dosis i mSv, men både radon og tritium skal tilpasses nærmere vurderinger.

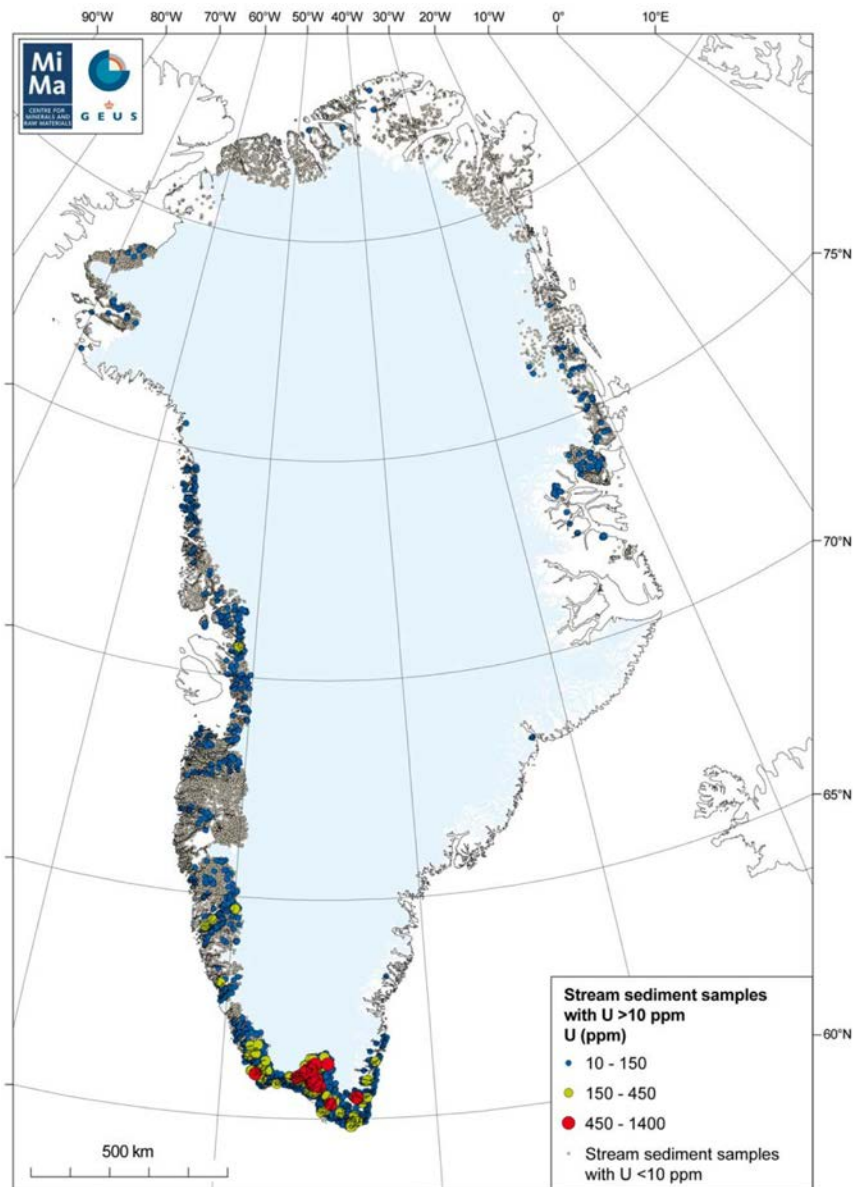
I USA gælder "Table of regulated Drinking water Contaminants" fra EPA (2016), som påbyrder måling af aktivitetsniveauer for alfa partikler (pCi/l), beta partikler (Millirem/år) og radium 226 +228 (pCi/L) samt koncentration for radium (mikrogram/L)

Japan følger CODEX STAN 227-2001 og WHO Guidelines for Drinking water (WHO, 2011), som angiver vejledende niveauer for en lang række radionuclider i Bq/L.

Desuden har ICBWA (2003) prøvet at kombinere flere standarder for flaskevand og foreskriver måling af aktivitetsniveauer for total alfa partikler og total beta partikler i Bq/L.

Da det radioaktive indhold kan variere stærkt fra lokalitet til lokalitet, er indledende målinger og løbende overvågningsmålinger påkrævet. Imidlertid skal det besluttes, hvilke af de

ovenstående parametre/aktivitetsmålinger, der skal lægges til grund for kvalitetsvurdering af det radioaktive indhold (Grønlands Hjemmestyre 2008).



Figur 6. Uran i bæksedimenter (fra Keulen et al., 2014).

4.2.3 Potentielt problematiske uorganiske parametre

Definition og oprindelse af uorganiske stoffer, relevante for produktion af flaskevand fra gletsjerafstrømning

Uorganiske stoffer er en bred gruppe, der dækker bl.a. næringsstoffer, salte og metaller (herunder tungmetaller, som er metaller med større massefylde end jern).

Næringsstoffer såsom nitrat og ammonium forekommer i lave koncentrationer i regnvand over hele verden (WHO 2016, Junge 1958) og kan dermed også forventes at forekomme i

gletsjervand i Grønland. I områder langt fra industri og landbrug vil koncentrationen dog forventes at være meget lav, og tidligere analyser har da også vist, at indholdet af ammonium og nitrat i indlandsisen er målbart men lavt (Binderup et al. 2007). Hvis gletsjervandet blandes med jordpåvirket overfladevand før evt. aftapning, kan det dog ikke afvises, at koncentrationen af næringsstoffer vil være højere.

Salte såsom f.eks. NaCl stammer hovedsageligt fra atmosfæren, hvor det afsættes med nedbør. I sne og dermed også i gletsjeris er koncentrationen dog meget lav, hvilket også er tilfældet i den grønlandske indlandsis (Binderup et al. 2007).

Metaller vil normalt ikke være til stede i større koncentrationer i atmosfæren og dermed i nedbør. En undtagelse herfor er kviksølv, som kan optræde på dampform og dermed spredes rundt i atmosfæren og afsættes med nedbør eller som tørdeposition. Koncentrationen af kviksølv over Grønland er pt. ca. $1,5 \text{ ng/m}^3$ mod $2\text{--}3 \text{ ng/m}^3$ i Europa (Johansen og Rydahl 2007). Tidligere analyse af indlandsis viste dog kviksølvs-koncentrationer under detektionsgrænsen på 5 ng/L og som forventeligt generelt meget lave koncentrationer af tungmetaller (Binderup et al. 2007). Hvor koncentrationen af metaller i gletsjeris generelt må formodes at være minimal, findes der betydelige koncentrationer i visse bjergarter, som vil kunne øge koncentrationen i vandet før en evt. aftapning på flasker. Der er så vidt vides ikke rapporteret analyser af tungmetaller i smeltevandsfloder i Grønland, og det vil desuden være vanskeligt at generalisere, da koncentrationen vil afhænge af den lokale geologi. Denne er til gengæld kortlagt systematisk for 43 grundstoffer i bæksedimenter i Syd- og Vestgrønland med minimum én prøve pr. 30 km^2 og i Sydgrønland én prøve pr. $5\text{--}6 \text{ km}^2$ (Steenfelt 2001). Det er dog vanskeligt at forudsige koncentrationen i bæk vandet ud fra en koncentration i bæksedimentet, men det kan antages, at hvis et områdes bjergarter er fattigt på et bestemt grundstof, vil også koncentrationen i overfladevand være lavt. Dette var også en overordnet konklusion på baggrund af analyse af 43 sporgrundstoffer i 208 prøver af såvel bæk vand som bæksediment prøvetaget mellem Uummannaq og Upernavik (Steenfeldt 2004). Vandprøver fra denne undersøgelse viste i øvrigt generelt lave koncentrationer af metaller i forhold til drikkevandskriterierne, men også tilfælde af forhøjede koncentrationer af aluminium, jern, mangan og nikkel.

Kriterier for vandkvalitet og laboratorieanalyser

Der er opstillet en række kriterier for indholdet af uorganiske stoffer i drikkevand. Disse varierer fra land til land, ligesom der f.eks. i Danmark er forskel på kriterierne for vandhanevand og flaskevand (Bilag A). Det er oplagt at flaskevand fra Grønland bør opfylde alle kriterier i Bilag A, da det så vil kunne sælges uproblematisk til de forskellige markeder, samt kunne slå sig op på en høj grad af renhed. Eneste undtagelse fra dette kan være ledningsevne, hvor det kan vise sig vanskeligt at overholde den vejledende mindsteværdi på 30 mS/m i det danske drikkevandsdirektiv. Dette kan dog ikke anses for kritisk i sundhedsmæssig forstand og bør ikke nødvendigvis diskvalificere en evt. vandressource.

Det kan dog overvejes, om der allerede i første prøvetagningsrunde skal analyseres for alle stoffer nævnt i Bilag A, da det kan være omkostningstungt. Stoffer, som i første omgang kan overvejes ikke at analyseres for, da det anses for usandsynligt at der vil være overskridelser er: Nitrat, sulfat, natrium og cyanid. Bortset fra cyanid vil udeladelse af disse dog næppe reducere analyseomkostningerne voldsomt. Ved en mindre omkostningstung stan-

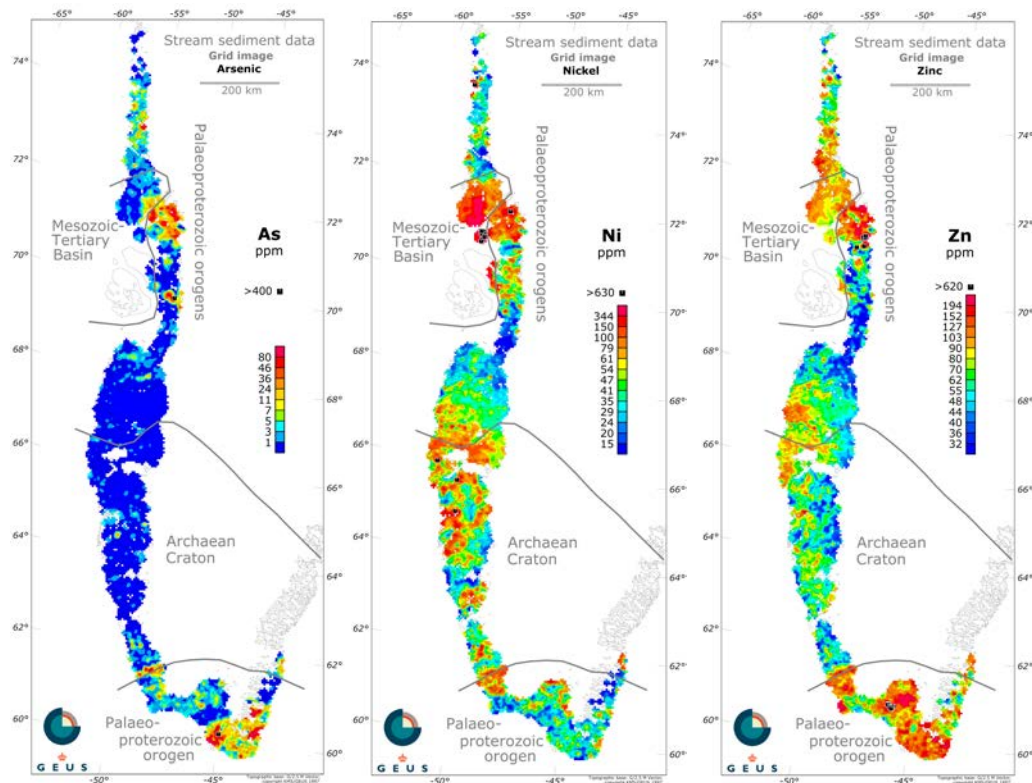
dard analysepakke for dansk drikkevand, vil man få mange af de relevante stoffer analyseret, og så kan man lave den fulde screening ved en evt. senere indsnævring af relevante områder. Dog kan det overvejes, at supplere med analyse for aluminium allerede ved første prøvetagning, da der tidligere er fundet overskridelse af drikkevandskriterierne for aluminium i upåvirkede vandløb i både Nordvestgrønland og det nordlige Finland (Steenfelt 2004).

pH bør analyseres på stedet ligesom ledningsevne med fordel kan måles under prøvetagning. Nitrit kan være ustabil (oxideres mikrobielt til nitrat), mens øvrige uorganiske stoffer nævnt i Bilag A uden problemer kan analyseres efter transport til f.eks. et dansk kommercielt laboratorium.

Kriterier for udvælgelse af lokalitet

Det er umiddelbart ikke nogen let opgave at forudsige indholdet af uorganiske sporstoffer i en bestemt vandressource, selv hvis geologien i et område er kendt. Hvor stor afsmitning vandet vil tage af geologien vil nemlig bl.a. afhænge af kontakttid mellem vand og sediment, vandets pH-værdi, nedknusning og forvitring af materiale under isen etc. Derudover vil evt. tilløb af overfladevand kunne have en betydelig indflydelse på koncentrationen af spormetaller, hvis disse er dominerende i den lokale bjergart. Koncentrationen af mange spormetaller i bæksedimenter er ganske vist tidligere undersøgt i Syd- og Vestgrønland, og kort over områderne er produceret (Steenfelt 2001, Figur 7). Selvom det er vanskeligt at oversætte fra en koncentration i bæksedimenter til en koncentration i bækvand og videre til en koncentration efter blanding med afstrømningsvand, vil det være relevant at studere disse kort for at se, om lokaliteten skulle ligge i et område, der er fundet at indeholde særligt høje koncentrationer af problematiske grundstoffer i bæksedimenter. Generelt vil områder domineret af granit og gnejs nok udgøre den mindste risiko for afsmitning af problematiske metaller og mineraler, mens alkaline intrusioner, som de kendes fra visse områder i Sydgrønland, nok vil udgøre den største risiko. Dog vil pH-værdien være lavere i områder domineret af granit/gnejs, hvilket øger opløseligheden af metaller, ifald disse alligevel skulle være til stede i området. Dette kan naturligvis tages med i overvejelserne under en lokalitetsudvælgelse. Derudover vil længden af gletsjeren såvel som længden fra gletsjerudløb til produktionssted formodes at have betydning for, hvor meget afsmag, der er taget af den underliggende geologi, ligesom mængden af nedbør vil have betydning for tilløb af overfladevand.

Hvis man skal sammenkøbe dette, kan man altså på forhånd minimere risikoen for problematiske uorganiske stoffer ved at udvælge lokaliteter beliggende i områder domineret af granit/gnejs, med lille nedbør, med kort gletsjerarm og med kortest mulig afstand fra gletsjerport til produktionssted.



Figur 7. Eksempler på kort over indhold af uorganiske sporstoffer (arsen, nikkel og zink) i bæksedimenter i Grønland (Steenfelt 2001).

4.2.4 Fordelagtige mineraler

Uorganiske stoffer er ikke nødvendigvis kun problematiske, som man kunne få indtryk af i foregående afsnit. Mange metaller er f.eks. essentielle for den menneskelige organisme, og mange moderne mennesker skønner sig i underskud af et eller flere mineraler og tager derfor kosttilskud. Forfatterne af denne rapport er ikke sundhedsfaglige og vil nødtigt udtale sig om, hvilke mineraler det kunne være en fordel at have i flaskevand til salg, men jodmangel er f.eks. velkendt i Europa (WHO 2007), hvilket bl.a. har ført til nylig interesse for jodkoncentrationen i dansk drikkevand (Andersen et al. 2008, Voutchkova 2014). På et senere stadie, hvor feltet for potentielle vandressourcer er indsnævret, kan det overvejes at undersøge nærmere om der skulle være mineraler i vandet, som vurderes fordelagtige for køberne af vandet.

4.3 Vandets organiske indhold

4.3.1 Naturlige organiske forbindelser

Cyanotoxiner

For nylig er store forekomster af cyanobakterien *Nostoc* blevet fundet i søer i Kangerlussuaq-området i form af søtomater (Benson 2015). Søtomater er kugler af *Nostoc* på størrelse med tomater, og de kan dække søbunden i store kolonier. Søtomater og andre cyanobak-

terier producerer giftstofferne microcystiner, som i Kangerlussuaq-området blev påvist i 19 ud af 19 undersøgte søer (Benson 2015). Det er et åbent spørgsmål, om microcystiner også vil forekomme i smeltevandssøer, som kan bruges til produktion af drikkevand. Andre typer cyanobakterier kan producere en række forskellige cyanotoxiner, som kan være yderst giftige f.eks. anatoxin-A. Vandet fra potentielle produktionssøer skal derfor screenes for microcystiner og evt. andre cyanotoxiner. Koncentrationen af microcystiner og andre cyanotoxiner kan variere kraftigt over året, og målingerne skal derfor dække en hel vækstsæson. Eventuelt kan søbunden i potentielle produktionssøer undersøges for søtomater og vandfasen screenes for cyanobakterier. Da cyanobakterier er afhængige af sollys, må man forvente, at de er mest udbredte i klarvandede søer og mindst udbredte i siltede søer med stor sedimentation.

Lugt og smag

Overfladevand, herunder især søvand, kan til tider have en jordagtig lugt og smag, der ikke er giftig, men på den anden side gør vandet mindre appetitligt. Lugten tilskrives normalt cyanobakteriers produktion af de to stoffer trans-1,10-dimethyl-trans-9-decalol (geosmin) og 2-methylisoborneol (MIB), som mennesker er i stand til at lugte fra vand med koncentrationer på ganske få ng/L (Young et al. 1996, WHO 2015). Andre bakterier som f.eks. actinobakterier er dog også i stand til at producere disse stoffer (Zaitlin & Watson 2006). Da det ikke er helt billigt at få analyseret for disse stoffer, vil vi i første omgang foreslå, at der foretages en lugttest på stedet for prøveindsamling, hvor en flaske med stor åbning fyldes halvt med vand, lukkes, opvarmes til 20–25°C og rystes kraftigt før proppen fjernes og lugttest foretages af mindst to personer.

4.3.2 Miljøfremmede stoffer fra atmosfæren

Afsætning af miljøfremmede stoffer fra atmosfæren er undersøgt i tidligere rapporter om muligheden for at anvende indlandsis til drikkevand (Bender et al. 2003, Binderup et al. 2007).

Pesticider

Den lokale pesticidforurening er yderst begrænset idet Grønland stort set ikke har landbrugsmæssig planteavl. Kartoffler og andre grøntsager dyrkes dog i de subarktiske områder af Sydgrønland (Departementet for Fiskeri, Fangst og Landbrug), men denne produktion foregår så vidt vides uden anvendelse af pesticider. Pesticidrester i sne, is og vand vil derfor skyldes en evt. fjerntransport via den atmosfæriske cirkulation. Tre pesticider er påvist i meget lave koncentrationer i overfladesne fra Narsarsuaq og Kangerlussuaq (BAM: 0,009 µg/L, simazin 0,003 µg/L, dimethoat 0,0014 µg/L, Bender et al. 2003). Gletsjersis fra før den industrielle revolution indeholdt ikke påviselige rester af 72 undersøgte pesticider (<0,002 µg/L, Bender et al. 2003). En senere undersøgelse af is fra fire forskellige bræer (Binderup et al. 2007) påviste nitrophenol og trichloreddikesyre, hvorimod de egentlige pesticider og nedbrydningsprodukter alle var under detektionsgrænsen (<0,01 µg/L). Nitrophenol formodes at være en forurening fra emballagen, som isen blev transporteret i, trikloreddikesyre derimod formodes at have en naturlig oprindelse således, at der globalt er et lavt baggrundsniveau.

PCB og pentachlorphenol

I ung sne fra Narsarsuaq blev der påvist tre ud af syv analyserede PCB kongener, men i lav koncentration (0,002–0,003 µg/L, Bender et al. 2003). Derudover blev pentachlorphenol påvist i høj koncentration, 6,1 µg/L, hvilket er langt over drikkevandskriteriet. Gletsjeris fra Narsarsuaq fra før den industrielle revolution indeholdt ikke påviselige rester af syv undersøgte PCB'er (<0,002 µg/L, Bender et al., 2003). En senere undersøgelse af is fra fire bræer gav et tilsvarende resultat (<0,005 µg/L, Binderup et al. 2007).

Tjærestoffer

I ung sne fra Narsarsuaq blev der påvist 15 ud af 15 analyserede PAH'er (0,014–0,65 µg/L for individuelle PAH'er, Bender et al. 2003). Indholdet i overfladesne fra Summit varierede i spændet 0,1–10 µg/L for summen af 12 PAH'er (Masclat, et al. 2000). De målte niveauer var betydeligt lavere i et senere studie, hvor koncentrationer i overfladesne fra Summit varierede fra 0,3 til 21 ng/L (Slater et al. 2002). Gletsjeris fra Narsarsuaq fra før den industrielle revolution indeholdt ikke påviselige rester af 15 undersøgte tjærestoffer (<0,002 µg/L, Bender et al. 2003). Det samme gælder fire bræer, hvor de 16 undersøgte tjærestoffer alle var under detektionsgrænsen på 0,005 µg/L (Binderup et al. 2007).

Konklusionen på ovenstående er, at ingen af de nævnte grupper miljøfremmede stoffer giver anledning til bekymring. For det første var de påviste koncentrationer, bortset fra PCB, meget lave og for det andet stammede fundene fra overfladeprøver, dvs. sne som var afsat for nylig. Da vandet i smeltevandssøer hovedsagelig vil stamme fra smeltet is med en alder fra før den industrielle revolution vil det meste af vandet være uden miljøfremmede stoffer, og evt. nyligt afsatte stoffer forventes derfor at blive fortyndet til under detektionsgrænserne. Vi anbefaler derfor, at der ikke analyseres for organiske miljøfremmede stoffer under en evt. screening for egnede tappesteder, så længe disse ligger opstrøms menneskelig aktivitet.

4.3.3 Mikrobiologiske forureninger

Vandkvaliteten i smeltevandssøer kan forringes ved forurening med parasitter og mikroorganismer fra mennesker (oftest via spildevand) og dyr. Hvis vandet skal bruges som flaskvand, bør vandet ved tapningen som minimum overholde de danske kriterier for mikrobiologiske parametre ved udspringet, som beskrevet i "Bekendtgørelse om naturligt mineralvand, kildevand og emballeret drikkevand" (BEK nr, 38 af 12/01/2016), sektion 1.3:

- 1.3.1. påvisning af, at der ikke er parasitter eller patogene mikroorganismer til stede,
- 1.3.2. kvantitativ bestemmelse af udviklingsdygtige mikroorganismer som tegn på fækal kontamination:
 - a) ingen *Escherichia coli* og andre colibakterier i 250 ml ved 37°C og 44,5°C,
 - b) ingen *Enterococcus faecalis* i 250 ml,
 - c) ingen sporebærende sulfitreducerende anaerobe bakterier i 50 ml og
 - d) ingen *Pseudomonas aeruginosa* i 250 ml og
- 1.3.3. bestemmelse af det samlede antal udviklingsdygtige mikroorganismer pr. ml vand:

- a) ved 20–22°C efter 72 timer på agar-agar eller en agar-gelatineblanding og
- b) ved 37°C efter 24 timer på agar-agar.

Bakterier

De bakterielle analyser er i bekendtgørelsen opdelt i analyser for fækal forurening og analyser for det samlede antal udviklingsdygtige mikroorganismer (total kimtal). Den fækale forurening kan stamme fra utilstrækkeligt rensset spildevand, de udvalgte smeltevandssøer bør derfor ligge i områder uden bebyggelse for at undgå spildevand. Fækal forurening kan også stamme fra dyr og smeltevand. I områder med mange fugle, moskusokser, rener, får eller kvæg vil derfor også kunne udvise forhøjede værdier for fækale bakterier.

Når det samlede kimtal udviser forhøjede værdier, er der ofte tale om overfladevand fra søer med højt indhold af organisk stof. Det organiske stof kan enten komme fra en stor primærproduktion i næringsrige søer eller det kan udvaskes fra de omkringliggende arealer. Kimtallet vil sandsynligvis ligge lavt i de relevante smeltevandssøer, dels fordi smeltevandet er næringsfattigt, dels fordi de udvalgte søer bør have et ringe bidrag af grundvand og overfladevand. Hvis de udvalgte søer derimod ligger i områder med megen vegetation og har et stort bidrag fra overfladevand og/eller grundvand, vil der være risiko for udvaskning af organisk stof og dermed forhøjede kimtal.

Parasitter: Cryptosporidium og Giardia

Når overfladevand bruges til drikkevand er der risiko for smitte med vandbårne parasitter. Den vigtigste gruppe i Grønland er sandsynligvis cryptosporidierne, men udbrud af andre potentielt vandbårne zoonoser såsom brucellose, giardiasis og echinococcosis er beskrevet fra Alaska (Hueffer et al. 2013). Cryptosporidier giver alvorlig diarré ved infektion, såkaldt cryptosporidiose. Cryptosporidium er encellede parasitter, der lever i tarmen hos smittede mennesker og dyr. Cryptosporidium kan findes i både husdyr og vilde dyrebestande. Parasitternes hvilestadie kaldes oocyster, og smitte sker ved indtagelse af oocyster. Et smittet individ kan udskille millioner oocyster per gram fækalie; en lille mængde fækalie eller urensset spildevand kan derfor inficere en meget stor mængde drikkevand. Det kendteste udbrud er fra Milwaukee (Michigan, USA), hvor omkring 400.000 personer blev smittet med Cryptosporidium sandsynligvis pga. utilstrækkelig rensning af overfladevand fra Michigansøen på et af byens vandværker (MacKenzie et al. 1994).

Cryptosporidium (f.eks. *C. parvum*) forekommer i får (Foreyt 1990), hvilket kan udgøre et problem, hvis de udvalgte smeltevandssøer ligger i områder med fårehold i Sydgrønland. Besætningsstørrelserne er på ca. 450 pr. fåreholdersted og de seneste 10 år er produktionen af får og lam kommet op på 20.000–24.000 slagtede dyr hos Neqi A/S (Departementet for Fiskeri, Fangst og Landbrug). I Grønland er der ikke kvægbrug og det massive smittetryk fra kvæg, som findes i andre lande, er derfor ikke et problem i Grønland. Dette kan dog hurtigt ændre sig, idet der i 2004 blev indført kvæg, som i 2014 udgjorde 175 individer, og kvægbruget søges udviklet i andre områder end Sydgrønland (Departementet for Fiskeri, Fangst og Landbrug).

Cryptosporidier forekommer også i vilde dyrebestande. Vi har ikke kunnet finde specifikke data fra Grønland, men rensdyr og moskusokser er de mest sandsynlige naturlige bærere af cryptosporidier. En undersøgelse af rener fra det nordlige Alaska påviste Cryptosporidium i 6% af de undersøgte dyr, men det var ikke den typiske kvæg-cryptosporidium (*C. parvum*), men derimod en ny type som kun er påvist i rener. Moskusokser er tæt beslægtede med får og Cryptosporidium (*C. xiaoi*) er da også påvist i moskusokser i Dovre Natio-

nalpark, Norge (Davidson et al. 2014). Det er derfor sandsynligt at moskusokser også kan være bærere af cryptosporidier i Grønland.

Udover zoonotiske cryptosporidier, som kan smitte både mennesker og dyr, har der været udbrud af *Cryptosporidium hominis* i flere bygder i den arktiske Nunavut-region, Quebec, Canada (Thivierge et al. 2016). *C. hominis* inficerer kun mennesker og smitter mellem individer, f.eks. via forurenede vand. Den vil derfor også kunne forurene drikkevandsressourcen, hvis drikkevand forurenes med spildevand eller humane fækalier.

Giardiasis er en lignende tarminfektion, som skyldes tarmparasitten *Giardia lamblia*. Den smitter som oftest gennem forurenede drikkevand eller fødevarer. Reservoiret for *Giardia* er mennesker og muligvis også enkelte dyrearter (sundhed.dk). I en undersøgelse af rener fra det nordlige Alaska var der ingen *Giardia* i de 46 undersøgte individer (Sifker et al. 2002). *Giardia duodenalis* er derimod blevet påvist i moskusokser fra Dovre Nationalpark (Davidson et al. 2014).

Mikrobiologiske analyser

De bakterielle analyser skal helst igangsættes indenfor 24 timer efter at vandprøven er udtaget. Dette kan blive problematisk ved den indledende screening af mulige smeltevandssøer, da transporttiden til et akkrediteret laboratorium ofte vil overskride tidsgrænsen. Alternativt kan man i de indledende undersøgelser benytte Petrifilm-metoden til enterokokker, coliforme, *E. coli* og totale kimtal. Petrifilmanalyser kræver kun, at man kan styre temperaturen, og målingerne kan derfor foretages i felten. Petrifilm er ikke akkrediterede eller godkendte metoder og kan derfor kun bruges til screening – ikke til egentlig bestemmelse af drikkevandskvalitet.

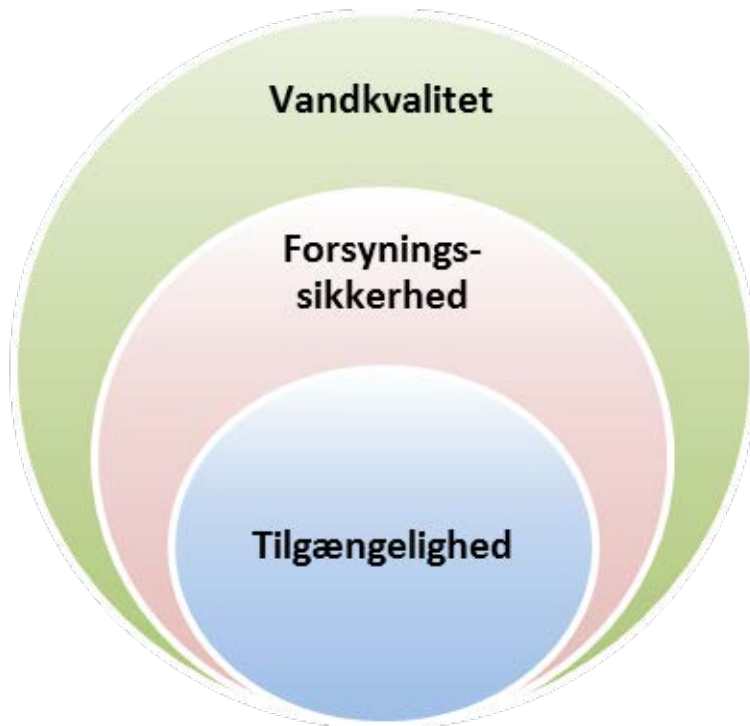
Oocyster fra *Microsporidium* og *Giardia* er derimod forholdsvis hårdføre og vil sandsynligvis kunne analyseres efter længere tids transport til et akkrediteret laboratorium. Der er risiko for forhøjet udvaskning af oocyster til smeltevandssøer i forbindelse med forårets snesmeltning. Vandet i potentielle produktionssøer bør derfor analyseres for oocyster lige efter snesmeltning og henover sommeren.

4.4 Vandrensning

Vi vil ikke i denne rapport gå ind i mulighederne for vandrensning, men det skal nævnes, at der findes muligheder for simple rensemetoder til visse af de potentielt problematiske komponenter. Skulle indholdet af jern eller mangan f.eks. vise sig at være for højt, vil en simpel filtrering i et sandfilter være en mulighed. Skulle det vise sig umuligt at overholde de mikrobiologiske kriterier, kan en UV-belysning eller ozonering overvejes, mens desinficering med klor næppe er en mulighed, hvis produktet efterfølgende skal sælges på flaske.

5. Konklusion

Ud fra en gennemgang af relevante glaciologiske, geografiske og geokemiske parametre beskrevet i detaljer i indeværende rapport, kan vi etablere en række anbefalinger opdelt i tre niveauer: 1) Tilgængelighed, 2) forsyningsikkerhed og 3) vandkvalitet, hvor hvert niveau er afhængigt af det foregående:



Figur 8. Gensidig afhængighed for anbefalede kriterier. En lokalitet skal først og fremmest være tilgængelig, derefter skal den kunne garantere en sikker forsyning og endelig skal den leve op til en tilstrækkelig vandkvalitet.

Med denne gensidige afhængighed in mente, kan vi i punktform opstille en række anbefalinger for kriterier for en kommende udpegning af egnede lokaliteter.

Tilgængelighed

- 1) Afstand til eksisterende infrastruktur (specielt havne) og arbejdskraft bør prioriteres højt af konkurrencemæssige årsager.
- 2) Der bør foretages en overvejelse af typen af eksportlogistik, da kriterierne for tilgængelighed afhænger af denne, dvs. om der skal anvendes eksisterende udskibningsmuligheder, eller om der skal etableres nye havnefaciliteter og bruges egne skibe.
- 3) Begrænsninger i besejling pga. havis og fjordis bør inddrages og kortlægges ud fra eksisterende historiske satellitdata.
- 4) Begrænsninger i besejling pga. risiko fra isbjerge bør evalueres, særligt i forbindelse med fjorde med kælvende gletsjere. Generelt bør isfjorde undgås.

- 5) Kendskab til vanddybder for besejling af lokaliteter er nødvendigt, og skal sammenholdes med den valgte eksportlogistik og dybgang af skibe.
- 6) En lokalitet af en beskaffenhed der er egnet til etablering af bygninger/havnefaciliteter. Store floddeltaer, stor tidevandsforskel og lignende kan vanskeliggøre produktion og udskibning.
- 7) Lokal viden bør indsamles og inddrages før udpegede lokaliteter besøges i felten.

Forsyningsikkerhed

- 8) En lokalitet i Syd- eller Sydvestgrønland vil sikre en længere smeltevandssæson. Der bør beregnes en prognose for den fremtidige mængde forventet smeltevand baseret på realistiske klimascenarier.
- 9) Oplandet, specielt den isdækkede del, til vandressourcen bør kortlægges så det med sikkerhed vides at være tilstrækkeligt stort til at minimere risikoen for oplandsændringer i selve isen.
- 10) En lokalitet med en proglacial smeltevandssø opstrøms vil være en fordel, da den forsyningsmæssigt vil fungere som en buffer for hurtige variationer i mængden af smeltevand (dag- til ugebasis).
- 11) Et isdække i oplandet af tilstrækkelig størrelse til ikke at blive væsentligt reduceret i et varmere klima.
- 12) Lokaliteter med gletsjerdæmmede søer opstrøms bør identificeres og undgås for at minimere risikoen for pludselige tømninger (jökullhlaup).

Vandkvalitet

- 13) Isens alder og oprindelse er et vigtigt salgsargument og bør derfor estimeres ved hjælp af isdynamisk modellering.
- 14) Undgå områder med kendte radioaktive forekomster, f.eks. de alkaline intrusioner i Sydgrønland.
- 15) Evaluér lokaliteten ud fra risikoen for særligt høje koncentrationer af problematiske grundstoffer i bæksedimenter. Generelt vil områder domineret af granit og gnejs sandsynligvis udgøre den mindste risiko for afsmitning af problematiske metaller.
- 16) Områder med lille nedbør uden for lang gletsjerarm og med kortest mulig afstand fra gletsjerport til produktionssted vil minimere risikoen for problematiske uorganiske parametre.
- 17) Undgå smeltevandssøer hvor der er vækst af cyanobakterier og undgå søer som fødes med vand fra vandløb med vækst af cyanobakterier.
- 18) De udvalgte smeltevandssøer bør have et ringe bidrag af overfladevand eller grundvand, hvis de ligger i områder med megen vegetation, da dette øger risikoen for udvaskning af organisk stof, der kan give forhøjede kimtal.
- 19) Undgå bebyggede områder hvor der er risiko for udledning af spildevand og menneskeskabte forureningsstoffer til vandressourcen. Potentielle indvindings søer bør screenes grundigt for forekomst af fækale bakterier. Ved en eventuel vandproduktion bør der screenes løbende for bakteriologiske parametre på et akkrediteret laboratorium.
- 20) Undgå områder med fårehold eller store bestande af rener og moskusokser for at undgå kontaminering med fækale bakterier og Cryptosporidium. Potentielle indvindings søer bør screenes grundigt for forekomst af Cryptosporidium oocyster. Ved en eventuel vandproduktion bør der screenes løbende for Cryptosporidium.

Det anbefales at ovenstående kriterier tages til anvendelse ved udpegningen af egnede lokaliteter til eksport af smeltevand fra gletsjere i Grønland.

Derudover anbefales det at følgende vandkvalitetsanalyser bliver udført under/efter feltbesøg ved udpegede lokaliteter:

- A. Analyse for radioaktivitet.
- B. Måling af sedimentindhold i smeltevandet. Bør foretages flere gange over en smeltesæson.
- C. Ledningsevne og pH måles i felten.
- D. Standard analysepakke for dansk drikkevand bør udføres på kommercielt laboratorium for at afklare evt. forekomst af problematiske uorganiske stoffer. Denne bør udvides, hvis en egentlig udpegning nærmer sig.
- E. Duft- og lugttest udføres i første omgang som sniffertest i felten, mindst to personer bør uafhængigt vurdere hver prøve.
- F. Kemisk screening for microcystiner og andre cyanotoxiner. Vandprøver bør indsamles fra hver sø flere gange i løbet af vækstsæsonen.
- G. Tællinger af de bakterier, som er nævnt i BEK nr. 38 af 12/01/2016. I første omgang kan tællingerne udføres som petrifilm-test i felten (for de typer bakterier hvor der er udviklet petrifilm), senere screenes med godkendte metoder på et akkrediteret laboratorium.
- H. Tællingerne bør foretages lige efter sneafsmeltning samt senere på sommeren.
- I. Tællinger af parasit oocyster fra slægten *Microsporidium*, evt. også fra slægten *Giardia*. Tællingerne bør foretages lige efter sneafsmeltning samt henover sommeren.

Det anbefales, at der igangsættes en undersøgelse i tre faser (se Fig. 2) med afrapportering fra hver enkelt fase, hvor de anbefalede kriterier tages i anvendelse:

- 1) En indledende udpegning af egnede lokaliteter ud fra de opstillede kriterier, baseret på eksisterende data og indledende modellering
- 2) Feltbesøg ved de udpegede lokaliteter hvor der foretages glaciologisk, geologisk og geografisk beskrivelse, prøvetagning af smeltevand og andre relevante bestanddele, vandkvalitetsmålinger på stedet, opstilling af automatiske målestationer
- 3) Analyse af hjemtagne prøver i relevante laboratorier, numerisk modellering af isdynamik og afsmeltning, analyse af automatiserede målinger

Det anbefales yderligere at den erhvervede viden gøres alment tilgængelig og indgår som et aktiv i Naalakkersuisuts (Grønlands Selvstyres) strategi for at tiltrække investeringer indenfor is/vand-området.

6. Referencer

- Ahlstrøm, A.P., Binderup, M., Jacobsen, C.S., Jakobsen, P.R., Gravesen, P. & Weidick, A. 2006: Analyse af gletschere fra Grønlands Indlandsis: Mulighed for anvendelse af gletschere til produktion af is til eksport af flaskevand. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2006/50, 154 pp.
- Ahlstrøm, A.P., Binderup, M., Jacobsen, C.S., Jakobsen, P.R., Gravesen, P. & Weidick, A. 2007: Résumé of the possibilities for the use of Greenland Inland Ice for export. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2007/22, 29 pp.
- Andersen, S., Pedersen, K.M., Iversen, F., Terpling, S., Gustenhoff, P., Petersen, S.B., Laurberg, P. 2008; Naturally occurring iodine in humic substances in drinking water in Denmark is bioavailable and determines population iodine intake, *British Journal of Nutrition*, 99, 319–325.
- Bender, M., Felding, G. & Jacobsen, C.S. 2003a: Drikkevandskvalitet af Grønlandsk indlandsis. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2003/26, 34 pp.
- Bender, M., Felding, G. & Jacobsen, C.S. 2003b: Global forurening af den Grønlandske indlandsis med miljøfremmede stoffer og tilstedeværelsen af levedygtige mikrobielle kim. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2003/64, 35 pp.
- Benson, E. 2015. Giant balls of bacteria pile up on Arctic lake beds, ooze toxin, *Eos*, 96, doi:10.1029/2015EO042397.
- Binderup, M., Ahlstrøm, A.P., Jakobsen, P.R., Jacobsen, C.S., Gravesen, P. & Jacobsen, O.S. 2007. Glacier Ice as resource for freshwater export. Investigation of four glaciers from the Greenland Inland Ice. Fieldwork and analysis, Geological Survey of Denmark and Greenland Report 2007/14, 91 pp.
- Binderup, M., Ahlstrøm, A.P., Jakobsen, P.R., Jacobsen, C.S., Gravesen P. & Jacobsen, O.S. 2007. Glacier Ice as resource for freshwater export. Investigation of four glaciers from the Greenland Inland Ice, carried out for the Greenland Home Rule, Geological Survey of Denmark and Greenland Report 2007/76, 117 pp.
- Bøggild, C.E., Weidick, A. & Olesen, O.B. 2000: Indledende lokalisering af grønlandske gletschere med is/vand egnet til eksport. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2000/13, 28 pp. English version: Bøggild et al. (2000): Preliminary localization of greenlandic glaciers with ice/water suitable for export. GEUS Report 2000/73, 30 pp.
- Chandler, D. M., Wadham, J.L., Lis, G.P., Cowton, T., Sole, A., Bartholomew, I. & Telling, J. 2013. 'Evolution of the Subglacial Drainage System beneath the Greenland Ice Sheet Revealed by Tracers'. *Nature Geoscience* 6, no. 3 (March 2013): 195–98. doi:10.1038/ngeo1737.
- Christensen O.B., Drews, M., Christensen, J.H., Dethloff, K., Ketelsen, K., Hebestadt, I. and Rinke, A. 2007. The HIRHAM Regional Climate Model Version 5 (beta), DMI Technical Report 06-17, 22 p.
- Citterio, M. and Ahlstrøm, A.P. 2013. Brief communication: The aerophotogrammetric map of Greenland ice masses, *The Cryosphere*, 7, 445-449, 2013, doi: 10.5194/tc-7-445-2013.
- Citterio, M., van As, D., Ahlstrøm, A.P., Andersen, M.L., Andersen, S.B., Box, J.E. & Charalampidis, C. 2015. 'Automatic Weather Stations for Basic and Applied Glaciological Research'. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin* 33 (2015): 69–72.

- CODEX STAN 227-2001: General Standard for Bottled/Packaged Drinking Waters (other than Natural Mineral Waters), 5p.
- Davidson R.K, Amundsen, H., Lie, N.O., Luyckx, K., Robertson, L.J., Verocai, G.G., Kutz, S.J. & Ytrehus, B. 2014. Sentinels in a climatic outpost: Endoparasites in the introduced muskox (*Ovibos moschatus wardi*) population of Dovrefjell, Norway. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* 3: 154–160.
- Departementet for Fiskeri, Fangst og Landbrug.
<http://naalakkersuisut.gl/da/Naalakkersuisut/Departementer/Fiskeri-Fangst-og-Landbrug/Landbrug/Landbruget-i-Groenland>. Downloadet 9/6-2016.
- EPA 2016: Ground Water and Drinking Water. Table of Regulated Drinking Water Contaminants. 15 sider.
- EU 2013: Rådets Direktiv 2013/51/EURATOM af 22. Oktober 2013 om krav til beskyttelse af befolkningens sundhed med hensyn til radioaktive stoffer i drikkevand, 10 sider.
- Fitzpatrick, A.A.W., Hubbard, A.L., Box, J.E., Quincey, D.J., van As, D., Mikkelsen, A.P.B., Doyle, S.H., Dow, C.F., Hasholt, B. and Jones, G.A. 2014. A decade (2002–2012) of supraglacial lake volume estimates across Russell Glacier, West Greenland. *Cryosph.*, 8, 107-121 (doi:10.5194/tc-8-107-2014).
- Foreyt, W.J. 1990. Coccidiosis and cryptosporidiosis in sheep and goats. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 6:655-670.
- Gagliardini, O., Zwinger, T., Gillet-Chaulet, F., Durand, G., Favier, L., de Fleurian, B. & Greve, R. 2013 'Capabilities and Performance of Elmer/Ice, a New-Generation Ice Sheet Model'. *Geoscientific Model Development* 6, no. 4 (22 August 2013): 1299–1318. doi:10.5194/gmd-6-1299-2013.
- Grønlands Hjemmestyre, 2008: Certification and Quality Guide for Greenland Ice and Water Resources, 12 sider.
- Hasholt, B., Mikkelsen, A.B., Nielsen, M.H. & Larsen M.A.D. (2013) Observations of Runoff and Sediment and Dissolved Loads from the Greenland Ice Sheet at Kangerlussuaq, West Greenland, 2007 to 2010. *Zeitschrift für Geomorphologie* 57, Supplementary Issue 2, 3 – 27 (doi:10.1127/0372-8854/2012/S-00121).
- Hooke, Roger LeB. *Principles of Glacier Mechanics*. Cambridge University Press, 2005.
- Hueffer, K., Parkinson, A.J., Gerlach, R. & Berner, R. 2013. Zoonotic infections in Alaska: disease prevalence, potential impact of climatechange and recommended actions for earlier disease detection, research, prevention and control. *Int J Circumpolar Health* 72: 19562 - <http://dx.doi.org/10.3402/ijch.v72i0.19562>.
- ICBWA 2003: ICBWA Model Code. International Council of Bottled Water Associations, 12 sider.
- Junge, C.E. 1958; The distribution of Ammonia and nitrate in rain water over the United States, *Transactions American Geophysical Union*, 39, 241-248.
- Johansen, P. & Rydahl, K. 2007. *Miljøgifte i Grønland, Danmarks Miljøundersøgelser og Forlaget Hovedland*.
- Keulen, N., Thrane, K., Stensgaard, B.M. & Kalvig, P. 2014: An evaluation of the potential for uranium deposits in Greenland. MiMa report 2014/1. Geological Survey of Denmark and Greenland, 87 sider
- Mac Kenzie, W.R., Hoxie, N.J., Proctor, M.E., Gradus, M.S., Blair, K.A., Peterson, D.E., Kazmierczak, J.J., Addiss, D.G., Fox, K.R., Rose, J.B. & Davis, J.P. 1994. A Massive Outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* Infection Transmitted through the Public Water Supply. *N Engl J Med* 331:161-167. DOI: 10.1056/NEJM199407213310304

- Sundhed.dk. [https://www.sundhed.dk/borger/sygdomme-aa/infektioner/sygdomme/protozoer-og-orme/giardiasis/ downloadet 9/6-2016](https://www.sundhed.dk/borger/sygdomme-aa/infektioner/sygdomme/protozoer-og-orme/giardiasis/downloadet%209/6-2016).
- Machguth, H., MacFerrin, M., van As, D., Charalampidis, C., Colgan, W., Fausto, R.S., Meijer, H.A.J., Mosley-Thompson, E. & van de Wal, R.S.W. 2016. 'Greenland Meltwater Storage in Firn Limited by near-Surface Ice Formation'. *Nature Climate Change* 6, no. 4 (2016): 390–393.
- Masclat P., Hoyau V., Jaffrezo J. L., and Cachier H. 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbon deposition on the ice sheet of Greenland. Part I: Superficial snow. *Atmospheric Environment* 34:3195–3207.
- Mayer, C.J., Bøggild, C.E., Olesen, O.B. & Podlech, S. 2003: Ice studies in relation to ice/water export, data collection, modelling and evaluation approach. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2003/6, 33 pp.
- McMillan, M., Nienow, P., Shepherd, A., Benham, T. and Sole, A. 2007 'Seasonal Evolution of Supra-Glacial Lakes on the Greenland Ice Sheet'. *Earth and Planetary Science Letters* 262, no. 3–4 (30 October 2007): 484–92. doi:10.1016/j.epsl.2007.08.002.
- Mikkelsen, A.B., Hubbard, A., MacFerrin, M., Box, J.E., Doyle, S.H., Fitzpatrick, A., Hasholt, B., Bailey, H.L., Lindbäck, K. and Pettersson, R. 2016 Extraordinary runoff from the Greenland ice sheet in 2012 amplified by hypsometry and depleted firn retention. *The Cryosphere* 10, no. 3 (30 May 2016), 1147-1159 (doi:10.5194/tc-10-1147-2016).
- Mosbech, A. et al. 2000: Environmental Oil Spill Sensitivity Atlas for the West Greenland Coastal zone between 62°N and 68°N. Produced by NERI and GEUS, The Danish Energy Agency, Ministry of Environment and Energy, 199 pp.
- Mosbech, A. et al., 2004: Environmental Oil Spill Sensitivity Atlas for the South Greenland Coastal Zone between 56°N and 62°N. Produced by NERI and GEUS. NERI, Ministry of Environment, 124 pp. + App. A-F.
- Palmer, S., McMillan, M. and Morlighem, M. 2015. Subglacial lake drainage detected beneath the Greenland ice sheet. *Nature Comm.* 6, 8408 (doi:10.1038/ncomms9408).
- Rambøll 2006: Grønlandsk is og vand. Udarbejdet for Grønlands Hjemmestyre, 167 sider.
- Reeh, N., Oerter, H., and Thomsen, H.H. 2002. 'Comparison between Greenland Ice-Margin and Ice-Core Oxygen-18 Records'. *Annals of Glaciology* 35, no. 1 (1 January 2002): 136–44. doi:10.3189/172756402781817365.
- Reeh, N. 1988. A Flow-Line Model for Calculating the Surface Profile and the Velocity, Strain-Rate, and Stress Fields in an Ice Sheet. *Journal of Glaciology* 34, no. 116 (1 January 1988): 46–55. doi:10.3198/1988JoG34-116-46-54.
- Russell, A.J., Carrivick, J.L., Ingeman-Nielsen, T., Yde, J.C. and Williams, M. 2011. A new cycle of jökulhlaups at Russell Glacier, Kangerlussuaq, West Greenland. *J. Glaciol.* 57 (202), 238-246.
- Sharp, M., Richards, K.S. and Tranter, M. (eds.) 1998. *Glacier Hydrology and Hydrochemistry, Advances in Hydrological Processes*, John Wiley & Sons Ltd, 344pp.
- Siefker, C., Rickard, L.G., Pharr, G.T., Simmons, J.S. and O'Hara, T.M. 2002. Molecular Characterization of *Cryptosporidium* sp. Isolated From Northern Alaskan Caribou (*Rangifer tarandus*). *J. Parasitol.*, 88(1), 2002, pp. 213–216.
- Slater, J.F., Currie, L.A., Dibb, J.E. and Benner Jr., B.A. 2002. Distinguishing the relative contribution of fossil fuel and biomass combustion aerosols deposited at Summit, Greenland through isotopic and molecular characterization of insoluble carbon. *Atmospheric Environment* 36: 4463–4477.

- Steenfelt, A. 2001: Geochemical atlas of Greenland – West and South Greenland. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2001/46, 39 sider + 1 CD-ROM.
- Steenfelt, A. 2004: En vurdering af de geokemiske forhold i de grønlandske byers vandresourceoplunde og deres indflydelse på kvaliteten af råvandet- revideret. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2004/58, 73 sider.
- Søndergaard, J., Tamstorf, M., Elberling, B., Larsen, M.M., Mylius, M.R., Lund, M., Abermann, J. and Rigét, F. 2015. Mercury Exports from a High-Arctic River Basin in Northeast Greenland (74°N) Largely Controlled by Glacial Lake Outburst Floods. *Science of The Total Environment* 514 (May 2015): 83–91. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.01.097.
- Thivierge, K., Iqbal, A., Dixon, B., Dion, R., Levesque, B., Cantin, P., Cédilotte, L., Ndao, M., Proulx, J-F. and Yansouni, C.P. 2016. *Cryptosporidium hominis* is a Newly Recognized Pathogen in the Arctic Region of Nunavik, Canada: Molecular Characterization of an Outbreak. *PLOS Neglected Tropical Diseases* DOI:10.1371/journal.pntd.0004534.
- Voutchkova, D.D. 2014. Iodine in Danish Groundwater and Drinking water, PhD thesis, Aarhus University.
- Weidick, A., Bøggild, C.E. & Knudsen, N.T. 1992: Glacier inventory and atlas of West Greenland. Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 158, 194 pp.
- Weidick, A. and Citterio, M. 2011. Correspondence. The ice-dammed lake Isvand, West Greenland, has lost its water. *J. Glaciol.*, 57(201), 186–188 (doi: 10.3189/002214311795306600)
- WHO 2007. Iodine deficiency in Europe: a continuing public health problem. In: Andersson M, de Benoist B, Darnton-Hill I, Delange F, editors. France: World Health Organization, UNICEF; 2007. p. 1–86.
- WHO 2011: Guidelines for Drinking Water Quality, 564 sider (afsnit om radiologiske aspekter side 203-218).
- WHO 2015; Management of cyanobacteria in drinking-water supplies: Information for regulators and water suppliers.
- WHO 2016; Nitrate and nitrite in drinking-water, WHO/SDE/WSH/07.01/16/Rev/1
- Yde, J.C. and Knudsen, N.T. 2004. 'The Importance of Oxygen Isotope Provenance in Relation to Solute Content of Bulk Meltwaters at Imersuaq Glacier, West Greenland'. *Hydrological Processes* 18, no. 1 (1 January 2004): 125–39. doi:10.1002/hyp.1317.
- Young, W.F., Horth, H., Crane, R., Ogden, T. and Arnott, M. 1996; Taste and odour threshold concentrations of potential potable water contaminants. *Water Res.* 30 (2), 331–340.
- Zaitlin B. and Watson, S.B. 2006; Actinomycetes in relation to taste and odour in drinking water: myths, tenets and truths, *Water Res.* 40, 1741-1753.

7. Bilag

Bilag A

Tabel A7-1. Tabel A1. Grænseværdier (maksimumværdier) for uorganiske stoffer i relevante drikke- og flaskevandsbekendtgørelser. Blanke felter angiver at stoffet ikke findes på den konkrete liste. Alle koncentrationer er i mg/L.

Bestanddel	Vandhanevand				Flaskevand	
	Drikkevand (GL) ¹⁾	Drikkevand (DK) ²⁾	Drikkevand (EU) ³⁾	Drikkevand (USA) ⁴⁾	Naturligt mineralvand (DK) ⁵⁾	ICBWA ⁶⁾
Aluminium	0,20	0,20	0,20	0,20		
Ammonium*	0,5	0,05	0,5			
Antimon†	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005	0,005
Arsen*†	0,005	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Barium*†		0,700		2	1,0	
Beryllium		0,010		0,004		
Bly†	0,010	0,010	0,010		0,010	0,010
Bor*†	1,0	1,0	1,0			0,3
Cadmium†	0,005	0,005	0,005	0,005	0,003	0,003
Chrom†	0,050	0,050	0,050	0,1	0,050	0,05
Cyanid	0,050	0,050	0,050	0,2	0,070	0,07
Fluorid*	1,5	1,5	1,5	4	5,0	1,5
Jern*	0,2	0,2	0,2	0,3		
Kobber†	2,0	2,0	2,0	1,3	1,0	2,0
Kobolt*†		0,005	0,005			
Magnesium*		50				
Mangan*	0,05	0,05	0,05	0,05	0,50	0,05
Kviksølv†	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
Molybdæn		0,020				0,070
Natrium*	200	175	200			
Nikkel*†	0,020	0,020	0,020		0,020	0,020
Nitrat*	50	50	50	44	50	221
Nitrit*	0,5	0,1	0,5	3,3	0,1	10
Selen†	0,010	0,010	0,010	0,050	0,010	0,010
Sulfat*	250	250	250	250		
Thallium		0,001		0,002		
Zink†	0,100	0,100				
pH*	6,5-9,5	7,0-8,5	6,5-9,5	6,5-8,5 ‡		6,5-8,0
Ledningsevne*	<250 mS/m	>30 mS/m ‡	<250 mS/m			

¹⁾ Hjemmestyrets bekendtgørelse nr. 7 af 17. marts 2008

²⁾ Ved taphane hos forbrugeren (BEK nr. 1310 af 25/11/2015)

³⁾ RÅDETS DIREKTIV 98/83/EF

⁴⁾ US safe drinking water act (National Primary Drinking Water Regulations)

⁵⁾ BEK nr. 38 af 12/01/2016

⁶⁾ The International Council of Bottled Water Associations Standards

‡ Vejledende værdi – ikke krav

† Inkluderet i standard analysepakke for uorganiske sporstoffer i DK, pris ca. 3000 kr.

* Inkluderet i standard analysepakke for boringskontrol i DK, pris ca. 2900 kr.