

Siliciumtilførsel fra land

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 2. December 2021 | **88**



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Siliciumtilførsel fra land

Forfattere: Marie Maar & Hans Thodsen
Institution: Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

Faglig kommentering: Jens Würgler Hansen

Kvalitetssikring, DCE: Anja Skjoldborg Hansen
Sproglig kvalitetssikring: Jens Würgler Hansen

Rekvirent: Miljøstyrelsen

Bedes citeret: Maar, M. & Thodsen, H. 2021. Siliciumtilførsel fra land. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 12 s. – Fagligt notat nr. 2021|88
https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2021/N2021_88.pdf

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: Marie Maar

Sideantal: 12

Indhold

| | |
|---|----|
| Forord | 4 |
| 1 Antropogene og naturlige bidrag til tilførslen af silicium til vandløb | 5 |
| 2 Forvaltningsmæssig betydning af Si | 6 |
| 3 Målinger af transporten af Si i vandløb med udløb til Nordsøen og Østersøen | 7 |
| 4 Årsager til den faldende Si-koncentration i Østersøen | 8 |
| 5 Anbefalet måleprogram | 9 |
| 6 Måder til at opgøre tilførslen af Si til havet | 11 |
| 7 Referencer | 12 |

Forord

Miljøstyrelsen har anmodet DCE om at formulere et motivationspapir, hvor de redegør for deres anbefaling af, at der fremover opgøres tilførsler af silicium (Si) til de marine områder fra land. DCEs anbefaling skal bl.a. ses i lyset af, at silikat er begrænsende for kiselalgevæksten i Nordsøen, og at data fra Østersøen tyder på, at silikat-koncentration falder. Miljøstyrelsen har stillet følgende spørgsmål til DCE: 1) er der et antropogent bidrag til Si tilførslen til vandløb eller er det rent naturgivent, 2) hvordan gør Si os forvaltningsmæssigt klogere, 3) hvilke andre lande måler transporten af Si i vandløb, 4) hvorfor falder Si-koncentrationen i Østersøen, 5) skal der måles på samtlige vandløbsstationer eller kan der nøjes med nogle få udvalgte, 6) kan tilførslen til havet opgøres på samme måde som tilførslen af N og P.

1 Antropogene og naturlige bidrag til tilførslen af silicium til vandløb

Opløst Silicium (Si) kan tilføres vandløb naturligt, når nedbør eller grundvand kommer i kontakt med forvitrede siliciumholdige mineraler. Si udgør 27% af massen i jordskorpen, hvor det er det næstmest forekommende grundstof efter ilt.

Der kan være flere typer af antropogen indflydelse på Si-tilførslen til havet. Ændringer i hydrologiske forhold fx ved vandløbsregulering, inddæmning, opdæmning og sørestaurering kan forlænge opholdstiden af vandet og danne grobund for kiselalgeopblomstringer i ferskvand. Derved fjernes Si fra vandet ved optag og aflejring af kiselalger, inden Si når ud i de marine områder. Desuden recirkuleres og frigives Si meget langsommere fra sedimentet end N og P, hvilket også bidrager til Si-begrænsningen (Conley et al. 1993).

En ændring i de hydrologiske forhold, fx dræning kan resultere i en ændret frigivelse af Si til vandet (Conley et al. 2008). Fx indeholder sumpplanter og græsser en del silicium, hvorfor etablering af flere vådområder muligvis kan have en beskedent effekt i form af en reduktion i tilførslen af Si til marine områder (Den store Danske 2021). Desuden er der en effekt fra eutrofiering, hvor forøgede mængder af nitrat og fosfat giver grobund for flere kiselalger, som optager Si, synker ud og begraver Si i sedimentet på sø- og havbunden. Derved fjernes Si hurtigere fra vandet end ved lavere næringsstofkoncentrationer både i det ferske og marine miljø (Conley et al. 2008).

2 Forvaltningsmæssig betydning af Si

Et fald i Si-koncentration kan udløse Si-begrænsning hos kiselalger, som er afhængige af Si til deres cellevægge. Der kan derfor ske et artsskift fra store til mindre kiselalger, som er bedre til at optage Si ved lavere koncentrationer, eller til andre typer af alger, som ikke kræver optag af Si. Størrelsen af kiselalgeopblomstringer er generelt blevet lavere over tid som følge af forøget Si-begrænsning siden 1980'erne (Wasmund & Uhlig 2003). Stærk Si-begrænsning er blevet observeret i Rigabugten og den Finske Bugt ved $<56 \mu\text{g l}^{-1}$, hvor kiselkallerne var deforme (Danielsson et al. 2008, Olli et al. 2008). Si-begrænsning kan dog forekomme allerede ved $<112 \mu\text{g l}^{-1}$, da halvmætningskonstanten ligger omkring $22\text{-}94 \mu\text{g l}^{-1}$ (Danielsson et al. 2008). Der er flere monitoringsstationer i Danmark, som tidligere har vist Si-koncentrationer $<112 \mu\text{g l}^{-1}$ om foråret (Olli et al. 2008). I 2020 var der Si-begrænsning ($<112 \mu\text{g l}^{-1}$) i de åbne indre danske farvande juli-september og i juli var koncentrationen under $50 \mu\text{g l}^{-1}$. Koncentrationen var $<112 \mu\text{g l}^{-1}$ som årsmiddel i 2016 og 2019. I fjerde og kystvande var Si-koncentrationen $<112 \mu\text{g l}^{-1}$ i maj 2020. Desuden vil en Si:N-ratio <2 (Redfield, g) være et tegn på Si-begrænsning (Danielsson et al. 2008). Når kiselalgernes vækst begrænses, vil der være andre arter, som dominerer (f.eks. dinoflagellater), som ikke synker ud på samme måde som kiselalger. Derved vil sedimentationen af kulstof mindskes og reducere føde-transporten til de bentiske arter (Wassmann 1998). Kiselalger er ofte den foretrukne fødekilde for mange pelagiske græssere, og en nedgang i kiselalgebio-massen kan påvirke vandloppetproduktionen og i sidste ende fiskeriet (Conley & Schelske 1993, Danielsson et al. 2008). En tidlig tendens mod en lavere Si:N-ratio, selv i områder med høje Si-koncentrationer, kan derfor være de første tegn på en ugunstig ændring af økosystemet. Ved udvikling og anvendelse af økologiske modeller i søer, kystvande og åbne havområder, kan Si være et vigtigt input for at kunne beskrive algevæksten rigtigt. Modellerne bruges i stigende omfang til at beskrive ændringer i økosystemet som følge af eutrofiering og til at beregne den nødvendige reducere i næringsstoffertilførsler for at opnå en forbedret tilstand.

3 Målinger af transporten af Si i vandløb med udløb til Nordsøen og Østersøen

For landende omkring Nordsøen er det udover Danmark kun Belgien, som ikke måler Si i ferskvandstilførsler til havet (Tabel 3.1). For landene omkring Østersøen, er det Danmark, Tyskland og Polen, som ikke måler på Si i vandløb. Nationale opgørelser af Si-tilførsler til havet beregnes dog kun af Sverige og Norge. Dette er baseret på personlig henvendelse til grupperne HELCOM OLC IG og OSPAR INPUT.

Tabel 3.1. Oversigt over målinger og opgørelse af Si i ferskvandstilførsler til havet i de forskellige lande for Nordsøen og Østersøen. Holland måling både opløst og partikulært Si. Polen måler kun total Si og SiO₂ i kystvande og "transitional waters", men ikke i vandløb.

| Nordsøen | Si-målinger | Opgørelse af Si-tilførsler | Østersøen | Si-målinger | Opgørelse af Si-tilførsler |
|----------|-------------|----------------------------|-----------|-------------|----------------------------|
| Danmark | nej | nej | Danmark | nej | nej |
| Sverige | ja | ja | Sverige | ja | ja |
| Tyskland | ja | nej | Tyskland | nej | nej |
| Belgien | nej | nej | Estland | ja | nej |
| Frankrig | ja | nej? | Finland | ja | nej |
| Holland | ja | nej | Letland | ja | nej |
| Norge | ja | ja | Litauen | ja | nej |
| | | | Polen | nej | nej |
| | | | Rusland | ja | nej |

4 Årsager til den faldende Si-koncentration i Østersøen

Østersøen er et af de mange marine økosystemer, som har vist et fald i opløst Si-koncentration over tid (Humborg et al. 2008). Dette skyldes til dels ændringer i de hydrologiske forhold f.eks. vandløbsregulering, opdæmning til vandkraft og restaurering af søer (Humborg et al. 2006). Ved disse ændringer forlænges opholdstiden af vandet, og opblomstringer af kiselalger fjerner Si fra vandet, inden det når ud i Østersøen. Hydrologiske ændringer kan endvidere give en mindre kontakt mellem vandet og undergrunden, som giver en mindre Si-forvitring. Desuden er det velkendt, at eutrofiering bidrager til en forøget fjernelse af Si ved øget optagelse og udsynkning af kiselalger og efterfølgende begravelse i sedimentet (Conley et al. 2008). Faldet i Si-koncentrationen i Østersøen ser dog ud til at være aftagende, men et yderligere fald kan lede til udbredt Si-begrænsning af kiselalger med implikationer for økosystemdynamikken (Conley et al. 2008).

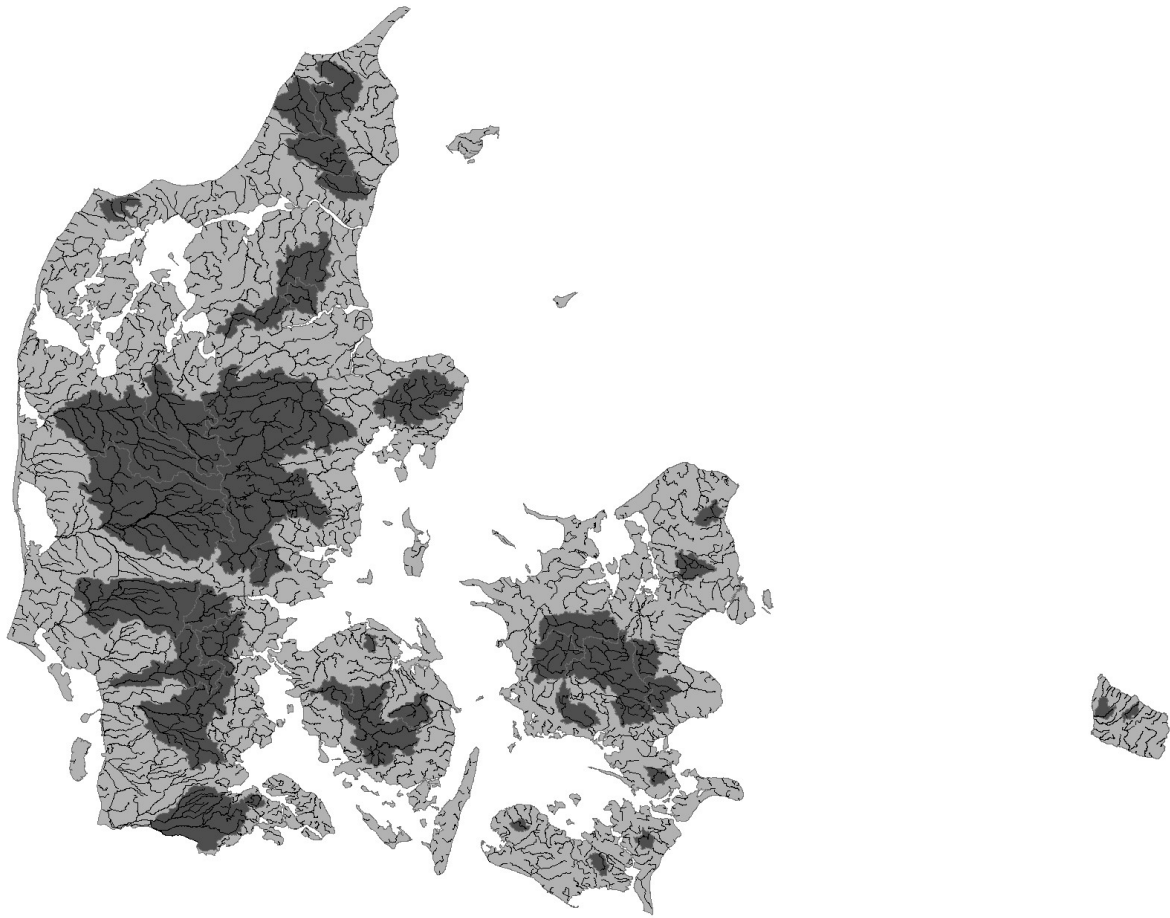
De samme mekanismer gør sig gældende i Danmark, hvor der er restaureret en del søer, men mekanismerne er sjældent set på store vandløb. De indre danske farvande er kendetegnet ved høj eutrofierings status, som derved kan påvirke Si-omsætningen.

5 Anbefalet måleprogram

For at opnå en så god geografisk dækning som muligt, skal der måles på en række hav-stationer. Stationerne skal så vidt muligt dække de almindeligste landskabstyper, bl.a. for at der herigennem evt. kan laves en ekstrapolation til umålte dele af landet. Som et forslag er der udpeget 39 stationer dækkende 33% af landet, se figur 5.1 og tabel 5.1. Der bør måles over en årrække fx min. 3 år, så der kan identificeres evt. årsvariationer, og der kan beregnes årstransporter. Når årstidsvariationen er fastlagt, kan overvågningen af Si-tilførslen til havet begrænses til fx hvert tredje år.

Tabel 5.1. Foreslåede stationer med analyse af silikatkoncentration.

| ODA_nr | Lokalitetsnavn |
|----------|--------------------|
| 3000002 | UGGERBY Å |
| 4000005 | LIVER Å |
| 6000001 | RY Å |
| 8000001 | GERÅ |
| 9000001 | STORÅ |
| 14000016 | LINDENBORG Å |
| 15000035 | VILLESTRUP Å |
| 17000007 | SIMESTED Å |
| 20000024 | KARUP Å |
| 21000467 | GUDENÅ |
| 22000062 | STORÅ |
| 24000050 | GRENÅEN |
| 25000097 | SKJERN Å |
| 28000001 | BYGHOLM Å |
| 31000027 | VARDE Å |
| 32000001 | VEJLE Å |
| 34000019 | KOLDING Å |
| 36000009 | KONGE Å |
| 38000024 | RIBE Å |
| 41000020 | BLÅ Å - BOVRUP BÆK |
| 42000016 | GRØNÅ |
| 43000003 | RINGE Å |
| 44000021 | VINDINGE Å |
| 45000002 | ODENSE Å |
| 46000001 | BRENDE Å |
| 50000056 | NIVE Å |
| 52000039 | VÆREBRO Å |
| 55000018 | ÅMOSE Å |
| 56000005 | TUDEA |
| 57000050 | SUSE Å |
| 57000055 | SALTØ Å |
| 58000047 | KØGE Å |
| 59000006 | TRYGGEVÆLDE Å |
| 60000031 | MERN Å |
| 61000012 | TINGSTED Å |
| 62000015 | MARREBÆKSRENDE |
| 63000007 | SAKSKØBING Å |
| 66000014 | Bagge Å |
| 67000018 | Kobbe Å |



Figur 5.1. De 39 oplande med foreslået Si prøvetagning.

6 Måder til at opgøre tilførslen af Si til havet

Tilførslen af Si til havet kan ikke umiddelbart opgøres på samme måde som for N og P, da der ikke foreligger en model for opførelse fra uomålt opland. Der findes heller ikke en model for Si-retention (tilbageholdelse) i fx søer og vådområder. Den foreslåede indsamling af Si-koncentrations data vil muligvis give et datagrundlag til udvikling af en empirisk model for tilførslen af Si fra uomålt opland. Alternativt, kan der måske laves en simpel ekstrapolation baseret på fx landskabstype. Det kan således ikke forventes, at det vil være muligt at estimere forholdsvis præcise tilførsler til vilkårlige farvandsområder og søer, specielt ikke steder hvor en væsentlig del af den tilførte vandmængde har passeret en større sø.

Afreportering af Si-koncentration og stoftransport kan ske som et fokus kapitel i vandløbsrapporten (NOVANA) efter endt indledende prøvetagningsperiode (min. tre år).

7 Referencer

Conley D, Schelske C (1993) Modification of the Biogeochemical Cycle of Silica with Eutrophication. Marine Ecology-progress Series - MAR ECOL-PROGR SER 101:179-192

Conley DJ, Humborg C, Smedberg E, Rahm L, Papush L, Danielsson A, Clarke A, Pastuszak M, Aigars J, Ciuffa D, Morth CM (2008) Past, present and future state of the biogeochemical Si cycle in the Baltic Sea. J Mar Syst 73:338-346

Conley DJ, Schelske CL, Stoermer EF (1993) MODIFICATION OF THE BIOGEOCHEMICAL CYCLE OF SILICA WITH EUTROPHICATION. Mar Ecol Prog Ser 101:179-192

Danielsson A, Papush L, Rahm L (2008) Alterations in nutrient limitations - Scenarios of a changing Baltic Sea. J Mar Syst 73:263-283

Den store Danske (2021) silicium | lex.dk - Den Store Danske (set 19/11-2021).

Humborg C, Pastuszak M, Aigars J, Siegmund H, Morth CM, Ittekkot V (2006) Decreased silica land-sea fluxes through damming in the Baltic Sea catchment - significance of particle trapping and hydrological alterations. Biogeochemistry 77:265-281

Humborg C, Rahm L, Conley DJ, Tamminen T, von Bodungen B (2008) Silicon and the Baltic Sea Long-term Si decrease in the Baltic Sea - A conceivable ecological risk? J Mar Syst 73:221-222

Olli K, Clarke A, Danielsson Å, Aigars J, Conley DJ, Tamminen T (2008) Diatom stratigraphy and long-term dissolved silica concentrations in the Baltic Sea. J Mar Syst 73:284-299

Wasmund N, Uhlig S (2003) Phytoplankton trends in the Baltic Sea. ICES J Mar Sci 60:177-186

Wassmann P (1998) Retention versus export food chains: processes controlling sinking loss from marine pelagic systems. Hydrobiologia 363:29-57