

Jagten på fakirplantens hemmelighed

En græsart ved Vadehavet har opfundet sin egen selvrensende dykkerklokke. Med inspiration fra denne plante kan vi stå med kimen til et overfladedesign, som kan revolutionere skibsfarten.

Af Dan Kofoed og
Nina Buch-Månson

■ I naturen kan vi finde vejen til nye opfindelser. Det er især interessant, når vi her ser en enkel løsning på et vanskeligt problem, fordi det giver os mulighed for at gøre naturen kunsten efter i laboratoriet og høste gevinsten af millioner af års evolution. Denne gren af videnskaben kaldes biomimik, og et af de fænomener, forskere især har øje på, er visse planters selvrensende evne. Hvis vi kan kopiere det underliggende design fra disse planter, vil det åbne muligheden for udvikling af selvrensende overflader, som både vil reducere udgifter og skåne miljøet. Vi mennesker bruger nemlig store mængder vand, kemikalier og energi på rengøring. Planter behøver blot en smule regn eller dug og en smart designet overflade.

Skibsindustrien åbner allerede en stor gevinst i de selvrensende overflader, for når alger sætter sig på skibsskroget, øges modstanden, når skibet glider



Foto: Ole Pedersen

Vadegræsarten Spartina anglica under vand. Dannelsen af en luftlomme på bladets overside ses som et skinnende sølvskær. Bladet er selvrensende, og effekten ses, når man sammenligner med det døde eksemplar til højre, som er overgroet med alger. Hvis evnen kan kopieres over på et skibsskrog, vil det medføre et reduceret energiforbrug.

gennem vandet. I dag maler man derfor skrogene med giftig maling, hvilket er til stor skade for miljøet. Et selvrensende skrog vil derimod kunne føre

til en betydelig reduktion af brændstofforbruget og samtidig skåne havmiljøet.

I denne sammenhæng er en, for vore øjne, simpelt udseende

vadehavspilte særlig interessant at kigge nærmere på. Vadegræsarten *Spartina anglica* blade har nemlig ikke alene en selvrensende overflade; når

planten oversvømmes, dannes på bladets overside en luftlomme, der virker som en dykkerklokke og tillader planten at ånde under vand. Tænker man sig et sådant design overført til et skibsskrog, ville det yderligere kunne mindske vandmodstanden og slitage.

Ved at zoome helt ind på bladene af *Spartina anglica* er det lykkedes os at afsløre den simple, men yderst elegante overfladestruktur, der giver ophav til bladenes så langt fra simple egenskaber.

En livsnødvendig dykkerklokke

Et klassisk eksempel på en selvrensende plante er *Nelumbo nucifera*, buddhismens hellige Lotus. Lotusplantens overfladedesign er så effektivt selvrensende, at den er blevet et religiøst symbol på renhed. Det, der for vore øjne ser glat ud, er set på en skala af få mikrometer et kuperet terræn af små bjergtoppe og dale. Og dykker man ned på en endnu mindre skala, er dette landskab overstrøet med et fint netværk af vokskrystaller.

En lignende overfladestruktur genfindes hos andre selvrensende blade, mens nogle planter har udviklet endnu mere komplicerede overflader med besynderlige mikroudvækster, der danner de mest utrolige landskaber.

Disse mangfoldige overfladedesigns kan dog alle sammenlignes med en fakirmåtte, hvorpå vanddråber hviler på forhøjninger, som når en fakir hviler på sine søm. Vanddråberne trænger ikke ned mellem "sømmene", når afstanden mellem disse bliver tilpas lille. Dråberne tager skidt med sig, når de ruller af denne særlige overflade, og fænomenet er meget passende døbt *Lotus-effekten*.

Selvrensende planteoverflader er altså et velkendt og velkarakteriseret fænomen.

Derimod er evnen til at fastholde et lag af luft over lang tid, når bladene nedsænkes i vand, sjældnere og ikke nær så velforstået. Faktisk findes der kun et enkelt publiceret



Foto: Ole Pedersen

Lotus-effekten

Alle blade har et vandskyende vokslag, der forhindrer udtørring. Det er dog først, når denne overflade foldes over mikroudvækster, og vokskrystaller danner stikkende strukturer på nanoskala, at bladet bliver ekstremt vandafvisende udadtil.

Vands opførsel på en overflade afhænger af balancen mellem vandets overfladespænding og kræfterne mellem vandmolekylerne og overfladen. En ru mikroskopisk overfladestruktur indeholder luftlommer, hvilket reducerer kræfterne mellem vandet og overfladen, fordi kontakten mellem vand- og luftmolekyler øges. Når kræfterne mellem overfladen og vandet reduceres tilstrækkelig meget, vil vandets overfladespænding dominere og vandet samle sig i næsten sfæriske dråber. Vandmolekylerne vil nemlig hellere være i kontakt med hinanden end med luften, og en perfekt sfære er den form, der giver det mindste overfladeareal.

Blade med disse overfladestrukturer vil også være selvrensende, fordi vanddråber, der ruller hen over bladet, vil tage skidt med sig i en form for rullende snebold-effekt. Når dråben rammer en skidtpartikel, vil kontakten med luften nemlig reduceres yderligere, og det er derfor favorabelt, at de forbliver sammen.

Fænomenet kaldes populært Lotus-effekten, da det er denne slags selvrensning, som får lotusblomstens kronblade til altid at fremstå skinnende hvide.

studie, der har undersøgt og beskrevet overfladen af et blad med denne særlige egenskab i dybden. På dette blad fra bregnearten *Salvinia* har man fundet nogle avancerede piskerilignende hårstrukturer, der på kontrolleret vis fastholder lufttil-vand-grænsen, som var de pæle under en teltdug: På den ellers ekstremt vandskyende overflade er hårenes yderste punkt vandtiltrækkende; disse punkter virker som magneter for vandet og fungerer som fikseringspunkter for vandlaget,

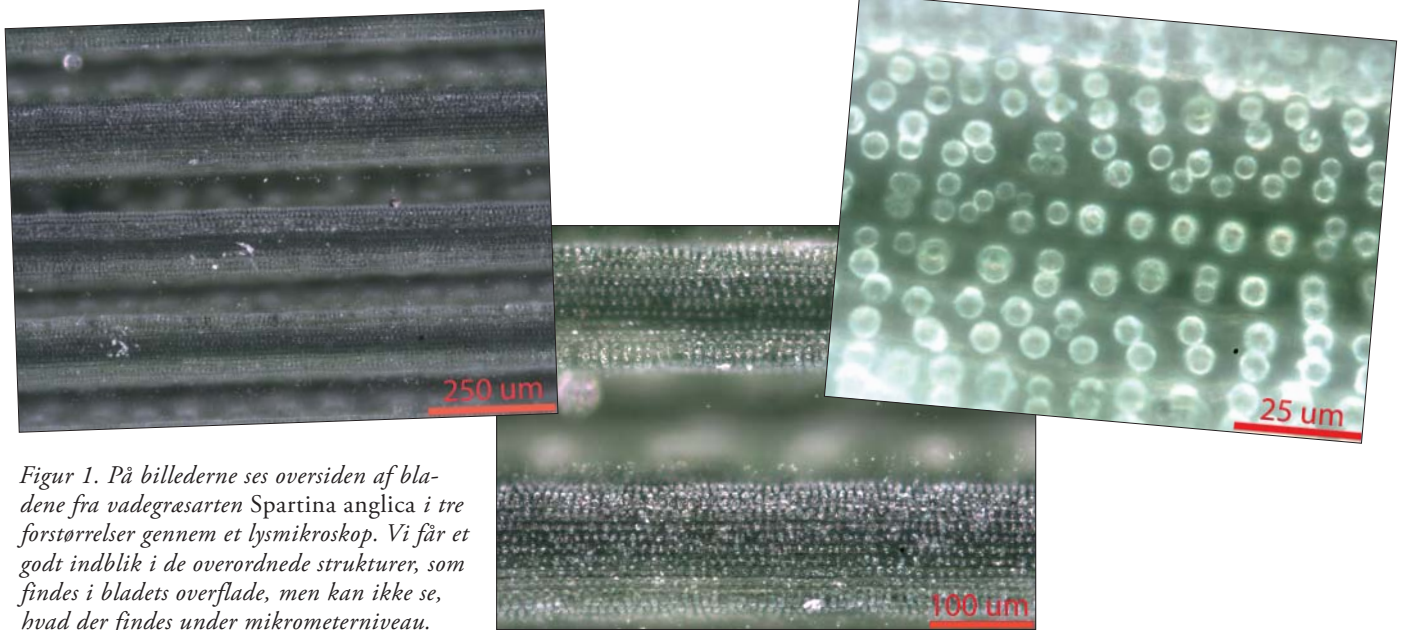
mens luft fanges imellem hårstrukturerne.

Som med *Spartina anglica* tillader denne dykkerklokke *Salvinia* at fortsætte respiration og fotosyntese, hvis planten oversvømmes fuldstændigt, og strukturerne er helt vitale for plantens overlevelse i våde miljøer.

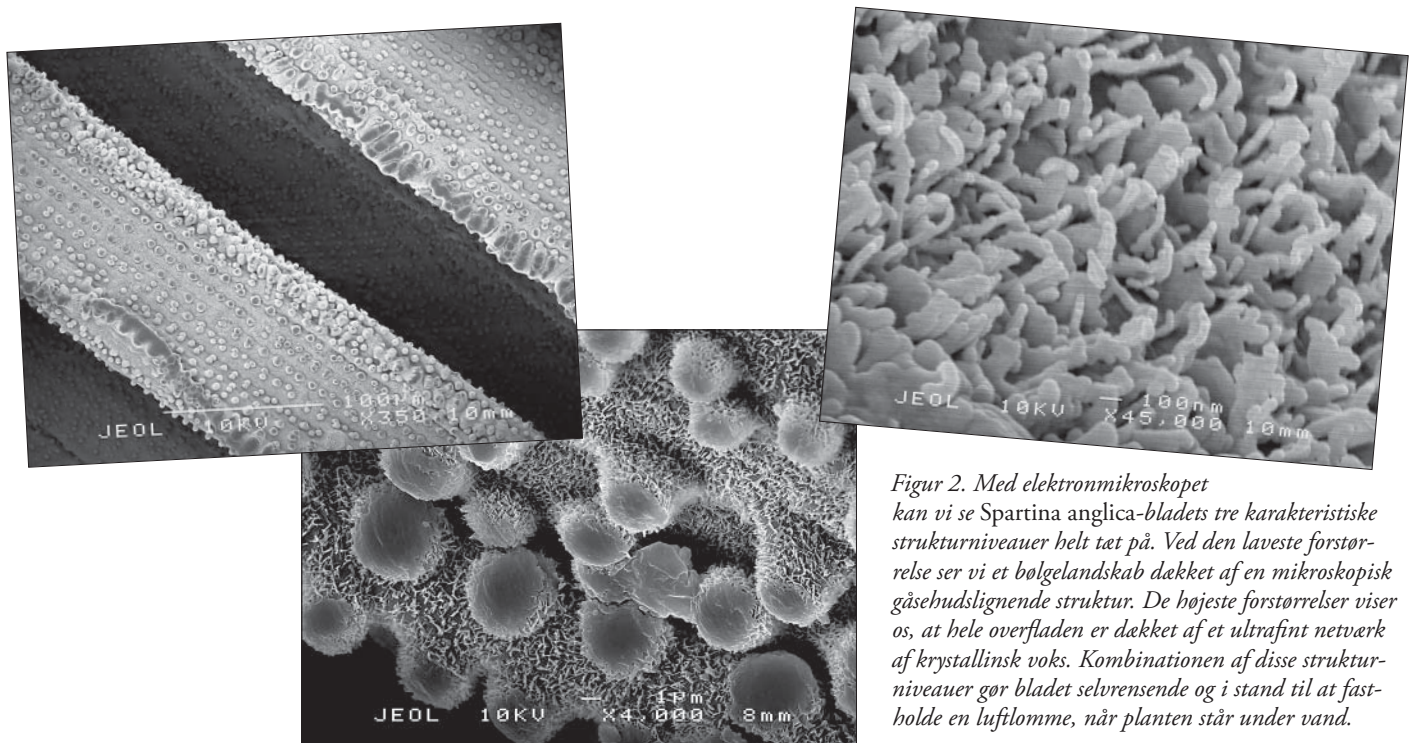
I *Salvinias* tilfælde er nøglen til luftlommen altså at finde i overfladestrukturen. Bregnearnets design er genialt i sin multifunktionalitet, men vanskeligt at eftergøre syntetisk. Med

tanke på diversiteten i naturens selvrensende løsninger efterlader fundet dog et håb om, at der findes andre, mere enkle overfladedesigns til fastholdelse af et luftlag.

Ansporet af fundet på *Salvinia*-bladernes overflade vil vi begynde jagten på *Spartina anglicas* hemmelighed på de allermindste skalaer. For at få adgang til de for os usynlige strukturer, der findes her, må vi tage et af nanoteknologiens vigtigste redskaber i brug: elektronmikroskopet.



Figur 1. På billederne ses oversiden af bladene fra vadegræsarten *Spartina anglica* i tre forstørrelser gennem et lysmikroskop. Vi får et godt indblik i de overordnede strukturer, som findes i bladets overflade, men kan ikke se, hvad der findes under mikrometerniveau.



Figur 2. Med elektronmikroskopet kan vi se *Spartina anglica*-bladets tre karakteristiske strukturniveauer helt tæt på. Ved den laveste forstørrelse ser vi et bølgelandskab dækket af en mikroskopisk gåsehudlignende struktur. De højeste forstørrelser viser os, at hele overfladen er dækket af et ultrafint netværk af krystallinsk voks. Kombinationen af disse strukturniveauer gør bladet selvrensende og i stand til at fastholde en luftlomme, når planten står under vand.

Fakirplantens mikroskopiske strukturer

Før vi zoomer helt ind med elektronmikroskopet, ser vi, hvad vi kan finde med et almindeligt lysmikroskop, der giver os adgang til strukturer med udstrækninger på brøkdele af en millimeter (se figur 1).

Med bare 5x forstørrelse kan man på *Spartina anglica*-bladets overside se en bølgestruktur af dale og toppe, der gentages med omkring 100 mikrometers afstand. Dalene viser sig

ved nærmere undersøgelse at være omkring 150 mikrometer dybe. Forstørres man bare 10x, aner man en finere vortelignende struktur, der dækker den større bølgestruktur som gåsehud. Presser man lysmikroskopets forstørrelse til 50x, finder man, at disse runde udvækster er få mikrometer brede, men vi kan ikke se, hvor høje de er. Herfra kan lysmikroskopet ikke hjælpe os mere. Hvis der er noget at finde under mikrometerniveau, må vi vende os

fra lyset og mod elektronerne.

Scanning Electron Microscopy (SEM) kræver en særlig prøveforberedelse og mere avanceret udstyr, men giver os til gengæld et indblik i bladets overflade helt ned på nanometerskala (figur 2). Fortsætter vi omtrent, hvor vi slap med lysmikroskopet, genkender vi bølgestrukturen og kan på grund af SEM-mikroskopets større dybdeskarphed se topene og dalene tydeligt på en gang. Forstørres vi 4000x, ses

det, at de vortelignende udvækster, vi fandt med lysmikroskopet, er forhøjninger på få mikrometer. Man kan også se, at hele overfladen er dækket af en endnu finere struktur. Hvis vi forstørres 45.000x, kommer vi ned på nanometerskala. Det finere strukturlag, der dækker de større strukturer, viser sig at være tynde flager af vokskrystaller. Flagerne er fordelt på kryds og tværs og giver planteoverfladen en helt utrolig ruhed i dette størrelsesregime.

Bølgestruktur sørger for dykkerklokke

Vi har altså på bladets overflade fundet tre karakteristiske strukturniveauer: en bølgestruktur på en skala af hundrede mikrometer, oven på denne et niveau af gåsehudslignende mikroudvækster og oven på alt dette et tæt virvar af nanoflager. De to mindste strukturniveauer ligner i udformning og skala dem, man kender fra Lotus-blomsten. Disse to niveauer må altså være tilstrækkelige til at gøre planten selvrensende. Kan det ekstra strukturniveau, bølgestrukturen, så tænkes at være oprindelsen til plantens dykkerklokke?

Det viser sig faktisk at være tilfældet. Allerede for ni år siden blev der foretaget et studie af dråbers opførsel på uorganiske overflader, der havde forskellige finstrukturer og var behandlet med et vandafvisende kemikalie. Dette studie fandt, at på en kantet udgave af bølgestrukturen, på samme skala som fundet her, vil en dråbe ikke trænge ned i dalene, men være tvunget til delvis at hvile på den bare luft. Resultatet kan overføres på vores blad, hvis man betragter de to mindste strukturniveauer, flagerne og de runde udvækster, som det vandafvisende kemikalie. Man må altså formode, at der dannes luftlommer i bølgestrukturens dale, når *Spartina anglica* oversvømmes. Dette har vi været i stand til at bekræfte ved at betragte et gennemskåret blad nedsænket i vand. Disse lommer er så muligvis forbundne af et tyndere luftlag fanget i den finere struktur hen over bølgetoppene.

Fra natur til anvendelse

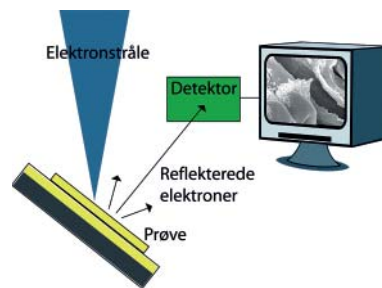
Tilføjes af et relativt simpelt ekstra strukturniveau til en selvrensende overflade har *Spartina anglica* tilfælde altså vist sig tilstrækkeligt til at give planten en sjælden evne, der er altafgørende for dens tilpasning og overlevelse. Men en ting er at aflure naturen dens løsninger, en anden er at bringe dem i anvendelse. Det er allerede lykkedes at fremstille et stykke tekstil, der holder sig tørt i flere dage under vand, med inspiration fra *Salvi-*

At se med elektroner

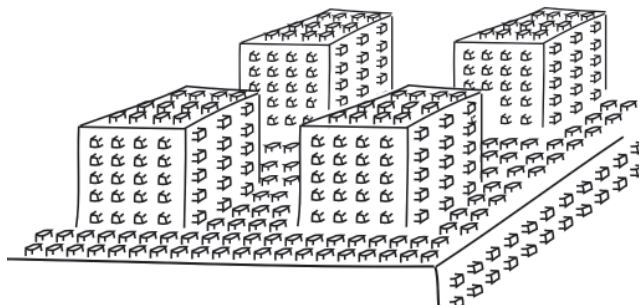
Scanning Electron Microscopy (SEM) er en mikroskopimethode, der bruger en stråle af elektroner i stedet for lys som i et almindeligt mikroskop. Elektronerne kan ligesom lyset nemlig betragtes som bølger, men med langt kortere bølglængde, hvilket giver os adgang til at se størrelser 100.000 gange mindre end tykkelsen af et hår. Derfor er elektronmikroskopet et vigtigt redskab til at udforske naturens mindste dele.

Når elektronerne rammer prøven, kastes nogle i forskellige retninger, mens andre fanges i overfladen. Nogle af de reflekterede elektroner indfanges af en detektor. Disse elektroner giver et billede af prøven analogt til det reflekterede lys i et almindeligt mikroskop.

For at få et uforstyrret billede må elektronerne, som fanges i overfladen, kunne komme



væk, for ellers påvirker de med deres ladning de indkommende elektroner. I organisk materiale kan elektronerne ikke ledes væk. Derfor må bladet dækkes af et 10-20 nm tyndt lag guld, som effektivt leder elektronerne bort. Guldlaget er så tyndt, at vi stadig klart kan se de underliggende strukturer. Meget ru finstrukturer kan dog umuliggøre en helt jævn fordeling af guldet. Ophobninger af guld kan for eksempel ses som mørke flager på toppen af de runde udvækster i det midterste SEM-billede (figur 2).



Figur 3. Ved at kopiere designet fra bladene på *Spartina anglica* kan man høste frugten af millioner af års evolution og fremstille en selvrensende overflade, som tilmed kan fastholde en lomme af luft under vand. Den syntetiske overflade skitseret her har tre strukturniveauer, som er inspireret af mikrostrukturen på bladenes overside.

nias finstruktur. Udfordringen er dog at kommercialisere konceptet og opskalere det til meget større overflader.

Lad os vende tilbage til problemet med skibsskroget. For at gøre *Spartina anglica*'s overfladegeometri nemmere at kopiere kan den eksempelvis forsimples til en mere kantet struktur som vist i figur 3. Hvis det er muligt at overføre dette koncept til et skib, vil man få et skrog, som kan skyde ubesværet gennem vandet i en luftlomme. Men hvor længe kan luftlommen opretholdes? *Spartina anglica* kan bevare sin dykkerklokke i flere døgn men står også fast

forankret, mens skibet skyder gennem vandet med høj fart. Denne forskel kan måske føre til kortere levetid for luftlaget eller nedbrydning af overfladens finstruktur. Sådanne potentielle problemer må tages i betragtning, før vi til fulde kan udnytte fakirplantens hemmelighed. På trods af disse udfordringer er det dog værd at dvæle ved *Spartina anglica*'s løsning. Der findes et hav af avancerede bud på at opnå selvrensning og formentlig også på evnen til at ånde under vand, men i denne plantes tilfælde er kulminationen af millioner af års evolution både enkel og smuk. ■

Om forfatterne



Dan Kofoed er studerende
ljh155@alumni.ku.dk



Nina Buch-Månson er studerende
jhi880@alumni.ku.dk

Begge er studerende på Nanoscience-kandidaten
Københavns Universitet (KU)

Undersøgelsen af *Spartina anglica* blev foretaget sammen med to andre studerende, Kyriaki Glavina og Nicholas Van Ranst. Projektet var en del af kurset Structural Tools in Nanoscience ved KU og blev iværksat i samarbejde med Ole Pedersen og Anders Winkel fra Ferskvandsbiologisk Institut, KU.

Videre læsning

Solga, A. et al., *The dream of staying clean: Lotus and biomimetic surfaces*, *Bioinspiration & Biomimetics* 2, pp. S126–S134 (2007)

Pedersen, O. et al., *Leaf Gas Films - a physical gill that improves underwater O₂ and CO₂ exchange of some wetland plants*, *The Aquatic Gardener* 23, pp. 32-39 (2010)

Yoshimitsu, Z. et al., *Effects of Surface Structure on the Hydrophobicity and Sliding Behavior of Water Droplets*, *Langmuir* 18, 5818-5822 (2002)

Barthlott, W. et al., *The Salvinia Paradox: Superhydrophobic Surfaces with Hydrophilic Pins for Air Retention Under Water*, *Advanced Materials* 22, 2325-2328 (2010)