

# Luft gennem vingerne

BENT LAUGE MADSEN

Mit bidrag til Vand & Jords serie om forunderlige forskningshistorier skal handle om særheder hos nogle små, brogede vandkalve. Et nørdet arbejde, som ikke haft den fjerneste betydning, eller gjort nogen som helst forskel i forhold til mit arbejde med at forbedre vore vandløb, og næppe heller for menneskeheden. Disse biller kunne være dem, som Francis Bacon havde i tankerne da han skrev: *"There is no excellent beauty that hath not some strangeness in proportion."*

Det startede en lun sensommerdag i 1953, hvor jeg vadede gennem Granslev Ås stride strøm på udkig efter vandbiller. Jeg fik øje på en knækket skovl, glemte da åen blev rettet ud. Da jeg tog den op, vrimgledede skovlbladet med den lille (ca. 2 - 3 mm), runde vandkalv, *Oreodytes sanmarkii* (Figur 1), senere døbt strøm-vandkalven. De var helt tørre, selv om de lige var kommet fra vandet. Hvad det kunne betyde tænkte jeg ikke over dengang.

Dens "strangeness", kom til at følge mig de næste 60 år, med store mellemrum. Jeg fik snart andet at beskæftige mig med.

Mens de biologer, jeg kendte, alle var samlere og satte insekter på nåle i snorlige rækker, så var jeg mere "pickle-jar" orienteret: *"At agte på dyrenes færden og liv, det er dog det berligste tidsfordriv."*



Figur 1. Hovedpersonen, den 2-3 mm store, eller lille, *Oreodytes sanmarkii*, lever i strømmen i bække og små åer. Den har åndings-porer, men kun på dækvingerne.

## Pickle-jar biologi

I glasset så jeg, at billerne svømmede rundt med en luftboble i halen, som alle andre vandkalve gør: De henter åndingsluft ved overfladen. Men min *Oreodytes* boede til daglig ude i den stride strøm. Jeg regnede hurtigt ud, at hvis den skulle op efter luft hvert kvarter, så ville strømmen have ført den ud til Randers Fjord i løbet af en måned. Så den måtte vel også kunne ånde uden at skulle hente luft ved overfladen?

Nogle år senere lukkede jeg *Oreodytes*, i selskab med mere normale vandkalve, inde i små net-bure i åens dyb. Dem havde min ven, Karl Johan, billesamler og finmekaniker af Guds nåde, lavet. De normale vandkalve døde alle i løbet af få timer, men *Oreodytes* var levende selv efter en måneds forløb. Den kunne altså trække vejret under vandet.

Jeg så efter, om *Oreodytes* havde et sølvglinsende luftlag ligesom den ca. 1 cm store, flade dybvands-tæge (*Aphelocheirus*, Figur 2), som lever i Gudenåen tæt på Granslev Å. Den kan ånde med opløst ilt, der diffunderer gennem et ca. 13  $\mu\text{m}$  tyndt luftlag på den ca. 1  $\text{cm}^2$  store underside. Luften holdes på plads af et tæt lag meget små (0,4  $\mu\text{m}$  diameter), vinkelbøjede, vandskyende hår (2-4 mio/ $\text{mm}^2$ ). En vandhinde spænder over hårenes knap 0,5  $\mu\text{m}$  små mellemrum. Inde under vandhinden er der undertryk, fordi ilten bruges op, havde jeg læst, og så diffunderer ny ilt ind udefra. Den forklaring er ikke helt rigtig, men heller ikke helt forkert, se senere. Systemet kaldes en plastron, men en sådan har *Oreodytes* ikke. Eller har den?

Jeg fik så den gode ide at se efter, om der var noget interessant på den indvendige side af dækvingerne, der som en skal omslutter bagkroppen. På svensk hedder biller "skalbaggar". Her åbenbares et overdådigt netværk af sølvskinnende luftrør (tracheer) (Figur 3). Selvfølgelig så jeg også efter under de normale vandkalves dækninger: Her var også luftrør. Dækvingens få, levende celler skal jo have ilt. Men de var meget tynde og næsten usynlige.

Snart havde jeg fundet fem-seks andre små, brogede vandkalve (Figur 4), de fleste fra det strømmende vand, som kunne overleve uden at hente luft ved overfladen. Alle havde de meget store luftrør på dækvingernes inder-

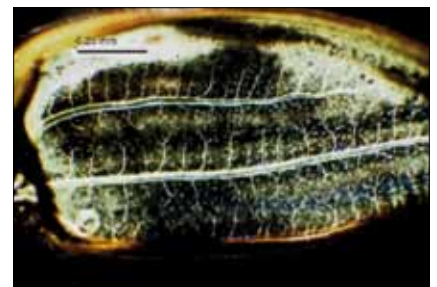


Figur 2. Den ca. 1 cm store, flade dybvands-tæge, set fra den sølvskinnende underside. Her er et meget tyndt lag luft, en plastron.

side. Den var næsten hjemme: Dækvingerne er gæller, meget lig dem, døgnfluellarverne vifter med i vandet: Her er gællerne tynde hudfolder (<1  $\mu\text{m}$  vægtykkelse) fyldt med luftrør, som vandets opløste ilt hurtigt diffunderer ind til. Men der var en distraherende forskel: *Oreodytes* har en tyk, solid dækvingeskal mellem luftrørene og vandet. Det udelukkede diffusion den vej, med mindre der var særlige ventiler. Og nej, de pumpede ikke vand ind under dækvingen, kunne jeg se, når jeg pumpede frugtfarvet vand ned til dem.

## Fagre nye SEM verden

Min arbejdsplads, Zoologisk Institut (KU), fik sit første Scanning Elektronmikroskop (SEM) i starten af halvfjerdserne. En af mine studenter, Poul Jeppesen, blev meget ferm til at bruge det, og vi fandt, at der var mange (ca. 14.000/ $\text{mm}^2$ ) 1-2  $\mu\text{m}$  små porer i dækvingen (Figur 5). Vi evnede ikke lave ultra-tyndsnit til transmissions-elektron-mikroskopet (TEM),



Figur 3. Indersiden af *Oreodytes*-dækvingen med de stærkt forstørrede luftrør. Det ligner grangiveligt en gælle.



Figur 4. Den ca 4-5 mm store *Nebrioporus depressus* lever i større åer. Den har flere porer, også på undersiden, end *Oreodytes*.

der måske kunne vise, om de førte ind til luftrørene. Senere undersøgte en anden af mine studenter, Theodor Ingstrup, på Odense Universitet mikrostrukturer, både porer og plastron, i flere vandbiller. Vi så, at der i porerne var "noget" i midten af de 1-2  $\mu\text{m}$  vide porer, som fyldte det meste. Der var åbenbart kun en ringformet åbning i porerne. Hvad dette "noget" var turde vi ikke gætte på.

### Bondens unge datter

Nu gik der rigtig mange år, hvor vandløbenes ve og vel distraherede. Men for en halv snes år siden blev der igen tid til vandkalvene: Jeg fandt noget lim, som kan holde et gebis på plads i gummerne. Det kan også holde en *Oreodytes* på plads i et strøm-akvarium, så jeg i fred og ro kan se, hvad der sker på dens overflade. Jeg havde travlt, for to uger senere skulle jeg holde foredrag om billerne på en kongres i Canada.

Så oplevede jeg, hvad der kaldes serendipity. Det er defineret af Horace Walpole (1753): "Man leder efter en nål i en bostak, og så finder man bondens datter".

"Bondens datter" var små luftbobler, som satte sig fast på *Oreodytes*. Sådanne bobler er enhver akvariefotografers plage. De ødelægger billedet. Men jeg kiggede stædigt på dem: Jeg kunne følge, at de blev mindre og mindre. Det er der egentlig ikke noget underligt i. Boblerne presses sammen af overfladespændingen. Jo mindre radius, des større tryk. Det viste salig Laplace for 200 år siden. Overtrykket inde i en 1 mm boble er 290 Pa, ikke meget, men det kan få boblen til at forsvinde i løbet af nogle timer. I bobler på *Oreodytes*-dækvingen gik det meget hurtigere. Nu havde jeg noget at præsentere i Canada: *Oreodytes* ånder med luft fra luftbobler fanget på dækvingerne! For en sikkerheds skyld regnede jeg lidt på det under flyveturen: For at få ilt nok skulle den hele tiden have 2-300 hundrede bobler at hente ilt fra, og jeg havde kun set nogle få. Desuden kunne jeg regne ud, at blot 30-40 bobler overstiger de ca. 8 % af billens rumfang, der gør billen lettere end vand. Op-

driften vil løfte den til overfladen, og den driver ud i Randers Fjords salte vand. Så er ideen med at ånde med luftbobler under vandet jo ikke meget værd.

Men jeg så i boblerne en genvej til at finde ud af, om luften i boblen virkelig endte inde i luftrørene. Jo større boble, des flere porer er der i boblens "fodafttryk." Er der hul igennem, vil fluxen stige ligefrem proportional med boble-"fodafttrykkets" areal, mens fluxen stiger omvendt proportional med radius (Figur 6).

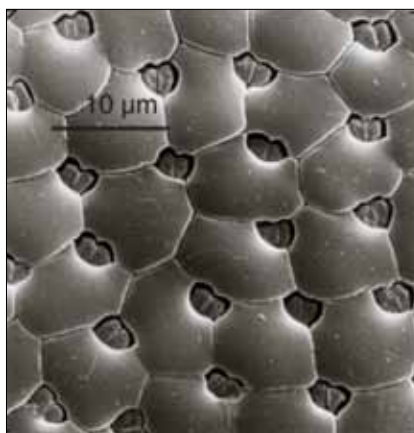
Der er således kun  $r^1$  tilbage, og vi kan forvente et retlinet forhold mellem boblens radius og tiden der går, før den et tømte. Jeg fik travlt med at måle bobler af forskellige størrelser på *Oreodytes* og *Deronectes*: De opførte sig lineært, og ancova-analysen viste, at de to undersøgte arters rette linjer fulgtes meget pænt ad.

Jo, der var "hul" igennem, i hvert tilfælde forsvandt luften den vej. Da jeg trods alle mulige eksperimentelle krumspring ikke kunne få synlige bobler at se på dækvingens inderside, som jeg havde skrabet fri for luftrør og hinder, gættede jeg på, at det nok var diffusion snarere end flow, der var på spil i den videre vej. Det skulle vise sig at være et ganske heldigt gæt.

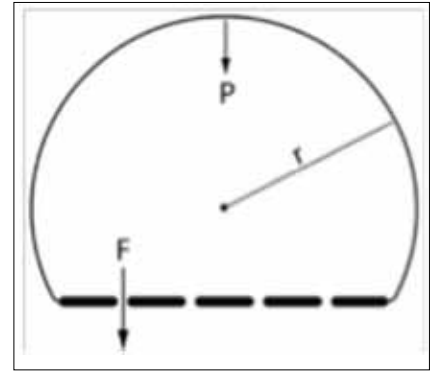
Så vidt så godt, men alligevel kunne jeg kun opgivende sige: Og hvad så? Fluxen talte vel som en skrædder i helvede: Porernes overflade udgør under 2 % af hele overfladearealet. Respirations-overflader, som ilt skal diffundere igennem, skal være meget store. Vore lungers indre kan være op til 100  $\text{m}^2$ . Hos vårfluelarver kan gællerne være op til 30-50 % af larvens overflade.

### Budweiser og antibobler

Jeg tog turen omkring en af mine skæve venner, Steven Vogel, fra Duke University (NC). Han havde lært mig for mange år siden,



Figur 5. Et 40 år gammelt SEM billede af *Oreodytes*-dækvingens overside. Der er "noget" i midten af de små porer.



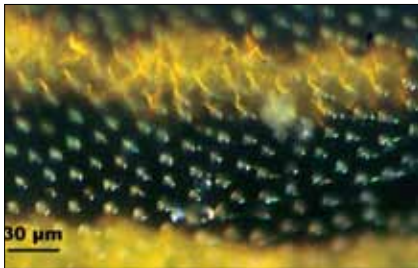
Figur 6. En luftboble fanget på en porøs dækvinge. Boblens overfladespænding ( $\gamma = 0,073 \text{ N/m}$ ) bestemmer Laplacetrykket i boblen ( $\Delta p = 2\gamma / r$ ). Antallet af porer, som boblen dækker ("fodafttrykket") over, er bestemt af arealet ( $\pi \times r^2$ ).

hvordan strømmende vand siver forbi vårfluelarvens gælle. De lever i bedste velgående, takket være en stor gælleoverflade. *Oreodytes* trives også, men med en meget lille "gælleoverflade"? Udfordringen er så at finde en mekanisme, hvor det er en fordel, at overfladerne er små, når ilt skal diffundere ind.

Steve hældte et par kolde Budweisers op, og så sad vi i mange timer og funderede over de mange små, højimplosive bobler, der kom frem fra deres skjul i glassets små ujævnheder uden at implodere. Disse små bobler kunne få ganske pæne tryk: I en 10  $\mu\text{m}$  boble er der en kvart atmosfæres overtryk, og i en 0,1  $\mu\text{m}$  boble er der 30. Det er jo ganske store kræfter, der vokser omvendt proportionalt med radius.

En boble som kan dække over én *Oreodytes*-pore kunne nå 2-3 atmosfærer. Så er kunsten, sagde Steve, at vende vrangen ud på denne meget lille boble, så den kommer til at ligge som en "antiboble" med den konkave side udad over en *Oreodytes*-pore. Ja, sådan vil vandtrykket forme vandfladen ved en vand-skyende pore-indgang, sagde jeg og tænkte tilbage på de tørre *Oreodytes* hin sensommer et halvt århundrede siden. "Laplacetrykket," der holder det indtrængende vand i skak, "omsættes" til et funktionelt undertryk inde i poren, som boblens oprindelige yderside nu vender ind imod. Vandhinden er som en spændt trampolin, der vil prøve at rette sig ud. Jo mindre den buede vandhinde er, desto flere kræfter.

En velkendt antiboble er den meget lille vandhinde (ca. 10 nm) imellem bøge-bladvæts cellulosestråde: Den skaber undertryk på ca. 300 atmosfærer, som er 30 gange mere end der skal til for at trække sammenhængende vandstrengene op i 100 m høje træer. (Og nej, det er ikke hårrørsvirkning, som kun kan "løfte" vandet ca 50 - 70 cm! Det har vi vidst i



**Figur 7.** Lysende vandhinder er synlige over de sorte striber hos *Nebrioporus depressus* (Figur 4). I de lyse striber skinner noget igennem, der kunne ligne små rør. Nærliggende at fortolke som forbindelse til de store luftrør.

over 100 år, alligevel blev misforståelsen gentaget for nylig i et dansk biologisk tidsskrift).

Kræfterne kan vi fornemme i den bule i vandoverfladen, som bærer skøjteløber-tægen. Den er en spændt vandhinde-trampolin.

Da jeg kom hjem, skiftede jeg Budweiserne ud med et nyt mikroakvarium, som kun Karl Johan kunne lave det. Nu kom jeg tættere på den levende *Oreodytes*-overflade. Når jeg sendte lyset skråt ind, åbenbarede i mikroskopet en stjernehimmel (figur 7) af reflekser i samme tæthed, som de porer, jeg havde set i SEM-mikroskopet. Det tolkede jeg som små vandhinder over vandskyende porer. Og nogle steder så der ud til, at der var små rør til det indre.

Da jeg kom endnu tættere på med et confocal-laser-mikroskop (CLR) så jeg, at vandhinden lignede en koncentrisk ring omkring dette "noget" i midten af poren (figur 8).

De effektive poreåbninger, dvs. antiboblernes overflade, som ilten kan diffundere igennem, har en krumningsradius af størrelsesordenen 1 µm. Antiboblen er ikke en kugle, men nærmest en cirkelformet halvcylinder, og det halverer de funktionelle undertryk. (Kuglen har to effektive radier, cylinderen kun én, da den anden (på langs) er uendelig, dvs. reciprokverdien er 0.) Men de 1,5 atmosfærens funktionelle undertryk er ganske pænt. Og det holdes vedlige af, at billen jo bruger ilten herinde.

### Et vink med en vognstang

Hvad var dette "noget" i midten af poren for noget? Jeg fik et vink med en vognstang, da jeg læste en 1984 artikel om forskelligheder i små hår og børster på vandkalve. Det er vistnok nyttigt, når man sætte navne på nye arter. Her var masser af flotte SEM billeder. Et af dem var fra en knækket vinge af en amerikansk slægtning til *Oreodytes*: Knækket gik igennem en pore, og heri var noget, som lignede et garnnøgle, eller en nyre-glomerulus. Men jeg forstod ikke helt vinket dengang.

I mellemtiden, 2009, havde biologerne Kehl og Dettner i Bayreuth også fået øje på de sære biller. De lavede ultra-tyndsnit og TEM billeder af deres dækvinger. De viste entydigt, at meget små luftrør (tracheoler) snor sig fra de store luftrør op i porerne, hvor de fletter som et garnnøgle inde i det, som jeg kaldte "noget." Herfra går tracheoler tilbage til de store luftrør. Jeg havde jo selv fået den mistanke, da jeg så de lysende rør, og biologer på Århus Universitet var i gang med at lave gode TEM-billeder, som viste det samme. Men tyskerne kom altså først ud. Shit happens.

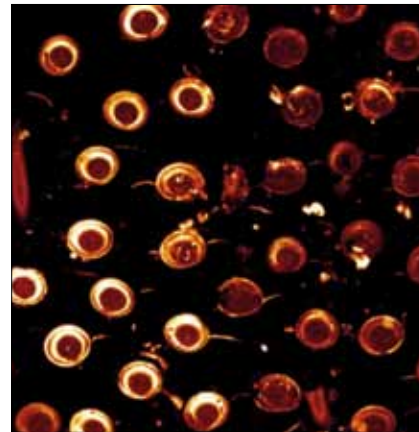
Med det flotte TEM arbejde var dette "noget" på plads, rent strukturelt: Vejen ind til luftrørene var fundet. Men vi var uenige om, hvordan ilten kommer ind til garnnøglet. Kehl og Dettner mente, at der er tale om en almindelig gælle: Det lille tracheole-garnnøgle ligger omgivet af vand i poren. Dette vand, mente de, fornyes af frisk, turbulent vand, som strømmer ind fra omgivelserne, akkurat som omkring en døgnflues gælle. Vand med ilt vil nu have svært ved at bane sig vej i så små rum. Det er noget med Reynoldstal. Vandet vil være tykt som tjære. Og heri er turbulens lidet sandsynlig, for nu at sige det pænt.

Jeg mente, at der er luft i det lille rum omkring garnnøglet (Figur 9). Sådan så det ud i mit mikroskop. Og fysikken i en vandskyende pore vil få vandhinden, der grænser op til vandet udenfor, at bøje sig indad.

Jeg blev inviteret til Bayreuth for at forsvare mine meninger. Auditoriet havde det lidt svært med mine regnestykker og antibobler. Min troværdighed led også under, at jeg blæste små farvede julefrokost-balloner med diverse motiver op for at demonstrere tensions-stress i buede overflader. Og helt galt gik det, da jeg tog mine bomuldsokker af, puttede den ene ned det fyldte vandglas, mens jeg forgæves prøvede at blæse den tørre op som en ballon. Da turen kom til den våde sok, så gik det fint: Ja, små vandhinder er stærke og kan lukke vandskyende bomuldsmasker for vand- og luftstrømme. Men ikke for diffusion. (Vil man efterprøve det, så husk at nyvaskede sokker ikke dur. De skal have været i brug to til tre uger). Min altid hjælpsomme grafiker-ven, Vagn, havde delt sol og vind lige med en tegning lidt som Figur 9: Den ene side var Bayreuth opfattelsen, og den anden min. Så kunne folk jo vælge højre eller venstre, luft eller vand, strøm eller diffusion. Og jeg tilstår gerne at jeg var partisk, da jeg mindede om lille forskel på 10.000 i diffusionskoefficient for ilt i henholdsvis vand og luft.

### Med livrem og seler

Men historien er ikke færdig endnu: Trods



**Figur 8.** Vandhinderne hos billen *Stictotarsus*, set i et confocal laser mikroskop (CLR): Det ser ud som om de danner en koncentrisk ring omkring det gådefulde "noget" i midten af poren.

store kræfter i buede vandhinder, kan en respirationsflade på ca. 1-2 % af dyrets overfladeareal så virkelig hente ilt nok ind?

*Oreodytes* og co. kan kun få ilt nok gennem porerne, hvis der er ilt nok i vandet, dvs. mindst ca. 3 mg/l. Ved lavere værdier søger de ind til breddens roligere vand og henter luft ved overfladen på almindelig vandkalve-maner, som de har bevaret. De kan jo aldrig vide, om de skulle få brug for det. Og sådan bliver den som regel afbildet: Med en boble. Naturfotografer har jo ikke strømakvarier.

*Oreodytes* og Co. ånder med en boble, når vi sætter dem ned i et agurkeglas, selv om der er rigeligt med ilt i vandet. Strømmen er nemlig også vigtig for åndingen.

Selv i iltrigt vand er Vårfluens gælle, dybvandstægens plastron og *Oreodytes'* pore-dækvinge nemlig dækket af et tyndt lag vand, som er fattig på ilt: Her, tættest på dyret, diffunderer ilten jo væk fra vandet, og ny ilt udefra kan ikke helt følge trit. Diffusion er en langsom affære, når der handler om transport fra a til b. Dette grænselag ligger som en halo, der nærmest klæber til overfladen

Hos den store dybvandstæge er haloen ca. 0,5 mm tyk, når den er nede agurkeglassets stillestående vand. Det er en meget lang afstand, når ilt skal spadseres med diffusions-skridt. Ude i Gudenåen høvler strømmen denne halo ned til ca 0,1 mm. Vejen er altså nu afkortet til en femtedel, og det betyder, at ilten diffunderer 25 gange hurtigere igennem. Så der er vist ikke noget at sige til at *Oreodytes* og dybvandstægen bedre kan lide at bo i vandløb end damme: Diffusionsvejen i haloen er kortere. Ganske vist kan dybvandstægen klare det ved at svømme i glasset, men det koster: Iltforbruget stiger 10 x forbruget når den sidder stille og lader strømmen gøre arbejdet.

Men der er stadigvæk et spørgsmål, som nager: Uanset de stærke, krumme vandhinder over *Oreodytes*-porerne, så fylder de med deres ca. 1-2 % overflade ikke meget. Sådanne krumme vandhinder har dybvandstægen også. De ligger som aflange trug mellem plastron-hårene. De har en krumningsradius af samme størrelsesorden som hos *Oreodytes*, og de spænder over de mange millioner bøjede hår, så det hele ligner et vaskebræt, der dækker hele 50 % af den samlede overflade. De skaber et funktionelt undertryk inde i plastronen, ligesom inde under de små vandhinder hos *Oreodytes*.

Hvordan kan *Oreodytes* så nøjes med en ca. 25 - 50 gange mindre overflade?

### Det bugter sig i bakke dal

For at få et svar måtte jeg låne et over 100 år gammelt bind (Nr. 193) fra "Det kongelige engelske selskabs filosofiske transaktioner". Heri havde to fysikere skrevet om vanddamp og kuldioxid diffusion gennem bøgebladets spalteåbninger: Værket havde været lånt ud en gang før, for der var blyantsstreg, hvor der stod noget om, at diffusion gennem små (<10  $\mu\text{m}$ ), isolerede porer var bestemt af porens diameter snarere end af arealet. Der stod også, at hvis deres indbyrdes afstand kom under 10 x diameteren, faldt diffusionen. Dvs. porerne påvirkede hinanden. Det mindede jo lidt om "mine" *Oreodytes*-porer: Spalteåbningerne fylder også meget lidt af bladarealet, ned til 1%. Jeg tror det er August Krogh, der har streget i bibliotekets bog: Han skrev nemlig i 1941 noget om "diameterloven" i et værk om insekternes åndedræt.

Så begyndte jeg at forstå, hvorfor en af "mine" biller, (*Porhydrus* Figur 10)), havde stjerneformede poreåbninger. Deres areal var som *Oreodytes* og de andre fra vandløbene, men denne her lever i damme. Men porenes stjerne-omkreds (der jo er lineær som diameteren), er markant større end *Oreodytes* cirkel-omkredsen. Det kan måske være *Porhydrus*' måde at klare fraværet på strøm og det iltfattige damvand.

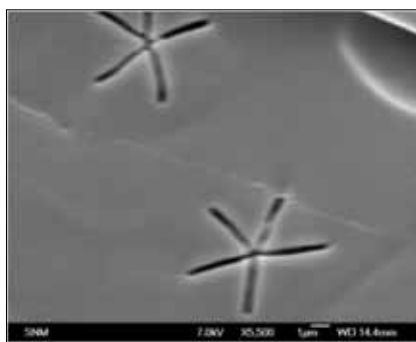
Jeg fik syn for sagn da jeg satte to glas vand ved siden af hinanden. Den ene vandflade blev dækket af stanniol, den anden var 100 % åben. Jeg fandt en rusten insektnål, der stadig holdt en spidde *Oreodytes* fra 1953 i insektkassen. Med den nål prikkede jeg små huller i stanniolen fordelt som porerne i *Oreodytes*: Ca. 1-2 % af overfladen. En uge efter kunne jeg måle, at der var fordampet ca 2 cm vand i det åbne glas, og ca 1 cm i det glas, hvor jeg havde forventet 0,04 cm: Gennem 2 % af arealet fordampes altså 50% af den mængde vand, som fordampes gennem en 100 % åben



Figur 9. Her er mit bud på, hvordan *Oreodytes* og *Co.* henter opløst ilt ind ude fra vandet og får det ind i lufttrørene. Men der er stadig dem, der snarere tror på "døgnflue gælle" versionen. Tjah, krumme, omvendte vandhinder er jo noget sært noget. En gælle ved man da hvad er, uanset hvad Reynolds mener.

flade. Det lyder lidt, som da Jesus gik på vandet. Det kan dog forklares med tilstrækkelig store vandskyende sandaler: Hver skal have en omkreds på over en kilometer.

Pore-respirationen, som jeg har døbt de små billers åndingssystem, kan også forklares. Det handler om haloen, det iltfattige grænselag. Over en stor, ensartet respirationsflade, som f.eks. hos dybvandstægens plastron, diffunderer der ilt ind overalt. Haloen er ensartet flad. Overfladen kan ikke forstørres. Når diffusionen sker gennem små, spredte porer, bliver haloen til et bakkelandskab. Store, tynde arealer mellem porerne, og høje pukler over porerne (Figur 11). Her kan ilten diffundere ind fra flere sider, ikke kun fra oven: Der sker en funktionel udtynding af grænselaget, fordi



Figur 10. *Porhydrus* lever i stillestående vand. Porerne er formet som stjerner, der ved et givet areal har en større omkreds end cirklen hos vandløbsarterne.

ilten diffunderer ind gennem et større areal tæt på poren. Kommer porerne så tæt på hinanden, at deres halo-pukler overlapper, svinder arealet. Kom 10 x diameter-loven fra det gamle skrift ihu!

Mon ikke det er en del af forklaringen på, at *Oreodytes* kan nøjes med det lille respirationsareal?

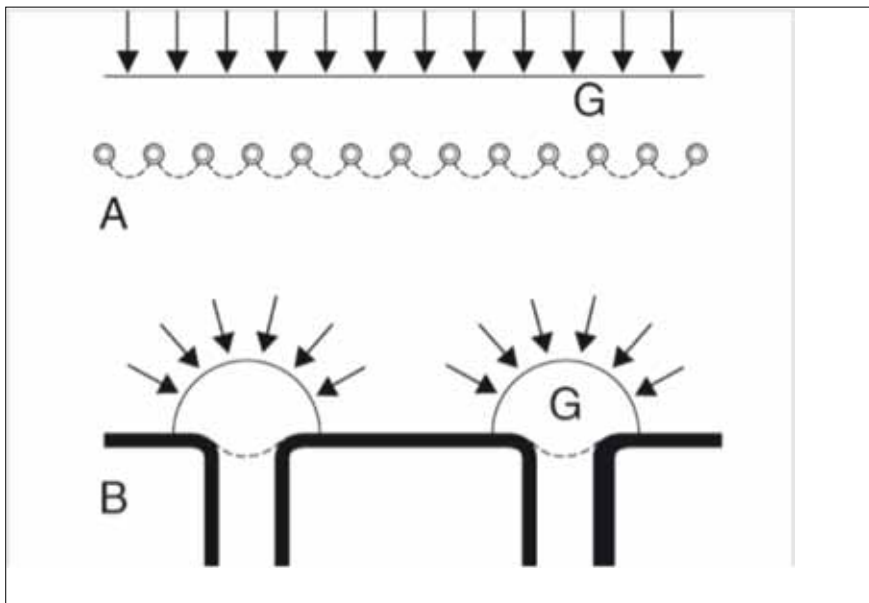
### Hertil og ikke længere.

Den lille *Oreodytes* kan få rigelig ilt fra de porer, der fylder 1 - 2 % af dækvingerne. 98 % af kroppens overflade er uden porer. En større bille skal bruge mere ilt: Jo større de er, des flere porer skal den have. Den gamle "10 x diameter" lov tyder på, at løsningen ikke er tættere porer. Løsningen på et større iltforbrug er snarere at sprede porer over et større areal. Den lille *Oreodytes* kan nøjes med dækvingerne. Den 4-5 mm store *Nebrioporus* (Figur 4) har porer også på forbryst og hoved, og lidt på undersiden. Og den endnu større, den 6 - 7 mm store *Stictotarsus*, har porer overalt, inkl. underside forbryst, hoved, ja selv på benene. Så er det slut med porerespiration: Overfladen, hvor der kan være porer, kan ikke følge med volumen-tilvæksten. De større vandkalve må hente luft ved overfladen. Vil de være i vandløbene, så må de pænt holde sig inde mellem breddens vandplanter og hente luftbobler, hvor der er strømløse.

### Gjorde det en forskel?

Steve forberedte mig på, at antibobler, vandtykt som tjære, cosinus og Laplace-tryk kan fremkalde ubændig vrede hos referees med specialer i dyr og planters slægtskab og udbredelse. Ja, det må jeg sige. Det har dog ikke hindret, at min sidste artikel i 2012 om emnet, trods sure referees, ligger som nr. 3, somme tider 2, langt foran andre, af de mest læste i tidsskriftets historie, til trods for handicap: De to første er flere år ældre, handler om biodiversitet, og de er gratis. Min koster 50 Euro at hente. Det er jo en slags forskel, men måske ikke lige den, V&J-redaktionen tænkte på, da de introducerede serien.

Jeg kunne sikkert vride noget politisk interessant ud af mine resultater: Den globale opvarmnings fatale betydning for *Oreodytes* fremtid. Varmt vand rummer jo mindre ilt, men til gengæld diffunderer ilten hurtigere i det tyndere vand så forskellen er nok den samme som før industrialiseringen. Steve og jeg funderede også over, om *Oreodytes* kunne omsættes til praksis. Goretex var desværre opfundet, men vi regnede os frem til, at pore-respirationen kunne omsættes til en kugleformet, selvforsynende frømands-dragt: Tanken blev vendt med en Navy seal, Chris, i



Figur 11. Model af haloen (G) over Oreodytes-porerne (B) sammenlignet med haloen (G) over dybvandstægens plastron (A). Fælles er de buede vandhinder, så ja, man kan vel sige, at også Oreodytes har en slags plastron. Forskellen er formen på den iltfattige halo: Tælpilene.

nafolaget. Han mente dog, at dens overflade på 90 m<sup>2</sup> måske ville give problemer med opdriften, for ikke at tale om, når han skulle svømme hurtigt væk fra fjenden.

Så nej, jeg får nok ikke en iværksætterpris for mine bedrifter.

Jeg har heller ikke sat den obligatoriske konklusion ind i mine artikler: Det er nødvendigt med flere undersøgelser. Jeg har sat mit punktum, vel vidende, at der stadig er sjovt at gå videre med: Nogle mærkelige farver, auto-fluorescens, jeg har set i CLM, kan tyde på at respirations-pigmenter måske også er på spil. Jeg har sendt nogle biller, konserveret i noget RNA- et eller andet, til en italiensk-spansk dame, hvis navn, Valentina Amore, nok kunne friste at lave noget DNA-sekventering med hende på mine gamle dage. Men, som Clint Eastwood sagde: "man gotta know his limitations."

Jeg tror mine kræfter skal bruges på en regering, der er i gang med at ødelægge de sjove små billers levesteder herhjemme. Det bliver nok mere Lunde end Amore.

### Videnskab skal være skægt

For mange, mange år siden ledede jeg et Unesco (eller noget lignende akronym) kursus. Deltagerne fik en kasket på med "Science must be fun." Det har i hvert tilfælde været skægt at dykke ned i de små billers forunderlige verden. Og jeg må sande Darwin's ord om, at "it seems that a taste for collecting beetles is an indication of future success in life." Nok blev jeg ikke direktør for en jernbane, eller medlem af parlamentet, eller formand for en landboforening, som et par af

Darwins billevener.

Men jeg har fået min store andel af livets glæder og gaver: "Gather ye rosebuds while ye may. Old time is still a-flying" (Herrick 1591-1674): En af mine rosebuds har været den lille bille fra en fjern, uforglemmelig sensommerdag ved Granslev Å. Set i bakspejlets skær er der en del muligheder af forskellig art, jeg ikke greb, mens tid, og evner, var der. En af dem kunne have gjort min vandkalve odysse hurtigere, om jeg havde være mere omhyggelig. Da jeg startede på de her biller i 1953 lå der et meget stort vink med en vognstang i min særtryks-samling. Særtryk med dedikation var samleobjekter for biologer i før-PDF-tiden, også for pickle-jar minoriteten. I samlingen genfandt jeg for få år siden særtrykket med historien om en mindre slægtning (*Bidessus*) til *Oreodytes*, skrevet da jeg var tre år. Dens tyske forfatter, Alfred Meuche, forsvandt i krigens "mahlstroem", ligeså særtrykkets oprindelige ejer, Johannes Krüger. Hvordan jeg har fået fat i særtrykket husker jeg ikke, men det var en kedelig beskrivelse af, hvor meget de brogede vandkalves farvemønstre varierede. Havde jeg læst til ende, så var jeg nok kommet hurtigere i gang med at løse *Oreodytes*-gåden: De sidste 10 linjer i handler om, hvordan Meuche holdt de små biller i live i månedsvis i små bure, neddykket i en sø ved Wesenberg i Mecklenburg. Og han så de store luftrør under dækvingerne, og mere til: Dækvingen var "wie ein Sieb"!

Ja, der er ikke meget nyt, men meget glemt under solen. Og det bliver mit arbejde sikkert også. Så kan andre få glæden ved at opdage det igen.

### Mere at læse:

Madsen, B.L. 2012: Submersion respiration in small diving beetles. *Aquatic Insects*. Vol. 34: 57-76. Her i er referencer til mine, og andres artikler. Interesserede kan spare de 50 Euro: Jeg har et læs særtryk for dem der husker sådan noget. Ellers er der PDF.

Vil man læse mere om buede vandhinders finurlige verden, så er den mest underholdende bog Steves sidste: Vogel, S. 2012: *The life of a leaf*. (University of Chicago Press). Der er meget andet en buede og skæve vandhinder i den. Meget lærerig er den biofysiske fortolkning af de forskellige bladformer. Det forklares med en pizza, der bages meget bedre når der er hul i midten som i en bagel. Se det er anvendt videnskab, som Steve forgæves har prøvet at sælge til et førende pizza firma i USA. Vi må dog leve med, at Steve ikke fortæller, hvad botanikere kalder de forskellige bladformer, hvilket en sur herbarie-anmelder havde det meget svært med.

Jeg vil også tilføje, at oplysningerne om Dybvandstægens grænselag mv stammer fra Seymour R.S. m.fl.: Respiratory function of the plastron in the aquatic bug, *Aphelocheirus aestivalis*. *Journal of Experimental Biology*, (online 23 juli 2015).

Den August Krogh bog *Fra 1941*, jeg har omtalt, er: *The Comparative physiology of respiratory mechanisms*. University of Pennsylvania Press. Den er stadig læseværdig.

### Slutnote

Steve døde sidste efterår, men det har ikke stoppet ham: For nylig fik jeg hans, formodentlig allersidste, bog: "Why the Wheel is round" (University of Chicago Press): En guddommelig beretning (og gør det selv-bog) om, hvordan vi mennesker gennem tiderne har fået ting til at dreje rundt.

