Ålegræs og lysforholdene under vand

Måling af Secchi-dybden er langt mere afhængig af spredning af lyset på grund af partikler i vandet end den faktiske lyssvækkelse er. Da der sker ændringer i forholdet mellem lysspredning og lysabsorption i vandet som følge af både eutrofiering og oligotrofiering afspejler en forbedring af Secchi-dybden ikke nødvendigvis en tilsvarende forbedring af de faktiske lysforhold i vandet.

Søren Laurentius Nielsen &
Troels Møller Pedersen

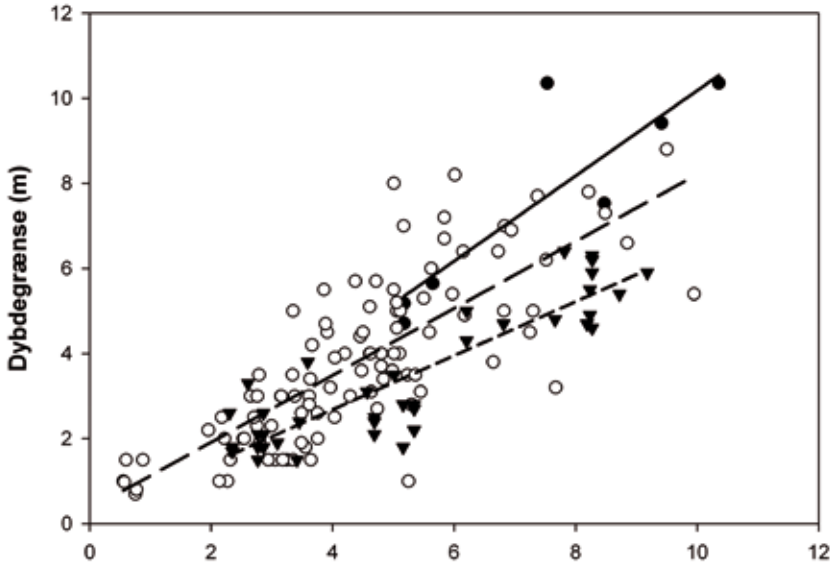
Har ålegræssets lyskrav ændret sig?

Ser man på nogle af de sammenhænge mellem ålegræssets dybdegrænse og Secchi-dybden, som er etablerede gennem tiden, kunne man få det indtryk at ålegræssets lyskrav er steget med årene. Ostenfeldt fandt omkring år 1900 at Secchi-dybden og ålegræssets dybdegrænse stort set stemte overens /1/, sådan at en Secchi-dybde på f.eks. 6 m svarede til en ålegræsdybdegrænse på 6 m. I slut-firserne svarede den samme Secchi-dybde blot til en ålegræs-dybdegrænse på 5 m ifølge de data, som ligger til grund for "Laurentius-ligningen"/2/, og endnu senere til en dybdegrænse på 4 m, jf. data fra DMU /3/ (Figur 1). Disse forskelle er statistisk signifikante, men hvad ligger bag? Det er muligt at ændringerne i sammenhængen mellem Secchi-dybde og ålegræs-dybdegrænse afspejler en fysiologisk tilpasning hos ålegræsset til ringere vækstforhold. Ringere iltforhold, større indhold af organisk stof og deraf følgende toksiske forbindelser i sedimentet, som de er beskrevet andetsteds i dette nummer af Vand & Jord, kan meget vel have medført større metaboliske omkostninger for ålegræs-planterne med deraf følgende større krav til lystilgængeligheden. Det er imidlertid også muligt at det tilsyneladende større lyskrav netop blot er tilsyneladende, og at de iagttagne ændringer har mere at gøre med den måde vi måler lys på end de har at gøre med ålegræssets lyskrav.

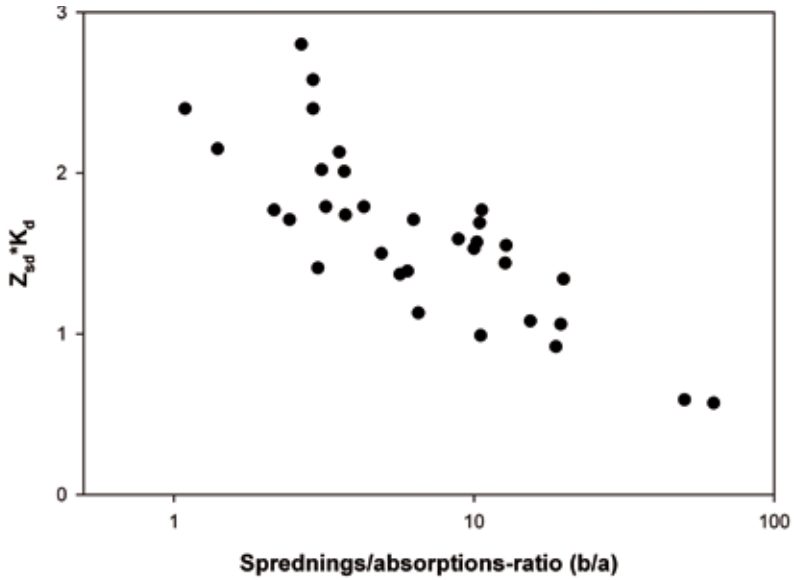
Lys og vand

For at kunne gå i dybden med det spørgsmål, må vi først se på hvordan lys opfører sig og svækkes under vand /4/. Lyssvækkelsen under vand er summen af lysabsorptionen og lysspredningen (Boks 1). Lyset absorberes af vandet selv, af partikler, men først og fremmest af farvet opløst organisk stof (CDOM) og af pigmenter, hvilket vil sige fytoplanktonet. Lyset spredes først og fremmest af partikler i vandet med et mindre bidrag fra vandet selv. En absorberet foton er væk, mens en spredt foton stadig er tilgængelig for fotosyntesen. Spredningen forlænger dog fotonens vej gennem vandet og øger dermed sandsynligheden for at den bliver absorberet. Desuden befinder ålegræsset sig jo som bekendt på bunden, og noget af lyset vil blive spredt opad, væk fra ålegræsset.

Måler man lys med en PAR-sensor med tilhørende meter eller datalogger måler man "rigtigt" – man måler den tilstedeværende lysintensitet. Måler man lysintensiteten gentagne gange ned gennem vandsøjlen kan man beregne lyssvækkelses-koefficienten, Kd. I dag er brugen af PAR-sensorer meget udbredt, men Secchi-skiven anvendes stadig mange steder, og ældre data for lystilgængeligheden under vand er nærmest udelukkende fremkommet ved brug af en Secchi-skive. Skal man undersøge ændringer i lysforholdene eller i ålegræssets dybdeudbredelse over tid er man således i høj grad nødt til at forholde sig til de problemer, der er forbundet med brugen af Secchi-skiver. I denne forbindelse forbigår jeg helt det særlige problem, der kan opstå på lave vanddybder eller i meget klart vand, hvor Secchi-skiven er synlig hele vejen til bunden. Som bekendt bruges en Secchi-skive ved at man sænker den ned gennem vandet til man når den dybde, hvor den forsvinder af syne. Det man måler er altså den dybde, hvor kontrasten mellem skiven og det omgivende vand bliver så lille, at man ikke længere kan skelne skiven.



Figur 1. Figuren viser sammenhængen mellem Secchidybde og ålegræssets dybdegrænse ved hjælp af data fra tre forskellige tidspunkter: Omkring år 1900 (/1/, ●, fuldt optrukken linje), sidst i 1980'erne (/2/, ○, lang-stiplet linje) og 2005 (/3/, ▼, kort-stiplet linje).



Figur 2. *Figuren viser sammenhængen mellem ratioen mellem lysspredning og lysabsorption i vandsøjlen (x-aksen) og produktet Zsd*Kd (y-aksen). Figuren er modificeret fra /5/.*

Den afhænger ikke blot af lyssvækkelsen, men også af humanfysiologiske og perceptions-psykologiske parametre /4/. Med en Secchi-skive måler man altså ikke lyssvækkelsen, men noget man kunne kalde "billed-svækkelsen". Dette betyder tilsammen at Secchi-dybdemålingen er uforholdsmæssigt afhængigt af lysspredningen i vandet, sammenlignet med en måling med brug af en PAR-sensor, som jo måler den sande lyssvækkelse, summen af lysabsorptionen og lyssvækkelsen.

Forholdet mellem Secchi-dybden og lyssvækkelsen er ikke konstant

Når man bruger Secchi-dybden (Zsd) til at sige noget om lysforholdene under vandet, sker det ud fra en implicit antagelse om at produktet af Secchi-dybde og lyssvækkelseskoefficienten er konstant, ofte antages f.eks. Zsd*Kd = 2,3, som i det danske overvågningsprogram. Det ved vi selvfølgelig godt et en tvivlsom antagelse, men problemet er at produktet ikke blot er underkastet tilfældig variation, men, på grund af de anførte forhold vedrørende Secchi-målingen, undergår systematisk variation som følge af ændringer i forholdet mellem absorberende og spredende komponenter i vandsøjlen (Figur 2). Jo vigtigere spredning af lyset er i forhold til absorptionen af lyset, jo mindre er produktet Zsd*Kd /5/. Som en del af REELGRASS-projektet, gennemførte vi i 2008-09 målinger på fire stationer i Roskilde Fjord /6/. Her registrerede vi lysforholdene både med Secchi-skive og PAR-sensor, og desuden målte vi samtlige de parametre, der bidrager til lyssvækkelsen, CDOM, fytoplankton-klorofyl og andre partikler. Som det kan ses i Figur 3, er der stor variation i produktet Zsd*Kd over året. Værdierne varierer fra 1,1 til 3,05 med et gennemsnit på 2,2 og en standardafvigelse på 0,4. Som en tommelfinderregel antager man ofte at 10 % af overfladelyset er tilbage ved Secchi-dybden, men vores tal viser en variation fra 4,7 % til 33 %, dog med et gennemsnit på 11 %. Nu kan man mene at det ikke er så betydningsfuldt om der er en del variation i tallene når gennemsnitsværdierne i det store og hele passer med antagelserne. Sagen er imidlertid at der også er sket systematiske ændringer i forholder mellem absorption og spredning og dermed i produktet Zsd*Kd over tid som følge af ændringer i den økologiske tilstand i Roskilde Fjord.

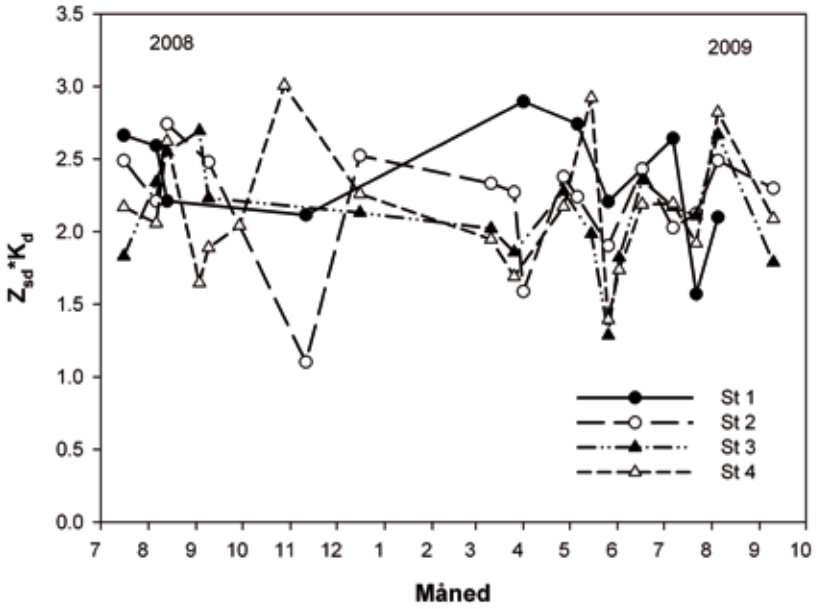
Konsekvenser for ålegræsset

I tillæg til vore egne undersøgelser har vi haft adgang til et upubliceret datasæt fra 1985. Fra 1985 til 2008-09 er kvælstofbelastningen til Roskilde Fjord faldet signifikant /6/. Dette har medført en forbedring af lysforholdene i fjorden, således er Secchi-dybden steget fra et gennemsnit på 2,6 m i 1985 til 4,2 m i 2008-09 og Kd er tilsvarende faldet fra 0,75 i 1985 til 0,57 i 2008-09 (Tabel 1). Dette dækker dog over nogle interessante forskydninger i de forskellige lyssvækkelses-komponenters relative bidrag. Det relative bidrag fra partikler (POM) er faldet, mens det relative bidrag fra vand og CDOM (residual) er steget. Da partikler, for at sige simpelt, primært bidrager til lysspredningen, mens CDOM kun bidrager til lysabsorptionen, betyder dette at spredning/absorptions-ratioen er faldet og Zsd*Kd dermed steget – fra et gennemsnit på 1,82 i 1985 til 2,22 i 2008-09 (Tabel 1).

Hvad betyder det så for ålegræsset? Ålegræsset responderer naturligvis på det faktisk tilstedeværende lys, men hvis vi begår systematiske fejl i den måde vi estimerer lystilgængeligheden på, vil det have konsekvenser for vores forventninger til ålegræssets dybdeudbredelses-potentiale. I Tabel 2 er sammenstillet tal for forventet dybdegrænse for ålegræsset i 1985 og i 2008-09, beregnet ud fra dels Secchi-dybden og fra Kd baseret på PAR-sensormålinger. I alle tilfælde er vi gået ud fra at ålegræssets dybdegrænse svarer til den dybde, hvor 10 % af overfladelyset er tilbage. Det behøver ikke at være rigtigt, men man kan gennemføre beregningerne med et hvilken som helst ålegræs-lyskrav, det vil ikke have betydning for pointerne. Sagt på en anden måde, så viser tallene i tabellen i hvilken dybde, 10 % af overfladelyset er tilbage. I 1985 underestimerede Secchi-målingerne denne dybde med i gennemsnit 0,66 m (2,56 m i forhold til 3,22 m), mens de i 2008-09 overestimerede 10 % - dybden (og dermed ålegræssets hypotetiske dybdegrænse) med i gennemsnit blot 5 cm (4,15 m i forhold til 4,10 m). Rigtigt interessant bliver det hvis vi ser på ændringerne i den dybde, hvor vi har 10 % af overfladelyset tilbage og dermed også

Tabel 1. *Tabellen viser gennemsnitlig Secchi-dybde (Zsd) og lyssvækkelseskoefficient (Kd) for fire stationer i Roskilde Fjord (1: Roskilde Vig, 2: Roskilde Bredning, 3: Frederikssund Bredning, 4: Frederiksværk Bredning) for hhv. 1985 og 2008-09. Desuden vises det relative bidrag til lyssvækkelsen fra klorofyl (Chl a), ikke-alge partikler (POM*) samt vand og CDOM (residual) sammen med produktet Zsd*Kd.*

Station	Periode	Gns. Zsd	Gns. Kd	Chl a att (%)	POM* att (%)	Residual att (%)	Zsd*Kd
St 1	1985	1.82	1.10	45.6	16.5	37.9	1.83
St 2	1985	2.39	0.80	18.0	16.9	65.1	2.10
St 3	1985	na	0.62	17.4	22.1	60.5	na
St 4	1985	3.46	0.49	21.4	21.3	57.2	1.54
St 1	2008-9	3.78	0.67	12.0	4.0	84.1	2.48
St 2	2008-9	4.22	0.54	12.9	3.9	83.2	2.14
St 3	2008-9	4.00	0.53	17.3	5.5	77.2	na
St 4	2008-9	4.58	0.53	17.2	6.2	76.7	2.03



Figur 3. *Figuren viser produktet Zsd*Kd på de samme fire stationer i Roskilde Fjord som angivet i tabellerne i perioden juli 2008 – oktober 2009.*

Lys, absorption og spredning

Lyssvækkelsen under vand er summen af absorption og spredning

$$Lyssvækkelse = absorption + spredning$$

Den samlede absorption er summen af absorptionen på grund af vandet (w), pigmenter i fytoplankton (pig), ikke-alge partikler (POM) og farvet opløst organisk stof (CDOM). Pigmenter og CDOM er de vigtigste komponenter:

$$Abs_{tot} = Abs_{w} + Abs_{pig} + Abs_{POM} + Abs_{CDOM}$$

Den samlede spredning er summen af spredningen på grund af vandet (w) og spredningen på grund af partikler (part), med den sidste komponent som den altdominerende:

$$Scatt_{tot} = Scatt_{w} + Scatt_{part}$$

ændringerne i ålegræssets formodede potentiale for dybdeudbredelse. Baseret på Secchiskivemålinger fås en forøgelse i dybdegrænse på 1,64 m fra 1985 til 2008-09, mens forøgelsen baseret på PAR-målinger af Kd er blot 0,79 m, hvilket endda dækker over en forværring på 0,36 m på den yderste station 4 og forbedringer på 1,3 – 1,4 m på de to inderste stationer. Når vi i dag mener at kunne se at ålegræsset ikke rekoloniserer i det forventede omfang og altså ikke vender tilbage i takt med at lysforholdene under vandet forbedres (de steder hvor det altså er tilfældet) kan det, i hvert fald delvist, skyldes at vi baserer vore forventninger på forkerte forudsætninger idet vi ofte vil sammenligne to sæt af Secchi-skivemålinger. Imidlertid kan forholdet mellem lyssvækkelsesbidraget fra absorberende og spredende komponenter meget vel have ændret sig i samme retning som tilfældet er i Roskilde Fjord, hvilket betyder at ændringerne i Secchi-dybde overestimerer de reelle ændringer i lysforholdene under vandet og dermed også overestimerer ålegræssets potentiale for større dybdeudbredelse.

Referencer

/1/ Ostenfeldt, C.H. 1908: I C.G.J. Petersen: Beretning til Landbrugsministeriet fra den danske biologiske station. København, Centraltrykkeriet XVI: 3-28

/2/ Nielsen, S.L., Sand-Jensen, K., Borum, J. og Geertz-Hansen, O. 2002: Depth colonization of eelgrass (*Zostera marina*) and macroalgae as determined by water transparency in Danish coastal waters. Estuaries 25(5): 1025-1032.

/3/ Krause-Jensen, D., Christensen, P.B., Nielsen, S.L., Carstensen, J. og Rasmussen, M.B. 2007: Havbunden påvirker ålegræssets dybdegrænse. Vand & Jord 14(3): 114-117.

/4/ Kirk, J.T.O. 2011: Light and photosynthesis in aquatic ecosystems, 3. ed.. Cambridge University Press.

/5/ Davies-Colley, R.J. og Vant, W.N. 1988: Estimation of optical properties of water from Secchi disk depths. Water Resources Bulletin, 24(6): 1329-1335.

/6/ Pedersen, T.M. 2012: Influence of water column characteristics for optical conditions – the role of dissolved and suspended matter in relation to eelgrass depth limit. PhD-afhandling, Institut for Miljø, Samfund og Rumlig Forandring, Roskilde Universitet.

Søren Laurentius Nielsen er lektor i Miljøbiologi, Institut for Miljø, Samfund og Rumlig Forandring, Roskilde Universitet. Universitetsvej 1, Bygning 11.2, Postboks 260, 4000 Roskilde. E-mail: nielsen@ruc.dk.

Troels Møller Pedersen er PhD fra samme sted, nu ansat på N. Zahles Gymnasieskole, København.

Tabel 2. *Tabellen viser den beregnede ålegræsdybdegrænse for de samme stationer og årstal som i Tabel 1 under antagelse af at ålegræsdybdegrænsen svarer til den dybde, hvor 10 % af overfladelyset er tilbage. Beregningen er for begge årstal sket både ud fra Secchiskivemålinger og målinger af Kd med en PAR-sensor. Desuden er angivet ændringerne i den beregnede ålegræsdybdegrænse fra 1985 til 2008-09 baseret på de to målemetoder.*

Station	1985		2008-09		Forøgelse i ålegræsdybde-grænsen fra 1985 til 2008-09 baseret på Secchi-dybden (m)	Forøgelse i ålegræsdybde-grænsen fra 1985 til 2008-09 baseret på Kd (m)
	Ålegræsdybde-grænse baseret på Secchi-dybden (Zsd) (m)	Ålegræsdybde-grænse baseret på Kd (m)	Ålegræsdybde-grænse baseret på Secchi-dybden (Zsd) (m)	Ålegræsdybde-grænse baseret på Kd (m)		
1	1.82	2.09	3.78	3.44	1.96	1.35
2	2.39	2.88	4.22	4.26	1.83	1.38
3	NA	NA	4.00	4.34	NA	NA
4	3.46	4.70	4.58	4.34	1.12	- 0.36
$\overline{x}$	2.56	3.22	4.15	4.10	1.64	0.79