

# Lysesiv

## – er der hul igennem?

*Sumplanter spiller en vigtig rolle for vådområdets drivhusgasbalance.*

*Måske kan tilstedeværelsen af disse særligt tilpassede planter øge udledningen af metan til atmosfæren.*

Af Anders Henneberg Nielsen, Hans Brix, Søren O. Petersen, Peder Klith Bøcher og Brian K. Sorrell

■ Med *Grøn Vækst*-aftalen fra 2009 besluttede Folketinget at etablere et antal nye vådområder med et samlet areal på op til 10.000 ha. Et hovedformål er at fjerne kvælstof fra grundvandet samt skabe nye naturområder og øget biodiversitet.

Men etablering af vådområder kan også påvirke drivhuseffekten.

For det første vil de nedbringe mængden af kuldioxid ( $\text{CO}_2$ ) i atmosfæren, fordi nedbrydningen af planterester i jorden næsten ophører i vandmættede jordlag, mens ny plantevækst kan give en nettobinding af kulstof. Er der tale om en tørvejord, bliver udledningen af lattergas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) også væsentligt mindre.

Men på kort sigt vil visse sumplanter muligvis vende op og ned på den ellers positive klimaeffekt ved at udlede



*Planten lysesiv kan forsyne rødderne med ilt fra luften via luftvæv.*

større mængder af den effektive drivhusgas metan ( $\text{CH}_4$ ) til atmosfæren.

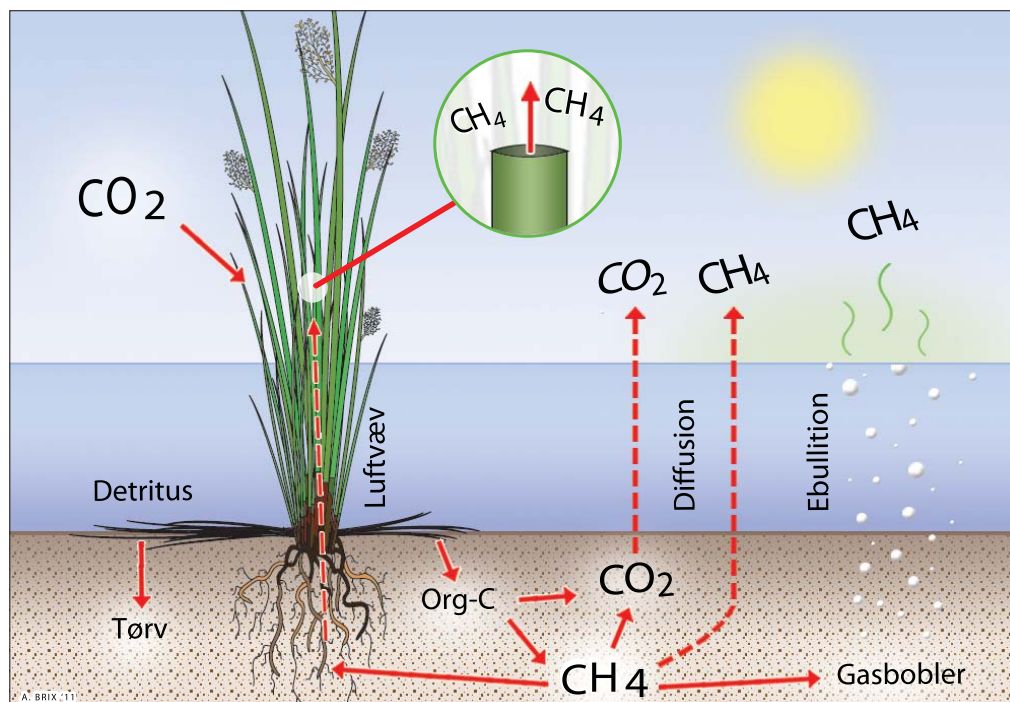
Dette fascinerende samspil med vegetationen bliver nu belyst i et samarbejdsprojekt ved Aarhus Universitet.

### Kulstofkredsløbet i vådområder

På verdensplan spiller vådområder og den tilhørende vegetation en central rolle i landjordenes kulstofbalance.

Generelt forvandler planterne gennem fotosyntesen  $\text{CO}_2$  fra atmosfæren til organisk kulstof ved hjælp af energi fra solen. Dette kulstof oplagres i planterne i form af plantemasse og bliver der, indtil planten dør. Derefter kan der ske en nedbrydning af plantematerialet, hvorved vi igen får  $\text{CO}_2$  ud i atmosfæren. Denne cyklus afhænger normalt af plantens levealder. For eksempel vil det tage meget længere tid før kulstof oplagret i et egetræ igen vil blive udledt til atmosfæren i form af  $\text{CO}_2$ , end det vil tage for kulstof oplagret i græs.

Foto: Christian Fischer (Wikimedia)



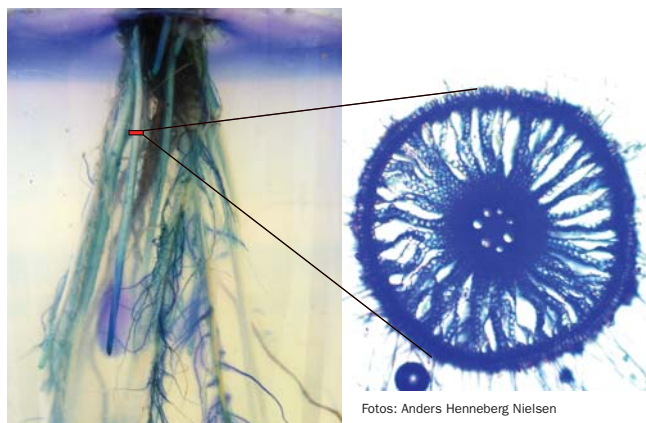
Figur 1. Kulstofredsløbet i et vådområde med planter med aerenkym-væv som f.eks. lyseseiv. Planterne optager CO<sub>2</sub> fra atmosfæren og indbygger det i deres biomasse. Når planten dør vil en del af biomassen blive nedbrudt, mens resten ophobes som tørv i jorden. Ved den mikrobielle nedbrydning af organisk stof dannes CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> som først bliver opløst i jordvandet. Den dannede CH<sub>4</sub> kan enten blive oxideret til CO<sub>2</sub> i det iltholdige øverste jordlag eller blive transporteret ud af vådområdet til atmosfæren. Transporten kan ske ved diffusion, ebullition (bobledannelse) eller transport gennem planternes luftvæv.

### Luftvæv i planter – et sugerør i sumpen (boks 1)

Planter, der lever i iltfattig jord, skal kunne forsyne deres rødder med ilt, for ligesom alt andet væv i levende organismer har planterødder brug for at kunne respirere. Vand- og sumpplanter har derfor et veludviklet luftvæv – et såkaldt aerenkym – inde i planten. Aerenkym består af en række sammenhængende luftfyldte hulrum og findes i både rødder og skud. Ilt fra atmosfæren kan diffundere ned gennem disse hulrum, hvor transportmodstanden er meget mindre end i den omkringliggende, vandmættede jord. Plantens rødder får på den måde tilført ilt fra atmosfæren til dækning af røddernes respiratoriske behov.

Man har fundet ud af, at der er en direkte sammenhæng mellem porøsiteten i rødderne (altså andelen af aerenkym i forhold til plantevæv) og den dybde i jorden, som roden kan trænge ned til.

For at sikre transporten af ilt helt ned til spidsen af roden, er det imidlertid vigtigt, at der tabes så lidt ilt til omgivelserne undervejs som muligt. Det er en stor udfordring, da den iltfattige jord omkring rødderne yder en meget stor tiltrækningskraft på



Fotos: Anders Henneberg Nielsen

Billedet til venstre viser rødder fra lyseseiv i en iltfri næringsopløsning, der indeholder farvestoffet metylen-blåt, som er farveløst, når der ikke er ilt til stede, og blåt, når det bliver iltet. De steder, hvor iltten slipper ud gennem rødderne, farves opløsningen blå via en kemisk reaktion. Til højre ses et tværsnit af en rod, hvor man tydeligt ser de luftfyldte hulrum (aerenkym).

iltmolekylerne. Planten kan i nogen grad forhindre tab af ilt til omgivelserne ved at indbygge bestemte stoffer som lignin og suberin i rodens yderste cellelag. Hos planter, der er godt tilpasset forholdene i vådområder, ser man ofte, at den basale del af roden, altså den del der er tættest på overfladen, er uigennemtrængelig for ilt, mens de yderste centimeter tættest på rodspidsen er

mere gennemtrængelige.

Lidt forsimplet kan man altså sige, at planternes aerenkym-system minder om et luftfyldt rør, der er åbent i begge ender, og som forbinder atmosfæren med de dybere jordlag. Det luftfyldte rør kan transportere ilt fra atmosfæren ned i jorden, men samtidig kan gasser opløst i jordvandet transporteres gennem planten og ud i atmosfæren.

I vådområder er det dog ikke kun plantens levealder, der afgør hvor længe kulstoffet er bundet. På grund af iltmolekylernes ringe diffusion i vand sammenlignet med i luft er vådområder meget iltfattige, og samtidig er der stor konkurrence blandt forskellige reaktive stoffer i jorden om den ilt, der trænger ned i den vandmættede jord. Det gør, at døde planter og plantedele i vandmættet jord kan forblive på organisk form gennem rigtig mange år uden at blive nedbrudt. Man mener, at 20-30 % af Jordens totale pulje af organisk kulstof på ca. 2500 Pg (=2,5 milliarder tons) findes i vådområder, selvom de kun udgør 5-8 % af landjordens overflade. Dette er selv sagt et meget vigtigt lager for kulstof, og uden det ville CO<sub>2</sub>-koncentration og det globale klima i dag have været meget anderledes.

Selv under naturlige forhold omsættes kulstof i vådområder dog i nogen grad. Det sker via en række biokemiske trin, hvor CH<sub>4</sub>-producerende mikroorganismer i sidste ende formår at omdanne organisk kulstof til CH<sub>4</sub>. CH<sub>4</sub> har et absorptionspektrum, som gør denne gas til en meget kraftigere drivhusgas end CO<sub>2</sub>. Men CH<sub>4</sub> har en kortere levetid i atmosfæren end CO<sub>2</sub>, så tidshorisonten spiller en vigtig rolle. Vurderet over en 100 års periode er CH<sub>4</sub> således en 25 gange kraftigere drivhusgas end CO<sub>2</sub>.

### Transport af metan...

Metan, der dannes i vådområder og vandmættet jord, bliver i første omgang opløst i jordvandet, og herfra vil gassen blive transporteret mod atmosfæren på grund af koncentrationsforskellen. Dette kan foregå ved almindelig diffusion eller ved ebullition (bobledannelse). Ebullition forekommer, hvis koncentrationen af CH<sub>4</sub> bliver så høj, at den overgår gassens opløselighed i vandfasen. Ved diffusiv transport skal den opløste CH<sub>4</sub> passere et iltholdigt jordlag øverst i jordsøjlen, hvor en del af den kan blive oxideret til CO<sub>2</sub> af metan-oxiderende

mikroorganismer, inden den når atmosfæren. Mængden af  $\text{CH}_4$ , der bliver oxideret, afhænger af jordbundsforholdene i det pågældende vådområde samt tykkelsen af det iltede overfladelag, men i de fleste tilfælde vil hovedparten af den  $\text{CH}_4$  der dannes, blive oxideret, og frigivelsen til atmosfæren vil derfor være lav.

### ... går hurtigere i rør

Men her er det så, at nogle plantearter kan sætte skub i udledningen af metan ved nærmest at fungere som ventilationsrør. Iltfattige jordbundsforhold fremmer nemlig udbredelsen af planter med lufttransporterende væv (*aerenkym* - se boks 1). Med dette væv skaffer disse planter ilt til rødderne, men  $\text{CH}_4$  fra rodzonen kan også diffundere ind i plantens rødder og slippe ud i atmosfæren via det lufttransporterende væv, dvs. uden at blive oxideret af metan-oxiderende mikroorganismer længere oppe i jorden. Netop fordi  $\text{CH}_4$  er en kraftigere drivhusgas end  $\text{CO}_2$ , er det væsentligt for et vådområdes bidrag til den globale opvarmning, hvor meget kulstof der bliver udledt som  $\text{CH}_4$  i stedet for  $\text{CO}_2$ .

Forhold som vandstand, temperatur og forekomsten af let nedbrydeligt organisk stof har betydning for, hvor stor  $\text{CH}_4$ -produktionen i et vådområde er, men tilstedeværelsen af aerenkymatiske planter er formentlig vigtigt for, hvor stor en del af den, der når atmosfæren. Nogle planters evne til at transportere  $\text{CH}_4$  er velbelyst, men for mange almindelige vådbundsarter er informationerne sparsomme. Hvis man vil have indsigt i  $\text{CH}_4$ -transporten, må man først få beskrevet de morfologiske og anatomiske forhold, der kontrollerer en plantes evne til at transportere  $\text{CH}_4$ .

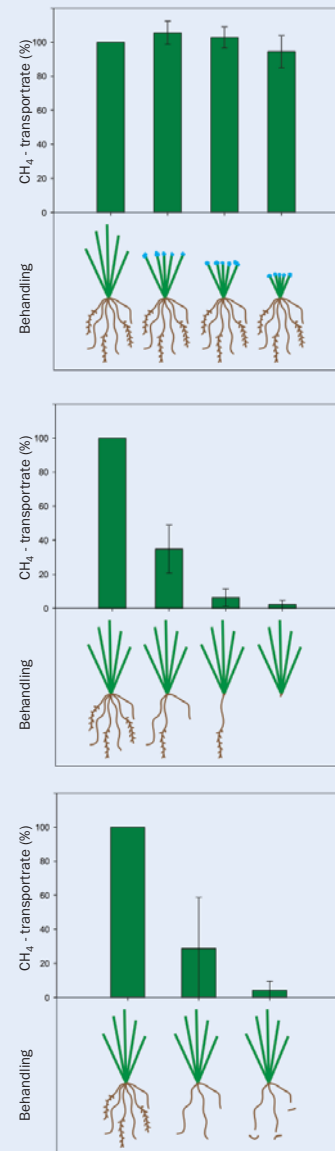
### Lysesiv og rødderne

Lysesiv er en meget almindelig plante i områder med våde jordbundsforhold. Lysesiv har et veludviklet aerenkym-væv i sine rødder (se boks 1), og hvis man har prøvet at knække en af plantens cylindriske skud og



Figur 2. Forsøgsopstillingen (foto) og udvalgte resultater fra vores undersøgelse af  $\text{CH}_4$ -transporten i lysesiv. Planternes rødder når ned i den grå kasse, der er fyldt med vand, næring samt  $\text{CH}_4$ . Planten er forseglet, så den gas, der slipper op i det øverste kammer, kun kan komme gennem planten.

Søjlediagrammerne viser den samlede metantransport i procent for de planter, der har fået afskåret skud eller rødder sammenlignet med den intakte plante.



blotlægge den skumgummiagtige marv, vil man vide, at der også her findes aerenkym. Ved at dyrke lysesiv i laboratoriet har vi under kontrollerede forhold undersøgt lysesivs evne til at transportere  $\text{CH}_4$  gennem rødder og skud til atmosfæren. Først og fremmest for at se, om der er "hul igennem", men også for at identificere, hvor den største modstand mod gastransport i planten findes, og hvilke faktorer der bestemmer plantens evne til at transportere  $\text{CH}_4$ .

Vores forsøg viser tydeligt, at afklipping af plantens skud ikke har nogen effekt (fig. 2, øverst). Skuddene blev afklip-

pet og forseglet i forskellig højde, men det gav ikke nogen signifikant ændring af  $\text{CH}_4$ -transporten sammenlignet med den intakte plante. Derimod fandt vi, at en gradvis fjernelse af plantens rødder gav en tilsvarende reduktion af  $\text{CH}_4$ -transporten (fig. 2, midt). Det er altså tydeligt, at lysesivs rødder er den begrænsende faktor for transport af  $\text{CH}_4$  fra jorden til atmosfæren, men det er ikke lige meget, hvilken type rod der er tale om. Nogle rødder har siderødder, og disse viste sig at være ansvarlige for en stor del af  $\text{CH}_4$ -optagelsen (fig. 2 nederst). Hos rødder uden siderødder var det primært

gennem rodspidsen, at  $\text{CH}_4$  blev optaget.

Lysesivs rødder er generelt uigennemtrængelige for gasser over store dele af deres overflade, hvilket forhindrer, at  $\text{CH}_4$  kan trænge ind i planten, og praktisk taget al den  $\text{CH}_4$ , der kommer ind i planten, diffunderer gennem de yderste 2-3 cm af rodspidsen, eller gennem siderødderne hvor disse forekommer.

### Sumplanter som syndere?

Vore undersøgelser demonstrerer tydeligt, at sumplanter som lysesiv kan fungere som en transportvej for  $\text{CH}_4$  fra vådbunds-jorde til atmosfæren og

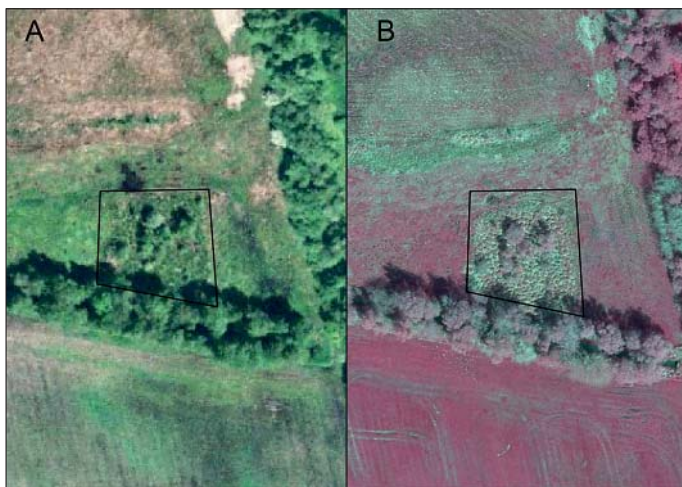
## Lysesiv som indikator for metanudledning?

Flere forskellige undersøgelser peger på, at der kan være en sammenhæng mellem forekomsten af lysesiv (og måske andre planter med aerenkym-væv) og udledningen af  $\text{CH}_4$ . En sådan sammenhæng vil også afhænge af jordbundsforholdene, specielt iltstatus, men skulle det være tilfældet, vil kortlægning af lysesiv kunne bidrage til opgørelsen af en punktkilde til udledning af  $\text{CH}_4$ .

En kortlægning af lysesiv i stor skala forudsætter, at der udvikles metoder til at beskrive plantens forekomst og tæthed, samt viden om miljøet, især jordbundens egenskaber og topografien. Med disse oplysninger, og med kendskab til sammenhængen mellem jordbundsforhold og  $\text{CH}_4$ -udledning via lysesiv, kunne man efterfølgende, sted for sted, beregne en mulig udledning af metan.

For at håndtere alle disse oplysninger og beregninger på en måde, som holder styr på deres geografiske placering, benytter man såkaldte geografiske informationssystemer (GIS). Det er avancerede databaser, som knytter alle data til en geografisk koordinat (længde- og breddegrad). Den største udfordring ved kortlægning af lysesiv vil være billedanalysen af luftfotos. For det første er der brug for fotos af så god kvalitet og fin opløsning, at det er muligt at genkende særtræk ved plantesamfund med lysesiv, f.eks. tuestørrelse.

Telemålingsdata (på engelsk remote sensing data) optages



Fotos: Peder Bøcher

Til venstre (A) ses et luftfoto af et område med lysesiv-tuer fra 2006 optaget med almindeligt synligt lys (rød, grøn, blå) og med 25-cm pixels. Til højre (B) ses et luftfoto fra 2008 hvor optagelsen inkluderer nærinfrarødt lys og med 16-cm pixels. Nærinfrarødt lys her som rød, rødt vises som grøn, og grønt vises som blå; herved opnås meget stor kontrast i billedet, hvor vegetation fremstår som rød. På billedet til højre kan man let identificere den tuedannede vækstform inden for den sorte ramme.

typisk fra satellit eller fly med en sensor, som måler forskellige egenskaber ved lys, der reflekteres fra jordoverfladen. Denne information gemmes i en GIS-database i store billedfiler, præcis som man kender det fra almindelige digitale kameraer.

Inden for de seneste år har efterspørgsel og teknologisk udvikling ført til store fremskridt i tilgængeligheden af sådanne data, og det kan blive afgørende for en kortlægning af lysesiv i Danmark. Blandt andet blev der i 2010 produceret landsdækkende luftfotos med en rumlig opløsning på fan-

tastiske 16 cm! For hver pixel foretages opmåling af hhv. blåt, grønt, rødt og nærinfrarødt lys. Desuden har man i Danmark i 2007 fra fly opmålt hele landet med en laser-scanner og på den måde fået en højdemodel med en opløsning på 1,6-meter.

Med disse informationer og avanceret matematik kan man nu begynde jagten på specifikke mønstre, f.eks. om tuer af lysesiv har et karakteristisk lysabsorptionsmønster, og det er netop, hvad forskerne i dette projekt har sat sig for at forsøge.

dermed potentielt medvirke til at øge drivhuseffekten.

Sumpplanter kan imidlertid også reducere  $\text{CH}_4$ -produktionen i vådbundslande, fordi de transporterer ilt fra atmosfæren ned i jorden. Den ilt, der tabes fra planterødderne, kan udnyttes af mikroorganismer i rodzonen, så organisk stof nedbrydes til  $\text{CO}_2$  i stedet for  $\text{CH}_4$ .

Den relative betydning af den interne transport af gasser i planterne, henholdsvis  $\text{CH}_4$  fra jord til atmosfære og ilt fra atmosfære til jord, er imidlertid kompleks og vil variere både over tid og rum. Sump-

planter kan øge  $\text{CH}_4$ -udledningen fra vådbundslande under nogle forhold, men samtidig vil de vandmættede forhold generelt forsinke nedbrydningen af organisk stof, så der over tid ophobes kulstof i jorden.

Når vi snakker drivhusgasser er det også vigtigt at se tingene i et større perspektiv. Vådområder vil generelt være en kilde til atmosfærisk  $\text{CH}_4$ , mens de vil dræne atmosfæren for  $\text{CO}_2$ . For at afgøre om et bestemt vådområde har en positiv eller en negativ effekt på drivhuseffekten, må man derfor se på for-

holdet mellem optaget  $\text{CO}_2$  og udledt  $\text{CH}_4$ , samt tage højde for de to gassers forskellige påvirkning af klimaet. Det er svært at sige noget generelt om, hvor stor en del af det kulstof, der fikses som  $\text{CO}_2$ , som senere udledes som  $\text{CH}_4$ , men undersøgelser har vist, at det i værste fald er omkring 15 %. Over en kort tidshorizont vil disse vådområder medføre en øget drivhuseffekt, men i det lange løb, grundet  $\text{CH}_4$  kortere levetid i atmosfæren, vil vådområderne nedsætte drivhuseffekten ved at fungere som dræn for  $\text{CO}_2$  i atmosfæren. ■

**Om forfatterne**

Anders Henneberg Nielsen er ph.d.-studerende ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet.  
Tlf: 89424701/51927966  
anders.henneberg@biology.au.dk

Hans Brix er professor ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet.  
Tlf: 8942 4714  
hans.brix@biology.au.dk

Søren O. Petersen er seniorforsker ved Institut for Agroøkologi Aarhus Universitet.  
Tlf: 8999 1723  
soren.o.petersen@djf.au.dk

Peder Klith Bøcher er GIS- og Database-kordinator ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet.  
Tlf: 89422749  
peder.bocher@biology.au.dk

Brian K. Sorrell er lektor ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet.  
Tlf: 23666864  
brian.sorrell@biology.au.dk

**Forslag til videre læsning:**  
Hans Brix, Brian K. Sorrell og Bent Lorenzen (2001) *Are Phragmites-dominated wetlands a net source or net sink of greenhouse gases?* *Aquatic Botany* 69, 313-324

Gary J. Whiting og Jeffrey P. Chanton (2001) *Greenhouse carbon balance of wetlands: methane emission versus carbon sequestration.* *Tellus* 53B, 521-528