



# Skov og skovvandløb

TEMA-rapport fra DMU



# Skov og skovvandløb

---

Nikolai Friberg

TEMA-rapport fra DMU, 21/1998,  
Skov og skovvandløb

Forfatter: Nikolai Friberg  
Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Vandløbsøkologi

Udgiver: Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser®  
URL: <http://www.dmu.dk>  
Udgivelsestidspunkt: November 1998

Layout: Kathe Møgelvang og Juana Jacobsen  
Forsidefoto: Miljøstyrelsen / Bent Lauge Madsen

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Tryk: Silkeborg Bogtryk  
EMAS certificeret nr. DK-S-0084  
Papir: Cyclus Print  
Sideantal: 32  
Oplag: 2.000

ISSN: 0909-8704  
ISBN: 87-7772-419-4

**PDF-udgave:**  
**ISSN: 1399-4999**  
**ISBN: 87-7772-474-7**

Pris: 40,- kr.  
Klassesæt á 10 stk: 200,- kr.  
Abonnement (5 numre): 225,- kr.  
(Alle priser er incl. 25 % moms, excl. forsendelse)

Købes i boghandelen eller hos:

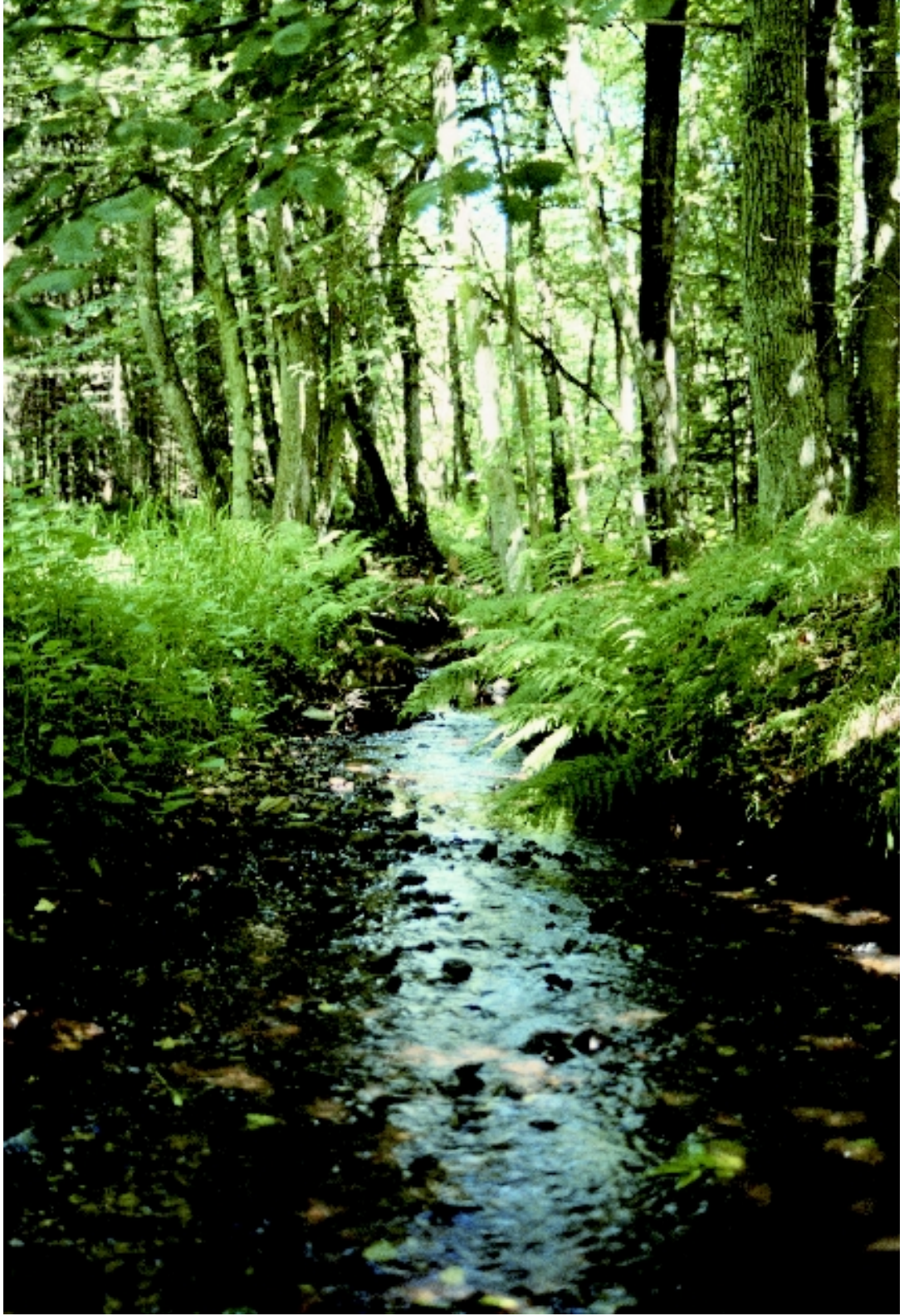
Danmarks Miljøundersøgelser  
Vejsøvej 25  
Postboks 314  
8600 Silkeborg  
Tel: 89 20 14 00  
Fax: 89 20 14 14

Miljøbutikken  
Information og bøger  
Læderstræde 1  
1201 København K  
Tel: 33 95 40 00  
Fax: 33 92 76 90

Indledning	5
Landskabets udvikling omkring danske vandløb	7
Samspillet mellem skov og vandløbsorganismer	11
Skov, skovrejsning og vandløbsoplande	17
Skovdrift og vandløb	24
Hvordan skal fremtidens skovvandløb se ud?	26
Sammenfatning	29
Litteratur	30
Danmarks Miljøundersøgelser	31
Tidligere TEMA-rapporter fra DMU	32



FOTO: DMU / JENS SKRIVER



# Indledning

I dag er mere end 60% af Danmarks areal landbrugsland, og mange danskere forbin-der da også den bølgede kornmark, de græssende køer og de enkeltstående træer hist og her med natur. Efter sidste istid blev Danmark imidlertid skovklædt fra kyst til kyst, men mennesket har i mere end 4.000 år ændret landskabet hen imod det, vi kender i dag. Ser vi på vandløbene som økosystem er hovedparten af disse altså blevet ændret fra en naturlig skovdækket tilstand til vandløb, der løber gennem det åbne agerland.

En god vandløbskvalitet er betinget af, at både vandets kvalitet og det fysiske miljø er i orden. Med det fysiske miljø menes forhold som strømmens hastighed, bundmaterialets sammensætning og dybdeforhold, der alle har stor betydning for vandløbets organismer. Desuden skal vandløbet være i samspil med den omgivende ådal, dels gennem oversvømmelser og dels gennem materiale, som tilføres vandløbet fra de omkringliggende arealer.

Landbruget og den høje befolkningstæthed giver ophav til en række miljøproblemer og betyder, at mange danske vandløb i dag har en utilfredsstillende vandløbskvalitet. Mange af disse problemer er ukendte i de fleste skovvandløb. Det skyldes, at skovdrift stadig er karakteriseret ved et lavt forbrug af næringsstoffer, og at skovområder typisk er tyndt befolkede.

Forskellen i vandkvalitet fremgår af følgende sammenligning mellem vandløb i natur- og skovarealer med landbrugs- og spildevandspåvirkede vandløb. Af Tabel 1 fremgår, at tilførslen af kvælstof, fosfor og

iltforbrugende stoffer fra natur- og skovarealer til vandløb er langt mindre end fra landbrugs- og spildevandspåvirkede arealer. Næringsstoffer og iltforbrugende stoffer har negative konsekvenser både for de økologiske forhold i vandløbene og for de søer og fjorde, der modtager vand fra vandløbene (Box 1).

Yderligere er den overvejende del af de vandløb, der løber igennem landbrugsarealer, i tidens løb blevet uddybet og rettet ud for at sikre en effektiv dræning af markerne. Således har mere end 90% af alle danske vandløb i dag mistet deres fysiske varierede miljø og snoede forløb, og er i stedet blevet ensartede kanaler.

I det åbne land bevirker den fri adgang for sollys en kraftig vækst af vandplanter (grøde) i de fleste vandløb. Planterne bremser vandet og øger dermed sandsynligheden for oversvømmelse af de tilstødende marker. Derfor foretages mange steder grødeskæring for at lette vandets afstrømning, men det er med til at forstyrre vandløbsøkosystemet og fastholde det i en ofte utilfredsstillende tilstand. Levesteder for fisk og smådyr fjernes ved grødeskæringen, samtidig med at strømmens muligheder for at skabe varierede fysiske forhold reduceres.

**Tabel 1.** Koncentrationen af kvælstof, fosfor og letomsætteligt organisk stof (målt som det biologiske iltforbrug over 5 dage,  $B_5$ ) i danske vandløb (målt i 1995) fra arealer, der er domineret af henholdsvis natur/skov eller landbrug samt vandløb, som er påvirket af spildevand. Alle værdier er gennemsnit og i mg pr. l (fra Windolf, 1996).

	Kvælstof	Fosfor	Organisk stof
Natur- og skovvandløb	1,6	0,052	1,32
Vandløb i dyrkede områder	6,6	0,126	1,60
Vandløb som modtager spildevand	6,6	0,153	2,18

Selv om forringelser af vandløbenes fysiske miljø (primært i form af grøftning) langt fra er et ukendt fænomen i skovområder (se også afsnit 5), er omfanget langt mindre end i det åbne land.

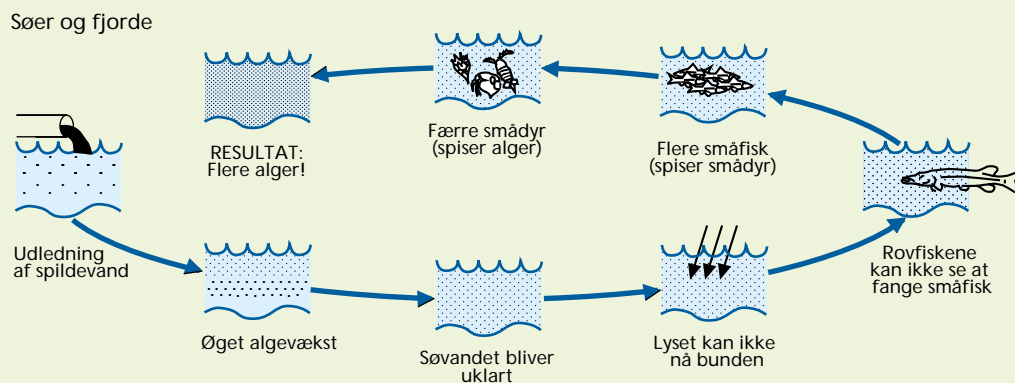
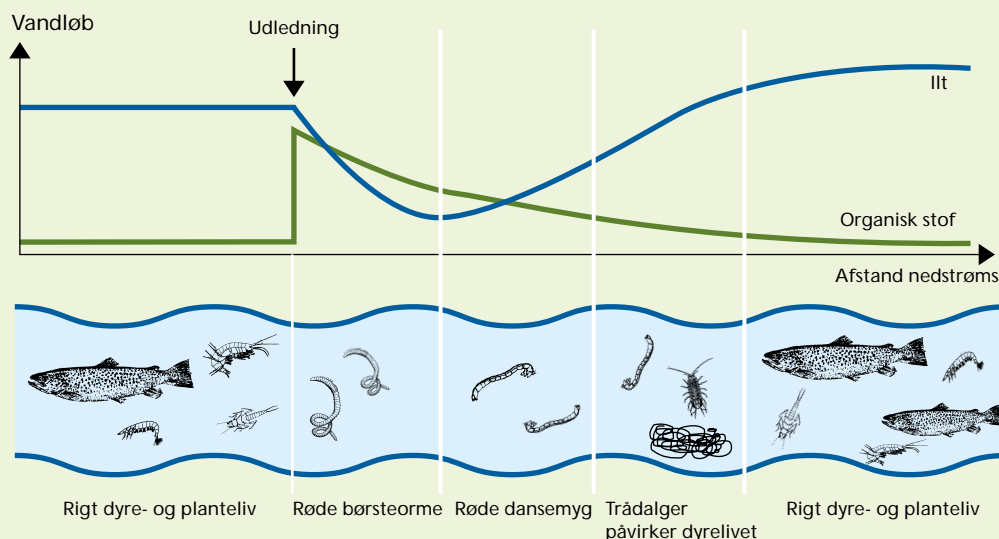
Hovedparten af resultaterne i denne rapport er fra undersøgelser foretaget af DMU, Afdeling for Vandløbsøkologi, som led i et

forskningsprojekt om, hvilke effekter skov og skovrejsning har på de biologiske forhold i vandløb. Projektet er udført i samarbejde med Skov- og Naturstyrelsen og Miljøstyrelsen, og har desuden modtaget støtte fra Forskerakademiet. Det er håbet, at disse resultater kan være med til at sikre en høj økologisk kvalitet i fremtidens skovvandløb.

Udledning af let-omsætteligt organisk stof opbruger, på grund af mikrobiel omsætning, ilten i vandløbet, således at kun få organismer kan overleve. På grund af omsætning, genluftning og fortyndning stiger iltindholdet atter nedstrøms for spildevandsudledningen, og de biologiske forhold normaliseres.

I søer, fjorde og havet medfører øget tilførsel af næringsstoffer øget algevækst. I søer er det fosfor, som øger algevæksten og giver uklart vand, mens det i fjorde og havet er kvælstof. Som i vandløb påvirkes hele plante- og dyrelivet negativt. Vandområderne kommer ind i en ond og selvforstærkende cirkel, som kun kan brydes ved at mindske tilførslen af næringsstoffer.

**Box 1. Tilførsel af næringsstoffer har den største negative indflydelse på søer og fjorde, men iltforbrugende stoffer har den største konsekvens i vandløbene**





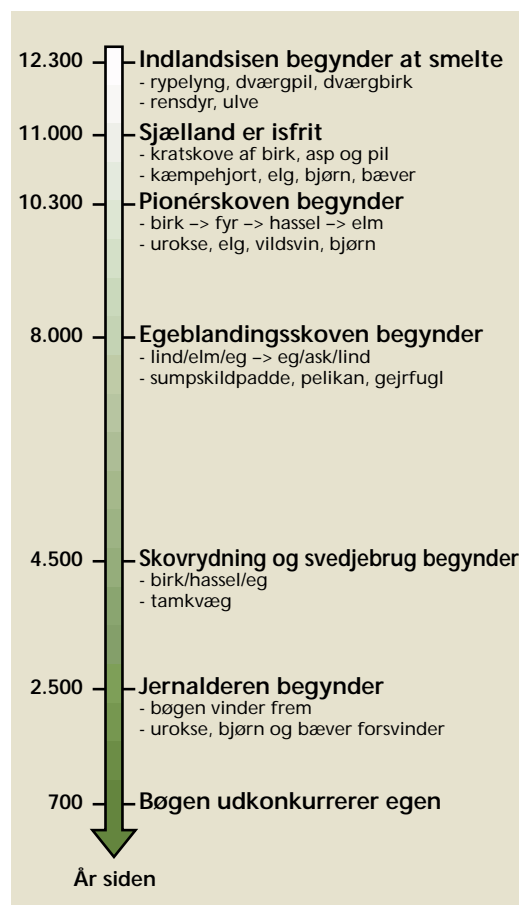
# Landskabets udvikling omkring danske vandløb

For omkring 12.000 år siden var det meste af Danmark isdækket. Da isen trak sig tilbage, begyndte vegetationen at indvandre (Figur 1). Først var plantedækket spredt og domineret af urter og buske. Dernæst blev landet dækket af løvskov og successivt har forskellige skovsamfund afløst hinanden op gennem tiderne. Danmark ligger i dag i det, der betegnes den nemurale vegetationszone, hvor de naturligt forekommende træer primært er løvtræer som bøg, eg, ask, elm, hasselnød og lind. Træarter på de fugtige jorde langs vandløbene har typisk været el, ask og pil.

Mennesket har ændret landskabet markant. Skovrydningen startede for ca. 4.500 år siden (Figur 1), og skovarealet nåede sit absolutte minimum med 2-3% i starten af forrige århundrede (Figur 2). Siden da er arealet blevet forøget til de nuværende ca. 11%, men stigningen kan stort set alene tilskrives en vidtgående tilplantning med nåletræer som rødgran og sitkagran (Figur 3). I dag består to tredjedele af skovarealet af nåletræer, mens bøg er det dominerende løvtræ på den resterende tredjedel (Figur 4). Næsten al den nuværende skov er plantet, og mindre end 10% af skovarealet skønnes i dag at være naturskov. Naturskov defineres som skov, der har indfundet sig på lokaliteten af sig selv, og som består af naturligt indvandrede træarter og racer. Intet af den eksisterende skov har siden oldtiden været helt urørt. Der er i alt mere end 20.000 registrerede skove i Danmark. De fleste er små og ligger spredt i landskabet, ofte i områder med dårlige jorde og kuperet terræn, hvor en landbrugsmæssig udnyttelse ikke er rentabel.

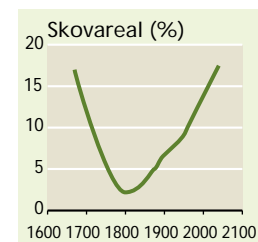
## Mere skov

I slutningen af firserne fremsatte regeringen en hensigtserklæring om at fordoble Danmarks skovareal fra de nuværende ca. 11% til ca. 20-25% inden for den næste trægeneration (70-100 år). Baggrunden for skovrejsningsstrategien var på det tidspunkt primært at øge træproduktionen på bekostning af traditionel landbrugsproduktion.

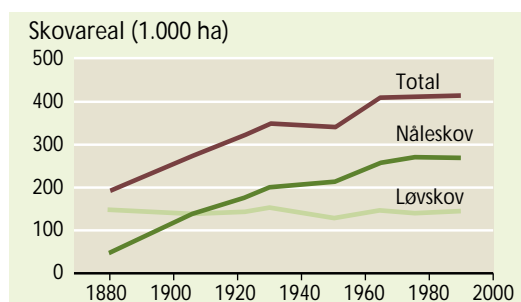


Figur 1. Skovudviklingen i Danmark.

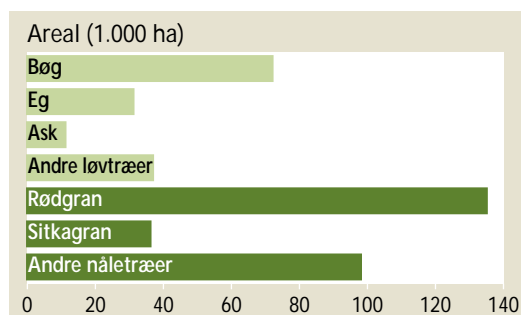
Figur 2. Skovarealets udvikling fra år 1600 til år 2100 såfremt skovrejsningen gennemføres som planlagt (modificeret fra Koch og Kristiansen, 1991).



**Figur 3.** Udviklingen i løv- og nåleskov viser der er blevet mere skov i løbet af de sidste 100 år. Stigningen i skovarealet skyldes tilplantning med nåletræer (udarbejdet på baggrund af data fra Danmarks Statistik, 1994).



**Figur 4.** Sammensætningen af de danske skove i dag. Der er mere nåleskov end løvskov (udarbejdet på baggrund af data fra Danmarks Statistik, 1994).



Skovrejsningen forventes desuden at være til gavn for miljøet i form af øget biologisk mangfoldighed og bedre beskyttelse af grundvandet, ligesom et forøget skovareal har en stor rekreativ værdi. Den miljø-mæssige dimension blev yderligere styrket, da Skov- og Naturstyrelsen som opfølgning på Rio-konferencen i 1992 om bevarelsen af biologisk mangfoldighed, fremsatte en strategi for bæredygtig skovdrift. På baggrund af denne strategi udarbejdede regeringen i 1994 en skovpolitisk redegørelse til Folketinget om en samlet dansk skovpolitik. Centrale elementer i denne skovpolitik er forøgelse af skovarealet, undersøgelse af skovenes positive indflydelse på CO<sub>2</sub>-regnskabet, tilskud til afsætning af skovprodukter, forbedring af skovenes kvalitet gennem tilskud til løvtræsdyrkning, naturpleje og naturnær skovdrift og ikke mindst en styrkelse af forskning, formidling og efteruddannelse om bæredygtig skovdrift.

Skovrejsningen skal både foretages af staten og af private. Den gennemføres frivilligt, men private jordejere får støtte til at tilplante landbrugsarealer med skov. Skovrejsningen skal resultere i højstammet skov, der vil blive

underlagt fredskovspligt (skoven skal erstattes, når den fældes). Tilplantning med løvskov støttes med et højere beløb end tilplantning med nåleskov. Hidtil har næsten al skovrejsning været foretaget af staten.

Styrkelsen af skovenes naturmæssige værdi blev yderligere understreget med vedtagelsen af den nye Skovlov i 1989 samt i revisionen af denne fra 1996, hvor temaer som flersidig skovbrug og naturskov er centrale. Denne ændring af loven havde til formål at sikre, at der ud over de produktionsmæssige hensyn også tages hensyn til skovens naturhistoriske og miljøbeskyttende kvaliteter. Hovedformålet med naturskogsstrategien er at bevare de danske skoves biologiske mangfoldighed, herunder deres genressource. Både flersidig skovbrug og naturskogsstrategien fremhæver forekomsten af åbent vand i skoven som et vigtigt element for at opretholde et mangfoldigt økosystem.

### Flere skovvandløb

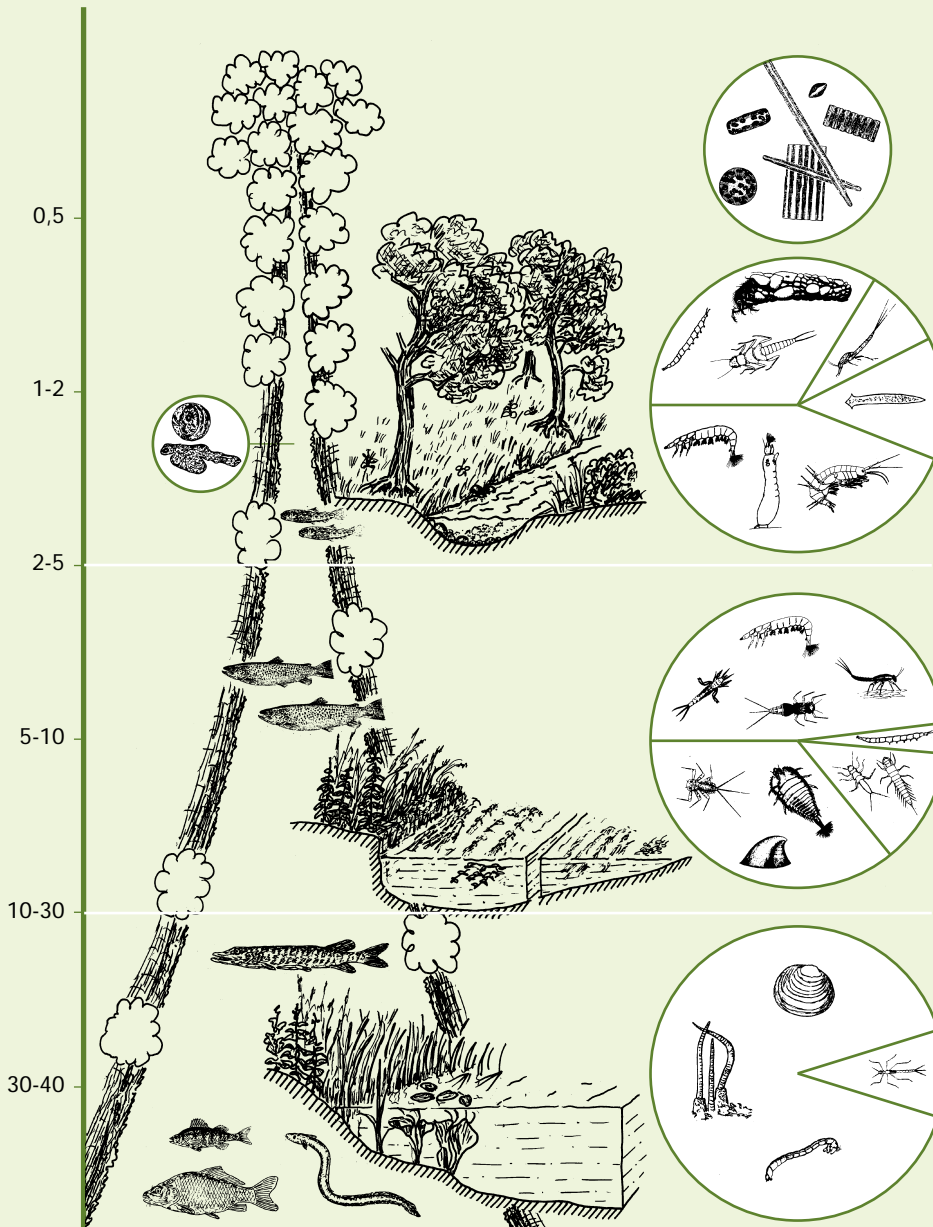
Vandløbene i Danmark var tidligere næsten alle skovdækkede. En karakteristisk egen-skab ved små vandløb er den store kontaktflade med skoven på grund af en lille vand-spejlsbredde. Denne kontaktflade vil mindskes jo større vandløbet bliver, og det vil, afspejle sig i de økologiske forhold (Box 2).

Både den planlagte skovrejsning og den fremtidige forvaltning af skovene vil få store konsekvenser for vores vandløb. Der findes i dag ca. 30.000 km vandløb i Danmark, hvoraf hovedparten (mere end 80%) er smallere end 2 m. Når skovrejsningen er fuldt gennemført, vil ca. 4.000 km vandløb blive skovvandløb. Da vandløbene generelt er små, vil de få en stor kontaktflade med skoven.

Der er ingen tvivl om, at de øgede skovarealer kan få positiv indflydelse på både vandløb og vandmiljøet som helhed. Men tilplantning med skov er dog ikke i sig selv en garanti for en forbedring i vandløbskvaliteten.

Box 2. Det ideelle vandløb

Vandløbsstørrelse  
(bredde i meter)



Teorien om det ideelle vandløb bygger på, at de fysiske forhold i vandløbet naturligt ændres fra udspring til udløb i havet. På de øvre strækninger er vandløbene smalle og har et stort fald. Her vil en naturlig udviklet skovvegetation kunne skygge hele vandløbet og bidrage med store mængder af dødt organisk stof i form af blade. Ned gennem vandløbet aftager faldet samtidig med, at bredde samt dybde øges. Dette fører til mindre strøm og erosion, og vandløbet præges i stigende grad af aflejringer. Ned gennem vandløbet vil vandløbssedimentet derfor blive mere og mere finkornet. Bredvegetationens betydning for skygning og tilførslen af dødt organisk stof falder på grund af den øgede vandløbsbredde. Derfor vil plante- og dyrelivet gradvist ændres: Nedbrydningsprocesser og detritivore organismer (der lever af dødt organisk stof) som iturivere og samlere dominerer i de øvre strækninger, mens selve vandløbets planteproduktion har en ringe betydning. I det mellemste vandløb vil vandløbets egen planteproduktion være meget væsentlig, og antallet af skraber øges. I det nedre løb vil systemet atter være domineret af nedbrydningsprocesser knyttet til depositionsområder, det vil sige, de områder hvor især det finpartikulære organiske stof er bundfældet.



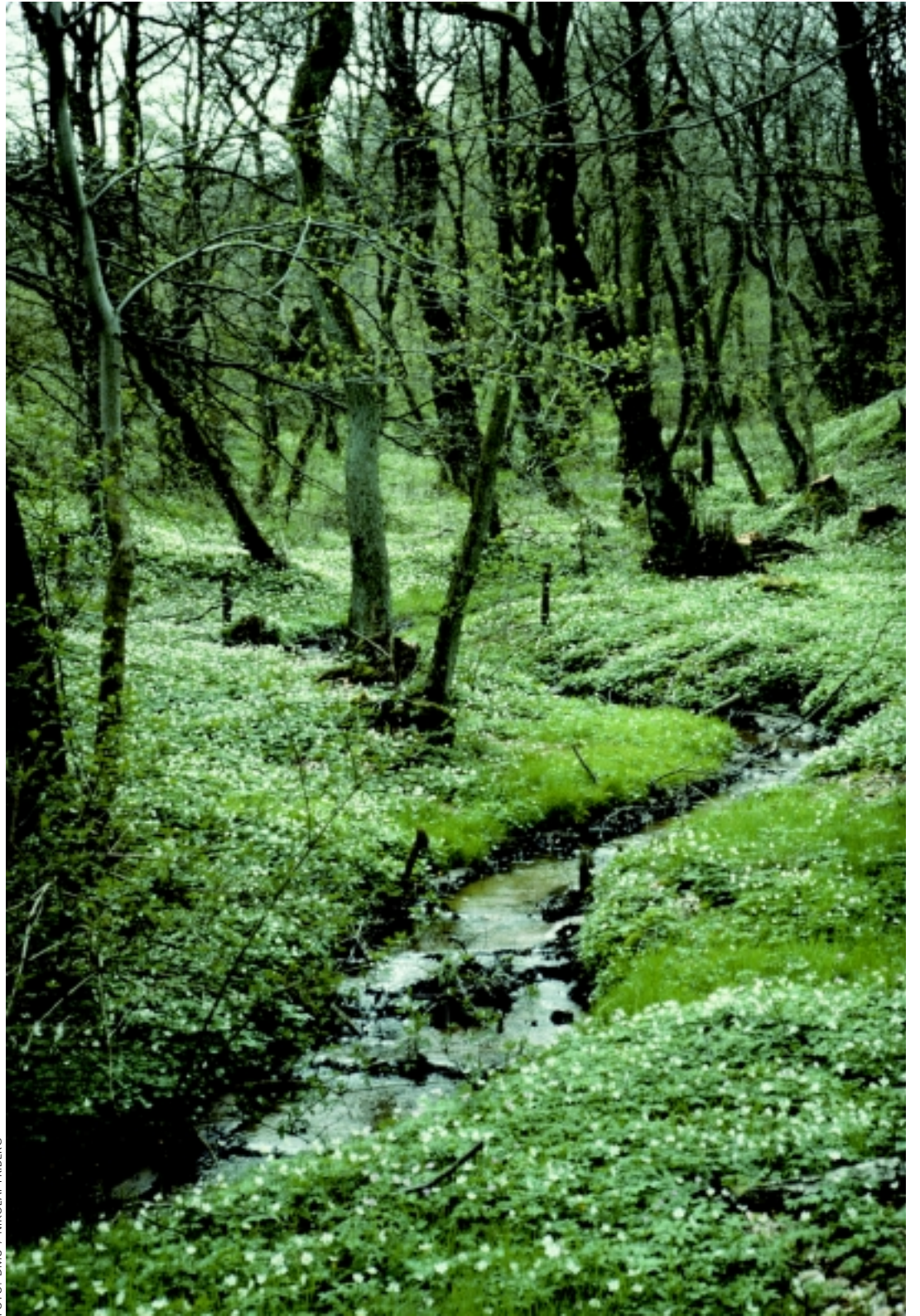


FOTO: DMU / NIKOLAI FRIBERG



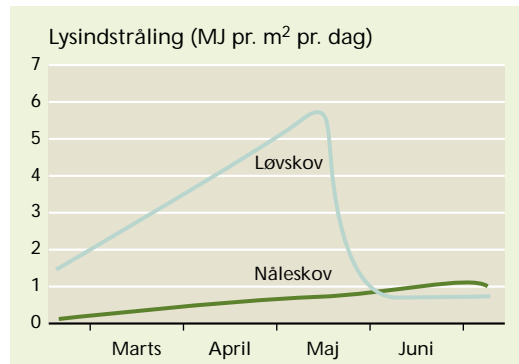
# Samspillet mellem skov og vandløbsorganismer

## Lysets betydning

I små vandløb dækker træernes kroner hele bredden af vandløbet og regulerer dermed helt lysindstrålingen. Mængden af lys, der trænger ned til vandløbet, er afhængig af, hvilke træer der gror langs bredderne. Den største forskel ses mellem løv- og nåletræer (Figur 5). I løvskov stiger den lysmængde, der når vandløbet jævnt igennem foråret for dernæst at falde markant efter løvspring. I nåleskov skygger træerne lige meget året igennem, og den største absolutte mængde lys når derfor vandløbet omkring midsommer. Generelt skygger løvskov ca. 50% før løvspring, mens den skygger mere end 90% af lyset væk efter løvspring. Nåleskov skygger mere end 90% af lyset væk hele året.

Der er imidlertid også forskel på, hvor meget de forskellige arter af løvtræer skygger og hvornår. Bøgetræer skygger kraftigt, og de har deres løvdække i en længere periode end træer som ask og el. Om foråret og om efteråret kommer der derfor generelt mere lys ned til vandløbsbunden, når bredderne er bevokset med ask og el, end når de er bevokset med bøg.

På grund af den store skygning i skovvandløb er både mængden og antallet af planter (primær-producenter) begrænset. Primærproducenter er de organismer, der danner organisk stof ved hjælp af lys og uorganiske næringsstoffer (fotosyntese). I vandløb generelt omfatter denne gruppe større vandplanter, bundlevende mikroalger (bentiske alger) og fytoplankton, der lever i de frie vandmasser. Langt de vigtigste



primærproducenter i skovvandløbene er de bentiske alger. De fleste er kiselalger (Figur 6), der har en skal af kisel, og som trives godt i det kølige vand. Som alle andre planter kan de ved hjælp af klorofyl udnytte lyset til at producere organisk stof. Derfor er koncentration af klorofyl pr. kvadratmeter vandløbsbund et udtryk for mængden af alger. På Figur 7 ses mængden af klorofyl i forårsperioden i løv- og nåleskovsvandløb. Både i det tidlige forår (marts/april) og på det tidspunkt, hvor der er flest alger i vandløbet (den maksimale biomasse  $B_{max}$ ), er der langt flere alger i løvskovsvandløbene sammenlignet med vandløb i nåleskov.  $B_{max}$  indtræffer umiddelbart efter løvspring i løvskovsvandløbene og omkring midsommer i nåleskovsvandløbene, hvilket klart viser den tætte sammenhæng mellem lys og algevækst. I lysåbne vandløb er biomassen af bentiske alger generelt to til tre gange større end i skovvandløb.

Konklusionen er derfor, at træerne bestemmer den mængde lys, der når vandløbsbunden og dermed også mængden af de alger, som gror der.

**Figur 5.** Lysindstrålingen til et løvskovsvandløb og et nåleskovsvandløb er i forårsperioden meget forskellig og størst i løvskov. Lysmængden stiger gradvist frem til løvspring i løvskovsvandløbet, mens den i nåleskovsvandløbet ligger på et konstant lavt niveau.

**Figur 6.** Bundlevende kiselalger er de vigtigste primærproducenter i skovvandløb. Algerne er mikroskopiske, men de kan ses på dette scanningselektronmikroskopfoto ved stor forstørrelse.

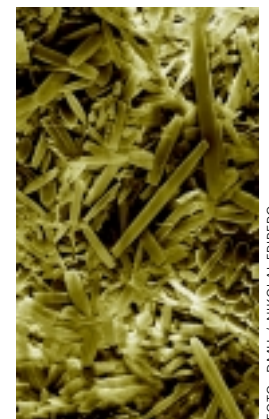
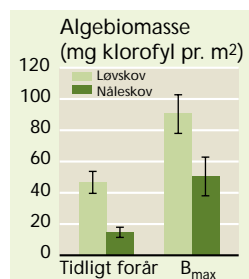


FOTO: DMU / NIKOLAI FRIBERG



**Figur 7.** Mængden af alger er størst i løvskovsvandløb sammenlignet med nåleskovsvandløb, både i det tidlige forår (marts og først i april) og ved den maksimale biomasse B<sub>max</sub> (maj/juni).

### Blade er god føde

Den væsentligste fødekilde i skovvandløb kommer ikke fra vandløbet selv. Det er organisk stof produceret i skoven: Blade, nåle og grene som falder ned i vandløbet. Denne pulje af dødt organisk stof er det vigtigste fødegrundlag for skovvandløbenes smådyr. Hovedtilførslen sker fra både løv- og nåletræer om efteråret, men naturligvis mest markant fra løvtræer. Artssammensætningen af de træer, der gror på bredden, er meget afgørende for mængden af dødt organisk stof i vandløbet og for variationen gennem året, både fordi tilførslen er forskellig, men også fordi bladenes/nålenes nedbrydningstid er forskellig (Tabel 2).

Elletræer optager ekstra kvælstof fra luften ved hjælp af rodknolde. Kvælstoffet bruges til at danne protein, og ellebladene er derfor rige på protein, når de falder af træet og havner i vandløbet. Faktisk er de så god føde for både mikroorganismer og smådyr, at de bliver omsat og forsvinder fra vandløbets "fødekammer" i løbet af et par måneder.

I modsætning hertil er bøgeblade meget fattige på protein. Indholdet af kvælstof i bøgeblade er ca. en fjerdedel af indholdet i elleblade. Derfor omsættes bøgebladene meget langsomt på skovbunden og i vandløbet. Dette bevirker, at bøgeblade som fødekilde forekommer i vandløbet hele året, blandt andet fordi tørre blade kan blæses i fra skovbunden det meste af året.

Nåle er ligeledes meget svært omsættelige og kan være op til et år om at blive ned-

brudt, men alligevel findes de ikke i vandløbet i så store mængder som bøgeblade. Det skyldes primært, at de let skylles nedstrøms i vandløbet.

Et meget væsentligt element i tilbageholdelsen af blade og nåle er mængden af træ i vandløbet. Kviste, kogler og grene af forskellige størrelser vil under naturlige forhold havne i vandløbet. Nedbrydningstiden er generelt langt større end for blade og nåle på grund af et stort indhold af cellulose og deraf følgende ringe næringsværdi. Derfor kan store grene ligge i vandløbet i årtier. Som direkte føde er træ kun af ringe betydning for smådyrssamfundet, men det har en meget stor indirekte betydning, da det tilbageholder føde i form af blade og nåle i vandløbet.

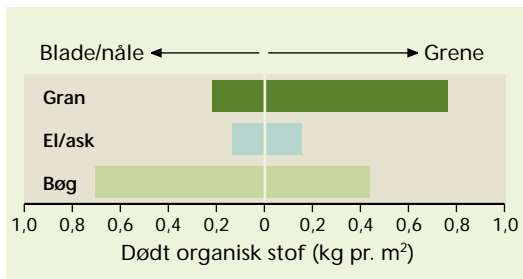
Blade og nåle er i sig selv vigtige for smådyrssamfundet i vandløbet. Lige så vigtige er de svampe og bakterier, der vokser på bladenes og nålenes overflade. Disse mikroorganismer lever af at nedbryde bladmaterialet, og dermed forøger de bladenes fødeværdi for smådyrene. Smådyrene foretrækker at spise konditionerede blade, hvilket vil sige, at de er koloniserede med mikroorganismer. Således er blade, der har ligget i vandløbet omkring en måned, væsentlig mere attraktive som føde end nynedfaldne blade.

**Tabel 2.** Der er meget forskel på, hvor hurtigt forskellige typer af løv nedbrydes i vandløbet.

Nedbrydningstid	Løvtyper
Hurtig (mindre end 1-2 måneder)	el, ask
Middel (mindre end ½ år)	birk, ahorn
Langsom (mindre end et år)	bøg, eg, rødgran/sitkagran



FOTO: DMU / NIKOLAI FRIBERG



**Figur 8.** Mængden af dødt organisk stof i et skovvandløb og fordelingen mellem blade/nåle og mindre træstykker (smågrene, kviste og kogler) afspejler hvilke træer, der gror på bredden. Figuren er lavet på baggrund af gennemsnitsmængder og fordelinger over året pr. kvadratmeter bund i tre skovvandløbstyper: Vandløb, der overvejende har bøg, ask/el eller nåletræer (mest sitkagran) langs bredderne.

Figur 8 viser forskelle i mængden af dødt organisk stof i tre skovvandløbstyper. Vandløb, der løber gennem bøgeskov og nåleskov har omtrentlig samme mængde dødt organisk stof pr. kvadratmeter vandløbsbund (ca. 1 kg), mens mængden er væsentlig lavere i vandløb, når el og ask dominerer langs bredden. De relative andele af mindre grenstykker og blade/nåle i puljen af organisk stof i skovvandløb ses ligeledes af Figur 8. I bøgeskovsvandløbene udgør blade mere end 60% af puljen, mens nåle kun udgør 20% i nåleskovsvandløb. Mængden af blade/nåle og deres kvalitet som føde er derfor afhængig af skovtypen.

### De vigtige smådyr

Smådyrene er den væsentligste dyregruppe i skovvandløb. Smådyrssamfundet domineres af de insekter, der i deres ungdomsstadier lever i vandløbet som nymfer eller larver (Tabel 3). Eksempler på vigtige insektgrupper i skovvandløb er slørvinger og vårfluer. Hyppigt forekommende er slørvinger af slægten *Leuctra*. Insekterne lever i vandløbet i hovedparten af deres livscyklus, og det er derfor også her hovedparten eller

Art	Antal pr. m <sup>2</sup>	%
<b>Krebsdyr</b>		23
<i>Gammarus pulex</i>	2.979	
<b>Slørvinger</b>		26
<i>Leuctra nigra</i>	2.898	
<i>Leuctra hippopus</i>	476	
<i>Nemurella picteti</i>	21	
<i>Nemoura flexouosa</i>	41	
<i>Amphinemura standfussi</i>	41	
<b>Døgnfluer</b>		-0
<i>Baetis rhodani</i>	4	
<b>Vårfluer</b>		6
<i>Sericostoma personatum</i>	531	
<i>Potamophylax sp.</i>	48	
<i>Plectrocnemia conspersa</i>	75	
<b>Tovinger</b>	2.204	17
<b>Øvrige</b>	3.796	28
<b>I alt</b>	13.179	

hele deres fødeindtag foregår. Som voksne forlader de vandløbet for at parre sig på landjorden. Slørvingerne er blandt de insekter, der tager føde til sig som voksne, men mange, fx. de fleste vårfluer, gør ikke. Af ikke-insekter er især ferskvandstangloppen *Gammarus pulex* hyppig, såfremt vandløbet ikke er forsuret (se næste afsnit).

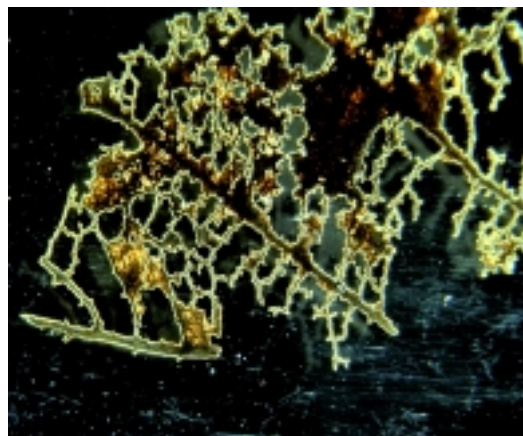


FOTO: MILJØSTYRELSEN / BENT LAUGE MADSEN

### Box 3. Smådyrenes fødebiologi

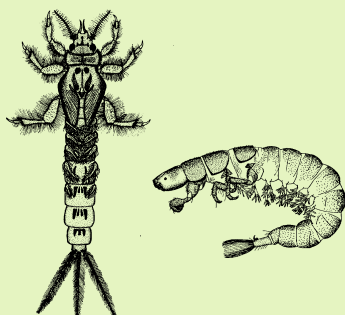
Et væsentligt element i forståelsen af vandløbsøkosystemet er smådyrenes ernæringsmæssige relationer, der kan opdeles efter fødetype (størrelse og art), samt den måde dyrene indtager føden på.

Dyrene kan inddeles i fire grupper:



**Iturivore** lever af at tygge store plantedele (> 1 mm), der enten kan være levende (herbivori) eller døde (detritivori). Langt de fleste iturivore lever af døde vandplanter og blade/nåle fra land.

Den husbyggende vårflue *Sericostoma personatum* er en karakteristisk iturivore.



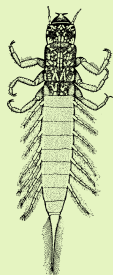
**Samlere** lever af dødt organisk stof, alger og mikroorganismer, der er mindre end 1 mm. Samlerne kan med hensyn til fødemekanismer underopdeles i to grupper: Filtratorer, der filtrerer fødepartiklerne direkte fra vandet og sedimentædere, som spiser partiklerne, når de ligger på vandløbsbunden.

De fritlevende vårfluer tilhørende slægten *Hydropsyche* lever af at filtrere partikler fra vandet ved hjælp af et fangstnet spundet af silke. Døgnfluen *Ephemera danica* lever som samler nedgravet i vandløbsbunden.



**Skrabere** lever af at skrabe alger, mikroorganismer og dødt organisk stof mindre end 1 mm af sten, grene og vandplanter.

Huesneglen *Ancylus fluviatilis* er karakteristisk skraber på sten i mindre vandløb.

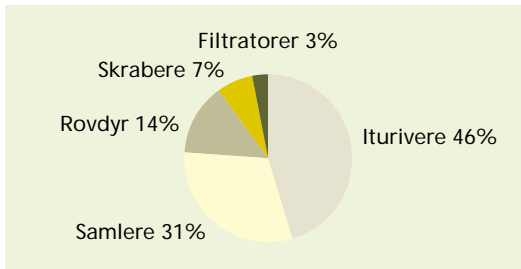


**Rovdyr** lever af at spise andre smådyr.

Dovenfluen *Sialis* sp. lever af de andre smådyr i vandløbet.

De fleste af smådyrene er ikke fødebiologisk bundet til kun én af de fire grupper. Mange smådyr kan ernære sig af flere forskellige fødeemner, og fødeindtaget afspejler derfor i høj grad fødeuddet. Desuden har mange arter forskellig fødebiologi i løbet af deres livsforløb.





**Figur 9.** Smådyr, der lever af dødt organisk stof, dominerer samfundet i skovvandløb uanset hvilke træer skoven består af. Figuren er baseret på biomassetal fra 12 danske løvskovvandløb og viser fordelingen af fødefunktionelle grupper.

Smådyrene kan inddeles efter deres funktion i vandløbets energiomsætning (Box 3). I skovvandløb generelt dominerer iturivere og samlere, hvorimod der kun findes få skrabere (Figur 9).

Skraberne lever alle af at skrabe alger af sten. At de er så fåtallige skyldes den lille mængde bentiske alger.

Ituriverne lever af de store mængder af nedfaldne blade/nåle, der findes i skovvandløbet. Ituriverne udnytter generelt kun en lille del af energien i bladene, fortrinsvis de tilknyttede mikroorganismer. 90-95% returneres til vandløbene som fine partikler (mindre end 1 mm), hvorefter de igen bevokses af mikroorganismer og dernæst udnyttes af samlere eller eksporteres til nedstrøms vandløbsstrækninger. Ituriverne har derfor en meget vigtig rolle i økosystemet, i og med at de finder det grove organiske materiale og gør overfladen for bevoksning af mikroorganismer større.

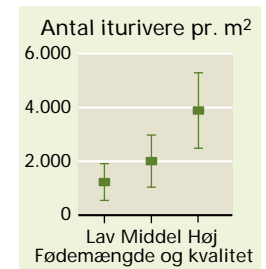
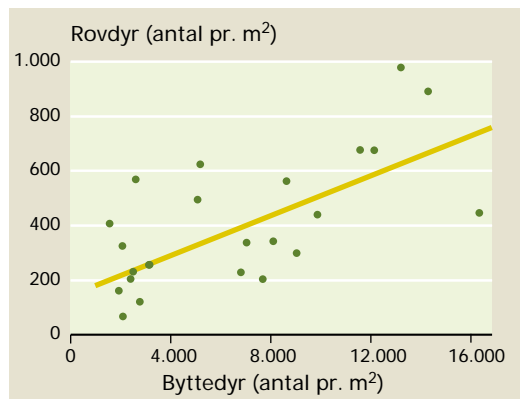
Vårfluen *Sericostoma personatum* er en typisk ituriver. Den vokser meget bedre på elleblade end på sitkanåle (Tabel 4) og demonstrerer betydningen af fødens kvalitet for ituriverne. Blades og nåles fødeværdi er formentlig især relateret til kvælstofindholdet, selv om sammenhænge er komplekse.

Fødeemne	Vækst (mg tørvægt pr. dag)
Elleblade	0.052
Sitkanåle	0.017

**Tabel 4.** Smådyrenes vækst afspejler kvaliteten af den føde de spiser. Tabellen viser vækst af vårfluen *Sericostoma personatum* (ituriver) under laboratorieforhold når føde udgøres af henholdsvis elleblade og grannåle (sitka).

Der er en overordnet sammenhæng mellem udbudet af føde og mængden af smådyr. Figur 10 viser således, at antallet af iturivere er størst i de vandløb, hvor der er rigeligt med føde af god kvalitet. Der synes at forekomme lignende sammenhænge mellem fødemængder og forekomsten af skrabere, samlere og rovdyr i skovvandløb.

På Figur 11 ses som eksempel en positiv sammenhæng mellem antallet af rovdyr og antallet af byttedyr, hvilket betyder, at der er flest rovdyr, når der er mange byttedyr til stede. Man kan sige, at smådyrssamfundet som helhed overvejende er reguleret nedfra i fødekæden, hvilket betyder, at mængden og kvaliteten af føde er bestemmende for antallet og biomassen af smådyr.



**Figur 10.** Både mængden og fødeværdien af det døde organiske stof er af betydning for smådyrene. Fødeværdien er afhængig af, hvor stor en andel af det døde organiske stof der består af blade/nåle (god føde) i forhold til træstykker (dårlig føde), og hvilke træer bladene/nålene stammer fra. På figuren er fødeværdi og fødemængde kombineret i tre kategorier (lav, middel og høj) og sammenlignet med antallet af iturivere pr. kvadratmeter bund. Resultaterne stammer fra 6 skovvandløb, der løber i forskellige typer løvskov og nåleskov.

**Figur 11.** Tætheden af rovdyr i skovvandløbene afspejler tætheden af byttedyr: Des flere byttedyr des flere rovdyr. Resultaterne stammer fra de samme 6 vandløb som i Figur 10.

	Bøg	Ask/el	Nål
Biomasse (mg tørvægt pr. m <sup>2</sup> )	2.674	1.812	682
Årlig produktion (mg tørvægt pr. m <sup>2</sup> )	5.982	4.681	1.310

**Tabel 5.** Biomassen og produktionen af de smådyr, der lever af blade/nåle (iturivere), afspejler, hvilke træer der gror på bredden. Resultaterne er fra tre skovvandløbstyper: Vandløb, der overvejende har bøg, ask/el eller nåltræer (mest sitkagran) langs bredderne.

	Vandløb 1	Vandløb 2
<i>G.pulex</i> biomasse (mg tørvægt pr. m <sup>2</sup> )	5.715	2.541
Ørredvækstrate (pr. dag)	0,039	0,022

**Tabel 6.** De højeste led i skovvandløbets fødekæde er afhængig af mængden af byttedyr. Således er der fundet en positiv sammenhæng mellem biomassen af det dominerende smådyr, ferskvandstangloppen *Gammarus pulex*, og vækstraten af ørred i to danske skovvandløb.

Det betyder, at forskellige skovtyper medfører forskellige smådyrssamfund. Tabel 5 viser produktionen af iturivere i tre forskellige skovvandløbstyper. Produktionen er størst i bøgeskovvandløbet, noget mindre i vandløbet hvor bredvegetationen domineres af ask/el, og klart mindst i vandløbet, der løber gennem nåleskov. En medvirkende årsag til den lave produktion i nåleskovvandløbet er formentlig også de vandkemiske forhold (se næste afsnit).

Samlet må det konkluderes, at smådyrs-samfundet er tæt koblet til og afhængig af de træer, som vokser langs vandløbet.

### Toppen af fødekæden

Fisk og fugle udgør de højere led i skovvandløbets fødekæde. Selvom mange skovvandløb er for små til at huse en egentlig bestand af voksne ørreder, udgør de ofte vigtige gyde- og opvækstområder for ørreder på grund af god vandkvalitet og et fysisk varieret miljø. Skovvandløb kan også udgøre fødegrundlag for fugle som vandstær om vinteren. Meget tyder på, at mængden af smådyr er bestemmende for mængden af ørreder og fugle. Tabel 6 viser således sammenhængen mellem biomassen

af ferskvandstangloppen *Gammarus* og vækstraten af ørreder i to små skovvandløb. I vandløbet med flest *Gammarus* vokser ørrederne hurtigst.

Vandstæren lever af smådyr i vandløbet og er derfor ligesom ørrederne følsomme over for mængden af bytte. Undersøgelser i Wales (fx Ormerod m.fl., 1986) har vist, at antallet af vandstære er lavere langs forsurede nåleskovvandløb end langs andre typer vandløb på grund af færre byttedyr.

Den samlede konklusion er, at også de højere led i fødekæden, såsom ørreder og fugle, reguleres af mængden af føde og dermed i sidste ende af de træer, der gror langs vandløbet.

# Skov, skovrejsning og vandløbsoplande

I det foregående afsnit har vi set, hvordan træerne på bredden bestemmer vigtige processer i vandløbet. Det er imidlertid ikke kun de nærmeste omgivelser, der betyder noget. Hvad der sker i vandløbets opland, det vil sige, det område hvorfra vandløbet får sit vand, har også en stor betydning. En forståelse af samspillet mellem vandløbet

og skoven i oplandet er derfor også vigtig for at kunne forudsige effekten af skovrejsning med forskellige træarter på vandmiljøet. De økologiske forhold i vandløbet er afhængige af en hel række fysiske og kemiske (abiotiske) forhold, hvoraf mange er relateret til oplandet (Box 4). Et eksempel på dette er forurening.

## Box 4. Abiotiske forhold og vandløb

De økologiske forhold i vandløb er generelt afhængige af en hel række ikke biologiske (abiotiske) faktorer. Figuren viser nogle af de vigtigste abiotiske faktorer, der påvirker vandløb og de ånære arealer.

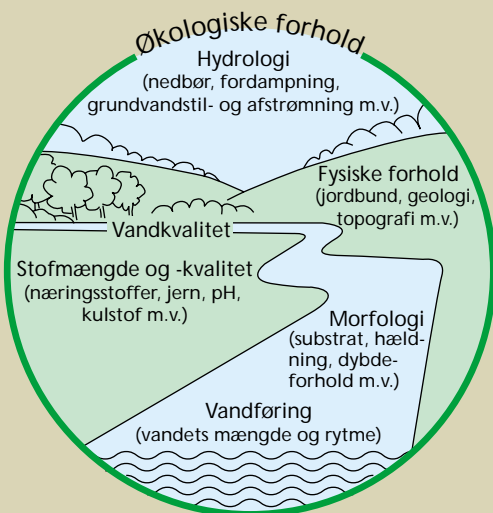
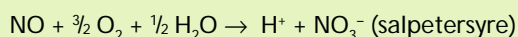
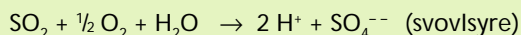


FOTO: DMU / NIKOLAI FRIBERG

### Box 5. Luftforurening og forsuring

Svovl- og kvælstofforbindelser er de stoffer, der spiller den største rolle ved forsuring. De tilføres ved luftforurening i form af henholdsvis svovldioxid, nitrat og ammoniak.

Iltning af svovldioxid og kvælstofoxid i luften danner følgende stærke syrer:



pH udtrykker koncentrationen af brintioner ( $\text{H}^+$ ) og er et mål for surhedsgraden. Mange brintioner giver et lavt pH og dermed øget surhedsgrad.

Generelt vil der forekomme forsuring som følge af tilførslen af svovl fra luften (som sulfat,  $\text{SO}_4^{--}$ ), da vegetationen kun optager sulfat i meget små mængder.

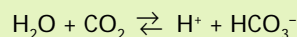
Hvis tilførslen af kvælstofforbindelserne  $\text{NH}_x$  og  $\text{HNO}_3$  er lige store, og al kvælstof optages af vegetationen, virker tilførslen af kvælstof fra luften ikke forsurende (Hansen et al. 1996). I kvælstofmættede økosystemer, dvs. hvor planterne ikke kan optage mere kvælstof, kan der imidlertid forekomme en betragtelig nitratudvaskning ( $\text{NO}_3^-$ ) og dermed forsuring (jævnfør formelen ovenfor). Derudover kan ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) i jorden omdannes til nitrat og brintioner, som dernæst kan udvaskes.

### Box 6. Biologisk forsuring

Nogle naturlige processer kan give ophav til et nettooverskud af brintioner og dermed forsuring.

#### *Kulsyre*

Plantemateriale i form blade, kviste etc. afkastes på skovbunden, og slutprodukterne af den efterfølgende stofnedbrydning er typisk en række organiske molekyler, som under ét kaldes humus. Nedbrydningen af plantematerialet producerer kuldioxid ( $\text{CO}_2$ ) der, opløst i jordvandet, danner kulsyre:



Kulsyre er en svag syre, og ligevægten vil blive forskudt mod venstre, når der er mange brintioner til stede. Hvis der er kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) i jordlagene, vil kulsyre og vand opløse kalk, hvorved det nedsivende vand vil blive basisk. Såfremt der ikke er kalk til stede, fx i sandjorde, vil den opløste kuldioxid give anledning til, at jordvandet bliver svagt surt (pH 4-5). Når jordvandet kommer ud i åbent vandløb, vil langt den største del af kuldioxiden imidlertid diffundere op i atmosfæren, hvorved syrevirkningen ophører.

#### *Organiske syrer*

Under dårlige betingelser for omsætning, fx. lave temperaturer, lavt indhold af næringsstoffer eller dårlige iltforhold, vil der dannes organiske syrer i humuslaget. Disse organiske syrer kan være stærke og sænke pH helt ned til ca. 3. De kan udvaskes fra sandede jorde og dermed forsure vandløb og søer, hvorimod de tilbageholdes i lerjorde.

#### *Udveksling af brintioner*

Træerne optager kationerne  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  og  $\text{NH}_4^+$  som næringsstoffer fra jorden. For at bevare elektroneutralitet "bytter" træerne de optagne kationer ud med brintioner, der kan forsure jorden og jordvandet.



## Skov kan gøre vandløb sure

Sulfat tilført fra luften anses som hovedårsag til forsurening af ferskvand. Selv om tilførslen af svovlforbindelser har været aftagende i de senere år, er den dog stadig betydelig. Ud over sulfat kan kvælstofforbindelser ( $\text{NO}_y$  og  $\text{NH}_x$ ) fra henholdsvis især biludstødning og husdyrgødning virke forsurende. Udvaskning af nitrat betyder, at nitrat på linie med sulfat deltager i forsureningen af overfladevand (Box 5).

Det er kendt, at tilførelsen fra luften til skovarealer er højere end til åbne arealer. Desuden fanger nåleskov i højere grad end løvskov de forsurende stoffer fra luften på grund af et større overfladeareal, og fordi der er nåle på træerne også om vinteren, når afbrændingen af fossilt brændstof er størst. Hertil kommer, at nåletræer naturligt er mere forsurende end de fleste løvtræer. Dette skyldes dels den langsomme omsætning af nålene, der giver ophav til store mængder humus, som er rigt på organiske syrer, og dels at brintioner ( $\text{H}^+$ ) frigives fra rødderne til jorden i bytte for basekationer (næringsstoffer), som bruges til vækst (Box 6). Nåletræer optager desuden næringsstofferne fra de øverste jordlag, mens løvtræer har dybere liggende rødder og optager næringsstofferne fra et større jordvolumen. Derfor bliver det øverste jordlag mere surt under nåleskov end under løvskov. Yderligere er udvekslingen af basekationer og brintioner mellem jordvæsken og træerødder styret af vækstraten, hvorfor hurtigt voksende træer, som de fleste nåletræer, producerer et overskud af brintioner og dermed giver ophav til en større jordforsuring. Tabel 7 viser pH-værdier under rødgran og bøg.

Nåleskov kan altså virke mere jordbundsforurende end løvskov og åbent land uden skov, men det væsentlige spørgsmål er, hvorvidt denne forsurening påvirker vandmiljøet. DMU har undersøgt forholdene i to



Dybde	0-5 cm	5-10 cm
Bøg	4,47	4,36
Rødgran	4,00	3,93

FOTO: DMU / NIKOLAJ FRIBERG

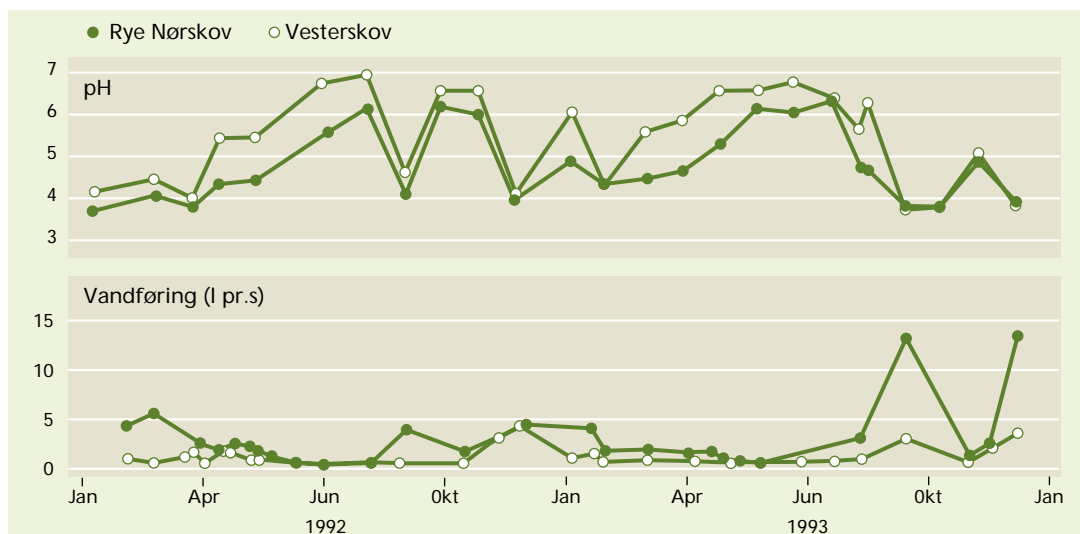
**Tabel 7.** Jorden er mere sur under rødgran sammenlignet med bøg. pH-værdier under bøgeskov og rødgran i to dybder under jordoverfladen (fra Nihlgård, 1971).

jyske nåleskovsvandløb i henholdsvis Rye Nørskov og Silkeborg Vesterskov. I begge vandløb er sitkagran den dominerende træart i oplandet, og det blev fundet, at koncentrationerne af sulfat og klorid var dobbelt så høje som i et vandløb, der dræner et hedeopland (Tabel 8). Resultaterne viser, at nåleskoven opfanger mindst dobbelt så meget af disse stoffer fra luften, som hedearealet gør, og at denne forskel kan genfindes i vandløbene.

**Tabel 8.** Skoven filtrerer luften mere effektivt for stoffer end det åbne land. Gennemsnitlig pH og min/max af pH og koncentrationen af anioner (mg pr. l) i to nåleskovs- samt i et hede vandløb (Skærbæk).  $\text{SO}_4$  er den menneskeskabte andel.

Lokalitet	pH	pH <sub>min</sub>	pH <sub>max</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub> -N
Rye Nørskov	4,8	3,7	6,3	28,7	8,4	1,9
Silkeborg Vesterskov	5,4	3,7	6,9	35,4	8,9	0,8
Skærbæk	5,6	5,4	5,7	15,0	3,6	1,1

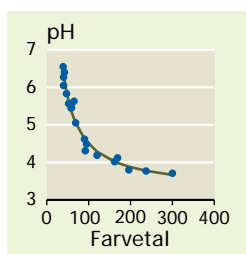
**Figur 12.** Når det regner kraftigt, og der kommer mere vand i vandløbet, falder pH. Vandføring (l pr. s) og pH i nåleskovsvandløb i Rye Nørskov (fyldte cirkler) og i Silkeborg Vesterskov (åbne cirkler).



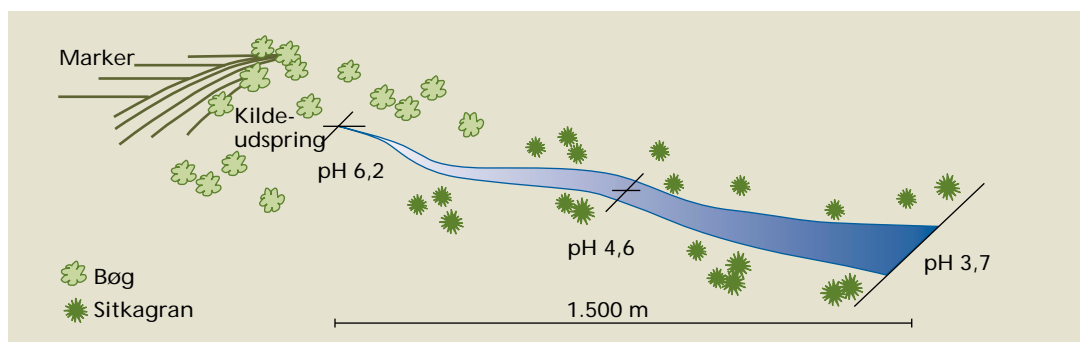
Når det regner meget, stiger vandføringen i de to nåleskovsvandløb, samtidig med at pH falder, ofte helt ned til pH 3,7 (Figur 12). Desuden bliver vandet meget brunt som tegn på et højt humusindhold (Figur 13). Foruden stærk syre (især svovlsyre) indeholder vandet en meget stor andel af middelstærke og svage syrer, der består af en blanding af organiske humussyrer og sure aluminium- og jernforbindelser. Der blev i begge vandløb fundet en pH-gradient fra udspring og nedstrøms i perioder med meget nedbør (Figur 14). Således faldt pH fra næsten neutral ved kildeudspringet til pH 3,7 over en kort strækning nedstrøms,

mens farvetal og koncentration af opløst aluminium parallelt hermed blev henholdsvis ca. 25 og 20 gange større. Resultaterne tyder altså på, at de kemiske forbindelser, der er ophobet i det øverste jordlag under nåleskoven, udvaskes til vandløbene i perioder med kraftig regn. Regnen kan i sådanne perioder ikke nå at trænge dybt ned i jorden, men vil løbe gennem de øverste jordlag og ud i vandløbene.

Flere udenlandske undersøgelser har i overensstemmelse hermed vist, at især nåleskov virker forsurende på overfladevand (fx. Harriman & Morrison, 1982).



**Figur 13.** En af grundene til at nogle af nåleskovsvandløbene bliver sure er indholdet af organiske syrer, der stammer fra humuslaget i skovbunden. Figuren viser sammenhængen mellem farvetal (mg Pt pr. l) og pH i nåleskovsvandløbet i Silkeborg Vesterskov. Farvetallet er et mål for indholdet af humus: jo højere humusindhold, des lavere pH.



**Figur 14.** I nogle nåleskovsvandløb bliver vandet gradvist mere surt, når man bevæger sig nedstrøms fra kildeudspringet. Det skyldes udvaskning af forsurende stoffer fra skovbunden, der stiger efterhånden som vandløbet afvander stadig større arealer. Figuren viser en faldende pH-gradient i nåleskovsvandløbet i Rye Nørskov i en periode med høj vandføring.



FOTO: DMU / NIKOLAI FRIBERG

Områder med lav bufferkapacitet, som i de oven for nævnte nåleskovsvandløb, er især udsat for forsuring. Bufferkapaciteten er et udtryk for jordens kalkindhold (alkalinitet) og dermed dens evne til at modstå syrepåvirkning. En lav kapacitet indebærer derfor en høj risiko for forsuring (Box 6).

Sandjorde er typisk magre med lavt kalkindhold. Derfor vil især skovrejsning med nåletræer vest for isens hovedstilstandslinie kunne udgøre en risiko for forsuring af vandløb og søer i dette område (Figur 15).

**Figur 15.** Omkring 25% af jorden i Danmark er sandet og vil potentielt kunne blive forsuret. Kortet viser fordelingen af de dominerende jordtyper i Danmark.



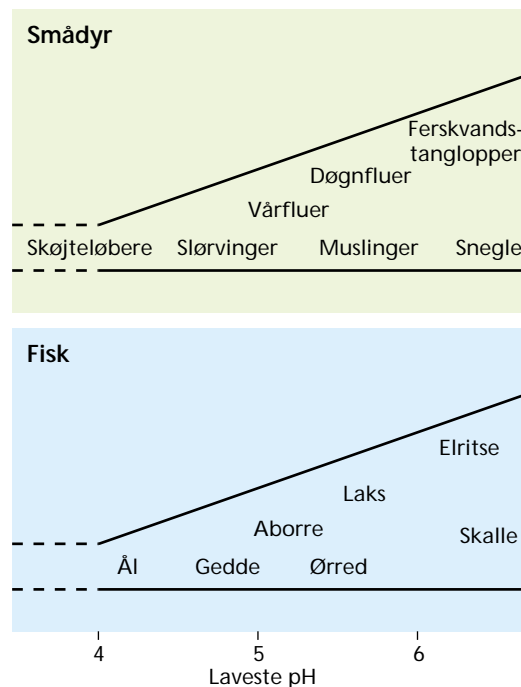
## Surte vand og dyrelivet

Smådyrssamfundet påvirkes af forurening. I de sure nåleskovsvandløb er faunaen helt domineret af slørvinger (Tabel 9). Sammenlignet med et neutralt løvskovsvandløb er både antallet af individer og arter lavere i vandløbene med lav pH (se også Tabel 3). Specielt tydeligt er fraværet af ferskvandstangloppen *Gammarus*. Årsagerne til det forarmede smådyrssamfund skal findes i en kombination af faktorer. Både lav pH, højt humusindhold og høje koncentrationer af opløst aluminium virker giftigt på en lang række vandløbsorganismer. Figur 16 viser tolerancen hos forskellige smådyr og fisk over for forurening.

Fisk påvirkes både direkte og indirekte af forurening. Den direkte effekt er knyttet til stoffernes giftighed, mens den indirekte effekt er knyttet til et reduceret fødeudbud. Færre byttedyr vil generelt påvirke de højere led i fødekæden. Et godt eksempel på en sådan indirekte effekt er det reducerede antal af vandstære fundet langs forurede vandløb.

Art	Antal pr. m <sup>2</sup>	%
Slørvinger		79
<i>Leuctra nigra</i>	1.275	
<i>Leuctra hippopus</i>	4	
<i>Nemurella picteti</i>	424	
<i>Nemoura flexouosa</i>	108	
<i>Amphinemura standfussi</i>	4	
Vårfluer		3
<i>Potamophylax sp.</i>	4	
<i>Plectrocnemia conspersa</i>	61	
Tovinger	255	11
Øvrige	167	7
I alt	2.301	

**Tabel 9.** Smådyrssamfundet fra et forsuret nåleskovsvandløb. Antallet er angivet pr. kvadratmeter vandløbsbund.



**Figur 16.** Tolerancen over for lav pH er meget afhængig af, hvilke organismer der er tale om. Figuren viser de nedre pH grænser for udbredelsen af udvalgte smådyr og fisk (omtegnet fra Monitor 12, 1991).

Tilplantning med nåleskov på jorde med lav bufferkapacitet kan altså i nogle tilfælde medføre en forurening og ændret vandløbskemi, som resulterer i en forarmet fauna og dermed lavere biologisk mangfoldighed.

## Andre effekter af skov

Selv om udvaskning af kvælstof er et fænomen, der primært forbindes med landbrugsarealer, kan det også forekomme fra skove. Skovøkosystemer kan blive kvælstofmættede på grund af den fra luften tilførte kvælstof, hvilket allerede kendes fra nogle danske skovområder i dag. Når økosystemet er mættet, resulterer det i, at den overskydende tilførte mængde kvælstof vil blive udvasket til overfladevand. Skovsøer, både sure og basiske, kan blive eutrofieret som



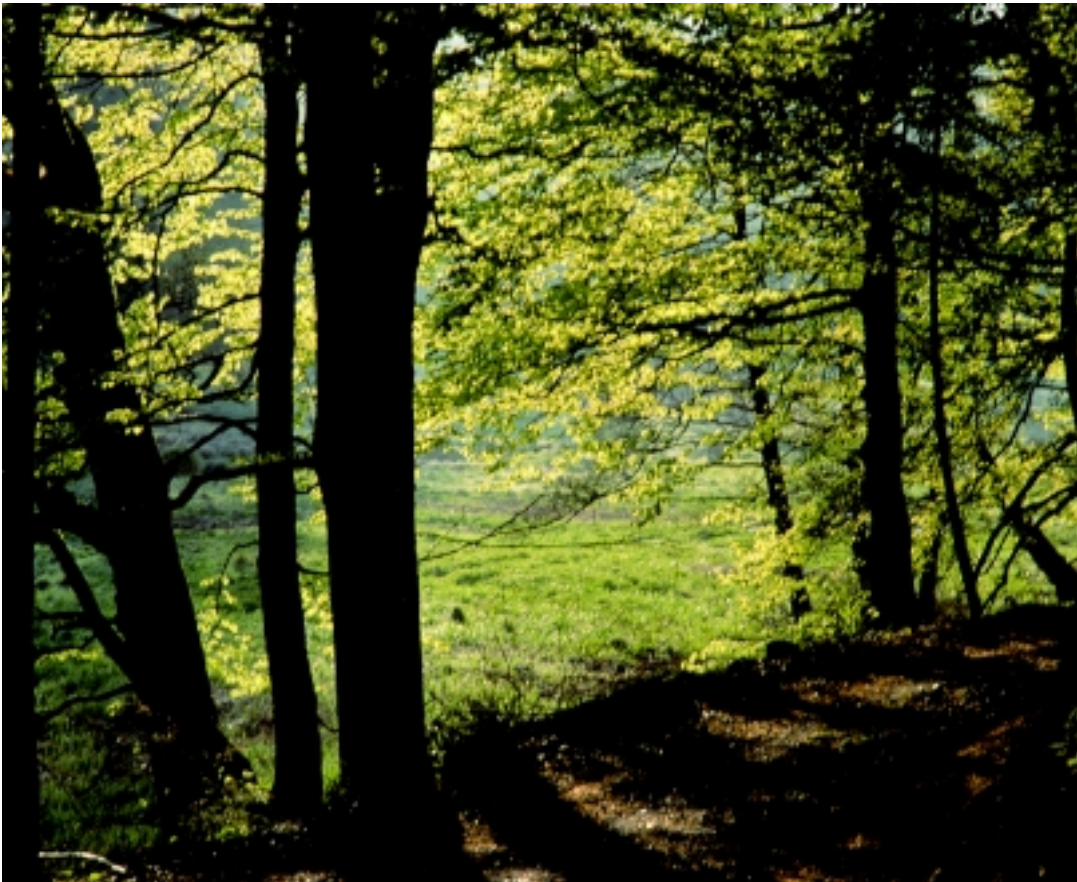


FOTO: DMU / NIKOLAJ FRIBERG

følge af udvaskningen af kvælstof. Væksten af planteplankton er nemlig ofte kvælstofbegrænset i sidste halvdel af sommerperioden (se også Box 1).

Fordampningen fra skov er større end fra marker. Derfor vil plantning af skov nedsætte størrelsen af overskudsnedbøren og dermed den mængde vand, der er tilgængelig for grundvand og vandløb.

Forskellen i tilgængeligt vand vil afhænge af træart og jordtype. Foreløbige undersøgelser tyder på, at løvskov bruger mindre vand end nåleskov. Rækkefølgen for de enkelte træarter er, at bøg bruger mindst, eg/ask lidt mere og rødgran mest vand (Hansen m.fl., 1996). Tunge og lerede jorde er mest følsomme, da grundvandsdannelsen

her er langsom. Det betyder, at eventuelle problemer især vil opstå i det østlige Danmark på grund af ringe tilstrømning af grundvand til vandløbene (se også Figur 15). Nedsatte vandmængder kan have en negativ indflydelse på de vandløbsbiologiske forhold især i de tilfælde, hvor vandløbene risikerer at tørre ud om sommeren, eller hvor man indvinder grundvand.

Skovrejsning vil i nogle tilfælde kunne øge sedimenttransporten i vandløb, især hvis der plantes stærkt skyggende træer tæt på vandløbet. Dette skyldes, at brinkerosionen øges, fordi der ikke er rødder fra græsser og urter til at stabilisere brinkerne. Transport af sand vil derfor i nogle tilfælde øges, hvilket kan føre til, at sten og grus dækkes til, hvorved ørredernes gydebanker ødelægges.

# Skovdrift og vandløb

Et væsentligt element i skovrejsningsstrategien er at øge produktionen af salgbart træ. Slutmålet med langt den største del af de nye skove er derfor, at træerne skal fældes, når de opnår en markedsværdi. Dette vil påvirke vandløbene på to måder: Dels gennem den forstlige drift af skovarealet under opvækstperioden og dels i forbindelse med fældningen af den modne skov.

## Grøfter eller vandløb?

I dag er langt den overvejende del af vore skove drænet ved hjælp af et omfattende net af dræningskanaler. Det skyldes, at mange skovtræer er følsomme over for fugtige forhold. Skovvandløb er derfor ofte blevet uddybet og kanaliseret (grøftet) for at undgå oversvømmelse, selvom omfanget ikke er så stort som i det åbne land.

Grøftningen af vandløb har ødelagt det oprindelige fysiske miljø. Grøft bundsubstrat som sten og grus er blevet fjernet, og i stedet er bundsubstratet blevet ensartet og finkornet, hvilket påvirker de økologiske forhold i vandløbene negativt (Box 7). Mange steder oprenses skovvandløbene desuden regelmæssigt for blade, kviste og grene, hvorved smådyrenes fødegrundlag fjernes.

Grøftning og regelmæssig oprensning af skovvandløb fastholder dem i en tilstand ude af balance. Samspillet mellem vandløb og bredzone, det vil sige, at vandløbet i perioder oversvømmer sine bredder, er desuden utrolig vigtig for den totale biologiske mangfoldighed, ikke alene i vandløbet, men i skoven som helhed. Oversvømmelser er nemlig med til at skabe en mosaik

af forskellige levesteder for dyr og planter, hvilket betyder, at mange arter kan sameksistere.

Tidligere blev der ydet tilskud til private skovejere til at grave grøfter og oprense eksisterende grøfter, men dette tilskud er nu afskaffet, netop for at få et bedre vandmiljø i skoven. Forhåbenlig vil dette tiltag begrænse den fysiske forringelse af skovvandløb i fremtiden.



FOTO: DMU / JENS SKRIVER

## Hvad sker der når skoven fældes?

Vandløb påvirkes alt efter, hvor stort et areal der fældes, og hvor tæt det sker på vandløbene.

Renafdrift, dvs. hvor alle træerne på et areal fældes og efterfølgende genplantning af et skovareal, har en tidsbegrænset men voldsom effekt på stofomsætningen og transporten af stoffer til vandløbene. Amerikanske undersøgelser har vist, at vandføring ved en renafdrift steg med 25%, og samtidig steg koncentrationen af næringsstoffer kraftigt. Bl.a. steg udvaskningen af kvælstof 50 gange. Disse udvaskninger klingede imidlertid af efter et par år (Hansen m.fl., 1996).

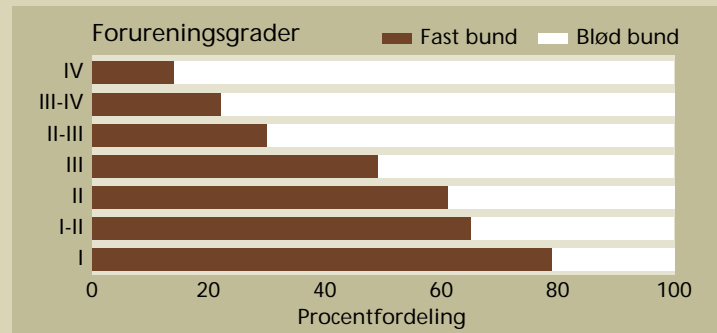
Samtidig øges mængden af lys kraftigt. Det resulterer i en opvarmning af vandløbene og en stigning i mængden af primærproducenter, ofte i form af trådalger. Hele økosystemet ændres, og først når skoven er vokset op igen, genetableres skovvandløbets naturlige struktur og funktion fra før renafdriften.

Selve renafdriften påvirker ligeledes vandløbene. Kørsel med tunge maskiner tæt på eller over vandløbene vil kraftigt påvirke de fysiske forhold. Erosion af brinker og sedimentation øges, hvorved sten og grus i vandløbene dækkes (Box 7).

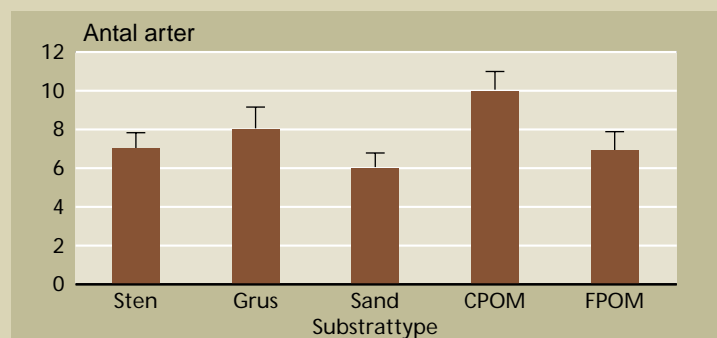
Renafdrift er den værst tænkelige påvirkning af vandløbene og har desuden negative konsekvenser for miljøet som helhed. I dag er man opmærksom på dette, og derfor benytter skovbruget sig i stigende omfang af mere skånsomme metoder, hvor blandingsbevoksninger og mere vedvarende skovdyrkningsystemer er i fokus. Med hensyn til vandløb begrænses påvirkningen væsentligt, såfremt de ånære arealer friholdes for rydninger. Træerne langs vandløbet virker som et filter for udsivning af næringsstoffer, samtidig med at vandløbene forbliver fysisk og biologisk intakte.

### Box 7. Substratforholdenes betydning for smådyrene

Et varieret bundsubstrat er meget væsentligt for smådyrssamfundet. Især sten og grus er vigtige, og såfremt disse substrater dækkes af sand eller mudder, forringes vandløbets tilstand.



Sammenhængen mellem bundsubstratets fasthed på en vandløbsstrækning og forureningsgraden, som er bestemt ud fra smådyrsamfundets sammensætning. Forureningsgraden går fra I, som er uforurennet, til IV, som er meget stærkt forurennet. Jo blødere og mere finkornet bundsubstrat des dårligere er tilstanden generelt (= et forarmet smådyrsamfund). Figuren er et eksempel på, at der forekommer overordnede sammenhænge mellem de fysiske forhold i vandløbet og den biologiske tilstand.

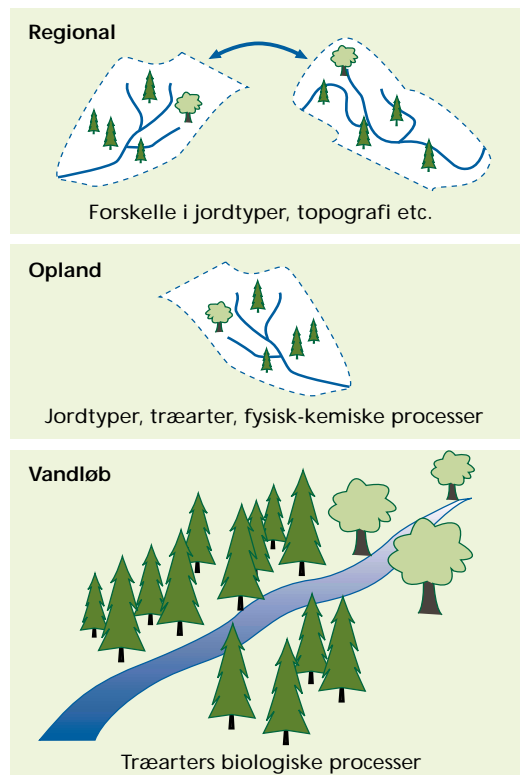


Det gennemsnitlige antal arter fundet på fem forskellige substrattyper: Sten, grus, sand, CPOM (groft organisk stof > 1 mm) og FPOM (fint organisk stof < 1 mm). Generelt stiger antallet af arter med antallet af substrattyper, fordi visse smådyrsarter kun er knyttet til én bestemt substrattype. Især sten og grus rummer en række arter, der ikke kan findes på de andre substrater. Såfremt nogle substrattyper fjernes fx ved opgravning, vil antallet af forskellige smådyr falde i vandløbet.

# Hvordan skal fremtidens skovvandløb se ud?

Som vi har set, kan rejsning af skov have en stor indflydelse på vandløbene. Træerne påvirker vandløbene på flere måder og niveauer (Figur 17). Det første niveau er samspillet mellem træerne på bredden og vandløbet. Her dominerer de biologiske samspilsprocesser. Træernes skygge og deres bidrag med blade påvirker de biologiske forhold i vandløbet. Det næste niveau er oplandet. Her er det jordtypen og træerne, som er vigtige. Påvirkningen af vandløbene

foregår primært via fysiske (fx mindre vand) og kemiske (fx lav pH) processer. Det tredje niveau er det regionale. Både jordtype, grundvandsmængde og topografiske forhold kan variere regionalt og dermed også påvirke effekterne af skovrejsning. Mekanismerne er de samme som for oplandet og vil komme til udtryk i de fysisk-kemiske forhold. Det er nødvendigt at have et detaljeret kendskab til effekterne på alle tre niveauer for at forudsige effekterne af skovrejsning.



**Figur 17.** Effekten af skovrejsning skal vurderes på tre niveauer: På regionsniveau, på oplandsniveau og på vandløbsstrækningsniveau.

Ud fra den viden vi har i dag, beskrives i det følgende hvorledes fremtidens skovvandløb skal se ud hvis man vil sikre en høj økologisk kvalitet. Ligeledes omtales hvilke tilplantninger, som bør undgås.

## Det gode skovvandløb

Vandløb vil under naturlige forhold lejlighedsvis oversvømme de ånære arealer. Vejen til det gode skovvandløb kunne være at tillade en naturlig trævegetation at etablere sig i den fugtige del af det ånære areal. Det favoriserer træarter, der kan tolerere de fugtige forhold, typisk ask og el, som har stor værdi for vandløbsøkosystemet. Lokale forskelle i jordbunds fugtighed i det ånære areal vil sikre et artsrigt træsamfund. Blandingen af forskellige løvtræer, som producerer blade med forskellige nedbrydningstider, er vigtig for at opretholde et varieret fødegrundlag i skovvandløbene. Derfor kan tilplantning med monokulturer langs vandløb, uanset træartsvalg, påvirke



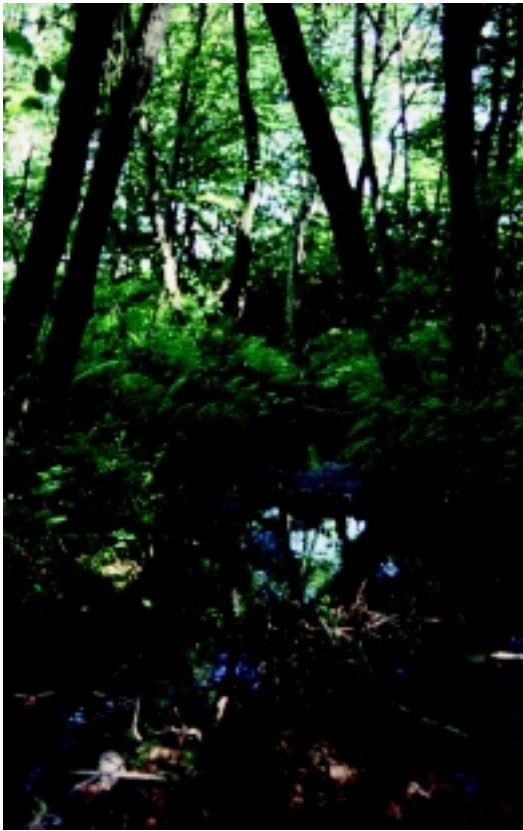


FOTO: DMU / NIKOLAI FRIBERG

afhængigt af omfanget, både forstyrre vandløbene og medføre en kraftig udvaskning af de næringsstoffer, som er opmagasineret i jorden. I stedet er en gradvis og skånsom erstatning af nåletræer med løvtræer at foretrække.

Det er vigtigt, at de ånære arealer i skovene forstyrres mindst muligt. Træerne skal have mulighed for at vælte om uden at blive fjernet og dermed sikre en naturlig variation såvel i vandløbet som i skovbunden. Stammer og grene i vandløbet øger tilbageholdelsen af blade, og er dermed meget væsentlige for økosystemets funktion. En zone langs vandløbet, der ikke eller kun i meget begrænset omfang er forstligt udnyttet, vil desuden mindske forstyrrelserne af vandløbene på grund af skovning og fjerne behovet for grøftning. En sådan zone vil virke positivt på hele skovens biologiske mangfoldighed, da adskillige planter og dyr er knyttet til de fugtige områder i skoven. Endelig vil vådområder og mere fugtige betingelser omkring vandløb kunne mindske udvaskningen af næringsstoffer.

fødegrundlaget i negativ retning. Tilplantning med skov, der skal udnyttes forstligt, skal derfor optimalt set foregå et stykke fra vandløbet. Den nødvendige afstand vil være afhængig af vandløbsstørrelse og ådalens udformning, da begge dele har indflydelse på omfanget af det fugtige, ånære areal.

Ensidig tilplantning med nåletræer langs vandløbene er specielt problematisk. Nåletræer kan, som beskrevet tidligere, påvirke vandløbsøkosystemet negativt. For vandløb, der i dag løber gennem nåleskov, kan det overvejes at ændre det ånære areal i retning af mere fugtige jordbundsforhold og plantning af løvtræer. Dog skal den forstyrrelse, som er forbundet med at fjerne eksisterende nåletræerne, opvejes mod gevinsten ved at få mere løvskov langs vandløbet. Det vil ofte ikke være hensigtsmæssigt at fjerne alle nåletræer på én gang. Skovningen vil,



FOTO: MILJØSTYRELSEN / BENT LAUGE MADSEN

### Oplandet til fremtidens skovvandløb

Tidligere har stort set alle danske vandløbsoplande været dækket af løvskov. I dag er denne tilstand i langt de fleste tilfælde urealistisk at genskabe, men mange små vandløbsoplande vil blive skovdækket inden for de næste 100 år som led i skovrejsningsstrategien. Før der rejses skov i disse oplande, må eventuelle negative konsekvenser på vandløb og vandmiljøet som helhed overvejes.

Tilplantning med nåleskov på sandjordsoplande med lav bufferkapacitet forarmer de biologiske forhold i både vandløb og søer. På grund af tilførsel af kalk har landbrugsarealer på sandjorde en relativ høj bufferkapacitet i dag, men det er beregnet, at denne kapacitet vil være opbrugt om ca. 80 år (Raulund-Rasmussen & Petersen, 1987). Derfor vil en forsuringseffekt af nåleskovstilplantning ikke vise sig med det samme, men først når jordens bufferkapacitet er opbrugt.

At skov, og især nåleskov, mindsker grundvandsdannelsen bør tages ind i overvejelserne ved tilplantning på lerjorde. Særligt i områder hvor der foregår eller er planlagt vandindvinding. Et væsentligt argument for skovrejsning er netop at sikre grundvandsressourcen, men oppumpning af grundvand i kombination med skovrejsning vil især på Sjælland kunne mindske den mængde vand, som er tilgængelig for vandløbene.

### Skovrejsning – positivt eller negativt?

Den generelle opfattelse har været, at skovrejsning udelukkende er positiv for vandmiljøet. Fokus har været rettet mod udvaskningen af næringsstoffer, mens det biologiske samspil mellem skov og vandløb er blevet overset.

Imidlertid har de senere års forskning, som bl.a. er præsenteret i denne rapport, demonstreret, at skov i sig selv ikke nødvendigvis er en garant for et godt vandmiljø. Vi har set, at samspillet mellem skov og vandløb er stærkt afhængigt af træart og driftsform. I den nye skovlov er der åbnet mulighed for at få mere vand i skovene i form af uregulerede vandløb, småsøer og vådområder. En rigtig udnyttelse af denne mulighed samt anvendelsen af vores viden med hensyn til, hvilke træer der skal plantes hvor, vil i fremtiden kunne sikre os velfungerende og artsrige skovvandløb såvel som andre miljøgevinster ved skovrejsning.

På baggrund af den nuværende viden kan det ikke anbefales, at nåleskov plantes helt ud til vandkanten, ligesom store tilplantninger på følsomme sandjorde ikke er tilrådelig, da de kan virke forsurende på de vandløb og søer, der modtager vand fra skovene. I stedet bør de vandløbsnære arealer påvirkes mindst muligt, og træarter, der er naturligt hjemmehørende langs vandløb, bør have mulighed for at gro tæt på vandløbet. For at sikre dette, er det vigtigt, at de fugtige forhold langs vandløbene genskabes. Det vil sige, at grøftning af vandløbene skal ophøre, således at de naturligt kan oversvømme deres bredder. Herigennem vil der opstå en biologisk og strukturel mangfoldighed både i det vandløbsnære areal og i vandløbet selv.

# Sammenfatning

Danmarks skovareal skal fordobles inden for den næste trægeneration (70-100 år). Det fremgår af en hensigsterklæring fra regeringen fra slutningen af 1980'erne. Skovrejsningen skal øge vores skovareal fra 11% til 20-25%.

Det er klart, at når man omdanner marker til skov, så vil der ske en omfattende ændring af landskabet, stofkredsløbet og dyre- og plantelivet. Skovrejsning forventes overordnet at have en række positive konsekvenser for vandmiljøet. Udvaskningen af kvælstof og fosfor vil erfaringsmæssigt formindskes, hvorved belastningen af søer og fjorde vil blive reduceret i forhold til i dag. Imidlertid havde man, da skovrejsningsstrategien blev introduceret, en mangelfuld viden om de økologiske konsekvenser for vandløbene, herunder betydningen af hvilke træarter, der tilplantes med. Derfor har DMU gennem en årrække set nærmere på disse konsekvenser med henblik på at opbygge det nødvendige videngrundlag, således at en hensigtsmæssig forvaltning af de ånære arealer i fremtidens skove sikres.

Undersøgelser har vist, at de økologiske forhold i vandløbene er meget tæt koblet til de træer, der gror omkring dem. Træerne i umiddelbar nærhed af vandløbene påvirker disse gennem skygning og nedfaldent løv, som i begge tilfælde er betinget af træarterne. En ensidig tilplantning med nåleskov giver arts- og individfattige vandløb på grund af stor skygning og nålenes ringe fødeværdi. Blandt løvskov, med dominans af oprindelige ånære træer såsom ask og el langs vandløbet, giver derimod mere

varierede og produktive biologiske forhold. Også vandkemisk påvirkes vandløbene forskelligt af nåle- og løvskov, afhængigt af jordbundens sammensætning. Nåleskov kan bevirke en forsurening af jorden, især hvis den plantes på sandjord. En undersøgelse i et hedeområde har vist, at i en skov med sitkagran var koncentrationerne af forsurende stoffer dobbelt så høje som fra den oprindelige hede. I et nåleskovsområde faldt pH over en kort vandløbsstrækning fra neutral ved udspringet til pH 3,7 (stærkt sur) samtidig med, at vandet havde højt indhold af organiske humussyrer og giftige aluminiumsforbindelser. Kun få vandløbsorganismer kan tåle disse forhold, og konsekvensen er et stærkt forarmet biologisk samfund baseret på få tolerante smådyrsarter.

På baggrund af den nuværende viden kan det ikke anbefales, at nåleskov plantes helt ud til vandkanten, ligesom store tilplantninger på følsomme sandjorde ikke er tilrådeligt, da de kan virke forsurende på de vandløb og søer, der modtager vand fra skovene. I stedet bør de vandløbsnære arealer påvirkes mindst muligt, og træarter, der er naturligt hjemmehørende langs vandløb, skal have mulighed for at gro tæt på vandløbet. For at sikre dette, er det vigtigt, at de fugtige forhold langs vandløbene genskabes. Det vil sige, at grøftning af vandløbene skal ophøre, således at de naturligt kan oversvømme deres bredder. Herigennem vil der opstå en biologisk og strukturel mangfoldighed både i det vandløbsnære areal og i vandløbet selv.

# Litteratur

Danmarks Statistik 1994: Skove og plantager 1990. Danmarks Statistik og Skov- & Naturstyrelsen, København.

Hansen, K., Raulund-Rasmussen, K. & Gundersen, P. (red.) 1996: Skovdriftens effekter på dyrkningsgrundlaget, grund- og overfladevand. Skovbrugsserien nr. 18-1996, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 79 p.

Harriman, R. & Morrison, B.R.S. 1982: Ecology of streams draining forested and non-forested catchments in an area of central Scotland subject to acid precipitation. *Hydrobiologia*, 88:251-263.

Koch, N.E. & Kristiansen, L. 1991: Flersidigt skovbrug – et idékatalog. *Skoven*, 23: 39 p.

Monitor 12 1991: Acidification and liming of Swedish waters. National Swedish Environment Protection Board, Stockholm.

Ormerod, S.J., Allinson, N., Hudson, D & Tyler, S.J. 1986: The distribution of breeding dippers (*Cinclus cinclus* (L.); Aves) in relation to stream acidity in upland Wales. *Freshwater Biology*, 16:501-507.

Raulund-Rasmussen, K. & Petersen, L. 1987: Arealanvendelse og jordbundsudvikling ved marginalisering af sandede jorder. Teknisk Rapport nr. 10 fra Skov-og Naturstyrelsen, København, 122 p.

Planstyrelsen 1990: Skovrejsning og områder, hvor skovtilplantning er uønsket – et vejledende materiale i regiontilplanlægning. Planstyrelsen, København, 21 p.

Windolf, J. (red.) 1996: Ferske vandområder – vandløb og kilder. Vandmiljøplanens

Overvågningsprogram 1995. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 177. 228 p.

## Supplerende litteratur

Einfeldt, M. & Fodgaard, S. 1997: Skovene og skovbruget i Danmark. *Skov-info*, 36 p.

Friberg, N. 1996: Biological structure of forest streams and effects of afforestation. PhD rapport, Danmarks Miljøundersøgelser, Silkeborg, 116 p.

Hansen, K., Raulund-Rasmussen, K. & Gundersen, P. (red.) 1996: Skovdriftens effekter på dyrkningsgrundlaget, grund- og overfladevand. Skovbrugsserien nr. 18-1996, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 79 p.

Hübertz, H & Kristiansen, L. 1995. Rligere skov i Danmark. G.E.C Gads Forlag og Miljø- og Energiministeriet, København, 121 p.

Miljøministeriet, Skov- & Naturstyrelsen 1994: Strategi for de danske naturskove og andre bevaringsværdige skovtyper. Miljøministeriet, Skov- & Naturstyrelsen, 48 p.

Rebsdorf, Aa., Friberg, N., Hoffmann, C.C. & Kronvang, B. 1994: Ånære arealers samspil med vandløb. Miljøprojekt nr. 275, Miljøstyrelsen, 140 p.

Sand-Jensen, K. & Lindegaard, C. 1996: Økologi i søer og vandløb. G.E.C Gads Forlag, København, 188 p.

Skov- og Naturstyrelsen 1994: Strategi for bæredygtig skovdrift. Betænkning nr. 1267. Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen, København, 217 p.



## Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser – DMU – er en forskningsinstitution i Miljø- og Energi- ministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.

Henvendelse kan rettes til:      *URL: <http://www.dmu.dk>*

Danmarks Miljøundersøgelser      *Direktion*  
Postboks 358                              *Personale- og Økonomisekretariat*  
Frederiksborgvej 399                  *Forsknings- og Udviklingssektion*  
4000 Roskilde                              *Afd. for Systemanalyse*  
Tel: 46 30 12 00                          *Afd. for Atmosfærisk Miljø*  
Fax: 46 30 11 14                          *Afd. for Miljøkemi*  
   *Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi*

Danmarks Miljøundersøgelser      *Afd. for Terrestrisk Økologi*  
Postboks 314                              *Afd. for Sø- og Fjordøkologi*  
Vejlsovej 25                              *Afd. for Vandløbsøkologi*  
8600 Silkeborg  
Tel: 89 20 14 00  
Fax: 89 20 14 14

Danmarks Miljøundersøgelser      *Afd. for Landskabsøkologi*  
Grenåvej 12, Kalø                      *Afd. for Kystzoneøkologi*  
8410 Rønde  
Tel: 89 20 17 00  
Fax: 89 20 15 14

Danmarks Miljøundersøgelser      *Afd. for Arktisk Miljø*  
Tagensvej 135, 4. sal  
2200 København N  
Tel: 35 82 14 15  
Fax: 35 82 14 20

### Publikationer:

DMU udgiver temarapporter, faglige rapporter, arbejdsrapporter, tekniske anvisninger, årsberetninger samt et kvartalsvis nyhedsbrev, DMU Nyt. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web.

I årsberetningen findes en oversigt over årets publikationer. Årsberetning og DMU Nyt fås gratis ved henvendelse på telefon 46 30 12 00.

## Tidligere TEMA-rapporter fra DMU

- Nr. 1/1994: Kvælstoftilførsel til Limfjorden  
Brian Kronvang m.fl., 16 sider, Kr. 50,-.
- Nr. 2/1994: Luftforurening i danske byer  
Kåre Kemp og Finn Palmgren, 42 sider, Kr. 100,-.
- Nr. 3/1995: Ozon som luftforurening  
Jes Fenger, 48 sider, Kr. 80,-.
- Nr. 4/1996: Tungmetaller i danske jorder  
John Jensen m.fl., 40 sider, Kr. 100,-.
- Nr. 5/1996: Forureningsbekæmpelse med mikroorganismer  
Ulrich Karlson m.fl., 32 sider, Kr. 30,-.
- Nr. 6/1996: Status og jagttider for danske vildarter  
Jesper Madsen m.fl., 112 sider, Kr. 110,-.
- Nr. 7/1996: Naturens tålegrænser for luftforurening  
Morten Strandbjerg og Lisbeth Mortensen, 40 sider, Kr. 60,-.
- Nr. 8/1996: Anskydning af vildt  
Henning Noer m.fl., 52 sider, Kr. 80,-.
- Nr. 9/1996: Kvælstofbelastning af havmiljøet  
Henrik Paaby og Flemming Møhlenberg, 40 sider, Kr. 60,-.
- Nr. 10/1996: Havets usynlige liv  
Åke Hagström m.fl., 33 sider, Kr. 50,-.
- Nr. 11/1997: En atmosfære med voksende problemer..., luftforureningens historie  
Jes Fenger, 64 sider, Kr. 90,-.
- Nr. 12/1997: Reservatnetværk for vandfugle  
Preben Clausen m.fl., 52 sider, Kr. 80,-.
- Nr. 13/1997: Næringsstoffer – arealanvendelse og naturgenopretning  
Brian Kronvang m.fl., 40 sider, Kr. 60,-.
- Nr. 14/1997: Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler i planteproduktion – muligheder og risici  
Niels Bohse Hendriksen m.fl., 28 sider, Kr. 40,-.
- Nr. 15/1997: Kemikalier i hverdagen  
Suresh C. Rastogi m.fl., 40 sider, Kr. 60,-.
- Nr. 16/1997: Luftkvalitet i danske byer  
Finn Palmgren m.fl., 64 sider, Kr. 90,-.
- Nr. 17/1998: Olieeftersforskning og miljø i Vestgrønland  
David Boertmann m.fl., 56 sider, Kr. 80,-.
- Nr. 18/1998: Bilisme og miljø – en svær balance  
Mette Jensen m.fl., 48 sider, Kr. 60,-.
- Nr. 19/1998: Kemiske stoffer i landbruget  
John Jensen m.fl., 32 sider, Kr. 40,-.
- Nr. 20/1998: Naturen og landbruget  
Rasmus Ejrnæs m.fl., 76 sider, Kr. 100,-.

De enkelte hæfter i serien "TEMA-rapport fra DMU" beskriver resultaterne af DMU's forskning inden for et afgrænset område. Rapporterne er skrevet på letforståeligt dansk og henvender sig til alle, der er interesseret i miljø og natur. Serien er udformet så den kan bruges i undervisningen i folkeskolens ældste klasser og i gymnasiet.

Rapporten belyser samspillet mellem skov og vandløb:

- Hvordan har skoven langs vore vandløb udviklet sig?
- Hvad betyder forskellige træarter for de biologiske processer i vandløbet?
- Kan skov have negative konsekvenser for vandløbene?
- Hvordan skal fremtidens skovvandløb se ud?

Øget forståelse af samspillet mellem skov og vandløb er væsentlig, da Danmarks skovareal skal fordobles inden for den næste trægeneration (70-100 år). Rapporten redegør for, hvorledes en sådan skovrejsning kan foregå under størst mulig hensyntagen til vandløbsmiljøet.

