

Undersøgelse af fiskevelfærd, -kvalitet og miljøbelastning i ørred- og åleopdræt

Ferskvandscentret
Silkeborg
December 2004

Forord

I økologisk fiskeopdræt er det åbenlyst, at der skal tages et særlig hensyn til fiskenes velfærd, og at sikre, at de parametre og kriterier der indgår i kontrol- og tilsynsproceduren af det økologiske mærke harmonerer med den viden, der findes på området. Det er dog vigtigt, at hensynet til fiskevelfærd ikke går ud over hverken fiskekvalitet eller det omgivende miljø.

I landbrugets husdyrproduktion er der lavet en del undersøgelser og publiceret litteratur om dyrevelfærd, mens diskussionen om velfærd indenfor fiskeopdræt er forholdsvis ny. Her har det tidligere været almindeligt udelukkende at betragte foder og vækstoptimering, sygelighed og dødelighed som velfærdsparametre. I løbet af 90'erne er interessen for fiskens trivsel under opdrætsforhold dog vokset, så det i dag også er almindeligt at inddrage andre velfærdsparametre i diskussionen.

Nærværende projekt er opbygget i to faser:

Fase 1 er et litteraturstudium, som skal afdække den aktuelle viden om fiskevelfærd, og inddrage betydningen af fiskevelfærd for fiske-/kødkvalitet og miljøpåvirkning. Målet med litteraturstudiet er at præcisere faktorer eller parametre, der kan have indflydelse på fiskevelfærd, samt kriterier (grænseværdier for vandkvalitet m.v.), som er fastsat i litteraturen for de enkelte parametre. Et andet delmål er at foreslå metoder til måling af fiskevelfærd, som vil være praktisk anvendelig i en kontrol- og tilsynsprocedure af et økologiske mærke. Desuden sammenholdes hensyn omkring fiskevelfærd, som er opstillet i flere europæiske landes økologiske mærkningsordninger med den aktuelle viden. Udgangspunktet i fase 1 er litteratur omhandlende regnbueørred (*Oncorhynchus mykiss*) og andre laksefisk samt europæisk ål (*Anguilla anguilla*) i dam-, hav- og ålebrug.

Målet med projektets Fase 2 er gennem praktiske forsøg, at udvide kendskabet til vigtige parametre som beskrives i fase 1. Herunder oparbejde dokumentation, som skal bidrage til viden om nøgleparametres indflydelse på fiskevelfærd. Endvidere vurdere hvorvidt udvalgte metoder til fastlæggelse af parametre og kriterier er anvendelige til at identificere og kvantificere fiskevelfærd. Desuden er målet at belyse en eventuel sammenhæng mellem velfærd og fiskens ydre kvalitet samt indvirkning på miljøet.

Projektet er 100% støttet af Direktoratet for FødevarerErhverv.

Projektdeltagere

Fase 1 og 2

Biolog Flemming Larsen
Ferskvandscentret
Vejlshøjvej 51
8600 Silkeborg
fl@ferskvandscentret.dk

Fase 1 og 2

Biolog, ph.d. Richard Skøtt Rasmussen
Projektansat af Ferskvandscentret
gitric@get2net.dk

Fase 2

David Owen
Danish Aquaculture A/S
Lergårdsvej 2
6040 Egtved

Civilingeniør Stig Jensen
UNI-Aqua ApS
Teknikervej 14
7000 Fredericia
Tlf. 7551 3211

Indhold

	Side
1. Introduktion	6
1.1 Definition og generelle kriterier	
1.2 Frygt og smerte	
1.3 Miljøpåvirkning	
2. Måling af fiskevelfærd	9
3. Art, stamme og livsstadier	15
3.1 Kønsmodning og reproduktion	
3.2 Fersk- og saltvand overførsel	
3.3 Domesticering	
4. Produktionsrelateret stress	20
4.1 Håndtering og transport	
4.2 Lys - mørke cyklus	
4.3 Lyd	
5. Adfærd og sociale relationer	29
5.1 Dominanshierarkier	
5.2 Effekter af aggressiv adfærd	
5.3 Minimering af sociale hierarkier	
6. Fodring og miljø	36
6.1 Regnbueørred	
6.2 Ål	
7. Tæthed	41
7.1 Regnbueørred	
7.2 Sammenligning mellem stammer og andre arter	
7.3 Effekter af bestandstæthed	

	Side	
8.	Vandmiljøkvalitet	50
8.1	Ilt (O ₂)	
8.2	Temperatur	
8.3	pH	
8.4	Kuldioxid (CO ₂)	
8.5	Alkalinitet	
8.6	Hårdhed	
8.7	Ammoniak (NH ₃ /NH ₄ ⁺)	
8.8	Nitrit (NO ₂ ⁻)	
8.9	Nitrat (NO ₃ ⁻)	
8.10	Suspenderet stof (SS)	
8.11	Svovlbrinte (H ₂ S)	
8.12	Tungmetaller	
9.	Sygdomme	76
9.1	Stressrelaterede sygdomme	
9.2	Produktionsrelaterede sygdomme	
10.	Slagtning af fisk	79
10.1	Regnbueørred	
10.2	Ål	
11.	Kvalitet af opdrætsfisk	82
11.1	Introduktion	
11.2	Indvirkning af stress på fiskekvalitet	
11.3	Duft, smags- og visuel kvalitet	
11.4	Ydre kvalitet	
11.5	Kemisk sammensætning af fisken	
11.6	Teknologisk kvalitet	
12.	Fiskevelfærd - internationalt set	89
12.1	Økologiske mærkningsmodeller	
13.	Opsamling / Diskussion og fiskevelfærd i økologiske modeller	92
13.1	Arter og domesticering	
13.2	Opdrætsrelaterede emner om fiskevelfærd	
13.3	Håndtering og opdrætsprocedurer	
13.4	Adfærd og sociale relationer	
13.5	Vandmiljøkvalitet	
13.6	Sygdomme og fiskesundhed	
13.7	Slagtning	

	Side
14. Kontrol af fiskevelfærd	111
14.1 Driftsjournalen	
14.2 Vandmiljøparametre	
14.3 Kontrol af sundhed	
14.4 Vurdering af andre velfærdsmetoder	
15. Konklusion og fremtid	118
15.1 Fiskevelfærd	
15.2 Kvalitet af opdrætsfisk	
15.3 Manglende viden	
Referencer	121
Bilag. Projektets fase 2 - Praktiske forsøg	136

1. Introduktion

Et typisk mål i fiskeopdræt er at producere sunde, hurtigvoksende fisk af nogenlunde ens størrelse, med lavt stressniveau og intakte finner. Opretholdelse af god fiskesundhed og overlevelse kræver god vandkvalitet, plads og skånsom håndtering m.v. Den erfarne opdrætter ser hurtigt om fisken opfører sig anderledes end normalt, om appetitten er reduceret, eller svømmebevægelserne er unormale. Opdrætteren har med andre ord en opfattelse af fiskens normaladfærd, eller måske rettere trivselsadfærd, og kan ændre på opdrætsforholdene når fisken ter sig unormalt eller tilkalder en veterinær, hvis der er mistanke om sygdom. Opdrætstraditioner baseret på erfaringer, almindelig sund fornuft og ikke-videnskabelige undersøgelser har gennem årene vist sig at være effektive (Pennel og McLean 1996).

Ved indførelse af et økologisk mærke er det ikke tilstrækkeligt at basere opdræt på erfaringer. Med forbrugernes stigende bevidsthed om produktkvalitet, produktionsmetoder og forarbejdningsteknikker er det specielt i økologisk sammenhæng vigtigt, at kunne dokumentere at fiskene trives i fangenskab og at miljøpåvirkningen er minimal. Mere viden om hvad der er god trivsel, er derfor vigtig, både som styringsredskab for opdrætteren og som dokumentation i en offentlig debat (Holm 1999). På nuværende tidspunkt er man dog ikke nået særlig langt i kortlægningen af fisks behov i fangenskab (Damsgard 1997), men en voksende litteraturmængde er i færd med at ændre dette (Pennel og McLean 1996).

1.1 Definition og generelle kriterier

Ordet velfærd er en direkte oversættelse af engelsk "welfare", og beskriver hvor godt et dyr "færdes" gennem livet. I grove træk kan velfærd defineres som "hvor godt dyr er i stand til at regulere sine biologiske funktioner i forhold til omgivelserne". At regulere betyder i denne sammenhæng ganske enkelt, hvor godt dyret mestrer tilværelsen i fangenskab (Damsgard 1997). Tidligere var det almindeligt udelukkende, at betragte vækst og foderomsætning samt sygelighed og dødelighed som velfærdsparametre hos fisk. I dag er det almindeligt også at inddrage tilstande som stress, frygt og smerte i omtale af velfærd. Da det vil være en stor fordel at kunne kvantificere disse parametre, forsøges dette ved videnskabelig inddragelse af fysiologi (blodparametre m.v.), biokemi (stofskifte m.v.), immunologi (immunforsvar), morfologi (ydre udseende) og adfærd.

I arbejdet med at definere fiskevelfærd er et sæt generelle velfærdskriterier, ”De Fem Friheder”, som oprindeligt er anvendt hos landbaserede dyr, nu også blevet et accepteret skelet for at sikre god velfærd hos fisk (Ellis *et al.* 2002):

- 1) Fri for sult og tørst - med let adgang til frisk vand og et foder der opretholder god sundhedstilstand og rigelig energi
- 2) Fri for gener - ved at tilbyde passende omgivende forhold
- 3) Fri for smerte, skade eller sygdom - ved forebyggelse eller hurtig diagnosticering og behandling
- 4) Fri til at udtrykke normal adfærd - ved at skabe tilstrækkelig plads, gode faciliteter og selskab med artsfæller
- 5) Fri for frygt og stress - ved at sikre opdrætsforhold og håndtering som ikke forårsager mentale lidelser

Fisk er akvatiske og vekselvarme dyr, som lever under fysiske og kemiske forhold, der på mange måder er forskellig fra det som dyr på landjorden oplever. F.eks. skal den akvatiske "atmosfære", dvs. vandet, levere både føde og ilt samt opløse giftige affaldsprodukter fra stofskiftet. Desuden er især ferskvandsfisk ofte udsat for varierende iltforhold og andre kemiske parametre, der ligger ud over det landlevende dyr oplever (Wedemeyer 1996a). Således er udgangspunktet for at definere parametre og tilhørende kriterier anderledes for fisk end for landdyr.

1.2 Frygt og smerte

Det er accepteret, at fisk kan opleve stress, men hvorvidt de er i stand til at føle smerte og lidelser er fortsat uafklaret (Ellis *et al.* 2002). Det er imidlertid et vigtigt emne i debatten om fiskevelfærd.

Rose (2002) har lavet en detaljeret litteraturanalyse af emnet. Han konkluderer, at det ikke er sandsynligt, at fisk kan opleve frygt og smerte, og kritiserer tidligere påstande om det modsatte. Årsagen er, at fisk mangler de nervemæssige betingelser, der er nødvendige for smerteoplevelse. Opfattelse af smerte afhænger af specifikke funktioner i hjernebarken. Fisk mangler disse essentielle områder i hjernen eller noget funktionelt tilsvarende. Hvis nogen som helst form for smerteopfattelse er mulig i hjerne hos fisk, må dens karakter nødvendigvis være så anderledes, at den ikke kan sammenlignes med menneskelignende oplevelser af smerte og lidelse.

Forfatteren konkluderer yderligere, at fisk mangler en egentlig bevidsthed, som er placeret i de samme hjerneområder som smerteoplevelse. Bevidsthed er en forudsætning for oplevelse af smerte, og de følelsesmæssige aspekter for lidelse, som det er tilfældet hos mennesket. Uden bevidsthed er der ingen opfattelse af smerte, hvorfor bedøvelse hindrer smerte ved operation af pattedyr.

Selv om det ikke vurderes, at fisk kan opleve frygt eller smerte aktiveres nervesystemer, der giver et effektivt ubevidst flugt- og undvigerespons. Denne egenskab er en del af den basale adfærd, der også er involveret i reproduktion, fødesøgning, drikkefunktion, flugt og forsvar. Den kontrolleres af mekanismer i bevægeapparatet, der hovedsagelig er lokaliseret i hjernestammen og rygmarven hos hvirveldyr, altså fysisk adskilt fra smerteoplevelse i hjernen. Rose mener dog, at trods manglende smerteoplevelse er stress, som følge af skadelig påvirkning, alligevel et vigtigt emne i betragtninger omkring fiskevelværd.

Andre har imidlertid afvist Rose's iagttagelser. En gruppe britiske forskere har således i forsøg med regnbueørred i første omgang bevist eksistensen af nervecentre (såkaldte nociceptorer), som reagerer ved påvirkning af fisken. Forskerne bag undersøgelsen definerer smerte som en påvirkning, som får fisk til at ændre adfærd på en måde, som ikke blot kan tolkes som en ren refleks og mener at have ført bevis for dette i deres forsøg. Andre forskere er imidlertid meget stærkt uenige i denne konklusion. Således tager Rose skarpt afstand fra de væsentligste konklusioner i den britiske undersøgelse ved at påstå at definitionen af smerte er fejlagtig. Den britiske undersøgelse viser ifølge Rose kun, at en fisks reaktion på en påvirkning, kan foregå over længere tid, men indebærer imidlertid ikke noget bevis for, at fisk kan føle smerte (Hansen 2003).

1.3 Miljøpåvirkning

Fisk som udsættes for kronisk stress har dels forøget risiko for at blive syge (Pottinger 2001), dels kan stress influere negativt på fødeindtagelse, vækst og foderudnyttelse hos fisk. Dette skyldes bl.a., at stresshormonet kortisol øger energiomkostningerne i fiskens stofomsætning (Carter *et al.* 2001), hvorved der bliver mindre energi til vækst. Flere sygdomsudbrud øger medicinering og anvendelse af hjælpestof i fiskeopdræt, og dermed øges risikoen for udledning af rester af disse stoffer til det omgivende vandmiljø.

Nedsat appetit hos fiskene, som følge af stress eller sygdom, kan betyde at foder forbliver uspiset hvorved udledningen af forurenende stoffer til vandmiljøet muligvis øges. Men også den reducerede foderudnyttelse, kan øge stofudledningen fra fiskeopdrættet.

Et eksempel på stress hos fisk forårsaget af forurenende vand er undersøgt på pighvar (Rasmussen og Korsgaard 1996). Her førte højt ammoniak/ammoniumindhold i opdrætsvandet til nedsat appetit samt dårlig vækst og foderudnyttelse. Et forhøjet vandindhold af disse stoffer, som fremkommer ved fiskenes nedbrydning af proteiner i foderet, kan opstå når vandrensningen er utilstrækkelig.

2. Måling af fiskevelfærd

I den videnskabelige litteratur anvendes mange metoder og parametre til vurdering af stress og fiskevelfærd, heriblandt ændringer i:

- Adfærd
- Sygdom og dødelighed
- Ernærings- og sundhedstilstand (konditionsfaktor, finnetilstand m.v.)
- Vækst, appetit og foderudnyttelse
- Reproduktionssucces (æg, sæd, befrugtning)
- Fysiologiske stressparametre (iltoptagelse, gællevæntilation, stresshormoner, mælkesyrer, glukose, salt-vandbalance m.v.)
- Immunforsvar
- Molekylære biomarkører

Desuden er der i forbindelse med aflivningsmetoder anvendt målinger af hjerneaktivitet i kombination med adfærdsobservationer (bl.a. videooptagelser) i vurderingen af velfærdsaspekter under slagteprocesser (Oehlenslager *et al.* 1998).

Adfærdsmålinger er i relation til fiskeopdræt, især foretaget i forbindelse med fodringsforsøg og undersøgelser under forskellige opdrætsforhold, f.eks. fisketæthed. Adfærd som følge af stresspåvirkning inkluderer undvigelse og at søge skjul, nedsat fødeaktivitet og dårligere indlæringssevne m.v. Denne adfærd er næsten øjeblikkelig og har det hovedformål at øge overlevelseschancen og reducere omkostninger til stofskiftet. Fisk vender tilbage til normaladfærd få minutter til dage eller uger efter ophør af stresspåvirkning. Den sociale kontakt mellem fiskene giver desuden ofte anledning til etablering af dominanshierarkier, som forårsager aggression og bid, der normalt forbindes med negativ effekt af fisks trivsel (Schreck *et al.* 1997).

Ud over traditionelle visuelle observationsstudier af fisk er en række tekniske metoder udviklet til vurdering af adfærdsmønstre under opdrætsforhold, f.eks.

- Undervandsvideoteknologi og akustisk telemetri (sonarsystemer) der kan bruges til overvågning af adfærdsmønstre og den rummelige fordeling i et opdrætsbassin under forskellige opdrætsbetingelser (ICES 1999; Novotny og Pennell 1996; Brenton-Davie og Groot 1997).
- Fysiologisk telemetri til hjerteslagsmåling (elektromyogram) kan under opdrætsforhold på afstand kontinuerligt måle niveauet af fiskens svømmeaktivitet (Cooke *et al.* 2000). Fysiologisk telemetri kan med fordel suppleres med undervandsvideoteknologi (Novotny og Pennell 1996; Chandroo *et al.* 1999).

Sygdom og dødelighed bliver registreret i al seriøs videnskabelig arbejde med dyr, og indgår i vurderingen af forsøgets resultater. Disse er uomtvistlige beviser for dårlig trivsel blandt de ramte individer og bliver ofte anvendt i forbindelse med vurdering af fiskevelfærd for hele gruppen. Ved dødelighed skelnes mellem akut dødelighed som følge af salttab (<24 timer) og en forsinket dødelighed som følge af svækkelse af immunforsvar med efterfølgende udvikling af sygdomsfremkaldende infektioner (>24 timer). Specielt er det med fastsættelse af grænseværdier for vandkvalitet (iltniveau, ammoniak m.v.), hvor f.eks. giftigheden af ammoniak, nitrit, tungmetaller m.v. ofte fastsættes i forhold til dødelige niveauer ved akut påvirkning (LC₅₀ eller LD₅₀).

Fisks ernæringstilstand afsløres bl.a. af fiskens vægt i forhold til længden målt som konditionsfaktor ($g \cdot 10^7 / mm^3$), men er også vurderet ud fra den relative størrelse af forskellige organer (f.eks. lever og tarm).

Sundhedstilstanden vurderes bl.a. ud fra parametre som finnetilstand og bidsår opstået som følge af aggressiv adfærd og dårlig trivsel. Udvalgte parametre anvendes ofte til at give et billede af fiskens ernærings-sundhedstilstand. I enkelte tilfælde er man gået et skridt videre med udvikling af et såkaldt ernærings-sundhedsindeks (f.eks. HCP = Health and Condition Profile), hvor en samlet score angiver fiskens tilstand. Dele af HCP er desuden anvendt i en række andre undersøgelser (Ellis *et al.* 2002; Morgan og Iwama 1997).

De adfærdsmæssige sammenstød kan være en betydelig kilde til stress og sundhedsproblemer. Nogle aggressive adfærdsmønstre som at bide, angribe, jage og kampe, kan påføre alvorlige skader hos især underordnede fisk, f.eks. finnebid, tab af skæl, fysiske og mikrobiologisk ubalance i tarmen, reduceret vækst samt øget modtagelighed for infektiøse sygdomme ved kronisk stresstilstand (Wedemeyer 1997).

Finne- og hudskader kan have flere årsager, men de mest sandsynlige er aggressive sammenstød, fodringsaktivitet og/eller slid mod bassinoverflader (North 2003; Lellis og Barrows 1997), høj tæthed og forringet vandkvalitet (Bosakowski og Wagner 1994), samt dårlige håndteringsprocedurer (FAWC 1996). Finner udsat for bid bliver misfarvede og er mål for yderligere læsioner med risiko for tab af hele finner. Ved lav vandtemperatur kan finneerosion resultere i delvist eller fuldstændigt tab af ryg-, bryst-, og bugfinner, mens finneskader kan heles og gendannes (regenerere) i varmere vand (Wedemeyer 1997). Hos intensiv opdrættede regnbueørreder kan finneerosion observeres på alle finner med stråleben, dvs. alle undtagen fedtfinnen. Bosakowski og Wagner (1994) vurderede, at rygfinnen udsættes for størst skade, og herefter i faldende grad, bryst-, hale-, gat- og bugfinner (Ellis *et al.* 2002). Hos regnbueørred er især rygfinnen mål for nap eller bid, og omfanget af rygfinneskader anses for at være en indikator for styrken af den hierarkiske orden indenfor en gruppe fisk (Moutou *et al.*

1998). Flg. rygfinneindeks (Dorsal Fin Index) er anvendt under forsøg (Lellis og Barrows 1997):

$$DFI = \frac{\text{Rygfinnehøjde(midt) (mm)}}{\text{Fiskens totallængde (mm)}} \times 100\%$$

Kompensation for stressende udfordringer øger i mange tilfælde fiskens overlevelse, men har ofte energimæssige omkostninger i form af reduceret **vækst, appetit og foderudnyttelse** samt **reproduktionssucces** (Wedemeyer 1996a). Foderudnyttelsen angives ofte som foderkvotient, FK = Spist foder (kg) / Fisketilvækst (kg).

Vækstreduktion er bl.a. fundet ved pludselige temperaturændringer, efter håndtering, under høj tæthed og dårlig vandkvalitet (Wendelaar Bonga 1997). De præcise mekanismer for reduceret vækst under stress forbliver endnu uklar (Sumpter 1997), men de energimæssige omkostninger, der er forbundet med stress, nævnes blandt de logiske årsager. Yderligere menes stresshormonet kortisol (Barton 1997) og nedbrydning af væv i mavetarmsystemet (Peters 1982) som følge af stress, at påvirke væksten og foderomsætningen i negativ retning.

En lang række **fysiologiske stressparametre** anvendes i den videnskabelige verden til at vurdere individuelle fisks øjeblikkelige stresssituation. Akut stress, som håndtering ved sortering, øger f.eks. øjeblikkeligt fisks iltkrav med risiko for ophobning af mælkesyre i musklerne.

Stressresponsen er en naturlig udviklet mekanisme, der hjælper ethvert dyr til at klare sig i dets fjendtlige omgivelser (Pickering 1992). Responsen består af en lang række adfærdsmæssige, fysiologiske og biokemiske ændringer. Flugt er typisk den første adfærdsmæssige reaktion, der forøger chancen for overlevelse. Formålet med de fysiologiske/ biokemiske (metaboliske) ændringer er bl.a. mobilisering af mere energi til kompensation for stresspåvirkningen, så fisken kan komme sig (restituere). Det samlede stressrespons øger fiskens chance for overlevelse i stressende situationer, men reducerer generelt dens opdrætssucces (f.eks. vækst).

En anden måde at skitsere stressresponsen på er at opdele den i tre faser efter fiskens tilstand (Wedemeyer 1996a):

1. Alarmfase. Hurtig mobilisering af kroppens forsvarsmekanismer via det centrale nervesystem, herunder frigørelse af stresshormongruppen af katecholaminer (f.eks. adrenalin) og kortisol til blodbanen. Stigning i adrenalinniveauet sker praktisk talt øjeblikkelig og kan måles efter få sekunder og nå et maksimalt niveau indenfor ét til to minutter. Kortisolniveauet stiger langsommere, bliver signifikant forhøjet i løbet af ét til to minutter, men kan fortsætte med at stige i op til 4 timer inden det maksimale niveau nås.

2. Modstandsfase. Fysiologiske responssystemer, som ændringer i blodkemi og hjertekarsystem, kompenserer og tilpasser fisken til den nye situation. Energiomkostninger til sådanne tilpasninger kan reducere fiskens tilvækst.
3. Udmattelsesfase. Afhængig af varighed eller sværhedsgrad af den stressende situation kan fiskens tolerancegrænse for akklimering overskrides, så kompensation ikke længere er mulig. Det kan betyde nedsat overlevelseschance og forringet immunforsvar med forhøjet risiko for sygdomsudbrud (se fig. 1).

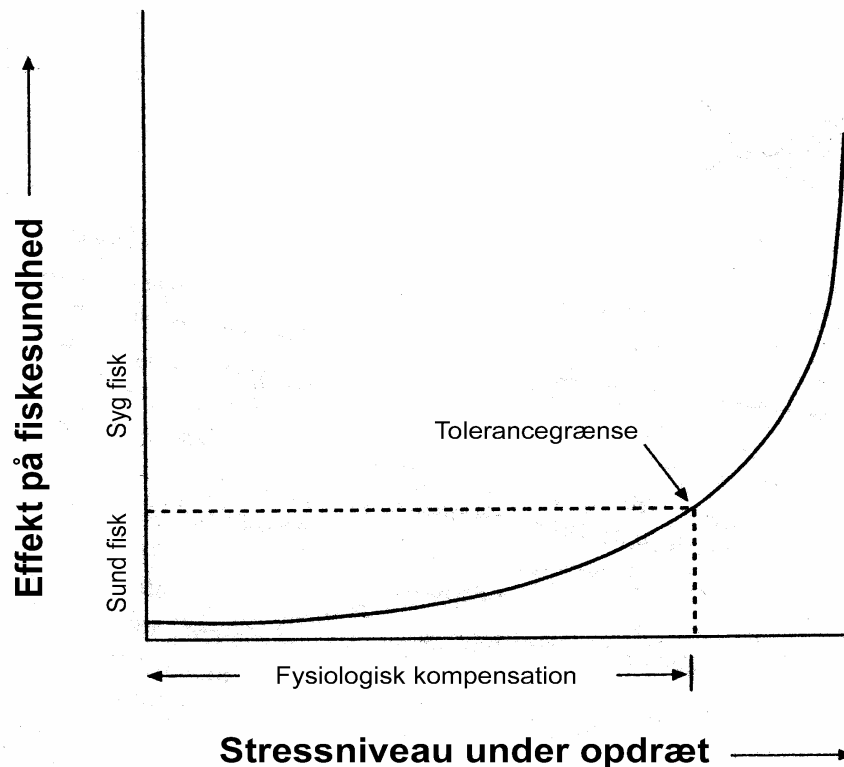


Fig. 1: Effekten af omgivende stress på fiskens sundhed og fysiologisk tilstand under intensiv opdræt. Som illustreret stiger de negative effekter på fiskens sundhed hurtigt som følge af stress, når grænsen for fiskens tolerancegrænse nås eller overskrides (Wedemeyer 1996a, omtegnet fra Depledge 1989).

De fysiologiske ændringer der forekommer, når fisk kompenserer for stressende situationer ligner på mange måder ændringerne hos højere pattedyr. Lige så vigtigt er det at bemærke, at stressresponsmønstret synes at være det samme, uanset om stresspåvirkningen er forårsaget af opdrætsprocedurer (indfangning i net, transport, sygdomsbehandling), ændringer i vandkvalitet (pH, temperatur), eller adfærdsfaktorer (flugt, dominanshierakier) (Wedemeyer 1996a).

Stort set alle omgivende stressfaktorer, der er undersøgt, har vist sig at influere på størrelsen af fiskens stressrespons. Fisk reagerer mod stress på en måde som reflekterer både styrke og varighed af stressfaktoren. Med andre ord, mild forbigående stress

medfører et kortvarigt stressrespons, ligesom flere stresspåvirkninger oven i hinanden kan resultere i et større stressrespons end den enkelte stressfaktor (Barton 1997).

For nogle centrale fysiologiske ændringer er de maksimale niveauer i forhold til hvileniveauer hos fisk generelt flg.:

Adrenalin	1000x stigning
Kortisol	200x stigning
Plasma-glukose	3x stigning
Na ⁺ og Cl ⁻	40x hurtigere diffusionstab og et tilsvarende 35% tab af kroppens totale NaCl

Som hovedregel er disse variable tæt koblet således, at størrelsen af blot en enkelt parameter indikerer det samlede stressrespons (McDonald og Milligan 1997). Plasma-kortisolmålinger er mere udbredte end adrenalin- eller nor-adrenalinanalyser, som er vanskeligere og mere kostbare at gennemføre (Wedemeyer 1996a).

Kortisol er ofte betragtet som "havvandshormonet" pga. dets stimulerende effekt på gællernes saltudskillelse (Wendelaar Bonga 1997). Formålet med et øget kortisolniveau under stresspåvirkning er sandsynligvis relateret til mobilisering af energi og dets rolle i at genvinde kroppens salt-vandbalance (Pickering 1993). Et kronisk forhøjet kortisolniveau er vist at have nogle negative effekter, herunder

- Nedsat vækst som følge af kortisols indvirkning på mobilisering af energi (Sumpter 1997; Pickering 1993)
- Øget modtagelighed for sygdom idet kortisol svækker immunforsvaret ved at hæmme dannelse af antistoffer i de hvide blodlegemer (Schreck *et al.* 2001; Sumpter 1997; Wendelaar Bonga 1997; Fletcher 1997; Pickering 1993)
- Forringet reproduktionssucces (Sumpter 1997; Pickering 1993)

Typisk øges plasma-kortisolniveauet hurtigt med en faktor 10-100 få minutter efter udsættelse for akut stress og vender tilbage til normalniveau efter én til flere timer, afhængig af vandtemperatur m.v. En vedvarende kronisk stresspåvirkning kan forhøje kortisolniveauet i flere dage til uger til et niveau, der dog ligger pænt under det maksimale. De basale hvileniveauer er meget lave (<5 ng/ml) hos laksefisk, men basale niveauer på 50 ng/ml eller højere også blevet rapporteret. Den store variation forklares ved forskelle i målemetoder, opdrætsforhold, indfangningsprocedure, eller i naturlige faktorer (Wendelaar Bonga 1997). Der er veldokumenterede genetiske forskelle i størrelsen af kortisolniveauet ved samme stresspåvirkning mellem arter og stammer indenfor samme art (McDonald og Milligan 1997; Pottinger og Pickering 1997)

Som en sideeffekt af øget blodgennemstrømning i gællerne ved akut stresspåvirkning, stiger fiskens normale vandoptagelse i ferskvand dramatisk. Den efterfølgende

vandudskillelse som følge af øget urinproduktion, medfører et uundgåeligt tab af salte (blodelektrolytter). Dette giver forstyrrelser i fiskens salt-vandbalance (osmoregulering) og kan resultere i livstruende kollaps af blodsystemet. Dette spiller en hovedrolle for den forsinkede dødelighed, som i nogle tilfælde forekommer én til to dage efter håndtering af fisk og transport. F.eks. hvis blod-kloridniveauet (Cl⁻) hos laksefisk falder til under ca. 90 meq/l, vil den normalt ikke kunne restituere sig igen. Hvis stresspåvirkningen ligger indenfor den fysiologiske tolerancegrænse, vil Cl⁻-niveauet gradvist tilbagereguleres til normalniveauet i løbet af ca. 24 timer efterhånden som fisken restituerer sig (Wedemeyer 1996a). I havvand er stressede fisk udsat for det omvendte problem, dvs. salte ophobes i kroppen (Bruno og Ellis 1996).

Fiskens salt-vandbalance kan desuden forstyrres ved hud- og gælleskader, som følge af håndtering, parasitangreb m.v. (Wedemeyer 1996a).

Mange af de fysiologiske mekanismer, der tillader infektioner at etablere og sprede sig i stressede fisk, er endnu ukendte, men et reduceret **immunforsvar** er tilsyneladende en bieffekt af kortisoludskillelse (Wedemeyer 1997). Af opdrætsforhold, der på negativ vis kan påvirke immunsystemet, er håndtering, høj tæthed, ugunstige vandkvalitetsforhold og dårlig ernæring sandsynligvis de mest udbredte (Wedemeyer 1996a).

Blandt de nyeste teknikker anvendes molekylær biologi til måling af fiskesundhed. Metoden går ud på at overvåge nogle "stress relaterede proteiner", såkaldte **molekylære biomarkører**, som hænger sammen med fiskens "liv" (godt eller dårligt) - og som kan tjene som indikatorer på fiskesundheden hos opdrætsfisk. Eksempelvis forventes metoden at kunne afsløre stress som følge af uhensigtsmæssige opdrætsforhold, som dårlig vandkvalitet. Disse nye molekylære markører sammenlignes med undersøgelser i såvel laboratoriet som under industrielle opdrætsforhold (Saroglia 2003).

3. Art, stamme og livsstadier

Opdrætsfisk udsættes for en række gentagne kortvarige stresstilfælde (håndtering, sortering, transport m.v.) og i nogle tilfælde længerevarende kronisk stress (dårlig vandkvalitet m.v.) (Pottinger og Pickering 1997). Det kan dog være vanskeligt at definere grænsen mellem ikke-stress og stresssituationer, eller mellem det tilpassede respons overfor mindre påvirkning og det permanente stressrespons når påvirkningen bliver livstruende (Wendelaar Bonga 1997). Dette forhold kompliceres yderligere ved et meget komplekst og forskelligt fysiologisk respons overfor stresspåvirkning imellem individer af samme art og imellem arter.

Undersøgelser har vist, at forskellige fiskearter ikke har ens stresstærskel, ligesom der er forskel imellem stammer indenfor den enkelte art (Barton 1997). Yderligere er fisks udviklingsstadium også af betydning (Schreck *et al.* 1997). Kritiske perioder i larvestadiet hos laksefisk er i klækkeperioden, ved første fodersøgning/-indtagelse (svøm-op) og senere metamorfose (Barton 1996). Generelt er æg og fiskelarver mere følsomme overfor vandforureninger og temperaturændringer sammenlignet med voksne fisk. Dette kan hænge sammen med fraværelsen af et fuldt funktionel apparat til at respondere på stresspåvirkning (Hypothalamus-Hypofyse-Binyre akse), som er ikke-eksisterende i 5 uger efter klækning hos regnbueørred (Wendelaar Bonga 1997). Voksne fisk er dog ikke udstyret med samme robusthed hele livet. F.eks. er smoltificerede (saltvandstilpassede) laksefisk mere følsomme overfor stresspåvirkning sammenlignet med ikke-smoltificerede artsfæller (Wedemeyer 1996a).

3.1 Kønsmodning og reproduktion

Forholdsvis få benfiskearter er i stand til at gyde spontant under opdrætsforhold. For andre arter foregår normal vækst og udvikling af gonader i opdræt, men kunstig tilførsel af gonadotropin-frigørende hormoner eller hypofyseekstrakter er nødvendige for at stimulere ægløsning og modning af sæd, ligesom strygning og kunstig befrugtning ofte er et krav. Hos mange andre arter i fangenskab, som f.eks. hos ål, sker der overhovedet ingen udvikling af gonader uden kunstig hormonbehandling (Wendelaar Bonga 1997).

Hos regnbueørredhunner begynder udvikling af gonader mindst 12 måneder inden gydning, og æg-antallet ligger fast på et meget tidligt stadium. Succesfuld reproduktion er afhængig af komplicerede hormonelle kontrolmekanismer og flere miljømæssige forhold, såsom temperatur, daglig lys-mørkecyklus, fodring og vandkvalitet samt det sociale miljø. En nedsat reproduktiv succes er et fænomen, der almindeligvis hænger sammen med stress hos fisk og andre dyr. Stress reducerer både fiskens vækst og den energi, der investeres i afkommet (Wendelaar Bonga 1997).

Forstyrrelse eller håndtering af moderfisk kan påvirke tidspunktet for gydningen - accelerere eller forsinke den afhængig af situationen - og påvirke kvaliteten af æg og afkom. I en opsamling af litteratur gennemgås effekter af stress hos moderfisk på kønsmodning, æg- og yngeludvikling hos regnbueørred (Schreck *et al.* 2001):

- Kønsmodning og gydning synes at være tæt forbundet med stressfysiologi
- Miljøændringer, især ernæringsmæssige, kan i høj grad påvirke kvaliteten af kønsceller (æg og sæd) og gydningstidspunkt
- Forholdsvis mild stress under ægdannelsen har ingen effekt på befrugtningssucces eller yngeloverlevelse. Stress under sen ægdannelse kan dog fremskynde gydetidspunktet med ca. 2 uger og give stor variation i ægstørrelse
- Kraftig stress af moderfisk under ægdannelse forringer yngeloverlevelsen og forsinker gydetidspunktet med ca. 3 uger. Under tidlig ægdannelse vil stress yderligere hæmme moderfiskens vækstrate en smule og resultere i mindre æg

Perioder med kronisk sammenstuvning (indespærringsstress) i de sidste stadier af gonadeudviklingen (2 uger) medfører hormonelle forstyrrelser i reproduktion hos regnbueørreder og resulterer i mindre æg og signifikant lavere overlevelsesfrekvens hos afkom i forhold til ustressede kontrolgrupper. Forskellen i overlevelsen er tydelig allerede i øjenægstadiet (54% overlevelse hos stressede og 96% hos ikke-stressede). Forskellen i overlevelse var opretholdt gennem hele yngeludviklingen med 44% overlevelse hos stressede og 85% blandt ikke stressede. Stress reducerede kvaliteten af æg- og sædceller, men det vides ikke om den forhøjede dødelighed skyldes fejl i befrugtningen eller fejl i udvikling af fosteret. Der var ingen sammenhæng mellem ægstørrelse og efterfølgende overlevelse af æg og yngel, hvilket indikerer, at ægstørrelse i sig selv ikke siger noget om ægkvalitet og yngeloverlevelse (Campbell *et al.* 1994).

Kortisolhormonets rolle er bl.a. til diskussion i forbindelse med nedsat reproduktionssucces (Pickering 1992; Pankhurst og Van der Kraak 1997).

Anvendelse af bedøvelsesmidler ved håndtering af moderfisk, f.eks. i forbindelse med strygning, er undersøgt. MS-222, nellikeolie i form af AQUI-S og CO₂ blev alle fundet anvendelige til bedøvelse af moderfisk af regnbueørred, men AQUI-S's længere bedøvelsetid og lavere omkostninger kan gøre denne mere anvendelig end alternativerne. Ingen af bedøvelsesmidlerne kunne fuldstændig dæmpe stressresponsen ved sammenstuvning og indfangning i net under en typisk strygningsproces, men hjalp med til at reducere varigheden af stressresponsen og lindrede håndtering uden at forringe levedygtigheden af æg (Wagner *et al.* 2002).

3.2 Fersk- og saltvand overførsel

Fuldstændig smoltificerede laksefisk kan tolerere direkte overførsel fra ferskvand til fuldstyrke havvand. Én af de vigtigste årsager til reduceret overlevelse efter overførsel er en ufuldstændig smoltudvikling. I mange tilfælde er store sølvglinsende og tilsyneladende sunde opdrættsmolt utilstrækkelig fysiologisk udviklede, og vil ikke være i stand til at fortsætte normal vækst og udvikling i fuldstyrket havvand. Dette forhold kan være vanskeligt at registre i ferskvand, da de negative effekter af en ufuldstændig parr-smolt omdannelse ofte først viser sig efter overførsel til saltvand, hvor der opstår livstruende saltvandstress, hvis de ikke er tilstrækkeligt fysiologisk udviklede hertil (Wedemeyer 1996a).

Af opdrætsprocedurer med særlig potentiale for dårlig smoltudvikling skal nævnes ændringer i fotoperiode (lys-mørkeperiode), forhøjet temperatur, øget bestandstæthed og forebyggende sygdomsbehandling. Desuden kan en tilsyneladende mindre vandkvalitetsændring, som ikke har betydning for vækst eller overlevelse i opdræt, resultere i normalt udseende smolt med hæmmet vandreadfærd og nedsat havvandstolerance. Forhøjet dødelighed på disse udviklingstrin er dog ikke altid et simpelt resultat af forringede opdrætsforhold. Immunsystemet er naturligt svækket hos havgående laksefisk både under parr-smolt omdannelse og hos opstrøms gydevandrende fisk, hvilket menes at hænge sammen med et naturligt forhøjet plasma-kortisolniveau (Wedemeyer 1996a). I disse stadier er laksefisk mere følsom overfor håndteringsstress og er mere modtagelige overfor sygdomme sammenlignet med parr og pre-smolt (Barton 1996).

Erfaringer har vist, at smolt reagerer nervøst når de udsættes direkte fra ferskvand til havvand. Dette kan skyldes, at smolt under disse forhold på samme tid er udsat for øget saltholdighed (osmoregulatorisk stress), nedsat iltindhold i blodet (respiratorisk stress) og forskellige vandtemperaturer. I forbindelse med respiratorisk stress stiger pH, som kræver op til 24 timers kompensation for fisken at tilbageregulere (Wedemeyer 1996a og b). En yderligere supplerende stresspåvirkning eller sygdom kan i denne periode have fatale følger. Latente infektioner kan komme i udbrud ved overførsel til saltvand, hvilket f.eks. er observeret hos smolt af coho laks, der var bærer af en furunkulose-, vibriose- eller BKD-infektion. Flytning af smolt til havvand inficeret med *costia* (*Ichthyobodo*), medførte forsinket dødelighed på 60-70%, forårsaget af skader på hud og af gællens kloridceller, som resulterer i osmoregulatoriske problemer for fisken (Wedemeyer 1996a).

Anbefalinger ved smoltproduktion

Med udgangspunkt i den nuværende viden om smoltudvikling under opdrætsforhold, er der udstukket nogle retningslinier, der skal sikre maksimal overlevelse og vækst i havvand (Wedemeyer 1996a, modificeret efter Wedemeyer *et al.* 1980):

- Vandtemperaturen bør følge et naturligt sæsonmønster. Ønskes anvendelse af kunstigt forhøjede temperaturer til fremme af væksten, gøres dette bedst i oktober til sidst i december. Temperaturen bør ikke hæves for hurtig eller mere end ca. 10°C i den sene vinterperiode, medmindre en yderligere accelereret smoltudvikling ønskes. I en produktion af gode smolt bør der fastlægges et temperaturforløb på det enkelte opdrætsanlæg.
- Den naturlige ændring i årstidens fotoperiode (lys-mørkeperiode) er én af de vigtigste omgivende faktorer, der påvirker produktionen af smolt. Fotoperioden må derfor kun reguleres med forsigtighed for ikke at få katastrofale følger. Med mindre at en accelereret eller forsinket smoltudvikling ønskes anbefales det at holde pre-smolt ved naturlige lysforhold eller ved anvendelse af kunstig lysstyring, som følger en naturlig lysintensitet og fotoperiode.
- Smolt med latente infektioner eller gælleparasitinfektioner må ikke overføres til havvand. Hvis sygdomsbehandling er nødvendig, skal fisken have en restitutionsperiode på mindst 7-14 dage i ferskvand inden overførsel til havvand.
- Smoltudviklingen bør følges ved at kontrollere fiskens evne til at styre saltvandbalancen (osmoregulering) ved fysiologiske tests. Gællens ATPase-aktivitet, havvandstest/ blod- Na^+ -test eller måling af koncentration af plasma-thyroxineniveau (T_4) er anbefalede metoder.

Der er endvidere vist at regnbueørred (145 g) fodret med saltberiget foder én måned inden overførsel til havvand reducerede dødeligheden og det osmotiske stressniveau (plasma-ioner og kortisol) efter udsætning i havvand (Kim *et al.* 2001).

Havvandstesten/ blod- Na^+ -test udføres ved simpel overførelse af f.eks. 10 fisk til 30 promille havvand ved deres akklimeringstemperatur. Efter 24 timer udtages blodprøver for analyse af blod- Na^+ . Er Na^+ -niveauet mindre end 170 meq/l efter et døgn i havvand, er der basis for god vækst og normal udvikling i havet hos de fleste intensivt opdrættede laksefisk (Wedemeyer 1996a). En enklere metode til kontrol af smoltkvalitet, uden blodprøvetagning, er at overføre en gruppe laksefisk direkte til 40 ‰. Er dødeligheden minimal efter 96 timer er fiskene i stand til at regulere saltvandbalancen og er klar til at blive udsat i havvand.

3.3 Domesticering

Regnbueørred er naturligt hjemmehørende i det vestlige Nordamerika og østlige Asien og har både etablerede varianter i både floder og søer (ikke-anadrome) samt i havet (anadrome). Steelhead, den anadrome havgående variant af regnbueørred, har en kompleks livscyklus med regionale forskelle og skiftende sæsonmæssige perioder i fersk- og saltvand. Regnbueørreden er tilpasset økologisk bredt og er indført som opdrætsart i mange lande udenfor dets naturlige leveområder (Groot 1996).

Hos regnbueørred (*Oncorhynchus mykiss*) er Walbaum 1792 den stamme, som europæisk og nordamerikansk opdræt er bygget op omkring (Ellis *et al.* 2002). Fiskeopdrættere har videreudviklet regnbueørredstammer, der i adfærd og fysiologi er forskellige fra de naturlige (Woodward og Strange 1987, Introduction). Ved avl gennem adskillige generationer er det således muligt, at tilpasse fiskearter til mennesker og nye omgivelser (Billard *et al.* 1981) og øge stresstolerancen hos fremavlede stammer, der udviser forbedrede præstationer for en række karaktertræk såsom tilvækst og tidspunkt for gydning (Pottinger og Pickering 1997). En sådan udvikling i domesticering er bl.a. observeret i sammenlignende forsøg mellem grupper af opdrætsfisk og dets oprindelig vildstamme. F.eks. har forskellen vist sig at være udviklet med en faktor 7 i størrelsen af kortisol-stressresponsen mellem individer af den samme fremavlede regnbueørredstamme (Pickering 1993). Således bør forsøgsresultater fra specifikke undersøgelser kun overføres mellem fiskestammer/-grupper efter omhyggelig overvejelse (Schreck *et al.* 1997).

4. Produktionsrelateret stress

Håndtering og transport er opdrætsprocedurer, som kan påvirke fiskens sundhed og fysiologiske tilstand (Wedemeyer 1996a). Sortering, udfiskning og strygning hører til almindelige håndteringer, der typisk indebærer sammenstuvning af fisken og løft ud af vandet. Af andre potentielle faktorer der kan forårsage produktionsrelaterede stress kan nævnes støj og forkert styring af kunstig lys-mørkecyklus.

4.1 Håndtering og transport

Det er almindeligt kendt, at stress forårsaget af håndtering, resulterer i nedsat appetit i en kortere eller længere periode afhængig af stressgrad og fiskens fysiologiske status. Tilbagevenden til normal appetit hænger normalt sammen med genetablering af normal fysiologisk tilstand (Schreck *et al.* 1997). En uhensigtsmæssig håndtering fører desuden ofte også til fysiske skader, hvor synlige tegn typisk ses ved finne- og hudskader samt skæltab. Smolt af laksefisk er især modtagelige overfor sådanne skader (FAWC 1996).

I enkelte undersøgelser er praktiske opdrætsprocedurer, som sortering, flytning og transport efterlignet for at vurdere effekten af dem. I andre forsøg er kun dele af en enkelt arbejdsgang undersøgt, f.eks. løft ud af vandet eller sammenstuvning af fisk.

Håndtering

Næsten alle fisk udviser et maksimalt stressrespons, når de tages ud af vandet - selv for en kort periode. Stressresponsen indebærer ændringer i hjerterate, øget produktion af stresshormoner og kraftige muskelsammentrækninger pga. forsøg på flugt og tilbagevenden til vand (McDonald og Milligan 1997; FAWC 1996).

Effekten af forskellige metoder til håndtering af regnbueørred (100 g) er undersøgt af Lekang (19xx). Flytning af ørreder i ketcher i luften ude af vandet (tør-net-metode) gav et højere stressrespons end direkte tapning fra bassin gennem rørsystem (uden kontakt med luften) og flytning i ketcher under vand (våd-net-metode). Våd-net-metode og tapning gav omtrent samme stressrespons.

I andre forsøg er der målt negativ effekt af håndtering på appetit, vækst og fysiologiske stressparametre:

- Flytning af regnbueørred med ketcher mellem to bassiner påvirker appetitten i ét døgn efter håndteringen (Talbot 1985)
- Ét døgn efter en sortering er iltforbruget hos regnbueørred forhøjet med 50% (Bruno og Ellis 1996)
- Regnbueørred udsat for én times sammenstuvning havde et forhøjet plasma-kortisolniveau i 8 timer efter ophør af stress (Pickering 1992)

Ved tilstrækkelig voldsom håndtering af laksefisk opstår der få timer efter akut stresspåvirkning en forsinket dødelighed, der kan fortsætte i adskillige timer til dage herefter, hvilket er uddybet af McDonald og Milligan (1997). I et forsøg der nærmest skulle efterligne en voldsom sortering/udfiskning af regnbueørred (300-500 g), blev der 12 timer efter kraftig fysisk aktivitet registreret en dødelighed på 12%. Efterfølgende løft ud af vandet i 30 sekunder, umiddelbart efter den fysiske udfoldelse, forøgede dødeligheden til 38%, og ophold i luft i 60 sekunder til en dødelighed på 72%. Årsagen til den akutte dødelighed skal sandsynligvis findes i det salttab, der forekommer hos stressede dyr i løbet af de første timer, forårsaget af kraftig syre-base forstyrrelse som følge af mælkesyreproduktion. Megen rutinemæssig stress i forbindelse med opdræt har dog sandsynligvis lille, hvis overhovedet nogen langtidsvirkning på saltbalancen. Saltbalancen bliver hos de fleste fisk normaliseret efter 1-2 dage. Større fisk har i højere grad tilbøjelighed til dødelighed efter kraftig fysisk udfoldelse sammenlignet med mindre artsfæller. Forsøg med 1 g regnbueørred, udsat for længerevarende sammenstuvning, har dog også vist at forårsage forhøjet dødelighed efter 8-40 timer. Dødelighed, der forekommer efter mere end 24 timer, forårsages sandsynligvis af svækkelse af immunforsvaret og efterfølgende udvikling af sygdomsfremkaldende infektioner.

Normalt anses et højt iltniveau under håndteringsprocedurer at være af stor betydning for fiskenes trivsel. Den kritiske iltgrænse afhænger dog af hvilket niveau fiskene har gået ved inden. Sammenstuvning af regnbueørreder i 6 timer ved tre forskellige iltniveauer, hhv. 130, 100 og 65%, som de var adapteret ved i 10 uger, gav omtrent ens stressrespons mht. varighed og styrke (plasma-kortisol, -glukose, osmolalitet og mælkesyre (Caldwell og Hinshaw 1994).

Udfiskning og transport

Udfiskning af opdrættede fisk indebærer sammenstuvning, optagning, transport og slagting, og er således én af de mest intense i forbindelse med fiskeopdræt med potentiale for stresspåvirkning og fysiske skader.

Efter 24 timers faste blev 175 g regnbueørred udsat for tre almindelige opdrætsprocedurer, der i praksis efterlignede sortering og/eller transport (Flos *et al.* 1988), hhv.:

- Transport: Fisk transporteres i transporttank på lastbil i 20 minutter ved tæthed på 250 kg/m³ og derefter med fiskepumpe flyttet over i ledigt bassin.
- Sortering: Fra bassin blev fiskene vha. fiskepumpe suget over i sorteringsmaskine (valser), hvor de blev sorteret efter størrelse og herfra overført til andet bassin.
- Sortering og transport: Efter en sortering (som ovenfor) blev fiskene transporteret med lastbil og igen flyttet over i bassin (som ovenfor).
- Kontrol: fisk forblev uforstyrrede i bassin

Resultater af stressfysiologiske målinger viste, at sortering af regnbueørred have en større stresseffekt end transport i lastbil. Begge arbejdsgange udført i forlængelse af hinanden, havde en additiv effekt på plasma-kortisol. Dog kunne stressresponset som følge af sortering og transport kun betragtes som moderate, idet plasma-kortisol og -glukose hurtigt vendte tilbage til hvileniveauer og de øvrige målte blodparametre ikke viste nogle ændringer. Adfærdsmålinger hos regnbueørred under lastbilstransport vha. telemetri viste dog kraftige og meget energikrævende svømning (Chandroo *et al.* 1999).

Sammenlignet med det fysiologiske stressrespons hos andre laksefisk (bækørred og søørred (*Salvelinus namaycush*) samt kildeørred (*Salvelinus fontinalis*)) synes regnbueørred dog at være forholdsvis tolerant overfor håndtering. Regnbueørreden opnåede lavest maksimale plasma-kortisolniveau efter både 30 sekunders håndteringsstress og 2 timers transport og sammen med søørred var glukoseniveauet hos regnbueørred lavest efter håndtering. Dog opnåede regnbueørred højeste maksimale glukoseniveau efter transport, hvilket yderligere indikerer at kun én fysiologisk parameter ikke er tilstrækkelig til at vurdere stresspåvirkninger (Barton 2000).

Skånsom håndtering

Med laksefisk som udgangspunkt er der i litteraturen givet en række anbefalinger omkring håndtering, der kan reducere stress og fysiske skader:

- Varigheden af enhver uundgåelig stresspåvirkning som sortering, bør minimeres mest mulig (Pickering 1992)
- Undgå håndtering ved høj vandtemperatur (Bruno og Ellis 1996). Laksefisk der opdrættes i fuldstyrke saltvand (havvand) bør ikke sorteres eller håndteres ved vandtemperaturer over 10°C, men heller ikke under 4-5°C (Novotny og Pennell 1996).
- Undlade fodring op til en håndtering (Bruno og Ellis 1996)
- Når sammenstuvning af regnbueørred er nødvendig, må stress forventes, og der bør tillades minimum én uges restitution inden fisken håndteres igen (Wedemeyer 1976), hvilket også er anbefalet af Lekang (19xx). Selv om fisken kan udvise normal adfærd (bl.a. appetit) i denne periode, bør yderligere stress under restitution undgås for at reducere belastningen af den fysiologiske tilstand.
- Udmattede fisk der får lov til at svømme med ca. 1 kropslængde pr. sekund reducerer markant den tid, der er nødvendig for at fisken er restitueret fra mælkesyre-”forgiftning”, i forhold til fisk der opholder sig i stillestående vand. Den naturlige mælkesyreproduktion ved udmattende arbejde menes at være koblet til plasma-kortisolniveauet, der ikke øges under moderat restitutionssvømning (McDonald og Milligan 1997).
- En effektiv måde at reducere dødelighed i stressede situationer er, at tilsætte salt til vandet (0,9% NaCl i ferskvand). Salten reducerer fiskens tab af kroppens natrium og klorid (NaCl) og/eller hjælper fisken til at normalisere saltbalancen. Denne metode er tilsyneladende mere effektiv end anvendelse af CaCl₂,

bedøvelse, lav temperatur eller supplerende iltning (McDonald og Milligan 1997).

- Flytning af fisk med vakumpumper giver færre skader på fisk (FAWC 1996).
- Afhængig af sorteringsmaskinens konstruktion kan fiskens transporttid fra pumpen gennem sorteringsmaskinen og tilbage til et fiskebassin gøres på 2-3 minutter (FAWC 1996)
- Ved håndtering af laksefisk bør der ikke anvendes ketcher, hvis fisken holdes ude af vandet i mere end 1 minut (Lekang 19xx)
- Ketcher til håndtering af fisk bør have en glat overflade (FAWC 1996)
- Fisk, der tages ud af vandet, bør støttes tilstrækkelig fysisk - især når det drejer sig om store, tunge fisk, som ikke udelukkende bør holdes i halen (FAWC 1996).

Tæthed under fisketransport

Mængden af fisk, der på sikker vis kan transporteres afhænger af transporttid, beluftningssystem, vandets kemiske sammensætning, temperatur, fiskestørrelse og -art. De rapporterede transporttætheder kan dog variere meget mellem to opdrætsanlæg således, at den maksimale bærekapacitet for en given fiskeart og transportbassintype sædvanligvis bestemmes ud fra praktiske erfaringer (Wedemeyer 1996b; Piper *et al.* 1983).

På baggrund af undersøgelser foreslås det, at den anbefalede vægt af laksefisk, der maksimalt bør transporteres, er direkte proportional med fiskens længde. Dvs. hvis erfaringen viser, at et bestemt transportbassin sikkert kan laste 100 kg 2 cm ørreder, vil den også være i stand til at transportere ca. 200 kg 4 cm ørreder, hvis alle andre faktorer er fastholdt (Piper *et al.* 1983). I praksis tillader transportsystemer på markedet tætheder på ca. 36% (0,36 kg/l) for større (25 cm) regnbue- og bækørreder. For anadrome (havgående) laksefisk er bærekapaciteten for unge individer ca. 6-24% (0,06-0,24kg/l) og for større unge fisk i parr-stadiet (10-12 cm) 24-36% (0,24-0,36 kg/l). For transport af smolt anbefales en betydelig lavere bestandstæthed, idet anadrome laksefisk i dette stadium er mere følsomme overfor stress og tab af skæl i forbindelse med håndtering og høj tæthed. Ved smolt-transport i USA er en almindelig tommelfingerregel transporttætheder på 6% (0,06 kg/l) (Wedemeyer 1996b).

Vandkvalitet under fisketransport

Faste

Faste inden transport reducerer risikoen for dødelighed hos transporterede fisk. Faste nedsætter både iltforbruget og mængden af produceret CO₂, NH₃ og fækalier. Undersøgelser viser, at mindre laksefisk (<100 g) generelt bør faste i mindst 2 dage inden transport og større fisk i mindst 3 dage for at opnå en markant reduktion i

stofskiftet (Wedemeyer 1996a og 1997). Længden af fasteperioden bør dog afhænge af seneste foderindtagelse og vandets temperatur.

Vandcirkulation

Et transportbassin skal, uanset størrelse, kontinuerligt kunne cirkulere friskt iltet vand til alle dele af bassinet. Dette er absolut nødvendigt for fiskens sundhed og overlevelse under transport. Endvidere betragtes en recirkulationsgrad på mindst 0,5 udskiftning pr. minut normalt som ønskelig for både laksefisk og varmtvandsfisk (f.eks. ål). Et alternativt cirkulationssystem er elektriske beluftere monteret gennem huller i bassinet. Ud over at give beluftning cirkuleres vandet uden varmeafgivelse til vandet (Wedemeyer 1996b).

Ilt-/beluftning

Under fisketransport er der behov for supplerende iltning/beluftning og CO₂-fjernelse. Høj aktivitet og stress er årsagen til det hurtige fald i iltniveauet, som typisk forekommer umiddelbart efter, at fiskene er overført til et transportbassin. Iltforbruget er forhøjet i 30-60 minutter, hvorfor den første time er kritisk indtil fisken igen bliver rolig (Piper *et al.* 1983). Det anbefales, at transportbassinet inden læsning er iltovermættet til 14-16 mg/l for at kompensere for det forhøjede iltforbrug i starten af transporten. Er der kun atmosfærisk luft til rådighed, bør beluftning påbegyndes 5-10 minutter inden fisken læsses for at sikre fuldt iltmættet transportvand (Wedemeyer 1996a og b).

Et iltindhold på 7-8 mg/l, der normalt betragtes som tilfredsstillende under opdræt, er erfaringsmæssig ikke en tilstrækkelig sikkerhedsmargin ved transport af laksefisk. Dette skyldes, at stofskiftet på trods af faste generelt er højere og mere ustabil under transport, samt at CO₂-ophobning yderligere forværrer fiskens udnyttelse af ilt. Undersøgelser viser, at laksefisks krav til iltindholdet stiger fra 6 mg/l, hvor ingen CO₂ er tilstede, til mere end 11 mg/l ved en CO₂-koncentration på 30 mg/l. Et iltniveau på minimum 80%, der normalt anses for at kunne minimere stress under fisketransport, er således kun gældende så længe CO₂-niveauet er lavere end 20-30 mg/l (Wedemeyer 1997, 1996a; Piper *et al.* 1983). Af vandparametre, ud over CO₂-niveauet, vil fiskenes krav til det minimale iltniveau under transport især afhænge af vandtemperaturen (se kapitlet Vandmiljøkvalitet).

Iltovermætning

Anvendelse af ren ilt under transport medfører en risiko for overmætning af transportvandet og der kan hurtigt forekomme iltniveauer op til 16-18 mg/l. En høj overmætning forårsager en markant stigning i blodets CO₂-indhold og efterfølgende forsurening af blodet (se kapitlet Vandmiljøkvalitet). Når fisken efter endt transport

overføres til friskt vand reduceres den opløste CO₂ i fisken dog hurtigt og en normalisering af fiskens blod-pH sker i løbet af ca. 24 timer (Wedemeyer 1996a og b).

Ud over CO₂-ophobning i fisken kan iltovermætning af transportvand også forårsage dykkersyge (se kapitlet Vandmiljøkvalitet). Dog vil størrelsen af de dannede iltbobler i fiskens blod hurtig reduceres som følge af vævenes normale stofskifte, hvorfor der normalt ikke forekommer dødelighed, som følge af dykkersyge, ved iltovermætninger under ca. 200% (Wedemeyer 1996a).

Temperatur

Fisketransport i koldt vand giver fisken nogle fysiologiske fordele. F.eks. vil en nedkøling af transportvandet med 8°C omtrent halvere iltoptagelsen hos transporterede regnbueørreder, hvilket betyder at mængden af fisk i transportbassinet kan øges. Praktiske undersøgelser har vist, at en temperatursænkning på 1°C giver mulighed for at øge bestandstætheden med ca. 10% (Smith 1978). Desuden giver nedkøling af vand en vis beskyttelse mod tab af blod-salte. En akut temperatursænkning på <10°C giver kun et mindre stressrespons og tolereres sædvanligvis af sunde fisk, mens temperaturfald på mere end 10°C bør foretages langsomt over adskillige timer (Wedemeyer 1997, 1996a). Udvendig hvidmalet skumisolering (5-8 cm) kan normalt i tilstrækkelig grad forhindre vandtemperaturen i at stige mere end 1°C pr. 4-5 timers transporttid - selv ved en lufttemperatur på 30-35°C (Wedemeyer 1996b).

Kuldioxid (CO₂)

Ophobningen af CO₂ i transportvandet er normalt et større problem for fisk end ophobning af ammoniak. Utilstrækkelig CO₂-fjernelse resulterer i respiratorisk stress, iltmangel samt muligvis CO₂-bedøvelse og død. Laksefisk og andre aktive koldtvandsfisk tåler i langt ringere grad forhøjede CO₂-niveauer i modsætning til varmtvandsfisk som ål. Undersøgelser viser, at fisk generelt producerer 1,4 mg CO₂ for hver mg ilt der forbruges. Et CO₂-niveau vil således i praksis kunne stige til uønskede værdier på 20-30 mg/l indenfor 30 minutter efter læsning af fisk, medmindre beluftning og omrøring forhindrer dette i at ske. Fisk kan tolerere moderate CO₂-niveauer, hvis koncentrationen øges langsomt. Her vil blodets naturlige buffersystem være i stand til at kompensere for et pH-fald ved at optage plasma-bikarbonat (HCO₃⁻) fra vandet. Koncentrationer højere end 15-20 mgCO₂/l betragtes omtrent som det maksimale niveau for transporterede laksefisk. Tolerancen er dog højere ved fisketransporter af kortere varighed, hvor niveauet må stige op til 30-40 mg/l, hvis vandet er fuldt iltmættet (Wedemeyer 1996a).

Effektiv fjernelse af CO₂ ved iltning/beluftning og omrøring sker kun ved hurtig fjernelse af CO₂ fra transportbassinet's luftrum, så den ikke genopløses i vandet. Det har vist sig overraskende effektivt at fjerne transportbassinet's top, hvilket kan nedbringe

CO₂-koncentration fra 30 til 5 mg/l på få minutter - uden at foretage øvrige ændringer i f.eks. beluftning. Transportbassiner med åben top bliver nogle steder i stigende omfang benyttet til transport af ikke-lysfølsomme arter (Wedemeyer 1996a og b).

Ammoniak (NH₃)

Ophobning af NH₃ kan ligesom CO₂ være en kilde til stress. Opdrættede laksefisk udskiller ca. 30 g NH₃ pr. kg foder (afhængig af fodertype), hvorfor det er vigtigt, at fisk er fodertomme under en fisketransport. I vand med lav alkalinitet vil koncentrationen af giftig NH₃ i transporttanken, på trods af en total NH₃/NH₄⁺-koncentration på 10 mg/l eller mere, ofte forblive under 0,1 mg/l som følge af fiskens kontinuerlige CO₂-produktion, der kan holde vandets pH nede ≤ 7. En NH₃-koncentration på 0,1 mgNH₃/l betragtes som acceptabel ved 4 timers akut eksponering (Wedemeyer 1997, 1996a).

Buffer

Hurtige pH-ændringer, der især kan forekomme under transport, stresser fisk. Her kan buffere, som bikarbonat (HCO₃⁻) anvendes til at stabilisere transportvandets pH. Den organiske buffer trishydroxymethylaminomethane har desuden vist sig meget effektiv i både fersk- og saltvand. Det er meget opløseligt, stabilt og let at bruge og har været anvendt på 29 fiskearter tilsyneladende uden negative effekter (Piper *et al.* 1983).

Salt

Det har længe været kendt, at overlevelsen af transporterede koldt- og varmtvandsfisk kan øges ved tilsætning af salt til transportvand (op til 0,5-1,0% NaCl), idet fiskenes tab af blod-elektrolytter (Cl⁻ og andre ioner) reduceres. Desuden har overførsel af fisk til saltberiget vand i en periode efter endt transport yderligere vist sig at forbedre overlevelsen. Komplekse mineralsaltforbindelser er udviklet til dæmpning af stress og reduktion af dødelighed hos fisk i forbindelse med transport. En vurdering af eksisterende undersøgelser viser, at rene eller blandede forbindelser af NaCl, CaCl₂, NaSO₄, NaHCO₃, KCl, MgSO₄, K₃PO₄ og havsalte, med eller uden samtidig anvendelse af bedøvelsesmidler, har størst potentiale for at lindre fysiologiske forstyrrelser - især i surt blødt vand (Wedemeyer 1996a).

Lys

Lysdæmpning er en god måde at reducere stress hos transporterede fisk. Dette anbefales især i alle trin under smolttransport (Wedemeyer 1997).

Bedøvelse

Bedøvelsesmidler tilsat transportvandet kan forbedre overlevelsen hos transporterede fisk. Bedøvelsen nedsætter stofskiftet og reducerer dermed iltoptagelsen samt produktionen af NH₃ og CO₂. Desuden dæmpes det fysiologiske stressrespons og

fysiske skader forebygges, f.eks. tab af skæl. Fisk, som i mindre grad er bedøvet under transport, har et lavere plasma-kortisolniveau i forhold til ikke-bedøvede artsfæller, og får efterfølgende hurtigere appetitten tilbage (Auperin *et al.* 1998). I praksis har anvendelse af bedøvelsesmidler vist, at den transporterede mængde regnbueørreder kunne øges med 200-300% (Wedemeyer 1996b).

Ved anvendelse af bedøvelsesmidler under fisketransport skal doseringen være korrekt. Undersøgelser viser, at fisken skal nå et bedøvelsesniveau af ”dyb rolighed” uden at fisken vælter (Smith 1978). Overdoseres mængden af bedøvelsesmiddel synker fiskene ned på bunden af transportbassinet, hvor de kan blive kvalt eller trækkes ned mod ristene, hvilket forårsager skæltab og forhindrer tilstrækkelig vandcirkulation (Wedemeyer 1997, 1996a og b).

Nellikeolie har vist sig at have gode bedøvelsesegenskaber og vurderes at være uskadelig for såvel mennesker som fisk (anvendes i madlavning). I undersøgelser har nellikeolie vist sig at være et mere effektivt bedøvelsesmiddel end 2-phenoxyethanol, der er mistænkt for at være giftigt for såvel fisken som den der håndterer stoffet. For fuld bedøvelse af laksesmolt og store laks har en koncentration på 0,03-0,04 ml ren olie/l vand ($1,7-2,35 \times 10^{-4}$ mol/l) vist sig effektiv. Stoffet er et naturprodukt, men der findes ingen europæiske standarder for produktet. De lave doser giver ingen afsmag af stoffet i de bedøvede fisk (Chanseau 2003).

Polymer

Hudafskrabninger og skæltab, som følge af håndtering og høj tæthed, er almindelige problemer hos især anadrome (havgående) laksefisk og transporterede fisk. Efterfølgende infektioner, som sekundær svampeinfektion forårsager forsinket dødelighed. Den tropiske fiskeindustri har med succes anvendt additiver til vand indeholdende polyvinylpyrrolidon (PVP) eller andre polymerer til at løse et tilsvarende problem i transport af akvariefisk. Når der forekommer hudafskrabninger og skæltab, binder disse polymerer midlertidigt til det udsatte væv og danner et beskyttende lag, der gradvist skaller af efterhånden som det underliggende væv heles og det naturlige slimlag gendannes. Denne teknologi har hidtil kun fundet begrænset anvendelse i fiskeopdræt (Wedemeyer 1996a og 1997).

4.2 Lys - mørke cyklus

Den daglige udvikling i længden af døgnets lyse og mørke timer (fotoperiode) præger i høj grad fisks naturlige udvikling, hvilket under opdræt bl.a. udnyttes til f.eks. at flytte tidspunktet for gydmodenhed og smoltifikation hos laksefisk. I et forsøg med unge regnbueørreder udsat for enten naturlig fotoperiode, en lang fotoperiode (16 timers lys (L): 8 timers mørke (M)) eller en konstant lysperiode (24L/0M) i 60 dage og fodret til mætning to gange om dagen, blev der ikke målt signifikant forskel i overlevelsen

mellem lysforholdene. Dog påvirkede de forskellige lysforhold appetit og vækstrate (Erguen *et al.* 2002). Hjertefrekvensen er dog målt at stige hos regnbueørred udsat for vedvarende lys (20.000 lux) (Kojima *et al.* 1997).

Skift mellem lys og mørke

Hurtige skift mellem mørke og lys bør undgås i opdræt af regnbueørreder, som vil kunne forekomme i indendørs opdræt. Når lyset tændes, svømmer fiskene øjeblikkelig ned på bunden og foretager en panikagtig svømning med kroppen presset mod bunden. I løbet af 5 minutter indtager fiskene igen en position i de øverste vandlag. På samme vis øger en pludselig slukning af lys ligeledes i en kort periode aktiviteten primært ved bunden, inden de igen bliver rolige. For at undgå at regnbueørred stresses bør der anvendes en gradvis (kontinuerlig) ændring i lysintensiteten (Mork og Gulbrandsen 1994), som det sker i naturen. I mange videnskabelige forsøg er dog udført med to daglige, men øjeblikkelig (pludselige), skift mellem lys og mørke (f.eks. 16L:8M) uden at have forårsaget nogen dødelighed i forsøgsperioden.

Æg og larver

Undersøgelser viser, at diffus lyspåvirkning af æg og larver har negative effekter. Nyklækkede larver opnår mindre størrelse og er længere om at nå svøm-op-stadiet sammenlignet med larver af æg inkuberet i mørke. Efter klækning er larver, der i ægstadiet blev inkuberet ved konstant belysning, ikke naturligt skræmt af ovenfra kommende bevægelser (Pennell og McLean 1996).

4.3 Lyd

Hjertefrekvensen blev ikke påvirket hos regnbueørred udsat for konstant lyd-påvirkning (130dB, 300Hz) (Kojima 1997).

5. Adfærd og sociale relationer

5.1 Dominanshierarkier

Konkurrence mellem artsfæller om føde, territorier eller partner er almindelig for dyr i naturen. I intensivt opdræt kan der yderligere opstå aggressive konflikter forårsaget af opdrætsbetingede adfærdsændringer, hvilket udvikler dominanshierarkier mellem fisk (Wedemeyer 1996a; Sloman og Armstrong 2002).

Etablering af territorier og sociale dominanshierarkier hos fisk begynder typisk med hyppige og intense aggressive sammenstød – en etableringsfase. Når de sociale hierarkier er etableret bliver konflikterne mindre hyppige som følge af stabiliserede relationer mellem de dominante, sub-dominante og underordnede grupper. Dominante hierarkier dannes relativt hurtigt hos mange arter og baseres i stor udstrækning på fiskestørrelse, normalt med den største af to modstandere som vinder (Wedemeyer 1997).

De adfærdsmæssige sammenstød kan være en betydelig kilde til stress og sundhedsproblemer. Nogle aggressive adfærdsmønstre som at bide, angribe, jage og kampe mellem fisk, kan hos især underordnede individer føre til alvorlige fysiske skader som finnebid, tab af skæl reduceret vækst, mikrobiologisk ubalance i tarmen, samt øget modtagelighed for infektiøse sygdomme ved kronisk fysiologisk stress (Wedemeyer 1997). Fysiologiske konsekvenser af sociale sammenstød ses både hos dominante og underordnede fisk, men er mere udtalte hos underordnede fisk (Sloman og Armstrong 2002). Sandsynligvis ændres graden af stress naturligt over tid efterhånden som hierarkiet etableres, men rollefordelingen mellem dominante og underordnede fisk synes uændret (Winberg 1997).

Den langsommere vækst hos underordnede fisk forstærker de størrelsesbaserede hierarkier og resulterer i øget størrelsesforskel mellem individerne i løbet af få uger. Årsagen til den langsommere vækst hos underordnede fisk er en kombination af reduceret foderadgang og stressbetingede energiomkostninger samt nedsat appetit, der er almindelig hos kronisk stressede dyr (Wedemeyer 1996a og 1997).

Regnbueørred

Regnbueørreder og andre laksefisk er i naturlige ferskvandsmiljøer territoriale og forsvare et revir som yngel og gydefisk, mens de i havet er ikke-aggressive stimefisk (FAWC 1996).

Laksefisk anvender flere signaler til at udtrykke social rang og aggression, herunder signalering, angreb og kampe. Signaler for social rang er kropsfarve, position i bassinet og bevægelsesaktivitet. Aggressive hensigter signaleres ved at vende siden til modstanderen (lateral visning) samtidig med, at finnerne spredes ud og fisken foretager

vrikkende kropsbevægelser (Ellis *et al.* 2002). Angreb fra regnbueørreder begynder med, at den angribende fisk står stille, orienterer sig og svømmer herefter direkte mod forsvarerens krop, hale- og rygfinner. Hvis forsvareren ikke flygter, vil angriberen snappe i vandet eller bide efter modstanderen. En kamp ender med at én af fiskene flygter eller signalerer en underordnet status ved mørkfarvning, passivitet og position i bassinet (Ellis *et al.* 2002).

Regnbueørred hører til blandt de mest aggressive laksefisk, der er undersøgt. I en adfærdsundersøgelse blev aggression sammenlignet mellem regnbueørred, atlantehavslaks, hav- og fjeldørred ved vurdering af 7 adfærdsmønstre hos mindre fisk (7-14 g). Resultatet var, at regnbueørred angreb og bed hyppigst af alle undersøgte arter og i højere grad udviste tyrannisk dominans i forhold til atlantehavslaks og havørred. Selv om fiskene var fodret *ad libitum*, blev et hierarki etableret mellem fiskene (Mork 1995). Regnbueørreders køn har ikke vist sig at have indflydelse på hierakidannelsen i en gruppe med både hanner og hunner (Noakes *et al.* 1977). Umiddelbart efter at regnbueørreder er sat sammen, er den aggressive adfærd hos regnbueørred størst, men falder herefter til et lavt niveau efter nogle dage. Hos både yngel af regnbueørred og kildeørred (*Salvelinus fontinalis*) blev der i den første uge observeret stor bide- og jageaktivitet, men aggressiviteten faldt til et lavt niveau i løbet af en måned (Chew 1987).

Hyppigheden og graden af aggressiv adfærd hos regnbueørred ændrer sig med fiskenes udvikling og størrelse (Johnson 1993). Hyppighed, varighed og kompleksitet af aggressive sammenstød hos regnbueørred var stigende op til en alder af 30 dage. Herefter blev de aggressive sammenstød overtaget af øget signalerende adfærd (Cole og Noakes 1980 fra Ellis *et al.* 2002). I fangenskab danner regnbueørred let sociale hierakier, især i de yngre stadier (Pickering 1992). Sådanne hierakier afhænger i stor udstrækning af størrelsesforskelle mellem individerne (Alanära 1996; Johnsson 1993), men farvedragten signalerer også social rang, hvor store, lysfarvede yngel normalt dominerer over mindre mørkfarvede artsfæller (Chew 1987). En vægtforskel på ca. 5% er fundet tilstrækkelig for at større individer sikrer sig dominans blandt regnbueørred-yngel (Abbott og Dunbrack 1985). Denne vægtforskel forøges med tiden, hvis ikke fiskene sorteres undervejs (Abbot og Dill 1989 fra Wedemeyer 1996; Li og Brocksen 1977).

Det arealmæssige territorium stiger med øget fiskestørrelse (Keeley og McPhail 1998). For visuelt orienterede dyr som regnbueørreden er størrelsen af et territorium dog påvirket af udsyn eller sigtbarheden. I en efterligning af naturlige miljøer blev der hos unge regnbueørreder fundet en omvendt sammenhæng mellem muligheden for udsyn og størrelse af territorium. Et nedsat udsyn reducerer således størrelsen af et territorium (Imre *et al.* 2002). Endvidere er det i naturlig bestand af steelhead regnbueørreder i to

floder observeret at størrelsen af det arealmæssige territorium ikke hænger sammen med antallet af observerede indtrængende individer på et territorium pr. time, men er omvendt relateret til den lokale fisketæthed (Keeley og McPhail 1998). Når vilde territoriale ørreder tvinges til at dele det samme areal ved højere populationstætheder overtages territoriehævdelse delvist af et dominanshierarki (Ellis *et al.* 2002). Etableringen af dominanshierarkier er sandsynligvis til en vis grad genetisk betinget (Pennell og McLean 1996), men styrken af hierakiet påvirkes af størrelsesforskelle mellem individerne og bestandstæthed (Wedemeyer 1997), fiskens livsstadium (Ellis *et al.* 2002) samt udfodring, skygge, bundens fysiske struktur og temperatur (Alanärä 1996).

Ål

Ål udviser ligesom laksefisk i forskellig grad aggressiv adfærd, etablerer dominanshierarkier og vokser med forskellig hastighed, så størrelsesforskelle mellem individerne udvikles over tid.

I forsøg med blot to ål udviste ål følgende aggressiv adfærd (Peters *et al.* 1980):

- "Truende": Ålen svømmer med vidt-åben mund og spredte finner som truende adfærd. Modparten reagerer ved at flygte eller udvise lignende adfærdsmønstre.
- "Støde og bide": Den truende aggression kan pludselig føre til hurtig og kraftfuld stød og bid. Pga. modpartens flugtreaktion, tildeles bidene ofte i haleregionen. Ekstremt aggressive dyr forsøger at bide, fastholde og ryste modpartens krop.

Truende adfærd, jagt og kropsbid manifesteres af ål i alle størrelser, men udføres primært af de største ål (Knights 1987).

Adfærdsstudier med både yngel og voksne ål har vist, at der i mindre forsøgstanke etableres et hierarki (Knights 1987; Peters *et al.* 1980). Primært er den hirakiske orden baseret på kropsstørrelse med de største individer i toppen af hierakiet. Ål lærer deres position i et hieraki ud fra udfaldet af gentagne aggressive sammenstød. Hos yngel var dominans eller undvigelse mest markant, når de største individer havde ca. 50% større kropsvægt i forhold til mindre ål.

Hypigheden af aggressive sammenstød falder markant når flere ål sættes sammen (Knights 1987).

5.2 Effekter af aggressiv adfærd

Regnbueørred

Aggressiv adfærd forårsager fysiske skader og øger størrelsesforskellen mellem individer og påvirker en række stressfysiologiske parametre.

Finneskader kan være voldsomme hos laksefisk resulterende i tab af hele finner. Hos intensiv opdrættede regnbueørreder, er alle finner udsatte for skader. Rygfinnen udsættes for størst skade, og herefter i faldende grad, bryst-, hale-, gat- og bugfinner (Ellis *et al.* 2002), hvilket stemmer godt overens med resultater opnået i projektets fase 2 forsøg. Finner udsat for bid bliver misfarvede og er mål for yderligere læsioner med risiko for delvis eller fuldstændig tab af ryg-, bryst- og bugfinner, især ved lav vandtemperatur. Finneskader heles og regenerere (gendannes) i varmere vand (ca. 10°C eller derover) ved ophør af aggressivitet (Wedemeyer 1997).

Underordnede ørreder udviser en nedsat og ujævn dag-til-dag foderindtagelse. Undersøgelser viser, at reduceret foderindtagelse hos underordnede fisk kan være en direkte effekt af forhøjede plasma-kortisolniveauer (Ellis *et al.* 2002). I kampen om foder er der fundet en positiv korrelation mellem de metaboliske omkostninger og foderindtagelse hos både dominante og underordnede regnbueørreder, men de relative omkostninger er størst blandt underordnede fisk (Metcalf 1986).

Der er stærke beviser for, at sociale sammenstød forårsager et stressrespons hos underordnede regnbueørreder. I forsøg med fisk holdt parvis udviste den underordnede fisk fysiologisk stressrespons, bl.a. forhøjet plasma-kortisolniveauer i både korte og langvarige eksperimenter (fra 11 til 42 timer), mens dominante ørreder ikke forekom stressede. Endvidere er det vist, at underordnede regnbueørreder i højere grad lider af bakterielle infektioner og højere dødelighed sammenlignet med dominante individer, hvilket bl.a. tilskrives et forhøjet plasma-kortisolniveau (Ellis *et al.* 2002).

Ål

Større dominante ål tilbringer mere tid på bassinbunden end mindre underordnede ål, der har højere svømmeaktivitet og tilbringer mere tid i den øverste del af vandsøjlen (pelagiske), hvorved de undgår aggressive sammenstød. Endvidere er foderindtagelse og vækst nedsat hos de mindste ål, ved tilstedeværelse af større ål, selv når ålene fodres til mæthed. En højere dødelighed blandt små ål viste sig nærmere koblet til stress og sult, frem for tæthed, skader eller sygdom (Knights 1987). I åleopdræt udviser underordnede individer kronisk forhøjede kortisol-niveauer, blød og indskrumpet mavesæk, henfald af tarmens slimlag og en undertrykkelse af immunapparatet. Andre signifikante stressrelaterede ændringer er højere plasma-kortisol-, glukose- og mælkesyreniveau, et lavere glykogenniveau og leukocytantal, samt reduceret

miltstørrelse. I modsætning hertil ligner dominante ål kontrolfisk mht. næsten alle målte fysiologiske stressparametre (Peters *et al.* 1980; Peters 1982).

5.3 Minimering af sociale hierakier

En udfordring i fiskeopdræt er at sørge for opdrætsforhold, hvor adfærd som aggression eller social dominans ikke længere er effektiv (Wedemeyer 1997). I litteraturen er størrelsessortering, fodringsstrategi, anvendelse af vandstrøm og justering af tæthed ofte nævnt som metoder til at dæmpe aggression og minimere størrelsesforskelle mellem fisk.

Størrelsessortering

I fiskeopdræt bliver bestanden ofte sorteret i to eller tre størrelsesklasser for at forbedre vækstbetingelserne for de mindre fisk, når større konkurrerende fisk er udsortet (Wedemeyer 1997; Ål: Knights 1987). Det er en almindelig antagelse, at i et bassin med blandede fiskestørrelser er stabile dominansrelationer ikke mulig således, at udsortering af de største fisk udjævner dominanshierarkiet ved udligning af forskelle i fiskestørrelsen (Pennell og McLean 1996). Dog mener Ellis *et al.* (2002) at der kun er mindre erfaringsmæssig bevis for denne antagelse. I stedet påpeger disse forskere, at selv om større individer starter hovedparten af aggressive handlinger, er aggressionsniveauet generelt omvendt korreleret med størrelsesforskellen (dvs. en mindre størrelsesforskel medfører større aggressivitet). I forsøg med atlantehavs laks er det vist, at tilstedeværelsen af få større fisk reducerer aggression og øger fiskenes vækst. Et andet eksempel, der peger i denne retning, er at usorterede fjeldørreder (*Salvelinus alpinus*) samlet set opnår lige så god tilvækst som størrelsessorterede grupper (Brännäs *et al.* 2002). Hos små ål minimeres dannelse af dominanshierarki og aggression dog tilsyneladende bedst ved sortering således, at ingen fisk bør blive 50% større end nogle af de andre. Hvis ål ikke sorteres hyppigt nok er resultatet bideskader og kannibalisme, som kan medføre betydelig dødelighed. Det anbefales, at mindre ål sorteres hver 14 dag (Knights 1985).

Fodring

For at reducere aggression og fødekonkurrence under fodringen bør fodret fordeles jævnt og bredt. Spredning af fodret over bassinoverfladen gør det vanskeligt for dominante fisk at forsvare fodret ved territoriedannelse og vil reducere aggressiv adfærd (Novotny og Pennell 1996). På den måde fordeles foderindtagelsen mere jævnt mellem fiskene så størrelsesforskelle mellem dem udjævnes. Håndfodring er et godt eksempel på en metode, der giver mulighed for at sprede fodret jævnt, modsat nogle typer af foderautomater, der kun tilbyder foder i et mindre område af bassinet (Pennell og McLean 1996) (se også kapitlet ”Fodring og miljø”).

Vandstrøm

I fiskestimer, som dannes i vandstrømme (f.eks. racewayssystemer) ved høj bestandstæthed, dæmpes den aggressive adfærd. Ved samtidig hyppig fodring er størrelsesforskellen mellem fiskene tilbøjelig til at falde uafhængig af sortering (Wedemeyer 1997). Hos opdrættede laksefisk (bl.a. regnbueørred) er det vist, at en moderat vandstrøm på 0,75 til 1,5 kropslængder pr. sek. kan dæmpe den aggressive adfærd (Ellis *et al.* 2002) samtidig med at næringsoptagelse og vækst opretholdes (Wedemeyer 1996a). Ål orienterer sig ligeledes mod vandstrømme, hvilket reducerer antallet af sammenstød, der hovedsageligt forekommer i tilfælde, hvor én fisk krydser en andens synsfelt. Opretholdelse af høje strømhastigheder kan dog være et praktisk problem i eksisterende opdrætsbassiner (Knights 1987).

Tæthed

Den aggressive adfærd mellem fisk kan reduceres ved justering af bestandstætheden (Wedemeyer 1996a), men der synes dog ikke at være enighed om strategien. Aggressionsniveauet er fundet at stige med øget tæthed (Pennell og McLean 1996). Forholdet mellem tæthed og aggressiv adfærd hos opdrætsfisk er desuden fundet at være klokkeformet, værende højest ved middeltætheder og lavere ved både mindre og højere bestandstætheder (Pickering 1992). Andre forskere argumenterer dog anderledes, idet fisk som har god plads vælger at forsvare et territorium, mens fisk med mindre plads vælger en ikke-aggressiv adfærd. Lille tæthed medfører således større sociale interaktioner, der resulterer i dødelighed og øget modtagelighed for sygdomme (Ellis *et al.* 2002), hvilket delvist støttes af Wedemeyer (1997). Høje tætheder vanskeliggør etablering og opretholdelse af ordnede dominanshierarkier, hvorfor det antages, at aggression mellem laksefisk falder med øget opdrætstæthed, idet det bliver ineffektivt eller umuligt for fiskene at opretholde de nødvendige aggressive handlinger eller at forsvare et bestemt territorium (Ellis *et al.* 2002). Selv om andelen af voldelige sammenstød mellem fisk falder med stigende tæthed, kan den samlede aggression fortsat være høj og forårsage finneskader hos især regnbueørreder (Wedemeyer 1997). Betydningen af bestandstæthed er påvirket af andre opdrætsforhold som udfodringsmængde og –strategi (Pennell og McLean 1996) og kan således være en forklaring på de forskellige argumenter for aggressionsniveauet ved ændret bestandstæthed.

Vækstforsøg med mindre ål (1-2 g) har vist, at de eneste praktiske metoder til at reducere forskellige væksthastigheder hos ål er anvendelse af høj bestandstæthed samtidig med opretholdelse af en vandstrøm for at fremme svømning (Seymour 1984). Størrelsesortering vil dog fortsat være nødvendig, men i mindre hyppig grad. I forsøgene blev ålene fodret til mæthed i en to ugers periode ved ”høje” tætheder på hhv. 36 og 110 kg/m³, som resulterede i næsten uændrede størrelsesforskelle mellem individerne fra start til slut, og ”lave” tætheder på hhv. 10 og 25 kg/m³, som udviklede

en større vægtforskel hhv. 16 og 39% (beregnet ud fra forskel i variationskoefficient). Se også kapitlet ”Tæthed”.

Skjul

En måde at reducere aggressive sammenstød er at give ål mulighed for at skjule sig, f.eks. i plastikrør. Disse medfører dog besværlig rengøring af bassiner og dårligere fordeling af ilt m.v. (Knights 1987).

Slægtsrelation

I naturen er laksefisk, inklusiv regnbueørred, i stand til at skelne mellem sin egen slægt og ikke-slægtsrelation. Derfor er det muligt at reducere den aggressive adfærd, hvis sammenblanding af forskellige stammer undgås. Dog mangler der dokumentation herfor under akvakulturforhold (Ellis *et al.* 2002).

6. Fodring og miljø

Undersøgelser af fodringsadfærd og andre aspekter af adfærd hos laksefisk i fangenskab er relativ ny (Novotny og Pennell 1996). Udfodring stimulerer foderaktiviteten og påvirker fisks indbyrdes sociale relationer, og har således betydning for deres trivsel. Afhængig af især udfodringsmængde og -metode ændres desuden vandmiljøet, der under visse forhold forværrer fiskesundheden. En øget daglig udfodring vil normalt øge fiskens produktion af ammoniak, kuldioxid og bundfældeligt samt suspenderet stof (Klontz 1993), der dog kan holdes på acceptable niveauer ved tilstrækkelig vandrensning eller friskvandsforsyning.

En god foderkvalitet er uhyre vigtigt for fiskens ernæringsmæssige sundhed, men der vil ikke være fokus på dette specifikke forhold her.

6.1 Regnbueørred

Fødeaktivitet

Regnbueørreden har en meget aktiv fødeadfærd, og er i stand til at fange næsten 100% af pillerne i vandet inden de når bunden (Brännäs og Alanära 1992). Hvis piller alligevel ender på bunden vil regnbueørred også i et vist omfang æde disse (Alanära 1996).

Sigtbarheden er ofte begrænset under vand, og én fordel ved de sociale relationer mellem visuel fødesøgende fisk som regnbueørred er, at information om en aktuel fodring kan overføres mellem artsfæller. Hos regnbueørred er det observeret, at den hurtige svømning mod vandoverfladen hos få individer, der går efter foder, stimulerer en tilsvarende respons hos de øvrige fisk (Ellis *et al.* 2002).

Det er en mindre gruppe fisk, der foretager langt de fleste foderudløsninger på selv-fodringsautomater (f.eks. pendul). Disse dominerende fisk påtager sig rollen at fodre sig selv, men også resten af gruppen, idet de ikke direkte besætter området omkring automaten (Chen *et al.* 2002; Alanära og Brännäs 1993; Brännäs og Alanära 1994).

Fodringsstrategi

Foderstrategier fokuserer på tre hovedområder: mængde foder pr. dag eller uge, foderfrekvens, og hvordan foderet tilbydes fiskene. Den optimale foderstrategi maksimerer tilvæksten og foderomsætningen, samt opretholder fiskesundhed og reducerer stress (Novotny og Pennell 1996).

En korrekt fodring kræver viden om fiskens ernæringsmæssige behov og fodringsadfærd (Alanära 1996). Resultatet af en forkert foderstrategi kan være aggressiv

adfærd, der forårsager stress og fysiske skader, samt øget størrelsesforskelle mellem individerne. Aggressive sammenstød mellem fisk sker ofte under eller efter fodring, hvilket forårsager flossede finner og andre skader (Pennell og McLean 1996). Derfor må et hovedmål ved valg af fodringsstrategi være at reducere den aggressive adfærd. Den primære udfordring ved at fodre grupper af opdrættede fisk er, at alle fisk får samme mængde foder, så tilvæksten bliver omtrent ens. Ud over homogene salgsstørrelser er der også en klar fordel ved et mindre behov for sortering, hvilket reducerer en potentiel stresspåvirkning (Novotny og Pennell 1996). Alanära (1996) evaluerede resultater fra en række forsøg med regnbueørred fodret via selvfodringsautomater (fisken udløser foderet aktivt f.eks. via pendul). Sammen med øvrig videnskabelig litteratur kan anbefalinger omkring udfodringer, der tager hensyn til regnbueørreders trivsel og miljøforhold sammenfattes således:

Vækst: En evaluering af data for vækst og foderkvotient viser, at selvfodringsautomater fungerer godt for opdrættede regnbueørred.

Tilvænnning: Mindre grupper af regnbueørreder kræver ca. 25 dages indlæring for at kunne bruge selvfodringsautomater korrekt, mens perioden til indlæring under storskala opdrætsforhold synes at være af mindre betydning for fiskens evne til at anvende systemet.

Spredning af foder: En mindre gruppe fisk (ca. 20-30%) dominerer selvudløseren og dermed fodringsaktiviteten for hele gruppen ved at fodre sig selv og resten af gruppen. Hvis fodret spredes over vandoverfladen og der skabes god vandstrøm, kan problemer med ujævn foderindtagelse reduceres mellem individerne. Social dominans er af mindre betydning i stor-skala opdræt, men det anbefales, at foderet spredes for at sikre at alle fisk tildeles foder. Spredning af fodret vil yderligere have den effekt, at reducere sammenstød mellem fisk under den begyndende foderaktivitet. På mindre opdrætsanlæg, hvor der er mulighed for håndfodring kan fiskenes fodringsadfærd og ædelyst nøje observeres, og således justere fodermængde og fodringsfrekvens efter fiskenes ædelyst (Novotny og Pennell 1996). Håndfodring af regnbueørred har under forsøg endvidere resulteret i bedre foderudnyttelse sammenlignet med automatfodring (Rasmussen og Ostenfeld 2000b). Forsøg med spredning af foder ved opsætning af flere selvfodringsautomater har vist hverken at have positiv effekt på foderindtagelse, foderudnyttelse eller fodringsadfærd. Regnbueørreder med adgang til tre selvfodringsautomater er observeret kun at anvende én automat ad gangen (Boujard *et al.* 2002).

Udfodret mængde: Størrelsen af den udfodrede mængde har betydning for, hvor jævnt fodret fordeles mellem individerne. Undersøgelser af den enkelte fisks foderindtagelse blandt grupper af regnbueørreder ved forskellige udfodringsniveauer viste, at øget

udfodring resulterer i en mere jævn fordeling af foder og tilvækst mellem individerne, og samtidigt mindsker styrken af dominanshierarkiet (McCarthy *et al.* 1992). Styrken af dominanshierarkier etableret under reduceret udfodring er således ikke permanente, men nedbrydes hurtigt når fodertilgængeligheden stiger, hvilket hjælper tidligere undertrykte fisk til i højere grad at få adgang til foder (Jobling og Koskela 1997). Desuden viser målinger af ryg- og halefinneskader hos unge regnbueørreder, fodret ved 4 forskellige niveauer, at styrken af det sociale hierarki bliver svagere med øget udfodring. Placering i dominanshierarkiet blev bestemt efter mængden af indtaget foder hos de enkelte individer (Moutou *et al.* 1998). Sammenhængen mellem udfodringsmængde og finneskader bekræftes af Gregory og Wood (1998).

Foderdosering: Selvfodringsystemer håndteres bedst og lettest ved at justere mængden af hver foderudløsning. Korrekt justering af denne dosering ("belønning") er den vigtigste faktor for at optimere vækst og foderkvotient ved anvendelse af selvfodringsystemer. For at opnå optimal fodringseffektivitet i større opdrætsenheder anbefales det, at hver aktivering udløser 0,03-0,05 g foder/kg fisk, afhængig af fiskestørrelse, temperatur og foderets energiindhold. Under høje og skiftende temperaturforhold kan det dog være nødvendigt at sænke doseringen eller begrænse den daglige foderadgang (Brännäs og Alanära 1994). I mindre opdrætsenheder bør doseringen for hver udløseraktivering være højere (Brännäs og Alanära 1994).

Fodringstidspunkter/ -hyppighed: Én af de vigtigste faktorer, der påvirker fødeadfærden og foderindtagelse hos laksefisk, er den daglige lys-mørke cyklus. Fødeaktiviteten hos regnbueørreder foregår primært i dagstimerne (Chen *et al.* 2002), og har ved selvfodring generelt to aktivitetstoppe, hhv. én ved daggry og én ved skumringstid. I forsøg hvor foderudløseren var placeret 2 cm over vandoverfladen, så fiskene ikke ved et tilfælde kunne svømme ind i og udløse den, foregik 98% af fodringen i lysperioden, uanset lys-mørke periodens længde (Boujard og Leatherland 1992). Foderudnyttelsen forbedres hos voksne fisk, hvis tilgængeligheden af foder er begrænset til de perioder, der falder sammen med de daglige toppe i appetit. To timers adgang om morgenen (daggry) og endnu to timer om aftenen (skumringen) anbefales hos voksne regnbueørreder til optimering af foderkvotienten. Ved forholdsvis store foder mængder anbefales dog hyppigere udfodringer (Alanära 1992), hvilket også er tilfældet ved høje bestandstætheder for at reducere dødeligheden og opretholde vækstraten (Holm *et al.* 1990). I projektets fase 2 forsøg syntes én daglig udfodring tilstrækkelig ved tætheder op til ca. 45 kg/m³, men for lidt ved tæthed på ca. 120 kg/m³ for opretholdelse af vækstrate (se bilag). Blandt opdrættere er der generel enighed om, at mindre fisk behøver flere måltider pr. dag end større fisk og at for få fodringer (uanset daglig foder mængde) øger størrelsesforskelle mellem individer i en gruppe fisk. En enkelt daglig fodring til mætning favoriserer sandsynligvis mere dominante fisk, som får en større foderandel i forhold til resten af gruppen og der udvikles markante

størrelsesforskelle. Dette er specielt tilfældet hos fisk som fodres til mætning over kort tid, hvilket resulterer i ”falsk” mætning (Pennell og McLean 1996). Fodring bør undgås om natten, når foderet er vanskeligt at lokalisere (sansse) og risikoen for foderspild dermed højere. Ligeledes har især vandets iltforhold betydning for foderoptimeringen. Fiskens aktivitet ved fodring, fordøjelse og foderomsætning får iltforbruget til at stige markant. For laksefisk kan der normalt forventes en stigning i iltforbruget på 40-50% eller mere i flere timer efter hver fodring (Wedemeyer 1996a), afhængig af den udfodrede energimængde. Hovedparten af daglige og sæsonmæssige fodringer bør derfor ikke placeres i perioder med lave ilt-niveauer i vandet (Novotny og Pennell 1996).

Bestandstæthed: Hos opdrættede regnbueørred påvirkes selvfodringsaktiviteten mere af bestandstæthed og konkurrence om foder end af foderets energiindhold.

Fodringsaktiviteten, målt som den samlede foderudløsning, topper ved tætheder mellem 24 og 36 kg/m³, hvor både lavere og højere tætheder reducerer aktiviteten. De højst rangerende fisks evne til at kontrollere en foderautomat reduceres dog ved høje tætheder. I en undersøgelse faldt andelen af den totale bideaktivitet på foderudløseren fra 66 til 15% hos de mest dominerende regnbueørreder efter flytning fra laveste til den højeste bestandstæthed, hhv. ca. 2 og 64 kg/m³ (Alanära og Brännäs 1996).

Faste

Det er ikke ualmindeligt for laks og ørred i naturen, at leve i længere perioder uden føde. Et eksempel er i løbet af vinteren, hvor temperaturen er lav. Et andet eksempel er under opgang til ferskvand inden gydning, hvor voksne laksefisk tilpasser sig fødemangelen i denne periode. Under opdræt fodres fiskene normalt ikke i én eller flere dage op til en sortering, flytning af fisk eller inden slagtning. Dette gøres primært for at reducere energiomkostninger og dermed iltkrav i forbindelse med foderomsætning og for at minimere udskillelsen af affaldsstoffer i transportvandet. Fysiologiske effekter af fastende fisk ses først efter længere tid. Det er vist, at det basale stofskifte begynder at falde hos regnbueørred efter 48 timers faste og efter ca. 60 timer er iltoptagelsen faldet med ca. 25% (Wedemeyer 1996a og 1997), men disse perioder vil dog afhænge meget af temperatur og fiskestørrelse.

Ophør af fodring af regelmæssigt fodrede regnbueørreder menes dog at have negative effekter for velfærd (FAWC 1996), og det vides, at sultne fisk er tilbøjelig til at være mere aggressive modsat fodrede fisk, som har markant færre finneskader (Pennell og McLean 1996). Det er bl.a. vist ved målinger af graden af finneerosion (Winfree *et al.* 1998). Dog forbedres finnetilstanden betydeligt igen hos laksefisk ved længerevarende faste (Pennell og McLean 1996).

6.2 Ål

Litteraturen omkring udfodring af ål af opdrætsrelevans er meget sparsom. Glasål og unge ål under 10-15 g benytter i højere grad lugtesansen frem for synet til lokalisering af foder, hvorimod det omvendte er gældende for større ål, hvor synet er det dominerende sansorgan. Den øvre grænse for pillestørrelse for effektiv fodring er bestemt af hhv. mundbredde, foderpillens fysiske natur og sult, den nedre grænse af mulighed for lokalisering. Optimal granulat- og pillestørrelse vurderes at være ca. 0,4-0,6 af mundens bredde (Knights 1983), som hos øvrige rovfisk (Pennell og McLean 1996).

Undersøgelse af Wickins (1983) viste, at øget fodringshyppighed eller spredning af foder i bassinet kunne hjælpe underordnede ål til en højere foderindtagelse (citeret i Knights 1985).

7. Tæthed

Som alle andre dyr har fisk behov for plads til normal adfærd i forhold til øvrige artsfæller og aktiviteter som fødeindtagelse m.v. (Wedemeyer 1996a). Odrætsvandet skal både opfylde visse plads- og fysiologiske krav (bære ilt og fortynde eller fjerne affaldsprodukter) og en lang række faktorer afgør den mulige tæthed i bassinet, herunder vandkvalitet, temperatur, vandflow, fiskeart, stamme, alder og størrelse, foderniveau- og fodringsmetoder samt fysiske opdrætsfaciliteter (dam, bassin, raceway, bur, m.v.) (Pennel og McLean 1996; Pickering 1992). Dette har givet anledning til forskellige måder at kvantificere fisketæthed på (Ellis *et al.* 2002):

<p>Bestandstæthed (rummelig) Anvendes f.eks. når fiskens adfærdsmæssige behov for rummelig fysisk plads skal angives (tæthedstolerance).</p>	$\frac{\text{Fiskevægt (kg)}}{\text{Vandvolumen (m}^3\text{)}}$
<p>Opdrætstæthed (rummelig) Anvendes som "Bestandstæthed"</p>	$\frac{\text{Antal fisk}}{\text{Vandvolumen (m}^3\text{)}}$
<p>Tæthedsindeks Anvendes f.eks. når fiskens fysiologiske og adfærdsmæssige behov for fysisk plads i forhold til kropstørrelse skal angives. Med øget fiskestørrelse stiger den anbefalede maksimale tæthed ved samme tæthedsindeks. Således tages højde for, at fiskens stofskifte og aktivitet falder med dens størrelsen (Pennel og McLean 1996).</p>	$\frac{\text{Fiskevægt (kg)}/\text{Vandvolumen (m}^3\text{)}}{\text{Fiskelængde (cm)}}$
<p>Individtæthed (bundareal) Anvendes f.eks. når bundfiskens adfærdsmæssige behov for fysisk bundareal skal angives.</p>	$\frac{\text{Antal fisk}}{\text{Bassinbundareal (m}^2\text{)}}$
<p>Bestandstæthed (bundareal) Anvendes som "Individtæthed"</p>	$\frac{\text{Fiskevægt (kg)}}{\text{Bassinbundareal (m}^2\text{)}}$

Vandudskiftningsraten og udfodringen er vigtige for fiskens sundhed og anvendes ofte i beregningen af et opdrætsanlægs maksimale kapacitet:

Bærekapacitet (metabolisk belastningstæthed) Et højere vandflow giver mulighed for en tilsvarende lineær stigning i fiskemængden.	$\frac{\text{Fiskevægt (kg)}}{\text{Vandflow pr. tid (l/min)}}$
Flowindeks/ Belastningsfaktor Anvendes som ”Bærekapacitet (metabolisk belastningstæthed)”, men tager endvidere højde for fiskens faldende stofskifte og aktivitet med dens størrelse, som ved ”Tæthedsindeks”.	$\frac{\text{Fiskevægt (kg)}/\text{Vandflow (l/min.)}}{\text{Fiskelængde (cm)}}$
Bærekapacitet (foder) Med stigende udfodring øges iltforbruget, der kan reguleres ved at variere vand- og/eller ilttilførsel.	$\frac{\text{Mængde foder (kg)}}{\text{iltforbrug (mgO}_2\text{/l/min)}}$

Der er lavet mange videnskabelige tæthedsforsøg med regnbueørred og andre laksefisk, mens litteraturen om tætheder af ål af opdrætsrelevans synes ikke-eksisterende.

7.1 Regnbueørred

Anbefalede tætheder

Opdrætstæthed (kg/m³)

De tætheder som fisk opdrættes ved, er i praksis baseret på erfaring og intuition, suppleret med vejledninger hentet fra håndbøger m.v. De vejledende tætheder for regnbueørred spænder fra 2 til 80 kg/m³, afhængig af opdrætssystem og fiskestørrelse. Opdrættere i Europa og Nord Amerika opererer typisk med tætheder mellem 15-40 kg/m³, med 60 kg/m³ som værende et maksimum. Højere tætheder (>90 kg/m³) er opnået ved øget anvendelse af beluftning, iltning og/eller øget vandflow (Ellis *et al.* 2002).

Af videnskabelige undersøgelser, som belyser effekten af tæthed hos regnbueørred, kommer flere med anbefalinger om maksimale opdrætstætheder, der minimerer negative effekter. En række af disse anbefalinger for regnbueørred er indsamlet af Ellis *et al.* (2002):

Opdrætstype	Maks. (kg/m ³)	Kilde
<u>Bassin</u>		
	≥267	Kebus <i>et al.</i> 1992
domesticeret:	196-261	Kindschi <i>et al.</i> 1991a
vildstamme:	<147	-
	>50	Mäkinen og Ruohonen 1990
	43	Rigolino <i>et al.</i> 1989
	40-80	Kincaid <i>et al.</i> 1976
<u>Raceway</u>		
0,5-30 g:	8-35	Wedemeyer 1996a
	≥88,5	Papoutsoglou <i>et al.</i> 1987
	160	Laks og Godfriaux 1981
	40-50	Papoutsoglou <i>et al.</i> 1980
	90	Piper 1970
<u>Netbur</u>		
FV:	≤40	Boydston og Hopelain 1977
FV:	>45	Kilambi <i>et al.</i> 1977
FV:	≥55	Collins 1972
SV:	20-25	Sahin <i>et al.</i> 1999
BV:	20	Teskeredzic <i>et al.</i> 1986
	4-8	Wojno 1976

FV = ferskvand; SV = saltvand; BV = brakvand.

Andre anbefalinger fundet i litteraturen om maksimale bestandstætheder af regnbueørred er vist herunder.

Maks. (kg/m ³)	Vurderet ud fra	Kilde
>80	Tilvækst og fysiologisk stress	North 2003
30	Appetit	Alanära 1996
40	Tilvækst, foderudnyttelse og vandkvalitet	Zoccarato <i>et al.</i> 1994
<10	Tilvækst	Baker og Ayles 1990
<35	Tilvækst og foderkvotient	Trezebiatowski <i>et al.</i> 1981
<30-40	Vurdering af fisketilstand ved observationer på opdrætsanlæg	FAWC 1996

Tæthedsindeks (kg/m³/cm)

Tætheden af laksefisk angives i megen nyere litteratur også som tæthedsindeks, dvs. afhængig af fiskestørrelse. Det anbefalede tæthedsindeks for regnbueørred i produktionsanlæg ligger typisk på maksimal 3,0-3,4 kg/m³/cm (Wedemeyer 1997; Pennell og McLean 1996; Klontz 1993; raceway: Colt og Orwicz 1991). Ved forskellige længder af regnbueørred anbefales således følgende maksimale tætheder :

6 cm : 18 – 20 kg/m³
 10 cm : 30 – 34 kg/m³
 15 cm : 45 – 51 kg/m³
 20 cm : 60 – 68 kg/m³
 25 cm : 75 – 85 kg/m³
 30 cm : 90 – 102 kg/m³

Tidligere er en tæthedsindeks på 0,5 anbefalet af Piper *et al.* (1982, ref. fra Pennell og McLean 1996), hvilket i praksis giver bestandstætheder på ca. 14 kg/m³ til ca. 50 kg/m³ for hhv. 1 og 50 g regnbueørred.

Det har længe været kendt, at laksefisk, der ikke vandrer ud i havet (ikke-anadrome), kan opdrættes ved høje tætheder i forhold til laksefisk, der vandrer mellem fersk- og saltvand (anadrome) (Wedemeyer 1996a). For steelhead regnbueørred i havbrug anbefales derfor et mindre maksimal tæthedsindeks på 1,5 kg/m³/cm (Klontz 1993), hvilket resulterer i følgende anbefalede maksimale opdrætstæthed for regnbueørred i havbrug ved forskellige fiskelængder:

25 cm : 38 kg/m³
 30 cm : 45 kg/m³
 40 cm : 60 kg/m³
 50 cm : 75 kg/m³
 75 cm : 113 kg/m³

7.2 Sammenligning mellem stammer og andre arter

Som vist herunder er der registreret forskelle i tæthedstolerancen mellem stammer og grad af domesticering hos laksefisk.

Forskelle i tæthedstolerancen hos vilde og domesticerede stammer af regnbueørred blev fulgt ved måling af fiskevægt, overlevelse, længde, foderkvotient, rygfinnetilstand, fiskesundhed og vandkvalitet (Kindschi *et al.* 1991a). Forsøget viste, at tolerancen for tæthed hos domesticerede regnbueørreder var betydelig højere, mellem 196 og 261 kg/m³, sammenlignet med tætheder fundet hos vilde regnbueørredstammer, mellem 30 og 147 kg/m³.

Mellem vilde stammer af samme art var der forskellig tolerance overfor tæthed, idet fisk fra én lokalitet voksede hurtigere ved høje tætheder end fisk fra anden lokalitet. Dette indikerer, at nogle vilde stammer egner sig bedre end andre til opdræt ved høje tætheder (Refstie og Kittelsen 1976).

Regnbueørred er mere tolerant overfor høje tætheder end andre ørred- og laksearter (Ellis *et al.* 2002), hvorfor opdrætstætheder for regnbueørred i praksis typisk er højere end for både stillehavs- eller atlantehavslaks. Dette på trods af, at iltforbruget hos regnbueørred er betragteligt højere end hos både coho- og chinook laks, hvilket betyder at færre regnbueørred teoretisk set kan opdrættes i et givent vandflow sammenlignet med laks. At det i praksis forholder sig lige omvendt forklares med adfærdsmæssige faktorer som domesticering og regnbueørred's større fysiologiske tolerance for tæthed (Wedemeyer 1996a). Regnbueørred tolererer på linie med bækørred (*Salmo trutta*) tæthedsfaktorer op til 3,0 kg/m³/cm. Derimod er repræsentative eksempler på tæthedsindeks for andre laksefisk lavere, hhv. 2,7 kg/m³/cm: coho laks (*Oncorhynchus kisutch*), og 2,0 kg/m³/cm: chinook laks (*Oncorhynchus tshawytscha*). Tæthedstolerancen hos atlantehavslaks (*Salmo salar*) er anderledes fordi arten i parr-stadiet (dvs. indtil smoltificering) også har et adfærdsmæssigt behov for adskilte fødeterritorier, hvor bundarealet er ligeså vigtigt som vandvolumen (Wedemeyer 1997).

7.3 Effekter af bestandstæthed

Det er ofte vanskeligt at adskille tæthedseffekter fra den forringede vandkvalitet, der typisk forekommer samtidig. Selv om ilt- og ammoniakniveauer holdes indenfor sikre grænser, kan en stigning i vandets partikelindhold føre til gælleproblemer ved højere bestandstætheder (Pennell og McLean 1996). Ellis *et al.* (2002) gennemgår 43 tidligere publicerede undersøgelser med resultater omkring vækst-, sundhed- og stressparametre hos opdrættet regnbueørred. Resultater fra denne litteraturgennemgang danner grundlaget for nedenstående præsentation af tæthedseffekter.

Dødelighed

Af de 23 undersøgelser der registrerede dødelighed, blev der fundet negative effekter i 10 (dvs. dødelighed stiger med øget tæthed), 10 fandt ingen påvirkning og 4 fandt en positiv effekt (dvs. dødelighed faldt med øget tæthed). I de få undersøgelser, hvor dødsårsagerne er nævnt, er de forklaret ved fysiske skader, infektioner forårsaget af éncellede hud-/gælleparasitter og kannibalisme (Ellis *et al.* 2002). I projektets fase 2 forsøg blev der kun registreret minimal dødelighed i alle grupper ($\geq 99\%$), og var ikke påvirket af tætheder op til 124 kg/m^3 (se bilag).

Lave bestandstætheder af regnbueørred har dog vist også at kunne forårsage øget dødelighed (Papoutsoglou *et al.* 1987). Således er der i et forsøg fundet en højere dødelighed ved 10 kg/m^3 sammenlignet med 40 og 80 kg/m^3 (North 2003).

Vækst, appetit og foderkvotient

Næsten samtlige undersøgelser omkring tæthedseffekter har målt vækstrate, hvoraf hovedparten fandt reduceret vækst med øget tæthed. Den reducerede vækst skyldes enten forringet appetit (foderaktivitet) og/eller dårligere foderkvotient (Alanärä 1996; Ellis *et al.* 2002) og dermed øget risiko for dårligere vandkvalitet og miljøbelastning. Eksempler på undersøgelser er beskrevet herunder:

- I projektets fase 2 forsøg medførte tætheder på op til 124 kg/m^3 en mindre, men dog signifikant lavere tilvækst og højere foderkvotient sammenlignet med tætheder på ca. 45 kg/m^3 (se bilag).
- I forsøg med unge regnbueørreder (14-19 cm) fandt Procarione *et al.* (1999) ved relativ høje tæthedsindeks forringet vækstrate ved 5,6 og $8,4 \text{ kg/m}^3/\text{cm}$ og foderkvotient ved $8,4 \text{ kg/m}^3/\text{cm}$ sammenlignet med lavere tætheder på $2,8 \text{ kg/m}^3/\text{cm}$.
- I fuldskala forsøg med 7 g regnbueørred var tilvæksten efter 210 dages opdræt ved de højeste opdrætstætheder (slut hhv. 68 og 50 kg/m^3) lavere end ved de laveste tætheder (slut hhv. 28 og 19 kg/m^3) (Miller *et al.* 1995).
- I vækstofforsøg over 12 uger blev fire grupper af regnbueørred (82 g) holdt ved to tætheder (start: 8 eller 16 kg/m^3) og to fodringsniveauer (1,3% eller 2% daglig udfodring af biomasse). Foderkvotienten var forbedret ved lavere udfodring og opdrætstæthed og tilvæksten faldt i følgende rækkefølge: lav tæthed + høj udfodring, høj tæthed + høj udfodring, lav tæthed + lav udfodring, høj tæthed + lav udfodring. Af undersøgelsen konkluderes det, at sluttætheder på 40 kg/m^3 ved høj udfodring vil være et acceptabelt niveau, i betragtning af udbytte, sluttørrelse og vandkvalitet (Zoccarato *et al.* 1994).
- Desuden har en række ældre undersøgelser vist forringet tilvækst ved stigende tætheder hos regnbueørreder (Papoutsoglou *et al.* 1987; Baker og Ayles 1990; Trzebiatowski *et al.* 1981; Refstie 1977).

Der er dog også undersøgelser, der ikke har fundet nogen signifikant negativ effekt på tilvækst:

- I projektets fase 2 forsøg voksede mindre regnbueørreder hurtigere end større artsfæller, men herudover blev der ikke målt signifikante tæthedseffekter mellem nogen af grupperne ved tætheder op til hhv. 75 og 92 kg/m³, hverken i tilvækst eller foderkvotient (se bilag).
- Tankbaserede forsøg (1,82 m³) over 9 måneder viste, at ved en god vandkvalitet var det muligt at opnå bestandstætheder over 80 kg/m³ uden at forårsage forskelle i vækstrater eller have negative effekter på velfærdsindikatorer (konditionsfaktor, kortisol, lysosym m.v.). Dog havde øget bestandstæthed en negativ effekt på finneerosion (North 2003).
- Øget tæthed havde ingen signifikant betydning for tilvækst, konditionsfaktor eller slagtekroppens sammensætning (Winfrey *et al.* 1998).

Det påpeges, at der også kan opnås dårlig foderaktivitet hos regnbueørred ved forholdsvis lave bestandstætheder (Ellis *et al.* 2002).

Størrelsesvariation

Ud af fire undersøgelser omkring størrelsesforskelle i en gruppe fisk, dokumenterede én større størrelsesvariation med øget tæthed, mens de øvrige ikke fandt nogen effekt (Ellis *et al.* 2002). I projektets fase 2 var der ingen konsekvent effekt af hverken tæthed eller hyppighed af daglig udfodring på størrelsesforskellen mellem individerne (målt som standardafvigelse) (se bilag). Også forholdsvis lave bestandstætheder kan forårsage større størrelsesvariation mellem regnbueørreder (North 2003). Det vil dog ikke være hensigtsmæssig at tolke for meget på forskelle mellem forsøgsresultater, idet størrelsesvariationen i høj grad kan påvirkes af udfodringsmetoden, som kan ligge skjult i resultaterne.

Stressindikatorer

Målinger af primære og sekundære stressrespons har foreløbig ikke konsekvent kunnet bevise at regnbueørreder stresses af høj tæthed (Ellis *et al.* 2002). Modsat har relativt lave bestandstætheder vist øget stressrespons, f.eks. ved øget stigning i plasma-kortisolniveau (North 2003). Endvidere er der målt et højere (rutine) stofskifte hos dominerende ørreder ved lav tæthed, hvilket muligvis skyldes et højere energiforbrug hos denne gruppe til territorialt forsvar (Li og Brocksen 1977). I undersøgelser med tætheder op til 72 og 267 kg/m³ blev der ikke fundet effekter af bl.a. plasma-kortisol, -glukose og -klorid (hhv. Laidley og Leatherland 1988; Kebus *et al.* 1992), og tilsvarende stressmålinger kunne desuden ikke forklare den reducerede vækst hos voksne regnbueørreder ved tætheder op til 160 kg/m³ (Procarione *et al.* 1999). Svømmeaktiviteten er dog målt at være højere ved en meget høj tæthed (267 kg/m³) og konkurrencen om foder mere aggressiv end ved lavere tæthed (56 kg/m³) (Kebus *et al.*

1992). Dette støttes endvidere af en anden undersøgelse, hvor der gennemsnitlig blev målt 60% større svømmeaktivitet ved højeste tæthed (60 kg/m^3), sammenlignet med lavere tætheder (15 og 30 kg/m^3) (Cooke *et al.* 2000). Uanset tæthed var fiskene relativt inaktive midt på dagen, mens aktiviteten steg i de mørke perioder. Et større energiforbrug ved højere tætheder betød, at iltoptagelsen blev estimeret til at være højere her. I andre undersøgelser er der dog ikke fundet forskelle i energi- eller iltforbruget ved stigende tæthed op til hhv. 100 og 295 kg/m^3 (Lefrancois *et al.* 2001; Kindschi *et al.* 1991b).

Ellis *et al.* (2002) gennemgår endvidere effekten af høj tæthed på andre stressrelaterede parameter:

- Hæmatokrit: Af syv undersøgelser fandt fem ingen tæthedseffekt, én kom ikke frem til nogen konklusion og én fandt forhøjet hæmatokrit
- Mængden af hvide blodceller (leukokrit): Af tre studier fandt ingen tæthedseffekt
- Tarmens slimlag: Én undersøgelse fandt ingen tæthedseffekt
- Cellekernediameter af binyrer: Ingen tæthedseffekt målt

Ernæringsstatus

Konditionsfaktor (individvægt/længde³) beskriver fiskens ernæringsstatus, der forringes ved højere tæthed i hovedparten af undersøgte studier omkring tæthed (Ellis *et al.* 2002).

Finnetilstand

Finneskader kan være voldsomme hos laksefisk og af syv studier, hvor finneskader blev vurderet, fandt hovedparten negative tæthedseffekter. Finneskader menes at være tillagt en række årsager, inklusiv forringet vandkvalitet, finnebid fra artsfæller, infektion og/eller slitage forårsaget af enten artsfæller eller opdrætsbassinets sider/bund (Ellis *et al.* 2002). I et fuldskala forsøg med 7 g regnbueørred resulterede tætheder op til 68 kg/m^3 i højere grad finneerosion, uden på anden måde at påvirke fiskens sundhedstilstand (Miller *et al.* 1995). Samme erfaring er opnået i forsøg med tætheder op til 80 kg/m^3 (North 2003). I en gennemgang af i alt 600 opdrætsanlæg med bl.a. regnbueørreder blev én af de bedste korrelationer fundet mellem øget tæthed og finneerosion (Bosakowski og Wagner 1994). Winfree *et al.* (1998) fandt i et 22 ugers forsøg med steelhead regnbueørred, at rygfinneindeks (DFI) var signifikant påvirket ved stigende tæthed. En sådan finneerosion blev dog ikke fundet af hverken Kindschi *et al.* (1991a) ved stigende tætheder af regnbueørred op til 261 kg/m^3 , eller i projektets fase 2 (op til 124 kg/m^3), hvor vurderingen af ryg-, gat-, hale-, fedt-, bryst- eller bugfinner ikke viste nogen konsekvent sammenhæng mellem tæthed og finnetilstand (se bilag).

Andet

Laksefisk påvirkes af pludselige ændringer i bestandstætheden, men er i stand til at tilpasse sig nye tætheder. Under opdræt er den almindelige erfaring, at fisk kræver tid til omstilling efter at være flyttet eller efter, at der er foretaget ændringer i bestandstætheden, inden fiskene igen fordeler sig jævnt i opdrætsbassinet. Det er desuden vist, at en pludselig ændring i tætheden har en markant negativ effekt på tilvæksten hos steelhead regnbueørreder (Pennell og McLean 1996).

8. Vandmiljøkvalitet

Vandet skal sikre fiskenes pladsmæssige og fysiologiske behov ved tilførsel af ilt og fjernelse af affaldsprodukter fra stofskifte. Opmærksomheden er ofte rettet mod niveauet af ilt og ammoniak som værende vigtige vandkvalitetsparametre. En øget anvendelse af vandrecirkulering og iltning med ren ilt, har også betydet negative effekter med ophobning af kuldioxid og kvælstofholdige affaldsprodukter ud over ammoniak (Ellis *et al.* 2002), men også partikulært suspenderet stof bør også nævnes her.

Fisks tolerance overfor vandkemien er påvirket af mange faktorer, så det er ikke let at angive eksakte parametre og niveauer, der i alle tilfælde giver optimal miljø- og opdrætsforhold. Fisk kan f.eks. ofte tolerere visse ændringer i en enkelt vandkvalitetsparameter (f.eks. iltreduktion eller temperaturstigning), men i kombination med andre ændringer bliver den dødelig. Opvarmning af vand fremmer generelt fisks appetit og vækst, men opvarmningen reducerer uheldigvis samtidig vandets iltindhold og øger fiskenes iltforbrug og stofskiftehastighed. F.eks. medfører opvarmning af vand fra 9°C til 15°C, at vandets iltindhold reduceres med ca. 13%, mens stofskiftrate og ammoniakudskillelsen i et forsøg er målt at stige med hhv. 68% og 99% hos 100 g regnbueørred (Klontz 1993). Endvidere varierer effekten af vandkvalitet med art, størrelse og fiskens alder, samt af fiskens tidligere oplevelse for ændringer i vandkvalitetsparametre. F.eks. har æg, larver og unge stadier hos fisk ofte strengere vandkvalitetskrav sammenlignet med voksne (Rowland 1992). Yderligere kan bestemte vandparametre, herunder især total hårdhed, pH, opløst ilt og temperatur, ændre virkningen af giftige forbindelser såsom ammoniak og metaller. På trods af de komplekse elementer, der er involveret, eksisterer der en bred overensstemmelse omkring nogle af de vandkvalitetsforhold, der er nødvendige for god fiskesundhed i intensiv opdræt (Wedemeyer 1996a og 1997; Wickins 1980).

I det følgende beskrives flg. vandkvalitetsparametre, som i litteraturen påpeges at have betydning for fiskesundhed/-velfærd:

- Ilt (O₂)
- Temperatur
- pH
- Kuldioxid (CO₂)
- Alkalinitet
- Hårdhed
- Ammoniak/Ammonium (NH₃/ NH₄⁺)
- Nitrit (NO₂⁻)
- Nitrat (NO₃⁻)
- (fortsættes)

Suspenderet stof (SS)
 Svovlbrinte (H₂S)
 Tungmetaller

8.1 Ilt (O₂)

Den maksimale mængde ilt, der kan opløses i vand afhænger af adskillige parametre inklusiv temperatur, salinitet, højde og tryk. Iltindholdet udtrykkes ofte i procent mætning i forhold til den naturlige maksimale opløselighed, der angives som mgO₂ pr. liter. F.eks. 100% mætning ved 10°C rent ferskvand svarer til et iltindhold på ca. 11 mg/l, mens en tilsvarende mætningsgrad ved 20°C svarer til ca. 9 mg/l.

I litteraturen skelnes ofte mellem 3 iltniveauer, som kan påvirke fisken og det omgivende miljø:

- 1) Normoxi, hvor fiskens normale vækst og adfærd altid er tilgodeset
- 2) Hypoxi (lavt iltniveau), hvor fisken skal foretage fysiologiske reguleringer for at skaffe tilstrækkelig ilt til normale funktioner, som foderomsætning, vækst og svømning. Ved streng hypoxi påvirkes dog også basale funktioner som osmoleguling (salt-vand balance).
- 3) Hyperoxi (ilt-overmætning), hvor vandet er mere end 100% iltmættet, så der er et overskud af ilt til fiskens normale funktioner.

2) og 3) kan have uheldige effekter på fiskens trivsel, og beskrives nærmere herunder.

Lavt iltniveau (hypoxi)

Lavt iltniveau (hypoxi) kan i fiskeopdræt især forekomme som følge af:

- Temperaturstigning
- Reduceret vandtilførsel
- Høj fisketæthed
- Høj udfodring og foderomsætning
- Højt indhold af organisk materiale i vandet (foderrester, fækalier eller indført med indløbsvand)
- Døgnvariation i forholdet mellem fotosyntese (iltproduktion) og respiration (iltforbrug)

Endvidere, hvis gællerne har en overproduktion af slim som følge af irritation af partikler eller ændring i vandkemi, kan gællerne slimes så meget til, at slimen, trods tilsyneladende gode iltforhold, danner en barriere for iltoptagelsen.

Fisk har som følge af svingninger i naturlige vandmiljøer udviklet adaptive mekanismer, der stimuleres når iltindholdet ændrer sig. Ved akut iltudfyld stimuleres en række mekanismer, der giver fisken mulighed for at opretholde iltoptagelsesraten, bl.a.

ved stigning i frekvensen af gælleventilation og det effektive gælleareal hvorover iltoptagelsen sker. Med tiden vil antallet af røde blodlegemer (hæmatokrit) stige og blodets kapacitet til at optage ilten fra vandet forbedres. Det tager uger, inden fisken fysiologisk fuldt ud er tilpasset til et lavere iltindhold. Hvis ændringer i iltniveauet sker langsomt over flere uger og måneder, f.eks. med årstiden fra vinter til sommer, hvor iltindholdet typisk falder som følge af stigende vandtemperatur, foregår der en løbende tilvænnning hos fisken.

Et akut fald i iltniveauet medfører et stressrespons hos mange arter, men ikke alle. I stedet for at gå i panik og udvise stress, reagerer nogle fiskearter overfor hypoxi ved øjeblikkelig at nedregulere den metaboliske aktivitet - en tilpasset reaktion der kaldes metabolisk sænkning, som forhindrer et alvorligt fald i plasma-pH. Kapaciteten for metabolisk sænkning er artsafhængig, med laksefisk som havende dårlige egenskaber og ål og karper havende gode egenskaber (Wendelaar Bonga 1997).

Skadevirkning

Nødvendigheden af ilt i intensiv opdræt er indlysende, idet fiskene som regel går tæt, og der udfodres intenst med et meget energiholdigt foder. Ved ilttyk er der stor risiko for en forringet foderomsætning og for at fiskenes basale iltkrav ikke opfyldes (se fig. 2), hvilket iflg. Wedemeyer (1996a) kan føre til:

- Dårlig appetit
- Respiratorisk stress ved hyperventilation og nedsat ilttransport til vævene da mælkesyre forringer blodets iltoptagelse
- Kvælning og død

En reduktion af vandets iltindhold i de sidste stadier af fosterudviklingen hos laksefiskæg vil føre til et tidligere klækketidspunkt (Groot 1996). I de tidlige livsstadier vil et lavt iltindhold forlænge varigheden af blommesækstadiet og resultere i mindre yngel (Pennell og McLean 1996).

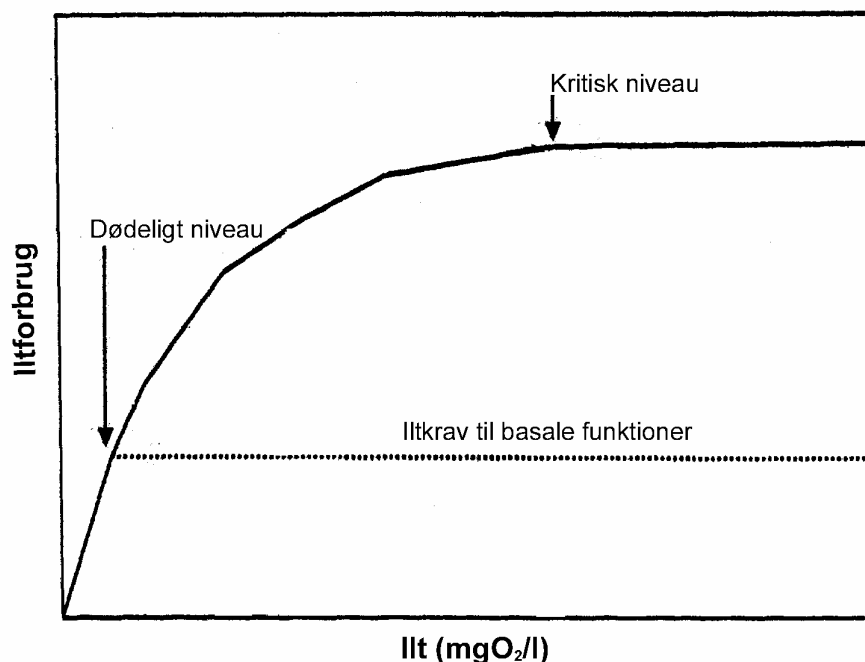


Fig. 2: Fiskens iltforbrug er ikke påvirket af iltniveauer, der ligger over fiskens kritiske iltgrænse. Under dette kritiske niveau reduceres iltforbruget i stigende grad med en faldende iltkoncentration, indtil fisken kun er i stand til at udvinde den iltmængde, som dækker fiskens allermest nødvendige iltkrav (standardmetabolisme). Herunder vil fisken dø af kvælning (modificeret tegning fra Ellis *et al.* 2002, oprindelig fra Erichsen Jones 1964).

Anbefalede minimale iltniveauer for hvornår skadevirkningerne af lavt iltindhold indtræder er kompliceret af en række omgivende faktorer som:

- Temperatur. Stigende temperatur øger fiskes stofomsætning og dermed iltkrav
- Fiskestørrelse. Øget fiskestørrelse reducerer gradvis det basale iltkrav (dvs. iltforbrug pr. kg fisk)
- Foderniveau. Stigende udfodret energi øger fiskens iltforbrug
- Kuldioxid (CO₂). Stigende CO₂-koncentration øger fiskens krav til vandets iltindhold, som følge af reduktion i blodets iltbærekapacitet. Dvs. fisken oplever iltmangel selv om vandet tilsyneladende indeholder tilstrækkeligt ilt. For laksefisk er der anbefalet et minimalt iltniveau på ca. 6 mg/l, når ingen eller kun lidt CO₂ er tilstede, der stiger til mere end 11 mg/l, hvis den opløste CO₂-koncentration bliver 30 mg/l (Wedemeyer 1996a)
- Ammoniak (NH₃). Stigende NH₃-koncentration øger iltkravet som følge af ammoniaks giftighed. I akutte giftforsøg med unge regnbueørred er der fundet en stigende NH₃-giftighed (højere dødelighed) med faldende iltniveau i iltspekteret 2,6-8,6 mg/l (Thurston *et al.* 1981)
- Andre giftstoffer. Stigende indhold af giftstoffer øger generelt kravet til vandets iltindhold. Forsøg viser, at lavt iltniveau kan øge stresseffekter af giftstoffer eller øge risikoen for sygdom (Smart 1981)

Tolerancer

Iltbehovet hos fostre af laksefisk ændres med deres udvikling. For æg er et anbefalet minimal niveau indtil øjenægstadiet 6 mgO₂/l og herefter indtil klækning op til 11 mg/l (ved 10°C). Efter klækning anbefales et opløst iltniveau på mindst 7,8 mg/l for maksimal beskyttelse (Barton 1996). Årsagen til et højere iltbehov i det sidste fosterstadium, er at den begrænsede effektive overflade til iltoptagelse over ægkaplen (Groot 1996).

Generelt gælder det, at ved iltniveauer under ca. 5 mg/l tager laksefisk ikke føde til sig - formentlig en adfærd der skal forhindre den normale stigning i iltoptagelse, som følge af fodring og fordøjelse. Det minimale iltniveau for overlevelse ligger hos laksefisk på ca. 2 mg/l (Wedemeyer 1996a).

Da fisks iltbehov i høj grad afhænger af udfodring, stiller de moderne energirige fodertyper specielle krav til vandets iltindhold. Dette betyder, at selv relativt ny videnskabelig litteratur i denne sammenhæng er forældet. F.eks. en tidligere anbefalet grænseværdi for regnbueørred på 4-4,5 mg/l (Alabaster og Lloyd 1980) og 3-4 mg/l for ål (Wickins 1980) kan sikre normal adfærd og svømmepræstation, men vides ikke at være tilstrækkelig under intensive opdrætsforhold. Grænseværdier angivet senere er således øget til minimum 6 mg/l for laksefisk og 5 mg/l for ål (Wedemeyer 1996a og 1997), men også disse niveauer er i mange tilfælde af begrænset nytte, med mindre udfodringen reduceres ved højere temperaturer. Med udgangspunkt i bedst mulig foderudnyttelse hos regnbueørred anbefales af foderfirma f.eks. iltniveauer på minimum ca. 5,5 og 8,3 mg/l ved hhv. 5 og 20°C, svarende til 42 og 91% iltmætning (se fig. 3, BioMar foderkatalog 2000).

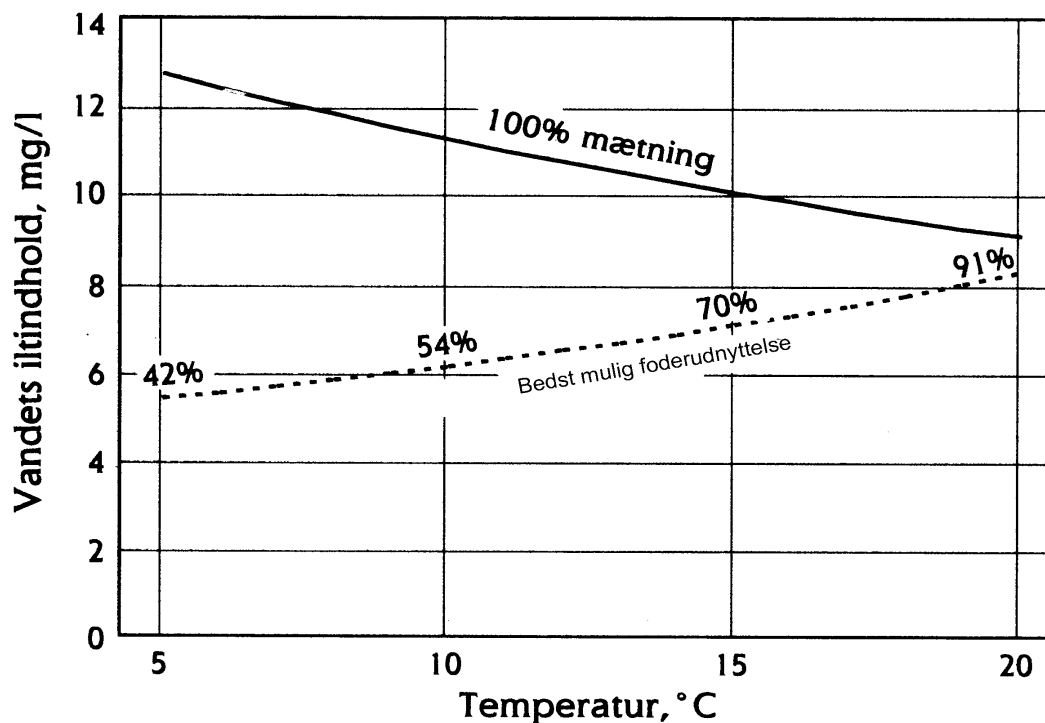


Fig. 3: Bedst mulig foderudnyttelse fra regnbueørred i relation til vandets iltindhold ved forskellige temperaturer. Den stiplede linie illustrerer minimale ilt-niveauer for fuldt iltmættet blod ved forskellige temperaturer. Den fuld optrukne linie viser, hvor meget ilt der er til rådighed i vandet ved 100% mætning (BioMar foderkatalog 2000).

Gasovermætning

Gasovermætning er en situation, hvor vandets mætningsgrad med gas, dvs. vandets totale gastryk, overstiger 100%. I fiskeopdræt er det hovedsagelig ilt og kvælstof (N_2), der under visse omstændigheder kan forårsage overmætning. Under normale forhold er det samlede gastryk i vandet i balance med trykket af atmosfærens luftarter (ilt, kvælstof, argon og kuldioxid) – ialt et tryk på ca. 760 mmHg ved havoverfladen. Dog ændrer denne balance sig let i vand under forskellige naturlige eller kunstige forhold (Wedemeyer 1996a) :

- Opiltning med ren ilt
- Kilde eller borevand overmættet med kvælstof
- Alger og vandplanters fotosyntese
- Temperaturændring hvor koldt luftmættet vand opvarmes. En tommelfingerregel er, at for hver 1°C stigning stiger mætningsgraden med ca. 2%-point. Dvs. opvarmning af luftmættet vand med 5°C vil resultere i overmætning på ca. 110%
- Luftlækage på sugesiden af centrifugalpumper ("falsk luft")

Der er udviklet forskelligt afgasningsudstyr, der kan reducere overmætning til acceptable værdier ved at:

- Øge opblanding af vandet
- Øge overfladen til gasudveksling ved beluftning eller ”slå vandet i stykker” over rist, pisker eller lign.

Skadevirkning

Gasovermættet vand er en signifikant kilde til fisesundhedsproblemer, pga. risikoen for dykkersyge. Blod og væv indstiller sig hurtig i en ligevægt med de partielle tryk af opløste gasser i vandet. I tilfælde hvor vandet gasovermættes, vil blod og væv også blive overmættet. Hvis det omgivende gastryk falder for hurtigt til, at transporten (diffusion) af overmættet gas fra blodet til vandet og videre op i atmosfæren ikke sker hurtig nok, dannes gasbobler - samme princip som når en sodavand åbnes. Gasbobler dannet i fisken kan forårsage dykkersyge (McLeod 1978).

Gasbobler udvikles først i blodsystemet og bliver hurtigt transporteret til hud, finner og mund, hvor boblerne let kan ses. Bobler dannet i hjertet eller vitale organer kan fysisk blokere blodcirkulationen, der normalt forårsager dødsfald. Synlige gasbobler vil også dannes hos blommesækkyngel, hvilket får dem til at flyde rundt med bugen opad så de siden dør (Wedemeyer 1996a).

Der er dog stor forskel på om det er atmosfærisk luft eller ren ilt, der er årsag til gasovermætningen i vandet. Se afsnit om ”Tolerancer”.

Tolerancer

Total gasovermætning :

Langt hovedparten af litteraturens anbefalinger om grænseværdier for gasovermætning (total gastryk) ligger på maksimalt mellem 103 og 110% (Barton 1996; Braaten 1986), hvor æg, yngel og larver af laksefisk er de mest følsomme, dernæst smolt og med voksne som mest robuste overfor gasovermætning (Wedemeyer 1996a). 110% anses dog for at være for høj ved kronisk overmætning på lavt vand og være for lav på vandyber over 1 m. Hos ål er det angivet tolerance for N₂ -overmætninger >100% (Mortensen 1989).

Afhængig af art, grad af overmætning og temperatur kan nogle arter registrere (føle) og undgå overmættet vand, mens andre ikke besidder denne egenskab. Regnbueørred og de fleste stillehavslaks kan generelt registrere, og vil forsøge at undvige hhv. 125% og 145% mætning, men ingen af dem vil undvige 115% (Wedemeyer 1996a).

Opdrætserfaringer har vist, at atlanterhavslaks (*Salmo salar*) og sø-ørred (*Salvelinus namaycush*) typisk er mere følsomme overfor gasovermætning end andre laksefisk (Colt *et al.* 1991).

Iltovermætning:

Mange arter er robuste overfor et højere iltindhold (hyperoxi), men hurtige skift i iltrykket bør undgås, især fra overmætning til lavere iltmætning (Colt *et al.* 1991). At overmætning med ren ilt oftest er et meget mindre fiskesundhedsproblem end overmætning med inaktive gasser, som N₂, der ikke forbruges i fiskens stofskifte skyldes, at fiskens stofskiftet med tiden vil fjerne alle iltbobler, der dannes. Specielt er det dog med overmætning med ren ilt under intensive opdrætsforhold eller transport, hvor blodets CO₂-indhold samtidig risikerer at stige (se afsnittet om CO₂). Tilvæksten stiger generelt ikke under iltovermætning (hyperoxi) og kan i modsat fald hæmmes hos nogle arter (Wedemeyer 1996a).

Resultater for regnbueørred i forsøg med iltovermætning er beskrevet herunder:

- Regnbueørreder opdrættet i iltovermættet vand (147-220% mætning i ca. 70 dage) havde ingen forskellig vækst, overlevelse eller adfærd sammenlignet med kontrolfisk (ca. 70% mætning). Ved ophør af iltovermætning justerede fiskene hæmoglobin og hæmatokrit til niveauer, der lignede niveauer hos kontrolfisk (Jewett *et al.* 1991).
- Vækst og foderomsætning blev ikke påvirket hos regnbueørred (200-300 g) i et 10 ugers forsøg ved hhv. hypoxi (65%), normoxi (100%) eller overmætning (130%) ved 13-15°C, 1,1% daglig udfodring og tæthed på ca. 120 kg/m³ (Caldwell og Hinshaw 1994).
- Hos små regnbueørreder (ca. 6 g) opdrættet ved >180% iltmætning, hvor N₂-mætningen var reduceret til 80% og et total gstryk på max. 105-110%, blev der ikke observeret problemer med dykkersyge (vækst, foderkvotient eller dødelighed) (Edsall og Smith 1990).
- Regnbueørred opdrættet ved 130% iltmætning udvikler med tiden et lavere indhold af hæmoglobin og reducerer antallet af røde blodceller (hæmatokrit) (Caldwell og Hinshaw 1994) og opdræt ved 150% iltmætning er fundet at hæmme den normale modstandsdygtighed overfor rødmundssyge (Wedemeyer 1996a).
- Regnbueørreder udsat for ekstrem høj iltovermætning i 7 dage ved >42-46 mg O₂/l (ca. 400%) ved 15°C, forårsagede øget dødelighed (Colt *et al.* 1991).

Ål udsat for iltovermætning i 21 dage ved 27 mg O₂/l (ca. 270% ved 15°C) havde ingen forhøjet dødelighed (Colt *et al.* 1991).

8.2 Temperatur

Det temperaturinterval, som fisk kan tolerere, er hovedsagelig genetisk bestemt, men påvirkes af tidligere oplevet temperaturforhold, og af foder- og iltniveau, samt mængden og typen af opløste stoffer i vandet. Dødelige temperaturværdier kan derfor variere med adskillige grader. I de fleste opdrætssituationer vil optimal vandtemperaturer for fiskesundhed og vækst således være af større interesse end øvre og nedre dødelige grænser (Wedemeyer 1996a).

Skadevirkning

Fiskesundheden i intensiv opdræt kan både påvirkes af både varierende og ekstreme vandtemperaturer. Hver art har et temperaturområde, som de trives indenfor, men vedvarende temperaturer ud over dette område, eller hurtigt temperaturskift kan være stressende eller endog dødelig (Wedemeyer 1996a). Laksefisk og andre vigtige intensiv opdrættede koldvandsarter har et relativt snævert temperatortoleranceområde og er relativ følsomme overfor hurtige skift i vandtemperatur selv indenfor dette område (Wedemeyer 1996a).

På trods af at en gradvis vandtemperaturændring på 10°C eller mindre over en periode på flere timer sjældent giver problemer for fiskens sundhed, vil en ændring på 10°C i løbet af nogle minutter forårsage stressrespons hos laksefisk, der kræver ca. 24 timers restitution. Ud over den direkte temperatureffekt, kan høje temperaturer fremme udbrud af infektiøse sygdomme og øge giftigheden af opløste stoffer (f.eks. NH₃). Hurtige temperaturskift på 10°C eller mere kan få latent hvilende infektioner til at bryde ud. Fisk der bærer bakterien *Aeromonas hydrophila* (ferskvandsrødsyge) uden, at vise tegn på sygdom, er langt mere følsomme overfor temperaturændringer sammenlignet med ikke-inficerede fisk. Sådanne aktiverede infektioner er ofte årsag til dødelighed som følge af hurtig temperaturstigning (Wedemeyer 1996a).

De fysiologiske mekanismer, der er ansvarlige for dødelighed ved høje temperaturer, er ikke helt kendte, men forstyrrelser i fiskens saltregulering menes at være en hovedårsag (osmoregulatorisk kollaps). Adskillige andre faktorer bidrager også, herunder et jævnt fald i blodets iltindhold med øget temperatur. Dødelighed som følge af lav vandtemperatur (kuldedød) involverer sandsynligvis fysiologiske mekanismer, der minder om dem, som er ansvarlige for varmedød. Øget salinitet med natrium-, magnesium- og calcium-ioner giver en vis grad af beskyttelse mod effekterne af høj temperatur hos de fleste ferskvandsfisk ved at hjælpe fisken til at opretholde sit indre saltindhold (Wedemeyer 1996a).

Tolerancer

I litteraturen angives både optimale temperaturer og minimale/maksimale grænseværdier for fiskenes absolutte toleranceområde. Barton (1996) har indsamlet anbefalede optimale temperaturer for produktion af regnbueørred:

Optimal temperatur for regnbueørred (°C)	Kilde (iflg. Barton 1996)
13 - 22	Coutant 1977
10 - 22	Elliot 1981
16,5 - 17,2	Jobling 1981
10 - 16	Piper <i>et al.</i> 1982
12 - 18	Raleigh <i>et al.</i> 1984
10	Pauley <i>et al.</i> 1986

Endvidere er optimal temperaturinterval for vækst i havvand for 55 g regnbueørred fundet at være 8-14°C (Jürss *et al.* 1987 fra Clarke *et al.* 1996). Der er ikke fundet kilder af nyere dato, men en anbefalet optimal temperatur på 22°C for regnbueørred må med sikkerhed afvises under intensiv opdræt med moderne energirige fodertyper. Tilsvarende temperaturer for optimal vækst hos ål ligger på mellem 22 og 27°C, dog med nogen variation i den øvre optimale grænseværdi (Heinsbroek og Kamstra 1995; Seymour 1989; Sadler 1979; Mortensen 1989).

Optimal vandtemperatur for gydning, æginkubation og smoltudvikling er generelt lavere end den optimale temperatur for vækst (Wedemeyer 1996a). Naturlige vandløb, som regnbueørreden anvender til gydning, er kolde, klare og godt iltede. Vandtemperaturen i gydevandløb spænder fra 4 til 13°C og er gennemsnitlig 8°C. Optimal temperatur for inkubering af æg er mellem 7 og 12°C (Groot 1996). Temperaturer op til 20,5°C har vist at have negative effekter for de senere stadier af moderfiskens ægudvikling og den efterfølgende ægkvalitet (Davies og Bromage 2002). Fisk er naturligt i stand til at tolerere temperaturer, der ligger langt udenfor det optimale niveau for produktion. I litteraturen er følgende generelle øvre og nedre temperaturtolerancer hos regnbueørred og ål fundet:

Temperatur (°C)	Min.	Maks.	Bemærkning	Kilde
Regnbueørred	0	26		Wedemeyer 1996a
Regnbueørred		24,9-26,3	Iflg. Charlon <i>et al.</i> 1970 Akklim. 12-24°C	Alabaster og Lloyd 1980
Regnbueørred		26,5	Iflg. NAS 1972	Barton 1996
Regnbueørred		23,9	Iflg. Pauley <i>et al.</i> 1986	Barton 1996
Ål		33-39	Små ål. Akklim. 14-29°C	Sadler 1979
Ål	<10	>30		Mortensen 1989

Der er dog fundet afvigelser fra ovenstående anbefalinger i forhold til fiskens udviklingstrin og omgivelser. I undersøgelser med regnbueørred er det vist at lave temperatur (1°C) kan påvirke den aktive salttransport over gæller og nyrer, hvilket reducerer fiskens evne til nødvendig saltregulering (Finstad *et al.* 1988). Der er dokumenteret forholdsvis høj dødelighed hos regnbueørred omtrent i fuldstyrke havvand (30‰) når temperaturen falder til 0°C (Clarke *et al.* 1996).

For optimal smoltudvikling hos steelhead regnbueørred bør temperaturen i månederne inden overførsel til havvand holdes på mellem 7 og 10°C , men fisken kan dog tolerere temperaturer mellem 5 og 12°C (Groot 1996). Smoltudviklingen er næsten hæmmet fuldstændig ved $\geq 13^{\circ}\text{C}$ (Wedemeyer 1996a). Temperaturen i ferskvand inden overførslen til saltvand har vist sig vigtig. Under forsøg er der fundet en højere dødelighed ved direkte overførsel fra 8°C ferskvand til 1°C saltvand sammenlignet med isothermisk overførsel fra 8 til 8°C . I en sammenligning mellem tre forskellige temperaturer var overlevelsen desuden bedst ved isothermisk overførsel af smolt af regnbueørred ved 11°C , sammenlignet med 5 og især 17°C (Clarke *et al.* 1996).

Hvor hurtig vandtemperaturen kan ændres uden at overskride fysiologisk tolerancegrænser, mangler endnu at blive belyst. I dag anbefaler de fleste opdrættere, at fisk gradvis bør tilvænnes til varmere eller koldere vand over en periode på to eller flere timer, hvis temperaturforskellen er $>10^{\circ}\text{C}$ (Wedemeyer 1996a).

8.3 pH

pH værdien angiver vandets surhedsgrad, hvor pH 7 er neutral, $\text{pH}<7$ er surt (overskud af H^+) og $\text{pH}>7$ er basisk (overskud af OH^-). pH bestemmes på logaritmisk skala således, at f.eks. pH 6 er 10 gange surere end pH 7 og 100 gange så surt som pH 8.

I vandløb og ferskvandssøer med megen plante- og algevegetation kan der på meget solrige dage naturligt forekomme store pH-udsving pga. fotosyntesen som er dominerende om dagen (basisk) og respiration om natten (surt).

I intensiv fiskeopdræt er vandets pH især afhængig af kuldioxid (CO_2) og ammoniak (NH_3), der er affaldsstoffer fra fiskens foderomsætning. CO_2 er en svag syre, der ved opløsning i vand sænker vandets pH, hvorimod NH_3 hæver pH. Det betyder, at et højt CO_2 -indhold kan reducere giftigheden af NH_3 ved at holde pH nede. Især CaCO_3 (dvs. høj hårdhed og alkalinitet) øger vandets bufferkapacitet ved at minimere pH-udsving. Hvis vandets hårdhed er lav (<50 mg/l som CaCO_3), kan der i bassiner med høj tæthed forekomme større pH-fald, men selv ved gode bufferegenskaber (>100 mg CaCO_3 /l) kan pH variere med én eller to enheder som følge af fiskenes CO_2 -produktion (Pennell og McLean 1996 og Wedemeyer 1996a).

Fisk i saltvand oplever normalt ikke lav pH, idet saltvand har en naturlig høj bufferkapacitet (Wedemeyer 1996a).

Skadevirkning

Fisk der udsættes for meget surt vand udviser uregelmæssig svømmeadfærd, snapper efter luft i overfladen eller vil ligefrem forsøge at springe ud af vandet. For lav pH medfører beskadigelse af gælleepitelet, hvilket konstateres ved kraftig slimudskillelse og eventuel misfarvning og blødninger i gællevæv. Beskadigelse af gælleepitelet vil influere på fiskenes iltoptagelse og osmoregulering (Christensen 1986). I meget surt vand påvirkes salttransporten over gællerne (bl.a. Na⁺ og Cl⁻), hvilket fører til osmoregulatorisk kollaps og død (Wedemeyer 1996a; McDonald og Milligan 1997). Laksefisk synes dog ikke at lide permanente syreskader ved akut lave pH-niveauer, der ikke straks giver dødelighed (Alabaster og Lloyd 1980). Fisk der udsættes for meget basisk vand får ætsninger af gællerne og sår på gællelæg, ligesom huden ofte bliver mørkere (Christensen 1986).

Vandets pH påvirker giftigheden af mange kemikalier og metalforbindelser som jern, aluminium og kobber (Christensen 1986; Wendelaar Bonga 1997).

Tolerancer

Fisks øvre og nedre tolerancegrænse for pH varierer noget mellem forskellige arter og livsstadier (Colt og Orwicz 1991), samt miljøforhold såsom temperatur og vandets indhold af aluminium, kalcium og andre salte (Wedemeyer 1996a).

Af generelle anbefalinger i litteratur om pH grænseværdier er flg. fundet:

pH	Optimal	Min.	Maks.	Bemærkning	Kilde
Laksefisk	6,5-8,0			Iflg. Piper <i>et al.</i> 1982	Barton 1996
Laksefisk		6	9	Iflg. EIFAC	Braaten 1986
Ål	7,0-9,0				Wickins 1980
Ål	6,5-8,5	<6	>8,5		Mortensen 1989

Der er dog fundet afvigelser fra ovenstående anbefalinger i forhold til fiskens udviklingstrin og omgivelser:

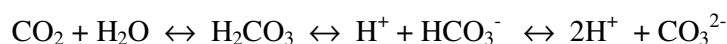
- Yngel af regnbueørred har under forsøg i en pH-gradient vist at foretrække en pH 9,0 (Peterson *et al.* 1989)
- I en undersøgelse blev der ikke fundet vækstofforskelle hos regnbueørred (18 mdr.) mellem pH 5,5-6,3 (Wickins 1980)
- I et forsøg med regnbueørred (14-23 cm) var der 50% dødelighed ved en akut pH-stigning fra pH 8 til 9,5 indenfor 6 timer ved 17°C, mens en omtrent tilsvarende stigning over 5 dage ikke gav anledning til ændringer i hverken appetit eller svømmeadfærd (Murray og Ziebell 1984)

Fisk er til en vis grad i stand til at adaptere til højere og lavere pH. I løbet af en 72 timers periode kan fisken kompensere for et større pH-fald i blodet, f.eks. pga. øget CO₂-indhold, ved optagelse af bikarbonat (HCO₃⁻) fra vandet (Colt *et al.* 1991).

8.4 Kuldioxid (CO₂)

Overfladevand indeholder naturligt en mindre mængde opløst CO₂ (1-2 mg/l), der stammer fra atmosfæren og mikrobiel nedbrydning af organisk materiale, mens CO₂-indholdet i kilde- eller borevand kan være noget højere. I fiskeopdræt er hovedkilden til CO₂ dog oftest fiskenes stofskifte i forbindelse med foderomsætning. Som en tommelfingerregel producerer laksefisk ca. 1,4 mg CO₂ for hvert mg ilt de forbruger (Wedemeyer 1996a). Den samlede CO₂-produktion kan således blive stor i et opdrætsanlæg og dens høje opløselighed forårsage en kraftig ophobning af CO₂, med mindre der tages skridt mod at forhindre det. I gennemstrømsystemer bliver CO₂ kontinuerligt fjernet ved vandudskiftning. I recirkulerede systemer, hvor CO₂ i højere grad ophobes, afgasses CO₂ ofte ved beluftning eller over rislefilter (Wedemeyer 1996a og Smart 1981).

I modsætning til atmosfærens ilt og kvælstof reagerer CO₂ kemisk med vand og danner en opløsning af CO₂, H₂CO₃, og ikke giftige HCO₃⁻ og CO₃²⁻ ioner ved flg. ligevægt,



Under pH 5 eksisterer det meste af den opløste kuldioxid som CO₂, mellem pH 7-9 som ikke giftigt HCO₃⁻ og over pH 11 som CO₃²⁻. Andelen af CO₂ påvirkes til en vis grad også af vandets temperatur og hårdhed. Højere temperatur øger CO₂-indholdet, mens øget hårdhedsgrad mindsker mængden og dermed giftigheden af CO₂ (Wedemeyer 1996a).

Én positiv virkning af CO₂ er, at giftigheden af ammoniak (NH₃), som er et meget giftigt basisk stof, reduceres som følge af en lavere pH (Colt og Orwicz 1991) (se også afsnittet om NH₃).

Skadevirkning

Der er forskellige skadevirkninger hos opdrættede fisk som følge af forhøjet CO₂. Bl.a. kan nævnes en akut stigning i CO₂, der sænker blodets pH og dets evne til at transportere ilt til vævene (Wedemeyer 1996a). Endvidere er der kronisk dannelse af kalkaflejringer i nyrerne (nephrocalcinosis) (Colt og Orwicz 1991), der svarer til nyresten hos dyr (Wedemeyer 1996a). Fisk er dog i stand til at overleve og vokse på trods af svære nyreskader (Smart *et al.* 1979).

Et højt CO₂-niveau i blodet, forårsaget af iltovermætning, kan frigøre stresshormoner, der får tarmens blodkar til at trække sig sammen, så fødeoptagelsen nedsættes. Dvs. tilsætning af ren ilt vil ikke nødvendigvis øge fiskens sundhed, vækst og overlevelse, hvis CO₂-indholdet ikke samtidig holdes nede (Wedemeyer 1996a).

Tolerancer

Tabellen viser anbefalinger fra litteratur, der opsamler resultater fra forsøg og udokumenterede erfaringer om grænseværdier for kuldioxid.

CO ₂ (mg/l)	Optimal	Maks.	Bemærkning	Kilde
Laksefisk	<10-20		Herover skadelig	Wedemeyer 1996a
Laksefisk	<10		Iflg. Piper <i>et al.</i> 1982	Barton 1996
Laksefisk		12		Klontz 1993
Laks og ørred		20	Yngel. Iflg. SECL 1983	Colt og Orwicz 1991
Laksefisk	1,5-15		Iflg. Iflg. Daily og Ecnonom 1983	Braaten 1986
Regnbueørred		22	Tolereres i veliltet vand	Wickins 1980
Varmtvandsarter		20-30		Wedemeyer 1996a
Ål		25		Heinsbroek og Kamstra 1995
Ål	10-20	>20		Mortensen 1989

Kronisk

Erfaringer har vist, at fisk under opdrætsforhold kan tolerere en kronisk forhøjet CO₂-koncentration på 15-20 mg/l, hvis stigningen sker langsomt. Herved kan blodets buffersystem nå at stabilisere blodets pH og forhindre forsuring ved at optage bikarbonat fra vandet. Et maksimalt niveau på 15-20 mg/l forebygger desuden normalt dannelsen af nyresten (Wedemeyer 1996a). Dette er dog ikke korrekt i alle tilfælde, idet ca. 10% regnbueørreder efter 275 dages opdræt netop viste tegn på nyresten ved CO₂-niveauer på 15-20 mg/l (Smart *et al.* 1979).

I tre måneders vækstofforsøg med regnbueørred (262 g) faldt vækstraten ved øget CO₂-niveau fra 25 til 45 mg/l (Danley *et al.* 2001). Endvidere kan lav pH ved selv en mindre mængde opløst CO₂ reducere fiskens overlevelse betydeligt. Hos unge regnbueørreder forekom dødelighed efter 15 dage ved pH ca. 5,7 og >20 mg CO₂/l (Alabaster og Lloyd 1980).

Hos ål er der målt en usædvanlig høj akut tolerance overfor CO₂ ved en gradvis stigning i det partielle CO₂-tryk i vandet op til 80 mmHg indenfor få timer (McKenzie *et al.* 2002). For at sikre god sundhed og fysiologisk tilstand, bør varmtvandsarter, såsom ål, dog ikke udsættes for opløst CO₂-koncentration højere end 20-30 mg/l i en længere periode (Wedemeyer 1996a).

Akut

Kraftig forsuring af blodet, efterfulgt af CO₂-bedøvelse og død, forekommer selv i godt iltet vand, når det opløste CO₂-niveau overstiger ca. 100 mg/l. En ofte samtidig øget mælkesyreproduktion, som følge af øget aktivitet, forværrer tilstanden hurtigere (Wedemeyer 1996a; Alabaster og Lloyd 1980).

8.5 Alkalinitet

Alkalinitet er et mål for den totale koncentration af opløste basiske forbindelser i vand og angiver således vandets bufferkapacitet til at neutralisere syrer (H⁺-ioner). Størsteparten af bidraget til alkalinitet kommer fra opløste bikarbonater (HCO₃⁻), carbonater (CO₃²⁻) og minerale hydroxider. De fleste vandtyper med høj alkalinitet er også alkalisk (basisk) pH>7 og har en høj koncentration af totale opløste forbindelser. Alkalinitet kan måles ved titrering og udtrykkes som mekv/l. I mange tilfælde er der en god sammenhæng mellem total hårdhed og alkalinitet, hvorfor alkalinitet i opdrætssammenhæng ofte udtrykkes som hårdhed (som mg CaCO₃/l) (Wedemeyer 1996a).

Gavnligge effekter

Vandets alkalinitet påvirker fiskesundheden direkte og indirekte. Alkalinitet giver en nødvendig bufferkapacitet til at beskytte intensivt opdrættede fisk mod store pH-udsving, der ellers vil forekomme som følge af fiskenes stofskifte og omsætning af organisk materiale (Wedemeyer 1996a). I tilfælde hvor alkaliniteten er lavere end 10 mg/l (som CaCO₃), kan produktionen af CO₂ fra stofskiftet reducere pH til et uacceptabelt giftigt niveau (Colt og Orwicz 1991). Alkalinitet modvirker også høj pH og dermed risikoen for NH₃-forgiftning. Der er desuden fundet en god korrelation mellem lav alkalinitet og øget finneerosion (Bosakowski og Wagner 1994).

Tolerancer

Tabellen viser anbefalinger fra litteratur, der opsamler resultater fra forsøg og udokumenterede erfaringer om grænseværdier for alkalinitet.

Alkalinitet	Optimal	Min.	Bemærkning	Kilde
Generelt	>20 mg/l		som CaCO ₃	Wedemeyer 1996a
Laksefisk	10-400 mg/l		Iflg. Piper <i>et al.</i> 1982 som CaCO ₃	Barton 1996
Laksefisk	>100 mg/l		som CaCO ₃	Klontz 1993
Ål	2-5 mekv/l	<1 mekv/l		Mortensen 1989

I intensiv fiskeopdræt anbefales en alkalinitet på 100-150 mg/l (som CaCO₃) for at give den nødvendige bufferkapacitet til at forhindre større pH-udsving og forebygge udvaskning af tungmetaller (Wedemeyer 1996a).

8.6 Hårdhed

Hårdhed i opdrætsvand er primært et mål for mængden af calcium(Ca^{2+})- og magnesium(Mg^{2+})-ioner. Andre divalente opløste metaller som jern, kobber og bly kan også bidrage til total hårdhed, men da disse typisk kun er tilstede i meget små mængder i opdrætsvand, er bidraget fra disse som regel minimal (Wedemeyer 1996a).

Almindeligvis måles hårdhed i tyske hårdhedsgrader °dH, men i praktisk fiskeopdræt angives hårdhed ofte som mg CaCO_3 pr. liter. Ligesom alkalinitet er vandets hårdhedsgrad ofte et mål for vandets bufferkapacitet. Blødt vand er typisk surt (lav alkalinitet), mens hårdt vand er basisk (høj alkalinitet). Naturligt vand kan klassificeres efter hårdhedsgrad på flg. måde (Wedemeyer 1996a):

Hårdhedsgrad	mg CaCO_3 /l
Blødt	0 - 75
Moderat	75 - 150
Hårdt	150 - 300
Meget hårdt	>300

Gavnligge effekter

Indenfor visse grænser giver hårdt vand fordele for fiskesundheden, hvor Ca^{2+} spiller en central rolle:

- Ca^{2+} aflaster det osmoregulatoriske arbejde, der er nødvendig for at erstatte kroppens salte, som kontinuerligt tabes gennem den urin som især ferskvandsfisk producerer megen af (Wedemeyer 1996a).
- Ca^{2+} dæmper virkningen af mange stressfaktorer hos ferskvandsfisk ved at reducere cellemembraners gennemtrængelighed af stoffer over bl.a. gællerne (Wendelaar Bonga 1997). Undersøgelser har vist, at Ca^{2+} reducerer virkningen af lav pH, forhøjet NO_2^- samt metaller som kobber og zink (Pennell og McLean 1996).
- Hårdt vand kan gøre fisk en smule mindre modtagelige overfor sygdomme (Wedemeyer 1996a).
- Forsøg har vist, at Ca^{2+} reducerer graden af dykkersyge hos anadrome ørredyngel (Pennell og McLean 1996).
- Ved at hæve hårdhedsgraden i naturligt blødt vand til ca. 50 mg/l (CaCO_3) ved tilførsel af CaCl_2 , kan overlevelsen forbedres hos inkuberede æg. Tilsætning af NaCl, KCl eller andre kilder af kloridioner kan også hjælpe (Wedemeyer 1996a). Regnbueørredæg udsat for meget hårdt vand indeholdende høje koncentrationer af Ca^{2+} (ca. 520 mg/l eller højere) under hærdeningen (vandsugning) reducerede dog overlevelsen betydelig (Ketola *et al.* 1988).

Tolerancer

Se tabel under ”Alkalinitet”.

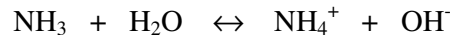
Blødt vand har et lavt indhold af Ca^{2+} og andre mineraler, der er nødvendige for fiskesundheden, men blødt vand kan tolereres, hvis fødeindtagelse er tilstrækkelig stor (Wedemeyer 1996a), og pH ikke for lav.

Forsøg har vist, at laksefisk opdrættet i hårdt vand, ved pludselig akut udsættelse for blødt vand er stressede, med forhøjede kortisolniveauer i flere dage og saltbalanceforstyrrelser som kræver op til flere ugers restitution (McDonald og Milligan 1997).

8.7 Ammoniak ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$)

Laksefisk fodret med tørfoder udskiller daglig 25-35 g NH_3 pr. kg indtaget foder (afhængig af proteinindtagelsen og -fordøjelighed), samt en mindre mængde urinstof, creatin, creatinin, urinsyre og andre N-holdige affaldsprodukter (Colt og Armstrong 1981 fra Wedemeyer 1996a). Hovedparten af NH_3 produceres i leveren og transporteres herfra med blodet til gællerne, hvor det hurtigt diffunderer ud i vandet (Wedemeyer 1996a).

Når NH_3 kommer i forbindelse med vand reagerer det øjeblikkeligt og danner en ligevægtsblanding,



Ammoniak (NH_3) er uhyre giftig for fisk, mens ammonium (NH_4^+) betragtes som relativt ikke-giftig (Ellis *et al.* 2002; Wedemeyer 1996a). Under normale opdrætsforhold vil kun lidt af den tilstedeværende totale $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ være på den giftige NH_3 -form, medmindre vandet er meget basisk. Ved neutrale pH værdier (pH ca. 7), der er typisk for opdræt af laksefisk, vil mindre end 1% findes som giftigt NH_3 . Derimod vil fiskeopdræt med hårdt basisk vand typisk havde de alvorligste problemer med ammoniaks giftighed (Wedemeyer 1996a). Ved pH 8,0 udgør NH_3 5,5% af den totale $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -koncentration. Kuldioxid fra fiskens stofskifte er en svag syre, som reducerer andelen af NH_3 . Endvidere kan en supplerende tilførsel af saltsyre (HCl) omdanne det meste af den farlige NH_3 til NH_4^+ ved pH-sænkning (Colt og Orwicz 1991). Ved normal pH er det ikke muligt i tilstrækkelig grad at belufte ammoniakken ud af vandet, da det meste findes som opløst NH_4^+ . Derfor kræver fjernelse af ammoniak i recirkulerede anlæg biofiltre med bakterier, der omsætter ammoniakken (se afsnittet om nitrit). Ud over pH afhænger andelen af NH_3 i forhold til total $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ af temperatur og salinitet og i mindre grad af opløste stoffer og lufttrykket.

Skadevirkning

I modsætning til NH_4^+ har NH_3 ingen ladning og diffunderer let over biologiske membraner (Pennell og McLean 1996), hvorfor NH_3 -niveauet kan stige i blodet. NH_3 anses således ofte for at være mere end 100 gange giftigere for fisk i forhold til NH_4^+ .

Én af de primære skadevirkninger af NH_3 menes at være skader på nervesystemet (Smart 1981). Desuden hænger kronisk forhøjede NH_3 -niveauer sammen med gælleskader og anses for, at være en forløber for bakteriel gællesyge (Pennell og McLean 1996) og en række andre sygdomme, herunder éncellede hud- og gælleparasitter samt bakterielle (Ellis *et al.* 2002; Bosakowski og Wagner 1994).

Påvirkning med NH_3 har desuden vist at reducere antallet af røde blodceller. Disse effekter på gæller og blod kan være årsag til den forhøjede gællevantilation, der observeres i forbindelse med ammoniakpåvirkning (Ellis *et al.* 2002). I et opdrætsanlæg findes høj NH_3 ofte samtidig med et reduceret iltniveau (Pennell og McLean 1996), hvilket kan resultere i kronisk stresstilstand med et øget plasma-kortisolniveau. Endvidere menes kronisk forhøjet NH_3 at være koblet til forværring af finneerosion (Ellis *et al.* 2002).

Under startfodring af yngel er der særlig risiko for forhøjede NH_3 -niveauer, som følge af en hurtig proteinnedbrydning af uspist foder. Dette medfører øget slimproduktion i gællerne og kan forårsage bakteriel gællesyge, der er kritisk for ynglens tilstand (Pennell og McLean 1996).

Tolerancer

Tabellen viser anbefalinger fra litteratur, der opsamler resultater fra forsøg og udokumenterede erfaringer om grænseværdier for ammoniak/ammonium.

NH_3 (mg/l)	Maks.	Bemærkning	Kilde
Fisk generelt	0,016	Kronisk Iflg. U.S. Environmental Protection Agency 1976	Smart 1981
Laksefisk	$\leq 0,03$		Klontz 1993
Laksefisk	0,02		Wedemeyer 1997
Laksefisk	0,02	Iflg. Daily og Ecnonom 1983	Braaten 1986
	0,0125	Iflg. Alaska dept fish and game 1983	-
	0,025	Iflg. EIFAC	-
Ål	6 NH_4^+ -N	Baseret på NH_3 -N på max. 0,05 mg/l og pH 7,5	Heinsbroek og Kamstra 1995
Ål	>20 $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$	Svarer til ca. 0,1 NH_3 mg/l v/ pH 7,0 og 24°C	Mortensen 1989

For anadrome laksefisk i racewaysystemer er en acceptabel koncentration på ca. 0,02-0,03 mg NH₃/l sandsynligvis det maksimale for at forhindre sundhedsproblemer. Mange fiskeopdrættere foretrækker dog en koncentration på maksimal 0,01 mg/l (Wedemeyer 1996a).

I et længerevarende toleranceforsøg blev regnbueørred udsat for én af tre NH₃ -niveauer på 0,22, 0,11 og 0,06 mg NH₃/l i et tremåneders forsøg, hvilket resulterede i en dødelighed på hhv. 15% ved højst og 5% ved de to laveste niveauer (Alabaster og Lloyd 1980). I andre undersøgelser, foretaget ved koncentrationer, der svarer til laveste niveau i ovennævnte forsøg, er der dog hverken fundet påvirkninger af vækst, foderkvotient eller appetit (Smart 1981; Wickins 1980).

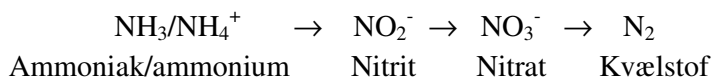
Adaptation til øget NH₃ -niveau er til en vis grad mulig. Ved ca. 0,12 mg NH₃/l var der, i de første to uger, en begyndende dødelighed, tab af appetit og dårlig vækst, men fiskene blev tilsyneladende tilvænnet og voksede lige så godt i den resterende del af forsøget, som fisk ved lavere koncentration (Smart 1981; Wickins 1980; Alabaster og Lloyd 1980). I et andet forsøg havde unge regnbueørreder ved et højt NH₃ -niveau på 0,25 mg/l i 4 uger en kraftig øget gælleventilationsfrekvens, nedsat foderindtagelse og tilvækst. Med tiden var der en betydelig tilvænnning til NH₃ -forgiftningen med faldende gælleventilationsfrekvens, selv om den forblev højere end hos kontrolfiskene. Appetitten vendte tilbage ligesom tilvæksten kun i mindre grad var forskellig mellem eksponerede ørreder og ikke-eksponerede kontrolfisk. Ingen ændringer kunne registres i antallet af gællens slimceller. Den forholdsvis høje NH₃ -koncentration blev i forsøget vurderet til kun at forårsage få kroniske effekter (Lang *et al.* 1987).

Akut

Hos regnbueørred fodret 3 gange dagligt er der målt en stor døgnvariation i NH₃-udskillelsen, op til 136-490% højere koncentration ved højst sammenlignet med laveste koncentration, som typisk forekom lige før daggry inden fodring (Wagner *et al.* 1995). Laksefisk er blandt de mest følsomme overfor akut NH₃ -påvirkning. I en gennemgang af akutte giftforsøg (LC₅₀) med regnbueørred, med måling af niveauet for 50% dødelighed efter 96 timer blev der fundet værdier på mellem 0,16 og 1,1 mg/l NH₃ (Russo og Thurston 1991).

8.8 Nitrit (NO₂⁻)

NO₂⁻ er et mellemprodukt i den bakterielle omsætning af ammoniak og urinstof - en naturlig proces, der især udnyttes i recirkulerede systemer til fjernelse af N-holdige forbindelser:



I recirkulerede anlæg sker ophobning af NO_2^- , hvis bakterierne (*Nitrobakter*), som omsætter den giftige NO_3^- til den langt mindre giftige nitrat, ikke findes i tilstrækkeligt stort antal eller, hvis de af den ene eller anden årsag er hæmmet. NO_2^- -koncentration vil altid toppe i opstarten af et rengjort filter, inden niveauet igen falder til et lavere ligevægtsniveau (Wedemeyer 1996a).

Hvor kraftig NO_2^- -forgiftningen udvikler sig, er tæt koblet til vandkemien, hvor problemer typisk opstår i oprætsvand med udvikling af et højt NO_2^- -niveau samtidig med et lavt kloridindhold (Cl^-). Således forebygges og behandles NO_2^- -forgiftning bedst ved tilsætning af natriumklorid (NaCl) eller endnu mere effektivt kalciumklorid (CaCl_2) til anlægget. Den fysiologiske forklaring herpå er at Cl^- konkurrerer med NO_2^- om samme optagelsessted over gællerne, således at yderligere NO_2^- -optagelse og methæmoglobindannelse minimeres (Wedemeyer 1996a).

Skadevirkning

NO_2^- optages i fiskens blod over gællerne, hvor det oxiderer hæmoglobins jern fra Fe_2^+ til Fe_3^+ . Det oxiderede hæmoglobin (methæmoglobin) er ikke i stand til at binde ilten. Således blokeres blodets iltransport til vævene, hvilket gør NO_2^- uhyre giftig for fisk. NO_2^- -forgiftning ses bl.a. ved en mørkfarvning af blodet, som en følge af det brunfarvede methæmoglobin. Ved en dødelig NO_2^- -forgiftning lider fisken af iltmangel og kvælning. Dødelighed, som følge af øget NO_2^- -koncentration, stiger med faldende Cl^- -koncentration, pH, alkalinitet og opløst ilt. Nitrit giver desuden andre sundhedsproblemer som skader på gællævæv og formodes at øge modtageligheden af infektiøse sygdomme (Wedemeyer 1996a). Oxidationen af hæmoglobins jern fra Fe_2^+ til Fe_3^+ er en reversibel proces, så met-hæmoglobin kan omdannes til hæmoglobin, der kan binde og transportere til vævene.

Tolerancer

Tabellen viser anbefalinger fra litteratur, der opsamler resultater fra forsøg og udokumenterede erfaringer om grænseværdier for nitrit.

NO_2^- (mg/l)	Maks.	Bemærkning	Kilde
Fisk generelt	0,1		Wedemeyer 1996a
Fisk generelt	0,33	Hårdt ferskvand	Wickins 1980
	3,29	Saltvand	-
Laksefisk	0,55		Klontz 1993
Laksefisk	0,1	Iflg. Daily og Ecnonom 1983	Braaten 1986
Ål	6,5	2 mg NO_2^- -N/l	Heinsbroek og Kamstra 1995
Ål	>16		Mortensen 1989

Resultater fra en række akutte giftforsøg (96 timers LC_{50}) har vist dødelige niveauer mellem 0,62 og 1,28 mg NO_2^- /l hos regnbueørred (Russo og Thurston 1991).

Hos ål er der i et 96 timers LC₅₀ forsøg målt akut giftighed ved 143,7 mg NO₂⁻/liter, hvilket er højt sammenlignet med LC₅₀ værdier hos andre fiskearter (Kamstra *et al.* 1996). I samme undersøgelse blev unge ål udsat for ikke dødelige NO₂⁻-niveauer (0, 1, 5, 10 og 20 mg/l) i et foderforsøg over 77 dage. Disse NO₂⁻-niveauer havde ingen indflydelse på maksimal vækstrate eller foderudnyttelse. I begyndelsen blev der kun målt lave koncentrationer af NO₂⁻ i blod-plasma, hvorfor ålen anses for hurtigt at kunne adaptere til NO₂⁻. Således vurderes niveauer op til 15 mg NO₂⁻/l, som er målt i åleopdræt, at være af mindre betydning (Kamstra *et al.* 1996).

8.9 Nitrat (NO₃⁻)

NO₃⁻ betragtes ofte i opdrætssammenhæng som værende ikke-giftig for fisk og bør i de fleste tilfælde ikke udgøre et alvorligt problem i intensive opdrætsanlæg (Wedemeyer 1996a).

NO₃⁻ er et mellemprodukt i den bakterielle omsætning af ammoniak og urinstof - en naturlig proces, der især udnyttes i recirkulerede systemer til fjernelse af kvælstofholdige forbindelser (se afsnit om Nitrit). Omsætningen af NO₃⁻ foregår ved hjælp af *Nitrosomonas*-bakterier, som omsætter NO₃⁻ til frit kvælstof (N₂), der kan afgasses fra vandet.

Skadevirkning

Meget høje NO₃⁻-niveauer forårsager osmoregulatoriske fejl, som i princippet svarer til et for højt salt-indhold. Endvidere er høje NO₃⁻-koncentrationer under æg-inkubering fundet at forårsage negative effekter på fosterudviklingen hos laksefisk (Wedemeyer 1996a).

Tolerancer

Tabellen viser anbefalinger fra litteratur, der opsamler resultater fra forsøg og udokumenterede erfaringer om grænseværdier for nitrat.

NO ₃ ⁻ (mg/l)	Maks.	Bemærkning	Kilde
Ål	885	200 mg NO ₃ ⁻ /N/l	Heinsbroek og Kamstra 1995
Ål	>500-600		Mortensen 1989

I kortvarige forsøg (96 timers LC₅₀) ligger dødelige niveauer for laksefisk og de fleste andre arter mellem ca. 4,5-13 g NO₃⁻/l og er således på højde med dødelige koncentrationer af almindelig køkkensalt (NaCl) (Wedemeyer 1996a). Ål er særlig tolerante overfor NO₃⁻, hvilket giver mulighed for at reducere vandforbruget betydeligt i intensive produktionsanlæg (Heinsbroek og Kamstra 1995).

8.10 Suspenderet stof (SS)

SS er et mål for vandets indhold af al partikulær materiale, der kan sis fra i et standardiseret ”kaffefilter”. Partikler kommer naturligt ind med indløbsvandet eller opkoncentreres i recirkulerede anlæg, hvor fækalier og foderrester bidrager til øget uklarhed eller turbiditet af vandet, hvis omfang afhænger af partiklernes antal, størrelse og form (Henze *et al.* 2000). Vandstrøm hindrer partikler i at aflejre i opdrætsbassiner, men høje bestandstætheder af fisk kan, som følge af fiskenes svømmeaktivitet, også alene lave en vandstrøm, der øger SS-transport ud af bassinet (Ellis *et al.* 2002).

Skadevirkning

Negative effekter af SS afhænger meget af dets oprindelse, partikelstørrelse og koncentration (Colt og Orwicz 1991). Et højt indhold af SS kan forårsage gælleproblemer ved fysisk at genere og dække fiskens gæller og således vanskeliggøre iltoptagelsen. Kronisk udsættelse for høje SS-niveauer kan endvidere medføre bakteriel gællesyge (Pennell og McLean 1996; Klontz 1993).

Tolerancer

Tabellen viser anbefalinger fra litteratur, der opsamler resultater om grænseværdier for suspenderet stof.

SS (mg/l)	Optimal	Maks.	Bemærkning	Kilde
Generelt		15		Colt og Orwicz 1991
Laksefisk	<3 (æg) <25 (fisk)		Iflg. Piper <i>et al.</i> 1982	Barton 1996 -
Laksefisk		80		Klontz 1993
Laksefisk		80-100		Wedemeyer 1996a
Laksefisk		15		Wickins 1980
Ål		25		Heinsbroek og Kamstra 1995

8.11 Svovlbrinte (H₂S)

Hydrogensulfid, også kaldet svovlbrinte, er en uhyre giftig opløselig gas, der kan forekomme i opdrætsvand, enten naturligt eller som følge af at den udvikles i anlægget. H₂S forekommer sjældent naturligt i overfladevand, mens grundvand kan have et indhold på op til ca. 10 mg H₂S/l. Dannelse af H₂S foregår under iltfrie (anaerobe) forhold ved en bakteriel (*Desulfovibrio spp.*) nedbrydning af organisk materiale. I opdrætsanlæg er risikoen for dannelse af H₂S derfor tilstede, hvis ophobning af foderspild eller fækalier i iltfrie områder finder sted. I gennemstrømsanlæg udvikles der normalt ikke problematiske niveauer af H₂S. I netbuopdræt, på åben vand (f.eks. havbrug), kan en ophobning af nedbrydeligt organisk materiale ved bunden føre til H₂S i vandsøjlen. Dog er H₂S under marint opdræt sjældent et problem trods der i havvand generelt produceres en større mængde H₂S, som følge af saltvands højere sulfatindhold

(Wedemeyer 1996a). I tilfælde af at der kommer H₂S ind via grundvand eller bundvand kan beluftning fjerne H₂S ved oxidation og afgang. Vandhastigheder på >3 cm/sek. i opdrætsanlægget hjælper desuden til at reducere mængden af organisk materiale, der ellers vil ophobes ved bunden (Wedemeyer 1996a).

I det temperatur- og pH-område, der er af relevans i fiskeopdræt, opløses H₂S i en ligevægtsblanding af H₂S, HS⁻ og H⁺, hvis andele er bestemt af temperatur og pH:



Som med ammoniak er den ikke-ioniserede form, H₂S, meget giftigere end dets opløste form, HS⁻ ion. Andelen af giftig H₂S stiger med køligere og mere surt vand. Tilsvarende værdier i havvand vil være ca. 15% lavere. Selv om langt hovedparten af total H₂S omdannes til mindre giftig HS⁻ ved pH 7 og derover, vil en forebyggende effekt ved pH-regulering være lille, medmindre mængden af H₂S er meget lav (Wedemeyer 1996a).

Skadevirkning

H₂S optages let i blodet, hvor det blokerer cellerne i at udnytte ilten ude i vævene, hvorfor symptomer for iltmangel ses. En akut forgiftning forårsager dødelighed i løbet af få minutter. Giftigheden af H₂S stiger med faldende opløst iltindhold, men selv iltmættet vand kan ikke forhindre dødelighed (Wedemeyer 1996a).

Tolerancer

Tabellen viser anbefalinger fra litteratur, der opsamler resultater fra forsøg og udokumenterede erfaringer om grænseværdier for svovlbrinte.

H ₂ S (mg/l)	Optimal	Maks.	Bemærkning	Kilde
Fisk generelt		0,003	Kold-/varmtv. fisk	Wedemeyer 1996a
Fisk generelt		0,002	Iflg. EPA 1986	Wedemeyer 1996a
Laksefisk	<0,001		Iflg. Piper <i>et al.</i> 1982	Barton 1996
Laksefisk		0,003	Iflg. Daily og Ecnonom 1983	Braaten 1986
		0,003	Iflg. Alaska dept. fish and game 1983	-
		0,002	Iflg. EIFAC	-

Koldvandsfisk, som laksefisk, der har et stort iltforbrug, er relativ følsomme og kan være påvirket af kroniske H₂S -niveauer helt ned til 0,001 mg/l. Over >0,5 mg/l er H₂S akut dødelig for de fleste voksne fisk uanset art. Æg og yngel er hos de fleste arter mest følsomme (Wedemeyer 1996a).

8.12 Tungmetaller

Udover lokale naturlige mineralforekomster findes tungmetaller som zink, kobber, kviksølv og bly normalt kun naturligt i vand i meget små mængder, hvoraf flere er essentielle for levende organismer. Dog kan forureninger fra industri, erosion af rør og kubbessulfat (CuSO_4) øge koncentrationen til giftige niveauer. Salte af zink og kobber er sandsynligvis de almindeligste, der optræder i opdrætsvand, og selv om de i drikkevand er forholdsvis ugiftige for mennesker, er de uhyre giftige for vandets levende organismer, især i blødt vand ($<75 \text{ mg/l}$ som CaCO_3), hvor salte af tungmetaller er meget opløselige. I hårdt basisk vand ($>150 \text{ mg/l CaCO}_3$, pH 8) bundfælder saltene som uopløselige karbonater eller hydroxider. Silt og sediment binder salte, hvilket også vil reducere tungmetallers giftighed (Wedemeyer 1996a).

Skadevirkning

En negativ effekt af tungmetaller er hæmning af udvekslingen af Na^+/H^+ og $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ over gællerne. Denne udveksling er nødvendig for regulering af fiskenes syre-base balance og gør udskillelsen af NH_3 og CO_2 lettere. En dårligere saltregulering og øget NH_3 -indhold i blodet kan svække fiskens sundhedstilstand alvorligt, især hos anadrome laksefisk ved hæmmet smoltifikation og reduceret overlevelse ved saltvandsoverførsel (Wedemeyer 1996a). Desuden er giftige tungmetaller fundet at påvirke respirationen, blodparametre og energistofskiftet (Torres *et al.* 1991). Specifikt for jernholdigt vand er risikoen for okkerudfældning på gæller og æg, hvilket kan føre til kvælning.

Hos unge regnbueørreder udsat for ikke-dødelige kobberniveauer steg plasma-kortisolniveauet i løbet af den første time og var opretholdt gennem forsøgets 21 dage (Munoz *et al.* 1991). Desuden er der ved kronisk påvirkning i 12 uger målt et reduceret lever-glykogenniveau og øget plasma-glukose, der begge karakteriserer et kronisk stressrespons (Dixon og Hilton 1985).

Giftige effekter af zink eller kobber er typisk forsinket i én til to dage efter påvirkning. Synergistiske effekter er også observeret mellem disse metaller, idet giftigheden af zink er højere ved samtidig tilstedeværelse af kobber. Som med så mange andre stoffer øges giftigheden af tungmetaller ved lave ilt-niveauer og højere vandtemperaturer (Lloyd 1961). Det er ikke almindeligt at opleve kobberforgiftning i opdræt af varmtvandsfisk, som ål, der typisk er mere modstandsdygtige (Wedemeyer 1996a).

Tolerancer

Tabellen viser anbefalinger fra litteratur, der opsamler resultater fra forsøg og udokumenterede erfaringer om grænseværdier for metaller.

Metaller	Fisk	Maks. (mg/l)	Bemærkning	Kilde
Aluminium	Fisk generelt	0,075		Wedemeyer 1996a
	Laksefisk	0,005	pH<6,5	Barton 1996
		0,1	pH>6,5	-
	Laksefisk	0,01	Iflg. Daily og Econom 1983	Braaten 1986
		0,01	Iflg. Alaska dept fish and game 1983	-
Bly	Fisk generelt	0,02		Wedemeyer 1996a
	Laksefisk	0,001-0,002	Bl.v.	Barton 1996
		0,004-0,007	Hå.v.	-
	Laksefisk	0,01	Bl.v. Iflg. Post 1987	Klontz 1993
		4,0	Hå.v. Iflg. Post 1987	-
	Laksefisk	0,02	Iflg. Daily og Econom 1983	Braaten 1986
		0,02	Iflg. Alaska dept fish and game 1983	-
	0,005-0,05	bl. v. Iflg. Jensen 1984	-	
Cadmium	Laksefisk	0,0005	Bl.v. Beskyt. smoltudvikl.	Wedemeyer 1996a
		0,005	Hå.v.	-
	Laksefisk	0,0002-0,0008	Bl.v.	Barton 1996
		0,0013-0,0018	Hå.v.	-
Cadmium	Laksefisk	0,03	Iflg. Post 1987	Klontz 1993
	Laksefisk	0,0005	Iflg. Daily og Econom 1983	Braaten 1986
		0,0005	Iflg. Alaska dept fish and game 1983	-
		0,0003-0,001	Iflg. EIFAC	-
Jern		0,1		Wedemeyer 1996a
	Laksefisk	0,30		Barton 1996
	Laksefisk	0,1	Iflg. Daily og Econom 1983	Braaten 1986
		0,1	Iflg. Alaska dept fish and game 1983	-
		0,5	Bl.v. Iflg. EPA	-
Kobber	Laksefisk	0,030		Wedemeyer 1996a
	Laksefisk	0,002	Bl.v.	Barton 1996
		0,003-0,004	Hå.v.	-
	Laksefisk	0,014	Lavere i bl.v. Iflg. Post 1987	Klontz 1993
	Laksefisk	0,006	Iflg. Daily og Econom 1983	Braaten 1986
		0,006	Iflg. Alaska dept fish and game 1983	-
		0,001-0,005	Iflg. EIFAC	-
Krom	Laksefisk	0,1	Iflg. Post 1987	Klontz 1993
Kviksølv	Fisk generelt	0,0002		Wedemeyer 1996a
	Laksefisk	0,0001		Barton 1996

(fortsat)				
Mangan	Laksefisk	<0,01		Barton 1996
Nikkel	Laksefisk	0,025-0,064	Bl.v.	Barton 1996
		0,11-0,15	Hå.v.	
	Laksefisk	0,01	Iflg. Alaska dept fish and game 1983	Braaten 1986
		0,05 Bl.v.	Iflg. Jensen 1984	-
Sølv	Laksefisk	0,03	Iflg. Post 1987	Klontz 1993
Zink	Fisk generelt	<0,005		Wedemeyer 1996a
	Laksefisk	0,03		Barton 1996
	Laksefisk	0,01	Synergistisk med Cu	Klontz 1993
		0,15 Hå.v.	Iflg. Post 1987	-

Bl.v. = Blødt vand; Hå.v. = Hårdt vand.

Akut dødelige niveauer af zink og kobber ligger oftest mellem 0,1-1 mg/l afhængig af kontakttid og vandkemi samt biologiske faktorer som art, alder og forudgående påvirkninger (Wedemeyer 1996a).

Er hårdheden >100 mg/l kan kobberniveauer op til 0,01 mg/l tolereres af ikke-anadrome laksefisk. Derimod bliver saltreguleringen over gællerne hos parr og smolt påvirket ved et lavere tungmetalindhold. I blødt vand (<75 mg/l som CaCO₃), anses et kobberindhold på maksimalt 0,006 mg/l at beskytte smoltifikation (Wedemeyer 1996a).

9. Sygdomme

9.1 Stressrelaterede sygdomme

Mødet mellem fisk og sygdomsfremkaldende mikroorganismer (patogener), der under naturlige forhold er harmløse, kan resultere i sygdomsproblemer hos opdrætsfisk som følge af stressende forhold som sortering og transport og ugunstig vandkvalitet. F.eks. forårsages udbrud af omtrent alle sygdomme, der kendes i åleopdræt, ofte stressende håndtering, sammenblanding af forskellige ålestammer, samt dårlig vandkvalitet og hygiejne (Heinsbroek og Kamstra 1995). Stress forårsaget af aggressiv adfærd mellem fiskene kan dog alene være tilstrækkelig til at forårsage udbrud af f.eks. ferskvandsrødsyge (*Aeromonas hydrophila*) hos regnbueørred, hvis bakterien optræder i vandmiljøet (Peters *et al.* 1988). Sygdomsproblemer som følge heraf opstår ofte 1-2 uger efter, at fisken har været udsat for stresspåvirkning (Wedemeyer 1997, 1996a, Bruno og Ellis 1996).

Et regelsæt for hvordan indførelse og spredning af smitsomme sygdomme i fiskeopdræt bedst kan undgås er beskrevet i Bruno og Ellis (1996):

- 1) Anvendelse af sygdomsfrit vand
- 2) Reducere sygdomsoverførsel ved bl.a. desinfektion af æg
- 3) Udryddelse af inficeret bestand
- 4) Indføre programmer der skal sikre sygdomsfri anlæg
- 5) Opdrætsanlæg og -praksis:
 - isolering af yngelanlægget
 - indførelse af hygiejnepraksis, bl.a. med regelmæssig rengøring på anlægget
 - "Alt ind alt ud" praksis, hvor ingen stammer eller hold blandes på noget tidspunkt i produktionen
 - tørlægning og desinfektion af opdrætsanlæg der ikke er i brug

De vigtigste patogener, der er involveret i stressrelaterede sygdomme hos opdrætsfisk, inkluderer ydre svampe (f.eks. skimmelsvamp), éncellede-parasitter, de fleste fakultative og obligate bakterier samt enkelte vira. Fakultative patogener lever normalt overalt i naturlige vandmiljøer og kræver ikke en levende vært i livscyklusen for at overleve og formere sig. Disse er også de hyppigst forekommende stressrelaterede fiskesygdomme, hvor klassiske eksempler iflg. Wedemeyer (1996a) er:

- Mange éncellede hud- og gælleparasitter (f.eks. *Trichodina spp.*)
- Svamp (f.eks. skimmelsvamp *Saprolegnia spp.*)
- *Aeromonas hydrophila* (Ferskvandsrødsyge)
- *Aeromonas salmonicida* (Furunkulose)
- *Flexibacter columnaris*
- *Vibrio anguillarum* (Vibriose)

Bakteriel gællesyge er en sekundær infektion forårsaget af adskillige trådformede bakterier, der typisk ikke forekommer medmindre forudgående forringet miljøtilstand først har irriteret gællevævet og gjort det modtageligt for bakterier. Hos opdrættede laksefisk begynder gællesyge som en generel gælleirritation - sandsynligvis som følge af dårlig vandkvalitet. Sekundære infektioner af fakultative bakterielle- og svampepatogener følger, efterfulgt af en markant øget dødelighed (Klontz 1993).

Sygdomme, som skyldes obligate mikroorganismer, kan ligeledes være stressrelaterede. Obligate patogener kræver en levende vært for at vokse og formere sig, men når værten spreder infektionen ud i vandet, vil parasitterne dog forblive levedygtige i nogen tid med mulighed for at smitte andre fisk. I gruppen af obligate parasitter, der fremkalder sygdom under fiskeopdræt, er flg. nævnt i Wedemeyer (1996a):

- Alle vira (f.eks. IPN og VHS)
- Nogle encellede parasitter som fiskedræber, *Chilodonella*, *Ichthyobodo spp.* (*Costia*), *Myxobolus cerebralis* (drejesyge)
- Enkelte bakterier som *Yersinia ruckeri* (rødmundssyge) og *Renibacterium salmonianrum* (BKD)

Udbrud eller reduktion af fiskesygdomme ses ofte i forbindelse med temperaturskift. Dette erfarer om foråret, hvor problemer med bakterielle sygdomme er tilbøjelige til at stige, da væksten af sygdomsfremkaldende organismer reagerer hurtigere end fiskenes immunforsvar på den stigende temperaturer. Uheldigvis er antistofproduktionen hos fisk relativ langsom, især ved lave vandtemperaturer (Wedemeyer 1996a).

Minimering af stressrelaterede sygdomme

Generelt kan mange sygdomsproblemer minimeres ved at give fiskene opdrætsforhold, der imødekommer deres fysiologiske behov, og sørge for "lavstress" omgivelser (Wedemeyer 1997). I litteraturen gives der en række retningslinier, som bør efterleves for at minimere risikoen for sygdomsudbrud i fiskeopdræt (Wedemeyer 1996a, og Bruno og Ellis 1996):

- Opretholde en god vandkvalitet, reducere bestandstætheden og have særlig opmærksomhed på hygiejnen ved f.eks. at fjerne døde og døende fisk
- Undlade fodring i to til tre dage inden håndtering
- Håndtere fisken skånsomt, så hudens struktur bevares intakt
- Undgå flere stressfaktorer samtidig eller umiddelbart efter hinanden. F.eks. bør pludselige temperaturskift undgås under og efter transport.
- Undgå at stresser fisk ved høje temperaturer
- Tillade fiskene at restituere efter stressende påvirkning. Hvis tiden der bruges på indfangning, sortering eller transport reduceres kan den efterfølgende tid til restitution afkortes
- Opdrætspersonale bør have et generelt kendskab til fiskesygdomme, der kan anvendes i sygdomskontrol

9.2 Produktionsrelaterede sygdomme

Fysiske misdannelser og skader

Intensivt fiskeopdræt kan som følge af forskellige opdrætsforhold forårsage fysiske skader, der flg. Poppe (2000) inkluderer:

- Gællelågsforkortelse
- Forkortelse af rygsøjlen
- Misdannelser i blødt væv (f.eks. svømmeblære)
- Fysiske skader efter håndtering og transport
- Slitage på finner og finneråd
- Grå stær (katarakt)
- Bivirkninger efter vaccination (f.eks. skader efter fejlstik)

Misdannelser kan udover opdrætsprocedurer være forårsaget af genetiske fejl, dårlig ernæringstilstand eller forringet vandkvalitet (Christensen 1986). I enhver fiskebesætning vil der altid være en vis andel af fisk med misdannelser og skader, som normalt sorteres fra. Misdannelser ses også hos vildfisk, men antallet af vildfisk med misdannelser vil aldrig blive højt, da de vil tabe konkurrencen med normale individer eller blive spist af rovdyr (Poppe 2000).

Traditionelle avlsprogrammer anvender især vækstdata og ydre træk som avlsparametre. Selv om der ikke er direkte bevis for, at stammer udvalgt efter disse karaktertræk påvirker aggressiv adfærd hos regnbueørred, påpeger Ellis *et al.* (2002) risikoen for, at den traditionelle avl ubevidst udvælger fisk efter højere aggressiv adfærd, hvilket kan være en u hensigtsmæssig egenskab ved at forårsage stress og give skader hos fisk. Som et supplement til avlsarbejdet selekteres moderfiskestammer således i nogle avlsprogrammer efter lavt hormonelt stressrespons, f.eks. lavt plasma-kortisolniveau, som i nogen grad er en arvelig egenskab (f.eks. Pottinger og Carrick 1999).

10. Slagtning af fisk

10.1 Regnbueørred

Resultater fra referencer med *kursiv* er hentet fra Robb *et al.* (2002a, Introduction).

Aflivningsmetoden har betydning for fiskevelfærd og kødkvalitet (Marx *et al.* 1997). I forskellige lande slagtes regnbueørred fortrinsvist når fisken har nået portionsstørrelse (250-400 g), hvor forskellige kommercielle metoder til lammelse og aflivning inden slagtning bliver anvendt, herunder:

- Elektrisk strøm
- Vandbad med kuldioxid-gas
- Overskæring af gællebuer (bløgning)
- Nedkøling (isvand)
- Fisken tages ud af vandet

Hvis kun et mindre antal fisk skal slagtes er et hårdt slag i hovedet den foretrukne aflivningsmetode af regnbueørreder (Bretzinger 2001). Metoden er fundet at medføre øjeblikkelig lammelse af både ørred og europæisk ål (Marx *et al.* 1997).

Aflivning ved ”Bløgning”, ”Nedkøling” eller ”Fisken tages ud af vandet” tager flere minutter inden fisken taber hjernefunktion og dør som følge af kvælning eller forstyrrelse af fiskens syre-base og saltbalance. Når fisk fjernes fra vandet forsøger de at flygte og gællerne kollapser, så omtrent al iltudveksling med omgivelserne forhindres. Tidspunktet for hvornår døden indtræder er temperaturafhængig. Jo lavere temperatur jo langsommere død. I en undersøgelse tog det ved 20°C 2,6 minutter for fisken at miste hjernefunktionen og dermed død, ved 14°C 3,0 minutter og ved 2°C 9,6 minutter (Kestin *et al.* 1991).

Bløgning alene eller med en forudgående bedøvelse ved kuldioxidmættet vand er kommercielle metoder til aflivning af især store laksefisk (Van de Vis *et al.* 2003). Nedsænkning i kuldioxidmættet vand resulterer i bedøvelse (narkose), med tab af hjernefunktion hos ørred efter 4,7 minutter ved 14°C (Kestin *et al.* 1995). Vandets høje kuldioxidindhold resulterer i ubalance i blodets pH, hvilket forstyrrer hjernefunktioner. I starten af den begyndende bedøvelse udviser ørred stor modstand, med tydelige tegn på åndenød, i mindst 30 sekunder (Kestin *et al.* 1995), men perioder på mere end 3 minutter er også målt (Marx *et al.* 1997). Supplerende ilttilførsel havde ingen særlig indflydelse på stressresponsen hos regnbueørred, idet relativt høje koncentrationer af katecholaminer blev målt (Bretzinger 2001).

Anvendelse af elektrisk strøm er en udbredt metode til lammelse af fjerkræ og andre dyr til kødproduktion. Denne metode anses som human, idet dyr gøres øjeblikkelig

bevidstløse. Men den forudsætter en korrekt metodeanvendelse (Gregory 1991; Van de Vis *et al.* 2003).

Konklusionen fra undersøgelser med elektrisk lammelse af regnbueørred, ål og karpe (*Cyprinus carpio*) var at metoden med modifikationer kunne imødekomme krav til kødkvalitet og fiskevelfærd (Marx *et al.* 1997). Kestin *et al.* (1995) viste, at korrekt anvendelse af elektrisk lammelse resulterede i øjeblikkelig tab af bevidsthed hos regnbueørred. For at sikre en human aflivning eller lammelse er det vigtigt at betragte alle strømmens tre variable hhv. strømstyrke, varighed og frekvens. Især øger en stigende strømstyrke og varigheden begge den periode, hvor fisken effektivt er lammet, mens en øget strømfrekvens, til et vist niveau, reducerer tiden indtil lammelse. Påføring af strøm (styrke ikke angivet i abstract) i 60 sekunder ved 1000Hz og 250V er identificeret som anbefalede parametre, der gør regnbueørreder dødeligt bevidstløse og uden at forårsage skader af fiskens krop (Lines *et al.* 2003).

Alternative metoder end ovennævnte er endvidere afprøvet under forsøg. En 25 ppm opløsning af nellikeolie, i form af AQUI-S, er i stand til at bedøve regnbueørred til slagteprocessen. Under en gennemsnitlig bedøvelsesperiode på 9 minutter var der ingen tegn på åndenød eller observation af modstand og der optrådte kun relativt niveauer af katecholaminer. Uden at have skelet til føde- eller kemikalielovgivning anbefalede forfatterne AQUI-S, som en alternativ metode til bedøvelse af større fiskemængder og som en metode, der lever op til krav om dyrevelfærd (Bretzinger 2001).

10.2 Ål

Af metoder til lammelse og aflivning af ål er nedenstående fundet i den videnskabelige litteratur.

Nedkøling

Lammelse af store ål (758 g) ved nedkøling i isvand tager flere minutter (ca. 12 min.) indtil en kropstemperatur på 5°C er opnået og hjerneaktiviteten ophører. I denne periode observeres stor fysisk modstand og forsøg på flugt samt muskelkramper og gællevæntilation i de sidste faser. Mindst 5% af ålene gøres dog ikke bevidstløse ved en kropstemperatur på 5°C. Ud fra et dyrevelfærdsmæssigt synspunkt anbefales nedkøling af levende ål i forbindelse med slagtning dog ikke (Lambooij *et al.* 2002d).

Nålepistol

Ved mekanisk lammelse af store ål (700-800 g) vha. nålepistol-metode (skudtryk på 8 bar og en luftinjektion på 3 bar i 1,5 sekunder) kunne mindst 93% af ålene lammes effektivt når nålepistolen blev placeret korrekt. Forfatterne anser metoden som værende anvendelig, men påpeger at supplerende undersøgelser vil være nødvendig for udvikling af en tilbageholdelses- og lammeanordning, som er anvendelig i praksis (Lambooij *et*

al. 2002c).

Elektrisk strøm

Opdrættede ål kan gøres øjeblikkelig bevidstløse ved at lede en elektrisk strøm gennem ferskvand (Lambooij *et al.* 2002a), og endvidere aflive dem ved at påføre strøm i længere tid (Robb *et al.* 2002b). Ud fra registreringer af hjerne- og hjerteaktivitet kunne store ål (700-800 g) effektivt lammes ved en middelstrøm på 545 +/- 32mA (ved ca. 250V, 50Hz AC) (Lambooij *et al.* 2002b). Anvendelse af 50Hz vekselstrøm i 1 sekund og en strømstyrke på 0,1A eller derover direkte gennem fiskens hoved har desuden vist at være tilstrækkelig til at bedøve ål. En øget strømstyrke forlængede perioden, hvor ålen var bedøvet, mens tilslutning af strøm i 30 sekunder kunne aflive fisken ved en lavere strømstyrke (mellem 0,50 og 0,95A) (Robb *et al.* 2002b).

En metode der betragtes som værende human til lammelse/aflivning af 50 kg ål ad gangen er beskrevet af Lambooij *et al.* (2002b). Ålene lammes i ferskvand (500 µS) ved en spænding på 200 V i ca. 1 sekund efterfulgt af 50 V i 5 minutter. Samtidig med tilslutning af strømmen af-iltet vandet ved tilførsel af kvælstof, hvilket afliver ålene ved kvælning i løbet af den periode de er gjort bevidstløse. Under forsøg faldt iltmætningen fra ca. 74% til 23% ved 22°C. Efter lammelse blev der hverken registreret hjerneaktivitet eller adfærdsmæssig respons. I en evaluering af metodens effektivitet kunne 1 ud af 18 ål delvist returnere fra at ligge med bugen op ad til en normal position 2 timer efter lammelse. Disse ål udviste dog ingen adfærdsmæssig respons ved påvirkning.

Salt

Ved afslimning i tør salt reagerede ål med modstand og relativ høj muskelaktivitet inden fiskens død og efterfølgende udtagning af indvolde (Morzel og Van de Vis 2003).

Kuldioxid

Bedøvelse af ål i kuldioxidmættet vand tog gennemsnitligt 110 minutter inden opnåelse af bedøvet tilstand (Marx *et al.* 1997).

Neck-cut

”Neck-cut” er en kommerciel måde slagting af ål inden de sælges som friske. Metoden omfatter gennemskæring af rygsøjlen, hvilket adskiller rygsøjlen fra hjernen, hvorefter slagteprocessen fuldendes ved udtagning af indvolde, skindet flås af og en endelig afskæring af hovedet foretages. ”Neck-cut” er tidligere anset at forårsage øjeblikkelig død, men undersøgelser har vist, at hjernen stadig er intakt, både struktur- og funktionsmæssig, så længe slagtingen ikke er tilendebragt (Flight og Verheijen 1993).

11. Kvalitet af opdrætsfisk

11.1 Introduktion

I forlængelse af dette projekts mål om at definere velfærdsparametre i fiskeopdræt, fokuseres der her bl.a. på kvalitetsparametre, som er associerede med fiskevelfærd. Det vil bl.a. sige: Hvilken indvirkning har stress på kvalitet af opdrætsfisk?

Sigtet med dette kapitel er også at beskrive effekten af faktorer, som ikke nødvendigvis er at forbinde med fiskevelfærd. Herved afdækkes andre forhold som bidrager til et kvalitetsmæssigt godt produkt. Dette har relevans, idet forbrugere antages at forvente, at fisk som er opdrættet under velfærdsmæssigt gode forhold, også er af en god kvalitet.

Associationen mellem fiskevelfærd og økologisk fiskeopdræt rejser endvidere et relevant spørgsmål om, hvilke miljømæssige fordele eller ulemper der kan være ved opdræt under velfærdsmæssigt gode forhold. "Kvalitet" får herved en anden dimension, hvor kvaliteten af opdrætsfisken beskrives ved den miljøbelastning som opdrættet giver anledning til.

Begrebet "kvalitet" omfatter således mange parametre når det anvendes om opdrætsfisk. Forbrugeren forventes at forbinde kvalitet med fiskens friskhed, smag, udseende og lugt, mens andre - f.eks. fiskeopdrætteren - udover de nævnte parametre - også vil associere "kvalitet" med lav sygdomsfrekvens, hurtig vækst og høj foderudnyttelse.

Regnbueørreden (*Oncorhynchus mykiss*) er her - ligesom indenfor andre områder af forskning i fisk og akvakultur - især beskrevet i litteraturen om fiskekvalitet. Kapitlet tager overvejende udgangspunkt i denne art. Litteratur som beskriver kvalitet af ål (*Anguilla anguilla*) er derimod ret begrænset, og det er derfor vanskeligt at beskrive hvorledes forskellige parametre indvirker på netop ål. Der kan dog højst sandsynligt trækkes en række paralleller til ål fra den viden man har om kvalitet af regnbueørred og andre benfisk.

11.2 Indvirkning af stress på fiskekvalitet

Som beskrevet tidligere i denne rapport er der en lang række faktorer som kan skabe stress hos opdrætsfisk. Dårlig vandkvalitet med f.eks. lavt iltindhold, højt ammoniakindhold og stort indhold af større partikler fremkalder stress som øger sandsynligheden for sygdom hos fiskene. Stress kan f.eks. også opstå, hvis fiskene forstyrres ofte, hvis der er større temperaturudsving i vandet eller ved etablering af dominanshierarkier. Undersøgelser har således vist, at der er større energiomkostninger for fisk ved at være placeret lavt eller højt i et hierarki end i midten af hierarkiet (Carter *et al.* 2001). Generelt er stress udbredt i opdrætsmiljøer hvor forholdene varierer

i et sådan omfang, at fiskene ikke fysiologisk når at tilpasse sig miljøet inden det på ny ændrer sig.

Kvalitet af opdrætsfisk relateres til stress på den måde, at kronisk stress, som bl.a. er kendetegnet ved et vedvarende højt kortisolniveau i blodet, kan påvirke fiskenes sundhed, fødeindtagelse og biokemiske parametre i fiskekroppen, hvorved kvaliteten af fiskene forringes (Carter *et al.* 2001).

Studier af hvorledes stress påvirker fiskekvalitet, er bl.a. beskrevet indenfor forskning i fangst af vildfisk. Fiskene kan her opleve stress ved fangst og landing, hvor de presses tæt sammen i fiskenettet især under landing på fartøjet. Sådanne forhold, som man til dels kan undgå i opdræt, kan eksempelvis nedbryde naturlige kemiske stoffer (ATP) i fisken. Restprodukterne heraf kan afgive salt-syrlig og bitter smag i fiskekødet (Love, 1988). Endvidere menes det generelle smagsindtryk at blive reduceret, hvis fisk ikke behandles skånsomt ved fangst (Andersen *et al.* 1994), ligesom stress kan påvirke kødets tekstur (Rasmussen 2001). Det foreslås derfor, at man lader fisk hvile efter en stressperiode inden de slagtes, hvorved kødkvaliteten forbedres (Wall 2001).

Motionering af laksefisk har potentiale til at nedbringe den aggressive adfærd imellem individerne (Ellis *et al.* 2002), og motionering har samtidigt den effekt hos bækørred (*Salmo trutta*), at væksten øges, og kvaliteten af fiskekødet påvirkes ved bl.a. at reducere kødets blødhed (Bugeon *et al.* 2003).

11.3 Duft, smags- og visuel kvalitet

Fra vildfisk kendes den årstidsmæssige sammenhæng med smagskvaliteten af fisken. Når gydemodnende fisk danner æg kræver det energi, som kommer fra bl.a. fiskekødets oplagrede energidepoter. Det betyder, at fisken bliver mindre fed og mere vandig, hvilket typisk giver en forringelse af smagen. Efter gydning vandrer fiskene atter ud og æder sig fede, hvorved de typisk bliver mere attraktive som spisefisk.

Mudderduft og -smag kan forekomme i fisk der opdrættes i ferskvand, såsom ørred. Årsagen er især forekomsten af to kemiske stoffer, geosmin og 2-methylisoborneol som frigives i forbindelse med algeopblomstringer. Fiskene kan friholdes fra mudderafsmag ved at lade dem gå i rent vand uden disse opblomstringer (Howgate 2001).

Ofte vil man undlade at fodre fisk 1-2 uger før slagtning, hvilket ikke påvirker kvaliteten af fisken negativt. Omvendt kan mindre end 2-3 foderfri dage inden transport ikke anbefales (Erikson 2001), idet fiskene skal nå at udskille størstedelen af deres affaldsstoffer inden transport. Herved forurenes transportvandet ikke unødigt, og fiskene skal ikke bruge så meget ilt til omsætning af foder.

Længere perioder uden foder kan derimod påvirke kødkvaliteten af fisk, og der kan være velfærdsmæssige aspekter forbundet hermed. I et kvalitetsmæssigt perspektiv vil underernærede fisk have større potentiale for hurtig at fordærve. Det skyldes at disse fisks indhold af glykogen (sukkerdepoter) er lavere end i velnærede fisk. Når fisken dør dannes der mælkesyre af glykogenet, hvorved kødets surhedsgrad (pH) falder. Dette hindrer bakterievækst. Et lille glykogenindhold betyder mindre pH-fald og dermed bedre mulighed for bakteriel vækst i fiskekødet (Connell 1990). Høj pH indvirker også på fiskekødet ved at gøre det mindre fast (Love 1980), men lav pH kan omvendt også indvirke negativt på kvaliteten af fiskekødet, hvilket beskrives senere i dette kapitel.

Synlige fedtdeponeringer i laksefilet, som giver forbrugeren et negativt indtryk af produktet, øges eksponentielt med øget fedtindhold i hele fileten (Mørkøre 2002). Endvidere betyder en ujævn fedtfordeling i fileten, at der bliver større vægttab under den senere forarbejdning (Mørkøre 2002).

Indfarvning

Farven af fileten af store laksefisk er ud fra et forbrugersynspunkt et af de vigtigste kvalitetskriterier, såvel for fersk som for røget laks. I opdræt af laksefisk tilsætter man derfor i en vis udstrækning farve til fiskefoderet, hvilket over en periode aflejres i fiskekødet. Hvis man tilsætter vitamin E til foderet kan man øge indfarvningen i laksefileter. Det skyldes, at vitaminet har antioxiderende virkning, dvs. det hæmmer den naturlige kemiske stofnedbrydning (Sinnott 2002). Også hos pighvar (*Scophthalmus maximus*) ses bedre indfarvning af fiskekødet ved tilsætning af vitamin E til foderet (Ruff *et al.* 2003).

Forbrugere har præference for jævn indfarvning og farven rød, som associeres med sundhed og kvalitet (Birkeland og Skåra 2003). Ujævn indfarvning, som kan forårsages af fedtaflejringer i fileten, og bleghed i fileterne er ofte årsag til nedklassificering af produkterne (Michie 2001). De sidste fem-ti år har man i lakseopdræt i Norge oplevet øgede problemer med at opretholde jævn og god indfarvning. Farveafvigelse er forskellige. Eksempler er gulning af pigment efter røgning samt hvide pletter og misfarvede områder efter skæring eller frysning (Birkeland og Skåra 2003). Stress hos fiskene kan delvist forklare disse forhold, idet kød i laksefisk kan være lysere og mindre rødt hvis fiskene har kæmpet inden aflivning (Robb *et al.* 2000). Et andet forhold der indvirker på kødfarven i laksefisk er tætheden af de enkelte muskelfibre. Jo større fibertæthed, jo rødere fremstår fileten (Johnston *et al.* 2000). Dette er interessant, idet muskelfibertætheden påvirkes af væksthastigheden hos laksefisk. Således viser undersøgelser på regnbueørred og kildeørred (*Salvelinus fontinalis*), at langsom vækst med lille udfodring i opdrætsperioden, resulterer i mindre fibre og dermed større fibertæthed (Rasmussen og Ostenfeld 2000a). Dette kan derfor i teorien føre til rødere fileter, og da der samtidig forekommer større fedtdeponering i fiskekødet ved høj

væksthastighed (Rasmussen og Ostfeldt 2000b), kan der jf. ovenstående endvidere teoretisk opnås mere jævn indfarvning i langsomvoksende fisk, end i fisk som er opdrættet over en kort periode.

11.4 Ydre kvalitet

Typiske, negative karakterer ved opdrætsørred er finneerosion, tyk kropsform afvigende fra slank vildfisk samt egentlige deformiteter som bl.a. kan skyldes indavl (Rasmussen 2001). I opdræt med havbrasen (*Sparus aurata*) har man eftervist, at meget intensivt opdræt gør fiskene mere kompakte, dvs. kortere, bredere og højere (Flos *et al.* 2002). Uhensigtsmæssige opdrætsforhold kan påvirke den ydre kvalitet ved eksempelvis at forårsage snudeskrammer og halebid. En følge heraf kan være flere sygdomsudbrud og øget behov for medicin eller hjælpestoffer (Wall 2001). Fisk som stresses kan blive mørkfarvede, hvorved de får et udseende som kan virke fremmed og mindre attraktivt. Mørkfarvning ses f.eks. hvis fisk går meget tæt (Smart 2001) og/eller hvis de udsættes for høje koncentrationer af ammoniak/ammonium i vandet (Rasmussen og Korsgaard, 1996). Det sidste er typisk et resultat af utilstrækkelig rensning af opdrætsvandet og/eller dårligt vandskifte.

11.5 Kemisk sammensætning af fisken

Udover forsøg med laksefisk (Rasmussen 2001), viser også forsøg på andre arter, at proteinindholdet i fisk stort set er upåvirket af foderets kemiske sammensætning (Morris 2001). Derimod er der en nøje sammenhæng mellem foderets fedtindhold og fedtindhold i fisken. Endvidere ser man hos flere arter en nøje sammenhæng mellem fedtindhold og vandindhold i fisken, således at et højere fedtindhold betyder et lavere vandindhold (Morris 2001; Rasmussen 2001).

Også fiskens størrelse er meget betydende for fiskens fedtindhold, idet fedtindholdet øges med fiskens størrelse. Hos store 4 kg atlantehavslaks ser man typisk et fedtindhold i fiskefileten på 16-18 % (Torrison *et al.* 2001), hvorimod fedtindhold i filet fra portionsørreder (300 g) typisk kun er 4-6 % (Rasmussen og Ostfeldt 2000a; Rasmussen *et al.* 2000a).

Foder til laksefisk er gennem årene blevet mere fedt- og dermed mere energirigt, hvilket har betydet, at der skal anvendes mindre foder til opdræt af en given mængde fisk. Men anvendelse af meget fedtholdigt foder har også negative sider. I flere tilfælde ser man således olieudtrækning fra kødet, særligt ved forarbejdning af store laks. Endvidere har fedt tendens til at akkumulere i fiskens indvoldsfraktion, hvorved denne fraktion bliver stor, og slagteudbyttet reduceres (Rasmussen 2001). Forsøg med portionsørreder (300 gram) har også vist, at de meget fedtholdige fodertyper mindsker det endelige

filetudbytte efter saltnings- og røgeprocesser (Rasmussen *et al.* 2000a). Endelig kan højt fedtindhold i laksefileten fremme muskelspaltning (Birkeland og Skåra 2003) – dette fænomen omtales senere.

Oprætsfisk afviger ikke nødvendigvis i kvalitet i forhold til vildfisk. Fordelene ved opdrætsfisk er, at de er mere ensartede produkter og herved bliver nemmere at forarbejde, samt at ensartetheden appellerer til forbrugernes ønske herom.

Med den til stadighed øgede viden der fremkommer om bl.a. sammenhængen mellem opdrætsfiskenes kemiske sammensætning og opdrætsforholdene, giver det opdrætsindustrien bedre mulighed for at producere fisk af høj kvalitet som tilgodeser såvel forbrugernes som forarbejdningsindustriens ønsker.

Det er dog generelt kendetegnende for opdrætsfisk, at de har et højere fedtindhold end vildfisk. Dette skyldes især, at foder er relativ fedtholdigt, og at fiskene, ifh. til vildfisk, opdrættes over en kort periode med stor udfodring (Rasmussen 2001). Udover olieudtrækninger fra fileter af store laks, kan et højt fedtindhold også hindre saltindtrængning i kødet ifb. med røgning hvorved smagskvaliteten påvirkes. Endvidere kan fedt give kødet en blød konsistens og foranledige olieforfølelse i forbrugers mund (Howgate 2001). Hos andre arter end laksefisk ser man som eksempel at vildfangede helleflynder (*Hippoglossus hippoglossus*) har fedtindhold i kødet på 0,2 %, mens den i den opdrættede helleflynder kan være så høj som op til 7,4 % (Olsson *et al.* 2003). Også hos havbrasen (*Sparus aurata*) viser undersøgelser markante forskelle i fedtindhold blandt opdrætsfisk (8-10 % fedt) i forhold til vildfisk (1-4 % fedt) (Grigorakis *et al.* 2003). I samme undersøgelser fandtes der hos vildfiskene et højere indhold af flygtige aromatiske stoffer, som bl.a. betød at personer i et smagspanel foretrak vildfisk frem for opdrætsfisk. Der er dog intet i litteraturen som indikerer, at vildfisk generelt smager bedre end opdrætsfisk.

I relation til de nævnte aspekter af fedtindhold i opdrætsfisk er det samtidig relevant at nævne de for mennesket sunde marine olier (omega-3 fedtsyrer) som er en del af fedtindholdet i fiskekødet. Disse olier har beviseligt en gavnlig effekt på menneskers sundhed i form af reduceret sandsynlighed for udvikling af hjerte- og karsygdomme, ligesom de er blevet associeret med gavnlige effekter på andre sygdomme. Indholdet af omega-3 fedtsyrer er ofte procentvis lavt i opdrætsfisk, men de faktiske mængder vil ofte være større, på grund af et større totalindhold af fedt i opdrætsfisk (Rasmussen 2001; Olsson *et al.* 2003). Tilsætning af antioxidant til fiskefoderet reducerer nedbrydningen af de ernæringsvigtige fedtsyrer, og den antioxidative effekt kan endvidere forbedre filetens tekstur og smag (Ruff *et al.* 2003). De senere års øgede anvendelse af vegetabiliske olier i fiskefoder frem for marine olier vil kunne reducere mængden af de vigtige polyumættede fedtsyrer i fiskekødet, men da fisk selv kan

syntetisere olierne ud fra eksisterende olier, vil der alligevel bibeholdes et vist indhold af polyumættede olier i fisk fodret med vegetabiliske olier (Howgate 2002).

Bestemte former af fedtstoffet kolesterol er kendt for at fremme udviklingen af hjerte- og karsygdomme hos mennesker. Undersøgelser på bækørred (*Salmo trutta*) fodret med forskellige olier, herunder marine olier og olier fra pattedyr (svin), viste ingen effekt på indholdet af kolesterol i fiskekødet (Turchini *et al.* 2003).

Som det fremgår af ovenstående kan der opstå en række ulemper ved øget fedtindhold i fisk. Hvis fiskeopdrætteren undgår fodertyper med meget højt fedtindhold og ikke opdrætter fiskene over alt for korte perioder, vil han imidlertid oftest kunne undgå høje fedtniveauer i fiskene. Ophør med fodring over længere perioder betyder at fedtdepoterne mobiliseres til energiforbrug, og fisken bliver slankere. Men hos store laks er ændringen i fileternes fedtindhold kun meget beskeden, selv når fiskene ikke fodres i lange perioder på 3-4 måneder. Endvidere kan slagteudbyttet blive reduceret, hvorfor rentabiliteten i denne strategi er ringe (Einen *et al.* 1998; Mørkøre 2002), ligesom den sensoriske kvalitet af fisken kan blive forringet (Rasmussen 2001).

11.6 Teknologisk kvalitet

Forskellige undersøgelser peger på, at stress eller høj aktivitet inden slagtning kan have stor indflydelse på kødkvalitet i fisk (Erikson 2001; Pottinger 2001). Den mælkesyre der produceres under stort aktivitetsniveau/stress vil forårsage lav pH-værdi i kødet, hvis ikke mælkesyren elimineres fra blod og muskler inden slagtning af fisken (Robb 2001). Jo mere mælkesyre, jo lavere pH og jo hurtigere indtræder *rigor* (dødsstivhed) idet syntese af energidonormolekylet ATP hæmmes ved lav pH. Dette kan være en ulempe i opdræt af laksefisk, idet slagtning og forarbejdning bør foregå inden *rigor* indtræder (Robb 2001), hvorved der er mindre chance for muskelspaltning ("gaping") i fileten, og indfarvningen kan fremstå stærkere (Skjervold *et al.* 2001). Hos helleflynder er lav pH i kødet også rapporteret at øge vandtabet (dryptabet), hvilket indikerer en forringet kvalitet af fiskekødet (Olsson *et al.* 2003).

I skotsk lakseopdræt nedklassificeres omkring 40 % af al laks som følge af muskelspaltning. Høj aktivitet inden slagtning, som kan resultere i lav pH-værdi i fiskekødet, kan føre til muskelspaltning (Robb 2001; Mørkøre 2002). Muskel- spaltning forekommer yderligere ved opbevaring af kødet ved for høj temperatur (Dunajski 1979; Michie 2001) og dårlig udskæring (Love 1992). Dertil kommer at årstiden også er af betydning for muskelspaltning. Fænomenet er således mest udpræget i forårs- og sommerperioden hos laks (Mørkøre 2002). I relation hertil øger et højt fedtindhold i laksefileten sandsynligheden for muskelspaltning (Birkeland og Skåra 2003)

Selv når tætheden er relativ høj (over 200 kg pr. m³) under transport fra opdræt til slagteri påvirkes kvaliteten af laksefisk ikke. Dette forudsætter dog at vandkvaliteten er tilfredsstillende, herunder at vandets iltmætning ikke er for lav (Erikson 2001). Herved stresses fiskene ikke, og der vil være mindre sandsynlighed for lav pH i fiskekødet. En forudsætning for at holde en god vandkvalitet i transportvandet er, at fiskene ikke fodres i dagene op til transporten. Herved mindskes udskillelsen af affaldsstoffer til vandet, og iltforbruget reduceres fordi foder i fiskene ikke skal omsættes. Når fiskene når frem til slagteriet er det også en fordel at de har tømte tarme, idet dette mindsker sandsynligheden for spredning af bakterier under slagteprocessen.

Hurtig aflivning - f.eks ved gennemskæring af hjernen - fører til langsommere pH-fald - og kan fremme kødkvaliteten af laksefisk (Robb 2001) bl.a. i form af bedre kødkonsistens (Erikson 2001b). En tilsvarende forbedring af kødkvaliteten ses hos ål (*Anguilla anguilla*) hvor kødkonsistens, indfarvning og kødets friskhed (målt som koncentration af specifikke kemiske parametre) forbedres ved hurtig aflivning (Morzel og van de Vis 2003).

Langsom aflivning derimod, såsom i luft eller på is, eller processer hvorved muskelaktiviteten øges, har ødelæggende effekter på kødkvaliteten. Det anbefales derfor at aflive fisk hurtigt, eller således de ikke stresses, hvorved muskelaktiviteten reduceres. Dette kan fremme god kødkvalitet, ligesom etikken i slagteprocessen højnes (Robb 2001).

Efter aflivning af fisken kan det være af vigtighed, at fisken afblødes grundigt inden slagteprocessen, idet der ellers kan fremkomme blodudtrædninger i fileten (Mitchie 2001).

Kvaliteten af fileten beskrives herudover bl.a. ved dens fasthed, holdbarhed (potentiale til ikke at harske) samt vandholdighed (lavt dryptab). Ved tilsætning af antioxidant (vitamin E) til fiskefoder kan man øge fileten holdbarhed ved at reducere muligheden for harskning, ligesom fileten dryptab reduceres (Baker 1997; Baker 2001).

Udover den tidligere nævnte effekt af pH på kødets fasthed, påvirker muskelfiberstørrelsen også fasthed af kødet. Fileter med gennemsnitligt små fibre er således mere faste end fileter med store fibre (Johnston *et al.* 2000). Idet høj væksthastighed hos ørred øger fileten fedtindhold (Rasmussen og Ostenfeld, 2000b) og øger muskelfiberstørrelsen (Rasmussen og Ostenfeld, 2000a) kan dette give blødere kød. Relationen mellem høj væksthastighed og blødhed i kødet er også rapporteret hos laks (Mørkøre 2002).

12. Fiskevelfærd - internationalt set

De Fem Friheder, "The Five Freedoms" udarbejdet af The UK Animal Welfare Council, er blevet et accepteret som et overordnet regelsæt for management, som skal sikre god velfærd for landbaserede dyr, og er på samme måde anvendt for opdrættede fisk (Ellis *et al.* 2002):

1. Fri for sult og tørst - med let adgang til frisk vand og et foder der opretholder god sundhedstilstand og rigelig energi
2. Fri for gener - ved at tilbyde passende omgivende forhold
3. Fri for smerte, skade eller sygdom - ved forebyggelse eller hurtig diagnosticering og behandling
4. Fri til at udtrykke normal adfærd - ved at skabe tilstrækkelig plads, gode faciliteter og selskab med artsfæller
5. Fri for frygt og stress - ved at sikre opdrætsforhold og håndtering som ikke forårsager mentale lidelser

IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements) repræsenterer en international verdensomspændende sammenslutning af organisationer/instanser, der arbejder for udvikling af økologisk produktion. IFOAM's standarder for økologisk akvakulturproduktion er under udarbejdelse med retningslinier der iflg. forbundet bør overholdes i forbindelse med f.eks. økologisk fiskeopdræt. Standarderne dækker alle former for akvakulturproduktion (fisk, skaldyr, krebsdyr m.v.) i både fersk-, brak-, og saltvand. Dette betyder, at principper, anbefalinger og standarder i kapitel 6 omkring akvakulturproduktion er formuleret generelt:

- Omlægningen til økologisk akvakultur
- Basale forhold som hensyn til fiskens behov m.v.
- Placering af produktionsenhed
- Placering af indsamlingsområder af vilde arter
- Sundhed og velfærd
- Avl og gydning
- Ernæring
- Indfangning
- Transport af levende marine dyr
- Slagtning

Se mere på www.ifoam.org

Eksisterende mærkningsmodeller for økologisk opdræt tager normalt udgangspunkt i standarder defineret af IFOAM, hvorved der ses en vis lighed modellers opbygning og indhold.

Det europæiske forbund, FEAP (Federation of European Aquaculture Producers), har udarbejdet retningslinier for et adfærdskodeks for europæisk akvakulturproduktion, der ligeledes læner sig op af IFOAM's standarder. Det primære mål for adfærdskodekset er at fremme ansvarlig udvikling og ledelse af en dynamisk europæisk akvakultursektor, med det formål at sikre en høj kvalitetsstandard for fødevareproduktion, hvor miljøhensyn og forbrugernes forventninger tilgodeses.

I FEAP's adfærdskodeks er der fastsat etiske regelsæt på flg. områder:

- Fiskeopdræt og velfærd (f.eks. vandforsyning, fiskebestande, fiskesundhed, foder og fodring, håndtering og transport, skadedyr, bestandstæthed, slagtning, drifts- og journalføring)
- Miljø (vandforbrug og -kvalitet, placering af anlæg, ledelse af anlæg)
- Forbrugere
- Sociale og økonomiske forhold

(yderligere detaljer se www.feap.org)

Skotland og Wales har desuden oprettet et uafhængigt råd, The Farm Animal Welfare Council (FAWC), med det formål at rådgive staten omkring velfærd hos opdrættede dyr. Rådet har udgivet en rapport med anbefalinger for en række retningslinier for god opdrætspraksis af atlantehavslaks og regnbueørred (FAWC 1996).

12.1 Økologiske mærkningsmodeller

I en række lande er det i dag muligt at producere akvakulturprodukter efter økologiske standarder administreret af private eller statslige certificeringsmyndigheder (agitorer). I Europa findes der en række økologiske mærkningsmodeller, som er godkendt af offentlige myndigheder f.eks.:

Mærkningsmodel	Fiskearter	Certificeringsmyndighed	Land
Det Røde Ø-mærke Se bekendtgørelse om økologisk akvakulturbrug BEK nr 114 af 23/02/2004	Regnbueørred Ål	Den danske stat	Danmark
Debio www.debio.no	Atlantehavslaks Ørred Regnbueørred Fjeldørred	Debio Upeget af Statens landbrugs- og næringsmiddeltilsyn som udøvende organ	Norge og Sverige
Soil www.soilassociation.org	Laksefisk Specielt laks og ørred	Soil Association	Storbritanien

Andre europæiske mærkningsmodeller er nævnt i artiklen ”Status for økologisk akvakultur – mens vi venter på den danske bekendtgørelse” (juli 2003). Se mere på www.eco-aquafish.dk

Udover de statsgodkendte økologiske mærkningsmodeller har enkelte brancher og foreninger taget initiativ til en række mærkningsordninger.

Det røde Ø-mærke

Den 3. marts 2004 fik danske regnbueørred- og åleopdrættere officiel tilladelse til at opdrætte økologisk fisk efter det nye danske regelsæt, som er fastlagt i to bekendtgørelser for henholdsvis økologisk akvakulturbrug og for foderstoffer til anvendelse i økologisk akvakulturbrug. Efter de nye regler kan de økologiske fisk fra akvakulturbrugene mærkes med det røde Ø-mærke, som anvendes til mærkning af alle andre økologiske produkter i Danmark. Denne mulighed har de danske producenter ikke haft før, da der ikke tidligere har været danske regler på området. Bekendtgørelsen har været undervejs i flere år og efter notificering i EU er vejen nu banet for, at det igangværende udviklingsprojekt om opdræt af økologiske ørred på fire pionerdambrug kan fuldføres efter dansk regelsæt. Se mere på www.eco-aquafish.dk

Debio

Debio's regler for økologisk akvakultur er udviklet i samarbejde med svenske KRAV. Foruden fælles regelsæt i Sverige og Norge, er der også gensidig anerkendelse af hinandens kontrolsystemer. I den første udgave gældende fra januar 2001 er der specifikke regler for laksefisk (arterne laks, ørred, regnbueørred og fjeldørred), men intensionen er at udvikle specifikke regler også for andre arter af fisk, skal- og krebsdyr.

Soil Association

Soil Association's økologiske mærkningsmodel blev en realitet i 2000 lanceret i fællesskab af tre aktive britiske institutioner for økologisk certificering (Soil Association, Food Certification Scotland, Organic Food Federation). Modellen bygger på Soil Association's oprindelige standarder. Soil Assosiation's økologiske standarder henvender sig på nuværende tidspunkt til pelagiske fisk, specielt laks og ørred, i alle vækststadier og opdrætsanlæg. I fremtiden er det hensigten at udvikle standarder for andre former for benfisk og skaldyr.

13. Opsamling / Diskussion og fiskevelfærd i økologiske modeller

I dette kapitel opsamles og diskuteres litteratur præsenteret i resultatafsnittene. Endvidere redegøres for parametre og kriterier omkring fiskevelfærd i de tre økologiske mærkningsmodeller, Det røde Ø-mærke (Røde Ø), Soil og Debio. Resultater fra litteraturen kan således sammenholdes med de økologiske regelsæt og anbefalinger og herved belyse fiskevelfærd, miljø og fiskekvalitet i et økologisk mærke af regnbueørred og ål.

I en søgning på emner, som har relevans for fiskevelfærd, er projektgruppen, ikke overraskende, støt på megen litteratur omkring laksefisk, mens den for mange øvrige opdrætsfisk er mere sparsom. Dette er tydeligt i rapportens resultatafsnit, der i langt højere grad omhandler regnbueørred sammenlignet med den europæiske ål, som er de to arter dette projekt fokuserer på.

Blandt fiskeopdrættere og forskere er der generel enighed om, hvilke opdrætsforhold der kan have negative konsekvenser for fisk, herunder uhensigtsmæssig håndtering og transport, vandkvalitet og tæthed. Denne viden har ført til anbefalinger om arbejdsprocedurer og grænseværdier for f.eks. vandkvalitetsparametre, der oprindeligt har haft til formål at øge produktionen. I de senere år er det blevet almindeligt også at vurdere fiskevelfærd alene, selv om både produktionsoptimering og forbedring af velfærd i mange henseender følges ad, herunder tiltag der minimerer fiskenes dødelig-/sygelighed. I økologisk opdræt fokuseres der primært på miljø, fiskevelfærd og fiskekvalitet. De tre økologiske mærkningsmodeller indeholder alle afsnit omkring generelle hensyn, der skal tilgodese fiskens almindelige trivsel.

I Røde Ø skal personale på økologiske akvakulturbrug påse, at fiskene ikke udsættes for unødigt lidelse som følge af stress, høj besætningstæthed, fodring, interne miljøforhold, transport, håndtering eller sygdom.

I Debio skal al drift indrettes ud fra miljøhensyn og trivsel, og god sundhed for dyrene skal være det overordnede mål. Det skal tilrettelægges således, at dyrene i størst mulig grad har et miljø, som er indrettet for at tilfredsstille grundlæggende fysiologiske og adfærdsmæssige behov.

I Soil skal driftsstyring sikre et lav-stress-miljø og så vidt muligt tillade bestanden at fungere i overensstemmelse med deres basale adfærdsmønstre.

13.1 Arter og domesticering

Stressresponsen hos fisk er genetisk bestemt, hvilket gør nogle arter mere modstandsdygtige i opdrætssammenhæng end andre. Et stressrespons hos den enkelte fiskeart varierer i tråd med den forskellighed, der hjælper dem til at tilpasse sig forskellige vandmiljøer. Således er en direkte sammenligning mellem f.eks. ål og andre opdrætsarter strengt taget ikke af nogen værdi pga. fundamentale forskelle i basal biologi og social adfærd (Knights 1985). Også mellem beslægtede arter som laksefisk observeres forskelle, f.eks. er kildeørred mere resistent overfor håndtering og transportstress end søørred (Wedemeyer 1996a). Derfor skal man være varsom med at overføre forsøgsresultater mellem selv beslægtede arter.

Indenfor samme art ses desuden også forskelle i stresstolerancer imellem individer. Denne egenskab forklares hovedsageligt ved artens genetiske variation, der i avlsarbejdet udnyttes til at fremavle f.eks. regnbueørredstammer som i adfærd og fysiologi er forskellige fra den "naturlige" stamme. Forskelligheden kan bl.a. vise sig i højere stresstolerance og bedre tilpasningsevne til mennesker og nye omgivelser (Billard *et al.* 1981). Således kan negative forhold forårsaget af intensiv opdræt elimineres ved domesticering (Pottinger og Pickering 1997; Bruno og Ellis 1996).

13.2 Opdrætsrelaterede emner om fiskevelfærd

Opdrætsrelaterede emner i litteraturen om fiskevelfærd og stress kan kategoriseres på følgende måde:

- Håndtering og opdrætsprocedurer (udfiskning, sortering og transport)
- Adfærd og sociale relationer (især aggression og dominanshierarki)
- Vandmiljøkvalitet under opdræt og transport
- Stress- og produktionsrelaterede sygdomme (parasitter, finneslid, fejludviklede fisk m.v.)
- Slagtemetoder

Foderkvalitet påvirker i høj grad også fiskenes trivsel, men i nærværende rapport er der ikke fokus på dette emne.

13.3 Håndtering og opdrætsprocedurer

Håndtering af fisk kan forårsage fysiske skader, fysiologisk stressrespons og dødelighed som følge af akut sammenstuvning og den modstand som fiskene udviser. Ved løft ud af vandet, udviser fisk desuden det maksimalt mulige stressrespons. Skånsom håndtering ved sortering og transport giver et moderat stressrespons hos regnbueørred, men det er dog muligt at opbygge et større stressrespons ved flere på hinanden følgende håndteringer (additiv), f.eks. en sortering med efterfølgende transport. Derfor må

opdrætsprocedurer under sortering, udfiskning, strygning og øvrige håndteringsprocedurer planlægges, og foretages så skånsomt som muligt.

For laksefisk er der i litteraturen givet en række anbefalinger omkring håndtering, som kan reducere fysiske skader, stresseffekt og nødvendig tid til restitution:

- Varigheden af enhver uundgåelig stressfaktor bør minimeres mest mulig
- Undgå håndtering ved høj vandtemperatur
- Laksefisk i fuldstyrke saltvand (havvand) bør ikke sorteres eller håndteres ved vandtemperaturer over 10°C, men heller ikke under 4-5°C
- Undlad fodring i perioden op til håndtering af fisk
- Der bør tillades minimum én uges restitution inden fisken håndteres igen
- Mulighed for svømning med ca. 1 kropslængde pr. sekund efter udmattende stresspåvirkning
- Tilsætte salt til vandet (0,9% NaCl i ferskvand) hos udmattede fisk
- Flytte fisk vha. vakumpumper
- Ketcher bør ikke anvendes til håndtering af laksefisk, hvis fisken holdes ude af vandet i mere end 1 minut
- Ketcher til håndtering af fisk bør have en glat overflade
- Det tilrådes at give tilstrækkelig fysisk støtte til fisk, der tages ud af vandet
 - især store, tunge fisk, som ikke udelukkende bør holdes i halen

I Soil skal alle rutiner, der involverer håndtering af bestanden, f.eks. indfangning, sortering, vaccination, transport eller tildeling af tilladte behandlinger, udføres med det mål at minimere stress i overensstemmelse med procedureerne der er beskrevet i kvalitetsmanualen. Fisk må kun stuves sammen for at gøre fangsten af dem lettere.

I Debio anbefales det at dyrene håndteres mindst muligt og på mest mulig skånsom måde.

I Røde Ø skal opholdet uden vand gøres så kort og skånsomt som muligt ved arbejdsgange, der indebærer, at fiskene fjernes fra vandet. Ved sortering skal fiskene overbruses med vand.

I Røde Ø skal ørreder inden håndtering være holdt fodertomme i mindst 4 og højst 10 døgn. For ål er det mindst 1 døgn og højst 10 døgn.

Transport af fisk

Mængden af fisk, der på acceptabel vis kan transporteres, afhænger især af transporttid, transporttankens beluftningssystem, vandets kemiske sammensætning, temperatur, fiskestørrelse og -art. Den anbefalede vægt af laksefisk, der maksimalt må transporteres, foreslås at være direkte proportional med fiskens længde.

Af hensyn til fiskens sundhed er det vigtigt at opretholde en god vandkvalitet ved faste af fisk inden transport og ekstra ilttilførsel og CO₂-fjernelse (stripning) under selve transporten. Mindre laksefisk (<100 g) bør faste i mindst 2 dage inden transport og større fisk i mindst 3 dage. Det anbefales, at transportvandet inden læsning er iltovermættet til 14-16 mg O₂/l for at kompensere for det forhøjede iltforbrug i begyndelsen, inden fiskene falder til ro. Længerevarende høj overmætning skal dog undgås. Iltniveauet under fisketransport afhænger især af temperaturen, som ikke må være for høj, og om CO₂-niveauet kan holdes på et lavt niveau. Tilsætning af salt, buffere, bedøvelse og polymerer til transportvandet er yderligere tiltag, der foreslås at kunne forbedre fiskens sundhed under og efter transport.

I Røde Ø skal fisk, der leveres til transport, være klinisk raske. Soil har et lignende krav til transport af unge fisk, der kun må transporteres når de er sunde og deres tilstand skal undersøges omhyggelig før enhver transport. Individder der ikke er sunde og raske skal fjernes.

I Røde Ø skal ørreder inden transport holdes fodertomme i mindst 4 og højst 10 døgn. For ål er det mindst 1 døgn og højst 10 døgn. Transporten af fisk må kun foregå i vand fra det leverende anlæg eller direkte fra boring eller væld. Det skal sikres, at fiskene ikke udsættes for store svingninger i iltindholdet i transportvandet. Iltindholdet skal til enhver tid under transporten ligge mellem 65 og 100% iltmætning.

I Røde Ø må fisk maksimalt opbevares eller transporteres i transportbassiner i 6 timer uden vandskifte. Ved vandskifte må der udelukkende anvendes vand direkte fra boring eller fra væld. Den samlede opholdstid i transportbassiner og eventuel opholdstid i bassiner på opskæringsvirksomheden må ikke overskride 12 timer. I restauranter eller lignende må økologiske fisk maksimalt opbevares levende i 21 døgn inden slutbrug under forudsætning af, at de fysiske/kemiske forhold og fisketætheden mindst lever op til kravene i modellens bilag 3.

I Soil skal transporttiden holdes på et minimum, og niveau af fiskeantal og biomasse i transporttankene skal sikre fiskenes velfærd. Aquaculture Standards Committee vil afgrænse transporttiden i nær fremtid. Transporten skal udføres med stor påpasselighed for at undgå unødigt stress og at fisken skræmmes. Iltning bør være påkrævet under transport med konstant måling af iltniveauet under hele transporten. CO₂-indholdet må ikke tillades at stige til et skadeligt niveau. Store ændringer i vandtemperatur og pH skal undgås.

I Debio må levende fisk transporteres i højst 6 timer. Debio kan i specielle situationer give tidsbegrænset dispensation fra dette krav. En person skal være ansvarlig for dyrenes forhold under transporten. Det skal umiddelbart rapporteres til Debio, hvis

transporten forårsager stress af og/eller fysisk skade på fisken. Transportudstyr og materialer må ikke kunne medføre giftvirkning. Syntetiske stimuli og/eller beroligende midler må ikke anvendes i forbindelse med transport.

Fersk- og saltvandsoverførsel

Smolt af havgående (anadrome) laksefisk er af naturlige årsager særlige følsomme overfor stresspåvirkninger og selv om smolt normalt klarer en direkte overførsel til havvand, udsættes fisken altid for nogen osmoregulatorisk og respiratorisk stress umiddelbart efter overførslen. Yderligere stresspåvirkning i denne periode kan have fatale følger.

For at minimere dødelighed som følge af ufuldstændig smolt-udvikling hos laksefisk overført til saltvand, er det i ferskvandstadiet vigtigt at undgå uhensigtsmæssige ydre påvirkninger såsom uhensigtsmæssig lys-mørkeperiode, høj temperatur, høj bestandstæthed, forebyggende sygdomsbehandling eller dårlig vandkvalitet. Smolt med latente infektioner eller gælleparasitinfektioner bør ikke overføres til havvand. Smoltudviklingen bør følges ved fysiologiske tests, der kontrollerer fiskens evne til at styre salt-vandbalancen (osmoregulering).

I Soil skal smolt af atlantehavslaks, der lige er overført fra ferskvand til saltvand, behandles med særlig varsomhed. Håndfodringsprocedurer bør anvendes indtil smoltene aktivt tager føde til sig, og udviser normal stimeadfærd.

Lys - mørke cyklus

Den naturlige ændring i årstidens lys-mørkeperiode (fotoperiode) er én af de vigtigste omgivende faktorer, der påvirker adfærd, appetit, smoltudvikling og kønsmodning/gydning. Lysperioden må derfor kun reguleres med forsigtighed for ikke at få uheldige følger. Med mindre en accelereret eller forsinket smoltudvikling ønskes, er det bedst at holde pre-smolt under naturlige lysforhold eller under kunstig lysstyring som følger en naturlig lysintensitet og fotoperiode.

Hurtige skift mellem lys og mørke (tænd/sluk) kan forårsage adfærdsmæssig stress og bør undgås i opdræt af regnbueørreder, hvorfor ændringer i lysintensiteten bør foregå gradvis over længere tid.

Som følge af negative effekter på æg og larver ved diffus lyspåvirkning anbefales inkubering af disse stadier i mørke.

I Debio må en kunstig daglængde ikke være længere end årets naturlige daglængde for arternes udbredelse. I åbne anlæg må kunstig lys kun tilføres i form af undervandslys.

I Soil må kunstigt lys ikke anvendes for at manipulere smoltificering eller kønsmodning hos produktionsfisk. Kunstigt lys må kun benyttes til yngel og kun med henblik på at forlænge dagen op til i alt 16 timer. Det anbefales at sørge for skygge, specielt i de unge stadier hos fiskene og i lavvandede opdrætsanlæg. Det er forbudt at anvende overdækkede opdrætssystemer til vækst- og slutproduktion (dvs. fast tag).

Moderfisk og afkom

Reproduktionssucces afhænger af komplicerede hormonale kontrolmekanismer og flere miljømæssige forhold som temperatur, daglig lys-mørkecyklus, fodring, vandkvalitet og sociale forhold. Nedsat reproduktionssucces er et fænomen, der almindeligvis hænger sammen med stress hos fisk og andre dyr. Stress reducerer både fiskens vækst og den energi, der investeres i afkommet. Forstyrrelse eller håndtering af moderfisk kan påvirke tidspunktet for gydningen, accelerere eller forsinke det, og forringe kvalitet af æg eller afkom. Hos regnbueørred har forholdsvis mild stresspåvirkning af moderfisk under ægdannelsen ingen effekt på befrugtningssucces eller yngeloverlevelsen. Men stress under sen ægdannelse kan dog fremskynde gydetidspunktet med enkelte uger og give stor variation i ægstørrelse, mens kraftig stresspåvirkning yderligere medfører forøget dødelighed blandt afkom.

I Debio skal sættefisk af laksefisk stamme fra domesticerede fisk, og det anbefales, at der fortrinsvis benyttes stammer, som er tilpassede lokale forhold, og at avlen bør baseres på et stort antal forældrepar for at undgå indavl, genetiske skadevirkninger og tab af genetisk mangfoldighed. Avlsarbejdet skal fokusere på fiskenes sundhed og miljøtilpasning, samt på god vækst med mindst mulig brug af indsatsfaktorer.

I Soil anbefales det at moderfisk udvælges efter deres tilpasning til det lokale miljø. Strygningen skal udføres af trænet og kompetent personale og med speciel hensyn til velfærd hos moderfiskebestanden. Strygningsmetoder bør sigte mod minimal indgriben i dyrets naturlige gydeadfærd og minimal anvendelse af højteknologiske/ intensive opdrætsmetoder. Det anbefales at eget avlsprogram udvikles på opdrætsanlægget. Endvidere accepteres det at moderfisk slagtes inden strygning. Æg bør inspiceres hurtigt efter befrugtning og hyppigt derefter, for at sikre at de holder en god sundhedstilstand.

13.4 Adfærd og sociale relationer

Naturlig adfærd hos rovfisk som regnbueørred og ål kendetegnes ved konkurrence og aggression med territoriehævdelse. Aggressiv adfærd forekommer ligeledes under opdræt med etablering af dominanshierarkier. Dette kan være en betydelig kilde til stress, fysiske skader på krop og finner samt foranledige andre sundhedsproblemer, især hos mindre underordnede fisk. I løbet af kort tid opstår størrelsesforskelle i fiskegruppen, så hierarkiet forstærkes. Regnbueørreden hører til blandt de mest aggressive laksefisk, der er undersøgt hidtil, hvor kampe fører til finnebid, nedsat

appetit, højere sygdomsfrekvens og dødelighed hos underordnede individer. Når de sociale hierarkier er etableret bliver konflikterne mindre hyppige som følge af stabiliserende relationer mellem de forskellige dominansgrupper.

Aggression og dominansforhold imellem fisk griber ind i næsten al opdrætspraksis, hvor især udfodring (mængde og metode), vandhastighed og bassinstørrelse samt fiskens livsstadium er parametre med særlig betydning for disse sociale relationer. Betydningen af størrelsesforskelle og bestandstæthed er endnu ikke tilstrækkeligt undersøgt.

Det bør tilstræbes at aggression eller social dominans minimeres. Dette kan både skabe god trivsel og medføre et mindre behov for størrelsessorteringer og dermed mindre håndtering af fisk.

I Debio er det et mål at holde et lavt aggressionsniveau og at forhindre at fisk skader hinanden. I Soil bør størrelsesfordelingen af fisk ikke bringe velfærd i fare eller føre til hierarkisk adfærd.

Udfodring

Udfodringen, såvel mængde som frekvens, påvirker i høj grad fisks sociale adfærd, fiskekvalitet og det omgivende miljø, hvorfor det er vigtigt at vælge en korrekt foderstrategi. Ved udfodring hos regnbueørred anbefales bl.a. følgende for at minimere såvel aggressiv adfærd, størrelsesforskelle mellem individer som miljøpåvirkning ved optimering af foderudnyttelsen:

- Spredde fodret ved udfodring
- Ved brug af selvfodringsautomater (f.eks. pendul) justere fodermængden der afgives ved hver foderudløsning. I større opdrætsenheder anbefales 0,03-0,05 g foder/kg fisk pr. udløsning. Generelt bør doseringen af hver foderudløsning stige med temperaturen.
- Ved brug af selvfodringsautomater foreslås 2 timers adgang til foder om morgenen (daggy) og endnu 2 timer om aftenen (skumringen). Ved store fodermængder, høj bestandstæthed og mindre fisk anbefales hyppigere udfodringer.
- Være varsom med pludselig reduktion i daglig udfodret mængde. Det kan under skiftende ilt og temperaturforhold være nødvendigt at sænke fodermængden eller begrænse tiden for den daglige eller sæsonmæssige foderadgang. Desuden anbefales det at faste fisk inden håndtering og levering til slagtning.
- Fodring bør undgås om natten

I Røde Ø og Debio skal fodringen ske på en måde, der sikrer, at fiskene har tilstrækkelig uhindret tilgang til fodret og et minimalt tab til det omgivende miljø. I Soil bør valgte udfodringsmetoder tilpasses arten, dens livsstadie og naturlige

fodringsbehov, og fodring bør samtidig foregå under minimal stresspåvirkning. Adfærd skal observeres under udfodringen. Automatiske fodringssystemer skal regelmæssigt kontrolleres og vedligeholdes, så de altid er i orden. I Debio og Soil lægges der vægt på, at fodret skal være af god kvalitet og ernæringsmæssig sammensat, så det er tilpasset arten samt, at fodret skal tilbydes på en måde, som tillader naturlig foderindtagelse med mindst mulig foderspil.

Tæthed

Fisketæthed kan have stor betydning for fiskenes trivsel. Høj tæthed øger risikoen for forringet vandkvalitet som følge af større udfodringsmængder og spredning af sygdomme kan foregå hurtigere. Der er dog ikke enighed om hvorvidt høj tæthed i sig selv forårsager øget aggression, idet både lav-, middel- og høj tæthed ses anbefalet i den videnskabelig litteratur til reduktion af aggressiv adfærd. I flere undersøgelser er der registreret øget finneerosion ved højere tætheder, hvilket dog ikke entydig var tilfældet i projektets fase 2 forsøg. Seks ugers forsøgsperiode kan muligvis være for kort tid til at registre øget finneerosion forårsaget af slid mod artsfæller, bund og sider i forsøgstanke. Bideskader ville dog erfaringsmæssigt kunne ses i løbet af denne tid, men blev heller ikke fundet at variere nævneværdigt ved de undersøgte tætheder (se bilag). Årsager til øget finneerosion ved højere bestandstætheder søges belyst yderligere i en igangværende undersøgelse i Storbritannien.

Blandt laksefisk anses regnbueørred for at være forholdsvis tolerant overfor høj tæthed, hvilket formentlig skyldes den høje grad af domesticering. Med øget tæthed registreres normalt intet stressfysiologisk respons ud over nedsat foderaktivitet, tilvækst og foderkvotient fundet i nogle undersøgelser, men ikke i andre.

I den videnskabelig litteratur ses stor variation i anbefalinger om maksimale tætheder for opdræt af regnbueørreder. Tallene går således fra 8 til $\geq 267 \text{ kg/m}^3$ i ferskvandsopdræt, og fra 4 til 35 kg/m^3 i netbuopdræt som i havbrug. I forhold til længde af regnbueørreder er der fundet anbefalinger på $0,5\text{-}3,4 \text{ kg/m}^3/\text{cm}$ og $1,5 \text{ kg/m}^3/\text{cm}$ for opdræt i hhv. ferskvand og havbrug. I praksis anses tætheder på 4 og 8 kg/m^3 for at være meget lille og ude af trit med opdrætsforhold, der kan give god trivsel blandt regnbueørreder, mens en tæthed på 267 kg/m^3 eller derover sandsynligvis, som minimum, ligger i overkanten af dens mulighed for normal svømmeadfærd og foderindtagelse. Hovedårsagen til litteraturens ofte modstridende anbefalinger for maksimal tæthed, skal sandsynligvis findes ved forskellige forsøgsspecifikke forhold, men også hvilke effektparametre der måles - dødelighed, appetit/vækst, sundhedstilstand eller blod-fysiologiske parametre m.v. Beskrivelse af forhold som er af betydning for tæthedstolerance, kritiseres for at være mangelfulde i mange undersøgelser, f.eks. kan lysforhold, vandhastighed, foderniveau og -strategi indvirke på fiskenes tæthedstolerance (Pennell og McLean 1996). Det er også vigtigt at holde alle øvrige parametre konstante, hvilket Ellis *et al.* (2002) påpeger ikke er tilfældet i mange

tæthedforsøg, hvor forringet vandkvalitet menes at påvirke resultatet. Endvidere kan adaptation og tidligere oplevet bestandstæthed have betydning for forsøgsresultaterne. Dette kan ikke udelukkes at være en medvirkende årsag til resultater opnået i fase 2 forsøg, hvor forsøgsfisk kom fra relativt høje tætheder i produktionsanlægget (se bilag). I de fleste høj-tæthedforsøg er der anvendt mindre tanke end de, der anvendes i en almindelig fiskeproduktion, fordi det i større opdrætsbassiner eller raceways er vanskeligere at kontrollere vandflow og –dynamik sammenlignet med mindre tanke. Endelig kan tiden, der er til rådighed for pasning og fodring af fisk, være begrænset under kommercielle forhold.

Forskellige fortolkninger af data vanskeliggør en samlet anbefaling for grænseværdien for bestandstæthed, bl.a. fordi mekanismerne for hvorledes tæthed påvirker en gruppe fisk ikke kendes til fulde. Bliver det aktuelt at fastsætte krav til opdrætstætheden på økologiske opdrætsanlæg må de enkelte undersøgelser evalueres nøjere med henblik på at frasortere ”outliers”. En generel grænseværdi hos en art vil dog ikke være tilstrækkelig dækkende for alle systemer og tilfælde, men i stedet bør der anvendes en model, der tager højde for flere betydende faktorer for fiskearters tæthedstolerancer. Her vil især fiskestørrelse, opdrætsbassin (materiale, størrelse, form), vandflow og udfodring være relevante. Endvidere kan domesticeringen af regnbueørredstammer have en større betydning, idet stresstolerancen påvirkes af adfærdsmæssige forhold såsom graden af tamhed.

I Soil anbefales en maksimal tæthed hos regnbue- og bækørred på 20 kg/m^3 i opdrætsbassiner med strømmende ferskvand og 10 kg/m^3 i ferskvandsnetbure. Maksimale tætheder for opdræt af atlantehavslaks er 10 kg/m^3 i saltvandsnetbure og 20 kg/m^3 i unge ferskvandsstadier. Certificeringsmyndigheden kan dog tillade afvigelser fra disse maksimale tætheder for det enkelte fiskeopdræt i overensstemmelse med lokalitetens specifikke forhold.

I hverken Debio eller Røde Ø er der specifikke krav til en maksimal tæthed. Dog er der i Debio krav om at den minimale størrelse af produktionsbassinet i åbne anlæg ved opdræt af regnbueørred og fjeldørred er 50 m^2 eller 250 m^3 i den sidste halvdel af biomassestigningen. Yderligere skal der ved tilpasning af besætningstætheden tages hensyn til fiskeartens aggressionsniveau målt ved forekomst af finnebid, og at fisken har mulighed for stimedannelse.

I Debio nævner man at for visse fiskearter kan lav bestandstæthed føre til øget aggression, mens høj bestandstæthed på den anden side kan medføre mistrivsel.

13.5 Vandmiljøkvalitet

Vandkvalitet er kendt som værende en betydende faktor for sygdomsudbrud og stress i intensiv fiskeopdræt. Dårlig vandkvalitet, eller ændringer i vandkvaliteten, kan yderligere forårsage nedsat appetit, vækst og foderudnyttelse (f.eks. Smart 1981). Derfor er bestræbelser på at forbedre vandkvaliteten et godt sted at starte, når der skal skabes gode opdrætsbetingelser, som tager hensyn til fiskens sundhed og fysiologiske tilstand.

Vandmiljøkvaliteten hos en fiskeart påvirkes primært af:

- Bestandstæthed (kg/m^3)
- Udfodringsrate (kg/dag)
- Vandudskiftningsrate (liter/sek.)
- Kvalitet af indløbsvand

Tolerancen overfor niveauer af vandkvalitetsparametre er kompleks hos fisk. Dette skyldes, at vandkemien i sig selv er kompleks, og at fiskearter, udviklingsstadier og fiskestamme reagerer forskelligt overfor samme betingelser. Desuden har fisk også en evne til tilpasning (adaptation) under ændringer i vandkvaliteten – en egenskab som bl.a. gennem evolutionen er udviklet for at kunne overleve naturlige variationer i temperatur, ilt, pH, hårdhedsgrader m.v. Disse forhold vanskeliggør fastsættelse af parametre og niveauer, der i alle tilfælde giver optimal miljø- og opdrætsforhold (Wedemeyer 1996a og 1997; Wickins 1980).

En hovedårsag til litteraturens ofte forskelligartede resultater omkring flere nøglevandkvalitetsparametre, der skal sikre god velfærdsstatus, skyldes forskellige forsøgsforhold, men også hvilke effektparametre der måles på - dødelighed, appetit/vækst eller blod-fysiologiske parametre. Til trods for disse forhold findes der dog generelle anbefalinger for vandkvalitet, men som nævnt vil det være hensigtsmæssigt at fastsætte vandkvalitetskrav som gælder for forskellige arter og størrelser af fisk.

Vandtilførsel

Vandtilførsel leverer ilt og fjerner giftige affaldsstoffer fra opdrætsbassinet. Vandudskiftningen er således yderst vigtig for fiskens sundhed og betydende for mængden af fisk, der maksimalt bør opdrættes i et bassin (f.eks. Baker og Ayles 1990; Procarione *et al.* 1999).

I Røde Ø skal vandudskiftningen ved produktion af økologiske ørreder sikre, at fiskenes fysiologiske krav med hensyn til strømhastighed og iltindhold tilgodeses. Ligeledes skal negativ indflydelse af ophobede affaldsstoffer og gasser undgås.

I Debio skal vandet have så lav en grad af forurening, og så stort indhold af ilt, at opdrætsdyrene ikke påvirkes negativt. Opdrættet må ikke placeres i nærheden af, eller nedstrøms, en væsentlig forureningskilde.

I Soil er der krav om, at opdrætsfaciliteterne og/eller hydrografiske karaktertræk skal sikre god vandudskiftning med vand af høj kvalitet i overensstemmelse med artens behov. Vandudskiftningen skal minimum være 1 l/kg fisk/min (fuldt iltet strømmende ferskvand) ved produktion af regnbue- og bækørred. I opdræt af atlantehavslaks i havvand skal vandhastigheden være moderat til høj, dvs. middel-strømhastigheder på hhv. 5+ og 10+ cm/sek.). På visse tidspunkter af tidevandscyklussen bør strømhastigheden overstige 1 kropslængde pr. sek. Certificeringsmyndigheden kan tillade afvigelser fra disse niveauer for det enkelte fiskeopdræt i overensstemmelse med lokalitetens specifikke forhold.

Lavt iltniveau og gasovermætning

Fisk er naturligt i stand til at tilpasse sig et lavere iltniveau i vandet, men forekommer der et større akut fald i iltindholdet eller overskrides fiskens tolerancetærskel for iltindhold, fører det til respiratorisk stress og eventuel nedsat ilttransport til vævene. En mindre overskridelse af iltolerancetærsklen nedsætter appetit og foderomsætning, men i kritiske tilfælde kan fisken kvæles og dø, når iltkravet til basale stofskiftefunktioner ikke længere opfyldes. I ældre videnskabelig litteratur anbefales minimalt iltniveauer op til 6 mgO₂/l hos regnbueørred og 5 mgO₂/l ål, men i moderne opdræt med meget energiholdigt foder, hurtigt voksende fisk og intensiv fodring anses disse niveauer ikke altid at være tilstrækkelige, med mindre udfodringen reduceres. Opretholdes en normal høj udfodring anbefaler foderfirmaer iltniveauer på f.eks. minimum 5,5 og 8,3 mg/l ved vandtemperaturer på hhv. 5 og 20°C, hvis foderudnyttelsen skal være maksimal. For god trivsel blandt fiskene anbefales det at vandets iltindhold under opdræt tilpasses ændringer i opdrætsbetingelser, hvor især udfodret energi, vandtemperatur, fiskestørrelse og -stadium, vil indvirke på den krævede iltmængde.

Gasovermætning kan føre til dykkersyge, men der er stor forskel på om det er atmosfærisk luft eller ren ilt, der forårsager gasovermætningen, idet vævenes iltforbrug minimere risikoen for skade som følge af iltovermætning. Endvidere kan vandets hårdhed minimere skadevirkning ved dykkersyge hos havgående (anadrome) ørreder. Mange arter er robuste overfor overmætning med ilt, inklusiv regnbueørred og ål, men er følsomme overfor en total gasovermætning forårsaget af inaktive gasser som kvælstof. Tolerancer på 103-110% total gasovermætning er nævnt for laksefisk, med en stigende tolerance med fiskens udvikling. I tilfælde af at fisk udsættes for en total gasovermætning af vandet er det vigtigt ikke at foretage en pludselig gastykreduktion, men at afgasse vandet langsomt.

I Røde Ø skal iltmætningen under normale driftsbetingelser ligge mellem 65 og 100 % relativ iltmætning. Sensorer til automatisk tilkobling af nødilt skal kontrolleres mindst en gang ugentligt. I anlæg uden automatisk nødilt skal iltindholdet måles mindst en gang i døgnnet. Mætningen med atmosfærisk kvælstof under normale driftsbetingelser må ikke være så høj, at det giver anledning til udvikling af dykkersyge i fiskene. Ved unormal dødelighed blandt fiskene eller ved unormal adfærd i anlæggets fiskebestand skal der nøje undersøges for symptomer på dykkersyge (forekomst af luftblærer i øjne, gæller eller hud). Ved tegn på forekomst af dykkersyge skal der straks iværksættes mekanisk afgangning af vandet eller anden hjælpeforanstaltning.

I Debio skal iltindholdet i vandet være mindst 6 mgO₂/l ved opdræt af laksefisk. I havanlæg skal iltindholdet måles midt i buret på 3 m dybde. I landbaserede anlæg skal iltindholdet måles i udløbsvandet.

I Soil skal iltindholdet i vandet være mindst 6 mg/l eller 70 % mætning i 90 % af tiden ved opdræt af regnbue- og bækørred. Tilsvarende krav for atlantehavslaks i havvand er mindst 7 mg/l eller 80 % mætning i 90 % af tiden. Certificeringsmyndigheden kan tillade afvigelser fra disse niveauer for det enkelte fiskeopdræt i overensstemmelse med lokalitetens specifikke forhold. Det anbefales at installere alarmsystemer, herunder et back-up iltningssystem.

I Soil er det forbudt at anvende iltningssystemer til at øge produktionen

Temperatur

Temperaturintervallet som fisk kan tolerere afhænger af flere faktorer således, at grænseværdier for skadelige temperaturer kan variere med adskillige grader. Fisk er vekselvarme og derfor i stand til at adaptere til nye temperaturer. Ved længerevarende temperaturændring, forskydes det totale toleranceområde, som fiskene trives indenfor.

Laksefisk og andre intensiv opdrættede koldvandsarter har et forholdsvis snævert temperaturtoleranceområde og er relativ følsomme overfor hurtige skift selv indenfor dette område. Pludselige temperaturskift på 10°C eller derover er i flere tilfælde rapporteret at være for store uden forudgående tilvænning af fisken til varmere eller koldere vand over flere timer. Optimal vandtemperatur for gydning, æginkubation og smoltudvikling, som naturligt foregår i vinterhalvåret, er generelt lavere end den optimale temperatur for vækst.

Høj temperatur kan føre til respiratorisk stress, osmoregulatorisk ubalance og fremme infektiøse sygdomsudbrud samt øge giftigheden af opløste stoffer. I litteraturen er der fundet absolutte øvre anbefalede temperaturgrænseværdier for voksne regnbueørreder på mellem 24 og 26°C og en nedre værdi på >0°C. Hos havgående ørreder er smoltudviklingen dog næsten hæmmet helt ved 13°C. Ål er mere temperaturtolerante og

værdier mellem >30 og 39°C er anslået som øvre grænse, mens et nedre temperaturniveau sandsynligvis ligger i nærheden af værdien for regnbueørred. I de fleste opdrætssituationer vil optimal vandtemperaturer for fiskesundhed og vækst egentlig være af større interesse end øvre og lavere dødelig grænser.

I Soil må vandtemperaturen være mellem 4 og 18°C hos regnbue- og bækørred. Ud over dette afgrænsede temperaturområde kræves stor påpasselighed og i perioder med høje vandtemperaturer kan der anvendes ilttilsætning. Certificeringsmyndigheden kan tillade afvigelser fra disse niveauer for det enkelte fiskeopdræt i overensstemmelse med lokalitetens specifikke forhold. For laksefiskeyngel op til 5 gram må vandet være maksimalt 10°C .

I Røde Ø er der krav om at temperaturen skal måles dagligt.

pH

Det pH-interval som fisk kan tolerere, afhænger af flere faktorer således, at skadelige pH-værdier kan variere i forhold til øvrige opdrætsforhold. Fisk er fra naturens side i stand til at klare pH-skift i vandet og vil ved opretholdelse af den ny pH tilpasse sig et nyt pH-interval. Pludselige skift på mere end ca. 1 pH-enhed vurderes at være for stor for regnbueørreder uden forudgående tilvænning over adskillige timer (f.eks. Murray og Ziebell 1984). Ved risiko for pH-udsving anbefales vandets alkalinitet øget.

I litteraturen er det optimale pH-område angivet til mellem pH $6,5$ og $8,0$ for regnbueørred og pH $6,5$ og $9,0$ for europæisk ål. De absolutte nedre og øvre anbefalede grænseværdier er på mellem pH 6 og 9 for regnbueørred og pH <6 til 9 for ål. I recirkulerede anlæg vælges oftest en forholdsvis lav pH for at minimere risikoen for NH_3 -forgiftning. Skader som følge af meget surt vand er beskadigelse af gælleepitel, respiratorisk stress og osmoregulatorisk ubalance, mens meget basisk vand medfører ætsninger af gæller. Smoltudviklingen hos unge laksefisk synes især at være følsom overfor lav pH.

I Røde Ø skal vandets surhedsgrad ligge indenfor pH $6-8$ hos regnbueørred og $5-7,5$ hos ål. pH skal kontrolleres dagligt.

I Soil skal vandets pH ligge fra $5,2$ til 9 i opdræt af regnbue- og bækørred. Tilsvarende krav til atlantehavslaks i havvand er pH $7-9$. For unge atlantehavslaks i ferskvandsstadiet, anvendes vandkvalitetsparametrene for ørred. Certificeringsmyndigheden kan tillade afvigelser fra disse niveauer for det enkelte fiskeopdræt i overensstemmelse med lokalitetens specifikke forhold.

Kuldioxid (CO₂)

CO₂ -intervallet som fisk kan tolerere afhænger af flere faktorer, hvorfor skadelige CO₂ -værdier kan variere noget afhængig af øvrige opdrætsforhold. Fisk er fra naturens side i stand til at klare skift i vandets CO₂ -indhold og kan gradvis adaptere til højere CO₂ -niveauer. En større pludselig stigning i CO₂ -indholdet bør dog undgås uden forudgående tilvænning af fisken over flere timer.

Regnbueørred er i sammenligning med ål relativ følsom overfor et højt CO₂ -indhold. I den videnskabelige litteratur er der fundet absolutte øvre anbefalede kroniske grænseværdier på mellem 12 og 20 mg CO₂/l hos regnbueørreder og mellem 20 og 25 mg CO₂/l hos ål. Ålens usædvanlige høje tolerance overfor CO₂ er sandsynligvis en konsekvens af hjertets tolerance overfor forsuring (acidose) og lavt iltniveau (hypoxi), og at iltoptagelsen delvis foregår over huden (McKenzie *et al.* 2002).

Et højt CO₂ -niveau i vandet kan medføre respiratorisk stress og i kroniske tilfælde kalkaflejringer i nyrerne (nyresten). Et højt CO₂ -niveau kan desuden forringe fiskens appetit og foderomsætning, hvilket forringer vandmiljøkvaliteten.

Ingen af mærkningsmodellerne har fastsat grænseværdier for CO₂ -indholdet, men i Debio påpeges det at laksefisk skal tilføres tilstrækkelig friskt vand for at undgå skadevirkninger af CO₂ og NH₃.

Ammoniak/Ammonium (NH₃/NH₄⁺)

Ammoniak/ammonium udgør normalt ikke noget problem i naturlige vandmiljøer, men kan som følge af intensiv fodring og recirkulering af opdrætsvand nå koncentrationer, der skader fisk. Dette forekommer især under ugunstige pH forhold, idet andelen af den meget giftige NH₃ stiger med øget pH-værdi i forhold til den relative ugiftige NH₄⁺. Et højt NH₃ -niveau forårsager skader på nervesystemet og gæller og er mistænkt for at være en forløber for parasitære- og bakterielle sygdomsudbrud samt forværre finneerosion.

Laksefisk er blandt de mest følsomme overfor akut NH₃ -påvirkning, sandsynligvis pga. deres evolutionære tilpasning til rent vand. I litteraturen er der fundet absolutte øvre anbefalede kroniske grænseværdier på mellem 0,0125 og 0,03 mg NH₃/l for laksefisk og mellem ca. 0,05 og >0,1 mgNH₃/l (6->20mgNH₃/NH₄⁺/l) for ål. I forsøg og under praktiske opdrætsforhold er det dog vist, at højere NH₃ -værdier ikke nødvendigvis påvirker fisken negativt. Dette kan skyldes en gradvis adaptation til et øget NH₃ -niveau eller at andre forurenende stoffer (CO₂, BI₅) som normalt associeres med høj ammoniak holdes lave.

I Røde Ø må der maksimalt være 5 mg/l ammonium (NH₄⁺) i opdrætsvandet og maksimalt 0,1 mg/l ammoniak (NH₃). NH₃ og NH₄⁺ måles minimum én gang ugentligt.

I Soil må vandets indhold af ammoniak-N være max. 0,6 mg/l (svarer til 0,7mg/l NH_3) i opdræt af regnbue- og bækørred. I opdræt af atlantehavslaks i havvand må indholdet af ammoniak-N være max. 0,168 mg/l (vinterværdier) (svarer til 0,204 mg NH_3 /l). For unge atlantehavslaks i ferskvandsstadiet, anvendes vandkvalitetsparametrene for ørred. Certificeringsmyndigheden kan tillade afvigelser fra disse niveauer for det enkelte fiskeopdræt i overensstemmelse med lokalitetens specifikke forhold.

I Debio skal der i opdræt af laksefisk være tilstrækkelig tilførsel af friskt vand for at undgå skadelige virkninger af CO_2 og NH_3 .

Nitrit (NO_2^-)

Som et mellemprodukt i nedbrydningen af NH_3 kan NO_2^- opkoncentreres under opdrætsforhold. Den primære effekt af NO_2^- er blokering af iltransporten til vævene således, at fisk risikerer kvælning ved et tilstrækkeligt højt NO_2^- -niveau i blodet. Desuden kan NO_2^- forårsage gælleskader og formodes at øge modtageligheden af infektiøse sygdomme. NO_2^- 's giftighed kan reduceres ved at opsalte vandet med NaCl eller CaCl_2 .

Regnbueørred er følsom overfor NO_2^- sammenlignet med europæisk ål. I litteraturen er der fundet absolutte øvre anbefalede kroniske grænseværdier på mellem 0,1 og 0,55 mg NO_2^- /l for laksefisk og mellem 7 og 16 mg NO_2^- /l for ål. I saltvand er giftigheden reduceret markant, og er i et enkelt forsøg angivet op til 3,29 mg NO_2^- /l hos laksefisk.

I Røde Ø må nitrit (NO_2^-) i opdrætsvandet ikke overstige 5 mg/liter. Kontrolleres minimum én gang ugentligt. I tilfælde af overskridelse skal der tilsættes 0,5 g salt pr. liter til vandet.

Nitrat (NO_3^-)

Som et mellemprodukt i nedbrydningen af NH_3 kan NO_3^- opkoncentreres under opdrætsforhold. NO_3^- betragtes ofte i opdrætssammenhæng som værende ikke-giftig for fisk, idet giftigheden kan sammenlignes med almindelig køkkensalt (NaCl). Europæisk ål anses for at være yderst tolerant overfor forhøjede NO_3^- -niveauer med absolutte øvre anbefalede kroniske grænseværdier på mellem 500 og 885 mg NO_3^- /l.

I Røde Ø må nitrat (NO_3^-) i opdrætsvandet være maksimalt 300 mg/l – dog maks. 500 mg/l ved recirkulering. NO_3^- måles minimum én gang ugentligt. I Røde Ø skal der i tilfælde af overskridelse tilsættes 0,5 g salt pr. liter til anlægget.

Suspenderet stof, BOD og fosfat

Suspenderet og organisk stof kommer naturligt ind i opdrætsanlægget via indløb og/eller stammer fra fækalier og foderrester. Skadevirkningen ved suspenderet stof i

vandet er bakteriel gællesyge, respiratorisk stress og reduceret modstandsdygtighed overfor følgesygdomme. I litteraturen er der fundet absolutte øvre anbefalede kroniske grænseværdier for suspenderet stof på mellem 15 og 100 mg/l for laksefisk og 25 mg/l for europæisk ål. Negative effekter af suspenderet stof afhænger dog meget af dets oprindelse, partikelstørrelse og koncentration.

I litteraturen er der ikke fundet anbefalede grænseværdier af opdrætsrelevans for let-omsættelig biologisk materiale (BOD), hos hverken regnbueørreder eller ål. Dette er også tilfældet for fosfat- og klorofylniveauer.

I Soil må vandets indhold af BOD være maksimalt 4 mg/l og opløst reaktiv fosfat maksimal 100 µg/l i opdræt af regnbue- og bækørred. Certificeringsmyndigheden kan tillade afvigelser fra disse niveauer for det enkelte fiskeopdræt i overensstemmelse med lokalitetens specifikke forhold.

Svovlbrinte (H₂S)

I opdrætsanlæg, hvor især aflejring af foderspild eller fækalier forekommer, er der risiko for iltfri (anaerob) nedbrydning og udvikling af den uhyre giftige H₂S-gas, som selv ved meget lave koncentrationer forårsager kvælning af fisk. I litteraturen gives der absolutte øvre anbefalede kroniske grænseværdier på mellem 0,002 og 0,003 mg H₂S/l for laksefisk.

Der er ingen krav til H₂S i de tre økologiske mærkningsordninger.

Tungmetaller

En række tungmetaller er essentielle for fiskens udvikling, mens andre ikke er, og ved høje niveauer er de fleste fundet at påvirke fisk negativt. I jernholdigt vand er der risiko for okkerudfældning på gæller og æg, hvilket kan føre til kvælning. Den primære negative effekt af øvrige tungmetaller er typisk osmoregulatoriske forstyrrelser, hvor smoltifikationen hos laksefisk især er følsom. Giftigheden af metaller øges typisk ved højere temperatur og lavere pH, men reduceres i basisk vand med høj hårdhedsgrad og ved tilstedeværelse af silt og sediment. Der har vist sig synergistiske effekter mellem to eller flere tungmetaller, således at giftvirkningen forstærkes udover den individuelle virkning af stofferne.

I Soil er det forbudt at anvende kobberbaserede og andre toksiske anti-foulingsmidler. Herudover er der ingen specifikke krav til tungmetaller i de tre økologiske mærkningsordninger.

13.6 Sygdomme og fiskesundhed

Mødet mellem fisk og sygdomsfremkaldende mikroorganismer, der under naturlige forhold er harmløse, resulterer ofte i sygdomsproblemer hos opdrætsfisk som følge af stresspåvirkning ved sortering og transport, ugunstig vandkvalitet eller aggressiv adfærd mellem fisk. Mange sygdomsproblemer kan således minimeres ved at styre opdrætsforholdene så fiskenes fysiologiske behov imødekommes, og ved at tilgodese lav-stress forhold ved fokus på de tre betydende hovedfaktorer, fisk-miljø-patogen (Wedemeyer 1996a og 1997).

Produktionsrelaterede sygdomme som misdannelser, håndterings- og vaccinationsskader samt finneslid og -bid er ofte forårsaget af genetiske fejl, dårlig ernæringstilstand, vandkvalitet eller opdrætsprocedurer, og vil derfor være mulige at minimere ved god opdrætspraksis.

I Røde Ø udarbejder Fødevarerdirektoratet en økologirapport, som fastsætter konkrete vilkår for de kontrollerede aktiviteter. Økologirapporten skal endvidere indeholde en plan for omlægning til økologisk produktion og en beskrivelse af aktiviteter og de anlæg, som benyttes hertil. Den erhvervsdrivende skal udarbejde et egenkontrolprogram, der optages i økologirapporten, og som sikrer at bestemmelserne i bekendtgørelsen overholdes, herunder bl.a. regelmæssig sundhedskontrol, vaccination, anvendelse af lægemidler og udarbejdelse af driftsjournal.

Soil har indført en kvalitetsmanual, der skal udarbejdes på hver enkelt økologisk opdrætsenhed, med detaljer for generelle managementprocedurer og kontrol mht.:

Processen for omlægning til økologisk drift

Miljøeffekt og praksis mht. vandanvendelse

Fiskevelfærd

Sundhedskontrol. En sundhedsplan skal udvikles, fortrinsvist i forbindelse med den til opdrættet udpegede veterinærlæge.

Debio har generelle bestemmelser som skal sikre god sundhed og krav om udarbejdelse af journal indeholdende månedsvise foderoversigter og håndtering af sygdomme.

I Soil anbefales det at desinficere æg med iodophor efter befrugtning og inden overførsel til klækkeri.

I Debio skal miljøfaktorerne kontrolleres således at misdannelser ved klækning undgås.

I Soil skal design og funktion af opdrætsfaciliteter fremme god sundhed og lavt stressniveau. Materialer og kemikalier, der anvendes til opdrætsanlæg,

produktionsudstyr og maling, må ikke være skadelige for hverken fisk eller miljø.

Materialer som netburene er fremstillet af, bør være tilstrækkelig glatte til at forhindre

risiko for skade på fisk under stormvejr. Net og flydende udstyr må være forsvarligt

fortøjret, korrekt vedligeholdt og skal jævnligt kontrolleres for at sikre at det forbliver sikker og uskadt.

I Debio skal driften tilrettelægges således, at skader på fiskene undgås.

13.7 Slagtning

I de seneste par årtier er forbrugernes opmærksomhed omkring produktkvalitet øget. Dette inkluderer også produktion og forarbejdning af dyr under humane forhold (Oehlenslager *et al.* 1998), hvorfor industrien konsekvent er på udkik efter alternative metoder, der forbedrer fiskevelfærd ved slagtning (Lines *et al.* 2003).

En etisk korrekt slagtning kan defineres som, "hurtig og effektiv aflivning af bevidstløs fisk således, at slagtingen foregår uden unødigt smerte og lidelse" (Gregersen 1998). Forfatteren mener, at det vigtigste krav er, at fisken skal være bevidstløs, så den ikke mærker til eventuel smerte. Herved bliver uenigheden mellem forskere om fisks evne til at føle smerte bliver mindre vigtigt. Målet er således at udvikle slagtemetoder, hvor fisken er effektiv lammet.

Aflivningsmetoder som "Bløgning", "Nedkøling" eller "Fisken tages ud af vandet" eventuel i kombination med afslimning i tør salt har en varighed på flere minutter inden fisken mister hjernefunktionen og dør. Ved nedsenkning i "Kuldioxidmættet vand" udviser ørred stor modstand i mindst 30 sekunder og fysiologisk stressrespons inden en begyndende bedøvelse indtræder. Hos ål er effektiviteten af kuldioxid langt ringere. Ved "Slag mod hovedet" eller anvendelse af "Elektrisk strøm" kan fisk lammes øjeblikkelig, hvorfor disse metoder på nuværende tidspunkt skønnes bedst egnede til at imødekomme krav om fiskevelfærd hos både regnbueørred og europæisk ål.

I Soil anbefales en fasteperiode på 30 graddage (vandtemperatur x døgn) inden slagtning af regnbue- og bækørred (40 daggrader for atlantehavslaks). Inden slagtning bør den maksimale fasteperiode variere med fiskestørrelsen, men perioden må ikke overskride mere end 7 dage (10 dage for atlantehavslaks) forudsat, at vejrforholdene ellers tillader det. Den maksimale fasteperiode inkluderer både transporttid og den tid fisken er på oparbejdningsstedet inden slagtning.

I Debio må fasteperioden før slagtning ikke overstige 100 graddage.

I Soil skal håndtering af bestanden under udfiskning og slagteoperationer udføres med minimal forstyrrelse og stress, og med procedurer som er beskrevet i den obligatoriske kvalitetsmanual og efter aftale med certificeringsmyndigheden. Vandkvaliteten bør være god fra fastens begyndelse til slagtning.

I Debio skal al håndtering i forbindelse med slagtning af laksefisk forårsage mindst mulig lidelse og stress for fisken. Indfangning af laksefisk skal ske vha. vakumpumpe, not og ruse, mens laksefisk som er fanget med garn og krog ikke kan markedsføres som økologiske.

I Soil skal den valgte aflivningsmetode gøre fisken øjeblikkelig bevidstløs umiddelbart efter at den er taget ud af vandet. Aflivning er tilladt ved anvendelse af elektrisk strøm og ved at lamme fisken ved slag mod hovedet efterfulgt af en overskæring af gællebuerne. Det er forbudt at anvende is, isvand eller CO₂ ved slagtning, eller tage fisken ud af vandet og lade den dø af kvælning i luften uden forudgående lammelse.

I Røde Ø skal fiskene lammes elektrisk eller ved tilledning af kuldioxid inden de bløgges, skæres eller renses ved behandling på opskæringsvirksomhed. Ved salg fra akvakulturbrug til forbruger kan fiskene dog bedøves ved slag mod hovedet straks efter, at de er taget ud af vandet.

I Debio skal laksefisk være helt bedøvede inden aflivning. Alle fisk som er bedøvede skal aflives umiddelbart herefter. Til bedøvelse skal anvendes CO₂ eller anden metode godkendt af myndighederne. Slag mod hovedet sidestilles med bedøvelse. Aflivning skal ske ved afblødning. Fisk må ikke forberedes til slagtning ved vandtemperaturer over 18°C.

14. Kontrol af fiskevelfærd

For at kunne dokumentere at et økologisk opdrætsanlæg lever op til krav om god fiskevelfærd, som det er beskrevet i bekendtgørelsen om økologisk opdræt af regnbueørreder og ål, er metodeudvikling nødvendig.

Den optimale velfærdsmetode til måling af fiskens trivsel skal videst mulig

- være en simpel og gerne prisbillig metode, der kan udføres i felten
- kunne vurdere fiskens trivsel nu og tilbage i tiden
- kunne afgrænse et specifikt velfærdsproblem
- være så objektiv som mulig

Definition af acceptable niveauer for vandkvalitetsparametre er traditionelt anvendt til at fastsætte krav, der tager hensyn til det omgivende miljø og i økologisk sammenhæng også fiskens sundhed i opdrætsanlægget. I de senere år er det dog også fokuseret på at udvikle metoder, der kan beskrive fiskens trivsel i forbindelse med andre opdrætsforhold som sociale relationer, tæthed og håndtering af fisk på opdrætsanlægget. Disse metoder tager udgangspunkt i fisken og ikke kun i dets omgivelser som vandmiljøparametre, der giver et indirekte og ofte upræcist billede af fiskens trivsel.

I dette kapitel foreslås metoder, der kan anvendes i forbindelse med en kontrolprocedure på økologiske opdrætsanlæg. Sidst i kapitlet vurderes alternative metoder, der ikke umiddelbart synes anvendelige i en sådan kontrolprocedure, men som i anden sammenhæng alligevel kan være interessante i forbindelse med fremtidig kontrol eller udvikling af fiske- og miljøvenlige opdrætsmetoder og -udstyr.

14.1 Driftsjournalen

En opdateret driftsjournal giver generel information om fiskenes trivsel på opdrætsanlægget ved dets angivelse af mængde og årsag til dødelighed og sygelighed, der registreres ved omfanget af profylakse, terapeutiske indgreb og veterinærbehandlinger. Desuden kan registreringer af udfodringsmængde, tilvækst og håndteringer også være brugbare oplysninger til også at give et indtryk af miljøpåvirkningen:

- Udfodringen kan sammenholdes med foderfirmaers anbefalede udfodring ved en given fiskestørrelse og temperatur
- Vandmiljømålinger som temperatur, O_2 , NH_3/NH_4^+ , pH kan sammenholdes med krav i bekendtgørelsen om økologisk fiskeopdræt og eksisterende viden på området
- Udvikling i fiskenes tilvækst og foderudnyttelse
- Tidspunkter og frekvens af håndteringer, som sortering, flytning, udfiskning, kontrolvejninger m.v.

Produktionstal angives oftest på flg. måde:

Tilvækst

Fiskens tilvækst som gennemsnitlig relativ vækst pr. dag

$$\% \text{ dgl. tv. (inkl døde)} = \frac{\text{Ln}(\text{Vægt}_{\text{Slut}}) - \text{Ln}(\text{Vægt}_{\text{Start}})}{\text{Antal dage}} \times 100\%$$

Foderkvotienten

Foderudnyttelsen

$$\text{FK} = \frac{\text{Udfodret mængde (kg)}}{\text{Fiskens tilvækst, inkl. døde (kg)}}$$

Dødeligheden

pr. dag eller over en periode

$$\% \text{ dødelighed} = \frac{\text{Antal døde}}{\text{Total antal fisk}} \times 100\%$$

Dødelighed/ sygelighed er uomtvistelige parametre i forbindelse med vurdering af trivsel hos fisk. Omvendt er appetit, tilvækst og foderudnyttelse kritiseret for at kunne anvendes som velfærdsparameter. God appetit, tilvækst og foderudnyttelse er dog en god indikator for at fiskene ikke er syge, men parametrene indikerer ikke i sig selv at fiskene er stressede eller negativt påvirkede af opdrætsforholdene.

Driftsjournalen kan være et godt udgangspunkt for en dialog med opdrætteren og til at udpege enkelte fiskebassiner der skal kikkes nærmere på ved en runde på opdrætsanlægget. Her kan fiskens adfærd desuden også afsløre problemer med vandkvalitet eller sygdom, f.eks.:

- Hvis vandet har et lavt iltniveau ses en stor del af fiskene svømme tæt ved indløbet, samtidig med hyperventilation af gællerne. Lignende adfærd ses også ved gælleproblemer, hvor iltoptagelsen er hæmmet
- Nogle parasitangreb og akutte giftsymptomer kan ses ved panikagtig adfærd hos fisk
- Almindelige symptomer på kronisk syge fisk er mørkfarvning af huden, sløvhed og placering øverst i vandsøjlen

En supplerende kontrol, der så vidt mulig er uafhængig af subjektive betragtninger, anses dog for nødvendigt og kræver udvikling af metoder, som bedre kan beskrive fiskenes trivsel.

14.2 Vandmiljøparametre

Økologiske mærkningsmodeller indeholder normalt specifikke kriterier for niveauer af flere vandmiljøparametre, f.eks. ilt, temperatur, pH, ammoniak og nitrit. Til måling af disse findes der allerede velafprøvede enkle metoder i form af elektroder og simple vandkemiske målinger. Målinger foretaget på tilfældige tidspunkter giver kun et øjebliksbillede af vandmiljøforholdene på prøvetagningstidspunktet. Afhængig af procedurer i den daglige opdrætspraksis, som udfodringstidspunkt, kan niveauer af

vandparametrene være ændret, hvis prøvetagningen foretages på et andet tidspunkt og således kunne påvirke fiskens trivsel anderledes. Eneste muligheder der sikre overholdelse af fastsatte vandmiljøkriterier er udførelse af længerevarende kontinuerlige målinger. En vandmåling bør foretages i det enkelte opdrætsbassin, og bedst i udløbet af bassinet hvor vandmiljøet normalt er dårligst.

14.3 Kontrol af sundhed

Metodemæssigt må det nødvendigvis stille sig anderledes med dokumentation for fiskenes trivsel i forbindelse med håndtering, sortering og transport af fisk, samt under opdrætsforhold defineret ved opdrætsdesign, fisketæthed, foder og udfodringsmetode.

Eksisterende metoder er allerede afprøvet til kvantificering af vildfisks sundhedstilstand. HAI (Health Assessment Index) og HCP (Health and Condition Profile) er eksempler på såkaldte sundhedsindekser, hvor en lang række indre og ydre målinger kvantificerer fiskens sundheds- og ernæringsmæssige tilstand (Morgan og Iwama 1997; Ellis *et al.* 2002). Metoderne er dog forholdsvis omfattende at udføre og vurderes at skyde over målet ved måling af fiskenes trivsel i forbindelse med et kontrolbesøg på et økologisk opdrætsanlæg. Derfor anbefales en mere afgrænset metode, der udelukkende involverer fiskens ydre tilstand. Det foreslås, at vurdering af fisks trivsel i hovedtræk opbygges som en allerede anerkendt metode til vurdering af kvalitet hos hele runde regnbueørreder ("Dambrugsørred – kvalitet og sikkerhed i primærproduktion" 2002). En modificeret udgave af denne kvalitetsbedømmelse vurderes at være et godt redskab til beskrivelse af både velfærd og ydre kvalitet af regnbueørred.

Det foreslås, at metoden ligesom i kvalitetsbedømmelsen omfatter 20 fisk som tilfældigt udfiskes fra samme opdrætsbassin eller hold. Efter bedømmelse udfyldes et bedømmelseskema til vurdering af fiskens trivsel. Et forslag til et bedømmelseskema er opstillet på de efterfølgende sider.

Registrering

Dato	
Fiskeopdrætsanlæg (navn og adresse)	
Art (sæt kryds)	<input type="checkbox"/> Ørred <input type="checkbox"/> Ål
Bassin(er) / Hold	
Total mængde (g)	
Antal fisk (stk.)	
Gennemsnit størrelse (g)	

Bedømmelse af hele levende bedøvede fisk

Parameter	Ideal	Uregelmæssighed	Antal fisk med uregelmæssighed
Fiskeform	Normal fiskeform	Misdannelser, korthaler	
Slim	Glansfuldt klart og jævnt slimlag	Uklart slim. Ujævnt eller forøget slimlag.	
Skæltab	Ingen skæltab	Skæltab	
Ar og sår	Ingen skader på kroppen eller hovedet	Ar, sår (også snudesår), klemskader på kroppen eller hovedet	
Øjne	Øjne er konvekse, klare sorte og gennemsinnelige	Deforme, udstående uklare eller misfarvede øjne. Mangler et eller begge øjne.	
Finner og hale	Finner og haler hele	Sprækkede eller slidte finner / hale Arvæv eller blodudtrækninger på finner / hale eller ved finnebasis	
Gællelæg	Normal størrelse og dækkende	Korte. Dækker ikke hele gællen.	
Gæller	Normal blodrøde uden synlig afvigelse	Blege. Megen slim. Urenheder.	
Gat	Normal uden rødme	Rødme eller udstående	
Synlige parasitter	Ingen synlige parasitter	Synlige parasitter	
Score i alt			

Forslag til supplerende målinger af regnbueørred kan være

Parameter	Fisk nummer					
	1	2	3	4	5	N
Vægt (g)						
Fiskens totallængde (mm)						
Konditionsfaktor (k)						
Rygfinnehøjde – midt (mm)						
Rygfinneindeks (DFI) (%)						

Konditionsfaktoren ($k = g \cdot 10^7 / \text{mm}^3$) er et objektivt mål for fiskens ernæringstilstand, hvor fiskens vægt angives i forhold til længden, dvs. hvor tyk fisken er i forhold til dens længde. Konditionsfaktoren er dog ikke konstant hele livet igennem, men stiger normalt med fiskens størrelse. Udover anvendelse som et mål for fiskens ernæringstilstand kan konditionsfaktoren yderligere anvendes som et objektivt kvalitetsmål af fiskens ydre kropsform ved salg til konsum, og således være relevant for forarbejdningsindustrien.

Relevansen af finnetilstanden som parameter for fiskens trivsel er bl.a. vist af Bosakowski og Wagner (1994). I en vurdering af finneerosion hos 600 fiskegrupper på forskellige opdrætsanlæg blev der foreslået en række generelle ændringer i opdrætsstrategien for produktion af ørreder med bedre finnekvalitet, herunder bl.a.:

- Lavere fisketætheder
- Grus- eller jorddamme i modsætning til kunstige materialer
- Lavere ammoniak (NH_3) -niveau
- Højere udfodringsniveauer for at reducere finnenap

Af alle finner er især rygfinnen udsat for finneerosion forårsaget af opdrætsforhold og aggressiv aktivitet hos fiskene (Winfree *et al.* 1998; Moutou *et al.* 1998; Bosakowski og Wagner 1994;). Et rygfinneindeks (DFI) er således udviklet som et objektivt mål for omfanget af rygfinneerosion:

$$\text{DFI} = \frac{\text{Rygfinnehøjde(midt) (mm)}}{\text{Fiskens totallængde (mm)}} \times 100\%$$

Rygfinneindekset er ikke konstant hele livet igennem, men falder normalt med fiskens alder, længde og vægt (Winfree *et al.* 1998; Fase 2 forsøg). Med erfaring fra projektets fase 2 forsøg foreslås en ændring af rygfinneindekset så rygfinnens højde måles det højeste sted på finnens forrest del, hvor der typisk først ses skade/erosion, og ikke midt på finnen som indekset ellers foreskriver.

Udført af en trænet person vil hele eller dele af ovenstående bedømmelsesforslag kunne anvendes i et monitorings- og udviklingsprogram på økologiske opdrætsanlæg med det mål at optimere vilkår for fiskens trivsel. Bedømmelsen tænkes gennemført sammen med allerede eksisterende kontrolprocedurer på opdrætsanlægget, og skal fungere som

et redskab der skal tilgodese fiskenes trivsel og kvalitet. I metoden er der både indikatorer for fiskens sundhed, adfærd, ydre kvalitet og ernæringstilstand. Metoden kan ikke i alle tilfælde alene definere specifikke årsager for eventuelle opdrætsproblemer. Men sammen med opdrætteren er der et godt grundlag for at lokalisere et eventuelt opdrætsproblem, der skal løses gennem iværksatte handlingsplaner. I en sammenligning med resultater fra tidligere besøg kan udviklingen i fiskens trivsel og kvalitet følges på det enkelte opdrætsanlæg, og det vil være muligt at sammenligne resultater med de der er opnået på andre økologiske opdrætsanlæg.

Fordele ved en sundhedsbedømmelse:

- Kvantificerer fiskenes seneste trivsel og delvist også ydre fiskekvalitet
- Giver et godt udgangspunkt for at påpege eventuelle opdrætsproblemer
- Udført af trænedede personer er metoden relativ hurtig, enkel, prisbillig og objektiv
- Kan gennemføres samtidig med eksisterende kontrolprocedurer
- Kan erstatte nærmere kriterier omkring tæthed, håndtering m.v. - der alligevel er vanskelig at kontrollere
- Godt signal at sende til omverdenen – vil gøre det vanskeligere at komme igennem med kritik når programmer som dette er iværksat for at forbedre fiskenes vilkår og kvalitet
- Lettere at overføre fra én art til en anden

Endvidere tager bedømmelsesmetoden udgangspunkt i fisken, og er ikke baseret på indirekte og upræcise parametre som vandmiljøkvalitet og tætheder m.v., som kan påvirkes af mange faktorer. Fisken som udgangspunkt for fiskevelfærd er netop også foreslået af FEAP (2003).

14.4 Vurdering af andre velfærdsmetoder

Øvrige metoder anvendt i litteraturen til vurdering af fiskevelfærd anses enten for upraktiske at bruge i felten eller foreløbig kun interessante i forsøgsarbejdet med udvikling af opdrætsmetoder og –udstyr, herunder:

Vurdering af **finnetilstanden** i et 1-4 karaktersystem synes at være et brugbart værktøj til at kvantificere graden af finneerosion og bideskader hos regnbueørred (Fase 2 forsøg; Moutou *et al.* 1998; Gregory og Wood 1998). Med erfaringer i de praktiske forsøg i fase 2 synes de parrede finner hhv., bryst- og bugfinner at være relativt lette at fastsætte karakterer for idet bid/erosion var tydelige her. Brystfinnerne var dog de suverænt mest udsatte finner af de to. Ryg-, hale-, gat- og fedtfinne er vanskeligere at vurdere i et 1-4 karaktersystem idet kun bideskader er tydelige på disse flade finner, der bibeholder en relativ skarp kant næsten uanset omfanget af erosion. Graden af finneerosion er således svært at vurdere her, da det ikke vides, hvor meget af finnen der er tilbage. Til vurdering

af rygfinnen anbefales 1-4 finnekarakteren suppleret med beregning af rygfinneindeks (DFI).

En sammenligning af fiskenes vækstrate i forhold til graden af fiskens **størrelsesvariation** anses for at være en metode, der kan skelne mellem effekter af enten dårlig socialt miljø eller ringe vandkvalitet på flg. måde (Jobling 1995 fra Ellis *et al.* 2002):

Høj vækstrate Lille størrelsesvariation	Godt socialt miljø og god vandkvalitet
Lav gennemsnitlig vækstrate Lille størrelsesvariation	Dårlig vandkvalitet
Lav gennemsnitlig vækstrate Stor størrelsesvariation	Dårligt socialt miljø

Fysiologisk **telemetri** (vha. sonar eller elektromyogram) kan registrere fiskens adfærd og aktivitet under opdrætsforhold og er i praksis bl.a. anvendt i havbrug for at følge fiskenes fodringsadfærd. Fysiologisk telemetrisk udstyr kan være et nyttigt redskab til fjernregistrering af dyrevelfærd, hvor fiskenes tilstand kan følges under forskellig opdrætsforhold. Fremtidig anvendelse af denne teknologi kan hjælpe til at udvikle anlæg og praksis der nedbringer stress under opdrætsforhold (Cooke *et al.* 2000).

Kendskab til hvordan stressfaktorer kan påvirke fysiologien hos arter kan ligeledes hjælpe i udviklingen af opdrætssystemer, der mindsker virkningen af en stressfaktor (Schreck *et al.* 2001). Måling af **blod-fysiologiske parametre** (stresshormoner, ionstatus, immunforsvar m.v.) kræver oftest dyre avancerede laboratorietechnikker og er mindre anvendelig i felten pga. deres omskiftelighed indenfor kort tid og følsomhed overfor prøvetagningsmetode. Men i forbindelse med kontrollerede forsøg kan disse metoder spille en vigtig rolle i forståelsen af fiskevelfærd og bidrage til udviklingen af forbedrede opdrætsmetoder. Overvågning af ”stress-relaterede proteiner”, såkaldte **molekylære markører**, som hænger sammen med fiskens livskvalitet kræver ligeledes avanceret laboratorieudstyr, men kan være interessant i vurderingen af længerevarende kronisk stresspåvirkning (Saroglia 2003). Endvidere, **kortisol** som er den fysiologiske stress-indikator, der er bedst beskrevet i litteraturen anses med fordel at kunne anvendes som avlskriterium. Undersøgelser viser, at størrelsen af kortisol-stressresponsen er en arvelig karakter (Pickering 1993), med moderat til høj arvelighed (h^2) hos regnbueørred (Pottinger og Carrick 1999; Fevolden *et al.* 1999).

15. Konklusion og fremtid

15.1 Fiskevelfærd

Opdrætsrelaterede emner i litteraturen om fiskevelfærd og stress kategoriseres på følgende måde:

- Håndtering og opdrætsprocedurer
- Vandmiljøkvalitet under opdræt og transport
- Adfærd og sociale relationer
- Stress- og produktionsrelaterede sygdomme
- Slagtemetoder
- Ernæring (ikke fokus på i denne rapport)

Forskellige opdrætsprocedurer, som eksempelvis håndtering af fisk, kan forårsage fysiske skader, stress og dødelighed som følge af f.eks. akut sammenstuvning. I forbindelse med håndtering udviser fisk det maksimalt mulige stressrespons ved løft ud af vandet - selv for en kort periode. Skånsom håndtering ved sortering og transport forårsager kun et moderat stressrespons hos regnbueørred, men stressresponsen er additivt, hvor to eller flere på hinanden følgende stresspåvirkninger medfører et højere respons. Derfor må opdrætspraksis under sortering, udfiskning, strygning mv. planlægges og foretages skånsomt.

Der er generelt enighed om hvilke vandmiljøparametre, der kan påvirke fiskens trivsel negativt. Men resultater og anbefalinger fra litteraturen om grænseværdier kan være meget forskellige, selv indenfor samme fiskeart og stamme. Dette skyldes især forskelle i forsøgsforhold såsom vandkemi, hvor godt fisken er akklimeret og hvor hurtigt ændringer i vandmiljøet sker, men ikke mindst hvilke effektparametre der undersøges - appetit/vækst, stressfysiologiske blodparametre eller andre parametre. Ved fastsættelse af kriterier for vandkvalitet må det derfor være formålstjenligt at frasortere "outliers" og finde de gennemsnit eller medianværdier blandt de mange resultater. For flere vandkvalitetsparametre vil det i høj grad være relevant, at lave differentierede grænseværdier og tage hensyn til interaktion imellem parametrene samt fiskens udviklingsstadiet, udfodringen m.v.

Adfærd og sociale relationer påvirkes af bl.a. foderstrategi, størrelsesfordeling, bestandstæthed og vandflow i opdrætsbassiner. Ved uhensigtsmæssig praksis kan disse give anledning til aggression og dominanshierarkier, der forårsager stress og fysiske skader. For at tilgodese fiskevelfærd er det et krav i fiskeopdræt at sørge for opdrætsforhold, hvor adfærd som aggression eller social dominans er minimeret.

Med hensyn til lav sygdomsfrekvens opnås god opdrætspraksis ved fokus på de tre betydende hovedfaktorer, fisk - miljø - patogen (skadevolder). Minimering af stress er herunder af væsentlig betydning for at fiskene ikke udvikler sygdom.

Med hensyn til slagtning kan en etisk korrekt slagtning defineres som hurtig og effektiv aflivning af bevidstløs fisk. Anvendelse af elektrisk strøm eller bedøvende slag mod fiskens hoved skønnes på nuværende tidspunkt bedst egnede til at imødekomme krav om kødkvalitet og fiskevelfærd hos både regnbueørred og europæisk ål.

Kontrol af trivsel hos fisk

Som supplement til driftsjournalens registreringer, der både skal sikre et godt vandmiljø og fiskens trivsel, anbefales indførelse af metode til vurdering af sundhedstilstanden på økologiske opdrætsanlæg.

15.2 Kvalitet af opdrætsfisk

Hvis fisk stresses vil det kunne få negativ indvirkning på en række kvalitetsparametre. Stress kan således på forskellig vis influere på kødkvaliteten ved at reducere indfarvningen, øge sandsynligheden for muskelspaltning samt påvirke kødets tekstur. Kødkvaliteten kan også blive påvirket af fedtrige fodertyper og hurtig væksthastighed, idet disse parametre øger kødets fedtindhold. Også dette kan forringe filetindfarvningen, ligesom sandsynligheden for muskelspaltning øges og smagskvaliteten påvirkes. Hertil kommer et reduceret slagteudbytte som følge af anvendelse af fedtrige fodertyper og/eller hurtig væksthastighed.

Stress kan endvidere betyde ringere foderudnyttelse og øget medicin- og hjælpestofforbrug, hvorved sandsynligheden for påvirkning af vandmiljøet øges.

Stressniveauet og indvirkningen på de nævnte kvalitetsparametre er vanskelig at kvantificere. Men de nævnte resultater viser, at en række kvalitetsparametre påvirkes af stress, og at fiskeopdrætteren derfor tilrådes at minimere stress i sit opdræt med det mål at producere fisk af god kvalitet.

15.3 Manglende viden

Generelt

Der er fortsat behov for yderligere identifikation og dokumentation for indikatorer, der forårsager gener og stress blandt fisk. Især for ål er der udpræget mangel på videnskabelig forskning der relateres til trivsel under opdrætsforhold.

Neurologiske og funktionelle undersøgelser af smerteopfattelse er nødvendige for at komme nærmere en afklaring af disse egenskaber hos fisk.

Betydningen af avl- og domesticering hos opdrætsfisk for trivsel og stress bør undersøges nærmere med henblik på at udvikle avl efter øget opdrætstolerance.

Vandkvalitet

Der eksisterer i øjeblikket en ringe viden om grænseværdier for vandkvalitet, der forårsager en påvirkning og for hvordan påvirkningerne skal tolkes i relation til velfærd (Ellis *et al.* 2002). Vandkvalitetstolerance er oftest vurderet på baggrund af kortvarige forsøg (f.eks. LC₅₀ og LD₅₀), der danner grundlag for beregning af maksimale eller minimale acceptable niveauer, og er sjældent baseret på længerevarende kroniske tests af giftigheden foretaget under opdrætsforhold (Wedemeyer 1996a og 1997). Flere længerevarende forsøg, der belyser effekter af vandkvalitetsparametre og fiskens evne til adaptation er påkrævede.

Aggressiv adfærd og dominanshierarki

Et betragteligt antal undersøgelser omhandler effekter af dominansadfærd på især regnbueørred, men ekstrapolering af simple laboratorieforsøg (f.eks. parvise konkurrenceforsøg) til stor-skala akvakultursystemer kan være problematisk. Der er behov for i stor-skala forsøg at dokumentere fiskenes behov for plads under varierende opdrætsbetingelser ved registrering af fiskens sociale adfærd (herunder aggressivitet og dominans) og samtidige målinger af stressniveau og fysisk skade.

Fodring

Videnskabelig undersøgelser omkring fodring er især foretaget med selvfodringsautomater, hvor fiskene udløser fodringen. Der synes at mangle videnskabelig dokumentation for effekt af øvrige udfodringsmetoder (diverse automater og håndfodring), der tilgodeser alle individers behov for foder så aggressiv adfærd og størrelsesforskelle minimeres.

Tæthed

Der er et behov for at finde en balance mellem optimering i udnyttelse af opdrætsbassiner og fiskens behov. Dokumentation for sammenhængen mellem tæthed og effekter af aggressiv adfærd ved relevante kommercielle tætheder i stor-skala anlæg er mangelfuld (Ellis *et al.* 2002). Igangværende forsøg i Storbritannien vil belyse emnet, men en opfølgning kan være nødvendig.

Metodeudvikling

Der er behov for afprøvning af metode til bedømmelse af fiskens sundhedstilstand under storskalaforhold for at kunne udvikle metoden til praktiske forhold.

Referencer

- Abbott, J.C.; Dunbrack R.L. (1985). The interaction of size and experience in dominance relationships of juvenile steelhead trout (*Salmo Gairdneri*). Behaviour, 92: 241-253.
- Abbott, J.C. og Dill, L.M. (1989). The relative growth of dominant and subordinat juvenile steelhead trout (*Salmo gairdneri*) fed equal rations. Behaviour, 108: 104-111
- Alabaster, J.S. Lloyd, R. (1980). Water quality criteria for freshwater fish. London: Butterworth, 297 pp.
- Alanärä, A. (1992). Demand feeding as a self-regulating feeding system for rainbow trout (*O. mykiss*) in net-pens. Aquaculture 108: 347-356.
- Alanärä, A. (1996). Review: The use of self-feeders in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) production. Aquaculture, 145: 1-20.
- Alanärä, A; Brännäs, E (1996). Dominance in demand-feeding behaviour in Arctic charr and rainbow trout: The effect of stocking density. Journal of Fish Biology, 48: 242-254.
- Alanärä, A. og Brännäs, E. (1993). A test of the individual feeding activity and food size preference in rainbow trout using demand feeders. Aquaculture International, 1: 47-54.
- Alderson, R. (2001). The potential impact of genetic change on harvest and eating quality of Atlantic salmon. In: Farmed fish quality. Edited by S.C. Kestin an P.D. Warriss. Fishing News Books, Blackwell Science, pp. 137-144.
- Andersen, U.B.; Strømsnes, A.N.; Steinsholt, K. og Thomassen, M.S. (1994). Fillet gaping in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). Norwegian Journal of Agricultural Science, 8: 165-179.
- Auperin, B.; Goardon, L.; Quemeneur, A.; Thomas, JL; Aubin, J; Valotaire, C; Rouger, Y; Maisse, G. (1998). Preliminary study on the use of aqu'i'S as anasthetic for handling and sampling of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brown trout (*Salmo trutta*). Biologie et Ecologie des Poissons. no. 350-351: 291-301.
- Baker, R.F. og Ayles, G.B. (1990). The effects of varying density and loading level on the growth of Artic charr (*Salvelinus alpinus L.*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). World Aquaculture, 21: 58-61.
- Baker, R.T.M. (2001). The effect of certain micronutrients on fish flesh quality. In: Farmed fish quality. Edited by S.C. Kestin and P.D. Warriss. Fishing News Books, Blackwell Science, pp. 180-191.

- Baker, R.T.M. (1997). The effects of dietary α -tocopherol and oxidised lipid on post-thaw drip from catfish muscle. *Animal Feed Science and Technology*, 65, pp. 35-43.
- Barton, B.A. (1996). General biology of salmonids. In: *Principles of salmonid culture*, pp. 29-95. Pennell, W. og Barton, B. A. (eds). Elsevier, Amsterdam.
- Barton, B.A. (1997). Stress in finfish: past, present and future - a historical perspective. In: *Fish stress and health in aquaculture*, pp. 1-33. Iwama, G.K.; Pickering, A.D.; Sumpter, J.P.; Schreck, C.B (eds). Cambridge University Press, UK.
- Barton, B.A. (2000). Salmonid fishes differ in their cortisol and glucose responses to handling and transport stress. *North American Journal of Aquaculture*, 62: 12-18.
- Billard, R.; Bry, C.; Gillet, C. (1981). Stress, environment and reproduction in teleost fish. In: *Stress and fish*, pp. 185-208. Pickering, A.D. (ed). Academic Press, NY.
- BioMar foderkatalog 2000
- Birkeland, S. og Skåra, T. (2003). Røykelaks – stadig aktuell...Norsk Fiskeoppdrett, nr. 14, 36-38.
- Bosakowski, T. og Wagner, E.J. (1994). A survey of trout fin erosion, water quality, and rearing conditions at state fish hatcheries in Utah. *Journal of the World Aquaculture Society* 25: 308-316.
- Bugeon, J.; Lefevre, F.; Fauconneau, B. (2003). Fillet texture and muscle structure in brown trout (*Salmo trutta*) subjected to long-term exercise. *Aquaculture Research*, 34, pp. 1287-1295.
- Boujard, T; Labbe, L; Auperin, B (2002). Feeding behaviour, energy expenditure and growth of rainbow trout in relation to stocking density and food accessibility. *Aquaculture Research* 33: 1233-1242.
- Boujard, T. og Leatherland, J.F. (1992). Demand-feeding behaviour and diel pattern of feeding activity in *Oncorhynchus mykiss* held under different photoperiod regimes. *Journal of fish biology*, 40: 535-544.
- Brenton-Davie, V; Groot, K (1997). Behavioural and physical monitoring to determine the health level of salmonids in aquaculture enclosures. *Aquaculture Canada '97*. pp. 33-35. Waddy, SL; Frechette, M (eds) [Bull. Aquacult. Assoc. Can.]
- Bretzinger, Ch. (2001). Influence of different pre-slaughter stunning methods on stress reaction and product quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Hieronymus, Muenchen (FRG). 189 pp.
- Bruno, D.W.; Ellis, A.E. (1996). Salmonid disease management In: *Principles of salmonid culture*, pp. 759-832. Pennell, W. og Barton, B. A. (eds). Elsevier, Amsterdam.

- Brännäs, E; Alanära, A (1994). Effect of reward level on individual variability in demand feeding activity and growth rate in Arctic charr and rainbow trout. *Journal of Fish Biology* 45: 423-434.
- Brännäs, E.; Linnér, J.; Eriksson, L.-O. (2002). Aggression and growth as an effect of size composition in groups of arctic charr. *J. Fish Biol.* 60: 1331-1334.
- Brännäs, E. og Alanära, A. (1992). Feeding behaviour of the Arctic charr in comparison with the rainbow trout. *Aquaculture*, 105: 53-59.
- Caldwell, C.A.; Hinshaw, J. (1994). Physiological and haematological responses in rainbow trout subjected to supplemental dissolved oxygen in fish culture. *Aquaculture*, 126: 183-193.
- Campbell, P.M., Pottinger, T.G., Sumpter, J.P. (1994). Primary evidence that chronic confinement stress reduces the quality of gametes produced by brown and rainbow trout. *Aquaculture*, 120: 151-169.
- Carter, C.; Houlihan, D.; Kiessling, A., Médale, F.; Jobling, M. (2001). Physiological effects of feeding. In: *Food intake in fish*, 297-331. Houlihan, D.; Boujard, T.; Jobling, M. (eds.). Blackwell Science, ISBN 0-632-05576-6.
- Chandoo, KP; Moccia, RD; McKinley, RS (1999). Utilization of physiological telemetry to monitor behavioural responses of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, to captive culture conditions. *Aquaculture Canada '99*, Victoria, BC, 26-29 October 1999. pp. 34-36. Waddy, S (ed). [Bull. Aquacult. Assoc. Can.].
- Chanseau, M. (2003). Anvendelse af nellikeolie - et nyt bedøvelsesmiddel. AQUA FLOW, TL2003-122
- Chen, W.; Naruse, M.; Tabata, M. (2002). Circadian rhythms and individual variability of self-feeding activity in groups of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *Aquaculture Research*, 33: 491-500.
- Chew, GL (1987). Development of agonistic behaviour in size-colour classes of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and brook charr (*Salvelinus fontinalis*). *Dissertation Abstracts International Part B: Science and Engineering*, vol. 47, no. 11.
- Christensen N.O. (1986). *Fiskesygdomme*. Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, København.
- Clarke, W.C.; Saunders, R.L.; McCormick (1996). Smolt production fra *Principles of salmonid culture*. In: *Principles of salmonid culture*. Pennell, W. og Barton, B. A. (eds). Elsevier, Amsterdam.
- Colt, J; Orwicz, K. (1991). Modelling production capacity of aquatic culture systems under freshwater condition. *Aquacultural engineering*, 10: 1-29.

- Colt, J.; Orwicz, K.; Bouck, G. (1991). Water quality considerations and criteria for high density fish culture with supplemental oxygen. American Fisheries Society Symposium 10: 372-385.
- Connell, J. J. (1990). Control of Fish Quality. Third ed.. Fishing News Books.
- Cooke, S; Chandroo, K; Beddow, T; Moccia, R; Mckinley, R. (2000). Swimming activity and energetic expenditure of captive rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) estimated by electromyogram telemetry. Aquaculture Research, 31: 495-505.
- Damsgard, B (1997). Fiskens velferd - Kan vi forene en etisk riktig produksjon og en konkurransedyktig næring? Norsk Fiskeoppdrett nr. 4.
- Danley, M; Mazik, P; Kenney, PB; Kiser, R; Hankins, J (2001). Chronic exposure to carbon dioxide: Growth, physiological stress responses, and fillet quality of rainbow trout. Conference: Aquaculture 2001: Book of Abstracts. 161 pp.
- Dansk Dambrugerforening; Højmarklaboratoriet a/s (2002). Dambrugsørred – kvalitet og sikkerhed i primærproduktion.
- Davies, B; Bromage, N. (2002). The effects of fluctuating seasonal and constant water temperatures on the photoperiodic advancement of reproduction in female rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture, 205: 183-200.
- Debio (2001). Regler for økologisk akvakultur. www.debio.no.
- Det røde Ø-mærke (2004). [BEK nr. 114 af 23/02/2004](#)
- Dixon, D.G.; Hilton, J.W. (1985). Effects of available dietary carbohydrate and water temperature on the chronic toxicity of waterborne copper to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42: 1007-1013.
- Dunajski, E. (1979). Texture of fish muscle. Review paper. Journal of Texture Studies, 10, 301-318.
- Edsall, D.A.; Smith, C.E. (1990). Performance of rainbow trout and Snake River cutthroat trout reared in oxygen-supersaturated water. Aquaculture, 90: 251-259.
- Einen, O.; Waagan, B.; Thomassen, M. S. (1998). Starvation prior slaughter in Atlantic salmon (*salmo salar* L.). I. Effects of on weight loss, body shape, slaughter- and fillet yield, proximate and fatty composition. Aquaculture, 166: 85-104.
- Ellis, T.; North, B.; Scott, A.P.; Bromage, N.R.; Porter, M.; Gadd, D. (2002). The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. J. Fish. Biol. 61: 493-531.

- Erikson, U. (2001). Potential effects of preslaughter fasting, handling and transport. In: Farmed fish quality. Edited by S.C. Kestin and P.D. Warriss. Fishing News Books, Blackwell Science, pp. 202-219.
- Erikson, U. (2001b). Rigor measurements. In: Farmed fish quality. Edited by S.C. Kestin and P.D. Warriss. Fishing News Books, Blackwell Science, pp. 283-297.
- FAWC (1996). Report on the welfare of farmed fish. Farm Animal Welfare Council, UK.
- FEAP hjemmeside, www.feap.org (2003) Adfærdskodeks. Foreningen for Europæiske Akvakultur Producenter.
- Fevolden, S.; Roed, K.H.; Fjalestad, K.T.; Stien, J. (1999). Poststress levels of lysozyme and cortisol in adult rainbow trout: heritabilities and genetic correlations. *Journal of Fish Biology* 54: 900-910.
- Finstad, B.; Staurnes, M.; Reite, O.B. (1988). Effect of low temperature on sea-water tolerance in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 72: 319-328.
- Fletcher, T.C. (1997). Dietary effects on stress and health. In: Fish stress and health in aquaculture, pp. 223-246. Iwama, G.K.; Pickering, A.D.; Sumpter, J.P.; Schreck, C.B. (eds.). Cambridge University Press, UK.
- Flight, W.G.F.; Verheijen, F.J. (1993). The "neck-cut" (spinal transection): Not a humane way to slaughter eel, *Anguilla anguilla* (L.). *Aquacult. Fish. Manage.* 24: 523-528.
- Flos, R.; Reig, L.; Oca, J.; Ginovart, M. (2002). Influence of marketing and different land-based systems on gilthead sea bream (*Sparus aurata*) quality. *Aquaculture International*, 10: 189-206.
- Flos, R.; Reig L.; Torres P.; Tort L. (1988). Primary and secondary Stress Responses to Grading and Hauling in rainbow Trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 71: 99-106.
- Gregersen, F (1998). Etisk riktig slakting. *Norsk Fiskeoppdrett* nr. 10.
- Gregory T.; Wood, C.M. (1998). Individual variation and interrelationships between swimming performance, growth rate and feeding in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55: 1583-1590.
- Grigorakis, K.; Taylor, K. D. A.; Alexis, M. N. (2003). Organoleptic and volatile aroma compounds comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*sparus aurata*): sensory differences and possible chemical basis. *Aquaculture*, 225: 109-119.
- Groot, C. (1996). Salmonid life history fra Principles of salmonid culture. In: Principles of salmonid culture. Pennell, W. og Barton, B. A. (eds). Elsevier, Amsterdam

- Hansen, M.M. (2003). Kan fisk føle smerte? www.fiskepleje.dk d. 12/5-2003. Danmarks Fiskeriundersøgelser.
- Heinsbroek, L.T.N.; Kamstra, A. (1995). The river eels. In: Production of aquatic animals-Fishes, World Animal Science-C8, pp. 109-131. Nash, C.E. & Novotny, A.J. (eds.). Elsevier, Netherlands.
- Henze, M.; Petersen, G.; Kjeldsen, J.J. (2000). Drift af renseanlæg. Den Kommunale Højskole, Jydsk Centraltrykkeri A/S.
- Holm JC (1999). På tomannshånd: Dyrevelferd i merdene - på trynet eller på tide? Norsk Fiskeopdrett nr. 16.
- Holm, J.C.; Refstie, T.; Bø, S. (1990). The effect of fish density and feeding regimes on individual growth rate and mortality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 89: 225-232.
- Howgate, P. (2001) Tainting of aquaculture products by natural and anthropogenic contaminants. In: Farmed fish quality. Edited by S.C. Kestin and P.D. Warriss. Fishing News Books, Blackwell Science, pp. 192-201.
- Howgate, P. (2002). Post-harvest handling and processing. In: Handbook of salmon farming. Edited by S.M. Stead and L. Laird. Springer-Verlag, Berlin. pp. 187-202.
- ICES (1999). Effects of stocking densities on swimming characteristics of rainbow trout: Applying acoustic telemetry to the culture environment. Conference in Stockholm, 27 Sep-6 Oct 1999. 1 pp. Begout, M-L; Lagardere, JP (eds). Copenhagen.
- Imre, I.; Grant, J.W.A.; Keeley, E.R. (2002). The effect of visual isolation on territory size and population density of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 59: 303-309.
- Jewett, M.G.; Behmer, D.J.; Johnson, G.H. (1991). Effects of hyperoxic rearing water on blood hemoglobin and hematocrit levels of rainbow trout. Journal of Aquatic Animal Health, 3: 153-160.
- Jobling, M.; Koskela, J. (1997). Feeding and growth in rainbow trout during compensatory growth. Conference: 1. COST 827 Workshop, Aberdeen (UK), 3-6 Apr 1997. Houlihan, D; Kiessling, A.; Boujard, T. (eds).
- Johnson, J. (1993). Big and brave: Size selection affects foraging under risk of predation in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Animal Behaviour 45: 1219-1225.
- Johnston, I. A., Alderson, R., Sandham, C., Dingwall, A., Mitchell, D., Selkirk, C., Nickell, D., Baker, R., Robertson, B., Whyte, D. & Springate, J. (2000). Muscle fibre density in relation to the colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquaculture, 189, 335-349.

- Kamstra, A.; Span, J.A.; Van Weerd, J.H. (1996). The acute toxicity and sublethal effects of nitrite on growth and feed utilization of European eel, *Anguilla anguilla* (L.). *Aquaculture Research*, 27: 903-911.
- Kebus, M. J.; Collins, M.T.; Brownfield, M.S. (1992a). Effects of rearing density on the stress response and growth of rainbow trout. *Journal of Aquatic Animal Health*, 4: 1-6.
- Keeley, E.R.; McPhail, J.D. (1998). Food abundance, intruder pressure, and body size as determinants of territory size in juvenile steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Behaviour* 135: 65-82.
- Ketola, HG; Longacre, D; Greulich, A; Phetterplace, L; Lashomb, R (1988). High calcium concentration in water increases mortality of salmon and trout eggs. *Progressive Fish-Culturist* 50: 129-135.
- Kim, P.K.; Kim, Y.; Jeon, J. (2001). Enhancement of seawater adaptability by supplemented dietary salt in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Conference: 6. Asian Fisheries Forum, Kaohsiung (Taiwan), 25-30 Nov 2001. Source: 6th Asian Fisheries Forum Book of Abstracts. p. 128.
- Kindschi, G.A.; Smith, C. E.; Koby, Jr. R. (1991a). Performance of two strains of rainbow trout reared at four densities with supplemental oxygen. *Progressive Fish-Culturist* 53: 203-209.
- Kindschi, G. A.; Smith, C.E.; Koby, R.F. (1991b). Oxygen consumption of two strains of rainbow trout reared at four densities with supplemental oxygen. *The progressive Fish-Culturist*, 53: 210-215.
- Klontz, G.W. (1993). Environmental requirements and environmental diseases of salmonids. In: *Fish medicine*, p. 333-342. Stoskopf, M. K. (ed). W.B. Saunders, Philadelphia, Pennsylvania.
- Knights, B. (1983). Food particle-size preferences and feeding behaviour in warmwater aquaculture of European eel, *Anguilla Anguilla* (L.). *Aquaculture* 30, 173-190.
- Knights, B. (1985). Feeding behaviour and fish culture. In: *Nutrition and feeding in fish*, p. 223-241. Cowey, C. B. , Mackie, A. M. Bell, J. G. (eds). Academic Press, London.
- Knights, B. (1987). Agonistic behaviour and growth in the European eel, *Anguilla anguilla* L, in relation to warm-water aquaculture. *Journal of fish biology*, 31: 265-276.
- Kojima, Takahito; Soeda, Hideo (1997). Heart rate change of rainbow trout under long period illumination and sound stimuli. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 63: 905-911.
- Laidley, C.W.; Leatherland, J.F. (1988). Cohort sampling, anaesthesia and stocking-density effects on plasma cortisol, thyroid hormone, metabolite and ion levels in rainbow trout, *Salmo gairdneri* R. *Journal of fish biology*, 33: 73-88.

- Lambooij, E.; Van De vis, JW; Kloosterboer, RJ; Pieterse, C (2002a). Evaluation of head-only and head-to-tail electrical stunning of farmed eels (*Anguilla anguilla*, L.) for the development of a humane slaughter method. *Aquaculture Research* 33: 323-331.
- Lambooij, E.; Van De Vis, J.W.; Kuhlmann, H.; Muenkner, W.; Oehlenschlaeger, J.; Kloosterboer, R.J.; Pieterse, C. (2002b). A feasible method for humane slaughter of eel (*Anguilla anguilla* L.): electrical stunning in fresh water prior to gutting. *Aquaculture Research* 33: 643-652.
- Lambooij, E.; van de Vis, J.W.; Kloosterboer, R.J.; Pieterse, C. (2002c). Evaluation of captive needle stunning of farmed eel (*Anguilla anguilla* L.): suitability for humane slaughter. *Aquaculture* 212: 141-148.
- Lambooij, E.; van de Vis, J.W.; Kloosterboer, R.J.; Pieterse, C. (2002d). Welfare aspects of live chilling and freezing of farmed eel (*Anguilla anguilla* L.): neurological and behavioural assessment. *Aquaculture* 210: 159-169.
- Lang, T.; Peters, G.; Hoffmann, R.; Meyer, E. (1987). Experimental investigations on the toxicity of ammonia: Effects on ventilation frequency, growth, epidermal mucous cells, and gill structure of rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 3: 159-165.
- Lefrancois, C *et al.* (2001). Effect of density on the routine metabolic expenditure of farmed rainbow trout. *Aquaculture* 195: 269-277.
- Lekang, O.I. (19xx). Effects of handling on juvenile fish. Norges landbrukshøgskole, Dr. scient. theses, Report nr. 19.
- Lellis, W.A.; Barrows, F.T. (1997). The effect of diet on dorsal fin erosion in steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 156: 233-244.
- Li, H.W.; Brocksen, R.W. (1977). Approaches to the analysis of energetic costs of intraspecific competition for space by rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of fish Biology*, 11: 329-341.
- Lines, J.A.; Robb, D.H.; Kestin, S.C.; Crook, S.C.; Benson, T. (2003). Electric stunning: a humane slaughter method for trout. *Aquacultural engineering*, 28: 141-154.
- Lloyd, R (1961). Effects of dissolved oxygen concentrations on the toxicity of several poisons to rainbow trout (*Salmo gairdnerii* R.). *The journal of experimental biology* 38: 447-455.
- Love, R.M. (1980). Biological factors affecting processing and utilization. In: J. J. Connell (ed.). *Advances in fish science and technology*, Fishing News Books Ltd., Farnham, England: 130-138.
- Love, R.M. (1988). *The food fishes. Their intrinsic variation and practical implications.* Farrand Press, London.

- Love, R. M. (1992). Biochemical dynamics and the quality of fresh and frozen fish. In: Fish Processing Technology (ed. by G.M. Hall). Blackie Academic and Professional, London.
- Marx, H.; Brunner, B.; Weinzierl, W.; Hoffmann, R.; Stolle, A. (1997). Methods of stunning freshwater fish: Impact on meat quality and aspects of animal welfare. Z. Lebensm.-Unters.-Forsch. (A Food Res. Technol.), 204: 282-286.
- McCarthy, I.D.; Carter, C.G.; Houlihan, D.F. (1992). The effect of feeding hierarchy on individual variability in daily feeding of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). Journal of fish biology, 41: 257-263.
- McDonald, G.; Milligan, L. (1997). Ionic, osmotic and acid-base regulation in stress. In: Fish stress and health in aquaculture, pp. 119-144. Iwama, G.K.; Pickering, A.D.; Sumpter, J.P.; Schreck, C.B (eds.). Cambridge University Press, UK.
- McKenzie, D.J.; Taylor, E.W.; Dalla Valle, A.Z.; Steffensen, J.F. (2002). Tolerance of acute hypercapnic acidosis by the European eel (*Anguilla anguilla*). Journal of Comparative Physiology, B, 172: 339-346.
- McLeod (1978). The gas bubble disease of fish. In: The behavior of fish and other aquatic animals, pp. 319-339. Mostofsky, D.I. (ed). Academic Press, New York.
- Metcalf, NB (1986). Intraspecific variation in competitive ability and food intake in salmonids: Consequences for energy budgets and growth rates. Journal of Fish Biology 28: 525-531.
- Miller, S.A.; Wagner E. J.; Bosakowski T. (1995). Performance and oxygen consumption of rainbow trout Reared at two densities in raceways with oxygen supplementation. The Progressive Fish-Culturist, 57: 206-212.
- Michie, I. (2001). Causes of downgrading in the salmon farming industry. In: Farmed fish quality. Edited by S.C. Kestin and P.D. Warriss. Fishing News Books, Blackwell Science, pp. 129-136.
- Morgan, J.D.; Iwama, G.K (1997). Measurements of stressed states in the field. In: Fish stress and health in aquaculture, pp. 247-268. Iwama, G.K.; Pickering, A.D.; Sumpter, J.P.; Schreck, C.B (eds.). Cambridge University Press, UK.
- Mork, O.I. (1995). Aggressive behaviour of two size classes of four salmonid species. In: Fisken og Havet no. 19, 10 pp. Havforskningsinstituttet, Bergen.
- Mork, O.I; Gulbrandsen J. (1994). Vertical activity of four salmonid species in response to changes between darkness and two intensities of light. Aquaculture, 127: 317-328.
- Morris, P.C. (2001). The effects of nutrition on the composition of farmed fish. In: Farmed fish quality. Edited by S.C. Kestin and P.D. Warriss. Fishing News Books, Blackwell Science, pp. 161-179.

- Mortensen H. (1989). Sammenligning af 10 recirkulerede åleanlæg. Rapport udarbejdet af AkvakulturCentret for Dansk Åleproducentforening.
- Morzell, M. og van de Vis, H. (2003). Effect of the slaughter method on the quality of raw and smoked eels (*Anguilla anguilla* L.). *Aquaculture Research*, 34: 1-11.
- Moutou, K.A.; McCarthy, I.D.; Houlihan, D.F. (1998). The effect of ration level and social rank on the development of fin damage in juvenile rainbow trout. *Journal of Fish Biology* 52: 756-770.
- Munoz, M.J.; Carballo, M.; Tarazona, J.V. (1991). The effect of sublethal levels of copper and cyanide on some biochemical parameters of rainbow trout along subacute exposition. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 100C: 577-582.
- Murray, C.A.; Ziebell, C.D. (1984). Acclimation of rainbow trout to high pH to prevent stocking mortality in summer. *Progressive Fish-Culturist*, 46: 176-179.
- Mørkøre, T. (2002). Texture, fat content and product yield of salmonids. Ph.D.-thesis, Agricultural University of Norway, 2002:07. ISBN 82-575-0488-2.
- Noakes David L.G.; Leatherland John F. (1977). Social dominance and interrenal cell activity in rainbow trout, *Salmo gairdneri* (Pisces, Salmonidae). *Environmental biology of fish*, 2: 131-136.
- North, B. (2003). British trout farming conference, Sparsholt, 4-5. sep. 2003, UK.
- Novotny, A.J.; Pennell, W. (1996). Rearing salmonids to market size in marine waters. In: Principles of salmonid culture, pp. 569-611. Pennell, W.; Barton, B.A. (eds). Elsevier, Amsterdam.
- Oehlenslager, J.; Kestin, S.C.; Tejada, M.; Sorensen, N.K.; Torrissen, O.J.; Nesvabda, P.; Van Rijnsingen, L.C.M. (1998). Optimisation of harvest procedures of farmed fish with respect to quality and welfare. Conference: 3. European Marine Science and Technology Conference, Lisbon (Portugal), 23-27 May 1998.
- Olsson, G. B.; Olsen, R. L.; Carlehög, M.; Ofstad, R. (2003). Seasonal variations in chemical and sensory characteristics of farmed and wild Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Aquaculture*, 217: 191-205.
- Pankhurst, N.W.; Van der Kraak, G. (1997). Effects of stress on reproduction and growth of fish In: Fish stress and health in aquaculture, pp. 73-93. Iwama, G.K.; Pickering, A.D.; Sumpter, J.P.; Schreck, C.B (eds.). Cambridge University Press, UK.
- Papoutsoglou S.E.; Papaparaskeva-Papoutsoglou, E.; Alexis, M.N. (1987). Effect of density on growth rate and production of rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) over a full rearing period. *Aquaculture*, 66: 9-17.

- Pennell, W.; McLean, W.E. (1996). Early rearing. In: Principles of salmonid culture, 365-465. Pennell, W.; Barton, B. A. (eds). Elsevier, Amsterdam.
- Peters, G. (1982). The effect of stress on the stomach of the European eel, *Anguilla anguilla* L. Journal of fish biology 21: 497-512.
- Peters, G.; Delventhal H.; Klinger H. (1980). Physiological and morphological effects of social stress in the eel (*Anguilla anguilla* L). Archiv für Fischereiwissenschaft 30: 157-180. Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft der universität Hamburg.
- Peterson, R.H.; Coombs, K.; Power, J.; Paim, U. (1989). Responses of several fish species to pH gradients. J. Can. Zool., 67: 1566-1572.
- Pickering, A D, (1992). Rainbow trout husbandry: management of the stress response. Aquaculture, 100: 125-139.
- Pickering, A.D. (1993). Growth and stress in fish production. Aquaculture 111: 51-63
- Piper, R.G.; McElwain, I.B.; Orme, L.E.; McCraren, J.P.; Fowler, L.G.; Leonard, J.R. (1983). Transportation of live fishes. In: Fish hatchery management, pp. 348-371. Piper, R.G. *et al.* (eds). U.S. Fish and Wildlife Service, Washington DC.
- Poppe, T.T. (2000). Produksjonsrelaterte lidelser i fiskeoppdrett - en etisk utfordring for veterinærene. Norsk Veterinær Tidsskrift, 112: 91-96.
- Pottinger, T.G. (2001). Effects of husbandry stress on flesh quality indicators in fish In: Farmed fish quality. Edited by S.C. Kestin and P.D. Warriss. Fishing News Books, Blackwell Science, pp. 145-160.
- Pottinger, T.G.; Carrick, T.R. (1999). Modification of the plasma cortisol response to stress in rainbow trout by selective breeding. General and comparative endocrinology, 116: 122-132.
- Pottinger, T.G.; Pickering, A.D. (1997). Genetic basis to the stress response: selective breeding for stress-tolerant fish. In: Fish stress and health in aquaculture, pp. 171-193. Iwama, G.K.; Pickering, A.D.; Sumpter, J.P.; Schreck, C.B. Cambridge University Press, UK.
- Procarione, L.S.; Barry, T.P.; Malison, J.A. (1999). Effects of high rearing densities and loading rates on the growth, and stress responses of juvenile rainbow trout. North American Journal of Aquaculture 61: 91-96.
- Rasmussen, R.S. (2001). Quality of farmed salmonids with emphasis on proximate composition, yield and sensory characteristics (Review). Aquaculture Research, 32: 767-786.

- Rasmussen, R.S. og Korsgaard, B. (1996). The effect of external ammonia on growth and food utilization of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 205: 35-48.
- Rasmussen, R. S. og Ostefeld, T. H. (2000a). Influence of growth rate on white muscle dynamics in rainbow trout and brook trout. *Journal of Fish Biology*, 56: 1548-1552.
- Rasmussen, R. S. og Ostefeld, T. H. (2000b). Effect of growth rate on quality traits and feed utilisation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Aquaculture*, 184: 327-337.
- Rasmussen, R.S., Ostefeld, T.H., Rønsholdt, B. og McLean, E. (2000a). Manipulation of end-product quality in rainbow trout with finishing diets. *Aquaculture Nutrition*, 6: 17-23.
- Rasmussen, R.S., Ostefeld, T.H. og McLean, E. (2000b). Growth and feed utilisation of rainbow trout subjected to changes in feed lipid concentration. *Aquaculture International*, 8: 531-542.
- Refstie, T. (1977). Effect of density on growth and survival of rainbow trout. *Aquaculture*, 11: 329-334.
- Refstie, T.; Kittelsen A. (1976). Effect of density on growth and survival of artificially reared atlantic salmon. *Aquaculture*, 8: 319-334.
- Robb, D.H.F.; Callaghan, M.O.; Lines, J.A.; Kestin, S.C. (2002a). Electrical stunning of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): factors that affect stun duration. *Aquaculture* 205: 359-371.
- Robb, D.H.F.; Wotton, S.B.; Van De vis, J.W. (2002b). Preslaughter electrical stunning of eels. *Aquaculture Research*, 33: 37-42.
- Robb, D.H.F. (2001). The relationship between killing methods and quality. In: *Farmed fish quality*. Edited by S.C. Kestin and P.D. Warriss. Fishing News Books, Blackwell Science, pp. 220-233.
- Robb, D. H. F., Kestin, S. C. og Warriss, P. D. (2000). Muscle activity at slaughter: I: Changes in flesh colour and gaping in rainbow trout. *Aquaculture*, 182: 261-269.
- Rose, J.D. (2002). The neurobehavioral nature of fishes and the question of awareness and pain. *Rev. Fisheries Science* 10: 1-38.
- Rowland, SJ (1992). Water quality in freshwater aquaculture. *Fishfacts*. no. 1, 20 pp.
- Ruff, N.; Fitzgerald, R. D.; Cross, T. F.; Hamre, K. og Kerry, J. P. (2003). The effect of dietary vitamin E and C level on market-size turbot (*Scophthalmus maximus*) fillet quality. *Aquaculture Nutrition*, 9: 91-103.

- Russo, R.C., og Thuston, R.V. (1991). Toxicity of ammonia, nitrite, and nitrate to fishes. In: *Advances in world aquaculture*, 3: 58-90. Aquaculture and water quality. Brune, D.E. og Tomasso, J.R. (eds.). Baton Rouge, Louisiana.
- Sadler, K. (1979). Effect of temperature on the growth and survival of the European eel, *Anguilla anguilla* L. *Journal of fish biology*, 15: 499-507.
- Saroglia, M. (2003). Fisketæthed og dyrevelfærd i intensivt opdræt. *Aquaflow TL2003-197*.
- Schreck, C.B.; Olla, B.L.; Davis, M.W. (1997). Behavioural responses to stress. In: *Fish stress and health in aquaculture*, pp. 145-170. Iwama, G.K.; Pickering, A.D.; Sumpter, J.P.; Schreck, C.B (eds.). Cambridge University Press, UK.
- Schreck, C.B.; Contreras-Sanchez, W.; Fitzpatrick, M.S. (2001). Effects of stress on fish reproduction, gamete quality, and progeny. *Aquaculture*, 197: 3-24.
- Seymour, E.A. (1984). Eels: High stocking rates and moving water solve the grading problem. *Fish Farmer* 7: 12-14.
- Seymour, EA (1989). Devising optimum feeding regimes and temperatures for the warm water culture of eel, *Anguilla anguilla* L. *Aquacult. Fish. Manage.*, 20: 311-323.
- Sinnott, R. (2002). Fish farming and feed companies. In: *Handbook of salmon farming*. Edited by S.M. Stead and L. Laird. Springer-Verlag, Berlin. pp. 105-185.
- Skjervold, P. O., Rørå, A. M. B., Fjæra, S. O., Vegusdal, A., Vorre, A. and Einen, O. (2001). Effects of pre-, in- or post-filleting of live chilled Atlantic salmon. *Aquaculture*, 194: 315-326.
- Sloman, K.A.; Armstrong, J.D. (2002). Review: Physiological effects of dominance hierarchies: laboratory artefacts or natural phenomena? *J. Fish Biol.* 61: 1-23.
- Smart, G. (2001). Problems of sea bass and sea bream quality in the Mediterranean. In: *Farmed fish quality*. Edited by S.C. Kestin and P.D. Warriss. Fishing News Books, Blackwell Science, pp. 120-128.
- Smart, G. R. (1981). Aspects of water quality producing stress in intensive culture. In: *Stress and Fish*, pp. 277-293. A.D. Pickering (ed.).
- Smart, G.R.; Knox, D.; Harrison, J.G.; Ralph, J.A.; Richards, R.H.; Cowey, C.B. (1979). Nephrocalcinosis in rainbow trout *Salmo gairdneri* R.; the effect of exposure to elevated CO₂ concentrations. *Journal Fish Disease* 2: 279-289.
- Smith, C.E. (1978). Transportation of salmonid fishes. In: *Manual of fish culture: Section G: Fish transportation*, pp. 9-41. McCaren, J.P. (ed). U.S. Fish and Wildlife Service, Washington DC.

Soil Association. Standards for aquaculture and individual fish species. UK Organic Standards. www.soilassociation.org

Sumpter, J.P. (1997). The endocrinology of stress. In: Fish stress and health in aquaculture, pp. 96-118. Iwama, G.K.; Pickering, A.D.; Sumpter, J.P.; Schreck, C.B (eds.). Cambridge University Press, UK.

Talbot, C. (1985). Laboratory methods in fish feeding and nutritional studies. In: Fish energetics: new perspectives. Tytler, P.; Calow, P. (eds). Johns Hopkins Univ. Press; Baltimore.

Thurston, R.V.; Phillips G.R.; Russo R.C. (1981). Increased toxicity of ammonia to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) resulting from reduced concentrations of dissolved oxygen. Canadian journal of fisheries and aquatic sciences, 38: 983-988.

Torres, P; Tort, L; DePauw, N; Joyce, J (1991). Effects of stress and metal exposure on blood parameters and liver metabolism in rainbow trout. Conference: Aquaculture Europe '91, Dublin (Eire), 10-12 Jun 1991. Aquaculture and the environment. pp. 312-313, Special Publication, European Aquaculture Society no. 14.

Torrissen, O. J.; Sigurgisladottir, S.; Slinde, E. (2001). Texture and technological properties of fish. In: Farmed fish quality. Edited by S.C. Kestin and P.D. Warriss. Fishing News Books, Blackwell Science, pp. 42-57.

Trzebiatowski, R.; Filipiak, J.; Jakubowski, R. (1981). Effect of stock density on growth and survival of rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich). Aquaculture, 22: 289-295.

Turchini, G. M.; Mentasti, T.; Frøyland, L.; Orban, E.; Caprino, F.; Moretti, V. M.; Valfré, F. (2003). Effects of alternative dietary lipid sources on performance, tissue chemical composition, mitochondrial fatty acid oxidation capabilities and sensory characteristics in brown trout (*Salmo trutta* L.). Aquaculture, 225: 251-267.

Van de Vis, H.; Kestin, S.; Robb, D.; Oehlenschlaeger, J.; Lambooi, B.; Muenkner, W.; Kuhlmann, H.; Kloosterboer, K.; Tejada, M.; Huidobro, A.; Otteraa, H.; Roth, B.; Sorensen, N.K.; Akse, L.; Byrne, H.; Nesvadba, P. (2003). Is humane slaughter of fish possible for industry? Aquaculture Research, 34: 211-220.

Braaten, B. (1986). Krav til vannkvalitet i opdretningsanlegg. In: Vandbehandling i akvakultur. VAR'86. Tapir Forlag. ISBN 82-519-0741-1

Wagner, E; Arndt, R; Hilton, B (2002). Physiological stress responses, egg survival and sperm motility for rainbow trout broodstock anesthetized with clove oil, tricaine methanesulfonate or carbon dioxide. Aquaculture 211: 353-366.

Wagner, E.J.; Miller, S.A.; Bosakowski, T. (1995). Ammonia excretion by rainbow trout over a 24-hour period at two densities during oxygen injection. Progressive Fish-Culturist 57: 199-205.

- Wall, A.J. (2001). Ethical considerations in the handling and slaughter of farmed fish. In: *Farmed fish quality*. Edited by S.C. Kestin and P.D. Warriss. Fishing News Books, Blackwell Science, pp. 108-115.
- Wedemeyer, G.A. (1996a). *Physiology of fish in intensive culture systems*. Chapman & Hall, New York.
- Wedemeyer, G.A. (1996b). Transportation and handling. In: *Principles of salmonid culture*, 727-758. Pennell, W.; Barton, B. A. (eds). Elsevier, Amsterdam.
- Wedemeyer, G.A. (1997). Effects of rearing conditions on the health and physiological quality of fish in intensive culture. In: *Fish stress and health in aquaculture*, pp. 35-71. Iwama, G.K.; Pickering, A.D.; Sumpter, J.P.; Schreck, C.B. Cambridge University Press, UK.
- Wedemeyer, G.A. (1976). Physiological response of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to handling and crowding stress in intensive fish culture. *J. Fish. Res. Board Can.* 33: 2699-2702.
- Wendelaar Bonga, S.E. (1997). The stress response in fish. *Physiological reviews*, 77: 591-625.
- Wickins, J. (1983). Speed-up for slow eels. *Fish Farmer* 6: 24-25.
- Wickins, J.F. (1980). Water quality requirements for intensive aquaculture: a review. In: *Aquaculture in heated effluents and recirculation systems*, pp. 17-37. Tiews, K. (ed.). Heenmann Verlagsgesellschaft, Berlin.
- Winberg (1997). Behavioural and neuroendocrine effects of social stress in fish. Conference: 1. COST 827 Workshop, Aberdeen (UK), 3-6 Apr 1997. Houlihan, D.; Kiessling, A.; Boujard, T. (eds). *Voluntary food intake in fish*, p. 36.
- Winfree, R.A.; Kindschi, G.A.; Shaw, H.T. (1998). Elevated water temperature, crowding, and food deprivation accelerate fin erosion in juvenile steelhead. *Progressive Fish-Culturist* 60: 192-199.
- Woodward, C.C.; Strange R. J (1987). Physiological stress responses in wild and hatchery-reared rainbow trout. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 116: 574-579.
- Zoccarato, I.; Benatti, G.; Bianchini, M.L.; Boccignone, M. (1994). Differences in performance, flesh composition and water output quality relation to density and feeding levels in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), *farming*. 25: 639-647.

Bilag. Projektets fase 2 - Praktiske forsøg

Introduktion

Kvaliteten eller tilstanden af finner hos opdrættede regnbueørreder kan være forskellig afhængig af hvilket opdrætsanlæg fiskene kommer fra. Endvidere kan variationen i fiskenes finnetilstand være forskellig mellem bassiner internt på et opdrætsanlæg. Dette erfarede projektgruppen bl.a. hos Danish Aquaculture A/S i Egtved, hvor der opdrættes regnbueørreder i fuldt recirkulerende anlæg. Da en ringere finnetilstand menes at være forårsaget af dårligere opdrætsforhold eller -praksis, besluttede projektgruppen at undersøge sammenhængen mellem fisketæthed, fodringsfrekvens og fiskestørrelse på vækst og velfærdsparametre, hvor især en vurdering af finnetilstanden indgik i udviklingen af en metode til vurdering af fiskevelfærd.

Formål

Hovedformålet med projektets fase 2 var at undersøge og afprøve metoder til vurdering af fiskevelfærd under forskellige opdrætsforhold hos regnbueørred gennem to forsøg, hhv.

1. forsøgs formål var

- at undersøge tolerancen for hhv. lav og høj tæthed hos to størrelser af regnbueørred.
- at afprøve metode til vurdering af fiskevelfærd, herunder bl.a. bedømmelse af finnetilstand.

2. forsøgs formål var

- at undersøge tolerancen for hhv. lav og høj tæthed ved to daglige fodringsfrekvenser hos regnbueørred.
- at videreudvikle metode til vurdering af fiskevelfærd.

Forsøgsbeskrivelse

Forsøgene blev gennemført i et recirkulerende forsøgsanlæg hos Danish Aquaculture A/S, bestående af 12 ståltanke á 300 l pr. tank. Forsøg 1 og 2 blev udført efter hinanden, og havde hver en varighed af 6 uger i 2003/2004. Set-up af de to forsøg er skitseret herunder,

	Forsøgsgrupper med 3 tanke i hver	Start forsøg	Midt måling	Slut forsøg
1. forsøg	Høj tæthed - Store fisk Høj tæthed - Små fisk Lav tæthed - Store fisk Lav tæthed - Små fisk	d. 23/9	d. 15/10	d. 5/11
2. forsøg	Høj tæthed - 1 daglig udfodring Høj tæthed - 3 daglige udfodringer Lav tæthed - 1 daglig udfodring Lav tæthed - 3 daglige udfodringer	d. 25/11	d. 16/12	d. 6/1

Forsøgenes tidsmæssige forløb:

Indvejning i forsøgsanlæg	Akklimering	Stop fodring	Start forsøg	Fodring m.v.	Stop fodring	Midt måling	Fodring m.v.	Stop fodring	Slut forsøg
1. forsøg Dag -7		Dag -1	Dag 0		Dag 21	Dag 22		Dag 42	Dag 43
2. forsøg Dag -7		Dag -1	Dag 0		Dag 20	Dag 21		Dag 41	Dag 42

Fiskene blev overført til forsøgsanlægget fra Danish Aquaculture A/S produktionsanlæg. I 1. forsøg blev de to fiskestørrelser taget fra to forskellige hold, mens fiskene i 2. forsøg kom fra det samme hold. Fiskene blev indvejet efter optælling af samme antal fisk og starttætheder i de enkelte grupper. Endvidere blev der i videst muligt omfang størrelsessorteret, så forskellen mellem individerne i de enkelte grupper var så lille som mulig. Udfodringen foregik efter en vækstmodel udviklet af Danish Aquaculture A/S, så fisk af samme størrelse fik tilbudt samme fodermængde af fodertype DAN-EX 2446 fra Dana Feed A/S. Fiskene blev fodret i akklimeringsperioden. Antallet af daglige fodringer blev i 2. forsøg gradvist reduceret i akklimeringsperioden til det antal udfodringer, der blev anvendt under forsøgene (hhv. 1 og 3 gange daglig). Dette blev gjort for at minimere eventuelle adfærdsmæssige ændringer som følge af skift i foderstrategi.

Den daglige fodermængde blev hver morgen udvejet til de enkelte tanke og fyldt i foderautomater (karrusel), som forestod den primære udfodring. Flere gange dagligt blev fiskene observeret under automatfodringen og givet supplerende håndfodring for at undersøge ædelysten. Automatfodringen var programmeret efter flg. tidsskema:

1. forsøg: Fire dgl. fodringer
 kl. 09.00
 kl. 11.45
 kl. 15.00
 kl. 20.45
2. forsøg: Én dgl. fodring Tre dgl. fodringer
 kl. 09.00 kl. 09.00
 kl. 11.45
 kl. 20.45

Bundsug i hvert bassin gjorde det let at følge eventuel foderspild. Der blev kun i ganske få tilfælde observeret foderspild. Når der var foderspild blev den automatiske udfodring standset i den berørte tank og overskydende foder fratrukket den daglige fodermængde.

Vandkvaliteten

Følgende gennemsnitlige værdier af vandparametre under forsøg 1 (øverst) og forsøg 2. (nederst) blev målt (standardafvigelsen angivet i parentes) :

	Niveau	Målefrekvens	Kommentar
Ilt (O ₂) mg/l	> 8,0	Kontinuerlig	Oxyguard® elektrode i hver tank og automatisk ilttilførsel ved < 8,0mg/l
Temperatur °C	17,7 (1,2) 16,4 (1,0)	Daglig	Oxyguard®
PH	6,0 (0,1) 6,1 (0,1)	Daglig	Håndholdt pH meter
Total ammonium mg/l (NH ₃ /NH ₄ ⁺)	4,1 (4,5) 1,9 (0,7)	Daglig	Tabelværdi ud fra pH, temperatur og NH ₃
Ammoniak (NH ₃) mg/l	< 0,006 < 0,002	Daglig	Hach® test kit
Nitrit (NO ₂ ⁻) mg/l	1,0 (0,0) 0,9 (1,7)	Daglig i perioder, ellers min. hver uge	Merck® test strips
Salinitet %	0,3 (0,2) 0,4 (0,2)	Min. ugentlig	Vægtfylde
Nitrat (NO ₃ ⁻) mg/l	365 (172) 372 (72)	Daglig	Merck® test strips
Kuldioxid (CO ₂) mg/l	25,7 (9,1) 29,9 (3,9)	Daglig	LaMOTTE® test kit
Alkalinitet mg/l	0,7 (0,2) 0,7 (0,2)	Daglig	Merck® alkalinity test

Vækst, foderkvotient og dødelighed

Den relative gennemsnitlige tilvækst og foderkvotient (FK) samt dødelighed blev beregnet i hver tank på flg. måde:

$$\% \text{ dgl. tv. (inkl døde)} = \frac{\text{Ln}(\text{Vægt}_{\text{Slut}}) - \text{Ln}(\text{Vægt}_{\text{Start}})}{\text{Antal dage}} \times 100\%$$

$$\text{FK} = \frac{\text{Spist mængde foder (kg)}}{\text{Fiskens tilvækst, inkl. døde (kg)}}$$

Ved midtvejsmålingen efter 3 uger blev udfodringen justeret efter den beregnede gennemsnitsvægt.

Velfærdsmetode

En velfærdsmetode blev afprøvet 3 gange under hvert forsøg, hhv. ved forsøgets start, ved en midtvejsmåling efter 3 uger og ved forsøgets afslutning efter 6 uger.

Velfærdsmetoden tager udgangspunkt i opmåling og subjektiv bedømmelse af fiskens finnetilstand efter et 1-4 karaktersystem ud fra nedenstående kriterier:

Karakter	1	2	3	4
Rygfinne	Hel/ Kun mindre område af forreste top hvid pga. manglende pigment	Lille del af forreste top er væk pga. erosion eller bid	Større del af forreste top er væk/ Mindre del af hele finnens længde er væk	Stor del af hele rygfinnen mangler i hele længden/ Evt. flosset og med blodudtrækninger
Bryst- og bugfinner	Hel/ Kun i mindre grad hvid pga. manglende pigment	Mindre del (max. 25%) væk pga. erosion eller bid/ Smal deform/ Evt. flosset med blodudtrækninger	Større del mangler pga. erosion eller bid (25-50%)	Finnen er helt eller i høj grad væk (50-100%)
Gat- og halefinne	Hel/ Kun i mindre grad hvid pga. manglende pigment	Mindre del (max. 10%) væk pga. erosion eller bid/ Evt. med blodudtrækninger	Større del (10%-25%) væk pga. erosion eller bid	Større del (25-50%) væk pga. erosion eller bid

Fedtfinnen blev vurderet ikke at være interessant i denne sammenhæng da registreringer i 1. forsøg ikke viste nogen effekt.

Fiskenes vægt og længde (forklængde, dvs. fra snude til hvor halen spaltes i to) blev registreret for at kunne beregne konditionsfaktoren:

$$k = 10^7 \times \text{Fiskevægt (g)} / \text{Fiskens forklængde (mm)}^3$$

Et kvantitativt mål for rygfinneerosion blev beskrevet i et rygfinneindeks ved at beregne rygfinnens højde (det højeste sted på finnens forreste del) i forhold til fiskens længde:

$$\text{Rygfinneindeks} = 100 \% \times \text{Rygfinnehøjde(forrest) (mm)} / \text{Fiskens forklængde (mm)}$$

Fra hver tank blev 15 tilfældige fisk udtaget (dvs. 45 fisk i hver forsøgsgruppe), bedøvet med MS222, inden fiskene blev vejte, målt og bedømt. Fisk udtaget til

metodeafprøvning ved start og slut blev taget ud af systemet, mens fisk uanvendt til midtvejsmålingen blev genudsat i de respektive tanke efter opvågning.

Statistik

Der er foretaget tofaktor ANOVA test og undersøgt for interaktionseffekt i tankene (f.eks. tæthed * størrelse).

Forsøgsresultater

Relevante resultater i nedenstående afsnit er inddraget i rapportens litteraturstudium.

Vækst og overlevelse

I forsøg 1 var fiskenes tilvækst, foderkvotient og overlevelse ikke signifikant forskellig mellem relativ lave (op til 38 - 41 kg/m³) og høje tætheder (op til 75 - 92 kg/m³), hos hverken store (op til 128 g) og små fisk (op til 64 g) (tab. 16.1). Årsagen til en lidt lavere gennemsnitlig tilvækst hos gruppen ”Lav - Store” kan forklares med en lidt mindre samlet udfodring i forsøgsperioden.

I forsøg 2 havde fisk ved højeste tætheder (op til ca. 120 kg/m³) en lavere gennemsnitlig tilvækst ($P < 0,05$) sammenlignet med fisk ved lavere tæthed (op til 45 kg/m³), men ved 3 daglige udfodringer kunne tilvæksten opretholdes på omtrent samme niveau uanset tæthed. Forskelle mellem grupperne kan forklares ved foderudnyttelsen, idet foderkvotienten er signifikant højere ved højeste tætheder ($P < 0,05$). Da én tank i gruppen ”Lav-3x” ved en fejl blev fodret med forholdsvis for megen foder i forhold til forkert optalt fiskemængde ved forsøgsstart kunne gruppens totale foderkvotient på 0,97 sandsynligvis været blevet forbedret og forstærket forskellen yderligere.

I begge forsøg var dødeligheden minimal ($< 1,1$ %) i alle grupper, og var hverken påvirket af tæthed eller fodringsfrekvens.

I perioder var der relativ høje niveauer af CO₂ og NO₃⁻ under begge forsøg. Fiskene udviste dog ingen tegn på nephrocalcinosis (nyresten) eller sløv adfærd, idet appetitten altid var god med en foderindtagelse, der mindst lå på højde med foderfirmaets anbefalinger. Det skønnes derfor, at fiskenes fødeindtagelse ikke var hæmmet af disse vandparametre.

Forsøg 1		Vægt		Tæthed											
Dag 0		g.		kg/m ³											
Høj - Store		48	1,3	34	1,2										
Lav - Store		48	1,6	16	0,4										
Høj - Små		18	1,0	21	1,0										
Lav - Små		18	1,9	11	1,3										
Dag 43		Vægt		Tæthed		Tilvækst		Dgl. tilvækst		Foderkvotient		Dgl. udfodring		Overlevelse	
		g.		kg/m ³		g.		%				%		%	
Høj - Store		128	2,1	92	2,4	80	2,5	2,35	0,08	0,93	0,00	2,17	0,07	99,8	0,3
Lav - Store		125	5,6	41	0,8	76	4,1	2,25	0,04	0,92	0,03	2,07	0,05	98,9	1,1
Høj - Små		64	5,3	75	6,2	46	4,4	3,03	0,08	0,92	0,09	2,77	0,20	99,1	0,3
Lav - Små		63	5,5	38	4,0	46	3,7	3,06	0,07	0,89	0,08	2,73	0,29	99,6	0,7

Forsøg 2		Vægt		Tæthed											
Dag 0		g.		kg/m ³											
Høj - 3 x		52	1,2	54	0,1										
Høj - 1 x		51	0,5	54	0,1										
Lav - 3 x		54	4,4	18	0,1										
Lav - 1 x		51	0,6	18	0,2										
Dag 42		Vægt		Tæthed		Tilvækst		Dgl. tilvækst		Foderkvotient		Dgl. udfodring		Overlevelse	
		g.		kg/m ³		g.		%				%		%	
Høj - 3 x		120	3,4	124	1,2	69	2,3	2,06	0,02	0,97	0,02	2,00	0,02	99,0	0,3
Høj - 1 x		113	1,5	118	1,8	62	1,6	1,94	0,04	1,04	0,02	2,02	0,02	98,9	0,5
Lav - 3 x		126	3,5	42	2,9	72	1,8	2,08	0,14	0,97	0,10	2,00	0,08	98,9	1,1
Lav - 1 x		126	0,7	45	1,3	75	1,1	2,21	0,04	0,91	0,03	2,00	0,03	99,7	0,6

Tab. 16.1. Vækstresultater for regnbueørreder i forsøg 1 og 2 ved hhv. ind- og udvejning. Hvert tal repræsenterer gennemsnit af samtlige fisk i tre tanke. Standardafvigelse er vist med lille skrift. Høj, lav, store og små angiver høj tæthed, lav tæthed, store fisk og små fisk. 1 x angiver én daglig fodring og 3 x angiver tre daglige fodringer.

Metodeudvikling

Med meget simpelt udstyr er det let at foretage vejning, længdemåling og vurdering af alle finners tilstand hos bedøvede regnbueørreder, og proceduren tager ca. 1 minut pr. fisk at gennemføre.

Finnetilstand

Generelt var der ingen større udsving i finnetilstanden i forsøgsperioden indenfor de undersøgte tætheds- og fodringsgrupper. Mest markant var forskellen mellem de to fiskestørrelser i forsøg 1, hvor ”Små” havde en signifikant bedre finnetilstand sammenlignet med ”Store” ($P < 0,001$), hvilket gjaldt alle finner undtagen ryg- og fedtfinne. Denne forskel var allerede tydelig ved forsøgsstart.

I begge forsøg var rygfinnen hos en del fisk ved forsøgsstart udsat for en let grad af erosion med en gennemsnitlig finnekarakter på ca. 2 (tab. 16.2 og 16.3). Denne tilstand forblev i de fleste grupper uændret i forsøgsperioden. Dog forbedres tilstanden ved høj tæthed i forsøg 2, så den ved forsøgsafslutning var signifikant bedre ($P < 0,001$)

sammenlignet med de to lavtæthedsgupper. Dette blev yderligere støttet af resultater for rygfinneindeks (DFI), hvor lavere tæthed medførte en lavere DFI værdi sammenlignet med ved højere tæthed. På grund af interaktion mellem tæthed og foderfrekvens er det dog ikke muligt at tale om en signifikant effekt for DFI resultater her, der ej heller blev bekræftet af resultater opnået i forsøg 1. Fordelingen af rygfinnetilstanden på de fire karakterer ændrede sig i løbet af begge forsøg på samme måde i alle grupper således, at den hyppigste karakter på 2 ved forsøgsstart i løbet af begge forsøg bevægede sig mod en større hyppighed af 1 og 3 (fig. 16.1).

DFI faldt hos de fleste grupper med øget fiskevækst fra start til slut således, at rygfinnes vækstrate var mindre end fiskens totale længdevækstrate. Denne naturlige udvikling var markant ved sammenligning af "Små" og "Store" fisk i forsøg 1 ($P < 0,05$).

Ved forsøgsstart var tilstanden af brystfinner markant ringere hos "Store" fisk i forsøg 1 sammenlignet med alle andre grupper, hvor ca. 80 % opnåede karakteren 1 (tab. 16.2 og 16.3 samt fig. 16.2). De "Store" fisks ringere tilstand blev generelt forværret ved både høj og lav tæthed, hvor karakteren 3 og 4 var hyppigst ved forsøgets afslutning, mens brystfintilstanden hos øvrige grupper (dvs. "Små" og alle grupper i forsøg 2) forblev omtrent uændret.

Bugfintilstanden blev i forsøg 1 i mindre grad forværret (ikke signifikant), mens den forblev stort set uændret i forsøg 2 (tab. 16.2 og 16.3).

Allerede ved forsøgsstart i forsøg 1 sås en erosion af gatfinnens tilstand, der var forbedret en smule ved forsøgets afslutning (ikke signifikant). I forsøg 2 var gatfinnen stort set upåvirket.

Fedtfinnernes tilstand forblev stort set upåvirket under forsøgene, og blev derfor udeladt i forsøg 2.

Andre parametre

Vægtforskelle, målt som standardafvigelse mellem individerne, steg i begge forsøgsperioder med fiskens vækst i forsøgstankene, men standardafvigelsen blev ikke fundet forskellige mellem lav og høj tæthed eller ved én og tre daglige udfodringer (tab. 16.2 og 16.3).

Konditionsfaktoren (k) steg fra forsøgets start til slut således, at fiskens naturlige længdevækst aftog med den øgede fiskevægt.

Forsøg 1 Dag 0	Vægt	SD vægt	Længde	Kond.fakt	Rygfinne	DFI	Rygfinne	Halefinne	V.	H.	V.	H.	Gatfinne	Fedtfinne
	g.	g.	mm	k	mm	%	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4
Høj - Store	46	9,1	144	152	12,3	8,5	2,00	1,87*	2,00	2,20	1,00	1,16	1,93	1,00
Lav - Store	49	11,7	147	151	12,9	8,8	2,09	1,82*	2,11	2,11	1,27	1,36	1,87	1,00
Høj - Små	19	5,4	107	152	10,6	9,9	1,93	1,69*	1,20	1,20	1,02	1,02	1,78	1,00
Lav - Små	19	4,8	107	146	10,9	10,1	1,96	1,87*	1,32	1,29	1,00	1,02	1,78	1,00
Dag 22														
Høj - Store	85	21,9	170	169	14,0	8,2	2,02	1,29	2,04	2,07	1,36	1,47	1,89	1,02
Lav - Store	83	16,5	170	168	15,3	9,0	2,04	1,36	2,16	2,18	1,53	1,56	1,87	1,00
Høj - Små	35	11,8	128	160	12,3	9,6	1,64	1,04	1,13	1,24	1,04	1,02	1,82	1,00
Lav - Små	38	16,8	130	162	13,0	10,0	1,69	1,00	1,24	1,22	1,04	1,07	1,71	1,02
Dag 43														
Høj - Store	123	28,6	194	166	16,7	8,6	1,87	1,76	2,73	2,84	1,76	1,53	1,64	1,00
Lav - Store	128	32,6	195	166	17,5	9,0	1,91	1,69	2,38	2,53	1,33	1,38	1,40	1,02
Høj - Små	70	21,3	160	165	15,1	9,4	1,84	1,31	1,31	1,18	1,18	1,11	1,24	1,04
Lav - Små	66	18,7	158	162	14,7	9,3	2,20	1,40	1,29	1,13	1,18	1,16	1,18	1,07

Tab. 16.2. Resultater fra metodeafprøvning (forsøg 1). Hvert tal repræsenterer gennemsnitsværdier for 45 fisk (3 tanke x 15 fisk). Fra "Rygfinne 1-4" og mod højre er der angivet gennemsnitsværdier for fiskene for de tildelte karakterer på en skala fra 1-4.

"SD vægt" er standardvariationen på fiskenes vægt

"DFI" er Rygfinneindeks ("Dorsal Finn Index")

"V" er venstre og "H" er højre.

* Er udeladt i den statistiske behandling idet en hvid kant yderst på finnen, som udvikles få minutter efter fiskens død, blev forvekslet med finneerosion.

Forsøg 2 Dag 0	Vægt	SD vægt	Længde	Kond.fakt	Rygfinne	DFI	Rygfinne	Halefinne	V.	H.	V.	H.	Gatfinne	Fedtfinne
	g.	g.	mm	K	mm	%	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4
Høj - 3 x	51	6,9	149	154	13,9	9,3	2,00	1,18	1,24	1,22	1,04	1,02	1,00	- bedømt
Høj - 1 x	51	6,4	150	149	14,5	9,7	2,00	1,18	1,49	1,31	1,04	1,11	1,00	-
Lav - 3 x	49	8,2	148	151	14,1	9,5	2,20	1,11	1,33	1,24	1,00	1,16	1,00	-
Lav - 1 x	49	6,2	149	150	14,4	9,7	2,16	1,18	1,49	1,13	1,02	1,07	1,02	-
Dag 21														
Høj - 3 x	85	12,5	174	161	14,5	8,3	2,07	1,02	1,49	1,47	1,02	1,11	1,02	-
Høj - 1 x	79	16,3	172	154	14,7	8,6	1,98	1,00	1,33	1,22	1,00	1,04	1,02	-
Lav - 3 x	85	12,3	173	164	14,5	8,4	1,96	1,02	1,40	1,22	1,04	1,00	1,00	-
Lav - 1 x	87	14,7	175	161	13,8	7,9	2,16	1,02	1,40	1,27	1,00	1,04	1,00	-
Dag 42														
Høj - 3 x	123	30,6	197	158	16,7	8,5	1,78	1,13	1,51	1,27	1,04	1,20	1,04	-
Høj - 1 x	114	24,8	191	161	17,6	9,2	1,51	1,09	1,40	1,33	1,00	1,02	1,00	-
Lav - 3 x	127	27,6	196	165	16,6	8,4	2,07	1,09	1,73	1,20	1,02	1,02	1,04	-
Lav - 1 x	130	27,7	198	164	15,5	7,8	2,27	1,11	1,27	1,36	1,02	1,02	1,00	-

Tab. 16.3. Resultater fra metodeafprøvning (forsøg 2). Hvert tal repræsenterer gennemsnitsværdier for 45 fisk (3 tanke x 15 fisk). Fra "Rygfinne 1-4" og mod højre er der angivet gennemsnitsværdier for fiskene for de tildelte karakterer på en skala fra 1-4.

"SD vægt" er standardvariationen på fiskenes vægt

"DFI" er Rygfinneindeks ("Dorsal Finn Index")

"V" er venstre og "H" er højre.

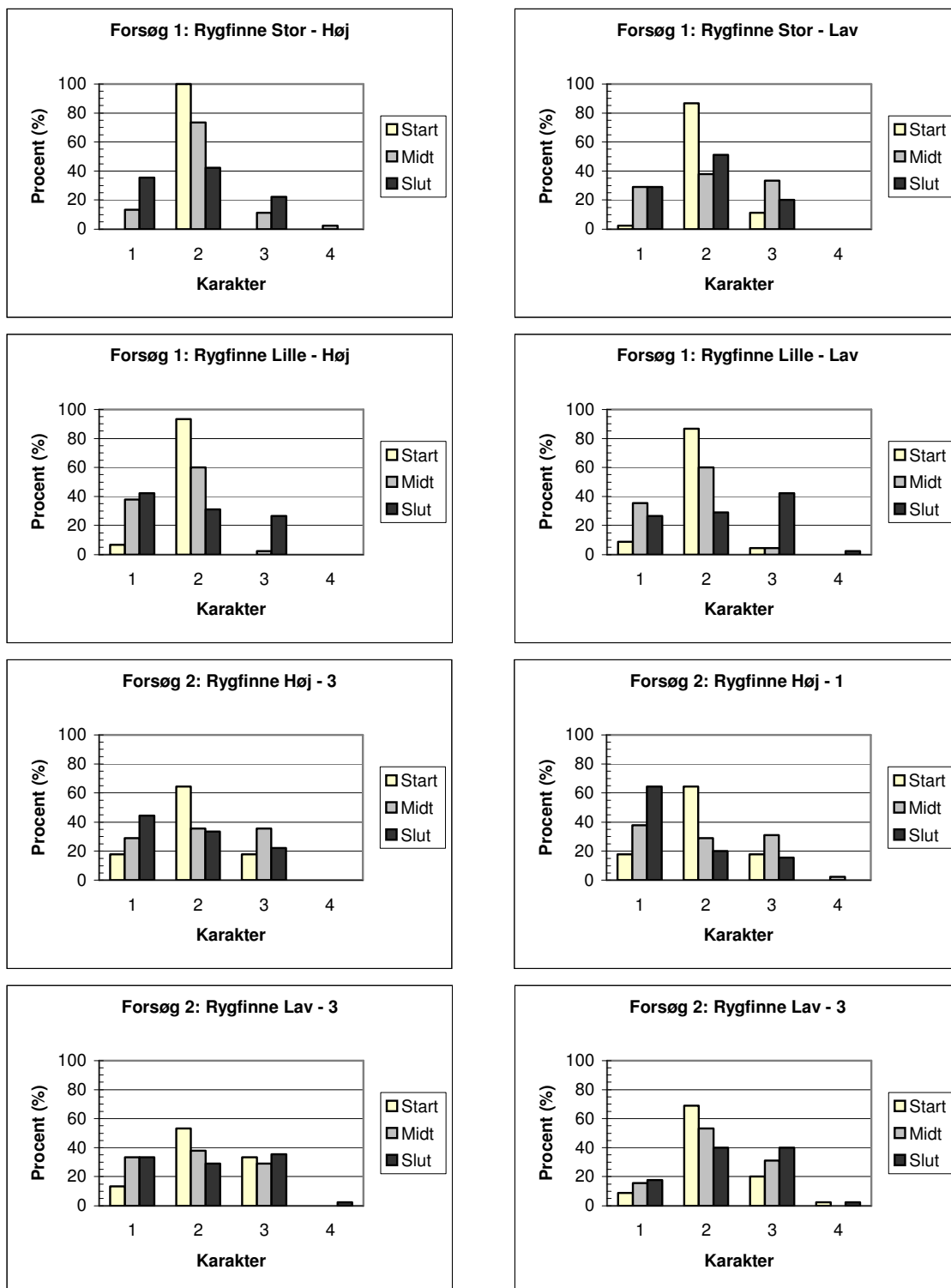


Fig. 16.1. Hyppighed af rygfinnekarakter (1-4) hos grupper af regnbueørred i forsøg 1 og 2 ved hhv. forsøgsstart (Start), midtvejsmåling efter ca. 3 uger (Midt) og forsøgsafslutning (Slut) efter ca. 6 uger. Hver af disse serier repræsenterer resultater fra 45 ørreder (= 100%).

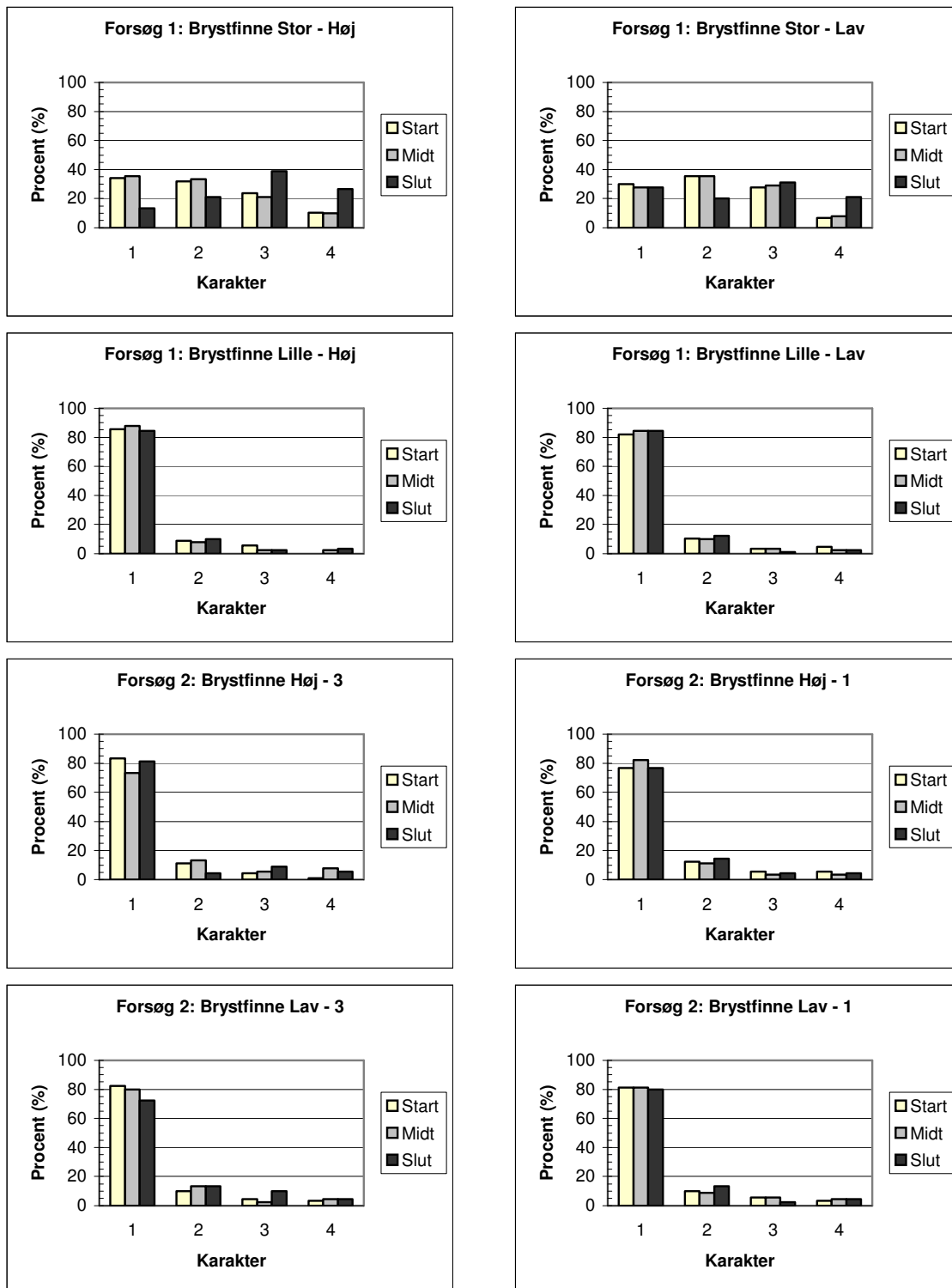


Fig. 16.2. Hyppighed af rygfinnekarakter (1-4) hos grupper af regnbueørred i forsøg 1 og 2 ved hhv. forsøgsstart (Start), midtvejsmåling efter ca. 3 uger (Midt) og forsøgsafslutning (Slut) efter ca. 6 uger. Hver af disse serier repræsenterer resultater fra 45 ørreder (= 100%).

Konklusion – Fase 2.

Vækst og overlevelse

Ved intensiv fodring har relativ høj tæthed op til 75 og 92 kg/m³ for hhv. små og store voksne regnbueørreder ingen signifikant effekt på hverken tilvækst, foderkvotient eller overlevelse. Ved tætheder op til ca. 120 kg/m³ blev foderkvotienten dog signifikant forringet og således også den relative daglige tilvækst. Tilvæksten kunne dog omtrent opretholdes ved 3 daglige udfodringer sammenlignet med kun én gang om dagen. Én daglig udfodring syntes tilstrækkelig ved tætheder op til 45 kg/m³, men for lidt ved tæthed på ca. 120 kg/m³. For at reducere risikoen for dårligere vandkvalitet og forurening af recipient ved høje ørredtætheder anbefales den daglige fodermængde derfor spredt over flere daglige udfodringer.

De målte fisketætheder og fodringshyppigheder havde ingen betydning for overlevelsen.

Metodeudvikling

Med meget simpelt udstyr er det let at foretage vejning, længdemåling og vurdering af finnetilstand hos bedøvede regnbueørreder, og proceduren tager ca. 1 minut pr. fisk at gennemføre. Metoden indeholder både objektive og subjektive mål, hvor fiskens ernæringsstatus og finnetilstand giver mulighed for at vurdere fiskens trivsel.

Af alle finner var ryg- og brystfinner mest udsatte for erosion og/eller bidskader. Hale-, bug og gatfinne var kun udsat i mindre grad, mens fedtfinnen stort set var upåvirket. Ved intensiv fodring over 6 uger havde dog hverken tæthed eller udfodringsfrekvens nogen særlig stor effekt på fiskenes gennemsnitlige finnetilstand. Signifikante forskelle sås kun mellem få grupper, hvilke dog i en samlet vurdering favoriserede hverken relativ lav (ca. 40 kg/m³) eller høj (75-124 kg/m³) tæthed. Fiskenes vækstvariation (målt som standardafvigelse) og konditionsfaktor blev ikke påvirket i nævneværdig grad. Bidskader, som følge af aggressiv adfærd, ville erfaringsmæssigt afsløres i løbet af få dage, hvorimod finneerosion forårsaget af slid mod artsfæller og fisketankenes bund/sider kan være en længerevarende proces (se kap. 5 og 7). At voksne ørreder i forskellig grad udsættes for finneerosion var mest tydelig i udgangsmaterialet fra Danish Aquacultures produktionsanlæg, idet finneerosionen var større hos ”Store” fisk inden forsøgsstart sammenlignet med ”Små”. Dette kan være en indikation af at tilvæning og variation i tidligere oplevet bestandstæthed og udfodringsstrategi kan have betydning for fiskenes reaktion under forsøgsforhold. Forsøgsfisk blev hentet fra i forvejen relativt intensivt fodrede fisk ved høje tætheder (>100 kg/m³).

Ryg-, hale-, gat- og fedtfinne er vanskeligere at vurdere i et 1-4 karaktersystem idet kun bidskader er tydelige på disse flade finner, der bibeholder en relativ skarp kant næsten uanset omfanget af erosion. Graden af finneerosion er således ikke let at vurdere her, da det ikke vides, hvor meget af finnen der er tilbage. Til vurdering af rygfinnen anbefales 1-4 finnekarakteren suppleret med beregning af rygfinneindeks (DFI). Fordelen ved et rygfinneindeks (DFI) er dets objektivitet. Desuden kan indekset afsløre tidligere finneskader, der er helet, som er vanskelig at vurdere i et 1-4 karaktersystem. Ulempen ved indekset er dets naturlige reduktion med fiskens normale vækst således, at kun fisk af omtrent samme størrelse bør sammenlignes, på linie med vækstrate og foderkvotient.

I kapitel 14 foreslås vurderinger af vækst, ernæringsstatus og finnetilstanden at kunne indgå i en simpel metode til kontrol af fiskevelfærd på fiskeopdrætsanlæg.