

# Vækst og kvalitet af motioneret regnbueørred



**DTU Aqua-rapport nr. 242-2011**  
Af Richard Skøtt Rasmussen, Niels Oksbjerg,  
Grethe Hyldig, Charlotte Jacobsen,  
Flemming Jessen og Henrik Hauch Nielsen

# **Vækst og kvalitet af motioneret regnbueørred**

## **DTU Aqua-rapport nr. 242-2011**

Richard Skøtt Rasmussen, DTU Aqua, Danmarks Tekniske Universitet

Niels Oksbjerg, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet

Grethe Hyldig, Charlotte Jacobsen, Flemming Jessen og Henrik Hauch  
Nielsen, DTU Food, Danmarks Tekniske Universitet

## Forord

Denne rapport er udarbejdet på baggrund af projektet ”Spise-, slagte- og sundhedskvalitet af regnbueørred ved motionering i vandstrøm”. Projektet blev bevilget under ”Fødevarerforskningsprogrammet 2007” af Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri i december 2007. Projektet er udført i perioden 2008-2011 i et samarbejde imellem to institutter under Danmarks Tekniske Universitet, DTU Aqua og DTU Food samt Institut for Fødevarer og Fødevarekvalitet ved Aarhus Universitet og slagteriet Danforel A/S i Grindsted.

Udover tak for den meget værdifulde indsats som de direkte tilknyttede laboranter og teknikere har ydet på projektet, takkes følgende personer for deres bidrag: Lektor Ryan Wilkinson, University of Tasmania, for analyser af IGF-I og cortisol i blodplasma, seniorrådgiver Alfred Jokumsen for fisk til analyse samt forsker Bodil K. Larsen for hjælp med opvejninger og målinger af fisk. Endvidere takkes seniorforsker Jonna Tomkiewicz og laboratoriefuldægtig Inger Hornum for velvillig hjælp med elektronmikroskopiske analyser af muskelvæv. Endeligt takkes Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri for det økonomiske tilskud til gennemførelse af projektet (proj./J. nr. 3304-FVFP-07-788-01).

# Indhold

1 Konklusion.....	5
2 Indledning .....	10
3 Forsøgsbeskrivelser.....	12
3.1 Forsøg 1 (F1).....	12
3.2 Forsøg 2 (F2).....	15
3.3 Forsøg 3 (F3).....	15
4 Resultater og diskussion.....	18
4.1 Overordnet tilvækst (vægt- og længde).....	18
4.2 Foderudnyttelse og fødeindtagelse .....	20
4.3 Blodplasmaindhold af IGF-I og cortisol .....	21
4.4 Slagteudbytter.....	21
4.5 Proximat kemisk sammensætning af fileter og hele fisk.....	22
4.6 Fedtsyresammensætning i fileter .....	24
4.7 Udvikling i fileternes muskelfibre.....	29
4.8 Molekylære faktorer af betydning for musklernes karakteristik .....	32
4.9 Proteomanalyse .....	34
4.10 Kollagenindhold i fileter .....	35
4.11 Tekstur, instrumentelt målt.....	35
4.12 Sensorik.....	37
5 Referencer .....	39

# 1 Konklusion

Dette projekt omhandler effekten af forskellige motioneringsniveauer og -strategier på vækst og kvalitet af nutidens opdrætsørreder som gennem årene har været underlagt avlsarbejde og dermed har udnyttet en god del af deres vækstpotentiale. Udover de videnskabeligt interessante resultater der er opnået i projektet, har et andet mål naturligvis været at afklare hvorvidt motionering med fordel kan anvendes i almindeligt opdræt af ørreder. Især i modeldambrugene har man mulighed for at generere vandstrømme op til højere niveau.

**Projektet har vist, at der med henblik på praktisk anvendelse i ørredopdræt er potentiale til at**

- 1) øge fiskenes tilvækst
- 2) mindske fiskenes størrelsesforskelle
- 3) øge filetenes fasthed
- 4) mindske fiskenes stressniveau
- 5) i øvrigt undgå u hensigtsmæssige karakteristika hos fiskene som følge af motionering

**Projektets resultater indikerer, at en kontinuerlig vandstrøm på niveau 1,2 kropslængde per sekund vil stimulere udviklingen i disse parametre hos regnbueørred på 50-400 g.**

Der ses dermed flere væsentlige fordele ved anvendelse af øgede vandstrømme i ørredopdræt. Fordele skal dog i de konkrete tilfælde opvejes imod bl.a. øget energiforbrug til generering af vandstrømme samt eventuelle ulemper såsom i de rensetekniske foranstaltninger i forbindelse med bundfældning og/eller rensning i biofiltre.

Resultaterne i denne rapport bygger på tre forskellige motioneringsforsøg hvori der indgår regnbueørred (*Oncorhynchus mykiss*) i start- og slutvægte på cirka 50 og 400 g fodret med almindelige fodertyper.

I forsøg 1 (F1) blev det over 9 uger undersøgt hvorvidt motionering af ørreder ændrede fiskenes kvalitet ved en vandhastighed på 0,9 kropslængde per sekund (kl/s), en temperatur på 15,0 °C og udfodringsmængde på 1,3 % af fiskenes kropsvægt. Til analyse af fiskenes kvalitet blev der tilfældigt udtaget et antal motionerede og ikke-motionerede fisk som havde cirka samme vægt. I overensstemmelse med de ensartede slutvægte, var der ingen effekt af motionering på genekspression af muskel mTOR, som er et enzym (protein kinase) med en række centrale funktioner, herunder en væsentlig rolle i proteinsyntese og dermed muskeltvækst. Generelt sås også kun beskedne effekter af motionering ved 0,9 kl/s på kvalitetsparametrene. Der var således ingen statistisk signifikant effekt på fileternes indhold af fedt, protein, vand eller aske, men der sås enkelte forskelle i fedtsyrer, idet motionerede fisk havde lavere indhold af fedtsyrerne 16:0, 18:1 (n-7) og et højere indhold af 20:2 (n-6). Indholdet af de sundhedsmæssigt vigtige n-3 fedtsyrer ændredes ikke som følge af motionering. Der sås heller ingen påvirkning af filetteksturen, men muskelfibrenes størrelsesfordeling og fibrenes cirkularitet blev påvirket af motionering. De enkelte signifikante resultater gav anledning til at tro, at andre niveauer af motionering i højere grad kunne ændre fiskenes kvalitet.

I forsøg 2 (F2) blev effekten af motionering på regnbueørreder ved vandhastigheder på op til mindst 1,2 kl/s undersøgt ved en temperatur på 13,0 °C. Fiskene blev denne gang fodret til mæthed (dvs. med foderspild). Forsøget var opdelt i to fire ugers perioder og viste, at mens der i første periode

ikke var nogen signifikant effekt af vandstrøm på fiskenes vækstrate, havde fisk motioneret ved 1,2 kl/s i anden periode en vækstrate der var 10-15 % højere end fisk der blev opdrættet i stillestående vand. Vækstforskellene resulterede dog ikke i forskelle i ekspression af mTOR i fiskenes muskulatur. Forskellen i vækstrespons i de to perioder skyldtes muligvis at fisk i første periode endnu ikke var tilstrækkeligt akklimatiseret til de forhøjede vandstrømme. Motionerede fisk var kendetegnede ved mindre størrelsesforskel (vægtforskel) i forhold til ikke-motionerede fisk hvilket indikerer mindre konkurrence om foderet under motionering. Der sås ingen signifikante forskelle i fileternes indhold af protein, fedt eller vand og omend der var forskelle i indhold af visse fedtsyrer var der ikke tegn på at dette var relateret til niveauet af motionering. Filetens fasthed øgedes med vandhastigheden og der var relativ stor og statistisk signifikant forskel (60-70 %) i tekturen målt på fisk ved 0,0 kl/s ifh. til fisk ved 1,2 kl/s. Tekturen kunne ikke relateres positivt til totalindhold af kollagen (et protein som udgør en væsentlig bestanddel af bindevævet) idet der tværtimod i motionerede fisk var et lavere indhold af kollagen end i ikke-motionerede fisk.

I forsøg 3 (F3) blev der udover en kontrolgruppe af regnbueørred opdrættet i tilnærmelsesvist stillestående vand (C - kontrolgruppe), opdrættet fisk permanent ved 1,6 kl/s (H – høj vandstrøm) eller ved variable vandstrømme; VH (1,6 kl/s 6 timer og 18 timer ved 0,0 kl/s) eller VL (1,1 kl/s 6 timer og 18 timer ved 0,0 kl/s). Fiskene blev fodret til mæthed ved 13,0 °C. I modsætning til forsøg 2 sås der i dette forsøg ingen signifikant effekt på hverken vækstrater eller størrelsesforskelle (vægtforskelle), men længdetilvæksten var signifikant reduceret i H-gruppen. H-gruppen var åbenlyst udsat for betydelig energikrævende motionering eftersom fiskene øgede deres fødeindtagelse uden tilsvarende vægtforøgelse, dvs. foderudnyttelsen var reduceret og H-gruppen havde også ringere proteinretentionseffektivitet. Selvom tallene ikke var statistisk signifikante, var der en tendens til ( $P = 0,057$ ) at IGF-I (et hormon som stimulerer vækst) i blodplasma var særligt lavt i fisk i variable vandstrømme, især i VL-fisk. VL-gruppen havde signifikant højere genekspression for mTOR i svømmemuskel (dvs. fileten) men altså uden at dette var relateret til større vægtforøgelse hos fiskene. Slagteudbytte, målt som filetprocent, var ikke påvirket af motionering af fiskene, men udbyttet steg med fiskenes vægt (ca. 2-3 % for hver 100 g vægtforøgelse).

I lighed med forsøg 2 sås ingen forskel i fileternes indhold af lipid (fedt), protein eller vand. Fisk som blev udsat for relativ meget motionering (H) havde et højere totalt indhold af n-3 fedtsyrer i forhold til mindre motionerede fisk (VL), men selvom dette var statistisk signifikant, var forskellen imellem grupperne dog kun omkring 3 %.

I fileternes muskulatur havde VL-fisk signifikant højere genekspression for calpastatin (en calpain-hæmmer) mens calpain (et proteinnedbrydende enzym), både målt ved genekspression og zymografi, ikke varierede imellem forsøgsgrupperne. Calpain/calpastatin systemet har indvirkning på bl.a. filettekturen og er derfor af betydning for kødkvalitet. Ved proteomanalyse af væv fra to af forsøgsgrupperne (C og H) fandtes 822 proteiner hvoraf 32 var signifikant op- eller nedregulerede i de to grupper. Særligt opregulering af cofilin 2, et protein som hæmmer sammenhæftning af aktinfilamenter i musklerne, og som derved har relevans for filettekturen, var opreguleret i H-gruppen som altså blev udsat for betydelig motionering.

H-gruppen skilte sig ud med hensyn til vækst i muskelfibrene på en måde hvor fibrenes generelle størrelsesfordeling afveg ifh. til de andre forsøgsgrupper. Fisk fra H-gruppen havde også, i lighed med C-gruppen, signifikant mindre tværsnitsarealer af muskelfibre. Ændringer i bl.a. calpastatin, cofilin II og muskelfiberstørrelser gav ikke anledning til statistisk signifikante ændringer i den in-

strumentelt målte filettekstur, men det bemærkes dog at fastheden var højest i netop VH- og VL-grupperne, et forhold som harmonerer med F2 hvor kontinuerlig motionering også øgede filetfastheden.

Elektronmikroskopiske analyser på muskelvæv var kvalitativt udmærkede, men desværre ikke af et omfang som tillod evaluering af eventuelle ændringer i eksempelvis mitokondrier eller fedtdeponering omkring muskelfibrillerne. Fisk som havde været udsat for meget motionering (H) blev sammenlignet med fisk fra stillestående vand (C) i et sensorisk panel bestående af trænedede bedømmere. Der var ingen signifikante forskelle i de sensoriske egenskaber imellem grupperne, hvilket harmonerer med at der også kun var få forskelle i de kemiske parametre og den instrumentelt målte tekstur. Endelig blev blodets indhold af cortisol (et hormon som udskilles under stress) målt, og dette viste sig at være væsentligt lavere i VH- og VL-grupperne end i de andre grupper. I sammenhæng med indikationen på bedre foderfordeling ved motionering (F2), tyder det på, at vandstrømme med fordel kan anvendes til at reducere stressniveauet hos nutidens ørreder.

Ved sammenligning af resultaterne i de tre forsøg ses en række forhold som umiddelbart forekommer modstridende, mens andre resultater forekommer mere logiske i relation til hinanden og ud fra det aktuelle kendskab man har til de mekanismer der styrer vækst og kvalitet hos fisk. Sammenligninger imellem de tre forsøg skal tages med det forbehold at der, udover naturligvis de anvendte vandstrømme, var enkelte forskelle i den forsøgsmæssige opsætning og der blev anvendt fisk fra tre forskellige stammer af regnbueørred. Disse forhold vil uvægerligt bidrage til en vis forskel i resultaterne. Mht. til vækst målt som vægtforøgelse indgår kun F2 og F3 idet F1 ikke omhandlede vækst. F2 tallene indikerer at motionering (efter akklimering til øget vandstrøm) øger væksten hos regnbueørred, mens F3 ikke viser denne tendens. I F2 skaber motioneringen mindre størrelsesforskel på fiskene, mens dette ikke ses i F3. Det er derfor tænkeligt, at den permanente motionering i F2 ændrer fiskenes adfærd på en måde hvor mindre aggression og bedre foderfordeling bidrager til øget vækst. Målinger på cortisol i blodplasma i F3 indikerede at fisk opdrættet i variable vandstrømme var mindre stressede, men dette blev ikke afspejlet i mindre størrelsesforskel på fisk opdrættet i variable vandstrømme. Forskellen imellem F2 og F3 består udover forskel i ørredstamme fortrinsvist i anvendelse af permanente vandstrømme (F2) og anvendelse af variable vandstrømme (F3). Trods øget tilvækst i muskelfibre i fisk i variable vandstrømme (VL, variabel 1,1 kl/s og VH, variabel 1,6 kl/s) i F3 voksede disse fisk ikke bedre vægtmæssigt end de to andre grupper (C, 0,0 kl/s og H, 1,6 kl/s). Dette tyder på at de variable vandstrømme har været tilstrækkelige til – enten i omfang eller kvalitet - at stimulere øget muskelfibertilvækst men ikke til at øge fiskenes vægt. I F1 sås i modsætning til F3 ikke forøgelse af muskelfiberstørrelserne hos fisk der gik konstant ved 0,9 kl/s. I F1 blev der dog anvendt en anden stamme af ørreder, udfodringsniveauet var lavere og forsøget var tre uger kortere end i F3 hvilket også kan bidrage til forskelle i muskelfibrenes udvikling. Et andet vigtigt forhold der bør nævnes i den forbindelse er at ændringer i vandstrømme som umiddelbart forekommer små, såsom differencen imellem 0,9 kl/s (F1) og 1,1 kl/s (F3), er af stor betydning for fiskene. Ændringerne betyder nemlig, at den yderligere kraft som fiskene skal mobilisere for at imødegå den øgede vandhastighed tilnærmelsesvist øges med vandhastigheden opløftet til tredje potens. Dette ses ved simpelt at betragte fisken som et objekt i et flydende, turbulent medie hvor den kraft fisken skal generere er givet ved:

$$\text{Kraft} = \rho \cdot v^3 \cdot A \cdot C_d$$

hvor

$\rho$  er væskens densitet

$v$ , objektets hastighed

$A$ , objektets tværsnitsareal (tilnærmelsesvist)

$C_d$  objektets modstandskoefficient

$\rho$ ,  $A$  (forskellen på fiskenes gennemsnitsstørrelser var lille) og  $C_d$  antages at være konstante.

Selvom tallet bygger på en række forudsætninger, og derfor skal tages med visse forbehold, er det indikativt for den store betydning relativ små ændringer i vandhastigheden har. For VL-fisk i F3 kan dette have betydet, at selv om disse fisk kun blev motioneret 6 timer per dag så har vandstrømmen på 1,1 kl/s i modsætning til 0,9 kl/s i F1, været af en styrke og over en periode (12 vs. 9 uger) som gav signifikant tilvækst i muskelfibrene. Den kvalitative betydning af at der i F3 blev anvendt variable vandstrømme er ukendt, men på baggrund af de opnåede resultater og det forhold at emnet kun er meget lidt undersøgt er dette aspekt yderst interessant.

Med hensyn til de målte geneexpressionstal for mTOR harmonerer disse godt med at være højere under tilvækst i muskelfibrene (F3), og samtidig at være uændrede når muskelfibertilvæksten er uændret (F1). Idet der samtidigt ikke ses respons i mTOR ekspression når fiskenes overordnede tilvækst øges (F2) indikeres det at mTOR primært er relateret til ændringer i proteinsyntese og tilvækst i svømmemuskulaturen. I det konkrete tilfælde har muskelfibertilvækst ikke indvirket på fiskenes overordnede vækst som jo også afhænger af proteindeponering i andre væv, fedtdeponeringer og deponeringer af vand mm.

Hverken i den overordnede kemiske sammensætning af fileterne (protein, fedt, vand, aske) eller i fileternes fedtsyresammensætning ses der i nogen af de tre forsøg markante effekter af motionering. Dog er der en undtagelse, nemlig i det tilfælde hvor motioneringen er relativ intens (F3, H – 1,6 kl/s). Her ses tendens til øget forbrænding af umættede og enkeltumættede fedtsyrer, men ellers er andre, små ændringer i fedtsyresammensætninger ikke konsistente i de tre forsøg og dermed ses generelt ikke nogen relation til motionering af fiskene.

I F2 blev der observeret en signifikant stigning i den instrumentelt målte filetfasthed hos motionerede fisk, og dette forekommer samtidig med at fiskenes overordnede tilvækst øges. Teksturforskellene er i et vist omfang relateret til ændringer i svømmemuskulaturen. I modsætning til F3 hvor forsøgsgrupper med øgede muskelfiberstørrelser også viste øget geneexpression for mTOR uden at der var signifikante forskelle i filetteksturen, ses der i F2 ikke signifikante forskelle i mTOR ekspression, og dette kan indikere at de motionerede fisk heller ikke har haft større muskelfibre. Filetteksturen afhænger af adskillige strukturelle og biokemiske parametre og på den baggrund er det ikke muligt at afgøre nærmere årsagen til de signifikante ændringer i teksturen i F2 som ikke ses i F3. Det hører dog med, at der i F3 også kunne konstateres en tendens til øget fasthed under motionering, men at denne ikke var statistisk signifikant.



## **Specifikt under de givne forhold, konkluderes det at motionering af regnbueørred**

- 1) Kan øge væksten samt reducere fiskenes størrelsesforskel**
- 2) Kan reducere fiskenes længdetilvækst og mindske udnyttelsen af foderet, herunder proteinudnyttelsen, når vandhastigheden er relativ høj (1,6 kl/s)**
- 3) Ikke ændrer koncentrationen af fedt, protein eller vand i fileterne**
- 4) Kun ændrer fileternes fedtsyresammensætning marginalt, herunder de vigtige n-3 fedtsyrer**
- 5) Hvis vandstrømmen er moderat, dvs. et sted imellem 0,9 og 1,6 kl/s, kan ændre forskellige muskelfysiologiske parametre og herved øge filetfastheden**
- 6) Ikke ved relativ høj vandhastighed på (1,6 kl/s) indvirker på sensoriske egenskaber ifh. til i stillestående vand**
- 7) Kan reducere blodets indhold af cortisol hvilket indikerer et lavere stressniveau**

Projektet peger dermed på flere konkrete fordele ved motionering af ørreder som med fordel må formodes at kunne anvendes i erhvervet. Endvidere har projektet påvist en række muskelfysiologiske effekter som resultat af motionering, og disse peger i nye, interessante videnskabelige retninger.

På baggrund af de opnåede resultater er der indtil videre publiceret nedenstående artikel samt indsendt og påtænkt yderligere en række internationale udgivelser.

Rasmussen, R.S., Heinrich, M.T., Hyldig, G., Jacobsen, C., Jokumsen, A. (2011). Moderate exercise of rainbow trout induces only minor differences in fatty acid profile, texture, white muscle fibres and proximate chemical composition of fillets. *Aquaculture*, 314: 159-164 (DOI 10.1016/j.aquaculture.2011.02.003)

## 2 Indledning

I Danmark produceres der overvejende regnbueørreder i ferskvand på op til omkring 300 g, fisk som for en stor del varmrøges. I 2010 (Fiskeristatistisk årbog, Fiskeridirektoratet 2011) blev der produceret omkring 27.000 tons ørreder på i ferskvand. En stigende andel af produktionen foregår i de såkaldte modeldambrug hvor vandet renses og recirkuleres. Modeldambrugene forurener væsentligt mindre end traditionelle dambrug ifh. til den producerede mængde fisk, og produktionen er mere rationel. Det er derfor forventeligt at denne dambrugstype vil blive mere udbredt i fremtiden. Modeldambrugene har særlig relevans ifh. til dette projekt idet de typisk har en højere vandstrøm i opdrætssektionerne end de traditionelle jorddambrug. Eftersom det er velkendt at vandstrømme kan have en gunstig indvirkning på tilvækst hos fisk (Jobling *et al.*, 1993, Davison, 1997) er det af interesse at afdække hvorvidt både fiskenes vækst og kvalitet påvirkes af øgede vandstrømme og i hvilket omfang disse parametre eventuelt kan optimeres.

Mens tilvækst ofte er defineret som fiskenes vægtforøgelse er begrebet ”kvalitet” bredt, og kan både betegne den ydre kvalitet såsom finnebid, kropsform, farve etc. såvel som den indre kvalitet i form af kemisk sammensætning af fileten, fileten sensoriske egenskaber (smag, lugt, tekstur) og slagteudbyttet. Øget slagteudbytte er naturligvis en fordel for industrien, mens eksempelvis de sensoriske egenskaber ved ørreden er mere komplekse og ikke altid kan opdeles i positive og negative egenskaber. De senere års øgede opmærksomhed omkring sunde omega-3 (n-3) fedtsyrer i fødevarer har også øget fokus på indtagelse af fisk og deres indhold af n-3 fedtsyrer (Jacobsen, 2010). Det ligger derfor implicit heri, at et øget indhold af disse fedtsyrer i fiskekødet kan gøre ørredprodukter mere attraktive for forbrugerne. De kemiske hovedkomponenter: protein, kulhydrater, vand og fedt, og især sidstnævnte, indvirker på smag og lugt af fiskekødet og dette gælder også for den specifikke fedtsyresammensætning. Således sker der eksempelvis ved omsætning af n-3 og n-6 fedtsyrer en produktion af flygtige aldehyder som giver sensoriske forskelle (Turchini *et al.*, 2009).

De stammer af regnbueørreder der opdrættes i Danmark er domesticerede igennem mange år og det er et velkendt fænomen at opdrættede ørreder har ringere kondition end vilde stammer (Pedersen *et al.*, 2008). Endvidere er fiskenes vækstpotentiale allerede for en stor del udnyttet gennem avlsarbejde. Dette sidste er bl.a. eftervist af Devlin *et al.* (2001) hvor domesticerede regnbueørreder vækstmæssigt responderede væsentligt svagere end vildfisk efter at man i det oprindelige DNA havde indlejret et gen (transgenese) som øgede sekretionen af væksthormon. Selvom positive effekter af vandstrøm på fiskenes tilvækst tidligere er blevet påvist har det været uklart om også nutidens ørredstammer reagerer positivt på øgede vandstrømme, deres forringede kondition og reducerede vækstpotentiale taget i betragtning.

Udover ændringer i vækst kan øgede vandstrømme også forbedre velfærden blandt fisk, bl.a. som resultat af mindre aggression (review: Davison, 1997). Reduceret aggression under motionering resulterer i færre finnebid (review: Jobling *et al.*, 1993), et fænomen som er kendt i dansk ørredopdræt og som bl.a. forekommer når fiskene konkurrerer om foder (Rasmussen *et al.*, 2007). Aggression kan også betyde at fiskene bruger mere energi på indbyrdes kampe og ad den vej forringer deres tilvækst og eventuelt foderudnyttelsen. Velfærd har ikke været et overordnet tema i nærværende projekt, men der er foretaget enkelte målinger som antyder hvorvidt fiskenes velfærd påvirkes ved motionering.

Ideen til dette projekt opstod blandt andet som følge af at flere dambrugere med modeldambrug, hvor vandstrømmen typisk er højere end i de traditionelle dambrug, uafhængigt af hinanden udtalte at fiskenes føltes ”stærkere” i forhold til tidligere hvor de var blevet opdrættet i traditionelle jorddamme. På baggrund af de positive resultater der tidligere er opnået med motionering af fisk og det begrænsede kendskab til effekten på nutidens ørredstammer og deres kvalitet, syntes det oplagt at undersøge disse forhold nærmere. Med udgangspunkt i de nævnte forhold er der i dette projekt fokuseret på overordnet vækst hos regnbueørred og forandringer på cellulært niveau, i blodparametre, aflejring af fedt, fedtsyrer og proteiner, sensorisk profil af fiskekødet, instrumentelt målt tekstur og slagteudbytte. Dermed er der søgt en afklaring af hvilke forandringer der sker i fiskekroppen ved motionering i vandstrøm, og hvorfor de sker. På den måde kan resultaterne bidrage til et bedre afsæt for fortsat forbedring af produktion og kvalitet, og dermed øget afsætning af et sundt produkt der produceres under miljøvenlige forhold.

### 3 Forsøgsbeskrivelser

Nogle af de følgende metoder går igen i flere af de tre udførte forsøg. De fleste metoder er beskrevet under forsøg 1, dog således at de er beskrevet i de efterfølgende relevante forsøg hvis ikke de har været anvendt i forsøg 1. "n" angiver antallet af undersøgte fisk per forsøgsgruppe og "N" angiver det totale antal undersøgte fisk.

#### 3.1 Forsøg 1 (F1)

Forsøg 1 (F1) blev udført som del af et andet projekt om velfærd og sundhed i ørredopdræt hvor effekten af ændringer i vandstrømme også blev undersøgt<sup>1</sup>. I F1 var formålet at undersøge om en forholdsvis moderat vandstrøm (0,9 kl/s) indvirkede på forskellige kvalitetsparametre i regnbueørreder opdrættet til 350 g.

I F1 blev regnbueørreder leveret fra Fousing Dambrug ved Struer (Fousing stammen). Fiskene blev akklimeret i forsøgstanke med recirkuleret vand. Fisk fra en initial tæthed på 17 kg/m<sup>3</sup>, som er indenfor det anbefalede tæthedsniveau (Ellis *et al.*, 2002), og som igennem 9 uger var blevet opdrættet i enten tilnærmelsesvist stillestående vand (C), dvs. en vandstrøm omkring 0,0 kropslængde per sekund (kl/s), eller ved 0,9 kl/s (motionerede fisk – M). De to forsøgsgrupper (C og M) blev undersøgt i hver tre forsøgstanke (billede 1) som var tilfældigt udvalgte. Alle fisk (60 fisk per tank) blev inden forsøgsstart mærkede med små elektroniske mærker (PIT tags) og blev under forsøget fodret med Biomar Ecolife 21 (4.5 mm). Udfordringsmængden var 1,3 % af fiskenes kropsvægt per dag, og foderet blev tildelt med båndautomater over seks timer. Fiskene blev sidste gang fodret 3 døgn inden mellem- og slutvejninger blev foretaget. Tankene, som var en del af et recirkulerende anlæg, blev tilført vand med acceptable ilt-niveauer på mindst 7 mg/l. Ammonium- og nitritkoncentrationerne lå omkring 0 mg/l og nitratkoncentrationerne var lave (< 100 mg/l). Vandtemperaturen var 15,0 ± 0,2°C igennem hele forsøgsperioden.

---

<sup>1</sup> "Strategier til forbedring af sundhed og velfærd ved opdræt af regnbueørred" (projekt under programmet "Fremtidens fødevarer", Direktoratet for FødevareErhverv).



**Billede 1.** De cirkulære forsøgstanke hvor samtlige forsøg under projektet blev gennemført.

Forsøgstanke ses på billede 1. Disse var cirkulære og havde et vandvolumen på omkring 600 l. Vand blev tilført hver tank gennem et perforeret og vertikalt placeret rør som sikrede en ligelig fordeling i hele vandstandssøjlen. Måling af vandhastigheder i tankene blev udført mindst en gang per uge med en vingemåler (OTT Hydrometrie Z30, Tyskland) cirka 20 cm under vandoverfladen i midten af vandstrømmen lige bag vandindtaget. Ved anvendelse af denne metode blev der opnået et repræsentativt resultat for hver af tankene. Justering af vandstrømme blev foretaget så ofte det viste sig nødvendigt. Vandstrømme blev udregnet som kropslængde per sekund, hvor kropslængden var identisk med middellængden af fiskene målt over en tre ugers periode. Efter vejning og længdemåling af fiskene hver tredje uge blev vandhastighederne justeret mhb. på at fastholde den relative strømshastighed, dvs. ifh. til fiskenes længde. Efter ni ugers forsøg blev fem tilfældige fisk fra hver tank (15 fisk per forsøgsgruppe) udtaget. Herefter blev de bedøvet med tricainmethansulfonat (MS – 222), vejnet, længdemålt og herefter aflivet med et hårdt slag. De udtagne C-fisk vejede da 341 g (standardafvigelse SD 34 g) og havde en længde på 28.7 (SD 0.9) cm. De udtagne M-fisk vejede 358 (SD 43) g og længden var 28.3 (SD 1.5) cm.

#### **Histokemiske analyser af muskelvæv**

Små vævsstykker af hvid, glykolytisk muskulatur blev udtaget fra den venstre filet i en position lige over fiskens laterallinie og foran rygfinnen. Vævet blev forberedt til histologiske analyser efter metoden (PAS farvninger) beskrevet af Rasmussen og Ostenfeld (2000). Mellem 200 og 400 muskelfibre per fisk blev undersøgt i et Leica MZ 6 mikroskop. Fibrene blev analyseret for deres tværsnitsreal (TSA), og deres diameter ( $d = 2r$ ) blev udregnet på baggrund af arealet af den enkelte fiber ( $A$ ) ( $A = \pi \cdot r^2 \rightarrow d = 2\sqrt{A \cdot \pi^{-1}}$ ). Der blev fastsat en størrelsesgrænse for analyserne på fiberdiameter  $\geq 10 \mu\text{m}$  eftersom billedopløsningen under denne tærskel ikke var tilstrækkelig til at sikre identifikation og præcision i analyserne (se evt. også Luther *et al.*, 1995). Hver fibers cirkularitet ( $4\pi \cdot \text{fiber areal} \cdot \text{omkreds}^{-2}$ ) blev også analyseret. En cirkularitet på 1,0 indikerede en fuldstændig cirkel. Programmet ImageJ (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>) blev anvendt til disse analyser. Tre ud af de 30 fisk (to C og en M) blev udelukket fra analyserne, idet der i disse var for mange frakturer i muskelprøverne, således at i alt 27 fisk blev analyseret.

## Genekspressionsmålinger

I lighed med ovennævnte blev der i udtaget små prøver fra fiskenes hvide, glykolytiske muskelvæv som blev analyseret for genekspression af mTOR (mammalian target of rapamycin) (Theil *et al.*, 2006). I alt 60 fisk blev undersøgt, altså 30 fisk fra hver forsøgsgruppe.

## Teksturmålinger

Filetteksturen af fisk fra de samme vandstrømme som nævnt ovenfor blev undersøgt (N = 36, n = 12). Den højre filet blev omhyggeligt udskåret fra alle 36 fisk i *pre-rigor* tilstand. Disse fileter blev herefter opbevaret på is i 72 timer inden teksturmålinger, hvilket er at sammenligne med et typisk tidsspænd imellem slagting og anvendelse hos forbrugeren. Teksturmålinger blev udført på en Texture Analyser, TA-XT2 (Stable Micro Systems, Surrey, England, 5 kg load cell, stainless steel cylinder with d: 11 mm and height 6 mm, rounded ends). Kompressionstests blev udført på de ferske fileter. Filethøjde og den maksimale kraft (g kraft) der behøvedes for at komprimere fileterne med 40 % af deres højde blev målt med en hastighed på 1 mm/sek. De 40 % og runde ender på proben blev valgt med det formål at reducere ødelæggelse af muskelstrukturerne (Hyldig and Nielsen, 2001). Fileterne blev taget direkte fra islagringen og fiskeben blev fjernet umiddelbart inden målingerne. Der blev foretaget tre målinger på hver filet med 1 cm mellem hvert målepunkt centralt på det tykkeste muskelområde på kødsiden. Teksturkurver blev optegnet ved en hastighed på 50 punkter/s og den maksimale kraft blev bestemt som et gennemsnit af de tre målinger.

## Kemiske analyser

Alle de 36 venstre fileter fra "teksturfisk" blev afskinnede og opbevaret ved -40 °C indtil analyse. Det totale lipid(fedt)indhold blev dobbeltbestemt gravimetrisk efter ekstraktion fra 10 g homogeniseret vævsprøve efter metoden beskrevet af Blich and Dyer (1959) men med reduceret brug af opløsningsmedie. Til bestemmelse af fedtsyresammensætning blev fedtsyrer i ekstrakterne konverteret til methylestere ved anvendelse af en basekatalyseret transesterifikation efterfulgt af en bor-triflourid katalyseret esterifikation iht. AOCS metode Ce 1b-89 (AOCS, 2009). Fedtsyremethylestere (FAME) blev opløst i n-heptan og anlyseret med gaskromatografi men en flammeioniseringsdetektor på en HP 5890 A gas kromatograf (Hewlett-Packard, Avondale, PA). Separation blev udført på en Omegawax 320 silicium kapillærkolonne (30 m · 0.32 mm, 0.25 µm; Supelco, Bellefonte, PA, USA). FAME blev identificerede ved sammenligninger af retentionstider på originale standarder og kvantificerede som den relative procentdel af fedtsyren i lipidfraktionen. For yderligere detaljer henvises til Baron *et al.* (2009). Fileterne blev ydermere analyseret for totalt proteinindhold (ISO 5983-2:2005, Europæisk Standard), tørstof (tøring ved 105 °C i 16 timer) og aske (forbrænding ved 550 °C i tre timer). De beskrevne metoder blev også anvendt til analyse af foderet.

## Statistiske analyser

One-way ANOVA blev anvendt med efterfølgende Tukey HSD som *post hoc* test når ANOVA viste signifikante niveauer (dvs.  $P < 0,05$ ). Variansanalyse med inddragelse af covariant (ANCOVA) blev anvendt i de tilfælde hvor det var relevant, eksempelvis når fiskenes størrelse (vægt) forklarede en del af variationen i den afhængige variabel. Tukey HSD blev også her anvendt *post hoc*. Den ikke-parametriske Kolmogorov-Smirnov test, blev specifikt anvendt til sammenligning af fordelingen af muskelfiberstørrelser. Denne test er forholdsvis stærk og følsom overfor fordelingskurver, herunder forskelle i spredninger og asymmetri, i sammenligning med andre statistiske tests (Zar, 1996).

### 3.2 Forsøg 2 (F2)

Formålet med forsøg 2 (F2) var at undersøge effekten af en række niveauer af vandstrømme fra 0,0 og op til 1,2 kl/s kropslængde per sekund (kl/s) hos regnbueørreder opdrættet til 400 g. Udover en række kvalitetsparametre blev fiskens tilvækst undersøgt. Hvor ikke andet er nævnt har forsøgsbetingelser og analysemetoder været identiske med betingelser og metoder nævnt under F1.

I F2 blev regnbueørreder leveret fra Binderup Mølle Dambrug (Karup Å stammen). Opdrætstankene blev tilført vand af god kvalitet ( $[O_2] > 8,5$  mg/l,  $[NH_4^+] \approx 0$  mg/l,  $[NO_2^-] \approx 0$  mg/l og  $[NO_3^-] < 10$  mg/l). Vandtemperaturen var  $12,9 \pm 1,2$  °C igennem hele forsøget. Idet der tidligere var konstateret fiskedråber (*Ichthyophthirius multifiliis*) i opdrætstankene blev der over flere dage tilsat salt til det recirkulerede anlæg for at modvirke udbredelse af parasitten. Fiskene akklimerede uproblematisk til ændringerne i vandets salinitet bedømt ud fra deres fødeindtagelse og generelle adfærd, og en salinitet på 17 o/oo blev opretholdt igennem hele forsøget.

I forsøget indgik 600 fisk som var ligeligt fordelt i tankene. Fiskene blev fodret med Biomar Ecolife 20 (3 mm) over 12 timer hver dag og ved anvendelse af båndautomater. Fiskene blev fodret til mæthed, dvs. der var væsentligt foderspild. Alle 12 tanke (billede 1) blev anvendt således at hver tank repræsenterede en individuel vandstrøm, og der blev derved anvendt vandstrømme som bredt repræsenterede skalaen fra 0,0 til 1,2 kl/s. Fiskene blev undersøgt over i alt 8 uger med mellemvejninger efter 4. uge. Alle fisk blev i den forbindelse vejjet og længdemålt.

På baggrund af vejningerne blev der udregnet variationskoefficienter (CV - "Coefficient of Variance") som angiver (vægt)størrelsesforskellen imellem fiskene i de enkelte tanke. CV blev beregnet for hver tank ved  $CV = \text{standardafvigelse} \cdot 100/\text{gennemsnitsvægt}$ .

I første periode var de maksimale vandstrømme lidt højere end i anden periode, en forskel som ikke var tilsigtet men som på tidspunktet skyldtes tekniske begrænsninger i anlægget. Dele af den efterfølgende statistiske behandling gjorde det hensigtsmæssigt at opdele fiskene i grupper som var opdrættet ved 6 forskellige vandhastigheder. Alle undersøgte fisk indenfor hver gruppe var således motioneret ved samme vandhastighed  $\pm 5$  %. De seks grupper repræsenterede herefter vandstrømmene 0,0; 0,2; 0,5; 0,6; 1,0 og 1,2 kl/s. Ved forsøgets afslutning efter otte uger blev i alt 36 tilfældige fisk, som var repræsentative for de undersøgte vandhastigheder, udtaget til nøjere analyser for diverse parametre. For analyse af mTOR blev i alt 72 fisk analyseret; 12 fisk fra hver af de 6 nævnte vandhastigheder. I F2 blev der ikke udført histologiske undersøgelser, men 6 fileter fra fisk fra hver af de nævnte vandhastigheder blev undersøgt for indhold af kollagen ved bestemmelse af hydroxyprolin ved en modificeret ISO (1994) procedure, hvor der er anvendt svovlsyre i stedet for perchlorsyre. Kollagenmængde blev bestemt ved at gange hydroxyprolinkoncentrationen med 11,42 (Sato *et al.*, 1991). Endvidere blev fileternes fedtsyreprofiler ikke kun målt i hele lipidindholdet men også i både de frie fedtsyrer og i de membranbundne fosfolipider (N = 36, n = 6).

#### Statistiske analyser

Der blev anvendt de under F1 beskrevne metoder.

### 3.3 Forsøg 3 (F3)

Forsøget havde til formål at undersøge effekten af dels relativ høje vandstrømme og dels varierende vandstrømme på regnbueørreder opdrættet til 400 g. Udover en række kvalitetsparametre blev fiskens tilvækst undersøgt. I F3 blev regnbueørreder leveret fra Funderholme Dambrug. Opdrætstan-

kene blev tilført vand af god kvalitet ( $[O_2] > 8,0$  mg/l,  $[NH_4^+] \approx 0$  mg/l,  $[NO_2^-] \approx 0$  mg/l og  $[NO_3^-] < 100$  mg/l). Vandtemperaturen var  $13,5 \pm 0,3$  °C igennem hele forsøget. En salinitet på 17 o/oo blev opretholdt igennem hele forsøget af samme årsag som nævnt under F2.

720 fisk indgik oprindeligt i forsøget, men én tank måtte udelades efter at vandsforsyningen til den ophørte og der ikke blev reageret korrekt på en alarm. Fratrasket fisk i tank 12 indgik 660 fisk således endeligt i undersøgelserne af vækstforskelle. Der var fire forsøgsgrupper som angivet i nedenstående tabel 1.

Forsøgsgruppe	Vandstrøm I (kl/s)	Timer per døgn	Vandstrøm II (kl/s)	Timer per døgn
C: "kontrol vandstrøm"	0,0	24	-	-
H: "høj vandstrøm"	1,6	24	-	-
VL: "variabel lav vandstrøm"	1,1	6	0,0	18
VH: "variabel høj vandstrøm"	1,6	6	0,0	18

**Tabel 1.** Oversigt over anvendte vandstrømme i de fire forsøgsgrupper i F3.

Der blev således undersøgt fisk som enten permanent svømmede i stillestående vand eller ved høj vandhastighed, eller fisk der 6 timer om dagen svømmede i vandstrøm (et af to niveauer) og i stillestående vand herefter. Hver af de fire grupper blev undersøgt i tre tilfældigt valgte tanke med 60 fisk per tank. Forsøget blev gennemført over 12 uger med delvise udtagninger og bedøvelser af fisk hver 3. uge til måling af længder til korrektion for vandstrømme. Fiskene blev fodret til mæthed (foderspild) med Biomar Ecolife 20 (3 mm) over 6 timer hver dag og ved anvendelse af båndautomater hvorefter uspiste foderpiller blev talt og vejede med det formål at bestemme fiskenes fødeindtagelse. Fisk blev senest fodret tre døgn inden vejninger. Ved forsøgets afslutning efter tolv uger blev alle fisk vejede og længdemålt og i alt 6 fisk (9 fisk fra den ene gruppe) udtaget fra hver tank, hvorfra fisk umiddelbart efter bedøvelse blev lagt på is og blodprøver blev udtaget. Efter aflivning ved hårdt slag mod hovedet blev der udtaget vævsprøver fra den hvide muskulatur i den ene filet og intakte fileter blev efterfølgende udskåret til brug for kemiske analyser. Efter vejning blev de tilbageværende fisk, som senere skulle anvendes i sensoriske bedømmelser, sat tilbage i de respektive forsøgstanke hvorefter vandforsyningen fra det recirkulerede anlæg blev aflukket (og altså hermed også de motionerende vandstrømme). For at udvande eventuelle afsmagsstoffer i fiskene fortsatte disse fisk uden foder og med iltet vandforsyning fra hanen. Efter to uger blev 144 fisk udtaget til endelige sensoriske analyser, forud var der udtaget enkelte fisk til træning af det sensoriske panel. Efter tre uger blev 24 fisk fra hver af de fire forsøgsgrupper transporteret i iltrigt vand til Danforel A/S i Grindsted hvor de blev slagtet under almindelige produktionsbetingelser. Her blev de netop aflivede fisk udskåret i fileter på tre tilfældigt udvalgte fileteringsmaskiner.

I F3 undersøgte de samme parametre som i F1. Herudover blev der også udregnet fødeindtagelse hos fiskene og analyseret for proteinindhold i hele fisk ( $N_{\text{initial}} = 9$ ,  $N_{\text{endelig}} = 36$ ,  $n_{\text{endelig}} =$  (ISO 5983-2:2005, Europæisk Standard). Ved forsøgsafslutning efter 12 uger blev fiskene undersøgt for en lang række parametre: På baggrund af vægtforøgelse og præcis fødeindtagelse blev foderkvotien-



ten udregnet ( $FK = g \text{ foder} \cdot g \text{ vægtforøgelse}^{-1}$ ), og ved sammenligning af fødeindtagelsen, foderets proteinindhold samt initiale og endelige proteinmængder i fiskene beregnedes proteinretentionseffektiviteten (%) som den del af det indtagede protein som blev indbygget i fisken. Histokemiske undersøgelser på muskelvæv blev foretaget som beskrevet under F1, dog med den undtagelse at der anvendtes kollagenfarvning ([www.emsdiasum.com/microscopy/technical/datasheet/26046.aspx](http://www.emsdiasum.com/microscopy/technical/datasheet/26046.aspx)) af vævet i stedet for PAS-farvning (N = 24, n = 6). Kollagenfarvningen gav en god indfarvning til identifikation af de enkelte muskelfibre, men kunne ikke anvendes til kvantitativ bestemmelse af kollagen. På vævsprøver fra hvid, glykolytisk muskulatur blev det vha. elektronmikroskopiering søgt identificeret hvilke forskelle der måtte opstå i interfibrillært lipid og i mitokondrier. Grundet det anvendte ressourceforbrug og den tid der medgik til disse analyser blev der desværre ikke genereret tilstrækkelig mange data til at der statistisk kunne tolkes på disse. Udover mTOR, blev der også på hvid muskulatur målt genekspression for calpastatin og  $\mu$ - og m-calpain ligesom calpainernes aktivitet blev målt zymografisk (N = 72, n = 18) (Therkildsen *et al.*, 2004). Endvidere blev der på dette væv - af ressourcemæssige årsager kun på C- og H-fisk - foretaget proteomanalyse (N = 20, n = 10) af de vandopløselige proteiner (Godiksen *et al.* 2009) ved en 2-dimensionel gelbaseret metode (Wulff *et al.* 2008), mens fisk repræsenterende alle fire forsøgsgrupper blev analyseret for indhold af cortisol og insulin-like growth factor I (IGF-I) i blodplasma (N = 72, n = 18). IGF-I indhold i blodplasma fra alle analyserede fisk blev dobbeltbestemt ved brug af IGF-I radioimmunoassay (RIA) (GroPep Ltd., Adelaide, Australia) efter optøning (fra -80 °C) af plasma og syre/ethanol ekstraktion (Shimizu *et al.*, 2000, Dyer *et al.*, 2004b). Cortisol i blodplasma blev dobbeltbestemt ved brug af tritieret radioimmunoassay (RIA) med et kommercielt tilgængeligt antistof (Sirosera™ C-3368 leveret af Krius Pty. Ltd) i henhold til Pankhurst and Sharples (1992). Plasma blev inden da optøet fra -80 °C, og ekstraheret med ethylacetat.

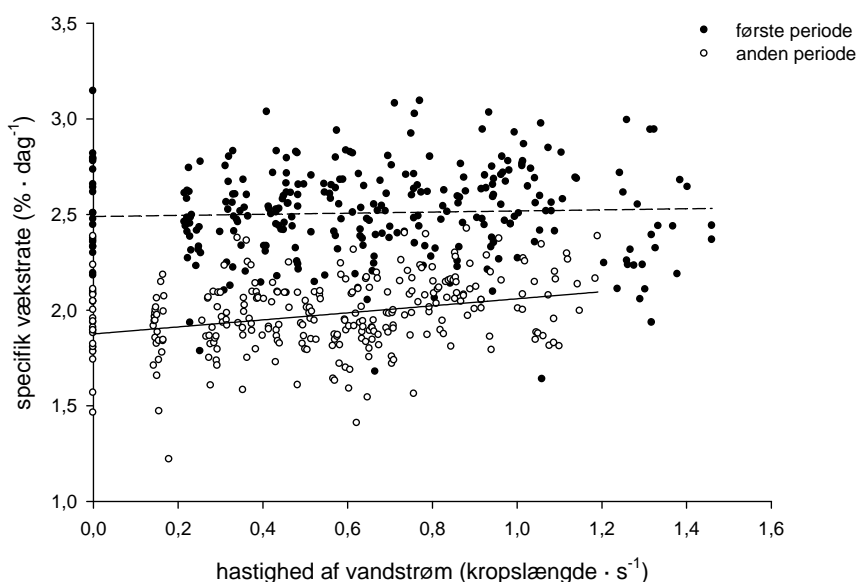
### Statistiske analyser

Udover de under F1 beskrevne metoder blev der anvendt PCA (principal component analysis) til beskrivelse af forskelle i fileternes fedtsyreprofiler målt på hele fedtindholdet.

## 4 Resultater og diskussion

### 4.1 Overordnet tilvækst (vægt- og længde)

Forsøg 1 (F1) havde ikke som mål at undersøge tilvækst. De fisk der blev udtaget til analyser af forskellige kvalitetsparametre havde omtrent samme vægt, men der var tale om så få fisk (i alt 30) at der ikke på den baggrund kan udledes noget omkring effekten af vandstrøm på fiskenes tilvækst. I forsøg 2 (F2) derimod blev en effekt af motionering på tilvækst (målt som ændring i kropsvægt) eftervist i anden del af forsøgsperioden, men ikke i første periode (figur 1). Det er muligt at fiskene i første periode ikke var tilstrækkeligt akklimerede til at respondere positivt mht. tilvækst. I modsætning til ændringerne i kropsvægt som følge af motionering sås ingen signifikante forskelle i længdetilvækst eller konditionsfaktor som er defineret ved  $CF = \text{kropsvægt/længde}^3$ .



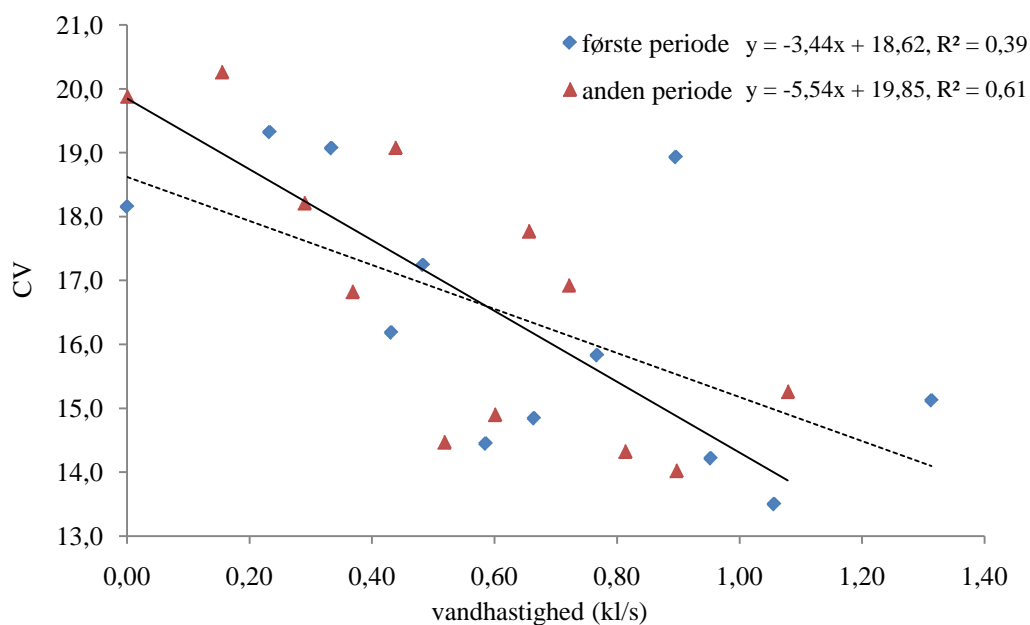
**Figur 1.** Specifik vækstrate (“SGR”) (vægt) hos regnbueørred motioneret ved forskellige vandstrømhastigheder i to perioder af hver fire ugers varighed. Der sås en signifikant effekt af vandstrøm i de sidste fire uger.  $f(x)_{1. \text{periode}} = 0,029x + 2,489$   $R^2 = 0,002$ ,  $P_{\text{regression}} = 0,456$ ,  $f(x)_{2. \text{periode}} = 0,184x + 1,875$ ,  $R^2 = 0,091$ ,  $P_{\text{regression}} < 0,0001$

I forsøg 3 (F3) sås der ingen signifikante ændringer i fiskenes vækstrater målt på baggrund af initial- og slutvægte. Tallene fremgår af tabel 2. Til gengæld var der signifikant lavere længdetilvækst hos fisk der konstant havde været udsat for den relativ høje vandstrøm (1,6 kl/s). Årsagen hertil er ikke klar, men én teori er at den høje vandstrøm skaber metabolisk forsuring i fiskene og derigennem påvirker blodets pH- og bikarbonatsystem på en måde som udløser et fosfatunderskud der indvirker negativt på opbygning af fiskenes skelet og dermed reducerer længdetilvæksten. Ændringer i længdetilvæksten udmønter sig også tilnærmelsesvist i ændringer i CF.

Forsøgsgruppe	SGR <sub>vægt</sub> (% · dag <sup>-1</sup> )	SGR <sub>længde</sub> (% · dag <sup>-1</sup> )	CF
C	1,95	0,525 b*	1,590 c*****
H	1,97	0,508 a	1,678 a
VL	1,98	0,530 b**	1,599 cb*****
VH	2,01	0,534 b***	1,633 b*

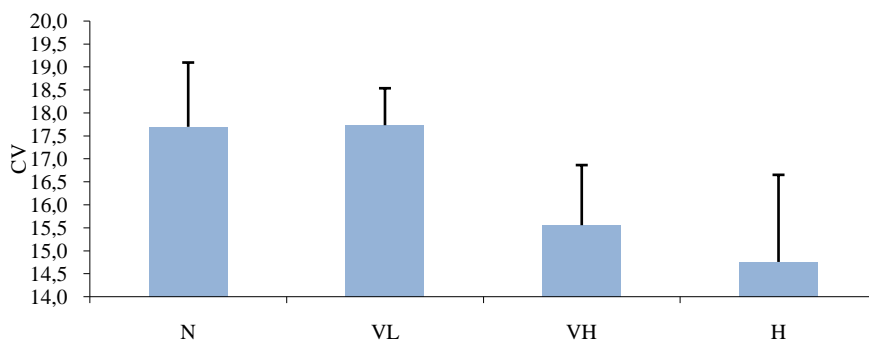
**Tabel 2.** Tilvækst angivet som specifik vækstrate baseret på både vægt og længde for hver af de fire forsøgsgrupper i F3. Bogstavforskelle angiver statistiske forskelle på niveau  $P < 0,05$  eller  $P < 0,01$  (\*),  $P < 0,001$  (\*\*),  $P < 0,0001$  (\*\*\*),  $P < 0,00001$  (\*\*\*\*\*).

Tallene fra F2 viste signifikante effekter af motionering på fiskenes størrelsesforskelle ( $P < 0,001$  i begge perioder). Resultaterne fremgår af nedenstående figur 2 hvor det ses at størrelsesforskellene i de enkelte tanke tank reduceres ved øget motionering.



**Figur 2.** Størrelsesvariation imellem fisk i de enkelte tanke i F2 målt som variationskoefficient (CV - *coefficient of variance*) ved forskellige vandhastigheder i de to 4 ugers perioder.

I F3 derimod kunne der derimod ikke konstateres nogen signifikant effekt af motionering på fiskenes størrelsesvariation ( $P = 0,11$ ). Resultaterne fremgår af nedenstående figur 3.



**Figur 3.** Størrelsesvariationskoefficienter ved forsøgsafslutning for fisk i de tre forsøgsgrupper i F3.

Den største indvirkning på fiskenes størrelsesforskelle ses således i F2 i anden periode. Netop i denne periode konstateres der også signifikant højere vækst blandt fiskene, i modsætning til første periode i F2 og i F3. Det er muligt at der er en sammenhæng imellem positiv tilvækst og reducerede størrelsesforskelle. Sidstnævnte indikerer at der i den enkelte tank er en bedre fordeling af foderet imellem fiskene. I tanke hvor størrelsesforskellene imellem fiskene er markante, er dette formentlig et udtryk for at nogle fisk har vanskeligt ved at æde tilstrækkeligt fordi de undertrykkes af dominante fisk, endda selvom der fodres ”til mæthed”. Anvendelse af båndfoderautomater og fodring over seks timer, som anvendt både i F2 og F3, der dermed strækker sig over en væsentlig længere periode end ved håndfodring, giver formentlig dominante fisk bedre mulighed for at undertrykke svagere fisk i populationen. Tallene indikerer dermed, at motionering kan give bedre fordeling af foderet, muligvis som et resultat af mindre aggression blandt fiskene. Reducerende effekter af motionering på fiskenes størrelsesforskel er også tidligere beskrevet hos andre laksefisk (Jørgensen and Jobling, 1993, Brännäs, 2009).

## 4.2 Foderudnyttelse og fødeindtagelse

Fiskenes foderudnyttelse og fødeindtagelse er kun registreret i F3. Fiskenes foderkvotient er defineret som tilvækst i forhold til den indtagede fodermængde og denne værdi var signifikant højere i H-gruppen end i C-gruppen (tabel 3). Tal for fødeindtagelse og foderkvotient indikerer at H-gruppen ved en vandhastighed på 1,6 kl/s har haft et energiforbrug hvor der er kompenseret for dette gennem øget fødeindtagelse. Med den øgede fødeindtagelse og forringede foderkvotient er der også sket en reduktion i proteinudnyttelseseffektiviteten. Samlet betyder tallene at man med nutidens ørredstammer må forvente at vandstrømme omkring 1,5 kl/s og derover forringer foderudnyttelsen og øger udskillelse af kvælstof fra proteinnedbrydningen. Disse forhold er af negativ betydning såvel økonomisk som miljømæssigt.

Forsøgsgruppe	Fødeindtagelse	Foderkvotient	PRE
C	15,13 b*	0,948 b*	42,1 b*
H	15,80 a	0,986 a	38,6 a
VL	15,13 b*	0,949 ab	42,1 b*
VH	15,33 ab	0,953 ab	40,8 ab

**Tabel 3.** Fødeindtagelse (g foder · kg<sup>-1</sup> · dag<sup>-1</sup>), foderkvotient (g foder · Δ g kropsvægt<sup>-1</sup>) og proteinretentionseffektivitet (g protein tilvækst i kroppen · 100 % · g protein indtaget<sup>-1</sup>) i forsøgsgrupperne i forsøg 3.

### 4.3 Blodplasmaindhold af IGF-I og cortisol

I F3 blev blodplasmaets indhold af IGF-I (insulin-like growth factor I) målt. IGF-I er et hormon som er af væsentlig betydning for fiskenes vækst, og produktion af hormonet stimuleres bl.a. af væksthormon (somatotropin). Analyserne viste ingen signifikante forskelle i blod IGF-I indholdet imellem de fire forsøgsgrupper i F3, hvilket umiddelbart harmonerer med at der heller ikke sås forskelle i fiskenes vægtforøgelse omend der var en tendens imod forskelle (P = 0,057).

Den mindre længdetilvækst i H-gruppen manifesterede sig altså ikke i et ændret indhold af IGF-I i blodplasmaet. IGF-I anses almindeligvis for at være tæt korreleret med fiskenes vækstrate (målt som ændringer i vægt) (Dyer *et al.*, 2004a) men er også relateret til andre vækstrelaterede parametre såsom vandtemperatur, reproduktion og metabolisme (Reinecke *et al.*, 2005).

	C	H	VL	VH
IGF-I (ng/mL)	31,48 (8,85)	31,50 (9,80)	27,89 (10,23)	23,93 (5,69)
Cortisol (ng/mL)	31,6 (18,6) a	32,3 (15,6) a	9,2 (3,5) b**	11,1 (6,3) b**

**Tabel 4.** Blodplasmaets indhold af IGF-I og cortisol for de fire forsøgsgrupper i F3. Signifikante forskelle imellem forsøgsgrupperne er angivet med bogstavforskelle (P < 0,001)

I modsætning til IGF-I niveauerne i blodplasma var der markante forskelle i cortisolniveauet imellem forsøgsgrupperne. Cortisol er et hormon der udskilles under stress. Både ikke-motionerede fisk (C) og fisk motioneret ved den relativ høje vandhastighed (1,6 kl/s) havde ca. tre gange så højt indhold af cortisol (P < 0,001) som fisk der havde gået i de varierende vandstrømme (VH, VL). Disse tal indikerer at såvel mangel på motionering (C) som særlig energikrævende motionering (H) er stressende for fiskene i forhold til mere moderate og - som her - variable motioneringsniveauer (VH og VL).

### 4.4 Slagteudbytter

I F3 blev forsøgsfiskene slagtet hos Danforel A/S i Grindsted under almindelige produktionsbetingelser på tre tilfældige fileteringsmaskiner. Slagtingerne viste at der ikke var nogen signifikant effekt af motionering på filetudbyttet (tabel 5).

Forsøgsgruppe	Slutvægt (g)	Filetvægt (g)	Filetudbytte (%)
H	386,6 (48,7)	233,1 (35,1)	60,13 (2,48)
N	390,6 (83,0)	237,5 (56,5)	60,51 (2,68)
VH	399,4 (61,3)	242,4 (45,7)	60,43 (3,11)
VL	382,3 (58,2)	232,0 (42,7)	60,47 (2,71)

**Tabel 5.** Slagtedata for hver af de fire forsøgsgrupper. Tallene repræsenterer gennemsnitsværdier med standardafvigelser angivet i parentes (n = 21-24, N = 93). Der var ingen signifikante forskelle imellem grupperne (P > 0,05).

Resultaterne viste en signifikant stigning (P < 0,01) i filetudbytte i forhold til fiskenes slutvægt. På baggrund af tallene kan der forventes 2-3 % højere filetudbytte for hver 100 g fiskenes vægt øges.

Ved statistisk analyse fandtes forskelle imellem fileteringsmaskinernes udbytte (tabel 6). Tallene viser i det konkrete tilfælde at maskine 4 gav 3-4 % højere filetudbytte end maskine 1 og 3 (P < 0,01).

Maskine nr.	Slutvægt (g)	Filetvægt (g)	Filetudbytte (%)
1	405,9 (65,3)	244,3 (48,2)	59,88 (2,78) a
3	389,5 (62,3)	234,8 (44,4)	60,06 (2,63) a
4	364,6 (52,9)	226,6 (39,3)	61,91 (2,38) b*

**Tabel 6.** Slagte- og vækstdata for fisk slagtet på tre forskellige maskiner. Tallene repræsenterer gennemsnitsværdier med standardafvigelser angivet i parentes. (n = 19-44, N = 93). \* angiver P < 0,01. Forskellene i slutvægte er indregnet i den statistiske analyse.

Resultaterne indikerer dermed at de fysiologiske ændringer i fiskene som følge af motionering tilsyneladende ikke ændrer fiskenes omsætning af lipid - eksempelvis i bughulen - i et omfang som indvirker på filetudbyttet. Derimod ses vigtigheden af at de enkelte fileteringsmaskiner er korrekt justerede.

#### 4.5 Proximat kemisk sammensætning af fileter og hele fisk

Den overordnede (proximate) kemiske sammensætning af fortrinsvist fileter blev analyseret for forsøgsgrupperne i hvert af de tre forsøg. I ingen tilfælde sås der signifikante forskelle imellem forsøgsfiskene på nogen af parametrene. Resultater fra filetanalyser i F1, F2 og F3 er vist i nedenstående tabeller. Gennemsnitstal for de undersøgte forsøgsgrupper er angivet med standardafvigelser i parentes.

	C	M
Lipid (%)	6,69 (1,40)	6,54 (1,25)
Protein (%)	19,52 (0,42)	19,50 (0,33)
Tørstof (%)	26,20 (1,43)	26,67 (1,62)
Aske (%)	1,53 (0,21)	1,57 (0,19)

**Tabel 7.** Proximat kemisk sammensætning af fileter fra fisk opdrættet i enten stillestående vand (C) eller ved 0,9 kl/s (M), forsøg 1 (F1).

	vandhastighed (kl/s)					
	0,0	0,2	0,5	0,6	1,0	1,2
Lipid %	5,17 (0,52)	6,74 (0,81)	5,61 (0,93)	6,78 (0,76)	5,80 (0,70)	6,30 (0,85)
Protein %	18,58 (0,22)	18,80 (0,27)	18,85 (0,39)	18,27 (0,41)	18,87 (0,45)	18,67 (0,58)
Tørstof %	27,73 (2,09)	28,42 (0,73)	28,23 (1,17)	28,45 (1,22)	27,73 (1,22)	27,10 (0,64)
Aske %	2,21 (1,06)	1,92 (1,03)	1,28 (0,04)	1,25 (0,03)	1,26 (0,03)	1,25 (0,04)

**Tabel 8.** Proximat kemisk sammensætning af fileter fra fisk opdrættet ved forskellige vandhastigheder, forsøg 2 (F2).

	Forsøgsgruppe			
	H	C	VH	VL
Lipid (%)	7,52 (1,40)	7,00 (0,55)	7,26 (1,32)	7,65 (1,71)
Protein (%)	20,53 (0,42)	20,88 (0,34)	20,81 (0,33)	20,83 (0,34)
Tørstof (%)	28,42 (1,25)	28,03 (0,54)	28,28 (0,84)	28,67 (1,40)
Aske (%)	1,32 (0,03)	1,33 (0,02)	1,33 (0,03)	1,33 (0,03)

**Tabel 9.** Proximat kemisk sammensætning af fileter fra fisk opdrættet ved variable eller permanente vandhastigheder, forsøg 3 (F3).

I forsøg F3 blev der, udover analyserne på fileter, også målt kemisk proximat komposition på hele fisk. Dette var bl.a. med henblik på udregning af fiskenes proteinretentionseffektivitet som angivet tidligere. Tallene, som er angivet i tabel 10, viser i lighed med tal for fileterne, at de former for motionering der er anvendt i dette projekt ikke indvirker på fiskenes overordnede kemiske sammensætning idet der ikke ses signifikante forskelle imellem forsøgsgrupperne.

	Forsøgsgruppe			
	H	C	VH	VL
Lipid %	20,01 (1,81)	19,30 (2,51)	20,31 (1,49)	20,02 (1,84)
Protein %	15,99 (0,49)	16,60 (0,77)	16,26 (0,43)	16,60 (0,36)
Tørstof %	37,00 (1,55)	36,89 (2,02)	37,51 (1,24)	37,62 (1,54)
Aske %	2,03 (0,09)	1,99 (0,11)	1,97 (0,08)	1,96 (0,11)

**Tabel 10.** Proximat kemisk sammensætning af hele fisk opdrættet ved variable eller permanente vandhastigheder, forsøg 3 (F3).

For hele fisk i forsøg 3 bemærkes det dog at der er en tendens imod forskelle i fiskenes proteinindhold ( $P = 0,051$ ). Proteinindholdet i fisk er almindeligvist forholdsvis permanent (Shearer, 1994) men i F3 synes især H-gruppen at skille sig ud med et lidt lavere proteinniveau i hele fisk. Umiddelbart kan dette relateres til en lavere muskelfibertilvækst i denne gruppe (se senere) men dette understøttes kun delvist af tallene for proteinindhold i fileterne. Her var proteinindholdet dog lavest i H-gruppen men forskellene imellem grupperne var ikke statistisk signifikante ( $P = 0,187$ ). Det er tidligere eftervist at motionering af fisk stimulerer udskillelse af væksthormon fra hypofysen og dette øger omsætningen af lipid (fedt) samtidig med at proteindeponeringen øges (Barrett and McKeown, 1988, Mommsen, 2001). Lipid menes at være den vigtigste kilde til energi under aerob motionering hos fisk, mens protein menes at aftage som energikilde ved øgede svømmehastigheder (Kieffer *et al.*, 1998). På den baggrund kan man forvente at lipidindholdet i fiskene reduceres ved aerob motionering, og dermed i det mindste i moderat motionerede fisk. Men som det fremgår af resultaterne er denne effekt ikke væsentlig nok til på signifikant niveau at ændre den overordnede kemiske sammensætning af fiskene. Tallene indikerer derimod, at fisk som har været udsat for relativt krævende, og muligvis anaerob, motionering såsom H-gruppen i F3, ikke understøttes tilstrækkeligt i opbygning af proteiner og dermed muskelmasse. Dette kommer til udtryk ved reduceret muskelfibertilvækst iblandt H-fiskene (se senere). Den øgede fødeindtagelse blandt H-fisk sikrer formentlig tilstrækkelige mængder energi og aminosyrer til muskelopbygning. Derimod er det tænkkeligt at de øgede cortisolniveauer, såvel i H- som i C-gruppen, indvirker negativt på opbygningen af muskelfibre via indirekte at hæmme aktiviteten af mTOR (Yang *et al.*, 2008) (se senere).

#### 4.6 Fedtsyresammensætning i fileter

Der blev i alle tre forsøg analyseret for fedtsyresammensætning i fileternes totale indhold af fedt (FAME – "fatty acid methyl esters"). Resultaterne fra de tre forsøg fremgår af nedenstående tabeller, hvor tallene er præsenterede som gennemsnitsværdier af dobbeltbestemmelser efterfulgt af standardafvigelse. SFA angiver mættede fedtsyrer, MUFA monoumættede fedtsyrer, PUFA polyumættede fedtsyrer, n-3: omega-3 fedtsyrer, n-6: omega-6 fedtsyrer, EPA eicosapentaensyre og DHA docosahexaensyre. Bogstaver og stjerner angiver statistiske forskelle imellem forsøgsgrupperne med følgende signifikansniveauer: ingen stjerner:  $P < 0,05$ , \*:  $P < 0,01$ , \*\*:  $P < 0,001$ .

I F1 ses der kun marginale forskelle i fedtsyresammensætningen hos fisk der enten har gået i stillestående vand eller er blevet motioneret ved 0,9 kl/s. Forsøget viser dermed, at det ved det anvendte motioneringsniveau ikke kan forventes at ørredfileters fedtsyreprofil ændres i et omfang som indvirker på kvaliteten af fileterne.



Fedtsyre	C	M
14:0	2,79 ± 0,12	2,78 ± 0,11
15:0	0,26 ± 0,02	0,26 ± 0,01
16:0	13,66 ± 0,34 a	13,35 ± 0,42 b
17:0	0,18 ± 0,03	0,19 ± 0,04
18:0	2,71 ± 0,12	2,75 ± 0,20
20:0	0,23 ± 0,02	0,24 ± 0,02
22:0	0,20 ± 0,03	0,20 ± 0,03
∑ SFA	20,03 ± 0,42	19,77 ± 0,64
14:1(n-5)	0,12 ± 0,02	0,13 ± 0,01
16:1(n-7)	3,73 ± 0,13	3,70 ± 0,16
18:1(n-7)	3,58 ± 0,15 a*	3,44 ± 0,07 b
18:1(n-9)	28,48 ± 1,22	28,54 ± 0,65
20:1(n-9)	3,12 ± 0,24	3,08 ± 0,29
20:1(n-11)	0,30 ± 0,04	0,31 ± 0,04
22:1(n-11)	2,53 ± 0,24	2,47 ± 0,25
22:1(n-9)	0,41 ± 0,04	0,40 ± 0,04
24:1(n-9)	0,59 ± 0,05	0,58 ± 0,04
∑ MUFA	42,86 ± 1,62	42,65 ± 0,91
16:4(n-1)	0,27 ± 0,02	0,28 ± 0,01
16:2(n-4)	0,27 ± 0,03	0,27 ± 0,03
18:2(n-4)	0,12 ± 0,02	0,13 ± 0,02
18:2(n-6)	8,02 ± 0,19	8,11 ± 0,23
18:3(n-6)	0,20 ± 0,02	0,20 ± 0,02
20:2(n-6)	0,49 ± 0,03 a	0,52 ± 0,04 b
20:3(n-6)	0,20 ± 0,03	0,22 ± 0,02
20:4(n-6)	0,75 ± 0,06	0,78 ± 0,08
∑ n-6	9,67 ± 0,23	9,83 ± 0,28
18:3(n-3)	3,15 ± 0,11	3,18 ± 0,15
18:4(n-3)	0,95 ± 0,10	0,98 ± 0,08
20:3(n-3)	0,21 ± 0,02	0,22 ± 0,02
20:4(n-3)	0,47 ± 0,05	0,50 ± 0,03
20:5(n-3)	4,31 ± 0,49	4,31 ± 0,28
21:5(n-3)	0,24 ± 0,04	0,26 ± 0,02
22:5(n-3)	1,42 ± 0,15	1,41 ± 0,10
22:6(n-3)	12,18 ± 1,07	12,15 ± 0,86
∑ n-3	22,92 ± 1,62	23,01 ± 1,08
∑ SFA+MUFA	62,89 ± 1,63	62,42 ± 0,95
∑ PUFA	33,25 ± 1,65	33,51 ± 1,14
n-3 · n-6 <sup>-1</sup>	2,37 ± 0,18	2,34 ± 0,12
EPA · DHA <sup>-1</sup>	2,85 ± 0,24	2,83 ± 0,22

**Tabel 11.** Det procentuelle indhold af fedtsyrer (FAME) i fileter fra ikke motionerede (C) fisk og fra fisk motioneret ved 0,9 kl/s (M) i første forsøg (F1). Gennemsnitstal af dobbeltbestemmelser er angivet efterfulgt af standardafvigelser.

Fedtsyre	Vandhastighed (kl/s)					
	0,0	0,2	0,5	0,6	1,0	1,2
14:0	2,97 ± 0,07	2,89 ± 0,13	2,92 ± 0,20	2,80 ± 0,15	3,02 ± 0,15	2,86 ± 0,18
15:0	0,22 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,21 ± 0,01
16:0	12,82 ± 0,37 ab	12,94 ± 0,37 ab	12,68 ± 0,44 ab	12,86 ± 0,43 ab	13,09 ± 0,38 b	12,24 ± 0,62 a
17:0	0,42 ± 0,03	0,38 ± 0,01	0,41 ± 0,02	0,40 ± 0,05	0,42 ± 0,03	0,39 ± 0,02
18:0	2,99 ± 0,18	3,01 ± 0,11	3,00 ± 0,09	3,13 ± 0,18	3,04 ± 0,14	3,14 ± 0,28
20:0	0,22 ± 0,02 b*	0,26 ± 0,02 a	0,23 ± 0,02 ab	0,25 ± 0,02 ab	0,23 ± 0,01 b	0,22 ± 0,01 b*
22:0	0,17 ± 0,01 a	0,25 ± 0,03 b**	0,16 ± 0,02 a	0,16 ± 0,01 a	0,16 ± 0,01 a	0,15 ± 0,01 a
Σ SFA	19,81 ± 0,47	19,94 ± 0,29	19,61 ± 0,63	19,81 ± 0,71	20,16 ± 0,42	19,20 ± 0,75
14:1(n-5)	0,08 ± 0,00	0,08 ± 0,00	0,08 ± 0,00	0,08 ± 0,00	0,08 ± 0,00	0,08 ± 0,01
16:1(n-7)	4,20 ± 0,15	4,22 ± 0,16	4,12 ± 0,18	4,30 ± 0,12	4,27 ± 0,16	4,08 ± 0,20
18:1(n-7)	3,52 ± 0,11 ab	3,75 ± 0,26 a	3,63 ± 0,14 ab	3,58 ± 0,12 ab	3,44 ± 0,09 b	3,65 ± 0,19 ab
18:1(n-9)	27,57 ± 0,66	28,61 ± 0,35	28,02 ± 0,78	28,71 ± 0,31	27,85 ± 0,92	28,05 ± 0,64
20:1(n-9)	1,63 ± 0,07	1,71 ± 0,12	1,65 ± 0,10	1,73 ± 0,04	1,65 ± 0,07	1,72 ± 0,07
20:1(n-11)	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,11 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,10 ± 0,02
22:1(n-9)	0,26 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,27 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,26 ± 0,01	0,27 ± 0,02
22:1(n-11)	0,81 ± 0,07	0,87 ± 0,07	0,83 ± 0,06	0,89 ± 0,06	0,83 ± 0,04	0,81 ± 0,06
24:1(n-9)	0,36 ± 0,03	0,41 ± 0,04	0,41 ± 0,03	0,40 ± 0,04	0,38 ± 0,02	0,40 ± 0,03
Σ MUFA	38,53 ± 0,74	40,05 ± 0,44	39,10 ± 0,84	40,09 ± 0,47	38,88 ± 0,92	39,15 ± 0,68
16:4(n-1)	0,20 ± 0,01 a	0,19 ± 0,01 ab	0,19 ± 0,01 ab	0,20 ± 0,00 ab	0,20 ± 0,01 a	0,19 ± 0,01 b
16:2(n-4)	0,46 ± 0,01	0,45 ± 0,02	0,46 ± 0,01	0,45 ± 0,02	0,47 ± 0,01	0,45 ± 0,02
18:2(n-4)	0,26 ± 0,06	0,30 ± 0,01	0,31 ± 0,03	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,04	0,26 ± 0,08
18:2(n-6)	9,21 ± 0,21	9,52 ± 0,29	9,55 ± 0,19	9,23 ± 0,26	9,23 ± 0,25	9,41 ± 0,44
18:3(n-6)	0,40 ± 0,04	0,39 ± 0,03	0,39 ± 0,02	0,39 ± 0,02	0,41 ± 0,02	0,43 ± 0,05
20:2(n-6)	0,43 ± 0,09	0,46 ± 0,04	0,43 ± 0,07	0,42 ± 0,06	0,44 ± 0,04	0,43 ± 0,12
20:3(n-6)	0,29 ± 0,02	0,30 ± 0,04	0,26 ± 0,03	0,28 ± 0,02	0,27 ± 0,02	0,30 ± 0,04
20:4(n-6)	0,71 ± 0,06	0,72 ± 0,13	0,72 ± 0,09	0,70 ± 0,05	0,69 ± 0,03	0,71 ± 0,09
Σ n-6	11,04 ± 0,36	11,38 ± 0,35	11,35 ± 0,17	11,02 ± 0,26	11,03 ± 0,24	11,27 ± 0,40
18:3(n-3)	3,54 ± 0,09	3,52 ± 0,16	3,70 ± 0,09	3,55 ± 0,15	3,59 ± 0,14	3,57 ± 0,25
18:4(n-3)	0,93 ± 0,07	0,84 ± 0,06	0,89 ± 0,03	0,89 ± 0,09	0,91 ± 0,08	0,85 ± 0,04
20:3(n-3)	0,18 ± 0,03	0,18 ± 0,01	0,18 ± 0,03	0,17 ± 0,03	0,18 ± 0,02	0,20 ± 0,03
20:4(n-3)	0,57 ± 0,03 b*	0,50 ± 0,02 a	0,54 ± 0,04 ab	0,54 ± 0,02 ab	0,57 ± 0,03 b	0,57 ± 0,04 b*
20:5(n-3)	5,76 ± 0,38	5,12 ± 0,24	5,48 ± 0,23	5,33 ± 0,23	5,58 ± 0,27	5,29 ± 0,09
21:5(n-3)	0,36 ± 0,02	0,34 ± 0,03	0,33 ± 0,07	0,36 ± 0,01	0,35 ± 0,01	0,36 ± 0,03
22:5(n-3)	1,87 ± 0,06	1,73 ± 0,05	1,84 ± 0,08	1,86 ± 0,12	1,84 ± 0,06	1,85 ± 0,19
22:6(n-3)	12,06 ± 0,52	11,06 ± 0,41	11,53 ± 0,74	11,14 ± 0,63	11,45 ± 0,93	12,00 ± 0,86
Σ n-3	25,25 ± 0,90	23,30 ± 0,54	24,48 ± 1,00	23,84 ± 0,85	24,46 ± 1,00	24,68 ± 0,80
Σ SFA+MUFA	58,34 ± 1,03	59,99 ± 0,56	58,71 ± 1,12	59,90 ± 1,10	59,04 ± 0,66	58,35 ± 0,93
Σ PUFA	37,21 ± 0,99	35,62 ± 0,74	36,80 ± 1,02	35,79 ± 0,98	36,44 ± 0,85	36,85 ± 0,63
n3/n6	2,29 ± 0,11	2,05 ± 0,07	2,16 ± 0,09	2,16 ± 0,08	2,22 ± 0,13	2,19 ± 0,13
DHA/EPA	2,10 ± 0,11	2,16 ± 0,11	2,10 ± 0,09	2,09 ± 0,13	2,05 ± 0,16	2,27 ± 0,14

**Tabel 12.** Procentvise indhold af fedtsyrer (FAME) i fileter i F2 ved vandstrømme på seks forskellige niveauer.

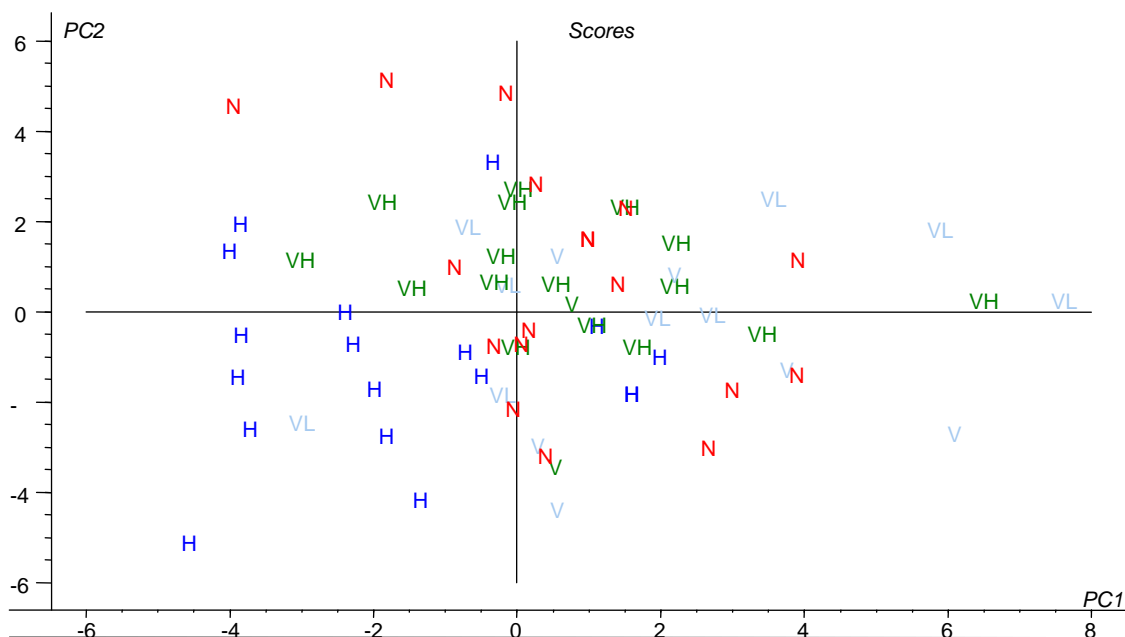
Fedtsyre	C	H	VH	VL
14:0	4,38 ± 0,11	4,50 ± 0,12	4,44 ± 0,24	4,36 ± 0,16
15:0	0,32 ± 0,01 ab	0,33 ± 0,01 a*	0,32 ± 0,01 b	0,32 ± 0,01 b
16:0	15,55 ± 0,37	15,31 ± 0,38	15,24 ± 0,31	15,28 ± 0,28
17:0	0,24 ± 0,05 ab	0,28 ± 0,05 b**	0,20 ± 0,02 a	0,25 ± 0,05 b*
18:0	2,85 ± 0,10	2,88 ± 0,14	2,85 ± 0,13	2,90 ± 0,16
20:0	0,13 ± 0,01 ab	0,13 ± 0,01 ab	0,13 ± 0,01 a	0,14 ± 0,01 b
22:0	0,08 ± 0,03	0,07 ± 0,03	0,07 ± 0,01	0,08 ± 0,02
SFA's	23,56 ± 0,36	23,50 ± 0,43	23,25 ± 0,42	23,33 ± 0,33
14:1(n-5)	0,16 ± 0,01	0,16 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,16 ± 0,01
16:1(n-7)	6,52 ± 0,21 b*	6,26 ± 0,21 a	6,50 ± 0,22 b*	6,54 ± 0,35 b**
18:1(n-7)	2,13 ± 0,05	2,11 ± 0,04	2,08 ± 0,03	2,07 ± 0,10
18:1(n-9)	14,84 ± 0,73 ab	14,28 ± 0,87 a	14,87 ± 0,86 ab	15,01 ± 0,93 b
20:1(n-7)	0,15 ± 0,01	0,17 ± 0,04	0,16 ± 0,01	0,16 ± 0,01
20:1(n-9)	5,78 ± 0,19	5,93 ± 0,18	5,80 ± 0,16	5,88 ± 0,14
22:1(n-9)	0,54 ± 0,02	0,53 ± 0,03	0,52 ± 0,02	0,51 ± 0,09
22:1(n-11)	6,15 ± 0,30	6,22 ± 0,29	6,13 ± 0,26	6,32 ± 0,32
24:1(n-9)	0,54 ± 0,04	0,54 ± 0,03	0,51 ± 0,03	0,54 ± 0,04
MUFA's	36,81 ± 1,16 ab	36,20 ± 0,91 a	36,73 ± 0,85 ab	37,19 ± 1,34 b*
16:2 (n-4)	0,17 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,18 ± 0,03
18:2(n-6)	4,52 ± 0,13	4,61 ± 0,11	4,49 ± 0,18	4,47 ± 0,20
18:3(n-6)	0,23 ± 0,02	0,24 ± 0,02	0,24 ± 0,02	0,23 ± 0,02
20:2(n-6)	0,29 ± 0,01	0,30 ± 0,06	0,29 ± 0,01	0,30 ± 0,01
20:3(n-6)	0,15 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,15 ± 0,01
20:4(n-6)	0,39 ± 0,02	0,39 ± 0,01	0,38 ± 0,01	0,37 ± 0,02
n-6's	5,58 ± 0,13 ab	5,68 ± 0,12 a	5,56 ± 0,18 ab	5,52 ± 0,20 b
16:4(n-3)	0,27 ± 0,01	0,26 ± 0,01	0,27 ± 0,01	0,27 ± 0,02
18:3(n-3)	1,67 ± 0,07 ab	1,73 ± 0,07 a	1,69 ± 0,07 ab	1,65 ± 0,07 b
18:4(n-3)	2,77 ± 0,14	2,81 ± 0,10	2,80 ± 0,13	2,76 ± 0,12
20:3(n-3)	0,18 ± 0,01 b*	0,18 ± 0,01 a	0,17 ± 0,01 b**	0,17 ± 0,01 b*
20:4(n-3)	1,17 ± 0,08 b	1,27 ± 0,13 a	1,18 ± 0,06 b	1,15 ± 0,09 b*
20:5(n-3)	6,67 ± 0,42	6,75 ± 0,24	6,73 ± 0,30	6,66 ± 0,34
21:5(n-3)	0,44 ± 0,01 b**	0,45 ± 0,01 a	0,44 ± 0,01 b*	0,44 ± 0,01 b*
22:5(n-3)	1,94 ± 0,08	1,99 ± 0,10	1,94 ± 0,06	1,94 ± 0,08
22:6(n-3)	14,63 ± 0,88	14,54 ± 0,60	14,45 ± 0,74	14,19 ± 1,14
n-3's	29,74 ± 1,16 ab	29,99 ± 0,94 a	29,67 ± 0,95 ab	29,23 ± 1,43 b
SFA+MUFA's	60,37 ± 0,96 ab	59,70 ± 1,04 a	59,98 ± 0,85 ab	60,52 ± 1,30 b
PUFA's	35,49 ± 1,18 ab	35,85 ± 1,00 a	35,41 ± 1,02 ab	34,93 ± 1,55 b*
n-3/n-6	5,33 ± 0,23	5,28 ± 0,16	5,34 ± 0,20	5,30 ± 0,21
EPA/DHA	0,46 ± 0,03	0,46 ± 0,01	0,47 ± 0,03	0,47 ± 0,03

**Tabel 13.** Det procentvise indhold af fedtsyrer (FAME) i fileter i F3 i de fire forskellige forsøgsgrupper.

I lighed med F1 viser også tallene fra F2, hvor fiskene har været udsat for højere vandstrømme, at motionering ikke resulterer i nogen væsentlige forskelle i fiskenes fedtsyreprofil. Der er enkelte signifikante forskelle imellem de undersøgte grupper, men forskellene er stadig små. Der ses ingen direkte relation til vandstrømmenes intensitet idet der ikke i nogen tilfælde er observeret signifikante korrelationer imellem vandstrømme og de enkelte fedtsyrer i fileterne.

Fedtsyredata fra F3 derimod viser effekt af motionering. Især er det kendetegnende at H-gruppen skiller sig ud fra de andre forsøgsgrupper, og dette især ifh. til VL-gruppen. Afvigelsen viser sig bl.a. i form af signifikante forskelle imellem de to forsøgsgrupper på flere af de summerede værdier hvor H-fisk ligger lavere i enkeltumættede fedtsyrer (MUFA's) og højere i indhold af polyumættede fedtsyrer (PUFA's). Umiddelbart kunne man forestille sig at der var størst divergens imellem H-gruppen, som jo har været udsat for de kraftigste vandstrømme, og C-gruppen som har gået i tilnærmelsesvis stillestående vand. Men VL-fiskene er i modsætning til C-fiskene kendetegnet ved særlig lave blodcortisolniveauer og høj tilvækst i muskelfibre (se senere), og adskiller sig dermed på nogle områder fra H-fiskene. Disse divergenser er indikerende for forskelle i fiskenes metabolisme og er formentlig samhörrende med forskelle i omsætningen af fedtsyrer som giver forskelle i H- og VL-fileternes fedtsyresammensætning. De tal som dette projekt har genereret kan dog ikke nærmere konkretisere sådanne sammenhænge. En prioritet imod forbrænding af mættede (SFA's) og enkeltumættede fedtsyrer (MUFA's) ved øget energiforbrug hos fisk er tidligere blevet rapporteret af Henderson (1996) og Bell *et al.* (2002), og dette harmonerer med resultaterne her, hvor i det mindste et højt motioneringsniveau resulterer i signifikant lavere indhold af de enkeltumættede fedtsyrer i fileterne.

En anden måde at beregne og illustrere forskelle i fedtsyresammensætning i fileter på er ved anvendelse af principal component analyse (PCA) (figur 4) som her viser i hvilket omfang forsøgsgrupperne i F3 er sammenlignelige på baggrund af fileternes fedtsyresammensætning (FAME). Af figuren ses det at H-fisk med deres tendens til gruppering skiller sig ud fra de andre forsøgsgrupper.



**Figur 4.** Principal component analyse der viser vægtede summer ("scores") af fedtsyresammensætningen i fileterne fra fisk i F3 byggede på de fire forsøgsgrupper (C, H, VH, VL). PC 1 forklarer 22 % af variationen i datasættet, PC 2 forklarer 15 % (n = 18, N = 72)

## Fosfolipider

Fosfolipider er lipider som indgår som strukturelle lipider i cellemembraner. Fosfolipiderne udgør kun en lille del af den samlede lipidmængde i fisk, og i et kvalitetsperspektiv anses de derfor at være af helt marginal betydning. Dog er de af videnskabelig interesse og i forsøg 2 blev det undersøgt om fosfolipidernes fedtsyresammensætning i fileterne blev ændret som resultat af motionering af fiskene.

De specifikke tal er ikke angivet i denne rapport, men der sås ikke nogen overordnet effekt af motionering på fedtsyrenes sammensætning.

## Frie fedtsyrer

Frie fedtsyrer udgør også kun en ganske lille del af den samlede mængde fedtsyrer i fisken og har derfor, ligesom fosfolipiderne, formentlig kun marginal indvirkning på kvaliteten af fisken. Sammensætningen af disse fedtsyrer blev målt i fileterne i F2. Tallene er ikke medtaget i denne rapport, men der sås ikke nogen markante resultater på de frie fedtsyrer. Der var hverken nogen klar relation til motionering eller til andre væsentlige parametre.

## 4.7 Udvikling i fileternes muskelfibre

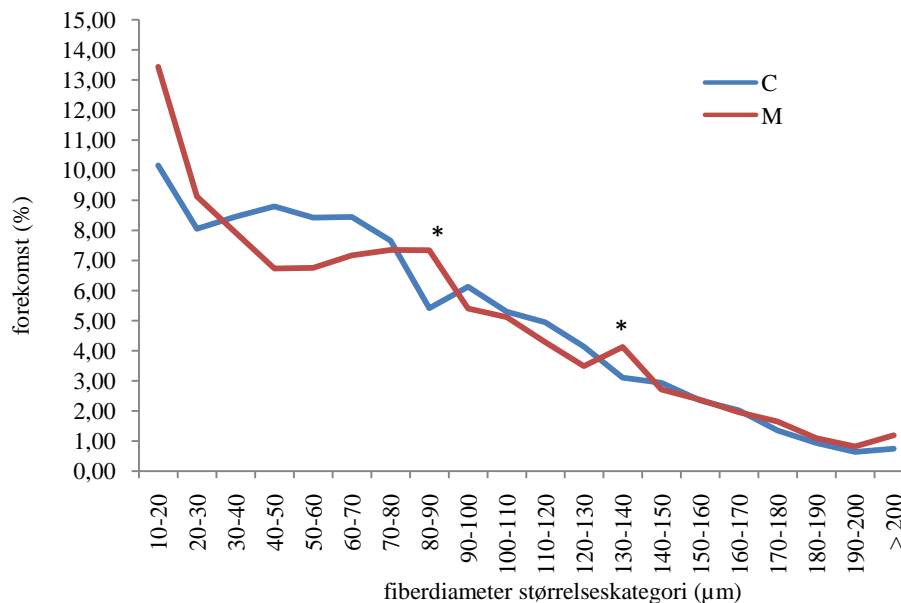
Muskelfibre i den hvide, glykolytiske muskel som udgør hovedparten af svømmemuskulaturen og dermed den spiselige del af fisken blev analyseret for tværsnitsarealer og fibrenes cirkularitet. Dette mhb. på at relatere disse parametre til fiskenes overordnede vækst, deres proteinomsætning og filettekstrukturen.



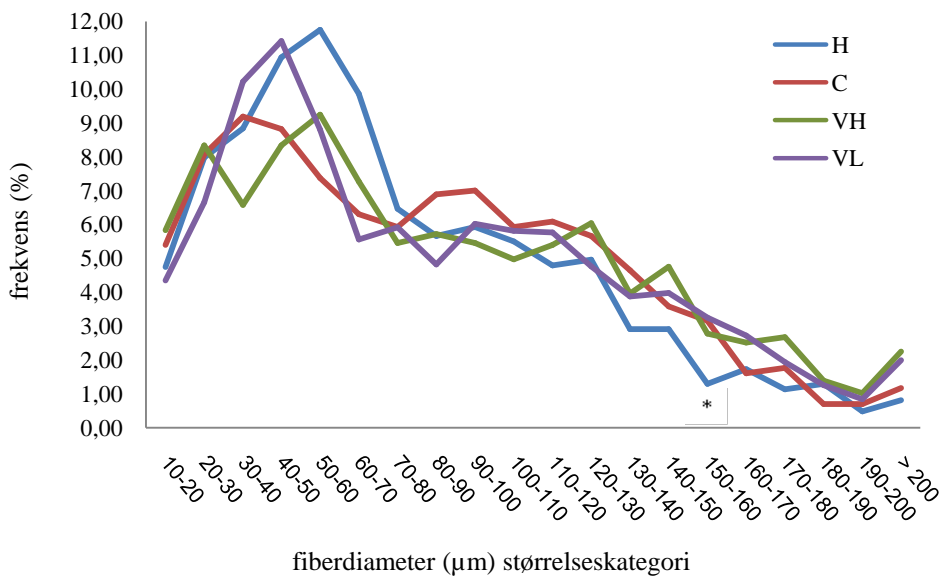
**Figur 5.** Histologiske analyser af muskelvæv. I F1 og F3 blev der udtaget prøver fra den hvide muskulatur (A) i fileterne som efterfølgende blev farvet og analyseret for fiberstørrelser og fibercirkularitet (B) i lysmikroskop.

Muskelfibre blev analyseret i F1 og F3. I F1 sås en generel forskel i fibrenes størrelsesfordeling ( $P < 0,01$ , figur 6) men der var ikke signifikant forskel på de gennemsnitlige fiberdiametre som var henholdsvis 74,50 og 75,04  $\mu\text{m}$  i ikke-motionerede og motionerede fisk. Muskelfibrenes cirkularitet (hvor 1,00 angiver en komplet cirkel) var kun en anelse lavere i ikke-motionerede ifh. til i motionerede

rede fisk (0,720 hhv. 0,724) men forskellen var statistisk signifikant ( $P < 0,05$ ). I F3 sås også forskel i muskelfibrenes størrelsesfordelinger.



**Figur 6.** Den procentvise forekomst af muskelfiberstørrelser i motionerede fisk (rød) og i ikke-motionerede fisk (C). Signifikante forskelle imellem de to grupper indenfor samme størrelseskategori er indikeret med stjerner ( $P < 0,05$ ).



**Figur 7.** Relativ forekomst af muskelfiberstørrelser i de fire forsøgsgrupper som angivet i figuren. En signifikant forskel imellem H- og C- hhv. H- og VL-gruppen indenfor samme størrelseskategori er indikeret med en stjerne ( $P < 0,05$ ).

Det bemærkes at der ikke umiddelbart ses signifikant øget forekomst af enten helt små muskelfibre (10-20 µm) dvs. fibervækst ved hyperplasi, eller øget forekomst af de største fibre (> 200 µm) som resultat af de ændrede vandstrømme. Men med hensyn til gennemsnitsdiameteren for muskelfibrene

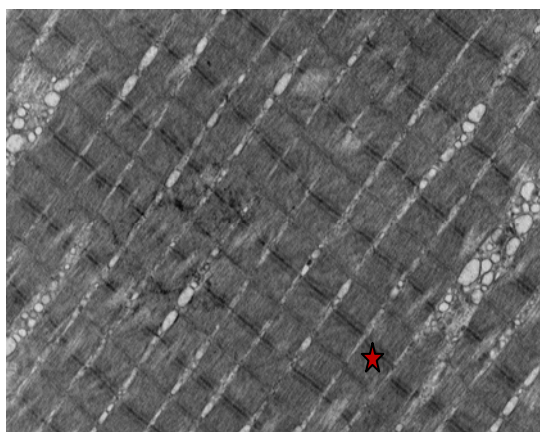
i de enkelte forsøgsgrupper ses der markante forskelle (tabel 14). Der ses endvidere forskelle i fiberens cirkularitet.

Forsøgsgruppe	Fiberdiameter	Fibercirkularitet
H	66,26 a	0,673 a
C	70,00 b	0,684 b**
VH	73,29 c*****/c	0,682 b*
VL	76,27 c*****/c***	0,709 c*****

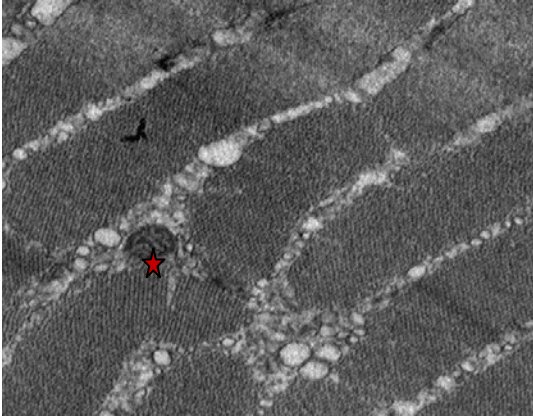
**Tabel 14.** Diameter og fibercirkularitet af hvide muskelfibre i de enkelte forsøgsgrupper i F3. Signifikante forskelle er angivet ved bogstavforskel og signifikansniveauet ved antal stjerner: Bogstavforskel:  $P < 0,05$ , \*:  $P < 0,01$ , \*\*:  $P < 0,001$ , \*\*\*:  $P < 0,0001$  og \*\*\*\*\*:  $P < 0,00001$ .

Resultaterne indikerer dermed at motionering kan have væsentlig indflydelse på udviklingen i svømmemusklaturens muskelfibre. I forhold til kontrolgruppen som blev opdrættet i tilnærmelsesvist stillestående vand (C) formodes det, at fisk som har været eksponeret for den højeste vandstrøm (H) har anvendt så meget energi på at svømme, at dette har reduceret potentialet for opbygning af muskelmasse. Omvendt tyder tallene på at et mere moderat motioneringsniveau (VH og VL) stimulerer muskelfibrenes tilvækst.

Som en del af formålet med projektet, nemlig at belyse forandringer i muskelvævet som følge af motionering af fiskene, blev der anvendt elektronmikroskopi af små vævsstykker udtaget fra den hvide muskulatur. Som det ses af nedenstående, så fremkom der nogle udmærkede billeder af muskelvævet, men pga. vanskeligheder med indkøring af metoderne og de tidsmæssige ressourcer der skulle anvendes herpå, var det ikke muligt at indhente tilstrækkelige analyser til at disse kunne anvendes til statistisk behandling. Dermed var det heller ikke muligt at tolke effekten af motionering på forskellige parametre såsom antal, størrelse og kvalitet af mitokondrier som er centrale i cellernes stofskifte. Det var ej heller muligt at analysere og tolke effekten på f.eks. forekomst og fordeling af interfibrillære fedtaflejringer.



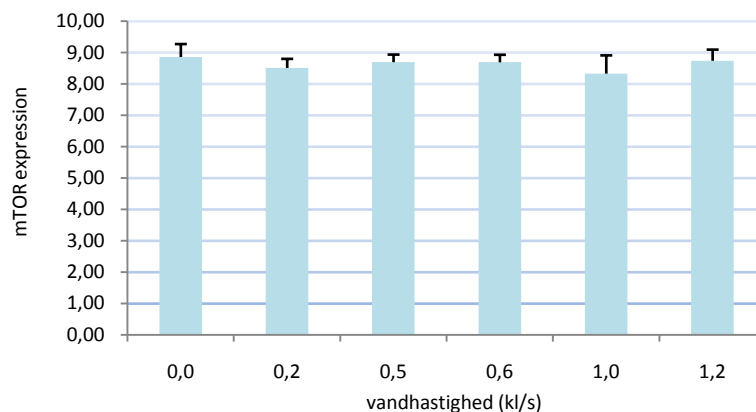
**Figur 8.** Eksempel på længdesnit af hvid muskulatur i regnbueørred. Billedet er taget ved brug af elektronmikroskopi. Der ses bl.a. karakteristiske Z-skiver (ved stjernen). Z-skiver opdeler muskelenhederne i sarkomerer.



**Figur 9.** Eksempel på tværsnit af hvid muskulatur i regnbueørred. Billedet er taget ved brug af elektronmikroskopi. Der ses bl.a. et mitokondrie (ved stjernen).

#### 4.8 Molekylære faktorer af betydning for musklernes karakteristik

Som led i undersøgelserne af forandringer i musklerne forårsaget af motionering blev den hvide muskulatur i alle tre forsøg undersøgt for omfanget af genekspression af mTOR (the mammalian target of rapamycin) som er centralt for en lang række fysiologiske mekanismer, herunder proteinsyntese og dermed muskeltilvækst. I alle tre forsøg (F1, F2 og F3) blev der analyseret for genekspression af mTOR, men der blev ikke fundet nogen effekt af motionering i F1 og F2. I F1 havde ikke-motionerede fisk et genekspressionsniveau for mTOR på 9,11 (std. afv. 0,87) mens fisk motioneret ved 0,9 kl/s havde et niveau på 8,75 (std. afv. 0,58). Der var dog ingen statistisk signifikant forskel imellem de to grupper ( $P = 0,24$ ). Det bemærkes, at tal for genekspression (ddCt værdier) af mTOR er omvendt proportionale med ekspressionsniveauet, dvs. jo lavere tal jo større ekspression. Ekspressionstallene fra F2 fremgår af figur 10.



**Figur 10.** Genekspression for mTOR (ddCt værdier) målt i den hvide svømmemusculatur i regnbueørred ved forskellige motionsniveauer i F2,  $n = 6$ ,  $N = 36$ ). Der sås ingen signifikant effekt af motionering på mTOR genekspression ( $P = 0,39$ ).

I F3 blev der derimod fundet signifikante forskelle imellem forsøgsgrupperne. Her var det kendetegnende at fisk som havde gået i en variabel og mindre stærk vandstrøm (VL) havde den højeste genekspression for mTOR (altså laveste værdier). Tallene fremgår af tabel 15

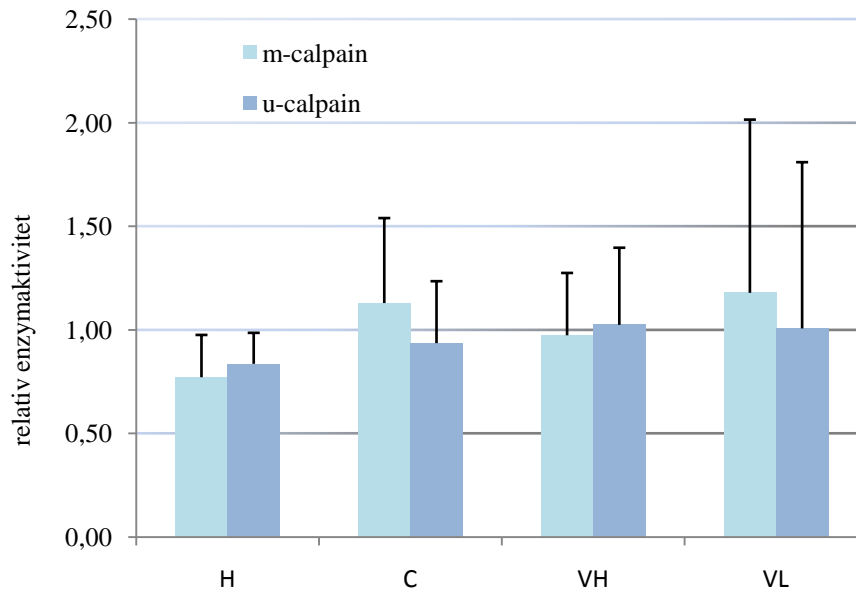


Forsøgsgruppe	mTOR	calpastatin	μcalpain	mcalpain
C	9,38 (0,84) a*	4,49 (0,41) a*	11,13 (0,60)	10,71 (0,51)
H	9,30 (0,43) a	4,61 (0,45) a**	11,33 (0,50)	10,71 (0,40)
VL	8,77 (0,27) b	4,08 (0,28) b	11,34 (0,42)	10,48 (0,45)
VH	9,11 (0,48) ab	4,34 (0,36) ab	11,12 (0,77)	10,59 (0,61)

**Tabel 15.** Genekspression for mTOR, calpastatin, mikrocalpain og milicalpain målt i den hvide svømmemuskel i regnbueørred ved forskellige motionsniveauer i F3, n = 6, N = 24. Statistisk signifikante forskelle er angivet med bogstaver på niveauerne P < 0,05, \*: P < 0,01, \*\*: P < 0,001.

mTor resultaterne, som blandt andet antyder ændringer i proteinsyntese og dermed indirekte indikerer ændringer i muskelopbygning, ændres altså ikke under motionering ved 0,9 kl/ (F1). Dette harmonerer med at der i dette forsøg ikke fandtes nogen forandringer i muskelfibrenes gennemsnitsstørrelser, og at der dermed ikke var væsentlige tegn på ændringer i fibrenes tilvækst. I F2 blev der ikke analyseret for forandringer i svømmemusklernes fibre, men det kan konstateres, at hverken den øgede tilvækst hos fiskene i 2. periode eller forandringer i filetteksturen manifesterede sig i ændret genekspression for mTOR. I F3 derimod havde fisk opdrættet ved variable vandstrømme, og dermed moderat motionering, større tværsnitsarealer af muskelfibre end meget motionerede (H) og ikke-motionerede fisk (C). Dette skal ses i sammenhæng med at VL- og VH-fisk havde højere genekspression for mTOR, dog således at kun VL-fiskene skilte sig signifikant ud fra C- og H-gruppen (tabel 15). Resultaterne antyder dermed, at moderat og/eller variabel vandstrøm kan stimulere mTOR-aktivitet og dermed proteinsyntese hvilket øger tilvæksten i fibre i ørredernes svømmemuskelatur. Sådanne forandringer kan potentielt indvirke på filetteksturen.

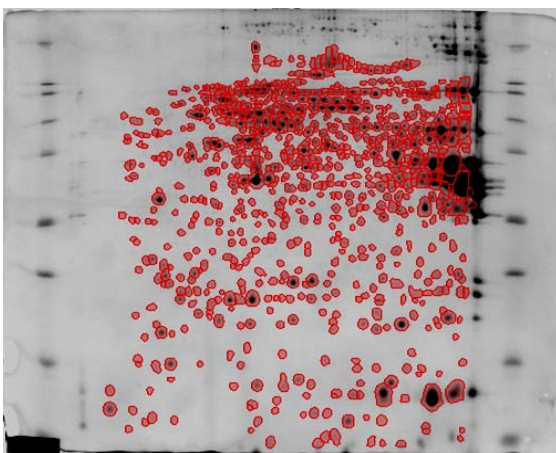
I F3 blev der også målt genekspression for både calpain, som er et proteinnedbrydende enzym, og calpastatin som hæmmer effekten af netop calpain (tabel 15). Calpain/calpastatinsystemet har også indvirkning på bl.a. filetteksturen og er derfor af betydning i forbindelse med undersøgelser af kødkvalitet. Af tallene ses det, at VL-fisk igen skiller sig særligt ud idet ekspression af gener kodende for calpastatin er signifikant højere end i C- og H-gruppen. I lighed med tallene for mTOR har VH-fisk også højere ekspression af calpastatin, men disse er ikke signifikant forskellige fra C- og H-grupperne. Aktiviteten af calpain er indikeret både ved målinger af genekspression for calpain men også zymografisk (enzymernes aktivitet målt ved en elektroforetisk proces) (figur 11). I ingen af tilfældene ses signifikante indikationer på forandrede aktivitetsniveauer af calpain (-er) som resultat af motionering. Af figur 11 fremgår det dog, at både mikro- og milli-calpain er lavest i de meget motionerede fisk, men resultaterne er ikke statistisk signifikante. Den øgede ekspression af calpastatin hæmmer formentlig calpain hvorved proteinsyntesen fremmes, især i blandt VL-fisk, og dette øger tilvækst i muskelfibre som for en meget stor del består af netop protein.



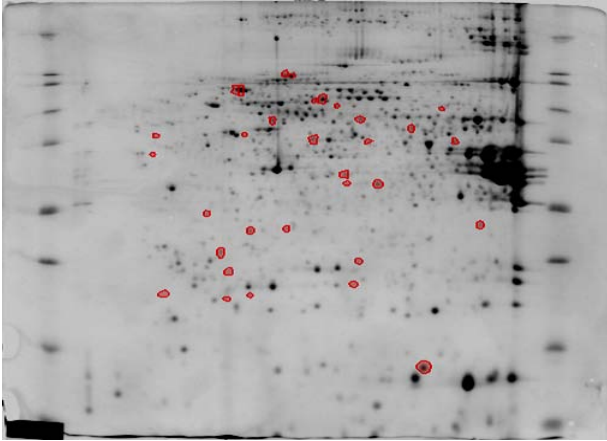
**Figur 11.** Aktivitet af mikro- og millicalpain målt i regnbueørreds hvide svømmemuskel. Tallene er fra F3. Der sås ingen signifikant effekt af de forskellige vandhastigheder på nogen af calpainerne idet P var lig 0,28 og 0,78 for henholdsvis milli- (N = 33, n = 6-9) og mikrocalpainer (N = 31, n = 6-9).

#### 4.9 Proteomanalyse

Ved komplet analyse af den hvide svømmemuskel proteomsammensætning (proteomanalyse) blev der fundet 822 proteiner hvoraf 32 var signifikant op- eller nedregulerede (dvs. mere eller mindre forekomst af proteinet) i de to undersøgte grupper (C og H). 17 proteiner var opreguleret og 15 proteiner nedreguleret i H-gruppen. Af særlig relevans blev der i H-gruppen fundet en signifikant opregulering af cofilin 2 ( $P = 0,023$ ), som er et protein der hæmmer sammenhæftning af aktinfilamenter i musklerne og som derved kan indvirke på filetteksturen. Endvidere blev der i H-gruppen fundet en opregulering ( $P=0,011$ ) af glutathione S-transferase Mu. Dette enzyms generelle funktion er at detoxificere endogene og exogene elektrophile forbindelser, herunder kemiske forbindelser som dannes under oxidativ stress.



**Figur 12.** Proteomanalyse med en repræsentativ 2D-gel af vandopløselige proteiner fra øredmuskel. De 822 proteinpletter som indgår i dataanalysen er markeret med rød



**Figur 13.** Proteomanalyse med en repræsentativ 2D-gel af vandopløselige proteiner fra ørredmuskel. De markerede proteinpletter er dem som er tilstede i musklen i signifikant forskellige mængder i henholdsvis N og H fisk

#### 4.10 Kollagenindhold i fileter

Kollagen er et bindevævsprotein som forekommer i stort omfang i kødet og derfor kan have betydning for kødets kvalitet, især kødets tekstur. Fileternes totale indhold af kollagen blev analyseret i F2 (tabel 16).

vandhastighed (kl/s)	kollagen (g/100 g)
0,0	0,628 (0,068) a
0,2	0,592 (0,043) ab
0,5	0,576 (0,043) ab
0,6	0,557 (0,077) ab
1,0	0,604 (0,032) ab
1,2	0,543 (0,063) b

**Tabel 16.** Kollagenindhold i fileter fra fisk i F2. Statistisk signifikante forskelle er angivet med bogstavforskelle,  $P < 0,05$ .  $n = 5-6$ ,  $N = 36$ .

Disse tal viser, at kollagenindholdet i fiskefileterne ikke er direkte korreleret med vandstrømhastigheden, men at der dog er et signifikant lavere indhold af kollagen i fileter fra fisk som har gået i den højeste vandstrøm ifh. til fisk som har gået i stillestående vand. En mulig forklaring er at fisk ved den høje vandstrøm (1,2 kl/s), som er moderat ifh. til den høje vandstrøm i F3 (1,6 kl/s), har udviklet større muskelfibre i lighed med VL- og VH-fisk i F3, og at de større fibre dermed fortrænger bindevæv og reducerer det relative indhold af kollagen.

#### 4.11 Tekstur, instrumentelt målt

Fileternes tekstur blev målt instrumentelt i alle tre forsøg (F1, F2 og F3). I F1, hvor effekten af en moderat vandstrøm på 0,9 kl/s blev undersøgt ifh. til stillestående vand, sås ingen signifikant forskel i filetfastheden idet gennemsnitstallene for de to grupper målt som g kraft var hhv. 234 (51) og 240 (53) for motionerede og ikke-motionerede fisk, med standardafvigelse angivet i parentes. I F2 der-

imod, hvor der blev anvendt højere vandstrømme, fandtes en signifikant lavere tekstur i fisk opdrættet i stillestående vand ifh. til fisk der var opdrættet ved 1,2 kl/s. Disse tal er vist i tabel 17.

vandhastighed (kl/s)	fasthed (g kraft)
0,0	127,4 (31,0) a
0,2	156,7 (38,7) ab
0,5	173,6 (50,2) ab
0,6	170,4 (44,5) ab
1,0	188,3 (40,1) ab
1,2	213,6 (26,8) b*

**Tabel 17.** Filetfasthed målt på fisk i F2. Statistisk signifikante forskelle er angivet med bogstavforskelle, \*:  $P < 0,01$ .  $n = 6$ ,  $N = 36$ .

Teksturverdierne for fisk i F3 er angivet i tabel 18. Her ses der ikke nogen signifikante forskelle imellem forsøgsgrupperne men, understøttende tallene i F2, er der dog en lille tendens til øget fasthed i fileter fra fisk der har gået i ved moderate vandstrømme (VH og VL-fisk) ( $P = 0,21$ ).

forsøgsgruppe	fasthed (g kraft)
C	211,3 (50,6)
H	207,0 (67,1)
VL	228,0 (50,4)
VH	256,4 (76,6)

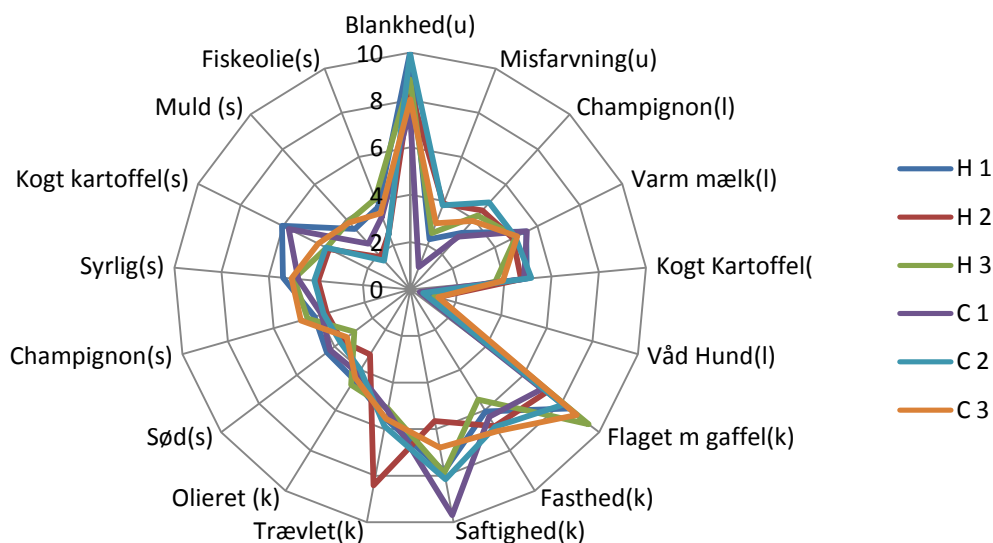
**Tabel 18.** Filetfasthed målt på fisk i F3.  $n = 12$ ,  $N = 48$ .

Der er mange parametre som indvirker på køds tekstur. Køds fedtindhold er ét eksempel hvor større deponeringer reducerer tekturen (f.eks. Rasmussen, 2001). Et andet eksempel er muskelfibrenes tæthed som bidrager til fastere tekstur (f.eks. Johnston *et al.*, 2000) mens et tredje eksempel er kødets totale indhold af kollagen som almindeligvis øger kødets fasthed (f.eks. Suárez *et al.*, 2005). Forskelle i fileternes fedtindhold kan ikke forklare teksturforskellene i F2, eftersom disse ikke viste noget signifikant respons til fiskenes svømmehastighed. Muskelfibrenes densitet blev ikke analyseret i F2, men med udgangspunkt i tallene i F3, hvor der ved moderat motionering fandtes signifikant tilvækst i muskelfibrenes diameter som alt andet lige giver færre fibre per arealenhed, vil motionering bidrage til reduktion i fiberdensiteten. Dette er derfor i modstrid med litteraturen, ligesom det er modstridende at fisk med lavt kollagenindhold har fast tekstur som det ses i F2. Tallene er meget interessante eftersom de antyder, at motionering påvirker de fysiologiske processer i fiskekroppen på en måde som øger kødets fasthed trods lavere kollagenindhold og en sandsynlig lavere muskelfiberdensitet. Der synes dermed at være andre parametre som overtrumfer effekten af muskelfiberdensitet og kollagenindhold. En del af forklaringen skal måske findes i resultaterne opnået i F3 hvor de moderat og variabelt motionerede fisk (VL) havde øget ekspresion af gener kodende for calpastatin. Calpastatin hæmmer den proteinnedbrydende effekt af calpainer, og det er derfor muligt at

motionering i F2 har øget calpastatin niveauet og dermed hindret nedbrydning af strukturelle proteiner såsom desmin (Kent *et al.*, 2004) eller andre proteiner som direkte eller indirekte kan indvirke på filetteksturen. En anden teori er at motionering skaber større grad af krydsbinding imellem kollagenfibrene, hvilket tidligere er fundet hos ørred (*Salmo trutta*) (Bugeon *et al.*, 2003) og som bidrager til øget filetfasthed. Under de givne omstændigheder var det desværre ikke muligt at analysere for genekspression for calpastatin på nøjagtig samme fisk som der blev målt tekstur på hvilket svækker analysen. Men ved sammenligning af calpastatin ekspression og filettekstur på gruppeniveau ses dog størst ekspression (lavere værdier) i fisk der har gået i variable vandstrømme, og som også har den mest faste tekstur. Dette kan være en indikation på en stimulerende indvirkning af calpastatin på fileternes tekstur, men det bemærkes dog at teksturforskellene imellem forsøgsgrupperne ikke er signifikante.

#### 4.12 Sensorik

I F3 blev der på fileter fra C- og H-grupperne foretaget sensorisk analyse. Analysen blev foretaget af trænedede bedømmere, og der blev på grund af de omkostninger der er forbundet med sensorik kun valgt de to ”ydergrupper” som dels ikke havde motioneret (C) og som dels havde motioneret kontinuerligt ved en høj vandhastighed på 1,6 kropslængde per sekund (H). De sensoriske resultater fremgår af figur 14.



**Figur 14.** Sensorisk analyse af tre fileter fra hhv. C- og H-fisk i F3. Hver sensorisk egenskab blev bedømt på en ustruktureret 15 cm skala med ankerpunkter og med 0 = ingen og 15 = høj intensitet af den sensoriske attribut. Der er angivet fire sensoriske kategorier, nemlig udseende (u), lugt (l), konsistens/tekstur (k) og smag (s).

Der var en vis variation i nogle af de beskrevne sensorikparametre, især saftighed, trævlethed og smag af kogt kartoffel, men der blev ikke fundet nogen signifikant effekt af vedvarende og relativt krævende motionering (H) på nogen af de sensoriske egenskaber i forhold til kontrolgruppen

(C). Set i lyset af de beskudne ændringer i flere af de parametre der er relateret til sensorikken, herunder sammensætningen af fedt, protein og vand og teksturen som i det konkrete tilfælde var næsten ens for C- og H-gruppen, er det ikke overraskende at den sensoriske profil af de undersøgte fileter også viser sig at være uden signifikante forskelle. Forskelle i kødets fedtsyresammensætning kan ændre eksempelvis lugt (Turchini *et al.*, 2009) og trods enkelte signifikante forskelle i fedtsyreindhold imellem H-fisk og C-fisk blev dette altså ikke afspejlet i sensorikken. Omend forskellene var signifikante, var de dog både få og små; 16:1 (n=7) indholdet udgjorde 6,52 % og 6,26 % af det totale fedtsyreindhold i fileter fra C- og H-fisk og for 20:4 (n=3) var tallene hhv. 1,17 og 1,27 %. I alle tilfælde var forskellene i de enkelte fedtsyrers mængde i fileterne således under 10 %. Dette understøtter det forhold at der ikke blev fundet signifikante forskelle i lugt imellem C- og H-fisk. Efter at data er blevet indhentet og bearbejdet har det vist sig at VL var den forsøgsgruppe der i størst omfang afveg fra H gruppen mht. fileternes fedtsyresammensætning ligesom der blev konstateret en mindre, men ikke-signifikant, tendens til øget filetfasthed i fisk der havde gået i variable vandstrømme (VH- og VL-fisk). Større sensoriske forskelle imellem disse fisk og C- og H-fiskene kunne derfor forventes og det kunne på den baggrund have været interessant at lade VL- og VH-fiskene indgå i de sensoriske undersøgelser. Men, som nævnt var dette fravalg begrundet i økonomiske forhold.

## 5 Referencer

AOCS, 2009. Official method Ce 1b-89: Fatty Acid Composition by GLC – Marine Oils. AOCS Official Methods and Recommended Practices. 6. ed. A.O.C.S. Champaign, IL., USA.

Baron, C. P., Hyldig, G., Jacobsen, C., 2009. Does feed composition affect oxidation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during frozen storage? J. Agric. Food Chem. 57, 4185-4194.

Barrett, BA, McKeown, BA, 1988. Sustained exercise increases plasma growth hormone concentrations in two anadromous salmonids. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45, 747-749.

Bell, JG., Henderson, RJ, Tocher, DR., McGhee, F, Dick, JR, Porter, A, Smullen, RP, Sargent, JR, 2002. Substituting fish oil with crude palm oil in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects muscle fatty acid composition and hepatic fatty acid metabolism. J. Nutr. 132, 222-30.

Bligh, EG, Dyer, WJ, 1959. A rapid method of lipid extraction and purification. Can. J. Biochem. Phys. 37, 900-917.

Brännäs, E, 2009. The effect of moderate exercise on growth and aggression depending on social rank in groups of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). Appl. Anim. Behav. Sci., 119(1-2), 115-119.

Bugeon, J, Lefevre, F, Fauconneau, B, 2003. Fillet texture and muscle structure in brown trout (*Salmo trutta*) subjected to long-term exercise. Aquacult. Res. 34, 1287-1295.

Davison, W, 1997. The effects of exercise training on teleost fish, a review of recent literature. Comp. Biochem. Phys. A 117, 67-75.

Devlin, RH, Biagi, CA, Yesaki, TY, Smailus, DE, Byatt, JC, 2001. Growth of domesticated transgenic fish. Nature, 409, 781-782.

Dyer, AR, Barlow, CG, Bransden, MP, Carter, CG, Glencross, BD, Richardson, N, Thomas, PM, Williams, KC, Carragher, JF, 2004a. Correlation of plasma IGF-I concentrations and growth rate in aquacultured finfish: a tool for assessing the potential of new diets. Aquaculture, 236 (1-4). pp. 583-592.

Dyer, AR., Upton, Z, Stone, D, Thomas, PM, Soole, KL, Higgs, N, Quinn, K, Carragher, JF, 2004b. Development and validation of a radioimmunoassay for fish insulin-like growth factor I (IGF-I) and the effect of aquaculture related stressors on circulating IGF-I levels. Gen. Comp. Endocrinol. 135 (3), 268-275

Ellis T, North B, Scott AP, Bromage NR, Porter M, Gadd D, 2002. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. J Fish Biol 61:493–531

Fiskeristatistisk årbog 2010, Fiskeridirektoratet september 2011.  
[http://webfd.f.dk/info/sjle3/fsa\\_bog2010/Indhold\\_2010.htm](http://webfd.f.dk/info/sjle3/fsa_bog2010/Indhold_2010.htm)

- Godiksen, H, Morzel, M, Hyldig, G, Jessen, F, 2009. Contribution of cathepsins B, L and D to muscle protein profiles correlated with texture in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Chem.*, 113, 889-896.
- Henderson, R.J., 1996. Fatty acid metabolism in freshwater fish with particular reference to polyunsaturated fatty acids. *Arch. Anim. Nutr.* 49, 5-22.
- Hyldig, G, Nielsen, D, 2001. A review of sensory and instrumental methods used to evaluate the texture of fish muscle. *J. Tex. Stud.* 32, 219-242
- ISO 5983-2:2005, European Standard. Animal feeding stuffs - Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content. Part 2: Block digestion/stem distillation method. CEN, European Committee for Standardisation.
- ISO 3496-2 1994, Meat and meat Products – Determination of L(-) Hydroxyproline content.
- Jacobsen, C, 2010. Enrichment of foods with omega-3 fatty acids: a multidisciplinary challenge. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1190, 141-150.
- Jobling, M, Baardvik, BM, Christiansen, JS, Jørgensen, EH, 1993. The effects of prolonged exercise training on growth performance and production parameters in fish. *Aquac. Int.* 1, 95-111
- Johnston, IA, 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.
- Jørgensen, EH, Jobling, M, 1993. The effects of exercise on growth, food utilization and osmoregulatory capacity of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* 116, 1993, 233-246.
- Kent, MP, Spencer, MJ, Koohmaraie M, 2004. Postmortem proteolysis is reduced in transgenic mice overexpressing calpastatin. *J. Anim. Sci.*, 82(3), 794-80.
- Kieffer, JD, Alsop, D, Wood, CM, 1998. A respirometric analysis of fuel use during aerobic swimming at different temperatures in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Exp. Biol.* 201, 3123-3133.
- Luther, PK, Munro, PMG, Squire, JM, 1995. Muscle ultrastructure in the teleost fish. *Micron* 26, 431-459
- Mommsen, TP, 2001. Paradigms of growth in fish. *Comp. Biochem. Phys.B*, 129, 207-219.
- Pankhurst, N.W., Sharples, D.F. 1992. Effects of capture and confinement on plasma cortisol concentrations in the Snapper, *Pagrus auratus*. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 43, 345-356
- Pedersen, L-F, Koed, A, Malte, H, 2008. Swimming performance of wild and F1-hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) smolts. *Ecol. Freshw. Fish.*, 17, 425-431.



- Rasmussen, RS, Ostefeld, TH, 2000. Influence of growth rate on white muscle dynamics in rainbow trout and brook trout. *J. Fish Biol.*, 56, 1548-1552.
- Rasmussen, RS, 2001. Quality of farmed salmonids with emphasis on proximate composition, yield and sensory characteristics (Review). *Aquac. Res.*, 32, 767-786.
- Rasmussen, RS, Larsen, FH, Jensen, S, 2007. Fin condition and growth among rainbow trout reared at different sizes, densities and feeding frequencies in high temperature re-circulated water. *Aquac. Int.*, 15, 97-107.
- Reinecke, M, Björnsson, BT, Dickhof fWW, McCormick, SD, Navarro, I, Power, DM, Gutiérrez, J, 2005. Growth hormone and insulin-like growth factors in fish: Where we are and where to go. *Gen. Comp. Endocrin.*, 142, 20-24.
- Sato, K, Ohashi, C, Ohtsuki, K, Kawabata, M 1991. Type V collagen in trout (*Salmo gairdneri*) muscle and its solubility change during chilled storage of muscle *J. Agric Food Chem*, 39, 1222-25.
- Shearer, KD, 1994. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids. *Aquaculture* 119, 63-88.
- Shimizu, M, Swanson, P, Fukada, H, Hara, A, Dickhoff, WW, 2000. Comparison of extraction methods and assay validation for salmon insulin-like growth factor-I using commercially available components. *Gen. Comp. Endocrinol.* 119, 23-36
- Suárez, MD, M. Abad, M, Ruiz-Cara, T, Estrada, JD, García-Gallego, M, 2005. Changes in muscle collagen content during *post mortem* storage of farmed sea bream (*Sparus aurata*): influence on textural properties. *Aquac. Int.*, 13(4), 315-325.
- Theil, PK., Sørensen, I-L, Therkildsen, M, and Oksbjerg, N, 2006. Changes in proteolytic enzymes mRNAs relevant for meat quality during myogenesis of primary porcine satellite cells. *Meat Science* 73, 335-343.
- Therkildsen, M, Vestergaard, M, Busk, H, Jensen, MT, Riis, B, Karlson, AH, Kristensen, L, Ertbjerg, P, Oksbjerg, N, 2004. Compensatory growth in slaughter pigs - in vitro muscle protein turnover at slaughter, circulation of IGF-I, performance and carcass quality. *Livest. Prod. Sci.*, 88, 63-75.
- Turchini, GM, Torstensen, BE, Ng W-K, 2009. Fish oil replacement in finfish nutrition. *Rev. Aquac.*, 1, 10-57.
- Wulff, T, Jessen, F, Roepstorff, P, Hoffmann, EK, 2008. Long term anoxia in rainbow trout investigated by 2-DE and MS/MS. *Proteomics*, 8, 1009-1018.
- Yang, X, Yang, C, Farberman, A, Rideout, TC, de Lange, CFM, France, J, Fan, MZ, 2008. The mammalian target of rapamycin-signaling pathway in regulating metabolism and growth *J Anim Sci*, 86(14), 36-50
- Zar, JH, 1996. *Biostatistical Analysis*, 3<sup>rd</sup> ed. Prentice-Hall International, New Jersey.

## Kolofon

### Vækst og kvalitet af motioneret regnbueørred

Af Richard Skøtt Rasmussen, Niels Oksbjerg, Grethe Hyldig, Charlotte Jacobsen, Flemming Jessen og Henrik Hauch Nielsen

December 2011

DTU Aqua, Institut for Akvatiske Ressourcer

DTU Aqua-rapport nr. 242-2011

ISBN 978-87-7481-141-1

ISSN 1395-8216

Omslag: Peter Waldorff/Schultz Grafisk

Forsidefoto: Peter Jensen

Reference: Vækst og kvalitet af motioneret regnbueørred. Rasmussen R. S., Oksbjerg N., Hyldig G., Jacobsen C., Jessen F. & Nielsen H. H. DTU Aqua-rapport nr. 242-2011. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet, 41 p.

**DTU Aqua-rapporter** udgives af DTU Aqua, Institut for Akvatiske Ressourcer og indeholder resultater fra nogle af instituttets forskningsprojekter, studenterspecialer, udredninger m.v. Fremsatte synspunkter og konklusioner er ikke nødvendigvis instituttets.

Rapporterne kan hentes på DTU Aquas websted [www.aqua.dtu.dk](http://www.aqua.dtu.dk).

**DTU Aqua reports** are published by the National Institute of Aquatic Resources and contain results from research projects etc. The views and conclusions are not necessarily those of the Institute.

The reports can be downloaded from [www.aqua.dtu.dk](http://www.aqua.dtu.dk).

## DTU Aqua-rapportindex

Denne liste dækker rapporter udgivet i indeværende år samt de foregående to kalenderår. Hele listen kan ses på DTU Aquas hjemmeside [www.aqua.dtu.dk](http://www.aqua.dtu.dk), hvor rapporterne findes som pdf-filer.

- Nr. 202-09      Vurdering af markedsudsigter for akvakulturproduktion i Danmark. Erling P. Larsen, Jens Henrik Møller, Max Nielsen og Lars Ravensbeck.
- Nr. 203-09      Løjstrup Dambrug (øst) - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 204-09      Final Report of Fully Documented Fishery. Jørgen Dalskov and Lotte Kindt-Larsen.
- Nr. 205-09      Registrering af fangster i de danske kystområder med standardredskaber fra 2005-2007. Nøglefiskerrapporten 2005-2007. Claus R. Sparrevohn, Hanne Nicolajsen, Louise Kristensen og Josianne G. Støttrup.
- Nr. 206-09      Abildtrup Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 207-09      Nørå Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 208-09      Rens Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 209-09      Konsekvensvurdering af fiskeri på europæisk østers i Nissum Bredning 2008. Per Dolmer, Helle Torp Christensen, Kerstin Geitner, Per Sand Kristensen og Erik Hoffmann.
- Nr. 210-09      Konsekvensvurdering af fiskeri på blåmuslinger i Løgstør Bredning 2008/2009. Per Dolmer, Helle Torp Christensen, Per Sand Kristensen, Erik Hoffmann og Kerstin Geitner.

- Nr. 211-09      Konsekvensvurdering af fiskeri på blåmuslinger i Lovns Bredning 2008/2009. Per Dolmer, Helle Torp Christensen, Per Sand Kristensen, Erik Hoffmann og Kerstin Geitner.
- Nr. 212-09      Udvikling af kulturbanker til produktion af blåmuslinger i Limfjorden. Per Dolmer, Per Sand Kristensen, Erik Hoffmann, Kerstin Geitner, Rasmus Borgstrøm, Andreas Espersen, Jens Kjerulf Petersen, Preben Clausen, Marc Bassompierre, Alf Josefson, Karsten Laursen, Ib Krag Petersen, Ditte Tørring og Mikael Gramkow.
- Nr. 213-09      Konsekvensvurdering af fiskeri på blåmuslinger i Lillebælt 2008/2009. Per Dolmer, Mads Christoffersen, Kerstin Geitner og Per Sand Kristensen.
- Nr. 214-09      Konsekvensvurdering af fiskeri på blåmuslinger i Løgstør Bredning 2009/2010. Per Dolmer, Louise K. Poulsen, Mette Blæsbjerg, Per Sand Kristensen, Kerstin Geitner, Mads Christoffersen og Nina Holm.
- Nr. 215-09      Konsekvensvurdering af fiskeri på blåmuslinger i Lovns Bredning 2009/2010. Per Dolmer, Louise K. Poulsen, Mette Blæsbjerg, Per Sand Kristensen, Kerstin Geitner, Mads Christoffersen og Nina Holm.
- Nr. 216-09      Konsekvensvurdering af fiskeri af østers i Nisum Bredning 2009/2010. Per Dolmer, Louise K. Poulsen, Mette Blæsbjerg, Per Sand Kristensen, Kerstin Geitner, Mads Christoffersen, Erik Hoffmann og Nina Holm.
- Nr. 217-2010    Åle- og torskefangst ved rekreativt fiskeri i Danmark. Undersøgelserdesign og fangster i 2009. Claus R. Sparrevohn og Marie Storr-Paulsen.
- Nr. 217-2010    Eel and cod catches in Danish recreational fishing. Survey design and 2009 catches. Claus R. Sparrevohn and Marie Storr-Paulsen.  
(English version)
- Nr. 218-2010    Undersøgelse af miljøvenlige dambrugshjælpestoffer til erstatning for formalin. Bedre styring og driftspraksis ved implementering af miljøvenlige dambrugshjælpestoffer til erstatning for formalin. Lars-Flemming Pedersen.
- Nr. 219-2010    Opdræt af regnbueørred i Danmark. Alfred Jokumsen og Lars M. Svendsen.
- Nr. 219-2010    Farming of Freshwater Rainbow Trout in Denmark. Alfred Jokumsen og Lars M. Svendsen.  
(English version)
- Nr. 220-2010    Opgang og gydning af laks i Skjern Å-systemet 2008/2009. Anders Koed, Niels Jepsen, Henrik Baktoft og Søren Larsen.
- Nr. 221-2010    Workshop on Fully Documented Fishery. Jørgen Dalskov.
- Nr. 222-2010    Konsekvensvurdering af fiskeri af blåmusling i Lillebælt 2010. Per Dolmer, Mads Christoffersen, Louise K. Poulsen, Kerstin Geitner og Per Sand Kristensen.

- Nr. 223-2010 Konsekvensvurdering af fiskeri af østers i Nissum Bredning 2010/2011. Per Dolmer, Mads Christoffersen, Louise K. Poulsen, Kerstin Geitner og Per Sand Kristensen.
- Nr. 224-2010 Konsekvensvurdering af fiskeri på blåmuslinger i Løgstør Bredning 2010/2011. Louise K. Poulsen, Mads Christoffersen, Morten Aabrink, Per Dolmer, Per Sand Kristensen og Nina Holm.
- Nr. 225-2010 Konsekvensvurdering af fiskeri på blåmuslinger i Lovns Bredning 2010/2011. Mads Christoffersen, Louise K. Poulsen, Morten Aabrink, Per Dolmer, Per Sand Kristensen og Nina Holm.
- Nr. 226-2010 Supplerende bestandsundersøgelser af blåmuslinger, ålegræs og makroalger på lavt vand i Lovns og Løgstør Bredning i 2009. Louise K. Poulsen, Per Dolmer, Kerstin Geitner, Ditte Tørring, Jens Kjerulf Petersen, Carsten Fomsgaard Nielsen, Mads Christoffersen og Per Sand Kristensen.
- Nr. 227-2010 Fugle som bifangst i garnfiskeriet. Estimat af utilsigtet bifangst af havfugle i garnfiskeriet i området omkring Ærø. Henrik Degel, Ib Krag Petersen, Thomas Eske Holm og Johnny Kahlert.
- Nr. 228-2010 Videreudvikling af intensivt opdræt af sandart i Danmark. Svend Steinfeldt, Martin Vestergaard, Julia Lynne Overton, Ivar Lund, Helge Paulsen, Villy J. Larsen og Niels Henrik Henriksen.
- Nr. 229-2010 European Eel and Aquaculture. Eskild Kirkegaard (ed.).
- Nr. 230-2010 Effektvurdering af åleudsætninger i Roskilde Fjord. Michael Ingemann Pedersen.
- Nr. 231-2010 Konsekvensvurdering af fiskeri på blåmuslinger i Lillebælt 2010/2011. Louise K. Poulsen, Mads Christoffersen, Per Sand Kristensen, Per Dolmer, Morten Aabrink, Lotte Kindt-Larsen, Grete Elisabeth Dinesen og Nina Holm.
- Nr. 232-2011 Anvendelse og udvikling af skånsomme muslingeskrabere i danske og internationale fiskerier. Louise K. Poulsen.
- Nr. 233-2011 Dambrugsteknologi – reduktion af kvælstofudledning fra Modeldambrug. Undersøgelse af biofilterelementer, biofilterkinetik og forhold af betydning for nitrifikationen. Lars-Flemming Pedersen Karin Suhr og Per Bovbjerg Pedersen.
- Nr. 234-2011 Dambrugsteknologi – reduktion af kvælstofudledning fra Modeldambrug. Test af denitrifikationsfiltre. Karin Suhr og Per Bovbjerg Pedersen.
- Nr. 235-2011 Final Report on the Danish Catch Quota Management Project 2010. Jørgen Dalskov and Kirsten Birch Håkansson og Hans Jakob Olesen.

- Nr. 236-2011 Dambrugsteknologi - Formalinsubstitution. Undersøgelse af vandbehandlingspraksis med brintoverilte og pereddikesyreprodukter på forskellige typer dambrug. Lars-Flemming Pedersen og Niels Henrik Henriksen.
- No 237-2011 Workshop on Recirculation Aquaculture Systems, Helsinki, October 5-6, 2011. Book of Abstracts. Anne Johanne Tang Dalsgaard (red.).
- Nr. 238-2011 Udvikling af skånsomt redskab til fiskeri af blåmuslinger. Ole R. Eigaard, Rikke P. Frandsen, Benny Andersen, Kaj Møller Jensen, Louise K. Poulsen, Ditte Tørring, Finn Bak og Per Dolmer.
- Nr. 240-2011 Eel, seatrout and cod catches in Danish recreational fishing. Survey design and 2010 catches in the Danish waters. Claus R. Sparrevohn, Marie Storr-Paulsen and Jan Nielsen.
- Nr. 241-2011 Udvandring af blankål fra Ribe Å i 2010. Michael Ingemann Pedersen og Jørgen Skole Mikkelsen.
- Nr. 242-2011 Vækst og kvalitet af motioneret regnbueørred. Af Richard Skøtt Rasmussen, Niels Oksbjerg, Grethe Hyldig, Charlotte Jacobsen, Flemming Jessen og Henrik Hauch Nielsen.