

# Overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel i okkerbelastede vandløb



Af Kim Iversen & Martin H. Larsen

Rapport fra Den Store Lakseundersøgelse (SDPAS)

2019

**SDPAS - Strengthening the Danish Populations of Atlantic Salmon**



Danmarks Center for Vildlaks



Ringkøbing-Skjern  
Kommune



Herning  
Kommune

**Den Store Lakseundersøgelse**

## Kolofon

**Titel:** Overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel i okkerbelastede vandløb

Forfattere: Kim Iversen & Martin H. Larsen

Rapport fra: Den store Lakseundersøgelse (SDPAS). Et samarbejde mellem Innovationsfonden, DTU Aqua, Danmarks Center for Vildlaks, Ringkøbing Skjern Kommune og Herning Kommune.

År: Oktober 2019

Forsidefotos: T.v.: Rugekasse i Tarm Bæk på en dag med spuling af dræn i tilløb opstrøms for.

T.h. øverst.: Lakseæg i rugekasse.

T.h. nederst.: Feltnmåling af opløst jern i åvand.

© Danmarks Center for Vildlaks.

Reference: Iversen, K. & Larsen, M. H. 2019. Overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel i okkerbelastede vandløb. Rapport fra Danmarks Center for Vildlaks - "Den store lakseundersøgelse (SDPAS)".

Udgivet af: Danmarks Center for Vildlaks

Download: <http://danmarksvildlaks.dk/>

## Sammenfatning

Mange vandløb i især Vest- og Sydjylland er okkerbelastede i så høj grad, at både dyre- og plantesamfund er forarmede, hvilket betyder at det kan være svært at opnå god økologisk tilstand i disse vandløb. I denne rapport undersøges det, om jern på opløst (ferrojern) og udfældet form (ferrijern, okker) påvirker overlevelsen af lakseæg og blommesækkyngel, altså de stadier hvor laksen ligger begravet i gydegruset i vandløbsbunden. For, så vidt muligt, at isolere effekten af jernet i vandet, blev befrugtede æg anbragt i flydende rugekasser, hvorved eksempelvis sandvandring ikke kunne få indflydelse på overlevelsen af æg og blommesækkyngel i kasserne. Rugekasserne blev placeret i mellemstore, okkerbelastede tilløb til Skjern Å, og overlevelsen for æg og yngel blev sammenholdt med resultater fra rugekasser i et svagt okkerbelastet vandløb og på opdrætsanlægget på Danmarks Center for Vildlaks (DCV).

I det første forsøg blev effekten af opløst jern på overlevelsen af lakseæg og blommesækkyngel undersøgt. Ægbeholderne i rugekasserne blev jævnlige rensede for okker for at forsøge at isolere effekten af opløst jern på overlevelsen. Overlevelsen for henholdsvis æg- og blommesækstadiet blev sammenholdt med målte koncentrationer af opløst jern i vandløbene. Resultaterne viste, at de målte koncentrationer af opløst jern (ferrojern) på op til 2,03 mg/l og gennemsnitligt op til 1,55 mg/l i vandløbene ikke havde nogen effekt på overlevelsen af hverken lakseæg (perioden fra befrugtning til kort efter klækning) eller blommesækkyngel (perioden kort før klækning til lakseynglens swim-up stadie).

I det andet forsøg blev effekten af udfældet jern (okker) på overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel undersøgt. Befrugtede lakseæg blev enten placeret ovenpå et lag gydegrus eller begravet i gydegrus i rugekassens ægbeholder. Resultaterne fra dette forsøg viste, at dødeligheden for både æg og blommesækkyngel var højere i de okkerbelastede vandløb, sammenlignet med dødeligheden i det svagt okkerbelastede vandløb og på DCV. Derudover viste forsøget, at der var en markant højere overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel som var begravet i gydegrus i forhold til æg og yngel som lå eksponeret på overfladen af gydegrus. Denne forskel skal formentlig tilskrives det gennemstrømmende vands evne til at reducere okkerindlejring i gruset, hvorimod æg og yngel eksponeret ovenpå gruset lå begravet i et lag af udfældet okker ved afslutningen af forsøgene.

Ud fra resultaterne konkluderes det, at opløst jern, i de typiske koncentrationer man finder i danske mellemstore, okkerbelastede vandløb om vinteren, ikke har nogen direkte effekt på overlevelsen af lakseæg og blommesækkyngel. Resultaterne tyder derimod på, at udfældet okker kan have en negativ effekt på overlevelsen af lakseæg og blommesækkyngel, specielt hvis æggene eller ynglen bliver indlejret i okker. Denne viden understreger vigtigheden af, at man fremover, i endnu højere grad, bør bestræbe sig på at reducere udvaskning af okker fra de vandløbsnære arealer, eksempelvis ved at hæve af grundvandsstanden eller rense okkerbelastet vand i okkersøer inden det når vandløbene. Derudover anbefales det, at man fortsat arbejder for at genskabe naturlige vandløb med stor fysisk variation og lavvandede områder, hvor vandrensende vandplanter som vandranunkel kan vokse, og hvor laks og ørreder kan gyde og finde opvækstområder.

## Indhold

1. Indledning.....	5
1.1. Okker i danske vandløb .....	5
1.2. Effekten af okker på livet i vandløbet.....	6
1.3. Lakseyngel og okker.....	7
1.4. Vandplaner, målsætningsopfyldelser og okker .....	7
1.5 Formål.....	8
2. Metode og materialer .....	8
2.1.Effekten af opløst jern på overlevelsen af lakseæg og blommesækkyngel .....	11
2.1.1. Delforsøg 1: Effekten af opløst jern på overlevelsen af lakseæg .....	11
2.1.2. Delforsøg 2: Effekten af opløst jern på overlevelsen af blommesækkyngel.....	12
2.1.3. Projektets forløb.....	13
2.2. Effekten af okker på overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel.....	13
2.2.1. Delforsøg 3: Effekten af okker på overlevelse af lakseæg.....	13
2.2.2. Delforsøg 4: Effekten af okker på overlevelse af lakseøjenæg og blommesækkyngel .....	14
2.2.3. Projektets forløb.....	14
2.3. Befrugtningsforsøg .....	15
3. Resultater .....	16
3.1. Effekten af opløst jern på overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel .....	16
3.1.1. Abiotiske faktorer .....	16
3.1.2. Delforsøg 1: Effekt af opløst jern på overlevelsen af lakseæg .....	17
3.1.3. Delforsøg 2: Effekt af opløst jern på overlevelse af blommesækkyngel .....	18
3.2. Effekten af okker på overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel.....	19
3.2.1. Abiotiske faktorer .....	19
3.2.2. Delforsøg 3: Effekt af okker på overlevelsen af lakseæg.....	20
3.2.3. Delforsøg 4: Effekt af okker på overlevelsen af lakseøjenæg og blommesækklarver .....	22
4. Diskussion .....	26
4.1. Effekten af opløst jern på overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel .....	26
4.1.1. Abiotiske faktorer .....	26
4.1.2. Delforsøg 1: Overlevelse af lakseæg.....	26
4.1.3. Delforsøg 2: Effekt af opløst jern på overlevelse af blommesækkyngel.....	27
4.1.4. Opsummering af delforsøg 1 og delforsøg 2 .....	27
4.2. Effekten af okker på overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel.....	28
4.2.1 Abiotiske faktorer .....	28

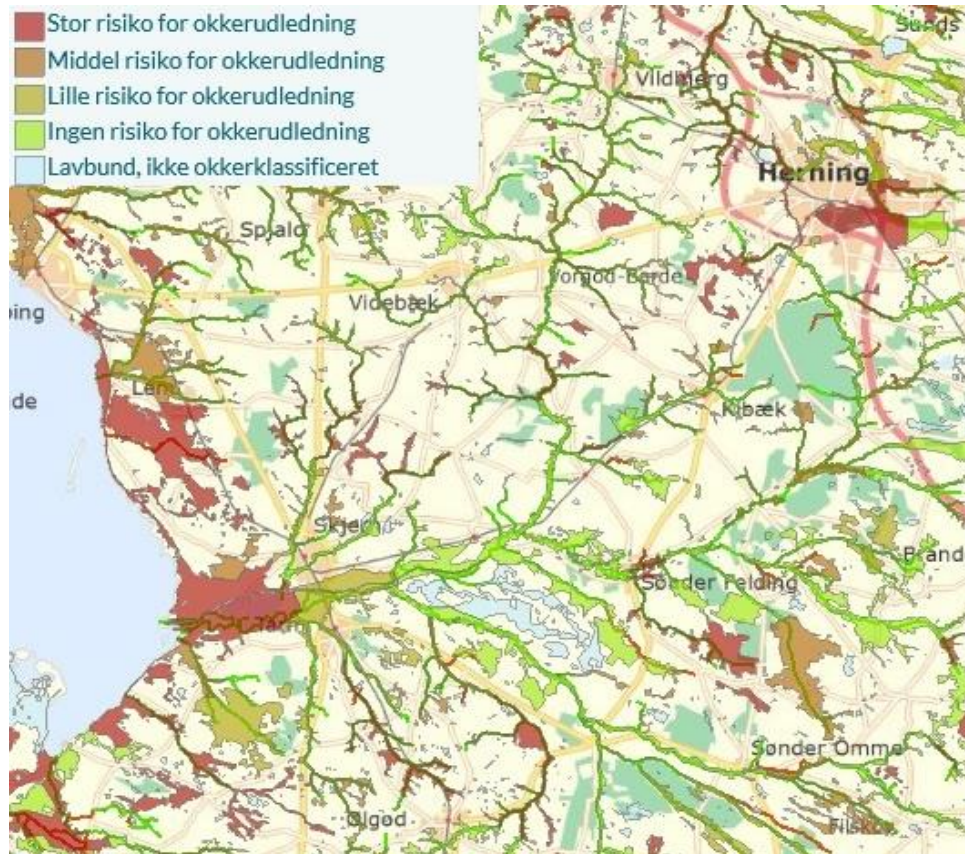
4.2.2. Delforsøg 3: Overlevelser af lakseæg som effekt af okker .....	28
4.2.3. Delforsøg 4: Overlevelser af lakseøjnæg og blommesækklarver som effekt af okker .....	28
4.2.4. Opsummering af delforsøg 3 og delforsøg 4 .....	29
5. Konklusion .....	30
6. Perspektivering .....	30
7. Referencer .....	31



# 1. Indledning

## 1.1. Okker i danske vandløb

Okker i vandløb er et velkendt fænomen i Danmark. Særligt de vest- og sydvestjyske vandløb, eks. Skjern Å (figur 1), afvander store arealer med jernholdig pyrit (svovlkis,  $\text{FeS}_2$ ) i jorden, bl.a. områder med myremalm og brunkul. Risikoen for okkerudledning er høj i disse områder. Når jernholdige jorde drænes, for at



Figur 1: Skjern Å-systemet med vurderinger af risiko for okkerudledning til vandløbene (kort fra Danmarks Miljøportal).

udvinde tørv eller jern eller gøre jorden egnet til dyrkning, nedbrydes jernforbindelserne når der kommer ilt til. Syre og opløst jern (ferrojern) skyller derefter ud i de nærliggende recipientvandløb via dræn eller grøfter. Svovlsyren gør vandløbene sure (pH-værdien mindskes) og ferrojernet udfældes i vandfasen som ferrihydroxid  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , bedre kendt som okker (figur 2). I kolde perioder reduceres hastigheden af processen hvor ferrojern omdannes til ferrijern, hvilket resulterer i højere koncentrationer af ferrojern, især om vinteren i tørre perioder med små vandføringer. Den fuldstændige, ikke-afstemte reaktion, med nedbrydning (oxidering) af pyrit kan opstilles således (Prange, 2005):



Figur 2: Okker udfældet i store mængder i en vestjysk bæk.



## 1.2. Effekten af okker på livet i vandløbet

I 1981 iværksatte Miljøministeriet et treårigt kortlægnings- og undersøgelsesarbejde omkring okker som førte til Okkerrederegørelsen (Miljøministeriet, 1984). Rederegørelsen indeholdt bl.a. en kortlægning af okkerpotentielle arealer i Danmark, forskellige okkerbekæmpelsesmetoder og grænseværdier for jern i forhold til opfyldelse af målsætninger for fisk og invertebrater i vandløb. Derudover blev de skadelige virkninger af andre stoffer, som eksempelvis aluminium, også undersøgt. Projektets resultater blev anvendt ved udformningen af den første danske okkerlov fra 1985, som gjorde det ulovligt at udlede drænvand fra okkerpotentielle områder uden tilladelse fra vandløbsmyndigheden. Ligeledes blev det forbudt af spule forurenende okker fra dræn direkte ud i vandløbet jf. miljøbeskyttelseslovens § 27. Hvis okkeraflejringer i dræn skal spules væk, skal vandet opsamles og spredes ud på marker.

De fiskebiologiske undersøgelser, afrapporteret i okkerrederegørelsens bilag 8, blev udført med fokus på ørred, fordi ørreden generelt stiller høje krav til vandløbskvaliteten. Ørreden begraver sine æg i grus i vandløbsbunden, og blommesækynghen bliver i gruset de første uger efter klækningen, hvilket gør dem udsatte i forhold til indlejring af bl.a. okker i gydegravningerne. Ud fra undersøgelser omkring overlevelser af ørredæg begravet i gydegrus eller ophængt i vandfasen blev det konkluderet, at der var stærkt nedsat klækning af æggene i gruset ved koncentrationer af opløst ferrojern i intervallet 0,5-0,7 mg/l (Geertz-Hansen *et al.*, 1984). For ørredæg ophængt i vandfasen var der en øget dødelighed ved ferrojernkoncentrationer større end 1 mg/l, som følge af tilslamning af æggene, og evt. en toksisk effekt (Geertz & Rasmussen, 1994). Ved et andet forsøg blev det konstateret, at øget koncentration af ferrojern og total-jern resulterede i øget akkumulering af jernslam i gydegruset, men man kunne ikke påvise en signifikant effekt af okker på vandgennemstrømningen i sand eller grus. Man fandt heller ingen sammenhæng mellem okkerbelastningsgrad og vandets iltindhold i gydesedimentet. Derimod blev det fundet, at ved lav pH-værdier på 5,5 begynder såvel fysiologisk stress og dødsfald at indtræffe hos ørred, ved total-uorganisk-Al-koncentrationer på 0,1-0,2 mg/l (Geertz-Hansen *et al.*, 1984).

Overlevelsen for ørred- og lakseæg i gydegravninger i grusbunden er afhængig af mange faktorer, herunder indlejring af sediment som sand, silt og fint organisk materiale i mellemrummene i gruset (Nielsen, 2003) og formentlig også okker. Nedbrydning af organisk materiale forbruger ilt, hvilket kombineret med nedsat vandgennemstrømning i gruset pga. indlejret sediment, kan resultere i større dødeligheder for æg og larver som følge af dårlige iltforhold. Når de små mellemrum i gruset fyldes og kittet til af sand, silt og okker, kan ynglen også blive fanget i gruset, uden mulighed for at komme op. Fisks evne til at optage ilt over gællerne forringes sandsynligvis, når opløst jern oxideres og aflejres på gællerne. Det er rapporteret at jern kan skade gællernes overflade hos ørred (Phippin, 2008), og det er muligt at gællerne på nyklækkede blommesækynghen er specielt følsomme.

Okker nedsætter sigtbarheden i vandløbet og udfældes fra vandfasen i partikulær form på bl.a. vandplanternes overflade, hvilket nedsætter eller forhindrer vandplanter i at lave fotosyntese og dermed i at vokse. Okkeren lægger sig også som en film på groft sediment (f.eks. sten og grus), og hæmmer den mikrobielle omsætning af organisk stof og væksten af phytobenthos (bundlevende alger). Dette forringer vandløbet som levested for vandløbets bunddyr (invertebrater). Antallet af algeskrabere mindskes allerede ved ferrojernkoncentrationer på 0,3 mg/l, de fleste arter af slørvinger og døgnfluer forsvinder ved 0,5 mg/l, og ved koncentrationer over 1 mg/l forsvinder også vårfluer (Miljøministeriets okkerrederegørelse, bilag 17, 1984). Det er også vist, at antallet af invertebrater i vandfasen falder betydeligt med stigende koncentration af ferrojern (Okkerrederegørelsens bilag 9, 1984); således var der få invertebrater om vinteren i okkerbelastede vandløb, og invertebratfaunaen var om sommeren domineret af dyr med to generationer pr. sommer, mens et- eller flerårige arter var begrænset til få hårdføre arter.

I forbindelse med Miljøcenter Ribes udarbejdelse af en okkerværktøjskasse (Miljøcenter Ribe, 2008), blev der udført en analyse af sammenhængen mellem okkerbelastningen i vandløb og faunaindeks (DVFI). Det blev konkluderet, at ferrojernkoncentrationer om vinteren ikke må overstige 0,5 mg/l i vandløb for at opnå en DVFI  $\geq 5$  (Sode, 2008). Vandløb med vinterkoncentrationer af ferrojern på mere end 0,5 mg/l kategoriseres som moderat-kraftig påvirkede vandløb (Miljøministeriet, 2012).

Okkerens negative effekt på bunddyrsamfund i vandløb kan også påvirke fiskebestande negativt. I Okkerrederegørelsen (Miljøministeriet, 1984) blev det således konkluderet at gennemsnitlige ferrojernkoncentrationer over vinteren på 0,8 -1,0 mg/l resulterede i så forarmede bunddyrsamfund, at der ikke var fødemuligheder nok til, i rimelig omfang, at ernære en fiskebestand. Vandløb med gennemsnitlige vinterkoncentrationer på under 0,5 mg/l kunne derimod antages at have en bunddyrbestand af en størrelse, som ville kunne udgøre fødegrundlag for en fiskebestand.

### 1.3. Lakseyngel og okker

Laksen har gennem de seneste årtier været i fremgang i de danske laksevandløb. Efterhånden som spærringer er blevet fjernet, har laksene fået adgang til større dele af vandsystemerne, også til mellemstore vandløb med betydelige okkerbelastninger. Udbredelsen af vild lakseyngel i Skjern Å-systemet er således også blevet større i takt med spærringsfjernelser, gydebankeetableringer og andre vandløbsforbedringer (Iversen *et al.*, 2017). I forbindelse med revision af fiskeplejeplanerne for Skjern Å i 2016, elfiskede DTU Aqua på 328 stationer i vandsystemet, hvoraf der blev fundet vild lakseyngel på 54 stationer (Christensen & Mikkelsen, 2017). Tæthederne af lakseyngel var dog generelt utilfredsstillende, trods en estimeret opgang på ca. 4.500 gydelaks i Skjern Å i 2015, især var der få lakseyngel i okkerbelastede mellemstore vandløb som eksempelvis Gundesbøl Å.

Lakseyngel stiller høje krav til vandløbskvaliteten, og laksens livscyklus og habitatkrav er sammenlignelig med ørredens. Laksen gyder på grusbund i vandløb ned til 2-4 meter i bredden (Miljøministeriet, 2004), store gydelaks er dog blev observeret i endnu mindre vandløb ned til 1 meters bredde, eksempelvis øvre Gryde Å og Fuglkær Bæk i Storå-systemet (pers. Komm. Daniel Lindvig, Herning Kommune). Laksen begraver sine æg i gydegrus, hvori de ligger i ca. 520 graddage (ca. 3 måneder) over vinteren inden de klækker. I denne periode, samt i de 2-3 uger hvor de ligger som blommesækkyngel i gruset inden swim-up, vil overlevelsen være afhængig af tilstrækkelig gennemstrømning af iltrigt vand. Graden af indlejring af finere sediment (sand, silt, organisk materiale m.m.) i gydegruset har en betydning for både vandgennemstrømning og ynglens evne til at finde op gennem gruset.

### 1.4. Vandplaner, målsætningsopfyldelser og okker

At opløst jern og okker kan have en negativ påvirkning på vandløbets flora og fauna, kan ses ved bl.a. målsætningen for okkervandløb i Danmark. Eksempelvis var det indskrevet i Regionplanen for Ringkjøbing Amt, at fiskevandmålsætningen ikke kunne forventes opfyldt i okkerbelastede vandløb B(F), selv hvor de fysiske forhold berettigede det (Ringkjøbing Amt, 2006).

I forbindelse med kvalificering af små vandløb (vandløb med et opland på mindre end 10 km<sup>2</sup>) i de danske vandplaner for perioden 2015-2021, var middel-okkerkoncentrationer på mere end 0,5 mg/l om vinteren et af kriterierne som gjorde, at et lille vandløb kunne tages ud af vandplanerne. Okkerindholdet kunne dermed afgøre om der skulle udføres forbedrende tiltag i vandløbet i hht. Vandrammedirektivet. I større vandløb som ikke opfylder målsætninger for fisk, invertebrater og vandplanter, skal der derimod som udgangspunkt udføres indsatser som okkerfældning og/eller vandstandshævninger for at reducere okkerbelastningen i vandløbene, og derigennem opnå god økologisk tilstand. God økologisk tilstand af fiskebestanden i større vandløb (> 2 m bredde) med gyde- og opvækstområder for laksefisk, opnås når der



er flere end 150 lakse- eller ørredyngel pr. 100 meter vandløb, jf. fiskeindekset DFFVØ (Kristensen *et al.*, 2014).

### 1.5 Formål

Opløst ferrojern og udfældet okker beskrives generelt som værende årsag til forhøjet dødelig hos både ørredæg og -yngel i danske vandløb (eks. Madsen, 2004). Effekten af ferrojern og okker på laks i danske vandløb er dog endnu ikke blevet undersøgt. Viden omkring overlevelse af lakseæg- og blommesækkyngel i danske okkerbelastede vandløb er vigtig for den fremtidige forvaltning af de danske laksebestande. Ligeledes bør den viden anvendes i bestræbelserne på at forbedre den økologiske kvalitet af okkerbelastede vandløb og opnå målsætningsopfyldelse, eksempelvis gennem virkemidler som okkerudfældningssøer, genslyngning, vådområdeprojekter og hævning af vandløbsbund med groft materiale og gydebanker.

I nærværende undersøgelse var formålet derfor:

- 1. at undersøge hvorvidt opløst jern, i de koncentrationer som findes i danske, mellemstore okkerbelastede vandløb, har en effekt på overlevelsen af lakseæg og blommesækkyngel.**
- 2. at undersøge om udfældet jern (okker) har en effekt på overlevelsen af lakseæg og blommesækkyngel begravet i gydegrus.**

## 2. Metode og materialer

Effekten af opløst jern og okker på overlevelsen af lakseæg og blommesækkyngel blev undersøgt ved to separate forsøg. Hvert forsøg blev yderligere opdelt i to delforsøg, for at undersøge overlevelsen af laks på hhv. ægstadiet og blommesækstadiet.

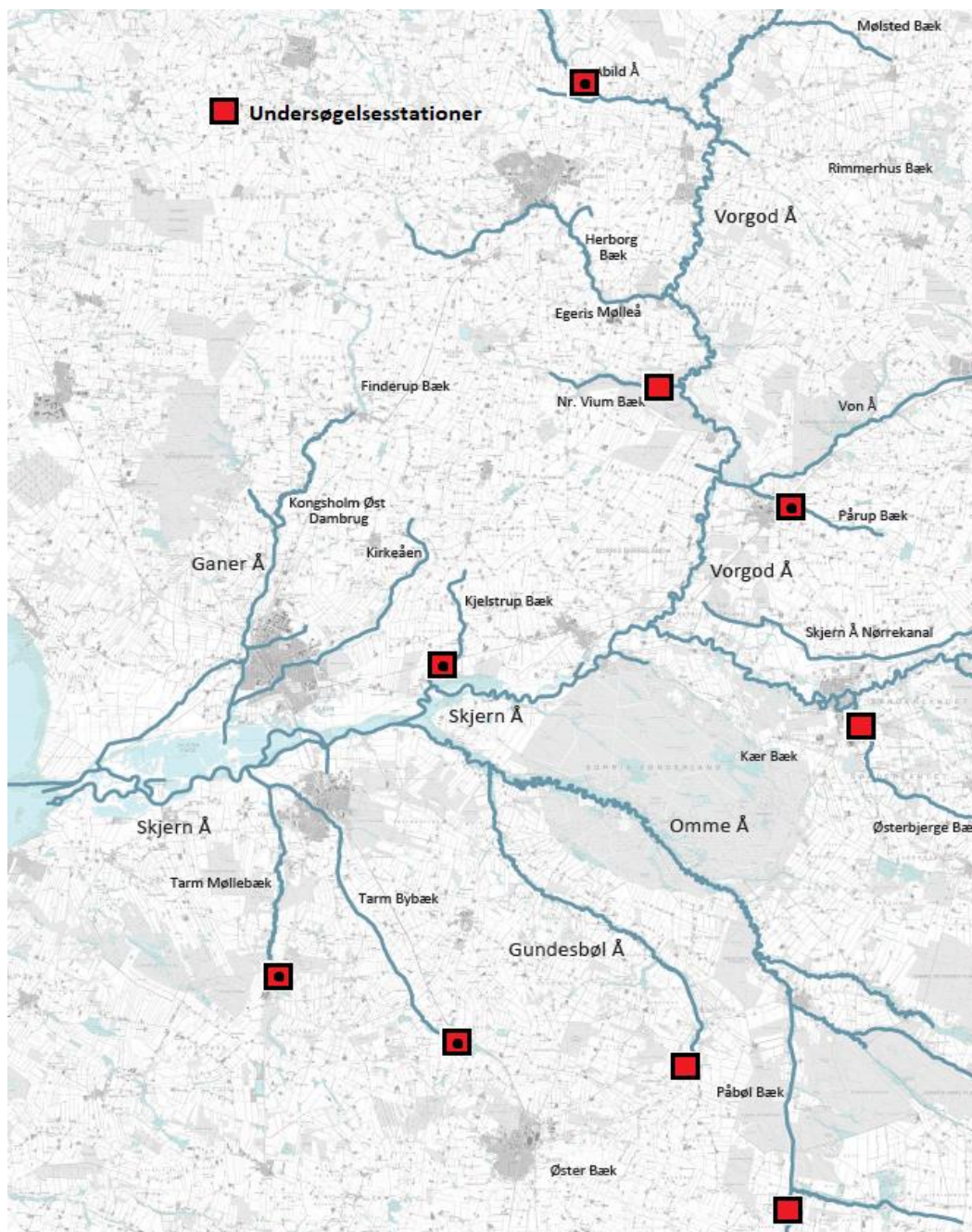
- Forsøg 1: Effekten af opløst jern på overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel
  - Delforsøg 1: Effekt af opløst jern på overlevelsen af lakseæg
  - Delforsøg 2: Effekt af opløst jern på overlevelsen af blommesækkyngel
- Forsøg 2: Effekten af okker på overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel
  - Delforsøg 3: Effekt af okker på overlevelse af lakseæg
  - Delforsøg 4: Effekt af okker på overlevelse af lakseøjnæg og blommesækkyngel

Forsøgene blev udført i mellemstore vandløb i Skjern Å-systemet. Otte af vandløbene blev vurderet som moderat-kraftigt okkerbelastede (benævnes herefter som okkerbelastede vandløb), og ét vandløb (Kjelstrup Bæk) var kun ganske svagt okkerbelastet. Vandløbene som indgik i undersøgelsen havde gennemsnitlige bredder på 2-6 m. Forsøg 1 blev udført i alle vandløbene, mens forsøg 2 blev udført i fem af vandløbene (tabel 1).

Tabel 1: Gennemsnitlige bredde og dybde for vandløbene i undersøgelsesområderne. \* indikerer vandløb som kun indgik i forsøg 1.

Vandløb	Gundesbøl Å*	Pårup Bæk	Abild Å	Østerbjerge Bæk*	Tarm Bæk	Tarm Møllebæk	Påbøl Bæk*	Kjelstrup Bæk	Nr. Vium Bæk*
Gns. bredde m	4,8	2,5	3	3,47	2,53	2,43	5,57	2,42	2,57
Gns. dybde m	0,39	0,46	0,52	0,44	0,31	0,34	0,44	0,34	0,41

I det nedenstående beskrives forsøgsvandløbene kort, vandløbenes geografiske placering ses af figur 3.



Figur 3: Positioner for rugekasser i de ni vandløb som indgik i undersøgelsen. Firkanter med sorte prikker indikerer vandløb som indgik i begge forsøg. Se afsnit 2.1 for en beskrivelse af rugekasserne.

**Tarm Møllebæk:** 13 km langt mellemstort, delvist reguleret vandløb som i de regulerede spidser afvander landbrugsjord med jernforbindelser. Nogen grad af fysisk variation og grus i bundsubstratet.

**Tarm Bæk:** 15 km langt mellemstort reguleret og stedvist dybt nedskåret vandløb, som afvander store landbrugsarealer. Drænsrulinger med store mængder okker ledt direkte ud i vandløbet blev observeret i forbindelse med undersøgelserne.

**Gundesbøl Å:** 17 km langt overvejende delvist udrettet vandløb, som i de regulerede spidser afvander landbrugsjord med jernforbindelser. Begrænset fysisk variation.

**Påbøl Bæk:** 15 km langt mellemstort vandløb, som er genslynget på de nederste 10 km. De regulerede spidser afvander landbrugsjord med jernforbindelser.

**Østerbjerge Bæk:** 13 km langt mellemstort, langt overvejende udrettet vandløb, som afvander store landbrugsarealer, med gamle kulsøer.

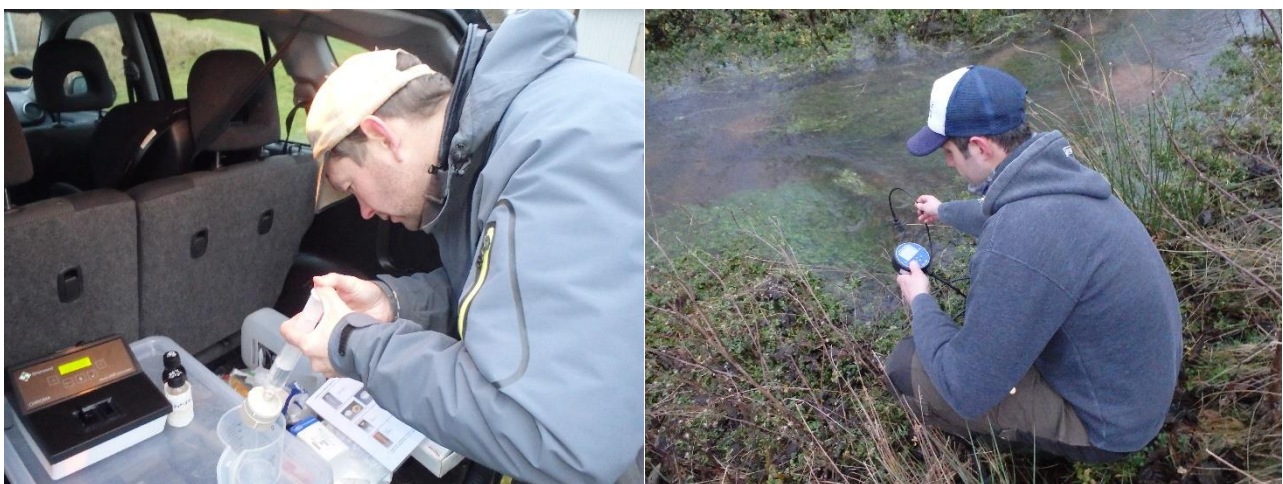
**Pårup Bæk:** 7 km langt mellemstort, udrettet vandløb, som afvander landbrugsjord og moser.

**Nr. Vium Bæk:** 7 km langt mellemstort, reguleret vandløb, som afvander landbrugsjord og moser, og på den nederste del, gamle kullejer i Nr. Vium Plantage.

**Abild Å:** 15 km langt mellemstort, overvejende reguleret og stedvist dybt nedskåret vandløb, som afvander store landbrugsarealer. Trods et stort okkerfældningsbassin opstrøms i åen, er der høje jernkoncentrationer fra bl.a. tilløb fra gamle kulgrave.

**Kjelstrup Bæk:** 5 km langt lille til mellemstort reguleret vandløb, stedvist dybt nedskåret, som afvander landbrugsarealer med stort okkerpotentiale øverst i systemet. Størstedelen af jernet i vandløbet er dog udfældet og sedimenteret på de nederste strækninger pga. stor vækst af vandplanter, især vintergrønne vandranunkler.

Koncentrationer af opløst ferrojern ( $Fe^{2+}$ ) i vandløbene blev målt efter bipyridin-metoden, beskrevet i Teknisk Anvisning B01: *Vandløbskemi: Prøvetagning, feltmåling og -analyser* (DCE, 2013). Der blev anvendt kolorimeter (Corning Chroma 260) til måling af opløst jern (figur 4). Ufiltrerede vandprøver blev hjemtaget



Figur 4: Måling af koncentration af opløst jern (t.v.) og temperatur og iltmætning i felten.



til laboratorieanalyse af totaljern-koncentrationer, efter vejledningen beskrevet i Okkerredegørelsen (Miljøministeriet, 1984).

Vandtemperatur og iltindhold i vandløbet blev målt med en Handy Polaris 2 (Oxyguard), og pH-værdien blev målt med pH-meter (M350). Iltmåler og pH-meter blev kalibreret på dagen, inden målingerne blev foretaget.

## 2.1. Effekten af opløst jern på overlevelsen af lakseæg og blommesækkyngel

### 2.1.1. Delforsøg 1: Effekten af opløst jern på overlevelsen af lakseæg

For at undersøge effekten af opløst jern på overlevelsen af lakseæg, blev nybefrugtede lakseæg udlagt i rugekasser (figur 5). Rugekasserne blev d. 20. december 2016 placeret i otte moderat-kraftigt okkerbelastede vandløb, ét svagt okkerbelastet vandløb og i en klækkerende på Danmarks Center for Vildlaks (DCV) i Skjern med meget lave koncentrationer af opløst jern i vandet.

Nystrøgne æg og sæd fra indfangede gydelaks på DCV blev transporteret til forsøgsvandløbene i en kølekasse ved en temperatur på ca. 5 grader. Befrugtningen af æggene blev udført ved vandløbene, og 50 befrugtede æg blev overført til en flydende rugekasse med vandgennemstrømning og ét lag fint grus (10-15 mm diameter) på bunden (figur 5). Æggene svulmede dermed i vand fra forsøgsvandløbet, og blev fikseret af gruset. Der blev placeret én rugekasse i hvert forsøgsvandløb, således at rugekasserne så vidt muligt var beskyttet mod drivende grene og grøde. 50 nybefrugtede, desinficerede (med Buffodine-opløsning) æg blev lagt i en rugekasse placeret i en klækkerende på DCV som kontrol.

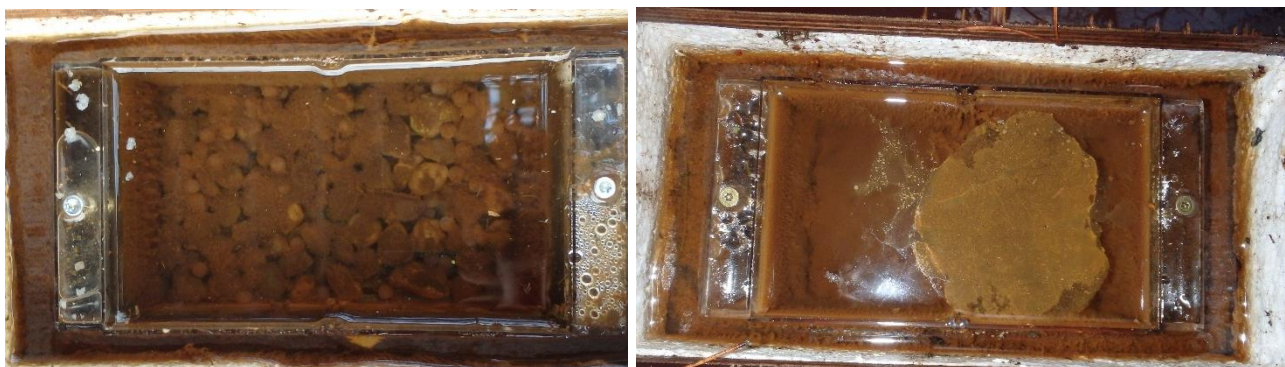


Figur 5: Rugekassen. Øverst: Rugekasse i vandløb. Nederst: Nybefrugtede lakseæg i ægbeholderen med grus i bunden. Vandgennemstrømning via riller i opstrøms og nedstrøms ende af ægbeholderen. Klækkede blommesækkyngel (og fint, udfældet materiale) forlod ægkammeret via bredere riller i bunden af kassen. T.h.: Undersiden af rugekassen med huller hvor udfældet materiale skylles ud.

I vandløbene blev rugekasserne fastgjort til en fikseret jernstang, så kasserne kunne følge vandspejlet ved vandstandsændringer. I midten af kassen var der monteret en akvariekasse til opbevaring af æggene (ægbeholderen), som var sænket ned under vandoverfladen. Åvand gennemstrømmede kassen gennem smalle horisontale sprækker på opstrøms og nedstrøms side. Fint materiale faldt fra ægbeholderen ned gennem bredere riller i bunden, til et mindre rum nedenunder, og videre ud i åen. Klækkede lakseyngel kunne ved delforsøg 1 forlade ægbeholderen via riller og udsvømningshuller.

Rugekasserne blev tilset med 2-3 ugers intervaller (se datoer i tabel 2). Derudover blev de nybefrugtede æg tilset d. 22. december 2016, to dage efter befrugtningen, for at registrere en evt. dødelighed indtruffet ved eller kort efter befrugtningen.

Ved tilsyn blev låget på rugekassen løftet, og der blev taget et billede af ægbeholderen inden håndtering og registrering, for at dokumentere mængden af udfældet okker og andet fint materiale i ægbeholderen. Niveauet af okkerfilm på vandoverfladen og udfældet fint materiale (okker) blev vurderet på en skala fra 0 til 3, hvor 3 var det højeste niveau (figur 6). For på bedst mulig vis at isolere effekten af opløst jern på overlevelsen af lakseæg og -yngel blev udfældet materiale (bl.a. okker) skyllet bort fra æggene i kassen ved tilsynene. Dette var også nødvendigt for at kunne registrere og fjerne døde æg og yngel løbende. I perioden med grønne æg (dvs. fra befrugtning frem til øjenægstadiet) hvor lakseæggene er særligt følsomme overfor bevægelse, foregik rensningen ved forsigtigt at skylle ægbeholderen ren med en pipette, til alle æg var blotlagte. På øjenægstadiet er lakseæg mere robuste, og ægbeholderen blev i denne periode rensset ved at løfte kassen forsigtigt op og ned i vandfasen, hvorved fint materiale blev skyllet ud af kassen. Efter bortskylning af fint materiale blev antallet af døde æg registreret, hvorefter de døde æg blev fjernet for at undgå svampe- og bakterieinfektion af de levende æg i kasserne.



Figur 6: T.v. Ægbeholder med okkerniveau 2 og okkerfilmniveau 0. Th.: Ægbeholder med okkerniveau 3 og okkerfilmniveau 3.

Rugekassen i Kjelstrup Bæk blev tilset oftere (uden ekstra rensninger af ægbeholderen), for at observere tidspunkter for overgang til øjenægstadiet, klækning og størrelse af blommesæk med større præcision. Overlevelsen for delforsøg 1, fra befrugtning til kort tid efter at æggene i rugekasserne var klækket, blev opgjort d. 29. marts 2017.

#### 2.1.2. Delforsøg 2: Effekten af opløst jern på overlevelsen af blommesækkyngel

For mere specifikt at undersøge effekten af opløst jern på overlevelsen af blommesækkyngel i den måske kritiske periode hvor æggene klækkes og larverne skal optage ilt over gællerne i vandfasen, blev rugekasserne i delforsøg 2 tilført 50 nye øjenæg fra DCV d. 30. marts 2017, kort inden disse æg klækkede. Lakseæggene fra DCV klækkede senere end æggene i vandløbene pga. lavere vandtemperaturer i opdrætsanlægget.



I delforsøg 2 blev der ikke lagt grus i kasserne for at fiksere de mere robuste øjenæg. Derved blev det lettere at bortskylle fint materiale i kasserne og registrere døde æg og yngel ved tilsynene. Ægkasserne blev monteret med en ny bund med smallere riller, så klækket yngel forblev i kassen. Delforsøg 2 blev afsluttet d. 3. maj 2017, hvor larverne havde opbrugt hele blommesækken, og svømmede rundt i kasserne. Antallet af levende lakseyngel blev opgjort, hvorefter forsøget blev afsluttet.

### 2.1.3. Projektets forløb

Tabel 2 viser datoer for målinger og tilsyn under delforsøg 1 og 2.

*Tabel 2: Datoer for målinger og tilsyn af rugekasser. 1) Dødelighed indtruffet ved eller kort efter befrugtningen blev registreret d. 22. dec. 2) Afslutning på delforsøg 1, og opstart af delforsøg 2 med ilægning af nye øjenæg.*

Måling nr.	1 <sup>1</sup>	2	3	4	5	6	7 <sup>2</sup>	8	9
Dato	20-12-16	5-1-17	19-1-17	8-2-17	22-2-17	7-3-17	29-3-17	18-4-17	3-5-17

Den 22. februar 2017 blev de første øjenæg i rugekasserne registreret. Den 7. marts 2017 blev en forurening af Pårup Bæk opdaget i forbindelse med tilsyn af rugekassen. Kartoffelvand havde lækket fra en gyllebeholder i toppen af vandløbet, hvilket havde resulteret i meget lave iltprocenter i vandet omkring rugekassen. Alle æggene i ægbeholderen døde ved denne forurening.

## 2.2. Effekten af okker på overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel

### 2.2.1. Delforsøg 3: Effekten af okker på overlevelse af lakseæg

Effekten af udfældet jern (okker) på overlevelsen af nybefrugtede lakseæg begravet i gydegrus, blev ligeledes undersøgt ved brug af flydende rugekasser.

Nystrøgne lakseæg og sæd fra DCV blev d. 18. december 2017 transporteret i en kølekasse, ved en temperatur på ca. 5 grader, til fire okkerbelastede vandløb (Tarm Møllebæk, Tarm Bybæk, Pårup Bæk og Abild Å) og ét svagt okkerbelastet vandløb (Kjelstrup Bæk). Æggene blev igen befrugtet ved vandløbene, så æggene svulmede i vand fra forsøgsvandløbet. De befrugtede æg blev overført til to flydende rugekasser i hvert vandløb. I hver rugekasse blev der placeret 50 befrugtede æg. Bunden i kassen var en rist med smallere riller, så ynglen ikke kunne svømme ud. Æggene blev lagt ovenpå ét lag fint grus (10-15 mm diameter) og efterfølgende blev æggene i én af kasserne dækket af et ca. 3 cm tykt gruslag (figur 7). Derved blev æggene i den ene kasse begravet i grus, som i en naturlig gydegravning. Formålet med to rugekasser i hvert vandløb, var at undersøge om der var en forskel på overlevelse af lakseæg begravet i grus (+grus) eller lagt ovenpå grus (÷grus). Rugekasserne blev placeret tæt på hinanden på positioner med ca. samme

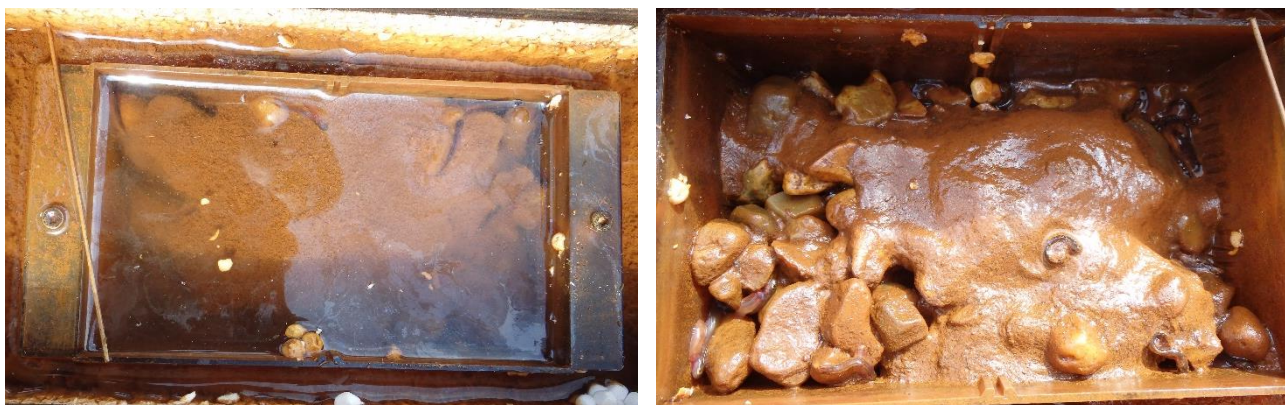


*Figur 7: T.v. grus + med æg begravet i grus i ægbeholderen. T.h. grus ÷ med æg liggende ovenpå et lag grus. Risten i bunden var med smallere riller så ynglen forblev i ægbeholderen.*

strømforhold og således at de bedst muligt var beskyttet mod drivende grene og grøde. Kasserne blev fastgjort på en fikseret jernstang som i forsøg 1. To rugekasser med 50 æg i hver blev placeret i klækkerenderne på DCV som kontrol. Rugekasserne blev tilset med 2-3 ugers interval. Ved tilsynet blev låget på rugekassen løftet, og der blev taget et billede ned i rugekasserne, for at dokumentere niveauet af udfældet okker og andet fint materiale i rugekasserne. Den 22. februar 2017 blev antallet af overlevende æg opgjort for delforsøg 3. På dette tidspunkt var larvernes øjne synlige i æggene (øjenæg). Niveauet af udfældet okker i rugekasserne blev igen vurderet på en skala fra 0 til 3.

#### 2.2.2. Delforsøg 4: Effekten af okker på overlevelse af lakseøjenæg og blommesækkyngel

For at undersøge effekten af okker på overlevelsen af øjenæg og blommesækkyngel, inklusive den kritiske periode hvor æggene klækkes og larvernes gæller eksponeres for det jernholdige vandløbsvand, blev rugekasserne tilført 50 "nye" øjenæg fra klækkerenderne på DCV d. 22. februar 2018. Igen blev æggene i den ene af de to rugekasser i hvert vandløb dækket af gydegrus. Delforsøget blev afsluttet knap to måneder senere d. 17. april 2018. På det tidspunkt var alle de overlevende æg klækket, og larverne havde brugt omkring halvdelen af deres blommesæk. Antallet af overlevende lakseyngel blev opgjort og niveauet af udfældet okker i rugekasserne blev vurderet som beskrevet tidligere (figur 8).



Figur 8: Ægbeholder ved forsøgets afslutning d. 17. april 2018. T.v. i vand, t.h. løftet ud f vandet (der kan ses levende lakseyngel).

Koncentrationen af opløst ferrojern ( $\text{Fe}^{2+}$ ) og total jern, vandtemperatur, iltindhold og pH-værdi blev målt som beskrevet i afsnit 2.

#### 2.2.3. Projektets forløb

Tabel 3 viser datoer for tilsyn under delforsøg 3 og 4.

Tabel 3: Datoer for målinger og tilsyn af rugekasser. <sup>1)</sup> Delforsøg 3 blev afsluttet og delforsøg 4 igangsat med ilægning af nye øjenæg.

Måling nr.	1	2	3	4	5 <sup>1)</sup>	6	7	8	9
Dato	18-12-17	3-1-18	15-1-18	31-1-18	22-2-18	05-3-18	19-3-18	4-4-18	17-4-18

Æggene blev befrugtet og lagt i rugekasser d. 20. december 2017. Den 3. januar 2018 havde en voldsom flom revet de to rugekasser i Tarm Møllebæk løs, og rugekasserne blev fundet 100 meter nedstrøms, stadig med ægbeholderen under vand. Den ene rugekasse i Tarm Bæk manglede låget, æggene var dog stadig begravet i gruset i kassen. I Pårup Bæk var den ene rugekasse strandet på en pæl og var blevet tørlagt, hvorved alle æggene i kassen døde. I Abild Å havde en rugekasse rykket sig løs under flommen og blev fundet 150 meter nedstrøms, æggene var dog fortsat under vand. Den 31. januar 2018 havde den samme



rugkasse igen revet sig løs, og blev fundet med bunden i vejret. Omkring 50 % af æggene var synligt døde (hvide) ved tilsynet.

Den 22. februar 2018, på dagen hvor delforsøg 3 blev afsluttet og delforsøg 4 blev startet op, blev det observeret, at der blev spulet store mængder okker ud fra dræn til et tilløb i toppen af Tarm Bæk-systemet (figur 9). Dette kunne ses ved rugkasserne i Tarm Bæk nedstrøms for, idet vandet dér var meget rødt og grumset.

Ved tilsynet d. 4. april 2018 var alle overlevende æg i rugkasserne klækket, og i flere af kasserne med æg begravet i gruset (+grus) var blommesækynghen svømmet op og lå på grusets overflade.



Figur 9: Ulovlig drænspluling med spulepumpe.

### 2.3. Befrugtningsforsøg

For at undersøge om tiden fra strygning til befrugtning af æggene ved vandløbene havde en effekt på dødeligheden af æggene, blev et kontrolforsøg sat op.

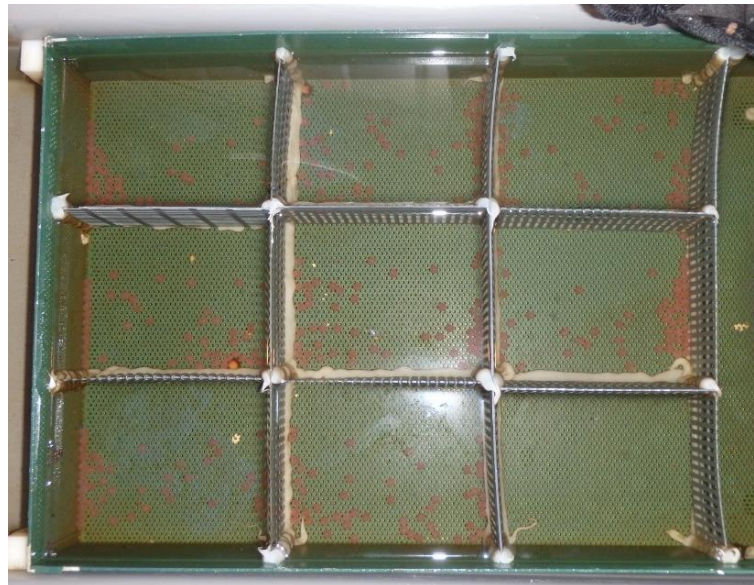
Lakseæg og sæd blev strøget kl. 8.30 om morgenen. Herefter blev 50 æg befrugtet med en times mellemrum, ved i alt 8 befrugtninger. Efter befrugtning svulmede æggene i opdrættsvand i 1 time, hvorefter de blev desinficeret i en Buffodine-opløsning og anbragt i hvert sit rum i en dertil designet rugkasse, placeret i en klækkerende på DCV (figur 10).

Dødeligheden blev fulgt frem til kort efter æggenes klækning d. 22. februar 2018

Kun to ud af de i alt 400 æg i

befrugtningsforsøget på DCV Skjern døde

før tidspunktet for klækning. Ét af de døde æg var fra anden befrugtning (1 time efter strygning), det andet æg var fra fjerde befrugtning (3 timer efter strygning). Ved dette forsøg kunne det altså ikke påvises, at tiden fra strygning til befrugtning af æggene ved vandløbene havde en effekt på dødeligheden af æggene.



Figur 10: Befrugtningsforsøg. Bakke med 50 æg fra otte befrugtninger udført med én times mellemrum, med æg og sæd strøget samme morgen som blev holdt på køl i tiden mellem befrugtningerne.

### 3. Resultater

#### 3.1. Effekten af opløst jern på overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel

##### 3.1.1. Abiotiske faktorer

Tabel 4 viser data for de abiotiske faktorer målt gennem forsøgsperioden 2016-2017 (forsøg 1).

**Tabel 4.** Gennemsnitlig temperatur (°C), iltkoncentration (mg O<sub>2</sub>/l), pH, ferro- og ferrijernkoncentration (mg/l) og total jernkoncentration (mg/l) i forsøgsvandløbene og på opdrættet på DCV i perioden 20. december 2016 til 3. maj 2017. Tallene i parentes angiver minimum- og maksimumværdierne.

Station	Temperatur	O <sub>2</sub>	pH	Ferrojern	Ferrijern	Total jern
Gundesbøl Å	5,4 (2,6-8,3)	11,0 (9,3-12,9)	7,0 (6,8-7,3)	0,45 (0,21-0,96)	3,69 (1,66-11,98)	4,20 (2,01-12,2)
Pårup Bæk	6,6 (4,4-9,7)	8,4 (4,9-9,68)	6,3 (6,2-6,4)	1,50 (0,90-2,65)	1,93 (0,93-5,07)	3,34 (3,58-7,2)
Abild Å	5,4 (2,6-10,7)	10,2 (9,48-11,1)	6,2 (5,8-6,4)	1,07 (0,59-1,62)	3,26 (1,72-4,47)	4,42 (2,55-5,06)
Østerbjerge Bæk	5,4 (3,0-7,4)	10,8 (10,4-11,7)	6,6 (6,5-6,8)	0,33 (0,29-0,47)	2,93 (2,06-6,47)	3,28 (2,38-6,7)
Tarm Bæk	6,2 (4,1-8,2)	10,4 (9,43-10,9)	6,8 (6,7-6,9)	1,06 (0,83-1,43)	5,41 (2,5-13,2)	6,48 (3,3-14,2)
Tarm	5,7	10,8	6,9	0,31	4,16	4,49
Møllebæk	3,1-8,9	10,1-11,7	6,7-7,0	0,13-0,44	1,5-11,24	1,81-11,6
Påbøl Bæk	6,0 (3,5-9,2)	9,7 (9,2-10,4)	6,5 (6,4-6,5)	0,62 (0,47-0,92)	2,43 (1,59-5,44)	3,07 (2,2-5,9)
Nr. Vium Bæk	6,5 (4,5-9,2)	9,5 (9,1-10,0)	6,3 (6,2-6,4)	1,15 (0,74-2,02)	2,13 (0,96-5,46)	3,32 (2,7-6,2)
Kjelstrup Bæk	6,8 (3,4-11,8)	11,3 (10,0-13,2)	6,7 (6,4-7,1)	0,05 (0,00-0,11)	0,72 (0,43-1,40)	0,78 (0,5-1,5)
DCV Anlæg	4,8 (4,1-5,5)	11,7 (9,7-12,6)	7,1 (6,7-7,3)	0,06 (0,01-0,15)	0,28 (0,20-0,42)	0,34 (0,23-0,47)

De målte temperaturer i vandløbene varierede fra 2,6 °C i Abild Å d. 5. januar, til 11,8 °C i Kjelstrup Bæk målt d. 3. maj ved forsøgets afslutning. Der blev ved flere lejligheder målt iltindhold i selve ægbeholderne, og sammenlignet med iltindholdet i vandløbet. Der blev ikke registreret forskel på iltindhold i vandløbet og ægbeholderen.

Der var gode iltforhold i vandløbene gennem hele perioden med undtagelse af Pårup Bæk. I forbindelse med den tidligere nævnte forurening med kartoffelvand i Pårup Bæk blev der målt en iltkoncentration på 4,9 mg/l i vandløbet, og alle æg var døde ved tilsynet. Generelt var iltniveauet lavere i Pårup Bæk i forhold til de andre vandløb gennem forsøgsperioden. Dette kan til dels forklares ved registrering af en betydelig tilledning af spildevand eller møddingsvand via et dræn opstrøms rugekassen.

Der blev ved en enkelt måling registreret en pH-værdi på mindre end 6 (5,8 i Abild Å d. 3. maj 2017). Ellers var den gennemsnitlige pH-værdi  $\geq 6,5$  i fem af vandløbene og 6,2-6,3 i de resterende tre vandløb (tabel 4).

De gennemsnitlige ferrojernkoncentrationer i vandløbene, undtaget Kjelstrup Bæk, varierede fra 0,31 mg/l i Tarm Møllebæk til 1,5 mg/l i Pårup Bæk. Den største koncentration af opløst jern blev målt i Pårup Bæk (2,65 mg/l) i forbindelse med forureningen. Derudover var de højeste ferrojernkoncentrationer målt i forsøgsperioden 2,13 mg/l i Pårup Bæk og 2,02 mg/l i Nr. Vium Bæk d. 8. feb. 2017.

De største koncentrationer af udfældet jern blev målt d. 22. feb. 2017 i Tarm Bæk (13,19 mg/l) og i Gundesbøl Å (11,98 mg/l). I begge vandløb var vandet meget kraftigt okkerbelastet og sigtddybden var lav.

### 3.1.2. Delforsøg 1: Effekt af opløst jern på overlevelsen af lakseæg

De største overlevelser fra befrugtning af æggene til kort efter klækningen blev fundet i Tarm Bæk (94 %) og Østerbjerg Bæk (92 %; tabel 5). De laveste overlevelser blev fundet i Pårup Bæk (alle æg døde ved forureningen), Nr. Vium Bæk (76 %) og på DCV (68 %) hvor 12 æg (24 %) var døde to dage efter befrugtningen.

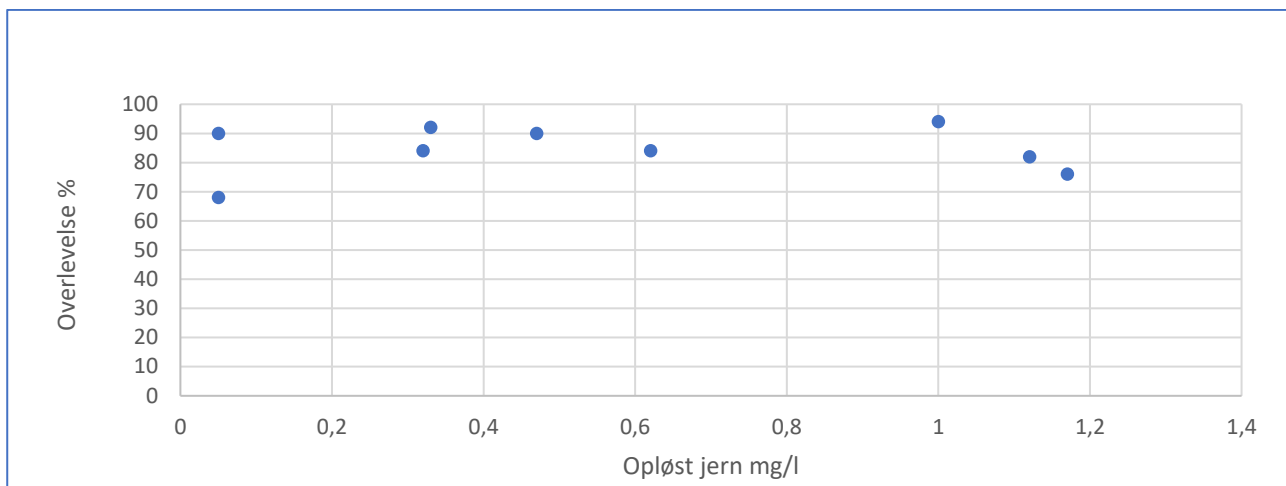
**Tabel 5.** Overlevelse (%) af lakseæg for perioden fra befrugtning d. 20. december 2016 til kort efter klækning d. 29. marts 2017 (måling nr. 1-7) i forsøgsvandløbene og opdrætsfaciliteterne på DCV. Den gennemsnitlige pH og koncentration af ferrojern (mg/l) og total jern (mg/l) er også angivet. Tallene i parentes angiver minimum- og maksimumværdierne.

Station	pH	Ferrojern	Total jern	Overlevelse
Gundesbøl Å	6,9 (6,8-7,2)	0,47 (0,21-0,96)	4,73 (2,01-12,19)	90
Pårup Bæk	6,3 (6,2-6,4)	1,55 (0,90-2,65)	4,18 (2,90-7,20)	NA
Abild Å	6,2 (6,1-6,4)	1,12 (0,59-1,62)	4,07 (2,55-5,06)	82
Østerbjerge Bæk	6,5 (6,5-6,6)	0,33 (0,23-0,47)	3,59 (2,38-6,70)	92
Tarm Bæk	6,8 (6,7-6,9)	1,00 (0,83-1,19)	7,50 (3,32-14,20)	94
Tarm Møllebæk	6,9 (6,7-6,9)	0,32 (0,13-0,44)	5,17 (2,24-11,60)	84
Påbøl Bæk	6,5 (6,4-6,5)	0,62 (0,42-,92)	3,34 (2,55-5,86)	84
Nr. Vium Bæk	6,3 (6,2-6,4)	1,17 (0,74-2,02)	3,60 (2,75-6,20)	76
Kjelstrup Bæk	6,6 (6,4-6,9)	0,05 (0,00-0,12)	0,89 (0,60-1,51)	90
DCV anlæg	7,1 (6,7-7,3)	0,05 (0,01-0,08)	0,35 (0,30-0,47)	68

NA: Alle æg i rugekassen i Pårup Bæk døde som følge af en forurening med kartoffelvand i vandløbet.

Figur 11 viser den procentvise overlevelse af lakseæggene i delforsøg 1 som funktion af den gennemsnitlige koncentration af ferrojern. Ud fra figuren kan der ikke ses nogen effekt af ferrojern på overlevelse af æggene i perioden fra befrugtning til kort efter klækning.





Figur 11: Den kumulerede overlevelse ved delforsøg 1 2016-17, fra befrugtning til kort efter klækning, som funktion af koncentration af opløst jern i åvandet. Pårup bæk er ikke medtaget, da æggene dér døde som følge af en forurening.

### 3.1.3. Delforsøg 2: Effekt af opløst jern på overlevelse af blommesækkyngel

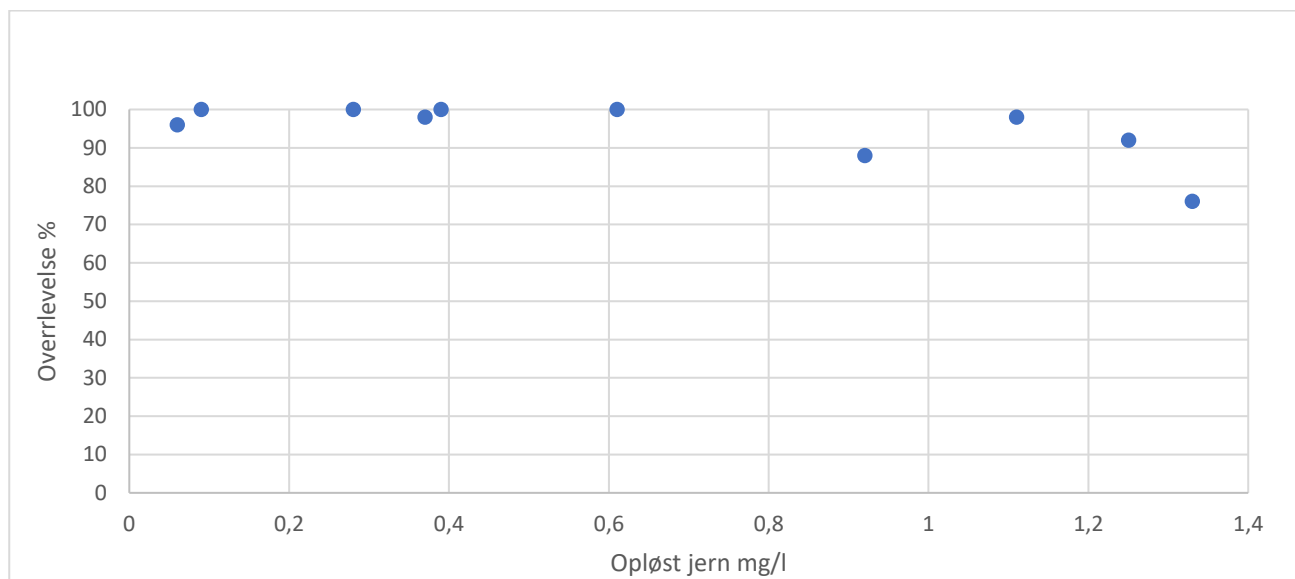
I delforsøg 2, som undersøgte effekten af opløst jern på overlevelsen af blommesækkyngel fra kort før klækning til swim-up stadiet, var overlevelsen på 100 % i Gundesbøl Å, Tarm Møllebæk, Påbøl Bæk og på DCV (tabel 6). Den mindste overlevelse blev registreret i Pårup Bæk (76 %), hvor den største gennemsnitlige koncentration af ferrojern også blev målt (1,33 mg/l).

**Tabel 6.** Overlevelse (%) i forsøgsvandløbene og opdrættet på DCV i perioden 30. marts 2017, kort før klækning, til 3. maj 2017 hvor laksene var på swim-up stadiet (måling nr. 8-10). Gennemsnitlig pH og koncentrationer af ferrojern (mg/l) og total jern (mg/l) er også angivet. Tallene i parentes angiver minimum- og maksimumværdierne.

Station	pH	Ferrojern	Total jern	Overlevelse
Gundesbøl Å	7,2 (7,2-7,3)	0,39 (0,35-0,42)	2,45 (2,01-2,88)	100
Pårup Bæk	6,3 (6,3-6,3)	1,33 (1,27-1,38)	2,51 (2,51-2,51)	76
Abild Å	6,0 (5,8-6,2)	0,92 (0,91-0,92)	3,29 (3,15-3,42)	88
Østerbjerger Bæk	6,7 (6,7-6,8)	0,37 (0,34-0,39)	2,51 (2,51-2,51)	98
Tarm Bæk	6,8 (6,8-6,8)	1,25 (1,06-1,43)	3,94 (3,52-4,36)	92
Tarm Møllebæk	7,1 (7,1-7,1)	0,28 (0,27-0,28)	2,80 (1,81-3,79)	100
Påbøl Bæk	6,5 (6,5-6,5)	0,61 (0,59-0,62)	2,40 (2,18-2,61)	100
Nr. Vium Bæk	6,3 (6,3-6,3)	1,11 (1,06-1,15)	2,62 (2,55-2,68)	98
Kjelstrup Bæk	6,7 (6,8-7,1)	0,06 (0,05-0,07)	0,50 (0,5-0,5)	96
DCV anlæg	6,9 (6,7-7,2)	0,09 (0,03-0,15)	0,30 (0,23-0,37)	100

Figur 12 viser den kumulerede overlevelse i delforsøg 2 som funktion af gennemsnitlige koncentrationer af ferrojern i perioden fra kort før klækning til lakseynglens swim-up stadiet. Ud fra figuren kan der ikke ses

nogen klar effekt af den gennemsnitlige ferrojernkoncentration på overlevelse, dog er der måske en svag tendens til reduceret overlevelse ved gennemsnitlige ferrojernkoncentrationer større end 1,2 mg/l.



Figur 12: Overlevelse som funktion af koncentration af opløst jern ved delforsøg 2, fra kort før klækning af æggene til lakseynglens swim-up stadie.

### 3.2. Effekten af okker på overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel

#### 3.2.1. Abiotiske faktorer

Tabel 7 viser data for de abiotiske faktorer målt i forsøgsperioden 2017-2018 (forsøg 2).

Tabel 7: Gennemsnitlig temperatur (°C), iltindhold (mg O<sub>2</sub>/l), pH, opløst ferrojernkoncentration (mg/l), total-jernkoncentration (mg/l) og udfældet ferrijern i forsøgsvandløbene og opdrætsfaciliteterne på DCV i perioden 18. december 2017 til 17. april 2018. Tallene i parentes angiver minimum- og maksimumværdierne.

Station	Temperatur	O <sub>2</sub>	pH	Ferrojern	Ferrijern	Total jern
Pårup Bæk	6,3 (3,7-9,7)	8,3 (7,6-10,1)	6,3 (5,9-6,6)	1,31 (0,19-1,81)	1,57 (1,26-2,17)	2,88 (1,90-3,60)
Abild Å	4,9 (3,0-9,1)	9,7 (9,0-10,3)	6,3 (5,8-6,6)	1,38 (0,15-2,24)	2,96 (1,83-4,12)	4,36 (2,00-6,00)
Tarm Bæk	6,0 (3,5-11,1)	9,7 (8,8-10,4)	6,7 (6,6-6,8)	1,00 (0,24-1,47)	4,51 (2,43-12,93)	5,53 (3,40-14,00)
Tarm Møllebæk	5,4 (2,8-11,2)	9,9 (8,9-10,6)	6,8 (6,6-7,0)	0,37 (0,07-0,78)	2,73 (1,70-5,76)	3,10 (1,80-6,20)
Kjelstrup Bæk	6,0 (3,5-7,9)	10,6 (8,7-12,6)	6,7 (6,3-7,0)	0,05 (0,00-0,11)	0,89 (0,17-1,46)	0,94 (0,20-1,50)
DCV Anlæg	5,3 (3,5-7,3)	11,7 (10,7-12,1)	7,1 (6,8-7,4)	0,07 (0,01-0,13)	0,54 (0,19-2,28)	0,59 (0,20-2,40)

Vandtemperaturen målt over perioden varierede fra 2,8 °C i Tarm Møllebæk d. 5. marts 2018 til 11,2 °C i samme vandløb målt d. 17. april 2018 ved forsøgets afslutning.

Der var gode iltforhold i vandløbene gennem hele perioden, i Pårup Bæk var der dog generelt lavere iltkoncentrationer, målt ned til 7,6 mg/l.

Der blev registreret pH-værdier under 6 i Pårup Bæk (5,9) og Abild Å (5,8), begge målt d. 4. april 2018. De gennemsnitlige pH-værdier målt over perioden i de to vandløb var på 6,3. Der blev ikke målt pH-værdier under 6,6 i Tarm Bæk og Tarm Møllebæk.

De gennemsnitlige koncentrationer af ferrojern målt i vandløbene over forsøgsperioden (Kjelstrup Bæk med 0,05 mg/l undtaget), varierede fra 0,37 mg/l i Tarm Møllebæk til 1,38 mg/l i Abild Å. De største koncentrationer af ferrojern blev målt i Abild Å d. 15. januar (2,24 mg/l) og d. 5. marts (2,21 mg/l). Der blev registreret meget lave koncentrationer af ferrojern generelt ved målingerne d. 4. januar 2018 (måling nr. 2) og 4. april, 2018 (måling nr. 8). Fælles for disse to måletidspunkter var, at de blev udført umiddelbart efter hhv. en stor flom d. 4. januar og et kraftig regnvejr natten op til d. 4. april, hvilket reducerede koncentrationerne af ferrojern i vandløbene gennem fortynding.

De største koncentrationer af udfældet jern blev målt d. 22. feb. 2018 i Tarm Bæk (12,9 mg/l), hvor der blev registreret drænspluling ud i et tilløb opstrøms for samme dag, og i Tarm Møllebæk d. 5. marts (6,2 mg/l).

### 3.2.2. Delforsøg 3: Effekt af okker på overlevelsen af lakseæg

I delforsøg 3 var overlevelserne højere i rugekasserne hvor æggene var begravet i gruset (+grus) sammenlignet med kasserne hvor æggene lå eksponerede ovenpå et grus lag (÷grus), dog med undtagelse af Pårup Bæk hvor alle æg i +grus-kassen døde som følge af tørlægning (tabel 8). Den største forskel på overlevelsen i to rugekasser placeret i samme vandløb blev registreret i Tarm Møllebæk, hvor 96 % af de grusdækkede æg (+grus) overlevede, mens 28 % overlevede i ÷grus-kassen. I Tarm Bæk overlevede 76 % af æggene i +grus, mens kun 14 % af æggene overlevede i ÷grus. Der var en betydelig forskel på graden af okkeraflejring i de to rugekasser i Tarm Bybæk. Således var +grus markant mindre overdækket af okker (figur 13; tabel 8). I Abild Å kan den forholdsvis ringe overlevelse i ÷grus (32 %) måske delvist skyldes, at rugekassen blev fundet liggende med bunden op d. 31. januar.



Figur 13: Tarm Bæk rugekasser ved afslutning af første delforsøg 22. feb. 2018. T.v.: Grus ÷ kassen var overdækket med okker og silt. Grus + (t.h.) var i mindre grad dækket og indlejret af okker og silt.

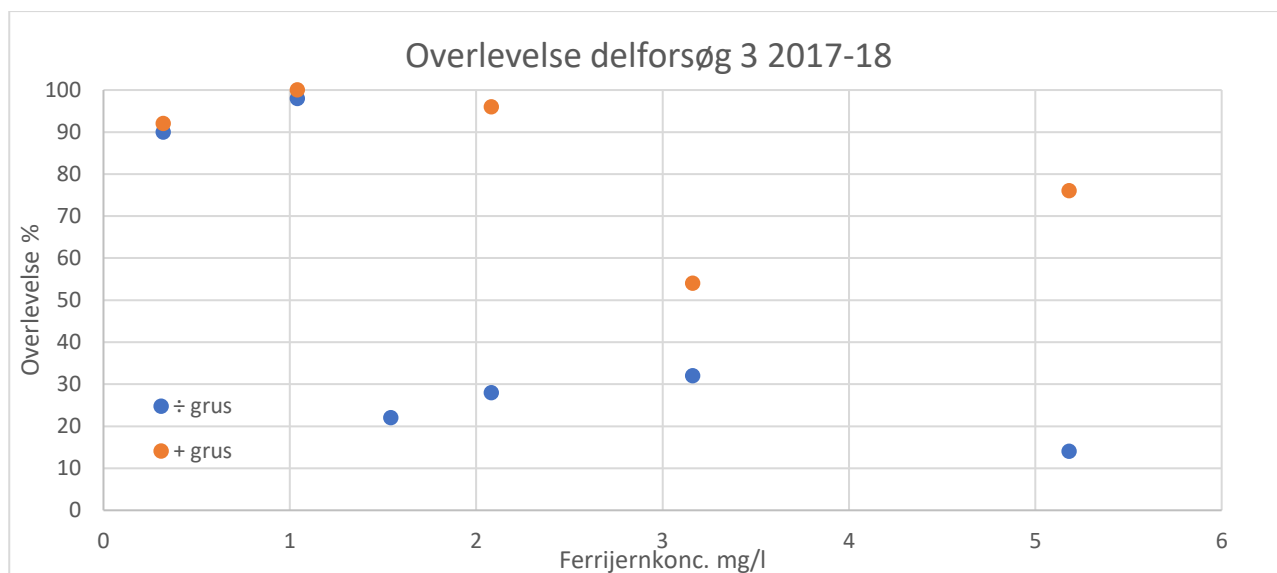
I rugekasserne i Kjelstrup Bæk var der kun ét dødt æg (i ÷grus-kassen) sammenlagt for de to rugekasser i første delperiode, hvilket gav de højeste overlevelser, og den mindste forskel på overlevelse i to rugekasser fra samme vandløb.

**Tabel 8.** Overlevelse (%) af lakseæg i delforsøg 3 fra befrugtningen d. 18. december 2017 til øjenægstadiet d. 22. februar 2018 (måling nr. 1-5). Der var to rugekasser i hvert af forsøgsvandløbene og i opdrætsanlægget. Æggene i én rugekasserne blev fordelt ovenpå et tyndt lag grus (÷ grus) og i den anden dækket af grus (+ grus). Ved forsøgets afslutning blev okkerudfældningen i rugekasserne visuelt vurderet på en skala fra 1-3, i forbindelse med opgørelse af overlevelsen (se teksten for detaljer). Den gennemsnitlige pH og koncentration af ferrojern (mg/l) og ferrijern (mg/l) er også angivet. Tallene i parentes angiver minimum- og maksimumværdierne.

Station	pH	Ferrojern	Ferrijern	Okkerudfældning		Overlevelse	
				÷ grus	+ grus	÷ grus	+ grus
Pårup Bæk	6,4 (6,3-6,6)	1,28 (0,19-1,76)	1,56 (1,26-2,17)	3	3	22	N/A
Abild Å	6,4 (6,3-6,6)	1,40 (0,40-2,24)	3,15 (1,83-4,12)	3	3	32	54
Tarm Bæk	6,7 (6,6-6,8)	0,96 (0,24-1,23)	5,16 (2,55-12,93)	3	2	14	76
Tarm Møllebæk	6,8 (6,6-6,9)	0,46 (0,08-0,78)	2,06 (1,70-2,54)	3	3	28	96
Kjelstrup Bæk	6,6 (6,3-6,8)	0,06 (0,00-0,11)	1,06 (0,70-1,46)	1	1	98	100
DCV Anlæg	7,2 (7,0-7,4)	0,06 (0,01-0,09)	0,33 (0,22-0,53)	0	0	90	92

N/A: Alle æg dækket af grus døde i Pårup Bæk fordi rugekassen var tørlagt i 4 dage.

Figur 14 viser æggenes overlevelse fra befrugtning til øjenægstadiet som funktion af gennemsnitlig koncentration af udfældet ferrijern i forsøgsvandløbene gennem perioden for delforsøg 3. Der ses en klar tendens til, at overlevelsen blev reduceret ved gennemsnitlige koncentrationer af udfældet ferrijern større end 1,5 mg/l i ÷grus kassen hvor æggene lå ovenpå gruset i ægbeholderen. Overlevelsen var reduceret i de to +grus-kasser med gennemsnitlige koncentrationer af ferrijern højere end 3 mg/l.



Figur 14: Overlevelse af lakseæg i delforsøg 3, perioden fra befrugtning til øjenægstadiet, som funktion af gennemsnitlig koncentrationen af udfældet ferrijern i forsøgsvandløbene. Blå punkter viser overlevelser i rugekasser med æg ovenpå et tyndt lag grus i ægbeholderen, røde prikker overlevelse af æg begravet i grus i ægbeholderen.

### 3.2.3. Delforsøg 4: Effekt af okker på overlevelsen af lakseøjenæg og blommesækclarver

I delforsøg 4 var overlevelsen fra øjenæg til blommesækclarve ligeledes betydeligt højere i +grus-kasserne end i ÷grus-kasserne i både Abild Å, Tarm Bæk og Tarm Møllebæk (tabel 9). Den laveste overlevelse af æg i +grus blev registreret i Tarm Møllebæk (70 %). Den laveste overlevelse af æg i ÷grus blev fundet i Abild Å (12 %), hvor grus, døde æg og larver i kassen var dækket af et tykt lag fint okker. I flere tilfælde var larverne i denne rugekasse sandsynligvis døde i forbindelse med klækningen, idet larverne var delvist ude af æggene (figur 15). I perioden omkring klækningen (måling 6 og 7) blev der målt høje koncentrationer af ferrojern i Abild Å (1,98 og 2,21 mg/l, figur 17).



Figur 15: Rugekassen grus ÷ i Abild Å d. 17. april 2018. Fint okkersvæv dækkede æg og grus, flere æg var døde omkring tidspunktet for klækning, ved flere æg var hovedet af larven ude af ægget (t.v.).

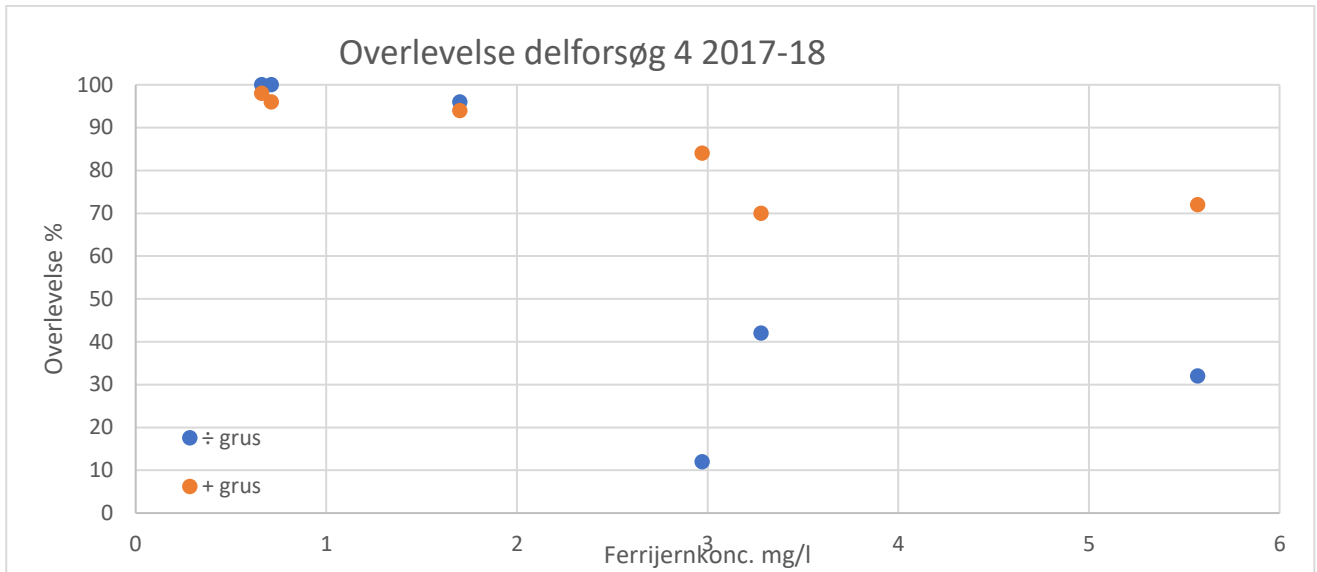
I Pårup Bæk, Kjelstrup Bæk og på DCV var overlevelserne høje (> 90 %) i begge rugekasser.

**Tabel 9.** Overlevelse (%) af lakseæg fra øjenægstadiet til blommesækstadiet i forsøgsvandløbene og opdrætsfaciliteterne på DCV i perioden 22. februar 2018 til 17. april 2018 (måling nr. 5-9). Æggene blev enten fordelt ovenpå et tyndt lag grus (÷ grus) eller dækket af grus (+ grus) i rugekasserne. Ved afslutningen af delforsøg 4 blev graden af udfældet okker i rugekasserne visuelt vurderet på en skala fra 0-3 (se teksten for detaljer). Den gennemsnitlige pH og koncentration af ferrojern (mg/l) og ferrijern (mg/l) er også angivet. Tallene i parentes angiver minimum- og maksimumværdierne.

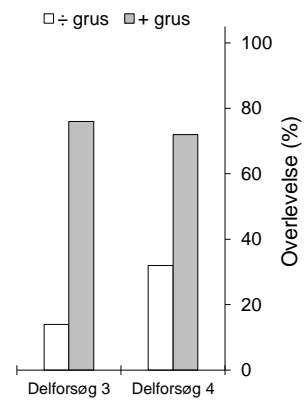
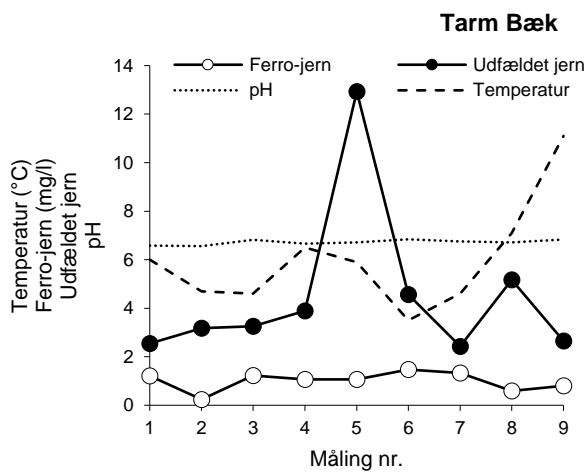
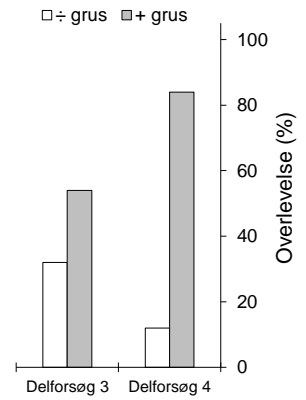
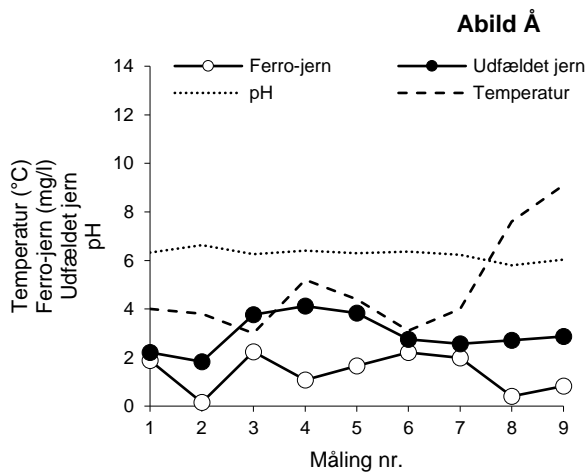
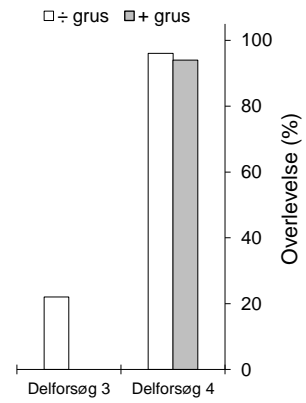
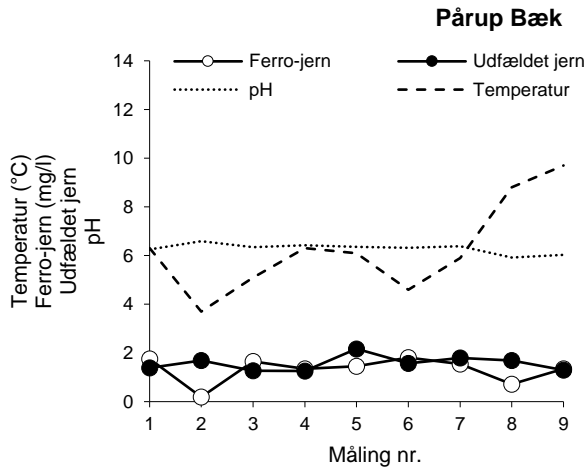
Station	pH	Ferrojern	Ferrijern	Okkerudfældning		Overlevelse	
				÷ grus	+ grus	÷ grus	+ grus
Pårup Bæk	6,2 (5,9-6,4)	1,38 (0,72-1,81)	1,70 (1,29-2,17)	2	3	96	94
Abild Å	6,1 (5,8-6,4)	1,41 (0,40-2,21)	2,95 (2,57-3,83)	3	0	12	84
Tarm Bæk	6,8 (6,7-6,8)	1,05 (0,59-1,47)	5,55 (2,43-12,93)	3	3	32	72
Tarm Møllebæk	6,9 (6,8-7,0)	0,30 (0,07-0,48)	3,29 (2,20-5,76)	3	3	42	70
Kjelstrup Bæk	6,8 (6,7-7,0)	0,05 (0,00-0,11)	0,68 (0,17-1,03)	0	1	100	96
DCV Anlæg	7,0 (6,8-7,2)	0,08 (0,04-0,13)	0,68 (0,19-2,28)	0	0	100	98

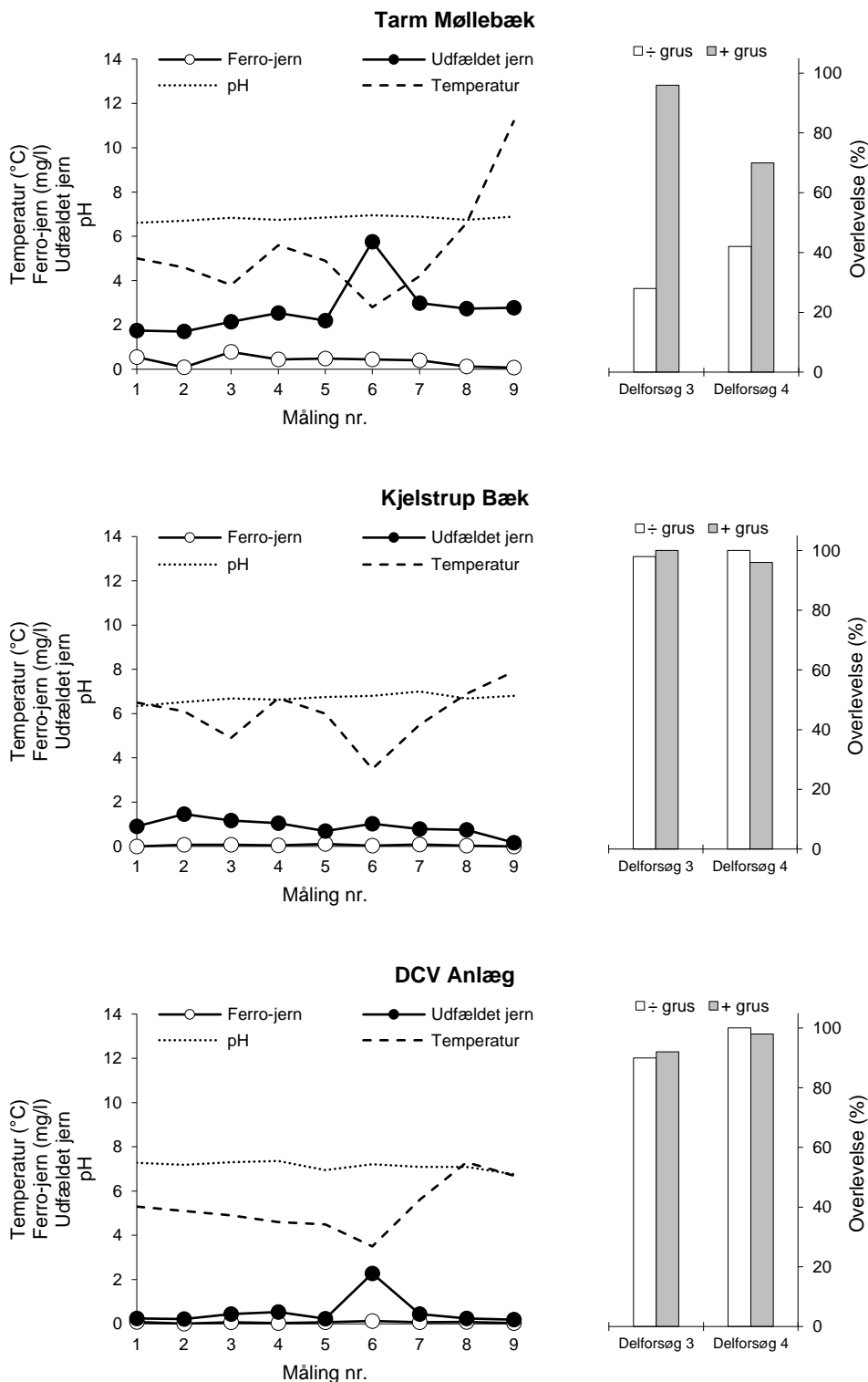
Figur 16 viser overlevelsen fra øjenæg (d. 22. feb.) frem til blommesækkyngel (d. 17. april), som funktion af den gennemsnitlige koncentrationen af udfældet ferrijern målt i forsøgsvandløbene. Der ses en tendens til, at overlevelsen falder med stigende koncentration af udfældet ferrijern i både +grus og ÷grus. Der var generelt højere dødeligheder i ÷grus-kasserne end i +grus-kasserne ved ferrijernkoncentrationer større end ca. 3 mg/l.





Figur 16: Overlevelse af lakseæg i delforsøg 4, perioden fra øjenægstadiet til blommesækkyngel, som funktion af gennemsnitlig koncentrationen af udfældet ferrijern i forsøgsvandløbene. Blå punkter viser overlevelser i rugekasser med æg ovenpå et tyndt lag grus i ægbeholderen, røde prikker overlevelse af æg begravet i grus i ægbeholderen.





Figur 17: Procentvis overlevelse (t.h.) af lakseæggene rugekasserne i forsøgsvandløbene og i opdrætsfaciliteterne på DCV Skjern, ved delforsøg 3 og 4 i perioden 18. december 2017 til 17. april 2018. Ved måling nr. 5 blev overlevelsen for delforsøg 3 (perioden fra befrugtning til øjenæg), opgjort, og 50 ny øjenæg blev lagt i kasserne til delforsøg 4. Temperatur (-----), pH (.....), ferro-jern (—o—) og ferrijern (—●—).

## 4. Diskussion

### 4.1. Effekten af opløst jern på overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel

#### 4.1.1. Abiotiske faktorer

Den højeste koncentration af opløst jern (ferrojern) registreret i undersøgelsesperioden blev målt til 2,13 mg/l i Pårup Bæk (undtaget ved forureningen i Pårup Bæk) på en frostkold dag med lav vandtemperatur og vandføring under middel. De højeste koncentrationer af ferrojern bliver generelt målt ved lave vandtemperaturer og små vandføringer, hvilket skyldes at ferrojernet langsommere bliver omdannet til ferrijern ved kolde temperaturer (Madsen, 2004), og at koncentrationen af ferrojern fortyndes mindre i tørre perioder med små vandføringer.

Aluminium på opløst form kan være dødeligt for fisk ved pH-værdier omkring og under 5,5 (Geertz-Hansen *et al*, 1984). Der blev kun i to tilfælde målt pH-værdier på lige under 6, og generelt var pH-værdien på et niveau der ikke vurderes at have påvirket livet i vandløbet. Det kan dog ikke afvises, at der gennem forsøgsperioden har været endnu lavere pH-værdier i vandløbene. Denne viden havde krævet opstilling af pH-loggere i forsøgsvandløbene. Der foreligger ingen kendt viden om at aluminium skulle være et problem i mellemstore, vestjyske vandløb, men muligheden kan ikke afvises (Okkerredegørelse, 1984).

Iltindholdet i vandløbene var relativt høje gennem perioden, igen undtaget ved forureningen i Pårup Bæk. For æg af laksefisk indtræffer moderate dødeligheder ved iltkoncentrationer på 5 mg/l, og 3 mg/l er den nedre grænse for deres overlevelse (Carter, 2005). Det er sandsynligt at iltindholdet i Pårup Bæk har været under 5 mg/l i op til flere dage i forbindelse med forureningen, hvilket forklarer at alle æggene i rugekassen døde.

#### 4.1.2. Delforsøg 1: Overlevelse af lakseæg

Der kunne ikke påvises en direkte dødelig effekt af opløst jern på lakseæg i forsøgsvandløbene i perioden fra befrugtning af æggene og frem til klækningen. Der blev ikke registreret overlevelser på mindre end 70 % i perioden, på nær i Pårup Bæk, hvor alle æg som nævnt døde.

I rugekassen placeret i klækkerenden på DCV, hvor den laveste overlevelse blev registreret i delforsøg 1, var dødeligheden på 24 % to dage efter befrugtning, på trods af en meget lav koncentration af opløst jern i vandet ved befrugtningen. Dette resultat skyldes sandsynligvis en ringere befrugtningssucces for æggene på DCV, selv om kontrolforsøget på DCV viste, at tiden mellem strygning og befrugtning, inden for de første 8 timer efter strygning, ikke havde nogen effekt på befrugtningssuccesen.

Overfladen på lakseæggene i de okkerbelastede vandløb blev hurtigt let okkerfarvede pga. udfældet ferrijern (okker). Denne udfældning af jern på æggenes overflade forårsagede ingen øget dødelig. Udfældet okker blev fjernet fra ægbeholderen i rugekasserne ved hvert tilsyn for at isolere effekten af den opløste ferrojern bedst muligt, og minimere den potentielle effekt af akkumuleret okker i rugekasserne over tid. Ægbeholderne rummede ofte betydelige mængder (meget fint) okker ved tilsynene, men hverken udfældet okker, eller proceduren med at fjerne det udfældede okker fra rugekasserne påvirkede overlevelsen af æggene.

I Okkerredegørelsen (Miljøstyrelsen, 1984) og Ernst & Wiberg-Larsen (1986) fremgår det, at ferrojernkoncentrationer på 0,5-0,7 mg/l er kritiske for ørred, idet "æg- og larveudvikling i gruset trues". Resultaterne fra delforsøg 1 i nærværende undersøgelse viste, at ferrojern i koncentrationer på op til gennemsnitligt 1,15 mg/l, med maks. koncentrationer på op til 2,02 mg/l ikke i sig selv havde nogen påviselig, direkte effekt på overlevelse af lakseæg eller nyklækkede blommesækkyngel.



#### 4.1.3. Delforsøg 2: Effekt af opløst jern på overlevelse af blommesækkyngel

Resultaterne fra delforsøg 2 viste ingen effekt af opløst jern på overlevelsen af blommesækklarver i den godt én måned lange periode fra kort før klækning til larverne var på swim-up stadiet. Ved gennemsnitlige koncentrationer af ferrojern i forsøgsvandløbene på op til 1,33 mg/l og maksimale koncentrationer på op til 1,43 mg/l blev der således ikke registreret overlevelser på mindre end 76 %.

Det formodes, at opløst jern kan skade eller nedsætte gællernes funktion hos fisk, hvis opløst jern udfældes på gællerne (Phippin, 2008). Gællerne hos helt nyklækkede lakseyngel er sandsynligvis særligt følsomme, men der blev ikke registreret nogen generel større dødelig i ægbeholderne ved tilsynet umiddelbart efter klækningen i delforsøg 2. Dog var 12 af 50 æg i døde ved første tilsyn i Pårup Bæk. Der blev målt høje koncentrationer af opløst jern (1,5 mg/l) i Pårup Bæk både dagen inden og 17 døgn efter (1,4 mg/l) de nye æg blev placeret i rugekassen. Dette antyder muligvis en begyndende større dødelighed for nyklækkede lakseyngel ved koncentrationer af ferrojern på omkring 1,4-1,5 mg/l. Dog bør dette resultat vurderes med det forbehold, at der gennem forsøgsperioden var en permanent lavere iltmætning i Pårup Bæk (pga. spildevandstilførsel opstrøms rugekassens placering) sammenlignet med andre vandløb.

#### 4.1.4. Opsummering af delforsøg 1 og delforsøg 2

Resultaterne fra de to delforsøg viste samlet set, at det opløste jern i de okkerbelastede vandløb ikke direkte påvirkede overlevelsen for hverken lakseæg eller blommesækkyngel. Der blev ikke frembragt resultater af overlevelser af laks over en hel, uforstyrret periode fra befrugtning til færdigudviklet lakseyngel, idet der kom ny øjenæg i kasserne umiddelbart efter klækning. Denne forsøgsopsætning blev valgt, for at undersøge dødelighed på de to forskellige stadier, æg og blommesækkyngel, og for at skærpe fokus på den potentielt kritiske periode omkring selve klækningen. Idet klækningen indgik i begge delforsøg, og forsøgene dermed overlappede hinanden udviklingsmæssigt, er der, set i lyset af de høje overlevelser i hvert delforsøg, ikke grund til at formode, at resultaterne havde været væsentlig anderledes, hvis der kun var lavet én undersøgelse af overlevelsen over hele perioden fra befrugtning til swim-up stadiet.

Rugekasserne som blev anvendt i nærværende undersøgelse er ikke tidligere blevet brugt til at vurdere overlevelsen af æg- og yngel i okkerbelastede vandløb. Dehli (2012) undersøgte overlevelse af nybefrugtede lakseæg på en række positioner i større vandløb i Storå-systemet, ved brug af små netposer, ophængt i PVC rør over vandløbsbunden, for at forhindre sedimentering omkring æggene. Dehli (2012) fandt gennemsnitlige overlevelser af lakseæg frem til et tidspunkt kort før klækning på 73 %. Der var signifikant dårligere overlevelse på stationer opstrøms vandkraftsøen ved Holstebro, og den afgørende årsag hertil blev antaget at være en dårligere vandkvalitet, hvor især okker blev fremhævet som en mulig udslagsgivende faktor i forhold til de ringere overlevelser.

Geertz-Hansen *et al.* (1984) anbragte øjenæg fra ørreder i perforerede petriskåle i vandfasen, for at undersøge den toksiske virkning af ferrojern på ørredæg i okkervandløb. Resultatet blev opgjort efter én måned, og man fandt en overlevelse på ca. 75 % i vandløb med gennemsnitlige ferrojernkoncentrationer under 1 mg/l, mod ca. 34 % ved koncentrationer på 1-2 mg/l og ca. 11 % ved ferrojernkoncentrationer større end 2 mg/l. Flere af petriskålene var dog delvist tilslammede af okker, hvilket gjorde det svært at isolere en samlet effekt af ferrojern og pH. Da datamaterialet også var begrænset, blev det derfor kun forsigtigt konkluderet, at en toksisk effekt hos øjenæg synes at forekomme ved ferrojernkoncentrationer på over 1 mg/l.

## 4.2. Effekten af okker på overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel

### 4.2.1 Abiotiske faktorer

Delforsøg 3 blev påvirket af en voldsom flom i starten af januar 2018, hvor rugekassen +grus i Pårup Bæk strandede på en pæl og blev tørlagt ved faldende vandstand efter flommen, hvorved alle æg døde. i Abild Å havde ÷grus rykket sig løs ved endnu en flom d. 31. januar, og var vendt med bunden op. Der var dog levende øjenæg i beholderen ved afslutningen af delforsøg 3, hvilket viste at ægbeholderen ikke havde været helt tørlagt.

De gennemsnitlige ferro- og ferrijernkoncentrationer i vandløbene var på samme niveau som ved undersøgelserne i 2016-2017. Den største ferrojernkoncentration blev målt til 2,24 mg/l (i Abild Å), og den klart største ferrijernkoncentration på 12,93 mg/l blev målt i Tarm Bæk, på en dag hvor der blev registreret spuling af dræn i det øverste af Tarm Bæk-systemet.

### 4.2.2. Delforsøg 3: Overlevelser af lakseæg som effekt af okker

I den knap to måneder lange forsøgsperiode fra befrugtningen af æggene til de udviklede sig til øjenæg, var overlevelserne større end 90 % i både kontrol-rugekasserne i klækkerenden på DCV og i det let okkerpåvirkede vandløb, Kjelstrup Bæk. I de fire moderat-kraftigt okkerbelastede vandløb var overlevelserne generelt betydeligt mindre (14-96 %). Undersøgelserne indikerede dermed, at høje koncentrationer af udfældet jern (gennemsnitlige koncentrationer af ferrijern: 1,56-5,16 mg/l) havde en negativ effekt på overlevelsen af lakseæggene i rugekasserne. Dødeligheder af lakseæg i delforsøg 3 var således også væsentlig større i de okkerbelastede vandløb, end ved delforsøg 1 udført året før, hvor udfældet okker blev fjernet fra ægbeholderne løbende gennem forsøgsperioden.

I de okkerbelastede vandløb Tarm Møllebæk og Tarm Bybæk var overlevelserne betydeligt højere for æg begravet i gydegrus (+grus), end for æg placeret ovenpå gydegrus (÷grus). Det blev observeret, at æggene som var placeret ovenpå et lag grus (÷grus) lå begravet i et tætomslyttende lag af udfældet okker ved delforsøgets afslutning. Æggene som lå begravet i grus (+grus) var i mindre grad indlejret i okker, det blev visuelt vurderet, at der ikke var tilnærmelsesvis samme okkeraflejring nede i gruset, som ovenpå gruset. Dette kan skyldes, at den vandstrøm som bliver trykket gennem poregangene i gruset, og som forsyner æggene med iltholdigt vand, også er kraftig nok til at reducere okkerindlejringen i gruset. Whitlock-Vibert-bokse til fiskeæg (<http://www.boite-vibert.com>) kan anvendes til ophjælpning af fiskebestande og undersøgelser af overlevelse af æg og spæd yngel i gydebanker. Ved undersøgelser af ægoverlevelse i gydebanker anbefales det at lægge grus ned i Vibert-boksen, sammen med æggene, for forhindre tilslamning i boksen i vandløb med betydelig sediment- og eller okkertransport (*Geertz et al, 1984*), hvilket understøtter at vandstrømmen gennem gydegrus i nogen grad kan holde de små lommer i gruset fri for fint sediment og okker. Der var generelt et tykt okkerlag ovenpå gruset i rugekasserne i alle fire vandløb, og dette skyldes sandsynligvis, at en mindre strøm og turbulens i den frie vandfase over gruset i ægbeholderen har faciliteret en kraftig okkeraflejring ovenpå gruset.

### 4.2.3. Delforsøg 4: Overlevelser af lakseøjenæg og blommesækklarver som effekt af okker

Overlevelser for æg og blommesækkyngel var lave (12-42 %) i de tre ÷grus rugekasser i Abild Å, Tarm Bæk og Tarm Møllebæk. I +grus kasserne var overlevelserne betydeligt højere (70-84 %). Som i delforsøg 3 er det sandsynligt, at den kraftige okkertilslamning som blev observeret ovenpå gruset i de tre ÷grus rugekasser, har forårsaget en større dødelighed i ægbeholderne, mens overlevelser i +grus kasserne har været højere på grund af mindre okkertilslamning nede i gruset. Høje overlevelser (96-100 %) i ÷grus rugekasserne på DCV og i Kjelstrup Bæk understøtter, at de reducerede overlevelser i ÷grus rugekasserne i de okkerbelastede vandløb kan skyldes, at øjenæg og blommesækkyngel kvæles i det aflejrede okkerslam. Den

høje overlevelse i ÷grus kassen i Pårup Bæk (96 %) kan måske forklares ved, at okkertilslamningen på gruset i netop dén rugekasse var knap så kraftig, som i de øvrige ÷grus-kasser i okkerbelastede vandløb, og at den gennemsnitlige koncentration af ferrijern i Pårup Bæk var betydeligt mindre end i de andre okkerbelastede forsøgs vandløb.

I ÷grus rugekassen i Abild Å døde en del blommesækynghen formentlig i forbindelse med ægklækningen, idet disse larver var kommet delvist ude af æggene inden de døde. Det er sandsynligt at ynglen døde af kvælning, som følge af at deres gæller blev fyldt med okker, og derfor ikke kunne optage nok ilt. Årsagen kan også have været en anden ukendt faktor. Den samme type dødelighed (dvs. hvor larverne døde da de var delvist ude af ægget) blev dog ikke observeret i +grus kassen i det samme vandløb. Derfor er den oplagte forklaring på de forskellige typer af dødeligheder igen æggernes placering i ægbeholderne, dvs. hvorvidt de blev begravet i gruset eller lå på gruset overflade.

Der blev registreret en meget høj koncentration af ferrijern som følge af drænspulinger i Tarm Bæk på dagen hvor "nye" øjenæg blev lagt i kassen. I Tarm Møllebæk blev der ligeledes registreret et stort peak i ferrijern på en af dagene for okkermålinger, som formentlig også skyldtes drænspulning opstrøms for. Trods de resulterende meget høje jernkoncentrationer i vandet, kunne der ikke registreres højere dødeligheder i +grus rugekasserne i de to vandløb ved delforsøgets afslutning. De store mængder okker som frigives ved drænspulinger, kan muligvis være en kritisk faktor for æg og yngel i naturlige gydegravninger, hvis vandgennemstrømningen i gruset ikke er tilstrækkelig til at forhindre okkerindlejring (eksempelvis hvis der er stor sandindlejring i gydegruset i forvejen). I nærværende forsøg var der ingen sandindlejring og kun begrænset okkerindlejring nede i gruset i ægbeholderne, på trods af peaks med meget høje koncentrationer af udfældet jern. Det er derfor meget sandsynligt, at det er en kombineret effekt af okker- og sandindlejring, som reducerer vandgennemstrømningen og iltforsyningen til et niveau, hvor iltkoncentrationerne i gydegruset bliver for lave til at lakseæg og -yngel kan overleve. Derfor kan effekterne af drænrørsspuling i okkerbelastede områder formentlig være meget mere skadelige for laksebestandene i vandløbene, end resultaterne fra nærværende forsøg viser.

#### 4.2.4. Opsummering af delforsøg 3 og delforsøg 4

Ægbeholderne blev tømt og rensed ved overgangen fra delforsøg 3 til delforsøg 4, hvor "nye" øjenæg blev lagt i rugekasserne. En længere uforstyrret periode, uden rensning af ægbeholderen for okker, ville formentlig have resulteret i større okkerindlejring i gruset og tilslamning af æg og yngel. Det er derfor sandsynligt, at overlevelserne af æg og yngel i de okkerbelastede vandløb havde været betydeligt mindre, hvis forsøget ikke var blevet delt op i to de faser: (1) overlevelsen fra befrugtningen af æg til øjenæg og (2) overlevelsen af øjenæg frem til larvernes swim-up stadiet.

Overlevelsen for æg og yngel begravet i gydegrus (+grus) var ikke under 50 % i de to delforsøg (undtaget i den tørlagte rugekasse i Pårup Bæk). Okker er således heller ikke den eneste mulige årsag til store dødeligheder for æg og yngel i gydegravninger i okkerbelastede vandløb. Det er også vist, at indlejring af sand og andet sediment kan resultere i store dødeligheder. Nielsen (2003) viste eksempelvis at dybden i gydebankskerne hvor ørredæg og yngel er i stand til at overleve reduceres i takt med større sandtransport og sedimentindlejring. Undersøgelsen viste også at overlevelsen for ørredæg og yngel i gydebankskerne var betydelig højere nedstrøms for et etableret sandfang i forhold til opstrøms for dette. Okker kan formentlig forstærke den negative effekt af sedimentindlejring, hvis små okkerpartikler kitter de helt små mellemrum i allerede sandindlejrede gydegravninger til. Dette vil resultere i at strukturen på gydebanken bliver hård og kompakt og endnu mindre gennemtrængelig for iltrigt vand. Dette kan være en mulig årsag til at Dehli (2012) fandt, at alle lakseæg døde i klækkerør som blev nedgravet i gydegrus i de mere okkerpåvirkede

vandløb opstrøms vandkraftsøen i Storåen. Overlevelsen var således generelt betydeligt større nedstrøms vandkraftsøen, hvor okkerbelastningen blev vurderet til at være mindre.

## 5. Konklusion

Resultaterne fra delforsøg 1 og 2 viste, at koncentrationen af opløst jern (ferrojern) ikke havde nogen direkte effekt på overlevelse af lakseæg og blommesækkyngel placeret i flydende rugekasser i mellemstore, okkerbelastede vandløb. Der blev målt koncentrationer af opløst jern på op til 2,03 mg/l i vandløbene over forsøgsperioden, og gennemsnitlige koncentrationer på op til 1,55 mg/l, uden at det resulterede i øgede dødeligheder for æg- og blommesækklarver.

Delforsøg 3 og 4 viste derimod, at der generelt var væsentlig større dødeligheder for lakseæg og blommesækkyngel i rugekasser i okkerbelastede vandløb, sammenlignet med overlevelserne i hhv. et svagt okkerbelastet vandløb og i en klækkerende i lakseopdrættet på DCV (kontrol). Således var gruset i rugekasserne i okkervandløbene også generelt dækket af et tykt lag okker ved afslutning af delforsøgene.

Der blev fundet markant større overlevelser i rugekasser i okkerbelastede vandløb, hvor æg og lakselarver var begravet i gydegrus (+grus), sammenlignet med de rugekasser hvor æggene lå eksponeret på et enkelt lag grus i bunden af ægbeholderen (-grus). I næsten alle ægbeholdere var gruset dækket af et tykt lag udfældet okker ved forsøgenes afslutning, men der var altså markant højere overlevelse af æg og yngel som havde ligget begravet nede i gydegrus. Forklaringen på dette er formentlig, at vandstrømmen gennem porøst gydegrus i højere grad holder æg og blommesækkyngel fri for omsluttende okker, hvorimod æggene placeret på overfladen af gruset blev indhyllet i et tykt lag okker, som kan have medført en højere dødelighed pga. iltmangel.

Det tyder derfor på, at koncentrationerne af opløst jern i mellemstore okkerbelastede vandløb ikke er en direkte årsag til øget dødelighed af lakseæg og blommesækkyngel. Derimod er det formentlig det udfældede jern (okker) som generelt påvirker bestanden af laksefisk negativt i de okkerbelastede vandløb. Okker påvirker samfundet af vandplanter ved at nedsætte vandets sigtddybde og lysindfald. Ligeledes kan der dannes et lag af udfældet okker på planternes overflade som yderligere nedsætter eller stopper planternes fotosyntese og dermed vækst. Uden planter og mikroalger i vandløbene reduceres fødetilgængeligheden og levesteder for både fisk og deres byttedyr i vandløbene. Kombinationen af mikroskopiske okkerpartikler i vandløbene, vandrende sand og organisk materiale, kan også resultere i mere kompakte og ødelæggende sedimentindlejninger i gydegruset. Dette kan føre til højere dødeligheder af lakseæg og yngel i gydegravningerne, og gruset kan blive så kompakt at gydelaksene får svært ved at lave deres gydegravninger. Nærværende undersøgelser sandsynliggør også at okker kan reducere overlevelse hos lakseæg og -yngel, for ynglens vedkommende formentlig gennem okkeraflejninger på fiskenes gæller.

## 6. Perspektivering

At koncentrationerne af opløst jern i mellemstore, okkerbelastede vandløb ikke direkte er dødelige for lakseæg og yngel, ændrer ikke på at disse vandløb meget sjældent rummer bare tilnærmelsesvist tilfredsstillende bestande af laksefisk. Enkelte betydelige forekomster af lakse- og eller ørredyngel i okkerbelastede vandløb er dog blevet registreret i eksempelvis nedre Østerbjerger Bæk (WinBio, st. 2140003) og nedre Påbøl Bæk Å (WinBio, st. 2021435) i Skjern Å-systemet og i Agerbæk i Sneum Å-systemet (WinBio st. 1096-02862), på strækninger hvor der er etableret gydebanker. Derfor er det forsat vigtigt at have fokus på at ophjælpe bestande af laksefisk i de okkerpåvirkede vandløb, selv om det vil kræve store og målrettede indsatser at opnå god økologisk tilstand for fiskebestandene.



I det vandløbsforbedrende arbejde i okkerbelastede vandløb bør fokus fremover, i langt højere grad, være på at holde jernet bundet i jorden i oplandene til vandløbene. Jernholdige forbindelser nedbrydes og jern udvaskes når vandmættet jord drænes og tørlægges. Man bør derfor forsøge i videst mulig udstrækning at mætte de mest jernholdige områder med vand igen. I områder hvor dette ikke er muligt, bør jernholdigt vand fra drænedede områder føres gennem okkerrensingsbassiner inden vandet løber i recipientvandløbene.

Det er også vigtigt at forbedre de fysiske forhold i vandløbene og fremme vandløbenes selvrensende egenskaber. Vandplanter som bl.a. vandranunkel kan øge udfældning og sedimentation af okker og dermed have en stor rensende effekt i okkerbelastede vandløb. Vandplanterne danner desuden mange, ofte helårige, levesteder og skjul for både smådyr og fisk. Noget af det udfældede okker skylles ud af vandløbene i forbindelse med store vandføringer, hvor okkeren bliver fortyndet af de store vandmængder. Man kan forsøge at udplante helårige, okkertolerante vandplanter, som vandranunkelarter og tusindbladararter på eksempelvis restaurerede strækninger i okkervandløb, for at øge chancerne for at få en god sammensætning af vandplanter og en naturlig okkerrensning i vandløbet. Dette kræver dog tilladelser fra bl.a. veterinærmyndigheder, og man bør anvende planter indsamlet fra samme vandløb eller vandsystem.

Vedligeholdelse ved grødeskæring og oprensning i okkerbelastede vandløb bør ideelt set ikke finde sted. Om nødvendigt bør vandplanterne kun skæres manuelt i strømrander, og helst kun i relativt kolde perioder med betydelige vandføringer, så koncentrationerne af okker ikke bliver så høje at fisk og dyr dør som følge af iltmangel. Det kan være svært at få vandplanter til at vokse i dybe, nedgravede og regulerede okkerbelastede vandløb, da okker reducerer sigtddybden og dermed vandplanternes fotosyntese og vækst. Sådanne vandløb bør føres tilbage i naturlig terrænhøjde så en naturlig hydrologi og omkringliggende vådområder genskabes, så jernet forbliver bundet i den vandmættede jord. En god udvikling i vandløbet kan fremmes ved at genslynge vandløbet og etablere brede, lavvandede partier, gerne med grusbund, som også kan fungere som gydeområder for laks, ørreder og andre lithofile arter. Gode resultater ved sådanne ændringer er observeret i Von Å i Skjern Å-systemet, hvor Ringkøbing-Skjern og Herning Kommuner i 2012 gennemførte et stort vådområdeprojekt ved 10 km af Von Å med genslyngning af vandløb, hævnning af vandløbsbund, okkerfældning i tilløb og etablering af en række gydebanker. Okkersøer og vandstandshævninger bidrog til markante reduktioner af okker i både tilløb og hovedløb, og effektundersøgelserne udført 6 år efter etableringen viste stor fremgang for både smådyr og fisk på den restaurerede vandløbsstrækning (Ejbye-Ernst *et al*, in prep.).

## 7. Referencer

Christensen, H. & Mikkelsen, J. (2017). *Plan for fiskepleje i Skjern Å*, Faglig rapport fra DTU Aqua, Institut for Akvatiske Ressourcer, sektion for ferskvandsfiskeri og -økologi, nr. 58.

Dehli, B. (2012). *Valg af gydeplads og klækkesucces for atlantisk laks (Salmo salar L.) i Storå*. Specialrapport fra Århus Universitet og DTU Aqua.

Ejbye-Ernst, R., Iversen, K., Kristensen, K.K. & Jensen, P. S. (in prep.). *Naturgenopretningsprojektet ved Von Å – projektets betydning for smådyr og fisk*. Udgives i Vand & Jord, nr. 3, 2019.

Ernst, M. E. & Wiberg-Larsen, P. (1986). *Okker, et alvorligt miljøproblem i Ribe amt*. Vand & Miljø nr. 4, 1986.

Geertz-Hansen, P., G. Nielsen and G. Rasmussen (1984). *Bilag 8 - Fiskebiologiske okkerundersøgelser i Okkerredøgørelsen*. Miljøministeriet.

Geertz-Hansen P, Rasmussen G, 1994. *Influence of ochre and acidification on the survival and hatching of brown trout egg (Salmo trutta). Sublethal and chronic effects of pollutants on freshwater fish*. In: Fishing News Books (Müller R, Lloy R, eds); pp 196-210.

Iversen, K., Pedersen, S., Mikkelsen, J. S., Christensen, H. A., Koed, A. og Larsen, M. H. (2017). *Øvre udbredelse af vild lakseyngel i Skjern Å-systemet 2016*. Rapport fra "Den store lakseundersøgelse" v. DTU Aqua og DCV.

Kristensen, E.A., Jepsen, N., Nielsen, J., Pedersen, S. & Koed A. (2014). *Dansk Fiskeindeks For Vandløb (DFFV)*. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 58 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 95 <http://dce2.au.dk/pub/SR95.pdf>

Madsen, B. L. (2004). *Okker. Et vandløbsproblem vi kan gøre noget ved*. Pjece udgivet af Ringkøbing Amt, Sønderjyllands Amt, Herning Kommune og Holstebro Kommune.

Miljøstyrelsen, 1984. *Okker - Redegørelse om den treårige forsøgsordning til nedbringelse af okkergener i vandløb*. Rapport inkl. bilag, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

Miljøministeriet (2004). *National forvaltningsplan for laks*. Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen.

Miljøministeriet (2012). *Retningslinjer for udarbejdelse af indsatsprogrammer. Vandplaner 2010-2015. Bilag 9*.

Nielsen B. (2003): Sandfangs betydning for sedimentindlejring, iltforhold og overlevelse af ørredyngel (*Salmo trutta* L.) i gydegravninger. Specialrapport. Biologisk Institut. Odense Universitet (SDU).

Phippen, B. W. (2008). *Ambient water quality guidelines for iron (electronic resource)*. Ministry of Environment, B.C.

Prange, H. (2005): *Ochre Pollution as an Ecological Problem in the Aquatic environment – Solution attempts from Denmark*. Books on demand, Norderstedt.

Ringkøbing Amt (2006): Regionplan 2005. ISBN: 87-7743-669-5

Sode, A. (2008). *Undersøgelse af makroinvertebratfaunaen i okkerbelastede vandløb i Sydvest- og Vestjylland*. Rapport for Miljøministeriet.