

LAKSEOPPDRETT

Effektiv matproduksjon i tre dimensjoner



ATLE G. GUTTORMSEN, FRANK ASCHE, IVAR PETTERSEN

FOTO: IVAR PETTERSEN

TITTEL/TITLE:

LAKSEOPPDRETT – EFFEKTIV MATPRODUKSJON I TRE DIMENSJONER

FORFATTER(E)/AUTHOR(S):

Atle G. Guttormsen – Professor ved Handelshøyskolen ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, NMBU, Ås

Frank Asche – Professor ved Universitetet i Stavanger

Ivar Pettersen – Seniorrådgiver ved Norsk institutt for bioøkonomi – NIBIO og førsteamanuensis II ved Handelshøyskolen ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, NMBU, Ås.

OPPDRAKSGIVER/EMPLOYER:

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Kjell Maroni

STIKKORD/KEYWORDS:

Havbruk, lakseoppdrett, bærekraftig matproduksjon, global matforsyning

Sustainable food supplies, Fish farming, Norwegian salmon industry

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Miljøøkonomi, næringsøkonomi

Environmental economics, Economics of aquaculture

FORORD

Laksenæringen er en raskt voksende eksportnæring for Norge og akvakultur utgjør en stadig økende del av forsyning av sjømat på global basis. I Norge blir imidlertid oppmerksomheten om matproduksjon og matforsyning i stor grad rettet mot jordbruksbasert produksjon. Rapporten «Lakseoppdrett, effektiv i tre dimensjoner», ser på lakseoppdrett som matproduksjon på linje med annen matproduksjon og drøfter miljømessig bærekraft og økologiske fotavtrykk som følge av laksenæringen som matprodusent. Perspektivet er komparativt, dvs. at rapporten omtaler de enkelte utfordringene med hensyn til bærekraft og utnytter kildemateriale som sammenligner miljøegenskaper for ulike typer animalske matproduksjoner. Litteraturgjennomgangen omhandler også problemstillinger på miljøområdet som det er vanskelig å sammenligne med analoge problemstillinger i annen matproduksjon. Problematikken omkring lakselus er et slikt eksempel.

Spørsmålet om matproduksjonens miljøegenskaper blir stadig viktigere. Denne rapporten er først og fremst en gjennomgang av eksisterende undersøkelser. Miljøutfordringene endrer karakter og kunnskapen om miljøeffekter er i utvikling. Den særegne veksten i norsk og internasjonal akvakultur må forventes også over tid å møte nye barrierer og miljøutfordringer. På den annen side er forskningsinnsatsen stor og teknologien i endring. Rask utvikling i teknologien, har gitt sterk produktivitetsvekst og også evne til å håndtere viktige miljøutfordringer. Det som i dag synes å være avgjørende hindringer for videre vekst, kan være løst innen få år. Således kunne en drøfting av bærekraft ved ulike matproduksjoner med fordel hatt et dynamisk aspekt, dvs. en analyse av evnen til å identifisere miljøeffekter, tilpasse reguleringsregimer og iverksette forskning og andre tiltak for å håndtere problemene.

Prosjektet er finansiert med bidrag fra Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF), som er et offentlig forvaltningsorgan underlagt Nærings- og fiskeridepartementet. Prosjektet ble organisert av Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning, NILF, som fra 1.7.2015 er innlemmet i NIBIO, i henhold til tilsagnsbrev og avtale med FHF og avtaler med de eksterne forfatterne. Ivar Pettersen, NIBIO har vært prosjektleder. Arbeidet er i hovedsak utført av professorene Atle Guttormsen, Handelshøyskolen ved NMBU, og Frank Asche, Universitetet i Stavanger. Forfatterne har også mottatt faglige innspill fra kolleger, men står alene ansvarlig for rapportens vurderinger og konklusjoner.

Vi takker FHF for deres bidrag til et interessant og viktig oppdrag.

Oslo, 30.05.16

Ivar Pettersen

Prosjektleder

INNHold

SUMMARY

1	INTRODUKSJON	2
2	BAKGRUNN	4
2.1	Om bærekraft	4
2.2	Økonomisk og sosial bærekraft	6
3	NORSK OG INTERNASJONAL LAKSEPRODUKSJON	7
3.1	Effektivitet, produktivitet og bærekraft	7
3.2	Internasjonal lakseproduksjon	10
3.3	Mengde laks	11
4	INNSATSAKTORER, EFFEKTIVITET OG BÆREKRAFT	12
4.1	Areal	12
4.2	Fôr og fôreffektivitet	15
4.2.1	Laksefôr	15
4.2.2	Endringen fra marint til vegetabilsk fôr	17
5	MILJØUTFORDRINGER	19
5.1	Rømming	19
5.2	Utslipp av næringsstoffer	20
5.3	Lakselus	24
6	LIVSLØPSANALYSER	27
6.1	LCA-studier av oppdrett	28
6.1.1	Ellingsen og Aanonsen (2006)	29
6.1.2	Pelletier et al. (2009)	29
6.1.3	Buchspies, Tölle and Jungbluth (2011)	31
6.1.4	Winther, Ziegler, Skontorp, Hognes, Emanuelsson, Sund and Ellingsen (2006)	33
6.1.5	Ellingsen, Olaussen og Utne (2009)	34
6.1.6	Hognes, Nilsson, Sund og Ziegler (2014)	35
6.2	Utslipp av klimagasser	35
6.3	Avslutning om LCA	37
7	LAKS VERSUS KJØTTPRODUKSJON	38
7.1	Norsk kjøttproduksjon	38
7.2	Effektivitetsforskjeller	39
8	AVSLUTTENDE KOMMENTARER	40

REFERANSER

Salmon farming

– effective food production in three dimensions

Summary

Norwegian salmon farming has from its origin during the 1970's grown into a position as major supplier of marine seafood internationally. In opposition to other Norwegian, mainly agriculturally-based food production, the salmon farming constitutes a substantial export industry. This report views Norwegian salmon farming as a food supplier and, based on available studies, investigates its comparative characteristics as regards environmental impact and ecological footprint. The study finds that salmon farming has comparatively favorable environmental characteristics not the least due to efficient utilization of feed.

1 INTRODUKSJON

Norsk lakseoppdrett ble en kommersiell næring med introduksjonen av flytemerden i 1970. Merden gav en produksjonsteknologi som var spesielt godt tilpasset den naturressursen som den norske kysten er med sine øyer og fjorder. Produksjonen av laks har deretter vokst raskt, og i 2014 vil det bli produsert ca. 1,3 millioner tonn laks i Norge.¹ Denne laksen blir solgt til over 100 land og tilsvarer 13 millioner måltider mat hver eneste dag.

De siste tre tiårene har produksjonen av oppdrettsfisk i verden samlet sett økt sterkt fra 2,5 millioner tonn i 1970 til over 69 millioner tonn i 2013. Ifølge FNs Matvareorganisasjon (FAO) har fiskeoppdrett vært verdens hurtigst voksende matproduksjonsteknologi i hver tiårsperiode siden 1980 (www.fao.org). I 2015 regner en med at over 50 prosent av sjømaten som går til humant konsum, kommer fra oppdrett. I stadig flere utviklingsland blir fiskeoppdrett en viktig kilde til proteiner, og samtidig gir næringen arbeidsplasser og inntekt. Veksten i lakseproduksjonen har vært enda raskere enn i oppdrettsproduksjonen totalt, og lakseoppdrett regnes som den mest kunnskapsintensive og teknisk avanserte oppdrettsproduksjonen i mange dimensjoner. Teknologiske så vel som biologiske innovasjoner har vært sentrale for næringens utvikling. Mange innovasjoner blir først tatt i bruk for laks, for deretter å bli tilpasset til andre arter og dermed bidra til veksten i oppdrettsproduksjonen globalt.

I likhet med annen matproduksjon har også oppdrett, inkludert lakseoppdrett, en påvirkning på miljøet hvor næringsvirksomheten drives, og det kan følgelig stilles spørsmål ved næringens miljømessige bærekraft. Utfordringer i forhold til miljømessig bærekraft har fulgt lakseoppdrettsnæringen gjennom hele dens historie. Ny kunnskap har imidlertid gjort næringen i stand til å løse mange miljøutfordringer. For eksempel er laksen i dag så godt som antibiotikafri (Grave og Brun, 2016), og økt kunnskap om laksens ernæringsbehov har redusert innholdet av marine ingredienser i fôret. Den største utfordringen i forhold til miljømessig bærekraft i dag synes å være hvordan den norske oppdrettsnæringen påvirker bestandene av villaks. Denne skjer gjennom to hovedkanaler; rømming og spredning av lakselus.

Det er ikke mulig å produsere mat eller å benytte naturressurser uten å ha påvirkning på det miljøet produksjonen opererer i. Miljømessig bærekraft handler følgelig ikke om at en ikke skal ha miljøpåvirkning i det hele tatt. Spørsmålet til enhver tid er heller hvorvidt det økologiske fotavtrykket en næring setter i naturen kan forsvares av det som næringen faktisk produserer. Brundtlandkommisjonen definerer bærekraft i tre dimensjoner; økonomisk og samfunnsmessig i tillegg til miljømessig. Dette gjør at en for ensidig fokus på en av dimensjonene kan redusere total bærekraft.

Lakseproduksjonen er matproduksjon, og det er følgelig åpenbart at økt lakseproduksjon kan generere økte miljøutfordringer. Hvis formålet utelukkende er å forhindre økte utslipp til miljøet, er det vanskelig å argumentere for økt lakseproduksjon. Hvis en hensyntar at lakseproduksjon

¹ Strengt tatt er det i overkant av 1,2 millioner tonn atlantisk laks og ca. 70 000 tonn av laksefisken ørret. Vi vil her benevne begge artene laks. Samlet utgjør de 99 % av norsk oppdrettsproduksjon.

foregår i kystkommuner som ofte trues med fraflytting, så kan en argumentere for at bidraget til samfunnmessig bærekraft er betydelig.

Også hvis en utelukkende fokuserer på miljømessig bærekraft kan det argumenteres for at det ikke er tilstrekkelig å se bare på lakseproduksjonen. Fisk har stort sett samme bruksområde som kjøtt og konkurrerer om plassen på tallerkenen med kjøtt hver eneste dag. Produktutvikling har gjort at laks selges i stadig flere produktformer i tillegg til tradisjonell fillet, som for eksempel pålegg og ulike typer lunsjretter, og laks blir stadig oftere inkludert i ulike ferdigretter. Konsekvensen av denne utviklingen er at bruksområdene for laks har blitt stadig likere alt annet kjøtt, og laks blir i stadig oftere et alternativ til konvensjonelt kjøtt. Det at laks er tilgjengelig stort sett over alt til alle tider, gjør det også mer likt kjøtt enn det fisk fra tradisjonelle fiskerier er. Når en skal diskutere miljømessig bærekraft i forhold til lakseproduksjon, er det følgelig naturlig å se denne relativt til miljømessige konsekvenser av konvensjonell kjøttproduksjon. Med andre ord, så bør en se på det økologiske fotavtrykket i forhold til det produksjon av tilsvarende mengde mat produsert på annen måte gir.²³

I denne rapporten ønsker vi derfor å drøfte den norske oppdrettsnæringens miljømessige bærekraft og økologiske fotavtrykk, samtidig som vi setter det inn i et perspektiv som sier noe om næringens betydning som matprodusent. Vi vil i denne rapporten syntetisere og referere en del av den forskningen som er gjort i forhold til oppdrettsnæringens bærekraft og effektivitet. Bidraget i rapporten vil følgelig være sammenstillingen, argumentasjonen og vinklingen og vil som sådan ikke inneholde ny forskning. Rapporten vil ikke være noen oversikt over miljøutfordringer i konvensjonell kjøttproduksjon, men vi vil på noen områder sammenstille og diskutere effektene av de ulike produksjonene.

Dersom en skal gjøre et forsøk på å sammenligne lakseproduksjon med produksjon av konvensjonelt kjøtt, er fôr og arealeffektivitet helt sentralt. Dette igjen har innvirkning på karbonfotavtrykket. Den viktigste innsatsfaktoren i kjøttproduksjon (både konvensjonelt og for laks) er fôret. Utfordringen for en studie av lakseproduksjon er at innholdet i fôret har endret seg signifikant de siste årene. Følgelig finnes det få relevante studier. Vi vil i denne rapporten i stor grad basere oss på rapporten «Resource utilisation of Norwegian salmon farming in 2012–2013» (Ytrestøyl, Aas og Åsgård 2014) utgitt av Nofima. Store deler av rapporten er også publisert som vitenskapelig artikkel (Ytrestøyl, Aas og Åsgård, 2015). Denne er etter vår vurdering den mest relevante rapporten i forhold til fôrforbruk og effektivitet.

² Noen vil alltid argumentere for at en skal spise mindre kjøtt generelt. Det er et legitimt argument, men faktum vil like fullt være at laks i de fleste tilfeller spises istedenfor kjøtt eller annen fisk.

³ Og selv om det er utenfor de tema som diskuteres i denne rapporten, er selvfølgelig konsekvensene i forhold til folkehelse også viktige.

2 BAKGRUNN

2.1 Om bærekraft

Et viktig premiss for i det hele tatt å ha en næring basert på naturressurser, som oppdrettsnæringen, er at den er bærekraftig. Men skal det i hele tatt ha noe mening å diskutere bærekraft, må en ha en oppfatning av hva en legger i begrepet «bærekraftig». Videre, hva vil det si at en næring er bærekraftig, eventuelt ikke er bærekraftig?

Begrepet «bærekraftig utvikling» ble første gang brukt og internasjonalt kjent gjennom Brundtlandrapporten fra 1987, der «sustainable development» defineres som «en utvikling som imøtekommer behovene til dagens generasjon uten å redusere mulighetene for kommende generasjoner til å dekke sine behov». Av natur er bærekraft derfor en fellesskapsbekymring snarere enn en personlig bekymring (Pelletier et al., 2009). Vanligvis anses bærekraftsbegrepet å ha tre dimensjoner, en miljømessig, en økonomisk og en samfunnsmessig, og en må være bærekraftig i alle dimensjonene for at en samlet sett skal være bærekraftig. De tre dimensjonene kan være motstridene, og belutningstagere må da gjøre en avveining mellom dimensjonene. Dette gjør at graden av bærekraftighet kan variere i de forskjellige dimensjonene, gitt at det er mulig med en bærekraftig utvikling.

Hvordan bærekraftbegrepet skal operasjonaliseres for oppdrett er ikke entydig, men departementene har igjennom flere år publisert rapporter etc., hvor problemstillingen er diskutert. Viktigste i forhold til oppdrett og bærekraft er rapporten som daværende fiskeri- og kystminister Helga Pedersen la frem i 2009: «En strategi for en miljømessig bærekraftig havbruksnæring» (Fiskeri- og kystdepartementet, 2009). Her står det i forordet:

«Ei bærekraftig havbruksnæring er ei næring som drives miljømessig forsvarlig, og er tilpasset hensynet til havmiljø og biologisk mangfold. Som matprodusent er havbruksnæringa avhengig av gode miljøforhold og god vannkvalitet. Av hensyn til egen driftsøkonomi vil oppdretterne ha en klar egeninteresse av å opprettholde en god vannkvalitet og ikke påvirke omgivelsene i en uheldig retning. Det er viktig å sikre et reint havmiljø og gode produksjonslokaliteter for havbruk med minimal negativ påvirkning fra langtransporterte utslipp og forurensning fra mer lokale kilder. På samme måte må myndigheter og næring i fellesskap sikre at havbruksvirksomheten drives uten å påføre omgivelsene uakseptable skadevirkninger.»

Her er bærekraftbegrepet tolket som et rent miljøbegrep, med fokus først og fremst på vannkvalitet. Videre i strategien skrives det: «Strategien omfatter ikke konkrete effektindikatorer for akseptabel påvirkning. Det vil derfor bli arbeidet videre med å operasjonalisere bærekraftbegrepet på en hensiktsmessig måte. I strategien er det foreslått diverse fremtidig mål for en miljømessig bærekraftig næring, men disse målene er relativt uklare og vanskelige både å måle og operasjonalisere.

- Havbruk bidrar ikke til varige endringer i de genetiske egenskapene til villfiskbestandene.
- Alle oppdrettslokaliteter som er i bruk holder seg innenfor en akseptabel miljøtilstand, og har ikke større utslipp av næringsalter og organisk materiale enn det resipienten tåler.

- Sykdom i oppdrett har ikke bestandsregulerende effekt på villfisk, og mest mulig av oppdrettsfisken vokser opp til slakting med minimal medisinbruk.
- Havbruksnæringa har en lokalitetsstruktur og arealbruk som reduserer miljøpåvirkning og smitterisiko.
- Havbruksnæringas behov for fôrråstoff dekkes uten overbeskatning av de villlevende marine ressursene. «

I Meld. St. 16 (2014–2015) «Forutsigbar og miljømessig bærekraftig vekst i norsk lakse- og ørretoppdrett» følges bærekraftstrategien opp, men igjen med et primærfokus på miljødimensjonen. Det drøftes ulike potensielle indikatorer for miljøbelastning, men konklusjonen er at kun lus og lusepåsag egner seg som indikator per i dag (Meld. St. 16 (2014–2015): «Ut i fra vurderingene av de ulike miljøpåvirkningene, mener regjeringen at lakselus vil være den riktige indikatoren å benytte på kort og mellomlang sikt i en handlingsregel for kapasitetsjustering på tillatelsesnivå innenfor avgrensede produksjonsområder. På lengre sikt kan utslipp også være en aktuell indikator. Dersom andre miljøpåvirkninger i fremtiden skulle bli en utfordring som kan knyttes til kapasitetsvekst i et produksjonsområde, kan indikatorer for dette utvikles og tas inn i et modulbasert system.»

Alle produksjonssystemer for mat og fôr hvor en bruker naturen som en innsatsfaktor, har en miljøkostnad. Denne varierer fra produkt til produkt og mellom land, regioner og ulike kontinenter. Dette er en også klar på i stortingsmeldingen hvor det eksplisitt skrives: «Som all annen matproduksjon setter lakseoppdrett et miljømessig fotavtrykk og påvirker miljøet rundt seg. Det er bred politisk enighet om at et visst avtrykk må aksepteres, men at produksjonen skal foregå innenfor miljømessige bærekraftige rammer.», men igjen er det svært uklart hva som er en bærekraftig oppdrettsnæring.

Det kan argumenteres for at det ikke finnes noe produksjonssystem for mat som er virkelig bærekraftig dersom en ser det fra et energibruksperspektiv, eller i forhold til biologisk mangfold, fordi de genererer avfall, krever fossil energi, bruker vann, og endrer arealoverflaten (Diana, 2009). De fleste vil mene dette er en for ekstrem definisjon, hvor verken mennesker eller andre levende organismers eksistens er bærekraftig. De fleste definisjoner av miljømessig bærekraft aksepterer en miljømessig påvirkning, men som ikke endrer økosystemers funksjon.

All bruk av natur for produksjon av mat gir økologiske fotavtrykk. Mennesker trenger mat daglig; alternativet er erstatning, ikke fravær. Det store spørsmålet for bærekraft av atlantisk laks er således hva som eventuelt erstatter laksen. Hva slags matvareproduksjon er nærmest til å erstatte produksjon av laks og er denne produksjonen eventuelt mer bærekraftig? Har de bedre konsekvenser for folkehelsen? Eller bør anbefalingen være å konsumere mer laks? Bærekraft har også en tidsdimensjon. Det er lettere å akseptere en type produksjon når utviklingen over tid viser reduserte miljøbelastninger i forhold til et produksjonssystem med økte konsekvenser. En kan også tenke seg at en næring vil være mindre miljøvennlig i en oppbyggingsfase, men at den etter hvert

vil utvikle både seg selv og nærliggende produksjoner til mer miljøvennlig matproduksjon.⁴ Spørsmålet er derfor ikke om næringen har miljømessige konsekvenser, men hvorvidt de miljømessige konsekvensene er innenfor det en må akseptere og kanskje like viktig, at de miljømessige konsekvensene ikke blir mindre av å la være å produsere laks.

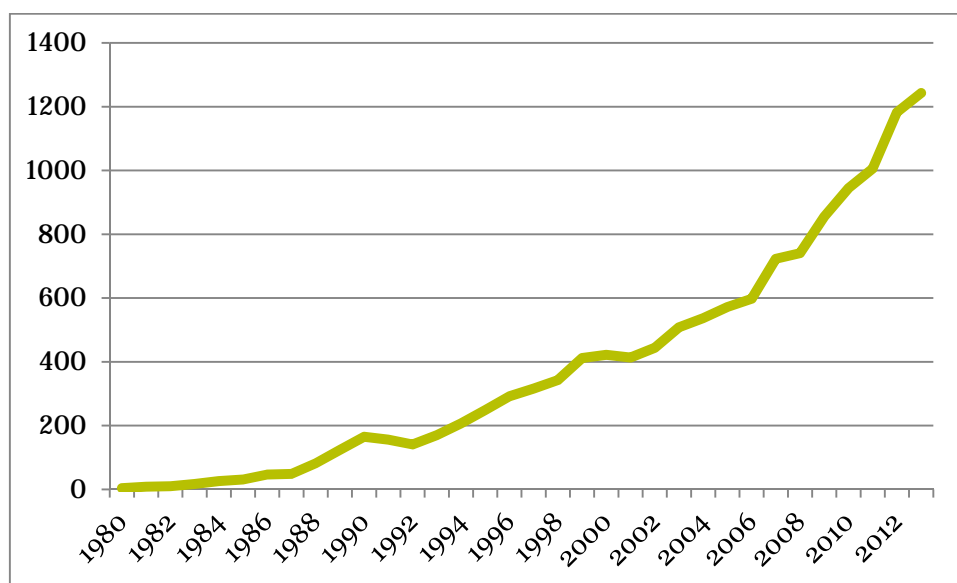
2.2 Økonomisk og sosial bærekraft

Brundtlandrapporten indikerer at dersom en skal ha mulighet til å dekke kommende generasjoners behov, er en helt avhengig av at produksjonen også er økonomisk og sosialt bærekraftig. For en næring har det liten verdi å være bærekraftig i forhold til miljø, dersom den økonomiske bærekraften ikke er på plass. I så tilfelle vil næringen dø ut/forsvinne av seg selv, med mindre den holdes kunstig i live i form av subsidier og støtte. En utfordring er at myndigheter i sin iver etter miljømessig bærekraft, lager så strenge reguleringer at den økonomiske bærekraften blir skadelidende. Det som da kan skje er at veksten i den norske oppdrettsnæringen «stopper opp» og næringen kan i ytterste konsekvens bli sterkt redusert før den selv klarer å gjøre seg mer miljømessig bærekraftig. Den norske oppdrettsnæringens plass kan i så fall delvis bli tatt over av en oppdrettsnæring andre steder i verden eller av andre matproduserende næringer, som er mindre bærekraftig på lengre sikt.

⁴ Dette er diskutert for lakseoppdrett i Asche, Guttormsen og Tveterås (1999) og Tveterås (2002).

3 NORSK OG INTERNASJONAL LAKSEPRODUKSJON

Bærekraft i oppdrettsnæringen er knyttet tett opp til produktivitet og effektivitet. Det er derfor interessant å se på utviklingen av næringen fra starten og frem til i dag. Dette vil også kunne si noe om miljøpåvirkningen over tid. Fra næringens spede begynnelse på 1970- og 1980-tallet og frem til i dag, har vi sett en enorm produksjonsøkning. Lakseproduksjonen i Norge har økt tilnærmet kontinuerlig fra 1980 og frem til i dag. I 2014 ble det produsert 1 199 000 tonn laks og ørret i Norge. Til sammenligning ble det i 1985 produsert 31 000 tonn, i 1995 249 000 tonn og i 2005, 572 000 tonn.



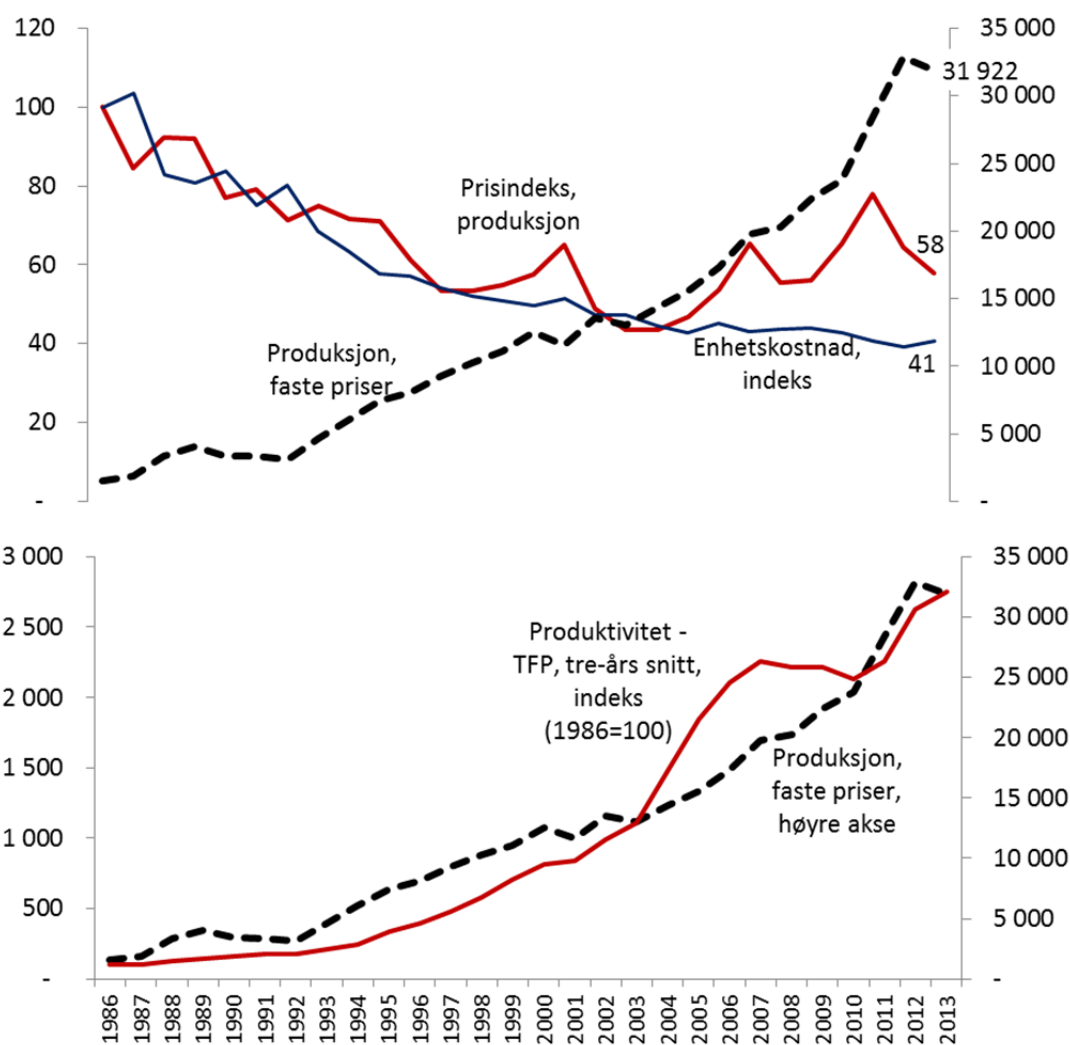
Figur 3.1: Produksjon av atlantisk laks i Norge. (Kilde: SSB)

Figur 3.1 viser årlig produksjon fra 1980 til 2013 i Norge. Med unntak av 1991–1992 har produksjonen økt hvert eneste år. Produksjonen av ørret har vært noe mer varierende, men også den har hatt en relativt jevn økning.

3.1 Effektivitet, produktivitet og bærekraft

Fra mikroøkonomisk teori vet vi at en kan øke omsetningen av et produkt enten ved å redusere kostnadene, eller ved å øke etterspørselen for eksempel ved systematisk markedsarbeid. I norsk lakseoppdrett har en gjort begge deler. Litt forenklet kan en si at veksten i norsk lakseproduksjon kan deles i to hovedperioder. I den første perioden, som varer frem til slutten av 1990-tallet, var innovasjonsdrevet produktivitetsvekst som reduserte produksjonskostnadene, den viktigste drivkraften. I perioden 1986 til 1997 sank både pris og enhetskostnad i faste priser med nær 50 prosent. I den andre perioden, fra slutten av 1990-tallet, blir etterspørselsvekst viktigere og prisen varierer rundt et relativt stabilt nivå, mens produsert kvantum fortsetter å øke.

Figur 3.2 viser utviklingen i enhetskostnader i faste priser, enhetspriser og produsert kvantum for perioden 1986 til 2013 basert på nasjonalregnskapsstatistikk. Vi ser at målt i 2005-kroner kostet det i 1986 nær 2,5 ganger så mye å produsere en kilo laks som det gjorde i 2013. Kostnadene er beregnet som summen av arbeidskraft, kapitalslit og vareinnsats, alt i faste priser. Det meste av reduksjonen i enhetskostnadene var tatt ut før år 2000. Enhetskostnadene fortsatte å falle i et mer moderat tempo. Etter slutten av 1990-tallet har etterspørselsvekst vært den viktigste faktoren for økt produksjon. Selv om kostnadsreduksjonen har vært mer moderat fra 1997 og frem til i dag, har det skjedd betydelige endringer i hvordan laksen produseres. Laksen har blitt et stadig mer effektivt husdyr og blitt produsert på en mer miljøvennlig måte.



Figur 3.2 Enhetspriser, produksjon, kostnader og produktivitet (TFP) i norsk akvakultur: Produksjon og kostnader i faste 2005 priser, indekser 1986=100 og millioner kroner. 1986–2013. (Kilde: SSB Nasjonalregnskap. Tabell 09170 (akvakultur), 03214 (timeverk, akvakultur))

Forholdet mellom vekst i produksjon og enhetskostnader i faste priser er en grov indikasjon på produktivitsutviklingen i akvakulturnæringen. Nederst i figur 2.3 har vi vist totalfaktorproduktivitet, TFP, beregnet om lag på samme måte som i NOU 2015:1 (Produktivitskommisjonen) og i SSB (se f.eks. SSB, 2014), dvs. som differansen mellom veksten i bruttoprodukt⁵ og den veide veksten i bruk av arbeidskraft og kapitaltjenester målt ved kapitalslitet i faste priser. Vektene er arbeidskraftens og kapitalslitets andeler av summen av de to kostnadsfaktorene⁶. Veksten i totalfaktorproduktiviteten er dermed den veksten i verdiskapingen som skyldes andre faktorer enn økt mengde arbeidskraft eller økt forbruk av kapitaltjenester.

Nederste del av figur 3.2 viser at produktivitsveksten i store trekk har fulgt utviklingen i samlet volum. I den perioden som ovenfor er beskrevet som særlig preget av innovasjon, er veksten meget høy. Etter slutten av 1990-tallet er veksten mer moderat, men det er først etter ca. 2005 at produktivitsveksten i norsk akvakultur faller ned til nivåer som ligger i nærheten av normale nivåer for norsk økonomi. Basert på tallene i figur 3.2 er gjennomsnittsveksten i totalfaktorproduktivitet for norsk akvakultur for perioden 1986 til 2013 som helhet over 13 prosent pr år. For markedsrettet virksomhet i fastlands-Norge, var veksten for perioden 1985 til 2011 lik 1,6 prosent pr år (NOU 2015:1, tabell 4.2). Nedgangen i vekstraten de senere år er noe av bakgrunnen for produktivitskommisjonens arbeid. Tross et markert fall i produktivitsveksten i norsk akvakultur særlig etter 2005, ligger veksten på 3,9 prosent fra 2006 til 2013. I markedsrettet virksomhet, fastlands Norge, ligger veksten for perioden 2000 til 2011 på 1,4 prosent årlig, og for norsk økonomi totalt på -0,25 prosent.

Det er mange faktorer som kan bidra til å forklare produktivitsveksten, med hovedgruppene; (1) innovasjoner på sentrale teknologiområder, (2) økt kompetanse i alle deler av næringen, og (3) bedre utnyttelse av stordriftsfordeler i flere ledd (Guttormsen, 2002; Tveterås, R., 2002; Tveterås og Heshmati, 2002; Tveterås og Battese, 2006; Asche, Roll og Tveterås, 2007; 2009; Oglend og Tveterås, 2009). Eksempler på innovasjoner i akvakultur er fôr og fôringsteknologi som har redusert fôrfaktoren (forholdet mellom konsumert fôr og tilvekst) samt gjort det mulig å redusere innslaget av marine råvarer, kunnskap om laksehelse, som har resultert i utvikling av vaksiner og medisiner, avlsprogrammer som gjør at fisken både vokser fortere og er sunnere, og utvikling av bedre kapitalutstyr, for eksempel merder som har større kapasitet og er mer robuste slik at de kan brukes på mer eksponerte lokaliteter. En rekke av innovasjonene har hatt potensielt positive effekter på miljø og bærekraft. Dette omfatter innovasjoner i fôr og fôringsteknologi som har redusert den lokale forurensningen av organisk materiale. Fôrrelaterte innovasjoner som har redusert inklusjonsgraden av fiskemel og fiskeolje har også som vi har vært inne på flere steder, redusert bruken av knappe marine råstoffer (Tacon og Metian, 2008). Videre har vaksiner bidratt til

⁵ Bruttoproduct uttrykker verdiskapingen i næringen og er definert som differansen minus produksjon og vareinnsats. I akvakultur betyr dette at f.eks. alt fôrforbruk, veterinærtjenester osv. er fratrukket. Indeksen for enhetskostnaden øverst i figur 3.2 inkluderer fôrkostnader og andre innsatsvarer og tjenestekjøp.

⁶ Vår definisjon av TFP er noe annerledes enn i SSB (2014) på grunn av begrensninger i datagrunnlaget. Målet for kapitaltjenester og vektningen av kapital- kontra arbeidskraft avviker noe.

å redusere bruken av antibiotika og ulike andre stoffer med potensielt negative konsekvenser for miljøet (Tveterås, S., 2002).

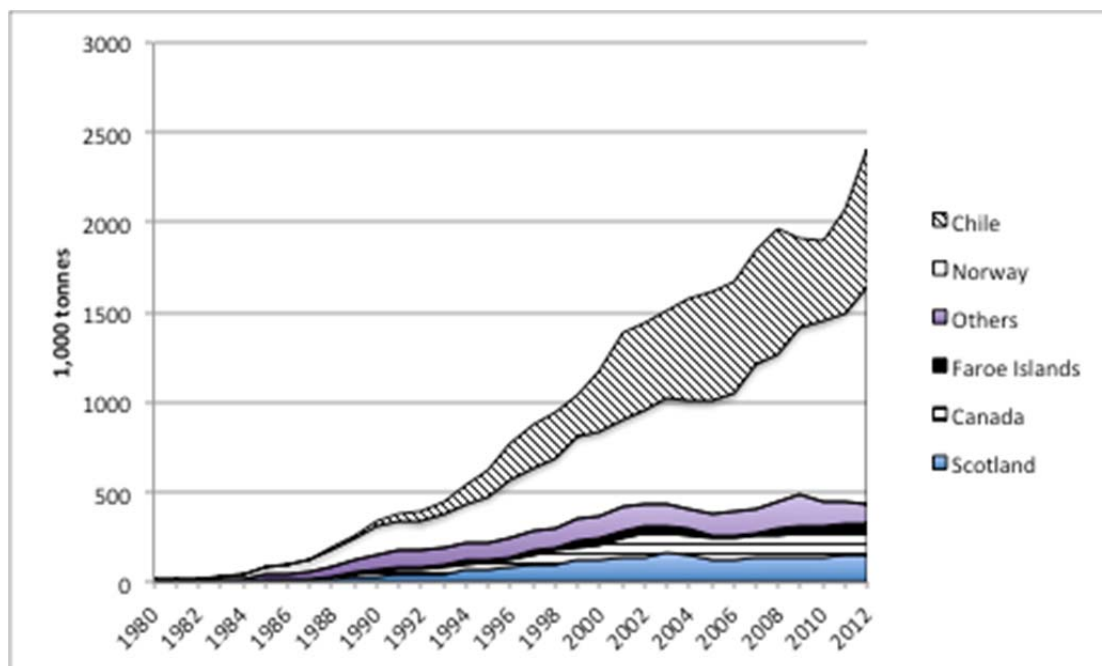
Når det gjelder produktivitsveksten i næringen, kan man heller ikke undervurdere betydningen av at kunnskapen i alle ledd har økt, slik at næringen har blitt profesjonalisert. Mens det på 1980-tallet var en dominans av ufaglært arbeidskraft, er det i dag en betydelig andel med fagbrev og spesialisert høyere utdanning. Endringen i selskapsstrukturen har gjort det mulig å ansette relativt kostbar spesialisert arbeidskraft med høyere utdanning, fordi man kunne fordele lønnskostnadene på et større produksjonsvolum.

I stor grad kan en si at produktivitsveksten i lakseoppdrett er drevet frem av at en har benyttet kunnskap fra landbasert dyrehold. Slik sett kan vi si at laksen har blitt mer og mer som et vanlig husdyr. Et stort antall studier har utforsket forskjellige aspekter ved produktivitsveksten i laksenæringen fra et økonomisk ståsted, som Tveterås, R. (2000; 2002), Guttormsen (2002), Kumbhakar og Tveterås (2003), Tveterås og Battese (2006), Andersen, Roll og Tveterås, (2009), Asche, Roll og Tveterås (2009), Nilsen (2010), Vassdal og Holst (2011), Roll (2013). Et spesielt interessant aspekt er at to tredjedeler av kostnadsreduksjonen kommer gjennom forbedrede og billigere innsatsfaktorer (Tveterås og Heshmati, 2002; Asche, 2008), og ikke i forbedringer i selve matfiskproduksjonen. Det har også vært en betydelig produktivitsvekst i verdikjeden med større grad av vertikal koordinering og introduksjon av nye salgsformer (Kvaløy og Tveterås, 2008; Oglend og Sikveland, 2008; Larsen og Kinnucan, 2009; Larsen og Asche, 2011, Solibakke, 2012; Oglend, 2013).

Fra slutten av 1990-tallet har primærleddet i næringen opplevd lavere produktivitsvekst (Vassdal og Holst, 2011; Asche, Guttormsen og Nielsen, 2013). Når produksjonen likevel har økt, som vist i figur 3.2, skyldes det hovedsakelig etterspørselsvekst (Asche et al., 2011). Det spises laks i stadig flere land, og fra slutten av 1990-tallet har markedet vært globalt. Viktigst har imidlertid vært en betydelig produktutvikling som har gjort at laks når stadig nye konsumenter og mange konsumenter spiser laks ved flere anledninger. Om lag 90 prosent av laksen går ubearbeidet fra Norge, og slik sett er videreforedlere i Europa og andre markeder blant laksenæringens beste allierte ved at de står for denne produktutviklingen.

3.2 Internasjonal lakseproduksjon

Norge er verdens dominerende produsent av oppdrettslaks, og produserer omtrent halvparten av verdens totale produksjon. Chile er en klar nummer to, og produserer litt over halvparten så mye som Norge. I 2005 var Norge og Chile omtrent jevnstore, men store biologiske og veterinærmedisinske problemer satte Chile kraftig tilbake i 2007–2008. Figur 3.3 viser verdens totale lakseproduksjon sammen med de ulike lands andel.



Figur 3.3 Global lakseproduksjon fordelt på land. (Kilde: Norges Sjømatråd)

Utenom Norge og Chile produseres det betydelige mengder oppdrettslaks også i Canada, på Færøyene og i Skottland.

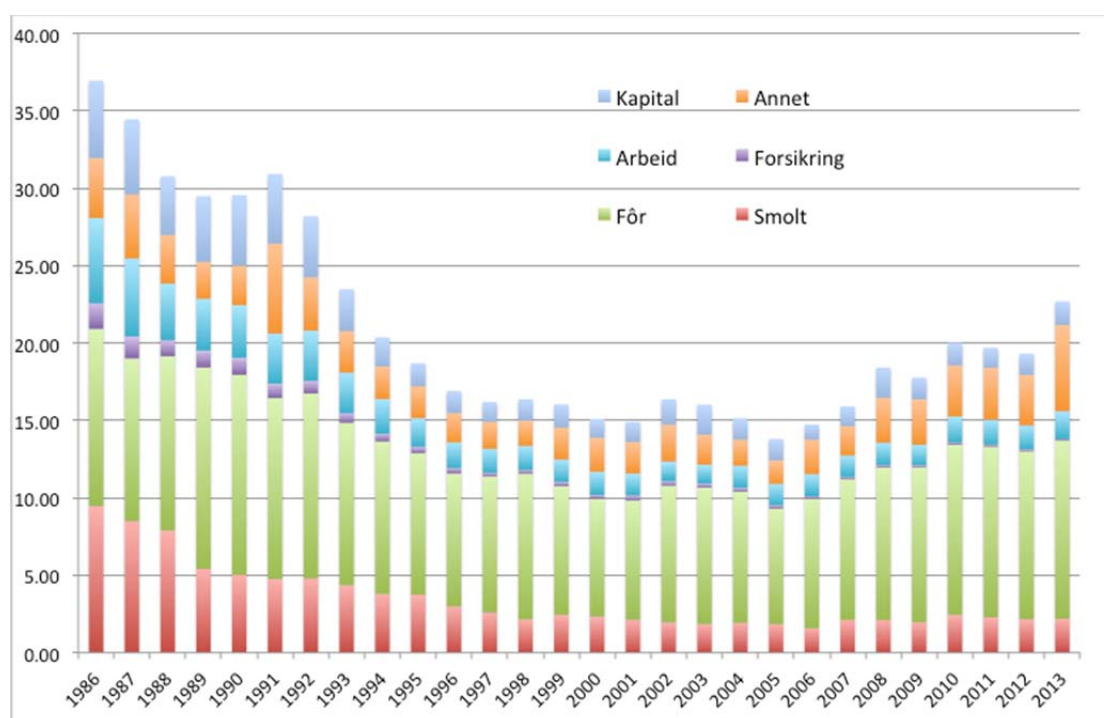
3.3 Mengde laks

For de fleste er det vanskelig å ta inn over seg hvor mye den totale norske lakseproduksjonen på 1 243 000 tonn laks er, men ved å ta en del av laksen som går til direkte konsum (ca. 65 %) og dele på antall mennesker i Norge, 5,086 millioner, kan vi i hvert fall få en forståelse av graden av selvforsyning. 1,24 millioner tonn laks betyr at hver eneste innbygger i Norge kan spise 435 gram laks hver dag hele året. Dersom en regner 175 gram laks som en porsjon, betyr det at den norske lakseproduksjonen tilsvarer 19,5 millioner porsjoner laks hver eneste dag hele året. Denne laksen konsumeres i om lag 100 forskjellige land, og til alle anledninger. Til sammenligning var den totale kjøttproduksjonen i Norge i 2015 på henholdsvis 134 700 tonn svin, 92 600 tonn kylling, 79 700 tonn storfe og 25 600 tonn sau og lam (Budsjettnemnda, 2016).

4 INNSATSAKTORER, EFFEKTIVITET OG BÆREKRAFT

Hvordan og hvor mye en bruker av de ulike innsatsfaktorene sier mye om produksjonens påvirkning på miljøet. I lakseproduksjonen kan en litt forenklet si at innsatsfaktorene er: kapital, arbeid, fôr, smolt og areal. I tillegg bruker en selvsagt noen medikamenter, drivstoff, osv., men utover medikamentbruk vil vi ikke se på de andre faktorene. I et bærekraftperspektiv er antagelig bruken av areal og fôr det mest sentrale. Men dersom en skal se på effektivitet er det selvsagt viktig også å se på bruk av kapital og arbeidskraft. Vi vil i dette kapittelet hovedsakelig drøfte areal og arbeidskraft. Siden fôrdelen er mer direkte sammenlignbar med husdyr vil den drøftes spesielt.

Figur 4.1 viser tall fra Lønnsomhetsundersøkelsen som utføres årlig av Fiskeridirektoratet. Figuren viser de ulike komponentene av kostnaden ved å produsere en kilo laks. Vi ser at kostnaden for smolt har vært relativt stabil, men fôrkostnaden har blitt en stadig større del av produksjonskost. I dag utgjør denne kostnaden over halvparten av produksjonskostnadene. Kostnadsarten «annet» har økt ganske mye de siste årene og utgjør hovedsakelig kostnader relatert til lusekontroll og avlusning. For 2014 og 2015 har kostnadene til lusekontroll/avlusning økt enda mer.



Figur 4.1: Kostnadsandeler i norsk lakseoppdrett. (Kilde: Fiskeridirektoratet)

4.1 Areal

Når en i økonomifaget snakker om effektivitet og produktivitet, er en opptatt av forbruket av innsatsfaktorer i forhold til produsert mengde. En sentral innsatsfaktor i alle produksjoner av mat er areal. Areal er imidlertid ingen direkte kostnad for oppdretteren og faller således ikke inn i

kostnadsoversikten over på grunn av vannkolonnens uavklarte juridiske status.⁷ Areal er likefult en viktig input i forhold til det totale ressursregnskapet, og arealet har en alternativverdi brukt både som rekreasjon og eventuelt annet.

Produksjonsdyrene må ha et sted å leve, og føret de spiser trenger også et areal. For noen produksjonsdyr, sau og til en hvis grad storfe, henger de to tett sammen, mens det for laks, kylling og svin er slik at dyrene bor et sted, mens føret produseres et annet sted. Her vil vi se på bruken av areal for selve dyre-/fiskeholdet.

Hvor mye areal en trenger for produksjon av kjøtt/fisk, er et spørsmål nært knyttet til dyrevelferd, samtidig som «hurtigheten» i produksjonen er viktig. Eksempelvis vokser en laks i dag fra 100 gram til slakteferdig vekt på over 5 kilo på 15–20 måneder, mens tilsvarende tilvekst i 1980 tok ett år mer. Det betyr at en kan i dag produsere mer laks uten å øke produksjonsarealet. Utsetting av større settefisk enn det som er vanlig i dag, vil kunne bidra til å redusere produksjonstiden i sjø ytterligere. Vi ser tilsvarende effektivtetsendring i produksjonen av slaktekylling, hvor tiden fra klekket egg til ferdig kylling er dramatisk redusert de siste 20 årene.

Arealbruk i oppdrettsnæringen er grundig diskutert og analysert i rapporten «Effektiv og bærekraftig arealbruk i havbruksnæringen – areal til begjær», den såkalte «Gullestad»-rapporten (Fiskeri- og kystdepartementet, 2011). Her diskuteres de fleste aspekter knyttet til arealbruk. Vi har hentet mesteparten av vår informasjon derfra.

Norge har store tilgjengelige produktive arealer i kystsonen, dette har blitt sett på som et av våre viktigste konkurransefortrinn som oppdrettsnæring. Vi så lenge på areal som en overskuddsressurs, og det var lite diskusjon om styring av bruken. Med den enorme veksten i næringen er dette nå et tilbakelagt stadium, og tilgangen på gode lokaliteter sees på som en flaskehals i forhold til en bærekraftig utvikling av næringen.

Mens Gullestadutvalget så på arealbruk veldig vidt, er vi mest interessert i å se på arealbruk som en innsatsfaktor i produksjonen, for på den måten å kunne si noe om effektiviteten i forhold til andre produksjoner. For å kunne drive oppdrett av laks i sjø trengs, i tillegg til plass til selve det fysiske oppdrettsanlegget, plass til fortøyning av anlegget. Også i en viss sone rundt anlegget vil annen bruk av arealet være gjenstand for begrensninger. I tillegg til overflatearealet vil begrensningene som hovedregel gjelde annen bruk av vannsøylen og bunnen under. Anlegget benytter med andre ord et fysisk avgrenset, tredimensjonalt rom og legger begrensninger på annen bruk av arealet til ferdsel, fiske og rekreasjon.

Drift av anlegg innebærer utslipp, førspill, avføring, smittestoffer, parasitter, rømt fisk med mer som igjen påvirker miljøbetingelsene både i og utenfor det fysiske arealet som brukes. Hvor stort område som omfattes er avhengig av en lang rekke faktorer, faktorer som også har endret seg over tid. I næringens tidlige barndom var eksempelvis lokalitetene ofte plassert nær land i områder med liten vannutskiftning. Dette førte til store utslippsproblemer rundt merden. I dag er en mer bevist

⁷ Det kan argumenteres for at konsesjonsverdien i noen grad reflekterer verdien av areal, men vi vil ikke diskutere det her.

dette, og anleggene er plassert i områder med større vannutskiftning og således med mindre påvirkning på arealet rundt. Faktorer som mengde fisk i anlegget, topografi og dybdeforhold, bunnhabitat, strøm, vind, temperatur, nærhet til gytefelt og til lakseførende vassdrag er alle avgjørende faktorer for hvor stort område som påvirkes samt omfanget og type.

Det føres dessverre ikke noen nøyaktige statistikker over havbruksnæringens bruk av areal, følgelig må vi belage oss på anslag. Nofima har anslått at den totale havoverflaten som brukes til laks og ørretanlegg i 2010 er 59 km². Tilsvarende tall for 1990 var 9 km². I tillegg til selve havoverflaten brukt til anlegg, kommer ferdselsforbud, areal for fiskeforbud og areal med forankring. Tabell 4.1 viser hvordan arealet brukt til havbruk fordeles.

Tabell 4.1: Bruk av areal i norsk oppdrettsnæring

Havoverflate	59 km ²
Inkl. ferdselsforbud	82 km ²
Inkl. fiskeforbud	194 km ²
Sjøbunn	420 km ²

I forhold til arealbruk må det også nevnes at Mattilsynets bestemmelser begrenser arealtilgangen. Dette gjelder først og fremst avstandskrav (avstand mellom anlegg) og krav til generasjonsskille og brakklegging.

I 2010 var norsk oppdrettsproduksjon på i underkant av 1,2 millioner tonn fisk. Dersom vi deler denne produksjonen på arealet, kan vi regne ut at vi i Norge produserer ca. 20 kg fisk per kvadratmeter utnyttet havoverflate. Dersom en derimot deler totalproduksjonen på totalarealet inkludert fiskeforbudssonen, vil en få at en produserer 6,2 kg fisk per kvadratmeter sjøareal.

Hvorvidt 20 kg fisk per kvadratmeter havoverflate er effektivt eller ikke er det vanskelig å si noe om. Det vi derimot kan si er at det i forhold til tradisjonelt fiske selvsagt er veldig arealeffektivt, og at det på tross av diverse arealkonflikter er veldig mye tilgjengelig areal igjen. Dette gjelder spesielt nord i Norge.

Vi har her bare sett på arealbruken på sjø. Smolt produseres på land, og i tillegg vil de fleste anlegg ha diverse anlegg lokalisert på land. Dersom vi ønsker å se på hele produksjonsprosessen, må vi også ta med denne arealbruken. Dessverre finnes det ikke tilgjengelig data over hvor mye areal som brukes på land for produksjon av settefisk.

En konklusjon i forhold til arealbruk på sjø, er at oppdrett av laks er en meget arealeffektiv produksjon. En produserer store mengder fisk på et lite areal. Så selv om arealet har økt, og diverse reguleringer basert på smitte etc. krever avstand til nærliggende anlegg, er det liten tvil om at det ikke er areal som kommer til å sette en stopper for veksten i oppdrettsnæringen. Det er fortsatt plass til å produsere store mengder fisk.

4.2 Fôr og fôreffektivitet

Fôr er både den største kostnaden og den viktigste bidragsyteren til ressursbruk og utslipp knyttet til produksjon av både landlevende og sjølevende produksjonsdyr. Storfe og andre drøvtyggende husdyr som sauer og geiter, beiter på så mye som seksti prosent av jordens landbruksareal⁸. Sammen med gris og fjærfe, spiser drøvtyggere fôr som er dyrket på en fjerdedel av det totale dyrkede landarealet (Durning og Brough, 1991). Internasjonalt er husdyrsektoren anslått til å bidra med 18 prosent av menneskeskapt klimautslipp, 63 prosent av nitrogenbindingen og konsumerer 58 prosent av menneskelaget biomasse (Pelletier og Tyedmers, 2010). I et alternativkostperspektiv kan antagelig en stor del av disse ressursene brukes til å dyrke planteprodukter, herunder korn, for humant konsum.

Det er sjøfasen, og først og fremst fôring og fôrproduksjon, som står for mesteparten av energibruken, nærmere bestemt 93 prosent. 100 prosent av biotisk ressursbruk kommer fra fôret og 94 prosent av effekten på global oppvarming (Pelletier et al., 2009). Når vi samtidig vet at fôr er den største kostnaden, er det lett å forstå at både fôrfirmaer og oppdrettere har stort fokus på fôr.

En av de mest sentrale diskusjonene i forhold til lakseoppdrett og fôr er knyttet til bruken av marine ressurser (Folke og Kautsky, 1989, 1992; Naylor og Burke, 2005; Naylor et al., 2000). Som nevnt innledningsvis har det vært et radikalt skift i førsammensetningen de siste tre årene, men uavhengig av det, må en ikke glemme at også bruk av vegetabilsk fôr høstet fra landjorden har økologiske konsekvenser. Det er ingen tvil om at overbeskatning av marine ressurser vil ha negative konsekvensene på marine økosystemer, og at noen kan være langvarige effekter. Men konsekvensene for de terrestriske økosystemer av dagens industrielle jordbruksdrift er også godt synlige, og disse konsekvensene er i stor grad irreversible eller ville ta århundrer å få tilbake til den naturlige tilstand.

Det er grunnleggende forskjeller mellom vekst, høsting og foredling av korn, og fiske og foredling av ville, levende marine dyr for fôr. Men begge systemene utnytter nisjer i økosystemene som alternativt ville bli utnyttet av andre planter eller dyr. Begge systemene har følgelig fordeler og ulemper som råstoff til fôr.

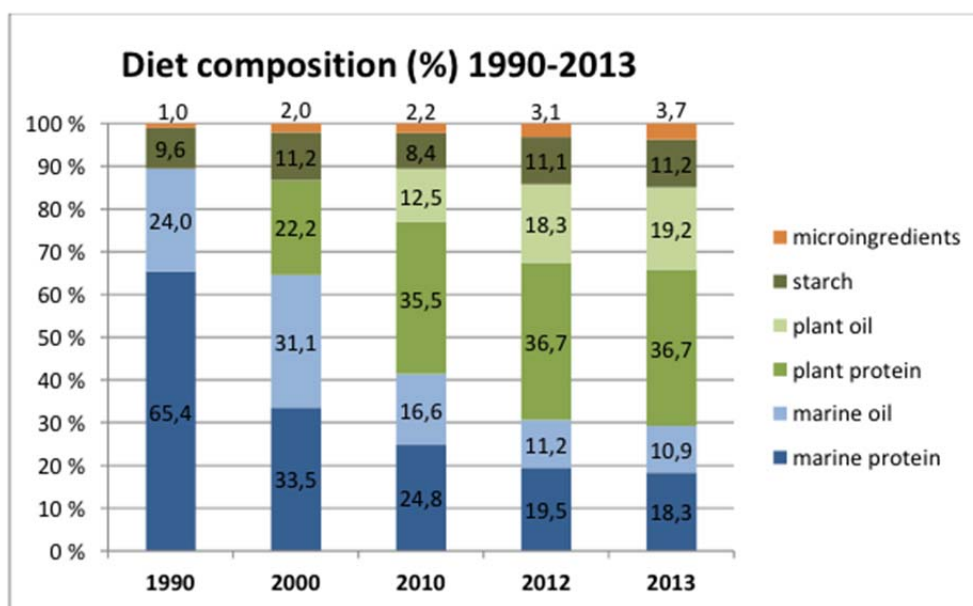
4.2.1 Laksefôr

Laks i vill tilstand spiser insekter, små skalldyr og småfisk. Dette var også bestanddelene i fôret når en først startet med lakseoppdrett. Etter hvert ble det hovedsakelig fiskeavfall og industrifisk. Fra årtusenskiftet har en brukt stadig mer av både planteproteiner og planteoljer. Ifølge Ytrestøyl et al. (2015) bruker norsk oppdrettsnæring i 2012 500 000 tonn fôrråvarer fra marin opprinnelse og 1079 000 tonn fôrråvarer fra landbruket. Bare mellom 2010 og 2012 ble andelen marine ingredienser redusert med over 15 prosent. Dette er en utvikling som er mulig på grunn av stadig bedre kunnskap om laksens ernæringsmessige behov.

⁸ <http://www.fao.org/docrep/x5304e/x5304e03.htm> (nedlastet 03.04.2016)

Mais, soya, hvete og bygg, i den rekkefølgen, er de råvarene det brukes mest av i fôrproduksjon. Mens det brukes over 460 millioner tonn mais til husdyrfôr, så er forbruket av fiskemel omtrent en hundredel, 5 millioner tonn. Mais produsert i den vestlige verden brukes hovedsakelig til dyrefôr, totalt i verden går 59 prosent av maisen til fôr. Hovedingrediensene i laksefôret er i dag hvete-stivelse, soyaprotein, hvetegluten, solsikke expeller, rapsolje, fiskemel og fiskeolje.

En utfordring med å diskutere fôr og fôreffektivitet for oppdrettsnæringen er den revolusjonen vi har sett i forhold til økt innslag av vegetabilsk mel og olje i forhold til de marine ressursene. Denne utviklingen har kun i begrenset grad nådd den vitenskapelige litteraturen, og fortsatt diskuteres problemstillinger som er basert på gamle fôroppskrifter. Oss bekjent er den eneste «up to date» studien av laksefôr rapporten fra Nofima som vi allerede har henvist til flere ganger, selv om Tacon og Metian (2008) antyder en utvikling som i hovedsak samsvarer med det som observeres. Figur 4.2 er hentet fra denne Nofima-rapporten, og den viser med all tydelighet den revolusjonen norsk lakseoppdrett har vært igjennom de siste fire årene. Bare siden 2010 har innslaget av marine råvarer blitt redusert fra 40 prosent til under 30 prosent, i 2000 var andelen marine råvarer 64 prosent, mens det i 1990 var nesten 90 prosent marine råvarer i fôret.



Figur 4.2 Utvikling i fôrkomposisjon i norsk oppdrettsnæring 1990-2013. Direkte hentet fra Ytrestøyl, Aas og Åsgård (2014)

Denne revolusjonen gjør laks likere konvensjonelt kjøtt fra landbruket, og gjør det lettere å sammenligne effektiviteten med kylling og svin.

4.2.2 Endringen fra marint til vegetabilsk fôr

På slutten av 1990-tallet kom det stadig flere kritiske røster om lakseoppdretts avhengighet av marine fôrressurser. Mest kjent er artikkelen til Naylor (Naylor et al., 1998; Naylor et al., 2000) publisert i Science og i Nature. Her skrives det allerede i introduksjonen: «Although many fisheries stocks have declined precipitously throughout the world, fish farming--and especially shrimp and salmon farming--has boomed. The increasingly large scale of these enterprises is now having unforeseen ecological consequences on ocean resources through habitat destruction, effluent discharge, exotic species introductions, and heightened fish catch for feed use.» (Naylor et al. (1998 side 883).

Denne diskusjonen ble også utbredd i Norge og diskusjonen ble todelt og relatert til; 1) Lakseoppdrett er ikke bra fordi fôret bruker marine ressurser og 2) Lakseoppdrett vil stoppe opp fordi det ikke finnes nok marine fôrressurser. For fôrfirmaer og oppdrettsnæringen selv var ikke avhengigheten av marine fôrressurser noen nyhet. De hadde allerede i flere år jobbet for å redusere denne avhengigheten og fra 1990–2000 ble andelen marine råvarer redusert fra 90 prosent til 65 prosent av innholdet i fôret. Hovedsakelig var det marint protein som ble byttet ut med vegetabilsk protein de første årene. Videre fra 2000 til 2010 ble andelen marine råvarer redusert ytterligere.

Det er få studier i fagfelleverderte tidsskrifter som sammenligner fôreffektiviteten til ulike kjøttproduksjoner. Det er gjort enkeltstudier, men forutsetningene er ofte så forskjellige at det blir vanskelig å sammenligne. Et unntak er en masteroppgave ved NMBU av Bjørkli (2002).

Sammenlignet med landdyr er det liten tvil om at laks er effektiv i å omgjøre protein og energi i maten de spiser. Reproduksjonsevnen er stor, og de ressursene som brukes til å produsere avkom er ubetydelig i forhold til fjørfe og svin. Laks er vekselvarm og krever ikke energi for å opprettholde konstant kroppstemperatur. De lever i vannmiljøet, hvor utskillelse av ammoniakk i tillegg til urea, senker kostnadene ved metaboliserende aminosyrer. Videre er fisken praktisk talt vektløse i vannet og trenger ikke å bruke energi for å bære egen kroppsvekt eller motstå tyngdekraften. Fisken trenger derfor ikke et like tungt og sterkt skjelett som landlevende dyr.

Spisbart utbytte av atlantisk laks er også relativt høyt sammenlignet med landdyr (Åsgaard og Austreng, 1995; Bjørkli, 2002). Blødning resulterer i et vekttap på ca. 2 prosent (Erikson et al., 2010). Atlantisk laks avsetter det meste av fett i muskelen, noe som gir en høyere slakteutbytte enn mye annen fisk. Rapportert slakteutbytte (bløggjet og sløyd) varierer mellom 86 og 92 prosent (Bjørkli, 2002; Eien et al., 1999) og er påvirket av gonadestørrelse og fettdeponering. Den relativt lave vekten av skjelettet gir filetutbytter på 75-77 prosent (Skjervold et al., 2001) eller spiselige utbytte i størrelsesorden 60-68 prosent (Bjørkli, 2002). Bjørkli (2002) sammenlignet effektiviteten hos atlantisk laks med gris, fjørfe og lam, og utbyttet var betydelig høyere (tabell 4.2). Verdiene som er presentert i tabell 4.2 er ganske like tall fra en tidligere studie (Åsgård et al., 1999). Disse beregningene tar hensyn til forskjeller i fôrfaktor og forskjeller i spiselige utbytte. Laks har helt klart en høyere protein- og energiretensjon i den spiselige delen av dyret enn andre husdyr. Gris, den mest effektive kjøttprodusenten, har en fôrfaktor på mer enn det dobbelte av atlantisk laks. Energiretensjon i den spiselige delen av grisen er 14 prosent sammenlignet med 23 prosent i laks, og proteinretensjon er 18 prosent mot 31 prosent. I denne forbindelse er laksen det desidert mest effektive dyr for å omdanne industrifisk (og vegetabilier) til mat for mennesker.

Tabell 4.2: Effektivitet hos laks sammenlignet med landdyr. (Kilde: Bjørkli 2002)

	Laks	Svin	Kylling	Lam
Slakteutbytte (%)	86.0	72.5	65.1	46.9
Spisbart utbytte (%)	68.3	52.1	46.1	38.2
Forfaktor^a	1.15	2.63	1.79	6.3
Energiretensjon^b	23	14	10	5
Proteinretensjon^c	31	18	21	5

^{a)} kg fôret/kg tilvekst

^{b)} energi i spiselige deler/brutto energi i fôret

^{c)} kg protein i spiselige deler/kg protein i fôret

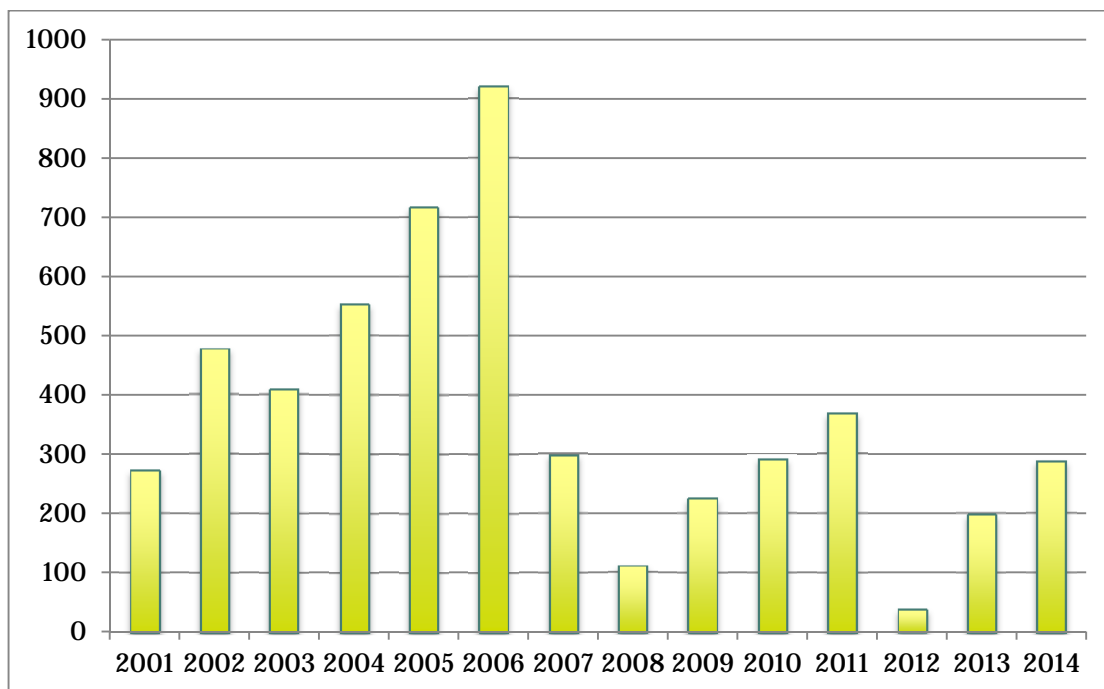
5 MILJØUTFORDRINGER

Det er en rekke miljøutfordringer relatert til utslipp eller annen påvirkning fra lakseoppdrett til det omkringliggende økosystem.

5.1 Rømming

Rømming er, sammen med høye forekomster av lakselus, regnet som næringens største miljøutfordring (Liu, Olaussen and Skonhoft, 2011; Torrissen et al., 2011). Hvert år rømmer et ikke ubetydelig antall fisk fra norske oppdrettsanlegg. En del av den rømte laksen vandrer opp i vassdragene og gyter sammen med villaksen. Oppdrettslaks konkurrerer med villaks om fôrressurser og gyteområder. På samme måte som med lakselus, er fagfolkene uenig i hvor stor grad rømt oppdrettslaks er en trussel mot villaksen (Torrissen et al., 2013). Man frykter at når rømt oppdrettslaks gyter med villaks, vil den ville laksebestanden kunne endres genetisk, noe som på sikt kan føre til lavere produksjon av laks i vassdraget. Den genetiske variasjonen i de ville bestandene kan således endres, og denne påvirkningen kan være irreversibel. En laks som ligner mest på oppdrettsfisk, vil kanskje ikke være tilpasset elvens spesielle forhold, og innblanding av oppdrettsfisk vil kunne gjøre laksebestandene mindre motstandsdyktige mot endringer i miljøet, som for eksempel klimaendringer. I den grad rømt oppdrettslaks påvirker villaksbestander vil den også være en eksternalitet i forhold til næring basert på laksefiske (Olaussen og Skonhoft, 2008; Olaussen, 2009). Selv om denne eksternaliteten i hovedsak betraktes å være negativ, så kan den også ha positive elementer ved at mer fisk i elvene kan gi økt sannsynlighet for å fange fisk.

Selv om rømming er en hyppig diskutert miljøutfordring, viser statistikken også her at problemet er blitt stadig mindre, om en med stor variasjon rundt den synkende trenden. I flere år på 1990-tallet forsvant mer en halv million individer per år, og det forsvant nesten en million individer i 2006. 2012 var et år med svært lite rømming, da det forsvant 38 000 individer. For oppdretteren medfører enhver fisk som rømmer et netto tap. Fisken har vært føret i en periode og forbrukt kostbare innsatsfaktorer. Rømmingsreduserende tiltak er imidlertid også kostbare, og med dagens relativt lave rømningstall er det ikke åpenbart at oppdretterne har insentiver til å investere i ytterligere tiltak. I så fall er rømming utelukkende en negativ eksternalitet som myndighetene må kontrollere ved hjelp av regulatoriske tiltak.



Figur 5.1: Antall rømte fisk (i tusen). (Kilde: Fiskeridirektoratet)

Situasjonen for vill atlantisk laks i Nord-Atlanteren er bekymringsfull (North Atlantic Salmon Conservation organisasjon (NASCO), 2010), og det har vært en dramatisk nedgang i nominell fangst i løpet av de siste 40 årene. Fangsten i Nord-Atlanteren i 2009 (1300 t) var den laveste i ICES tidsserier (ICES, 2010). Men i samme periode har den norske andelen av denne fangsten økt fra ca. 10 prosent til mellom 40 og 50 prosent. Det kan dermed konkluderes med at de generelle vilkårene for atlantisk laks i Norge er relativt sett bedre enn i resten av Nord-Atlanteren. Dette selv om 80 prosent av lakseoppdrett i Atlanterhavet er gjort i Norge.

Det er ingen åpenbar sammenheng mellom endringer i villaksfangsten i norske elver og mengden oppdrettslaks. Så selv om oppdrettslaksen ofte utpekes som sydebukk i forhold til endringer i villaksbestanden, synes det ikke å være noen målbar effekt av norsk lakseoppdrett på villaksbestanden i norske elver. Til tross for reguleringstiltak med formål å redusere utnyttelsen av villaks de siste årene, har det vært liten forbedring i status for bestandene over tid. ICES konkluderer med at dette hovedsakelig er på grunn av vedvarende dårlig overlevelse i det marine miljø i sammenheng med klimaeffekter (ICES, 2010). Oppdrettslaks har redusert prisen og i stor grad erstattet villaks på markedet. Dette har ifølge Diana (2009) trolig bidratt til returen av enkelte laksestammer for både atlantisk og stillehavslaks.

5.2 Utslipp av næringsstoffer

En miljøutfordring som har vært diskutert i oppdrettsnæringen, er næringens utslipp av nærings-salter. Matfiskanlegg slipper ut nærings-salter som nitrogen og fosfor i både bundet og løs form i relativt store mengder. Anleggene har følgelig både kvalitativt og kvantitativt et stort potensiale for å påvirke omgivelsene. Hvor stor den faktiske påvirkningen blir, bestemmes av utslippenes

størrelse, sammensetning og fordeling i tid og rom. I tillegg er det selvsagt helt avgjørende naturgitte forhold som vannutskiftning, dyp, topografi samt dyre- og planteliv på stedet.

Utslipp av næringsstoffer kan representere et problem både for det enkelte oppdrettsanlegg og for havet eller fjorden der anlegget er lokalisert. Den vanligste tegnet på et miljøproblem er opphopning av organiske sedimenter og endringer i bunnfaunaen. En annen mulig indikasjon på at det kan være et problem er algeoppblomstringer, som er nært knyttet til økt konsentrasjon av næringsstoffer i havet. Flere steder langs den norske kysten har en opplevd problemer med giftige alger, noe som resulterer i betydelige økonomiske tap. I næringens spede barndom var det spesielt algeoppblomstring i 1988 og 1989 som skapte vanskeligheter for laks- og ørretoppdrettere. Den giftige planktonalgen *Prymnesium parvum* drepte 750 tonn laks og ørret i oppdrettsanlegg (Kaartvedt et al., 1991). Det bør i den sammenheng bemerkes at når en finner en sammenheng mellom algeoppblomstring og oppdrett, er dette oftest et lokalt fenomen i områder med dårlig sirkulasjon. Mens steder med dårlig sirkulasjon ble brukt tidlig i næringens historie, er det sjelden å finne et oppdrettsanlegg på et slikt sted i dag.

Det finnes ulike definisjoner av eutrofiering. Nixon (1995) gir følgende definisjon: «Overgjødning betyr en økning i frekvensen av tilførsel av organisk stoff i forhold til et økosystem». En økning i fytoplankton eller makroalger (eutrofiering) i sjøen er avhengig av tilgjengeligheten av lys og/eller næringsstoff - avhengig av hva som er minst tilgjengelig vil det begrense vekst. Lakseoppdrett kan, i alle fall lokalt, gjøre en forskjell for den siste av faktorene. Nitrogen (N) og fosfor (P) er de to elementene i utslippene fra lakseoppdrett som er av særlig betydning for miljøet (Einen et al., 1995). Utslipp av næringssalter i havet vil også endre det naturlige forholdet mellom nitrogen og fosfor. Et ubalansert N/P-forhold vil gjøre planteplankton mindre verdifulle som mat for filtrende dyr. Dette vil føre til redusert beite og kan dermed føre til høyere algebiomasse og planktonoppblomstring, dvs. eutrofiering.

I fast form slippes næringssalter ut som avføring og fôrspill. Det meste av fôrspillet blir spist av villfisk rundt anleggene, mens avføringen faller raskt til bunnen. Nitrogen og fosfor, som er bundet til avføring og fôr, forsvinner dermed i stor grad ut av det øverste vannlaget der det er nok lys til fotosyntese, den eufotiske sonen, og blir lite tilgjengelig som næring for planteplankton og større alger. I tillegg til næringsstoffer bundet til avføring og fôr slippes næringssalter ut i vannet som løste forbindelser fra fiskens gjeller og som urea når fisken forbrenner maten. Disse næringssaltene er tilgjengelige i den eufotiske sonen, og kan derfor ha betydning som gjødsel for planteplankton og makroalger. Ca. 15 prosent av fosforet slippes ut i oppløst form, mens rundt 80 prosent av nitrogenet som er i fiskefôret slippes ut gjennom fiskens gjeller, hovedsakelig i form av ammoniakk (NH₃) som omdannes til ammonium(NH₄) i sjøvann. Fosfor finnes vanligvis i rikelige mengder i kystvannet, så ekstra tilførsel av fosfor har som regel liten innvirkning på algevekst. Nitrogen er vanligvis den begrensende faktoren for algevekst, særlig sommer og høst. Siden produksjonen i matfiskanleggene er høyest om sommeren, er også utslippene av nitrogen høyest da. Nitrogen er mangelvare i sjøen på denne årstiden, derfor kan ekstra nitrogentilførsel trigge planktonoppblomstringer.

Det er en diskusjon om i hvilken grad oppdrett av laks fører til overgjødning eller forekomst av algeoppblomstring i marine farvann. En del veldig tidlige studier, eksempelvis Folke et al. (1994, 1997), legger stor vekt på problemet med overgjødning fra lakseoppdrett, mens nesten like gamle studier, f.eks. Black et al. (1997) avviser de fleste av deres argument. Kaartvedt et al. (1991) knyttet

oppblomstringer av *Prymnesium parvum* i 1988–1989 direkte til næringsstoffer sluppet ut fra oppdrettsanleggene. I nyere tid er det svært lite konkrete bevis som viser at oppdrettsnæringen fører til eutrofiering og algeoppblomstring.

Utslippene fra oppdrettsnæringen har økt jevnt og trutt etter som totalproduksjonen av laks har økt. Heldigvis har det ikke vært noen lineær sammenheng mellom produksjon og utslipp, snarere har utslippet fra hver enkelt oppdrettsfisk gradvis blitt lavere. Dette på grunn av endringer i førsammensetning og bedre overvåking/kontroll av føring. Mens det midt på 1990-tallet ble sluppet ut omtrent 28 kg nitrogen og 4,6 kg fosfor per tonn produsert, var disse tallene redusert til henholdsvis 10,3 og 1,7 kg i 2008. Så selv om produksjonen av laksefisk ble firedoblet i perioden, økte utslippene med bare 20 prosent (Husa m.fl., 2010). Figur 5.2 viser utviklingen i utslipp av fosfor og nitrogen fra akvakultur.

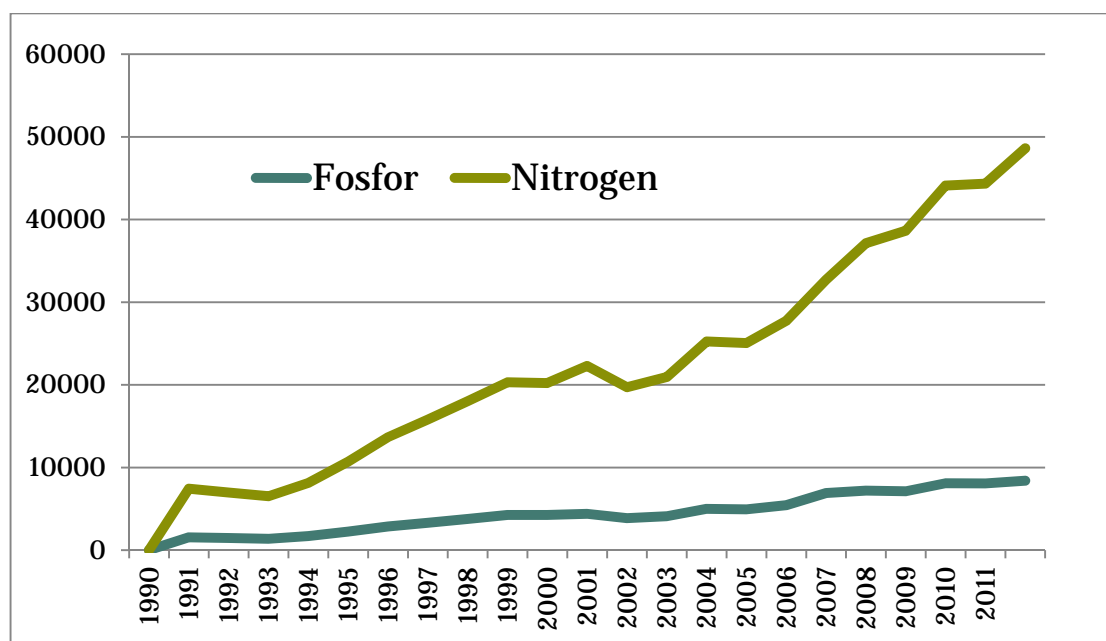
Det bør også bemerkes at mesteparten av utslippene fra norsk lakseoppdrett ikke slippes ut i Nordsjøen, men lenger nord (i Norskehavet) hvor næringssaltproblemene er betydelig mindre enn i Nordsjøen og ikke minst i Skagerak hvor næringsstoffer er et stort problem.

Mens det er diskusjoner om hvorvidt oppdretts forårsaker en miljøtrussel til omgivelsene og havet, er det ingen tvil om at næringsutslipp fra oppdrettsanlegg kan ha direkte konsekvenser for den enkelte oppdretter. Tilførselen av organisk materiale er av betydning for nivået av oksygen i vannet. Utslipp av organisk materiale krever oksygen når det blir nedbrutt, og disse utslippene vil konkurrere med andre organismer (dvs. fisk) for oksygen. De akkumulerte organiske materialer under merdene vil forbruke oksygen, noe som fører til lavere nivåer av oksygen under merden. Med et oksygenunderskudd vil dette resultere i en ikke-oksygen nedbryting av det organiske materialet. Gjennom denne prosessen vil hydrogensulfid (H₂S) fremstilles. Dette stoffet vil føre til døden for fisken hvis tilstrekkelige mengder frigjøres fra sedimentene. I tillegg vil sedimentene muligens virke som en kilde for infeksjon av fisk med patogene mikroorganismer. En høy grad av vannutskifting kan begrense opphopning problemer. I oppdrettsnæringens barndom var dette et gjentakende problem. Anleggene ble ofte plassert på steder med begrenset vannutskifting, siden anleggene alternativt hadde måttet bli plassert hvor de kunne bli utsatt for ekstreme værforhold. Oppdrettsanlegg plassert i innelukkede fjorder med liten utskifting av vann, var svært utsatt for lokal eutrofiering. Imidlertid har utvikling av mer robuste produksjonsanlegg tillatt oppdretterne å plassere anleggene på mer utsatte områder med høyere vannutskifting og større dybder. Dette har redusert problemene med akkumulering av organisk materiale og medfølgende produksjon av giftige biprodukter i det lokale marine miljøet rundt merden.

Siden utslipp av næringsstoffer var et problem for den enkelte oppdretter helt fra starten av oppdrettseventyret, så har oppdrettere så vel som myndigheter hatt fokus på problemet lenge. Allerede på helt på begynnelsen av 1990-tallet ble MOM-systemet introdusert, MOM=Matfiskanlegg – Overvåking – Modellering. Dette er et system som kan brukes til å regulere miljøpåvirkningene av organisk utslipp fra marine oppdrettsanlegg, slik at fisken både sikres gode levevilkår og slik at unødvendig miljøpåvirkning unngås. I dag må alle oppdrettslokaliteter melde inn miljøundersøkelser til Fiskeridirektoratet via Altinn. Denne undersøkelsen skal følge Norsk Standard 9410 «Miljøovervåking av bunnpåvirkning fra marine akvakulturanlegg» eller tilsvarende internasjonal standard, jf. Akvakulturforskriften §35.

Mens de fleste er enige om at selv om utslippene av næringsstoffer fra oppdrettsnæringen isolert sett er store, så er ikke dette noe stort miljøproblem per i dag. I helhetlig forvaltningsplan for

Nordsjøen og Skagerrak: Konsekvenser av fiskeri og havbruksaktivitet (Klima- og forurensningsdirektoratet, 2011), konkluderes det med: «Ut fra Havforskningsinstituttets risikovurdering representerer dagens utslipp av næringssalter og organisk stoff ikke noe regionalt problem. I nær- og mellomsonen omkring anleggene ser en imidlertid effekter. Datagrunnlaget er imidlertid begrenset og gir ikke tilstrekkelig grunnlag for å vurdere miljø- påvirkningen fra akvakultur ut fra kravet om en økosystembasert forvaltning. Konsekvensene av utslipp fra akvakulturanlegg på for eksempel koraller og svamp er lite kjent. Det er følgelig behov for å få på plass bedre overvåkning, og det er nærliggende å se dette i sammenheng med behovet for overvåking i henhold til vannforskriften. Her gjenstår en god del arbeid med å definere kvalitets- kriterier for de ulike vannforekomstene på kysten, som skal danne grunnlag for å evaluere økologisk tilstand i en gitt vannforekomst. I tillegg til næringssalter og organisk materiale blir det sluppet ut fremmedstoffer og legemidler fra oppdrettsanlegg. En redegjørelse for de antatt mest problematiske utslippene er gitt i Havforskningsinstituttet risikovurdering. Av de stoffene det er særlig aktuelt å skaffe seg mer kunnskap om inngår lakselusmidlene diflu- og teflubenzuron. Disse er funnet i vann, sjøbunn, blåskjell, krabber, reker og tanglopper. I henhold til britiske grenseverdier for vann og sjøbunn er nivåene over det som kan ødelegge skalldannelsen til krepsdyr. Det pågår forskningsaktivitet, bl.a. ved Havforskningsinstituttet, for å kartlegge nærmere de økologiske konsekvensene slike utslipp kan ha for krepsdyr og det omkringliggende miljø.» Fiskeridirektoratet (2011, side 84).



Figur 5.2: Utviklingen i utslipp av fosfor og nitrogen fra Akvakultur. (Kilde: Miljødirektoratet)

Utslipp av nitrogen og fosfor fra landbruk vil vanligvis ha et mer lokalt nedslagsfelt enn utslipp fra akvakultur. For havbruksanlegg med tilfredsstillende avstand fra land, vil utslipp av f.eks. nærings-salter hovedsak bli «borte på havet» (Husa et al., 2010). Det er på den annen side vanlig å anse utslipp av næringsstoffer fra landbruk som et vesentlig miljøproblem (se f.eks. «Bærekraftig bruk av fosfor» på <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2013/okt/barekraftig-bruk-av-fosfor/id2433304/>). Slike utslipp av nitrogen og fosfor fra landbruk kan skje fra spredning av gjødsel på dyrket mark og beite. Jorderosjon på gjødslet mark kan føre til utvasking av fosfor som igjen renner ut i sjøen eller i vassdrag, og nitrogen kan lekke direkte ut fra jorda. En kan også få tilførsler av næringsalter gjennom lekkasjer eller utslipp fra siloer, gjødselkjellere og melkerom på gårdene.

I denne sammenhengen har vi ikke sett behov for å gå nærmere inn på å vurdere utslippene fra de to næringene opp mot hverandre.

5.3 Lakselus

De fleste lakseoppdrettere vil være ganske samstemte i at det er lakselus som er den største miljøutfordringen i dag. Parasitten gjør det både dyrere å produsere og gjør det politisk vanskelig å øke produksjonskapasiteten i Norge.

Lepeophtheirus salmonis er den økonomisk sett viktigste arten av lus på grunn av utbredelse på oppdrettslaks på den nordlige halvkule. Av den grunn finnes også en relativt omfattende litteratur relatert til deres biologi, epidemiologi, fysiologi, patogenitet og kontroll (Pike & Wadsworth, 1999; Boxaspen, 2006; Costello, 2009;. Johnson, et al., 2004; Tully & Nolan, 2002). Lakselus har en relativt enkel livssyklus med både yngel, «ungdom» og voksenliv på verten (Boxaspen, 2006). Gravide voksne hunnlus produserer to eggstrenger med ca. 100-1000 egg per streng, og en singel hunnlus kan overleve i opptil 7 måneder og produserer 6-11 kull (Costello, 2006). Hunnlusens fruktbarhet og utvikling på alle stadier avhenger av vanntemperaturen. Generasjonsintervallet fra egg klekkes til moden voksen lus er for *L. salmonis* 40-50 dager ved 10 °C (Costello, 2006). Etter klekking spres lus i vannsøylen som planktoniske larver som kan overleve på sine egne energi-reserver i 5-15 dager (avhengig av vanntemperaturen) før de fester seg til verten sin (Costello, 2006; Boxaspen, 2006). Larvene driver med strømmen slik at spredningen i stor grad er avhengig av lokale hydrografiske forhold (Boxaspen, 2006).

Parasittiske lakselus beiter og spiser på vertens slim, hud, underliggende vev og blod. Laksen responderer med redusert appetitt og vekst. Sårene, som kan gi økt stress og redusert vitalitet på grunn av infeksjon, er også antatt å øke laksens mottakelighet for sekundære infeksjoner og viral eller bakteriell sykdom (Costello, 2006; Johnson, et al., 2004;. Tully & Nolan, 2002). Selvom lus sjelden fører direkte til at laksen dør (dvs. ikke-patogene dødelighet), kan høye nivåer av luseangrep, som igjen fører til sekundære helseeffekter, faktisk gjøre det (Pike & Wadsworth, 1999).

Lakselusen har eksistert siden lenge før oppdrettsnæringen. For eksempel beskriver en rapport fra 1940 fra Moser River (Nova Scotia, Canada) alvorlige lakselusinfeksjoner og tilhørende dødfisk: «fisk, som var tilsynelatende frisk besteg fra elvemunningen, gjennomført hundrevis av lus .. noe av smålaksen hadde et nesten komplett lag lus som strakk seg fra den bakre kanten av øynene til

hale peduncle på dorsal del av kroppen med også et lite lus rundt anal og bukfinnene» (Hvit, 1940). Tallene fra denne elven viste en betydelig årlig variasjon i lakselusinfeksjonsratene.

Generelt har oppdrett av laks økt vår kunnskap om marine patogener. Lakselus har vært et alvorlig problem for oppdrett av atlantisk laks helt siden 1970-tallet (Brandal et al., 1976; Brandal & Egidius, 1977), og lakselusa har større økonomiske konsekvenser enn noen annen parasitt (Costello et al., 2004). Laks på samme sted med høy tetthet hele året gir ideelle forhold for lakselus.

Et stort antall vitenskapelige artikler har undersøkt populasjonsdynamikken for lakselus fra oppdrettsanlegg til villaks (Krkošek et al., 2005; Krkošek et al., 2006; Price et al., 2011) og de påfølgende økologiske effekter på vill laksefisk (Krkošek & Hilborn, 2011; Krkošek et al., 2006; Krkošek et al., 2007; Costello, 2009; Bjørn et al., 2001; Bjørn et al., 2002; Finstad et al., 2000). Resultatene fra disse studiene er ikke entydige. Mens noe forskning har rapportert betydelige økninger i dødelighet av villfisk i forbindelse med lus fra oppdrettsanlegg, har annen forskning argumentert for at det er forhold i havet, menneskeskapt effekter og/eller naturlige svingninger i fiskepopulasjonsnivå, som har vært hovedårsaken til den observerte nedgangen av villfisk (Marty et al., 2010; Brooks & Jones, 2008; Beamish et al., 2006.).

Lakselusproblemet får oppmerksomhet delvis på grunn av potensialet for spredning av lus fra oppdretts til villaks og dels på grunn av interaksjoner mellom oppdretterne. Det er nødvendig å skille mellom kostnadene til individuelle oppdrettere i forbindelse med lakselusangrep og de samfunnsøkonomiske kostnadene av lakselus som kommer fra disse anleggene. Oppdretternes kostnader inkluderer tapt produksjon på grunn av sykdom eller brakklegging og ikke minst behandling. Kostnader forbundet med lakselus som smitter andre oppdrettere eller enda bredere har konsekvenser for økosystem, inkluderer høyere produksjonskostnader for andre oppdrettere på grunn av infeksjoner og behandling og redusert fangst av villaks som følge av økt dødelighet av villaksbestander (Asche, Guttormsen & Tveterås, 1999).

Anleggsspesifikke kostnader på grunn av lakselus er relativt godt forstått. En oppdretter vil normalt behandle mot lakselus når produksjonskostnadene har økt som følge av redusert vekst, økt førfaktor og redusert salgbarhet grunnet hudskader til et nivå som overstiger behandlingskostnadene. Påvirkning av lakselus på produksjonskostnadene hos en oppdretter, har en tendens til å påvirke flere oppdrettere i en region (Tveterås, 2002). For industrien i regionen, gir dette gode holdepunkter for reguleringer og forskrifter som begrenser en slik eksternalitet.

Oppdretterne har fått mye kritikk for hvordan de har håndtert luseproblemet. Denne kritikken har nok påvirket både utformingen av regelverk og tillatelser til å operere. En kan vel trygt si at bekymringer relatert til lakselus har vært det viktigste argumentet mot videre vekst i næringen. Det er heller ikke tvil om at den sterke negative publisitet som følger av lakselusproblemet har påvirket omdømmet til næringen, selv om lite tyder på at det har hatt noen effekt på etterspørsel etter laks.

Lakselusinfeksjon hos det enkelte anlegg har vært tungt regulert siden 1997, da «norske handlingsplanen mot lakselus på laksefisk» ble etablert for å redusere skadevirkningene av lus på oppdrettsfisk og villfisk (Heuch et al., 2005). Planen setter opp en terskler for maksimal gjennomsnittlig antall lus per fisk (dvs. teller lus) og et obligatorisk rapporteringssystem for alle mobile stadier av infeksjøs lus. Terskelverdiene for lakselus som forvaltes av Mattilsynet, er for tiden satt til 0,5 voksne hunnlus eller 3 mobile lus (inkludert voksne hunnlus) per fisk i perioden 1. januar til 31. august, og en voksen hunnlus eller 5 mobile lus per fisk i perioden 1. september til 31.

desember. Hvis dette tallet overstiges, er det obligatorisk for oppdretteren å behandle medisinsk eller slakte fisken innen 2 uker.

Rekreasjonsfiske av laks, kommersielt fiske av villfisk og havbruk har ulike interesser, rutiner, tradisjoner og styringsmål og strategier (Liu, Olaussen og Skonhoft, 2011). Tettheten av oppdrettsanlegg i et område har en klar effekt på nivåene av lakselus på enkelte anlegg innenfor dette området. De kvantitative estimater av disse virkningene viser store variasjoner. Videre forskning er nødvendig for å forstå mekanismene og prosessene.

Siden starten av storskala lakseoppdrett i 1970, har kontroll over lakselus vært basert hovedsakelig på bruk av kjemikalier. Dette har vært effektivt og relativt enkelt å bruke, samtidig har det også skapt uønskede miljøeffekter, yrkesrisiko og resistensproblemer. I løpet av de siste årene har det vært en utvikling i retning av en mer helhetlig forvaltningstilnærming med synkroniserte behandlinger, biologisk kontroll (leppefisk), immunologiske forstyrrelser, mekaniske avlusningssystemer, selektiv avl for lus-motstandsdyktig laks og regulatoriske tilnærminger (soner med synkronisert produksjon og brakklegging).

Alt tyder på at lakselus i overskuelig fremtid fortsatt vil være et alvorlig problem for oppdrettsnæringen og en trussel mot deres miljøtroverdighet. Dette er oppdretterne mer enn noen andre klar over. De investerer i dyr overvåking og bruker enorme ressurser på å bekjempe problemet både på kort og lang sikt. Mye tyder på at nøkkelen til en produksjon uten for mye lus ligger i å integrere flere måter å bekjempe lus på. Dette vil kreve betydelig forskning på områder som nye legemidler, mekanisk lusefjerning, vaksiner og immunstimulerende midler, selektiv avl for økt motstand, effektiv akvakulturproduksjon og bruk av leppefisk. Til slutt må en også videreutvikle kysthydrografiske og epidemiologiske modeller for å beregne overføringsdynamikk og utbredelse for på den måten å vite hvor en skal behandle og når.

6 LIVSLØPSANALYSER

Vi har tidligere i rapporten diskutert hvordan en kan sammenligne økologiske fotavtrykk av ulike produksjonssystemer. Et metodisk rammeverk for å analysere miljømessige konsekvenser gjennom livsløpet til et produkt er såkalte livsløpsanalyser, «Life Cycle Assessments» (LCA), (Rebitzer et al., 2004). LCA-rammeverket er nyttig for å kunne gjennomføre konsistente sammenligninger av ulike systemløsninger og alternative teknologier med hensyn på miljøegenskaper. Dette innebærer en evaluering som adresserer mange forskjellige miljøbelastningskategorier, fra global oppvarming, via forsuring til giftige utslipp med flere.

LCA har, siden fremvekst på 1970-tallet, utviklet seg til å bli et rammeverk for måling av miljøeffektivitet generelt. Det har tradisjonelt vært mest fokus på analyse av energibruk. Det unike med LCA blant de verktøyene som ser på biofysiske faktorer på den måten, er at det faktisk har blitt vedtatt internasjonale standarder (ISO 14040-14044). En LCA-analyse består normalt av fire iterative faser: 1) målsetting og omfang, 2) datainnsamling, 3) effektanalyse og 4) tolkningsfasen. LCA er således en iterativ prosess, hvor funn på et steg gjerne påvirker valg på et annet sted. Når en skal utføre en LCA, tar en vanligvis utgangspunkt helt i starten på verdikjeden for den produksjonen en ønsker å analysere. En flytter seg så suksessivt utover i verdikjeden. En sentral utfordring med LCA-metoden er å sette fornuftige systemgrenser og definere hvilke effekter som skal inkluderes. Systemgrenser avgrensede prosesser som inngår i selve analysen fra de som er ekskludert. Det finnes generelle krav om hvordan du setter disse grensene, men for forskning må de settes i forhold til hva en ønsker å oppnå, og de må inkludere alle elementer som har en faktisk innflytelse på resultater. Mange LCA-studier i akvakultur begrenser system til «farmgate», dvs. til fisken er oppe av merden, mens andre inkluderer foredling, pakking, markedsføring og konsum.

Estimering av kumulative miljøbelastninger i verdikjeden tillater at en kan ta hensyn til effekter både i geografisk rom og over tid. Dette er vanligvis ikke mulig i mer tradisjonelle analyser av miljøpåvirkning. Påvirkningskategorier spenner fra svært målbare effekter, for eksempel utslipp av drivhus gasser eller energibruk, til vanskeligere tilgjengelige effekter som effekter på human helse.

Resultatet fra en livsløpsanalyse for et produkt er normalt sterkt påvirket av både ambisjoner og ikke minst dyktighet og kunnskap hos den som utfører analysen. Selv om det er utarbeidet standarder og også dataprogrammer som kan utføre analysene, er det analytikerens kunnskaper om selve produksjonen og tilhørende vurderinger som til syvende og sist blir avgjørende for resultatene. Moderne programvare med innebygde databaser og metoder for utregning har derimot forenklet LCA-prosessen, slik at en nå lettere kan modellere ulike produksjonssystemer.

For landbruket er LCA relativt godt etablert, og det er gjort et utall av analyser for de fleste produksjonssystemer. De siste årene har det også blitt gjort stadig flere slike analyser for sjømat. Buchspies et al. (2011) gir en grundig oversikt over LCA-studier for fiskeri og akvakultur.

For livsløpsanalyser for sjømat er det store utfordringer knyttet til å utvikle kategorier passende til å kvantifisere miljøinteraksjoner som er karakteristiske for sjømatproduksjon, samt å beskrive begrensningene av informasjon som genereres (Pelletier et al., 2007). Et kontroversielt tema relatert til LCA, er også hvordan en skal fordele belastningen fra/på biprodukter. Dette er vanskelig siden endel biprodukter vil ha en betydelig innvirkning på LCA-resultatene og ikke minst på miljøomdømmet til matvarene. Er for eksempel slo og innmat i lakseproduksjonen avfall og derigjennom et problem eller er det et biprodukt og en ressurs?

Utslipp av klimagasser (GHG) og energibruk (CED, «cumulative energy demanded») er vanlige indikatorer i livsløpsanalyser av sjømat. Det er klart at ett tonn med klimagasser vil bidra til klimaendringer uavhengig av hvor utslippene skjer. Dette gjelder også for ozonreduserende stoffer og forbruk av ikke-fornybare ressurser (Pelletier et al., 2007). Disse indikatorene anses følgelig å være egnet for å sammenligne bærekraften av ulike matproduksjoner. For GHG er det vanlig å bruke en versjon av IPCC 2007 indikatoren, målt i kilo CO₂-ekvivalenter. For CED mener en ikke bare den direkte energien brukt i selve produksjonskjeden, men også energibruken i produksjon av utstyr. CED måles i MegaJoule ekvivalenter. For sammenligning av miljøbelastningen til ulike produksjonssystemer er det også vanlig å benytte veide indikatorer. Eksempelvis presenteres «Eco-indicator 99»⁹ i flere studier. Denne indikatoren veier ulike miljøpåvirkninger som skader på helse, skader på økosystem og bruk av ressurser. Relevant informasjon om Eco-indikator 99 er at standard enhet gitt i alle kategorier er punkt (Pt) eller millipoint (MPT). Siden målet med denne metoden er sammenligningen og ikke absolutt beskrivelse, så er de konkrete tallene av mindre interesse.

Når en skal sammenligne fotavtrykk for ulike produksjoner/produkter, er det sentralt at den funksjonelle enheten er fornuftig. En slik enhet avhenger av produktets funksjon, og den primære funksjon av sjømatprodukter er å tilfredsstille kroppens behov for ernæring, spesielt protein. I tillegg til å bruke 1 kg produkt som funksjonell enhet, kan en ved studier av miljøpåvirkning av animalske produkter også analysere ved å bruke 1 kg protein som funksjonell enhet, eventuelt en porsjon av produktet.

Et annet mål for bærekraft som har vært brukt i LCA for biologisk produksjoner, er «biotisk ressursbruk». En anslår da den mengden en trenger av primærproduktet for å produsere produktet (PPR, «primary production required»). PPR er ment som en indikator som sier noe om produktets bruk av biologiske ressurser. Beregning av PPR i et marint system er basert på et anslag om at 10 prosent av energien overføres mellom trofiske nivåer (Pauly og Christensen, 1995). I landbrukets produksjonssystemer er de fleste enige om at bruken av PPR-indikatoren er fornuftig. Alle trofiske nivå er tilgjengelige og salgbare, og produksjonsmengden ved hvert trofisk nivå kan betraktes uavhengig. I høsting av viltlevende marine ressurser derimot, der de lavere trofiske nivåer ikke er kommersielt tilgjengelig eller forespurt av markedet, er PPR-indikatorene ikke like egnet. I sammenligning mellom landbruksproduksjon og høsting av marine ressurser må en derfor se PPR-indikatorene i sammenheng med biologiske forutsetninger for de ulike produksjonene, om sammenligningen skal ha verdi.

6.1 LCA-studier av oppdrett

Det er etter hvert gjort flere LCA-studier av oppdrettsproblemstillinger, men fortsatt er det relativt få som er gjort for lakseoppdrett. Vi har etter diverse litteratursøk funnet noen få LCA-studier som er direkte laget for norsk lakseoppdrett. I tillegg er det utført en del slike studier for lakseoppdrett i

⁹ <http://www.pre-sustainability.com/download/EI95FinalReport.pdf>

Canada og Skottland, men en del av forutsetningene er såpass forskjellige at de blir lite relevante og resultatene er vanskelig sammenlignbare. Vi har sett på Pelletier et al. (2009), Buchspies et al. (2011), Ellingsen og Aanonsen (2006), Ellingsen et al. (2009), Winther et al. (2006) og Hogsnes, Nilsson, Sund og Ziegler (2012) som rene LCA-arbeider.

6.1.1 Ellingsen og Aanonsen (2006)

Det eneste LCA-studiet der lakseoppdrett er sammenlignet direkte med landbasert husdyrhold er Ellingsen og Aanonsen (2006). Deres utgangspunkt er at de ønsker å se på miljøpåvirkning fra villfanget torsk og oppdrettet laks for så å sammenligne med kyllingproduksjon. Kylling er spesielt interessant, både fordi det er et av de mest effektive landbaserte kjøttproduktene og ikke minst fordi det er et klart substitutt til laks på middagsbordet for de fleste konsumenter. Studien ser ikke på utslipp av CO₂.

I studien tok forfatterne utgangspunkt i en porsjon av produktet. De brukte 200 gram filet som funksjonell enhet, FU noe som tilsvarer kjøttinnholdet i en standard rett servert på restaurant. Som nevnt i LCA-introduksjonen vil enhver slik studie kreve en del forutsetninger, forutsetninger som blir sentrale for konklusjonen. Torsk i dette studiet er torsk fisket av fabrikktrålere, laksen er oppdrettet i Vest-Norge og kyllingen er produsert i Sør-Norge. Alle tre produktene antas solgt i Midt-Norge, og i studien følger de systemet helt frem til ferdig filet.

Forfatterne har delt opp produksjonen i klekking/smolt, transport til anlegg, oppdrett, transport til slakteri og prosessing, transport til engros, transport til detaljist og transport til konsument. For alle tre produksjonen er det selve oppdretts/fangstfasen som utgjør miljøutfordringene.

Det presenteres ulike indikatorer i analysen. Hva gjelder energiforbruk, er det kyllingproduksjon som kommer best ut med ca. 11 MJ/FU. Tilsvarende forbruker oppdrettslaks 13 MJ/FU og høsting av torskefilet 13,5 MJ/FU. For Eco-99. derimot, kommer oppdrettslaks best ut.

Spørsmålet en kan stille er hvorvidt denne studien er relevant for dagens lakseproduksjon.

I studien regner en med en innblanding av marine ingredienser i fôret på 68 prosent. Dette er som nevnt over mer en det dobbelte av hva som er aktuelt i dag. Ser en nærmere på analysen, viser den at en stor andel av energibruken i oppdrett er ved høsting av marin fisk til fôr. Forfatteren bemerker dette og regner også ut energibruk for en fisk som kun spiser vegetabilsk fôr. Energi-bruken blir da ca. 9,5 MJ/FU, med andre ord noe under produksjonen av kyllingfilet. Forfatterne konkluderer da også: «by replacing marine feed with vegetarian feed, the energy use can be reduced to a level somewhat lower than for chicken farming. Salmon convert feed to meat more efficiently than chicken, but some of the impacts are counteracted by more energy use in the farming infrastructure». Basert på at en går fra 13 MJ/FU til 9,5 MJ/FU ved å gå fra 68 prosent marint råstoff i fôret til 0 prosent, kan vi grovt anslå at en ved dagens ca. 30 prosent marint råstoff bruker noe over 11 MJ/FU altså omtrent det samme som ved kyllingproduksjon.

6.1.2 Pelletier et al. (2009)

I denne studien presenteres LCA-analyser for ulike former for lakseproduksjon. De analyserer ressursbruk og miljøpåvirkning fra lakseoppdrett i hver av de fire store oppdrettsregionene, Norge, UK, Canada og Chile, samt et vektet globalt gjennomsnitt. De ser spesielt på akkumulert energi-bruk, bruk av biotiske ressurser, utslipp av klimagasser, forsuring av sjø og eventuell eutrofiering. Som funksjonell enhet er valgt ett tonn levendevekt oppdrettslaks.

For innsamling av data har forfatterne bak studien brukt en kombinasjon av kjent sekundærdata og direkte spørsmål til industriaktører. Også i denne studien er fôroppskriften relativt forskjellig fra dagens. For norsk oppdrett er det regnet med at fôret består av 57,6 prosent marine ingredienser.

I studien kommer oppdrettslaks produsert i Norge ut som det desidert mest miljøvennlige. Studien er også klar på at det er fôrproduksjonen som er driveren for miljøpåvirkninger. Produksjonen i merden i seg selv produserer lite miljøproblemer.

Tabell 6.1 LCA for produksjon av 1 tonn laks i Norge, UK, Canada og Chile i 2007. Inkludert volumvektet gjennomsnitt

	CEU (GJ) (energibruk)	BRU (kg C) (bruk av biotiske ressurser)	GHG Em. (kg CO₂-ekv.) (klimagass- utslipp)	Acid. Em. (kg SO₂-ekv.) (forsuring)
Norge	26,2	111 100	1 790	17,1
UK	47,9	137 200	3 270	29,7
Canada	31,2	18 400	2 370	28,1
Chile	33,2	56 600	2 300	20,4
Snitt	31,1	89 400	2 160	20,4

I studien presenteres også flere sensitivitets- og scenarioanalyser. Blant annet presenteres tall for en analyse hvor fôr fisken er fisket i mer miljøvennlige fiskerier. Denne endringen reduserte utslipp CO₂-utslipp med så mye som 57 prosent.

Forfatterne har i denne studien ikke gjort noen konkret sammenligning med andre husdyr, men presenterer og sammenligner tallene for CO₂-utslipp med studier for annen husdyrproduksjon (se tabell 6.2).

Tabell 6.2: CO₂-utslipp fra ulike kjøttproduksjoner

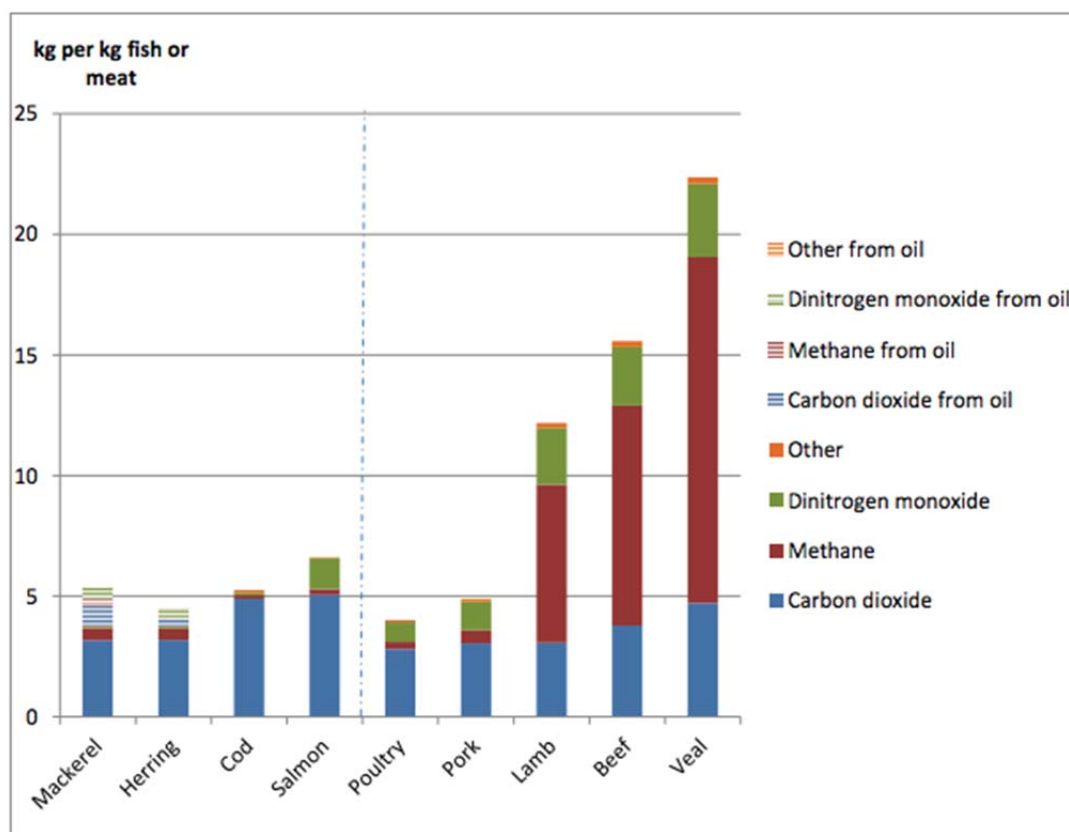
Produksjon	CO ₂ utslipp
Svensk svinproduksjon (Stern et al., 2005)	3,3 – 4,4 tonn CO ₂ ekv./t
Belgisk storfeproduksjon (Nemry et. al., 2001)	14,5 tonn CO ₂ ekv./t
Amerikansk fjørfe (Pelletier, 2008)	1,4 tonn CO ₂ ekv./t
Globale fiskerier (Tyedmers, Watson og Pauly, 2005)	1,7 tonn CO ₂ ekv./t
Norsk lakseproduksjon	1,8 tonn CO ₂ ekv./t

Vi ser her at norsk lakseproduksjon (gitt forutsetningene) slipper ut omtrent samme mengde CO₂ som amerikansk fjørfeproduksjon.

6.1.3 Buchspies, Tölle and Jungbluth (2011)

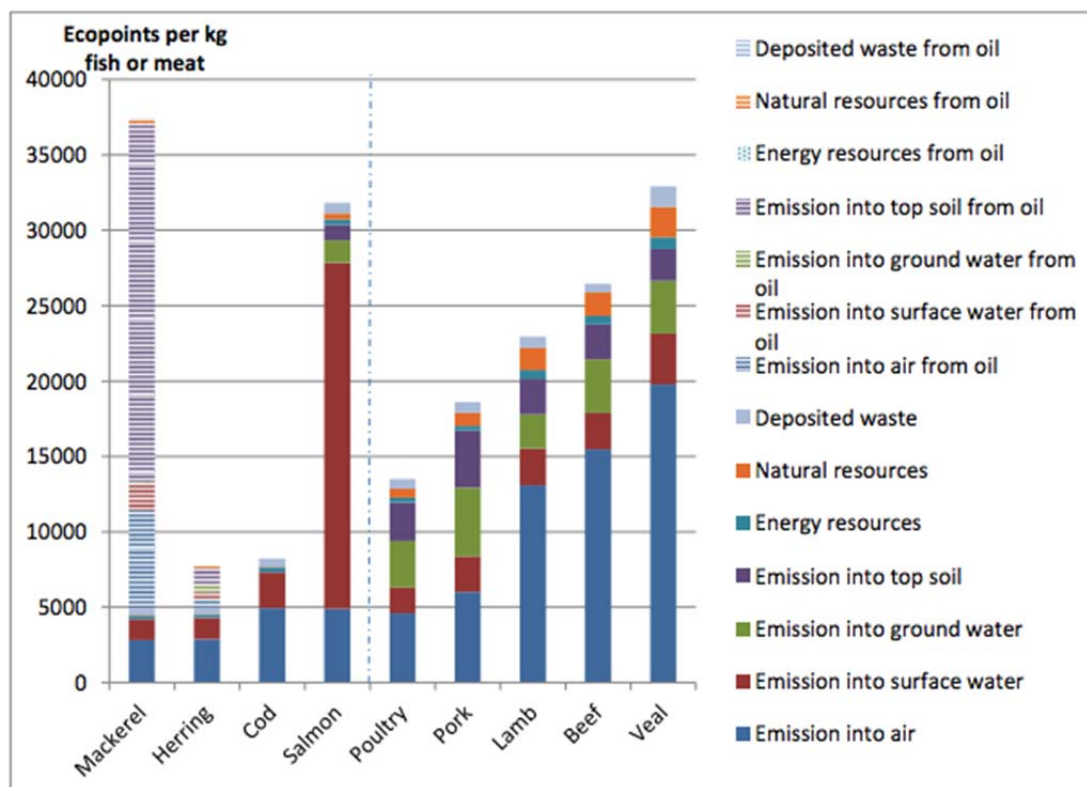
Her ønsker forfatteren å se på miljøpåvirkning fra ulike sjømatprodukter solgt i sveitsiske supermarkeder. Mens de andre studiene har sett på hel fisk eller filet, bruker denne studien 1 kg røyket laks solgt i et sveitsisk supermarked som funksjonell enhet. Forfatterne evaluerer ved hjelp av «the ecological scarcity method 2006» (Frischknecht et al., 2009) og «global warming potential 2007» (Solomon et al., 2007). Resultatene sammenlignes med ulike kjøttprodukter.

I denne studien fokuserer forfatterne på utslipp av næringsstoffer og på effekt på klima. I forhold til utslipp kommer lakseoppdrett veldig dårlig ut. Dette basert på utregninger av utslipp fra fôrspill, ekskrementer osv. I forhold til klimapåvirkning kommer også røkelaks dårlig ut i forhold til makrell, sild og torsk, med 6,6 kg CO₂-ekvivalenter per kilo røkelaks. Stordelen av CO₂-utslippet kommer fra fôrproduksjon og transport. Dersom en ser på CO₂-utslipp sammenlignet med kjøtt fra land, kommer laks veldig godt ut selv om laks her er videreforedlet (filetutbytte på 55 prosent pakket og reist ganske langt). Figur 6.1 er hentet fra rapporten og viser kilo utslipp av klimagasser for de ulike produksjonene.



Figur 6.1 Utslipp av CO₂ per kg. Fisk og kjøtt, for laks 1 kg røyket laks
Kilde: Hentet fra Buchspies, Tölle and Jungbluth (2011)

Denne studien er ikke publisert i faglitteraturen og er svak på flere områder, men hovedproblemet er at en regner alt utslipp av næringsstoffer i sjø som et miljøproblem (se også avsnitt 5.3.). Dette er hovedårsaken til at laks får veldig høye Ecopoints og derfor faktisk blir vurdert som mindre miljøvennlig enn de fleste kjøttraser. Utslipp regnes per definisjon som et miljøproblem uten at de overhodet tar hensyn til resipientens bæreevne. Figur 6.2 som er hentet fra rapporten, viser at dersom en ikke anser utslipp som noe stort problem, eventuelt sier at det er et begrenset problem, vil røykelaks bli mer miljøvennlig enn kylling, svin, lam og biff. Selv om studien er fra 2012, bruker den gamle data om så vel fôr som for føring.



Figur 6.2 Ecopoints per kg fisk eller kjøtt. For laks er det per kilo røyket laks
Kilde: Hentet fra Buchspies, Tölle and Jungbluth (2011)

6.1.4 Winther, Ziegler, Skontorp, Hognes, Emanuelsson, Sund and Ellingsen (2006)

Dette er en rapport publisert av Sintef. Hovedhensikten med rapporten er å kvantifisere CO₂-avtrykk og energibruk relatert til ulike norske sjømatprodukter. I tillegg ønsker forfatterne å identifisere mulige forbedringspunkter i verdikjeden samt sammenligne resultatene med kjøtt fra landbruket.

Metoden er LCA, og de bruker standard metodikk presentert i ISO 2006 a og b. Studien benytter data samlet inn i 2009 og hovedsakelig fra 2007.

I motsetning til flere av de andre studiene ser en i denne studien også på verdikjeden etter at laksen har forlatt merdkanten. En ser således både på fersk+sløyd i Paris (truck), Oslo (truck), Moskva (truck) og Tokyo (fly) frossen+sløyd i Shanghai (container), fersk+filet i Paris (truck) og frossen+filet i Paris (truck). For alle produktene/markedene er funksjonell enhet 1 kg.

Resultatene i denne studien er helt på linje med hva en finner i tilsvarende studier. For CO₂-utslipp viser studien at produksjonen av 1 kilo laks fører til utslipp av 2,0 kg CO₂-ekvivalenter. Mer enn 90 prosent av CO₂-utslippet kommer fra fôrproduksjonen. CO₂-utslippet øker med ca. 0,5 kg ved filetering og frakt til Paris med bil. Derimot øker CO₂-utslippet dramatisk dersom en ønsker å selge fersk laks i Tokyo. I undersøkelsen har forfatterne regnet ut at utslippet da blir nærmere 14 kg CO₂ per kilo produsert fersk sløyd laks. For transport til andre markeder (med bil) øker utslippet fra ca.

2 til opp mot 4 kg CO₂-ekvivalenter per kilo laks. Se tabell 6.2 for oppsummering som klart viser at det i forhold til CO₂-utslipp er størst muligheter for å redusere ved å endre klimautslippet til føret.

Tabell 6.2 CO₂-utslipp fra laks av ulik foredlingsgrad og leverte ulike geografiske steder. Utslippene er delt opp i verdikjeden. Tallene oppgir CO₂-ekv./kg spiselig produkt

	Totalt	Fôr	Farming	Pro- sessering	Tran- sport- produktet	Transport innpakking
Fersk-sløyd-Paris	3,6	2,72	0,14	0,03	0,51	0,20
Fersk-sløyd-Oslo	3,29	2,72	0,14	0,03	0,20	0,20
Fersk-sløyd-Moskva	4,13	2,72	0,14	0,03	1,05	0,20
Fersk sløyd-Tokyo (fly)	13,86	2,72	0,14	0,03	10,83	0,14
Frossen-sløyd-Shanghai (båt)	4,20	2,72	0,14	0,05	1,18	0,11
Fersk-filet-Paris	2,5	1,90	0,10	0,14	0,26	0,09
Frossen-filet-Paris	2,47	1,90	0,10	0,18	0,21	0,07

6.1.5 Ellingsen, Olaussen og Utne (2009)

I denne artikkelen tar forfatterne sikte på å presentere status for miljøpåvirkningen av norsk lakseoppdrett. Dette gjør de i form av en gjennomgang av andre studier og en begrenset LCA-analyse. I LCA-analysen tar de utgangspunkt i en kilo laksefilet som funksjonell enhet, og de følger laksen fra klekking av egg til filet hos konsument. Også i denne studien bruker forfatterne Ecoindicator 99, i tillegg til at de presenterer utslipp av CO₂ ekvivalenter per kilo filet. Avhengig av hvorvidt føret er tørket basert på tungolje eller LNG, kommer forfatterne til at utslippet av CO₂ ekvivalenter for produksjon og transport til konsument i Paris er 3,0 eller 2,9 CO₂-ekvivalenter per kilo filet».

Forfatterne har i denne studien redusert andelen marine ingredienser i føret fra 68 prosent til 55 prosent i forhold til Ellingsen og Aanondsen (2006) og er således nærmere dagens virkelighet. En ytterligere reduksjon vil, basert på det de skriver, redusere CO₂-utslippet ytterligere. De skriver i sin artikkel: «A salmon living on a less marine-based diet is more energy efficient than a salmon living on a large amount of marine feed, because, in general land based crops can be produced more efficiently with respect to greenhouse gas emissions than industrial fish. In order to improve the energy efficiency of the aquaculture production, focus should be concentrated around both feed utilization efficiency and the feed content».

6.1.6 Hognes, Nilsson, Sund og Ziegler (2014)

Denne rapporten er den nyeste LCA-analysen av norsk lakseproduksjon. Hovedmålet med studien er å kartlegge hvor i verdikjeden miljøutfordringene oppstår. Rapporten fokuserer på fôr og sammenligner miljøpåvirkning fra lakseoppdrett basert på fôrøppskrifter fra 2010 med tilsvarende produksjon, med fôrøppskrifter fra 2012. I studien bruker forfatterne en kilo spiselig laks som funksjonell enhet, og de ser på hele verdikjeden fra produksjon av fôr og frem til slakteklar laks. I motsetning til andre tilsvarende studier tas det også hensyn til produksjonen av mikroingredienser som inngår i fôret. Studien har fokus på CO₂-utslipp, ferskvannsbruk og fosforforbruk.

I studien har forfatterne gått detaljert inn på hver enkelt forråvare. For råvarene fra landbruket har de hentet data fra databasen Agri-footprint. Denne databasen inkluderer blant annet klimaeffekter fra «endret bruk av land». Det vil si at soyaforbruket til norsk lakseoppdrett bærer med seg CO₂-utslipp basert på at land i Brasil endres fra eksempelvis regnskog til soyaproduksjon. Med andre ord har en implisitt gitt norsk lakseoppdrett skylden for at soyaproduksjonen øker på bekostning av annen bruk av landarealer. Studien kommer frem til at karbonavtrykket for norsk laks økte fra 3,69 kilo CO₂ per kilo produsert laks i 2010 til 4,03 kilo CO₂ per kilo produsert laks i 2012. Grunnen til den relativt betydelige økningen skyldes ene og alene måten CO₂-utslipp fra soyaproduksjonen regnes inn på.

I rapporten presenteres også resultater dersom en ikke tar inn «endring i bruk av land», etter vår mening en mer fornuftig tilnærming. I så fall reduseres tallet i 2012 til 2,61 kilo CO₂.

Både fosforforbruk og forbruk av ferskvann er tatt med som måleparametere for økologisk fotavtrykk. Det diskuteres ikke i rapporten hvorfor fosfor er et sentralt måletall, men konklusjonen er at det brukes 11 gram fosfor per kilo laks produsert. Hva gjelder ferskvann, nevnes det at tilgang til drikkevann er den «neste store globale miljøutfordringen», men det er ikke diskutert hvorvidt forbruk av ferskvann er noe miljøutfordring i Norge.

6.2 Utslipp av klimagasser

Dette er den faktoren som er lettest å sammenligne fra studie til studie. Nær sagt alle LCA-studier presenterer tall for utslipp av CO₂-ekvivalenter per produsert enhet. Forskjellen fra studie til studie er hvilke enhet en regner i forhold til. Oppsummert viser våre studier utslipp av klimagasser som vist i tabell 6.3.

Tabell 6.3: Oppsummert CO₂-utslipp fra lakseproduksjon i ulike studier

Studie	CO ₂ -ekvivalenter
Ellingsen, Olaussen og Utne (2009).	3,0 eller 2,9 CO ₂ -ekvivalenter per kilo filet
Buchspies (2011)	6,6 CO ₂ -ekvivalenter per kilo røyket laks
Pelletier et al. (2009)	1,8 kg CO ₂ -ekvivalenter per kilo levende vekt
Winter et al. (2009)	2,0 kg CO ₂ -ekvivalenter per kilo levende vekt
Ellingsen og Aanonsen (2006)	Rapporterer ikke
Hognes et al. (2014)	4,0 kg CO ₂ -ekvivalenter per kilo levende vekt

Disse tallene kan en så sammenligne med tall fra Vries og DeBojr (2010) samt Cederberg et al. (2009) i tabell 6.4.

Tabell 6.4: CO₂-utslipp ved produksjon av landbasert kjøtt fra ulike studier

Svin	Heavier finishing (Vries)	6,08
	Indoor breeding (Vries)	6,42
	Outdoor breeding (Vries)	6,33
	Konvensjonell (Vries)	6,36
	Svensk (Cederberg)	5,9
Kylling	Konvensjonell (Vries)	4,57
	Frittgående (Vries)	5,48
	Sverige (Cederberg)	2,7
Biff	Lowland (Vries)	15,6
	Hill and upland (Vries)	16,4
	Non-organic (Vries)	15,8
	Sverige (Cederberg)	30

Tabell 6.3 sammen med tabell 6.4 viser klart og tydelig at norsk lakseproduksjon er blant de mest klimavennlige produksjonene av proteiner, og litt mer klimavennlig enn både svin og fjørfe.

I forhold til de andre målene som nevnes i de ulike analysene, er det litt mer usikkert å sammenligne direkte.

6.3 Avslutning om LCA

Det er gjort relativt få LCA-analyser av lakseoppdrett, og enda færre av norsk lakseoppdrett. Felles for alle analysene (med unntak av Hognes et al. (2014) er at de bruker relativt gamle fôroppskrifter. Alle har høyt innslag av marine fôrråvarer, og dette trekker i negativ retning i forhold til miljø. Med nyere fôroppskrifter hadde laks kommet bedre ut. Hvor mye bedre, derimot, er ikke mulig å si noe om uten å utføre nye studier.

Alle studiene er klare på at det er produksjonen av fôr som er avgjørende i forhold til CO₂ utslipp. Dette er spesielt interessant gitt at vi vet at laksen er mer fôreffektiv enn alle andre husdyrarter, uavhengig av at den spiser fôr som ligner mer og mer på det husdyr på land spiser.

I de fleste studiene kommer laks relativt godt ut. Et unntak er studien til Buchspies (2011) som er opptatt av utslipp av næringssalter til omkringliggende miljø, og Hognes et al. (2014) som legger stor vekt på hvordan soya produseres i Brasil. Her kommer lakseoppdrett dårlig ut. I forhold til utslipp av klimagasser, kommer laks stort sett veldig godt ut. De publiserte studiene peker også på at produksjonen av oppdrettslaks ville komme betraktelig bedre ut dersom en større andel av fôrråvarer kom fra vegetabiler, noe som faktisk har skjedd. En nyanse i forhold til det er den upubliserte studien til Hognes et al. (2014), som argumenterer med at mer soya i fôret gir et høyere CO₂-utslipp på grunn av endring i bruk av land i Brasil.

En viktig grunn til å lage LCA-analyser er at en skal kunne sammenligne ulike produksjonssystemer. Samtidig advares det alltid mot slike sammenligninger da forutsetningene ofte er forskjellige. Basert på de studiene vi har presentert kan en likefullt tillate seg å sammenligne noe. Vries og de Boer (2010) har skrevet en artikkel som verken omhandler villfisk eller oppdrettet laks, men som er en oversikt over LCA-studier for landprodusert kjøtt. Forfatterne har analysert tjuefire vitenskapelige studier som alle har sett på miljøeffektene av produksjon av svin, kylling, biff, melk og egg. Alle studiene som diskuteres er relatert til OECD-land og til ikke-organisk produksjon.

Dersom laks skal bli mer miljøvennlig, er fortsatt forbedringer av fôrutnyttelse (FCR) og en økt inkludering av vegetabiliske ingredienser helt sentralt. Ytterligere forbedringer kan gjøres ved å identifisere fôrråvarer med minst miljøkostnader, dette gjelder spesielt valg av fôrfisk, kilder til fiskemel og olje. Det er forskjellig hvor energieffektive ulike fiskerier er, og fôrprodusentene må fokusere på ikke bare hva de har i fôret, men hvor de får råvarene fra.

Redusert bruk av fiskemel i fôret har i stor grad vært drevet av økende offentlig bevissthet om «fisk inn»-«fisk ut» forholdstall som følge av merking og sertifiseringsinitiativer. Økt pris på marine oljer har selvsagt også motivert førselskapene til å redusere andelen marint. Den samlede etterspørselen etter fiskemel og fiskeolje i havbruk har, selv om andelen marine oljer/protein går ned, økt. Dette på grunn av økning i total akvakulturproduksjon over tid.

Den andre faktoren som trekker i «negativ» miljøretning for laks, er ikke uventet transporten. Laks produseres i norske fjorder og konsumeres over hele verden, tilsvarende produseres store deler av råvarene til fôret langt vekk fra Norge. Mer miljøvennlig transport vil følgelig ha stor effekt på miljøpåvirkningen til sluttproduktet.

7 LAKS VERSUS KJØTTPRODUKSJON

I denne rapporten har vi ønsket å se på miljøeffektiviteten til lakseproduksjon samt diskutere denne opp mot produksjon av annen mat og da spesielt kjøtt. Vårt utgangspunkt er som nevnt flere steder at dersom en velger å *ikke* produsere 1,2 millioner tonn laks, må en produsere tilsvarende mengde næringsstoffer på en annen måte. En kan ta en idealistisk tilnærming til det og si at en istedenfor kan spise mer planteråstoffer, eller en kan ta en mer realistisk tilnærming og «regne med» at alternativet til laks i de fleste tilfeller vil bli kjøtt eller annen fisk. Videre er det slik at både effektiviteten og miljøvennligheten til kjøttproduksjon varierer fra produksjonsland til produksjonsland. I Norge for eksempel har vi en landbrukspolitikk som begrenser størrelsene på enhetene og derigjennom innvirker både på effektivitet, miljø og dyrevelferd. Norge eksporterer laks til mye over 100 land, og en kan definitivt ikke anta at for eksempel japanerne vil kjøpe norsk kylling dersom laksen blir borte.

Å sammenligne *norsk* kjøttproduksjon med norsk lakseoppdrett innebærer å sammenligne produksjoner med ulike forutsetninger. Mens Norge har naturgitte forhold for å produsere atlantisk laks mer effektivt enn nesten alle andre land, er vårt nordlige klima ikke like godt egnet for konvensjonell kjøttproduksjon. Når vi likevel mener det er grunn til å foreta en slik sammenligning, er prioritering mellom ulike typer matproduksjon er viktig av hensyn til økosystemenes produksjonsevne. Og grunnlaget for prioritering ligger i erkjennelse av både ernæringsmessige verdier og reelle miljøeffekter av produksjonen. Ingen form for matproduksjon bør unndras fra en slik kritisk miljøvurdering ved for eksempel å henvise til at verden har økende behov for matvarer, at det har en samfunnsverdi å utnytte beiteressurser e.l.

7.1 Norsk kjøttproduksjon

Husdyrproduksjonen i Norge er ikke stor i kvantum, men må likevel regnes som helt sentralt for norsk landbruk, bosetting og landskapspleie. Det har i Norge vært et politisk mål at vi skal være selvforsynte med kjøtt. Det har vi også vært i noen år, mens en i andre har hatt underskudd.

I 2014 ble det alt i alt produsert 340 000 tonn kjøtt, inklusiv hest og tamrein, til en salgsverdi av litt over 10,6 milliarder kroner. Av dette utgjør svinekjøtt 128 800 tonn, storfekjøtt 78 800 tonn, sauekjøtt 24 300 tonn og fjørfekjøtt om lag 106 100 tonn (Budsjettnemnda, 2015). Produksjonen av storfekjøtt har minket noe de siste årene, mens totalforbruket har økt i takt med folketallet. Produksjon og forbruk av svinekjøtt og spesielt av fjørfekjøtt, har økt relativt sterkt over flere år. Arbeidsinnsatsen i jordbruket totalt er beregnet til ca. 47 000 årsverk i 2014.

Arbeidsinnsatsen har minket med vel fire prosent årlig stort sett hvert år, noe lavere de siste fem årene. Det siste året det foreligger offisielle tall for fordeling av årsverk på ulike produksjoner i jordbruket er 2010. I følge beregninger utført ved NIBIO var 89 prosent av samlet antall årsverk i jordbruket i 2014 knyttet til husdyrproduksjoner, hvorav 81 prosent til grovfôrbaserte produksjoner inklusive hestehold. Planteproduksjoner stod for 11 prosent, hvorav korn 4 prosent, mens resten er hagebruk og potetproduksjon. Tallene for husdyrproduksjon inkluderer både egg og melk.

7.2 Effektivitetsforskjeller

Alt i alt kommer oppdrett av laks godt ut i forhold til både effektivitet og miljømessig fotavtrykk sammenlignet med landbasert husdyrproduksjon. Både tallene for CO₂-utslipp og effektivitet underbygger det. Tabell 7.1 oppsummerer effektivitetstall og miljøtall for produksjon av ulike typer animalsk protein.

Tabell 7.1: Sammenligning av ulike typer produksjon av animalsk protein

Egenskap	Storfe	Kylling	Svin	Laks	Referanse
CO ₂ -fotavtrykk (kg CO ₂ /kg spiselig kjøtt)	30kg	3,4 kg	5,9 kg	2,9 kg	Cederberg et al. (2009) og Winther et al. (2009)
Forbruk av ferskvann (m ³ /tonn spiselig kjøtt)	15 415 m ³	4 325 m ³	6 877 m ³	1 400 m ³	Mekonnen og Hoekstra (2012) og Marine Harvest (2015)
Fôrfaktor	4,10	1,79	2,63	1,15	Ytrestøyl et al. (2015)
Energiretensjon	27 %	10 %	14 %	23 %	Torrison et al. (2011)
Proteinretensjon	15 %	21 %	18 %	31 %	Bjørkli (2002)
Spiselig utbytte	41 %	46 %	52 %	68 %	og Marine Harvest
Spiselig kjøtt per 100 kg fôr	4-10 kg	21 kg	17 kg	57 kg	(2015)

For definisjoner, se noter i tabell 4.1.

8 AVSLUTTENDE KOMMENTARER

Veksten i norsk laksenæring har vært betydelig fra en sped begynnelse med introduksjonen av flytemerden i 1970 til en produksjon på nesten 1,3 millioner tonn i 2014. Gitt at flytemerden er åpen og at lakseproduksjon er en biologisk produksjonsprosess, så er det uunngåelig at den økte oppdrettsproduksjonen ikke skaper miljøutfordringer. Når en skal diskutere næringen i et bærekraftperspektiv, er dette i seg selv ikke en utfordring. Ifølge Brundtlandkommisjonens definisjon på bærekraft blir det en utfordring først hvis de negative eksternalitetene fra næringen er så store at de gjør uopprettelig skade på miljøet lokalt eller regionalt. Når en diskuterer norsk laksenærings miljøutfordringer, er perspektivet ofte svært begrenset da fokus er på direkte effekter av næringens virksomhet. Dette er naturlig når en er opptatt av lokalmiljø og lokale ringvirkninger, men overser mange av de viktigste miljøutfordringer samfunnet står ovenfor og oppdrettslaksens bidrag i dette perspektivet.

Norsk laksenæring var en pionernæring i forhold til oppdrettsproduksjon. Etter hvert som produksjonen økte og anleggende ble større, dukket en rekke ny utfordringer opp i form av sykdom, rømming og utslipp. Disse utfordringene burde kanskje ikke være en overraskelse gitt at landbruket har møtt og lært seg å håndtere dem, og i stor grad har laksenæringen opparbeidet seg kunnskap til å også gjøre det. Nye faggrener som fiskemedisin og fiskeernæring er oppstått for å møte disse utfordringene, og gjør at vi har mer kunnskap om fiskeproduksjon og dens effekter i dag enn en har hatt på noe tidligere tidspunkt.

Som i landbruket har en også lært at miljøutfordringer ikke respekterer grenser, og at et godt forvaltningssystem er viktig for miljømessig bærekraft. Norsk laksenæring har vist betydelig løsningssevne i forhold til å ta i bruk ny kunnskap og å tilpasse kunnskap fra landbruket. Dette har gjort at laksens miljøpåvirkning per kilo produsert har blitt betydelig redusert. Den store produksjonsøkningen har imidlertid gjort at noen miljøutfordringer fremdeles er uløste. Spesielt viktig er påvirkningen på villaksen gjennom lakselus og rømming. Det er mye som tyder på at oppdrettsnæringen her både kan og bør bli bedre. Samtidig er det også urimelig om oppdrettsnæringen i for stor grad skal stå til rette for andres synder, og det er utbredt enighet i dag om at det først og fremst er laksestammer som allerede er svake hvor rømt oppdrettslaks og lakselus kan ha stor påvirkning.

I et større perspektiv gir all matproduksjon negative miljøkonsekvenser. Gitt at forbrukere som konsumerer laks gjør det som et alternativ til andre former for mat, så er den totale miljøkonsekvensen av lakseoppdrett summen av miljøkonsekvensene av å produsere en porsjon laks minus summen av miljøkonsekvensene av å produsere den alternative maten. I et slikt perspektiv er den totale miljøkonsekvensen av laksenæringen betinget av miljøkonsekvensen av alternative matkilder. Oppdrettslaksen har betydelig mindre miljøkonsekvenser i form av CO₂-utslipp enn rødt kjøtt som storfe og gris og er på omtrent samme nivå som kylling og fisk fanget med aktiv redskap som trål, men har større miljøkonsekvenser enn fisk fanget på passiv redskap og grønnsaker. Gitt at forskjellige former for kjøtt er de mest nærliggende substituttene for laks, vil da miljøeffekten av laks i verste fall være nøytral og, så lenge noen av alternativene er rødt kjøtt, vil den faktisk kunne være positiv.

Brundtlandkommisjonen vektlegger også bærekraft i en økonomisk og en samfunnmessig dimensjon i tillegg til miljømessig bærekraft. Dette innebærer at et samfunn kan måtte gjøre

avveininger mellom de forskjellige kriteriene. Den sterke veksten i lakseproduksjonen er en klar indikasjon på at næringen har vært økonomisk bærekraftig og dermed bidratt med verdiskaping i både lokalsamfunn og det norske storsamfunnet. Det er også dokumentert betydelig ringvirkninger fra oppdrettsnæringen i form av arbeidsplasser direkte og i leverandørbedrifter, spesielt i mindre samfunn langs kysten, og det er følgelig klart at næringen bidrar til samfunnsmessig bærekraft både direkte og indirekte gjennom avledede aktiviteter og skattebetaling. Den samfunnsmessige bærekraften må imidlertid nyanseres med at næringen båndlegger areal og ressurser i konkurranse med annen næringsvirksomhet og begrenser utøvelsen av denne.

I sum er det helt klart at norsk oppdrettsnæring er en svært effektiv matproduksjon som ut fra de kriterier vi kan dokumentere, er fullt ut konkurransedyktig i et miljø- og bærekraftperspektiv. Næringen skaper, som alle andre matproduserende næringer, miljømessige utfordringer. I et større perspektiv må disse miljømessige utfordringer ses som relativt små og dels ubetydelige i forhold til de bidrag næringen gir direkte til verdens matproduksjon og de indirekte bidragene den gir gjennom teknologi- og kunnskapsutvikling til nytte for andre oppdrettsarter og gjennom bedre folkehelse ved å tilgjengeliggjøre fet fisk for konsumentene.

REFERANSER

- Andersen, T. B., K. H. Roll og S. Tveterås (2008). Price Responsiveness of Salmon Supply in the Short and Long Run. *Marine Resource Economics* 23(4), 425–437.
- Asche, F. (2008). Farming the Sea. *Marine Resource Economics* 23(4), 527–547.
- Asche, F., A.G. Guttormsen & R. Tveterås (1999). Environmental problems, productivity and innovations in Norwegian Salmon Aquaculture. *Aquaculture Economics and Management* 3(1), 19–29.
- Asche, F., K.H. Roll og R. Tveterås (2009). Economic Inefficiency and environmental impact: An application to Aquaculture Production. *Journal of Environmental Economics and Management* 58(1), 93–105.
- Asche, F., K.H. Roll, og R. Tveterås (2007). Productivity Growth in the Supply Chain – Another Source of Competitiveness for Aquaculture. *Marine Resource Economics* 22(3), 329–334.
- Ayer, N., Tyedmers, P. (2009). Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in *Canada J. Clean. Prod.* 2009, 17, 362– 373.
- Beamish, R. J., Jones, S., Neville, C. E., Sweeting, R., Karreman, G., Saksida, S., & Gordon, E. (2006). Exceptional marine survival of pink salmon that entered the marine environment in 2003 suggests that farmed Atlantic salmon and Pacific salmon can coexist successfully in a marine ecosystem on the Pacific coast of Canada. *Ices Journal of Marine Science*, 63(7), 1326–1337.
- Bjørkli, J. (2002). Protein og energiregnskap hos laks, kylling, gris og lam [Protein and energy account in salmon, chicken, pig and lamb]. M.Sc. Thesis, Norwegian University of Life Sciences (UMB), Norway (2002).
- Bjorn, P. A., & Finstad, B. (2002). Salmon lice, *Lepeophtheirus salmonis* (Kroyer), infestation in sympatric populations of Arctic char, *Salvelinus alpinus* (L.), and sea trout, *Salmo trutta* (L.), in areas near and distant from salmon farms. *Ices Journal of Marine Science* 59(1), 131–139.
- Bjorn, P. A., Finstad, B., & Kristoffersen, R. (2001). Salmon lice infection of wild sea trout and Arctic char in marine and freshwaters: the effects of salmon farms. *Aquaculture Research* 32(12), 947–962.
- Black, E., Gowen, R.J., Rosenthal, H., Roth, E., Sechey, D. & Taylor, F.J.R. (1997). The cost of eutrophication from salmon farming: implications for policy - a comment. *Journal of Environmental Management* 49, 105–110
- Boissy, J.J. Aubin, A. Drissi, H.M.G. van der Werf, G.J. Bell, S.J. Kaushik (2011). Environmental impacts of plant-based salmonid diets at feed and farm scales. *Aquaculture* Volume 321, Issues 1–2, 16 November 2011, Pages 61–70.

- Boxaspen, K. (2006). A review of the biology and genetics of sea lice. *Ices Journal of Marine Science* 63(7), 1304–1316.
- Brooks, K. M., & Jones, S. R. M. (2008). Perspectives on Pink Salmon and Sea Lice: Scientific Evidence Fails to Support the Extinction Hypothesis. *Reviews in Fisheries Science* 16(4), 403–412.
- Brandal, P. og E. Egidius (1977). Preliminary report on oral treatment against salmon lice, *Lepeophtheirus salmonis*, with Neguvon. *Aquaculture* Volume 10, Issue 2, February 1977, Pages 177–178,
- Brundtland, Gro Harlem (1987). *Vår felles framtid. Oslo (Our Common Future: The World Commission on Environment and Development. Oxford.*
- Buchspies, B., S.J. Tölle og N. Jungbluth (2011). Life Cycle Assessment of High-Sea Fish and Salmon Aquaculture. PRactical training report, ESU Services Ltd. Uster, May 2011.
- Budsjettnemnda (2015). Totalkalkylen for jordbruket. Budsjettnemnda for jordbruket.
- Budsjettnemnda (2016). Resultatkontrollen II Detaljert del. Budsjettnemnda for jordbruket.
- Cederberg, C., Sonesson, U., Henriksson, M., Sund, V., Davis, J. (2009). Greenhouse gas emission from Swedish production of meat, milk and eggs 1990 and 2005. SIK Report No 793.
- Costello M.J. (2009). The global economic cost of sea lice to the salmonid farming industry. *Journal of Fish Diseases* 32, 115–118.
- Costello, M.J. (2006). Ecology of sea lice parasitic on farmed and wild fish. *Trends Parasitol* 22: 475–483 (2006).
- Costello, M.J. (2009). The global economic cost of sea lice to the salmonid farming industry. *J. Fish Diseases* 32: 115–118 (2009).
- Diana, J.S. (2009). Aquaculture Production and Biodiversity Conservation. *BioScience* 59(1) 27–38.
- Durning, A.B. and H.B. Brough (1991). Taking stock: Animal Farming and the environment. Worldwatch Paper. Washington, DC: Worldwatch Institute (1991).
- Einen, O., Holmefjord, I., Åsgård, T. & Talbot, C. (1995). Auditing nutrient discharges from fish farms: theoretical and practical considerations. *Aquaculture Research* 26, 701–713
- Einen, O., T. Morkore, A.M.B. Rora, and M.S. Thomassen (1999). Feed ration prior to slaughter—a potential tool for managing product quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 178: 149–169 (1999).
- Ellingsen, H., J.O. Olaussen, and I.B. Utne (2009). Environmental analysis of the Norwegian fishery and aquaculture industry—a preliminary study focusing on farmed salmon. *Marine Policy*, 33: 479–488 (2009).

- Ellingsen, H. og S.A. Aanonsen (2006). Environmental Impacts of Wild Caught Cod and Farmed Salmon - A Comparison with Chicken. *The International Journal of Life Cycle Assessment* Volume 11, Issue 1, pp 60–65.
- Erikson, U., Misimi, E. and B. Fismen (2010). Bleeding of anaesthetized and exhausted Atlantic salmon: body cavity inspection and residual blood in pre-rigor and smoked fillets as determined by various analytical methods. *Aquaculture research* 41(4), 496–510.
- Finstad, B., Bjorn, P.A., Grimnes, A., & Hvidsten, N.A. (2000). Laboratory and field investigations of salmon lice [*Lepeophtheirus salmonis* (Kroyer)] infestation on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts. *Aquaculture Research* 31(11), 795–803.
- Fiskeri- og kystdepartementet (2011). Effektiv og bærekraftig arealbruk i havbruksnæringen, Rapport fra et ekspertutvalg oppnevnt av Fiskeri- og kystdepartementet.
- Fiskeridirektoratet (2011). Helhetlig forvaltningsplan for Nordsjøen og Skagerrak. Konsekvenser for fiskeri- og havbruksaktivitet.
- Folke, C. and N. Kautsky (1992). Aquaculture with its environment— prospects for sustainability. *Ocean Coastal Management* 17: 5–24 (1992).
- Folke, C. and N. Kautsky (1989). The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. *Ambio*, 18: 234–243 (1989).
- Folke, C., Kautsky, N. & Troell, M. (1994). The cost of eutrophication from salmon farming: implications for policy. *Journal of Environmental Management* 40, 173–182.
- Folke, C., Kautsky, N. & Troell, M. (1997) Salmon farming in context: response to Black et al. *Journal of Environmental Management* 50, 95–10.
- Frischknecht, R., R. Steiner og N. Jungbluth (2009). The Ecological Scarcity Method – Eco-Factors 2006 - A method for impact assessment in LCA. Federal Office for the Environment FOEN.
- Grave, Kari og Edgar Brun (2016). Use of Antibiotics in Norwegian. Aquaculture. Report. Norwegian Veterinary Institute. Oslo, February 3, 2016.
- Guttormsen, A.G. (2002). Input Factor Substitutability in Salmon Aquaculture. *Marine Resource Economics* 17(2), 91–102.
- Hagelund, K. (2009). Produktivitetsutviklingen i Norge 1948-2008. Norges Bank, *Penger og kreditt* Vol. 37(2), s. 4–15.
- Heuch P.A., Bjorn P.A., Finstad, B., Holst, J.C., Asplin, L. & Nilsen F. (2005) A review of the Norwegian 'national action plan against salmon lice on salmonids': the effect on wild salmonids (vol 246, pg 79, 2005). *Aquaculture* 250, 535.
- Heuch, P. A., Bjorn, P. A., Finstad, B., Holst, J. C., Asplin, L., & Nilsen, F. (2005). A review of the Norwegian 'National Action Plan Against Salmon Lice on Salmonids': The effect on wild salmonids (vol 246, pg 79, 2005). *Aquaculture* 250(1-2), 535–535.

Hognes, E.S., K. Nilsson, V. Sund og F. Ziegler (2014). LCA of Norwegian salmon production 2012. (A26401) Sintef Fisheries and aquaculture.

Husa, V., M. Skogen, M. Eknes, J. Aure, A. Ervik og P.K. Hansen (2010). *Oppdrett og utslipp av næringsalter*. Havforskningsrapporten 2010. Fisken og havet, særnummer 1–2010. Havforskningsinstituttet. Bergen, 2010.

ICES. Book 10 North Atlantic Salmon Stocks. Copenhagen, Denmark: International Council for the Exploration of the Sea. Available from <http://www.ices.dk/products/icesadvice/2010/ICES%20ADVICE%202010%20Book%2010.pdf>. pp. 6–42 (2010).

Johnson, S.C., Treasurer, J.W., Bravo, S., Nagasawa, K., & Kabata, Z. (2004). A review of the impact of parasitic copepods on marine aquaculture. *Zoological Studies* 43(2), 229–243.

Kaartvedt, S., Johnsen, T.M., Aksnes, D.L., Lie, U. & Svendsen, H. (1991). Occurrence of the toxic phytoplankton *Prymnesium parvum* associated fish mortality in a Norwegian Fjord system. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48, 2316–2323.

Klima- og forurensingsdirektoratet (2011) Helhetlig forvaltningsplan for Nordsjøen og Skagerrak: Sektorutredning for fiskeri og havbruk. TA-nummer 2831/2011 2831 (<http://miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2831/ta2831.pdf>)

Krkosek, M., & Hilborn, R. (2011). Sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infestations and the productivity of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in the Broughton Archipelago, British Columbia, Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 68(1), 17–29.

Krkosek, M., Ford, J.S., Morton, A., Lele, S., Myers, R.A., & Lewis, M.A. (2007). Declining wild salmon populations in relation to parasites from farm salmon. *Science* 318(5857), 1772–1775.

Krkosek, M., Lewis, M. A., & Volpe, J. P. (2005). Transmission dynamics of parasitic sea lice from farm to wild salmon. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 272(1564), 689–696.

Krkosek, M., Lewis, M.A., Morton, A., Frazer, L.N., & Volpe, J.P. (2006). Epizootics of wild fish induced by farm fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103(42).

Kumbhakar, S.C. og R. Tveteras (2003). Risk Preferences, Production Risk and Firm Heterogeneity. *Scandinavian Journal of Economics* 105(2), 275–293.

Kvaløy, O. og R. Tveteras (2008). Cost Structure and Vertical Integration between Farming and Processing. *Journal of Agricultural Economics* 59(2), 296–311.

Larsen, T.A. og F. Asche (2011). Contracts in the Salmon Aquaculture Industry: An analysis of Norwegian Salmon Exports. *Marine Resource Economics* 26(2), 141–149.

Larsen, T.A. og H.W. Kinnucan. (2009). The Effect of Exchange Rate on International Market Margins.

Liu, Y., J.O. Olaussen and A. Skonhoft (2011). Wild and farmed salmon in Norway—A review, *Marine Policy*, Volume 35, Issue 3, May 2011, Pages 413–418.

M. de Vries, I.J.M. de Boer (2010). Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments, *Livestock Science*, Volume 128, Issues 1–3, March 2010, Pages 1–11.

Marty, GD., S.M. Saksida and T.J. Quinn (2010). Relationship of farm salmon, sea lice , and the wild salmon population. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107, 22599–22604.

Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems* 15(3), 401–415.

Naylor R., Goldberg R., Mooney H., Beveridge M., Clay J. (1998). Nature's subsidies to shrimp and salmon farming. *Science* 282:883–84

Naylor R., Goldberg R., Primavera J., Kautsky, N., Beveridge, M. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405:1017–24

Nemry, F., Theunis, J., Brechet, T., Lopez, P. (2001): Greenhouse Gas Emissions Reduction and Material Flows; Institute Wallan, Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs: Brussels, Belgium, 2001.

Nicon, S.W. (1995) Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41(1) 199–219.

Nilsen, O.B. (2010). Learning-by-doing or Technological Leapfrogging: Production Frontiers and Efficiency Measurement in Norwegian Salmon Aquaculture. *Aquaculture Economics and Management* 14(2), 97–119.

NOU 2015:1 (Produktivitetsskissjonen). *Produktivitet – grunnlag for vekst og velferd*

Olaussen, J.O. (2009). Bandwagon or Snob Anglers? Evidence from Atlantic Salmon Recreational Fishing. *Marine Resource Economics* 24(4): 387–403.

Olaussen, J.O., og A. Skonhoft (2008). The bioeconomics of a wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) recreational fishery. *Marine Resource Economics* 23(3), 273–293.

Pauly, D., and V. Christensen (1995). Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, 374: 255–257 (1995).

Pelletier, N. (2008). Environmental performance in the US broiler poultry sector: Life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions. *Agric. Syst.* 2008, 98, 67–73.

- Pelletier, N.L., N.W. Ayer, P.H. Tyedmers, S.A. Kruse, A. Flysjo, G. Robillard, F. Ziegler, A.J. Scholz, and U. Sonesson (2007). Impact categories for life cycle assessment research of seafood production systems: Review and prospectus. *Intl. J. Life Cycle Assess* 12: 414–421 (2007).
- Pelletier, N., & P. Tyedmers (2010). Forecasting potential global environmental costs of livestock production 2000–2050. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 107: 18371–18374 (2010).
- Pelletier, N., P. Tyedmers, U. Sonesson, A. Scholz, F. Ziegler, A. Flysjo, S. Kruse, B. Cancino and H. Silverman (2009). Not all salmon are created equal: Life cycle assessment (LCA) of global salmon farming systems. *Environ. Sci. Technol.*, 43: 8730–8736 (2009).
- Pelletier, N., Ayer, N., Tyedmers, P., Kruse, S., Flysjo, A., Robillard, G., Ziegler, F., Scholz, A., Sonesson, U. (2007). Impact categories for life cycle assessment research of seafood production: Review and prospectus. *Int. J. LCA* 2007, 12 (6), 414–421.
- Pelletier, N., Tyedmers, P. (2007). Feeding farmed salmon: Is organic better? *Aquaculture* 2007, 272, 399–416.
- Pelletier, N., Tyedmers, P. (2008). Life cycle considerations for improving sustainability assessments in seafood awareness campaigns *Environ. Manage.* 2008, 42 (5) 918–931.
- Pike, A. W., & Wadsworth, S. L. (2000). Sealice on salmonids: Their biology and control. *Advances in Parasitology*, Vol 44, 44, 233–337.
- Price, M.H.H., Proboyszcz, S.L., Routledge, R.D., Gottesfeld, A.S., Orr, C., & Reynolds, J.D. (2011). Sea Louse Infection of Juvenile Sockeye Salmon in Relation to Marine Salmon Farms on Canada's West Coast. *Plos One* 6(2).
- Rebitzer, G., T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris, T. Rydberg, W. P. Schmidt, S. Suh, B. P. Weidema, and D. W. Pennington (2004). Life cycle assessment part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environ. Intl.*, 30: 701–720 (2004).
- Roll, K. H. (2013). Measuring Performance, Development and Growth when Restricting Flexibility. *Journal of Productivity Analysis* 39(1), 15–25.
- Naylor R. og M. Burke (2005). AQUACULTURE AND OCEAN RESOURCES: Raising Tigers of the Sea, *Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 30: 185–218.
- Skjervold, P.O., A.M.B. Rora, S.O. Fjaera, A. Vegusdal, A. Vorre, and O. Einen (2001). Effects of pre-, in-, or post-rigor filleting of live chilled Atlantic salmon. *Aquaculture*, 194: 315–326 (2001).
- Solibakke, P.J. (2012). Scientific Stochastic Volatility Models for the Salmon Forward Market: Forecasting (un-)conditional moments. *Aquaculture Economics & Management* 16(3), 222–249.
- Solomon S., Qin D., Manning M., Alley R.B., Berntsen T., Bindoff N.L., Chen Z., Chidthaisong A., Gregory J.M., Hegerl G.C., Heimann M., Hewitson B., Hoskins B.J., Joos F., Jouzel J., Kattsov V., Lohmann U., Matsuno T., Molina M., Nicholls N., Overpeck J., Raga G., Ramaswamy V., Ren J., Rusticucci M., Somerville R., Stocker T.F., Whetton P., Wood R. A. and Wratt D. (2007). Technical Summary. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of*

Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

SSB (2014). Økonomisk utsyn. Økonomiske analyser 1/2014. Statistisk sentralbyrå. Oslo.

Stern, S., Sonesson, U., Gunnarsson, S., Oborn, I., Kumm, K., Nybrant, T. (2005). Sustainable development of food production: A case study on scenarios for pig production. *Ambio* 2005, 34 (4-5), 402–407.

Tacon, A. og M. Metian, (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects, *Aquaculture*, Volume 285, Issues 1–4, 7 December, Pages 146–158.

Torrissen, O., R.E. Olsen, R. Toresen, G. Hemre, A.G.J. Tacon, F. Asche, R.W. Hardy og S. Lall (2011). Atlantic Salmon (*Salmo salar*): The “Super-Chicken” of the Sea?, *Reviews in Fisheries Science* 19(3), 257–278.

Torrissen, O., S. Jones, F. Asche, A.G. Guttormsen, O.T. Skilbrei, F. Nilsen, T.E. Horsberg, D. Jackson (2013). Salmon lice - impact on wild salmonids and salmon aquaculture. *Journal of Fish Diseases*, Volum 36(3) p. 171–194.

Tully, O., & Nolan, D.T. (2002). A review of the population biology and host-parasite interactions of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda : Caligidae). *Parasitology*, 124, S165–S182.

Tveterås, R. (2002). Industrial Agglomeration and Production Costs in Norwegian Salmon Aquaculture. *Marine Resource Economics*. 17 (1), 1–22.

Tveterås, R. og A. Heshmati (2002). Patterns of Productivity Growth in the Norwegian Salmon Farming Industry. *International Review of Economics and Business* 49(3) 367–393.

Tveterås, R., og G.E. Battese (2006). Agglomeration Externalities, Productivity and Technical Inefficiency. *Journal of Regional Science* 46(4), 605–625.

Tveterås, S. (2002.) Norwegian Salmon Aquaculture and Sustainability: The Relationship Between Environmental Quality and Industry Growth. *Marine Resource Economics*. Vol. 17, No. 2 (2002), pp. 121–132.

Tyedmers, P., Watson, R., Pauly, D. (2005). Fueling global fishing fleets. *Ambio* 2005, 34 (8), 635–638.

Vassdal, T. og H.M.S. Holst (2011). Technical Progress and Regress in Norwegian Salmon Farming: A Malmquist Index Approach. *Marine Resource Economics* 26(4), 329–342.

Winther, U., F. Ziegler, E. S. Hognes, A. Emanuelsson, V. Sund, and H. Ellingsen. (2009). Carbon Footprint and Energy Use of Norwegian Seafood Products. Trondheim: SINTEF Fisheries and Aquaculture. Report No. SFH80 A096068 (2009).

Ytrestøyl, T., T.S. Aas, T. Åsgård (2015). Utilisation of feed resources in production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway, *Aquaculture*, Volume 448, 1 November 2015, Pages 365–374.

Ytrestøy, Aas og Åsgård (2014). Resource utilisation of Norwegian salmon farming in 2012. Nofima rapportserie.

Øglend, A. og M. Sikveland (2008). The Behaviour of Salmon Price Volatility. *Marine Resource Economics* 23(4), 507–526.

Øglend, A. og R. Tveteras (2009). Spatial Diversification in Norwegian Aquaculture. *Aquaculture Economics and Management* 13(2), 94–111.

Åsgard, T., and E. Austreng (1995). Optimal utilization of marine proteins and lipids for human interest. In: Sustainable Fish Farming (Reinertsen, H., and H. Haaland, Eds.). Rotterdam, NL: A. A. Balkema (1995).

Åsgard, T., E. Austreng, I. Holmefjord, M. Hillestad, and K. D. Shearer (1999). Resource Efficiency in the Production of Various Species. In: Sustainable Aquaculture (Svenning, N., H. Reinerstein, and M. New, Eds.). pp. 171–183. Rotterdam, NL: A. A. Balkema (1999)

