



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2023 30 stp.
Fakultet for biovitenskap - BIOVIT

LCA av fiskefôr i prosjekt Oil4Feed

LCA of fishfeed in project Oil4Feed

Sebastian Busko
Urbant Landbruk

Forord.....	1
Sammendrag	2
Abstract	4
1 Introduksjon.....	6
2 Bakgrunn.....	7
2.1 Produksjon av oljerik biomasse	7
2.2 LCA-metodikk	8
2.3 Problemstilling og forskningsspørsmål	12
3 Material og metode.....	12
3.1 Hensikt og omfang (Goal and Scope).....	12
3.2 Funksjonell enhet og referansestrøm	13
3.3 Systemgrenser	13
3.3.1 Fiskefôr	14
3.3.2 A. limacinum.....	15
3.3.3 Avfall	17
3.4 Livsløpsregnskap og datagrunnlag (LCI).....	17
3.4.1 Allokering og cut – off	17
3.4.2 Ingredienser.....	19
3.4.3 Transport	21
3.4.4 Energi	22
3.5 LCIA-metode og valgte miljøpåvirkningskategorier	23
3.5.1 Global oppvarming.....	23
3.5.2 Ferskvannseutrofiering.....	24
3.5.3 Forsuringspotensial.....	24
3.5.4 Arealbruk.....	25
3.6 Sima pro og database	25
3.6.1 Datakvalitet og datagrunnlag	25
4 Resultater.....	27
4.1 Hovedresultater.....	27
4.2 Utvalgte miljøpåvirkningskategorier.....	30
4.2.1 Resultater Global oppvarming (GWP) for produksjon av fôringrediensene	30
4.2.2 Resultater ferskvannseutrofiering (FEP) for produksjon av fôringrediensene	31
4.2.3 Resultater Forsuringspotensial (AP) for produksjon av fôringrediensene.....	32
4.2.4 Resultater Arealbruk (LOP) for produksjon av fôringrediensene.....	33

5	Diskusjon	34
5.1	Sammenligning av resultater med andre studier	34
5.2	Styrker og svakheter	35
6	Konklusjon og forslag til veien videre	37
7	Tabell oversikt	39
8	Illustrasjonsliste	40
9	Kilder	41

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på den toårige masteren i Urbant Landbruk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgavens omfang er 30 studiepoeng, og har blitt skrevet i løpet av høstsemesteret 2023. Det har vært fem givende og lærerike år ved NMBU, der jeg har fått muligheten til å sette meg inn i mange utfordrende problemstillinger, med veiledning fra kunnskapsrike undervisere og ansatte.

Oppgaven er en del av det per dags dato pågående forskningsprosjekt Oil4Feed, i regi av NMBU. Denne oppgaven har blitt utformet med bistand fra forskere og ansatte som er involverte i prosjektet, noe som har vært til stor hjelp gjennom hele prosessen. Inspirasjon og problemstilling kommer i stor grad fra prosjektbeskrivelsen og gjennom dialog med prosjektgruppen. I oppgaven blir det gjennomført en livsløpsvurdering (LCA) av tre fiskefôrdietter. Diettene inneholder forskjellige oljekilder.

Jeg ønsker med dette å takke mine veiledere Hanne Fjerdingby Olsen og Hanne Lerche Raadal. De har begge vært støttende, behjelpelige og imøtekommende i løpet av perioden. Takk til Hanne, O. for inkludering i prosjektet Oil4Feed, samt for å ha bistått i forbindelse med informasjonsinnhenting og generell oppgaveskriving. Takk til Hanne, R. for gode innspill til LCA analysen og konstruktive tilbakemeldinger. Jeg vil også rette en stor takk til Center for Feed Technology (Fôrtek), for å ha tatt imot undertegnede på deres fôrfabrikk og bistått med informasjon om fôrproduksjon. Takk til Fakultet for kjemi, bioteknologi (KBM) for å ha hjulpet med å forstå fermenteringsprosessen av *Aurantiochytrium limacinum* (A. Limacinum), som er en alternativ oljekilde i fiskefôr. Til slutt ønsker jeg å takke familie, min kjære Wiktorja og venner for korrekturlesing, motivasjon og forståelse i denne utfordrende og givende perioden.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 15. des. 2023



Gjenopprettelig signatur

X

Sebastian Busko

Signert av: 4b5880f4-50df-4ea1-bd18-c205045561a9

Sammendrag

På grunn av internasjonal etterspørsel etter høykvalitets oppdrettsfisk, stilles det derfor en del krav til bærekraftig fiskefôr. Tradisjonelt sett har det vært mest vanlig å bruke fiskeolje i fôr, fordi denne inneholder omega-3 -fetsyrer som er essensielt for god fiskehelse og er en viktig del av fiskens diett. Produksjonen av oppdrettsfisk bruker allerede i dag store deler av den globale fiskeoljen, noe som er en verdifull og begrenset ressurs. Dette fører til overfisking, tap av marin biodiversitet og generelt dårlig utnyttelse av ressurser. Dessuten er også fiskeolje viktig del av menneskers diett.

Av den grunn er det behov for nye fettkilder, som har potensiale til å erstatte fiskeoljebruken i fiskefôrproduksjonen. Derfor har man satt i gang prosjektet Oil4Feed. Det er et flerårig prosjekt som gjennomføres ved NMBU, i samarbeid med flere av fakultetene og med privatakører som Borregaard i Skien. Hovedmålet til prosjektet er å etablere produksjon av oljerik biomasse, med høyt innhold av langkjedet omega-3 -fetsyrer, dokosaheksaensyre, også kalt DHA. Produksjonen av DHA skal foregå gjennom å utnytte seg av norske grantrær som karbonkilde, ved å bruke mikroorganismen, *Aurantiochytrium limacinum* i en fermenteringsprosess. På slutten av prosessen vil man sitte igjen med ferdigfermentert *A. limacinum*, som består av en biomasse med høyt innhold av DHA. Dette produktet brukes videre i fiskefôrproduksjonen for å potensielt kunne erstatte fiskeolje.

For å se nærmere på problemstillingen om hvorvidt fiskefôr som inneholder *A. limacinum* er miljøvennlig og bærekraftig, vil det bli gjennomført en livsløpsanalyse (LCA) som sammenligner forskjellige fiskefôrdietter. Dietten kommer til å inneholde fiskeolje eller *A. limacinum* eller begge deler. LCA er en systematisk metode for å evaluere miljøpåvirkningene til for eksempel et produkt. Målet med analysen er å identifisere og vurdere potensielle miljøvirkningene på ulike stadier av fiskefôrproduksjonen.

Analysen er delt opp i stegene; 1) energiforbruk i produksjonen, 2) transport av ingredienser og 3) ingredienser. Den funksjonelle enhet (FU) er "1 kg fiskefôr for oppdrettslaks, som oppfyller kravet til DHA-innhold, som er 0,61 – 0,72 % ifølge Aquaculture Feed Formulation Database (IAFFD)".

Resultatene viser at ved produksjon av 1 kg fiskefôr som inneholder enten fiskeolje eller *A. limacinum*, har fordietten som kun inneholder *A. limacinum* lavere bidrag i 17 av 18 kategorier ved bruk av metoden ReCiPe Midpoint 2016 (H). For kategoriene global warming (GWP), freshwater eutrophication (FEP), terrestrial acidification (AP) og landuse (LOP) er forskjellen mellom de to diettene henholdsvis; - 12 %, - 11 %, - 26 % og - 3 % lavere for fôrdietten som ikke inneholder fiskeolje. Resultatene fra analysen viser også at fôringrediensene har det største bidraget til resultatene, større enn energiforbruket og transporten.

Tolkningen av studiens resultater konkluderer også med at det i fremtiden kreves mer LCA-data som omhandler fiskefôrproduksjon, og spesielt fermentering ved bruk av mikroorganismer som for eksempel *A. Limacinum*. Analysen i seg selv gir en indikasjon på hvilke dietter som har lavest bidrag til miljøpåvirkningene. Bruken av resultatene, innebærer videre en diskusjon rundt temaer som omhandler marinbiodiversitet, overfiske, skogbruk og modellering av LCA-analysen.

Abstract

Due to international demand for high-quality farmed fish, there are certain requirements for sustainable fish feed. Traditionally, fish oil has been most used in feed because it contains omega-3 fatty acids essential for good fish health, forming a crucial part of the fish's diet. The production of farmed fish already consumes a significant portion of global fish oil, which is a valuable and limited resource. This leads to overfishing, loss of marine biodiversity, and a general inefficient use of resources. Additionally, fish oil is also an important part of the human diet.

For these reasons, there is a need for new sources of fat that have the potential to replace the use of fish oil in fish feed production. Hence, the Oil4Feed project has been initiated. It is a multi-year project conducted at NMBU, in collaboration with several faculties and private entities such as Borregaard in Skien. The main goal of the project is to establish the production of oil-rich biomass with a high content of long-chain omega-3 fatty acids, specifically docosahexaenoic acid (DHA). DHA production will involve utilizing Norwegian spruce trees as a carbon source, using the microorganism *Aurantiochytrium limacinum* in a fermentation process. At the end of the process, the result is a fully fermented *A. limacinum* biomass with a high DHA content, which is further used in fish feed production to potentially replace fish oil.

To further investigate whether fish feed containing *A. limacinum* is environmentally friendly and sustainable, a life cycle analysis (LCA) will be conducted, comparing different fish feed diets. The diets will include fish oil, *A. limacinum*, or a combination of both. LCA is a systematic method for evaluating the environmental impacts of a product, identifying and assessing potential environmental effects at various stages of fish feed production.

The analysis is divided into stages such as energy consumption in production, ingredient transportation, and ingredient production. The functional unit (FU) is defined as '1 kg of fish feed for farmed salmon, meeting the DHA content requirement of 0.61–0.72%, according to the Aquaculture Feed Formulation Database (IAFFD).'

The results indicate that the production of 1 kg of fish feed containing either fish oil or *A. limacinum* has a lower impact in 17 out of 18 categories for the diet containing only *A. limacinum*, using the ReCiPe Midpoint 2016 (H) method. For categories such as global warming (GWP), freshwater eutrophication (FEP), terrestrial acidification (AP), and land use (LOP), the difference between the two diets is -12%, -11%, -26%, and -3%, respectively, lower for the fish feed diet without fish oil. The analysis also shows that feed ingredients contribute more significantly to the results than energy consumption and transportation.

The interpretation of the study also concludes that future research requires more LCA data related to fish feed production, especially regarding fermentation using microorganisms like *A. Limacinum*. The analysis itself provides an indication of which diets have the lowest contributions to environmental impacts, but the use of the results involves discussions around topics such as marine biodiversity, overfishing, forestry, and the modeling of LCA analysis.

1 Introduksjon

Foreløpig er fiskeolje den vanligste kilden til kostholdsfettsyren dokosaheksaensyre (DHA) i fiskefôrproduksjonen (Olsen et al., 2023). Denne kommer ofte fra fisk med høyt fettinnhold, både fra oppdrettsfisk og viltvoksende fisk, som for eksempel ansjos eller makrell (Hallenstvedt, 2020). Industrielt formulert fôr for akvakultur står for mer enn 70 % av den globale produksjonen av fiskeolje (Forskningsrådet 2016). Dette høye forbruket skaper en betydelig miljømessig utfordring og bidrar til en ubærekraftig etterspørsel.

Denne situasjonen har flere potensielle negative konsekvenser. For det første kan det føre til overutnyttelse av pelagiske fiskebestander, noe som truer økosystemet i havet. Videre kan det ha negative effekter på andre marine arter som er avhengige av de samme ressursene. Den miljømessige ubalansen som oppstår ved å overforbruke fiskeolje, kan også påvirke kvaliteten på akvakulturoppdrett og utfordre målene om bærekraft innen havbruk.

For å adressere dette problemet, er det behov for innovative tilnærminger til førsammensetning innen akvakultur. Dette kan inkludere utviklingen av alternative kilder til fiskeolje, for eksempel alger eller andre marine mikroorganismer, samt forbedringer i førsammensetningen for å redusere det totale forbruket av fiskeolje (Forskningsrådet 2016). Slike tiltak er viktige for å sikre at akvakulturindustrien kan opprettholde en bærekraftig praksis og redusere sitt økologiske fotavtrykk.

Oil4Feed er et forskningsprosjekt som har som formål å forske på alternative oljekilder som kan brukes i produksjon av fiskefôr (The Research Council of Norway, 2020). Det er et samarbeidsprosjekt mellom NMBU og Foods of Norway. Gjennomføringen foregår ved NMBU, og inkluderer involvering av fakultetene REALTEK, KBM og BIOVIT. Borregaard er også med, som industriell samarbeidspartner.

Prosjektet har mottatt 12 millioner kroner i forskningsmidler fra *HAVBRUK 2 - Stort program for havbruksforskning* (Forskningsrådet 2016). Prosjektet arbeider med å utvikle mikrobielle oljer med høyt innhold av (dokosaheksaensyre) DHA, gjennom å utnytte seg av biprodukter fra treindustrien.

Fiskeolje er et eksempel på produkt med høyt innhold av omega-3 -fettsyrer. DHA er omega-3 -fettsyre som er viktig for kostholdet og finnes kun sammen i produkter fra havet (Svihus, 2020a).

Disse fettsyrene finnes hovedsakelig i fet fisk som laks, makrell og sild.

Prosjektet er delt inn i 4 hovedfaser. Den første og andre fasen handler om å etablere produksjon av DHA, ved bruk av biprodukter fra blant annet norsk treindustri. Målet er at denne produksjon av DHA skal kunne erstatte fiskeolje, som er den mest utbedrede DHA-kilden for fiskefôr. Tredje fase innebærer å undersøke førets helseegenskaper og egnethet. Siste fase innebærer en bærekraftsevaluering av oljen som gjennom de tre første fasene blir produsert. Basert på resultater

fra de tre første fasene skal det utvikles en modell som tar hensyn til både opp- og nedstrømsprosesser.

Denne masteroppgaven er tiltenkt å belyse problemstillingene i den siste fasen av prosjektet. Den skal bidra med å belyse både fordeler og ulemper med den nye oljekilden, i et bærekraftig perspektiv.

2 Bakgrunn

Dette kapitlet omhandler produksjonen av oljerik biomasse ved bruk av mikroorganismer. *A. Limacinum*, en Thraustochytrid, blir fremhevet for sin evne til å produsere høye nivåer av omega-3-fettsyren DHA, ved hjelp av biomasse fra ikke-mat. Teksten inkluderer også en kort gjennomgang av (LCA) -metodikkens historie og viktige faser for å vurdere miljøpåvirkningene knyttet til et produkt eller prosess, med fokus på standardene ISO 14040/14044.

2.1 Produksjon av oljerik biomasse

Begrepet enkeltcelleolje (SCO), også kjent som mikrobielle oljer, ble introdusert av forskerne Ratledge og Wynn i 1974 (Galán et al., 2019). Hovedmålet med deres forskning var å undersøke potensiale til mikroorganismer, som kunne være egnet for konsum for mennesker og dyr som et alternativ til plante- og animalske fettkilder. SCO innebærer hovedsakelig mikroorganismer som har evne til å produsere 20 – 80 % fett, per ferdig produserte biomasse (Galán et al., 2019).

En av fordelene med disse mikroorganismene er at produksjonsprosessen deres er uavhengig av årstid, klimatiske forhold og beliggenhet. Det gir også muligheten til å benytte seg av forskjellige karbonkilder i produksjonen, som matavfall og fornybare karbonkilder som trær (Galán et al., 2019). Det er ny teknologibruk og ressursutnyttelse som gir nye muligheter.

Thraustochytrid, *A. Limacinum* er en godt egnet mikroorganisme for produksjon av DHA (Olsen et al., 2023). Den kan oppnå et høyt innhold av DHA og har et bredt spekter av potensielle karbonkilder i fermenteringsprosessen. Det finnes allerede andre thraustochytrid-arter som for eksempel *Schizochytrium*, som blir brukt for kommersiell produksjon av DHA for mat- og fôrapplikasjoner (Olsen et al., 2023). Sukker fra hvete, mais og rødbeter blir ofte brukt som karbonkilder for kommersiell dyrking av thraustochytrid. Imidlertid krever denne produksjonsmetoden betydelige mengder dyrkbar jord og ferskvannsressurser. Studier viser at biomasse fra ikke-mat, som sidestrømmer fra landbruk eller skogbruk, kan fungere som alternative karbonkilder. Dette innebærer et potensial til å forbedre den generelle økonomien og miljømessige bærekraften av DHA-produksjon fra thraustochytrider.

2.2 LCA-metodikk

For å bedre forstå LCA-prosessen, er det også hensiktsmessig å forstå historien til livsløpsanalyser og bakgrunnen for dagens LCA-metodikk. Forskjellige strategier for livsløpsanalyser ble utviklet med bakgrunn i et mer omfattende og restriktivt regelverk, som hadde til hensikt å begrense menneskeskapte forurensinger og utslipp (Curran, 2015). Denne utviklingen startet på 1960-tallet og var mest utbredt i USA, og senere i store deler av Europa. De første livsløpsanalysene som ble utviklet handlet mest om energi- og råvarebruken. Det innebærer at analysene hadde størst fokus på mengden av energi og råvare forbrukt i en prosess, uten å ta hensyn til de langvarige miljøkonsekvensene (Bjørn et al., 2018).

De første livsløpsanalysene ble kalt for Resource and Environmental Profile Analysis (REPA) eller Ecobalances. Det som også preget den tidlige tankegangen, var at fokuset ofte var på tema som for eksempel utslipp i produksjonen eller avfallshåndtering.

På 1980-tallet var det bekymringer rundt datidens avfallshåndteringsmetoder, der deponering var den mest anvendte metoden (Bjørn et al., 2018). Utrykk som «gjenbruk», «avfallsreduksjon» og lignende ble hyppig brukt, og symboliserte godt metoder for å håndtere datidens utfordringer. Livsløpsanalysene handlet i stor grad om avfallshåndtering, samt metoder for avfallsreduksjon.

Den offentlige debatten skiftet retning mot utslippsreduksjon tidlig på 1990-tallet (Curran, 2015). Prosesser og produkter som reduserte mengden utslipp fikk positiv oppmerksomhet, og utviklingen av metoder for å måle utslipp vokste frem. Utfordringen med disse metodene var at de kunne avgi forskjellige resultater og skape splittelse rundt tolkning av dette. Analysene tok også ofte for seg enkeltprosesser, og da spesielt produksjonsprosessen. Siden 1994 har International Standard Organization (ISO) involvert seg i metodikken, og dette har ført til utarbeidelsen av dagens ISO 14040-serie (Bjørn et al., 2018). Standardiseringen organiserte livsløpsanalysen i forskjellige faser; hensikt og omfang, livsløpsregnskap, livsløpseffektvurdering og livsløpstolkning. Denne organiseringen var med å skape en felles forståelse for livsløpsanalyser, og ga større kredibilitet for analysene.

Første fase: Hensikt og omfang / Goal and Scope

En livsløpsanalyse starter med å definere hensikten og omfanget av prosjektet, i henhold til ISO 14041 (Curran, 2015). Definisjonen foregår som regel i form av kommunikasjon mellom den som utarbeider analysen, og den som bestiller. Det er hensiktsmessig med en tidlig avklaring, som er forståelsesfull for begge parter. Bestilleren vil ha en begrunnelse og et behov for en LCA-analyse. Det kan for eksempel være at bestiller ønsker å bruke analysen til markedsføring av et produkt (eksternt), eller bruke analysen internt i valg av produksjonsmetode (internt). Utarbeiderens rolle er å hjelpe bestilleren med å definere rammene rundt analysen, og hvordan i best mulig grad belyse

opplysningene i analysen. Utøveren av analysen burde ta hensyn til målgruppen analysen lages for. Det kan være snakk om forskning, markedsføring eller bakgrunn for politiske avgjørelser.

Omfanget av analysen skal gi leseren forståelse for hvilket produktsystem som skal analyseres, og hva analysen skal omfatte (Bjørn et al., 2018).

Et system som skal analyseres er ofte en del av flere omfattende prosesser, som har forskjellige funksjoner. Det derfor viktig at man fastsetter en bestemt funksjon, og deretter definerer hvilke produkter og inputs som kreves for å oppfylle funksjonen. Det kan ofte være krevende å definere funksjonen til et system. For eksempel vil et avfallsselskap kunne ha flere funksjoner – som deponering, energiutvinning og gjenvinning av materiale.

Funksjonell enhet er en kort og presis systembeskrivelse, og setter grenser for analysen. Den skal kunne gi en sammenlignbar forutsigbarhet for å kunne sammenligne to eller flere systemer opp mot hverandre. Hensikten med en funksjonell enhet er å kunne svare på spørsmål som «hva», «hvor lenge» og «til hvilken kvalitet» (Bjørn et al., 2018). Det vil for eksempel være feil å sammenligne kulepenn mot blyant ved bruk av følgende funksjonell enhet «sammenligning av en blyant mot en penn på en periode i et år». Begge produktene har en felles funksjon som er å etterlate seg farge på en overflate, i form av skriving, tegning eller lignede. Feilen med denne funksjonelle enheten er at den ikke tar hensyn til produktets levetid, kvalitet på oppnådd funksjon og generelt lite detaljer.

Et flytdiagram er en god måte å illustrere systemgrensene på, og gir leseren bedre innsikt i hvilken prosess som inkluderes i analysen. I en LCA-analyse kan vi skille mellom ekosfæren og teknosfæren (Bjørn et al., 2018). Begge disse sfærene er abstrakte og sammensatte definisjoner, som er utfordrende å konkludere et klart skille imellom. Teknosfæren kan beskrives som menneskestyrte påvirkninger og aktiviteter (Bjørn et al., 2018). Det vil si data brukt i livsløpsregnskapet, som for eksempel material- og energiforbruk. Ekosfæren blir ofte kalt for «miljø» eller «natur». Det er endringer og påvirkninger i miljøet som ikke er menneskestyrte, men som skjer på grunn av aktiviteter i teknosfæren.

Ved innsamling av data innenfor systemgrensen, er det naturlig å ha kjennskap til forgrunns- og bakgrunnsdata. Forgrunnsdata er informasjon som er innsamlet av LCA-utøveren gjennom direkte kontakt med produsent eller leverandør (Bjørn et al., 2018). Denne informasjonen er ofte tett knyttet til én eller flere prosesser. Bakgrunnsdata hentes gjerne fra et eksisterende LCA-bibliotek. Denne dataen er ofte gjennomsnittet av tilgjengelig data. Det kan for eksempel være strømforbruk i en type leilighet, eller gjødselforbruk ved produksjon av tomater i drivhus.

Andre fase: Livsløpsregnskap

Utarbeidelse av livsløpsregnskap er den andre og mest tidskrevende prosessen i en LCA. Målet med denne fasen er å samle inn data som er nødvendige for å oppfylle den funksjonelle enheten. Denne fasen kan deles i seks delprosesser; (1) indentifisering av enhetsprosesser, (2) planlegging og datainnsamling, (3) detaljert beskrivelse av enhetsprosessene med tilhørende kvalitets sikring, (4) lage livsløpsregnskapet og kalkulere resultatet, (5) forberede grunnleggende sensitivitetsanalyse og alternative scenarier, samt (6) rapportering.

Enhetsprosesser regnes som den minste prosessen, som til sammen utgjør et produksystem. Alle enhetsprosesser kan forklares ved hjelp av inputs og outputs. Inputs kan være materialene eller energien som trengs for å oppfylle enhetsprosessen, mens outputs kan være avfall eller et nytt produkt. Utøveren av LCA behøver innsikt i produksystemet, og må skape seg en god forståelse av alle enhetsprosessene som befinner seg innenfor systemgrensene til den funksjonelle enheten. Etter at man har fått oversikt over produksystemet, kan man begynne med datainnsamling.

Datakvaliteten kan variere mellom høy og lav, avhengig av opprinnelse og innsamlingsmetode (Bjørn et al., 2018). Data av høy kvalitet innhentes som regel gjennom direkte kontakt med produksjonsansvarlig, og er prosess-spesifikk. Middels- og lavkvalitetsdata derimot, stammer ofte fra LCA-databaser. Denne informasjonen representerer ofte et gjennomsnittresultat, og er utarbeidet fra tidligere forskning eller analyser.

Multifunksjonalitet og allokering: I mange tilfeller kan det være krevende å avgjøre hvilke inputs og outputs som hører til produksystemet. Mange prosesser er omfattende, og bidrar gjerne til å produsere mer enn ett produkt. ISO 14044 foreslår en rekke metoder for å løse utfordringen med multifunksjonalitet. Metodene er beskrevet i prioritert rekkefølge.

1. Standarden anbefaler to metoder for å unngå allokering, prosess-systemsplittelse og systemutvidelse. Metoden innebærer at man splitter prosessen i de tilfeller der den produserer mer enn ett produkt. Systemutvidelse innebærer at man utvider eksisterende prosesser, slik at de blir sammenlignbare.
2. Allokering er den minste anbefalte metoden ifølge ISO 14044. Metoden innebærer at man bruker fordelingsnøkler som energi, masse og økonomi for å fordele inputs/outputs. Grunnen til at allokering ikke er anbefalt, er at det ikke alltid gir et korrekt bilde av virkeligheten. Allokering er en subjektiv prosess der utøveren har mulighet til å ta avgjørelser som kan gi et feil resultat.

Tredje fase: Livsløpseffektvurdering

Hensikten med denne fasen er å kartlegge miljøpåvirkningene som knyttes til produktsystemet. De forskjellige enhetsprosessene blir omgjort til valgte miljøpåvirkningskategorier, og tar for seg miljøpåvirkninger innenfor systemgrensene. I henhold til ISO 14044 innebærer denne fasen tre obligatoriske steg;

(1) Valg av påvirkningskategorier. Dette betyr at man i tidlig fase velger hvilken påvirkningskategori man ønsker å fokusere på. Valg av påvirkningskategori skal basere seg på den funksjonelle enheten og svare på problemstillingen. Ofte går dette steget ut på å velge en allerede eksisterende LCIA-metode som finnes i LCA-verktøyet man benytter seg av. De vanligste påvirkningskategoriene er; klimaendringer (også kalt global oppvarming), eutrofiering, forsuring og bakkenær ozondannelse.

(2) Kategoriindikatorer; her skiller man mellom midpoint- og endpoint-indikatorer. Midpoint innebærer indikatorer som gjerne inntreffer først, mens endpoint er indikatorer som skjer sist. Når vi for eksempel tar for oss global oppvarming, vil klimaendringer være en midpoint-indikator, mens tap av menneske- og dyreliv være en endpoint-indikator.

(3) Karakteriseringsmodeller. Det finnes i dag en rekke kategoriseringsmodeller. Det er mest hensiktsmessig å velge modell basert på hvilken påvirkningskategori man ønsker å fokusere på. Det finnes ikke noen fasit for hvilken modell som er best, men det må gjøres vurderinger ved valg av brukt modell.

ISO 14040 / 14044 inneholder også de tre valgfrie stegene; normalisering, vektning og gruppering (Bjørn et al., 2018). Formålet med de valgfrie stegene er å gjøre LCA-resultatene enklere og mer leservennlige.

Fjerde fase: Livsløpstolkning

Livsløpstolkning kan betegnes som den fjerde og siste hovedfasen i en LCA. Men den er ikke nødvendigvis riktig. Livsløpstolkning burde gjøres kontinuerlig gjennom hele LCA-prosessen (Bjørn et al., 2018). Gjennom livsløpstolkningen ønsker vi å identifisere de mest utslagsgivende utfordringene, og komme med anbefalinger / konklusjoner / forslag til videre forskning. For å få dette til finnes det en rekke anbefalinger, inkludert fullstendighetssjekk, sensitivitetsanalyse og konsistenssjekk. En fullstendighetsanalyse undersøker om innsamlingsdata er fullverdige i forhold til prosessene innenfor systembeskrivelsen. Dersom det viser seg at analysen mangler datagrunnlag, må det revurderes om den funksjonelle enheten og systemgrensene er korrekte (Bjørn et al., 2018). Gjennom sensitivitetsanalysen ønsker man å kartlegge prosessene som har størst betydning for analysen. Dette kan man oppnå ved å justere utvalgte prosesser, og se hvilken påvirkning det har for resultatet.

2.3 Problemstilling og forskningsspørsmål

Hovedmålet med denne oppgaven er å beregne klima- og miljøpåvirkningene ved produksjon av forskjellig fiskefôr for oppdrettslaks. Fettbehovet for DHA i fôret blir dekket gjennom fiskeolje eller A.Limacinum. På den måten blir det variasjon i fôrdiettene, i form av varierende ingredienser og mengden av disse.

Masteroppgaven er en del av det pågående prosjektet Oil4Feed ved NMBU. Her har forskergruppen produsert DHA-fett fra gransukker ved bruk av Aurantiochytrium limacinum. Med bakgrunn i dette har jeg utviklet følgende forskningsspørsmål

- Hva er klima- og miljøpåvirkningene ved produksjon av fiskefôr i prosjektet Oil4Feed, for diett 1 og 4 ?
- Hva er klima- og miljøpåvirkningene ved produksjon av fiskefôr, der fiskeolje blir i fullstendig erstattet med A.Limacinum ?
- Hva er styrkene og svakhetene for denne LCA analysen av fiskefôr?

3 Material og metode

For å besvare problemstillingen på en tilfredsstillende måte, skal jeg bruke LCA-metoden som et verktøy til beregning av klima- og miljøpåvirkningene.

I denne masteroppgaven ble SimaPro benyttet til gjennomførelse av LCA-analyse. Dette dataverktøyet har blitt utviklet av selskapet PRé (PRé Sustainability, 2023). Selskapet spesialiserer seg innenfor utvikling av dataverktøy og rådgivning innen livsløpsanalyser. Begrunnelse for valg av programvare baserer seg i stor grad min tidligere erfaring med SimaPro gjennom studier på NMBU.

3.1 Hensikt og omfang (Goal and Scope)

For denne LCA analysen benyttes de to mest ytterliggående diettene fra prosjektet Oil4Feed, diett1 og 4. Disse diettene har i stor grad like ingredienser, men varierende mengde av disse. I diett nr. 1 er det ingen A. limacinum, og DHA-kilden kommer kun av fiskeolje. Diett4 har det høyeste innholdet av A.Limacinum. Selv om disse diettene er forskjellige, har de samme energiinnhold, og skal i mest mulig grad ha likt næringsinnhold (Rocha, 2023).

Diett4.1 er en hypotetisk diett som ikke inneholder fiskeolje. Hensikten med denne dietten er å anta at alt DHA kommer fra A. limacinum. Det er ikke undersøkt om DHA-innholdet i dietten er slik det kommer frem av tabell 1. Det er en forutsetning at dersom fiskeolje fjernes, vil DHA fortsatt være på et akseptabelt nivå. Hensikten med Diett4.1 er å se nærmere på det miljømessige potensialet til A. limacinum, som kan erstatte fiskeolje. Tabell 1 viser innholdet av DHA i de to diettene som er laget i

prosjektet Oil4Feed. Diett1 har den laveste mengden av DHA, og all DHA kommer fra fiskeolje. De resterende diettene har økende mengde av DHA, noe som skyldes økt mengde av A. limacinum – der Diett4 har den største mengden.

Tabell 1: DHA innholdet og kilde i diettene.

Diet	Innhold av DHA per kg fiskefôr	DHA kilde
Diett1	0,64 %	Fiskeolje
Diett4	1,26 %	Fiskeolje og A.Limacinum
<i>Diett4.1</i>	<i>0,64 %</i>	<i>A.Limacinum</i>

Denne analysen kan karakteriseres som en komparativ analyse (Curran, 2015). Hensikten med analysen er å sammenligne tre forskjellige produkter, og potensialet som ligger i å bruke alternative oljekilder i fiskefôr. Denne analysen er i utgangspunktet til intern bruk for prosjektet Oil4Feed, der informasjonen fra analysen kan bidra til å vurdere diettene fra et bærekraftig og miljøvennlig perspektiv.

Analysen er gjennomført som en attributional, som også er den mest vanlige tilnærmingen for LCA-analyser (Bjørn et al., 2018). Denne formen for tilnærming ser på årsak–virkningssammenhenger gjennom syklusen til et produkt eller prosess, innenfor analysens systemgrenser. Formålet med denne typen tilnærming er å vise forskjellen på produktet eller prosessen.

Analysen tar for seg produksjon av fiskefôr frem til ferdig produkt, og representerer dermed en vugge-til-port-analyse. Dette kommer til å bli nærmere forklart i systemgrensene for fiskefôrproduksjon.

3.2 Funksjonell enhet og referansestrøm

Målet med den funksjonelle enheten er å bidra med å svare på problemstillingen og tilhørende forskningsspørsmål. Ved utarbeidelse av funksjonell enhet for matproduksjon er det naturlig å basere seg på masse eller energiinnhold. På bakgrunn av dette er FE følgende:

«1 kg fiskefôr for oppdrettslaks, som oppfyller kravet til DHA innhold som er 0,61 – 0,72 %, som definert av Aquaculture Feed Formulation Database (IAFFD)».

IAFFD er en åpen database som fremviser blant annet krav og anbefalinger til energi – og næringsinnhold i fiskefôr (IAFFD, u.å.).

3.3 Systemgrenser

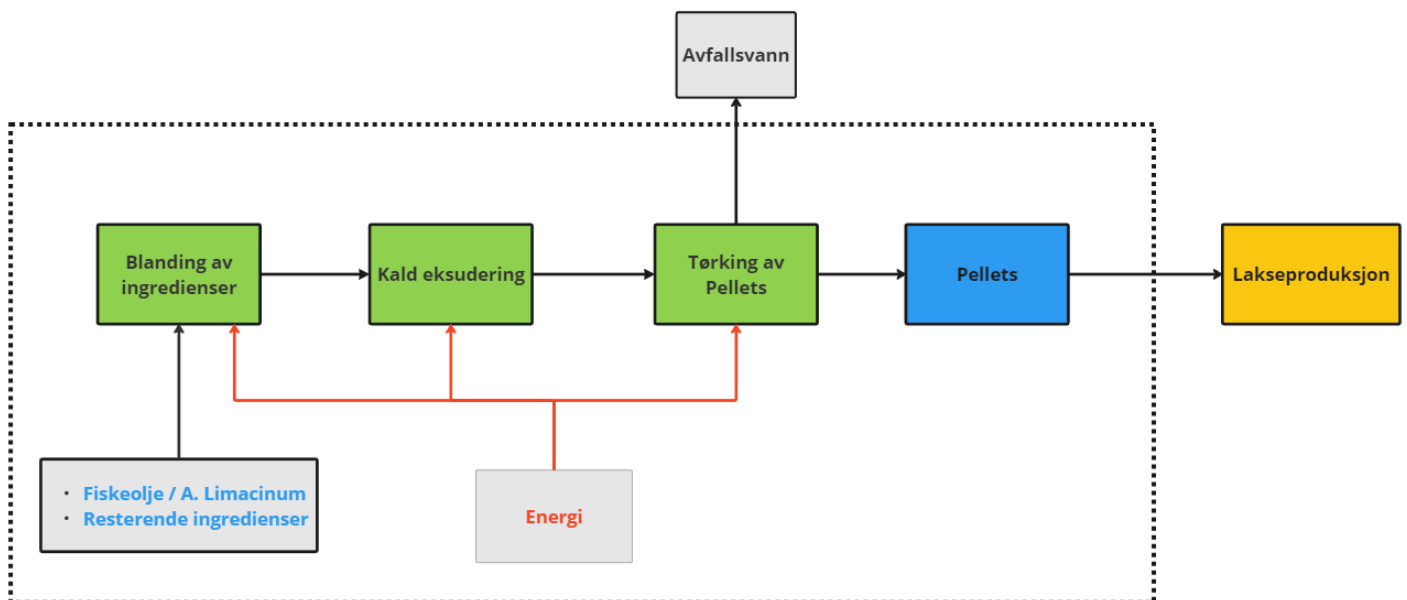
Systemgrensen blir beskrevet som to separate prosesser; fiskefôrproduksjon og produksjon av A. limacinum. Grunnen til at disse beskrives separat er fordi de gjennomføres av forskjellige aktører. Begge prosessene foregår på NMBU i Ås. Systemgrensene tar for seg produksjonen av ingrediensene,

energibruken og transporten, men systemgrensene inkluderer ikke prosesser som foregår etter at fiskefôret er produsert. Det vil si pakking, logistikk og lakseoppdrett.

3.3.1 Fiskefôr

Produksjonen av fiskefôr, diett1 og 4 foregår i laboratoriet tilhørende Fortek. Mitt feltarbeid innebar befaring og omvisning i produksjonsprosessen. Figur 1 har blitt utarbeidet med dette som utgangspunkt, og beskriver systemgrensene for analysen.

Begge diettene gjennomgår samme produksjonsprosess. Siden Diett4.1 ikke er en reell diett og ikke blir produsert, forutsettes det at også den ville ha blitt produsert på en lik måte. Dermed har den de samme systemgrensene som de andre diettene.



Figur 1: systemgrensen for produksjonen av fiskefôr.

Det er også viktig å påpeke at produksjonsprosessen som blir beskrevet kan variere fra konvensjonell industriproduksjon. De tre prosessene blir illustrert ved bruk av bokser med **grønn** farge. Grå bokser representerer inputs som energi og ingredienser, og direkte outputs i form av avfallsvann som oppstår under tørking av fôret. Sluttproduktet er fiskefôr-pellets, som er visualisert ved bruk av **blå** boks.

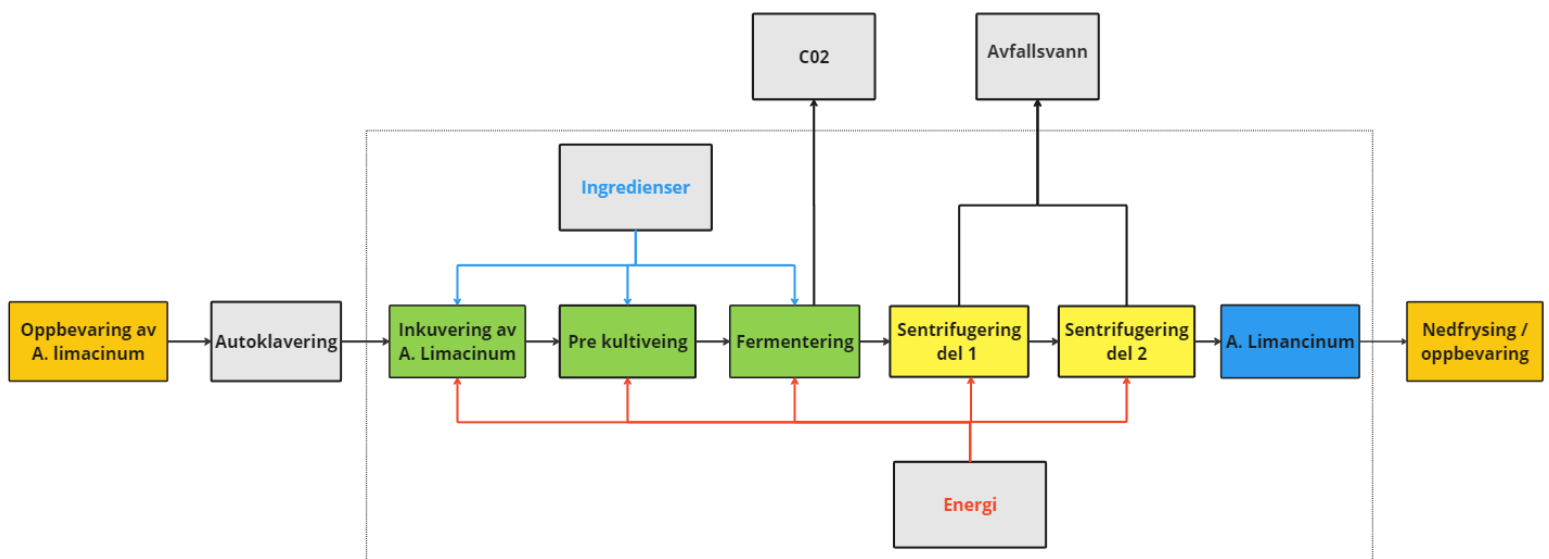
Første steget i prosessen er *blanding* av de forskjellige ingrediensene. Ingrediensene blir beskrevet nærmere i 3.4.2 Både væske og tørre ingredienser blandes til en deiglikende masse. Mengdene blir tilsatt i henhold til forhåndsbestemt fôrformel. Oljen blir tilsatt i denne prosessen, noe som er fravikende fra industriell fôrproduksjon – der oljen blir tilsatt til slutt i en prosess som kalles «vacuum coating» (Sayooj & Ebenezar 2021). Blandingen foregår i ca. 20–30 minutter, og gjennomføres i en kontinuerlig mikser.

Kaldpelletering er en energibesparende metode for pelletering, som innebærer at det ikke brukes hverken oppvarming eller damp (Sayooj & Ebeneezar 2021). Det er flere fordeler med denne måten å pelletere på. Ingredienser som er sensitive for varme, som for eksempel vitaminer, probiotika og enzymer, mister ikke sine næringsegenskaper og holder seg bedre.

Etter kaldpelleteringen blir fôrpelleten *tørket*, og fuktighetsinnholdet skal helst være under 10 %. Dette gjøres for å øke holdbarheten til fôret, noe som gir lengere lagringsperiode (Sayooj & Ebeneezar 2021). Etter dette blir fôret oppbevart på NMBU, frem til de fraktes videre til neste steg i prosesskjeden.

3.3.2 A. limacinum

Prosesen slik den fremstilles i denne oppgaven, er basert på artikkelen Olsen et al. (2023). Det har også vært nødvendig med befaring på laboratoriet, sammen med ansatte som gjennomfører produksjonen. Rekkefølgen på arbeidsoperasjonene kan være annerledes i virkeligheten, enn slik de blir beskrevet i oppgaven. Grunnen til dette er at prosessen blir enklere å forstå for leseren, slik den blir forklart i oppgaven.



Figur 2: systemgrensen for fermentering av A.Limacinum.

Første prosessen innenfor systemgrensene er *inkubering* av A. limacinum SR 21. Før dette blir den oppbevart i fryseren, der den er i dvale. Inkubering innebærer å «vekke» den til live, og dette foregår over en periode på 4–8 dager. For å aktivere A. limacinum tilsettes det glukose, salt, pepton og gjærekstrakt.

Pre-kultivering er en forberedende vekstfase der mikroorganismen dyrkes i en kultur før den overføres til hovedfermenteringen. Dette trinnet skal i hovedsak øke antall *A. limacinum*, og forberede disse på hovedfermenteringen. Prosessen skal sørge for at *A. limacinum* er mest mulig effektiv under oljeproduksjonen (Olsen et al., 2023). Det er først i denne fasen at gransukker blir tilsatt, som en karbonkilde.

Hovedfermenteringen er den lengste prosessen, og her blir gransukker tilsatt. Fermenteringen kan vare fra 96–120 t. Både under pre-kultivering og fermenteringen produserer *A. limacinum* CO₂ som blir direkte utslipp til lufta. Dette er tatt hensyn til under modelleringen i SimaPro.

I den siste fasen ønsker man å skille mellom avfallsvæske fra biomassen som blant annet inneholder DHA. Dette er en kortvarig prosess der alt innholdet fra fermenteringen legges i flasker. *Sentrifugering* foregår i en maskin som snurrer flaskene i høy hastighet. På den måten legger biomassen seg på utsiden av flasken, mens avfallsvæsken forblir i midten.

Systemgrenser avgrens seg til disse fire prosessene. Etter sentrifugeringen fryses biomassen som blant annet inneholder DHA (Olsen et al., 2023). Denne biomassen blir transportert til Fortek som også befinner seg på NMBU i Ås. Derfor blir ikke nedfrysing og transport en del av systemgrensen. Grunnen til dette er at det er uklart hvor lenge biomassen er nedfryst, og dermed blir det krevende å anslå et energiforbruk knyttet til dette. Transportavstanden mellom KBM og Fortek er også kort, slik at denne ikke vil ha stor innvirkning på analysen.

Autoklaving er har blitt utelatt fra analysen. Dette er en prosess som innebærer sertifisering av utstyret som brukes i de tre første stegene. Det er en kontinuerlig prosess. Utstyret blir sertifisert ved bruk av temperaturer over 100 grader, og diverse kjemikalier som dreper bakterier

Produksjonen av gransukker

Gransukker utgjør den største andelen av innholdet i *A. limacinum*, og er derfor en prosess som må forklares nærmere. Denne prosessen foregår i Borregaard, og er konfidensiell (Møller & Modahl, 2020). Norsus har laget en LCA-analyse i et annet prosjekt, der gransukker har blitt brukt som primær karbonkilde. Dette har blitt utgitt i en rapport på oppdrag fra Foods of Norway. Resultater fra denne rapporten blir også brukt i denne oppgaven. Grunnen til dette er at rapporten beskriver gransukkeret som også blir brukt i produksjonen av *A. limacinum*.

Systemgrensene i denne rapporten har en «vugge-til-fabrikk»-tilnærming. Dette betyr at rapporten inkluderer prosessen fra skogbruk og frem til ferdigprodusert gransukker som er klart for videre bruk, som for eksempel i *A. limacinum*. Rapporten beskriver dette som et produkt som er produsert av grantrær.

3.3.3 Avfall

I de aller fleste systemene vil det oppstå avfall. I denne analysen har det ikke blitt tatt hensyn til direkte avfall. Grunnen til at det ikke er tatt hensyn til avfallet som oppstår er fordi dette utgjør en liten mengde i begge systemene. Det har heller ikke vært mulig å fastslå et konkret antall for svinn eller avfall som oppstår. Både fiskefôr og A. limacinum kan defineres som småskala produksjon. Ansatte som gjennomfører produksjonen har god kontroll over ingredienser, og mange steg i prosessen gjøres manuelt. Det kan vurderes at flere av prosessene ville ha blitt gjennomført maskinelt i industriell produksjonsskala, og at større mengder avfall hadde oppstått underveis.

3.4 Livsløpsregnskap og datagrunnlag (LCI)

Dette kapitlet tar for seg produksjon av ingrediensene, transport og energibruken i produksjonen av fiskefôr. Informasjonen om forgrunnsystemet er innhentet fra ansatte som arbeider med prosjektet Oil4Feed, samt aktuelle vitenskapelige artikler. Informasjonen om bakgrunnsdataen er hentet fra LCA-databasen Ecoinvent 3.8.

3.4.1 Allokering og cut – off

For denne analysen har det ikke vært behov for produktallokering. Det er fordi prosessene som er beskrevet innenfor systemgrensen kun produserer ett produkt. I fermenteringsprosessen er det kun ett sluttprodukt, nemlig A. limacinum.

Cut off-regler defineres av LCA-utøveren, men skal kunne vise til en vurdering av hva som er hensiktsmessig. Dette gjennomføres fordi det er utfordrende å modellere visse systemer, og det er også mangel på informasjon i databaser. I dette tilfellet har jeg valgt å ha en cut off på 5 %. Dette innebærer at alle ingredienser som utgjør mindre enn 5 % av FE ikke blir inkludert i analysen. Dette ble også gjort fordi mange av ingrediensene, og spesielt vitaminer, var vanskelige å finne i LCA-databaser og i litteraturen.

A. limacinum består av mange ingredienser som utgjør mindre enn 5 % av FE. Dermed omfatter analysen kun fem av totalt 19 ingredienser. Mange av disse små ingrediensene er vitaminer eller sporstoffer. Gransukker utgjør størsteparten av ingrediensene. Det kreves store mengder gransukker i forbindelse med fermenteringsprosessen.

Tabell 2: alle ingrediensene som inngår i produksjonen av *A.Limacinum*, og prosentandelen disse utgjør av FE.

Ingredienser	Cut off (under 5 % av FE)
Gran sukker	179 %
Gjær ekstrakt	10 %
Pepton	10 %
Na ₂ EDTA	7 %
H ₃ BO ₃	9 %
Sjøsalt	3 %
<i>A.Limacinum</i>	1 %
Glycerol	2 %
FeCl ₃ x 6H ₂ O	0 %
CoCl ₂ x 6H ₂ O	0 %
MnCl ₂ x 4H ₂ O	0 %
ZnCl ₂	0 %
NiSO ₄ x 6H ₂ O	0 %
CuSO ₄ x 5H ₂ O	0 %
Na ₂ MoO ₄ x 2H ₂ O	0 %
Glukose	0 %
Thiamine chloride	0 %
Biotin	1 %
Cyanocobalamin	1 %

I fôrproduksjonen er det flere ingredienser som blir inkludert i analysen. De tre diettene utgjør til sammen 1 kg fiskefôr. Soyaproteinkonsentrat og fiskemel er ingredienser som utgjør størsteparten av mengden i diettene.

Tabell 3: alle ingrediensene som inngår i produksjonen av fiskefôr, og prosentandelen disse utgjør av FE.

Ingredienser	Cut off (under 5 % av FE)		
	Diet 1	Diet 4	Diet 4.1
Fiskemel	23 %	23 %	23 %
Soya protein konsentrat	26 %	26 %	26 %
Hvete glutenmel	6 %	2 %	2 %
Gelatinisert potetmel	16 %	10 %	10 %
Fiskeolje	5 %	5 %	0 %
Rapsolje	15 %	10 %	10 %
A. limacinum	0 %	15 %	15 %
Gelatin	6 %	6 %	6 %
Monocalcium phosphate	2 %	2 %	2 %
Premix	1 %	1 %	1 %
L - Lysine	1 %	1 %	1 %
DL-Methionine	0 %	0 %	0 %
Yttrium oxide	0 %	0 %	0 %
Choline chloride	0 %	0 %	0 %
Total (FE)	100 %	100 %	100 %

3.4.2 Ingredienser

Gransukker er karbonkilden i fermenteringsprosessen (Olsen et al., 2023). Produktet produseres av Borregaard i Skien, Norge (Møller & Modahl, 2020). Gransukker betegnes som andregenerasjons sukker, fordi den stammer fra biprodukter tilhørende treindustrien.

Gjærekstrakt er en naturlig substans som oppnås ved nedbrytning av gjær, vanligvis (*Saccharomyces cerevisiae*), gjennom en prosess som inkluderer autolyse (gjærcefordøyelse). Resultatet er en væske eller tørr substans som inneholder naturlige forbindelser som aminosyrer, peptider, vitaminer, mineraler og andre næringsstoffer fra gjæren (Begum, 2023).

Pepton er et hydrolysert proteinprodukt som oppnås ved delvis nedbrytning av proteiner, ved hjelp av enzymer, syrer eller varme. Denne prosessen bryter proteinene ned i mindre peptider og aminosyrer. Pepton brukes ofte i mikrobiologiske laboratorier som en næringskilde for vekst av bakterier og andre mikroorganismer (Qiang, 2020).

Na₂EDTA er en kjemisk forbindelse som ofte brukes som kelateringsmiddel i ulike anvendelser. Det er et salt avledet fra etylendiamintetraeddiksyre (EDTA), som bidrar til å gjøre forskjellige forbindelser mer løselig i vann (Kierulf 2021).

H₃BO₃ er den kjemiske formelen for borisk syre, som også er kjent som borsyre. Borisk syre er en svak syre som inneholder bor, hydrogen, oksygen og hydrogenatomer i en kjemisk struktur. Den er en hvit krystallinsk substans som er oppløselig i vann (Pedersen & Egeland, 2023).

Tabell 4: prosesser i Ecoinvent 3.8 som har blitt brukt for modellering av ingredienser for *A.Limacium*.

Navn	Database	Navn på prosess	Land
Gran sukker	Norsus	Gran sukker	Norge
Gjær ekstrakt	ecoinvent 3.8 Cut-off	Market for fodder yeast	Global
Pepton	ecoinvent 3.8 Cut-off	Market for organic nitrogen fertilizer, as N	Global
Na ₂ EDTA	ecoinvent 3.8 Cut-off	Market for EDTA, ethylenediaminetetraacetic acid	Global
H ₃ BO ₃	ecoinvent 3.8 Cut-off	Market for boris acid, anhydrous, powder	Global

Fiskemel brukes ofte som dyrefôr for oppdrettsdyr som fisk, svin, fjærfe og lignende. Produktet er mye anvendt på grunn av sitt høye innhold av proteiner, samt andre mineralstoffer. Fiskemel fremstilles som regel av maskinelt tørkede fiskehoder (Johnsen, 2021).

Soyaproteinkonsentrat utgjør ca. 40 % av en soyabønne, og brukes som regel for å erstatte noe av proteinet med animalsk opphav. Produktet har en bred bruk, og anvendes både i produksjon av lim og plast, men også i dyrefôrindustrien. Fremstilling av soyaprotein er en omfattende prosess, og innebærer å skille mellom soyaolje og soyamel med høyt proteininnhold (Svihus, 2020b).

Hveteglutenmel er produsert fra hvetet etter stivelseekstraksjon, og er rikt på proteiner. Den består av to typer protein – gliadin og glutenin. Grunnen til at det brukes i fôrproduksjon, er fordi det binder de andre ingrediensene og trekker til seg væske (Apper-Bossard et al., 2013).

Gelatinisert potetstivelse er produsert fra potetmel som har gjennomgått en prosess som kalles for gelatinerings. Denne prosessen går ut på at potetstivelsen blir tilsatt vann, og kokt til kokepunktet slik at væsken fordampes. Dette gir en geléliknende konsistens, og gjør at den egner seg godt til fôrproduksjon. Det brukes som fortykningsmiddel i fiskefôr (Xu et al., 2021).

Fiskeolje er fett fra fete fiskearter som sild, makrell og lodde. Dette er hurtigvoksende fiskearter som sjeldent brukes til fiskekonsum, selv om de kan konsumeres av mennesker. Fiskeolje er rik på både DHA- og EPA-fettsyrer, og er ingredienser som er krevende å erstatte (Hallenstvedt, 2020).

Rapsolje finnes i rapsfrø, og utvinnes gjennom pressing eller løsemiddelekstraksjon. Pressing er den tradisjonelle metoden, og innebærer maskinell pressing av frøene for å skille ut væsken som er olje. Ekstraksjon er en prosess der rapsfrøene blir løst opp i væske, før disse oljene skilles ut. Rapsolje brukes i fiskefôr fordi det er god kilde til fettsyrer som omega-3- og omega-6-fettsyrer (Nesse 2018).

Gelatinet fungerer som limstoff eller kan tykne blandingen av fôringredienser. Det blir produsert gjennom hydrolyse av kollagen fra dyr. Det vil si at hud, sener og bindevev fra dyr blir kokt. Kollagen er et protein som finnes i bindevev hos dyr, og ofte stammer dette fra gris og storfe (Egeland, 2022).

Tabell 5: prosesser i Ecoinvent 3.8 har blitt brukt for modellering av ingredienser for fiskefôr.

Navn	Database	Navn på prosess	Land
Fiskemel	Ecoinvent 3.8 Cut off	Market for fishmeal 63 - 65 % protein	Global
Soya protein konsentrat	Ecoinvent 3.8 Cut off	Market for soybean, feed	Global
Hvete glutenmel	Ecoinvent 3.8 Cut off	Market for wheat flour	Rest of the world
Gelatinisert potetmel	Ecoinvent 3.8 Cut off	Market for potato starch	Global
Fiskeolje	Ecoinvent 3.8 Cut off	Market for fishoil from anchovu	Global
Rapsolje	Ecoinvent 3.8 Cut off	Market for rapaoil, crude	Global
A. limacinum	Ecoinvent 3.8 Cut off	Selv modellert	Norge
Gelatin	Ecoinvent 3.8 Cut off	Market for meat and bone meal	Global

3.4.3 Transport

Tabellen viser opphavsland til ingrediensene til A. limacinum. Oversikt over opphavsland er basert på artikkelen til Olsen (Olsen et al., 2023). Kolonnen «transport vei» viser avstanden mellom opphavsstedet og nærmeste havn. Det er gjort en antagelse om at alle importerte varer er fraktet til Oslo havn, som er Norges største offentlige gods- og passasjerhavn. Derfor er avstanden 40 km i Norge på alle transporterte varer. Det er også forutsatt at ingredienser som kommer fra samme land, blir transportert til samme havn i det landet.

Tabell 6: transportavstandene til ingrediensene som inngår i produksjonen av A.Limacinum.

Ingrediens	Opprinnelse	Transport vei			Transport sjø
		Utland (km)	Innland (km)	Total (km)	Total (km)
Gran hydrolysat	Skien, Norge		62,0	62,0	
Gjær ekstrakt	Massachusetts, USA	83,0	40,0	123,0	7 256,0
Pepton	New Jersey, USA	540,0	40,0	580,0	7 256,0
Na2EDTA	Missouri, USA	2 000,0	40,0	2 040,0	7 256,0
H3BO3 / Borsyre	Missouri, USA	2 000,0	40,0	2 040,0	7 256,0
Total		4 623	222	4 845	13 039

For å beregne transportavstander har jeg anvendt Google Maps (Google, u.å.). Navnet på databasen som ble brukt for transport på veien er transport, *freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4*. Det betyr at det blir brukt motordrevet kjøretøy som tåler en last opp mot 3,5–7,5 tonn. Euro 4 er utslippsstandard for kjøretøy bestemt av EU, og stiller konkrete krav til utslipp for kjøretøy (Kjøretøyforskriften, 1994).

For å beregne sjøtransport har det blitt benyttet shiptraffic (Ship Traffic u.å.). Denne nettsiden oppgir sjøavstander mellom havn. Jeg utfører et nettbasert søk for å identifisere den nærmeste havnen til produktets opprinnelsessted. For å beregne miljøbelastningen for sjøtransport, anvendte jeg prosessen *transport, freight, sea, container ship with reefer, cooling*. Grunnen til at denne er valgt, er at mange av varene er matvarer som trenger kjøling for å bevare ferskheten.

Tabell 7: transportavstandene for ingrediensene i fiskefôr.

Ingrediens	Opprinnelse	Transport vei			Transport sjø
		Utland (km)	Innland (km)	Total (km)	Total (km)
Fish meal	Egersund, Norge		455	455	
Soy protein concentrate	Fredrikstad, Norge		63	63	
Wheat gluten meal	Panevezys, Litauen	302	40	342	1 204
Gelatinized potato starch	Courbevoie, Frankrike	477	40	517	5 917
Fish oil	Egersund, Norge		455	455	
Rapeseed oil	Rakkestad, Norge		50	50	
Gelatin	Courbevoie, Frankrike	477	40	517	5 917
Total		1 256	1 143	2 399	13 039

3.4.4 Energi

I modellering av strømforbruket har prosessen «electricity, medium voltage, renewable energy products». Strømforbruket er kun beregnet til å dekke strømforbruket av maskinene brukt i produksjonen på NMBU. Strømforbruk, som for eksempel oppvarming av lokaler og lignende, er ikke dekket i analysen. Grunnen til at det ikke er dekket er fordi det ville ha medført omfattende allokering eller systemutvidelse. Det hadde også krevd grundigere innsamling av informasjon.

De vitenskapelige artiklene (Bartek et al., 2021) og (Zlaugotne et al., 2023) har blitt brukt til å modellere energiforbruket ved produksjonen av *A. limacinum*. Det er fordi begge disse artiklene beskriver produksjon av alternative oljekilder brukt i fiskefôr, gjennom en fermenteringsprosess der man benytter seg av andre karbonkilder. Begge disse artiklene har en annerledes FE enn den som er brukt i denne LCA-analysen. Derfor har energiforbruket i disse artiklene blitt tilpasset mengdene og produksjonen, slik at forbruket representerer analysens FE.

Det er gjort en antagelse om at produksjonsprosessen har et energiforbruk på 0,003 kWh per 0,15 kg *A. limacinum* som blir produsert. I databasen Ecoinvent 3.8 er prosessen «market for electricity, low voltage, Norway» brukt. Denne prosessen beskriver strømforbruk fra fornybare energikilder, som for eksempel vannkraft.

Hele 97 % av Norges strømforbruk kommer fra fornybare energikilder som vannkraft og vindkraft (Angelil & Thuv, 2023). Norge ligger på toppen i Europa når det gjelder produksjon av fornybar strøm, og mesteparten av dette kommer fra vannkraft. Maskinene som brukes i systemgrensene bruker strøm som energikilde.

Det har ikke vært mulig å skaffe nøyaktig informasjon om energiforbruket i produksjonen.

Energiforbruket som har blitt brukt har blitt innhentet fra artikkelen (Samuel-Fitwi, Schroeder & Schulz, 2013). Denne artikkelen tar for seg blant annet fiskefôrproduksjonen. I artikkelen blir fôret produsert med varmekstrudering, som er en mer energikrevende prosess. I motsetning til

kaldekstrudering som ble benyttet i dette forsøket. Dermed er det gjort en antagelse om likt energiforbruk. I liket med A. limacinum beskriver energien kun bruk av maskiner som brukes direkte i produksjonen. Det er gjort en antagelse om at energiforbruket er 0,011 kWh per 1 kg fiskefôr.

3.5 LCIA-metode og valgte miljøpåvirkningskategorier

LCA ble gjennomført ved hjelp av SimaPro Flow, og ReCiPe 2016 Midpoint (Hierarchist)-metoden ble valgt for å beregne miljøpåvirkningskategorier. Valget av denne metoden ble motivert av dens evne til å gi en detaljert beskrivelse av midpoint-indikatorer, som presenterer resultatene som ulike påvirkningskategorier.

ReCiPe 2016-metoden bygger på tre hovedtilnærminger: hierarchist (H), egalitarian (E) og individualist (I) (Mark Huijbregts et al., 2016). Den hierarkiske tilnærmingen i ReCiPe 2016 som ofte refereres til som standard konsensus modell

Når vi retter oppmerksomheten mot de spesifikke kategoriene valgt for analysen, blir det vurdert hvilken kategori som best tjener formålet med studien og mest effektivt adresserer problemstillingen. Denne LCA-undersøkelsen fokuserer spesielt på fire utvalgte kategorier: global oppvarming, ferskvannseutrofiering, forsuringspotensial og arealbruk.

3.5.1 Global oppvarming

Matproduksjon, inkludert fiskefôrproduksjon, er ofte assosiert med utslipp av klimagasser, og da spesielt CO₂. Global oppvarming er en sentral bekymring i dagens klimadebatt, og det er viktig å forstå hvordan matproduksjonen påvirker dette. Ved å inkludere global oppvarming som en påvirkningskategori, kan analysen avdekke og kvantifisere de potensielle bidragene fra fiskefôrproduksjonen til klimaendringer.

Påvirkningskategorien GWP innebærer skadelige gassutslipp til atmosfæren som bidrar til økt temperatur på jorden (Curran, 2015). Utslipp av drivhusgasser som karbondioksid (CO₂), nitrogendioksid (NO₂) og metan (CH₄) i atmosfæren har blitt identifisert som substanser som bidrar til å øke temperaturen. I følge ReCiPe 2016 er global oppvarming er prosess som kan deles inn i flere mindre steg, som til sammen bidrar til økt temperatur. Det første steget er menneskeskapte utslipp av drivhusgassene, og økt konsentrasjonen av gassene i atmosfæren. Dette bidrar til økende absorpsjon av radioaktivstråling fra sola, som til slutt øker temperaturen i atmosfæren (Huijbregts et al., 2016). Det er vanlig å forholde seg til et 100 års-perspektiv, noe som metoden ReCiPe 2016 Midpoint (H) også forholder seg til (Huijbregts et al., 2016).

GWP regnes ut ved å multiplisere utslippets masse (kg) med en ekvivalensfaktor (CO₂-ekvivalens). I praksis betyr dette at for eksempel 1 kg metan tilsvarer ca. 32 kg CO₂ i et 100 års-perspektiv.

3.5.2 Ferskvannseutrofiering

Fiskefôr består i stor grad av landbruksprodukter som for eksempel rapsolje, potetstivelse osv.

Produksjon av dette kan gi utslipp av næringsstoffer som fosfor og nitrogen til vannsystemer. Dette kan føre til ferskvannseutrofiering, som er en viktig indikator på vannkvalitet.

Ved å inkludere denne kategorien kan analysen avdekke hvordan fiskefôrproduksjonen påvirker næringsstoffutslipp til ferskvannssystemer.

Eutrofiering er prosess som innebærer økt plante- og algevekst i vann forårsaket som er resultat av økt tilførsel av næringsstoffer. Det er større risiko for at dette skjer i stillestående vann som i innsjøer, enn for eksempel i rennende vann som elver (Dag Hongve 2022). Eutrofiering kan imidlertid skje både i salt- og ferskvann. Men konsekvensene i ferskvann er større, og også oppstår dessuten oftere.

Vanneutrofiering i ReCiPe 2016 refererer til eutrofiering forårsaket av menneskelig aktivitet. Kilder til økt næringsinnhold i vann kan komme fra avrenning av gjødsel i landbruket, eller kloakkutslipp. I ferskvann er det som regel økt mengde av fosfor som fører til eutrofiering, mens i saltvann er det nitrogen (Curran, 2015).

Konsekvensen av eutrofiering er det fører til blokkert lysgjennomgangen, og gir oksygenvinn på bunnen der det foregår nedbryting av biomassen. Til slutt oppstår det et toksisk miljø i vannet, noe som fører til fiskedød og tap av andre vannlevende organismer.

3.5.3 Forsuringspotensial

Utslipp av sure stoffer som eksempel svoveldioksid (SO₂) og nitrogenoksider (NO_x) fra matproduksjon kan bidra til forsuring av jord og vann. Dette kan påvirke økosystemer og biologisk mangfold.

Inkludering av forsuringspotensial som en kategori gjør det mulig å kvantifisere effekten av fiskefôrproduksjon på forsuring og vurdere potensielle konsekvenser for økosystemene.

Forsuring er en økning av surhet i miljøet, som vann, jord eller luft. Dette er ofte forårsaket av utslipp av sure stoffer, som svoveldioksid (SO₂) og nitrogenoksider (NO_x) (Andersen, 2021). Disse utslippene fører til ulempe eller skade på helsen hos alle levende organismer. Forsuring av miljøet omhandler kun utslipp som skyldes menneskeskapte aktiviteter. Dette kan for eksempel skyldes manglende avfallshåndtering, utslipp av kjemikalier til vann eller jord.

Konsekvensene av forsuringen er mange, og det er varierende om disse gjelder jord, vann eller luft. Forsuring av luft fører til sur nedbør, noe som igjen fører til blant annet skogsdød. Forsuring av vann fører til fiskedød og vannforurensning.

For forsuringspotensialet blir utslippene regnet om til SO₂-ekvivalenter. For eksempel blir NO₂ multiplisert med 0,7 (Curran, 2015).

3.5.4 Arealbruk

Fiskefôrproduksjonen er en del av den overordnede matproduksjonssektoren, og bruk av areal knyttet til produksjonen av fiskefôr kan ha betydelige miljøpåvirkninger.

Gjennom denne tilnærmingen gir analysen en helhetlig forståelse av miljøpåvirkningene fra fiskefôrproduksjonen, samtidig som den tar hensyn til viktige aspekter knyttet til bruk av areal.

Kategorien landbruk i metoden ReCiPe 2016 midpoint forklarer denne kategorien som en tredelt prosess – arealendring, arealbruk og revegetering (Huijbregts et al., 2016). Utgangspunktet for et område er at det er i sin «naturlig tilstand», før det blir endret til for eksempel jordbruk. Det er ikke enkelt å definere hva som gjenspeiler denne tilstanden. Dette kan bli forklart ved at «naturlig tilstand» betyr areal der menneskelig aktivitet ikke har skjedd. Menneskelige aktiviteter som landbruk, byutvikling eller veiutbygging fører til varige arealendringer, som igjen fører til negative miljøkonsekvenser som for eksempel tap av habitat, jordforurensning og potensielt tap av diverse arter. Revegetering er en prosess som innebærer at et område blir ført tilbake til en «semi»-naturlig tilstand. Enten skjer dette naturlig ved at menneskelig aktivitet avtar, eller gjennom aktiv revegetering. Det betyr at menneskelige aktiviteter kan bidra til å føre området tilbake til sin naturlige tilstand.

3.6 Sima pro og database

SimaPro er en programvare for (LCA), som er et verktøy for å evaluere de miljømessige konsekvensene av et produkt eller en tjeneste gjennom hele livssyklusen (PRe Sustainability, 2023). SimaPro gir brukere muligheten til å modellere og analysere miljøpåvirkninger knyttet til produksjon, bruk og avhending av varer og tjenester.

Programvaren hjelper med å samle inn, organisere og analysere data om materialer, energi, utslipp og avfall knyttet til ulike stadier av et produkt eller en tjenestes livssyklus. Den gir også brukerne muligheten til å vurdere miljøpåvirkningene i form av klimagassutslipp, ressursforbruk, forurensning og andre indikatorer.

SimaPro brukes bredt i forskningsmiljøer, næringslivet og offentlig sektor for å støtte bærekraftig beslutningstaking og for å utvikle mer miljøvennlige produkter og tjenester. Programvaren har blitt anerkjent som et av de ledende verktøyene innen området livssyklusanalyse.

3.6.1 Datakvalitet og datagrunnlag

Informasjon for bakgrunnssystemet er hentet fra LCA-databasen, Ecoinvent 3.8.

Denne databasen er en del av dataverktøyet SimaPro. Det er blant de største LCA-databasene som er tilgjengelige i SimaPro, og dermed er sannsynligheten for å finne riktig relevant informasjon høyere.

(Weidema et al., 2013). Begge produktene inneholder mange utradisjonelle ingredienser, og det var krevende å finne tilsvarende eller like produkter i databasen.

Ecoinvent 3.8 dekker et bredt spekter av prosesser og produkter, blant annet innenfor matindustrien – som er den mest aktuelle for oppgaven. Databasen er utviklet for å kunne dekke et internasjonalt bruk, og i liten grad basert på mindre geografisk avgrensede områder (Ruiz, u.å.). En annen fordel er at databasen blir oppdatert jevnlig, noe som gir tilgang til mest mulig aktuell informasjon.

For at input-faktorene skulle overstemme med den funksjonelle enheten, ble det behov for omregning. Mengdene som er beskrevet i artikkelen (Olsen et al., 2023) gjenspeiler prosessen slik den blir gjennomført i virkeligheten.

Ingredienser for produksjonen av fiskefôr-pellets ble innhentet fra Margareth Øverland via e-post (Øverland 2023). Opphavslandet til produktene ble innhentet fra den vitenskapelige artikkelen (Rocha et al., 2023). I denne artikkelen er det brukt de samme ingrediensene som i dette forsøket.

4 Resultater

Dette kapitlet omhandler resultatene ved bruk av metoden ReCiPe 2016 Midpoint (H). Både diagrammene og tabellene ble laget i Excel, basert på resultater fra SimaPro Flow. Det er resultatet for diettene som blir illustrert, der A. limacinum er en ingrediens i Diett4 og 4.1. Hovedresultatet blir presentert for ingredienser, energiforbruket til maskinene i produksjonen og transporten av ingrediensene fra opphavssted til NMBU.

Senere i kapitlet blir de fire utvalgte miljøpåvirkningskategoriene GWP, AP, AP og LOP presentert. Disse kategoriene skal vise bidraget hver ingrediens utgjør i diettene. Hensikten med dette er å se på hvilken ingrediens som har det største bidraget, og hvilken påvirkning A. limacinum har på bidraget.

4.1 Hovedresultater

ReCiPe 2016 Midpoint (H) deler miljøpåvirkningene i 18 kategorier. Resultatene i tabell 8 viser det totale bidraget til de ulike miljøpåvirkningskategoriene. Diett1 er brukt som referansediett. Det betyr at Diett4 og 4.1 blir sammenlignet med Diett1. Grunnen til at det gjøres på denne måten, er fordi Diett1 er en tradisjonell diett som ikke inneholder A. limacinum. Det laveste bidraget er markert med grønn farge, mens det høyeste er markert med oransje. Det totale bidraget for diettene består av ingredienser, transporten av ingrediensene til Ås og energiforbruket av maskiner i produksjonsfasen av fiskefôret og A. limacinum.

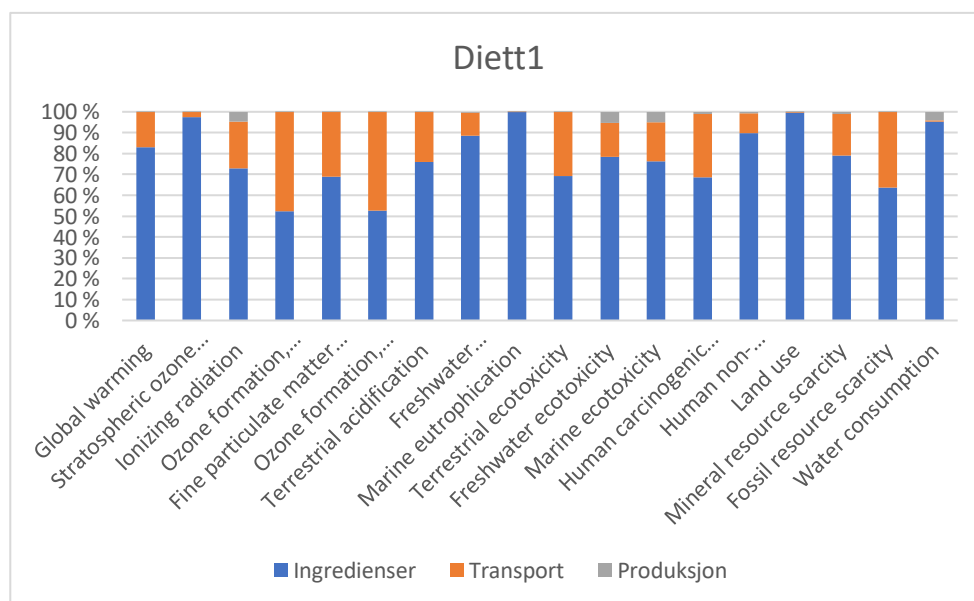
Ut fra tabellen kan man se at både Diett4 og 4.1 har et lavere bidrag enn Diett1 for flere av kategoriene. Diett1 har lavere bidrag enn Diett4 i syv av kategoriene. Én av disse kategoriene er *ionizing radiation*, der forskjellen utgjør 21 %. Likheten er at begge disse diettene inneholder A. limacinum. Men det er ikke entydig hva denne forskjellen kan skyldes. Mens sannsynlig kan forskjeller i råvarene som brukes til produksjonen av A. limacinum påvirke strålingsnivået. Dette kan inkludere bruk av materialer som er radioaktive eller som krever energiintensive prosesser som involverer ioniserende stråling. A. limacinum består av flere kjemikalier som kan bidra i denne kategorien.

Diett4.1, som ikke inneholder fiskeolje, gir mindre bidrag til de forskjellige kategoriene i forhold til Diett1. Av 18 kategorier er det 17 kategorier som viser mindre bidrag. Dermed kan man høyst sannsynlig konkludere med at det å fjerne fiskeolje i dietten gir et positivt totalt resultat.

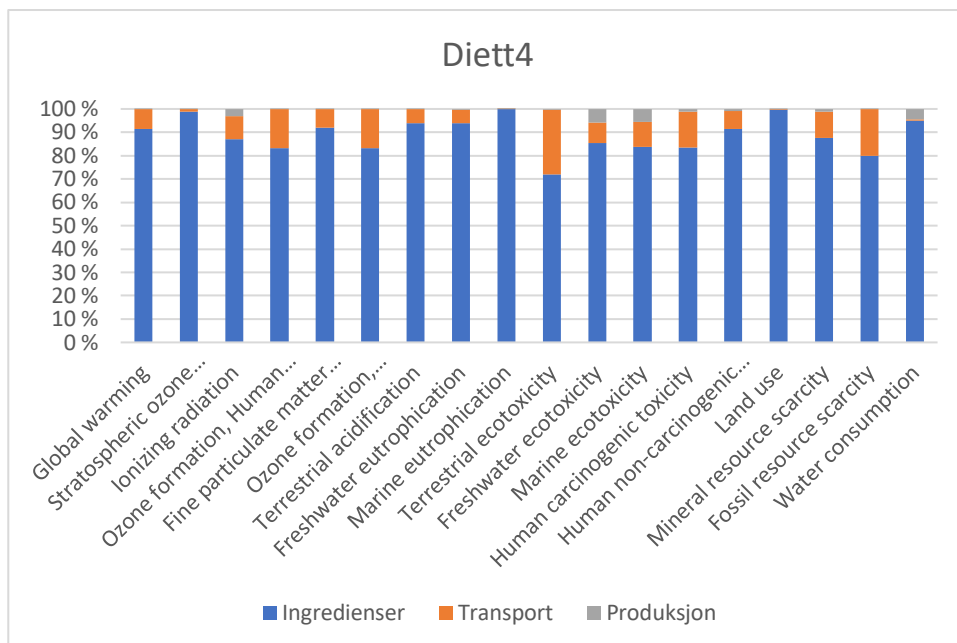
Tabell 8: forskjell i resultater mellom diett 1 og diett 4 og 4.1.

Impact category	Enhet	Endring mellom diet 1 og 4 (%)	Endring mellom diet 1 og 4.1 (%)
Global warming	kg CO2 eq	-5 %	-12 %
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	-19 %	-22 %
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	21 %	21 %
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	-34 %	-44 %
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	-10 %	-25 %
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	-34 %	-44 %
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	-11 %	-26 %
Freshwater eutrophication	kg P eq	4 %	-11 %
Marine eutrophication	kg N eq	-22 %	-22 %
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	-4 %	-14 %
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	2 %	-12 %
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3 %	-13 %
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3 %	-16 %
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	9 %	-21 %
Land use	m2yr crop eq	9 %	-3 %
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	-7 %	-19 %
Fossil resource scarcity	kg oil eq	-4 %	-20 %
Water consumption	m3	-22 %	-23 %

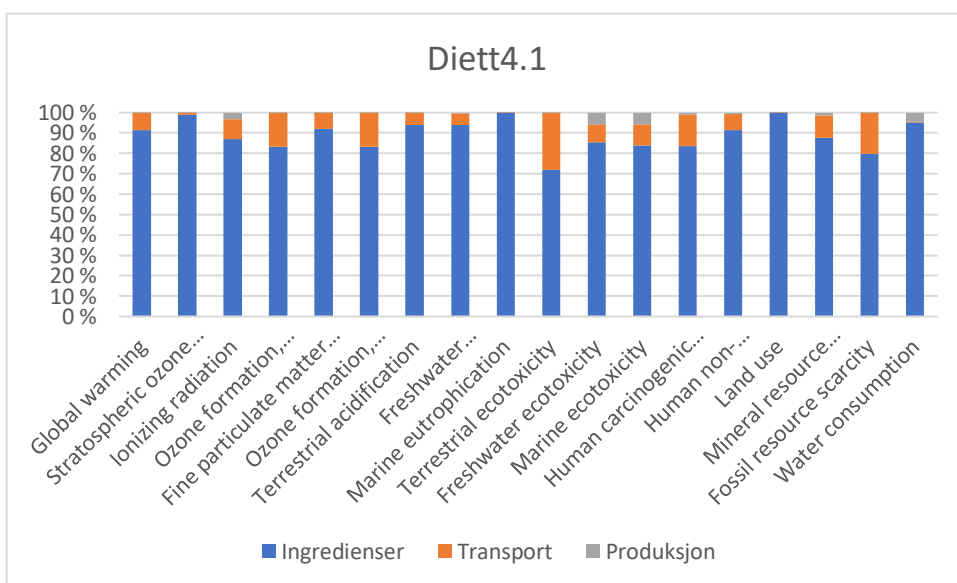
Figurene 3 - 5 viser bidrag for hver av de tre diettene. Formålet med disse figurene er å illustrere hvor mye produksjonen, ingrediensene og transporten utgjør for de forskjellige kategoriene. Ut fra tabellen ser vi at produksjonen utgjør en liten del av bidraget, mens ingredienser og transporten står for det meste av bidraget .



Figur 3: prosentandelen fordelt mellom ingredienser, transport og produksjon.



Figur 4: prosentandelen fordelt mellom ingredienser, transport og produksjon.



Figur 5: prosentandelen fordelt mellom ingredienser, transport og produksjon.

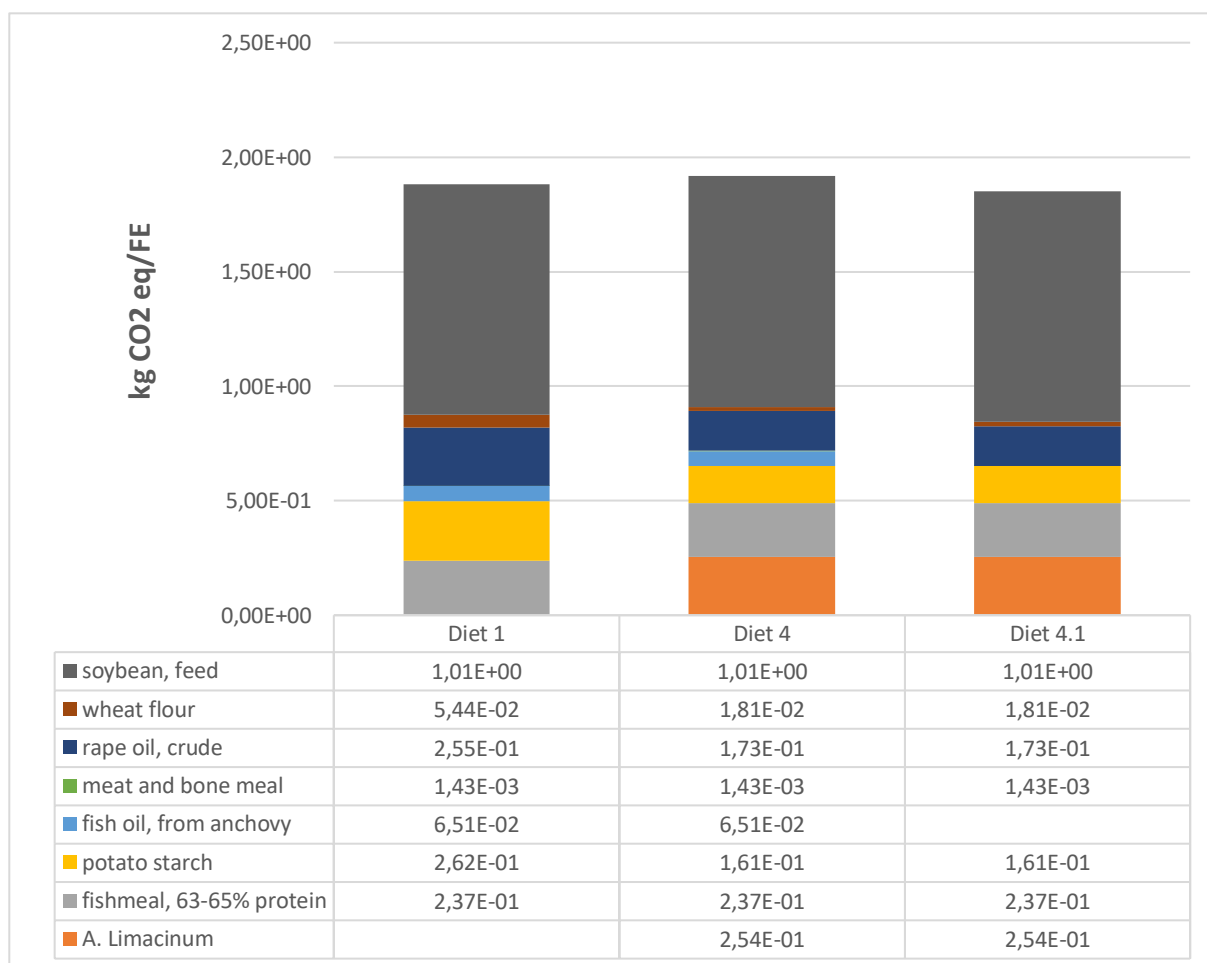
4.2 Utvalgte miljøpåvirkningskategorier

Ingredienser utgjør størsteparten av bidraget for alle kategoriene, i varierende grad. Derfor har jeg valgt å fokusere på de enkelte ingrediensene når jeg presenterer bidraget for de fire utvalgte miljøpåvirkningskategoriene som er beskrevet i kap. 3.5.

4.2.1 Resultater Global oppvarming (GWP) for produksjon av fôringrediensene

Diett4 har den høyeste GWP-verdien (1,9167). Diett4.1 viser de laveste GWP-verdiene (1,8516), og dette kan være knyttet til at dietten ikke inneholder fiskeolje. Endringer i mengden av de forskjellige ingrediensene, spesielt ingredienser med høy GWP-verdi, kan være årsak til forskjellene mellom diettene.

Ut fra figuren kan man se at soyabønner utgjør en betydelig andel av GWP for alle diettene. Mengden av dette produktet er også likt for alle diettene. Den høye andel kan skyldes at produksjonen foregår primært i Sør-Amerika, og krever store ressurser. A. limacinum utgjør også en stor andel for både Diett4 (13 %) og Diett4.1 (14 %), av det totale bidraget. Rapsolje og fiskeolje utgjør en mindre andel av bidraget i forhold.

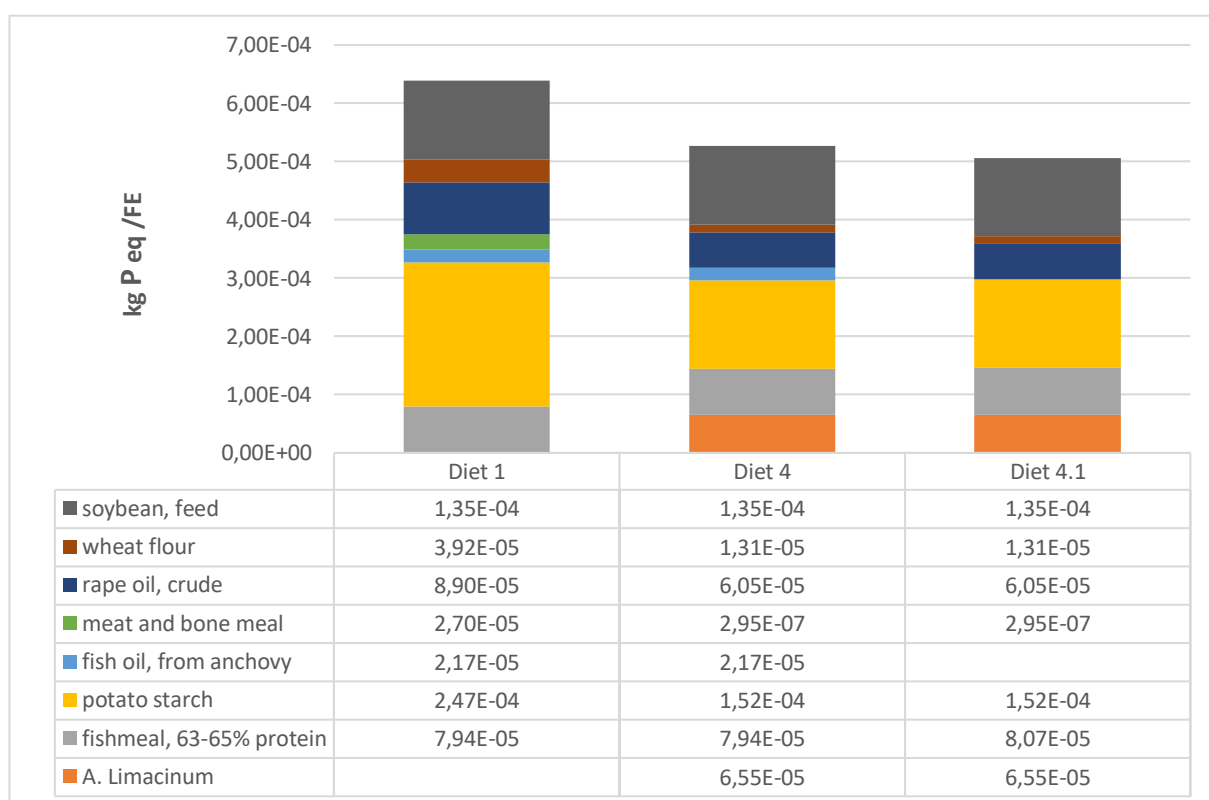


Figur 6: resultatet for kategorien GWP av ingrediensene i diett1, 4 og 4.1

4.2.2 Resultater ferskvanneutrofiering (FEP) for produksjon av fôringrediensene

Diett1 har det høyeste potensialet for å påvirke ferskvannøkosystemer sammenlignet med Diett4 og Diett4.1, basert på FEP-verdiene. Både Diett4 og 4.1 har mindre mengde av ingrediensene; hvetegluten, gelatinisert potetmel og rapsolje. Denne forskjellen i mengder kan skyldes forskjellen i resultat. Alle disse ingrediensene er landbruksprodukter, der bruken av gjødsel og plantevernmidler kan ha negativ påvirkning på ferskvann (Universitet i Oslo 2021). Overgjødsling er prosess der planter ikke klarer å ta opp næringsstoffene, og disse ender opp i vann.

Potetmelstivelse er produktet som har det høyeste bidraget til ferskvannseutrofiering for alle diettene. Diett1 inneholder mest potetstivelse og gir dermed også høyest resultat. Soyabønner utgjør en betydelig del av resultatet.

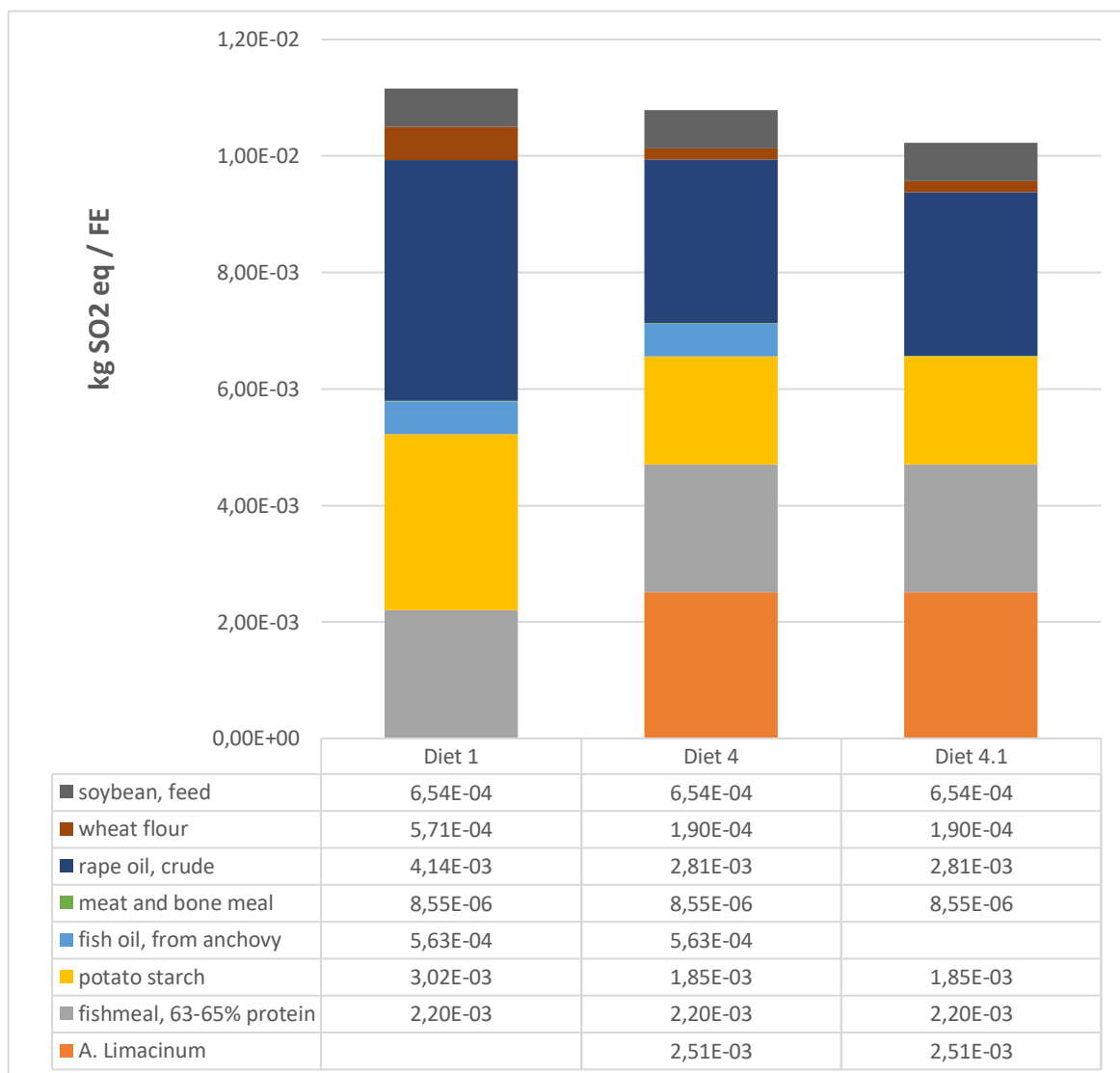


Figur 7: resultatet for kategorien FEP av ingrediensene i diett1, 4 og 4.1

4.2.3 Resultater Forsuringspotensial (AP) for produksjon av fôringrediensene

Diett1 har den høyeste AP-verdien, etterfulgt av Diett4 og Diett4.1. Dette betyr at sammensetningen av ingredienser i Diett1 har det høyeste potensialet for sur nedbør. Produkter som har høyt AP inneholder ofte ingredienser med høy utslippsprofil, enten i produksjonen eller i transportmetoden. Intensiv bruk av kunstgjødsel kan være et eksempel på matproduksjon som bidrar negativt på AP.

For alle dietter er det ingrediensen rapsolje som har det største bidraget for AP. Det er flere faktorer som kan bidra til høy AP-verdi for raps. Store mengder bruk av kunstgjødsel, kan føre til utslipp av ammoniakk (NH₃), som senere kan omdannes til nitrogenoksider (NO_x) (Universitet i Oslo 2021). Produksjon som innebærer bruk av fossilmotor, kan føre til utslipp av svoveloksider og nitrogenoksider. A. limacinum utgjør også en stor andel av Diett4 og 4.1 – nesten ¼ av det totale bidraget. Det er spesielt gransukker og gjær som bidrar mest til dette av ingrediensene som inngår i A. limacinum.

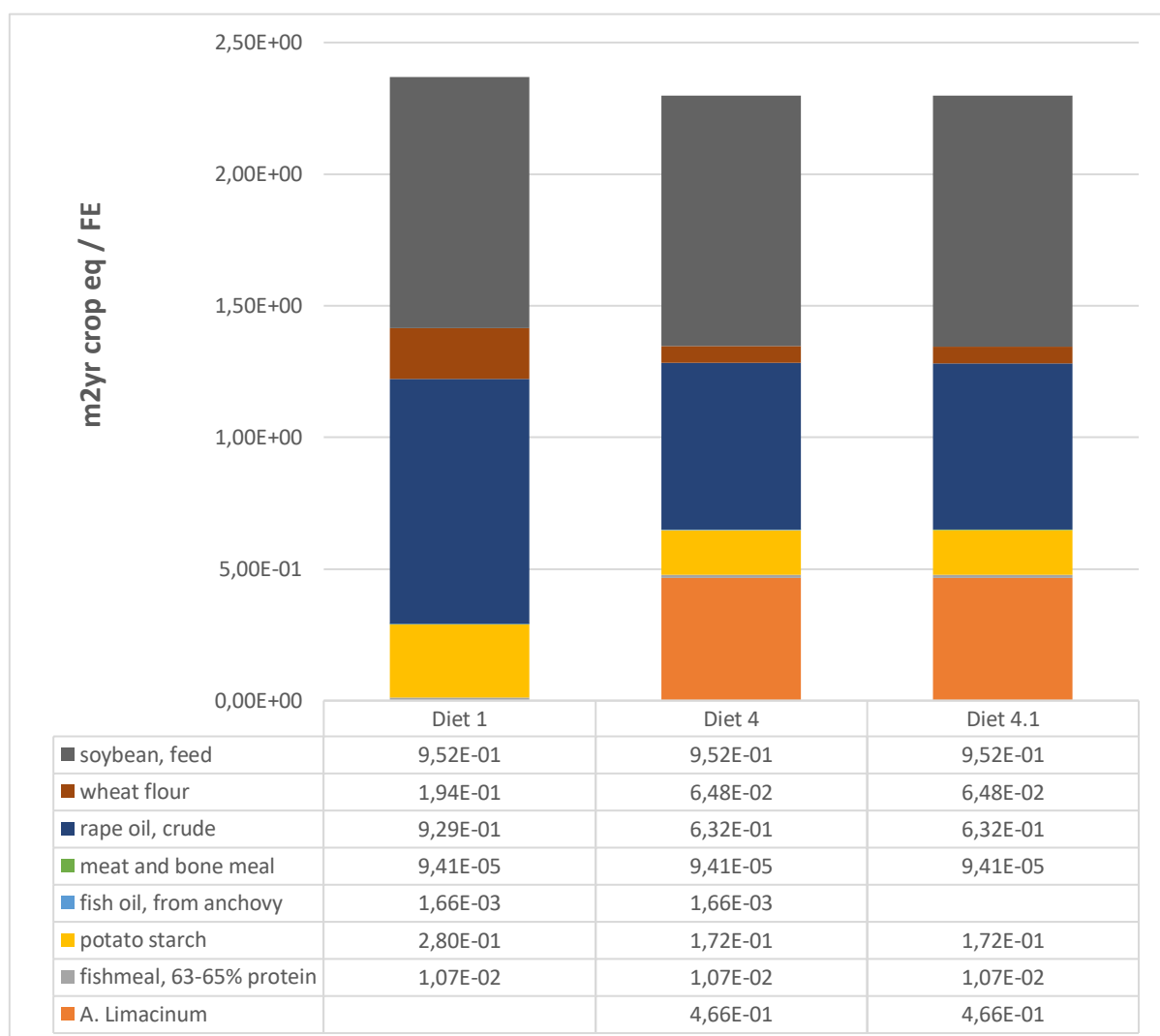


Figur 8: resultatet for kategorien AP av ingrediensene i diett1, 4 og 4.1

4.2.4 Resultater Arealbruk (LOP) for produksjon av fôringrediensene

Ut fra figuren kan man se at Diett1 utgjør det største bidraget for kategorien LOP, mens Diett4 og 4.1 utgjør nesten det samme bidraget. Disse diettene inneholder lik mengde av ingredienser som typisk påvirker LOP – altså landbruksprodukter.

Rapsolje, potetstivelse og soyabønner er alle ingredienser som utgjør en stor del av LOP. Det er typisk for landbruksprodukter å bidra mye i denne kategorien. Det er fordi disse krever store landarealer, der monokultur har en negativ påvirkning på blant annet biomangfoldet. A. limacinum utgjør 20 % av både Diett4 og 4.1. Her står produksjonen av gransukker for det størst bidraget. Produksjonen av gransukker innebærer at store arealer blir brukt for produksjon av grantrær.



Figur 9: resultatet for kategorien LOP av ingrediensene i diett1, 4 og 4.1

5 Diskusjon

Dette kapitlet kommer til å ta for seg diskusjonen av resultater, og sammenligne disse med tidligere sammenlignbare LCA studier. I tillegg diskuteres styrker og mangler med denne analysen.

5.1 Sammenligning av resultater med andre studier

Resultatet fra denne analysen blir sammenlignet med studien (Zlaugotne et al., 2023). Analysen sammenligner olje av mikroalger, fiskeolje og rapsolje. Studien innebærer produksjon av ingredienser brukt i oljen, produksjonen av olje og transport til oppdrettslaks. Mikroalgen i studien produseres gjennom en fermenteringsprosess, der oljen blir separert fra biomassen. Slik blir sluttproduktet en ren olje som kan brukes i fôr. Beregningene for LCA-analysen er gjennomført i samsvar med reglene for produktmiljøavtrykk i kategorien (PEFCR). Denne metoden har andre kategorier enn metoden ReCiPe midpoint 2016, som er brukt i denne masteroppgaven.

FE i studien er 1 kg olje. Derfor har mengden av A. limacinum også blitt skalert opp til å passe til den FE. Mengden olje i A. limacinum er 44 % (Olsen et al., 2023). Det vil si at 1 kg A. limacinum inneholder 0,44 kg olje.

Basert på disse resultatene, er det store avvik mellom de forskjellige produktene. For kategorien GWP er det mikroalgen som har det største bidraget, etterfulgt av A. limacinum. For kategorien FEP er det rapsolje som har det største bidraget.

Grunnen til forskjellen kan være at det er brukt forskjellige LCIA-metoder for beregning av miljøpåvirkningskategorier. Det er også forskjeller i LCI, og mengden av ingredienser. I studien (Zlaugotne et al., 2023) bruker man større mengde glukose i fermenteringen. Det er heller ikke spesifisert hva denne glukosen er laget av. I denne masteroppgaven kommer glukosen fra grantrær. Likheter i begge studier er at karbonkilden utgjør størsteparten av LCI-data for produksjonen av mikroalger, og at dette også utgjør et stort bidrag til de forskjellige miljøpåvirkningskategoriene.

Studien bruker andre energikilder enn elektrisitet, og energien er modellert ut fra energimarkedet i USA – som kan være varierende fra det norske energimarkedet.

I denne oppgaven er det brukt fornybar strøm som energikilde, i full grad. Energibruken i studien innebærer mer enn kun energiforbruk av maskiner i produksjonen, som er tilfelle i denne oppgaven.

Tabell 9: resultater for kategorien GWP for forskjellige oljekilder.

	FE	Global warming kg Co2eq	Freshwater eutrophication kg Peq
Micrioalgea	1 kg oil	8,43E+00	3,34E-03
Rapsolje	1 kg oil	1,68E+00	5,11E-04
Fiskeolje	1 kg oil	1,36E+00	1,62E-04
A.Limacinum	1 kg oil	3,84E+00	2,17E-03

5.2 Styrker og svakheter

Fordi produksjon av fôr i sin helhet foregår på NMBU, har det vært enklere å komme i kontakt med aktuelle personer. Beskrivelse av systemgrenser, og innhenting av LCI-data har foregått i tett samarbeid med forskere og ansatte. Dette gjør at informasjonen er mer pålitelig og etterprøvable. Det har også vært til stor hjelp og kunne ha fysiske befaringer på NMBU. LCI-data som gjelder ingredienser og deres opphavsland er hentet fra vitenskapelige artikler. Mengden av ingredienser er modellert ved bruk av de samme artiklene.

I følge LCIA-resultatet bidrar Diett4 med et større bidrag til kategorien GWP, enn Diett 1. Basert på dette kan man tolke at Diett 4 er verre for miljøet i form av utslipp som bidrar til oppvarming av klima. Dermed kan det bli vanskelig å se potensialet i ingrediensen *A. limacinum*. Derfor har det vært en fordel å lage en teoretisk diett, som ikke inneholder fiskeolje. Diett 4.1 har mindre bidrag i kategorien GWP, enn både diett 1 og 4.

Det er usikkert hvordan dietten ville ha blitt påvirket ved å utelate fiskeolje og utelukkende benytte *A. limacinum*. Det er mulig at dette valget kunne ha ført til endringer i mengden av andre ingredienser i fiskefôret. Slike endringer i mengde kan også ha hatt innvirkning på resultatene av analysen. Dessverre mangler jeg nødvendig forutsetninger eller kunnskap for å kunne trekke en konklusjon om utfallet av å fjerne fiskeolje fra fiskefôret.

I denne analysen blir gransukker fra grantrær modellert som en ingrediens i fiskefôr. Det vil si at utslipp knyttet til produksjonen av produktet er inkludert. CO₂ som befinner seg i treet blir frigjort under produksjonen, og dette blir ikke tatt med i analysen (Møller & Modahl, 2020). Det er fordi denne CO₂-andelen er en del av CO₂-kretsløpet, og uansett hadde sluppet ut i atmosfæren når treet blir brutt ned.

Det er uklart hvorvidt gransukker kan regnes som avfall, eller som en ingrediens. I studien (Bartek et al., 2021) blir ikke avfallet inkludert i analysen i form av utslipp til klima. Det er fordi avfall ble betegnet som en friressurs, som er uansett tilgjengelig. Dersom det hadde blitt gjort antagelse i denne analysen om at gransukker er en ressurs, i stedet for å bli behandlet som avfall, ville det hatt en positiv påvirkning på analysen. Men for å komme frem til denne konklusjonen trengs det mer innsyn i produksjonsprosessen av gransukkeret. Først burde man finne ut om gransukker er et biprodukt fra annen produksjon, og om det finnes et alternativt bruksområde for gransukker. Dersom gransukkeret vanligvis deponeres, er det bedre å gjenvinne dette og utnytte det som en ressurs i produksjonen av DHA.

LCA-analyser bærer preg av utøverens valg og kunnskapsgrunnlag. Dette gjelder for eksempel ved utarbeidelse av systemgrenser og cut off-kriterier.

I produksjonen av *A. limacinum* og fiskefôr vil det oppstå avløpsvann. Med dette menes det at vannet er forurenset som følge av produksjonen, og ikke har en annen bruk. I artikkelen (Bartek et al., 2021) blir avløpsvannet fra DHA-produksjonen en output. Det er uklart hvor mye avfallsvann som oppstår i produksjon av *A. limacinum* ettersom dette ikke blir beskrevet med nøyaktige mengder i artikkelen (Olsen et al., 2023). Det er også uklart hvor mye avløpsvann som oppstår i fiskefôrproduksjonen.

Prosesser som innebærer oppbevaring av *A. limacinum* er også utelatt fra analysen. Dette fordi det er vanskelig å anslå hvor lenge *A. limacinum* blir oppbevart, både før fermentering og før fiskefôrproduksjon. Den oppbevares nedfrost i tilstand. Autoklaving av utstyr som brukes i produksjonen er heller ikke inkludert. Det er dermed usikkert hvordan de to prosessene kunne ha påvirket analysen. Dette hadde ført til økt energiforbruk.

Under fermenteringsprosessen av *A. limacinum* vil det oppstå CO₂ som direkte utslipp til luften. I en fermenteringsprosess er det vanlig at det frigis CO₂ i varierende mengde (Universitet i Oslo 2011). Både i artikkelen (Zlaugotne et al., 2023) og (Bartek et al., 2021) er det tatt hensyn til CO₂ i produksjonen. Dette er noe som ikke er med i denne analysen. Det er uvisst hvor stor mengde av CO₂ som oppstår. Fordi produksjonen representerer relativt liten skala, vil mest sannsynlig mengden av CO₂ være proporsjonal med dette.

Selv om mesteparten av LCI-dataene er innhentet fra vitenskapelige artikler, og gjennom samarbeid med KBM og Fortek, er det fortsatt noe usikkerhet knyttet til innhentet data. I tillegg er mengder som er brukt i analysen omregnet, uten å ta hensyn til hvorvidt øking av mengder vil påvirke produksjonen og om det er gjennomførbart i praksis. Usikkerhet i innhentet data blir omtalt i (Curran, 2015). I en LCA-analyse vil det vanligvis oppstå usikkerhet i de forskjellige fasene, fra datainnhenting til klimaeffektvurdering. I denne analysen er det brukt prosesser fra databasen Ecoinvent 3.8. Disse prosessene gjenspeiler ofte et gjennomsnitt, og er ikke spesifikke for de enkelte ingrediensene. Det vil si at f.eks. EPD for de enkelte ingrediensene hadde vist et mer nøyaktig bidrag til klimapåvirkninger. Gransukker er eksempel på en ingrediens som har blitt modellert spesifikt for å fremstille produksjonen på Borregaard. Det har også vært krevende å finne spesifikke prosesser. På bakgrunn av dette kan det være utfordrende å fastslå hvilken diett som er mest miljøvennlig, på grunn av usikkerhetene som oppstår i analysens forskjellige steg.

Ved sammenligning av dietter spesielt med og uten innhold av fiskeolje, er det behov for kategorier som i større grad belyser temaer som biodiversitet og tap av artsmangfold. Råvarer som egnes som menneskeføde burde prioriteres til dette, mens fiskefôr burde basere seg på råvarer som ikke egner seg som mat for mennesker. Overfisking er i dag en stor utfordring for miljøet, og byr på konsekvenser som tap av artsmangfold og har negativ innvirkning på lokal flora (Olsen et al., 2023). Det å bruke fisk

for å produsere fiskeolje og ellers bli brukt som fiskefôr, sees på som dårlig utnyttelse av ressursene (Forskningsrådet 2016). Økt befolkningsvekst vil føre til økt behov for næring, deriblant fisk og sjømat. Det anbefales å bruke alternative fiskefôringredienser, inkludert produkter som kan erstatte fiskefôrprodukter som fiskeolje og fiskemel. Mangel på kategorier i LCA som belyser denne problematikken er også en utfordring som blir nevnt i (Bartek et al., 2021).

En sensitivitetsanalyse er ikke et obligatorisk steg i LCA-analysen, men heller en anbefaling i ISO 14040 (Curran, 2015). I kap. 2.2 blir det beskrevet nærmere hva som er formålet og hensikten med dette. I denne oppgaven er det ikke gjennomført en sensitivitetsanalyse, noe som kunne ha vært aktuelt. Det hadde vært fornuftig å endre parametere som energiforbruk og transport.

I denne analysen tas det kun hensyn til energiforbruket for maskiner, og det forutsettes at energien i stor grad er fornybar. Dermed hadde det vært aktuelt å bytte ut denne energimiksen med et annet land. I dette tilfellet foregår hele produksjon i Norge, men dersom man skalerer opp produksjon vil det kunne føre til at noen ledd i prosessen kunne ha blitt overført til et annet land. Enten på grunn av økonomiske årsaker, eller tilgjengeligheten på ressurser i landet. Energiforbruket kunne ha fått et større bidrag dersom det hadde blitt tatt hensyn til oppvarming av lokaler osv. Hele produksjonen foregår også på NMBU, i liten skala. Ved oppskalering med geografisk spredte produksjonsprosesser, hadde dette ført til større transportavstander. Utslipp fra økt transport kunne hatt større innvirkning på resultatene, spesielt for kategorien GWP.

6 Konklusjon og forslag til veien videre

I utgangspunktet er denne gradsoppgaven ment som et bidrag i prosjektet Oil4Feed. Det skal bidra med å svare på utfordringene, og mulighetene ved å bruke *A. limacinum* i fiskefôr. Men denne oppgaven kan generelt brukes til inspirasjon eller videre arbeid knyttet til bærekraftvurdering av fiskefôr, og hva som eventuelt kan jobbes med videre for å belyse denne tematikken enda bedre.

Selv om prosjektet Oil4Feed har kommet langt i forskningen og utarbeidelsen av dietter, er det fortsatt noen temaer som kunne ha trengt mer forskning. Det burde blant annet forskes mer på om *A. limacinum* egner seg som fiskeoljeerstatning. I dag erstatter ikke *A. limacinum* innholdet i noen av diettene, men er kun et tillegg til fiskeolje. Det er uklart om fisken klarer å ta opp næringsstoffene i *A. limacinum*, og mikroorganismens evne til å erstatte fiskeolje i fremtiden. Dermed kreves det mer forskning på fiskehelse og fiskens næringsopptak.

Det er også uklart i hvilken grad gransukker er et biprodukt. Dersom gransukker har en annen bruk eller øvrige bruksområder, burde dette vurderes opp mot å bruke dette i produksjonen av *A. limacinum*. Derfor trengs det mer innsyn i denne prosessen.

Gjennom global forskning på fiskeindustrien er det behov for flere og mer nøyaktige LCA-data. Det fantes ikke spesifikke LCA-data på flere av produktene i Ecoinvent-databasen, og heller ikke i mange andre databaser. Manglende LCA-data for fiskeindustrien er også et av hovedpunktene i artikkelen, (Avadi & Freon, 2013). Det finnes spesielt lite data om fermentering av mikroalger.

Det er også behov for miljøpåvirkningskategorier som på en bedre måte belyser problemstillinger som overfisking og tap av biodiversitet. LCA ble i utgangspunktet utarbeidet for produkter og prosesser som foregår på land, som for eksempel landbruk, industri og lignende. Det er dessverre mangel på gode data som omhandler marin biodiversitet (Woods et al., 2016). Overfisking regnes som en av de største truslene for tap av marin biodiversitet, og kan ha store konsekvenser.

7 Tabell oversikt

Tabell 1: DHA innholdet og kilde i diettene.	13
Tabell 2: alle ingrediensene som inngår i produksjonen av A.Limacinum, og prosentandelen disse utgjør av FE.	18
Tabell 3: alle ingrediensene som inngår i produksjonen av fiskefôr, og prosentandelen disse utgjør av FE.	19
Tabell 4: prosesser i Ecoinvent 3.8 som har blitt brukt for modellering av ingredienser for A.Limacinum.	20
Tabell 5: prosesser i Ecoinvent 3.8 har blitt brukt for modellering av ingredienser for fiskefôr.	21
Tabell 6: transportavstandene til ingrediensene som inngår i produksjonen av A.Limacinum.	21
Tabell 7: transportavstandene for ingrediensene i fiskefôr.	22
Tabell 8: forskjell i resultater mellom diett 1 og diett 4 og 4.1.	28
Tabell 9: resultater for kategorien GWP for forskjellige oljekilder.	34

8 Illustrasjonsliste

Figur 1: systemgrensen for produksjonen av fiskefôr.....	14
Figur 2: systemgrensen for fermentering av A.Limacinum.....	15
Figur 3: prosentandelen fordelt mellom ingredienser, transport og produksjon.	28
Figur 4: prosentandelen fordelt mellom ingredienser, transport og produksjon.	29
Figur 5: prosentandelen fordelt mellom ingredienser, transport og produksjon.	29
Figur 6: resultatet for kategorien GWP av ingrediensene i diett1, 4 og 4.1	30
Figur 7: resultatet for kategorien FEP av ingrediensene i diett1, 4 og 4.1	31
Figur 8: resultatet for kategorien AP av ingrediensene i diett1, 4 og 4.1	32
Figur 9: resultatet for kategorien LOP av ingrediensene i diett1, 4 og 4.1	33

9 Kilder

- Andersen, G. (2021). Forsuring I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/forurensning> (lest 18.11.2023).
- Angelil, J. & Thuv, E. (2023). *Bærekraftsanalyse av et mikronett i Filippinene: En komparativ studie av klima- og miljøpåvirkninger i et livsløpsperspektiv* Masteroppgave. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/3082399/no.nmbu:wiseflow:6866334:55029772.pdf?sequence=1> (lest 08.11.2023).
- Apper-Bossard, E., Feneuil, A., Wagner, A. & Respondek, F. (2013). Use of vital wheat gluten in aquaculture feeds. *Aquatic Biosystems*, 9 (21). doi: <https://doi.org/10.1186/2046-9063-9-21>.
- Avadi, A. & Freon, P. (2013). Life cycle assessment of fisheries: A review for fisheries scientists and managers. *Fisheries Research*, 143: 21-38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.01.006>.
- Bartek, L., Strid, I., Henryson, K., Junne, S., Rasi, S. & Eriksson, M. (2021). Life cycle assessment of fish oil substitute produced by microalgae using food waste. *Sustainable Production and Consumption*, 27: 2002-2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.04.033>.
- Begum, J. (2023). *What Is Yeast Extract, What Is It Used For, And Is It Safe?* Tilgjengelig fra: https://www.medicinenet.com/what_is_yeast_extract_what_is_it_used_for/article.htm (lest 09.11.2023).
- Bjørn, A., Owsianiak, M., Molin, C. & Laurent, A. (2018). Main characteristics of LCA. *Life cycle assessment: theory and practice*: 9-16.
- Curran, M. A. (2015). *Life Cycle Assessment student handbook*. 3 utg. Canada: Wiley-Scrivener.
- Dag Hongve (2022). Eutrofiering I: *Store norske leksikon* Tilgjengelig fra: <https://snl.no/eutrofiering> (lest 18.11.2023).
- Egeland, E. S. (2022). Gelatin I: *Store norske leksikon* Tilgjengelig fra: <https://snl.no/gelatin> (lest 10.11.2023).
- Forskningsrådet (2016). *Stort program for havbruksforskning - HAVBRUK2*. Tilgjengelig fra: <https://www.forskningsradet.no/siteassets/publikasjoner/1254021855179.pdf> (lest 09.10.2023).
- Galán, B., Santos-Merino, M., Nogales, J., de la Cruz, F. & García, J. L. (2019). Microbial Oils as Nutraceuticals and Animal Feeds. I: Goldfine, H. (red.) *Health Consequences of Microbial Interactions with Hydrocarbons, Oils, and Lipids*, s. 1-45. Cham: Springer International Publishing.
- Google. (u.å.). *Google Maps* Tilgjengelig fra: <https://www.google.com/maps/@59.8502513,10.7897264,14z?entry=ttu> (lest 01.09.2023).
- Hallenstvedt, A. (2020). Fiskeoljer I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fiskeoljer> (lest 10.11.2023).
- Huijbregts, M., Steinmann, Z. J., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. D. M., Hollander, A., Eriksson, M. & Zelm, R. v. (2016). *ReCiPe 2016 A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization*. Tilgjengelig fra: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0104.pdf> (lest 05.10.2023).
- IAFFD. (u.å.). *About us* Tilgjengelig fra: <https://www.iaffd.com/about.html> (lest 13.12.2023).
- Johnsen, J. P. (2021). Fiskemel I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fiskemel> (lest 09.10.2023).
- Kierulf, P. (2021). EDTA. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/EDTA> (lest 11.11.2023).
- Kjøretøysforskriften. (1994). *Forskrift om tekniske krav og godkjenning av kjøretøy, deler og utstyr av 10.november.2023 nr.1664*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1994-10-04-918> (lest 08.11.2023).
- Møller, H. & Modahl, I. S. (2020). *Life cycle assessment of yeast from spruce*. Tilgjengelig fra: <https://norsus.no/wp-content/uploads/OR-46.20-Life-cycle-assessment-of-yeast-from-spruce.pdf> (lest 08.09.2023).

- Nesse, N. (2018). Rapsolje. I: *Store norske leksikon*.
- Olsen, P. M., Kósa, G., Klüver, M., Kohler, A., Shapaval, V. & Horn, S. J. (2023). Production of docosahexaenoic acid from spruce sugars using *Aurantiochytrium limacinum*. *Bioresource Technology*, 376. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128827>.
- Pedersen, B. & Egeland, E. (2023). Borsyre. I: *Store norske leksikon* Tilgjengelig fra: <https://snl.no/borsyre> (lest 02.11.2023).
- PRe Sustainability. (2023). *Sima Pro Developer* (Versjon 9.5.0.0). Programvare Tilgjengelig fra: <https://simapro.com/> (lest 28.09.2023).
- Qiang, Y. (2020). *Essential knowledge for fermentation industry - what is peptone ?*. Tilgjengelig fra: <https://en.angelyeast.com/blog/microbial-nutrition/essential-knowledge-for-fermentation-industry-what-is-peptone.html> (lest 09.11.2023).
- Rocha, S. (2023). *Oil4Feed - ingredienser* (e-post til Sebastian Busko 01.11.2023).
- Rocha, S. D. C., Lei, P., Morales-Lange, B., Mydland, L. T. & Øverland, M. (2023). From a cell model to a fish trial: Immunomodulatory effects of heat-killed *Lactiplantibacillus plantarum* as a functional ingredient in aquafeeds for salmonids. *Frontiers in Immunology*, 14 (1). doi: 10.3389/fimmu.2023.1125702.
- Ruiz, E. M. (u.å.). *Market Activities*. Tilgjengelig fra: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/market-activities/> (lest 11.11.2023).
- Samuel-Fitwi, B., Schroeder, J. P. & Schulz, C. (2013). System delimitation in life cycle assessment (LCA) of aquaculture: striving for valid and comprehensive environmental assessment using rainbow trout farming as a case study. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18 (3): 577-589. doi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-012-0510-z>.
- Sayooj, P. & Ebenezar, S. (2021). *Fish Feed Processing and Production*: Central Marine Fisheries Research Institute. Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/publication/353151450_Fish_Feed_Processing_and_Production (lest 09.10.2023).
- Ship Traffic (u.å.). *Sea distance calculator* Tilgjengelig fra: <http://www.shiptraffic.net/> (lest 09.10.2023).
- Svihus, B. (2020a). Dokosaheksaensyre. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/dokosaheksaensyre> (lest 12.12.2023).
- Svihus, B. (2020b). Soyaprotein I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/soyaprotein> (lest 10.11.2023).
- The Research Council of Norway. (2020). *Oljerike mikroorganismer dyrket på norske råstoffer som en bærekraftig kilde til oljer i fiskefôr*. Tilgjengelig fra: <https://prosjektbanken.forskningsradet.no/en/project/FORISS/302543?Kilde=FORISS&distribution=Ar&chart=bar&calcType=funding&Sprak=no&sortBy=date&sortOrder=desc&resultCount=30&offset=90&Fag.1=Medisin+og+helsefag> (lest 15.08.2023).
- Universitet i Oslo (2011). Fermentering I: *Botanisk - og plantefysiologisk leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/f/fermenter.html> (lest 08.12.2023).
- Universitet i Oslo (2021). Gjødtsel I: *Botanisk - og plantefysiologisk leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/g/gjodtsel.html> (lest 04.12.2023).
- Weidema, B. P., Bauer, C., Hischer, R., Mutel, C., Nemecek, T., Reinhard, J., Vadenbo, C. O. & Wernet, G. (2013). *Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3*. Ecoinvent Report 1(v3). Tilgjengelig fra: https://ecoinvent.org/wp-content/uploads/2020/10/dataqualityguideline_ecoinvent_3_20130506.pdf (lest 10.11.2023).
- Woods, J. S., Veltman, K., Huijbregts, M. A. J., Verones, F. & Hertwich, E. G. (2016). Towards a meaningful assessment of marine ecological impacts in life cycle assessment (LCA). *Environment International*, 89-90: 48-61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.033>.

- Xu, F., Zhang, L., Liu, W., Liu, Q., Wang, F., Zhang, H., Hu, H. & Blecker, C. (2021). Physicochemical and Structural Characterization of Potato Starch with Different Degrees of Gelatinization. *Foods*, 10 (5). doi: <https://doi.org/10.3390/foods10051104>.
- Zlaugotne, B., Diaz Sanchez, F., Pubule, J. & Blumberga, D. (2023). Life cycle assessment of fish feed for oil alternatives - environmental impact of microalgae, rapeseed and fish oil. *Agronomy Research* 21, 21 (1): 1- 15.
- Øverland, M. (2023). *Oil4Feed* (e-post til Sebastian Busko 28.09.2023).



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway