

Klimapåvirkningen fra dansk fiskeri: Kortlægning af aktuel belastning fra energiforbrug og katalog over tekniske virkemidler til reduktion af påvirkningen

Ole Ritzau Eigaard, Jørgen Dalskov, Henrik Mosegaard, Jordan P. Feeקים og Anja Gadgård Boye

DTU Aqua-rapport nr. 423-2023



Klimapåvirkningen fra dansk fiskeri: Kortlægning af aktuel belastning fra energiforbrug og katalog over tekniske virkemidler til reduktion af påvirkningen

Ole Ritzau Eigaard, Jørgen Dalskov, Henrik Mosegaard, Jordan P. Feekings
og Anja Gadgård Boye

DTU Aqua-rapport nr. 423-2023

Kolofon

Titel:	Klimapåvirkningen fra dansk fiskeri: Kortlægning af aktuel belastning fra energiforbrug og katalog over tekniske virkemidler til reduktion af påvirkningen
Forfattere:	Ole Ritzau Eigaard, Jørgen Dalskov, Henrik Mosegaard, Jordan P. Feekings og Anja Gadgård Boye
DTU Aqua-rapport nr.:	423-2023
År:	Maj 2023
Reference:	Eigaard, O.R., Dalskov, J., Mosegaard, H., Feekings, J.P. & Boye, A.G. (2023). Klimapåvirkningen fra dansk fiskeri: Kortlægning af aktuel belastning fra energiforbrug og katalog over tekniske virkemidler til reduktion af påvirkningen. DTU Aqua-rapport nr. 423-2023. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 16 pp. + bilag
Forsidefoto:	Fiskefartøj. Foto: Colourbox.dk / Bjarne Christensen
Udgivet af:	Institut for Akvatiske Ressourcer, Kemitovet, 2800 Kgs. Lyngby
Download:	www.aqua.dtu.dk/publikationer
ISSN:	1395-8216
ISBN:	978-87-7481-353-8

DTU Aqua-rapporter er afrapportering fra forskningsprojekter, oversigtsrapporter over faglige emner, redegørelser til myndigheder o.l. Medmindre det fremgår af kolofonen, er rapporterne ikke fagfællebedømt (peer reviewed), hvilket betyder, at indholdet ikke er gennemgået af forskere uden for projektgruppen.

Indhold

1.	Introduktion og formål	4
2.	Fiskeri.....	6
2.1	Kortlægning af energiforbrug i den danske fiskeflåde	6
2.2	Reduktion af fiskeriets drivhusgasser med tekniske virkemidler	9
2.2.1	Fiskefartøjer.....	10
2.2.2	Fiskeredskaber	11
2.2.3	Fiskeriregulering og forvaltning.....	12
2.3	Effektmonitoring og reduktionspotentiale	13
2.4	Opsummering (mest effekt for pengene).....	13
	Referencer	15
	Bilag 1: Landingsmængder og brændstofforbrug i forskellige fiskerier.....	16
	Bilag 2: Energy-efficient technology usage proposed in the scientific and grey literature and by consulted stakeholders.....	21
	Bilag 3: Energy-efficient regulatory and management measures proposed in the scientific and grey literature and by consulted stakeholders.....	26
	Bilag 4: Referencer til Bilag 1, Bilag 2, og Bilag 3.....	29

1. Introduktion og formål

Formålet med denne rapport er at kortlægge den aktuelle klimabelastning fra de forskellige dele af den danske fiskeflåde og at udarbejde et katalog over tekniske virkemidler til reduktion af påvirkningen. Den overordnede danske målsætning på tværs af sektorer og udledningstyper er at reducere CO₂-udledningen med 70% i 2030 og opnå klimaneutralitet i 2050.

Resultater og konklusioner i rapporten baserer sig på en litteraturgennemgang af studier omhandlende CO₂-reduktion (primært brændstof-relateret) i kommercielt fiskeri og i skibsfart generelt. Energiforbruget før og efter fangstprocessen, til f.eks. fremstilling af fartøjer og redskaber og til transport og processering af fangsten, er ikke medtaget i litteraturgennemgangen, ligesom potentiel frigivelse eller binding af CO₂ i sedimentet ved fiskeri med bundslæbende redskaber ikke er adresseret. I det følgende er analyser af klimapåvirkningen fra fiskeriet således næsten udelukkende baseret på fartøjernes brændstofforbrug (energiforbrug) under sejlads og fiskeri.

Rapporten er målrettet Fiskeristyrelsen til brug ved udmøntningen af kommende ordninger under den Europæiske Hav-, Fiskeri- og Akvakulturfond. DTU Aquas arbejde med rapporten er finansieret af ydelsesaftalen om fiskeri og akvakultur mellem Fødevareministeriet og DTU.

Kort introduktion til baggrunden for rapporten

I marts 2021 indgik regeringen (Socialdemokratiet) og Venstre, Dansk Folkeparti, Socialistisk Folkeparti, Radikale Venstre, Enhedslisten, Det Konservative Folkeparti, Nye Borgerlige, Liberal Alliance og Alternativet om Hav-, Fiskeri- og Akvakulturprogrammet (EHFAF) for perioden 2021-2023.

EHFAF er det finansielle instrument til at gennemføre EU's fælles fiskeripolitik og maritime politik og understøtter målsætningerne i den fælles fiskeripolitik om økonomisk udvikling og en langsigtet bæredygtig hav-, fiskeri- og akvakulturforvaltning. Aftaleparterne er enige om at udmønte midlerne inden for 4 hovedområder: 1) grøn omstilling, 2) bæredygtig fiskeriforvaltning baseret på biologisk rådgivning, 3) udvikling på land og i kystnære områder og kystfiskeri, herunder skånsomt kystfiskeri og 4) fremme af afsætning.

Med hovedområdet "grøn omstilling" tages der markante skridt for at sikre, at dansk fiskeri- og akvakultur kan bevæge sig ambitiøst fremad på den grønne dagsorden under hensyntagen til natur og miljø.

Aftalen fokuserer på støtteberettigede aktiviteter, der understøtter den grønne omstilling, en styrket forskningsindsats og brug af biologisk rådgivning.

Med grøn omstilling er det ambitionen at være førende inden for den grønne omstilling, som tilsiger, at der i de danske fiskeri- og akvakulturerhverv udvikles og afprøves grønne teknologier, der kan understøtte den nationale klimamålsætning om at reducere CO₂-udledningerne med 70 % frem mod 2030.

Aftaleparterne har besluttet at afsætte 138,3 mio. kr. i perioden til demonstrations- og afprøvningsprojekter i grøn omstilling af fiskerflåden og akvakulturerhvervet. Midlerne skal bruges til at styrke udviklingen af kommercielle løsninger, der har en effekt i fiskeri- og akvakulturerhvervet, og målrettes derfor

projekter med potentiale for markedsintroduktion og potentiale for udbredelse. Der stilles krav om, at erhvervsprojekter skal demonstrere udvikling for at få del i midlerne. Herved øger tilskuddet incitamentet til at foretage risikofyldte grønne investeringer, der ellers ikke ville være foretaget. Der er derfor ikke fokus på at understøtte investeringer, hvor der allerede er dokumenteret gevinster eller positive omsætningseffekter.

Nærværende rapport beskriver udfordringer og muligheder for grøn omstilling i fiskerierhvervene. Udfordringer og muligheder for grøn omstilling i akvakulturerhvervene er angivet i særskilt rapport.

2. Fiskeri

2.1 Kortlægning af energiforbrug i den danske fiskeflåde

DTU Aqua har koordineret to nylige forskningsindsatser med kortlægning af miljøskånsomhed og energiforbrug i det danske fiskeri (Gislason et al. 2021, Bastardie et al. 2022a, Hornborg et al. 2022). Kortlægningerne baserer sig på monitoringsdata (logbogsdata, landingsdata, fartøjsregisterdata, AIS-data, VMS-data og Black Box data) fra alle fangstture i perioden 2005 til 2019, hvorudfra de enkelte fartøjers brændstofforbrug under sejlads og fiskeri er modelleret. Energiforbruget før og efter fangstprocessen, til f.eks. fremstilling af fartøjer og redskaber og til transport og processing af fangsten, er således ikke medtaget. Livscyklusanalyser af fisk- og skaldyrprodukter viser, at selve fiskeriet (fangstprocessen) typisk bidrager med 75–95 % af produktets samlede udledning af drivhusgasser, og heraf udgør brændstofforbruget langt den største del (Ziegler et al. 2016). Potentiel frigivelse eller binding af CO₂ i sedimentet ved fiskeri med bundslæbende redskaber (Epstein et al. 2022) er ikke adresseret i rapporten og i det følgende er analyser af klimapåvirkningen fra fiskeriet således udelukkende baseret på fartøjernes brændstofforbrug (energiforbrug) under sejlads og fiskeri.

I Gislason et al. (2021) blev det samlede danske fiskeri opdelt ud fra redskabstyper og målarter og en sammenligning af fiskerierne med fartøjer over 12 meter viser, at skrabefiskeri efter blåmuslinger har det laveste relative energiforbrug i forhold til både landingsvægt (0.009 liter brændstof/kg muslinger) og landingsværdi (0.638 liter brændstof/100 kr. muslinger). Fiskeri med bundtrawl efter jomfruhummer har det højeste energiforbrug i forhold til vægt (1.85 l/kg) mens fiskeri med bundtrawl efter sperling har det højeste energiforbrug i forhold til værdi (6.98 l/100 kr.).

En mere detaljeret opdeling og kortlægning af 22 fiskerier i Nordsøen, langs vestkysten og i Limfjorden, som omfatter både større (mindst 12 meter) og mindre fartøjer (under 12 meter) (Bastardie et al. 2022a), viser samme overordnede resultat med lavt relativt energiforbrug for skrabefiskeriet efter muslinger og højt relativt energiforbrug for bundtrawlfiskerierne efter jomfruhummer, rødspætter og sperling (Tabel 1) samt (Bilag 1).

Næst efter muslingefiskeriet har de passive redskaber (nedgarn og liner) og vodredskaberne (snurrevod og skotsk vod) generelt også et lavt relativt energiforbrug, mens trawlfiskerierne efter industrifisk og pelagiske arter ligger lidt højere, og de forskellige fiskerier med bundtrawl efter skaldyr og konsumfisk (rejer, jomfruhummer, torsk, rødspætter og tunge) har det højeste relative brændstofforbrug. Partrawl fiskerier har lavere relativt energiforbrug end de tilsvarende enkelt-trawl fiskerier.

En tilsvarende kortlægning af 25 forskellige fiskerier i Skagerrak, Kattegat, Indre farvande og Østersøen (Tabel 2) samt (Bilag 1), viser det samme overordnede billede som kortlægningen af fiskerierne i Nordsøen (Tabel 1) og kortlægningen af det samlede danske fiskeri (Gislason et al. 2021).

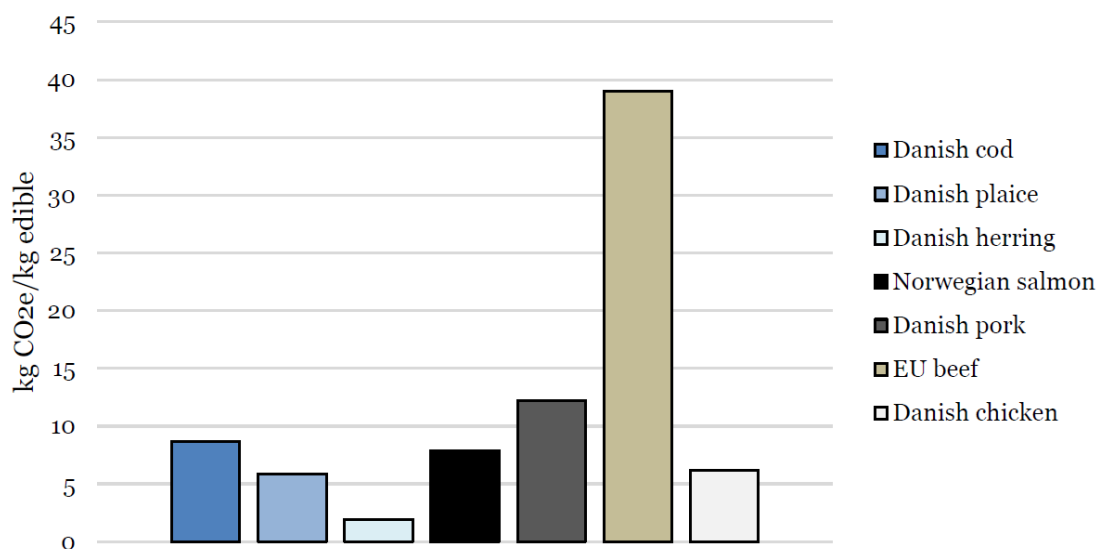
Tabel 1. Relativt brændstofforbrug for 22 forskellige fiskerier i område 27.4 (Nordsøen) beregnet som hhv. liter/kg og liter/Euro fangst. Fiskerierne er også scoret og rangordnet på et integreret indeks (fra 0 til 5), der giver lige stor vægt til to forskellige standardiseringer af det modellerede brændstofforbrug (landet vægt og landet værdi) (se Gislason et al. 2021 for metode). De nederste 6 fiskerier i tabellen består af mindre fartøjer uden VMS (<12 meter), hvor estimaterne udelukkende er baseret på AIS data til bestemmelse af fartøjspositioner og aktiviteter og hvor dækningsgraden af de modellerede data er lavere end for de større fartøjer. Tallene i tabellen er et årligt gennemsnit for perioden 2005 til 2019.

	Fiskerier i Nordsøen (inkl. Vestkysten og Limfjorden)	Landet vægt (tons)	Liter per kg fangst	Liter per euro fangst	Kombineret score
Estimater for fartøjer på mindst 12m baseret på monitoringsdata med høj detaljerings- og dækningsgrad (logbøger, AIS, VMS og BB-data)	Bundtrawl (70-99mm): Rødspætte	425	1.89	0.81	5.0
	Bundtrawl (80-99mm): Jomfruhummer, rødspætte	1268	2.15	0.51	4.6
	Bundtrawl (100-119mm): Rødspætte	925	1.02	0.47	2.8
	Bomtrawl: Hestereje	2516	1.13	0.32	2.6
	Bundtrawl (>120mm): Torsk, rødspætte, havtaske	13836	0.99	0.41	2.6
	Bundtrawl (16-31mm): Sperling	20563	0.21	0.52	1.7
	Bundtrawl (16-31mm): Brisling	29234	0.08	0.42	1.2
	Bundtrawl (<16mm): tobis	160216	0.08	0.43	1.2
	Pelagisk trawl (16-31mm): Brisling	95368	0.09	0.52	1.5
	Nedgarn (120-219mm): Torsk, Rødspætte, pighvar, kulmule	945	0.41	0.15	1.0
	Par-trawl (16-31mm): Brisling	15456	0.05	0.37	1.0
	Skotsk vod (>120mm): Torsk, kulmule, rødspætte	1482	0.31	0.13	0.8
	Pelagisk trawl (32-69mm): Sild, Makrel, blåhvilling	108987	0.12	0.26	0.8
	Snurrevod (>120mm): Rødspætte, torsk	1398	0.25	0.11	0.7
	Not: Makrel, Sild	17291	0.07	0.08	0.3
Muslingeskraber: Blåmusling, hjertemusling, østers	6836	0.01	0.05	0.1	
Estimater for små både (<12m) baseret på AIS og logbøger	Nedgarn: Krabber	12	1.36	0.18	2.5
	Nedgarn (110-156mm): Torsk, Rødspætte	710	0.25	0.12	0.7
	Nedgarn (120-219mm): Torsk, Rødspætte	280	0.24	0.09	0.6
	Nedgarn (>157mm): Torsk, Rødspætte	264	0.22	0.10	0.6
	Muslingeskraber: Blåmusling, hjertemusling, østers	6058	0.03	0.08	0.3
	Ruser: ål	95	0.11	0.02	0.2

Tabel 2. Relativt brændstofforbrug for 25 forskellige fiskerier i område 27.3 (Skagerrak-Kattegat) og Østersøen beregnet som hhv. liter/kg og liter/Euro fangst. Fiskerierne er også scoret og rangordnet på et integreret indeks (fra 0 til 5), der giver lige stor vægt til to forskellige standardiseringer af det modellerede brændstofforbrug (landet vægt og landet værdi) (se Gislason et al. 2021 for metode). De nederste 7 fiskerier i tabellen består af mindre fartøjer uden VMS (<12 meter), hvor estimaterne udelukkende er baseret på AIS data til bestemmelse af fartøjspositioner og aktiviteter og hvor dækningsgraden af de modellerede data er lavere end for de større fartøjer. Tallene i tabellen er et årligt gennemsnit for perioden 2005 til 2019.

	Fiskerier i Skagerrak, Kattegat og Østersøen	Landet vægt (tons)	Liter per kg fangst	Liter per euro fangst	Kombineret score
Estimater for både på mindst 12m baseret på monitoringsdata med høj detaljerings- og dækningsgrad (logbøger, AIS, VMS og BB-data)	Bundtrawl (32-69mm): Rejer	2217	1.72	0.44	3.7
	Bundtrawl (>120mm): Jomfruhummer, torsk, rødspætte	987	1.47	0.45	3.4
	Bundtrawl (>120mm): Torsk, rødspætte	1566	1.26	0.49	3.2
	Bundtrawl (90-119mm): Jomfruhummer, torsk, rødspætte	8056	1.35	0.36	3.0
	Bundtrawl (90-104mm): Rødspætte, tunge, torsk	104	0.78	0.30	1.9
	Pelagisk trawl (16-31mm): Brisling	21369	0.11	0.60	1.7
	Bundtrawl (105-120mm): Torsk, skrubbe	10550	0.34	0.33	1.4
	Bundtrawl (105-110mm): Torsk, skrubbe	7659	0.36	0.28	1.3
	Bundtrawl (<16mm): tobis	6556	0.07	0.38	1.1
	Pelagisk trawl (32-69mm): Sild	6177	0.15	0.35	1.1
	Bundtrawl (16-31mm): Brisling	4667	0.06	0.32	0.9
	Nedgarn (120-219mm): Torsk, rødspætte, kulmule	236	0.35	0.12	0.8
	Par-trawl- (16-31mm): Brisling	2870	0.04	0.23	0.7
	Snurrevod (105-110mm): Torsk, skrubbe	1193	0.18	0.12	0.6
	Skotsk vod (>120mm): Torsk, sej, kulmule	232	0.22	0.10	0.6
	Snurrevod (>120mm): Rødspætte, torsk	2182	0.15	0.07	0.4
	Snurrevod (90-119mm): Rødspætte, torsk	1509	0.15	0.08	0.4
Muslingskraber: Blåmusling, hjertemusling, østers	16369	0.01	0.05	0.1	
Estimater for små både (<12m) baseret på AIS og logbøger	Drivende langliner: Laks	48	1.16	0.25	2.4
	Bundtrawl (90-119mm): Torsk og rødspætte	264	0.84	0.29	2.0
	Hånd- og stangliner: Torsk	48	0.30	0.12	0.8
	Nedgarn (110-156mm): Torsk, rødspætte	1186	0.20	0.13	0.7
	Nedgarn (>157mm): Torsk, rødspætte	490	0.17	0.08	0.5
	Nedgarn (120-219mm): Torsk og rødspætte	645	0.19	0.07	0.5
	Bundsatte langliner: Torsk	241	0.10	0.08	0.3

En sammenligning af klimaaftrykket fra vildtfangede fisk og almindelige opdræts- og landbaserede produkter (Hornborg et al. 2022) viser, at sild og rødspætter fra Skagerrak, Kattegat og den vestlige Østersø fanget i perioden fra 2017-2019, har lavere klimaaftryk end EU-oksekød, dansk svinekød, dansk kylling og norsk opdrættet laks (Hornborg et al. 2022). Det samme gælder for torsk sammenlignet med svine- og oksekød, men ikke sammenlignet med laks og kylling (Figur 1).



Figur 1. Udlledning af drivhusgasser (kg CO₂-ækvivalenter per kg kød) fra dansk fangst af torsk, rødspætte og sild i Skagerrak, Kattegat og den vestlige Østersø i perioden 2017-2019, sammenlignet med norsk opdrætlaks og udvalgte landbaserede animalske produkter (dansk svinekød, dansk kyllingekød og EU-oksekød). For alle produkterne er det antaget at biprodukter ikke udnyttes og miljøpåvirkningen er placeret udelukkende på hovedproduktet (Hornborg et al. 2022).

2.2 Reduktion af fiskeriets drivhusgasser med tekniske virkemidler

Potentialet for at reducere drivhusgasserne for europæiske fiskeri blev i 2021 undersøgt i et EU-projekt, hvor den faglige del blev koordineret af DTU Aqua (European Commission 2022, Bastardie et al. 2022b). Projektet havde deltagelse af mere end 20 Europæiske partnere med ekspertise indenfor fiskeriforvaltning og fiskeriteknologi og hovedelementet i projektet var en minutiøs gennemgang af den videnskabelige og tekniske litteratur om energieffektivitet i fangstsektoren. Desuden blev videnskabelige partnere fra projektkonsortiet samt eksterne europæiske interessenter fra erhverv, forvaltning og forskning konsulteret via en spørgeskemaundersøgelse for at få indsamlet deres viden om relevante teknologier og virkemidler. Projektets screening af mulige virkemidler inkluderede tekniske løsninger, hvor fossile brændstoffer erstattes med nul- og lavemissionsløsninger som el- og hybridmotorer. Projektets målsætning var imidlertid at kigge bredere og inkludere såvel teknologiske som reguleringsmæssige løsninger inden for alle områder af fangstsektoren.

I undersøgelsen blev potentielle energieffektive teknologier og virkemidler opdelt i fire overordnede kategorier:

- **Fiskefartøjer:** Teknologier til at forbedre energieffektivitet af fartøj og udstyr ombord; f.eks. skrog- og propeldesign, forbedret fremdrift- og hjælpemotorer, forbedret brændstofydelse, LED-belysning, alternative kølemidler.
- **Fiskestrategier:** Strategier og praksisser til at forbedre energieffektiviteten under fiskeoperationen; f.eks. ruteoptimering, brændstofkontrol og -overvågning om bord og realtids-monitoring af fangstrater og fangstsammensætning.
- **Fiskeredskaber:** Redskabsteknologier til at forbedre brændstofeffektiviteten samt reducere CO₂ frigivelse ved forstyrrelse af havbunden; f.eks. nye netmaterialer- og redskabsdesign der reducerer vand- og bundmodstand og fiskeredskaber, der forbedrer fangsteffektiviteten.
- **Fiskeriregulering og forvaltning:** Forbedring af fiskeriets energieffektivitet gennem reguleringer, afgifter og støtteordninger.

Efter afslutning af litteraturgennemgangen og spørgeskemaundersøgelsen blev de indhentede informationer om potentielle tekniske virkemidler organiseret og evalueret indenfor hver af de fire kategorier. I den følgende vurdering af mulighederne for en reduktion af fiskeriets drivhusgasser med tekniske virkemidler, er resultater og konklusioner i høj grad en gengivelse fra EU-projektet og tilhørende rapport (European Commission 2022).

2.2.1 Fiskefartøjer

Indenfor kategorien 'fiskefartøjer' blev der identificeret en bred vifte af teknologier til forbedring af energieffektiviteten gennem reduktion af skrogets vandmodstand og gennem forbedringer af fartøjets fremdriftssystem. Teknologier som f.eks. nye skrog- og propeldesign, nye og forbedrede fremdrifts- og hjælpemotorer, alternative drivmidler og tilsætningsstoffer, og begroningshindrende bundmaling har alle vist sig at kunne medføre forbedringer af energieffektiviteten og reduktioner i udledningen af drivhusgasser. Ved brug af begroningshindrende bundmaling til reduktion af klimapåvirkningen er det vigtigt at være opmærksom på potentielt skadelige miljøeffekter fra f.eks. giftstoffer i malingen. Reduktion af skrogets vandmodstand gennem forskellige typer af forbedret design (op til 30% reduktion i brændstofforbrug) og gennem begroningshindrende beklædning/maling (op til 26% reduktion i brændstofforbrug) må forventes at have bred relevans i fiskeriet, og at være additive i en væsentlig grad og dermed at kunne resultere i markante reduktioner i udledningen af drivhusgasser. Teknologierne er i høj grad tilgængelige og allerede bredt implementeret i skibsfarten, men i en del tilfælde også investeringstunge, og formentlig vil der være økonomiske barrierer for en væsentlig del af fiskeflåden. Det fulde katalog af teknologier og innovationer indenfor kategorien 'fiskefartøjer' kan ses i Bilag 2, sammen med spændvidden i de oplyste estimer (maksimum og minimum i %) for den potentielle brændstofbesparelse forbundet med de enkelte teknologier.

Fiskestrategier

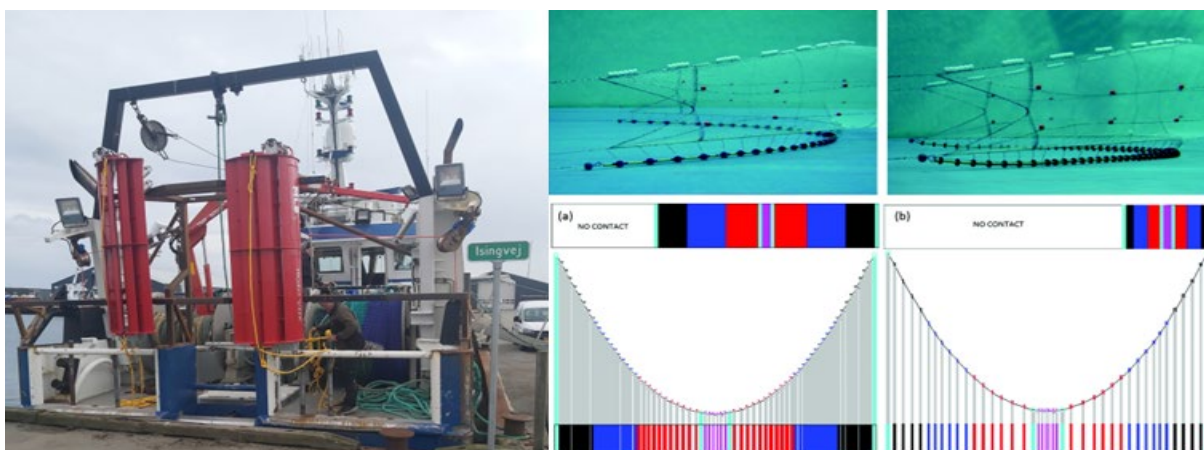
Indenfor kategorien 'fiskestrategier' resulterede litteratur review og spørgeskemaundersøgelse i en række innovationer og værktøjer til forbedring af energieffektiviteten under fiskeri; f.eks. softwareværktøjer til ruteoptimering, udstyr til brændstofkontrol og -styring om bord samt undervandskameraer og -sensorer til realtidsmonitoring af fangstsammensætning og optimering af fiskeriindsats og fiskepladser (Figur 2). Teknologier til ruteoptimering og styring af brændstofforbrug angives til at have et højt potentiale for brændstofbesparelser (op til 59%) og må forventes at have bred relevans i fiskeriet. Værktøjerne vil i nogen grad kræve specialisering og udviklingsarbejde i forhold til de forskellige fiskerier og fartøjer, men forventes ikke at være investeringstunge. Det fulde katalog af teknologier og innovationer indenfor kategorien 'fiskestrategier' kan ses i Bilag 2 sammen med spændvidden i de oplyste estimater (maksimum og minimum i %) for den potentielle brændstofbesparelse forbundet med de enkelte teknologier.



Figur 2. Fiskeriets CO₂-udledninger kan reduceres ved brug af sensorer til realtidsmonitoring og -optimering af redskabsfunktion (venstre, midten) og ved brug af undervandskameraer til realtidsmonitoring af fangstsammensætning og optimering af fiskeriindsats (f.eks. ved at stoppe fiskeri eller skifte fangstplads når fangstrater er lave).

2.2.2 Fiskeredskaber

I kategorien 'fiskeredskaber' var det især indenfor gruppen af bundtrawl der blev afdækket teknologier og innovationer til at forbedre brændstofeffektiviteten; f.eks. nye redskabsdesign og materialer, der reducerer vand- og bundmodstand (Figur 3) samt nye design og materialer, der forbedrer redskabernes fangsteffektivitet. For trawl er der et væsentligt brændstofbesparelsepotentiale ved brug af alternative materialer (op til 40%) og design (op til 27%) til selve trawl nettet og næsten tilsvarende for nye design til trawl skovle (op til 20%). Der er generelt en kort levetid på trawlredskaber og dermed regelmæssige nyanskaffelser, hvilket må forventes at give mulighed for implementering af nye design og materialer uden at der er tale om meget investeringstunge anskaffelser. Et skifte fra aktive til passive redskaber for relevante fiskerier (f.eks. fra trawl til garn) forventes også at have et potentiale for brændstofbesparelser, men dette potentiale er ikke kvantificeret (European Commission 2022). Det fulde katalog af teknologier og innovationer indenfor kategorien 'fiskeredskaber' kan ses i Bilag 2, sammen med spændvidden i de oplyste estimater (maksimum og minimum i %) for den potentielle brændstofbesparelse forbundet med de enkelte teknologier.



Figur 3. Reduktioner i redskabets vandmodstand i vand kan lede til lavere brændstofforbrug under fiskeri. Eksempler er brugen af justerbare skovle (venstre) og justeret bundgear (højre), hvor de enkelte ruller/skiver er reduceret i antal og gjort smallere. Begge ændringer vil også reducere havbudspåvirkningen og re-suspensionen af sediment. Når sediment re-suspenderes, kan det bidrage til øget CO₂-udledning.

2.2.3 Fiskeriregulering og forvaltning

Indenfor kategorien 'Fiskeriregulering og forvaltning' afdækkede litteratur review og spørgeskemaundersøgelse en række virkemidler til forbedring af fiskeriets energieffektivitet gennem reguleringer, afgifter og støtteordninger. Energieftersyn og fartøjscertificeringer, udledningsafgifter på drivhusgasser, omlægnings- og udviklingsstøtte til fartøjer, støtte til forskning, udvikling og uddannelse, er alle virkemidler med dokumenteret positiv effekt på fiskeriets energieffektivitet (European Commission 2022). Høje brændstofpriser er et meget stærkt incitament for overgang til mere brændstoeffektiv teknologi (Tabel 3) og en øget/differentieret beskatning på brændstof i forhold til klimabelastning må forventes at kunne motivere en overgang til mere klimavenlig teknologi. Også støtteordninger er oplyst som et væsentligt incitament for teknologioptag af erhvervet (European Commission 2022). Det fulde katalog af virkemidler indenfor 'Fiskeriregulering og forvaltning' kan ses i Bilag 3. Det har ikke været muligt at sætte tal på den potentielle energibesparelse forbundet med de enkelte virkemidler.

Tabel 3. Incitamenter og barrierer for optag af ny teknologi til reduktion af klimapåvirkningen fra den Europæiske fiskeflåde baseret på en spørgeskemaundersøgelse blandt udvalgte erhvervsfiskere og udstyrsproducenter (11 spørgeskemaer) og specialister inden for forskning og udvikling (8 spørgeskemaer) (European Commission 2022).

Incitamenter og barrierer oplyst i spørgeskemaer	Svarhyppighed (%) i skemaer fra erhvervet	Svarhyppighed (%) i skemaer fra specialister indenfor FoU
Brændstofpris	48	60
Støtteordninger	19	7
Miljøskånsomhed/beskyttelse	5	10
Forbedret arbejdsmiljø	14	10
Videnskabelig dokumentation af effekt	10	0
Fangst effektivitet	0	10
Forbedret image	0	3
Regulatoriske hindringer	5	0

2.3 Effektmonitoring og reduktionspotentiale

Information om brændstofforbruget på fartøjsniveau er afgørende for at kunne monitorere og dokumentere effekten af de virkemidler, der bliver taget i brug, og til det formål vil det være oplagt at udvide logbogspligten til også at omfatte data om brændstofforbruget på de enkelte ture såvel som det samlede årlige forbrug. Med sådanne data vil det være muligt fremover at give mere præcise estimater for effekten af de enkelte virkemidler.

Potentialet for en reduktion af drivhusgasser fra den samlede flåde er vanskeligt at sætte et enkelt tal og en tidshorizont på. Kortlægningerne af brændstofforbruget for de forskellige fiskerier i den danske flåde demonstrerede en meget stor spændvidde og variation mellem det mest energieffektive og det mindst energieffektive fiskeri (Gislason et al. 2021; Bastardie et al. 2022a) og derfor vil der også være stor variation i reduktionspotentialet mellem de forskellige fiskerier. Fartøjsstørrelse, fartøjstype og økonomisk kapacitet sætter også begrænsninger for implementeringen af de enkelte teknologiske virkemidler og det vil være nødvendigt med en målrettet analyse, hvor disse forhold tages i betragtning, før der kan sættes realistiske tal på et reduktionspotentiale for det samlede fiskeri.

2.4 Opsummering (mest effekt for pengene)

Kortlægningen af energieffektiviteten i det danske fiskeri viste at de største udfordringer i høj grad er forbundet med brugen af bundtrawl efter højværdiarter, mens de passive redskaber og vodredskaberne er mere energieffektive. Derfor er forventningen også, at de største effekter kan opnås ved at fokusere på fiskerierne med bundtrawl efter skaldyr og konsumfisk (jomfruhummer, rejer, torsk, rødspætter og tunge) og med bomtrawl efter hesterejer.

Spørgeskemaundersøgelsen og litteraturgennemgangen i EU-projektet resulterede i et stort katalog af teknologier til at reducere brændstofforbruget i fiskeriet, og f.eks. estimeres det, at der med fuld implementering af eksisterende teknologier indenfor redskabsområdet (nyudviklede netmaterialer, justerbare skovle, realtidsmonitoring, mm.) kan opnås energibesparelser på op mod 40 % for et traditionelt fiskeri med bundtrawl. Potentialet for implementering og besparelser varierer dog meget over de forskellige bundtrawlsfiskerier (målarter). Den eksisterende viden om omkostningseffektiviteten er beskednen, men der findes eksempler på at en række af disse CO₂-reducerende tiltag kan gennemføres uden at påvirke indtjeningen negativt.

En række af de identificerede teknologier vedrører fartøj og fiskeristrategi (f.eks. alternative drivmidler, skrog- og propeldesign, begroningshindrende bundmaling, og digitale værktøjer til ruteoptimering og brændstofstyring) og vil udover at kunne give yderligere brændstofbesparelser i bundtrawlsfiskerierne også kunne implementeres i en række andre fiskerier med f.eks. passive redskaber.

En af hovedkonklusioner fra EU-projektet er at optaget af ny og eksisterende teknologi i fiskeriet er lavt/uforløst på grund af regulatoriske hindringer (f.eks. lovpligtige grænser for fartøjsslængder og motorstørrelser) og videnskæssige og økonomiske barrierer for det enkelte fartøj og skipper (meget af den nye teknologi er dyr og avanceret og er lang tid om at tjene sig ind økonomisk). Nogle af de samme teknologiske og økonomiske barrierer vil gøre sig gældende i forhold til en reduktion af klimapåvirkningen gennem omlægning fra aktive (f.eks. bundtrawl) til passive redskaber (f.eks. garn).

Målrettede støtteordninger og uddannelsesprogrammer til grønnere teknologi og fiskeripraksisser vil formentlig give en markant effekt i forhold til at overvinde de ovennævnte barrierer og gøre fiskeriet mere klimavenligt.

Høje brændstofpriser har vist sig at være et stærkt incitament for optag af mere grøn teknologi og en øget/differentieret beskatning i forhold til klimabelastning må forventes at være et stærkt virkemiddel hen imod en reduceret udledning af drivhusgasser fra fiskeriet.

Referencer














- Bastardie, F., Nielsen, J. R., Andersen, B. S., & Eigaard, O. R. (2013). Integrating individual trip planning in energy efficiency – Building decision tree models for Danish fisheries. *Fisheries Research*, 143, 119-130. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.01.018>
- Bastardie, F., Hornborg, S., Ziegler, F., Gislason, H., & Eigaard, O. R. (2022a). Reducing the Fuel Use Intensity of Fisheries: Through Efficient Fishing Techniques and Recovered Fish Stocks. *Frontiers in Marine Science*, 9, [817335]. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.817335>
- Bastardie, F., Feary, D. A., Brunel, T., Kell, L. T., Döring, R., Metz, S., Eigaard, O. R., Basurko, O. C., Bartolino, V., Bentley, J., Berges, B., Bossier, S., Brooks, M. E., Caballero, A., Citores, L., Daskalov, G., Depestele, J., Gabiña, G., Aranda, M., ... van Vlasselaer, J. (2022b). Ten lessons on the resilience of the EU common fisheries policy towards climate change and fuel efficiency - A call for adaptive, flexible and well-informed fisheries management. *Frontiers in Marine Science*, 9, [947150]. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.947150>
- Epstein, G., Middelburg, J. J., Hawkins, J. P., Norris, C. R., & Roberts, C. M. (2022). The impact of mobile demersal fishing on carbon storage in seabed sediments. *Global Change Biology*, 28, 2875–2894. <https://doi.org/10.1111/gcb.16105>
- European Commission (2022), European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency, Bastardie, F., Feary, D., Kell, L., et al., Climate change and the common fisheries policy: adaptation and building resilience to the effects of climate change on fisheries and reducing emissions of greenhouse gases from fishing : final report, Publications Office of the European Union, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2926/155626>
- Gislason, H., Eigaard, O. R., Dinesen, G. E., Larsen, F., Glemarec, G., Egekvist, J., Rindorf, A., Vinther, M., Storr-Paulsen, M., Håkansson, K. B., Bastardie, F., Olesen, H. J., Krag, L. A., O'Neill, B., Feekings, J. P., Petersen, J. K., & Dalskov, J. (2021). Miljøskånsomhed og økologisk bæredygtighed i dansk fiskeri. DTU Aqua. DTU Aqua-rapport No. 392-2021
- Hornborg, S., Bastardie, F., Eigaard, O. R., & Ziegler, F. (2022). Greenhouse gas emissions of seafood from Danish capture fisheries in the Skagerrak, Kattegat, and western Baltic. RISE Research Institutes of Sweden AB. RISE Report No. 2022:40
- Ziegler, F., Hornborg, S., Green, B. S., Eigaard, O. R., Farmery, A. K., Hammar, L., ... & Vázquez-Rowe, I. (2016). Expanding the concept of sustainable seafood using Life Cycle Assessment. *Fish and Fisheries*, 17(4), 1073-1093.

Bilag 1

Landingsmængder, brændstofforbrug per Euro landet fisk, brændstofforbrug per kg landet, og et kombineret indeks for vægt og værdi for de forskellige standardflådesegmenter (metiers) i EU's Dataindsamlingsforordning for hhv. Nordsøen (North Sea) og Skagerrak, Kattegat, Indre farvande og Østersøen (Baltic)






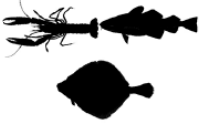


















Indholdet i bilaget er gengivet direkte fra Bastardie, F., Hornborg, S., Ziegler, F., Gislason, H., & Eigaard, O. R. (2022a). Reducing the Fuel Use Intensity of Fisheries: Through Efficient Fishing Techniques and Recovered Fish Stocks. *Frontiers in Marine Science*, 9, [817335].
<https://doi.org/10.3389/fmars.2022.817335>

TABLE 1 | Scoring Danish segments (relative average energy consumption in the period 2005 to 2019 is assessed as the average of per liter of diesel consumed per landing value and per kg landed per fishing trip after conversion of the two columns to percentage and expressed by stars on a scale from 1 to 5 (1-20 = ‘***’, 21-40 = ‘**’, 41-60 = ‘*’, 61-80 = ‘****’, 81-100 = ‘*****’, with equal weight for monetary value vs kg catch), ordered from less (*, deep blue) to more fuel intense (****, deep green) per type of fishing on a scale of 5 stars.

Type	Activity description	Gear	Fleet-segment	Target Species	Landed Volume (tons)	Litre per euro catch	Litre per kg catch	Scoring (5 stars)
Bottom fishing with large meshes gears	Baltic demersal seine for fish (>120mm)		27.3_SDN_DEF_>=120_0_0	plaice and cod	2182	0.0731	0.1458	0.4*
	Baltic demersal seine for fish (90-119mm)		27.3_SDN_DEF_90-119_0_0	plaice and cod	1509	0.0756	0.1507	0.4*
	Baltic demersal seine for fish (105-110mm)		27.3_SDN_DEF_>=105_1_110	cod and flounder	1193	0.1156	0.1845	0.6*
	Baltic Scottish seine for fish (>120mm)		27.3_SSC_DEF_>=120_0_0	cod, saithe and hake	232	0.1024	0.2183	0.6*
	North Sea demersal seine for fish (>120mm)		27.4_SDN_DEF_>=120_0_0	cod and plaice	1398	0.1138	0.2536	0.7*
	North Sea Scottish seine for fish (>120mm)		27.4_SSC_DEF_>=120_0_0	cod, hake and saithe	1482	0.1309	0.3137	0.8*
	Baltic gillnet for fish (120-219mm)		27.3_GNS_DEF_120-219_0_0	cod, plaice and hake	236	0.1185	0.3525	0.8*
	North Sea gillnet for fish (120-219mm)		27.4_GNS_DEF_120-219_0_0	cod, plaice and hake	945	0.1485	0.4075	1.0**
	Baltic demersal trawl for fish (105-110mm)		27.3_OTB_DEF_>=105_1_110	cod and flounder	7659	0.2796	0.3622	1.3**
	Baltic demersal trawl for fish (105-120mm)		27.3_OTB_DEF_>=105_1_120	cod and flounder	10550	0.3303	0.3422	1.4**
	Baltic demersal trawl for fish (90-104mm)		27.3_OTB_DEF_90-104_0_0	plaice and sole	105	0.3	0.7812	1.9**
	North Sea demersal trawl for fish (>120mm)		27.4_OTB_DEF_>=120_0_0	cod, plaice, dab and monkfish	13836	0.4073	0.9867	2.6***
	North Sea demersal trawl for fish		27.4_OTB_DEF_100-119_0_0	plaice	925	0.4668	1.0199	2.8***

























(Continued)

TABLE 1 | Continued

Type	Activity description	Gear	Fleet-segment	Target Species	Landed Volume (tons)	Litre per euro catch	Litre per kg catch	Scoring (5 stars)
	(100-119mm) Baltic demersal trawl for fish (90-119mm)		27.3_OTB_DEF_90-119_0_0	nephrops, cod, plaice and dab 	8056	0.3649	1.3535	3.0****
	Baltic demersal trawl for fish (>120mm)		27.3_OTB_DEF_>=120_0_0	cod and plaice 	1566	0.4861	1.2622	3.2****
	Baltic demersal trawl for crustaceans (>120mm)		27.3_OTB_CRU_>=120_0_0	nephrops, cod and plaice 	987	0.4501	1.4695	3.4****
Bottom fishing with small or no meshes gears	Baltic dredge for molluscs 	27.3_DRB_MOL_>0_0_0	mussel 	16369	0.0484	0.0072	0.1*	
	North Sea dredge for molluscs 	27.4_DRB_MOL_>0_0_0	mussel 	6836	0.0465	0.0122	0.1*	
	Baltic paired trawl for pelagics (16-31mm) 	27.3_PTB_SPF_16-31_0_0	sprat 	2870	0.234	0.0392	0.7*	
	Baltic demersal trawl for pelagics (16-31mm) 	27.3_OTB_SPF_16-31_0_0	sprat 	4667	0.3238	0.0583	0.9*	
	North Sea paired trawl for pelagics (16-31mm) 	27.4_PTB_SPF_16-31_0_0	sprat 	15456	0.3666	0.0544	1.0**	
	Baltic demersal trawl for forage fish (<16mm) 	27.3_OTB_DEF_<16_0_0	sandeel 	6556	0.3799	0.0725	1.1**	
	North Sea demersal trawl for pelagics (16-31mm) 	27.4_OTB_SPF_16-31_0_0	sprat 	29234	0.4152	0.0771	1.2**	
	North Sea demersal trawl for forage fish (<16mm) 	27.4_OTB_DEF_<16_0_0	sandeel 	160216	0.4281	0.0783	1.2**	
	North Sea demersal trawl for pelagics (16-31mm) 	27.4_OTB_DEF_16-31_0_0	Norway pout 	20563	0.5205	0.2054	1.7**	





















(Continued)

TABLE 1 | Continued

Type	Activity description	Gear	Fleet-segment	Target Species	Landed Volume (tons)	Litre per euro catch	Litre per kg catch	Scoring (5 stars)
	North Sea beam trawl for shrimp		27.4_TBB_CRU_16-31_0_0	brown shrimp 	2516	0.3218	1.1309	2.6***
	Baltic demersal trawl for crustaceans (32-69mm)		27.3_OTB_CRU_32-69_0_0	boreal shrimp 	2217	0.4361	1.716	3.7****
	North Sea demersal trawl for crustaceans (80-99mm)		27.4_OTB_CRU_80-99_0_0	Nephrops and plaice 	1268	0.5082	2.1515	4.6*****
	North Sea demersal trawl for fish (70-99mm)		27.4_OTB_DEF_70-99_0_0	plaice 	425	0.8121	1.8936	5*****
Pelagic fishing with small meshes gears	North Sea purse seine for pelagics		27.4_PS_SPF_>0_0_0	mackerel and herring 	17291	0.0772	0.0706	0.3*
	North Sea mid-water trawl for pelagics (32-69mm)		27.4_TM_SPF_32-69_0_0	herring, mackerel and blue whiting 	108987	0.2559	0.1159	0.8*
	Baltic mid-water trawl for pelagics (32-69mm)		27.3_TM_SPF_32-69_0_0	herring 	6177	0.3523	0.1472	1.1**
	North Sea mid-water trawl for pelagics (16-31mm)		27.4_TM_SPF_16-31_0_0	sprat 	95368	0.5203	0.0918	1.5**
	Baltic mid-water trawl for pelagics (16-31mm)		27.3_TM_SPF_16-31_0_0	sprat 	21368	0.5965	0.1055	1.7**
Bottom fishing for small vessels using large meshes	Baltic gillnet for fish (120-219mm)		27.3_GNS_DEF_120-219_0_0	cod and plaice 	645	0.0659	0.1949	0.5*
	Baltic gillnet for fish (>157mm)		27.3_GNS_DEF_>=157_0_0	cod and plaice 	490	0.0833	0.171	0.5*
	North Sea gillnet for fish (>157mm)		27.4_GNS_DEF_>=157_0_0	cod and plaice 	264	0.0984	0.2158	0.6*

(Continued)

TABLE 1 | Continued

Type	Activity description	Gear	Fleet-segment	Target Species	Landed Volume (tons)	Litre per euro catch	Litre per kg catch	Scoring (5 stars)
	North Sea gillnet for fish (120-219mm)		27.4_GNS_DEF_120-219_0_0	cod and plaice 	280	0.0938	0.2373	0.8*
	Baltic gillnet for fish (110-156mm)		27.3_GNS_DEF_110-156_0_0	cod and plaice 	1186	0.1344	0.2016	0.7*
	North Sea gillnet for fish (110-156mm)		27.4_GNS_DEF_110-156_0_0	cod and plaice 	710	0.1241	0.2456	0.7*
	Baltic demersal trawl for fish (90-119mm)		27.3_OTB_DEF_90-119_0_0	cod and plaice 	264	0.2881	0.8389	2.0***
Pelagic fishing for small vessels using small or no meshes	North Sea pots for catadromus species		27.4_FPN_CAT_>0_0_0	eel 	95	0.015	0.1067	0.2*
	North Sea dredge for molluscs		27.4_DRB_MOL_>0_0_0	mussel 	6058	0.0788	0.0318	0.3*
	Baltic longline for fish		27.3_LLS_DEF_0_0_0	cod 	241	0.0763	0.0967	0.3*
	Baltic handline for fish		27.3_LHP_FIF_0_0_0	cod 	48	0.1242	0.2994	0.8*
	Baltic longline for migratory fishes		27.3_LLD_ANA_0_0_0	salmon 	48	0.2495	1.1587	2.4***
	North Sea gillnet for crustaceans		27.4_GNS_CRU_>0_0_0	crabs 	12	0.1792	1.3609	2.5***

The scoring assumes an equal weighting between litre per euro catch and litre per kilo catch. Fleet-segments defined by the Data Collection Framework in Europe are combinations of an area code (FAO 27.3: Baltic Sea BS, FAO 27.4: North Sea NS), a gear type, a target assemblage of species and a mesh size range (in mm). Gear types are: Danish Seine SDN, Scottish Seine SSC, gillnets GNS, otter bottom trawl OTB, OTT: multi-rig otter trawl, dredge DRB, paired bottom trawl PTB, beam trawl TBB, purse seine PS, pelagic trawl TM, pound nets FPN, set longlines LLS, handlines and pole-lines LHP, drift longlines LLD. Target assemblages are: demersal fishes DEF, crustaceans CRU, molluscs MOL, small pelagic fishes SPF, catadromous fishes CAT, demersal fishes with handlines FIF, anadromous fishes ANA.

Bilag 2

Energy-efficient technology usage reported in the scientific and grey literature and by consulted stakeholders (S: scientific reports, G: grey literature, CQ: questionnaires to commercial fishers, SQ: questionnaires to scientists)

Indholdet i bilaget er gengivet direkte fra European Commission (2022)

Category	Target	Sub-categories	Source of information*				% fuel-saving potential**	Source
			S	G	CQ	SQ		
Vessel	Drag force reduction (hull)	Hull and propeller improvements						
		Improved hull designs					3–20	Notti and Sala, 2014; Basurko <i>et al.</i> 2013; Sala <i>et al.</i> 2012; Sala <i>et al.</i> 2011; Thomas <i>et al.</i> 2010
		Use of rudders					5	Sala <i>et al.</i> 2012; van Marlen, 2009
		Addition of a bulb					6–30	Notti and Sala, 2014; Basurko <i>et al.</i> 2013; Thomas <i>et al.</i> 2010; van Marlen, 2009; EC, 2006
		Use of stabiliser fins					2 (in drag)	Thomas <i>et al.</i> 2010
		Use of stern post					11 (antifouling) 0.8–5 (hull cleaning)	Notti <i>et al.</i> 2019; Thomas <i>et al.</i> 2010; van Marlen, 2009
		Antifouling coatings and cleaning					26	
		Polyester covering of hull to reduce friction					3–20	Notti and Sala, 2014; Basurko <i>et al.</i> 2013; Sala <i>et al.</i> 2012; Sala <i>et al.</i> 2011; Thomas <i>et al.</i> 2010

Category	Target	Sub-categories	Source of information*				% fuel-saving potential**	Source
			S	G	CQ	SQ		
Fuel consumption and GHG emissions		Improved propulsion and auxiliary engines						
		Improved propulsion system					5–100	Bastos <i>et al.</i> 2021; Tadros <i>et al.</i> 2020; Jaurola <i>et al.</i> 2020; Gabriellii and Jafarzadeh, 2020; Notti and Sala, 2014; Basurko <i>et al.</i> 2013; Sala <i>et al.</i> 2012; Sala <i>et al.</i> 2011; Thomas <i>et al.</i> 2010; van Marlen, 2009; EC, 2006
		Renewable energy (sail-assisted propulsion)					5–25	Schau <i>et al.</i> 2009; van Marlen, 2009; Ziegler and Hansson, 2003; Bose and MacGregor, 1987; Amble, 1985
		Renewable energy (for onboard consumers)					***	Gabriellii and Jafarzadeh, 2020
		Improved maintenance (predictive maintenance)					3–8	Basurko <i>et al.</i> 2013; van Marlen, 2009
		Heat-recovery systems					5–10	Gabriellii and Jafarzadeh, 2020; Palomba <i>et al.</i> 2017; Notti and Sala, 2014; Wang and Wang, 2005
		Magnetic devices					2–6	Gabiña <i>et al.</i> 2016a; Notti and Sala, 2014
		Frequency converters					9.1–25	Lee and Hsu, 2015; Notti and Sala, 2014; Basurko <i>et al.</i> 2013
		Shore power/shore supply of electricity					90–100 (consumption in port)	Gabriellii and Jafarzadeh, 2020
		Shift from mechanical-hydraulic consumers to electric consumers on-board					10–15	Gabriellii and Jafarzadeh, 2020; Notti and Sala, 2014; Sala <i>et al.</i> 2012
		Energy-consuming machinery						
		LED lighting					26–55	Basurko <i>et al.</i> 2013; Sala <i>et al.</i> 2012; Thomas <i>et al.</i> 2010

Category	Target	Sub-categories	Source of information*				% fuel-saving potential**	Source
			S	G	CQ	SQ		
		Alternative refrigerants for cooling system	█				50 (in electricity)	Sandison <i>et al.</i> 2021; Ziegler <i>et al.</i> 2013
		Improved fuel performance						
		Alternative fuels	█	█			1.2 (1.9% for CO ₂ reduction)	Gabriellii and Jafarzadeh, 2020; Gabiña <i>et al.</i> 2019; Uriondo <i>et al.</i> 2018; Jafarzadeh <i>et al.</i> 2017; Gabiña <i>et al.</i> 2016b; Thomas <i>et al.</i> 2010; Schau <i>et al.</i> 2009; Goldsworthy, 2009
		Additives	█		█		–	Hsieh <i>et al.</i> 2009
		Autopilot			█		3	
Strategy	Route optimisation	Route optimization (based on metocean data)						
		Slow steaming, speed optimisation	█	█	█	█	15–59	Chang <i>et al.</i> 2016; Basurko <i>et al.</i> 2013; Sala <i>et al.</i> 2011; van Marlen, 2009; Parente <i>et al.</i> 2008; EC, 2006; Latorre, 2001
		Route-planning systems, route optimisation	█				****	Granado <i>et al.</i> 2021; Groba <i>et al.</i> 2020; Chang <i>et al.</i> 2016
		Change of fishing ground						
	Change the fishing ground based on the catch and changing the return day	█		█		****	Bastardie <i>et al.</i> 2010	
	Energy consumption control and management	On-board control and monitoring						
Energy audits	█	█			***	Basurko <i>et al.</i> 2022; Basurko <i>et al.</i> 2013; Sala <i>et al.</i> 2012; Sala <i>et al.</i> 2011; Thomas <i>et al.</i> 2010		

Category	Target	Sub-categories	Source of information*				% fuel-saving potential**	Source	
			S	G	CQ	SQ			
		On-board energy- monitoring devices and operative advice	■	■	■	■	3–15	Notti and Sala, 2014; Basurko <i>et al.</i> 2013; Sala <i>et al.</i> 2011; van Marlen, 2009; EC, 2006; Latorre 2001	
Gear	Drag-force reduction (gear)	New netting designs							
		New or improved designs	■	■	■	■	17–22	ICES, 2020b; Lee <i>et al.</i> 2018; Balash <i>et al.</i> 2015; Notti and Sala, 2014; Hansen <i>et al.</i> 2013; Sala <i>et al.</i> 2012; Sala <i>et al.</i> 2011; van Marlen, 2009; Priour 2009, Parente <i>et al.</i> 2008; EC, 2006	
		Alternative materials (Dyneema™)	■	■	■	■	2–40	ICES, 2020b; Lee <i>et al.</i> 2018; Balash <i>et al.</i> 2015; Notti and Sala, 2014; Hansen <i>et al.</i> 2013; Sala <i>et al.</i> 2012; van Marlen, 2009; EC, 2006	
		Different mesh size, types of knots, panel cuttings	■	■	■		25–27	Lee <i>et al.</i> 2018; Hansen <i>et al.</i> 2013; Khaled <i>et al.</i> 2012; Sala <i>et al.</i> 2012; Sala <i>et al.</i> 2011; van Marlen, 2009; Parente <i>et al.</i> 2008; EC, 2006	
		Operational improvement							
		Electronically controlled gears		■	■	■	>15	ICES, 2020a	
		New gear designs							
		Change from demersal to semi pelagic trawling doors	■	■	■	■	1.6–19	ICES, 2020b; Lee <i>et al.</i> 2018; Guijarro <i>et al.</i> 2017; Notti and Sala, 2014; Basurko <i>et al.</i> 2013; Hansen <i>et al.</i> 2013; EC, 2006	
		Alternative designs of trawl doors, trawl net, Sumwing	■	■	■	■	4.5–20	ICES, 2020b; Lee <i>et al.</i> 2018; Notti and Sala, 2014; Sala <i>et al.</i> 2012; Priour 2009; van Marlen, 2009; EC, 2006	
		Ground gear	■	■	■	■	***	ICES, 2020b; Larsen <i>et al.</i> 2018; van Marlen, 2009	
		Alternative ropes (helix ropes)	■	■			***	Kebede <i>et al.</i> 2020; ICES, 2020b; Sistiaga <i>et al.</i> 2015; van Marlen, 2009;	
		Sledges	■	■			****	Kaykac <i>et al.</i> 2017; van Marlen, 2009	

Category	Target	Sub-categories	Source of information*				% fuel-saving potential**	Source
			S	G	CQ	SQ		
Fishing-gear change		From active to passive						
		Gear change: change from trawl to gillnet		█			****	van Marlen, 2009
		Within active						
		Gear change: change from mid-water trawl to purse seine	█	█			5–25	Parker and Tyedmers, 2015; Driscoll and Tyedmers, 2010; van Marlen, 2009
		Gear change: pulse trawling	█	█		█	35–54	Batsleer <i>et al.</i> 2016; van Marlen <i>et al.</i> 2014; Taal and Klok, 2014; Sala <i>et al.</i> 2012; van Marlen, 2009; EC, 2006
		Change the number of rigs from single trawling	█	█			10–30	Broadhurst <i>et al.</i> 2013; EC, 2006; van Marlen, 2009; Ziegler and Hansson, 2003
		Assisted fishing		█			****	Sala <i>et al.</i> 2012
Catchability and reduced mortality		Improve catchability and reduce mortality						
		Selective fishing: LED lighting	█				****	Kuo and Shen, 2018; An <i>et al.</i> 2017; Bryhn <i>et al.</i> 2014; Matsushita <i>et al.</i> 2012; Yamashita <i>et al.</i> 2012
		Selective fishing: use of selective gears	█	█			8–25	ICES, 2020b; Jørgensen <i>et al.</i> 2017; Ziegler and Hornborg, 2014; Hornborg <i>et al.</i> 2012; van Marlen, 2009
		Technology to increase catch efficiency	█		█		****	Chassot <i>et al.</i> 2021

*Savings are reported for several measures together; ** Fuel-saving Potential: only the cases reporting a fuel saving by one technology is included. Those citing savings by several measures are excluded. The ranges reported consider different TRLs; *** In grey literature, no quantitative data is presented about the reduction; **** The potential for saving is mentioned but no quantitative data are shown.

Bilag 3

Energy-efficient regulatory and management measures proposed in the scientific and grey literature and by consulted stakeholders (S: scientific reports, G: grey literature, CQ: questionnaires to commercial fishers, SQ: questionnaires to scientists)

Indholdet i bilaget er gengivet direkte fra European Commission (2022)

Category	Target	Subcategories	Source of information*				Source
			S	G	CQ	SQ	
Regulatory or management measures by decision-makers (not fishers)	Reduce fuel consumption (focus on the numerator of the FUI indicator, L fuel/t catch)	Taxation based on performance					
		Changes in fuel and emission taxation					Jafarzadeh <i>et al.</i> 2017; Jafarzadeh <i>et al.</i> 2016; Parker and Tyedmers, 2015; Ziegler and Hornborg 2014; Thomas <i>et al.</i> 2010; Sumaila <i>et al.</i> 2008; Thrane, 2006; Thrane, 2004
		Harmonisation of fuel taxes amongst nations					Isaksen <i>et al.</i> 2015
		Restrictions by regulation					
		Restrictions on pull power, engine power					Thomas <i>et al.</i> 2010; Thrane, 2004
		Gear restriction					Driscoll and Tyedmers, 2010; Thrane, 2006
		Inclusion of fuel or carbon footprint or FUI scores in:					
		Fisheries-management system/modelling					Parker and Tyedmers, 2015; Davie <i>et al.</i> 2014; Ziegler and Hornborg, 2014; Driscoll and Tyedmers, 2010
		Fish quota system					Thrane, 2004
		Political goals					Jafarzadeh <i>et al.</i> 2016
		Improvement in fish stocks					Jafarzadeh <i>et al.</i> 2016
		Imposition of fuel and emission taxes					Thrane, 2004
		Monitoring of sustainability certifications					Chassot <i>et al.</i> 2021

Category	Target	Subcategories	Source of information*				Source
			S	G	CQ	SQ	
		Allocation of subsidies to fuel- efficiency fisheries					Jafarzadeh <i>et al.</i> 2016; EC, 2006
		Promotion of:					
		Certain gears					Batsleer <i>et al.</i> 2016; Parker and Tyedmers, 2015
		Reducing fishing effort					Guijarro <i>et al.</i> 2017; EC, 2006
		Improvement of skipper skills					Ziegler <i>et al.</i> 2018; Parker <i>et al.</i> 2017; Basurko <i>et al.</i> 2013; Bastardie <i>et al.</i> 2010; Ruttan and Tyedmers, 2007; Ziegler and Hansson, 2003
		Agreements on fuel price between suppliers and fisheries					Jafarzadeh <i>et al.</i> 2016
		Inclusion of fisheries in global emission databases or carbon- emission quota systems					Guillen <i>et al.</i> 2016; Coello <i>et al.</i> 2015
		Consumers					
		Consumer demands for more specific fuel data for fish purchased, eco-labeling					Schau <i>et al.</i> 2009; Thrane, 2006
		Fuel subsidies or incentives					
		To fuel efficient fishing methods					Thomas <i>et al.</i> 2010; Thrane, 2006; EC, 2006; Thrane, 2004;
		To fishers based on fuel efficiency, not catch alone					Groba <i>et al.</i> 2020; Basurko <i>et al.</i> 2013; Abernethy <i>et al.</i> 2010
		To invest in energy-efficiency strategies					Isaksen <i>et al.</i> 2015; Thrane 2004
		Improving the CPUE					
	Increasing the t catch (focus on the denominator of the FUI indicator, L fuel/t catch)	Improve stock biomass (fish abundance and availability)					Jafarzadeh <i>et al.</i> 2016; Parker and Tyedmers, 2004; Ziegler and Hornborg, 2014

Category	Target	Subcategories	Source of information*				Source
			S	G	CQ	SQ	
		Better allocation of quotas or higher quotas	■				Thrane, 2004
		Changing of fishing limits from maximum sustainable yield to maximum economic yield (e.g., rock lobster)	■				Farmery <i>et al.</i> 2014
		Boat buyback schemes	■	■			Parker <i>et al.</i> 2018; Pascoe <i>et al.</i> 2012; Hua and Wu, 2011; Sloan and Crosthwaite, 2007; EC, 2006
		Discard ban					
		Reduce bycatch by being more selective	■				Batsleer <i>et al.</i> 2016

* More than one measure, ** No information about the reduction, ***No quantitative data found

Bilag 4

Referencer til Bilag 1, Bilag 2, og Bilag 3

- Abernethy, K.E., Trebilcock, P., Kebede, B., Allison, E.H., Dulvy, N.K. (2010). Fuelling the decline in UK fishing communities? *ICES Journal of Marine Science*, 67:1076-1085.
- Amble, A. (1985). Sail-assisted performance of a 33-foot fishing vessel: results of full scale trials, In: Satchwell, C.J. (Ed.), *Windship Technology*. Elsevier, pp. 149-156.
- An, Y.-I., He, P., Arimoto, T., Jang, U.-J. (2017). Catch performance and fuel consumption of LED fishing lamps in the Korea hairtail angling fishery. *Fisheries Science* 83:343-352.
- Balash, C., Sterling, D., Binns, J., Thomas, G., Bose, N., (2015). The effect of mesh orientation on netting drag and its application to innovative prawn trawl design. *Fisheries Research* 164:206-213.
- Bastardie, F., Nielsen, J.R., Andersen, B.S., Eigaard, O.R. (2010). Effects of fishing effort allocation scenarios on energy efficiency and profitability: An individual-based model applied to Danish fisheries. *Fisheries Research* 106:501-516.
- Bastardie, F., Hornborg, S., Ziegler, F., Gislason, H., & Eigaard, O. R. (2022a). Reducing the Fuel Use Intensity of Fisheries: Through Efficient Fishing Techniques and Recovered Fish Stocks. *Frontiers in Marine Science*, 9, [817335]. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.817335>
- Basurko, O.C., Gabiña, G., Lopez, J., Granado, I., Murua, H., Fernandes, J.A., Krug, I., Ruiz, J., Uriondo, Z. (2022). Fuel consumption of free-swimming school versus FAD strategies in tropical tuna purse seine fishing. *Fisheries Research* 245:106139.
- Basurko, O.C., Gabiña, G., Uriondo, Z. (2013). Energy performance of fishing vessels and potential savings. *Journal of Cleaner Production* 54:30-40.
- Batsleer, J., Rijnsdorp, A.D., Hamon, K.G., van Overzee, H.M.J., Poos, J.J. (2016). Mixed fisheries management: Is the ban on discarding likely to promote more selective and fuel efficient fishing in the Dutch flatfish fishery? *Fisheries Research*, 174:118-128.
- Broadhurst, M.K., Sterling, D.J., Millar, R.B. (2013). Progressing more environmentally benign penaeid-trawling systems by comparing Australian single- and multi-net configurations. *Fisheries Research* 146:7-17.
- Bryhn, A.C., Königson, S.J., Lunneryd, S.-G., Bergenius, M.A.J. (2014). Green lamps as visual stimuli affect the catch efficiency of floating cod (*Gadus morhua*) pots in the Baltic Sea. *Fisheries Research* 157:187-192.
- Chang, Y.-C., Tseng, R.-S., Chu, P.C., Shao, H.-J. (2016). Global energy-saving map of strong ocean currents. *Journal of Navigation* 69:75-92.

Chassot, E., Antoine, S., Guillotreau, P., Lucas, J., Assan, C., Marguerite, M., Bodin, N. (2021). Fuel consumption and air emissions in one of the world's largest commercial fisheries. *Environmental Pollution* 273:116454.

Coello, J., Williams, I., Hudson, D.A., Kemp, S. (2015). An AIS-based approach to calculate atmospheric emissions from the UK fishing fleet. *Atmospheric Environment* 114:1-7.

Davie, S., Minto, C., Officer, R., Lordan, C., Jackson, E. (2014). Modelling fuel consumption of fishing vessels for predictive use. *ICES Journal of Marine Science*, 72:708-719

Driscoll, J., Tyedmers, P. (2010). Fuel use and greenhouse gas emission implications of fisheries management: the case of the New England Atlantic herring fishery. *Marine Policy*, 34:353-359.

EC (2006). Proceedings of the Conference on Energy Efficiency in Fisheries - Séminaire sur les économies d'énergie à la pêche. European Commission, Directorate-General for Fisheries and Maritime Affairs, Brussels, 11-12 May 2006. 107pp.

European Commission (2022), European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency, Bastardie, F., Feary, D., Kell, L., et al., Climate change and the common fisheries policy: adaptation and building resilience to the effects of climate change on fisheries and reducing emissions of greenhouse gases from fishing: final report, Publications Office of the European Union, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2926/155626>

Farmery, A., Gardner, C., Green, B. S., Jennings, S. (2014). Managing fisheries for environmental performance: the effects of marine resource decision-making on the footprint of seafood. *Journal of Cleaner Production*, 64:368–376.

Gabiña, G., Basurko, O.C., Notti, E., Sala, A., Aldekoa, S., Clemente, M., Uriondo, Z. (2016a). Energy efficiency in fishing: Are magnetic devices useful for use in fishing vessels? *Applied Thermal Engineering*, 94:670-678.

Gabiña, G., Martin, L., Basurko, O.C., Clemente, M., Aldekoa, S., Uriondo, Z. (2016b). Waste oil-based alternative fuels for marine diesel engines. *Fuel Processing Technology*, 153:28-36.

Gabiña, G., Martin, L., Basurko, O.C., Clemente, M., Aldekoa, S., Uriondo, Z. (2019). Performance of marine diesel engine in propulsion mode with a waste oil-based alternative fuel. *Fuel*, 235:259-268.

Gabriellii, C.H., Jafarzadeh, S. (2020). Alternative fuels and propulsion systems for fishing vessels. *SINTEF Report*, 42pp.

Granado, I., Hernando, L., Galparsoro, I., Gabiña, G., Groba, C., Prellezo, R., Fernandes, J.A. (2021). Towards a framework for fishing route optimization decision support systems: Review of the state-of-the-art and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 320:128661.

Groba, C., Sartal, A., Bergantiño, G. (2020). Optimization of tuna fishing logistic routes through information sharing policies: A game theory-based approach. *Marine Policy* 113:103795.

- Guijarro, B., Ordines, F., Massutí, E. (2017). Improving the ecological efficiency of the bottom trawl fishery in the Western Mediterranean: It's about time! *Marine Policy*, 83:204-214.
- Guillen, J., Cheilari, A., Damalas, D., Barbas, T. (2016). Oil for fish: An energy return on investment analysis of selected European Union fishing fleets. *Journal of Industrial Ecology*, 20:145-153.
- Hansen, U.J., Tørring, P., Nielsen, J.W., Rønfeldt, J.L. (2013). Using best available technology drastically improve fuel efficiency in trawl fisheries. In: Annual Meeting of the ICES-FAO Working Group on Fishing Technology and Fish Behaviour LIFE mini symposium, Bangkok.
- Hornborg, S., Nilsson, P., Valentinsson, D., Ziegler, F. (2012). Integrated environmental assessment of fisheries management: Swedish Nephrops trawl fisheries evaluated using a life cycle approach. *Marine Policy*, 36:1193-1201.
- Hsieh, L.-T., Shih, S.-I., Lin, S.-L., Yang, T.-L., Wu, T.-S., Hung, C.-H. (2009). Emissions in the exhaust of fishing boats after adding viscous agents into fuel oils. *Science of The Total Environment*, 408:233-241.
- Hua, Jian & Wu, Yihusan, 2011. Implications of energy use for fishing fleet--Taiwan example. *Energy Policy*, Elsevier, vol. 39(5), pages 2656-2668, May.
- ICES (2020a). ICES Working Group on Electrical Trawling (WGELECTRA). ICES Scientific Reports. 2:37, 108 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.6006>
- ICES (2021b). ICES Advice on fishing opportunities, catch and effort Baltic Sea ecoregion. <https://www.ices.dk/advice/Pages/Latest-Advice.aspx> (06.12.2021)
- IMO (2020). Fourth IMO GHG Study 2020, Reduction of GHG Emissions from Ships (MEPC 75/7/15). International Maritime Organization. London, 2020. Online available at <https://docs.imo.org/Shared/Download.aspx?did=125134>, last accessed on 22 Nov 2021.
- Isaksen, J.R., Hermansen, Ø., Flaaten, O. (2015). Stubborn fuel tax concessions: The case of fisheries in Norway. *Marine Policy*, 52:85-92.
- Jafarzadeh, S., Utne, I.B. (2014). A framework to bridge the energy efficiency gap in shipping. *Energy*, Elsevier, vol. 69(C), pages 603-612
- Jafarzadeh, S., Ellingsen, H., Aanonsen, S.A. (2016). Energy efficiency of Norwegian fisheries from 2003 to 2012. *Journal of Cleaner Production*, 112:3616-3630.
- Jafarzadeh, S., Paltrinieri, N., Utne, I.B., Ellingsen, H. (2017). LNG-fuelled fishing vessels: A systems engineering approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 50:202-222.
- Jaurola, M., Hedin, A., Tikkanen, S., Huhtala, K. (2020). A Topti simulation for finding fuel saving by optimising propulsion control and power management. *Journal of Marine Science and Technology*, 25:411-425.

Jørgensen, T., Løkkeborg, S., Furevik, D., Humborstad, O.-B., De Carlo, F. (2017). Floated cod pots with one entrance reduce probability of escape and increase catch rates compared with pots with two entrances. *Fisheries Research*, 187:41-46.

Kaykac, M.H., Düzbastilar, F.O., Zengin, M., Süer, S., Rüzgar, M. (2017). Measurements of fuel consumption and towing resistance in sea snail beam trawl fisheries: Preliminary results. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17:901-909.

Kebede, G.E., Winger, P.D., DeLouche, H., Legge, G., Cheng, Z., Kelly, D., Einarsson, H., (2020). Flume tank evaluation of the hydrodynamic lift and drag of helix ropes compared to conventional ropes used in midwater trawls. *Ocean Engineering*, 195:106674.

Kuo, C.Y., Shen, S.C., 2018. Design of secondary lens for LED fishing lamps to evaluation catches energy efficiency in saury fishing. *IEEE Access*, 6:66664-66672.

Larsen, R.B., Herrmann, B., Brinkhof, J., Grimaldo, E., Sistiaga, M., Tatone, I. (2018). Catch efficiency of groundgears in a bottom trawl fishery: A case study of the Barents Sea haddock. *Marine and Coastal Fisheries*, 10:493-507.

Latorre, R. (2001). Reducing fishing vessel fuel consumption and NOx emissions. *Ocean Engineering*, 28:723-733.

Lee, C.-H., Hsu, S.-H. (2015). Assessment of energy savings on power factor improvement of marine electrical systems. *Journal of Marine Science and Technology*, 20:475-486.

Lee, J., Lee, C.-W., Park, S., Kim, J., Park, S., Kim, T. (2018). Development of a low-energy midwater trawl with different combinations of trawl nets and trawl doors through model experiments. *Fisheries Science*, 84:323-334.

Marchal, P., Andersen, B., Bromley, D., Iriondo, A., Mahevas, S., Quirijns, F., Rackham, B., Santurtún, M., Tien, N., Ulrich, C. (2006). Improving the definition of fishing effort for important European fleets by accounting for the skipper effect. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 63:510–533.

Matsushita, Y., Azuno, T., Yamashita, Y. (2012). Fuel reduction in coastal squid jigging boats equipped with various combinations of conventional metal halide lamps and

Notti, E., Figari, M., Sala, A., Martelli, M. (2019). Experimental assessment of the fouling control coating effect on the fuel consumption rate. *Ocean Engineering*, 188:106233.

Notti, E., Sala, A. (2014). Information collection in energy efficiency for fisheries (ICEEF-3). Final report., in: Martinsohn, J., Damalas, D. (Eds.), JRC Scientific and Policy Reports. European Union, Luxembourg, 99pp.

Palomba, V., Aprile, M., Motta, M., Vasta, S. (2017). Study of sorption systems for application on low-emission fishing vessels. *Energy*, 134:554-565.

Parente J., Fonseca P., Henriques V., Campos A. (2008). Strategies for improving fuel efficiency in the Portuguese trawl fishery. *Fisheries Research*, 93:117–124.

Parker, R.W.R. (2012). Review of life cycle assessment research on products derived from fisheries and aquaculture: A report for Seafish as part of the collective action to address greenhouse gas emissions in seafood. Sea Fish Industry Authority Edinburgh, UK

Parker, R.W.R., Tyedmers, P.H. (2015). Fuel consumption of global fishing fleets: current understanding and knowledge gaps. *Fish and Fisheries*, 16:684-696.

Parker, R.W.R., Blanchard, J.L., Gardner, C., Green, B.S., Hartmann, K., Tyedmers, P.H., Watson, R.A. (2018). Fuel use and greenhouse gas emissions of world fisheries. *Nature Climate Change*, 8:333-337.

Parker, R.W.R., Gardner, C., Green, B.S., Hartmann, K., Watson, R.A. (2017). Drivers of fuel use in rock lobster fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 74:1681-1689.

Parker, R.W.R., Tyedmers, P.H. (2015). Fuel consumption of global fishing fleets: current understanding and knowledge gaps. *Fish and Fisheries*, 16:684-696.

Pascoe, S., Coglán, L., Punt, A.E., Dichmont, C.M. (2012), Impacts of vessel capacity reduction programmes on efficiency in fisheries: The case of Australia's multispecies northern prawn fishery. *Journal of Agricultural Economics*, 63:425-443.

Poos, J.J., Turenhout, M.N.J., van Oostenbrugge, H.A.E., Rijnsdorp, A.D. (2013). Adaptive response of beam trawl fishers to rising fuel cost. *ICES Journal of Marine Science*, 70:675-684.

Priour, D. (2009). Numerical optimisation of trawls design to improve their energy efficiency. *Fisheries Research*, 98:40-50.

Ruttan, L.M., Tyedmers, P.H. (2007). Skippers, spotters and seiners: Analysis of the “skipper effect” in US menhaden (*Brevoortia* spp.) purse-seine fisheries. *Fisheries Research*, 83:73-80.

Sala, A., De Carlo, F., Buglioni, G., Lucchetti, A. (2011). Energy performance evaluation of fishing vessels by fuel mass flow measuring system. *Ocean Engineering*, 38:804-809.

Sala, A., Notti, E., Martinsohn, J., Damalas, D. (2012). Information Collection in Energy Efficiency for Fisheries (ICEEF2011). Final report., JRC Scientific and Policy Reports. European Union, Luxembourg, p. 132.

Sala, A., Notti, E., Martinsohn, J., Damalas, D. (2013). Information Collection in Energy Efficiency for Fisheries (ICEEF2012). JRC Scientific and Policy reports, p88.

Sandison, F., Hillier, J., Hastings, A., Macdonald, P., Mouat, B., Marshall, C.T. (2021). The environmental impacts of pelagic fish caught by Scottish vessels. *Fisheries Research*, 236:105850.

- Schau, E.M., Ellingsen, H., Endal, A., Aanonsen, S.A. (2009). Energy consumption in the Norwegian fisheries. *Journal of Cleaner Production*, 17:325-334.
- Sistiaga, M., Herrmann, B., Grimaldo, E., Larsen, R.B., Tatone, I. (2015). Effect of lifting the sweeps on bottom trawling catch efficiency: A study based on the Northeast arctic cod (*Gadus morhua*) trawl fishery. *Fisheries Research*, 167:164-173.
- Soetaert, M., Decostere, A., Polet, H., Verschueren, B., Chiers, K. (2015). Electrotrawling: a promising alternative fishing technique warranting further exploration. *Fish and Fisheries*, 16:104–124.
- Stäbler, M., Kempf, A., Smout, S., Temming, A. (2019). Sensitivity of multispecies maximum sustainable yields to trends in the top (marine mammals) and bottom (primary production) compartments of the southern North Sea food-web. *PLoS ONE* 14:e0210882. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210882>.
- Stergiou, K.I., Somarakis, S., Triantafyllou, G., Tsiaras, K.P., Giannoulaki, M., Petihakis, G., Machias, A., Tsikliras, A.C. (2016). Trends in productivity and biomass yields in the Mediterranean Sea Large Marine Ecosystem during climate change. *Environmental Development*, 17:54-74.
- Sumaila, U.R., Teh, L., Watson, R., Tyedmers, P., Pauly, D. (2008). Fuel price increase, subsidies, overcapacity, and resource sustainability. *ICES Journal of Marine Science*, 65:832-840.
- Taal, C., Klok, A.J. (2014). Pulswing; Ontwikkeling van een vistuig voor platvis waarin puls-techniek met de SumWing is gecombineerd. Wageningen, LEI Wageningen UR (University & Research centre), (Rapport / LEI; No. 2014-039). LEI.
- Tadros, M., Ventura, M., Guedes Soares, C. (2020). A nonlinear optimization tool to simulate a marine propulsion system for ship conceptual design. *Ocean Engineering*, 210:107417.
- Thomas, G., O'Doherty, D., Sterling, D., Chin, C. (2010). Energy audit of fishing vessels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 224:87-101.
- Thrane, M. (2004). Energy consumption in the Danish fishery: Identification of key factors. *Journal of Industrial Ecology*, 8:223-239.
- Thrane, M. (2006). LCA of Danish Fish Products, new methods and insights. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11:66-74.
- Tyedmers, P. (2004). Fisheries and Energy Use, In: Editor-in-Chief: Cutler, J.C. (Ed.), *Encyclopedia of Energy*. Elsevier, New York, pp. 683-693.
- Uriondo, Z., Gabiña, G., Basurko, O.C., Clemente, M., Aldekoa, S., Martin, L. (2018). Waste lube-oil based fuel characterization in real conditions. Case study: Bottom-trawl fishing vessel powered with medium speed diesel engine. *Fuel*, 215:744-755.
- van Marlen, B. (2009). Energy saving in fisheries (ESIF) FISH/2006/17 LOT3 – Final report (No. C002/08). IMARES, Ijmuiden, p425. http://ec.europa.eu/fisheries/documentation/studies/energy_saving_en.pdf

van Marlen, B., Wiegerinck, J.A.M., van Os-Koomen, E., van Barneveld, E. (2014). Catch comparison of flatfish pulse trawls and a tickler chain beam trawl. *Fisheries Research*, 151:57–69.

Villasante, S., Sumaila, R., Da-Rocha, J.M., Carvalho, N., Skerritt, D.J., Schuhbauer, A., Cisneros-Montemayor, A.M., Bennett, N.J., Hanich, Q., Prelezo, R. (2022). Strengthening European Union fisheries by removing harmful subsidies. *Marine Policy*, 136:104884.

Wang, S.G., Wang, R.Z. (2005). Recent developments of refrigeration technology in fishing vessels. *Renewable Energy*, 30:589-600.

Yamashita, Y., Matsushita, Y., Azuno, T. (2012). Catch performance of coastal squid jigging boats using LED panels in combination with metal halide lamps. *Fisheries Research*, 113:182-189.

Ziegler, F., Groen, E.A., Hornborg, S., Bokkers, E.A.M., Karlsen, K.M., de Boer, I.J.M. (2018). Assessing broad life cycle impacts of daily onboard decision-making, annual strategic planning, and fisheries management in a northeast Atlantic trawl fishery. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23:1357-1367.

Ziegler, F., Hansson, P.A. (2003). Emissions from fuel combustion in Swedish cod fishery. *Journal of Cleaner Production*, 11:303-314.

Ziegler, F., Hornborg, S. (2014). Stock size matters more than vessel size: The fuel efficiency of Swedish demersal trawl fisheries 2002–2010. *Marine Policy*, 44:72-81.

Ziegler, F., Hornborg, S., Green, B.S., Eigaard, O.R., Farmery, A.K., Hammar, L., Hartmann, K., Molander, S., Parker, R.W.R., Skontorp Hognes, E., Vázquez-Rowe, I., Smith, A.D.M. (2016), Expanding the concept of sustainable seafood using Life Cycle Assessment. *Fish and Fisheries*, 17:1073-1093

Danmarks
Tekniske
Universitet

DTU Aqua
Kemitorvet
2800 Kgs. Lyngby

www.aqua.dtu.dk