

GRØN OMSTILLING AF DANSKE INDENRIGSFÆRGER



COWI

APRIL 2021
TRANSPORT- OG BOLIGMINISTERIET

GRØN OMSTILLING AF DANSKE INDENRIGSFÆRGER

RAPPORT

PROJEKTNR.
A209802

DOKUMENTNR.
1

VERSION
6

UDGIVELSESDATO
21-04-2021

BESKRIVELSE
Rapport

UDARBEJDET
LLHN, MNTH, JJD

KONTROLLERET
OLEK

GODKENDT
OLEK

INDHOLD

Sammenfatning	7
1 Indledning og baggrund	12
2 Drivmidler til indenrigsfærger	15
2.1 Elfærger	15
2.2 HVO	17
2.3 Bio-metanol	18
2.4 Andre muligheder	20
3 Beskrivelse af færgeselskabernes omkostninger ved grøn omstilling af færgeruterne	23
3.1 Investering på færgerne	23
3.2 Infrastruktur	29
3.3 Drift	32
3.4 Scrapværdi	34
4 Klima- og miljøeffekter	35
4.1 CO ₂ -emissioner	35
4.2 NO _x -emissioner	36
4.3 Partikelemissioner	38
4.4 SO ₂ emissioner	40
5 Beskrivelse af de samfundsøkonomiske effekter ved grøn omstilling af færgeruterne	42
5.1 Nettoafgiftsfaktor	42
5.2 Enhedsomkostninger for emissionerne	43
5.3 Diskonteringsrente	43
5.4 Nettonutidsværdi	43
5.5 CO ₂ -skyggepris	44

6	Scenarier for den fremtidige omstilling af danske indenrigsfærger	45
6.1	Scenarie 1: Hurtig omstilling til elfærger	46
6.2	Scenarie 2: Udskiftning til elfærger i takt med almindelig omstillingstakt	53
6.3	Scenarie 3: Efficient omstilling af dieselfærger	60
6.4	Scenarie 4: Alle færger sejler på HVO	66
6.5	Scenarie 5: Alle færger sejler på bio-metanol	72
6.6	Scenarie 6: Kattegatfærgerne omstilles til HVO eller bio-metanol	78
6.7	Sammenfatning af scenarier	87

Sammenfatning

Denne analyse undersøger potentialet for omstillingen af færger fra den nuværende anvendelse af diesel til grønne alternativer.

Der er i alt 66 færger i almindelig indenrigsdrift i Danmark, der betjener 50 forskellige ruter. Færgerne udleder i dag tilsammen ca. 220.000 ton CO₂ fordelt på 80.000 ton for de mindre færger og 140.000 ton for kattegatfærgerne. Ved omstilling til el-drift vil et potentiale på op til 30.000 ton kunne realiseres, mens der er behov for andre alternative drivmidler for at reducere CO₂-udledningen yderligere. Ud over CO₂-reduktioner er der væsentlige gevinster for luftforureningen forbundet med omstilling af færgeflåden.

Analysen sammenligner de nuværende færger med fremtidige færger, der benytter enten batterier til el-drift, sejler på HVO (biodiesel) eller bio-metanol. Disse tre alternativer betragtes aktuelt som de mest oplagte til den fremtidige grønne omstilling af færger. Ammoniak og brint er drivmidler, der på sigt også kunne være en mulighed i færgefarten. På grund af tidshorizonten for disse alternativer, er de ikke indeholdt i analysens beregninger. Der er udviklet et beregningsværktøj til analysen. Værktøjet beregner investeringer, driftsomkostninger, emissioner samt de samfundsøkonomiske og finansielle konsekvenser ved omlægning af de forskellige færger til el-drift, HVO eller bio-metanol. Det udarbejdede analyseværktøj kan imidlertid tilpasses, så beregninger på for eksempel ammoniak og brint kan udføres.

Både el, HVO og bio-metanol kan lede til markante reduktioner i CO₂-udledningerne for de færger, der omlægges. Derudover opnås reduktioner i emissioner af NO_x, SO₂ samt partiklerne for alle tre typer drivmidler.

Der er udarbejdet en analyse af omkostningerne ved at omstille færger fra nuværende diesel til de tre alternativer.

Opgørelserne omfatter:

- > omkostninger til ombygning (retrofit) af eksisterende færger
- > omkostninger ved køb af nye færger på de forskellige drivmidler
- > eventuelle omkostninger til lade- eller optankningsinfrastruktur inden for havnens områder

- > driftsudgifter forbundet med de enkelte drivmidler.

Omkostningerne til de enkelte færgeruter fastlægges ud fra færgernes størrelse og behov for energi. Behovet er fastsat ud fra færgernes energiforbrug i dag og korrigeret for en bedre energieffektivitet ved el-drift. Omlægning til el-drift og til bio-metanol kræver investeringer i færgerne, hvor investeringerne ved omlægning til elfærger er noget større, end de er ved omstilling til færger til bio-metanol. HVO kræver ikke en ombygning af selve færgerne eller retrofit af motorerne. Til gengæld er prisen på HVO højere end ved anvendelse af de øvrige brændstoffer.

For at belyse de samfundsøkonomiske, de finansielle og de miljø- og klimamæssige effekter, der kan opnås ved omlægning til grønne alternativer, er der udarbejdet eksempelberegninger gennem seks alternative scenarier. Scenarierne afspejler forskellige tilgange til omlægning, hvor der er taget udgangspunkt i el-drift, anvendelse af HVO og omlægning til bio-metanol. Sidstnævnte brændsler er i større skala primært relevante for omstillingen på lidt længere sigt.

Beregningerne illustrerer bredden i de muligheder, der er for grøn omstilling af de danske indenrigsfærger. Et scenarie viser udskiftning til el-drift hurtigst muligt for de færger, hvor det vurderes teknisk muligt, et scenarie ser på en omstilling til el-drift i takt med den løbende udskiftning af færgerne. To scenarier ser på omlægning til HVO henholdsvis bio-metanol. Derudover er der udarbejdet et scenarie, hvor færger omlægges til el-drift eller bio-metanol drift, hvis det har en positiv samfundsøkonomi på den enkelte færge. Der er ikke fundet færger, der kan opnå en positiv samfundsøkonomisk gevinst ved brug af HVO, der derfor heller ikke indgår i det scenarie. Det sidste scenarie, der er medtaget, viser den grønne omstilling af kattegatfærgerne til hhv. HVO og bio-metanol. Disse færger er ikke medtaget i de foregående scenarier, da de adskiller sig væsentligt fra de andre færgeruter og færger. Kattegatfærgerne er dels væsentligt større end de andre færgeruter, har relativt lange ruter og sejler med højere hastighed. Derfor har disse færger et energiforbrug, der er større end alle de andre ruter tilsammen. I beregningerne vil konsekvenserne for de fire færger, det drejer sig om, derfor overskygge effekterne for de resterende ruter, hvorfor resultaterne for disse færgeruter er præsenteret særskilt.

I praksis vil der være behov for en konkret vurdering for den enkelte færge. Der skal bl.a. vurderes om der er tilstrækkelig strømkapacitet til opladning af færgerne, mens de er i havn. Omstillingen vil i realiteten ikke være et valg mellem de enkelte scenarier, da der for nogle færger og færgeruter skal vælges en type drivmiddel og andre løsninger på andre færger og ruter. Tidspunktet for en udskiftning eller omstilling vil afhænge af den enkelte færge. Her er der flere relevante forhold end blot alderen, der afgør, hvornår det er mest fornuftigt. Dette inkluderer også vurderinger af forhold omkring bl.a. driftssikkerhed i forbindelse med omstillingen eller ombygningen af færgerne. Det er vigtigt at inddrage disse lokale elementer i planlægningen af de konkrete omstillingsmuligheder.

I nedenstående tabel er hovedresultaterne for scenarierne opstillet. Først angives, hvor mange af færgerne, der vurderes at kunne omstilles for hvert scenarie. Dernæst præsenteres ændringerne i investeringerne og omkostningerne til

driften af færgerne i forhold til en baseline, hvor dieselfærgerne udskiftes til nye dieselfærger, når de er 30 år gamle. Tabellerne viser endvidere de årlige ændringer i emissionerne for år 2030 og 2050. Endelig vises nettonutidsværdien (NNV) og CO₂ skyggepriserne. Alle beregningerne er gennemført for to tidsperioder. En beregning for en periode på 50 år for 2020-2070 og en opgørelse frem til 2030. Værdierne i tabellen viser forskellen mellem scenarierne og en situation, hvor der fortsættes med samme driftsform som i dag. Dvs. at investeringsomkostningerne viser ændringen i denne størrelse sammenlignet med investeringerne i nye dieselfærger. Tilsvarende vises ændringerne i driftsomkostningerne i forhold til fortsat drift med færger som i dag.

Beregningerne inddrager generelle vurderinger af omkostningerne for hver enkelt færge, men inddrager som nævnt, ikke eventuelle omkostninger i forbindelse med omlægningen, opretholdelse af driften under ombygning, behov for lokale tilpasning af havnen eller strømtilførslen til havnen, hvis kapaciteten ikke er tilstrækkelig. Endelig kan der være andre forhold som tekniske begrænsninger muligheden for at omlægge færgerne som der ikke er taget hensyn til.

For scenarierne med omstilling til HVO (scenarie 4 og 6) er der ekstra omkostninger, som kommer fra de løbende merudgifter til brændstoffet. For de andre scenarier ligger ekstraudgifterne i omkostningerne til ombygning eller nybygning af færgerne og til ladeinfrastrukturen.

Som det fremgår, vil flere af scenarierne (scenarie 1, 3, 5 og 6) kunne lede til gunstige samfundsøkonomiske effekter, når afledte effekter af de reducerede udledninger medtages. Det er dog ikke alle færger i disse scenarier, der kan omstilles med et samfundsøkonomisk positivt resultat.

Når man ser på de rene finansielle gevinster for færgeruterne, er der ligeledes stor variation mellem de forskellige færgeruter. Der vil således være en række ruter, som ud fra et finansieringsmæssigt perspektiv ikke er rentable og hvor der vil være et ekstra finansieringsbehov både for enkelte ruter og samlet for de enkelte scenarier.

For alle scenarier er der store gevinster opnået gennem reduktionerne af CO₂ og luftforureningen. Reduktionerne af luftforureningen bidrager væsentligt til de samfundsøkonomiske resultater. Dette ses i tabellen, hvor NNV falder så meget, at det alene vil være scenariet med en omstilling af færger, der har positiv samfundsøkonomisk gevinst (scenarie 3), der ender med en positivt resultat.

Tabel 0-1 Sammenligning af de analyserede scenarier.

	Scenarie 1 Hurtig om- stilling til el	Scenarie 2 Løbende om- stilling til el	Scenarie 3 Økonomisk efficiant om- stilling til el og bio-metan- ol	Scenarie 4 Omstilling til HVO	Scenarie 5 Omstilling til bio-metanol	Scenarie 6 Kattegatfær- ger til HVO	Scenarie 6 Kattegatfær- ger til Bio- metanol
Antal færges omfattet af scenariet	44	44	38	61	61	4	4
Investeringsomkost- ninger, mio. kr. nutids- værdi							
2020-2070	-1.515	-1.240	-395	0	-485	0	-515
2020-2030	-1.650	-860	-460	0	-330	0	-215
Driftsøkonomi, mio. kr. nutidsværdi							
Reduktion 2020-2070	670	445	-120	-4.595	-1.635	-7.385	-3.905
Reduktion 2020-2030	185	60	-160	-2.000	-770	-3.215	-2.540
CO₂-udledning, ton							
CO ₂ -udledning 2020 (alle færges)	86.680	86.680	86.680	86.680	86.680	139.250	139.250
CO ₂ reduktion 2030	31.350	12.350	58.380	86.680	86.680	139.250	139.250
CO ₂ reduktion 2050	31.520	31.520	58.515	86.680	86.680	139.250	139.250
NO_x-udledning, ton							
NO _x -udledning 2020 (alle færges)	960	960	960	960	960	1.230	1.230
NO _x reduktion 2030	300	40	510	65	555	115	935
NO _x reduktion 2050	100	100	140	25	165	55	330
SO₂-udledning, ton							
SO ₂ -udledning 2020 (alle færges)	50	50	50	50	50	90	90

	Scenarie 1 Hurtig om- stilling til el	Scenarie 2 Løbende om- stilling til el	Scenarie 3 Økonomisk efficiant om- stilling til el og bio-metanol	Scenarie 4 Omstilling til HVO	Scenarie 5 Omstilling til bio-metanol	Scenarie 6 Kattegatfær- ger til HVO	Scenarie 6 Kattegatfær- ger til Bio- metanol
SO ₂ reduktion 2030	20	5	35	50	50	90	90
SO ₂ reduktion 2050	20	20	35	50	50	90	90
Partikeludledning, ton							
Partikeludledning 2020 (alle færger)	25	25	25	25	25	40	40
Partikel reduktion 2030	10	5	15	10	25	15	40
Partikel reduktion 2050	10	10	15	10	25	15	40
NNV, mio. kr.							
NNV 2020-2070	270	-215	1.450	-3.315	375	-5.305	280
NNV 2020-2030	-1.100	-730	35	-1.1580	-305	-2.555	-1.085
NNV uden andre emis- sioner end CO ₂ , 2020- 2070	-555	-590	25	-3.705	-1.315	-5.955	-2.985
CO₂ skyggepris, kr.							
Skyggepris 2020-2070	35	960	-750	2.065	240	2.060	350
Skyggepris 2020-2030	6.660	13.265	270	2.560	1.045	2.575	1.310

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger. Note: De samfundsøkonomiske gevinster fra luftemissioner er fastlagt ud fra prisen for luftforurening på landet.

1 Indledning og baggrund

Med Energiaftalen fra juni 2018 blev det aftalt at afsætte i alt 500 mio. kr. i perioden 2020-2024 med henblik på at understøtte grønne løsninger i transportsektoren. Som et led i den politiske aftale om udmøntning af pulje til grøn transport blev der i april 2020 indgået en bred politisk aftale om udmøntning af 75 mio. kr. af pulje til grøn transport i 2021. Som del af den samlede aftale blev det besluttet at igangsætte en færganalyse. Analysen skal undersøge, hvilke færgeruter der er bedst egnede til at overgå til andre energiformer med lavere drivhusgasaftryk end dieselolie, der i mange år har været det fremherskende drivmiddel inden for færgedrift. Derigennem undersøges, hvilken måde omstillingen af færger bedst understøttes via midler fra puljen til grøn transport.

Der er i alt 66 færger i almindelig indenrigsdrift i Danmark, der betjener 50 forskellige ruter. Dertil er der en række turistbåde, der ikke fungerer som egentlige færger og derfor ikke er medtaget i rapporten. Færgerne sejlede i 2019 i alt knap 230.000 dobbeltture med cirka 11 millioner passagerer og godt 4 millioner køretøjer. Indenrigsfærgerne sejler i dag hovedsageligt på diesel og udleder derfor både CO₂ og andre luftforurenende stoffer. Enkelte færger sejler i dag på gas-to-liquid (GTL), der er et syntetisk dieselprodukt, der dog produceres ved brug af naturgas og derfor også udleder CO₂. I de seneste år er udledningerne af blandt andet partikler og SO₂ blevet kraftigt reduceret på grund af den internationale regulering af marinediesel. Derudover er NO_x emissioner på de nyeste færger ligeledes kraftigt reduceret som følge af de nyeste krav fra IMO. Færgerne forbruger årligt cirka 64.380 tons dieselolie som udleder cirka 203.440 ton CO₂.

Færger sejler korte og lange ture som det fremgår af Figur 1-1, hvor Køge-Rønne og Anholt ruterne sammen med kattegatfærgerne er de længste færgeruter. Kattegatfærgerne står for over halvdelen af færgernes samlede energiforbrug. De fleste færger drives med offentlige tilskud og en del ejes af kommunale selskaber. Følgende ruter er dog statsligt udbudte: Bøjden-Fynshav, Kalundborg-Ballen, Rønne-Køge, Spodsbjerg-Tårs og Christiansø-Gudhjem. Alle disse færger drives med offentlige tilskud. Kattegatruter og Rørvig-Hundested ruten drives uden offentlige tilskud.

De fleste af færgerne sejler i og omkring det Sydfynske øhav, men også i Limfjorden er der flere færgeruter. En stor del af færgerne forbinder de forskellige danske øer til fastlandet, men visse ruter sikrer forbindelsen mellem landsdelene (som fx Thyborøn-Agger, Hals-Egense, færgerne fra Sjællands Odde, Bøjden-Fynshav og Spodsbjerg-Tårs ruterne).

Figur 1-1 Oversigt over danske indenrigsfærgeruter.



Som beskrevet ovenfor er fægeområdet meget uensartet, både hvad angår færgernes størrelse og aktionsradius samt deres ejerskab. Samtidig har der manglet konkrete data på omkostningerne og mulighederne for grøn omstilling af danske færgeruter.

I denne analyse belyses de teknologiske muligheder for grøn omstilling af færgerne ved konkrete beregninger for gevinster og udgifter ved omstillingen. Beregningerne tager højde for både investeringer i selve færgerne, samt de omkringliggende ændringer i form af eksempelvis landstrømanlæg og eventuelle ændringer i brændstofudgifter. Der arbejdes med flere forskellige alternative brændstoffer til transportsektoren og til den maritime sektor. I rapporten er udvalgt tre af de alternativer, som ud fra en umiddelbar vurdering ser ud til at være tættest på en større egentlig udbredelse i sektoren. Analyserne går derfor i dybden med elfærger, HVO og bio-metanol. Andre fremtidige muligheder baseret på brint, ammoniak og forskellige power-to-X (herefter PtX) løsninger diskuteres endvidere kort i rapporten.

Samtidig præsenterer analysen, hvilken klima- og miljøeffekt den grønne omstilling vil have.

Analysen tager udgangspunkt i de grundlæggende informationer om de enkelte færgeruter. Dertil er udarbejdet en række analyser af omkostninger og klimaeffekter af de forskellige alternativer. Disse er brugt til at opstille seks konkrete scenarier for en samlet omstilling af de danske indenrigsfærger for at belyse de samlede omkostninger og gevinster ved en grøn omlægning. Disse scenarier illustrerer forskelle i omkostninger og gevinster ved forskellige strategier for omstillingen, fx retrofit eller udskiftning for de forskellige teknologier og drivmidler. Målet med scenarierne er at vise variationen i de forskellige omstillingsmuligheder, der er til rådighed og deres konsekvenser. De enkelte scenarier afspejler med andre ord ikke de egentlige forslag til, hvorledes der bedst muligt kan opnås en grøn omstilling af de danske færgeruter.

2 Drivmidler til indenrigsfærger

I dette kapitel gives en introduktion til de forskellige alternative drivmidler. Formålet er at give et overblik over de centrale tekniske aspekter af relevans for eventuel anvendelse i fremtidens færgedrift. Der gives indsigt i, hvordan udviklingen og adgangen til drivmidlerne er i dag, hvilke udviklingstendenser der arbejdes med for de enkelte drivmidler samt de primære fordele og ulemper i relation til anvendelsen. De tekniske forhold omkring omkostninger og miljø- og klima for drivmidlerne gennemgås i de efterfølgende kapitler.

I de næste afsnit ses på de tre primære alternative drivmidler el, HVO og biometanol idet det er vurderet, at det i første omgang er disse tre drivmidler, der snarest vil være fuldt markedsmodne til anvendelse i færgedriften. Der er dog også udvikling i gang med andre drivmidler som GTL, ammoniak og brint. Disse berøres kort i afsnit 2.4.1, 2.4.2.

2.1 Elfærger

El-drift er en kendt teknologi, som har været på vej ind i færgedriften i de senere år. Teknologien er dog stadig under udvikling både mht. batteriteknologi og mulighederne for opladning. Indtil videre er ren batteridrift kun i anvendelse på Ærøfærgeren "Ellen". Der er også batteridrift i såkaldte hybrid-færger på Scandlines færger, hvor batterierne supplerer dieselmotorerne under driften. ForSea's færger på Helsingør-Helsingborg ruten er også omstillet til batteridrift, og kan suppleres med hybriddrift eller drift med dieselmotorerne, hvis der ikke er tilstrækkeligt med strøm på. Samme løsning vil blive anvendt på den kommende Esbjerg-Fanø færge.

I Norge og Sverige er der også indsat elfærger på kortere ruter. Indtil videre kun på et mindre antal ruter, men det er planlagt, at halvdelen af færgerne inden for få år skal omlægges til el-drift. Udviklingen i antal færger og generelt i den maritime industri peger på, at el vælges som drivmiddel i flere og flere skibe. For større skibe, er det i højere grad el-drift ifm. operationer i havnene (fx når skibene lægger til kaj), mens de benytter andre drivmidler (marindiesel) til den almindelige drift. Andre mindre skibe som fx slæbebåde ser ligeledes udvikling over mod el-drift.¹

Udfordringerne ved de batteridrevne færger er batterikapaciteten og dermed den sejltid, færgerne kan opnå på en opladning, samt opladningstiden for batterierne mens færgerne er i havn. For at have tilstrækkelig kapacitet må færger med et stort energiforbrug (enten pga. deres størrelse eller overfartstiden) bruge meget plads til batterierne, sådan som de er med dagens standarder. Udviklingen går dog stærkt, så der opnås mere og mere batterikapacitet på den samme plads. Udfordringen med opladning er, at der er grænser for, hvor meget strøm, der kan fyldes på batterierne i den tid færgerne er i havn. Selvom teknologien også her udvikler sig hastigt med større og større ladere, vil det dog ikke

¹ De forskellige udviklingstendenser omkring batteridrift i den maritime sektor beskrives bl.a. i *Marine Power & Propulsion* udgaven fra oktober 2020

være muligt i alle tilfælde at overføre tilstrækkelig med energi under opholdet i havnen med det nuværende driftsmønster. Derfor vil rene batteridrevne færger hovedsageligt være velegnede på korte ruter op til cirka en times overfartstid med moderat fart. Hvilket betyder, at fx hurtigfærger ikke kan omstilles til el-drift.

I relation til opladningshastigheden kan der i nogle havne desuden opstå kapacitetsproblemer med hensyn til, hvor meget strømkapacitet der er i elnettet i dag. I fremtiden kan det endvidere forventes, at andre brugere i havnene også vil efterspørge adgang til opladning. Det kan betyde større investeringer i udbygning af elnettet til særligt krævende havne. En anden mulig løsning, som også vil kræve større investeringer, er at opstille batteri-mellemlagre, hvor et stort batteri placeret på havnen oplades, mens færgen sejler. Opladningen sker med den eksisterende strømkapacitet (og dermed hastighed). Når færgen lægger til, kan den oplades med højere hastighed fra batteriet på havnen end elnettet ville kunne håndtere. Der vil derfor være en planlægningsmæssig opgave for at fastlægge de faktiske behov fra havnens forskellige brugere og hvordan de kan imødekommes uden unødvendige ekstra omkostninger.

De væsentligste fordele ved elfærgerne skal ses i relation til de miljø- og klimamæssige fordele. Ved el-driften er der ingen lokale emissioner eller CO₂ emissioner direkte fra færgen. Mængden af emissionsreduktioner afhænger derfor af emissionen fra produktionen af den strøm, der benyttes. I takt med en omstilling af elsektoren til fornybar energi, vil emissionerne med andre ord kunne fjernes fuldstændigt. Der er CO₂ udledninger i forbindelse med produktionen af batterierne. Det kan således medvirke til at reducere den samlede gevinst ved omlægning til (grøn) el-drift ud fra en global betragtning.²

Fordele

De væsentligste fordele ved el-driften er:

- > Elmotorer er gennemprøvede og teknologien er kendt, omend kun installeret på et mindre antal færger i dag.
- > Det reducerer udledningen af CO₂ og andre drivhusgasser markant.
- > Markedet udvikler sig hurtigt.
- > Væsentligt reducerede lokale emissioner og reduceret støj.
- > Lavere driftsomkostninger.

Ulemper

De primære ulemper ved el-drift er:

- > Øgede udgifter til indkøb af færger. Jo større færger og jo længere overfarter, jo større er udgiften til indkøb særligt i de første år, da batterierne udgør en større del af omkostningerne.
- > Kan ikke bruges på energikrævende færgeruter.
- > Der er begrænsninger på rækkevidden på en enkelt opladning, hvis ikke batterierne er store. Kan give udfordring at få opladt tilstrækkeligt i den tid færgerne er i havn, så der kan opretholdes tilstrækkelig drift for hele dagen og således at de sejlplaner kan opretholdes.

² Disse CO₂ udledninger tæller dog ikke med i det danske regnskab, men indgår i opgørelserne fra produktionen i de lande, hvor den foregår.

- > Der skal etableres ladeinfrastruktur til at forsyne færgerne i havnene på begge sider af overfarterne. Der kan være særlige udfordringer med utilstrækkelig strømkapacitet på visse færgenhavne, hvilket bør tænkes ind i den samlede planlægning om udbygning af det danske elnet.

2.2 HVO

Hydrotreated Vegetable Oil (herefter HVO) er et biodieselprodukt, der kan produceres på en række 100 % fornybare råvareinput. I første generation var palmeolie den primære råvare, hvilket har skabt problemer pga. indirekte emissioner. De opstår fordi palmeolieproduktionen fortrænger fødevarerproduktion, som så igen betyder, at fx regnskov bliver ryddet for at tilvejebringe mere landbrugsjord (dette er de såkaldte ILUC effekter).

HVO 2. generation produceres på basis af affald og biprodukter fra fødevarerindustrien (fedt og olier, der er uegnet til fødevarerproduktion). Som alternativt brændstof kan HVO benyttes i mange af segmenterne i transportsektoren. Et eksempel er i Helsinki, hvor omkring 300 af byens busser hos fire busoperatører i en forsøgsperiode på mere end tre år har kørt på HVO, dels i ren form, dels iblandet almindelig fossil diesel. Forsøget har blandt andet vist, at HVO har gode egenskaber som drivmiddel, og kan erstatte fossil diesel fuldstændigt uden modifikationer af motorer eller tankanlæg. HVO kan på tilsvarende vis erstatte den marinediesel, som færgerne i dag benytter.

HVO har 85-90 % CO₂-reduktion sammenlignet med konventionel diesel³ afhængigt af den aktuelle sammensætning af input i produktionen. På grund af brug af elektricitet i produktionsprocessen vil HVO ikke kunne nå en 100 % reduktion af CO₂, før både elektriciteten er fossilfrit og transport af HVO til tankningsstederne sker fossilfrit. HVO er dog i sig selv fossilfrit.

HVO kan være en løsning i en overgangsperiode, hvor bedre teknologier endnu ikke er tilgængelige. Da HVO allerede i dag findes, er det også en mulighed for at opnå tidligere CO₂ effekter for alle færges. Det produceres dog endnu ikke i Danmark.

Der er ikke umiddelbart oplysninger om, at der benyttes HVO i danske færges i dag. Der har været forsøg med anvendelse af biodiesel (FAME) produceret af døde dyr og slagteriaffald på Ballebro-Hardeshøj færgen "Bitten Clausen". FAME skal ikke forveksles med HVO, da det har andre specifikationer, som ikke svarer til standardiseringskravene til HVO og almindelig diesel. Det har derfor medført nogle udfordringer med blandt andet lugtgener, og at dieselproduktet paraffinerer ved lave temperaturer. Merprisen var endvidere så stor, at Sønderborg kommune stoppede forsøget igen. Tilsvarende sejler færgen Mjølner til Fur på 100 % biodiesel (FAME) produceret af Daka Biodiesel. Nogle af de samme udfordringer

³ https://www.gate21.dk/wp-content/uploads/2018/05/Gr%C3%B8nne_drivmidler_transportserviceydelse_EPT.pdf

er også observeret for denne færge. Man har imødekommet problemet med paraffinering ved at dieselen holdes varm i særlige tanke under transporten fra produktionen og der i Mjølners tanke er indlagt varme.

Anvendelse af HVO kræver adgang til tankstationer/tankanlæg, hvor HVO tilbydes. Flere benzinselskaber tilbyder levering til egen tank og kan endvidere levere løsninger med mere mobile tankanlæg, der placeres som en tank oven på jorden i stil med mobile tankanlæg for LNG, som det ses i anvendelse på Samsøfærgen *Isabella* som tankes i Hou. Derved er det muligt at etablere tankanlæg eller adgang til mobile HVO tankanlæg til de færger, der eventuelt skal benytte HVO.

HVO er i dag dyrere end konventionel diesel. Med udvikling af produktionsteknologi og omfang vil forskellen til diesel blive reduceret. Literprisen på markedet er i dag mellem 11-12 DKK jf. informationer fra de danske udbydere af HVO⁴

Fordele

De umiddelbare fordele ved HVO er:

- > Det kan anvendes i ren form eller iblandes fossil diesel i alle blandingsforhold
- > HVO opfylder normen EN 15940, den gældende norm for syntetisk diesel i Europa og kan anvendes i eksisterende færger. Det er derfor let at anvende uden modifikationer af motorer, tanke eller andet.
- > Anvendelse af HVO kan reducere brændstofforbruget svagt pga. højere energitæthed
- > Det reducerer udledningen af CO₂ med op mod 90 %, når produktionen og distributionen medtages; 10 % lavere NO_x, 30 % færre partikler afhængigt af produktionsprodukter. HVO er i sig selv fossilfrit.

Ulemper

Ulemperne handler primært om:

- > Der er ingen produktion i Danmark, p.t. findes det blandt andet i Finland
- > Transport og transportudgifter fordyrer produktet
- > Der er kun få distributører i Danmark
- > 2G HVO er dyrere end diesel
- > Ikke fuldstændig fri for lokal luftforurenende stoffer

2.3 Bio-metanol

Metanol er som drivmiddel velkendt allerede i dag. Produktionsteknologien er udviklet og metanol anvendes allerede som brændstof i nogle internationale færger. Et eksempel på en færge, som sejler på bio-metanol er Stenalines *Germanica*. Færgen sejler på bio-metanol fra papirproduktionen i Sverige.

Den metanol, der anvendes i dag, er typisk fossilt metanol produceret fra fx naturgas. Fossilt metanol har ikke de samme CO₂ fordele som bio-metanol. Bio-metanol kan fremstilles af fossilfrit biomateriale eller via PtX, og det kan derigennem fjerne CO₂ udledningerne fra færgerne. Bio-metanol har den yderligere fordel, at partikel og svovludslippet næsten undgås, idet der ikke er udledning af

⁴ Indhentet i november 2020.

disse elementer. Der er dog en lille mængde udledning af begge disse stoffer, idet pilotolien (dieselolie) som skal antænde metanolen vil indeholde lidt svovl (under 0,1 %).

Fremstillingen af bio-metanol kan ske ved brug af fx biogas eller i fremtiden via PtX, hvor kulstof opsamles fra eksempelvis luften (Carbon Capture). Selvom teknologierne til at lave bio-metanol via fx. PtX kendes, er produktionskapaciteten stadig ikke særligt veludviklet og omkostningerne ligger på et meget højt niveau (i størrelsesordenen 4-5 gange højere end marinediesel)⁵ indtil der udvikles storskala produktion. Første skridt til fremstilling af bio-metanol sker i dag via biogas.⁶ Adgangen til tilstrækkelige mængder af biomassen er dog i dag en begrænsende faktor. Hvorvidt dette vil være et problem i forhold til omstilling af færgerne i Danmark, er dog svært at vurdere og afhænger i høj grad af, hvor stor efterspørgslen er fra andre områder så som landtransport eller energiproduktion.

I dag produceres bio-metanol i Holland og Island, hvor merprisen i forhold til fossilt metanol er mellem 50 og 70 %⁷. I Danmark er Reintegrate projektet i Aalborg i gang med produktion af bio-metanol og det nyligt annoncerede bæredygtige brændstofprojekt ved København vil også producere bio-metanol baseret på PtX teknologi.⁸

Energitætheden (GJ/kg brændstof) for metanol er det halve af diesel. Det betyder en forøgelse af tankkapaciteten for brændstof (bio-metanol) samt en mindre tank til dieselolie, som motorerne skal startes op på efter samme princip som benyttes på LNG drevne skibe. Denne diesel skal endvidere benyttes pilotbrændstof til at drive forbrændingsprocessen som en dual fuel motor. Eksisterende motorer skal have nye brændstofdysker mv. Alternativt skal der installeres en helt ny motor (der findes allerede virksomheder med denne kompetence). Der skal også installeres SCR udstyr til NO_x rensning, hvilket også er fordyrende.

Der vil være nogle tekniske udfordringer ved at overgå til metanoldrift på eksisterende færger, da der skal findes ekstra tankkapacitet (op til en fordobling af eksisterende tankvolumen) på grund af den lavere energitæthed. Det vil dog også kunne være en mulighed at tanke færgerne lidt oftere og derved begrænse, hvor meget ekstra kapacitet, der i realiteten er behov for. For nye skibe kan de nævnte forhold tages med i projekteringsfasen og er teknisk relativt nemme at overkomme. De vil dog være en fordyrende faktor i forhold til ombygning af færger fra almindelig diesel-drift jf. vurderingerne af omkostningerne i afsnit 3.1.4.

⁵ Som blandt andet anført i Dansk Energi (2020) *Anbefalinger til en dansk strategi for power-to-x*.

⁶ Produktionsanlæg er bygget op eller ved at blive bygget op i Danmark med blandt andet *Reintegrate* projektet i Ålborg som et af dem, der er langt fremme.

⁷ Jf. *Metanol kan blive en genvej til en grøn transportsektor*. af Torben Skøtt, Nyhedsbrev om forskning i bioenergi, brint & brændselsceller nr. 82, maj 2019

⁸ Projekter er et samarbejde mellem Københavns Lufthavne, A.P. Møller - Mærsk, DSV Panalpina, DFDS, SAS og Ørsted.

Fordele	Nogle af de væsentligste fordele ved omstilling til bio-metanol er: > Næsten fuldstændig reduktion af CO₂ udledningerne > Næsten ingen udledninger af svovl og partikler (bortset fra en lille mængde fra den diesel, der skal benyttes til antænding af metanolen) > Kendt proces til fremstilling af bio-metanol > Anvendes allerede i enkelte skibe > Relativt lille merpris i forhold til dieselfærger ved nybygninger
Ulemper	De væsentligste ulemper er: > Der er p.t. begrænset produktionskapacitet og kun ganske lidt udbudt bio-metanol. > Storskalaproduktion af bio-metanol via PtX teknologi og dermed potentiel yderligere reduktion af prisen ligger et stykke ude i fremtiden > Tilpasning af motoren til ny teknologi ved retrofit > Større tankkapacitet pga. den lavere energitæthed i bio-metanolen > Stadig behov for mindre mængde diesel til antænding af bio-metanolen.

2.4 Andre muligheder

Foruden de ovennævnte primære drivmidler, arbejdes endvidere på en række andre drivmidler, som også anvendes eller kan finde vej til færgedrift. Disse beskrives kun kortfattet i rapporten og indgår ikke i de efterfølgende analyser af scenarier for en grøn omstilling. Dog gennemgås her også Gas to Liquid, idet det benyttes på en enkelt færgerute i dag og derfor indgår i referencen for de efterfølgende analyser.

2.4.1 Brint

Brint kan benyttes som energibærer til el-drift via brændselsceller (supplement og delvis erstatning af batterier). Brint som drivmiddelteknologi er stadig under udvikling, selvom det i dag findes i eksempler i forskellige dele af transportsektoren i blandt andet enkelte personbiler. Men det findes også i drift i primært mindre skibe, som eksempelvis små færger samt mindre turistbåde til kanalsejlads, havnerundfart og sejlads på mindre søer.

Det er særligt i Norge, der er sket udvikling, hvor blandt andet rederiet Norled og værftet Fiskerstrand har stået for bygningen af færgerne. Der er ifølge det norske Vegvesen også planer om at få hurtigfærger baseret på brint-brændselsceller i drift fra 2023. I Danmark er der igangsat et projekt via Shippinglab, hvor en brint-drevet sandsuger skal bygges på værftet i Hvide Sande og bringes i drift fra 2022. Derudover planlægger DFDS at udvikle en færge, der kan sejle på brint mellem Frederikshavn og Oslo. Endelig er der i efteråret 2020 igangsat et projekt til at undersøge, hvorvidt færger på Limfjorden kan udskiftes til brint-drift.

For en bredere anvendelse af brint, kræves udvikling af en veludbygget infrastruktur for leverance af brint til skibene. Transport af brint kræver enten en meget lav temperatur (-253 grader Celsius) eller at det holdes under højt tryk. Det stiller store krav til alle materialer, som indgår i et skibs bygning, herunder

primært tanke og rørsystemer). Disse aspekter samt udvikling af et fælles regelsæt skal undersøges og på plads inden en bredere kommerciel udbredelse, er mulig.

Der er stadig et stykke vej, før brint er et fuldt udviklet maritimt brændstofalternativ, bortset fra brugen via mindre brændselsceller (pt. i størrelsesordenen cirka 200 kW som kan drive nogle af de mindre færges). Der er således behov for en målrettet udvikling de kommende år inden brint kan introduceres i bredere kommerciel anvendelse.

På grund af den længere tidshorisont for udviklingen, er det i denne rapport valgt ikke at vurdere potentialet yderligere.

2.4.2 Ammoniak

I de seneste år er der sket en stor udvikling inden for mulig brug af ammoniak som alternativt brændstof, primært som følge af en intensiveret forsknings- og udviklingsindsats fra de førende motorbyggere (MAN Energy Solutions, Wärtsilä mfl.). Der er også et ammoniak-fremdrevet tankskib under udvikling af Samsung Heavy Industries, som formentlig vil sættes i drift inden for de kommende år. MAN Energy Solutions angiver dog, at de først i 2024 forventer at have udviklet motorer, der anvender ammoniak som drivmiddel.

Produktionen af ammoniak er i dag baseret på fossilt materiale og er derfor indtil videre ikke bæredygtigt. I takt med at fossilfri input til produktionen af ammoniak bliver udviklet i storskala produktion, herunder via PtX, vil ammoniak være et meget relevant alternativ, når CO₂ indholdet betragtes. Der er intet kulstof indeholdt i ammoniakken, hvorfor der ikke sker noget CO₂-udledning i forbindelse med forbrændingen. Ligesom for bio-metanol kræver også ammoniak et pilotbrændstof og dermed behov for supplerende tanke til dette brændstof.

Der er imidlertid en række tekniske og praktiske aspekter, der skal løses i forbindelse med brugen af ammoniak som brændstof. Ammoniak er giftig og problemet med udslip af lattergas ved brugen skal løses, da denne gasart er cirka 265 gange mere klimaskadelig end CO₂.

Udsigten til en bredere markedsanvendelse af ammoniak er derfor noget længere ude i horisonten sammenlignet med blandt andet bio-metanol, elfærges og HVO produkter.⁹

2.4.3 GTL Gas-To-Liquids

Gas-To-Liquids (herefter GTL) kan anvendes direkte i en dieselmotor uden omstilling af motoren. GTL brænder renere end råoliebaseret diesel og udleder derfor væsentligt færre skadelige stoffer og mindre røg. Det er et syntetisk flydende brændstof til dieseldrevne motorer fremstillet af naturgas i stedet for råolie. Det

⁹ Som også anført i *the Naval Architect*, oktober 2020 i artiklen "*All tomorrow's pathways: maritime's energy transition*".

er derfor også et fossilt brændstof i dag. I fremtiden kan naturgassen erstattes med biogas og GTL bliver dermed også fossiltfrit. Der udbydes dog ikke biogas baseret GTL på markedet i dag.

Naturgasbaseret GTL har marginalt lavere CO₂ emissioner sammenlignet med konventionel diesel. Ifølge Brændstofkvalitetsdirektiv 98/70/EC har GTL 1 % lavere CO₂ emissioner per MJ i forhold til diesel.

På den anden side er GTL et renere brændstof. Ifølge Shell har GTL 18 % lavere partikelemissioner og 15 % lavere NO_x emissioner.¹⁰

GTL anvendes i dag på Hammer bakke-Ørø færgerne.

¹⁰ <https://www.dccenergi.dk/gtl.aspx>

3 Beskrivelse af færageselskabernes omkostninger ved grøn omstilling af færgeruterne

De fire væsentligste omkostningskomponenter i forbindelse med den grønne omstilling af færgeruterne er:

- > investering i en ny færge eller ombygning af en eksisterende færge
- > omkostninger til landanlæg og eventuel tilslutningsafgift til elselskab
- > ændringer i udgifter til drivmidler
- > ændringer i driftsudgifter inklusive udskiftning af batterier.

Dertil vil der være omkostninger i perioden, hvor færgerne ombygges, samt ved nybyggeri i perioden hvor færgen indkøres. Dvs. sikring af driftssikkerhed i overgangsperioden. Efter introduktion af nye færger og ny teknologi vil der også være behov for oplæring af mandskab. Disse omkostninger er ikke medtaget i beregningerne nedenfor. Det er dog et vigtigt aspekt at planlægge udskiftning eller ombygning af færgerne i relation til den kontinuerte drift.

- > I de efterfølgende to afsnit gennemgås for de forskellige drivmiddelalternativer på færgerne, de forventede omkostningerne til enten nyanskaffelser eller ombygning. Dernæst gennemgås forholdene omkring driftsomkostningerne til færgerne. Disse har fokus på omkostningerne til drivmidlerne, og de tilhørende investeringsomkostninger relateret til det specifikke drivmiddel, da andre omkostninger for de forskellige typer af færger er stort set identiske.

3.1 Investering på færgerne

3.1.1 Dieselfærger

Investeringen i dieselfærgerne afhænger af færgens størrelse. Da der er forskel på mængden af nødvendige faciliteter ombord, er det i estimeringen af priserne på færger valgt at opdele de danske færger omfattet af denne undersøgelse i følgende tre størrelseskategorier opdelt efter, hvor mange biler - personbilækvivalenter (herefter PBE), der kan være på færgen.

- > Mindre end 10 personbiler (PBE)
- > 10-40 personbiler (PBE)
- > Større end 40 personbiler (PBE)

Prisen på dieselfærgerne beregnes ved regressionsanalyse af priser på konventionelle dieselfærger. Priser for konventionelle dieselfærger er tilvejebragt via den svenske ShipPax database¹¹, der administreres og udgives af det svenske firma

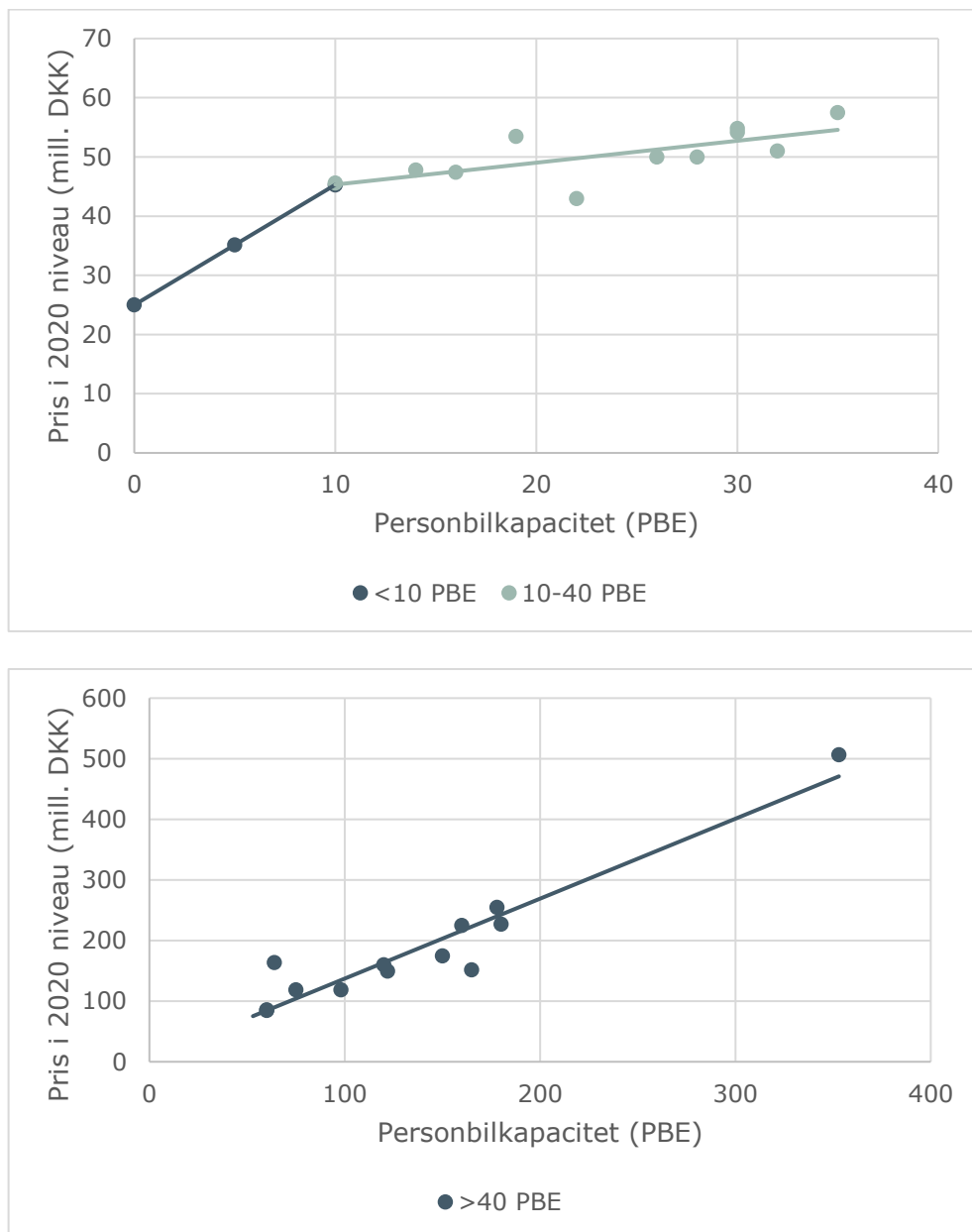
¹¹ Supplerende priser for konventionelle dieselfærger er endvidere tilvejebragt via den svenske ShipPax database, der administreres og udgives af det svenske

ShipPax Information i Halmstad. Der er anvendt priser fra perioden 2011 til 2020 (de fleste dog fra 2018 til 2020). Alle priser er blevet korrigeret til 2020 prisniveau. Priserne fra ShipPax er suppleret med konkrete færgepriser fra danske værfter og rederier. Regressionsanalysen er illustreret i figurerne nedenfor.

Som det fremgår af figurerne, stiger prisen for færger med antallet af biler, der er plads til på færgen. I segmentet 10–40 personbiler er der en svagere stigning end i de øvrige segmenter. Under 10 biler er der meget få faciliteter ombord og prisen afhænger alene af antal biler. I segmentet 10–40 er der behov for en vis minimummængde af faciliteter. Disse faciliteter kan i et vist omfang dække op til 40 biler. Derfor er priskurven her mindre stejl.

firma ShipPax Information i Halmstad. Priser fra perioden 2011 til 2020 er anvendt (de fleste dog fra 2018 til 2020). Alle priser er blevet korrigeret til 2020 prisniveau. Priserne fra ShipPax er suppleret med konkrete færgepriser fra danske værfter og rederier.

Figur 3-1 Regressionsanalyse af priser på nye dieselbåde for PBE ml. 0-10, 10-40 samt over 40 PBE. Priser fra perioden 2011-2020.



Kilde: ShipPax databases samt nogle danske færgerederier (fortrolige data)

Regressionsligninger, som også er illustreret i figurene for hver af de tre segmenter er:

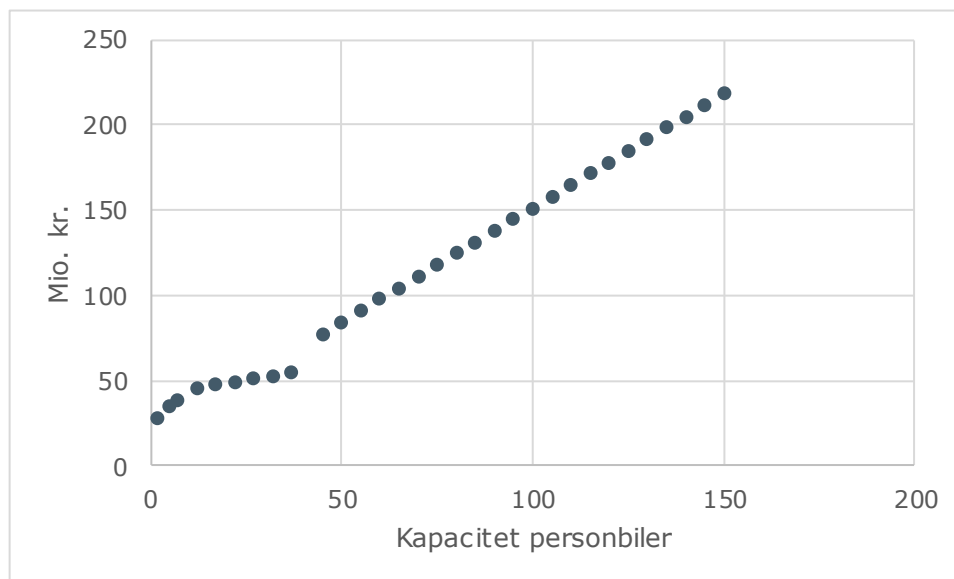
<10 PBE: $\text{Pris (mill. DKK)} = 2,03 \text{ PBE} + 25.$

10-40 PBE: $\text{Pris (mill. DKK)} = 0,38 \text{ PBE} + 41,5.$

>40 PBE: $\text{Pris (mill. DKK)} = 1,32 \text{ PBE} + 5,4.$

Den følgende figur viser de beregnede priser på nye dieselbåde. Priserne er baseret på ovenstående regressionsanalyse opdelt i de tre størrelsessegmenter.

Figur 3-2 Beregnede priser på nye dieselfærger (prisniveau 2020).



Kilde: egne beregninger

3.1.2 Elfærger

Investering i omstilling til elfærger er opdelt i fire komponenter:

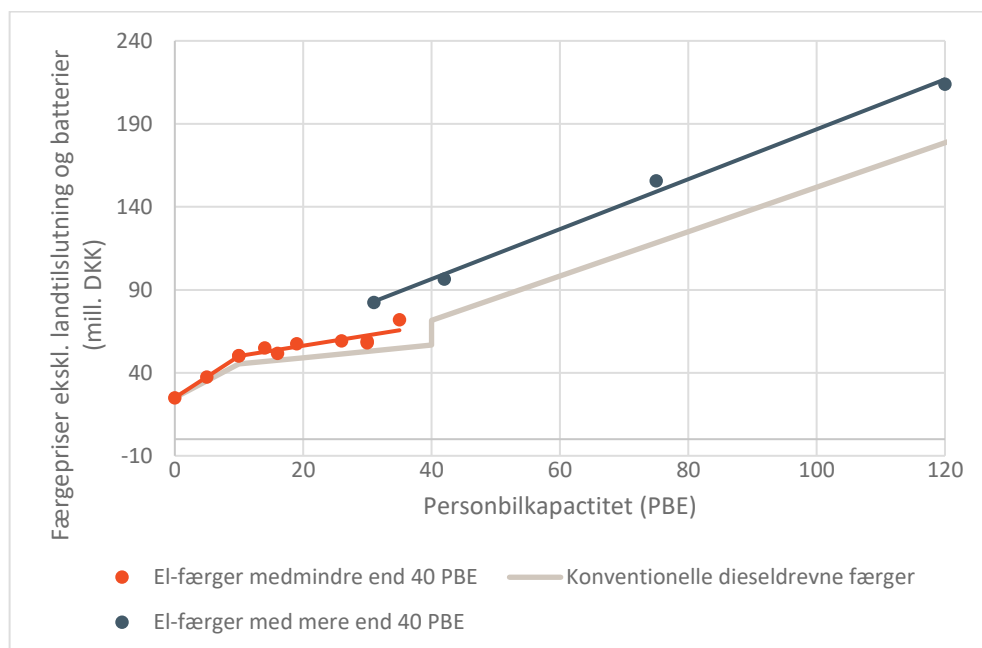
- > Færgens pris
- > Investering i landanlæg
- > Tilslutningsafgift
- > Batteripakken

Nye elfærger

Prisen på en ny elfærge afhænger ligesom dieselfærgeren af færgens kapacitet. Figuren nedenfor viser beregnede priser på elfærger sammenlignet med nye dieselfærger. Elfærgerne indeholder omfattende elektriske installationer, der betyder at de selv uden batteripakken er dyrere end konventionelle færger.

Da batterikapaciteten og dermed prisen på batteriet bestemmes af overfartstid, nødvendig fremdrivningseffekt og tid i havn beregnes denne udgiftspost særskilt.

Input til opstilling af denne sammenhæng er indhentet via kontakter til danske underleverandører af batteri- og el-udstyr samt værfter, som har stillet forskellige informationer om de enkelte omkostninger til rådighed for projektet. I tillæg hertil er konkrete priser for eksisterende elfærger i Danmark og udlandet benyttet. Regressionsanalyserne for sammenhængen mellem færgens størrelse og prisen vises i Figur 3-3.

Figur 3-3 Regressionsanalyser af priser på elfærger¹²

Kilde: ShipPax database samt oplysninger fra individuelle rederier (fortrolige data), egne beregninger.

Regressionsligninger for de tre forskellige færgestørrelser er:

$$<10 \text{ PBE: } \text{Pris (mill. DKK)} = 2,51 \text{ PBE} + 25 + \text{batteripris},$$

$$10\text{-}40 \text{ PBE: } \text{Pris (mill. DKK)} = 0,62 \text{ PBE} + 43,9 + \text{batteripris},$$

$$>40 \text{ PBE: } \text{Pris (mill. DKK)} = 1,5 \text{ PBE} + 36,3 + \text{batteripris}.$$

Figur 3-4 viser de beregnede priser på nye elfærger eksklusive batteri. Priserne er baseret på ovenstående regressionsanalyse opdelt i de tre størrelsessegmenter.

Prisen på batteriet bestemmes ud fra batterikapaciteten i kilowatt timer (kWh). Færgernes energibehov er beregnet ud fra det oplyste olieforbrug i daglig drift på den pågældende rute¹³. Den krævede batteristørrelse beregnes herefter ved at indregne tabet i færgens el-system (elmotoren samt diverse konverteringer og anden elektronik) på 10 % og det forhold, at et batteri i daglig drift i gennemsnit udnyttes op til 60 % af batteriets maksimale kapacitet.

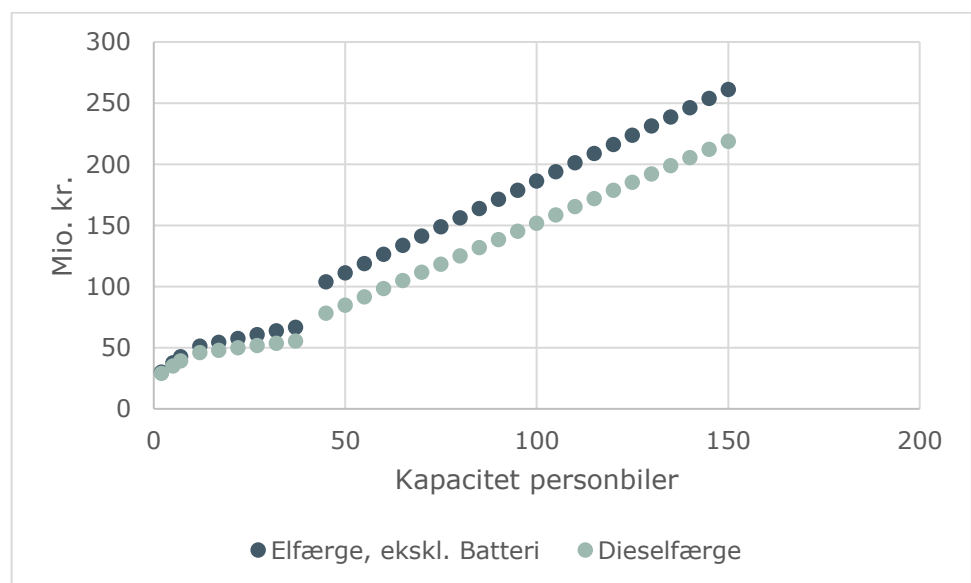
¹² En enkelt færge i datamaterialet falder udenfor de angivne kategorier. Denne færge i størrelsen 32 PBE er bygget op på samme måde som de større færger over 40 PBE.

¹³ Det er antaget at dieselfærgerne bruger 200 g brændstof for at frembringe 1 kWh energi, svarende til en udnyttelse på 42 % i dieselmotoren.

Endelig vurderes det, hvorvidt den såkaldte *C rate*, som er defineret som ladeeffekten per installeret maksimal batterikapacitet er under 3, som er den maksimale *C rate*, et batteri kan tåle. Er denne *C rate* større end 3, skal batterikapaciteten øges, således at *C raten* er under 3.

Prisen på batteripakken er herefter beregnet ved at antage en 2020 pris på 519 euro/kWh svarende til 3860 kr. per kWh¹⁴. For en færge som fx M/F Mjølner (Fur – Branden) med en kapacitet på 30 biler vil den beregnede batteripris udgøre 1,8 mio. kr., svarende til cirka 3 % af en ny elfærge. I beregningerne er det videre antaget, at prisen på batteri falder til 211 euro/kWh i 2030 og 100 euro/kWh i 2035¹⁵. Derefter er prisen antaget konstant.

Figur 3-4 Beregnede priser på nye elfærger (2020 prisniveau).



Kilde: Regressionsanalyse af konkrete priser på nye elfærger.

Ombygning af eksisterende dieselfærger

Omkostningerne til ombygning af en færge er beregnet på baggrund af blandt andet prisberegningssværktøj fra et erfarent dansk værft, der bygger nye færger og foretager ombygninger på færger. Prisen på ombygning af en eksisterende dieselfærge til en elfærge udgør gennemsnitligt 16 % af nyprisen på en elfærge, eksklusiv batterier. Prisen på batterierne fastlægges på samme måde som for de nye elfærger.

3.1.3 HVO-færger

Det er vurderet, at prisen på en HVO-færge vil være den samme som prisen på en almindelig dieselfærge.

Da dieselfærger kan sejle på HVO uden omstilling, er det antaget, at der ikke vil være større omkostninger forbundet med at omstille dieselfærger til HVO – der

¹⁴ Kilde: Rapport fra elfærgen Ellen, EFerry project full report.

¹⁵ Kilde: Rapport fra elfærgen Ellen, EFerry project full report.

kan muligvis blive behov for at kunne opvarme HVO, afhængig af typen af den pågældende HVO. Man skal under alle omstændigheder sikre sig, at HVO brændstoffet er af tilstrækkelig god kvalitet, idet det vides, at nogle færgerederier har haft dårlige erfaringer med brug af biodiesel (Fame) på grund af paraffinering ved lave temperaturer.

3.1.4 Bio-metanol-færger

Det skønnes, at en ny færge drevet med bio-metanol vil være cirka 5 % dyrere end en ren dieselfærge. Dette skøn er foretaget ved brug af det tidligere omtalte detaljerede prisberegningsværktøj, der er stillet til rådighed af et erfarent dansk værft for denne rapports analyser. Beregningsværktøjet er stillet til rådighed under en aftale om fortrolighed, hvorfor yderligere detaljer ikke kan refereres/oplyses.

Ombygning af færger til bio-metanol vil kræve:

- > større brændstoftanke
- > tilpasning af motorerne (fx udskiftning af brændstofdyser)
- > installation af pilot oliesystem hvor dieselolie¹⁶ benyttes til antændelse af metanolen efter samme princip som benyttes ved brug af LNG som hovedbrændstof.

En ombygning af en eksisterende dieselfærge vil indebære en større ekstraomkostning i forhold til den øgede pris for en ny færge. De ekstra omkostninger skyldes blandt andet, at der som ovenfor anført skal ske op til en fordobling af den eksisterende tankkapacitet for brændstof og supplement med tankkapacitet til pilotolien for antændelse af metanolen. En ombygning af de eksisterende motorer skal foretages og i værste fald skal der installeres helt nye motorer. For store skibe er det ofte ikke så vanskeligt at etablere ekstra tankkapacitet. For de relativt små færger, omfattet af denne analyse, er rummet under hoveddækket, hvor maskineri og diverse tanke og pumpe-systemer befinder sig, vil det som regel være et omfattende og komplekst ombygningsprojekt at foretage de fornødne ændringer for metanoldrift. Der foreligger ikke konkrete data til at vurdere denne ekstraomkostning. I beregningerne er det dog antaget, at omkostningen til ombygningen vil udgøre gennemsnitligt cirka 10 % af prisen på en ny dieselfærge vel vidende, at denne pris kan variere betydeligt fra færge til færge.

3.2 Infrastruktur

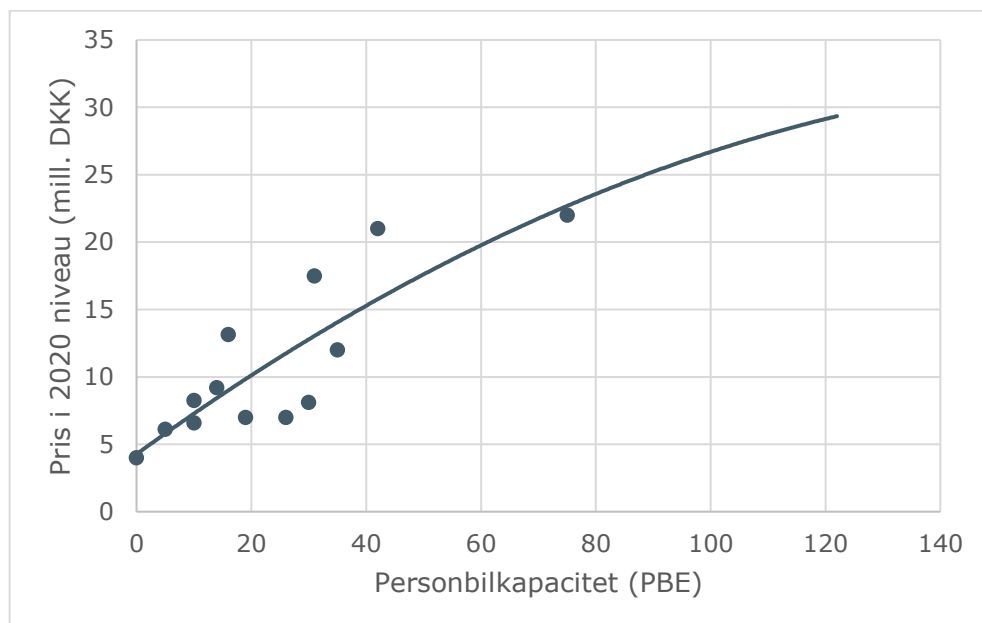
Infrastruktur som beskrevet her omfatter udgifter til landanlæg, fx landstrømsanlæg, tanke og tilslutningsafgift til elforsyningsselskabet.

Elfærger vil kræve, at der er tilstrækkelig el-kapacitet til rådighed i havnene til at imødekomme færgens behov. I de tilfælde, hvor dette ikke er tilfældet, vil der være ekstraomkostninger til ledningsarbejder for at føre tilstrækkelig kapacitet frem til havnene. Hvorvidt denne omkostning påhviler færgeselskabet eller forsyningsselskabet, vil kræve en mere detaljeret vurdering af de lokale forhold på

¹⁶ Det antages i scenarierne, at der benyttes HVO til denne antændelse

havnen. Alternativt, kan man etablere batteripakker på havnen, der oplades mens færgen er i sejlads, hvorefter strømmen overføres fra batteriet på havnen til færgen, når denne er i havn. Etablering af opladning skal i de fleste tilfælde ske i begge ender af ruterne, hvor der lokalt også kan være forskelle på, hvilke tilslutningsmuligheder og ladehastigheder, der er brug for.

Figur 3-5 Omkostninger til landanlæg i forhold til færgernes størrelse



Note: Regressionsligning: $Pris \text{ (mill. DKK)} = -0,0008509 PBE^2 + 0,31 PBE + 4,27$.

Prisen for landtilslutning for elfærger inkluderer tilslutningsafgift til det elseskab, der har ansvaret for den elektriske landinfrastruktur, i det omfang der ikke er tilstrækkelig kapacitet på havnen. Herudover er der en udgift til ladestationen (AC/DC konverter) inklusiv eventuel transformerstation. Opladning i havn skal ofte ske hurtigt, og derfor kan det være nødvendigt, at tilkoblingen af elkablerne til skibet sker automatisk. For elfærgen Ellen er det f.eks. beregnet, at to styk automatisk tilkobling koster cirka 8 mio. kr.¹⁷ Disse omkostninger er medtaget i analyserne.

Derudover kan der være behov for etablering af særskilt kabelforbindelse til en tilstrækkelig elforsyning på havneområdet, der kan levere den nødvendige spænding (ofte mindst 10.000 volt). Denne højspændingstilslutning kan ofte befinde sig i relativt lang afstand fra færgeløjet. Kabellægningen udgør cirka 500 kr. per meter kabel¹⁸. Omkostninger til etablering af stærkere forbindelse til elnettet er ikke medtaget i analyserne og afhænger af mulighederne i den enkelte havn. I de konkrete tilfælde må det undersøges, hvem der skal afholde omkostningen til etableringen af den stærkere kabelforbindelse mellem havnen og forsyningselskabet. Den tilgængelige ladetid er et forhold, der helt separat skal analyseres meget nøje i forbindelse overgang til elfærge drift på en given rute,

¹⁷ Kilde: Rapport fra elfærgen Ellen, EFerry project full report.

¹⁸ Overslagspris for kabel inklusive nedgravning oplyst af Cerius (tidl. SEAS-NVE).

da det har stor betydning for batterikapaciteten og de nødvendige installationer både på land samt på skibet. Hvis den nødvendige energimængde fra landtilslutningen skal overføres på en meget kort havnetid (inden for typisk 5 -10 minutter), vil det ofte skulle ske ved en meget høj ladeeffekt (målt i kW). Dette vil pga. kapacitetskravet have en markant indflydelse på tilslutningsafgiften, som rederiet skal betale. Har man lidt længere tid mellem hvert havneanløb, vil man som nævnt ovenfor med fordel kunne installere et landbatteri, der kan oplades, mens færgen sejler, så man populært sagt, samler energi op til næste havneanløb. Med denne løsning vil det øjeblikkelige effektbehov direkte fra elnettet, mens færgen er i havn blive reduceret og dermed også tilslutningsafgiften, da noget af den nødvendige el-energi bliver suppleret via landbatteriet. Dette skal dog holdes op mod prisen på landbatteriet og vedligehold af det. Energioverførslen fra land til skib er den samme, men ladeeffekten fra elnettet reduceres, da den resterende energi tages fra landbatteriet, der er blevet separat opladet, mens færgen sejler før næste havneanløb. Der har ikke været mulighed for at foretage de detaljerede analyser, som det ville kræve detaljeret at belyse denne løsningsmodel inden for rammerne af denne analyse.

På baggrund af indsamlede omkostninger på landanlæg fra andre projekter med elfærger har det været muligt at estimere en sammenhæng mellem færgernes størrelse og omkostningerne til landanlæg. Denne sammenhæng er illustreret i nedenstående figur.

Der understreges, at de viste omkostninger illustrerer de gennemsnitlige omkostninger. Der kan være lokale forhold som gør, at disse omkostninger er væsentligt forskellige fra de her viste.

3.2.1 HVO

HVO vil ikke kræve ny infrastruktur. Der kan muligvis være tale om en ekstra tank (eventuel udstyret med mulighed for opvarmning af HVO) for at kunne opbevare både almindelig diesel og HVO. Denne udgift vil antagelig være lille og er ikke medregnet her.

3.2.2 Bio-metanol

Bio-metanol vil antageligt kræve et nyt tankanlæg. Det skønnes dog, at udgiften til dette er begrænset i forhold til de øvrige omkostninger. I nogle tilfælde tilbyder leverandører af biobrændstoffer, at stille tankanlæg til rådighed mod sikkerhed for leverance. Denne udgift er ikke medregnet her, fordi teknologien og løsningen stadig befinder sig på begynderstadiet. Derfor vil der de kommende år kunne forventes at ske væsentlige fremskridt på området, som det ikke er muligt at spå om.

3.3 Drift

I denne analyse antages der uændrede driftsomkostninger i forbindelse med mandskab og vedligehold.¹⁹ Netop dette er et forhold, der giver anledning til mange diskussioner på nuværende tidspunkt, hvor introduktionen af rene elfærger befinder sig på begynderstadiet. Nogle parter involveret i dette arbejde hævder, at drifts- og vedligeholdelsesudgifterne vil blive lavere for en elfærge på grund af relativt færre mekaniske komponenter og dermed også mindre slid og indgriben fra besætningens side. Erfaringen viser, at der ved introduktionen af automatik/elektronik på skibe ofte opstår uventede ekstraomkostninger, som rederi og skibs- og systemleverandører slet ikke var forberedte på. Når man pt. befinder sig i dette modsætningsfyldte område, er det fundet mest rigtigt at antage uændrede omkostninger til drift og vedligehold, som følge af introduktionen af el-drift.

Der vil være omkostninger forbundet med udskiftning af batterierne. I dag regner branchen med, at et batteri skal udskiftes efter 10 år. Denne omkostning er medregnet i de løbende vedligeholdelsesomkostninger som en ekstra investering, der falder efter 10 og 20 år.

¹⁹ Der vil dog være udgifter til omskoling og uddannelse af personalet. Disse er vurderet ikke at have væsentlig indflydelse på størrelsen af omkostningerne og er derfor ikke medtaget.

Tabel 3-1 Prisen på de benyttede drivmidler ekskl. moms og afgifter. 2020-priser

	2020		2030	
	Pris/l	Pris/kWh	Pris/l	Pris/kWh
Diesel²⁰	4,30	-	4,30	-
El²¹	-	0,51	-	0,52
HVO²²	11,74	-	8,30	-
Bio-metanol²³	6,05	-	2,80	-

Kilde: angives i fodnoter i tabellen.

Note: Dieselprisen holdes konstant over analysens tidshorisont og afspejler en gennemsnitspris over en 2-årig periode (november 2018-november 2020) fra Q8's aktuelle prisliste.

I analysen er der ikke taget højde for en eventuel prisudvikling i dieselprisen. Dieselprisen benyttet i analysen er en gennemsnitspris over en 2-årig periode, hvor der har været væsentlige udsving i prisen.

Elprisen stammer fra Energistyrelsens samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger, hvor der ses en varieret elpris frem mod 2040. Efter 2040 holdes elprisen konstant, da der er usikkerhed omkring en fremtidig elpris. De samfundsøkonomiske priser på el er faktorpriser, og er således opgjort ekskl. afgifter, tilskud og moms.

²⁰ Q8's listepreiser for GoEasy Diesel (2020). https://www.q8.dk/priser/?gclid=Cj0KCQiA48j9BRC-ARIsAMQu3WSOiebVZNNjvRCynyHVDM0vvOmQ2aRHGXijD5vL22T5ys6NJu-Sbto4aApNIEALw_wcB

²¹ Energistyrelsen (2019). Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/samfundsoekonomiske_beregningsforudsætninger_for_energipriser_og_emissioner_2019.pdf

²² OK's listepreiser for HVO til erhvervskunder (2020). <https://www.ok.dk/erhverv/produkter/priser>

²³ Energistyrelsen (2014). Produktion af metanol som bio-fuel/syn-fuel til transportsektoren. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Forskning_og_udvikling/teknologivurdering_biomethanol_2014.pdf, samt Biopress (2019). Metanol kan blive en genvej til en grøn transportsektor. <http://www.biopress.dk/PDF/metanol-kan-blive-en-genvej-til-en-gron-transportsektor#:~:text=%E2%80%93%20Gr%C3%B8n%20metanol%20er%20et%20milj%C3%B8venligt%20br%C3%A6ndstof%2C%20som,en%20CO2-kilde%20og%20el%20fra%20sol%20og%20vind>

HVO-prisen er i dag ca. 11,7 kr./l²⁴. Blandt andet den svenske producent af HVO (BiofuelExpress) vurderer, at man i 2030 vil have en HVO-pris, som er cirka 3,5 kr./l højere end den nuværende diesel-pris. Derfor tager analysen højde for at HVO-prisen nedskrives i perioden 2020-2030 til den når 8,3 kr./l, hvorefter prisen holdes fast frem mod 2070. HVO-prisen reduceres fra 2020 og frem til 2030 med cirka 3,4 % årligt.

Prisen for bio-metanol antages at være 6,05 kr./l i 2020. Et studie²⁵ har kortlagt, at prisen nedskrives i perioden 2020-2030, så denne i 2030 vil være cirka 2,80 kr./l og derefter holdes konstant frem mod 2070.

Et øget udbud af blandt andet HVO, bio-metanol og ammoniak-produktionen vil styrke stordriftsfordele og øge konkurrenceevnen og derved sænke prisen. Det er vurderet, at produktionen af bio-metanol (baseret på biogas) er relativt udviklet, da bl.a. Haldor Topsøe har anlæg som er klar til opstilling, hvor der måtte være behov og efterspørgsel. Men som vist i Tabel 3-1 forventes det, at prisen bliver reduceret frem mod 2030. Bio-metanol produceres i dag med input af biogas. Den fremtidige produktion af bio-metanol vil også kunne ske ud fra PtX med input af grøn brint produceret med strøm fra vindmøller, carbon capture mv. som alle sammen forventes at have faldende omkostninger.

Der er mange usikkerheder forbundet med udviklingerne i de forskellige brændstofpriser. Der vil derfor i relevante scenarier blive foretaget en følsomhedsberegning med udgangspunkt i højere og lavere priser på drivmidlerne.

3.4 Scrapværdi

Scrapværdien udregnes som færgens værdi i år 2070. Færgens scrapværdi indgår som et positivt bidrag i den samfundsøkonomiske analyse. Færgens værdi i form af investeringen afskrives lineært over færgens levetid på 30 år. Det betyder i nogle tilfælde, at færgerne fornys mere end en gang undervejs i det 50-årige beregningsforløb. Det er restværdien af den sidste færge, der indgår. Tilsvarende når der ses på en beregningsperiode frem til 2030, hvor restværdien opgøres på dette tidspunkt.

²⁴ Baseret på opslag på danske udbyderes hjemmesider november 2020.

²⁵ Biopress (2019). Metanol kan blive en genvej til en grøn transportsektor. <http://www.biopress.dk/PDF/metanol-kan-blive-en-genvej-til-en-gron-transportsektor#:~:text=%E2%80%93%20Gr%C3%B8n%20metanol%20er%20et%20milj%C3%B8venlig%20br%C3%A6ndstof%2C%20som,en%20CO2-kilde%20og%20el%20fra%20sol%20og%20vind>

4 Klima- og miljøeffekter

Færgesektoren bidrager til de samlede danske udledninger. Udledningerne bestemmes ud fra færgernes motortype og motorernes alder. Mindre færger anvender typisk high-speed motorer (1600-2200 omdrejninger i minuttet), mens de større færger som kattegatfærgerne anvender medium-speed motorer (800-1200 omdrejninger i minuttet). Færgernes motorer udskiftes typisk med 5 – 20 års mellemrum. Det betyder, at alderen på motorerne i de eksisterende færger antageligt er op til 20 år.²⁶

De følgende delafsnit beskriver udledningerne af CO₂, NO_x, partikler og SO₂. I gennemgangen vises endvidere emissionerne fra anvendelse af GTL, da det indgår i basis-situationen, hvor to færger benytter dette.

4.1 CO₂-emissioner

Reduktioner i CO₂-emissionerne er hovedformålet med den grønne omstilling af færgerne. Den følgende tabel viser de samlede CO₂-emissioner fra indenrigsfærger i Danmark. CO₂ inkluderer øvrige klimagasser (metan og lattergas) fra el-produktion og er således beregnet som CO₂ ækvivalenter. For HVO og bio-metanol er udslippet af øvrige klimagasser meget små og ikke medregnet her.

Tabel 4-1 CO₂-emissioner fra indenrigsfærger i 2019, ton.

	Kommercielle færgeselskaber	Offentlige fær- geselskaber	I alt
1: 0 - 9 biler		4.618	4.618
2: 10 - 39 biler		20.730	20.730
3: 40+ biler	128.935	49.157	178.092
I alt	128.935	74.505	203.440

Kilde: CO₂ emissioner beregnet på baggrund af indsamlede olieforbrug fra færgeruterne.

Ifølge Energistyrelsen er CO₂ indholdet i diesel 3,16 ton CO₂ per ton diesel²⁷. GTL baseret på naturgas har en cirka 10 % lavere emission af CO₂ jf. afsnit 2.4.3.

²⁶ De konkrete udskiftninger afhænger meget af den enkelte færge. Omkostningerne til de løbende udskiftninger er ens på tværs af de forskellige drivmidler, så der tages kun hensyn til de omkostninger, der er specielle for den enkelte færge som f.eks. indkøb af nye batterier.

²⁷ <https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/pub2017dk.pdf>

CO₂-emissionerne fra de eksisterende dieselfærger beregnes på baggrund af færgernes forbrug af dieselolie.

For VE-brændstoffer såsom HVO og Bio-metanol gælder det at, den opgøres som udledningsneutral jf. FN's opgørelsesmetode, og har dermed en udledning på 0.

CO₂-emissioner fra elproduktion udgør ifølge Energistyrelsen 123 g/kWh i 2020. Denne andel er aftagende ned til 12 g/kWh om 20 år.

Tabel 4-2 Oversigt over CO₂-emissionsfaktorer fra alternative drivmidler.

Drivmiddel	gram / kWh motorkraft
El	135,3
Diesel	632,0
GTL	625,7
HVO	0
Bio-metanol	0

Note: Emission fra elproduktion per motorkraft medregner et tab i elmotoren på 10%. For dieselmotorer er det antaget, at der går 200 gram brændstof til at generere 1 kWh motor-kraft. Ifølge Energistyrelsen er CO₂-indholdet i diesel 3,16 ton CO₂ per ton diesel²⁸.

4.2 NO_x-emissioner

NO_x er sundhedsskadeligt, og der er fastsat grænseværdier for det. NO_x giver anledning til øget dødelighed og øget hyppighed af bronkitis, åndedrætsbesvær, hjerneblødninger og kredsløbsforstyrrelser, lungekræft og astma. Derudover for-suringsskader på natur og bygninger. De forskellige teknologier vil i større eller mindre omfang reducere NO_x-emissionerne og vil derfor udgøre en ekstra ge-vinst ved de nye teknologier.

Den følgende tabel viser oversigt over de anvendte NO_x-emissionsfaktorer for de forskellige drivmidler.

²⁸ <https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/pub2017dk.pdf>

Tabel 4-3 Oversigt over NO_x-emissionsfaktorer fra alternative drivmidler.

Drivmiddel	gram / kWh			
	Eksisterende færger		Nye færger	
	Mindre færge	Stor færge	Mindre færge	Stor færge
EI	0,22	0,22	0,22	0,22
Diesel	9	11	2	2,5
GTL	7,7		1,7	
HVO	8,1	9,9	1,8	2,25
Bio-metanol	3,6	4,4	0,8	1

Note: Emission fra elproduktion per motorkraft medregnet et tab i elmotoren på 10%.

4.2.1 Diesel

NO_x-emissioner er reguleret af IMO's regler i MARPOL Annex VI, idet de specifikke NO_x maksimum grænseværdier, målt i gram NO_x per kWh, dels afhænger af motorens alder og dels af motorens omdrejningstal²⁹. Motorer til de mindre indenrigsfærger er high speed motorer med et omdrejningstal på typisk 1600 – 2200 RPM. Sådanne motorer slides relativt hurtigt, så de ældste færger har derfor ofte fået udskiftet deres motorer, så deres alder ligger på omkring 5-20 år, så de enten opfylder Tier I eller Tier II kravet, hvilket betyder, at deres NO_x værdi formentlig ligger mellem 8 og 10 g/kWh, hvorfor den mest sandsynlige værdi vurderes at være 9 g/kWh.

De lidt større færger fremdrives af medium speed motorer med et omdrejningstal på 800 – 1200 RPM, hvorfor en NO_x værdi på 11 g/kWh er antaget for disse skibe.

Nye dieselfærger skal opfylde den strengere norm fra Tier III, som begrænser NO_x emissionerne betydeligt. Emissionsfaktorerne for disse færger skønnes at være 2 gram / kWh for mindre færger og 2,5 gram / kWh for de store færger.

For GTL er emissionerne en smule lavere end diesel jf. beskrivelsen i afsnit 2.4.3.

²⁹ <https://dieselnet.com/standards/inter/imo.php>

4.2.2 HVO

NO_x-emissionerne fra HVO er skønsmæssigt 10 % lavere end konventionel diesel³⁰.

4.2.3 Bio-metanol

Ombygning til bio-metanol medfører, at motorerne efter ombygning skal leve op til Tier III normen for NO_x emissioner. For at leve op til de skrappe krav i Tier III normen installeres en NO_x katalysator på motoren. Katalysatoren reducerer NO_x emissionerne med ca. 77 % på en dieseldreven motor.

Derudover udleder motorer med bio-metanol færre NO_x emissioner end dieseldrevne motorer. Ifølge "*Methanex*" reducerer metanol NO_x-emissionerne med 60 %³¹. Samlet set er det derfor antaget, at NO_x emissionerne fra en bio-metanol drevne færge er 91 %³² lavere end en Tier II dieseldreven færge (uden katalysator) og 60 % lavere end en tilsvarende ny Tier III dieselfærge med katalysator.

4.2.4 El

NO_x-emissioner fra elproduktion udgør ifølge Energistyrelsen 0,2 g/kWh i 2020. Denne andel er aftagende ned til 0,068 g/kWh om 20 år.

4.3 Partikelemissioner

Luftforurening med partikler i byområder giver også anledning til alvorlige sundhedseffekter. Det gælder både langtidseffekter som cancer og hjertekarsygdomme og akutte effekter, fx allergi eller irritation af øjne, næse eller hals. De forskellige teknologier vil, ligesom for NO_x, i større eller mindre omfang reducere partikelemissionerne og vil derfor udgøre en ekstra gevinst ved de nye teknologier.

Den følgende tabel viser oversigt over de anvendte partikelemissionsfaktorer for de forskellige drivmidler. Som det fremgår, er der ikke forskel på emissionerne på tværs af færger. Alle motorerne opfylder de forskellige emissionsnormer, der er gældende. Der foreligger ikke yderligere krav om emissionsreduktioner. Der er derfor ikke antaget yderligere reduktioner over tid.

³⁰ Baggrundsdata for analyse Skyss Norge og Q8 <https://www.q8.dk/erhverv/braendstof/hvo/>
OK <https://www.ok.dk/erhverv/produkter/braendstof/hvo-biodiesel>

³¹ <https://www.methanex.com/sites/default/files/about-methanol/MMF-web-2017.pdf>

³² $1 - (1 - 77\%) \times (1 - 60\%) = 91\%$

Tabel 4-4 Oversigt over partikelemissionsfaktorer fra alternative drivmidler.

Drivmiddel	gram / kWh			
	Eksisterende færger		Nye færger	
	Mindre færge	Stor færge	Mindre færge	Stor færge
EI	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
Diesel	0,18	0,18	0,18	0,18
GTL	0,15		0,15	
HVO	0,12	0,12	0,12	0,12
Bio-metanol	0,01	0,01	0,01	0,01

Note: Emission fra den samlede nødvendige elproduktion (målt per energienhed) idet der regnes med et internt tab på skibet mellem batterier og elmotoren på cirka 10 %.

4.3.1 Diesel

Partikelemissionerne fra færger, der sejler på svovlfattig diesel, udgør 0,18 gram per kWh motorkraft³³. Færger der anvender diesel er den mest udbredte teknologi. Det er således referencesituationen. GTL ligger lidt lavere end diesel tilsvarende emissioner af NO_x og CO₂.

4.3.2 HVO

Partikelemissionerne fra HVO er skønsmæssigt 33 % lavere end konventionel diesel³⁴ og har således en emission på 0,12 gram per kWh.

4.3.3 Bio-metanol

Ifølge "Methanex" reducerer metanol partikelemissionerne med 95 %³⁵. Det hænger blandt andet sammen med at der ikke er noget svovl i det syntetiske brændstof, som i øvrigt er meget rent.

³³ Kilde: Emissionsfaktorer leveret af DCE i forbindelse med tidligere projekt. Miljøstyrelsen (2012): Reducing Air Pollution from Ships

³⁴ <https://www.ok.dk/erhverv/produkter/brændstof/hvo-biodiese>

³⁵ <https://www.methanex.com/sites/default/files/about-methanol/MMF-web-2017.pdf>

4.3.4 El

Partikelemissioner fra elproduktion udgør ifølge energistyrelsen 0,0009 g/kWh i 2020. Denne andel er aftagende ned til 0,0002 g/kWh om 20 år.

4.4 SO₂ emissioner

Emissionerne af svovldioxid (SO₂) giver anledning til skader ad to veje. For det første direkte, idet SO₂ bidrager til skader på skov og korrosion af bygninger og materialer. For det andet sker der i atmosfæren en omdannelse af SO₂ til aerosoler. Disse aerosoler giver ved indånding anledning til samme skadevirkninger som partiklerne, idet de deponeres i de yderste lungeforgreninger. De forskellige alternative teknologier vil, i stort omfang reducere emissionerne og vil derfor også udgøre en ekstra gevinst ved de nye teknologier.

Tabel 4-5 viser oversigt over SO₂ emissionsfaktorer for de forskellige drivmidler.

Tabel 4-5 Oversigt over SO₂ emissionsfaktorer fra alternative drivmidler.

Drivmiddel	Gram / kWh			
	Eksisterende færges		Nye færges	
	Mindre færge	Stor færge	Mindre færge	Stor færge
El	0,064	0,064	0,064	0,064
Diesel	0,4	0,4	0,4	0,4
GTL	0		0	
HVO	0	0	0	0
Bio-metanol	0	0	0	0

Note: Emission fra elproduktion per motorkraft medregner et tab i elmotoren på 10 %.

4.4.1 Diesel

SO₂ emissionerne fra færges, der sejler på svovlfattig diesel, udgør ifølge TEMA2015 cirka 0,4 gram per kWh motorkraft³⁶. Da GTL produceres fra materiale, hvor der ikke indgår svovl, har det resulterende dieselprodukt ikke SO₂ emissioner.

³⁶ <https://www.trm.dk/publikationer/2015/tema-2015/>

4.4.2 HVO

SO₂ emissionerne fra HVO er antaget at være 0, da der ikke er svovl i dette brændstof.

4.4.3 Bio-metanol

SO₂ emissionerne fra bio-metanol er antaget at være, 0 da der ikke er svovl i dette brændstof.

4.4.4 El

Partikelemissioner fra elproduktion udgør ifølge energistyrelsen 0,058 g/kWh i 2020. Denne andel er aftagende ned til 0,02 g/kWh om 20 år.

5 Beskrivelse af de samfundsøkonomiske effekter ved grøn omstilling af færgeruterne

Formålet med den samfundsøkonomiske del af analysen er at værdisætte relevante effekter ved en grøn omstilling af færgesektoren med henblik på at kunne sammenholde omstillingens fordele og ulemper. For at få det bedst mulige resultat er det centralt, at alle væsentlige effekter værdisættes til et prisniveau, der gør, at værdien af alle effekter er sammenlignelige. I den samfundsøkonomiske analyse opgøres alle omkostninger til markedspriser, så de kan sammenlignes med forbrugernes betalingsvillighed.

For hvert scenarie beregnes samfundsøkonomiske analyser, som medregner de samlede omkostninger eller besparelser i forbindelse med omlægningen, reduktioner i klimapåvirkning og ændringer i luftforurening (NO_x, SO_x og partikler). I denne analyse foretages der en simpel samfundsøkonomisk vurdering af ændringen mellem baseline og det valgte scenarie. Ændringen tager udgangspunkt i de direkte omkostninger, som investering og drift, samt de afledte effekter ved sparede CO₂ og andre emissioner.

Det betyder, at analysen ikke tager højde for arbejdsudbud, skatteforvridning ved et eventuelt tilskud til omstilling og andre afledte effekter. Analysen inddrager ikke effekter af ændringer i færgedriften i forbindelse med omstillingen og ombygningen af færgerne, herunder udgifter til erstatningsfærger mm. Der vil yderligere være omkostninger ved planlægning af omlægningen og eventuelle lokale forhold, der kan blive påvirket i forbindelse med omstillingen. Disse effekter medregnes ikke. Det er med andre forudsat, at omstillingerne ikke påvirker f.eks. driftssikkerhed hverken i forbindelse med omstillingen eller bagefter.

Derfor bør læseren være opmærksom på, at disse og andre afledte effekter kan påvirke det endelige resultat. I det udviklede beregningsværktøj findes alle de relevante inputdata således, at der kan laves en samfundsøkonomisk analyse ved brug af beregningsværktøjet TERESA. De specifikke beregninger for enkelte færgeruter og for varianter af scenarierne skal udarbejdes separat i TERESA for hver enkelt analyse, og det kan derfor ikke på enkel vis indarbejdes i værktøjet. Det er derfor heller ikke medtaget i de simplificerede samfundsøkonomiske screeninger, der vises i scenarierne her.

5.1 Nettoafgiftsfaktor

Omregningen fra faktorpriser til markedspriser sker vha. nettoafgiftsfaktoren, som angiver, hvor stor en del af danskernes private forbrug, der udgøres af indirekte skatter og afgifter. Nettoafgiftsfaktoren er ifølge Finansministeriet opgjort til 1,28. Nettoafgiftsfaktoren er den værdi, som faktorpriser (dvs. priser uden moms og punktafgifter mv.) skal ganges op med for at beregne markedspriser i forbindelse med samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger. I denne analyse er både investerings- og driftsomkostningerne opgjort i faktorpriser, hvilket betyder, at disse skal omregnes til markedspriser.

5.2 Enhedsomkostninger for emissionerne

Ved at anvende de Transportøkonomiske enhedspriser for emissionerne er det muligt at beregne, hvor stor en samfundsøkonomisk gevinst, der er forbundet med reduktion af CO₂ og luftforurening.

Nedenstående tabel viser udviklingen i enhedspriser fra 2020-2070 opgjort i kr./kg.

Tabel 5-1 Udvikling i enhedspriser anvendt i analyserne, kr./kg

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2065	2070
CO₂	0,27	0,37	0,42	0,43	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
SO₂	12	13	13	14	15	15	16	17	17	18	19
NO_x	115	124	130	135	142	148	155	162	169	177	185
PM	824	886	926	968	1.013	1.059	1.107	1.158	1.211	1.266	1.324

Kilde: Transportøkonomiske enhedspriser 2020

5.3 Diskonteringsrente

Analysen tager udgangspunkt i en 50-årig tidshorizont³⁷, hvilket betyder, at de inkluderede omkostninger og gevinster skal tilbagediskonteres til dagens prisniveau. Dette betyder, at alle fremtidige værdier omregnes til de værdier, de ville svare til, hvis de var opstået i året for færgens omstilling.

Den anbefalede samfundsøkonomiske diskonteringsrente følger en faldende profil over tid.

	0-35 år	36-70 år
Real diskonteringsrente	3,5 pct.	2,5 pct.

Kilde: Finansministeriet (2017)

At diskonteringsrenten er faldende over tid, indebærer, at effekter i fremtiden tildeles en højere værdi sammenlignet med situationen med en uændret fast rentesats over hele projektperioden.

5.4 Nettonutidsværdi

Et tiltag, i dette tilfælde et scenarie, er rentabelt, hvis nettonutidsværdien er positiv. Dog skal man være opmærksom på, at en positiv nettonutidsværdi i denne analyse dækker over, at nogle færgeruter vil fremgå med en negativ cost/benefit-ratio. Derfor præsenteres alle omkostninger og gevinster på tværs af de enkelte færges i nettonutidsværdier. Nutidsværdien af en investering er derfor den

³⁷ Der er endvidere lavet beregninger for en kortere periode frem til 2030 som en supplerende vurdering for de forskellige scenarier.

nutidige værdi af en række fremtidige gevinster og udgifter, når man tager hensyn til ovenstående diskonteringsrente.

5.5 CO₂-skyggepris

For de forskellige scenarier beregnes også CO₂-skyggeprisen. Skyggeprisen angiver den samfundsøkonomiske omkostning per sparet ton CO₂. Tallet omfatter alle omkostninger og gevinster. Denne analyse præsenterer to skyggepriser – en med og en uden de samfundsøkonomiske gevinster af afledte effekter fra andre udledninger end CO₂.

6 Scenarier for den fremtidige omstilling af danske indenrigsfærger

I følgende afsnit er der opstillet seks eksempelscenarier for den grønne omstilling. Analysen har som udgangspunkt fokus på 66 danske færger. Da analysens genstandsfelt er muligheden for grøn omstilling af danske indenrigsfærger, vil elfærgen Ellen udgå helt af analysen, da denne færge allerede har været igennem en grøn omstilling. Der skelnes i scenarierne mellem kattegatfærgerne og de resterende ruter. De fire kattegatfærger indgår derfor ikke i de første fem scenarier. Afgrænsningen skyldes blandt andet, at disse færger³⁸ rent analytisk har en størrelse og forbrug, som vil overskygge de resterende færgeruters cost/benefit-ratio og derved vil det samlede resultat muligvis ikke præsentere et retvisende resultat for de mindre færger. Disse fire færger analyseres derfor selvstændigt i et sjette scenarie.

For hvert scenarie er beregnet samfundsøkonomiske effekter, som medregner de samlede omkostninger eller besparelser i forbindelse med omlægningen, reduktioner i klimapåvirkning og ændringer i luftforurening (NO_x, SO_x og partikler).

Scenarierne er udarbejdet i samarbejde med projektets arbejdsgruppe og skal ses som illustrative eksempler på de muligheder, der er for en grøn omstilling. De er derfor blot en præsentation af, hvordan værktøjet kan fungere i praksis, og hvilke effekter der kan opstå af at vælge forskellige tekniske løsninger, udskyde nyanskaffelser eller retrofytte færgerne. Scenarierne afspejler derfor ikke det fulde billede af mulige valg for, hvordan omstillingen kan eller skal ske og vurderer ikke konkrete forhold på de enkelte færger og havne bortset fra steder, hvor overfarten kræver så stort et energiforbrug, at det ikke vil være muligt at genoplade færgerne, selv med meget kraftige forbindelser.

Alle scenarier sammenlignes med en baseline-beregning, hvor de inkluderede færger fortsætter med at sejle på konventionel diesel. Færger, der i år 0 er over 30 år, udskiftes til en ny dieselfærge med det samme. Færger, der er yngre udskiftes løbende i takt med at de bliver 30 år. Levetiden for færger antages samtidig at være 30 år. Marinedieselmotorer produceret efter 2015 skal reducere NO_x emissionerne betydeligt for at overholde Tier III normen fastsat af IMO. Dette betyder at udledningen af NO_x reduceres kraftigt på nye færger fra 2016. Udledningen af CO₂, SO₂ og partikler holdes konstant igennem analysens tidshorisont.

Indtil en færge omstilles til et alternativt drivmiddel, antages det, at baseline-beregningen for den pågældende færge er gældende. Det betyder, at færgen fortsat sejler på diesel (eller GTL for de færger, der i dag benytter dette) frem mod omstillingsåret. I praksis kan man naturligvis vælge at benytte fx HVO i perioden frem til udskiftningen, men for ikke at blande forskellige effekter sammen i illustrationerne af de forskellige scenarier, er det ikke valgt at lægge det ind i

³⁸ H/F Express 2, H/F Express 3, H/F Express 4 og HSC MAX

scenarierne. I stedet viser scenarie 4 konsekvenserne af omstilling til HVO for alle færgerne.

Forbehold

Der er ikke taget specifikt hensyn til eventuelle tekniske udfordringer ved omstilling af de enkelte ruter til el-drift. Fx, om det er muligt at oplade batteriet tilstrækkeligt på den tid, som færgen er i havn, imellem sejladserne i dagtimerne. Denne vurdering ligger uden for rapportens genstandsfelt og skal foretages efterfølgende ved at se på de enkelte færgeruter, da dette er afgørende for om de enkelte beregninger og scenarier er meningsfulde. Nedenstående faktaboks (Tabel 6-1) præsenterer hvilke elementer, som indgår i analysen, og de aspekter som skal vurderes for hver enkelt færgerute.

Tabel 6-1 Aspekter, der omfattes af scenarieberegningerne

Elementer, der er taget hensyn til i beregningerne	Aspekter uden for beregninger, der skal overvejes for de konkrete ruter
- Investeringsomkostninger - Tilslutningsafgifter og infrastrukturomkostninger - Driftsomkostninger for drivmidlerne eksklusive eventuelle ændrede udgifter til løbende vedligehold - Totale udledninger for CO₂, SO₂, NO_x, og partikler	- Vurdering af kapacitet for elforsyning på havnen har betydning for evt. meromkostninger til yderligere kapacitet - Vurdere potentiale for batterilager på havnen i stedet for at øge strømkapaciteten - Forhold mellem ladetid og opholdstiden i havnen. Der tages i prisberegningerne hensyn til behov for større ladekapacitet og batteristørrelser, men teknologien sætter grænser. Der er i scenarierne sat en grænse ved 60 minutters overfartstid som fast øvre grænse - Tidspunktet for evt. udskiftning eller retrofit af færge til nye drivmidler afhænger også af andre forhold end grøn omstilling – f.eks. behov for mere/mindre kapacitet mv. - Påvirkning af driften på ruterne under ombygning eller omstilling samt ved indkøring af de nye teknologier

6.1 Scenarie 1: Hurtig omstilling til elfærger

I scenarie 1 ønskes en hurtig omstilling fra dieselfærger til elfærger, hvor dette er vurderet teknisk muligt. Det betyder, at færger med en overfartstid på 60 minutter eller derover ikke inkluderes i scenariet.³⁹ Dog præsenteres en supplerende scenarieberegning af, hvordan samfundsøkonomien vil se ud, når færgerne med en overfartstid på over 60 min. i stedet overgår til HVO som drivmiddel. I tillæg er inkluderet en opgørelse for en beregningsperiode frem til 2030. Afslutningsvis præsenteres følsomhedsberegninger af, hvordan scenariets resultater bliver, hvis der skrues på prisen for investeringsomkostninger med +/- 25

³⁹ Som nævnt i indledningen til kapitlet, skal der konkret ses på hver enkelt rute for eventuelle forhold, der kan forhindre et skifte til el-drift.

%, samt en prisregulering af el med +/- 25 % og endelig en alternativ opgørelse med en højere CO₂ pris på 1.920 kr./ton (opgjort i markedspris).

6.1.1 Antagelser og afgrænsning

I scenariet retrofittes nyere færger (yngre end 20 år) til elfærger, mens færger ældre end 20 år udskiftes til nye elfærger. For alle færger indfases de over en periode på 5 år, for ikke at placere alle investeringerne i det samme år. Jo ældre færgen er, dets hurtigere indfases den. Det er ikke vurderet, om det teknisk er muligt at gennemføre udskiftningen over 5 år.

Der arbejdes i scenariet med fire forskellige investeringsomkostninger. I året, hvor færgen enten retrofittes eller udskiftes til en ny færge, er der en yderligere startinvestering til landtilslutning, batteri og landtilslutningsafgift. De elfærger, som retrofittes, får forlænget deres resterende levetid med 10 ekstra år, før de udskiftes til en ny elfærge. Nye elfærger har en levetid på 30 år. Hvert 10. år antages batteriet at skulle udskiftes. Prisen for en ny færge er holdt konstant over hele perioden, hvorimod prisen for at nyt batteri er faldende frem mod 2030, jf. forudsætninger i afsnit 3.1. Man kan ikke med sikkerhed validere prisudviklingen fra 2030 og frem mod 2070 og der er derfor ikke indlagt yderligere prisreduktioner i scenarieberegningen.

De fire kattegatfærger⁴⁰ indgår ikke i dette scenarie, da deres energibehov gør det teknisk umuligt at konvertere dem til elfærger. I dette scenarie er det teknisk muligt at lave en omstilling til el af 44 færger. De resterende 17 færger vil i en supplerende beregning overgå til HVO over en 5-årig periode, idet dette ikke antages at medføre nævneværdige behov for anlægsinvesteringer eller ombygninger på færgerne.

6.1.2 Resultater

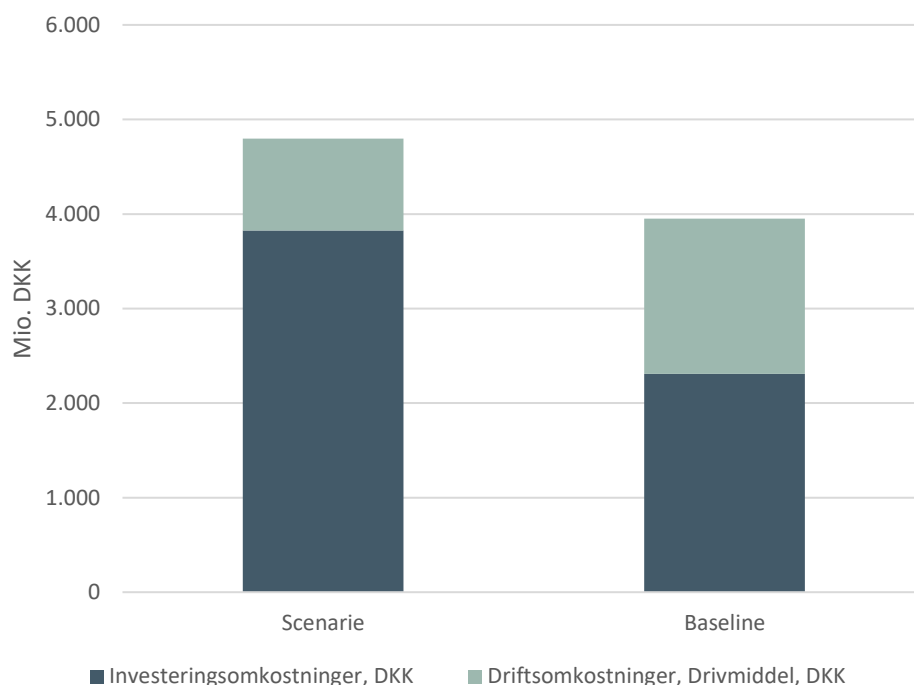
Ved en hurtig omstilling til elfærger menes der en udskiftning eller retrofit af alle færger, hvor det er teknisk muligt, inden for en 5-årig periode fra startåret. Omkostningerne forbundet med investeringer til landtilslutning og nye elfærger er samlet set væsentligt højere end den løbende udskiftning til nye dieselfærger. Dog forventes det, at de samlede driftsomkostninger i forbindelse med el reduceres med knap 40 %, da prisen for diesel er højere end for el. De samlede drifts- og investeringsomkostninger forventes i scenariet at være omkring 845 mio. kr., opgjort i nettonutidsværdi, højere end i baseline frem mod 2070. Dette fremgår af Figur 6-1.

Omkostningerne til diesel er i beregningerne antaget at være konstant over hele perioden, hvorimod prisen på batterier og for el varierer over perioden. Ved en faldende pris for el eller lavere investeringsomkostninger, fx til nye batterier, vil den økonomiske gevinst ved omstilling til elfærger være endnu større. På trods

⁴⁰ H/F Express 2, H/F Express 3, H/F Express 4 og HSC MAX

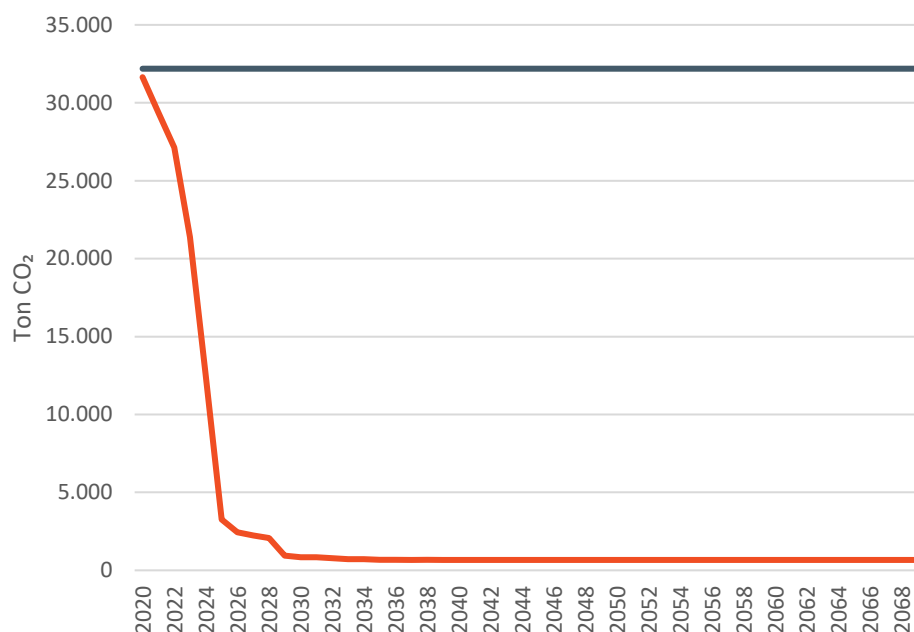
af antagelsen om, at batteripakken udskiftes hvert 10. år, er der tale om en mindre omkostning i den samlede totaludgift.

Figur 6-1 Drifts- og investeringsomkostninger for scenarie 1 og baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Nedenstående Figur 6-2 præsenterer den årlige CO₂-udledningen for de 44 færger som er inkluderet i scenarie 1. CO₂-udledningen er opdelt i en baseline-linje, hvor de 44 færger fortsat sejler på diesel og en scenarie-linje, hvor samme færger omstilles til el inden for ovenstående antagelser.

Figur 6-2 Årlig CO₂-udledning for scenarie 1 og baseline, ton frem mod 2070

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Nedenstående Tabel 6-2 viser den samlede forventede emissionsudledning i 2020, 2030 og 2050 for de 44 færgeruter inkluderet i scenarie 1. I dette scenarie vil opnå en CO₂-reduktion på cirka 30.800 tons i 2030 (svarende til en reduktion på op til 95 %). I 2050 vil CO₂-reduktionen være knap 31.000 tons (svarende til over 95 %).

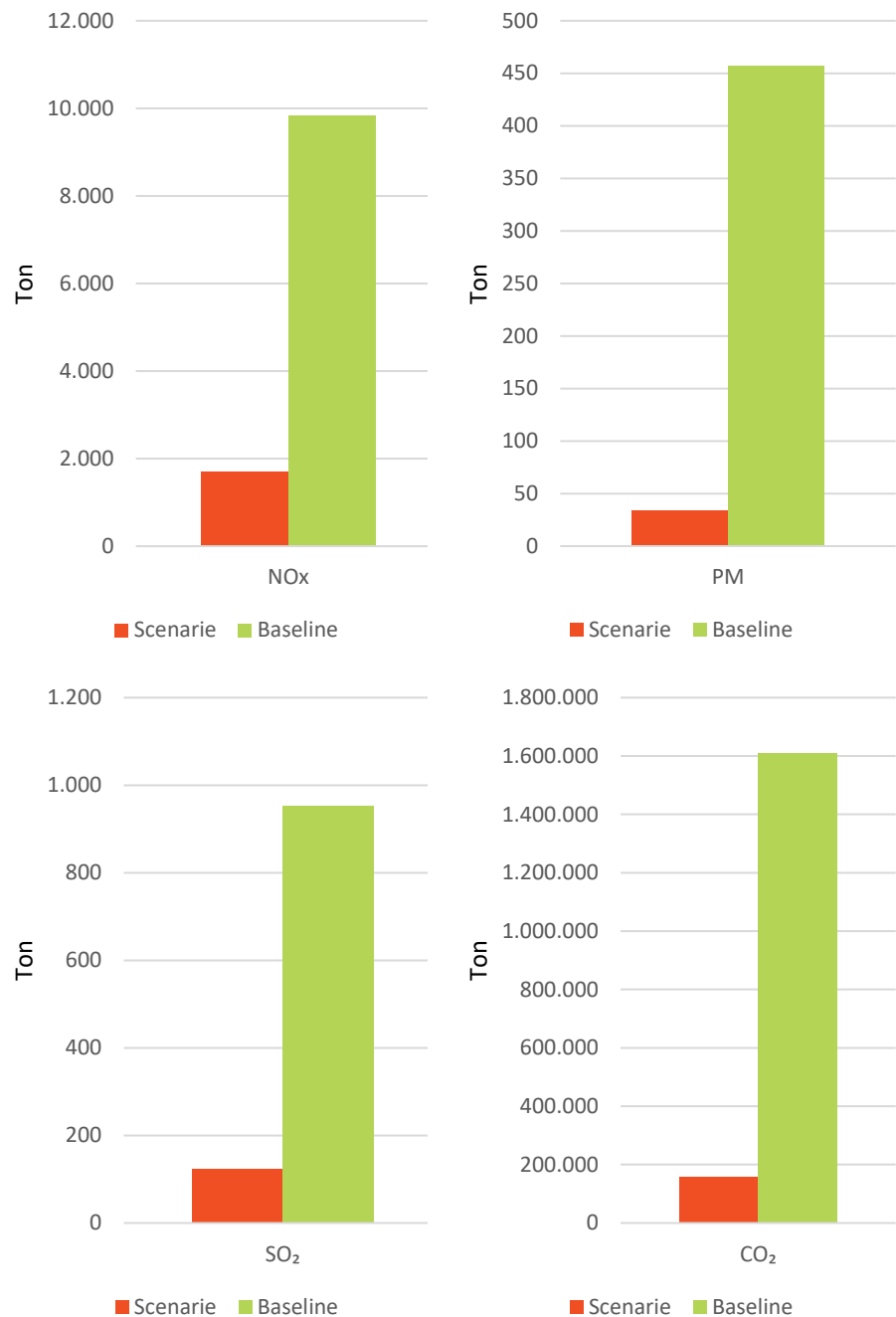
Tabel 6-2 Samlet emissionsudledning i scenarie 1 i 2020, 2030 og 2050, tons

	2020	2030	2050
NO _x -udledning, ton	405	5	5
Partikel-udledning, ton	10	0	0
SO ₂ -udledning, ton	20	1	1
CO ₂ -udledning, ton	31.640	840	670

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Figur 6-3 viser den forventede emissionsudledning i henholdsvis scenariet og for baseline. Udledningen af samtlige emissioner forventes at falde kraftigt ved hurtigt at overgå fra diesel til el som drivmiddel. CO₂-emissionerne forventes alene at falde med over 95 % samlet for perioden.

Figur 6-3 Akkumulerede emissionsudledninger for scenarie 1 og baseline, ton, frem mod 2070

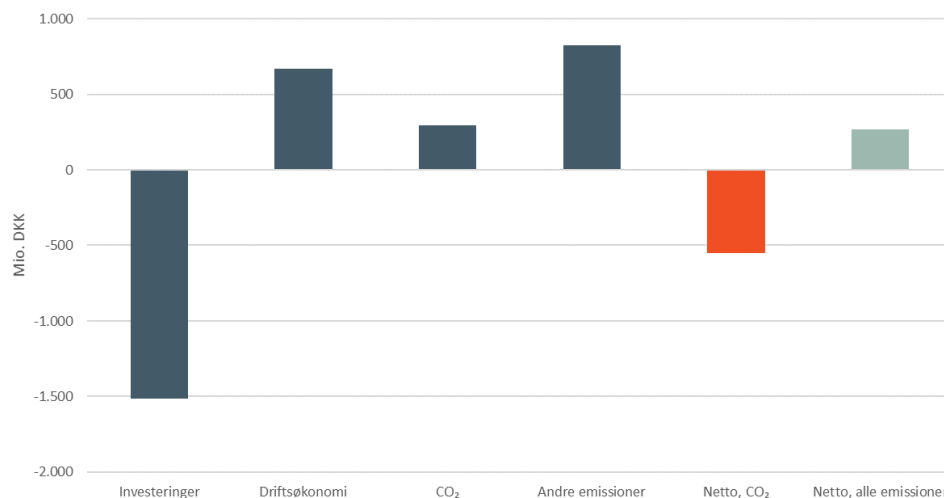


Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Note: Figuren tager udgangspunkt i de involverede færgeruter i scenariet.

Når emissionsudledningerne omregnes til enhedspriser, er det muligt at beregne de samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger ved scenariet. Den samfundsøkonomiske nettogevinst, når alle fire emissioner medtages, ligger i dette scenarie på omkring 270 mio. kr. frem mod 2070. Medtages der kun CO₂ gevinsten er resultatet cirka -555 mio. kr. Ud over en relativt stor reduktion i emissioner skal den samfundsøkonomiske besparelse findes i driftsomkostninger.

Figur 6-4 Samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger ved scenarie 1 i forhold til baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

En hurtig udskiftning af de eksisterende færger, enten ved retrofit eller ved at udskifte til nye færger vil således have en samfundsøkonomisk gevinst.

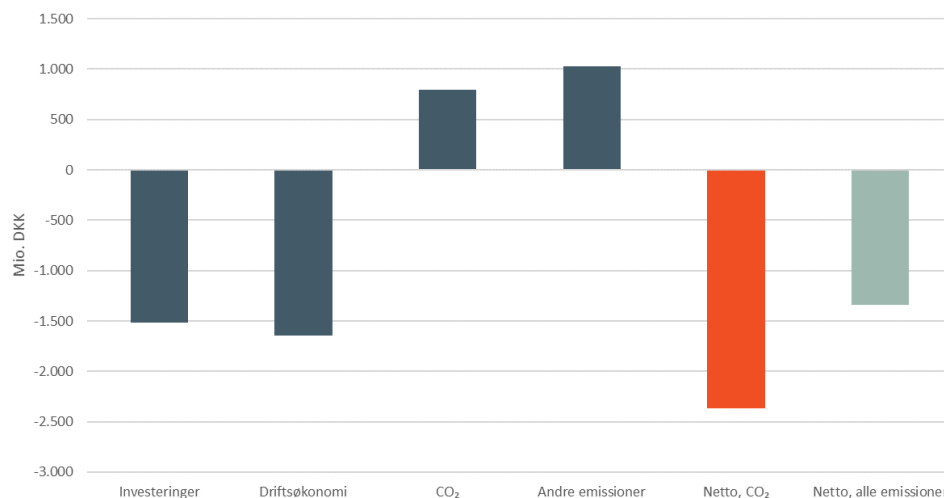
CO₂ skyggeprisen beregnes både med og uden andre emissioner end CO₂. CO₂ skyggeprisen uden andre emissioner ligger på omkring 1.295 kr. per ton CO₂, hvorimod CO₂ skyggeprisen inklusiv andre emissioner ligger på omkring 35 kr. per ton CO₂. En negativ skyggepris betyder, at der er en samfundsøkonomisk gevinst i at nedbringe CO₂ på denne måde. Der opnås CO₂ reduktioner og økonomiske gevinster på samme tid.

Dog vil færgesektoren i et rent finansielt perspektiv stå over for en omkostning. Analysen og Figur 6-30, som findes i Bilag A viser, at 2 ud af de 44 færger har en ren finansiell nettogevinst ved at omstille fra diesel til el, da de sparede brændstofomkostninger vil kunne finansiere omstilling af færgen. En større del af færgerne vil have en finansiell omkostning ved den grønne omlægning. Samlet set er der et finansieringsbehov på knap 875 mio. kr. udover den besparelse, der kan opnås på selve driften. De finansielle underskud vil i større eller mindre omfang blive opvejet af de samfundsøkonomiske gevinster ved reduktion af emissioner og luftforurening. Disse gevinster kommer dog ikke færgeselskabet til gavn.

Supplerende scenarieberegning med omstilling til HVO for resterende færger

De resterende 17 færger, som ikke kan omstilles til el, kan derimod omstilles til HVO (eller bio-metanol) over samme tidshorisont. Det vil dog ændre det samlede samfundsøkonomiske resultat i negativ retning. Nedenfor illustreres effekten af en omstilling til HVO for disse færger for det samlede resultat.

Figur 6-5 Samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger ved scenarie 1 inkl. HVO i forhold til baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Ved at omstille de resterende 17 færger til HVO vil den samfundsøkonomiske nettogevinst være -2.370 mio. kr. frem mod 2070 uden inddragelse af miljø- og klimaeffekterne. Ved inddragelse af de afledte effekter vil nettogevinst være -1.340 mio. kr. frem mod 2070. Dette resultat skyldes primært de højere brændstofudgifter til HVO.

CO₂ skyggeprisen uden andre emissioner ligger på omkring 1.800 kr. per ton CO₂, hvorimod CO₂ skyggeprisen inklusiv andre emissioner ligger på 1.215 kr. per ton CO₂.

Supplerende beregning for perioden frem til 2030

Hvis man ser på perioden frem til 2030 og gennemfører en samfundsøkonomisk analyse for det oprindelige scenarie, hvor der sker en hurtig omstilling til elfærger viser nedenstående Tabel 6-3 en skyggepris inklusive andre emissioner på 6.660 kr. per ton CO₂. Tilsvarende opnås en skyggepris på 8.390 kr. per ton CO₂, hvis andre emissioner ikke medtages. CO₂ reduktionen i hele perioden fra 2020 til 2030 er på 220.190 tons.

Tabel 6-3 Nøgletal for 2030 i scenarie 1

	2030
NNV, inkl. alle emissioner	-1.100
Samlet CO₂-reduktion, tons	31.350
Skyggepris inkl. afledte effekter	6.660
Skyggepris ekskl. afledte effekter	8.390

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Supplerende følsomhedsanalyse

Afslutningsvis præsenteres der en følsomhedsberegning af, hvordan det oprindelige scenarieres resultater bliver, hvis der skrues på prisen for investeringsomkostninger med +/- 25 %. Da der allerede er indlagt en forudsætning ind om fallende batteripriser frem mod 2030 betyder investeringsomkostningen i denne sammenhæng være færgens pris, samt tilslutningsudgift. Samtidig foretages der en følsomhedsberegning på en prisregulering af el med +/- 25 % og endelig en alternativ opgørelse med en højere CO₂ pris på 1.920 kr./ton (opgjort i markedspris).

Tabel 6-4 Resultatoversigt over følsomhedsberegninger. Mio. kr.

	Scenarie 1	Scenarie 1 frem til 2030	+25 % på investeringsomkostningerne	-25 % på investeringsomkostningerne	+25 % på el-prisen	-25 % på el-prisen	Ændring af CO ₂ -pris
NNV, inkl. alle emissioner	270	-1.100	118	420	85	455	1.230
Investeringsomkostninger	3.825	2.920	3.975	3.675	3.825	3.825	3.825
Driftsøkonomi	970	440	970	970	1.155	785	970

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Note: Investerings- og driftsomkostningerne er opgjort nettonutidsværdi for scenariet.

6.2 Scenarie 2: Udskiftning til elfærger i takt med almindelig omstillingstakt

I scenarie 2 ønskes en løbende udskiftning af diesel-færger til elfærger i takt med almindelig omstilling, når færgerne fylder 30 år.

6.2.1 Antagelser og afgrænsning

De færger, som i år 0 er 30 år eller ældre, udskiftes til elfærger i startåret. De resterende færger, som er yngre end 30 år sejler deres levetid ud og udskiftes derefter til nye elfærger, når de runder 30 år.

Samme antagelser om investeringsomkostninger og levetid på færger og batterier, som beskrevet i scenarie 1, er gældende i dette scenarie.

De fire kattegatfærger⁴¹ indgår ikke i dette scenarie, da deres energibehov gør det teknisk umuligt at konvertere til elfærger. Som nævnt indledningsvis er det ikke muligt at omstille færger med en overfartstid på over 60 minutter til el.⁴² Disse færger vil derfor ikke indgå i første del af scenariet, hvor der tages udgangspunkt i en løbende omstilling til el. I dette scenarie er det muligt at lave en omstilling til el af 44 færger. De resterende 17 færger vil i en efterfølgende supplerende scenarieberegning overgå til HVO efter samme princip, som der udskiftes til elfærger.

6.2.2 Resultater

Ved at udskifte dieselfærgerne til elfærger i takt med, at de har været i drift i 30 år, udskiftes over halvdelen af færgerne inden for de første 10 år frem mod 2030.

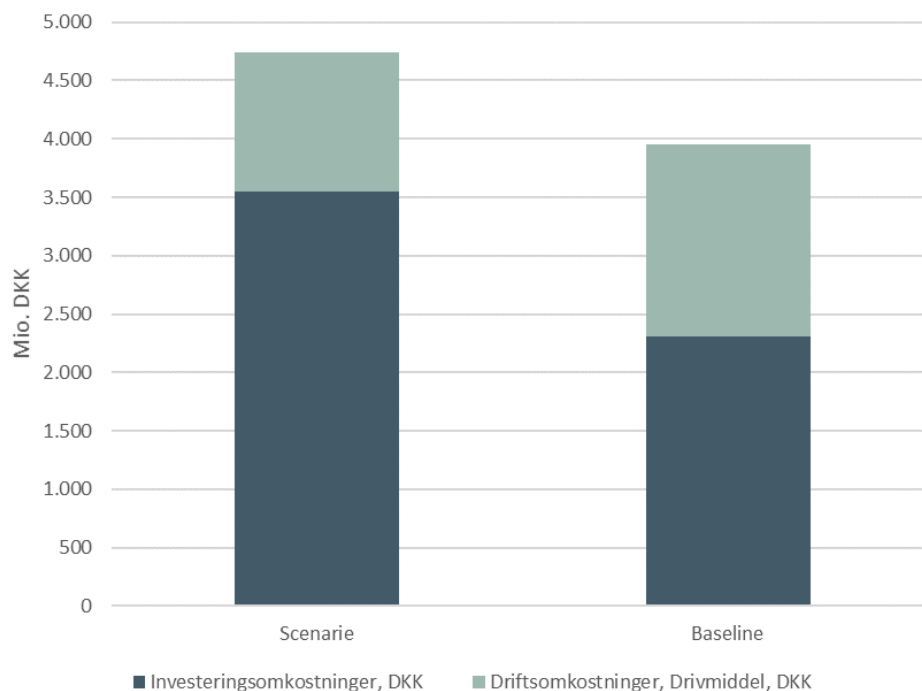
Den længere periode, hvor der fortsat bruges diesel som drivmiddel, betyder, at driftsomkostningerne ikke mindskes i lige så høj grad, som det var tilfældet i scenarie 1. Samtidig kommer der færre investeringsomkostninger, da der i tidsperioden ikke i samme omfang skal udskiftes mange nye færger. Det betyder, at de samlede investerings- og driftsomkostninger i dette scenarie er omkring 795 mio. kr. højere end i baseline frem mod 2070 opgjort i nettonutidsværdi.

Igen, er omkostningerne til nye elfærger antaget at være konstante over hele perioden. Samtidig er der antaget en faldende pris på batterierne frem mod 2030. Det forventes, at ved faldende investeringspriser vil der kunne opnås en yderligere økonomisk besparelse ved omlægningen.

⁴¹ H/F Express 2, H/F Express 3, H/F Express 4 og HSC MAX

⁴² Det skal endvidere vurderes i det konkrete tilfælde om der er andre tekniske begrænsninger for de enkelte færgeruter og havne som kan forhindre en elektrificering.

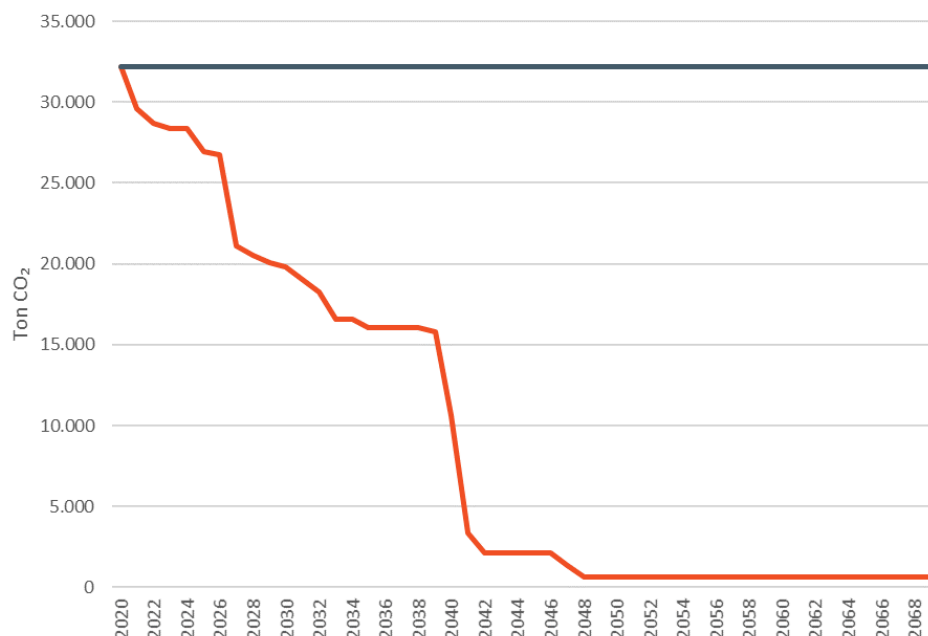
Figur 6-6 Drifts- og investeringsomkostninger for scenarie 2 og baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Nedenstående Figur 6-7 præsenterer CO₂-udledningen for de 44 færger som er inkluderet i scenarie 2. CO₂-udledningen er opdelt i en baseline-linje, hvor de 44 færger fortsat sejler på diesel og en scenarie-linje, hvor samme færger omstilles til el inden for ovenstående antagelser.

Figur 6-7 Årlig CO₂-udledning for scenarie 2 og baseline, ton frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Nedenstående Tabel 6-5 viser den årlige forventede emissionsudledning i 2020, 2030 og 2050 for de 44 færgeruter inkluderet i scenarie 2. I dette scenarie vil man opnå en CO₂-reduktion på cirka 12.355 tons i 2030 (cirka 40 % reduktion). I 2050 vil CO₂-reduktionen være knap 31.400 tons (mere end 95 %).

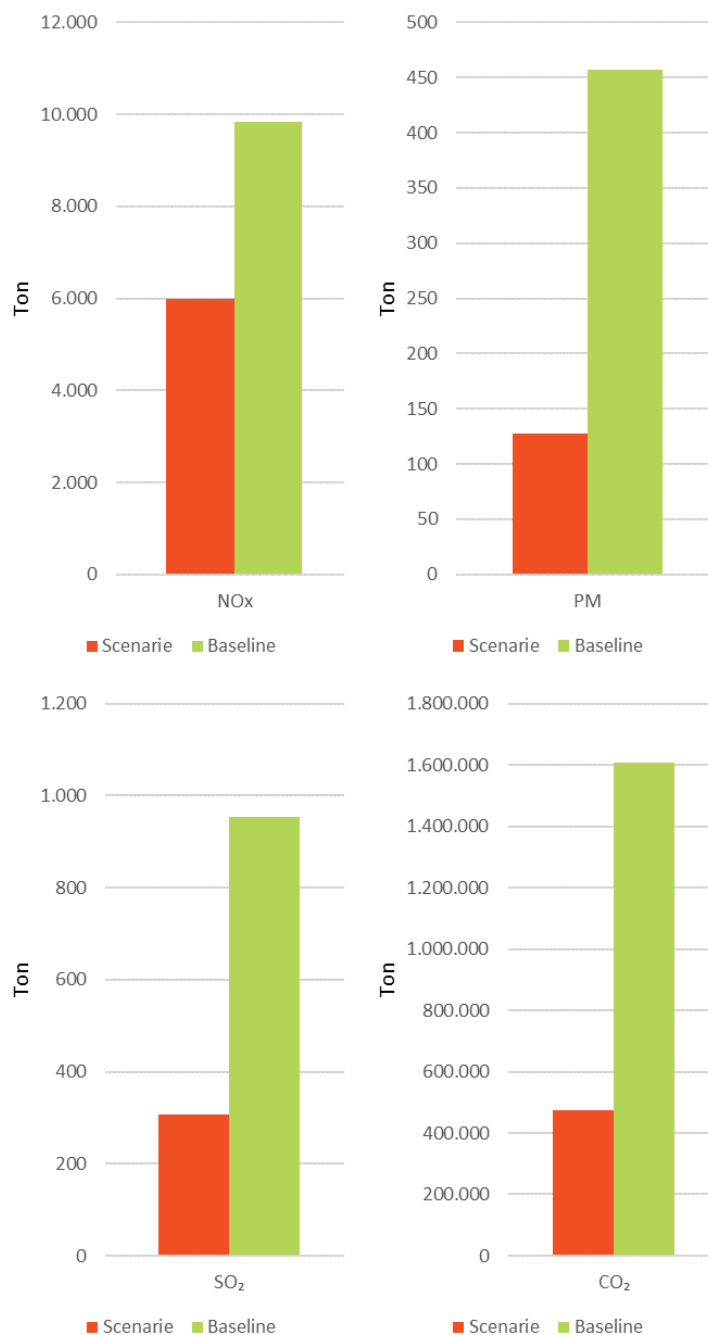
Tabel 6-5 Samlet emissionsudledning i scenarie 2 i 2020, 2030 og 2050, tons

	2020	2030	2050
NO_x-udledning, ton	410	260	5
Partikel-udledning, ton	10	5	0
SO₂-udledning, ton	20	10	1
CO₂-udledning, ton	32.190	19.835	665

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

I dette scenarie mindskes CO₂-udledning med omkring 70 % over hele perioden i forhold til baseline. Da flere færger sejler på diesel i en længere periode, inden de omstilles sammenlignet med første scenarie, vil den samlede reduktion være mindre. Dette fremgår af Figur 6-8.

Figur 6-8 Akkumulerede emissionsudledninger for scenarie 2 og baseline, ton, frem mod 2070

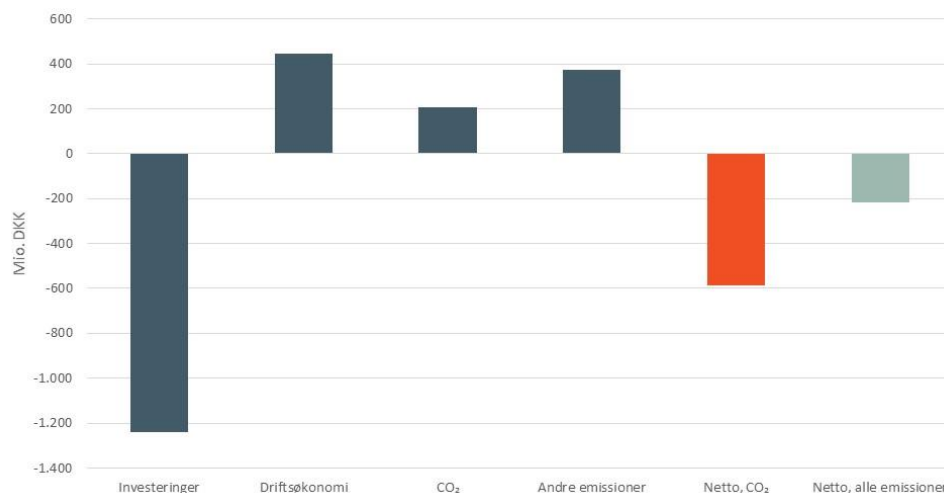


Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Note: Figuren tager udgangspunkt i de involverede færgeruter i scenariet.

Den samlede samfundsøkonomiske nettogevinst, når alle emissioner medregnes, er cirka -215 mio. kr. frem mod 2070 og cirka -590 mio. kr., når kun gevinster ved CO₂-reduktionen medtages.

Figur 6-9 Samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger ved scenarie 2 i forhold til baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Den løbende udskiftning af færgerne i dette scenarie vil resultere i et samlet samfundsøkonomisk tab inklusiv alle emissioner for de færger, hvor det er teknisk muligt at overgå til elfærger.

CO₂ skyggeprisen beregnes både med og uden effekter på andre emissioner end CO₂. CO₂ skyggeprisen uden andre emissioner ligger på omkring 1.810 kr. per ton CO₂, hvorimod CO₂ skyggeprisen inklusiv andre emissioner ligger på 965 kr. per ton CO₂.

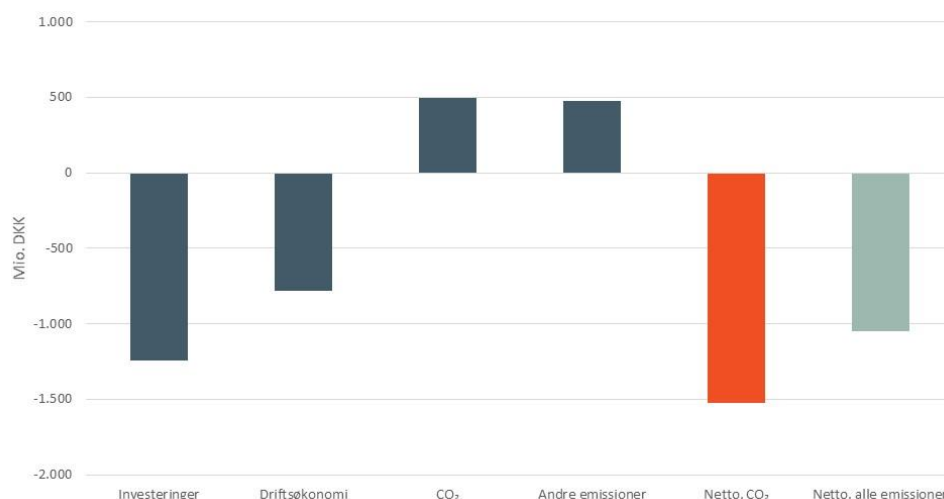
Analysen og Figur 6-31, som findes i Bilag A viser ydermere, at én af de 44 færger har en ren finansiell nettogevinst ved at omstille fra diesel til el. Det betyder, at alle færger i et rent finansielt perspektiv vil have en negativ værdi ved omstillingen. Samlet set er der et finansieringsbehov på knap 795 mio. kr. når eventuelle besparelser på driften tages med i beregningen. Set i et bredere samfundsøkonomisk perspektiv, vil de muligvis have en positiv nettogevinst.

I modsætning til scenarie 1 udskiftes de 44 dieselfærgerne løbende til nye elfærger i takt med at de runder 30 år. Dette fører til en større udgift for de yngre færger, som i scenarie 1 blev retrofittet i stedet for udskiftet. Det er grunden til, at scenarie 2 ikke har færgeruter med en ren finansiell nettogevinst.

Supplerende scenarieberegning med omstilling til HVO for resterende færger

De resterende 17 færger, som ikke kan omstilles til el kan derimod omstilles til HVO⁴³ over samme tidshorisont. Dette vil dog ændre det samlede samfundsøkonomiske resultat i negativ retning.

Figur 6-10 Samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger ved scenarie 2 inkl. HVO-færger i forhold til baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Ved at omstille de resterende 17 færger til HVO vil den samfundsøkonomiske tab være på -1.525 mio. kr. frem mod 2070 uden inddragelse af miljø- og klimaeffekterne. Ved inddragelse af de afledte effekter vil tabet være 1.050 mio. kr. frem mod 2070. Dette resultat skyldes primært de højere brændstofudgifter til HVO.

CO₂ skyggeprisen genberegnes både med og uden afledte effekter. CO₂ skyggeprisen uden afledte effekter ligger på omkring 1.925 kr. per ton CO₂, hvorimod CO₂ skyggeprisen inklusiv afledte effekter ligger på 1.470 kr. per ton CO₂. Når der er en positiv skyggepris, betyder det, at der er en samfundsøkonomisk omkostning ved at nedbringe CO₂ på denne måde.

Supplerende beregning for perioden frem til 2030

Hvis man ser på perioden frem til 2030 og gennemfører en samfundsøkonomisk analyse for det oprindelige scenarie, hvor der sker en løbende udskiftning af dieselfærger til elfærger, viser nedenstående Tabel 6-6 en skyggepris inklusive andre emissioner på 13.265 kr. per ton CO₂. Tilsvarende opnås en skyggepris på 14.130 kr. per ton CO₂, hvis andre emissioner ikke medtages. CO₂ reduktionen i hele perioden fra 2020 til 2030 er på 71.620 tons.

⁴³ Som nævnt tidligere, er denne beregning medtaget som illustration af, hvilken effekt andre drivmidler kan have for det samlede resultat. Man kan også forestille sig anvendelse af bio-metanol, hvilket dog vil kræve en ombygning af færgerne.

Tabel 6-6 Nøgletal for 2030 i scenarie 2

	2030
NNV, inkl. alle emissioner	-730
CO₂-reduktion, tons	12.350
Skyggepris inkl. afledte effekter	13.265
Skyggepris ekskl. afledte effekter	14.130

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

6.3 Scenarie 3: Efficient omstilling af dieselfærger

I scenarie 3 ønskes der en efficient omstilling til blandt andet elfærger. Efficient i denne analyse tolkes, som en omstilling af de enkelte færgeruter identificeret i scenarie 1, som har en positiv samfundsøkonomisk gevinst inklusiv de afledte effekter. For de resterende færger er det muligt at efficient omstille yderligere 21 færgeruter til bio-metanol gennem enten udskiftning af færgerne eller via retrofit.⁴⁴ Disse færger har alle en positiv samfundsøkonomisk gevinst inklusiv de afledte effekter. I alt 38 færger indgår i scenariet. De resterende færger inkluderes ikke i dette scenarie. Afslutningsvis præsenteres følsomhedsberegninger af, hvordan scenariets resultater bliver, hvis der skrues på prisen for investeringsomkostninger med +/- 25 %, samt en prisregulering af el med +/- 25 % og endelig en alternativ opgørelse med en højere CO₂ pris på 1.920 kr./ton (opgjort i markedspris).

6.3.1 Antagelser og afgrænsning

Som præsenteret i scenarie 1 vil man i dette scenarie retrofitte nyere færger (yngre end 20 år) til elfærger eller færger som sejler på bio-metanol, mens færger ældre end 20 år udskiftes til nye elfærger eller nye færger som sejler på bio-metanol. Alle færger indfases over en periode på 5 år, for ikke at lægge alle investeringerne i det samme år. Jo ældre færgen er, des hurtigere indfases den. Det er ikke vurderet, om det teknisk er muligt at gennemføre udskiftningen over 5 år.

Der arbejdes i scenariet med fire forskellige investeringsomkostninger. I året, hvor færgen enten retrofittes eller udskiftes til en ny færge, er der en yderligere startinvestering til landtilslutning, batteri og tilslutningsafgift, hvis der er tale om en elfærge. Investeringen kommer kun en gang for hver færge. De elfærger, som retrofittes, får forlænget deres resterende levetid med 10 ekstra år, før de udskiftes til en ny elfærge. Dieselfærger, der retrofittes til bio-metanol, får ikke

⁴⁴ Jf. scenarie 4 nedenfor, er der ikke fundet nogle færger, der ud fra en samfundsøkonomisk vurdering er rentabel at omstille til HVO.

forlænget levetiden idet omkostningen til ombygningen her kun omfatter tilpasning af den eksisterende motor og de ekstra brændstoftanke. Nye færger har en levetid på 30 år. Hvert 10. år antages batteriet i elfærgerne at skulle udskiftes. Prisen for en ny færge er holdt konstant over hele perioden, hvorimod prisen for at nyt batteri er faldende frem mod 2030. Man kan ikke med sikkerhed validere prisudviklingen fra 2030 og frem mod 2070, hvorfor der ikke i scenariet er antaget yderligere ændringer i denne pris.

Derefter udvælges de først de færger, som har et positivt nettoresultat inklusiv afledte effekter ved omstilling til el-drift. Dernæst udvælges færger, der har et positivt nettoresultat ved omstilling til bio-metanol ved anvendelse af scenarie 5 nedenfor. De resterende færger som ikke har et positivt nettoresultat ekskluderes sammen med de fire kattegatfærger⁴⁵. Dette betyder, at 17 ud af de 44 færger, som er mulige at omstille til el, er inkluderet i scenariets beregninger, samt 21 færger, som kan omstilles til bio-metanol med en positiv samfundsøkonomisk gevinst. De resterende færger indgår ikke i scenariet og påvirker derfor heller ikke resultaterne.

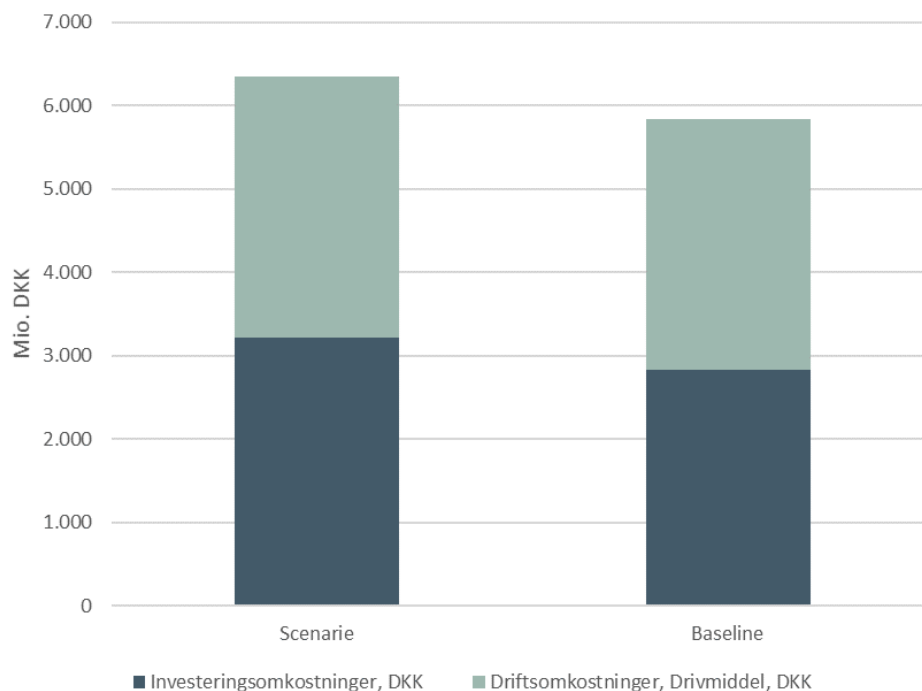
6.3.2 Resultater

Ved en efficient omstilling til el eller bio-metanol udskiftes eller retrofittes alle færger inden for en 5-årig periode. Omkostningerne forbundet med investeringer til landtilslutning og nye elfærger, samt retrofit eller nye færger, som sejler på bio-metanol, er samlet set væsentligt højere end den løbende udskiftning til nye dieselfærger. De samlede nettodrifts- og investeringsomkostninger forventes i scenariet at være omkring 515 mio. kr. højere end i baseline frem mod 2070, dette fremgår af Figur 6-11.

Investeringsomkostningerne er i beregningerne antaget til at være konstante over hele perioden. Ved en faldende pris for investeringsomkostninger vil den økonomiske gevinst ved omstilling til elfærger eller færger som sejler på bio-metanol forventes at være endnu større. På trods af antagelsen om, at batteripakken udskiftes hvert 10. år for elfærgerne, er der tale om en mindre omkostning i den samlede total.

⁴⁵ H/F Express 2, H/F Express 3, H/F Express 4 og HSC MAX

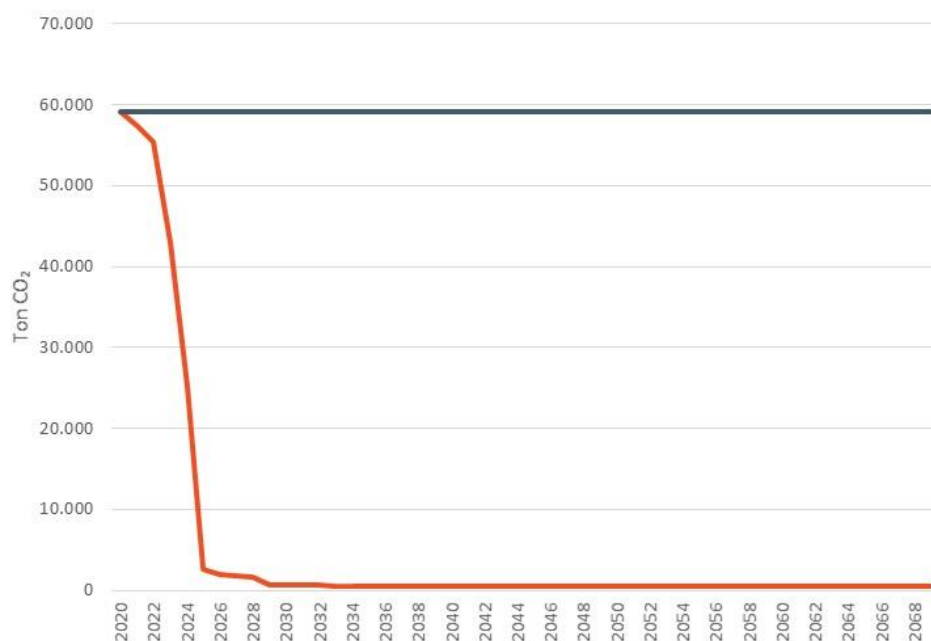
Figur 6-11 Drifts- og investeringsomkostninger for scenarie 3 og baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Nedenstående Figur 6-12 præsenterer CO₂-udledningen for de 38 færger som er inkluderet i scenarie 3. CO₂-udledningen er opdelt i en baseline-linje, hvor de 38 færger fortsat sejler på diesel og en scenarie-linje, hvor samme færger omstilles til enten el eller bio-metanol inden for ovenstående antagelser.

Figur 6-12 CO₂-udledning for scenarie 3 og baseline, ton frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Nedenstående Tabel 6-7 viser den årlige forventede emissionsudledning i 2020, 2030 og 2050 for de 38 færgeruter inkluderet i scenarie 3. I dette scenarie vil opnå en CO₂-reduktion på cirka 58.380 tons i 2030. I 2050 vil CO₂-reduktionen være knap 58.510 tons.

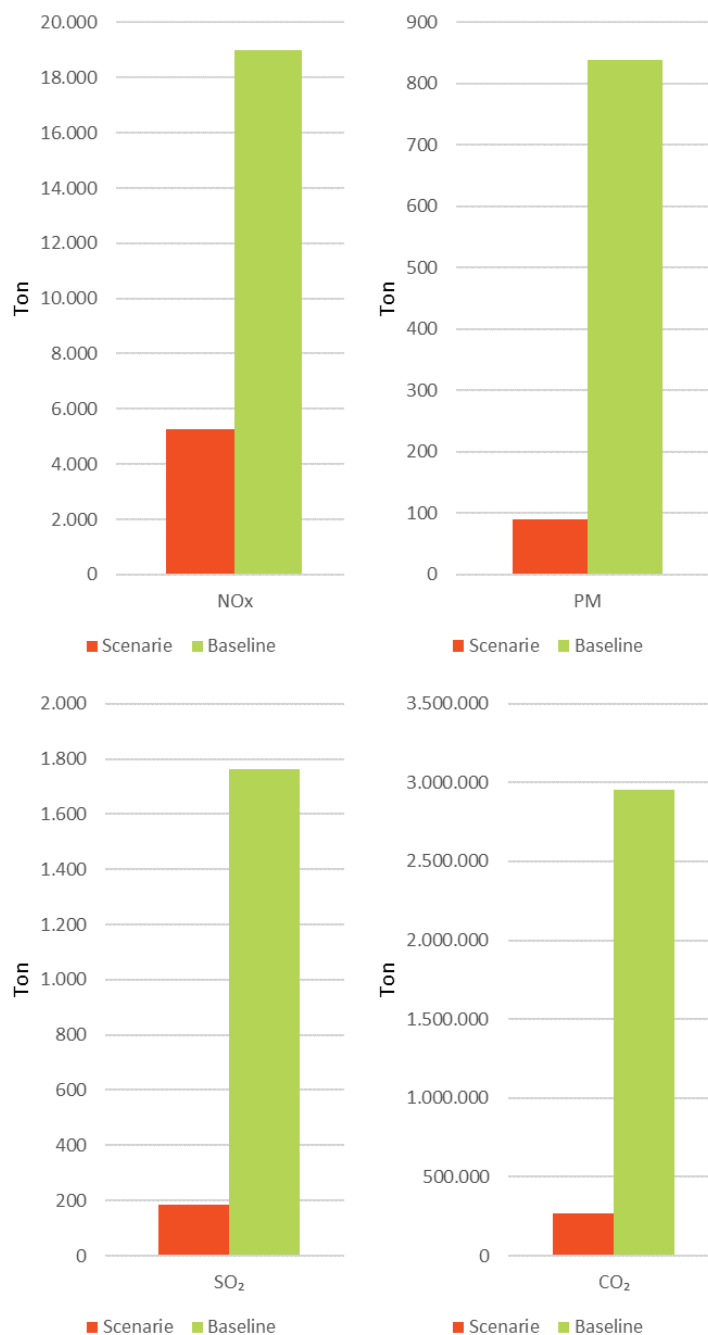
Tabel 6-7 Årlig emissionsudledning i scenarie 3 i 2020, 2030 og 2050, tons

	2020	2030	2050
NO_x-udledning, ton	790	50	45
Partikel-udledning, ton	15	1	1
SO₂-udledning, ton	35	1	1
CO₂-udledning, ton	59.030	650	520

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Figur 6-13 viser den forventede emissionsudledning over hele analysens tidshorisont i henholdsvis scenariet og for baseline. Udledningen af samtlige emissioner forventes at falde kraftigt ved at efficient overgå fra diesel til el som drivmiddel. CO₂-emissionerne forventes at falde med mere end 90 %.

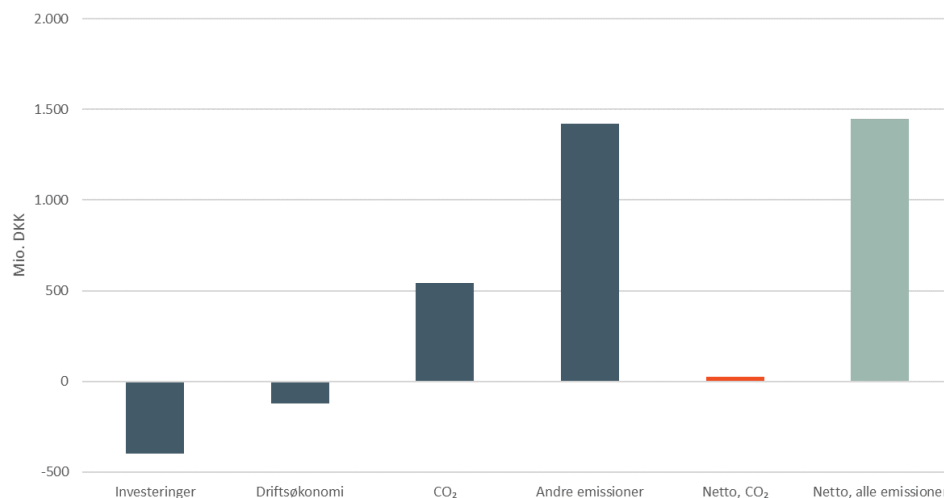
Figur 6-13 *Akkumulerede emissionsudledninger for scenarie 3 og baseline, ton, frem mod 2070*



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Når emissionsudledningerne omregnes til enhedspriser, er det muligt at beregne de samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger. Nettogevinsten når alle fire emissioner medtages ligger i dette scenarie på omkring 1.450 mio. kr. i nettonutidsværdi frem mod 2070. Medtages kun CO₂ gevinsten er resultatet cirka 25 mio. kr.

Figur 6-14 Samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger ved scenarie 3 i forhold til baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Ved en efficient udskiftning af de eksisterende færger til elfærger og færger som sejler på bio-metanol, enten ved retrofit eller ved at udskiftning til nye færger ses der en samfundsøkonomisk gevinst.

CO₂ skyggeprisen beregnes både med og uden afledte effekter. CO₂ skyggeprisen uden afledte effekter ligger på omkring 430 kr. per ton CO₂, hvorimod CO₂ skyggeprisen inklusiv afledte effekter ligger på -750 kr. per ton CO₂. Selv uden CO₂ gevinsterne ses der en samlet samfundsøkonomisk gevinst ved omlægningen.

Analysen og Figur 6-32 som findes i Bilag A viser, at 10 ud af de 38 færger har en ren finansiell nettogevinst ved at omstille fra diesel til el eller bio-metanol. Dette betyder, at flere færger i et rent finansielt perspektiv vil have en negativ værdi ved omstillingen. Samlet set er der et finansieringsbehov på knap 515 mio. kr. Tager man derimod udgangspunkt i et samfundsøkonomisk perspektiv vil samtlige færgeruter have en positiv nettogevinst.

Supplerende beregning for perioden frem til 2030

Hvis man ser på perioden frem til 2030 og gennemfører en samfundsøkonomisk analyse for det oprindelige scenarie, hvor der sker en hurtig omstilling af diesel-færger til elfærger eller færger som sejler på bio-metanol, viser nedenstående Tabel 6-8 Nøgletal for 2030 i scenarie 3 en skyggepris inklusive andre emissioner på 135 kr. per ton CO₂. Tilsvarende opnås en skyggepris på 1.805 kr. per ton CO₂, hvis andre emissioner ikke medtages. CO₂ reduktionen i hele perioden fra 2020 til 2030 er på 400.890 tons.

Tabel 6-8 Nøgletal for 2030 i scenarie 3

	2030
NNV, inkl. alle emissioner	80

CO₂-reduktion, tons	58.405
Skyggepris inkl. afledte effekter	135
Skyggepris ekskl. afledte effekter	1.805

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Supplerende følsomhedsanalyse

Afslutningsvis præsenteres der en følsomhedsberegning af, hvordan scenariets resultater bliver, hvis der skrues på prisen for investeringsomkostninger med +/- 25 %. Da der allerede er indlagt en forudsætning ind om faldende batteripriser, for elfærgerne, frem mod 2030 betyder investeringsomkostningen i denne sammenhæng være færgens pris, samt landtilslutningsudgift. For færger sejlen på bio-metanol er der kun tale om færgens pris. Samtidig foretages der en følsomhedsberegning på en prisregulering af el med +/- 25 % og endelig en alternativ opgørelse med en højere CO₂ pris på 1.920 kr./ton (opgjort i markedspris).

Tabel 6-9 Resultatoversigt over følsomhedsberegninger

	Scenarie 3	Scenarie 3 frem til 2030	+25 % på investeringsomkostningerne	-25 % på investeringsomkostningerne	+25 % på prisen for drivmiddel	-25 % på prisen for drivmiddel	Ændring af CO₂-pris
NNV, inkl. alle emissioner	1.450	79	1.015	1.885	785	2.115	3.220
Investeringsomkostninger	3.225	2.015	3.660	2.790	3.225	3.225	3.225
Driftsøkonomi	3.130	3.130	3.130	3.130	3.795	2.465	3.130

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Note: Investerings- og driftsomkostningerne er opgjort nettonutidsværdi for scenariet.

6.4 Scenarie 4: Alle færger sejler på HVO

I det fjerde scenarie vil alle færger fremadrettet anvende HVO som drivmiddel. Denne omstilling kræver ikke en retrofit af nuværende færger, da det blot er et spørgsmål udskiftning af drivmiddel. Afslutningsvis præsenteres følsomhedsberegninger af, hvordan scenariets resultater bliver, hvis der skrues på prisen for investeringsomkostninger med +/- 25 %, samt en prisregulering af HVO med +/- 25 % og endelig en alternativ opgørelse med en højere CO₂ pris på 1.920 kr./ton (opgjort i markedspris).

6.4.1 Antagelser og afgrænsning

I dette scenarie vil dieselfærgerne overgå til HVO-færger i år 1. Scenariet er ikke et udtryk for, at det anses som værende realistisk eller mest fordelagtigt, at alle overgår til færger med HVO som drivmiddel på samme tid.

Færgerne udskiftes løbende i samme omfang som i baseline. Dette betyder, at hvis færgen er 30 år eller mere udskiftes den til en ny færge i år 1, hvorimod yngre færger først udskiftes når de runder 30 år. Der antages derfor en levetid på 30 år for samtlige færger.

Investeringsomkostningerne forbundet med omstillingen til HVO-færger er udelukkende indkøb af ny færge når den eksisterende færge runder 30 år. I denne analyse antages det, at prisen for en ny HVO-færge er den samme som prisen på en dieselfærge. Det antages, at der ikke er yderligere investeringsomkostninger forbundet med omstillingen.

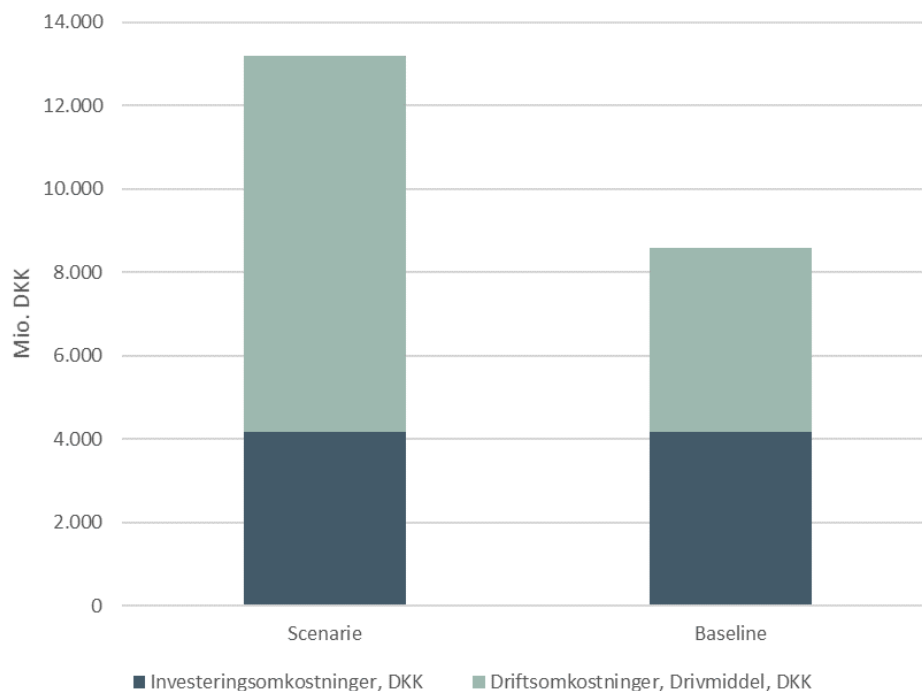
61 færger indgår da i scenariet og de fire kattegatfærger⁴⁶ indgår ikke i dette scenarie.

6.4.2 Resultater

En hurtig omstilling af færgerne antages at ske i det år, hvor de er mindst 30 år, da der udelukkende er tale om et skift af drivmiddel. Omkostningerne forbundet med investeringer i at indkøbe nye færger er på samme niveau som løbende udskiftning af dieselfærger i baseline. De samlede drifts- og investeringsomkostninger forventes i scenariet at være omkring 4.595 mio. kr. højere end i baseline opgjort i nettonutidsværdi frem mod 2070. Dette skyldes de højere drifts-omkostninger, som dækker over indkøb af HVO. Dette fremgår af Figur 6-15 nedenfor.

⁴⁶ H/F Express 2, H/F Express 3, H/F Express 4 og HSC MAX

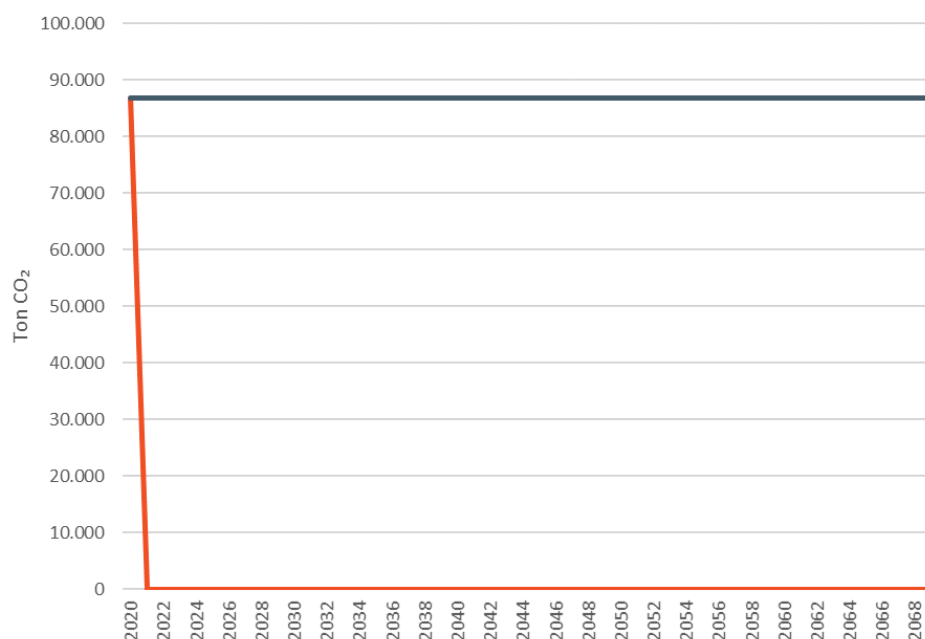
Figur 6-15 Drifts- og investeringsomkostninger for scenarie 4 og baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Nedenstående Figur 6-16 viser CO₂-udledningen for de 61 færger, som er inkluderet i scenarie 4. CO₂-udledningen er opdelt i en baseline-linje, hvor de 61 færger fortsat sejler på diesel og en scenarie-linje, hvor samme færger omstilles til HVO inden for ovenstående antagelser.

Figur 6-16 Årlig CO₂-udledning for scenarie 4 og baseline, ton frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Note: Figuren viser CO₂-udledningen ved brug af HVO som drivmiddel. Man bør være opmærksom på, at der forekommer CO₂-udledning ved produktionen af HVO, men denne er ikke inkluderet.

Nedenstående Tabel 6-10 viser den årlige forventede emissionsudledning i 2020, 2030 og 2050 for de 61 færgeruter inkluderet i scenarie 4. Figuren og tabellen viser, at dette scenarie vil opnå en CO₂-reduktion på 100 % til sammenligning med baseline, hvor færgerne fortsat sejler på diesel.

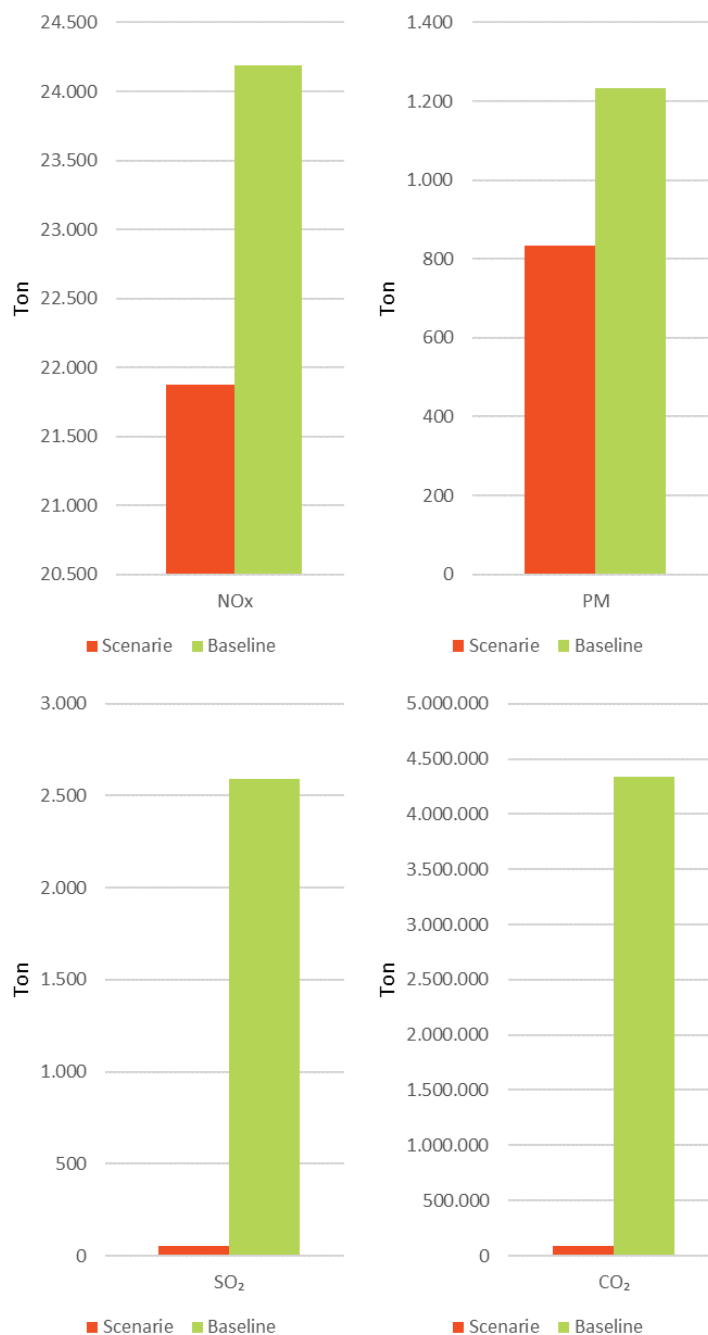
Tabel 6-10 Årlig emissionsudledning i scenarie 4 i 2020, 2030 og 2050, tons

	2020	2030	2050
NO_x-udledning, ton	960	600	245
Partikel-udledning, ton	25	15	15
SO₂-udledning, ton	50	0	0
CO₂-udledning, ton	86.680	0	0

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Figur 6-17 viser den forventede emissionsudledning i henholdsvis scenariet og for baseline. Udledningen af samtlige emissioner forventes at falde ved hurtigt at omstille fra diesel til HVO som drivmiddel. I sammenligning med scenarie 1, opnås der i dette scenarie en maksimal CO₂ reduktion, da en del af færgerne i scenarie 1 fortsætter med sejlads på konventionel diesel frem til de omstilles til el-drift. I scenarie 4 sker omstilling til HVO fra år 1, hvorved CO₂ gevinsterne opnås hurtigere. I beregningerne er CO₂ emissionerne for HVO-drift sat til 0, selvom der er emissioner forbundet med produktionen og distributionen af HVO. Disse emissioner foregår dog udenfor landets grænser og opgøres derfor i stedet på produktionsstedet.

Figur 6-17 Akkumulerede emissionsudledninger for scenarie 4 og baseline, ton, frem mod 2070



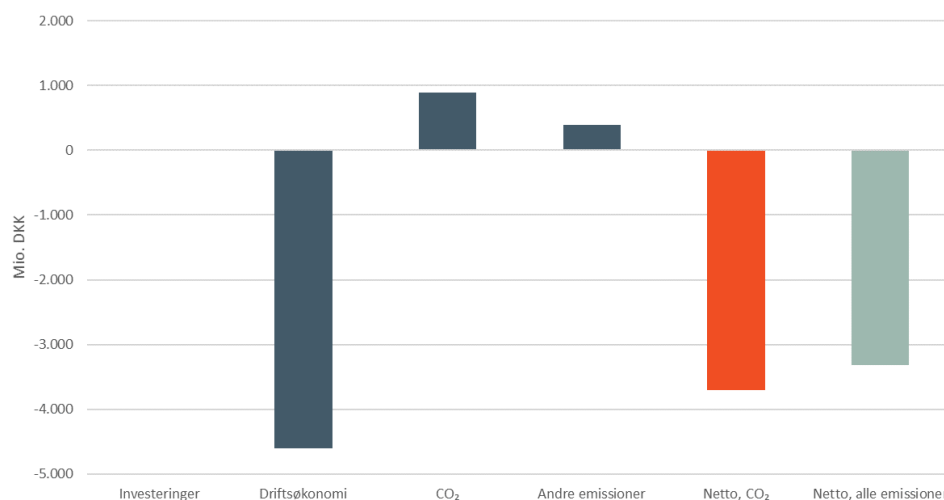
Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Når emissionsudledningerne omregnes til enhedspriser, er det muligt at beregne de samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger. På trods af den store reduktion af emissioner er nettogevinsten, når alle fire emissioner medtaget cirka -3.315 mio. kr. i nettonutidsværdi frem mod 2070. Medregnes kun CO₂ gevinsten vil resultatet blive mere negativt med cirka -3.705 mio. kr.

CO₂ skyggeprisen inklusiv alle fire emissioner i scenariet ligger på omkring 2.065 kr. per ton CO₂, hvorimod CO₂ skyggeprisen uden andre emissioner end

CO₂ ligger på cirka 2.255 kr. per ton CO₂. Da skyggeprisen er positiv, er der en samfundsøkonomisk omkostning ved at gennemføre tiltaget.

Figur 6-18 Samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger ved scenarie 4 i forhold til baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Den manglende ekstra investeringsomkostning, som vi så i de forrige scenarier skyldes, at en ny HVO-færge har samme pris som en ny dieselfærge. Det kan dermed konkluderes, at en hurtig omstilling til HVO ikke har en samlet samfundsøkonomisk gevinst. Dette skyldes i høj grad, at prisen på HVO i dag er væsentlig højere end dieselprisen og selv med den faldende pris frem til 2030, er der en meromkostning, som ikke modsvares af de miljømæssige gevinster.

Samtlige 61 færger opnår både en negativ finansiell og samfundsøkonomisk nettogevinst. Størrelsesordenen af finansieringsbehovene fremgår af Figur 6-33 vist i Bilag A og løber samlet op på 4.595 mio. kr. Finansieringsbehovet opstår fordi HVO er dyrere end diesel og derfor løbende fører til en meromkostning for færge-selskaberne. Dette er i modsætning til alle de andre scenarier, hvor investeringerne sker i nye (eller retrofittede) færger med besparelser på driftsomkostningerne.

Supplerende beregning for perioden frem til 2030

Hvis man ser på perioden frem til 2030 og gennemfører en samfundsøkonomisk analyse for det oprindelige scenarie, hvor der sker en løbende udskiftning af dieselfærger til færger som sejler på HVO, viser nedenstående Tabel 6-11 en skyggepris inklusive andre emissioner på 2.560 kr. per ton CO₂. Tilsvarende opnås en skyggepris på 2.775 kr. per ton CO₂, hvis andre emissioner ikke medtages. CO₂ reduktionen i hele perioden fra 2020 til 2030 er på 866.70 tons.

Tabel 6-11 Nøgletal for 2030 i scenarie 4

	2030
NNV, inkl. alle emissioner	-1.580
CO₂-reduktion, tons	86.680
Skyggepris inkl. afledte effekter	2.560
Skyggepris ekskl. afledte effekter	2.775

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Supplerende følsomhedsanalyse

Afslutningsvis præsenteres følsomhedsberegninger af, hvordan scenariets resultater bliver, hvis der skrues på prisen for investeringsomkostninger med +/- 25 %, samt en prisregulering af HVO med +/- 25 % og endelig en alternativ opgørelse med en højere CO₂ pris på 1.920 kr./ton (opgjort i markedspris).

Tabel 6-12 Resultatoversigt over følsomhedsberegninger

	Scenarie 4	Scenarie 4 frem til 2030	+25 % på investeringsomkostningerne	-25 % på investeringsomkostningerne	+25 % på HVO-pris	-25 % på HVO-pris	Ændring af CO ₂ -pris
NNV, inkl. alle emissioner	-3.315	-1.580	-4.360	-2.270	-5.520	-1.105	-290
Investeringsomkostninger	4.180	2.295	5.225	3.135	4.180	4.180	4.180
Driftsøkonomi	9.015	3.680	9.015	9.015	11.220	6.805	9.015

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Note: Investerings- og driftsomkostningerne er opgjort nettonutidsværdi for scenariet.

6.5 Scenarie 5: Alle færger sejler på bio-metanol

I det femte scenarie vil alle færger fremadrettet sejle på bio-metanol i stedet for diesel. Overgangen til bio-metanol vil kræve mindre moderniseringer i forhold til en normal dieselfærge. Beregningerne suppleres med en analyse for perioden frem til 2030. Afslutningsvis præsenteres følsomhedsberegninger af, hvordan scenariets resultater bliver, hvis der skrues på prisen for investeringsomkostninger med +/- 25 %, samt en prisregulering af bio-metanol med +/- 25 % og endelig en alternativ opgørelse med en højere CO₂ pris på 1.920 kr./ton (opgjort i markedspris).

6.5.1 Antagelser og afgrænsning

I scenariet retrofittes nyere færger (yngre end 20 år) til bio-metanol-færger, mens færger ældre end 20 år udskiftes til nye bio-metanol-færger. For alle færger indfases de over en periode på 5 år, for ikke at samle alle investeringerne i det samme år. Jo ældre færgen er, des hurtigere indfases den. Det er ikke vurderet om det teknisk er muligt at gennemføre den samlede udskiftning over 5 år.

Der arbejdes i scenariet med investeringsomkostninger til enten retrofit eller udskiftning til en ny færge. Nye bio-metanol-færger har en levetid på 30 år.

Investeringsomkostningerne forbundet med omstillingen til bio-metanol, er relateret til enten retrofit eller en ny færge. Prisen for en ny færge, der sejler på bio-metanol, er antaget til at være prisen på en dieselfærge + 5 %. Prisen for retrofit antages at være 10 % af en ny dieselfærge. Færgerne antages at have en levetid på 30 år.

De fire kattegatfærger⁴⁷ indgår ikke i dette scenarie, da deres størrelse gør det teknisk umuligt at konvertere til bio-metanol-færger. 61 færger indgår da i scenariet, hvoraf 24 færger i første omgang retrofittes.

6.5.2 Resultater

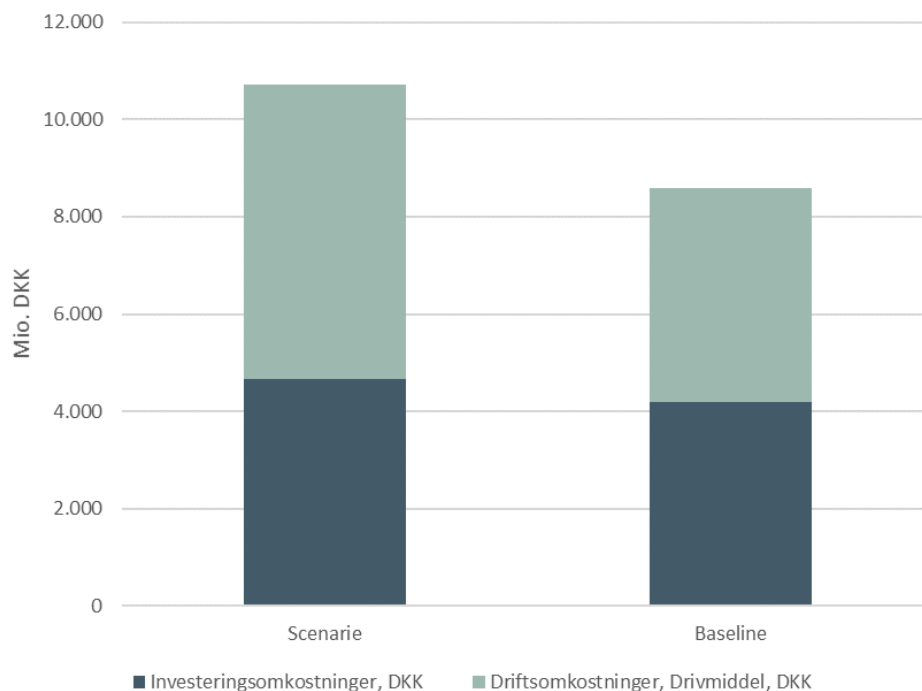
Ved en hurtig omstilling til bio-metanol udskiftes eller retrofittes alle færger inden for en 5-årig periode. Omkostningerne forbundet med investeringer i at retrofitte eller indkøbe nye færger er højere end ved den løbende udskiftning af dieselfærger i baseline. De samlede drifts- og investeringsomkostninger forventes i scenariet at være omkring 2.120 mio. kr. højere end i baseline opgjort i nettonutidsværdi frem mod 2070. Dette fremgår af Figur 6-19 nedenfor.

Prisen på bio-metanol er i beregningerne antaget til at være faldende frem til 2030, hvor prisen derefter holdes konstant. Ved et yderligere fald i prisen for bio-metanol og eventuelt faldende investeringsomkostninger, vil den økonomiske gevinst ved omstilling til bio-metanol-færger kunne være endnu større.

Selvom bio-metanol i dagens priser per liter er et billigere alternativ opgjort pr. liter end diesel, skal der anvendes dobbelt så store mængder til det samme kWh-forbrug. Dette bidrager derfor til en højere udgift til drivmidlet per kWh som beskrevet i afsnit 3.3.

⁴⁷ H/F Express 2, H/F Express 3, H/F Express 4 og HSC MAX

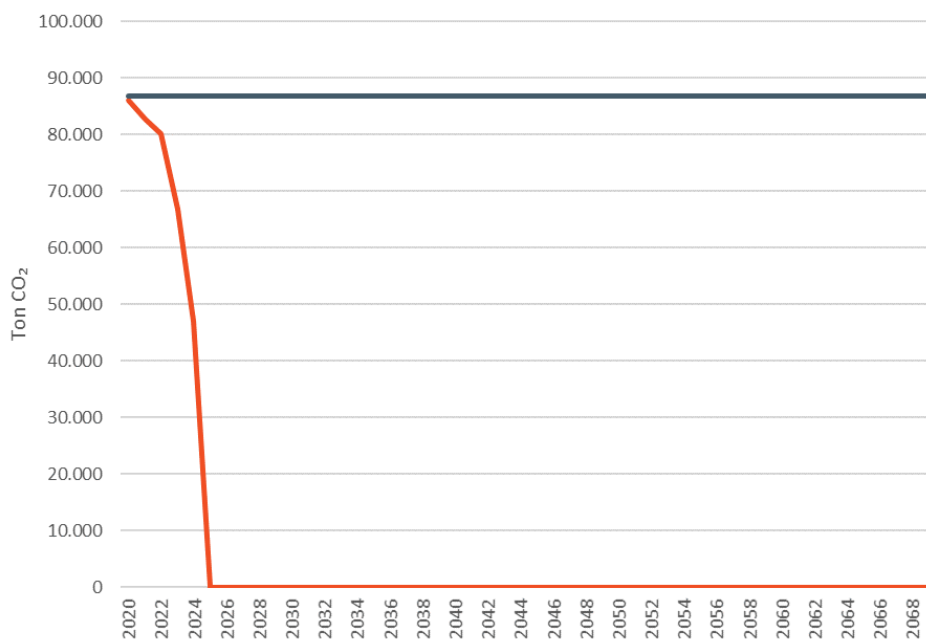
Figur 6-19 Drifts- og investeringsomkostninger for scenarie 5 og baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Figur 6-20 Årlig viser den forventede CO₂-udledning over analysens tidshorizont for de 61 færgeruter inkluderet i scenariet. Figuren viser at dette scenarie vil opnå en CO₂-reduktion på 100 % til sammenligning med baseline, hvor færgerne fortsat sejler på diesel. Der er her forudsat, at den lille mængde diesel, der skal bruges til antænding af motorerne, sker ved brug af HVO

Nedenstående Figur 6-20 viser CO₂-udledningen for de 61 færger som er inkluderet i scenarie 5. CO₂-udledningen er opdelt i en baseline-linje, hvor de 61 færger fortsat sejler på diesel og en scenarie-linje, hvor samme færger omstilles til bio-metanol inden for ovenstående antagelser.

Figur 6-20 Årlig CO₂-udledning for scenarie 5 og baseline, ton frem mod 2070

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Nedenstående Tabel 6-13 viser den årlige forventede emissionsudledning i 2020, 2030 og 2050 for de 61 færgeruter inkluderet i scenarie 5. Figuren og tabellen viser, at dette scenarie vil give en CO₂-reduktion på 100 % til sammenligning med baseline, hvor færgerne fortsat sejler på diesel.

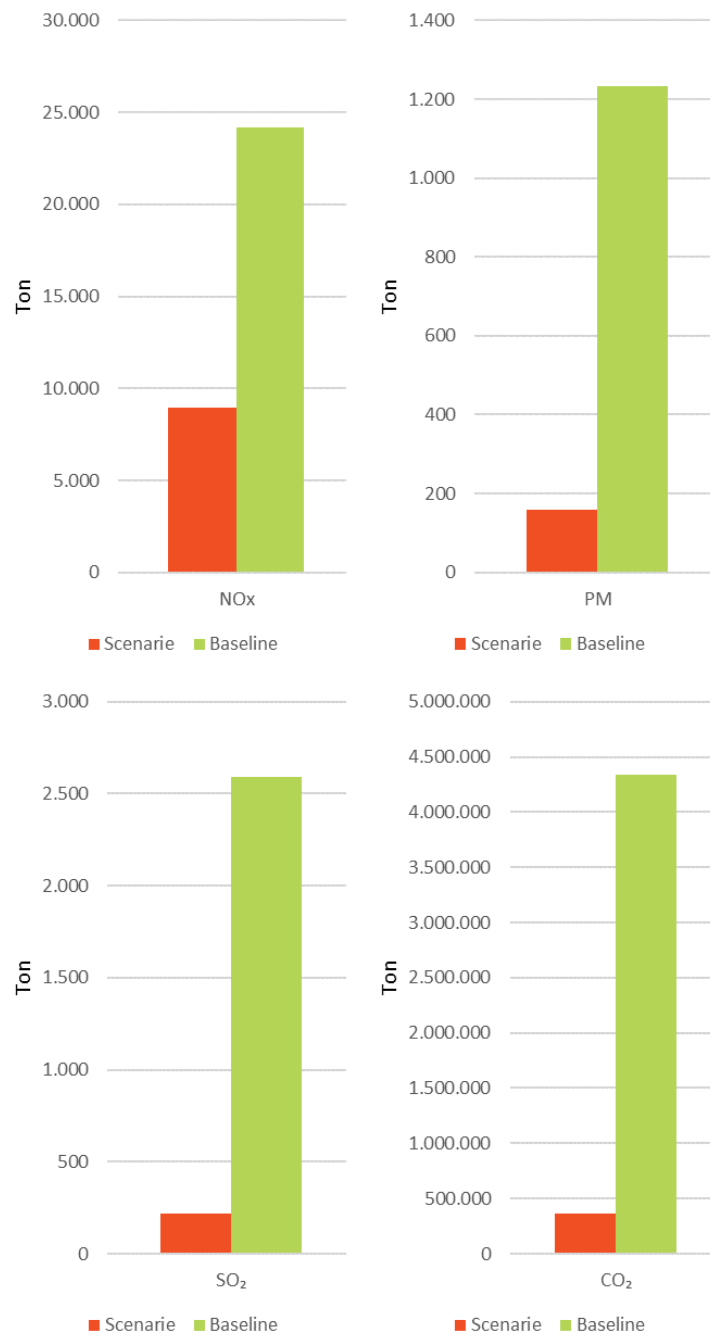
Tabel 6-13 Årlig emissionsudledning i scenarie 5 i 2020, 2030 og 2050, tons

	2020	2030	2050
NO_x-udledning, ton	960	110	110
Partikel-udledning, ton	25	1	1
SO₂-udledning, ton	50	0	0
CO₂-udledning, ton	85.995	0	0

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Figur 6-21 viser den forventede emissionsudledning over hele analysens periode i henholdsvis scenariet og for baseline. Udledningen af samtlige emissioner forventes at falde kraftigt ved hurtigt at overgå fra diesel til bio-metanol som drivmiddel.

Figur 6-21 Akkumulerede emissionsudledninger for scenarie 5 og baseline, ton, frem mod 2070

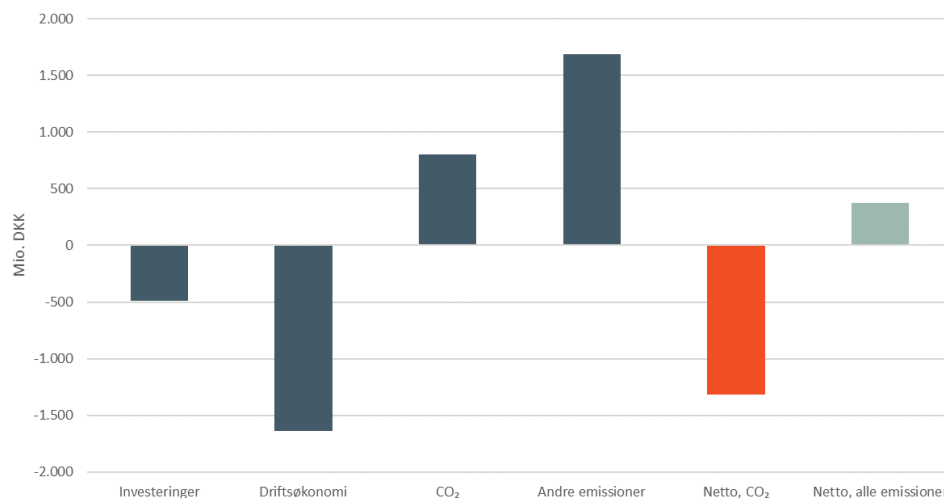


Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Note: Bio-metanol har ikke partikelforurening, men i dette scenarie vil der i en 5-årig periode stadig sejle dieselfærger, hvilket betyder at partikelforureningen stammer fra disse.

Når emissionsudledningerne omregnes til enhedspriser, er det muligt at beregne de samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger. Nettogevinsten når alle fire emissioner medtages ligger i dette scenarie på omkring 375 mio. kr. i nettonutidsværdi frem mod 2070. Medtages derimod kun CO₂ gevinsten er resultatet cirka -1.315 mio. kr.

Figur 6-22 Samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger ved scenarie 5 i forhold til baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

En hurtig udskiftning af de eksisterende færger til, enten ved retrofit eller ved at udskifte til nye bio-metanol-færger ses der en samfundsøkonomisk gevinst.

CO₂ skyggeprisen inklusiv alle emissioner i scenariet ligger på omkring 240 kr. per ton CO₂, hvorimod CO₂ skyggeprisen uden andre emissioner ligger på cirka 1.190 kr. per ton CO₂.

Analysen viser, at 10 ud af 61 færger har en ren finansiell nettogevinst ved at omstille fra diesel til bio-metanol. Dette betyder mere, at nogle færger i et finansielt perspektiv vil have en negativ værdi ved omstillingen. Samlet set er der et finansieringsbehov på knap 2.120 mio. kr. Tager man derimod udgangspunkt i et samfundsøkonomisk perspektiv vil 33 færger have en positiv nettogevinst.

Supplerende beregning for perioden frem til 2030

Hvis man ser på perioden frem til 2030 og gennemfører en samfundsøkonomisk analyse for det oprindelige scenarie, hvor der sker en løbende udskiftning af diesel-færger til færger som sejler på bio-metanol, viser nedenstående Tabel 6-14 en skyggepris inklusive andre emissioner på 1.045 kr. per ton CO₂. Tilsvarende opnås en skyggepris på 2.360 kr. per ton CO₂, hvis andre emissioner ikke medtages. CO₂ reduktionen i hele perioden fra 2020 til 2030 er på 590.825 tons.

Tabel 6-14 Nøgletal for 2030 i scenarie 5

	2030
NNV, inkl. alle emissioner	-305
CO₂-reduktion, tons	86.680
Skyggepris inkl. afledte effekter	1.045
Skyggepris ekskl. afledte effekter	2.360

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Supplerende følsomhedsanalyser

Afslutningsvis præsenteres følsomhedsberegninger af, hvordan scenariets resultater bliver, hvis der justeres på prisen for investeringsomkostninger med +/- 25 %, samt en prisregulering af bio-metanol med +/- 25 % og endelig en alternativ opgørelse med en højere CO₂ pris på 1.920 kr./ton (opgjort i markedspris).

Tabel 6-15 Resultatoversigt over følsomhedsberegninger

	Scenarie 5	Scenarie 5 frem til 2030	+25 % på investeringsomkostningerne	-25 % på investeringsomkostningerne	+25 % på bio-metanol-pris	-25 % på bio-metanol-pris	Ændring af CO ₂ -pris
NNV, inkl. alle emissioner	375	-305	-790	1.540	-960	1.710	2.990
Investeringsomkostninger	4.670	2.625	5.835	3.500	4.670	4.670	4.670
Driftsøkonomi	6.050	2.450	6.050	6.050	7.385	4.715	6.050

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Note: Investerings- og driftsomkostningerne er opgjort nettonutidsværdi for scenariet.

6.6 Scenarie 6: Kattegatfærgerne omstilles til HVO eller bio-metanol

I det sjette scenarie undersøges den isolerede effekt af at lade de fire kattegatfærger sejle på HVO eller retrofytte og udskifte til færger, som kan sejle på bio-metanol. Alle fire færger omstilles i år 1. Færgernes størrelse og kapacitet gør det teknisk umuligt at overgå til elfærger. Disse færger er ikke medtaget i de øvrige scenarier, da effekterne for disse færger er meget større end alle de andre færger. Samlet set vil effekterne fra de fire færger overskygge resultaterne for de resterende færger og dermed vanskeliggøre tolkningen af scenarierne. Priserne for nye kattegatfærger, uafhængig af drivmiddel, er op til fem gange

højere end nogle af de andre relativt store færges inkluderet i analysen. Isoleres deres emissioner vil de tilsammen udlede mere CO₂ end alle færges inkluderet i første scenarie tilsammen. Resultaterne vises også for en kortere tidsperiode frem til 2030. Afslutningsvis præsenteres følsomhedsberegninger af, hvordan scenariets resultater bliver, hvis der skrues på prisen for investeringsomkostninger med +/- 25 %, samt en prisregulering af HVO og bio-metanol med +/- 25 % og endelig en alternativ opgørelse med en højere CO₂ pris på 1.920 kr./ton (opgjort i markedspris).

6.6.1 Antagelser og afgrænsning

Ved at lade færgerne overgå til HVO, vil færgen sejle videre med nyt drivmiddel indtil de runder 30 år, hvorefter de udskiftes med en ny færge.

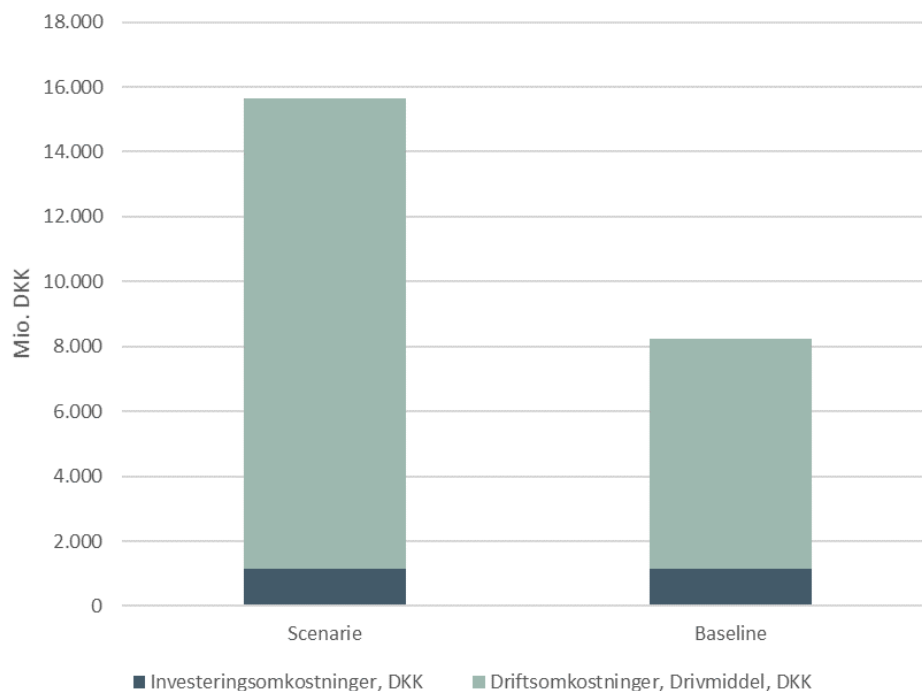
Lader man derimod færgerne overgå til bio-metanol, vil tre af de fire færges, fordi de er yngre end 20 år, skulle retrofittes. Derefter udskiftes færgerne til nye bio-metanol-færges, som antages at have en levetid på 30 år. Den af de fire færges, der er over 20 år, udskiftes til en ny bio-metanol-færge.

6.6.2 Resultater

Ved en hurtig omstilling til HVO i år 1 vil færgerne overgå til nyt drivmiddel uden yderligere investeringer. Dog sker der en løbende udskiftning af færgerne, når de runder 30 år. De samlede drifts- og investeringsomkostninger forventes i scenariet at være omkring 7.385 mio. kr. højere end i baseline opgjort i nettoutidsværdi frem mod 2070. Dette skyldes udelukkende, på trods af en nedskrivning i dagens HVO-pris frem mod 2030, at HVO-prisen er cirka 40 % højere end diesel-prisen. Dette fremgår af Figur 6-23 nedenfor.

Omkostningerne til drivmidlet er faldende i perioden 2020-2030, hvorefter den holdes konstant, da usikkerheden omkring udviklingen er relativt stor. Hvis der kommer et yderligere fald i prisen for HVO, så den kommer på niveau med diesel, kan der fremadrettet være tale om en samfundsøkonomisk gevinst ved omstillingen. Dette er der dog ikke regnet konkret på.

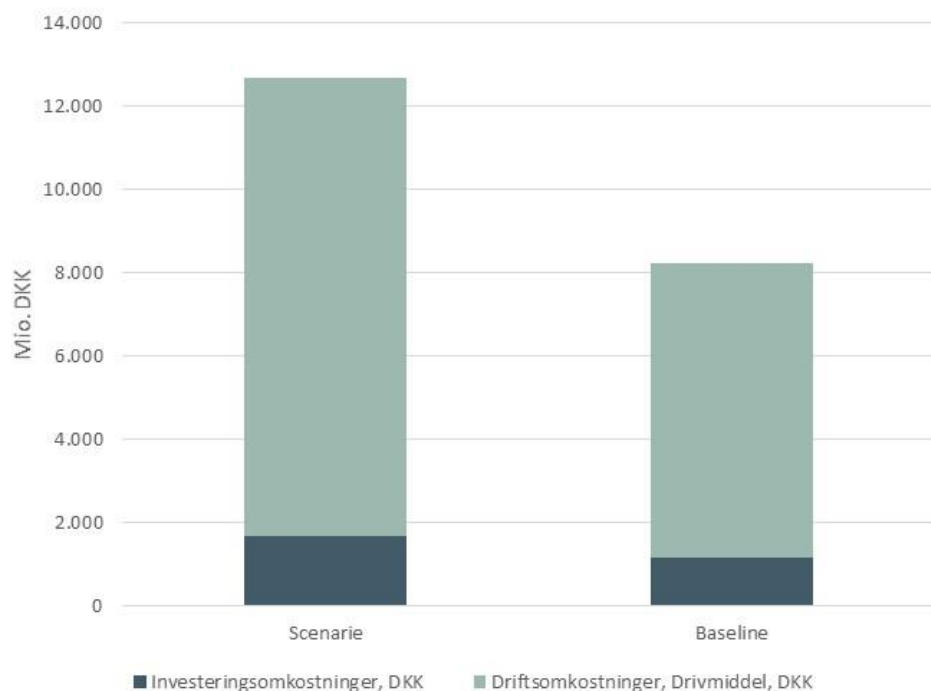
Figur 6-23 Drifts- og investeringsomkostninger ved omstilling til HVO for scenarie 6 og baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Alternativt retrofittes færgerne, som er under 20 år til bio-metanol-færger i år 1. Derefter udskiftes de til nye bio-metanol-færger når de er 30 år gamle. Den ene færge, som er over 20 år, udskiftes til en ny bio-metanol-færge i samme år, som de resterende retrofittes. Ved denne omstilling vil der være en meromkostning på cirka 4.415 mio. kr. i nettonutidsværdi frem mod 2070 sammenlignet med baseline. Dette fremgår af Figur 6-24.

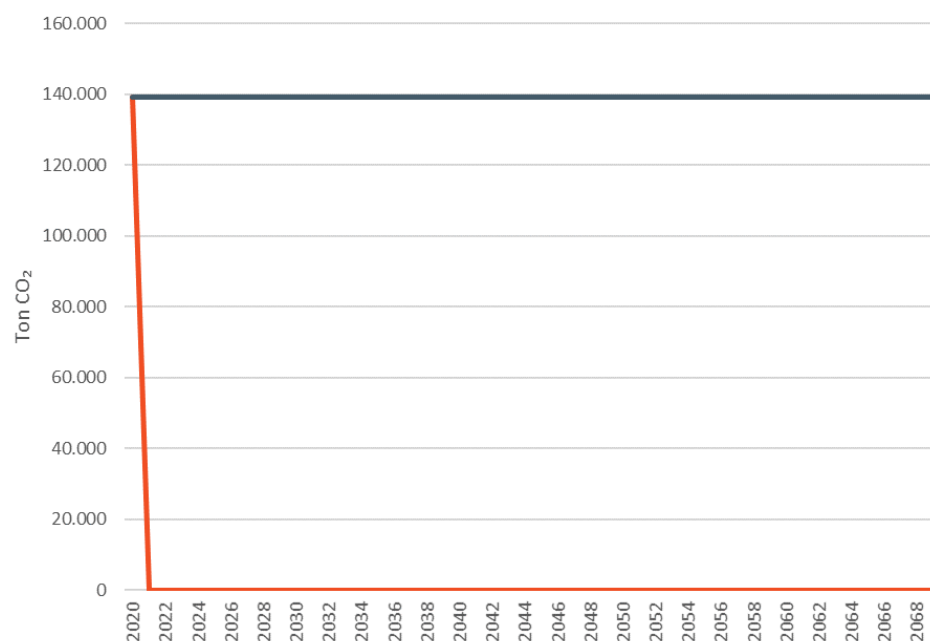
Figur 6-24 Drifts- og investeringsomkostninger ved omstilling til bio-metanol for scenarie 6 og baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Nedenstående Figur 6-25 præsenterer CO₂-udledningen for de fire kattegatfærger som er inkluderet i scenarie 6. CO₂-udledningen er opdelt i en baseline-linje, hvor de fire færger fortsat sejler på diesel og en scenarie-linje, hvor samme færger omstilles til HVO eller bio-metanol inden for ovenstående antagelser.

Figur 6-25 Årlig CO₂-udledning for scenarie 6 og baseline, ton frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Nedenstående Tabel 6-16 viser den årlige forventede emissionsudledning i 2020, 2030 og 2050 for de fire kattegatfærger inkluderet i scenarie 6. Figur og tabel viser at dette scenarie vil opnå en CO₂-reduktion på 100 % til sammenligning med baseline, hvor færgerne fortsat sejler på diesel.

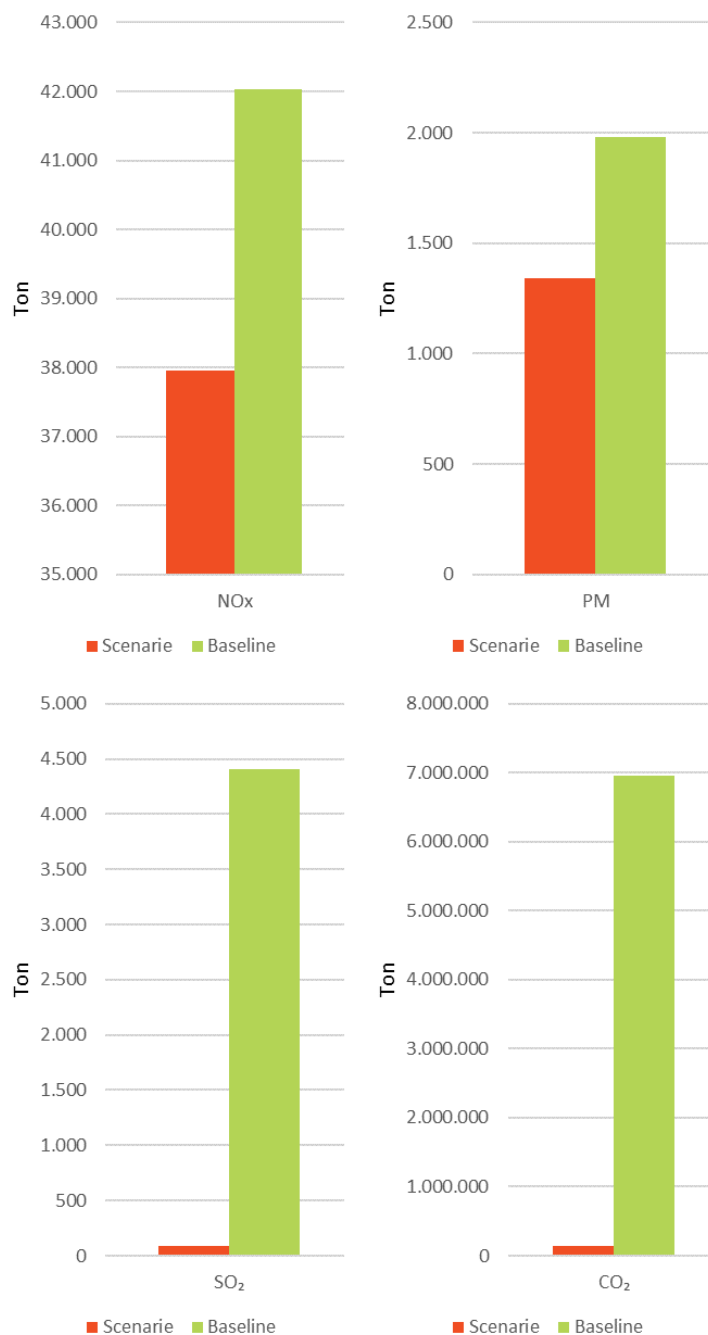
Tabel 6-16 Årlig emissionsudledning i scenarie 5 i 2020, 2030 og 2050, tons

	2020, HVO	2030, HVO	2050, HVO	2020, Bio- meta- nol	2030, Bio- meta- nol	2050, Bio- meta- nol
NO_x- udledning, ton	1.230	1.040	495	1.230	220	220
Partikel-ud- ledning, ton	40	25	25	40	2	2
SO₂- udledning, ton	90	0	0	90	0	0
CO₂- udledning, ton	139.250	0	0	139.250	0	0

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Figur 6-25 viser den forventede emissionsudledning i henholdsvis scenariet med HVO og for Baseline. Udledningen af samtlige emissioner forventes at falde kraftigt ved hurtigt at overgå fra diesel til HVO som drivmiddel.

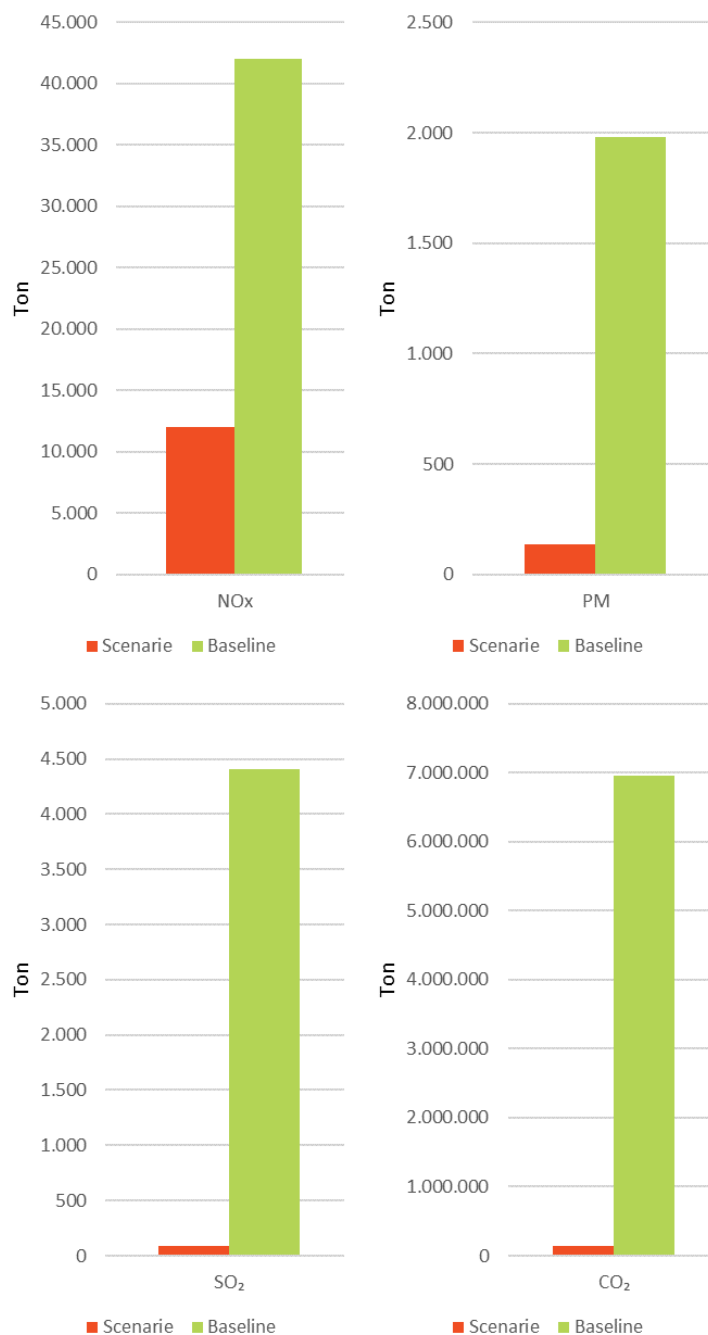
Figur 6-26 Akkumulerede emissionsudledninger for omstilling til HVO for scenarie 6 og baseline, ton, frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Figur 6-27 viser den forventede emissionsudledning i henholdsvis scenariet med bio-metanol og for baseline. Udledningen af samtlige emissioner forventes at falde kraftigt ved hurtigt at overgå fra diesel til bio-metanol som drivmiddel.

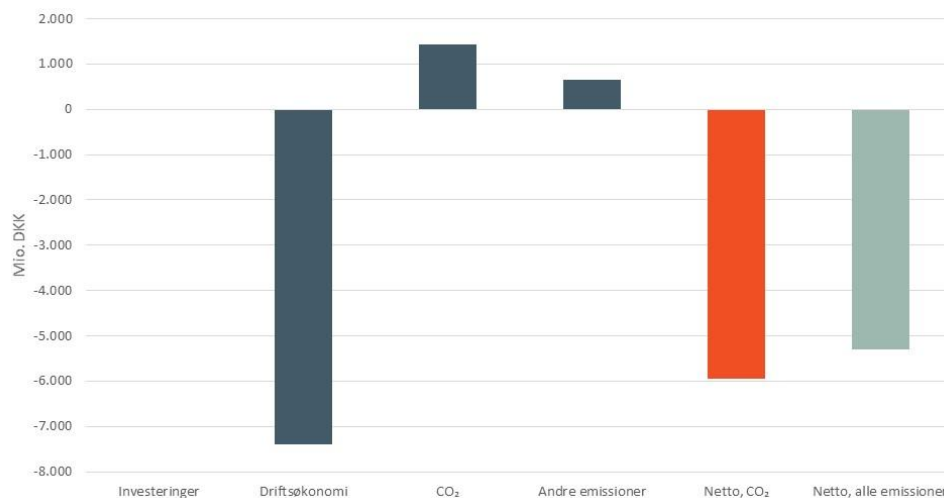
Figur 6-27 Emissionsudledninger ved omstilling til bio-metanol for scenarie og baseline, ton, frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Når emissionsudledningerne omregnes til enhedspriser, er det muligt at beregne de samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger. Nettogevinsten når alle fire emissioner medtages, ligger i dette scenarie med HVO som drivmiddel på -5.305 mio. kr. i nettonutidsværdi frem mod 2070. Inkluderer man kun CO₂ vil resultatet være -5.955 mio. kr.

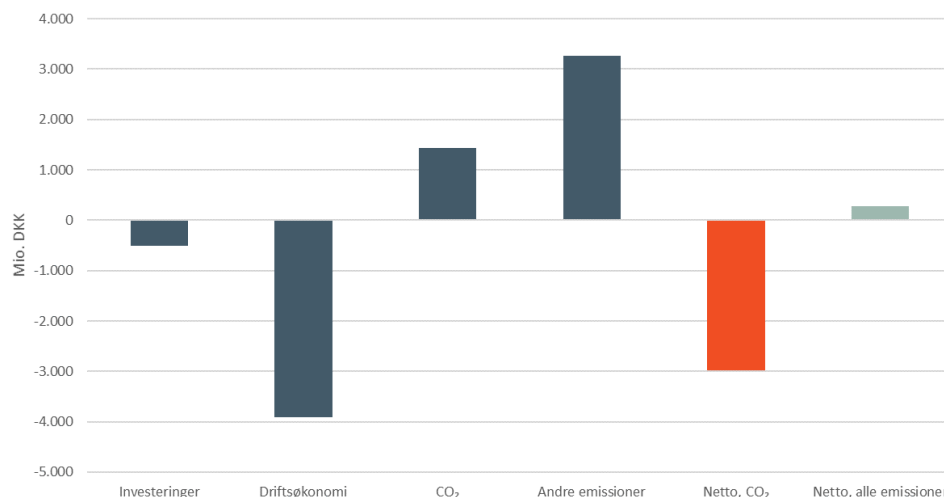
Figur 6-28 Samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger ved omstilling til HVO for scenarie 6 i forhold til baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Tager man derimod udgangspunkt i bio-metanol som drivmiddel, vil den samfundsøkonomiske gevinst inklusiv alle emissioner lande på omkring 280 mio. kr. i nettonutidsværdi frem mod 2070. Medtages derimod kun CO₂ gevinsten er tabet cirka 2.985 mio. kr.

Figur 6-29 Samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger ved omstilling til bio-metanol for scenarie 6 i forhold til baseline, mio. kr. frem mod 2070



Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

CO₂ skyggeprisen inklusiv alle emissioner i scenariet med HVO som drivmiddel ligger på 2.060 kr. per ton CO₂, hvorimod CO₂ skyggeprisen uden andre emissioner ligger på 2.255 kr. per ton CO₂. Når der er en positiv skyggepris, betyder det, at der er et samfundsøkonomisk tab ved at nedbringe CO₂ på denne måde.

Tager man derimod udgangspunkt i scenariet med bio-metanol som drivmiddel ligger CO₂ skyggeprisen inklusiv andre emissioner end CO₂ på omkring 350 kr.

per ton CO₂, hvorimod CO₂ skyggeprisen uden de andre emissioner ligger på cirka 1.350 kr. per ton CO₂. Selv uden CO₂ gevinsterne ses der en samlet samfundsøkonomisk gevinst ved omlægningen.

Ingen af de fire kattegatfærger opnår en positiv finansiell eller samfundsøkonomisk nettogevinst ved at omstille fra diesel til HVO.

Kun en af de fire kattegatfærger opnår en samfundsøkonomisk nettogevinst. Ingen af de fire færger opnår en positiv finansiell nettogevinst ved at omstille fra diesel til bio-metanol.

Supplerende beregning for perioden frem til 2030

Hvis man ser på perioden frem til 2030 og gennemfører en samfundsøkonomisk analyse for det oprindelige scenarie, hvor der sker en løbende udskiftning af diesel-færger til færger som sejler på HVO, viser nedenstående Tabel 6-17 en skyggepris inklusive andre emissioner på 2.575 kr. per ton CO₂. Tilsvarende opnås en skyggepris på 2.775 kr. per ton CO₂, hvis andre emissioner ikke medtages. CO₂ reduktionen i hele perioden fra 2020 til 2030 er på 1.392.500 tons.

Hvis man ser på perioden frem til 2030 og gennemfører en samfundsøkonomisk analyse for det oprindelige scenarie, hvor der sker en løbende udskiftning af diesel-færger til færger som sejler på bio-metal, viser nedenstående Tabel 6-17 en skyggepris inklusive andre emissioner på 1.310 kr. per ton CO₂. Tilsvarende opnås en skyggepris på 2.380 kr. per ton CO₂, hvis andre emissioner ikke medtages. CO₂ reduktionen i hele perioden fra 2020 til 2030 er på 1.392.500 tons.

Tabel 6-17 Nøgletal for 2030 i scenarie 6

	HVO, 2030	Bio-metanol, 2030
NNV, inkl. alle emissioner	-2.555	-1.085
CO₂-reduktion, tons	139.250	139.250
Skyggepris inkl. afledte effekter	2.575	1.310
Skyggepris ekskl. afledte effekter	2.775	2.380

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Supplerende følsomhedsanalyser

Afslutningsvis præsenteres følsomhedsberegninger af, hvordan scenariets resultater bliver, hvis der skrues på prisen for investeringsomkostninger med +/- 25 %, samt en prisregulering af HVO og bio-metanol med +/- 25 % og endelig en alternativ opgørelse med en højere CO₂ pris på 1.920 kr./ton (opgjort i markedspris).

Tabel 6-18 Resultatoversigt over følsomhedsberegninger, HVO

	Scenarie 6 (HVO)	Scenarie 6 (HVO) frem til 2030	+25 % på investeringsomkostningerne	-25 % på investeringsomkostningerne	+25 % på HVO-pris	-25 % på HVO-pris	Ændring af CO ₂ -pris
NNV, inkl. alle emissioner	-5.305	-2.555	-5.595	-5.020	-8.855	-1.760	-450
Investeringsomkostninger	1.050	305	1.445	865	1.050	1.050	1.050
Driftsøkonomi	14.480	5.910	14.480	14.480	18.025	10.930	14.480

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Note: Investerings- og driftsomkostningerne er opgjort nettonutidsværdi for scenariet.

Note: Investeringsomkostninger for 2030 er negativ. Dette skyldes at man i samme periode indregner scrapværdien for de fire færger og denne er relativ høj.

Som det fremgår, vil omstilling til HVO for alle scenarierne have en urentabel samfundsøkonomi.

Tabel 6-19 Resultatoversigt over følsomhedsberegninger, bio-metanol

	Scenarie 6 (bio-metanol)	Scenarie 6 (bio-metanol) frem til 2030	+25 % på investeringsomkostningerne	-25 % på investeringsomkostningerne	+25 % på bio-metanol-pris	-25 % på bio-metanol-pris	Ændring af CO ₂ -pris
NNV, inkl. alle emissioner	280	-1.085	-140	695	-2.400	2.955	5.135
Investeringsomkostninger	1.665	520	2.080	1.250	1.665	1.665	1.665
Driftsøkonomi	11.000	5.240	11.000	11.000	13.675	8.320	11.000

Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Note: Investerings- og driftsomkostningerne er opgjort nettonutidsværdi for scenariet.

Det fremgår af tabellen, at det samlede samfundsøkonomiske resultat er positivt. Det samfundsøkonomiske resultat for bio-metanol afhænger meget af prisen på brændstoffet og CO₂ prisen.

6.7 Sammenfatning af scenarier

De forskellige scenarier søger at illustrere bredden i de muligheder, der er for omstilling af de danske indenrigsfærger. Scenarierne har hver for sig fokuseret på udvalgte muligheder som omstilling til el-drift (scenarie 1, 2 og 3) med hhv. hurtig omstilling (scenarie 1), moderat omstilling i takt med almindelig udskiftning af færgerne (scenarie 2) og en omstilling ud fra samfundsøkonomisk rentabilitet (scenarie 3).

bilitet (scenarie 3). Derudover er suppleret med to scenarier, der viser henholdsvis effekten ved en omstilling til brug af HVO (scenarie 4) og til bio-metanol (scenarie 5). Det sidste scenarie, der er medtaget, viser den grønne omstilling af kattegatfærgerne til hhv. HVO og bio-metanol (scenarie 6).

I Tabel 6-20 er hovedresultaterne for scenarierne opstillet. Nettonutidsværdierne viser de samlede gevinster inklusive CO₂ og andre emissioner. Som det fremgår, vil flere af scenarierne (scenarie 1, 3, og 5) kunne lede til gunstige samfundsøkonomiske effekter. Dette dækker dog over variation mellem forskellige færgeruter, ligesom der vil være en række ruter, som ud fra et finansieringsmæssigt perspektiv ikke er rentable og der vil være et stort ekstra finansieringsbehov for enkelte ruter og samlet for de enkelte scenarier. Særligt for scenarierne med omstilling til HVO (scenarie 4 og 6) er, at de ekstra investeringsbehov kommer gennem de løbende merudgifter til brændstoffet. For de andre scenarier ligger ekstraudgifterne i de initiale investeringer til færgerne og infrastrukturen til opladning af færgerne. De enkelte individuelle færgeruter skal analyseres separat for at tage højde for specifikke lokale forhold, der kan afvige fra denne analyses mere gennemsnitlige tilgang.

Omstillingen af færgerne til eldrift leder desuden til store CO₂ reduktioner, da de batteridrevne elfærger har meget lille emission, som år for år reduceres yderligere i takt med, at elproduktionen i Danmark baseres på genanvendelige kilder. Ligeledes vil anvendelsen af HVO og bio-metanol føre til store CO₂ besparelser. Især CO₂ besparelsen fra omlægning til HVO kan gennemføres uden ændringer på færgerne og derfor kan iværksættes uden videre for samtlige færgeruter (dog med væsentligt øgede brændstofomkostninger, som allerede nævnt).

For alle scenarier er der store gevinster opnået gennem reduktionerne af CO₂ og luftforureningen. Reduktionerne af luftforureningen bidrager væsentligt til de samfundsøkonomiske resultater. Dette ses i tabellen, hvor NNV falder så meget, at det alene vil være scenariet med en omstilling af færger, der har positiv samfundsøkonomisk gevinst (scenarie 3), der ender med en positivt samfundsøkonomisk resultat.

Tabel 6-20 Sammenligning af de analyserede scenarier.

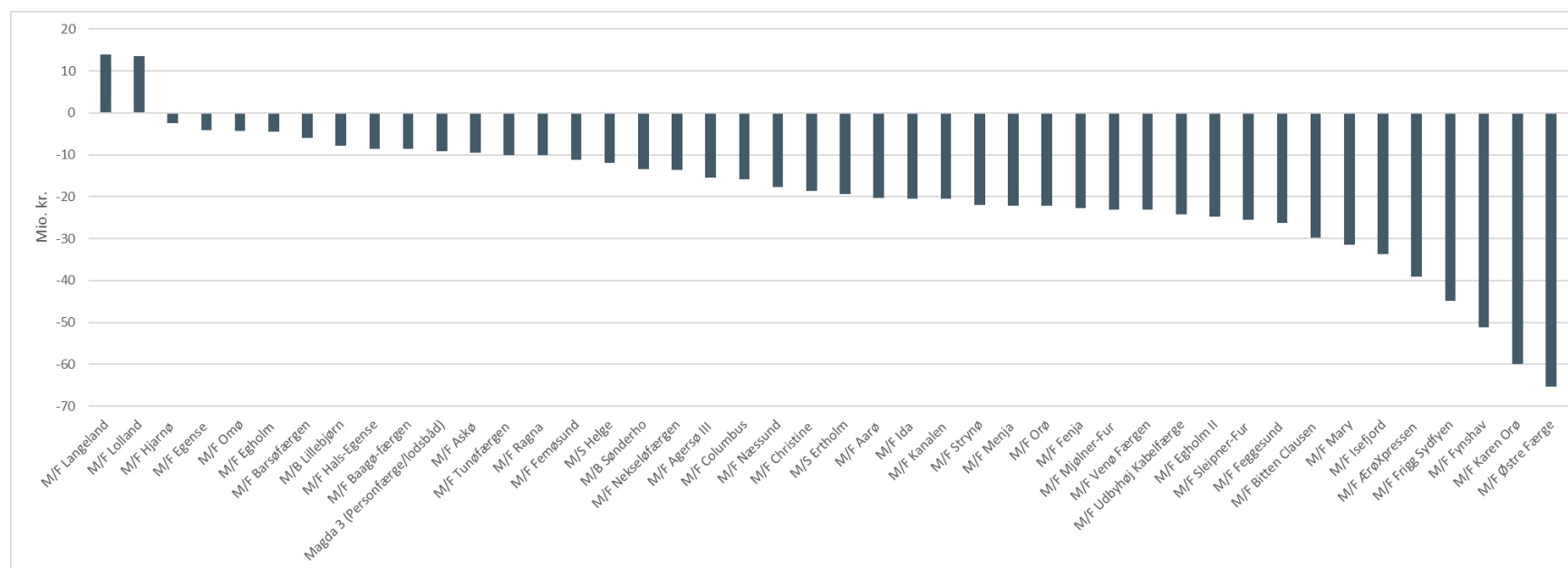
	Scenarie 1 Hurtig om- stilling til el	Scenarie 2 Løbende om- stilling til el	Scenarie 3 Økonomisk efficiant om- stilling til el og bio-meta- nol	Scenarie 4 Omstilling til HVO	Scenarie 5 Omstilling til bio-metanol	Scenarie 6 Kattegatfær- ger til HVO	Scenarie 6 Kattegatfær- ger til Bio- metanol
Antal færges omfattet af scenariet	44	44	38	61	61	4	4
Investeringsomkostnin- ger, mio. kr. nutidsværdi							
2020-2070	-1.515	-1.240	-395	0	-485	0	-515
2020-2030	-1.650	-860	-460	0	-330	0	-215
Driftsøkonomi, mio. kr. nutidsværdi							
Reduktion 2020-2070	670	445	-120	-4.595	-1.635	-7.385	-3.905
Reduktion 2020-2030	185	60	-160	-2.000	-770	-3.215	-2.540
CO₂-udledning, ton							
CO ₂ -udledning 2020 (alle færges)	86.680	86.680	86.680	86.680	86.680	139.250	139.250
CO ₂ reduktion 2030	31.350	12.350	58.380	86.680	86.680	139.250	139.250
CO ₂ reduktion 2050	31.520	31.520	58.515	86.680	86.680	139.250	139.250
NO_x-udledning, ton							
NO _x -udledning 2020 (alle færges)	960	960	960	960	960	1.230	1.230
NO _x reduktion 2030	300	40	510	65	555	115	935
NO _x reduktion 2050	100	100	140	25	165	55	330
SO₂-udledning, ton							
SO ₂ -udledning 2020 (alle færges)	50	50	50	50	50	90	90
SO ₂ reduktion 2030	20	5	35	50	50	90	90
SO ₂ reduktion 2050	20	20	35	50	50	90	90
Partikeludledning, ton							

	Scenarie 1 Hurtig om- stilling til el	Scenarie 2 Løbende om- stilling til el	Scenarie 3 Økonomisk efficiant om- stilling til el og bio-meta- nol	Scenarie 4 Omstilling til HVO	Scenarie 5 Omstilling til bio-metanol	Scenarie 6 Kattegatfær- ger til HVO	Scenarie 6 Kattegatfær- ger til Bio- metanol
Partikeludledning 2020 (alle færger)	25	25	25	25	25	40	40
Partikel reduktion 2030	10	5	15	10	25	15	40
Partikel reduktion 2050	10	10	15	10	25	15	40
NNV, mio. kr.							
NNV 2020-2070	270	-215	1.450	-3.315	375	-5.305	280
NNV 2020-2030	-1.100	-730	35	-1.1580	-305	-2.555	-1.085
NNV uden andre emissioner end CO ₂ , 2020-2070	-555	-590	25	-3.705	-1.315	-5.955	-2.985
CO₂ skyggepris, kr.							
Skyggepris 2020-2070	35	960	-750	2.065	240	2.060	350
Skyggepris 2020-2030	6.660	13.265	270	2.560	1.045	2.575	1.310

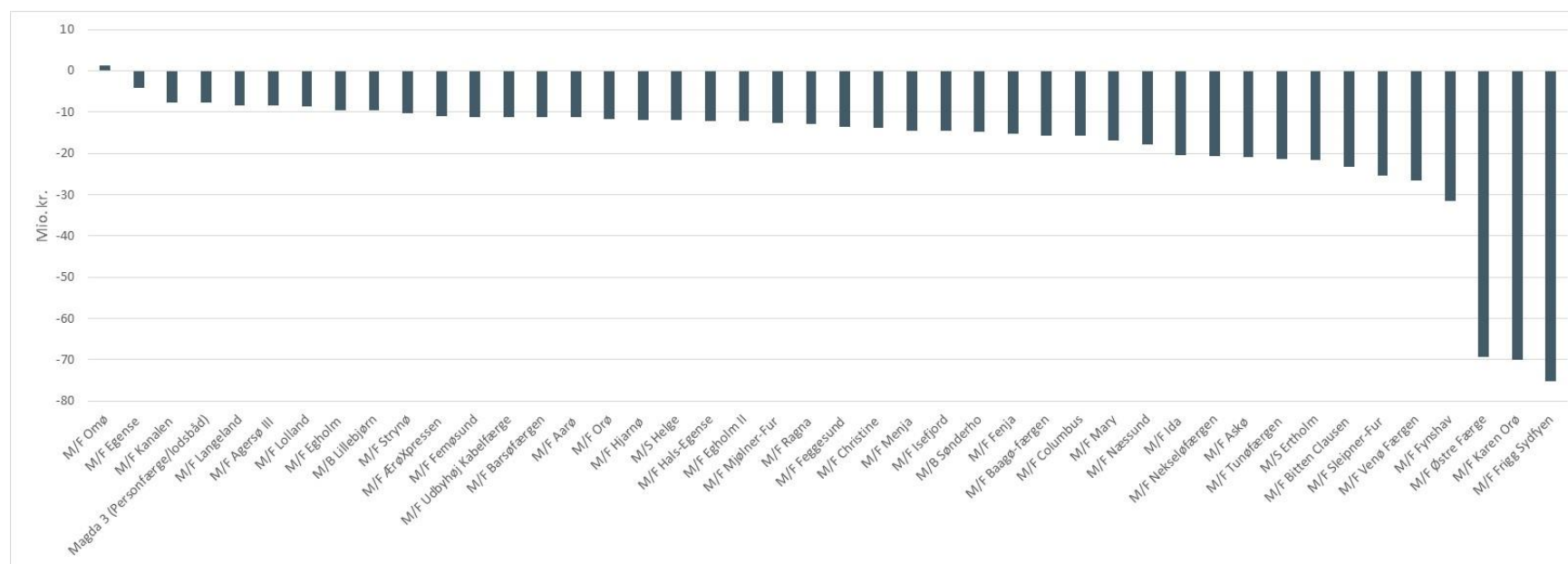
Kilde: COWI's model for omstilling af indenrigsfærger.

Bilag A Finansielle figurer

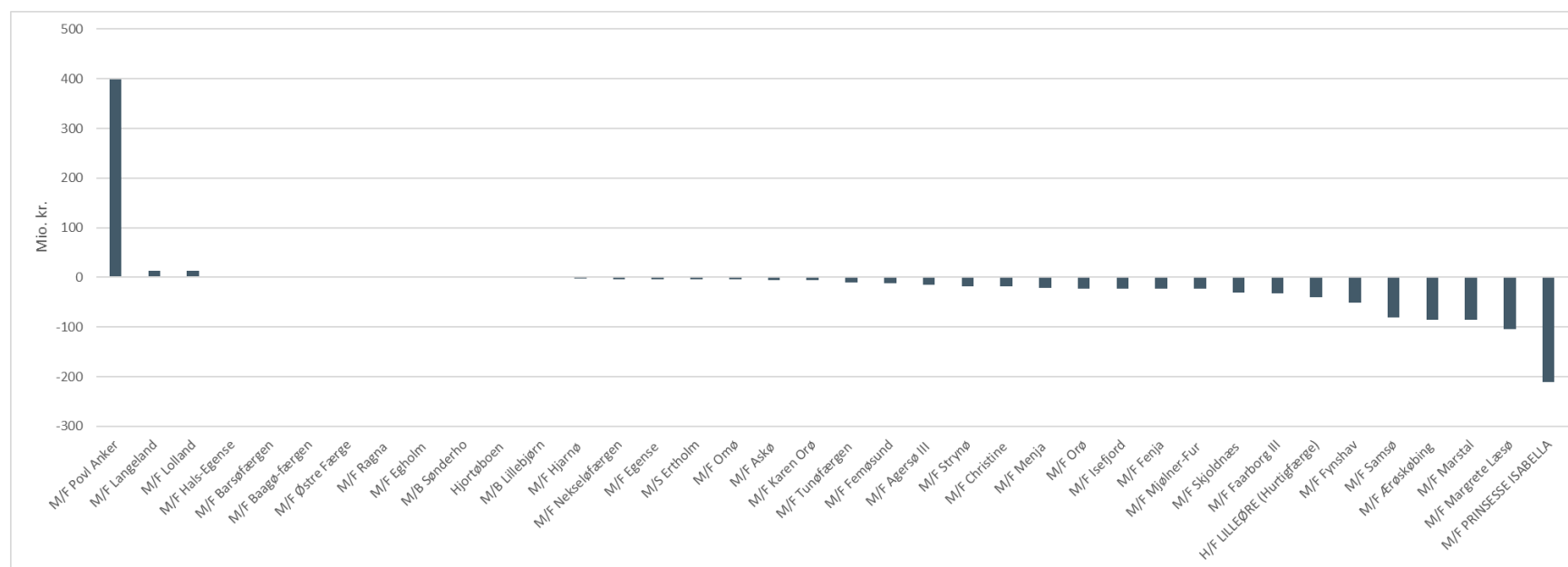
Figur 6-30 Finansiell analyse for scenarie 1, mio. kr., frem mod 2070



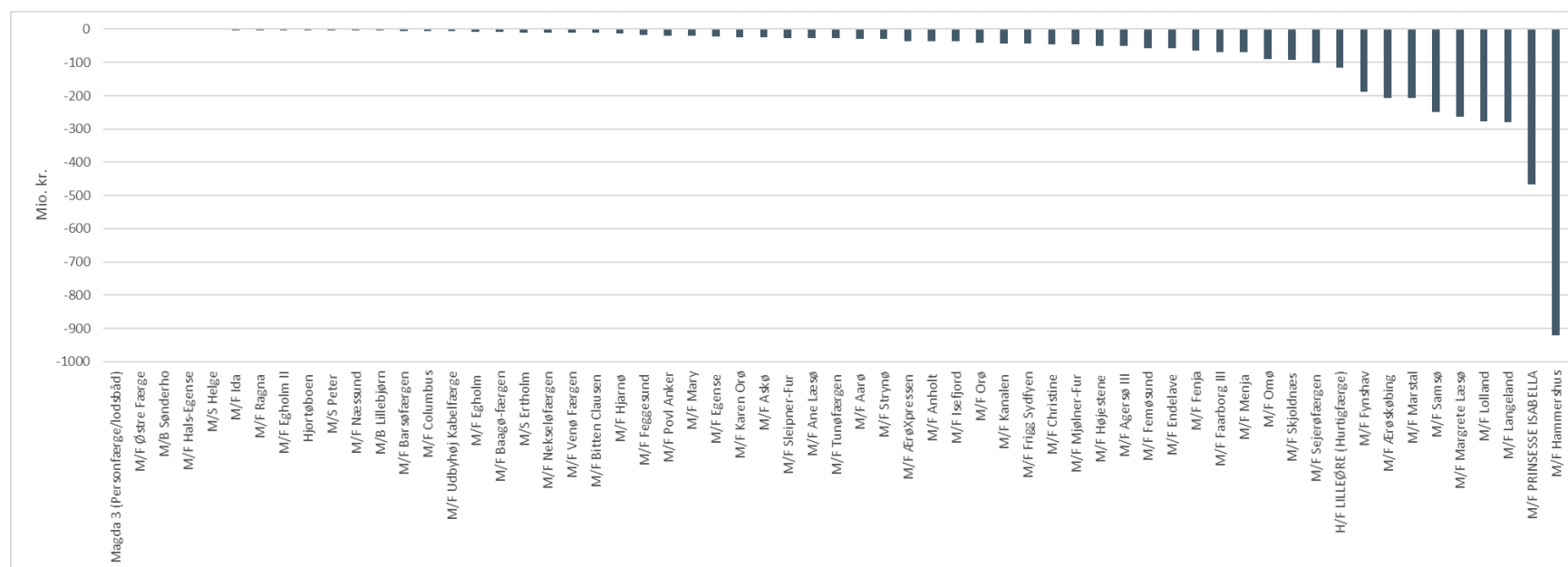
Figur 6-31 Finansiell analyse for scenarie 2, mio. kr., frem mod 2070



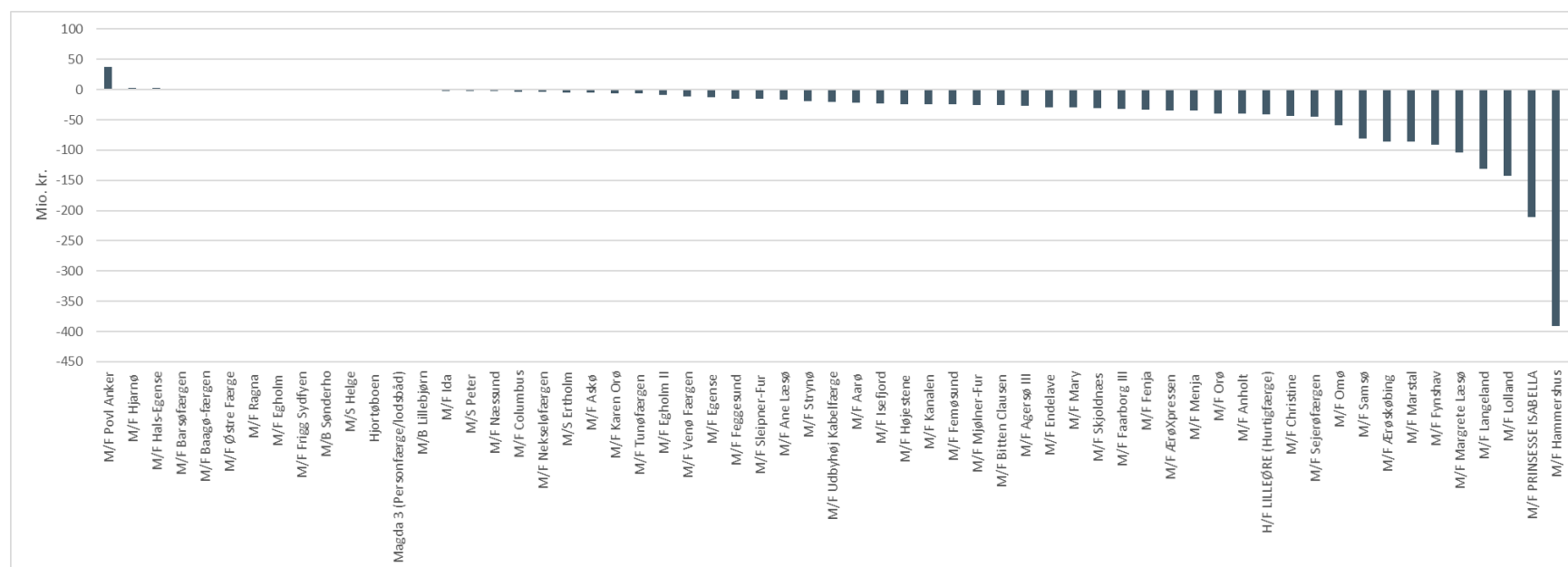
Figur 6-32 Finansiell analyse for scenarie 3, mio. kr., frem mod 2070



Figur 6-33 Finansiell analyse for scenarie 4, mio. kr., frem mod 2070



Figur 6-34 Finansiell analyse for scenarie 5, mio. kr., frem mod 2070



Bilag B Oversigt over alle færgeruter

Rute	Antal årlige passagerer (2019, 1.000)	Antal årlige personbiler (2019)	Antal årlige lastbiler (2019)	Antal årlige afgange	Passager pr afgang	Personbiler pr afgang	Lastbiler pr afgang	Antal færger på ruten	PBE på færger (separat, hvis flere færger)	År, færgen blev bygget	Udledning af CO2 på årsbasis (2020)	Udledning af NOX på årsbasis (2020)	Ejer (fx kommune, stat, privat)
Assens - Baagø	23	3.316	112	1.591	14	2	0,1	1	8	1976	170,6	0,5	Kommune
Bandholm - Askø	42	20.099	195	2.952	14	7	0,1	1	16	1996	1078,4	15,4	Kommune
Barsø Landing (Fastlandet) - Barsø	19	3.272	700	3.026	6	1	0,2	1	3	1980	99,0	0,3	Kommune
Birkholm - Marstal													
Branden - Fur	245	155.732	9.398	25.920	9	6	0,4	2	30	2012	853,2	12,2	Kommune
Branden - Fur									30	1996	511,9	7,3	Kommune
Bøjden - Fynshav	348	137.763	1.250	3.030	115	45	0,4	2	50	1984	833,1	2,6	Stat
Bøjden - Fynshav									90	1998	3536,3	50,4	Stat
Ø-hop i Svendborg Kommune								1	0	1924	29,1	0,1	Kommune
Esbjerg - Fanø (Nordby)	1.823	420.582	8.168	16.224	112	26	0,5	3	35	1998	1219,1	17,4	Kommune
Esbjerg - Fanø (Nordby)									35	1998	1295,2	18,4	Kommune
Esbjerg - Fanø (Nordby)									0	1962	15,7	0,0	Kommune

Rute	Antal årlige passagerer (2019, 1.000)	Antal årlige personbiler (2019)	Antal årlige lastbiler (2019)	Antal årlige afgang	Passager pr afgang	Personbiler pr afgang	Lastbiler pr afgang	Antal færger på ruten	PBE på færger (separat, hvis flere færger)	År, færgen blev bygget	Udledning af CO2 på årsbasis (2020)	Udledning af NOX på årsbasis (2020)	Ejer (fx kommune, stat, privat)
Frederikshavn - Læsø	279	86.568	3.530	1.577	177	55	2,2	2	74	1995			Kommune
Frederikshavn - Læsø									76	1997			Kommune
Faaborg - Bjørnø								1	0	1994	86,8	1,2	Privat
Faaborg - Lyø - Avernakø	128	38.287	814	2.216	58	17	0,4	1	16	2012			Kommune
Grenaa - Anholt	33	1.796	0	264	125	7	0	1	5	2003			Kommune
Gudhjem - Christiansø	74	0	0	605	122	0	0	2	0	1967	204,8	0,6	Stat
Gudhjem - Christiansø									0	1930			Stat
Hals - Egense	358	152.323	5.095	26.836	13	6	0,2	2	10	1955	439,7	1,4	Kommune
Hals - Egense									10	1961	17,6	0,1	Kommune
Hammer Bakke - Orø								2	36	1978	440,9	1,2	Privat
Hammer Bakke - Orø								2	10	1962	4,2	0,0	Privat
Hardeshøj - Ballebro	179	107.634	3.054	10.729	17	10	0,3	1	30	2001	215,0	3,1	Kommune
Havnsø - Neksø									36	1998			Kommune
Havnsø - Sejerø	84	34.126	1.079	1.645	51	21	0,7	2	8	1994	210,3	3,0	Kommune

Rute	Antal årlige passagerer (2019, 1.000)	Antal årlige personbiler (2019)	Antal årlige lastbiler (2019)	Antal årlige afgang	Passager pr afgang	Personbiler pr afgang	Lastbiler pr afgang	Antal færger på ruten	PBE på færger (separat, hvis flere færger)	År, færgen blev bygget	Udledning af CO2 på årsbasis (2020)	Udledning af NOX på årsbasis (2020)	Ejer (fx kommune, stat, privat)
Holbæk - Orø	103	23.340	252	3.891	26	6	0,1	1	18	2003	778,1	11,1	Kommune
Hou - Samsø (Sælvig)	473	183.661	5.081	2.439	194	75	2,1	1	160	2015			Kommune
Hov - Tunø	50	558	204	690	72	1	0,3	1	6	1993	511,9	7,3	Kommune
Hundested - Rørvig	288	107.915	447	5.177	56	21	0,1	1	28	2013	706,4	10,1	Privat
Hvalpsund - Sundsøre	154	72.771	2.179	10.799	14	7	0,2	1	30	2006	388,7	5,5	Kommune
Kalundborg - Ballen	205	67.496	276	989	207	68	0,3	1	110	2009			Stat
Kleppen - Venø	231	117.582	1.492	19.200	12	6	0,1	1	13	2010	211,6	3,0	Kommune
Kragenæs - Fejø	169	79.206	2.803	6.682	25	12	0,4	1	14	1993	460,7	6,6	Kommune
Kragenæs - Femø	50	21.599	894	2.574	19	8	0,3	1	30	2002	846,4	12,1	Kommune
Kulhuse - Sølager								1	8	1947	118,9	0,4	Kommune
Mors - Thy (Feggesund)	144	76.149	4.801	13.667	11	6	0,4	1	22	2012	332,7	4,7	Kommune
Mors - Thy (Næs-sund)	45	22.136	623	9.513	5	2	0,1	1	10	1964	86,3	0,3	Privat
Odden - Ebeltoft	108	38.889	58	93	1.161	418	0,1	1	415	2013			Privat
Odden - Aarhus	3.386	1.312.699	3.452	3.727	909	352	0,9	2	415	2017			Privat

Rute	Antal årlige passagerer (2019, 1.000)	Antal årlige personbiler (2019)	Antal årlige lastbiler (2019)	Antal årlige afgange	Passager pr afgang	Personbiler pr afgang	Lastbiler pr afgang	Antal færger på ruten	PBE på færger (separat, hvis flere færger)	År, færgen blev bygget	Udledning af CO2 på årsbasis (2020)	Udledning af NOX på årsbasis (2020)	Ejer (fx kommune, stat, privat)
Odden – Aarhus									425	2019			Privat
Ragna, Mellerup - Voer								1	4	1963	61,9	0,2	Kommune
Rudkøbing - Marstal	4	860	2	66	61	13	0	1	32	2019	136,7	0,2	Privat
Rudkøbing – Strynø	76	20.358	796	2.982	25	7	0,3	1	14	2013	550,9	7,8	Kommune
Rønne - Køge	79	24.668	2.996	365	216	68	8,2	2	350	2018			Stat
Rønne - Køge								2	262	1978			Stat
Snaptun - Endelave	62	18.082	832	1.033	60	18	0,8	1	22	1998			Kommune
Snaptun - Hjarnø								1	7	1987	266,2	0,8	Kommune
Spodsbjerg - Tårs	524	208.228	8.290	6.231	84	33	1,3	2	122	2012	5264,6	75,0	Stat
Spodsbjerg - Tårs									122	2011	5221,6	74,4	Stat
Stignæs - Agersø	165	41.422	1.084	4.924	34	8	0,2	1	19	2012	969,2	13,8	Kommune
Stignæs - Omø	51	19.981	505	2.679	19	7	0,2	1	15	2004	1685,9	24,0	Kommune
Stubbekøbing - Bogø	28	2.917	66	1.473	19	2	0	1	12	1959	56,3	0,2	Kommune
Svendborg - Hjortø								1	1	1976			Kommune

Rute	Antal årlige passagerer (2019, 1.000)	Antal årlige personbiler (2019)	Antal årlige lastbiler (2019)	Antal årlige afgange	Passager pr afgang	Personbiler pr afgang	Lastbiler pr afgang	Antal færger på ruten	PBE på færger (separat, hvis flere færger)	År, færgen blev bygget	Udledning af CO2 på årsbasis (2020)	Udledning af NOX på årsbasis (2020)	Ejer (fx kommune, stat, privat)
Svendborg - Skarø, Svendborg - Drejøl, Drejøl - Skarø	50	12.587	269	1.502	33	8	0,2	1	10	1997			Kommune
Svendborg - Ærøskøbing, Fynshav - Søby, Faaborg - Søby	647	193.807	5.635	6.030	107	32	0,9	4	42	1999			Kommune
Svendborg - Ærøskøbing, Fynshav - Søby, Faaborg - Søby									31	2009			Kommune
Svendborg - Ærøskøbing, Fynshav - Søby, Faaborg - Søby									31	2019			Kommune
Thyborøn - Agger	117	50.697	1.071	4.835	24	10	0,2	1	22	2018	815,3	2,6	Kommune
Udbyhøj - Ragna , Møllerup - Voer								1	12	2006	124,8	1,8	Kommune
Aalborg - Egholm								2	3	1972	161,7	0,5	Kommune
Aalborg - Egholm									10	2011	74,8	1,1	Kommune
Aarø - Aarøsund	176	56.489	1.336	6.797	26	8	0,2	2	12	1999	547,4	7,8	Kommune
Aarø - Aarøsund								2	0	1998	1,7	0,0	Kommune