

# Notat om elektrificering og fremskrivning af Ærø's energiforbrug

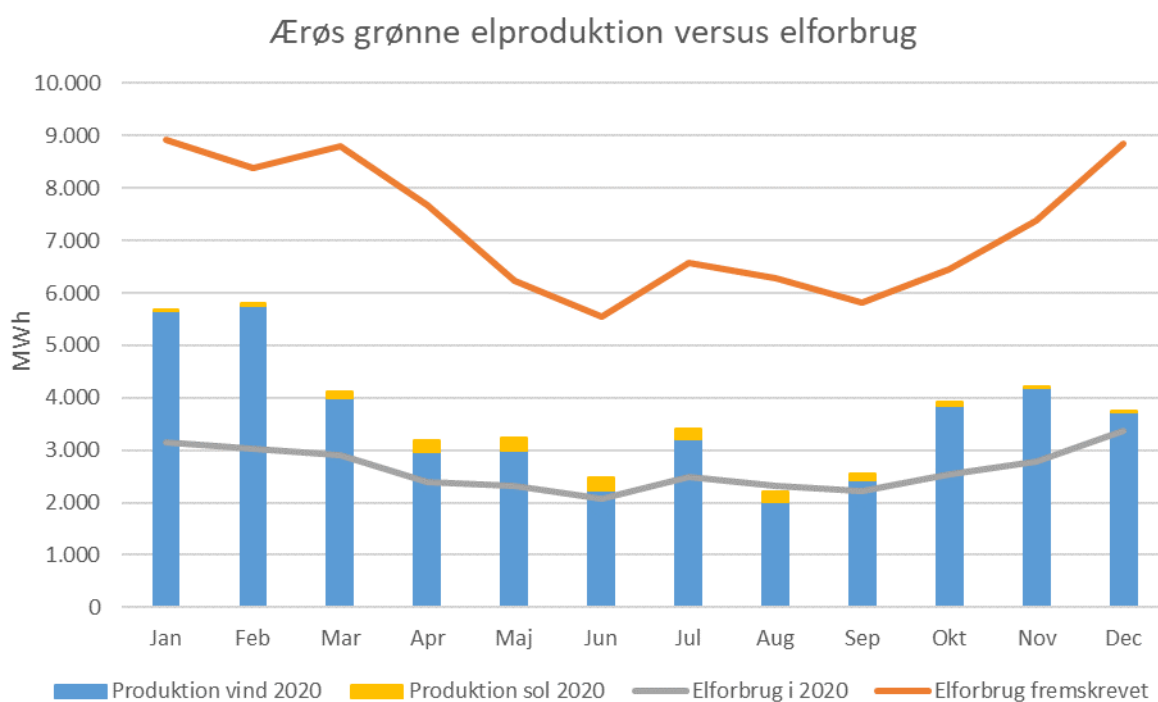
## 1 Sammenfatning

Notatet giver et estimat over den nødvendige udbygning af Ærø's lokale vedvarende energiproduktion for at nå Ærø's klimamål om CO<sub>2</sub> neutralitet for Ærø som geografisk område i 2040. Dertil kommer, ikke mindst, et delmål allerede i 2030 om en fossilfri ærøsk el- og varmesektor med selvforsyning på månedsbasis.

Målene vil omfatte en næsten total elektrificering af transportsektoren, inklusive færgefarten, som forventes afsluttet inden 2035, mens en væsentlig forøgelse af elektrificering af øens varmesektor skal være gennemført inden 2030 for at sikre målopfyldelse.

Teknologiske fremskridt ventes at fremskynde elektrificeringen af de fleste segmenter. Dette er f.eks. allerede ved at ske for personbiltransport og husstandsvarmepumper. Afhængigt af den teknologiske udviklingshastighed ventes fremskrivningen derfor at være et udtryk for efterspørgslen på ærøsk bæredygtig elektricitet på et tidspunkt i perioden 2030-2040, altså før end det endelige mål i klimaplanen.

Fremskrivningen er baseret på forbrugs- og produktionsdata fra 2020-tal, der bruges som et relativt nyt og gennemsnitligt vejr-år på såvel produktions- som forbrugssiden. Kun solvarme og halm som biomasse dyrket på Ærø medregnes til varmeproduktion, mens såvel oliefyr, træpiller, brændeovne og Marstal Fjernvarmes store anlæg til afbrænding af træflis erstattes af el til varmepumper i fremskrivningen.



Figur 1. Grøn elproduktion versus elforbrug nu og fremskrevet. Kilde: EMK (Ærø Energi- og Miljøkontor)

Ifølge klimaplanen skal selvforsyning opgøres på månedsbasis fremover. Hvis transportsektoren og varmesektoren på Ærø elektrificeres, bortset fra halm- og solvarme, vil der være behov for en markant højere elproduktion fra både vind og sol for at sikre selvforsyning over årets måneder, se figur 1.

Batterilagre vil være centrale for at sikre samtidighed mellem produktion og forbrug på timebasis, mens øens termiske varmelagre i nogen grad allerede kan gemme overskudsproduktion hen over sæsonen.

Selvforsyning ved elektrificering kræver omtrent en **fordobling** af Ærø's årlige vindproduktion og en **tidobling** af solcelleproduktion i 2030'erne set i forhold til året 2020. Dog vil månedsvariationer kræve yderligere reserver af installeret produktionskapacitet for at sikre fuld selvforsyning på månedsbasis.

Behovet for reserver af installeret produktionskapacitet kan nedbringes gennem langtidslagring af grøn energi, f.eks. ved at udbygge de termiske varmelagre ved øens fjernvarmeværker. Alternativt kan Ærø's egenproduktion af biomasse til opvarmningsformål forøges. Et andet alternativ er at producere såkaldte elektrofuels på basis af elektrolyse med el. Disse har dog en meget ringe virkningsgrad, og kræver skalaøkonomi og en konstant tilstrømning af overproduktion af el, hvorfor det ventes mest rentabelt at lave dem på store anlæg uden for Ærø.

## 2 Indhold

1	Sammenfatning .....	1
2	Indhold.....	2
3	Motivation og metode.....	4
4	Fremskrivning af Ærø's elforbrug og elproduktion .....	6
5	Ny elproduktion fra vind og sol på Ærø.....	8
6	Behov for langtidslagring af energi.....	10
7	Power-to-X på Ærø?.....	11
8	Behov for batterier til korttidslagring og samtidighed.....	12
9	Produktion af varme ved el og biomasse på Ærø.....	13
10	Elektrificering af færgerne.....	15
11	Elbiler .....	17
12	Elbusser.....	20
13	Ellastbiler .....	20
14	Øvrige mobile enheder.....	21
15	Selvforsyningssikkerhed .....	22
16	Konklusioner.....	24
<b>17</b>	<b>Anbefalinger og videre arbejde .....</b>	<b>25</b>
18	Litteraturliste.....	27
19	Liste over figurer.....	29
20	Liste over tabeller.....	30



### 3 Motivation og metode

Dette notat er et centralt input til strategier for at nå Ærø's klimamål (Kilde: Ærø Kommune 2022) om selvforsyning med bæredygtig og fossilfri energi til el- og varmesektoren i 2030 og CO<sub>2</sub>-neutralitet for hele Ærø som geografisk område senest i 2040.

Notatet er et første estimat, der søger at fremskrive det nødvendige behov for bæredygtig elproduktion, når en række fossile energikilder skal udfases og biomasse produceret udenfor Ærø ikke længere kan anvendes.

Omstillingen, der forudsættes i notatets fremskrivning, bygger på tre søjler, der hver især og tilsammen vil kunne bidrage til en sandsynlig opfyldelse af målene for energi-, varme- og transportsektoren i Ærø's klimamål.

#### Elektrificering



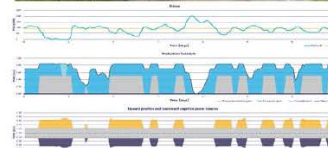
Fjerne emissioner  
Forbedre virkningsgrader  
Sænke brutto-energibehov

#### Udbygning af sol og vind



Erstatte benzin og diesel  
Erstatte bunker- og fyringsolie  
Erstatte import af træflis

#### Balancering af elnettet



Mobile og stationære batterier  
Termiske varmelagre  
Fleksibelt forbrug og smart grid

Figur 2. Principperne for omstillingen bygger på tre søjler, der hver for sig og tilsammen vil kunne bidrage til opfyldelse af delmål og mål i Ærø's klimaplan fra 2022.

**Elektrificering** antages at være et centralt værktøj for at fjerne emissionerne og udgør første søjle i omstillingen. Samtidig fører en forbedret virkningsgrad ved elektrisk fremdrivning og opvarmning med varmepumper til en reduktion i brutto-energibehovet på Ærø. Andre teknologier til at eliminere emissioner diskuteres også kort i notatet.

**Udbygning af sol- og vindproduktion** udgør anden søjle i omstillingen, og antages at være en central energikilde til erstatning af fossile brændstoffer i varme- og transportsektoren. Også træflis importeret udefra til energi- og varmesektoren, antages erstattet af vind- og solenergi i fremskrivningen for at nå 2030-mål om ærøsk selvforsyning, mens biomasse produceret på Ærø, kun diskuteres kort i notatet.

**Balancering af elnettet** udgør den tredje søjle i omstillingen, og er en forudsætning for såvel selvforsyning som udbygningen af sol og vind som energikilde, da disse er stærkt varierende. Det antages at samtidighed i fremskrivningen opnås ved hjælp af mobile og stationære batteristationer (dagsbasis), termiske varmelagre (dags-, uge- og månedsbasis) samt fleksibelt forbrug opnået via smart-grid-systemer og prismæssige incitamenter (dags- og ugebasis).

Beregningen bygger på udtræk og efterbehandling af produktions- og forbrugsdata fra 2020 samt en lang række antagelser, der uddybes i notatet. Beregningen tager ikke højde for variationer i produktion og

forbrug fra det ene år til det andet, hvilket vil kræve en mere omfattende analyse. Der er dog i notatet også kigget på et enkelt ekstrem-år, 2021. Begrundelse for at benytte 2020 og 2021 i notatet, er at der ligger relativt friske og relevante data for disse to år klar fra Ærø Energi- og Miljøkontors CO<sub>2</sub>e-opgørelser for Ærø som geografisk område samt, at de to år er vejræssigt meget forskellige år. Hvor 2020 lå forholdsvis normalt vejræssigt, hvad angår gennemsnitlig vind og graddage, så var 2021 både meget lidt blæsende og meget koldt målt i graddage (Kilde: EMO skyggegraddage opgjøret af teknologisk institut).

Ærøsk produktion i MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Årsum
Vind og sol i 2020	5.675	5.793	4.128	3.179	3.237	2.478	3.401	2.211	2.557	3.926	4.223	3.740	44.550
Vind og sol i 2021	3.233	3.661	3.105	3.360	3.295	1.793	2.374	3.278	2.331	4.329	3.847	4.193	38.799

Tabel 1. Ærøs vind- og solproduktion af elektricitet i 2020 og 2021. Kilde: EMK, Energi data service og Ærø Vind I/S

I tabel 1 sammenlignes Ærøs grønne elproduktion til elnettet i 2020 med et af de dårligste år i nyere tid, der viser sig at være naboåret 2021. Det dårlige år 2021 var 13% ringere end 2020. Forskellen skyldes især et ekstremt vindstille første kvartal, der ellers typisk er de mest blæsende måneder i året. Strategier til at imødegå sådanne ekstreme diskuteres til sidst i notatet.

Forsyningskæden fra vindmøller eller solceller via elnet og batterier til elmotor eller varmepumpe, er forbundet med meget små tab. Ved elektrificering af energiforbrug, der før var dækket af fossile brændsler, reduceres det samlede energibehov målt ved kilden. Til gengæld stiger behovet for elektricitet som energiform på Ærø naturligvis samlet set, hvilket fremskrivningen da også viser.

Virkningsgraden ved afbrænding af fossile energikilder eller biomasse, er for de fleste forsyningskæder meget ringe med undtagelse af forsyningskæder til varmeproduktion. Derfor er der i notatet regnet på en fuld og total elektrificering af hele transportsektoren. Desuden er der også regnet på en erstatning af oliefyr, træflis, træpiller og brændeovne i varmesektoren gennem elektrificering. Her kan ny biomasse, produceret på Ærø, også være et alternativ. Dette alternativ er dog ikke undersøgt eller indregnet i notatet og vil kræve yderligere studier.

Det eneste, der ikke elektrificeres i notatets beregninger, er solvarmeanlæg og halmvarmeanlæg. Notatet giver derfor et omtrentligt indtryk af størrelsesordenen af den nødvendige udbygning af Ærøs bæredygtige elproduktion ved vind og sol i årene frem mod 2030'erne, hvor delmål om selvforsyning på månedsbasis skal være nået samtidig med at batteriteknologier ventes at overtage transportområdet næsten fuldt ud.

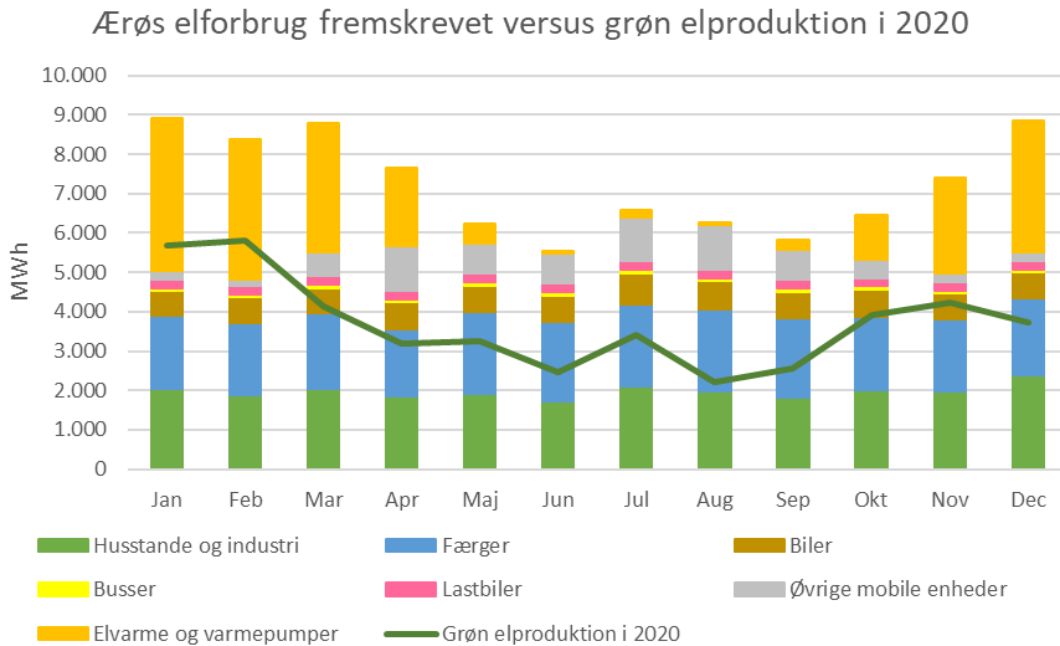
Mindre blæsende år end 2020, som f.eks. 2021, kan indikere et højere behov for udbygning af vindproduktionskapacitet end forudsat i fremskrivningen. Omvendt vil en merproduktion af biomasse til varmesektoren kunne nedsætte behovet for produktion fra især vindmøller.

Endelig vil elektricitet fra de perioder, hvor den lokale produktion overstiger elforbruget på Ærø, kunne anvendes til at producere Power-to-X produkter, såkaldte elektrofuels. Disse elektrofuels kan nedsætte behovet for el til transportsektoren. Der er ikke i notatet regnet på dette, men fordele og ulemper ved lokal produktion af Power-to-X diskuteres kort i sidste del af notatet versus f.eks. større termiske varmelagre.

Således er fremskrivningen i notatet ikke agnostisk over for valget af teknologier, der skal sikre omstillingen og opnåelse af Ærøs klimamål for sektorerne. Dog vurderes det, at de teknologivalg som fremskrivningen er baseret på, er realiserbare, og generelt bygger på kendte og økonomisk bæredygtige principper, der er tilgængelige i 2023 eller få år derefter.

Med andre ord kan der komme teknologier, der performer miljømæssigt og økonomisk bedre på den lange bane, mens fremskrivningen er bedste bud på fremtidens energibehov, når fremskrivningen baseres på kendte og relativt markedsmodne teknologier.

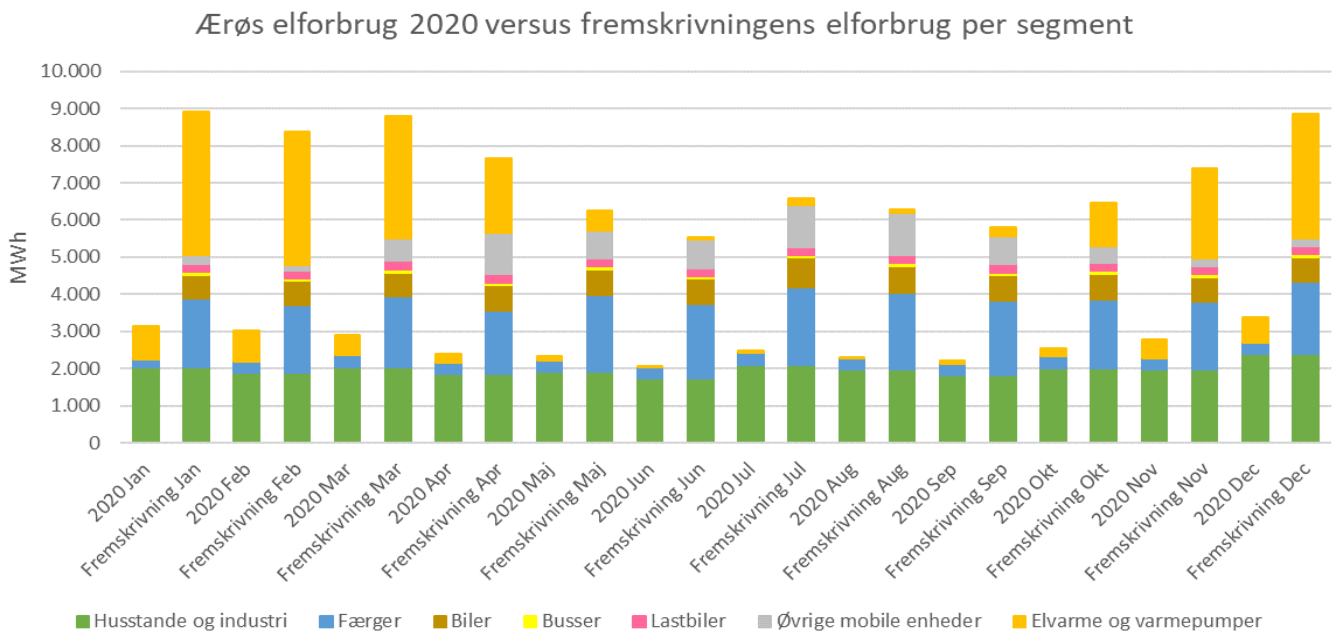
## 4 Fremskrivning af Ærø's elforbrug og elproduktion



Figur 3. Fremskrivning af Ærø's elforbrug ved elektrificering af en række sektorer frem mod klimamål. Kilde: EMK

Ved en elektrificering af såvel transporten som en betydelig del af varmesektoren, skal der installeres signifikant yderligere grøn produktionskapacitet af el i Ærø Kommunes geografiske område for at sikre selvforsyning.

Selvom Ærø på månedsbasis var selvforsynende med grøn el i 2020 til øens elforbrug, ifølge figur 1, vil omlægningen til mere eldrift betyde, at Ærø's nuværende egenproduktion ikke slår til, hverken på måneds- eller årsbasis, se figur 2 ovenfor. De nuværende termiske varmelagre er udnyttet i fremskrivningen.



Figur 4. Ærø's elforbrug (opdelt i segmenter) vil næsten tredobles i forhold til 2020 ved nærværd fuld elektrificering. Kilde: EMK

Behov for el til de enkelte transportkategorier plus tilvæksten i el til varmesektoren, når omlægningen er afsluttet, ses af figur 3. Transportsektoren udgør den største tilvækst, herunder især færgerne. Om vinteren er el til varmesektoren dog også en markant faktor i den månedlige efterspørgsel.

Det betyder, at den installerede produktionskapacitet af vind- og solenergi skal udbygges i samme tempo som omlægningen. Som det ses i kapitel 11 om elbiler, sker teknologiskift som S-kurver, hvis hastighed og tipping point<sup>1</sup> er svære at forudsige, og ofte indfinder sig væsentligt før myndigheders prognoser.

Ærø har en relativt lille andel af solcelleproduktion i dag. Der er installeret 1,5 MW solcelleproduktionskapacitet, der producerer ca. 1.500 MWh årligt. Anlæggene er hovedsageligt placeret på taganlæg i husstande og virksomheder. Erfaringsmæssigt er der et "skyggetal" på cirka 30% af solcelleproduktionen, der bliver brugt med det samme af husstanden eller virksomheden, der ejer anlægget før måleenheden, uden at blive sendt på elnettet (Kilde: EMK).

I data grundlaget fra Energi Data Service er dette skyggetal medtaget i produktionen ved erfaringsmæssig beregningsmetode (Kilde: Niels Einar Helstrup, Energinet). Til gengæld er skyggetallet ikke reflekteret i Ærøs elforbrug fra samme datakilde. Energimængden bag måler udgjorde for 2020 i alt 661 MWh, hvis skyggetallet antages at være 30%. For fremskrivninger med ny solcelleproduktion, til nye elektrificeringsbehov, er de registrerede data fra Energi Data Service for Ærø benyttet og tillagt 15% for at vurdere produktion per installeret MW på de nye anlæg. Tillægget er et skøn, der skal afspejle den hastigt voksende virkningsgrad på nye solceller i forhold til gennemsnitsalderen på Ærøs eksisterende anlæg.

Flere solceller vil dog kun hjælpe betydeligt i sommermånederne, så en kombination af mere sol- og vindproduktion vil være nødvendig. Dertil bør der udvikles en strategi og en tidsplan for udbygningen kontra elektrificeringshastigheden med mulighed for justeringer eller et passende forspring til produktionskapaciteten.

Ifølge fremskrivningen øges den årlige efterspørgsel på bæredygtig elektricitet med 55.335 MWh fra 31.589 MWh i 2020 til 86.924 MWh efter fremskrivningen. Det er en vækst på 175% eller en tilvækst på en faktor 2,8 i forhold til efterspørgslen i 2020.

I 2020 var Ærøs elproduktion fra vind og sol på 44.550 MWh til elnettet. Heri er indregnet 1.542 MWh, hvor Ærø Vind fik betaling for at stoppe møllerne i stedet for at producere. Dermed var selvforsyningsgraden 141% for hele året 2020, når der alene ses på den grønne elproduktion på Ærø i forhold til øens elforbrug.

Der blev også produceret 2.616 MWh elektricitet på Marstal Fjernvarmes ORC (Organic Rankine Cycle-anlæg), som drives med træflis, men det er importeret træflis, og regnes derfor ikke med i den bæredygtige elproduktion på øen. Der er ikke i fremskrivningen regnet med ny biomasseproduktion på Ærø.

Af de stablede søjlediagrammer i figur 3, ses de mest markante årsager bag tilvæksten i fremskrivningen af elforbruget frem til 2030'erne:

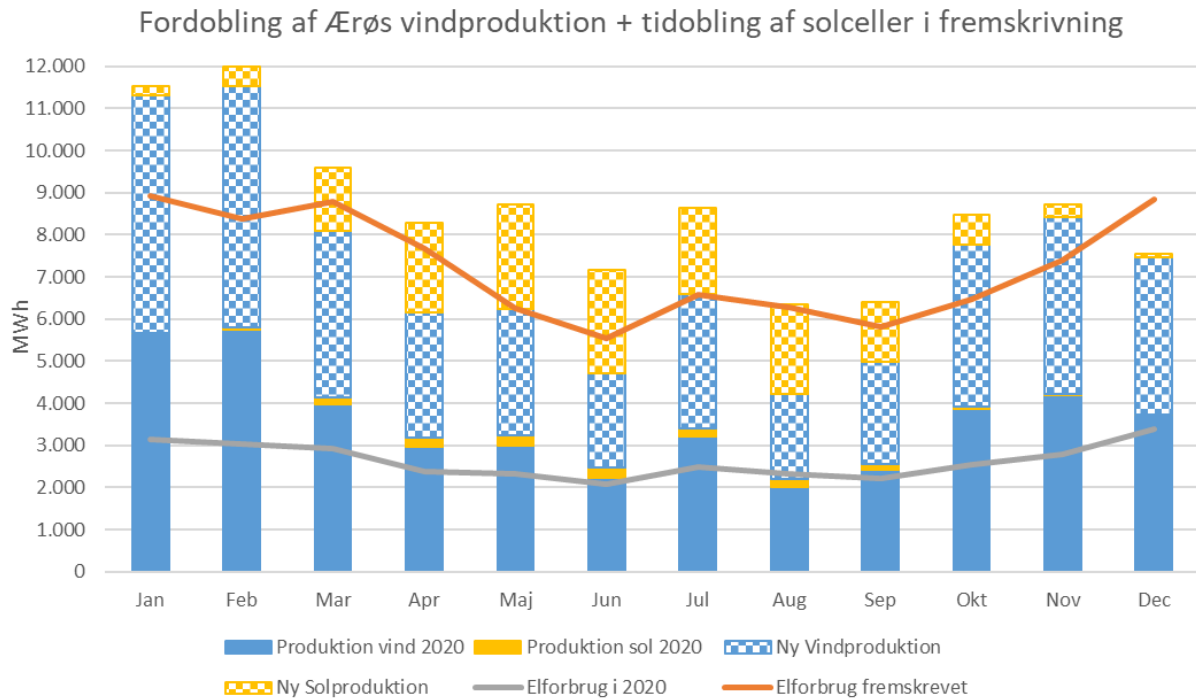
- Færgernes elektrificering, bemærk at alle færgernes opladning er lagt på Ærø i opgørelsen
- Behovet for el til varmesektoren, hvis oliefyr, træflis, træpillefyr og brændeovne skal erstattes
- Behov for el til opladning af elbiler, elbusser, ellastbiler og øvrige mobile enheder, når de er på Ærø

Hver af disse kategorier og antagelser bag tilvæksten diskuteres i notatets resterende afsnit. Det ordinære elforbrug til husstande og industri antages ikke at stige i perioden. Omvendt antages heller ikke en nedgang i det ordinære elforbrug. Tilvækst fra øget aktivitet på øen, f.eks. mere turisme, forventes modsvaret af løbende forbedringer i energieffektiviteten for ordinært forbrug af el i husstande og virksomheder.

---

<sup>1</sup> Tipping Point defineres normalt ved 12-15% markedsandel for nye teknologier, der følger S-kurver. Stephen Semple.

## 5 Ny elproduktion fra vind og sol på Ærø



Figur 5. Scenarie der viser en fordobling af vindproduktion og tidobling af solcelleproduktion på Ærø i forhold til 2020 produktion. Kilde: EMK

Ærø havde i 2020 en installeret vindmøllekapacitet på 12 MW og solcellekapacitet på 1,5 MW. Afhængigt af opstillingssted og anlæggenes alder, giver den installerede kapacitet en større eller mindre årlig produktion i gennemsnit. Fra år til år vil der naturligvis også være store udsving på grund af vejret.

De 2 x 3 møller, der er opstillet ved Vejsnæs og Rise Mark på Ærø, kommer ind på henholdsvis en 4. og en 6. plads som de bedst producerende 2 MW møller i Danmark. I 2020 produceredes 3.576 MWh per installeret MW vindmøllekapacitet på Ærø (Kilde: EMK og Ærø Vind).

Dertil ligger Ærø i den bedste tredjedel for årlige solskinstimer (Kilde: DMI-rapport 16-19). Kombineret med øens sydlige beliggenhed, hvilket har positiv betydning for indstrålingen, placerer det Ærø blandt Danmarks bedste lokationer for solproduktion. I 2020 produceredes 1.027 MWh per installeret MW solceller på Ærø (Kilde: EMK og Energi Data Service).

Dette gennemsnit tillægges 15% for teknologisk bedre solceller, som nævnt i kapitel 4, og anvendes for ny produktion i fremskrivningen. Gennemsnittet ligger lidt over gennemsnittet for danske solcelleanlæg, men Ærø ligger også godt og virkningsgraden på nye solceller forbedres løbende i den periode anlæggene forventes opsat (Kilde: Energistyrelsens Teknologikatalog for elproduktion).

I figur 5 ses et scenarie, hvor Ærø's fremskrevne forbrug dækkes af lokalt produceret grøn energi. Det antages i notatet, at dette kan opnås ved at fordoble installeret produktionskapacitet fra 12 MW til 24 MW, mens installeret solcellekapacitet tidobles fra 1,5 MW til 15 MW. Hvorvidt dette er tilstrækkeligt, kommer an på placering og teknologi for den installerede kapacitet. Igen er der fremskrevet på basis af året 2020 og fordelingen af produktionen de enkelte måneder i 2020. Der kunne vælges andre kombinationer af vind- og solandele for scenariet, men fremskrivningen viser god balance mellem den udvidede energiproduktion og det fremskrevne forventede energiforbrug. December 2020 var en ekstremmåned med meget lidt vind. Ekstremer omtales dybere i kapitel 15.



I notatet antages, at den nye produktionskapacitet opstilles i Ærø Kommune som geografisk område. For vindmøller enten på land eller til søs kan 1-3 nye møller dække scenariet for øget vindproduktion, da udviklingen går mod større og større enheder. Men udskiftning af de eksisterende møller på Ærø, til større enheder, kan også bidrage til væksten i installeret kapacitet. Begge dele vurderes realistisk, baseret på screening for områder til vindmøller på Ærø (Kilde: Urland, maj 2023). Husstandsmøller kan også bidrage.

Installeret solcellekapacitet skal i scenariet sikre større forsyningssikkerhed i sommermånederne, hvor vindproduktionen er lav eller svingende. De 13,5 MW ekstra kapacitet udgør et arealbehov på omtrent 15 hektar, hvis opsat på jorden i åbne solparker (Kilde: Energistyrelsens Teknologikatalog for elproduktion).

Det vil være relevant at undersøge muligheden for at opsætte en del af solcellekapaciteten på henholdsvis erhvervs- og landbrugsbygninger samt kommunale bygninger. Bygningsarealet for disse kategorier er opgjort til 31,3 hektar på Ærø i 2022. Dertil kommer boligbebyggelse, garager, carporte og udhuse med relevant tagdækningsmateriale på 64,1 hektar (Kilde: Danmarks Statistik Tabel BYGB50).

Tagflader erhvervsbebyg. m2	Fladt tag	Tagpap skrå	Fibercement	Cementsten	Tegl	Metalplader	I alt
Landbrugsbygninger	-	-	120.000	6.000	4.000	26.000	156.000
Industribygninger	1.000	2.000	24.000	-	3.000	8.000	38.000
Institutioner og haller	7.000	3.000	13.000	-	20.000	-	43.000
Kontorer, handel, lager, hotel	6.000	8.000	30.000	1.000	25.000	6.000	76.000
<b>Tagflader i alt</b>	<b>14.000</b>	<b>13.000</b>	<b>187.000</b>	<b>7.000</b>	<b>52.000</b>	<b>40.000</b>	<b>313.000</b>
Tagflader boligbebyggelse m2	Fladt tag	Tagpap skrå	Fibercement	Cementsten	Tegl	Metalplader	I alt
Stuehuse landbrug	-	-	28.000	12.000	14.000	1.000	55.000
Parcelhuse	3.000	2.000	146.000	58.000	103.000	7.000	319.000
Anden beboelse	-	1.000	20.000	7.000	29.000	-	57.000
Sommerhuse	-	-	6.000	2.000	4.000	1.000	13.000
Garager, carporte og udhuse	4.000	8.000	106.000	19.000	20.000	40.000	197.000
<b>Tagflader i alt</b>	<b>7.000</b>	<b>11.000</b>	<b>306.000</b>	<b>98.000</b>	<b>170.000</b>	<b>49.000</b>	<b>641.000</b>

Tabel 2. Bebygget areal efter anvendelse på Ærø 2022 for kategorier og tagtyper, der kan bruges sig til solcellepaneler. NB. 1 hektar = 10.000 m2. Kilde: Danmarks Statistik tabel BYGB50 og EMK.

Ikke alle tagtyper og placeringer er lige egnede til opsætning af solceller. Installation af solceller er klart billigst på bar mark i store anlæg, ligesom effektiviteten er bedst, hvis panelerne holdes kølige (Kilde: ENS analyse december 2020). På beboelsesbygninger foretrækkes ofte en øst-vest-placering, der giver det bedste input i forhold til husstandens tidspunkter for forbrug.

For større solanlæg- og solparker giver en sydlig orientering bedst udbytte. Endelig kan en sydvendt lodret opsætning af solpaneler, på f.eks. industribygninger, også være en god kombination, der især øger produktiviteten i vintermånederne med lav solhøjde. Set i forhold til tagfladearealerne i tabel 2, er det ikke urealistisk, at en betydelig del af den nye solcellekapacitet kan opsættes på tagflader og facader. Kommercielle anlæg kræver dog opsætning på nye tage eller i forbindelse med udskiftning af tage for at sikre investeringens levetid, og er billigst på flade industritage. Dertil kommer relativt komplicerede analyser af lokal netkapacitet på lokationerne (Kilde: J. Sidenius, Green Solar Energy og ENS analyse 2020).

En decentralisering af solpanelerne betyder altså meromkostninger, men kan måske give andre fordele, blandt andet gennem udviklingen af Smart-Grid-styring og et kommende borgerenergifællesskab på Ærø. Dele af produktionskapaciteten vil sandsynligvis stadig skulle samles på større arealer, hvilket vurderes realistisk baseret på screening for områder til solceller på Ærø (Kilde: Urland, maj 2023).

Af scenariet i figur 4 fremgår det, at der er stort overskud af vindproduktion i januar og februar både i 2020 og i fremskrivningen til 2030'erne. Dette er udtryk for at, vi i Danmark, og på Ærø, er nødt til at have en relativ stor andel af vindproduktion for statistisk set at nå en rimelig sandsynlighed for at kunne dække alle årets måneder med bæredygtig vedvarende energi.

Der er, som nævnt, ikke i dette notat analyseret detaljeret på scenariets og udbygningens dækning af time for time eller døgn for døgn selvforsyning af Ærø, da det ikke er et krav i klimaplanen. Det diskuteres dog kvalitativt i kapitel 8, hvorvidt at den nødvendige batteri- og lagringskapacitet hertil er indenfor rækkevidde.

## 6 Behov for langtidslagring af energi

Lagring af energi fra sæson til sæson eller fra uge til uge er endnu kun teknologisk og økonomisk muligt for termiske varmelagre. Der findes 5 varmelagre af varierende størrelse ved Ærøs 3 fjernvarmewærker allerede, og der planlægges med et mere. De eksisterende er som nævnt allerede indregnet og brugt i fremskrivningerne for den månedlige dækning af behov for elproduktion i notatet.

Scenariet i figur 4 viser, at der er behov for yderligere termisk varmelagring, hvis også december måned skal kunne dækkes ved ærøsk selvforsyning med bæredygtig energi i fremskrivningen. Der mangler i december 1.291 MWh i elproduktionen i det fremskrevne scenarie, der ville kunne dækkes af større kapacitet i sæsonlagringen, hvis overskudsproduktion af el fra tidligere måneder havde været lagret.

Om vinteren vil produktionsunderskud af el forholdsvis billigt kunne dækkes af en øget andel af termisk varmelagring fra forudgående overskudsmåneder. Det forudsætter dog at der indgår varmepumper i fjernvarmens forsyning, som kan reguleres ned, således at varmen til kunderne fra disse varmepumper i perioder med produktionsunderskud af el erstattes af varme fra de termiske varmelagre. For eksempel har damlageret Sun Store 4 på 75.000 m<sup>3</sup> ved Marstal Fjernvarme en lagringskapacitet på hele 6.960 MWh før tab for virkningsgrad og transmission (Kilde: ENS, Udredning vedrørende varmelagring, 2013).

Lagrene opvarmes i dag mest af solfangere, men opvarmning ved elektricitet gennem elpatroner eller varmepumper er også en mulighed. Når først elproduktion er sendt til termiske varmelagre kan energien dog kun effektivt bruges til varmesektoren. Derfor er manøvren med regulering via fjernvarmens varmepumper nødvendig. Kun med meget store tab kan den lagrede energi i et damlager omsættes tilbage til elektrisk energi. Derfor er det vanskeligt at langtidslagre energi til f.eks. opladning i transportsektoren eller til ordinært elforbrug. I disse sektorer sker kort- eller langtidslagring på væsentligt dyrere litium- eller natrium-ion batterier, hvor virkningsgraden ved lagringen til gengæld er meget højere end ved termisk lagring. Nye typer termisk lagring med høje temperaturer er kun i forsøgsstadiet hjælpe med elproduktion.

Overskudsproduktionen af el fra vindmøllerne i januar og februar kan ikke rentabelt gemmes på litium-ion batterier til sommerens højere behov for el til transportsektoren. Samtidig ligger behov for el til varmesektoren forskudt relativt langt væk fra januar og februar i tid til den efterfølgende vinter.

Øens fjernvarmewærker ser ikke, isoleret set, en økonomisk fordel i at udbygge de termiske varmelagre eller solproduktionen på de eksisterende fjernvarmenetværk udover det planlagte. Klimaplanens mål om selvforsyning på månedsbasis kunne dog tale for, at en udbygning af termiske varmelagre kunne være et bidrag til at sikre sig mod vindfattede ekstremmåned. Opmagasineret termisk varme, der hentes ud igen i ekstremt vindfattede måneder, ville på denne måde kunne nedsætte behovet for el til varmepumper, og dermed efterspørgslen på el i den vindfattede periode. Der er dog behov for at denne forsyningssikkerhed værdisættes for at få rentabilitet i en udbygning af de termiske varmelagre på Ærø.

Udviklingen af nye og billigere typer af batterier går stærkt, men "tipping-point" i forhold til rentabilitet ved langtidslagring af elektricitet er vanskeligt at forudsige. Varmekapaciteten i Sun Store 4 koster kun 2,86 DKK/kWh, mens en containerløsning med litium-ion-batterier koster omkring 3.500 DKK/kWh, mere end en faktor 1000 til forskel. Energiformerne er naturligvis ikke ens, men kan lagret udnyttes til varmeregulering overfor f.eks. varmepumper, som beskrevet tidligere, opnås fleksibilitet.

## 7 Power-to-X på Ærø?

Ved udbygning af bæredygtig energiproduktion baseret på vind og sol, vil variationerne i vejret uundgåeligt føre til overskudsproduktion i nogle perioder, hvis der skal være en rimelig sikkerhed for selvforsyning på månedsbasis på Ærø. Ønskes en høj sikkerhed for selvforsyning på månedsbasis i vejrmæssigt dårlige måneder, øges sandsynligheden for overskudsproduktion i vejrmæssigt gode måneder tilsvarende.

Overskudsproduktionen kan enten lagres på øen, eksporteres via søkablerne, eller den kan gå til spilde ved at stoppe vindmøller eller solcelleanlæg, som det ofte sker i dag. En ny mulighed er dog at bruge overskudsproduktion til fremstilling af brint ved elektrolyse, der herefter tilsættes CO<sub>2</sub> eller kvælstof til andre mere brugbare grønne brændstoffer (elektrofuels), der kan bruges i transportsektoren.

Under ét kaldes disse teknologier for Power-to-X. Sådanne anlæg satses der fra dansk side stort på i disse år, men virkningsgraden er forsat meget ringe og teknologien stadig relativt umoden. Dertil kommer, at anlæggene, ligesom vindmølleranlæg, vil kræve en form for stordrift, hvis rentabilitet skal kunne opnås.



Figur 6. Siemens Gamesa hydrogen pilot plant i Brande. Power-to-X anlægget blev besøgt af Udvalget for bæredygtig energi fra Ærø i august 2022. Kilde: Siemens Gamesa Green hydrogen unlocked, the Brande hydrogen project white paper, September 2022.

Det er endnu meget usikkert om Ærø har den nødvendige størrelse til at være relevant for sådanne anlæg set i forhold til alternativer – f.eks. at eksportere elproduktionen til større anlæg i Åbenrå, og modtage de flydende grønne brændstoffer via tankvogne og færgeruter.

En klar ulempe ved et lokalt anlæg, er risikoen for, at det kommer til at ligge stille i lange perioder, hvis planerne om bedre balancering gennem udnyttelse af fleksibilitet på Ærø rent faktisk lykkes for det nye borgerenergifællesskab.

Den store andel af batterier hos Ærø's forbrugere, der blandt andet vil øges med de planlagte elfærgers store batteribanker, taler også for, at Ærø potentielt kan blive et mønstereksempel indenfor lokal balancering af energi på time- og dagsbasis.

Endelig tilsiger de relativt korte køreafstande på Ærø, at det tidligt vil være teknisk muligt også at elektrificere den tunge kørsel inklusive busser, lastbiler og landbrugsmaskiner med batteridrift. Dermed

falder behovet for flydende grønne brændstoffer fra Power-to-X. Disse dyre brændstoffer kan produceres og bruges af andre landsdele med større behov for volumen og rækkevidde. Derfor er Power-to-X ikke medtaget som lagringsmedie eller brændstof i dette notats fremskrivninger.

## 8 Behov for batterier til korttidslagring og samtidighed

Den nødvendige batterikapacitet for at sikre samtidighed mellem elproduktion og elforbrug på time- eller dagsbasis er ikke analyseret i dette notat, men vil kræve yderligere beregninger. Der er ingen enkel tommelfingerregel for den nødvendige batterikapacitet til at balancere udbud og efterspørgsel over døgnet for at opnå samtidighed og undgå import og eksport til og fra Ærø. Mange faktorer spiller ind, men nogle studier tyder dog på, at en batterikapacitet på en faktor mellem 4 og 8 af den installerede produktionskapacitet vil sikre en rimelig udjævning (Kilde: Dr. John Feddersen, Aurora Energy Research samt Tesla Masterplan 3).

I fremskrivningen regnes med 39 MW installeret produktionskapacitet for at sikre VE-produktion til fremskrivningen, henholdsvis 24 MW vindmøller og 15 MW solceller på Ærø. Med en faktor 4 til 8 svarer dette til 156-312 MWh nødvendig batterikapacitet i det ærøske elnet til udjævning på time eller dagsbasis. De termiske varmelagre er ikke indregnet heri, da deres lagring især er beregnet langtidslagring for uger og måneder.

156-312 MWh kan lyde voldsomt, men alene elkøretøjer og elfærger ventes at have en batterikapacitet på 296 MWh baseret på statistik over antal køretøjer og fartøjer samt estimer for gennemsnitlig batteristørrelse i disse køretøjer og fartøjer. Med smartgrid styring, kan disse gøres tilgængelige, når køretøjer og færger er sat i ladestik som Vehicle to Grid (V2G) services.

Dertil kommer mulige stationære batteribanker i husstande, i industrien, på havne og ved ladestationer. Disse kan bruges til såkaldt peak eller time shifting, til regulerkraft og balancering i elnettet eller simpelthen til at spare på tilslutningsbetalingen til større elinstallationer, så færre ampere skal tilsluttes elnettet.

Et husstands batteri er i dag på typisk 5-10 kWh, og der er 3.372 husstande på Ærø (Kilde: Danmark Statistik tabel FAM55N). Hvis en femtedel af husstandene får batteripakker, er det dog kun omtrent 5 MWh.

Industri- og havnebatteripakker samt batteripakker i forbindelse med vind- og solanlæg samt kraftige lynladestationer til transporten vil derfor være en vigtig brik for at sikre en robust selvforsyning på time- og dagsbasis. Disse batteripakker er, modsat batterier i køretøjer og fartøjer, tilgængelige hele døgnet, og derfor en stor kvalitet for optimeringen af det ærøske elnet, så import af el kan undgås mest muligt.

Der er ikke krav i klimamålene om, at Ærø skal være selvforsynende på time- eller dagsbasis. Søkabler til Als og Langeland vil stadig stå til rådighed for import af el, når det ikke blæser eller solen ikke skinner, samt eksport ved overskud af grøn el. Alligevel vil søkablerne med den fremskrevne elproduktion kunne blive en flaskehals i nogle scenarier. Derfor bør der være et skarpt fokus på at nedsætte importen, hvilket vil være en del af strategien for at sikre selvforsyning på månedsbasis.

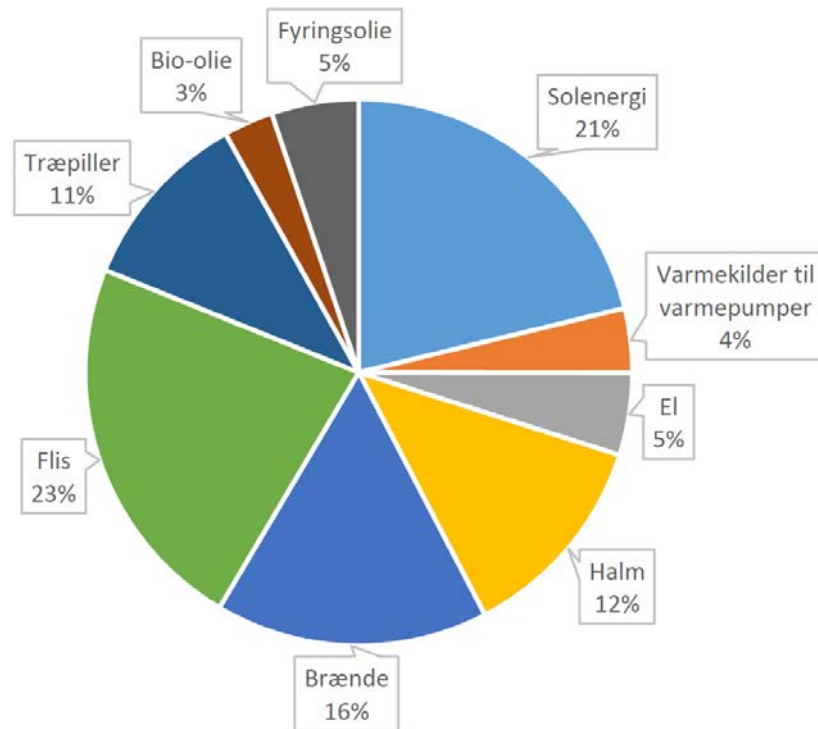
Ved at udbygge Ærø's egen batterikapacitet, reduceres unødigt eksport, der ellers skulle importeres timen eller døgnet efter, og dermed fjernes to gange 4% tab på søkabeltransmission (Kilde: EMK, N1).

Kategori	MWh batteri
Biler	169
Varebiler	43
Busser	5
Lastbiler	9
Traktorer	42
Færger	29
	296

Tabel 3. Estimeret kapacitet af batterier i Ærø's køretøjer og fartøjer i 2040. Kilde: EMK

## 9 Produktion af varme ved el og biomasse på Ærø

Det samlede brutto energiforbrug til varme på Ærø i 2020 er beregnet til 308,7 TJ (Tera Joule) fordelt på følgende brændsler og energikilder:



Figur 7. Opgørelse af det samlede brutto energiforbrug til varme på Ærø i 2020. Kilde: EMK

I fremskrivningen af Ærø's energiforbrug elektrificeres varmekildeforbrug fra brændsler, der ikke umiddelbart kan produceres bæredygtigt på øen. Det omfatter dermed fyringsolie, bio-olie, træpiller, træflis og brænde. I alt 58% af brutto energiforbruget til opvarmning.

Af tabel 3 nedenfor, fremgår brutto energiforbruget per brændsels- eller energikilde i TJ samt MWh (1 TJ ~ 278 MWh). Samtidig fremgår det estimerede behov for elproduktion for dækning af varmebehovet efter elektrificering med brug af moderne varmepumper for de nævnte brændselstyper. Der regnes med en gennemsnitlig COP-faktor på 3 for bestemmelse af elbehov til varmepumper i forhold til brutto energiforbruget per brændselstype:

Energiforbrug til varme 2020	Brutto energiforbrug: 308,7 TJ			Fremskrevet elbehov
	Andel i %	TJ	MWh	MWh
Solvarme fra solfangerpaneler	21	64,8	18.022	ikke elektrisk
Varmekilder til varmepumper (jord, luft og vand)	4	12,3	3.433	ikke elektrisk
El til opvarmning inkl. el til varmepumper	5	15,1	4.202	4.202
Halm fra ærøske landbrug	12	37,0	10.298	ikke elektrisk
Fyringsolie	5	15,4	4.291	1.430
Bio-olie	3	9,3	2.575	858
Træpiller	11	34,0	9.440	3.147
Flis	23	71,0	19.738	6.579
Brænde	16	49,4	13.731	4.577
<b>Totalt</b>	<b>100</b>	<b>308,7</b>	<b>85.897</b>	<b>20.794</b>

Tabel 4. Ærø's energiforbrug til varme i 2020 samt elbehov efter elektrificering af ikke lokale eller bæredygtige brændsler i fremskrivningen.

Elektrificeringen i varmesektoren øger elforbruget i varmesektoren fra 4.202 MWh i 2020 til 20.794 MWh efter fremskrivningen med delmål i klimaplanen allerede i 2030. En tilvækst på 16.592 MWh, der hovedsageligt vil skulle produceres i vinterhalvåret, hvorfor dette stiller krav til især elproduktionskapacitet fra vindmøller. Samtidig vil nye varmepumper kunne give fleksibilitet som beskrevet i kapitel 6.

Hvis der kan opbygges en bæredygtig produktion af bio-olie, træflis eller træpiller på Ærø, kan biomasse udgøre en større del af varmeproduktionen end antaget i fremskrivningen. Dog er pladsen og muligheden for energiafgrøder på Ærø i stærk konkurrence med andre ønsker til udnyttelse af Ærøs landbrugsareal.

Et alternativ kunne være at opbygge en produktion af biogas fra biomasse herunder husdyrgødning, andet biologisk affald og eventuel overskudshalm. Dog er husdyrbrug på Ærø i stærk tilbagegang, hvorfor der også her kan komme udfordringer. Cirka 3.500 ton ud af øens omtrent 12.000 ton årlige halmproduktion anvendes af Ærøskøbing Fjernvarme (Kilde: Ærøskøbing Fjernvarme, 2021).

Ærø Kommunes udvalg for bæredygtig energi var i august 2022 på besøg ved GreenLab i Skive, hvor produktion af biogas er tæt sammentænkt med pyrolyseanlæg, produktion af varme, flydende biobrændstoffer og andre produkter til industrien. Sådanne kaskade- og symbioseprincipper for fælles brug af varmeenergi igennem en kæde af flere naboprocesser demonstreres i Skive, og kan måske anvendes i mindre skala på Ærø (Kilde: Samtaler med Christopher Sørensen, CEO GreenLab Skive A/S).



Figur 8. Symbiose mellem nabovirksomheder og kaskadeprocesser ved GreenLab Skive. Foto: GreenLab Skive.

Produktion af protein til fødevarer og foder baseret på biomasse fra tang, havdyr og græsser var én blandt flere potentielle produktionsmetoder, der kunne være relevant på Ærø. Tilbage står dog, at ny produktion, trods muligheden for at udnytte spildvarme, stadig vil kræve yderligere installeret produktionskapacitet af vindmøller eller solceller.

Endelig viser fremskrivningen af Ærøs energibehov også, at der vil være et stort behov for bæredygtig elproduktion om sommeren, hvor biomasse er mindre relevant. I Figur 5 fremgik desuden, at der faktisk var relativt god balance mellem elforbrug og elproduktion i det foreslåede scenarie for udbygning af vind og sol, også når der ses på variationerne fra måned til måned gennem året.

Altså kunne noget tyde på, at den foreslåede fordobling af vindproduktion og tidobling af solproduktion vil løse fremtidens efterspørgsel på en relativt teknisk ukompliceret og økonomisk effektiv måde.

## 10 Elektrificering af færgerne

Ærø har siden 2015 haft et stærkt fokus på elektrificering af færgefarten gennem EU Horizon 2020-projektet med elfærgen Ellen. Ruten har stadig i juni 2023 rekorden for længste sejlads på batteri mellem hver opladning i Søby.

Ved elektrificeringen af færgen reduceredes brutto energiforbruget med 2/3. Forbedringen skyldes som nævnt tidligere de bedre virkningsgrader i energiforsyningskæden frem til skibets propel. Dertil kommer en total eliminering af færgens lokale emissioner og en signifikant reduktion af CO<sub>2</sub> aftrykket ved færgedriften. En reduktion i størrelsesordenen 2.000 ton CO<sub>2</sub> per år målt i forhold til en tilsvarende ny konventionel færge (Kilde: Evalueringsrapport E-Ferry, EU Horizon 2020).

Behovet for el til alle Ærø's færger ved en fuld elektrificering fremgår af tabel 5:

	kWh/tur inkl. Tab	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Per år
Ellen		210	290	310	300	310	300	310	310	300	310	300	310	3.560 Ture
	1.022	215	296	317	307	317	307	317	317	307	317	307	317	3.639 MWh
Tvillinger		602	563	602	486	664	643	664	664	643	557	583	602	7.275 Ture
	1.943	1.170	1.094	1.170	944	1.290	1.249	1.290	1.290	1.249	1.082	1.132	1.170	14.131 MWh
Fåborg		275	257	275	266	275	266	275	275	266	275	186	275	3.162 Ture
	836	230	215	230	222	230	222	230	230	222	230	156	230	2.644 MWh
Xpressen		354	331	286	343	354	343	354	354	343	354	343	354	4.114 Ture
	677	240	224	193	232	240	232	240	240	232	240	232	240	2.783 MWh
Forbrug i alt inkl. tab	1.854	1.830	1.910	1.704	2.077	2.010	2.077	2.077	2.010	1.868	1.826	1.956	23.198 MWh	

Tabel 5. Estimeret antal ture og elbehov ved fuld elektrificering af Ærø's fem færger og fire færgeruter. Kilde: EMK

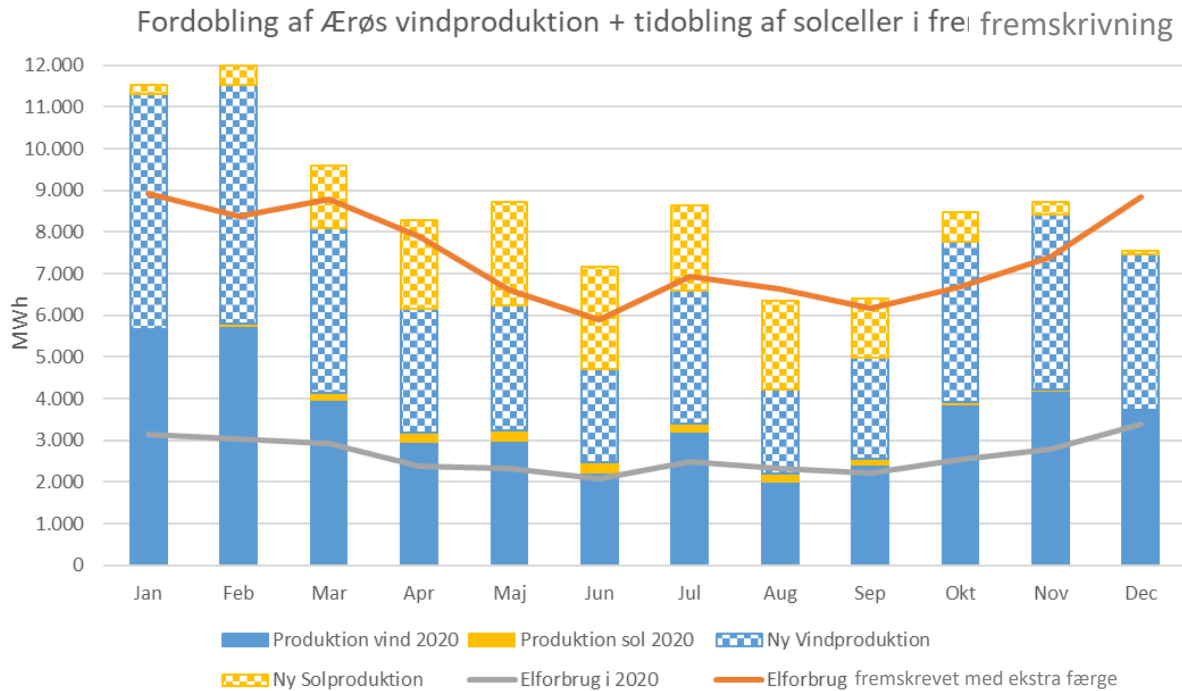
I elektrificeringen og fremskrivningen af Ærø's færgedrift antages Ellen at fortsætte sejladsen til Als. Der indsættes nye og større batterifærger på ruten Ærøskøbing-Svendborg. Der indsættes en ny batterifærge på ruten Søby-Fåborg. ÆrøXpressen til Rudkøbing opdateres fra hybrid batterifærge til fuld batteridrift.

Det antages at alle færger oplader hele deres energiforbrug i Ærø's havne, hvor de er hjemhørende, og hvor de er lagt op natten over. De nye færger mellem Ærøskøbing og Svendborg vil også skulle lade delvis i Svendborg, hvorfor estimatet for elforbrug, i Ærø Kommunes geografiske område nok er højt sat. Det giver omvendt plads til at fremskrivningen kan tage højde for uforudsete udviklinger i færgestrukturen.

Der har i nogle år, fra tysk side, været arbejdet med at genetablere en passagerfærgerute mellem Kiel og Marstal. Der er tale om en højhastighedsfærge, hvorfor brint som fremdrivningsmiddel har været undersøgt. Den teknologiske udvikling har dog muliggjort et projekt med et relativt lavt energiforbrug. Dermed vil batteridrift på denne rute være inden for rækkevidde, hvilket nedsætter brutto energiforbruget væsentligt.

Denne potentielle sjette færge til Ærø vil formentlig være en sommerfærge, der kun sejler i perioden april til oktober. Behov for ladning på havnen i Marstal er estimeret til omkring 2.200 MWh fordelt i sommerhalvårets måneder (Kilde: EMK). Ladestation vil kunne deles med ÆrøXpressen, hvis denne rute opretholdes og elektrificeres fuldt ud, hvilket er antaget i fremskrivningen.

Et scenarie, hvor den mulige ekstra færges sommerforbrug, er lagt oven i fremskrivningens øgede elforbrug og -produktion i øvrigt, for at se betydningen for selvforsyning, kan ses i figur 9 på næste side:



Figur 9. Scenarie for fremskrivning med øget elforbrug (orange graf) til ny passagerfærge Marstal-Kiel. Kilde: EMK.

Bruges fremskrivningen med en fordobling af Ærø's vindproduktion og en tidobling af Ærø's elproduktion fra solceller i forhold til 2020 tal, så viser den opdaterede forbrugskurve (orange) at solproduktionen er tæt på tilstrækkelig. Den ekstra sommerfærge til Kiel kan næsten håndteres indenfor rammerne af den nye solproduktion i scenariet på nær i august. En lignende beregning er lavet baseret på vind- og solskinsmønstret for 2021. Den viser et bedre resultat, da august 2021 havde mere vind (2021 ikke vist i figuren).

Det bør nævnes at scenarierne er ret ekstreme på forbrugssiden, da der ikke er taget højde for at Ærøfærgernes E-Ferry Twins formodentlig skal lade delvis i Svendborg. Dette ville sagtens kunne reducere elforbruget til opladning i Ærøskøbing med omkring 1/3 eller cirka 5.000 MWh årligt.

I forhold til færgernes opladning time for time og over døgnet, så vil det være vigtigt for samtidighed mellem elproduktion og -forbrug, at færgerne ikke alle lader med fuld kapacitet på én gang.

Alternativt skal der opbygges stationære batteribanker på havnene, hvorfra spidseffekter kan trækkes uden at belaste det ærøske elnet så voldsomt. Disse batteribanker vil have overskud til at hjælpe med den øvrige balancering af elnettet, når færgerne ikke er i havn eller om natten.

Færge	MWh batteri	Havn	MWh batteri
Ellen	4,4	Søby	1,5
Tvilling 1	8,0	Ærøsk.	4,0
Tvilling 2	8,0	Marstal	1,5
Ny Fåborg	4,4		
Xpressen	3,8		
<b>I alt</b>	<b>28,6</b>		<b>7,0</b>

Tabel 6. Estimat over installeret batterikapacitet i forbindelse med Ærø's færgedrift. Kilde: EMK

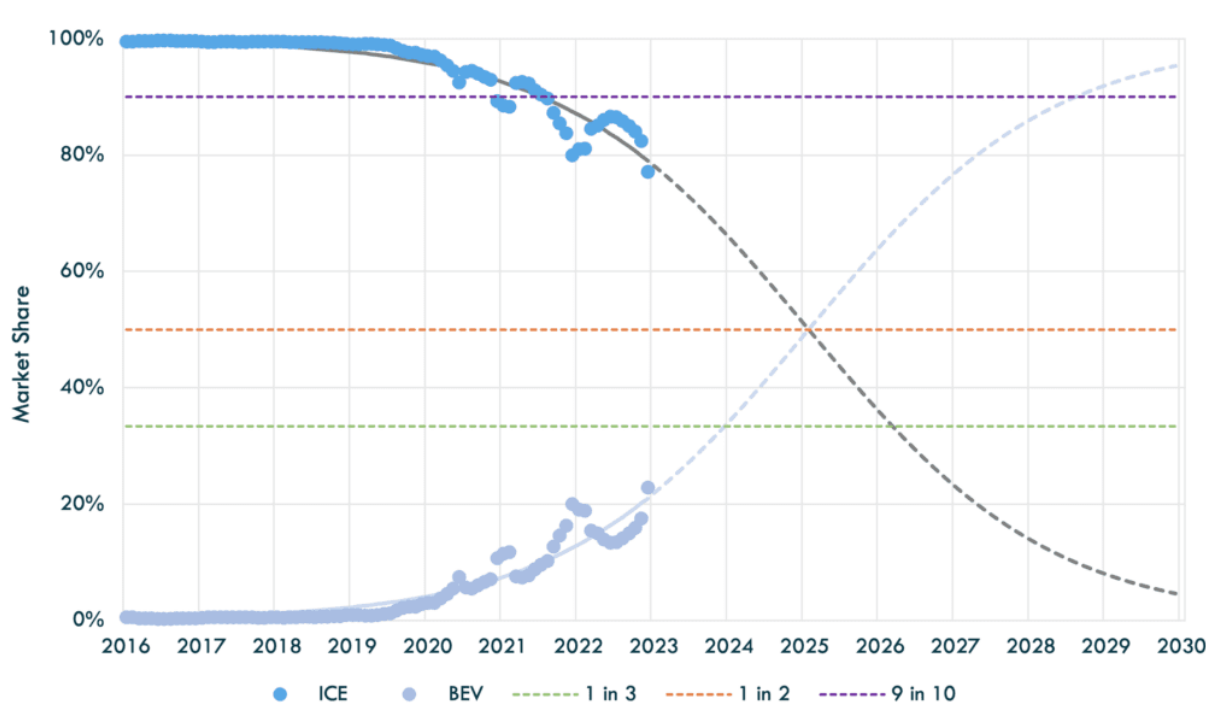
Om natten vil færgernes egne batteripakker også kunne anvendes til balancering af elnettet samt ydelser i form af regulerkraft for såvel Ærø, som resten af elnettet via søkablerne. I tabel 6 ses et samlet estimat over størrelsen af den tilgængelige batterikapacitet fra færgefarten ved fuld elektrificering (uden færge til Kiel/Tyskland). Inklusive havnebatterier kunne den antage mere end 35 MWh i 2035, hvor Ærø Kommunes eget klimamål for CO2-neutral færgefart har deadline.



## 11 Elbiler

Introduktionen af elbiler har i høj grad været med til at accelerere elektrificeringen og modne de teknologier, der skal understøtte omstillingen af de øvrige og tungere transportformer.

I estimatet er der regnet med fuld elektrificering af alle personbiler og varebiler. Dette er naturligvis en "worst case" for elforbruget på Ærø i fremskrivningen, men at forudsige hastigheden af såkaldte S-kurve-transitioner er forbundet med stor usikkerhed. Da der er tale om eksponentiel vækst vil blot en lille acceleration af elbilsalget i de indledende faser få en kæmpe betydning for timingen af såvel tipping point som endepunktet for transitionen.



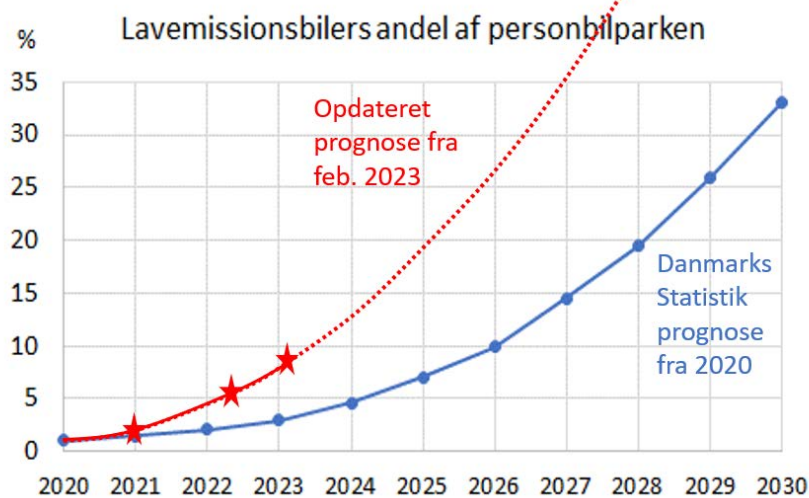
Figur 10. Carbontracker.org har fulgt markedets andelen for salget af rene elbiler i Storbritannien, og analyseret udviklingen for de tilhørende S-kurver for at kunne fremskrive transitionen. Kilde: New Automotive, Carbon Tracker, januar 2023. ICE = Internal Combustion Engine, BEV = Battery Electric Vehicle.

Carbon Tracker's fremskrivning for det britiske personbilmarked tyder på, at transitionen for nye biler vil være næsten total allerede om 6-7 år. Ærø har Danmarks ældste bilflåde med en gennemsnitsalder på 13,5 år mod et landsgennemsnit på 8,8 år (Kilde: Danmarks Statistik tabel BIL8). Middellevetiden på landsplan for biler var i 2017 faldet til 14,8 år for en ny bil (Kilde: Nyt fra Danmarks Statistik nr. 127, marts 2018).

Introduktionen af billigere elbiler, lavere driftsomkostninger og ny lovgivning om emissioner vil sandsynligvis yderligere reducere den gennemsnitlige levetid frem mod 2030'erne. Derfor vurderes det rimeligt at lave et estimat for fuld elektrificering af bilparken i fremskrivningen. Det antages at både Ærø's egen bilpark og gæstende biler på øen bliver fuldt elektriske.

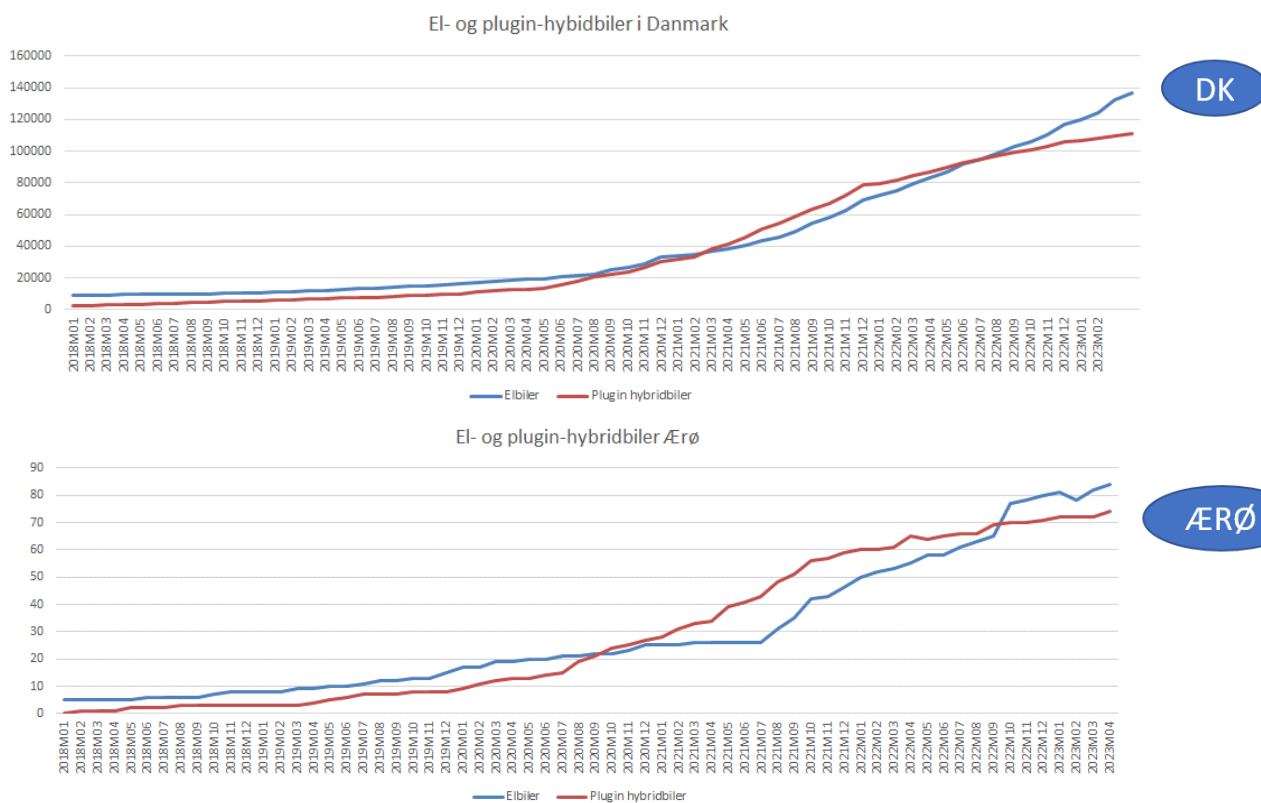
Hvis Ærø's bilpark stadig indeholder mange benzin- og dieslbiler efter fremskrivningen, så må brændstoffet hertil skaffes via de tidligere nævnte Power-to-X-anlæg, se kapitel 7. Disse anlæg kan enten ligge på Ærø eller på fastlandet, men der skal sammenlagt bruges 3-4 gange mere elproduktion per kørt kilometer.

Det vurderes, at der er tilstrækkelig overskudsproduktion af el i notatets scenarier på årsbasis, til at forsyne fossil-bilparken med bæredygtigt fremstillede elektrofuels under udfasningen. Disse brændstoffer kan dog blive ret dyre, hvilket yderligere accelererer udfasningen af de gamle biler (Kilde: Transport & Environment).



Figur 11. Forundersøgelse og prognose fra Danmarks Statistik fra 2020 versus el- og hybridbilers andel af personbilerparken frem til februar 2023. Kilde: Danmarks Statistik tabel BIL54.

For personbilsflåden tyder nye data på, at optagelsen af el- og plug-in-hybridbiler går væsentligt hurtigere end transportministeriets og Danmarks Statistiks prognoser fra undersøgelser i 2020. Samtidig ses allerede nu en tendens til, at det kun bliver elbilerne, der følger en S-kurve-udvikling, mens plug-in hybridbilsalget måske allerede er ved at nå et mætningspunkt. Trenden er tydeligere i andre lande, som Norge, hvor Plug-in-hybridbiler ikke er så tilskudsmæssigt ligestillet med elbiler som i Danmark (Kilde: CleanTechnica, 2022).



Figur 12. Udviklingen i antallet af henholdsvis elbiler og plug-in hybridbiler. Kilde: Danmarks Statistikbank Tabel BIL54.

I notatet er estimeret årlig kørsel for ærøske biler på 12.000 km per køretøj. Dette er noget under landsgennemsnittet på ca. 16.000 km/år (Kilde: Forsikringselskabet IF og FDM). De 12.000 km/år er dog mere end tidligere spørgeskemaundersøgelser på Ærø er kommet frem til (Kilde: EMK, 2016).

I fremskrivningen er der forsøgt taget højde for en generel stigning i kørselsmønsteret på Ærø samt den elasticitet, der er indbygget i efterspørgslen i forhold til prisen for at køre en kilometer. For elbiler opladet hjemme kan udgiften til energi komme helt ned under 10 øre/km i perioder med lave elpriser om natten.

Transportundersøgelser viser, at så markante prisreduktioner på de variable omkostninger vil øge antal kørte kilometer på årsbasis, men der er ikke i notatet lavet en egentlig undersøgelse af kørselsmønstre på Ærø.

Ærø's bilpark	Antal	Wh/km	Wh/km inkl. tab	Km/år	Ærø opladning	MWh/år
Personelbiler	2.810	190	224	12.000	75%	5.653
Vareelbiler	503	220	259	12.000	75%	1.172
						6.825

Tabel 7. Estimat over energiforbrug til opladning af Ærø's bilpark på Ærø. Der er taget udgangspunkt i bilflådens størrelse per 1. januar 2023. Kilde: EMK og Danmarks Statistik tabel BIL54.

Elbilkørslen for Ærø's egen bilpark antages at være jævnt fordelt over årets måneder.

For opladning af gæstende biler vil der til gengæld være store sæsonvariationer. I notatet, tager forbruget til offentlig opladning udgangspunkt i erfaringer fra Ærøfondens ladenetværk. Således er forbrug og sæsonvariationer fra 2022 ekstrapoleret til fuld markedsandel af gæstende plug-in hybrid- og elbiler på Ærø. Ekstrapolationen er foretaget med basis i en plug-in-hybrid- og elbilandel på 5,8% totalt i Danmark i 2022. Det antages, at de hybride plug-in biler oplader hele deres kørselsbehov ved besøg på Ærø, da de har et lille batteri med kort rækkevidde.

Endelig er der i notatets beregninger også medtaget et "skjult" opladningsforbrug fra gæstende køretøjer, der benytter såkaldte "mormor-ladekabler" til langsom opladning i fritidshuse og hos ærøboer de gæster. Dette forbrug er estimeret til 20% af den offentlige opladning.

Tilsammen giver det et behov for opladning af gæstende person- og varebiler på knapt 1.100 MWh årligt.

Batterikapaciteten i Ærø's bilpark ventes at blive et betydeligt aktiv for balancering af elnettet. Batterierne vil, når bilerne er tilkoblet ladestander eller ladeboks, kunne medvirke til at sikre samtidighed mellem grøn elproduktion på øen og elforbruget på øen.

Dette kræver dog, at der udvikles smartgrid-løsninger til ladebokse samt strategier for, hvordan de styres. Ærø Borgerenergifælleskab forventes at arbejde for dette. Ligeledes er flere kommercielle løsninger tilgængelige, men skal tilpasses ærøske forhold og elnettets optimering lokalt.

Ærø's bilpark	Antal	Batteri/bil kWh	Batteri i alt MWh
Personelbiler	2.810	60	169
Vareelbiler	503	85	43
			211

Tabel 8 Estimeret batterikapacitet i Ærø's bilpark ved fuld elektrificering og typiske batteristørrelser for biltyperne. Kilde: EMK.

## 12 Elbusser

Ærø's åbne rutekørsel i køreplan skal i udbud i 2025 med krav om CO<sub>2</sub>-neutralitet. I notatets beregninger antages en fuld elektrificering også af skolebusdriften på sigt samt øvrig lukket kørsel for handicappede til institutioner og kørsel til plejecentre. Turistbuskørslen på Ærø antages også elektrificeret i fremskrivningen.

Rutebusserne kører årligt over 400.000 km inkl. dubleringskørsel i en del af sommerkøreplanen, når efterspørgslen fra passagerer er størst. Dertil udgør skolebuskørslen med 3 store busser over 120.000 km i løbet af skoleåret (Kilde: Jesper Bus, EMK). Den øvrige bus- og taxakørsel sker i meget forskellige busstørrelser, og er fordelt på to operatører, Jesper Bus og Ærø Taxa/Vinderup Taxa. For sygehuskørslen til Svendborg og Odense forventes turene opladet hjemmefra på Ærø.

I estimatet for elforbrug til elektrificering af busdriften regnes med 1,28 kWh/km for de store busser på årsbasis. Dertil kommer tab ved opladning 10% og tab i elnettet 5%. I det relativt høje forbrug per km er der indregnet opvarmning og køling af busserne sommer og vinter. Dette gøres i mange elbusser med oliefyr for at sikre rækkevidden, men i dette notat køres klimaenlægget med varmepumpe på el.

På basis af input fra Jesper Bus og EMK's egne beregninger fordeler elektricitetsbehovet til Ærø's busdrift sig omtrent således over året:

Elbuskørsel på Ærø	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Årligt
Elforbrug til kørsel inkl. tab	88	80	88	79	86	81	74	77	85	83	85	80	984 MWh

Tabel 9. Estimeret elforbrug til fuld elektrificering af Ærø's bus og taxakørsel fordelt over årets måneder. Kilde: EMK, Jesper Bus.

Det faktiske forbrug efter introduktion af nye elbusser til den ærøske geografi kan vise sig lavere, men i fremskrivningen er der til gengæld gjort plads til en udvidelse af turistbusdriften samt en større andel af opladning af turistbusserne på Ærø.

Hvis alle busser elektrificeres både rutebusser, skolebusser, minibusser og turistbusser, udgør disse køretøjers batterikapacitet omkring 5 MWh samlet. Denne batterikapacitet kan ligesom personbilkens stå til rådighed, når busserne er tilkoblet ladepunkter, for bedre balancering af det ærøske elnet og bedre sikring af samtidighed mellem elproduktion og elforbrug.

## 13 Ellastbiler

I forbindelse med estimatet i dette notat, har der ikke været tid til at skaffe gode data fra de ærøske vognmænd. Dette arbejde udstår og kræver en yderligere indsats.

Alligevel er der regnet på en fuld elektrificering baseret på statistik over antallet af lastbiler på Ærø per 1. januar 2023, ifølge Danmarks Statistik, og skøn. Der var 30 lastbiler registreret på Ærø. Det antages at de, i elektrisk udgave, i gennemsnit vil lade 200 kWh på Ærø om natten til dagens kørsel på og udenfor Ærø. Opladning uden for Ærø er ikke medregnet og gæstende lastbiler er heller ikke medregnet i fremskrivningen.

Til gengæld er der regnet med opladning alle årets dage, og det samlede forbrug i estimatet, på 2.576 MWh årligt, ligger næsten på niveau med brutto energiforbruget for lastbiler på Ærø opgjort i CO<sub>2</sub>-opgørelserne for Ærø Kommune som geografisk område (2.615 MWh i 2019). Teoretisk set burde elektrificeringen føre til et fald i energibehovet, hvorfor estimatet kunne være i den høje ende.

Yderligere undersøgelser vil være relevante for at sikre datakvaliteten, viden om kørselsmønstre og teknologiens modenhed samt sikre en strategi for omstillingen af den tunge kørsel på Ærø.

## 14 Øvrige mobile enheder

Denne kategori dækker over såkaldte "Non-Road" køretøjer og fartøjer. Der er 278 traktorer registreret på Ærø. Dertil kommer en række andre landbrugsmaskiner og mobile anlæg. Entreprenørmaskiner og kommunale græsslåmaskiner er også en del af denne kategori.

Endelig er lystbåde måske også relevante i kategorien, da flere og flere har batteribanker, der skal oplades i havnene, og derfor ikke bør medregnes i det ordinære husstands- eller industriforbrug på Ærø.

Hvor mange lystsejlere i dag kun bunkre deres båd sjældent (få gange årligt), så vil fremdrivningsbatterier i lystfartøjer tilsige en hyppig opladning, da rækkevidden på el til sejlads og manøvre stadig er forholdsvis begrænset.

Der bliver derfor i Ærø's havne et behov for ladeinfrastruktur, der er væsentligt kraftigere end nuværende opladningsmuligheder på bådebroerne. Samtidig må det antages at brutto energiforbruget vil stige, da kun relativt få i dag bunkrer marinediesel på Ærø.

For såvel "Non-Road" køretøjer som fartøjer mangler der tydeligvis data og viden for at kunne lave en kvalitetssikret fremskrivning af behovet for el til disse transportkategorier.

I notatets overslag er derfor fastholdt et brutto energiforbrug lig det nuværende i CO<sub>2</sub>-opgørelserne for Ærø Kommune som geografisk område på cirka 7.500 MWh årligt for "Non-Road"-kategorien.

Hvis landbrugsmaskiner ikke elektrificeres, men skal køre på elektrofuels fra Power-to-X-anlæg, vil brutto energiforbruget ikke falde, da disse brændstoffer kræver store energimængder i fremstillingsprocessen. Mest sandsynlig er en delvis elektrificering af de mindre køretøjer, fartøjer og maskiner og en rest af tunge processer, der måske først på længere sigt opnår energieffektiviseringer fra batteriernes bedre virkningsgrad.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Årligt
Øvrige mobile enheder	225	150	600	1125	750	750	1125	1125	750	450	225	225	7500 MWh

Tabel 10. Estimat over elforbruget til øvrige mobile enheder i transporten, traktorer, landbrugsmaskiner, plæneklippere og mindre både samt forbrugets fordeling over året. Brutto energiforbruget er ikke ændret i fremskrivningen i forhold til i dag (2020) trods en forventet delvis elektrificering af denne transportkategori. Kilde: EMK.

Som for lastbiler, vil yderligere undersøgelser være relevante for at sikre datakvaliteten, viden om arbejds- og kørselsmønstre og teknologiens modenhed i forhold til elektrificering af de forskellige segmenter i denne transportkategori.

En robust strategi bør omfatte analyser af behovet for elektrofuels, Power-to-X-anlæg eller eksport af el og derefter import af elektrofuels fra sådanne anlæg, hvis de placeres udenfor Ærø's område for at opnå stordriftsfordele.

Endelig bør en robust strategi for denne transportkategori også omfatte en handlingsplan for sikring af den nødvendige ladeinfrastruktur for tungere køretøjer på Ærø, hvis udviklingen indenfor batterielektrificering også kommer til at omfatte de allertungeste køretøjer og større fartøjer i fremskrivningsperioden.

Det kunne f.eks. være kraftige hurtigladestationer på de tre havne og eventuelt centralt på øen, hvor tunge køretøjer har plads omkring ladepunkterne til at oplade med høje effekter. Sådanne lynladere kan sagtens deles med person- og varebiler på el viser erfaringer fra Norge (Kilde: Circle K og Grøn Kontakt/Mer).

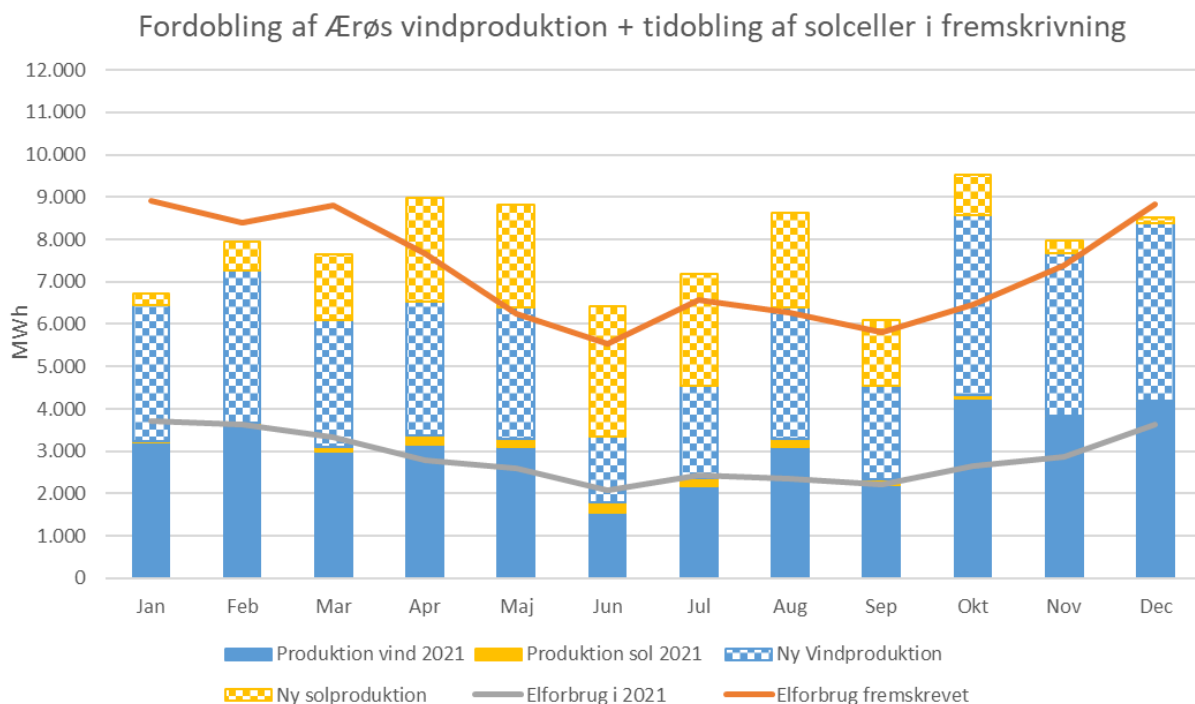
## 15 Selvforsyningsikkerhed

Som nævnt i kapitel 3, er der i notatet tale om et første estimat for det fremtidige energibehov på Ærø. Samtidig opstilles i notatet et omtrentligt scenarie for den nødvendige installerede produktionskapacitet af vindmøller og solceller for at imødekomme det fremskrevne behov. Scenariet blev i kapitel 5 sat til en fordobling af installeret vindproduktionskapacitet på Ærø og omtrent en tidobling af de installerede solceller målt i forhold til 2020.

Der er i notatet taget udgangspunkt i såvel forbrugsdata som produktionsdata fra 2020, da disse var let tilgængelige og allerede velspecificeret ud på kategorier til brug for arbejdet med Ærø's nye klimaplan.

Årlige variationer i såvel forbrug som produktion i forhold til året 2020 er i notatet alene undersøgt ved at sammenligne med ekstremåret 2021, der var meget vindsvagt i dets første kvartal. Elproduktionen på Ærø fra vind og sol var i 2021 13% mindre end i 2020. Året 2020 var et godt produktionsår statistisk set, bortset fra december.

Ærø's elforbrug i 2021 er undersøgt til sammenligning med 2020, og en scenarie-analyse af elforbrug versus henholdsvis vind- og solproduktion, med udgangspunkt i vejret i 2021, kan ses i figur 13 herunder. Igen med en ny produktionskapacitet svarende til en fordobling af Ærø's installerede vindmøllekapacitet og en tidobling af Ærø's installerede solcellekapacitet.



Figur 13. Scenarie der viser balance mellem forbrug og produktion af grøn el på Ærø baseret på 2021 forbrug og produktion med fremskrivning af forbrug og en fordobling af vindproduktion og tidobling af solcelleproduktion på Ærø i forhold til i dag. Kilde: EMK

Denne forholdsvis simple følsomhedsanalyse af scenariet for en fordobling af installeret vind og tidobling af installeret sol på Ærø, viser for ekstremåret 2021, at der i de fleste måneder vil være nær ved balance mellem forbrug og produktion. Med vejret i 2021 som basis, vil det dog i fremskrivningen ikke være muligt at sikre selvforsyning for Ærø i det fremskrevne års tre første måneder med den foreslåede produktionskapacitet. For denne statistisk set vejrsmæssige ekstremhændelse mangler der i januar 2.203 MWh i vindproduktion.

Energilagring fra december året før (2020) ville næppe kunne have løst ubalancen, da denne som nævnt også lå under middel som vindproduktionsmåned for årstiden.

I januar 2021 producerede vindmøllerne på Ærø **43% mindre** end i januar 2020. Produktionen var i ekstremmåned den kun 267 MWh per MW installeret møllekapacitet. Med andre ord skulle installeret møllekapacitet have været 2.203 MWh / 267 MWh per MW = 8,2 MW større end de 24 MW kapacitet, der er antaget i scenariet med en fordobling af vindmøllekapaciteten.

Under ekstremhændelsen ville man altså kunne have haft sikret selvforsyning ved en yderligere udbygning af installeret vindproduktion på Ærø til 32,2 MW. Det er en udbygning på 171% eller en tilvækst på en faktor 2,7 i forhold til de 12 MW, der er installeret i dag. Dermed går en udbygning, for at klare ekstremkvartalet i 2021, noget længere end den fordobling af vindproduktionskapacitet, der blev brugt i scenariet i kapitel 5 om ny vind- og solproduktion på Ærø.

Det bør i strategien for Ærøs selvforsyning med bæredygtig energi overvejes, hvor meget man er villig til at "betale" ekstra for selvforsyningsikkerhed på månedsbasis eller sæsonbasis. Fra sommer til vinter vil udbygning af termisk energilagring på en relativt billig måde kunne være med til at sikre selvforsyning ved ekstremhændelser. De 2.203 MWh i underskud i fremskrivningen baseret på januar 2021, svarer til cirka 1/3 af lagringskapaciteten i Sun Store 4 ved Marstal Fjernvarme. En udbygning skulle dog være på mindst 50% for at tage højde for tab i virkningsgrad og transmission for Sun Store 4.

Lagrene af termisk energi kan dog kun bruges effektivt til lagring til varmesektoren, og der bør laves analyser af fordele og ulemper ved udbygning af vindproduktion kontra udbygning af de termiske energilagrene evt. kombineret med varmepumper. En overudbygning af vindproduktionen kan være dyr for producenten i form af overskudsenergi, der må sælges billigt, foræres væk eller resulterer i stop af møllen.

Omvendt kan rigelig forsyning af billig energi i længere perioder være katalysator for andre projekter på Ærø, som det er blevet demonstreret af GreenLab Skive, omtalt i kapitel 9. Vælges en strategi med stor selvforsyningsikkerhed gennem yderligere udbygning af vind- og solproduktion, bliver etablering af et Power-to-X-anlæg på Ærø måske også relevant at undersøge nærmere. Som diskuteret i kapitel 7, gør Ærøs størrelse dog ikke umiddelbart den særlig oplagt til placering af større anlæg eller storskaladrift.

På time- og dagsbasis vil batterier i høj grad kunne sikre samtidighed mellem forbrug og produktion og kunne modstå korte ekstremhændelser, som det blev diskuteret i kapitel 8. Batterier er dog endnu for kostbare til at sikre langtidslagring af elektrisk energi.

Derfor taler meget for en passende overudbygning af elproduktionskapaciteten af såvel vindmøller som solceller. Det vil formodentlig være en relativt billig måde at sikre robusthed og selvforsyningsikkerhed for Ærø. Overskud af el kan tilføres de termiske varmelagre, så behovet for el til varmepumper reduceres.

Man kan naturligvis argumentere for, at hele elnettet står klar til at hjælpe Ærø gennem søkablerne, og at forsyningssikkerheden i Danmark er blandt de bedste i verden. Men set i klimaplanens perspektiv er sikkerheden for leverance af grøn energi ikke noget, man kan blive ved med at overlade til andre produktionsområder. Disse områder vil formodentlig også være udsat for lignende ekstremhændelser fra vejret efterhånden som forsyningen med el fra vind og sol udbygges over hele Europa.

En høj selvforsyningsikkerhed for Ærø kan, ifølge overslaget i dette notat, realistisk etableres gennem en passende balance mellem:

- Udbygning af produktionskapaciteten fra vind og sol.
- Udbygning af øens termiske energilagrene ved fjernvarmeværkerne kombineret med varmepumper.
- Opbygning af batterikapacitet, især gennem de transportenheder, der alligevel skal elektrificeres.

## 16 Konklusioner

Notatets estimater viser, at selvforsyning ved elektrificering ved fremskrivning til 2030'erne kræver omtrent en **fordobling** af Ærø's vindproduktion til 24 MW og en **tidobling** af solceller til 15 MW installeret kapacitet set i forhold til nu. For at leve op til målet i klimaplanen om Ærø'sk selvforsyning på månedsbasis, vil årsvariationer kræve yderligere reserver af installeret kapacitet til dårlige vind- eller solmåneder.

Behovet for reserver af installeret produktionskapacitet, som i praksis vil betyde overproduktion i vind- og solrige måneder, kan nedbringes gennem langtidslagring af grøn energi, f.eks. ved at udbygge de termiske varmelagre ved øens fjernvarmeværker. Alternativt kan Ærø's egenproduktion af biomasse til opvarmning forøges, da det vil nedbringe elforbruget i varmesektoren. Begge løsninger imødekommer svingende efterspørgsel på energi især i vintermåneder. Frem til 2040 kan der komme nye typer af energilagring.

Power-to-X-produktion af brint og grønne elektrofuels kan også bruges til energilagring, men er ikke medregnet i overslaget for Ærø's energiproduktion. Det forventes, at sådanne anlæg vil kræve stordrift for rentabilitet, og at eksport af strøm til større anlæg på fastlandet, giver en bedre samfundsøkonomi.

Ved elektrificering med batterier nedsættes brutto energiforbruget for transportsektoren signifikant. Dette skyldes den langt bedre virkningsgrad af drivlinjen med batteri og elmotor i forhold til brændstofmotorer. Notatet regner med en næsten total elektrificering af transportsektoren, inklusive færgefarten. Derved spares op til 2/3 af energibehovet. Biler, busser og lastbiler er fremskrevet til 100% batterifremdriving, mens non-road-enheder (f.eks. landbrugsmaskiner) elektrificeres så langt det er tekniske muligt.

For lastbiler og tunge non-road-enheder, er teknologierne forsat relativt umodne, hvorfor der i fremskrivningen ikke er reduceret i brutto energiforbruget for disse to kategorier. Således er der formodentlig tale om et højt scenarie for elektricitetsbehovet til disse transportkategorier. Det højt estimerede energiforbrug kan være relevant for køretøjer, der ikke kan elektrificeres, men skal drives af Power-to-X-derivater, som er energimæssigt dyre at fremstille med grøn elektricitet pga. lav virkningsgrad.

I notatets estimat regnes også med en øget elektrificering af øens varmesektor. Solvarmeanlæg samt biomasse fra halm vil dog forsat udgøre omkring halvdelen af brutto energiforbruget til varme. Resten er i fremskrivningen erstattet med opvarmning fra varmepumper (luft, vand, jord) drevet af elektricitet. Der er regnet med en relativt lav COP-faktor på 3 for disse varmepumper – igen for at afspejle et relativt højt scenarie for elektricitetsbehovet i fremskrivningen.

Selvforsynings sikkerheden er ikke statistisk behandlet i notatet, da dette vil kræve databehandling fra mange flere produktionsår. Dog er fremskrivningen for produktion genberegnet med vind- og solåret 2021 som basis, og er holdt op mod fremskrivningen for elforbrug. Første kvartal i 2021 var et historisk vindstille kvartal. Dette kvartal er brugt til at diskutere behovet for reserver i form af enten ekstra udbygning af produktionskapacitet eller øget termisk lagringskapacitet.

Reserver i form af 8 MW yderligere installeret vindproduktionskapacitet ville kunne løse ekstremhændelsen i første kvartal 2021 ifølge notatets beregninger og fremskrivninger. Underskuddet på 2.203 MWh ved ekstremhændelsen i januar 2021 kan dog også dækkes gennem termisk energilagring fra overskudsperioder. Det ville svare til omtrent 1/3 af lagringskapaciteten i Sun Store 4 ved Marstal Fjernvarme før tab.

Kombineres ekstra installeret produktions- og lagringskapacitet, nedsættes ovennævnte behov for hver af reservetyperne tilsvarende. Det er, som nævnt, også muligt at nedsætte behovet for reservekapacitet ved at udnytte lokalt produceret biomasse til varmesektoren. Endelig vil produktion af elektrofuels fra Power-to-X-anlæg, der drives af ærø'sk grøn elektricitet, også kunne bidrage til selvforsynings sikkerheden. Som klimamålene er formuleret i klimaplanen, vil dette gælde, også selvom anlægget ikke ligger på Ærø.



Selvforsyning på time- eller dagsbasis, er ikke et krav i klimamålene, men øget samtidighed mellem Ærø's grønne elproduktion og øens elforbrug giver god mening og mindre tab i søkabler. Samtidighed kan opnås gennem smartgrid løsninger og et mere fleksibelt forbrug samt batterikapacitet koblet til elnettet. Ærø Borgerenergifællesskab kan være en katalysator for at aktivere fleksibiliteten og realisere løsningerne.

For at opnå en høj grad af samtidighed på time- og dagsbasis peger studier på, at batterikapaciteten bør være 4 til 8 gange større end installeret produktionskapacitet. Dette svarer til 156-312 MWh nødvendig batterikapacitet i forhold til notatets fremskrivning. I notatet er ikke analyseret på om dette er en passende faktor for Ærø.

Alene elektrificeringen af Ærø's transportsektor forventes at tilvejebringe omkring 300 MWh batterikapacitet i køretøjer og fartøjer, når disse er tilkoblet ladestik. Yderligere batterikapacitet i form af husstands batterier og større batteribanker på havne og i andre knudepunkter, der er tilkoblet Ærø's elnet hele tiden, vil være centrale i sikring af fleksibilitet og balancering.

## 17 anbefalinger og videre arbejde

Det er relevant at diskutere vejen til opfyldelse af klimamålene i klimaplanen. Notatets fremskrivninger indikerer, at det er realistisk at opnå delmålene for energiområdet i henholdsvis 2030, 2035 og 2040.

I notatet opridses to strategier til at sikre klimaplanens mål om ærøsk selvforsyning med grøn energi. Graden af selvforsyningssikkerhed er dog ikke defineret i klimaplanen. Selvforsyning kan sikres:

- A. meget enkelt ved en solid overudbygning af den ærøske vind- og solproduktion, der tager højde for de vejr-mæssigt dårligste perioder og højeste forbrug
- B. mere komplekst ved at skabe lagring og fleksibilitet, der kan absorbere udsving i en mindre udbygget ærøsk vind- og solproduktion i forhold til udsving i forbruget.

Strategi A og B udelukker ikke helt hinanden. Der kan godt både overudbygges og skabes energilagring og fleksibilitet, men der er fordele og ulemper ved begge strategier, der skal afvejes op mod hinanden.

Strategi A med solid overudbygning vil lægge beslag på arealer og økonomiske ressourcer til udbygningen. Overproduktion vil være dårligt betalt, selv hvis den eksporteres via søkablet da det vil ske, når spotprisen er lav og med tab i søkablet.

Strategi B med lagring og fleksibilitet er givetvis dyrere end blot at importere el via søkablet, når egenproduktionen ikke slår til. Flexibelt forbrug kommer tit med gener for brugeren og kompleksiteten kræver en koordineret indsats mellem borgere, forsyningselskaber og kommune.

For strategi B taler, at en del af energilagringen vil komme af sig selv med elektrificering af færger og køretøjer, men kan også komme fra termiske varmelagre, der er langt billigere at udbygge end batterier. En del af fleksibiliteten vil også komme af sig selv, hvis man vel at mærke husker at sikre smartgrid implementering af de nye varmepumper og smart opladning af de mange nye elkøretøjer og -fartøjer.

Ærø er ikke en off-grid ø isoleret fra resten af elnettet. Søkablet er godt for forsyningsikkerheden med dets mulighed for at importere el, men det ikke nødvendigvis godt for målet om selvforsyningssikkerhed. Søkablet er også godt for eksport af el fra overproduktion i strategi A, men kablets kapacitet vil hurtigt være opbrugt, hvis der overudbygges for meget med vind og sol.

Skal der opnås en høj selvforsyningssikkerhed koster det, uanset valg af strategi. Det er den sidste energi ude i ekstrem situationer, der er dyr at skaffe lokalt, både for strategi A og B.

En stor del af beslutningsgrundlaget for klimastrategien på energiområdet er ved at være klar med screeninger for udbygning af vind- og solproduktion på Ærø i de netop udsendte rapporter fra Urland, designoplæg og projektbeskrivelse for udskiftning af tvillingefærgerne, opstart af Ærø Borgerenergifællesskab samt dette notat om elektrificering og fremskrivning af Ærø's energiforbrug fra Ærø Energi- og Miljøkontor.

Strategien kan som nævnt gå ad to forskellige spor. Uanset om den skal minde mest om strategi A eller B, skal der træffes nogle politiske valg i den kommende tid for at kunne nå klimaplanens deadlines. Dertil er der en række konkrete ting, som Ærø Kommune kan holde sig for øje for at sikre fremdrift og beslutningsgrundlag:

- 1) Sikring af rammevilkårene gennem den fysiske planlægning for udbygningen af ærøsk vind- og solproduktion. Dette er klart en større opgave ved en strategi, der minder mest om strategi A.
- 2) Selvforsyningssikkerheden på månedsbasis kan værdisættes for at skabe rentabilitet for yderligere termiske varmelagre på Ærø's fjernvarmenet. Dette vil nok være en forudsætning for en strategi, der minder mest om strategi B.
- 3) I forbindelse med elektrificering af transporten, bør der laves strategi for udbud af større hurtigladestationer. Dette gælder uanset om strategien minder om A eller B.
- 4) Strategien bør indeholde plan for infrastruktur til opladning af fremdrivningsbatterier i lystbåde og gæsteskibe i Ærø's havne. Dette gælder uanset om strategien minder om A eller B.
- 5) Lokalt produceret biomasse kan nedsætte behovet for elproduktion og lagring. Det bør undersøges, hvorvidt biomassen kan produceres bæredygtigt og rentabelt. Brug af biomasse kan reducere de øvrige krav til omstillingen, uanset om strategien minder om A eller B.
- 6) Timing for beslutninger er vigtig, for at undgå flaskehalse frem mod deadlines for mål i klimaplanen. Strategier, der påvirkes af teknologiske tipping points, såsom de nye energilagringssystemer, kræver omstillingsparathed og overvågning med hurtigt feedback til den politiske proces, uanset om strategien minder om A eller B.

Ærø Kommune har, med øens størrelse, og de mange aktører med tradition for grøn omstilling, en unik mulighed for at gå forrest med implementering af en konkret strategi for bæredygtig selvforsyning på energiområdet. Dermed kan Ærø forsæt være til inspiration for det omgivne samfund, der skal igennem samme proces i en langt større skala.

## 18 Litteraturliste

- AgroTech: Kortlægning af biomasse til energiproduktion på Fyn, Langeland og Ærø, Thorhild Birkmose m.fl., juni 2014
- Aurora Energy Research: Long duration electricity storage in Great Britain, Dr. John Feddersen et.al, February 2022
- CleanTechnica: Norway's BEVs Still Growing Well, Even While PHEVs Fall Away, Article, November 2022
- COWI A/S: Detailhandelsanalyse Ærø Kommune, 2008
- Danmarks Statistik: Tabel BIL8, Tabel BIL54, Tabel BYGB50 og Tabel FAM55N trukket i 2023
- Danmarks Statistik: Nyt fra Danmarks Statistik nr. 127, marts 2018
- De Økonomiske Råd: Dokumentation af bilmodel, Anne Sofie Nielsen m.fl., februar 2018
- DMI (Danmarks Meteorologiske Institut): DMI-rapport 16-19 version 2, Klimadata Danmark, Kommunale referenceværdier 2006-2015, Månedes og årsværdier for temperatur, nedbør og solskin, Kommunernes generelle vejr og klima, John Cappelen m.fl. oktober 2016
- DTU (Danmarks Tekniske Universitet): Transport Undersøgelser Årsrapport for Danmark 2021, august 2022
- DTU (Danmarks Tekniske Universitet): Transportvaneundersøgelsen, Fakta om transport i byer, 2022
- DTU (Danmarks Tekniske Universitet): Transportvaneundersøgelsen, Fakta om biltrafik i Danmark, 2013
- E-Ferry Project: Evaluation report of the E-ferry, Annie Kortsari, Trine Heinemann og Henrik Hagbarth Mikkelsen, EU Horizon 2020 funded demonstration project for battery powered ferry, 2020
- Energinet, Datahub, korrespondance om dataopgørelse, Niels Ejnar Helstrup, R&D Coordinator, maj 2023
- Energy Data Service: Consumption data per industry Code for Municipality 492 (Aeroe), Monthly 2016-2021
- ENS (Energistyrelsen): Udredning vedrørende varmelagringsteknologier og store varmepumper til brug i fjernvarmesystemet, PlanEnergi m.fl. 2013
- ENS (Energistyrelsen): Analyse af tidssvarende udbygning med solceller under hensyn til gældende EU-regulering, Center for vedvarende energi, december 2020
- ENS (Energistyrelsen): Technology Data, Generation of Electricity and District heating, Danish Energy Agency and Energinet, August 2016, updated February 2022
- ENS (Energistyrelsen): Technology Data, Energy Storage, Danish Energy Agency and Energinet, 2018
- EMK (Ærø Energi- og Miljøkontor): CO2e opgørelse for Ærø Kommune som virksomhed 2019 og 2020
- EMK (Ærø Energi- og Miljøkontor): CO2e opgørelse for Ærø Kommune som geografisk område 2019 og 2020
- EMK (Ærø Energi- og Miljøkontor): Binding og optag af CO2e ved udtagning af lavbundsgrunde og skovrejsning, 2021
- EMO skyggegraddage opgjort af teknologisk institut løbende, se mere om metode i rapporten Kommerciel digital anvendelse af EMO-data, Teknologisk Institut 2018

New Automotive, Carbon Tracker: One in three UK car sales may be fully electric by end 2023 as S-curve transforms market, Ben Scott and Harry Benham, January 2023

Marstal Fjernvarme: Fjernvarmeproduktion 2021, en oversigt 2022

Marstal Skole: Skolekørsel for Marstal Skole 2022-2023, Jesper Bus 2023

PlanEnergi: Summary technical description of the Sun Store 4 plant in Marstal, 2013

Siemens Gamesa: Green hydrogen unlocked, the Brande hydrogen project white paper, September 2022

Stephen Semple: Tipping Point of Retail and the S-Curve, [www.businessgrowthguys.com](http://www.businessgrowthguys.com), August 2020

Tesla: Masterplan part 3, Sustainable Energy for all of Earth, Tesla, Felix Maire et.al, April 2023

Transport & Environment: How costly e-fuels are threatening the EU's climate targets, Study, March 2023

Transport og Boligministeriet: Rapport om fritidshuse på øerne, Udvalget for Landdistrikter og Øer, Folketinget, oktober 2020

Urland: Screening for områder til solceller i Ærø kommune, maj 2023

Urland: Screening for områder til vindmøller i Ærø Kommune, maj 2023

Ærø EnergyLab: Vision for Ærø's vedvarende energi, 2022

Ærøfonden: Ærøfondens ladenetværk – Strategi for udbygning, Henrik Hagbarth Mikkelsen, marts 2023

Ærø Kommune: Ærø's Klimaplan 2022

Ærø Kommune: Planstrategi i 2020

Ærø Kommune: Årsregnskab for Ærø Kommune 2020

Ærø Kommune: Prioriteringsliste biler, 2021

Ærø Kommune: Aftale om regulering af ladestandermarkedet, sagsfremstilling november 2021

Ærøskøbing Fjernvarme: Halmudbud 2021

Ærø Vind I/S: Produktionstal Ærø Vind 1 og 4, [www.aeroevind.dk](http://www.aeroevind.dk), 2023

## 19 Liste over figurer

FIGUR 1. GRØN ELPRODUKTION VERSUS ELFORBRUG NU OG FREMSKREVET. KILDE: EMK (ÆRØ ENERGI- OG MILJØKONTOR) .....	1
FIGUR 2. PRINCIPPERNE FOR OMSTILLINGEN BYGGER PÅ TRE SØJLER, DER HVER FOR SIG OG TILSAMMEN VIL KUNNE BIDRAGE TIL OPFYLDELSE AF DELMÅL OG MÅL I ÆRØS KLIMAPLAN FRA 2022. ....	4
FIGUR 3. FREMSKRIVNING AF ÆRØS ELFORBRUG VED ELEKTRIFICERING AF EN RÆKKE SEKTORER FREM MOD KLIMAMÅL. KILDE: EMK .....	6
FIGUR 4. ÆRØS ELFORBRUG (OPDELT I SEGMENTER) VIL NÆSTEN TREDOBLES I FORHOLD TIL 2020 VED NÆRVED FULD ELEKTRIFICERING. KILDE: EMK .....	6
FIGUR 5. SCENARIO DER VISER EN FORDOBLING AF VINDPRODUKTION OG TIDOBBLING AF SOLCELLEPRODUKTION PÅ ÆRØ I FORHOLD TIL 2020 PRODUKTION. KILDE: EMK .....	8
FIGUR 6. SIEMENS GAMESA HYDROGEN PILOT PLANT I BRANDE. POWER-TO-X ANLÆGGET BLEV BESØGT AF UDVALGET FOR BÆREDYGTIG ENERGI FRA ÆRØ I AUGUST 2022. KILDE: SIEMENS GAMESA GREEN HYDROGEN UNLOCKED, THE BRANDE HYDROGEN PROJECT WHITE PAPER, SEPTEMBER 2022 .....	11
FIGUR 7. OPGØRELSE AF DET SAMLEDE BRUTTO ENERGIFORBRUG TIL VARME PÅ ÆRØ I 2020. KILDE: EMK .....	13
FIGUR 8. SYMBOSE MELLEM NABOVIRKSOMHEDER OG KASKADEPROCESSER VED GREENLAB SKIVE. FOTO: GREENLAB SKIVE. ....	14
FIGUR 9. SCENARIO FOR FREMSKRIVNING MED ØGET ELFORBRUG (ORANGE GRAF) TIL NY PASSAGERFÆRGE MARSTAL-KIEL. KILDE: EMK. ....	16
FIGUR 10. CARBONTRACKER.ORG HAR FULGT MARKEDSANDELEN FOR SALGET AF RENE ELBILER I STORBRIANNIEN, OG ANALYSERET UDVIKLINGEN FOR DE TILHØRENDE S-KURVER FOR AT KUNNE FREMSKRIVE TRANSITIONEN. KILDE: NEW AUTOMOTIVE, CARBON TRACKER, JANUAR 2023. ICE = INTERNAL COMBUSTION ENGINE, BEV = BATTERY ELECTRIC VEHICLE. ....	17
FIGUR 11. FORUNDERSØGELSE OG PROGNOSE FRA DANMARKS STATISTIK FRA 2020 VERSUS EL- OG HYBRIDBILERS ANDEL AF PERSONBILPARKEN FREM TIL FEBRUAR 2023. KILDE: DANMARKS STATISTIK TABEL BIL54. ....	18
FIGUR 12. UDVIKLINGEN I ANTALLET AF HENHOLDSVIS ELBILER OG PLUG-IN HYBRIDBILER. KILDE: DANMARKS STATISTIKBANK TABEL BIL54... ..	18
FIGUR 13. SCENARIO DER VISER BALANCE MELLEM FORBRUG OG PRODUKTION AF GRØN EL PÅ ÆRØ BASERET PÅ 2021 FORBRUG OG PRODUKTION MED FREMSKRIVNING AF FORBRUG OG EN FORDOBLING AF VINDPRODUKTION OG TIDOBBLING AF SOLCELLEPRODUKTION PÅ ÆRØ I FORHOLD TIL I DAG. KILDE: EMK.....	22

## 20 Liste over tabeller

TABEL 1. ÆRØS VIND- OG SOLPRODUKTION AF ELEKTRICITET I 2020 OG 2021. KILDE: EMK, ENERGI DATA SERVICE OG ÆRØ VIND I/S.....	5
TABEL 2. BEBYGGET AREAL EFTER ANVENDELSE PÅ ÆRØ 2022 FOR KATEGORIER OG TAGTYPER, DER KAN BRUGES SIG TIL SOLCELLEPANELER. NB. 1 HEKTAR = 10.000 M2. KILDE: DANMARKS STATISTIK TABEL BYGB50 OG EMK.....	9
TABEL 3. ESTIMERET KAPACITET AF BATTERIER I ÆRØS KØRETØJER OG FARTØJER I 2040. KILDE: EMK .....	12
TABEL 4. ÆRØS ENERGIFORBRUG TIL VARME I 2020 SAMT ELBEHOV EFTER ELEKTRIFICERING AF IKKE LOKALE ELLER BÆREDYGTIGE BRÆNDSLER I FREMSKRIVNINGEN. ....	13
TABEL 5. ESTIMERET ANTAL TURE OG ELBEHOV VED FULD ELEKTRIFICERING AF ÆRØS FEM FÆRGER OG FIRE FÆRGERUTER. KILDE: EMK .....	15
TABEL 6. ESTIMAT OVER INSTALLERET BATTERIKAPACITET I FORBINDELSE MED ÆRØS FÆRGEDRIFT. KILDE: EMK.....	16
TABEL 7. ESTIMAT OVER ENERGIFORBRUG TIL OPLADNING AF ÆRØS BILPARK PÅ ÆRØ. DER ER TAGET UDGANGSPUNKT I BILFLÅDENS STØRRELSE PER 1. JANUAR 2023. KILDE: EMK OG DANMARKS STATISTIK TABEL BIL54. ....	19
TABEL 8 ESTIMERET BATTERIKAPACITET I ÆRØS BILPARK VED FULD ELEKTRIFICERING OG TYPISKE BATTERISTØRRELSER FOR BILTYPERNE. KILDE: EMK. ....	19
TABEL 9. ESTIMERET ELFORBRUG TIL FULD ELEKTRIFICERING AF ÆRØS BUS OG TAXAKØRSEL FORDELT OVER ÅRETS MÅNEDER. KILDE: EMK, JESPER BUS. ....	20
TABEL 10. ESTIMAT OVER ELFORBRUGET TIL ØVRIGE MOBILE ENHEDER I TRANSPORTEN, TRAKTORER, LANDBRUGSMASKINER, PLÆNEKLIPPERE OG MINDRE BÅDE SAMT FORBRUGETS FORDELING OVER ÅRET. BRUTTO ENERGIFORBRUGET ER IKKE ÆNDRET I FREMSKRIVNINGEN I FORHOLD TIL I DAG (2020) TRODS EN FORVENTET DELVIS ELEKTRIFICERING AF DENNE TRANSPORTKATEGORI. KILDE: EMK. ....	21