

Forudsætninger i TIMES-DK modellen

Notat

Dansk Fjernvarme & Energy Modelling Lab ApS

marts, 2023

Notatet indeholder

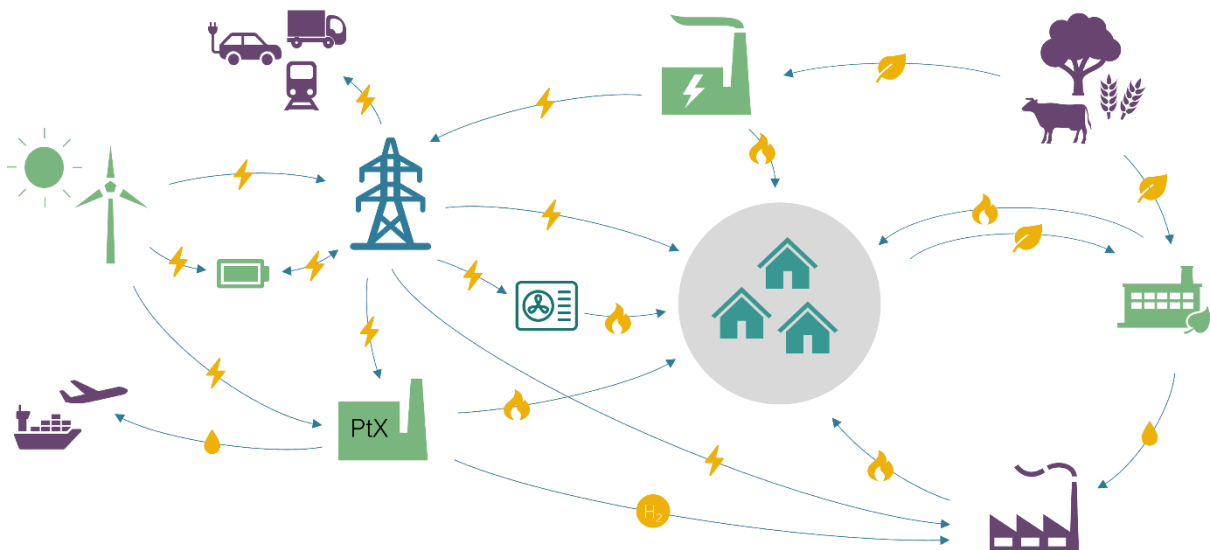
1	<i>Analytisk metode</i>	3
2	<i>Tilføjelser til modellen</i>	4
2.1	Aggregering af fjernvarmeområder	4
2.2	Tidsaggregering	6
2.3	Implementering af systemydelse	6
3	<i>Grundlæggende forudsætninger i modellen</i>	9
3.1	Teknologier og fremskrivninger	9
3.2	Diskonteringsrate	10
3.3	Brændselspriser	10
3.4	Energiafgifter og afgifter på køretøjer	11
3.5	Transport	13
3.6	Antagelser vedr. forsyningssektoren	14
3.7	Potentialer for energiteknologier	15
3.8	Landbrug og arealanvendelse	17
3.9	CO₂ fangst	17
3.10	Fremskrivninger og optimering	18
3.11	Begrænsninger	19
3.12	Validering	19

1 Analytisk metode

TIMES-DK er et avanceret beregningsværktøj, der anvendes til at bygge scenarier for energisystemet i Danmark. Modellen er udviklet i et fælles samarbejde mellem Energistyrelsen og DTU, samt videreudviklet af Energy Modelling Lab (EML), og bruges i dag primært af Energistyrelsen til klimafremskrivningen og af EML.

Alle sektorer i Danmark påvirker hinanden, en ændring i landbruget kan give et andet udbytte af energiafgrøder, som påvirker elsektoren, hvilket yderligere påvirker elprisen i de danske hjem. Derfor dækker modellen energiforbruget og drivhusgasudledningen i alle sektorer i Danmark.

Den har en detaljeret repræsentation af el- og fjernvarmesektoren, bygninger, industri, transport samt landbrug og skovbrug og kan dermed belyse målsætninger og politiske virkemidler på tværs af alle sektorer. Den inkluderer det danske energiafgiftssystem, så ændringer og det tilhørende provenu kan beregnes. Baseret på input om brændselspriser, teknologipriser og politikker (f.eks. støtte, afgifter, regulering), finder modellen den billigste kombination af teknologier i alle sektorer til at dække hele energibehovet.



Modellen kører over en længere årrække frem til 2050 og deler hele perioden op i hundrede af intervaller. Hvert interval har en efterspørgsel på energi, transport osv. og modellen finder altid en løsning, der dækker hele efterspørgslen i ethvert tidsskridt. Optimeringen sker simultant i alle tidsskridt, så det er muligt for modellen at investere i en teknologi i ét år, så den står klar, når efterspørgslen er der fem år senere.

Hvis man ønsker at dykke dybere ned i mekanismerne i modellen, kan man finde den samlede dokumentation [her](#).

For at lave analyserne til Dansk Fjernvarme, har det været nødvendigt at udvide modellen på følgende områder:

- Fjernvarmeområderne er langt mere findelt ift. tidligere versioner af modellen, så analyserne bedre kan målrettes individuelle områder.
- Tidsopløsningen er øget for at kunne håndtere flere forskellige typer timer over året
- Systemydelse er blevet implementeret i modellen

I de følgende afsnit kan man finde beskrivelser af hver af de tre udvidelser samt de forudsætninger, der er bygget ind i modellen for hver sektor.

2 Tilføjelser til modellen

2.1 Aggregering af fjernvarmeområder

For at lave en detaljeret analyse for fjernvarmesektoren er modellen blevet opdelt i flere fjernvarmeområder end tidligere. For at reducere kørselstiden er det dog ikke muligt at inkludere samtlige fjernvarmeområder i Danmark som separate områder, og derfor er det nødvendigt at aggregerer områderne.



Figur 1: Oversigt over individuelt modellerede fjernvarmeområder

Af de i alt 370 fjernvarmeområder, blev det besluttet at modellere 23 områder individuelt, se Figur 1.

De resterende fjernvarmeområder er herefter blevet opdelt efter leveret mængde varme og placering i Øst- eller Vestdanmark. Der er brugt to niveauer for leveret mængde varme: over 252 TJ/år (mellemstort område) og under 252 TJ/år (lille område). Værdien er sat ved at vælge en værdi for kapaciteten (20 MW) og et antaget antal fuldlasttimer per år (40% af 8760 timer). Kapaciteten er valgt for at repræsentere grænsen for kapaciteter, der skal købe kvoter i ETS-kvotestystemet.

Tabel 1: Størrelse af aggregeret fjernvarme områder, mål i PJ fjernvarme.

	Vest-Danmark	Øst-Danmark
Centrale individuelle områder	41,8	35,2
Decentrale individuelle områder	10,1	4,5
Aggregeret mellemstore områder	4,9	9,5
Aggregeret små områder	4,8	16,7

De enkelte værker er modelleret på baggrund af data fra energiproducenttællingen 2020 og data indsamlet fra Dansk Fjernvarmes medlemmer. Dataet dækker blandt andet kapacitet og levetider på de enkelte værker.

Tabel 2: Specifikationer for de ti største anlæg i modellen

	Kapacitet	Udfasningsår
Avedøreværket, AVV2	575 MW	2027
Nordjyllandsværket	385 MW	2028
Fynsværket konvertering til gas	374 MW til 200 MW	2024/2030
Esbjergværket	373 MW	2024
Studstrupværket, SSV 4	357 MW	2022
Studstrupværket, SSV 3	357 MW	2030
Skærbækværket	302 MW	2030

Kyndbyværket	260 MW	2026
Amagerværket, AMV 3	250 MW	2050
Avedøre, AVV1	250 MW	2032

2.2 Tidsaggregering

I energisystemmodeller, der inkluderer optimering over en længere tidshorisont, er det nødvendigt at lave tidsaggregering for at reducere køretiden. I dette projekt er antallet af tidsskridt øget fra 28 til 156 tidsskridt i forhold til den eksisterende TIMES-DK-model.

For at sikre at forskellige energimæssige situationer er repræsenteret er følgende periodeinddelinger modelleret over flere sæsoner/måneder:

- Nat
- Dag
- Peak el-efterspørgsel
- Lavt vindpotentiale
- Højt vindpotentiale – lav el-efterspørgsel
- Medium vindpotentiale – høj el-efterspørgsel
- Højt solpotentiale

For at sikre en høj detaljeringsgrad på kort og mellem langsigte modelleres hvert år med 5 års fremsyn frem mod 2030. På det langsigtede perspektiv er behæftet med større usikkerheder bl.a. i forhold til lukning af specifikke enheder, derfor modelleres kun hvert 5 år, med 10 års fremsyn fra 2030 og frem.

2.3 Implementering af systemydelse

Repræsentationen af systemydelser blev udviklet som et modul til TIMES modelstrukturen i 2019 under ETSAP-samarbejdet. Dette er blevet lagt ind i TIMES-DK modellen for at kunne repræsentere en efterspørgsel på systemydelser.

Modulet er baseret på strukturen i det fælles Europæiske systemydelsesmarked og indeholder både en repræsentation af reservations- og aktiveringsmarkedet.

For at modellere reservationsmarkedet er det antaget, at der altid skal stå mFRR kapacitet til rådighed svarende til udfaldet af den største enhed i det pågældende tidsskridt. Udfaldet af største enhed er baseret på Energinets vurdering for udviklingen af kapacitetesmarkedet, hvor der er forventet en stigning, som følger af den udvidet kapacitet af vind og udlandsforbindelser.

Aktiveringsmarkedet af FRR er modelleret som en ekstra efterspørgsel, der afhænger af, hvilket energimiks der er i nettet. En høj andel af vind i energimikset skaber f.eks. større udsving i systemet og øger behovet for systemydelser i det givne tidsskridt. På baggrund af historiske data

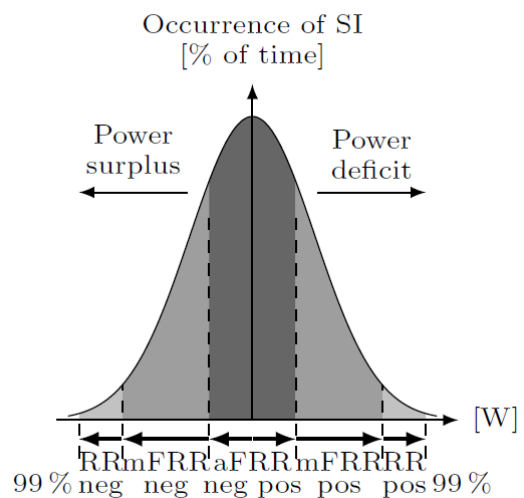
antages det, at 52 % af systemydelsen er automatisk frekvensgenopretning (aFRR), mens 48 % er manuel frekvensgenopretning (mFRR).

Fælles for efterspørgslen på alle systemydelser i TIMES modellen er, at de fordeles ud fra en normalfordelingskurve baseret på antallet af timer, hvor behovet for den enkelte systemydelse eksisterer (distributionen), samt det maksimale behov for stående kapacitet (amplituden), se Figur 2. På den måde får man repræsenteret både de timer, hvor efterspørgslen er nogenlunde normal og de timer, hvor systemet er særligt belastet i den ene eller anden retning.

Systemydelserne er kalibreret til det danske el-marked

Systemydelser i modellen er kalibreret til at passe på den historiske udvikling i systemydelser i DK1 og DK2 på et årligt niveau baseret på data fra Nordpool og Energinet samt Energinets forventninger til systemydelser.

Systemydelser er opdelt i to kalibreringsdele 1) Efterspørgslen på systemydelser, som følger af ubalancer mellem elforbrug og produktion og 2) kalibrering af aktivering af reserver, som følger af historiske niveauer.



Figur 2: Behovet for systemydelser er modelleret som en normalfordeling så sjældne tilfælde hvor behovet er særligt stort i den ene eller anden retning også er repræsenteret.

Kalibrering af systemydelsesefterspørgsel

- Efterspørgslen på systemydelser, som følger af forbrugsmønstre, er kalibreret efter historiske fremskrivninger og faktisk forbrug i pågældende time. Data er givet af Nordpools statistik. Forbrugsmønstre er opdelt i modellen, svarende til husholdninger, industri, transport, varmegærdere med el som primært energiforbrug og PtX anlæg.
- Efterspørgslen på systemydelser, som følger af variationer i produktion fra VE kilder, herunder vind og sol, er kalibreret efter historiske fremskrivninger og faktisk forbrug i pågældende time. Data er givet af Nordpools statistik. For at få variationen til at passe med den faktiske efterspørgsel på systemydelser i hver time, er effekten af variationen fra VE på systemydelsesefterspørgslen blevet nedjusteret.

Kalibrering af systemydelsesaktivering

- FCR reserven er eksogent defineret i TIMES-DK og følger fremskrivninger på kapacitetsvurderingen af Energinet
- aFRR reserven er endogent baseret og kalibreret til den aktiverede reserve for ydelser givet af Nordpools opgørelse for aFRR, med en standard fordelingsnøgle, der passer på den maksimale kapacitetsudnyttelse for året 2019.

- mFRR reserven er endogent baseret og kalibreret til den aktiveret reserve for ydelser givet af Energinets realtime market data, med en standard fordelingsnøgle, der passer på den maksimale kapacitetsudnyttelse for året 2019.

Fremskrivningen af aFRR i DK2 er antaget at følge samme behov som i DK1, dog nedjusteret forholdsmæssigt efter samme forhold for indkøb af forventet kapacitet. Dermed aktiveres DK2 aFRR 80 % af DK1's aFRR samlede aktivering.

Det angives i modellen, hvilke teknologier der kan agere i de forskellige reservemarkeder. Følgende er en oversigt over tilladte teknologier og deres leverance af de forskellige systemydelser.

Tabel 3: Enkelte teknologier forventes først at spille en rolle på markedet for systemydelser fra 2024 når Picasso-markedet starter. *delvis mulighed for deltagelse i markedet **Gasmotorer kan kun regulere op

HVILKE TEKNOLOGIER KAN AGERE PÅ DE FORSKELLIGE RESERVEMARKEDER?			
Teknologi	FCR	aFRR	mFRR
Centrale CHP	x	x	x
Decentral biomasse CHP			x
Gasmotor og gasturbiner	x	x**	x
Termiske back-up værker			x
Vindmøller (dog kun nedregulering)		x (fra 2024)	x
Solceller (dog kun nedregulering)	x*	x (fra 2024)	x
Batterier	x	x (fra 2024)	x
Store elkedler	x	x	x
Store varmepumper	x	x	x
PtX anlæg	x*	x (fra 2024)	x

Produktion af brint og varme fra el kan spille ind i systemydelsesmarkedet, og effekten på produktionen heraf ved op- og nedregulering ses i nedenstående tabel. Opregulering er altså en reduktion i elforbrug til produktionen, mens en nedregulering vil øge mængden af el brugt til produktionen.

Teknologi	Opregulering	Nedregulering
-----------	--------------	---------------

Brint	Reduceret brint produktion	Øget brint produktion
Varme	Reduceret varme produktion	Øget varme produktion

Modellen viser kapacitetsbehovet, men ikke energiforbruget i de enkelte tidsskridt

TIMES modeller har i dag allerede et elmarked endogent modelleret og beregner dermed spot-markedspriser.

Da TIMES er en optimeringsmodel med delvist fremsyn, er markedet for systemydelser modelleret som et kapacitetsbehov for hvert tidsskridt. På den måde undgår man, at optimeringen ville påvirke elprisen i modellen, når både optimering af systemydelser og elpriser påvirker objektfunktionen. Det medfører dog nogle mindre u hensigtsmæssige problematikker, som at energiforbruget fra systemydelser ikke repræsenteres i modellen. Og da vindmøller kan nedregulere og naturgas turbiner kan opregulere, vil det skabe en situation, hvorved det ekstra naturgasforbrug ikke medregnes i modellen. Modellens resultater vil derfor kun repræsentere kapacitetsbehovet og dermed den økonomiske effekt af systemydelser. At dette energiforbrug ikke repræsenteres, vurderes dog ikke at have nogen nævneværdig effekt på de overordnede resultater, eftersom reguleringen af elforbruget forventes at være nogenlunde udlignet over et års regulering.

Modellen skal derfor ikke ses som en optimering af systemydelser i fremtiden, men blot vurdere elkapaciteten og dens potentielle indflydelse på systemydelsesmarkedet.

3 Grundlæggende forudsætninger i modellen

I modelleringen af scenarier bruges mange af de samme antagelser og forudsætninger, som Energistyrelsen bruger i Klimafremskrivningen. Referencescenariet kan sammenlignes med Energistyrelsens Klimafremskrivning, da det er kalibreret til at følge samme udviklinger i de forskellige sektorer, f.eks. i transportsektoren, landbruget og øvrige tendenser i energisystemet.

3.1 Teknologier og fremskrivninger

Der er mere en 3.000 teknologier, som modellen kan vælge imellem. Hvert valg kan følges ned til de enkelte teknologier, og hvor meget der investeres i dem i hver sektor over scenarieperioden.

Når man kigger frem til 2050, er den teknologiske udvikling vigtig for resultatet. Modellen indeholder en fremskrivning af alle energikonverteringsteknologiers effektivitet og omkostninger, hvor det antages, at der vil ske en fortsat udvikling. Data er baseret på Energistyrelsens

teknologikataloger fra juli 2022 og internationale kilder (ex. på teknologier: biler, kedler til industri, havvind, solceller, naturgasfyr til boliger, vaskemaskiner, osv.).

Energistyrelsens teknologikataloger kan findes her:

<https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger>

3.2 Diskonteringsrate

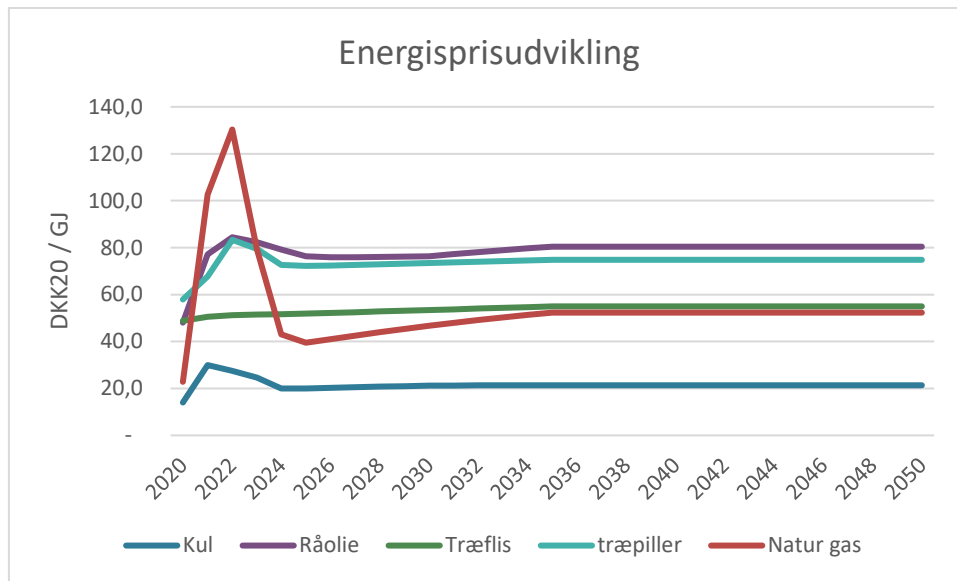
Der bruges samme fremgangsmetode for diskonteringsrenten, som JRC TIMES-EU modellen. Dog antages det, at fjernvarmeværker og kraftvarmeværker tilhørende kommunalejet institutioner skal operere ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv og hvile i sig selv, derfor antages for disse en diskonteringsrente på 4 % sammenligneligt med den samfundsøkonomiske diskonteringsrente.

Sektor/teknologitype	Discount rate
Passenger cars	18%
Residential	17%
Residential heat savings	17%
Freight transport, busses and passenger trains	11%
CHP and Large industries	12%
Other industry and commercial	14%
Centralised electricity generation	8%
Energy distribution	7%
Danish heating plants and CHP	4%
Energy generation assumed similar to electricity generation	8%
Infrastructure, others	7%

Til samfundsøkonomiske analyser bruges den samfundsøkonomiske diskonteringsrente på 4 %.

3.3 Brændselspriser

Brændselspriserne, der anvendes i TIMES-DK er baseret på brændselspriser fra de seneste Analyseforudsætninger eller Klimafremskrivning udgivet af Energistyrelsen.



Figur 3 Anvendte brændselspriser i TIMES-DK

3.4 Energiafgifter og afgifter på køretøjer

TIMES-DK modellens referencescenarie inkluderer de eksisterende energiafgifter, støtteordninger, registrerings- og miljøafgifter samt moms på privat køb. Der anvendes en frozen policy fremgangsmetode, hvor afgifter fortsættes i hele modelperioden medmindre dedikerede ændringer i afgiftsstrukturen er indskrevet i lovforslag, som f.eks. at PSO-afgiften udfases og el til transport er afgiftsfritaget. Støtteordninger er inkluderet ligesom afgifterne med en udfasning svarende til vedtaget lovgivning. Nye vindmølleparker og solcelleanlæg efter 2025 forventes ikke at modtage støtte, dette baseres på tendenserne for udbud i fremtiden. Dette gælder også havvindmølleparker, da det antages, at omkostningerne til ilandføring er inkluderet i eltarifferne.

Afgifter i modellen er bygget på nuværende lovgivning, herunder allerede vedtaget ændringer. Dette er gjort med henblik på at være sammenlignelige med Energistyrelsens klimafremskrivning.

Alle energiafgifter er baseret på Energistyrelsens og Skatteministeriets afgiftsniveauer med samtlige afgifter for perioden 2010-2022 værende implementeret i modellen.

Anvendelse	Energiform	Enhed	CO ₂	Energi	Svovl
			2022	2022	2022
Trans- portfor- mål	Dieselolie	øre/l	47.5	315.9	Afgifter udgør 24,2 kr pr. kg.
	Dieselolie med 6,8% biobrændsel	øre/l	44.3	280.4	
	Petroleum	øre/l	47.5	315.9	

	Naturgas (med nedre brændværdi 39,6)	øre/m ³	40.5	311.4	
	Anden flaskegas	øre/kg	53.5	351.5	
	Blyholdig benzin	øre/l	43.0	522.7	
	Benzin med 4,8% biobrændsel	øre/l	40.9	436.0	
Andre formål	Anden gas og dieselolie	øre/l	47.5	226.1	
	Fuelolie 1% S	øre/kg	56.8	256.1	
	Fyringstjære 1% S	øre/kg	51.1	230.6	
	Anden Petroleum	øre/l	47.5	226.1	
	Autogas (LPG)	øre/kg	28.9	191.2	
	Raffinaderigas	øre/kg	53.1		
	Stenkul, koks	kr/ton	476.5	1765.0	
	Jordoliekoks (petrokoks)	kr/ton	543.9	2081.0	
	Brunkul	kr/ton	323.4	1198.0	
	Naturgas ³⁾	øre/m ³	40.5	249.6	
	Bygas	øre/m ³	40.5	249.6	
	El til opvarmning	øre/kWh	-	0.8	
	El i øvrigt	øre/kWh	-	90.3	
Affald til brændselsformål	kr/ton	-		11.0	
Halm (brændselsformål)	kr/ton	-	-	27.9	
Træpiller (svovlholdige, brændselsformål)	kr/ton	-	-	48.6	

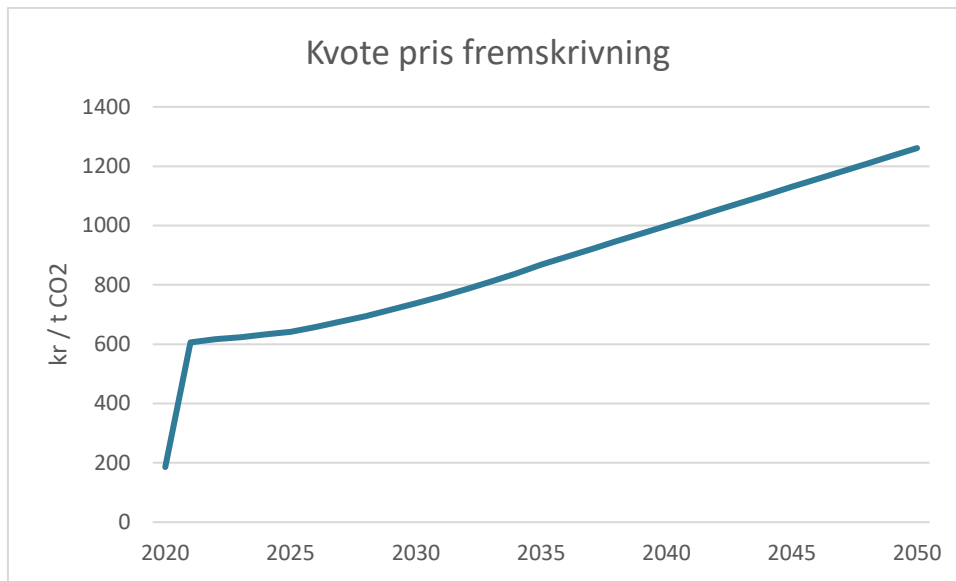
Tabel 4 Energiafgifter for Danmark, 2022

<https://ens.dk/service/statistik-data-noegletal-og-kort/energipriser-og-afgifter>

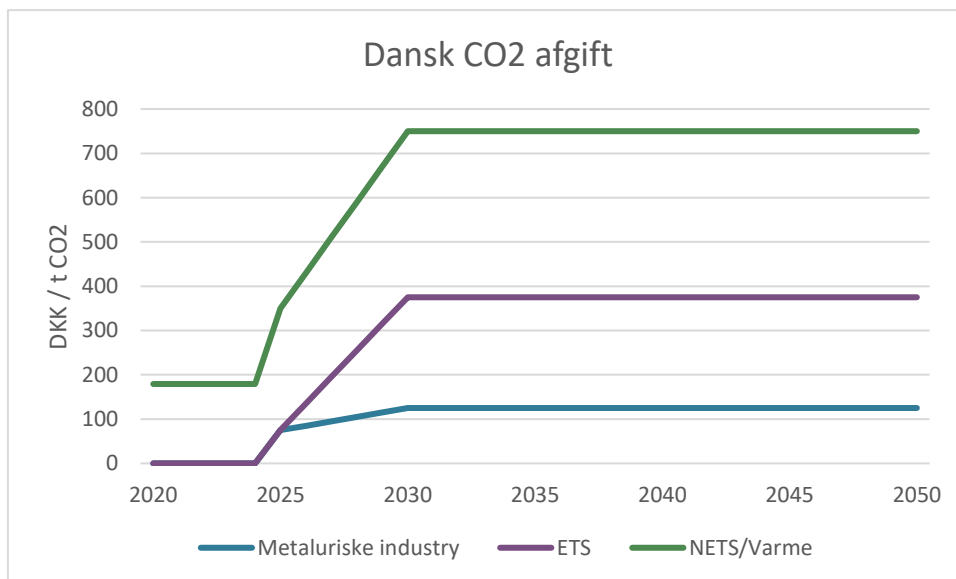
Støtteordninger til vind og sol følger den eksisterende ordning og udfases på samme vis i modellen. For biogas bruges både en beregning af støtteniveauet, baseret på gældende lovgivning og forventede gaspriser, samt en låst fremskrivning for at følge Energistyrelsens klimafremskrivning under antagelse af anlæg har modtaget accept af støtteordning.

Baseret på registrerings- og vejafgifter på motorkøretøjer følger lovændringen fra primo 2022, hvorved registreringsafgiften blev omstruktureret til at medregne CO₂-udledning per kørte km for køretøjer, samt gradvis indfasning af registreringsafgiften til grønne biler.

Fremskrivninger af CO₂-afgiften følger udviklingen givet ved Klimafremskrivningen.



Desuden er forventningen til lovgivningen, at CO₂-afgiften i Danmark vil udvikle sig som udmeldt og følge indfasning som ses herunder. For ETS sektoren er denne afgift et tillæg til den allerede eksisterende CO₂-kvote.



3.5 Transport

Modellen indeholder både biler, bus, tog, cyklisme, lastbiler, varevogne, luftfart og skibsfart. Efterspørgslen inden for de forskellige transporttyper er drevet af efterspørgslen både inden for persontransport og godstransport både nationalt og internationalt.

Udviklingen i efterspørgslen er baseret på Energistyrelsens klimafremskrivning. For udviklingen i bilparken ses dog en større afvigelse fra Energistyrelsens relativt konservative resultater.

Udviklingen i vejtransport er desuden baseret på den amerikanske kilde “Assessment of vehicle sizing, energy consumption, and cost through large-scale simulation of advanced vehicle technologies” lavet af U.S. Department of Energy (2020).

Teknologiudviklingen af skibe er baseret på flere studier, da større datasæt for disse ikke eksisterer. Primære kilder til skibsteknologikataloget er; udvalg af studier fra DTU transport, herunder DTU transport Shipping Tool, post doc projektet af Dejene Hargos, fra Chalmers samt Energistyrelsen transportvalgsmodel.

Tog og fly er baseret på Energistyrelsens transportmodel dog med tilføjelsen af elfly og brintfly, som tillades at operere inden for kortdistance ruter.

Da dansk andel af international transport er inkluderet i TIMES-DK modellen dvs. halvdelen af afstanden til og fra andre lande, er dennes drivhusgasudledning dermed også inkluderet i modellen. Dog antages det for både skibsfart og luftfart, at disse vil følge henholdsvis IMO og IATA's mål om drivhusgas reduktioner på 50 % og 81 % for direkte udledning i 2050. Denne antagelse driver i høj grad efterspørgslen på syntetiske brændsler og dermed udbygningen af PtX-anlæg.

3.6 Antagelser vedr. forsyningssektoren

Da TIMES-DK udelukkende modellerer Danmark og ikke de omkringliggende lande, anvendes en række eksogene antagelser om udviklingen i elpriser i omkringliggende lande, transmissionsforbindelser osv. Disse rammebetingelser følger så vidt muligt Energistyrelsens Klimafremskrivning. Det betyder bl.a. en maximal import/eksport af elektricitet på 22% af det nationale elforbrug i 2030.

Der er ikke modelleret nogen brændselsbinding i modellen. Det er derfor muligt at skifte fra kul i store centrale kraftværker og i fjernvarmeanlæg til både biomasse og varmepumper.

Der er ikke tilslutningspligt til fjernvarme i modellen, så fjernvarme vil kun forblive og udvides til områder, hvor det samlet set er den billigste løsning.

Der tages højde for politiske aftaler omkring udbygningen af biogas, vind, sol, CCS og PtX, dog uden konkret viden om hvordan eller hvornår disse nødvendigvis udfolder sig. Dog er disse inkluderet efter følgende antagelser:

- Solcelle- og landvindudbygning følger modellens økonomiske rationale
- Havvind følger udbygningen som defineret under nuværende aftaler, dermed øges havvind til i alt 12.9 GW inden 2030, hvoraf 2-3 GW antages at stå ved energiø Bornholm.
- CCS-strategien inkluderes med 0.5 Mt og 1.4 Mt total CO₂ fangst i henholdsvis 2025 og 2030, hvoraf 0.5 Mt CO₂ fangst skal være ved pyrolyse, biogas opgradering eller Direct Air Capture.
- PtX strategien udmønter sig pt. i 4-6 GW elektrolyse kapacitet, dette er inkluderet som en udvikling af elektrolyse kapacitet på 5 GW inden 2030. I modellen er det antaget, at PtX-anlæggene kan placeres i de syv største fjernvarmeområder og leverer

overskudsvarme til dem eller at de kan placeres i et område/energiø, hvor overskudsvarmen ikke kan udnyttes.

- For at tage højde for en lidt forsinket udvikling i opbygning af varmepumpekapacitet, er denne begrænset op til 2030. Begrænsningen svarer til dobbelt kapacitet i 2025 i forhold til 2022 og yderligere til maksimalt 2500 MW i 2030. Denne maksimale udbygningsrate er en smule højere end prognosen fra Klimafremskrivning 2022.

3.7 Potentialer for energiteknologier

Potentiale for vedvarende energi i Danmark modelleres som øvre grænser i modellen, herunder delt i brændselsfri og biomassepotentialer.

ØVRE GRÆNSER FOR ANVENDELSEN AF FORSKELLIGE TEKNOLOGIER I MODELLEN	
Teknologi	MW kapacitet
Landvind	6.200
Havvind, tilknyttet DK	12.295
Havvind, energiør	41.000
Husstands-solceller	9.500
Industri tag-solceller	8.100
Landbaserede solceller	14.000
Bølgeenergi	3.175
Solvarme	7.400
Geotermi	630

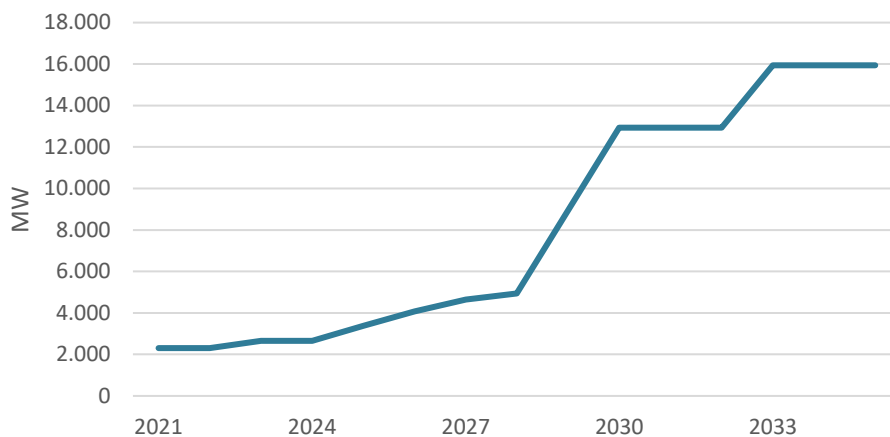
Landvind

Landvind er begrænset til 6200 MW, som følger af energiaftalens beslutninger om maksimalt 1750 styk landmøller. Elproduktion på landvind er den billigste løsning og ved at hæve den grænse, vil man få betydeligt mere landvind og et billigere energisystem.

Havvind

Som følge af den politiske beslutning om udbygning af havvind er det antaget, at den totale udbygning af havvind følger den politiske beslutning om minimum 9.4 GW havvind i 2030, med yderligere potentiale for 4 GW ekstra. Havvindudbygningen følger klimafremskrivningen plus de aftaler, der blev indgået som en del af den grønne skattereform per juli 2022.

Minimumsgrænse for udbygningen af havvind baseret på politiske beslutninger



Elnettet

Planlagte udvidelse af elforbindelser til udlandet er inkluderet i modellen frem til 2030. Dermed er Viking Link og den nærliggende udbygning mod Tyskland inkluderet som faste beslutninger i modellen. Dertil kommer, at modellen frit kan investere i el- eller brintforbindelser til energier, hvor der dog er fastlagt en elforbindelse til første fase af energierne.

Efter 2030 kan modellen yderligere investere i udvidelse af forbindelser til danske nabolande, potentialet for udvidelse af disse er fundet via NCES2020 studiet baseret på en nordeuropæisk Balmorel model.

	2030		2035		2040		2050	
	Ek-sport	Im-port	Ek-sport	Im-port	Ek-sport	Im-port	Ek-sport	Im-port
Østdanmark - Sverige (Øresund)	1.70	1.30	1.70	1.30	1.70	1.30	1.70	1.30
Østdanmark - Tyskland (Kontek)	0.59	0.60	0.59	0.60	0.59	0.60	0.59	0.60
Østdanmark - Tyskland (Kriegers Flak)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Vestdanmark - Norge (Skagerrak)	1.63	1.63	1.63	1.63	2.83	2.83	2.83	2.83
Vestdanmark - Sverige (Konti-Skan)	0.74	0.68	0.74	0.68	1.94	1.94	1.94	1.94
Vestdanmark - Tyskland	3.50	3.50	3.50	3.50	4.84	4.84	5.35	5.35
Vestdanmark - Holland (COBRACable)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Vestdanmark - Østdanmark	0.59	0.60	0.59	0.60	0.59	0.60	0.59	0.60

Vestdanmark - England (VikingLink)	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
Østdanmark - Polen	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.75	0.75	0.75

Tabel 5 Udvidelsesmuligheder af udlandsforbindelser i TIMES-DK modellen, baseret på Balmorel model. Til og med 2030 følger Energinets udbygning. Kapacitet er målt i GW.

Biomasse

Modellen har begrænset adgang til danske biomasseressourcer, hvilket beregnes i DK-BioRes modellen (se afsnit 3.8 om landbrug og arealanvendelse). Det samlede faste biomassepotentiale fra landbrug og skov vurderes til at være ca. 80 PJ, dertil kommer et potentiale på 33 PJ affald, hvoraf 60% i dag er biogen affald. Det medfører et samlet biomassepotentiale på lige over 100 PJ. Det nuværende biomasseforbrug svarer ca. til 160 PJ, hvoraf over 50 % er importeret.

Ifølge studiet "Carbon footprint of bioenergy pathways for the future Danish energy system" er den bæredygtige globale biomasseressource på 10-20 GJ/person/år, svarende til 55-110 PJ biomasseforbrug i hele Danmark. I dette studie bruges et samlet potentiale på over 100 PJ biomasse, hvilket må anses at være i den høje ende af den globale biomasseressource. Danmark vil have et betydeligt større biomasseforbrug end verdensgennemsnittet, hvis import af biomasse fortsættes.

3.8 Landbrug og arealanvendelse

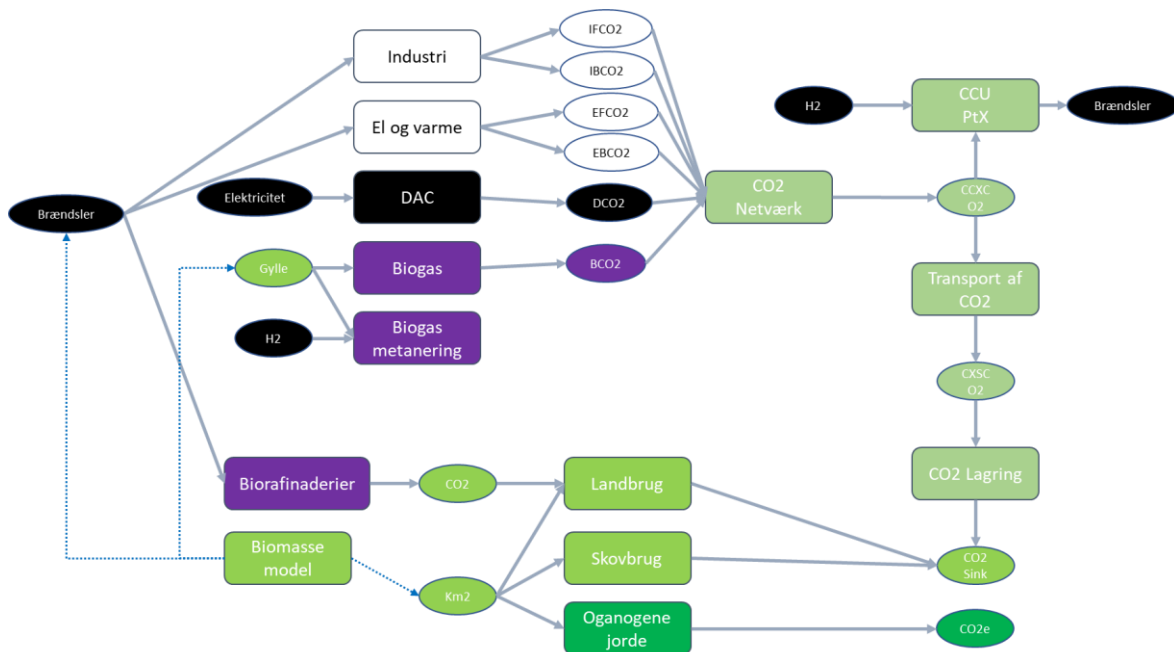
I analysen anvendes Energy Modelling Labs jordbrugsmodel DK-BioRes til at give et sammenhængende billede af reduktioner i drivhusgasudledninger fra jordbruget, produktion af foder og fødevarer samt hvor meget biomasse (inkl. biogas), der kan anvendes til energiformål.

Resultaterne fra DK-BioRes føres over til TIMES-DK modellen og sætter grænser for, hvor meget biomasse, der er til rådighed samt hvilke udledninger, der kommer fra jordbruget og som skal kompenseres af negative udledninger fra andre sektorer.

Basisscenariet er modelleret efter Energistyrelsens Klimafremskrivning samt de finansierede tiltag i Landbrugsaftalen der blev vedtaget i efteråret 2022.

3.9 CO₂ fangst

TIMES-DK modellen inkluderer et fuldt integreret CO₂ modul, hvorved CO₂ fanges og kan bruges til forskellige typer PtX eller transporteres videre til lagring i nye kavernelagre eller gamle olie- og gas felter i f.eks. Nordsøen.



3.10 Fremskrivninger og optimering

Økonomisk fremskrivning: Fremskrivning af sektorernes økonomiske aktivitet frem til 2050 er baseret på Finansministeriets konvergensprogram fra oktober 2015 samt ELModelBolig's fremskrivning af elapparater per husstand og DREAM gruppens fremskrivning af boligareal. Dette er de samme kilder, som anvendes til Energistyrelsens basisfremskrivning. Udviklingen i de enkelte sektorer økonomiske aktivitet oversættes i modellen til en efterspørgsel efter energitjenester (m² opvarmede boliger, procesenergi i tre temperatur intervaller, transportarbejde for personer og gods, antal elektriske apparater i boliger osv.)

Markeder: Der antages perfekte markeder for de "varer", som handles i modellen (el, fjernvarme og brændsler). Det betyder bl.a., at markedsaktørerne har fuld information om alle relevante forhold, og markedsprisen er defineret som den marginale pris i hvert tidskridt. Modellen kan handle el og brændsler på et globalt marked – for el dog begrænset af transmissionsforbindelser og antaget elpris i de omkringliggende lande.

Drivhusgasser: Modellen regner kun på drivhusgasudledninger i Danmark og dermed ikke hvad dansk el-eksport evt. fortrænger i andre lande. Al CO₂-udledning fra energikonvertering indgår i modellens optimering, mens lattergas og metan fra landbruget, CO₂-optag i skov og strålingseffekt fra fly indgår i modellen, men er ikke inkluderet i omkostningsminimeringen. Det betyder, at effekter på de øvrige klimagasser, som følge af forskellige politikker, er baseret på eksogene videnskabelige studier, som er lagt manuelt ind i modellen. Desuden er international skibs- og flytrafik inkluderet, og den danske del beregnes ved at transportarbejdet, energiforbrug og emissioner fordeles ligeligt mellem Danmark og destinationslandet. Dette repræsenterer dermed de brændselsefterspørgsler, der i dag er repræsenteret som bunkering i nationale energistatistikker.

Fjernelse af potentielle barrierer i alle scenarier: Modellen er fri til at investere i de teknologier, som er nødvendige for, at energisystemet kan møde efterspørgslen efter energitjenester i fremtiden. Det betyder bl.a., at det antages, at der centralt afsættes områder til ny havvind, solceller og andre arealkrævende teknologier, hvorfor dette ikke ses som en barriere i modellen. Stigningen i antallet af elbiler og ellastbiler kræver udbygning med offentlige ladestandere, hvilket modellen gør efter behov uden at afvente en politisk beslutning. På samme måde antages det, at potentialet af overskudsvarme fra industrien kan udnyttes i fjernvarmenettet, hvis det kan betale sig.

Adfærd i modellen: Brugeradfærd er svær at repræsentere i en matematisk optimeringsmodel. Her er økonometriske modeller bedre egnet, til gengæld mangler de den nødvendige teknologiske detalje til at afgøre, hvordan målsætninger kan nås. Der er stor forskel på den økonomiske horisont for en almindelig borger, der overvejer at købe nyt fyr eller efterisolere sin bolig og store energiselskaber, som investerer i nye kraftværker. For persontransport er der indført et tidsbudget samt begrænsninger på infrastruktur til at repræsentere forbrugernes valg mellem transportformer. I alle sektorer har vi indført såkaldte Hurdle Rates/diskonteringsrenter, der repræsenterer den tidshorisont investorerne har.

3.11 Begrænsninger

Alle modeller er en forsimplet repræsentation af virkeligheden og derfor er der selvfølgelig ting, som ikke er inkluderet og områder, som modellen ikke kan sige noget om.

Makroøkonomiske effekter (eksport/import, beskæftigelse, etc.): Modellen holder ikke styr på makroøkonomiske effekter, dvs. hvordan forskellige industrier påvirkes økonomisk af politiske tiltag. Hvis der indføres en afgift på f.eks. et brændsel, så antages det, at afgiften implementeres på en måde, så industriens konkurrenceevne ikke forværres relativt. Dvs. modellen kan ikke se om politikker forårsager, at virksomheder flytter til udlandet. Den siger heller ikke noget direkte om, hvordan scenarier påvirker beskæftigelse eller hvordan investeringer i energisystemet konkurrerer med sundhedsudgifter o.lign. Men da modellen anvender en økonomisk fremskrivning fra Finansministeriet som basis, så sikrer dette at grundlæggende sammenhænge er overholdt som udgangspunkt.

Påvirkning fra udlandet: Danmark er en lille åben økonomi i et stort internationalt marked og derfor har det stor betydning for modelresultaterne, hvad der antages om udviklingen i nabolande og resten af verden. Der antages ikke ændrede påvirkninger fra udlandet i forskellige scenarier.

3.12 Validering

For at validere modellen sammenlignes resultater med andre lignende modeller, med statistik og med litteratur.

Kalibrering: Modellen er kalibreret til de historiske år 2015 og 2020. Dvs. det sikres, at modellen kan gengive energiforbruget, brændselsforbrug og CO₂-udledninger i de historiske år.

Sammenligning med andre modeller: Der sammenlignes bl.a. med Energistyrelsens resultater fra bl.a. basisfremskrivningen og klimafremskrivningen, men også med mere detaljerede sektor-modeller. Der køres en detaljeret bilvalgsmode udenfor TIMES-DK modellen for at tjekke TIMES-DK's resultater omkring valg af biltyper og elsystemmodellen Balmorel, der dækker Nord Europa til at tjekke el-handel og elpriser.