

# Elektrificering af Danmark

- Sammenhæng mellem fremtidens energiproduktion og forbrug

Fagintegreret speciale i teknologisk samfundsvidenskabelig miljøplanlægning

Roskilde universitet, juni 2020

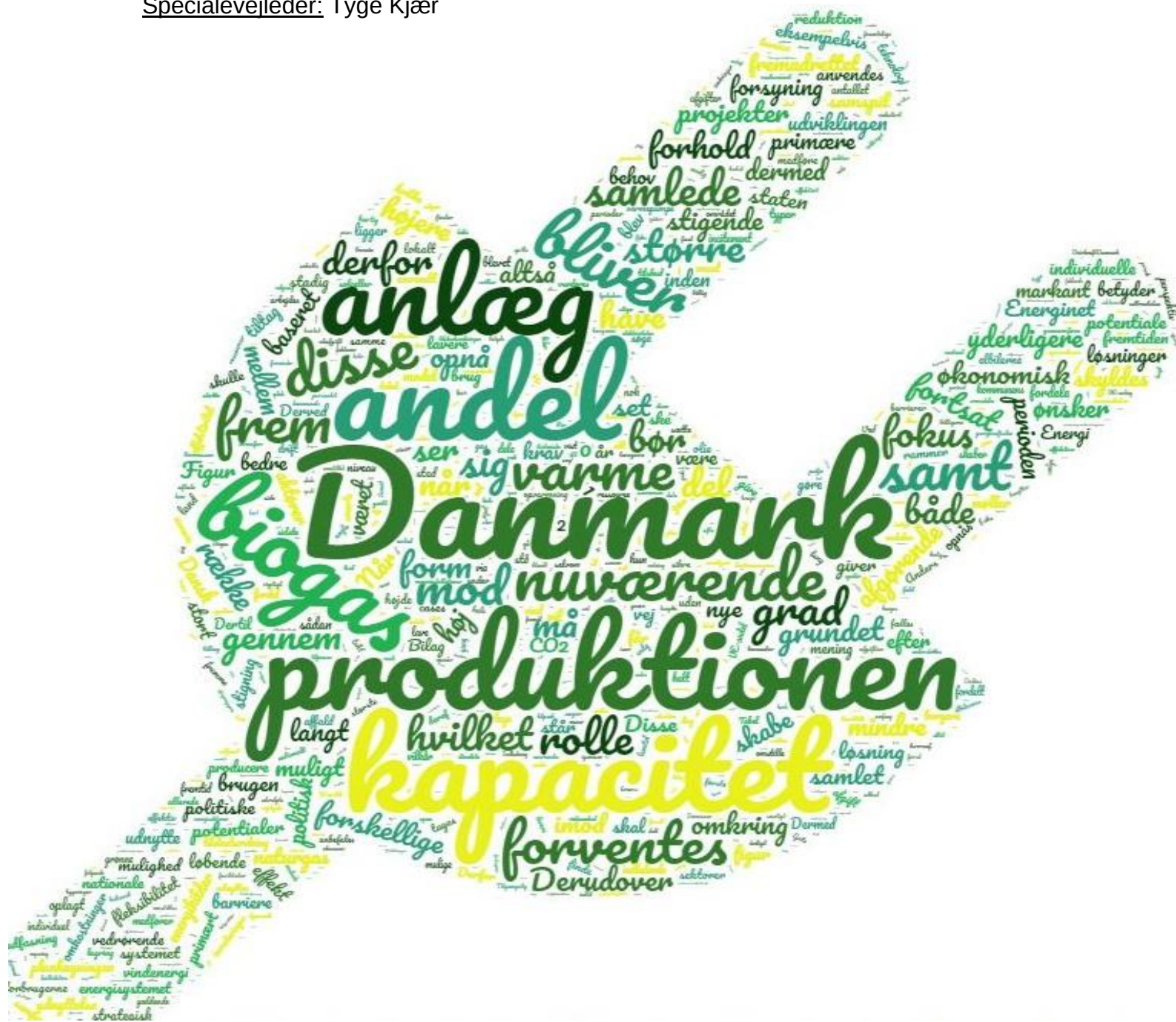
## Gruppemedlemmer

Lasse Caspersen : 57802

Jesper Kristensen : 58623

Oskar Flindt Bredahl Tengberg: 58180

Specialevejleder: Tyge Kjær



## Resumé

Omstilling af det danske energisystem skal bidrage til de nationale målsætninger vedrørende drivhusgasreduktion. Der arbejdes her ud fra en målsætning om 70 % reduktion i 2030 og fuld uafhængighed af fossile brændsler i 2050, i forhold til mål året 1990. For at denne omstilling skal finde sted er fokus på samspil mellem den energiproduktion og forbrug essentielt. Denne specialerapport vil bidrage med løsninger til drivhusgasreduktion og samspil mellem energiproduktionen og forbruget. Dette sker ved at analysere på de vigtigste produktionsteknologier og rammerne for disse i et regulerings og planlægningsperspektiv. Dertil hvordan de teknologivalg, regulering og planlægning på forbrugssiden, hvor elektrificering af personbiltransporten og varmesektoren er i fokus, skal udmøntes. I konklusionen vurderes en række løsningsforslag til hvordan fremtidens energisystem skal designes ud fra teknologivalg, regulering og planlægning så systemkrav for fleksibilitet, robusthed og forsyningssikkerhed langsigtet understøttes frem mod i perioden 2020-2050.

## Abstract

Restructuring of the Danish energy system must contribute to the national greenhouse gas reduction objectives. The main goals are here a 70% reduction in 2030 and full independence of fossil fuels in 2050, compared with the target in 1990. In order for this transition to take place, the focus is on the interaction between energy production and consumption. This master thesis will contribute with solutions for greenhouse gas reduction and interaction between energy production and consumption. This is done by analyzing the main production technologies and their frameworks in a regulatory and planning perspective. In addition, the technology choices, regulation and planning on the consumption side, where the electrification of passenger transport and the heating sector are the focus, must be implemented. The conclusion assesses a number of solutions for how the energy system of the future should be designed based on technology choices, regulation and planning so that system requirements for flexibility, robustness and security of supply are supported long term in the period 2020-2050.

## Indholdsfortegnelse

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Figur- og tabel liste                                     | 5  |
| 1. Problemfelt                                            | 7  |
| 1.1 Problemformulering                                    | 9  |
| 1.2 Arbejdsspørgsmål                                      | 9  |
| 2. Metode                                                 | 10 |
| 2.1 Projektdesign                                         | 10 |
| 2.2 Backcasting                                           | 12 |
| 2.3 Afgrænsning                                           | 13 |
| 2.4 Valg af interviewpersoner og behandling af interviews | 14 |
| 2.5 Kvalitet i data indsamling og brug af kilder          | 15 |
| 3. Teori                                                  | 16 |
| 3.1 Teoretisk forståelsesramme                            | 16 |
| 3.2 Statens rolle                                         | 16 |
| 3.3 Kritik af Giddens                                     | 17 |
| 3.4 Kommunens roller                                      | 18 |
| 3.4.1 Kommunen som virksomhed                             | 18 |
| 3.4.2 Kommunen som planlægnings- og godkendelsesmyndighed | 19 |
| 3.4.3 Kommunen som ejer af forsyningsselskaber            | 21 |
| 3.4.4 Kommunen som facilitator                            | 22 |
| 3.5 Staten og kommunens opgavefordeling                   | 23 |
| 4. Danmarks fremtidige energiproduktion                   | 26 |
| 4.1 Indledning                                            | 26 |
| 4.2 Det samlede energisystem                              | 27 |
| 4.3 Termiske kraftværker                                  | 29 |
| 4.4 Biogas                                                | 36 |
| 4.5 Vindpotentiale                                        | 39 |
| 4.6 Solenergi                                             | 47 |
| 4.7 Delkonklusion                                         | 53 |

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| 4.8 anbefalinger                                  | 56  |
| 5. Elektrificering af varme- og transportsektoren | 58  |
| 5.1 Indledning                                    | 58  |
| 5.2 Transportsektoren                             | 60  |
| 5.2.1 Indledning                                  | 60  |
| 5.2.2 Elektrificering af personbiltransporten     | 62  |
| 5.2.3 Integration af elbiler frem mod 2050        | 62  |
| 5.2.4 Elbil opladning og fremtidige investeringer | 67  |
| 5.2.5 Regulering                                  | 70  |
| 5.2.6 Infrastruktur                               | 71  |
| 5.3 Varmesektoren                                 | 78  |
| 5.3.1 Indledning                                  | 78  |
| 5.4 Fjernvarmens rolle                            | 80  |
| 5.4.1 Store varmepumper                           | 83  |
| 5.4.2 Varmeprojekter og planlægning               | 86  |
| 5.4.3 Barrierer for fjernvarme                    | 88  |
| 5.5 Nabovarme                                     | 89  |
| 5.6 Individuel forsyning                          | 91  |
| 5.7 Regulering                                    | 96  |
| 5.7.1 Elvarmeafgift og PSO-tarif                  | 96  |
| 5.7.2 CO <sub>2</sub> afgift                      | 97  |
| 5.7.3 Dynamisk elafgift                           | 99  |
| 5.8 anbefalinger                                  | 100 |
| 5.8.2 Varmesektoren                               | 102 |
| 6. Konklusion                                     | 105 |
| 7. Perspektivering                                | 110 |
| 8. Litteraturliste                                | 111 |

# Figur- og tabel liste

## Figurliste:

Figur 1 s. 11: Projektdesign

Figur 2 s. 28: Elproduktion og forbrug i Danmark

Figur 3 s. 30: Brændselsforbrug i Danmark

Figur 4 s. 32: Bio- og affaldsressourcer i Danmark og pris på ressourcer

Figur 5 s. 33: Trends der øger behov for bioraffinering og reducerer grundlaget for grundlast biomasse-kraftvarme

Figur 6 s. 34: Produktion af vedvarende energi fordelt på energivarer

Figur 7 s. 35: Illustration af mulig udvikling i central kraftværkskapacitet frem til 2050

Figur 8 s. 41: Forventet udvikling i kapaciteten for vindmøller fordelt på møllernes placering

Figur 9 s. 49: Antal af solcelleanlæg i Danmark

Figur 10 s. 51: Forventet udvikling i den samlede solcellekapacitet målt ved inverteren, dvs. i MW i perioden 2019-2040

Figur 11 s. 58: Danmarks energiforbrug fordelt på sektorer, PJ

Figur 12 s. 59: Bruttoenergiforbrug fordelt på brændsler

Figur 13 s. 60: Danmarks samlede bilpark, antallet af personbiler

Figur 14 s. 61: Vedvarende energi i transporten, opgjort i PJ

Figur 15 s. 65: Analyseforudsætninger om udvikling i bestanden af elbiler, plug-in-hybridbiler samt benzin- og dieslbiler

Figur 16 s. 68: Illustration af ladeprofil ved uflexibel opladning (dyrt scenarie)

Figur 17 s. 69: Illustration af ladeprofil ved fleksibel opladning (Smart scenarie)

Figur 18 s. 70: Samlet investeringsbehov i elnettet

Figur 19 s. 78: Energiforbrug pr. husholdning

Figur 20 s. 79: Energiforbrug til opvarmning i boliger

Figur 21 s. 79: Varmeinstallationer i boliger

Figur 22 s. 81: Fjernvarmepris samt prisniveauer for olie- og naturgasfyr samt individuel varmepumpe

Figur 23 s. 82: Brændselsforbrug til fjernvarmeproduktion

Figur 24 s. 92: Energi til opvarmning, PJ

Figur 25 s. 97: Varmeproduktionspriser uden investering

Figur 26 s. 98: Klimarådets eksempel på udviklingen i afgiftsniveauet i forhold til udledningen af CO<sub>2</sub>-ækvivalenter, fra fossile brændsler i udvalgte sektorer

## **Tabel Liste:**

Tabel 1 s. 29: El-effekt opdelt efter anlægstype

Tabel 2 s. 39: Produktionen af vindenergi fra 1990-2018, angivet i TJ

Tabel 3 s. 40: Vindkraft - antal anlæg og kapacitet fordelt på størrelse

Tabel 4 s. 47: Produktionen af solenergi fra 1990-2018, angivet i TJ

Tabel 5 s. 73: Analyseforudsætninger om type, effekt og udbredelse af ladestandere samt fordeling af anvendelse for elbiler hjemmehørende i villa- og byområder

Tabel 6 s. 74: Charging times to provide 100 km of battery electric vehicle driving

Tabel 7 s. 82: Gruppering af fjernvarmeområder

Tabel 8 s. 87: Oversigt over bestemmelser for fjernvarme og naturgas områder

Tabel 9 s. 92: Kapacitet, effektivitet, anlægs levetid og omkostninger og årlige omkostninger for olie- og gasfyr

Tabel 10 s. 93: Kapacitet, effektivitet, anlægs levetid og omkostninger og årlige omkostninger for forskellige typer varmepumper

# 1. Problemfelt

Klimaforandring har længe været en dagsorden og den første internationale klimakonvention blev afholdt i 1992 (United Nations, 1992).

Den første internationale aftale blev vedtaget i 1997, i form af Kyoto protokollen (UNFCCC, 2020). Der har siden været et stigende fokus på klimaforandringerne, og klimakrisen, hvilket har medført at 196 medlemslande i 2015 i Paris-aftalen vedtog en målsætning om en maksimal temperaturstigning på 2 grader og at forsøge at holde den på 1,5 grader. Danmark er en del af den Europæiske handelsunion, hvilket betyder at Danmark er underlagt forskellige lovgivninger og politikker fra EU. I forhold til den klimamæssig lovgivning, har EU opgjort nogle klimareduktionsmålsætninger der gælder for hele Unionen og dermed også medlemsstaterne. De klimamæssige reduktionsforpligtelser der skal opnås for 2030 er en reduktion på udledningen af drivhusgasser på 40 % i forhold til 1990, energiforbruget skal bestå af en VE andel på 32 % og energieffektiviteten skal forøges med 32,5 % (European Commission, 2020). Der ses i Danmark også et stigende fokus på klimadagsordenen og et resultat heraf er den sidste aftale om klimalov hvor den siddende socialdemokratiske regering fik gennemført et bredt forlig om en reduktion af drivhusgasudledningen på 70 % i 2030, ift. 1990 (Regeringen, 2019). Energiproduktionen fra vedvarende energikilder forventes, af Energistyrelsen, i Danmarks energisystem frem mod 2030 at have en andel på cirka 54 %, hvor man i år forventer en samlet andel af vedvarende energi på 41 % (Energistyrelsen, 2019 A). Målsætningen fra statslig side er en VE-andel i elforbruget på over 100 % i 2030 og at fjernvarmeforbruget er 90 % dækket af ikke fossile energikilder i 2030 (Regeringen, 2018 A). Det faktiske danske energiforbrug i 2018 var på 749 PJ og det danske bruttoenergiforbrug var på 781 PJ (Energistyrelsen, 2018 A). Når vi som samfund omstiller vores produktionssektor så markant må man her søge at indtænke disse nye teknologiers samspil med resten af energisektoren. Her er eksempelvis stigende fluktuation i energiproduktionen, op imod opretholdelse af den nuværende forsyningssikkerhed, en markant udfordring både teknologisk og ikke mindst økonomisk. En anden udfordring er omstilling af personbiltransporten, hvor stadig langt størstedelen af køretøjer kun er egnet til fossilt brændsel (Drivkraft Danmark, 2019). Der er også udfordringer i den individuelle varmforsyning, i form af olie- og naturgasfyr, der vil skulle udskiftes når man ønsker at udfase den fossile energi og derimod anvende energi fra VE-anlæg.

Et andet spørgsmål der her rejser sig er hvordan man først og fremmest skal få produceret nok energi, hvis løsningen på udfasning af fossile brændsler i førnævnte sektorer er en elektrificering af disse, med henblik på primært at anvende energien fra vind- og solenergi. Som set ud fra *Basisfremskrivning 2019* vil VE andelen i elforbruget overgå 100 %, men som følge af stigende elektrificering i både transport- og varmesektoren vil der kunne opstå langt større behov for produktionen, og lagring, af el end der ses for nuværende (Energistyrelsen 2019, A).

Når staten og kommunerne i et samspil skal omstille til vedvarende energiproduktion, samt udnytte dette i energiforbruget, er der en række udfordringer som planlægningsmæssigt skal tages hånd om. Dette være sig både statens rolle som aktør i en omstillingsproces, både i forhold til initiativer, projekter, regulering og top down styring. Men også de enkelte kommuners evne til at udnytte de lokale potentialer via langsigtet strategisk planlægning.

Her ses fra statslige side en udfordring i den nuværende reguleringsramme hvor omstilling af transportsektoren udfordres grundet fx afgifter på elbiler, el og manglende samlet strategi for sektoren. I varmesektoren er der et teoretisk stort potentiale for at opnå CO<sub>2</sub> reduktion.

Naturgasprisen for husholdninger har været løbende stigende, og så en prisstigning 2017-2018 på 6,2 % (Energistyrelsen, 2018 A). Naturgas er dog stadig det fossile brændsel der vil være det mest centrale at udfase i varmesektoren. En svækket konkurrencedygtighed for naturgassen, vil medføre bedre implementerings vilkår for de teknologisor man ønsker at omstille til. Overgangen fra fossile brændsler i energiproduktionen til en produktion baseret på VE er igangsat, hvor især udnyttelse af havvind potentialet har stort politisk fokus i Danmark. Heri ligger en omkostnings barriere da energi produceret på havvind for nuværende er dyrere end landvind. Dog ses der fortsat politisk støtte til havvind op imod landvind, hvilket i sidste ende kan medføre mangel på udnyttelse af potentialer for implementering af VE-anlæg på land, og deraf en samlet dyrere og langsommere omstilling for Danmark som samfund. For at komme rundt om disse problemstillinger vil der i denne specialerapport blive fokuseret på Danmark som samlet energisystem. Formålet med afgrænsningen er at se udviklingen i et systemperspektiv. Her vil fokus være på sammenhængen mellem produktion og forbrug i fremtidens energisystem. Her vil både den overordnede statslige rolle og det lokale kommunale niveau blive diskuteret og inddraget, i samspil



med valg af teknologispor og langsigtet strategisk planlægning, med henblik på at komme med anbefalinger for den kommende omstilling.

## 1.1 Problemformulering

Hvilke teknologivalg, regulerings- og planlægningsmæssige tiltag inden for personbiltransport, varmemeforbrug og elektricitetsforbrug skal foretages i Danmarks energisystem for at skabe sammenhæng mellem fremtidens energiproduktion og forbrug?

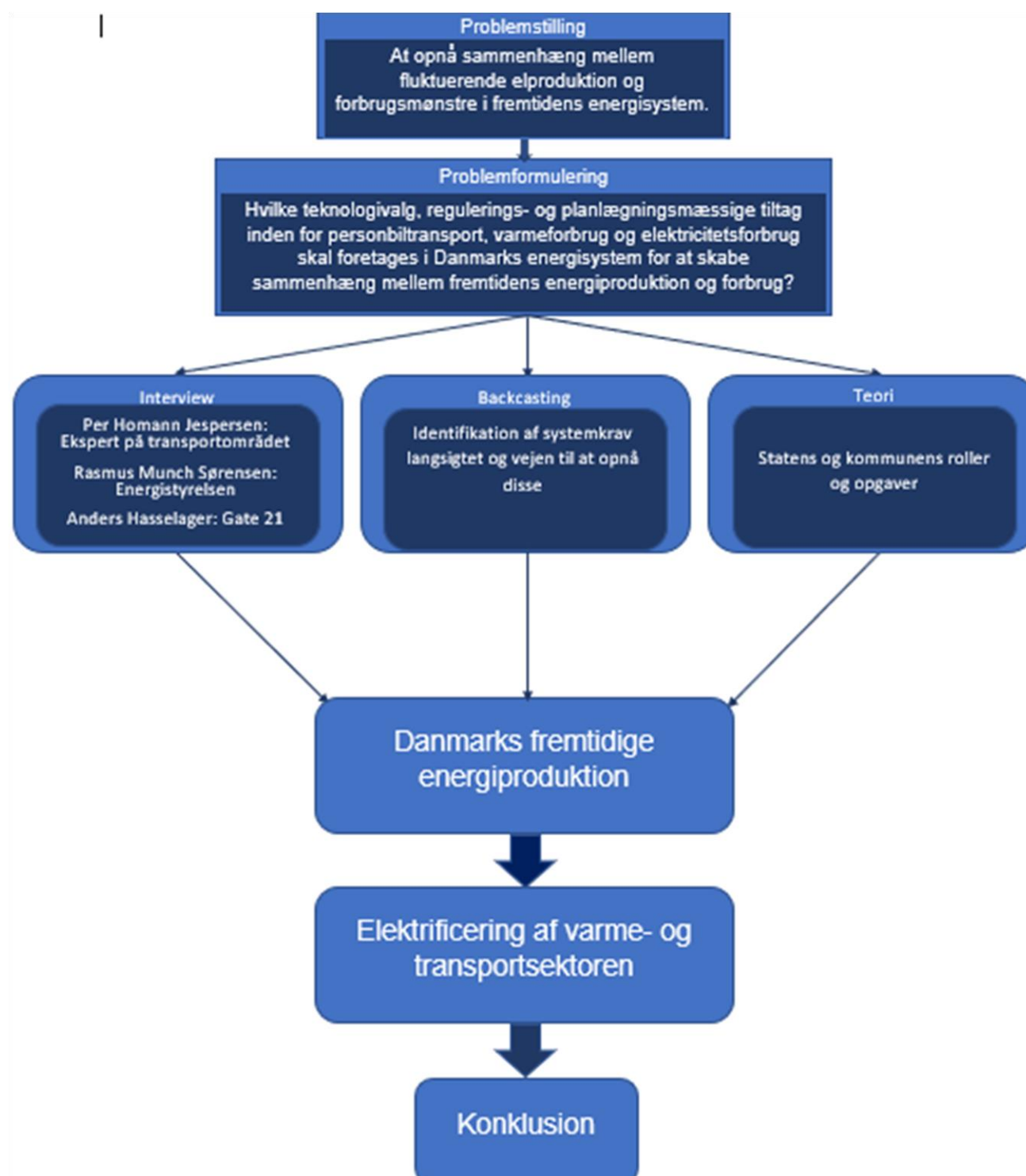
## 1.2 Arbejdsspørgsmål

1. Hvordan er den nuværende energiproduktion planlagt frem mod 2030, og hvilke potentialer er der for at udvide produktionskapaciteten fra VE frem mod 2050?
2. Hvordan ses udviklingen i energiforbruget i takt med at fossile brændsler udfases, og hvilke teknologier bør implementeres?

## 2. Metode

### 2.1 Projektdesign

Denne specialerapport og dens analyser er bygget op på den måde at der først ses på det samlede energisystem, hvor fremtidens produktion af energi er i fokus. Derefter ses der på udvalgte forbrugssektorer, for afsluttende at finde frem til de systemkrav der skal opfyldes lokalt og nationalt for fremtidens energisystem. Målsætningen er her at identificere disse systemkrav og komme med en række anbefalinger der vil understøtte at disse behov udfyldes frem mod 2050. Målsætningerne der arbejdes ud fra er siddende regerings målsætning om 70 % reduktion i udledningen af drivhusgas frem mod 2030, ift. 1990. De vigtigste temaer der vil blive inddraget er teknologivalg, regulering, planlægning, staten og kommunens roller samt systemperspektiver om energisystemet. Her ses projektets opbygning.



Figur 1: Projektdesign

## 2.2 Backcasting

Den overordnede metodisk tilgang i denne specialerapport er at der anvendes en backcasting tilgang. Dette metodevalg udspringer af den indledende interesse for at undersøge energisystemet i et langt tidsperspektiv, frem mod 2050, og finde frem til hvilke anbefalinger der vil understøtte en effektiv og robust omstilling af sektoren.

John Bridger Robinsons tanker om backcasting har været centrale for udviklingen af denne metode:

“The major distinguishing characteristic of backcasting analyses is the concern, not with likely energy futures, but with how desirable futures can be attained. It is thus explicitly normative, involving 'working backwards' from a particular future end-point to the present to determine what policy measures would be required to reach that future.” (Robinson, J.B. 1982).

Backcasting står her skarpt i modsætning til de prisorienterede fremskrivningsmodeller, da man ikke arbejder ud fra et ønske om at finde frem til den forventede fremtid, men vejen til den fremtid man ønsker at skabe. Et andet perspektiv på disse metoder er at reguleringen der udspringer af fremskrivningsmodellerne, i form af tilskudsordninger og afgifter, ikke sikrer at man opnår målsætningerne. Det er her helt centralt at vi er pålagt at foretage disse nødvendige ændringer af EU, hvilket skal afspejles i den nationale politik, og den metodiske tilgang der bør anvendes til at sikre at vi overholder aftalerne (European Commission, 2020). Dette understreger at det ikke er et valg om vi gennemføre en markant omstilling, men hvornår.

Når man her undersøger energisystemet vil backcasting blive anvendt til at se på hvordan vi skal opnå de målsætninger vi har fastlagt for 2050. Altså hvordan vi skaber den fremtid vi er blevet enige om at opnå. Her kan der identificeres hvilke politiske valg der skal træffes, og hvordan man i planlægningen allerede nu bør begynde at designe energisystemet. Dermed kan man skabe sammenhæng mellem de kommende tiltag og projekter i energisystemet, og de systemtekniske krav der kan identificeres langsigtet. Disse krav defineres som hvad der i det nationale energisystem skal opfyldes, når man skal opnå CO<sub>2</sub> neutralitet i fremtidens energiforbrug. Altså hvad der skal gennemføres for at man kan opretholde et velfungerende energisystem, samtidig med at man skifter til bæredygtige produktion- og forbrugsteknologier. Her både på lokalt niveau ift. varmforsyningen, og regionalt/nationalt for elforsyningen. Der ses her tværsektorielt på energisystemet, for at identificere disse krav og de potentialer

der er for at understøtte dem. Formålet er her at disse krav, i form af specialerapportens anbefalinger, kan oversættes til løbende politiske målsætninger. De nuværende beslutninger bør træffes med et udsyn der gør at man får skabt et meningsfuldt energisystem, selvom man er nødt til at agere på de nuværende betingelser. Dermed kan man understøtte en udvikling hvor nødvendige tiltag gennemføres, i en tidshorisont der giver samfundsøkonomisk mening.

Den overordnede tidshorisont mod 2050 medfører at de primære teknologisor der er fokus på, er dem der langsigtet ses som de mest effektive og robuste løsninger på et nationalt niveau. Fokus er dog også på vejen til 2050, og den løbende omstilling der skal gennemføres, hvormed en række mere kortsigtede løsninger må identificeres, og anvendes som overgang til det system man ønsker langsigtet. Man kan her i højere grad begynde at definere de enkelte teknologisors roller, fordele og udfordringer i både et kort- og langsigtet perspektiv. Der vil her kunne identificeres en række fordele som vil opstå over tid, eksempelvis højere energieffektivitet, bedre udnyttelse af fluktuerende energi, energibesparelser, lavere driftsomkostninger osv.

## 2.3 Afgrænsning

I denne specialerapport fokuseres der på hvordan varmemeforbruget, personbiltransporten og elforbruget i Danmark kan omstilles, så det passer til fremtidens fluktuerende energiproduktion. Det primære fokus er på husstandenes forbrug hvormed der derfor afgrænses fra et stort fokus på industriens forbrug. Her vil dog blive inddraget potentialer hvor industrien vil kunne understøtte sammenhængen mellem produktion og forbrug i en systemteknisk tilgang i form af mulige potentialer inden for synergieffekter som fx overskudsvarme. Inden for udfasning af fossile brændsler er naturgas det primære fokus, da det forventes at regulering og planlægning vil medføre en succesfuld udfasning af kul og olie i varme- og elforbruget. Der er også afgrænset for at se på landbrugets energiforbrug, selvom denne sektor vil være en del af diskussionen vedrørende det nationale biomassepotentiale til energiformål. For transportsektoren er der afgrænset fra at se på den kollektive transport, da omstillingen af denne er igangsat, og forventes at blive omstillet i et tempo der hænger sammen med de politiske målsætninger. I diskussionen af den danske forsyningssikkerhed fremadrettet, er der afgrænset fra at se på transmissionsamarbejder. Transmissionssamarbejder har indtil nu været den primære

løsning på at opretholde forsyningssikkerheden, og vil fortsat have en rolle at spille, eksempelvis ved import af vandkraft fra Norge. Men grundet at alle Danmarks nabolande forventes at gennemgå samme teknologiske omstilling, til en stor andel fluktuerende VE, opstår der her en usikkerhed i denne metode som primær løsning fremadrettet. I forhold til elforbruget fokuseres der i højere grad på det nye elforbrug der vil opstå igennem elektrificering af varme- og transportsektoren, end det klassiske elforbrug.

Specialerapporten afgrænser sig til Danmarks samlede energisystem. Her vil national planlægning og regulering af energisektoren være i fokus hvor både produktion og forbrug behandles. Tidsrammen er overordnet perioden 2020 til 2050, afgrænset af de langsigtede nationale målsætninger som er udgangspunktet for problemformuleringen. Derudover vil 2030 blive anvendt som en mellemlang tidshorisont til delmål og løsningsforslag der forventes at blive anvendt i perioden 2020-2030.

## 2.4 Valg af interviewpersoner og behandling af interviews

Der er foretaget en række interviews med det formål at understøtte specialerapportens empiriske grundlag, ved at kunne inddrage disse udvalgte fagpersoners individuelle perspektiver på problemstillingen. Dermed forventes det at der i kraft af denne ekspertviden, er opnået en række erkendelser som ikke var mulige alene gennem dokumentanalyse og kvantitativ databehandling.

Per Homann Jespersen er uddannet cand. polyt. og er emeritus lektor på Roskilde universitet, for instituttet for mennesker og teknologi og inden for METRIK. Per Homann Jespersens forskning har hovedsageligt behandlet transportsektoren, herunder med særligt fokus på trafikplanlægning og trafikpolitik. Grundlaget for at inddrage Per Homann Jespersen er den viden omkring planlægning og rammerne for omstilling til elektrificeret personbiltransport som analyseres på i specialerapporten, og dermed skabe et bredere fundament udover allerede behandlet empiri.

Rasmus Munch Sørensen har en bachelor inden for plan og miljø og en master indenfor bæredygtig energiplanlægning og management, begge uddannelser er fra Aalborgs universitet. Sørensen er for nuværende kontorchef i Energistyrelsen, med titlen Head of division DEA system analysis. Sørensen har tidligere været ansat i energinet som energianalytiker. Årsagen til at Rasmus Munch Søren bliver inddraget

i denne specialrapport er bidraget til den systemtekniske analyse samt viden om basisfremskrivinger og analyseforudsætninger fra energistyrelsen som bliver behandlet.

Anders Hasselager har en masters degree inden for økonomi, fra Københavns Universitet og er for nuværende ansat i Gate 21, med titlen senior project manager. Hasselager har tidligere været ansat inden for energistyrelsen som politisk rådgiver og har også arbejdet for det danske energiagentur, under ministeriet for klima og energi. I denne specialrapport er Anders Hasselager inddraget grundet forudsætninger for helhedstankegangen omkring energisystemet og omstilling til teknologispør inden for varmesektoren og personbiltransporten.

## 2.5 Kvalitet i data indsamling og brug af kilder

Det empiriske grundlag drages i denne rapport primært fra dokumenter, der indledende har skabt forforståelsen for efterfølgende at blive anvendt i analyser og diskussioner. Derudover er der kvantitativt anvendt data som beregningsgrundlag i analyse af de udvalgte lokale caseeksempler der ses gennem rapporten. Kvalitativt er der gennem semistrukturerede interview indsamlet viden der sideløbende med dokumentanalysen har bidraget til en bedre forforståelse om den overordnede problemstilling. Derudover anvendes en bred række kilder af forskellige udgivere for derved at opnå en referenceramme for hvad situationen er i praksis. Det søges ved behandling af data at redegøre løbende for fremgangsmåden af disse og resultaterne robusthed vurderes op imod det resterende empiriske grundlag fra andre de typer empiri. Her er det også en målsætning at der gennem arbejdet skabes metodisk transparens så det klargøres hvordan empirien er blevet behandlet og analyseret (Kristensen & Hussein, 2016).

Gennemgående for alt anvendt, indsamlet og behandlet data er der løbende anvendt en række vurderingskriterier. Her bliver der set på empiriens pålidelighed og gyldighed, for at styrke rapportens empiriske grundlag løbende gennem arbejdet. Derudover er der her fokus på afsender- og modtagerforhold for empirien, og hvilket fagligt standpunkt og perspektiver afsenderen har fra deres organisation og/eller fagområde. Det er her helt centralt at se på forforståelsen, metoden og interesserne bag dokumenter og rapporter der inddrages.

## 3. Teori

### 3.1 Teoretisk forståelsesramme

Dette teoriafsnit har til formål at skabe et udgangspunkt for forståelse af statens rolle som aktør i miljø- og klima omstillingen, samt hvordan kommunerne gennem varetagelse af deres roller kan agere og hvilke handlemuligheder de har i den kommunale planlægning af bæredygtig omstilling. Dette skal danne baggrund for et udgangspunkt for forståelse af hvordan der kan skabes sammenhæng med energiforbruget gennem teknologivalg, regulering og planlægning i offentlige tiltag af staten og lokalt i kommunerne, og energiproduktionens elektrificering. Der inddrages perspektiver fra Giddens, Energistyrelsen og KL for at skabe et helhedsbillede, med perspektiver fra flere centrale aktører.

### 3.2 Statens rolle

Når der skal gøres en indsats mod klimaforandringerne er graden af succes oftest forbundet med regeringsledelse, og hvilken rolle staten påtager sig i denne forandringsproces. Dermed er mulighederne og rammerne for staten afgjort af hvordan opbakningen er fra borgerne i bredere kontekst til denne forandring. Naturligvis spiller NGO'er, virksomheder mm. også en rolle, men i sidste ende har staten den magt som skal til for at ændringer på stor skala skal ske (Giddens, 2011). Statens rolle er i denne sammenhæng at agere som facilitator, eksempelvis vedrørende klimaforandringer og energisikkerhed. Formålet er også at opnå garantier for en udvikling hvor løsninger skal findes, og dermed skal staten agere hovedaktør på en række opgaver så dette kan opnås (ibid.).

Først og fremmest er det statens rolle, og de politiske ledere, at introducere en kurs og politikker der er langsigtede, men også få implementeret dette i planlægningen. Dette betyder at det ikke er nok bare at sætte mål som skal opnås engang i fremtiden, men derimod også at have fokus på midlerne til at komme derhen. Men selve planlægnings delen fra statens side kan i sig selv ikke stå alene, da opfordring til langsigtede holdningsændringer hos borgerne og virksomheder er en del af at skabe en omstillingsproces til fordel for kampen mod klimaforandringerne (ibid.).



Staten bør fremme ensartede politiske og økonomiske målsætninger, da dette kan være drivkraften bag den ønskede omstilling man ønsker i forhold til klimaforandringer men også energipolitikken. Dermed kan dette være grundlaget for den planlægning man ønsker at iværksætte, hvor social og økonomisk omstrukturering kommer til at foregå på storskala. Dette skyldes ikke mindst at overgangen til en økonomi baseret på udfasning af fossile brændsler kræver dette (ibid.). Staten kan også udnytte sin rolle ved at agere overfor virksomheder og forretningsinteresser der arbejder imod initiativer vedrørende klimaforandringer og omstilling. Dette er en nødvendighed da store virksomheder har stor indflydelse på det moderne samfund, hvor påvirkning af regeringer og borgere finder sted (ibid.).

Etableringen af en økonomisk ramme for hvordan man overgår til et lavemissionssamfund, samt hvordan man understøtter teknologier og deres udvikling, bør være centralt hvis man skal af med fossile brændsler samt teknologierne skal kunne konkurrere (ibid.). Forberedelse til tilpasning til konsekvenserne af klimaforandringer er også i højsædet, og forudsigelser omkring hvordan effekterne af global opvarmning rammer os skal være med til at muliggøre at mindske påvirkningen. Dertil bør staten tage højde for aspekter fra alle niveauer, lige fra lokalt til internationalt, og inddrage dette i planlægningen af omstillingen. Dette skyldes at de nationale programmer ligger grundlaget for at internationale aftaler bliver en succes. Ydermere skal det fastslås at internationale samarbejder er en grundsten for at tage hånd om udfordringerne vedrørende klimaforandringer (ibid.).

### 3.3 Kritik af Giddens

Anthony Giddens er uddannet sociolog, og grundtankerne hviler på en neoklassisk økonomisk tankegang hvor han henholder sig til fremskrivninger om samfundet. Dette er ikke EU's model, hvor der derimod arbejdes ud fra en backcasting tilgang altså imod de langsigtede målsætninger. Dette udspringer ud af at planlægning ud fra fremskrivningsmodellerne ganske enkelt har vist sig at være for ineffektivt, og at tidsperspektivet, grundet klimakrisens omfang, af EU prioriteres højt. Derudover er Danmark medlem af EU og dermed skal følge de direktiver som er udstukket heraf, hvilket betyder at Giddens tankegang om at vælge frit hvordan vi agerer som suveræn stat ikke længere er virkeligheden. Hele grundlaget for EU samarbejdets evne til at

skabe effektiv omstilling, på de områder man i konsensus er blevet enige om at arbejde på, er her netop at medlemslandene skal følge retningslinjerne de pålægges af EU.

### 3.4 Kommunens roller

Energistyrelsens opfattelse af kommunernes roller er at de kan varetage forskellige roller i den strategiske energiplanlægning, og der forefindes en række handlemuligheder i forbindelse med dette. Udnyttelsen af disse roller er med til at påvirke udviklingen på energiområdet, eksempelvis gennem handlinger der iværksættes. De fire roller kommunen kan varetage er som virksomhed, ejer af forsyningsselskaber, facilitator og planlægnings- og godkendelsesmyndighed. Når strategisk energiplanlægning udføres vil en udnyttelse af flere af rollerne oftest finde sted (Energistyrelsen, 2013).

#### 3.4.1 Kommunen som virksomhed

Energiforbruget i kommunen kan påvirkes gennem energirigtig adfærd og indkøb, og kommunen kan derfor påvirke dette ved at udfylde sin rolle som virksomhed i denne sammenhæng. Kommunen kan opnå markedsfordele samt påvirke markedet, hvilket er essentielt da kommunen er storforbruger af energi, og dermed er det også vigtigt at ansvaret for at gennemføre energibesparelser bliver delt ud så både institutioner og politikere tager deres del i dette (Energistyrelsen, 2013).

Vedrørende indkøbspolitikken i kommunen, skal der udarbejdes sådan en for alle institutioner og forvaltninger, dertil skal der udpeges en energiansvarlig i alle forvaltninger og institutioner. Da kommunen er arbejdsgiver har den mulighed for at agere overfor medarbejdere og arbejdsgange, og dermed påvirke disse i en positiv retning til fordel for de mål man ønsker opfyldt. I denne sammenhæng kan kommunen også prøve at skabe synergi mellem forskellige fagområder. Hermed kan kommunen også have en påvirkende rolle ved at sætte fokus på energiadfærd og udføre kampagner vedrørende dette (ibid.). På et overordnet plan blev kommunerne forpligtet til at gennemføre energibesparelser i kommunens bygninger og institutioner grundet den frivillige aftale med staten fra 2007 omkring realisering af energibesparelser. Implementering af energiledelse i kommunens institutioner, energieffektiv drift af

kommunens bygninger, synliggørelse af forbrug samt energieffektive indkøb er alt sammen elementer der indgår i aftalen og som kommunerne har forpligtet sig til (ibid.).

### 3.4.2 Kommunen som planlægnings- og godkendelsesmyndighed

Tilsyn med love, og håndhævelse af regler så de efterleves, er et ansvar som kommunen har som myndighed. Dertil er kommunen også ansvarlig for at varetage borgernes såvel som erhvervslivets interesser. Vedrørende kommunens rolle som planlægningsmyndighed er der en række ansvarsområder så som transportområdet, affaldsplanlægning, placering af vindmøller, varmforsyning og biogasanlæg (Energistyrelsen, 2013).

I forhold til varmeplanlægningen og udfasning af olie og naturgas, er der forskellige muligheder for at præge dette i en bæredygtig retning. Da kommunen udfører varmeplanlægningen, og godkender varmeprojekter fra varmforsyningsvirksomheder og biogasanlæg, er der her mulighed for at bistå og igangsætte processen omkring udfasning af olie og naturgas. Udfasning af olie og naturgas i varmforsyningen kan ske ved at kommunen yder hjælp til forsyningsselskaberne, når potentialet for konvertering til fjernvarme skal vurderes. Dertil kan kommunen strategisk forholde sig til udvidelse af fjernvarmeområder ved at indbefatte dette i lokalplanerne (ibid.).

Varmeforsyningsloven giver kommunen muligheder overfor varmeselskaberne. Ifølge varmforsyningsloven kan kommunen udstede et påbud overfor varmeselskaberne der bevirker at et godkendt projekt skal gennemføres indenfor en bestemt tidsfrist, eller påbud om at udarbejde et bestemt projekt (ibid.).

Udfasningen af oliefyr bliver understøttet af energiaftalen af 22. Marts 2012. Denne aftale tilsiger at der fra 2013 ikke længere må installeres olie- og naturgasfyr i nye bygninger, og dertil har det fra 2016 i områder med fjernvarme og naturgas som alternativ ikke skulle være muligt at installere oliefyr i eksisterende bygninger. Disse restriktioner er blevet implementeret i bygningsreglementet (ibid.).

I forhold til projekt godkendelsesprocessen har kommunen mere indflydelse og beføjelser, da eksempelvis etablering af naturgas, fjernvarme og transmissions- og fordelingsledninger kræver både et projektforslag og godkendelse. Dertil kræves også et projektforslag og godkendelse vedrørende distributionsnet og forsyningsområder når disse skal etableres, udvides eller indskrænkes. Ydermere skal der også

projektforslag og godkendelse til når eksempelvis kraftvarmeanlæg med en kapacitet på 0,25-25 MW el skal have skiftet brændselstype, og det samme gør sig gældende ved fjernvarmeanlæg, blokvarmecentraler samt til anlæg der producerer og behandler forskellige gastyper såsom biogas og bygas, men også geotermisk energi, LPG og lossepladsgas (ibid.).

Planlægning og placering af tekniske anlæg, herunder vindmøller, hører under kommunens ansvar og retningslinjer for placering af vindmøller skal være indbefattet i kommuneplanen, eller senere som tillæg til denne. Dette sker i overensstemmelse med vindmøllecirkulæret. Når anlæg skal placeres kan der være fastlagt krav ud for retningslinjerne der afgør hvorvidt anlægget kan placeres på netop den ønskede position. Man skal dog være opmærksom på at optimal udnyttelse af ressourcer i energiforsyningen, samt indpasningen af vindenergi i elforsyningen, hverken indgår i denne type planlægning eller den generelle varmeplanlægning. Dette skyldes at indpasning af vindenergi varetages i den strategiske energiplan.

Når biogasanlæg skal placeres skal kommuneplanen beskrive hvor dette skal ske, og kravene til denne kommuneplan forefindes i planloven. Når strategisk energiplanlægning udføres bør planlægningen koordineres med placeringen af biogasanlæg, sådan så anlæggene bliver placeret hensigtsmæssigt og biogasressourcerne udnyttet på bedst mulig vis (ibid.).

Indenfor transportsektoren har kommunen en række handlemuligheder så som bedre kapacitetsudnyttelse af transportmidler, undgå transport arbejde, flytte transportarbejde fra privatbilisme til offentlig transport eller cykel og gang, højere energieffektivitet samt skift af drivmiddel. Dele af disse handlemuligheder hører under by- og trafikplanlægning. Reduktion af transportarbejdet, og fremme af bestemte transportformer, er muliggjort af at kommunen er både vejmyndighed og planlægningsmyndighed. Dette kan ske gennem krav i lokalplanerne. Eksempelvis anlæggelse af cykelstier, nedlæggelse af parkeringspladser, krav om el-ladestander samt sikring af adgang til parkering elbiler, elcykler og cykler. Man opnår en række gevinster blandt andet indenfor energi, mobilitet og grønne bymiljø (ibid.).

Tilslutningspligt kan anvendes af kommunen i et godkendt projekt for et kollektivt varmforsyningsanlæg. Kommunen kan bestemme at når varmforsynings anlægget tages i brug skal ny bebyggelse tilsluttes dette, og indebærer en forpligtelse til at bidrage økonomisk til anlægget, dog ikke aftagepligt som man ser ved blokvarme. Når vilkårene skal godkendes er det kommunalbestyrelsen der står for dette, og

kommunen kan også sætte en frist for hvornår eksisterende bebyggelse skal tilsluttes (ibid.). Når varmebesparelser skal opnås hos private boligejere kan kommunen informere og iværksætte kampagner til fremme af energibesparende foranstaltninger, men kan ikke tvinge private boligejere til at energirenovere. Desuden er udnyttelse af netselskabernes energispareforpligtelse en mulighed kommunen kan forholde sig til strategisk, samt samarbejde med energiselskaberne for at understøtte realiseringen af energibesparelser. Disse tiltag skal være med til at skabe værdi for både kommunens borgere og virksomheder i det lange løb (ibid.).

### 3.4.3 Kommunen som ejer af forsyningsselskaber

Kommunen har som ejer/medejerskaber af varmeselskaber og tværkommunale samarbejder som fjernvarmeselskaber, offentlig transport og affaldsforbrændingsanlæg mulighed for gennem disse selskaber at påvirke udviklingen inden for både energiproduktion og forbrug. Grundet behovet for sammenhæng mellem produktion- og forbrugssektoren, der opstår i kraft af den stigende VE-andel, er det vigtigt at den gensidige afhængighed indtænkes i planlægningen (Energistyrelsen, 2013).

Her kan fjernvarmesektoren, hvis denne inddrages i den langsigtede planlægning, være med til at skabe fleksibilitet i energisystemet. Her kan kommunen udnytte sin centrale rolle i den lokale varmeplanlægning, hvor incitament er at medregne CO<sub>2</sub> reduktionen fra omstillingen af varmeforsyningen i kommunes geografiske område. Her er det centralt at varmeselskaberne har fokus på fortsat billig varme til forbrugere. Her er det derfor afgørende at man ved teknologivalg af nye forsyningsmuligheder søger at fremtidssikre forsyningen. Her bør indtænkes ændringer i energisystemets produktionsstrukturer og energisystemets sammensætning (ibid.). Kommunen kan udnytte sin rolle som ejer/medejer af fjernvarmeværker til at se på omstilling mulighederne, hvor det vil være samfundsøkonomisk fordelagtigt at udvide forsyningen og gennemføre lokale projekter. Derved kan der sættes større fokus på de lokale handlemuligheder og dermed understøttes kommunens langsigtede omstilling og målsætninger for den lokale varmesektor. Derudover kan kommunen gennem sit medejerskab af fjernvarmeværker etablere og drive fjernkølingsvirksomhed, hvorved man kan søge at fremme synergien mellem fjernvarme og fjernkøling (ibid.).

Kommunen kan også søge at tænke tværsektorielt og anvende strategier for effektiv ressourceanvendelse i den lokale affaldshåndtering. Her vil det organiske affald have indflydelse på både varme- og energiplanlægning. Gennem kildesortering og en høj grad af ressourceudnyttelse kan man derigennem understøtte brugen af fx biogas (ibid.). Det er generelt set oplagt at kommunen tværsektorielt inddrager strategier og konkrete projekter i den strategiske energiplan. Her kan den strategisk energiplanlægning også blive afgørende for tværkommunale samarbejder. Her fx i transportsektoren hvor kommunerne gennem fælles krav og ønsker til operatørerne søger at få omstillet med fokus på klima- og energitiltag. Derved kan den løbende udskiftning af miljørigtig og bæredygtig materiel i den offentlige transport understøttes fra en fælles kommunal front (ibid.).

#### 3.4.4 Kommunen som facilitator

Som facilitator kan kommunen søge at være igangsættende for den lokale omstilling og påtage sig en rolle som forbillede, initiativtager, moderator og facilitator. Derved kan man søge at få inddraget og aktiveret relevante aktører ud fra kommunens lokale projekter og overordnede strategier. Kommunen kan udnytte sin rolle som forbillede ved at sikre gode strategier for at kommunen som virksomhed omstilles bæredygtig gennem konkrete tiltag inden for transport, energibesparelse og omkostningseffektiv renovering af kommunens egne aktiver (Energistyrelsen, 2013).

Her vil en progressiv tilgang til ideudvikling og det generelle fokus på klimaoptimering i alle afkroge af lokalsamfundet kunne understøtte, at disse dagsordener også kommer mere på tale blandt borgere og virksomheder i kommunen. For at komme med disse innovative og implementerbare ideer kan kommunen søge at oprette, eller indgå i, partnerskaber med virksomheden, vidensinstitutioner og andre kommuner. Derved kan nye potentialer identificeres, og større udfordringer kan håndteres af en bredere vifte af aktører i samarbejde, for at skabe et bedre grundlag for succes. Et konkret indsatsområde kunne her være udnyttelse af lokale ressourcer, hvor man kunne fremme partnerskaber mellem lokale producenter og aftagere af biomasse i samspil med interesseorganisationer for at sætte fokus på en effektiv, og miljøvenlig, udnyttelse af de lokale biobrændsler (ibid.). Vidensdeling er her helt centralt hvor fx kampagner, undervisning og konkurrencer kan være med til at initiere en mere

langsigtet process hvor man søger at aktivere de lokale borgere og virksomheder mere aktivt i omstillingen (ibid.).

### 3.5 Staten og kommunens opgavefordeling

Varmeforsyningsområdet inden for energiplanlægningen er det område som kommunerne i stort omfang fokuserer på, grundet olie fortrængning og energieffektiv brændselsudnyttelse har været det værktøj man historisk set har kunnet modsvare energikriser med (Grontmij, 2013). Økonomiske rammevilkår, indgåelse af aftaler på nationalt niveau med energisektoren og nationale rammer for de to planlægnings typer sektor- og fysisk planlægning, er alt sammen rammer som staten fastsætter. Aftalerne på nationalt niveau med energisektoren omhandler biomassekapaciteten på de centrale kraft- og kraftvarmeværker samt de energispareforpligtelser som energiselskaberne er underlagt (ibid.).

Regulering og rammer på nationalt niveau fastsætter vilkårene for hvordan kommunerne kan udføre den strategiske energiplanlægning. Dog er den strategiske tilgang ikke fastsat inden for kommunens beføjelser. Grøn omstilling sker ude i landet bl.a. gennem lokalt engagement i grønne projekter, og kommunerne kan involvere sig i dette gennem den strategiske energiplanlægning. Denne lokale grønne vækst er afgørende for at drive og muliggøre en effektiv grøn omstilling (ibid.). De rammer kommunerne har i dag afspejler ikke den virkelighed de befinder sig i, og dette er udslagsgivende for den strategiske planlægning hvor energiområdet ikke er indlejret. Dette kan være betydende for om en kommune udfører strategisk energiplanlægning, og om planlægningen og implementeringen der bliver foretaget i kommunen støtter op om de nationale systemer og tiltag. Allerede i 2013 var man opmærksom på denne problematik, og det blev belyst at strategisk energiplanlægning skulle være en obligatorisk sektor plan, når resultaterne fra projekter under puljen om at fremme partnerskaber om strategisk energiplanlægning 2014-2015 var udført (ibid.).

Generelt set må det betragtes som en god situation for både staten og kommunerne, da staten har interesse i at kommunerne understøtter energiomstillingen. Dette skyldes at kommunerne via udnyttelse af deres roller som planlægger samt myndighed og virksomhed, har mange muligheder bl.a. for at fremme miljøvenlig omstilling, vækst og stabile energipriser. Dertil kan kommunen også agere som

rollemodel samt stå for kontakt til borgere og erhvervsliv (ibid.). I forhold til kommunernes forudsætninger for at assistere staten i implementeringen af omstillingen er der en række områder der bør fokuseres på. Kommunerne er eksempelvis tættere på borgerne og virksomhederne end staten er, og samtidigt ansvarlig for planlægningen. Dertil agerer kommunen som myndighed i forskellige typer sager, såsom sager om varmeforsyning og miljøbeskyttelse, og er i visse tilfælde også energiselskab vedrørende varme. Ydermere er kommunerne ansvarlig for vejledning af borgerne og virksomheder, samt er involveret i frivillige indsatser med førnævnte (ibid.).

Opgavefordelingen mellem stat og kommune er speciel på opvarmnings området da varmeforsyningslovens retningslinjer sætter reglerne for eksempelvis forsynings og produktionsformen, samt hvilke typer brændsler fjernvarmeværkerne må anvende. Derudover regler omkring tilslutning af bygninger til den kollektive varmeforsyning, samt forbud mod visse typer af opvarmningsformer. Disse rammer er fastlagt i tilslutningsbekendtgørelsen og projektbekendtgørelsen (ibid.).

Planlægning og godkendelse af varmeforsyningsprojekter der er samfundsøkonomisk mest rentable er kommunernes opgave, og dette skal ske inden for de fastlagte nationale rammer. Gennemførelse af projekter i de andre dele af energisystemet står aktørerne for, og dette skal ske inden for de økonomiske rammevilkår samt lovgivningen på energi-, miljø- og planlægningsområdet. Energistyrelsen udsteder bevillinger på el- og gasområdet. Dette kræver ikke kommunal godkendelse (ibid.). Angående frivillige aktiviteter på energiområdet har mange kommuner iværksat disse, og dette være sig vedrørende bl.a. omstilling af energiforsyningen til fossilfri energi samt energibesparelser hos borgere og virksomheder. Det lokale engagement er som oftest udsprunget af en lokal forståelse for betydningen for erhvervsudvikling og klimaindsats eksempelvis. Det er dog ikke i alle kommuner at aktiviteterne er i den størrelsesorden, og i de tilfælde er det myndighedsansvaret der er afsættet (ibid.).

De decentrale kraftværker kan medvirke samfundsøkonomisk positivt. Dette kan ske via øget fleksibilitet i energiforsynings strukturen. Man skal dog her være opmærksom på at de decentrale kraftværkers sikring af billig fjernvarme til deres forbrugere er det eneste de bliver målt på. Derfor er påtagelse af en koordinerende rolle fra kommunens side for kraftvarmeværkerne efterspurgt, og dette skal sikre at der opnås en helhedstænkning i energiforsyningsstrukturen. Denne helhedstænkning i energiforsyningsstrukturen vedrører varme, gas, el og transport. Ydermere står kommunerne



og de decentrale kraftvarmeværker over for den problematik at de mangler incitamenten til at fremme smarte net og fleksibilitet (ibid.).

## 4. Danmarks fremtidige energiproduktion

*Hvordan er den nuværende energiproduktion planlagt frem mod 2030, og hvilke potentialer er der for at udvide produktionskapaciteten fra VE frem mod 2050?*

### 4.1 Indledning

Der vil i følgende afsnit blive redegjort for den nuværende situation i energisektoren, her med fokus på produktionssektoren og de primære teknologier i denne som termiske kraftværker, biogas, vindenergi og solenergi. Derudover vil der blive inddraget fremskrivninger og supplerende empiri til at skabe grundlag for en diskussion af sektorens omstilling frem mod 2030 og 2050. Overordnet set er problemstillingen udfasningen af de fossile brændsler i både produktionen og forbruget, hvoraf der er opstået en række politiske målsætninger som der styres efter. Eksempler på dette er den nuværende regerings klimaudspil med en målsætning om en reduktion på 70 % i 2030 (Regeringen, 2019). Derudover ses der fra den sidste regering mere konkrete målsætninger som fuld udfasning af kul i 2030 og omstilling af el- og varmforsyningen til at være fossilfri i 2035 (Energinet, 2015). De to begreber fleksibilitet og robusthed inddrages, til at se på de systemtekniske evner man ønsker at opbygge i systemet, for at modarbejde mulige barrierer for brugen af de nye teknologier og løsninger som skal nedbryde disse. Her vil fleksibiliteten i energisystemet blive anskuet som energisystemets evne til at håndtere udsving i ressourcer og forbrug på kort sigt. Robusthed indbefatter systemets effektivitet og evne til at modstå strukturændringer i rammebetingelser, tilskud og afgifter (ibid.). Der er her løsninger som vil kunne understøtte brugen af den fluktuerende energiproduktion, men disse udfordres af barrierer som økonomi, effektivitet, teknologisk udvikling og det systemtekniske behov for lagring på storskala. Der må derfor sigtes efter en statslig og lokalplanlægning hvor disse udfordringer indtænkes, så de muligheder og potentialer vi har for at understøtte en effektiv brug af den fluktuerende VE som uundgåeligt vil blive dominerende i fremtiden, integreres optimalt i planlægningen og anvendes sideløbende med energiproduktionens omstilling.

## 4.2 Det samlede energisystem

Det historiske udvikling for den samlede energiproduktion har i perioden 1990-2018 haft en udvikling fra 424.361 TJ til 586.574 TJ, hvilket er en stigning på 38,2 % for perioden. Heraf var der er produktion på 172.711 TJ fra VE-anlæg, hvilket svarer til en VE andel på 29,44 %. Her var den primære andel af VE-produktionen fra biomasse der stod for 92.728 TJ. Derudover suppleres denne produktion af vindenergi på 50.036 TJ, Biogas 13.414 TJ og solenergi på 6.195 TJ.

Her var det samlede energiforbrug i 2018 på 749.301 TJ, så der ses altså en forskel på 162.727 TJ. Den primære løsning, på den manglende effekttilstrækkelighed over året, var her i form af import af energi som overgik eksporten med 178.522 TJ (Energistyrelsen, 2018 A). Der kan her stilles spørgsmålstegn ved hvor høj grad af energiafhængighed vi ønsker af vores transmission samarbejder, når man i planlægningen systemdesigner fremadrettet. Interessekonflikten er her de økonomiske udgifter ved anlægs- og investeringsomkostninger i forbindelse med implementering er yderligere kapacitet og lagring, op imod en målsætning om at sikre den nationale effekt tilstrækkelighed.

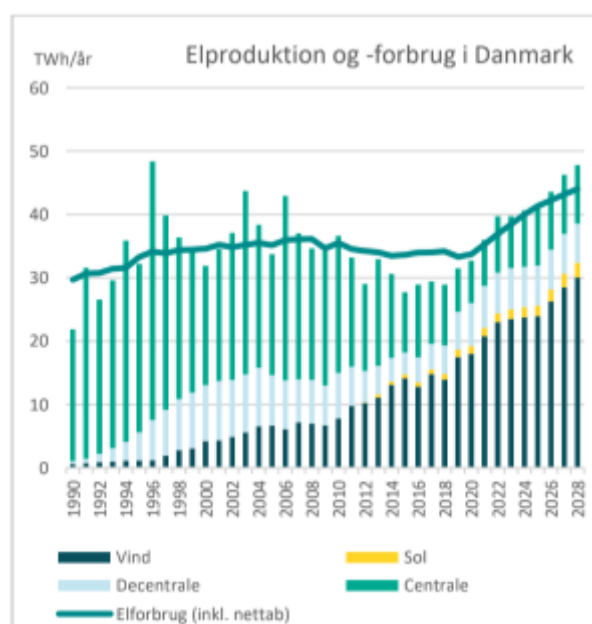
Overordnet set så er der en markant dansk opbakning til udbygningen af VE i Danmark, så markant at 87 % af alle danskere i 2019 havde en positiv holdning til omstillingen fra sort til grøn energi (Dansk Energi, 2019 A). Dette er dog ikke ensbetydende med at omstillingen bliver implementeret i det ønskede tempo. En årsag til dette er at VE ofte stikker ud i landskabet og at implementering af vindenergi og solcelleprojekter på land derfor udfordres. VE-projekter har ofte en meget lang tidsproces fra plan til net tilsluttet anlæg, i særdeleshed vindmølleprojekter, hvilket resulterer i at det er sværere at få inddraget de lokale borgere tidligt nok i høringsprocessen så det ikke skaber modstand. Dette er en nyere problematik, som er opstået i takt med at VE-projekter er blevet mere kommercielle end de tidligere har været. Førhen var VE-projekter generelt mindre og ejet primært gennem lokale ejerforeninger, hvilket sikrede et lokalt ejerskab over disse anlæg og en involvering i planlægningsprocessen. I takt med den overordnede kommercialisering af VE-projekterne og udviklingen i størrelsen af anlæggene, er hele processen blevet mere fjern for de lokale borgere i områderne med VE-projekterne og har ført til lokal modstand, hvilket har resulteret i at der i 2008 blev indført særskilte regler for opførelsen af VE-projekter. VE-ordninger betyder at lokale borgere i områder hvor der

opføres VE-projekter, skal kompenseres for de gener som det givne projekt medfører, hvilket har vanskeliggjort opførelsen af VE-projekter lokalt (Dansk Energi, 2019 A).

Elproduktionen var i 2018 på 109.350 TJ og elforbruget 111.904 TJ (Energistyrelsen, 2018 A). Den historiske udvikling, og fremskrivning, af el produktionen og forbruget i Danmark, i perioden 1990-2028, ses i figur 2. Her ses det tydeligt at man løbende har udskiftet den centrale kapacitet ud med vindenergi, og at forventningen er at denne udvikling vil fortsætte fremadrettet (Energinet, 2019). Det ses også at vindenergi var den første VE-teknologi der blev en bærende del af den danske elproduktion, men at solenergi også er på vej ind på markedet siden 2013, og fortsat vil spille en større rolle. Der har ikke været tilstrækkelig effekttilstrækkelighed siden 2011, ud fra den nationale elproduktion, hvilket har medført behov for import af el gennem transmission fra de omkringliggende lande.

Man bør dog være opmærksom på at den manglende nationale elproduktion må medføre stigende elpriser og at denne påvirkning vil frafalde, i takt med der bliver implementeret yderligere elproduktion i energisystemet, og dermed vil elproducerende VE-anlægs driftsmæssige konkurrencedygtighed derfor falde fremadrettet. Det er derfor kontekst afhængigt hvorvidt eksempelvis vindenergi er konkurrencedygtigt op imod den fossile energiproduktion, og der må i reguleringen tages forbehold for at en stigende VE-kapacitet i systemet vil påvirke denne sammenhæng.

I tabel 1 ses kapacitets udviklingen i 2017-2018 for de mest centrale teknologisor, som også er det primære fokus i den følgende analyse. Her var der en markant stigning på over 10 % i vindkapaciteten, selvom vi i figur 2 så et fald i produktionen. Omvendt der et fald i kapaciteten fra de centrale kraftværker, men en stigning i produktionen det år.



Figur 2 Elproduktion og -forbrug i Danmark (Energinet, 2019)

| El-effekt opdelt efter anlægstype | 2017          | 2018          | Ændring 17-18 |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                   | MW            | MW            | MW            |
| Vind                              | 5.523         | 6.107         | 584           |
| Sol                               | 906           | 999           | 93            |
| Vand                              | 7             | 7             | 0             |
| Centrale værker                   | 3.971         | 3.841         | -130          |
| Decentrale værker                 | 2.443         | 2.459         | 16            |
| <b>Total</b>                      | <b>12.850</b> | <b>13.413</b> | <b>563</b>    |

Tabel 1: El-effekt opdelt efter anlægstype (Energinet, 2019)

Udfordringen er her at skabe en hurtig og effektiv omstilling til bæredygtige teknologier i både produktion- og forbrugssektoren, sideløbende med at den økonomiske konkurrencedygtighed og nationale forsyningssikkerhed

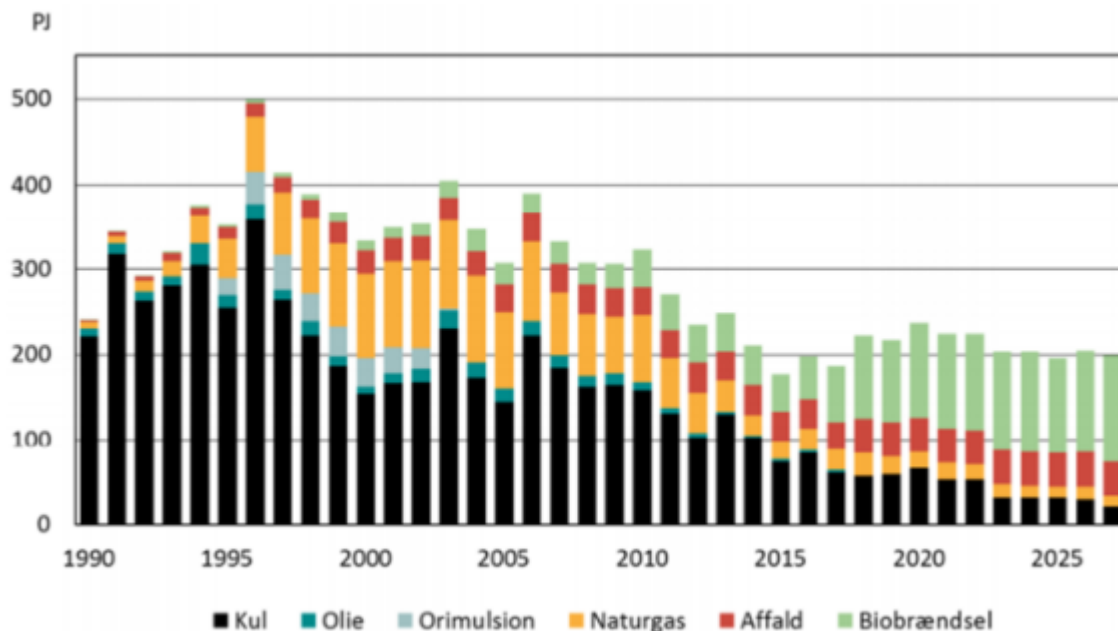
opretholdes. Vedrørende den økonomiske påvirkning på energisektoren er udfordringen her investeringsomkostninger ved skift fra de forhenværende dominerende teknologisor, som fx termiske kraftværker i produktionen, og udvidelse af infrastrukturen så den tilpasses de nye behov der opstår ved implementering af VE på både land og hav. Her er driftsomkostningerne også afgørende, hvor en målsætning må være at undgå stigninger i prisen på el hos forbrugerne. Her ses også en sammenhæng med opretholdelse af forsyningssikkerheden, hvoraf anlægsudgifter vedrørende forbedring af nuværende infrastruktur kan medføre højere transmissionsomkostninger. For opretholdelse af forsyningssikkerheden, hvor Danmark for nuværende har en enorm høj sikkerhed på 99,99 %, er problemstillingen den stigende VE-andel der medfører en voksende andel af fluktuerende energiproduktion (Hinrichsen, 2018).

### 4.3 Termiske kraftværker

Termiske kraftværker, i form af store centrale kraftværker, har historisk set stået for størstedelen af den danske elproduktion og energiproduktion. Udviklingen i perioden 1990-2018 er at el produktionen fra kraftvarmeanlæg er gået fra 80.639-37.777 TJ, altså et fald på 51,9 %. Selvom der har været et markant fald i produktionen, udgør denne stadig en betydelig andel af Danmarks elproduktion, som samlet var på 93.518 TJ i 2018. Dette afsnit vil forsøge at beskrive udviklingen fra termisk energiproduktion i fremtidens danske energisystem, i takt med at den fossile energiproduktion udskiftes med vedvarende energikilder. Kraftvarme andelen af den samlede elproduktion, altså hvor elektricitet og varme produceres på samme tid, udgør pr. 2017 44 % af den

samlede danske elproduktion, hvilket forventes at udgøre 17 % i 2030 (Energistyrelsen, 2019 A).

Når man ser på udviklingen i Danmarks brændselsforbrug i figur 3, ses det at kul historisk set har stået for den største andel af forbruget. Her fik naturgas også en større rolle, men begge fossile brændsler er nu ved at blive erstattet af biomasse. Biobrændsler stod i 2017 for 35 % af brændselsforbruget på kraftvarmeværkerne i Danmark, og der forventes en kraftig stigning (Energinet, 2018 A).



Figur 3: Brændselsforbrug i Danmark (Energinet, 2018 A)

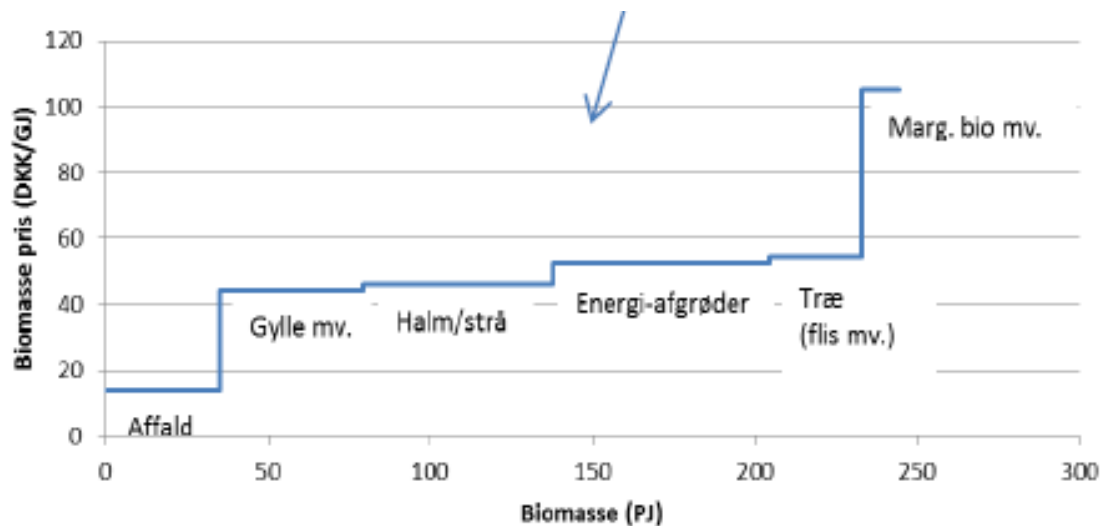
Det fossile brændselsforbrug i elproduktionen og fjernvarmeproduktionen forventes at blive reduceret til 17.000 TJ i 2030, i forhold til 2017 hvilket svarer til en reduktion på 85 %. Af den forventede reduktion i det fossile brændselsforbrug frem mod 2030, reduceres kulforbruget til 7.000 TJ, hvilket er en reduktion på 92 %. Grunden til at der forventes en så markant reduktion i forbruget af kul på kraftværker og af fossile brændsler generelt skyldes en forventet stigning af CO<sub>2</sub>-kvotepriserne, hvilket vil gøre driften af kraftværker baseret på fossile brændsler ikke er rentabel. Derfor forventes kun to anlæg stadig at være i drift med kul som brændsel efter 2023. Der forventes også en reduktion i gasforbruget fra mindre decentrale fjernvarmeværker, hvor gasfyr forventes at blive udskiftet med elkedler og varmepumper (Energistyrelsen, 2019 A). Kapaciteten fra de samlede driftsklare centrale kraftværker forventes at blive halveret fra dags dato produktion, på 4.000 MWe til omkring 1.950 MWe frem mod 2040. Denne udvikling skyldes særligt kul stoppet og at kraftvarmeværkerne i høj grad vil ændre i

deres produktionsmønstre, så der ikke længere produceres elektricitet, men i stedet for fokuseres der på varmeproduktion. Denne produktion vil i stedet blive erstattet af biomassekedler og store varmepumper. Vurderingen er baseret på kendskab til de nuværende kraftvarmeværkers levetid, varmeaftaler og varmebehov (Energistyrelsen, 2019 B).

Energikapaciteten fra decentrale værker udgjorde i 2019 2.500 MW fordelt på større og mindre anlæg. Denne kapacitet forventes at blive reduceret til 1.600 MW i 2030 og yderligere reduceret til 1.400 MW i 2040, hvilket svarer til en reduktion på 44 % af den nuværende kapacitet. Der er en vis usikkerhed forbundet med denne fremskrivning, hvilket særligt skyldes usikkerheden omkring elprisens niveau. Fremskrivningen er baseret på det eksisterende kendskab, som Energistyrelsen har til det nuværende og eventuelle ændringer af rammebetingelserne (Energistyrelsen, 2019 B).

Centrale kraftværker bliver dog i høj grad presset af en udbygning af vedvarende energikilder, som sol og vind, hvilket medfører en periodisk faldende elpris, som betyder at de centrale kraftværker der ikke leverer varme bliver økonomisk udfordret og løbende vil lukke ned. Dette vil betyde at kraftværker der ikke leverer varme forventes lukket frem mod 2020. Kraftværker der har et stort varmegrundlag forventes at omstille deres produktion til at benytte biomasse, som brændsel frem for fossil og få forlænget levetiden på anlægget. Efter 2030 begynder de store centrale kraftværker dog løbende og blive nedlukket alt efter deres respektive levetid på anlæggene. Produktionen fra de termiske kraftværker vil særligt blive udskiftet med store varmepumper og mindre kraftværker baseret på biomasse, som brændsel til varmeproduktionen. Derved forventes hele andelen af centrale kraftværker at være udskiftet eller udfaset i 2050. Der vil fortsat være en produktion på omkring 1.000 MW fra decentrale kraftvarmeværker, hvilket skyldes at de er relativt omkostningseffektive og derved vil kunne agere som en regulerbar kapacitet i systemet (Energinet, 2015). Der er dog gældende tilskudsordninger for elproduktion, fra anlæg baseret på biomasse. Tidligere har tilskudsordningen for elproduktion baseret på biomasse, givet støtte i form af et pristillæg på 10 øre/kWh, samt en fast afregningspris på 30 øre/kWh. Disse to former for tilskud har en levetid på 10 år, herefter bliver pristillægget hævet til 15 øre/kWh og den faste afregningspris frafalder helt. Derudover kan anlæggene også have været underlagt individuelle tillæg, der kan variere i forhold til de respektive anlæg (Energistyrelsen, 2018 B). Dette tilskud modvirker lidt den udvikling der

forventes at foregå i elektricitetsproduktionen, hvor elproducerende termiske kraftværker forventer ikke at blive periodisk rentable i driften, grundet mere VE i systemet. Denne udvikling kan tilskudsordningen være med til at modvirke, eller den vil ihvertfald betyde at termisk elproduktion vil have en højere rentabilitet end tilfældet vil være uden ordningen.



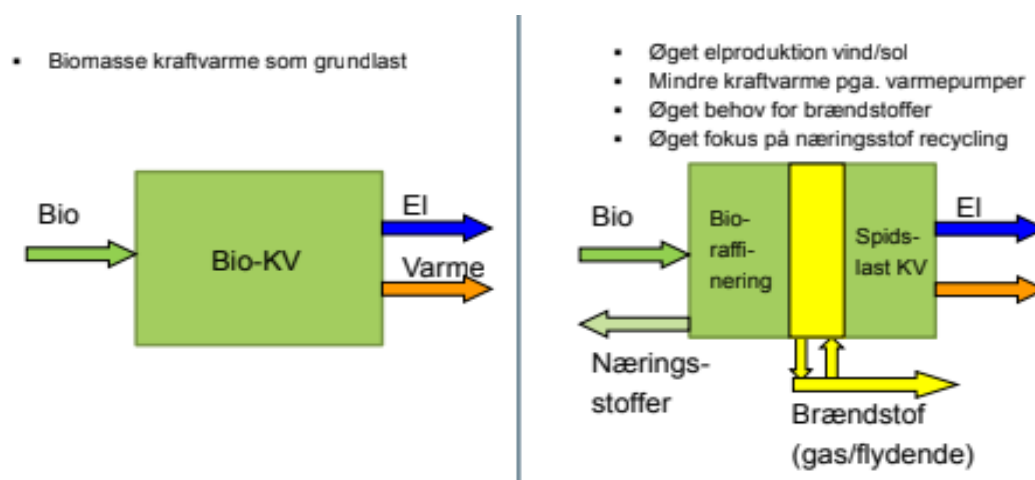
Figur 4: Bio- og affaldsressourcer i Danmark og pris på ressourcer, (Energinet, 2015)

Som det fremgår af figur 4, så er biomassen en begrænset ressource i Danmark og energinet arbejder derfor med et maksimalt årligt forbrug på 265 PJ, hvilket vurderes til at være en bæredygtig mængde, at benytte til energiformål (Energinet, 2015). Dansk biomasse stod i 2018 for 92,7 PJ og derudover blev der importeret biomasse til yderligere 64,5 PJ. Der var altså et samlet biomasseforbrug på 157,2 PJ (Energistyrelsen, 2018). Dette er en del lavere end det førnævnte danske potentiale på 265 PJ. Teoretisk set er det altså muligt at man dækker den nuværende biomasseandel af forbruget nationalt. Hvis man her ser på de forskellige ressourcer i figur 4, er der her kun en andel af disse der bør anvendes i praksis. Her både i form af prisniveauet, og derudover kan disse ressourcer også prioriteres til andre dele af energiproduktionen. Eksempelvis vil det være oplagt at gylle, så vidt muligt, anvendes til biogasproduktion som også bør spille en større rolle fremadrettet. Derudover forventes det at der på et tidspunkt vil blive sat politiske krav om at biomassen skal være bæredygtig. Derved kan den samlede mængde af biomasse til kraftværker blive



udfordret, hvis denne ressource skal bibeholde en så markant VE-andel som nuværende.

Biomasse der bliver brugt til energiformål i Danmark er et restprodukt. Biomassen stammer enten fra organisk madaffald eller, som et restprodukt fra landbrug og skovbrug, i form af halm og træflis. Den eneste form for biomasse der i figur 4, direkte benyttes til energiformål er posten energiafgrøder (Energinet, 2015). Grundet fremtidens energisystem primært vil være forsynet af vedvarende energi, fra sol og vind, bliver kraftvarmegrundlaget fra biomasse markant reduceret og det kan derfor give mening at benytte biomasseressourcen, eller ihvertfald en del af den til produktionen af andre brændstoffer, som det vises i figur 5 (Energinet, 2015).

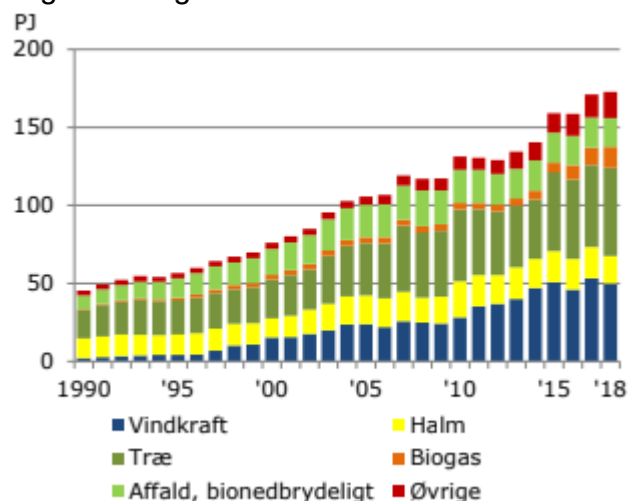


Figur 5: Trends der øger behov for bioraffinering og reducerer grundlaget for grundlastbiomasse-kraftvarme. (Energinet, 2015)

I figur 5, illustrerer Energinet hvordan de vurderer udviklingen på brugen af biomasse burde udvikle sig. Fra i dag hvor biomassen hovedsageligt bliver brugt til kraftvarmeproduktionen, hvor de vurderer at det i fremtiden vil give mere mening at bruge biomassen til biogasproduktion og spidsbelastnings reserve for kraftvarme. At biomassen er en begrænset ressource til brug i energiproducerende formål, bliver underbygget af Anders Hasselager fra Gate 21. Dette skyldes ikke mindst at biomasse er en begrænset ressource i Danmark og mængden der kan benyttes til energiproducerende formål er derfor også begrænset. I Danmark har flere store kraftvarmeanlæg allerede omstillet deres energiproduktion fra fossile brændsler til at bruge biomasse som brændsel i stedet for. Dette betyder at biomasse allerede bliver brugt i dansk energiproduktion i et stort omfang, og der er derfor ikke et stort potentiale

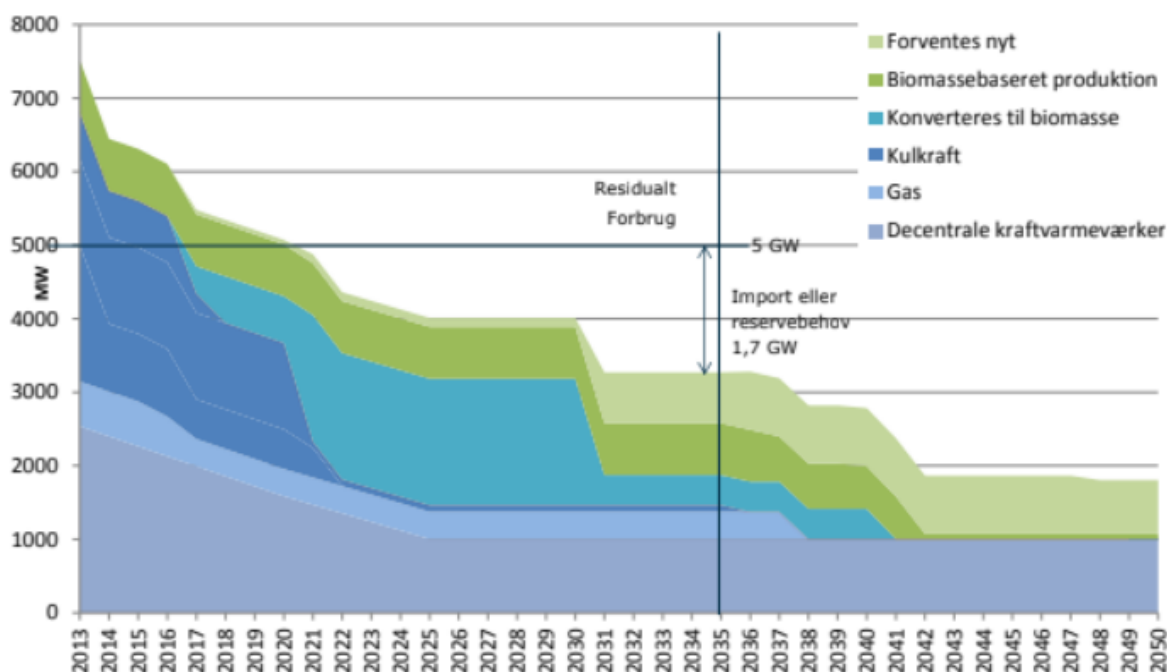
i at omstille yderligere dele af den danske energiproduktion til biomasse. Medmindre at man begynder at importere ressourcen biomasse til brug i energiproduktionen. Der er dog ikke et politisk ønske om at importere biomasse til brug i energiproducerende formål, grundet et overordnet ønske om at minimere det danske karbon fodaftryk, hvilket vil blive markant forøget ved importen af biomasse til at producere energi (Bilag 2). Klimarådet foreslår at man fremfor at stoppe importen af biomasse-ressourcer fra udlandet, i stedet arbejder på at sikre bæredygtigheden på den biomasse der importeres. Der er for nuværende ingen garanti for at den biomasse der importeres er bæredygtig. Man kunne her indføre en certificationsordning der garanterer at den importerede biomasse er bæredygtig, som at der genplantes nye træer og skovfældningen foregår på en bæredygtig måde. Ved brug af certificationsordninger sikres både biomassens bæredygtighed og samtidig minimerer man heller ikke et eventuelt stigende danske behov for biomasse, i energisystemet (Klimarådet, 2018).

Som man kan se i figur 6 er biomassens andel den samlede VE-produktion fulgt udviklingen, og produktionen er steget markant, sideløbende med den stigende produktion fra vindenergi. Biomassens rolle er altså historisk set den dominerende ressource i vores VE-produktion.



Figur 6: Produktion af vedvarende energi fordelt på energivare. (Energistyrelsen, A 2018)

Figur 7 viser Energinets forventninger til udvikling i produktionen fra decentrale kraftværker, holdt op imod det maksimale residuale energibehov, hvilket er det resterende energibehov, efter at fremskrivningerne for sol og vind er medregnet. Det maksimale residuale energibehov ligger på 5 GW i 2035, hvor af den termiske produktion vil producere 3,3 GW, så de resterende 1,7 GW, hvilket vil skulle dækkes af en eventuel energireserve eller import (Energinet, 2015).



Figur 7: Illustration af mulig udvikling i central kraftværkskapacitet frem til 2050. (Energinet, 2015).

Den termiske energiproduktion er en stabil form for energiproduktion som ikke, som mange vedvarende energikilder, fluktuerer i forhold til vejrforholdene. Derfor vil termisk energiproduktion stadig have sin anvendelse i et fremtidigt energisystem, som primært bliver forsynet af vedvarende energikilder, som en stabil regulerbar kapacitet til at understøtte energiproduktion i et fluktuerende energisystem (Energinet, 2015). Man kan her opnå en mere regulerbar kapacitet ved oprettelsen af en række mindre decentraliserede kraftværker, som er designet til kun at anvendes i spidsbelastningsperioder hvor de implementerede VE-anlæg ikke kan understøtte effekt tilstrækkeligheden tilfredsstillende, grundet vind og vejr (Bilag 1). En mindre og mere specialiseret række anlæg fortsat vil være en oplagt løsning på opretholdelse af forsyningssikkerheden.

Anders Hasselager understreger den problematik der ligger i udtjente kraftværker og regimeskiftet inden for dette, hvor nye løsninger skal findes og de valg der bliver foretaget skal være rigtige. Han sætter fokus på tidshorisonten 2030-2035, hvor en række investeringer og kraftværker udløber og er udtjente (Bilag 2).

Derfor er det afgørende at man her formår at træffe de bedst mulige langsigtede beslutninger, da vi i Danmark i høj grad lægger os fast på hvilke teknologspor der anvendes i en lang årrække grundet energianlægs lange levetid. Derudover nævner han både Energiforliget og senere energiaftalen fra 2018 som retnings styrende (ibid.).

Man kan argumentere for at de aftaler og forlig der bliver indgået af skiftende regeringer frem mod 2050 vil have stor effekt på den omstilling man ønsker af energiproduktionen. Da udfasningen af termiske kraftværker og afbrænding af fossile brændsler er på vej ud som regime, vil aftaler omkring planlægning og implementering af vedvarende energikilder i energiproduktionen være afgørende for at man kan nå i mål med den omstilling man ønsker.

## 4.4 Biogas

Fra Energistatistik 2018 ses det at biogassens udvikling er historisk set gået fra en årlig produktion på 0,752 PJ i 1990 til 13,414 PJ i 2018. Her har der især været en stigning fra 2015 og frem hvor der har været en stigning i produktionen på 9,077 PJ (Energistyrelsen, 2018 A). Biogas produktionen og forbruget forventes at stige til 18,5 PJ frem mod 2023, hvilket skyldes at andelen af bionaturgas i ledningsnettet forventes at blive forøget. Bionaturgas forventes at udgøre 25 % af det samlede gasforbrug i ledningsnettet i 2030 (Energistyrelsen, 2019 A).

I analyselyseforudsætningerne fra 2019 forventes det at denne produktion vil blive yderligere forøget frem mod 2040, hvor forbruget af biogas i gasnettet forventes at udgøre 34 % af det samlede gasforbrug. Dette betyder at forbruget af biogas i gasnettet forventes at stige fra 10 PJ i 2019 til 22 PJ i 2040. Man kan anlægge en kritisk vinkel på dette, da udfasning af naturgas i det danske energisystem er ved at blive udfaset så det kun anvendes til højenergi processer, transport, delvist varme mm. Dermed bør implementering af mere biogas, samt iblanding af biogas i naturgassystemet finde sted i langt højere tempo. Man kan også være skeptisk omkring hvorvidt man kommer til at opnå fremskrivning på de 25 % af biogas i blandet ledningsnettet, når andelen kun var på 6,6 % i 2017 (Energinet, 2018 B). Det er derfor nødvendigt med en markant forøgelse af omstillingen til biogas, hvis man vil opnå en udvikling der stemmer overens med fremskrivningerne på 25 % og 34 % i hhv. 2030 og 2040. Samtidig med at produktionen og forbruget af biogas regnes med at blive forøget, forventes forbruget af naturgas at falde i den samme periode 2019-2040, hvor det forventes at blive reduceret med 51 % (Energistyrelsen, 2019 B). Hvis man her anvender energistatistikks CO<sub>2</sub> indhold på 56,98 kg/GJ i naturgasforbruget til at se på potentialets omfang for at understøtte de politiske målsætninger, er der her et enorm

potentiale for i højere grad at søge en hurtigere implementering (Energistyrelsen, 2018 A).

Der er en tilskudsordning for den andel af biogas der blandes i gasnettet og anvendes til at producere elektricitet. Denne tilskudsordning udløb i den 1. januar 2020, for nye anlæg, der er dog stadig eksisterende anlæg der er underlagt denne tilskudsordning (Energistyrelsen, 2020). I denne tilskudsordning gives der tilskud i form af tre forskellige pristillæg. Det første pristillæg er på 43,1 øre/kWh og reguleres årligt med 60 % af stigningen af prisindekset. Det andet tillæg er på 26 øre/kWh og reguleres i forhold til naturgasprisen, så hvis naturgasprisen stiger så reduceres tillægget, hvor det stiger hvis naturgasprisen falder. Det første og andet pristillæg er opgjort i satser fra 2012 og reguleres årligt. Det tredje tillæg er på 10 øre/kWh og bliver reduceret med 2 øre årligt fra 2016 af (Energistyrelsen, B, 2018). Derved stemmer reguleringen overens, med hvad der bliver fremskrevet fra energistyrelsen i basisfremskrivningen, der tilsiger at mængden af biogas i gasnettet vil blive forøget. Reguleringen tilskynder ihvertfald brugen af biogas iblandet med den resterende gas til elproduktionen, ved at yde en fast pris på den producerede elektricitet.

Denne udvikling med en forventet reduktion af naturgasforbruget og en samtidig forøgelse af biogasforbruget, understøtter målsætningerne for det danske energisystem, der skal være fossilfrit i 2050. Men spørgsmålet er her om denne udvikling vil være i et tilfredsstillende tempo, eller om man skubber en for stor del af omstillingen til den sidste periode 2040-2050. Eksempelvis med en stigning på kun 9 % af biogassens andel i perioden 2030-2040.

Her nævner Anders Hasselager at den sidste udbudsrunde hvor der blev givet tilladelse til at bore efter yderligere gas i Nordsøen vil medføre at der er gas i det danske samfund helt frem mod 2050 (Bilag 2). Med dette i mente, og at disse politiske beslutninger er vedtaget, kan der argumenteres for at en sen omstilling af gassektoren vil være samfundsøkonomisk meningsfuldt. Men dette står dog i fuld modsætning til en hurtig reduktion af CO<sub>2</sub> som er den primære målsætning med hele omstillingen. Overordnet set så forventes gassen at ændre rolle i fremtidens danske energisystem, fra at have en stor andel i både varme og elforbruget, til i højere grad at blive brugt som spidsbelastnings reserve til kraftvarme og procesvarme. Det vil dog kræve visse optimeringer af det nuværende gassystem, hvis gassen skal kunne varetage denne rolle. Et energiformål der stadig vil kunne varetages af naturgas/biogas, er til

industrielle højenergi processer hvor gas er særligt anvendelige grundet deres høje energiintensitet, der er mere rentable til sådanne processer, end vedvarende energikilder (Energinet, 2015). Anders Hasselager mener at gassens rolle i fremtiden er at den skal anvendes til opvarmning og tung transport (Bilag 2). Gassen vil altså fortsat være en høj prioritets ressource i det danske samfund i fremtiden, hvor biogassen er den primære løsning langsigtet. Derfor er det centrale at finde frem til hvor i samfundets forbrug man skal anvende biogassen på sigt, når efterspørgslen fra de forskellige sektorer vil stige, i takt med at naturgassen løbende udfases og den samlede ressource deraf vil falde.

## 4.5 Vindpotentiale

Historisk set har vindmøllerne været en central del af Danmarks bæredygtige omstilling og man formåede gennem et politisk fokus, og støtte til sektoren, at gøre Danmark til et foregangsland med lokal udvikling og effektivisering af teknologien, sideløbende med en stor global eksport. Fra *Energistatistik 2018* ses det at den samlede produktion fra vedvarende energi i 1990 var på 45.461 TJ og har været næsten konstant stigende frem mod 2018 til 172.771 TJ. Der ses altså en stigning på ca. 280 % i perioden på 28 år (*Energistyrelsen, 2018 A*). For vindkraft har produktionen været stigende, især i perioden op til 2015, hvorefter udviklingen stagnerede frem til 2018 som det ses i tabel 2.

| Tabel 2: Produktionen af vindenergi fra 1990-2018, angivet i TJ ( <i>Energistyrelsen, 2018 A</i> ) |       |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| År                                                                                                 | 1990  | 2000   | 2005   | 2010   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   |
| Vindkraft                                                                                          | 2.197 | 15.268 | 23.810 | 28.114 | 50.879 | 46.014 | 53.208 | 50.036 |

Det skal her nævnes at fald i produktionen, som det ses i 2016, alene kan skyldes ringere vejrforhold for teknologien i dette produktionsår og udsving i produktionstal skal derfor tages med forbehold for usikkerheden forbundet med de fluktuerende produktionsvilkår. Vindenergi stod i 2018 for 41 % af den samlede elkapacitet i det danske elsystem (*Energistyrelsen, 2018 C*).

Et bud på udviklingen af vind kapaciteten ses i *Analyseforudsætninger til energinet 2019* hvor det vurderes at der frem mod 2030 er forventning om en stigning i den samlede kapacitet fra vindenergi. Dette baseres i høj grad på den nuværende landvindmøllepark hvor en stor andel af møllerne forventes at blive erstattet af færre, men større møller i perioden. I 2019 var der samlet set ca 4.200 landmøller i Danmark, hvoraf ca. 70 % er 20 år eller ældre. Når man ser på tabel 3 ses også tendensen hvor en stor andel af landvindmøllerne har mindre grader af kapacitet, op imod havvind der, ud over en outlier på 5 møller, alle har en kapacitet på over 2 MW.

|                                      | 2018         |              |              |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                                      | Land         | Hav          | I alt        |
| <b>Antal anlæg i alt</b>             | <b>5 702</b> | <b>558</b>   | <b>6 260</b> |
| - 499 kW                             | 2 233        | -            | 2 233        |
| 500 - 999 kW                         | 2 396        | 10           | 2 406        |
| 1 000 - 1 999 kW                     | 333          | -            | 333          |
| 2 000 - kW                           | 740          | 548          | 1 288        |
| <b>Vindkraftkapacitet i alt [MW]</b> | <b>4 420</b> | <b>1 701</b> | <b>6 121</b> |
| - 499 kW                             | 177          | -            | 177          |
| 500 - 999 kW                         | 1 634        | 5            | 1 639        |
| 1 000 - 1 999 kW                     | 413          | -            | 413          |
| 2 000 - kW                           | 2 196        | 1 696        | 3 892        |

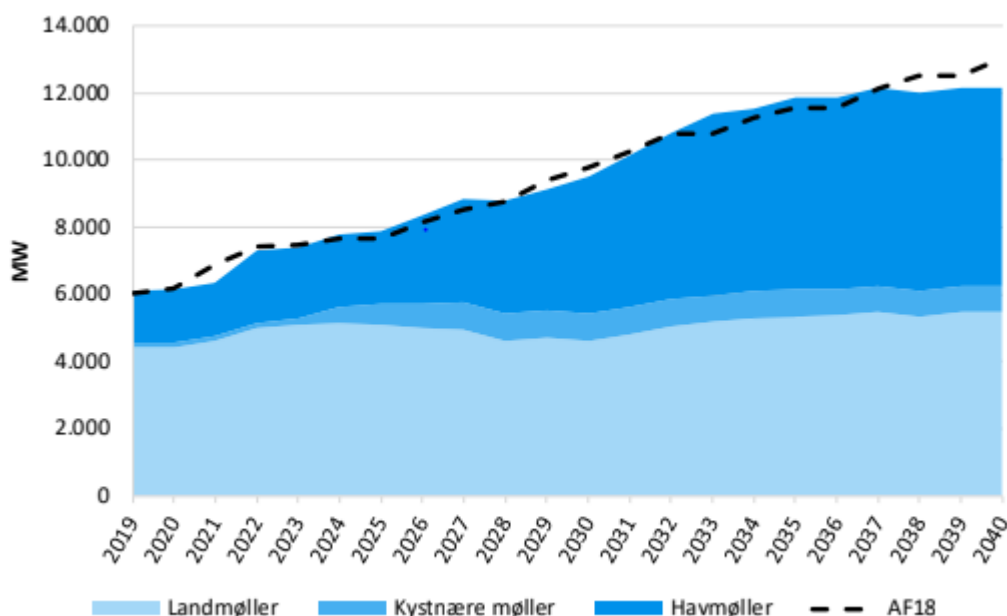
*Tabel 3: Vindkraft - antal anlæg og kapacitet fordelt på størrelse. (Energistyrelsen, 2018 A)*

Derudover var det først omkring år 2000 at man så en mærkbar stigning i antallet af møller med en kapacitet på over 2 MW, som nu er blevet den primære andel af vindmøllernes samlede kapacitet og fortsat har en større andel af den samlede kapacitet (Energistyrelsen, 2018 A). Tendensen er derfor at møllerne på både land og hav fortsat vokser i både højde og kapacitet, hvilket må ses som en vigtig

forståelse i den fortsatte planlægning og implementering af projekter for vindenergi. Denne udvikling vil også gøre det sværere at bruge fremtidens større møller på land, og man må derfor søge at finde og udvikle møller der vil give mening til netop implementering på land, hvis man ønsker at udnytte dette potentiale yderligere.

Som det ses i figur 8 er der i denne fremskrivning en forventning om at kapaciteten fra vindenergi nationalt vil stige fra ca. 6 GW til 12 GW i 2040. Her har andelen af energi fra landvind et relativt stabilt leje frem mod 2040, hvorimod stigningen i kapacitet primært vil komme fra implementering af nye havvindmølleparker og en mindre andel kystnære møller. Der forventes altså en enorm stigning i kapaciteten for havvind ift. den nuværende andel som stadig er relativt lille set op imod landvinden. Denne udvikling kan ses som et skift i det politiske fokus, hvor havvind har overtaget det primære fokus, ift. den fremadrettede kapacitetsudvidelse.





Figur 8: Forventet udvikling i kapaciteten for vindmøller fordelt på møllernes placering (Energistyrelsen, 2019 B)

I 2018 var priseniveauet på elektriciteten fra landvind og havvind, hhv. 0,38 kr./kWh og 0,87 kr./kWh. Elektriciteten der produceres fra landvind koster altså stadig kun halvdelen af hvad det koster at producere den fra havvind (IRENA, 2019). Derved kan der argumenteres for at det fortsat må være en central diskussion hvorvidt man politisk bør prioritere havvind frem for landvind. Her er den centrale konflikt den økonomiske konkurrencefordel landvind fortsat bibeholder, op imod de case afhængige implementerings vilkår der kan være barriereskabende for gennemførelse af vindprojekter i cases med landvind og kystnære møller. Her vil en løsning hvor potentialer for både land-, kyst- og havvind søger at blive udnyttet være oplagt.

I Danmark gives der tilskudsordninger til elproduktionen fra vindmøller på land og hav uden om udbud. Den tilskudsordning der er gældende for vindmøller der nettilsluttes fra dags dato, giver støtte i form af 0,9 øre/kWh i balanceringsomkostninger og et pristillæg på 25 øre/kWh, med et prisloft på 58 øre. Denne tilskudsordning er gældende for 1. januar 2014 (Energistyrelsen, 2018 B).

Da man i Danmark ønsker at opnå en hurtig omstilling til VE, kunne en mulighed være at ændre statslig strategi omkring landvindmøller i kommunalt perspektiv og nedtagning af disse. Først og fremmest vil en kapacitets opgradering af den nuværende land vindmøllekapacitet være lavthængende frugter der kunne høstes. Hertil vil bedre udnyttelse af landvind i udpegede geografiske områder give mening. Heri ligger en problematik i forhold til afstandskrav, men med ejendoms ekspropriering

og økonomisk gevinst til de berørte ejere af ejendommene kunne opnåelse af dette være muligt.

“Der identificeres i alt 1.082 områder, hvorpå der kan opstilles 3 eller 5 vindmøller, men hvori der også er ejendomme beliggende. I størstedelen af de mulige projekter (1.002) vil det dog være billigere at opkøbe de nærtliggende ejendomme til 150 pct. af ejendomsværdien samt yde kompensation til naboer længere væk, end en tilsvarende udbygning med offshore.” (Energinet, 2015: 3).

For landvind har den historiske udbygning på de sidste fem år været på 70 møller, ca. 210 MW (Energistyrelsen, 2019 B). For at opnå fortsat udbygning af landvind er det afgørende at man på det kommunale myndighedsniveau formår at fremme udviklingen gennem vedtagne indskrivinger i kommuneplanen eller som tillæg til dette, da disse er et krav for at kunne opstille nye møller. Herefter er der en række barrierer som må omgås og/eller nedbrydes som eksempelvis den lange tidsramme for projekters gennemførelse, lokalisering af møllerne og den endelige godkendelse (ibid.). Her er den nuværende proces for denne type af projekter en stor del af den lange tidsramme, og borgernes påvirkning, om det er støtte eller modstand, kan være altafgørende i de lokale kontekster for projektgodkendelse og implementering i praksis. Kommuner kan gennem deres rolle som facilitator og myndighed være med til at nedbryde barrierer for projekters mulige gennemførelse. Dette være sig assisterende til de lokale aktører som er inddraget i projektet, projektets planlægningsfase samt implementering. Ydermere kan kommunen facilitere samarbejder i et tværkommunalt perspektiv, og dermed være rammeskabende for en kort, mellemlang og langsigtet vindmølle strategi imellem kommunerne. Dermed bliver ikke bare planlægning og implementering af enkelte vindmøller assisteret af kommunen, men også et bredere perspektiv på hvordan en samlet energiproduktion skal se ud. Med stigende borgermodstand vedrørende implementering og godkendelse af landvindsprojekter, er det altså afgørende kommunerne opnår et kompetenceniveau i planlægning og kommunikation der understøtter at flest mulige projekter kan gennemføres, og dermed bredere grøn omstilling realiseres. Det er en ny rolle som kommunerne har taget til sig i forskellig grad, som set i brugen af strategiske energiplaner hvor nogle kommuner nu bruger dette nye redskab som en central del af planlægning, hvorimod andre helt har undladt at inddrage strategisk energiplanlægning i kommunens arbejde. Et gennemgående tema for kommunerne er det stigende behov for ressourcer til at

kunne ansætte folk der ser på de lokale muligheder og potentialer for nye projekter. Her kan det blive et krav fra kommunerne som samlet myndighedsniveau, at de fra staten får tildelt en økonomisk pulje der vil gøre det muligt i praksis at benytte de værktøjer og det ansvar staten har pålagt dem, eller anviser hvordan de skal benytte dette inden for de nuværende økonomiske rammer. Den nuværende model, hvor kommuner er overladt til sig selv og laver omstilling på "må og få", er ikke holdbar i et længere omstillingsperspektiv hvis ambitiøse målsætninger på både kommunalt og statsligt niveau skal opnås. Det ville her også være oplagt at man, hvis man reelt har en målsætning om at bruge kommunerne i omstillingen, gør strategisk energiplanlægning til obligatorisk del af kommunernes ansvarsområder. Derved vil man også understøtte kommunernes evne til at opdage og gennemføre potentialer for tværkommunale samarbejder.

Ud fra den økonomiske vurdering af investerings og finansiering for vindmølleprojekter fremadrettet vurderes det at det vil være muligt at fortsætte med en bruttoudbygning på 220 MW årligt, hvilket er ca. samme som den historiske kontekst de sidste fem år. Her ses dog langsigtet en usikkerhed i finansieringen efter de teknologineutrale udbud frafalder (Energistyrelsen, 2019 B). Sideløbende med den årlige kapacitetsudbygning forventes det også at antallet af landmøller samlet set vil være under loftet på 1.850 møller i 2030 (Regeringen, 2018 B). For de kystnære møller vurderes det at der er et stort teoretisk potentiale, men en stor usikkerhed i udviklingen. Dette skyldes den lokale modstand i cases, som vil udfolde sig på samme vis som landvind projekter, da disse typer af projekter ofte er tæt på borgerne. Her er forventningen at den nuværende kapacitet på 150 MW vil stige med ca. 500 MW frem mod 2024 og yderligere 800 MW frem mod 2030. Derefter forventes det at udviklingen vil flade ud, grundet nedtagning af ældre møller. For havvind viser fremskrivning en langt større årlig kapacitetsudbygning. For havvind forventes der en jævn fortsat stigning fra 1.550 MW i 2019 frem mod 2033 hvor den årlig udbygning vil stagnere og ende på ca. 6 MW i 2040. Der er jvf. energiaftalen 2018 aftalt udbud af samlet set tre havvindmølleparker på minimum 800 MW hver frem mod 2023. De tre parker forventes nettilsluttede i hhv. 2024-2027, 2028 og 2030. Der er til de to sidste vindmølleparker udpeget fire mulige områder som omfatter Nordsøen, Jammerbrugt, Hesselø og Kriegers Flak. Her antages det at der vil blive placeret en park i DK1 og en i DK2. I den samlede fremskrivning forventes alle tre parker at have en kapacitet

på 900 MW, da dette vurderes forventeligt og attraktivt ift. udbuddet (Energistyrelsen, 2019 B). Fremskrivningen for perioden 2030-2040 er vurderet ud fra de nationale målsætninger om fossil uafhængighed i 2050, hvilket medfører en kapacitetsudvidelse på 2.2 MW i perioden. Denne udvidelse forventes primært implementeret i DK1.

Samlet set må det konkluderes at den historiske udvikling viser en markant stigning af den implementerede vindkapacitet, hvor landvind var den dominerende teknologi indledende. I den nuværende kontekst og fremadrettet ses det at havvind prioriteres i politisk og planlægningen, i praksis set i form af udbud frem mod 2023. Dette afspejles i høj grad i Energistyrelsens fremskrivninger.

Der ses her potentialer for at kapaciteten af landvind fremadrettet kunne være markant stigende, frem for den nuværende stagnering i kapacitetsudvidelsen, som i højere grad kan anskues som en renovering og bibeholdelse af den allerede implementerede kapacitet (Gaarsmand, R. & Kjær, T. 2019).

Anders Hasselagers perspektiv på landvind er at han ser en stigende bevidsthed i befolkningen omkring at man ikke ønsker at vindmøller skal indgå i landskabet.

“ ... på det kommunale niveau går man ind og siger, niks vi skal ikke have noget her. Mens i region Sjælland der har man stadigvæk områder hvor det godt kan være, men der ikke nogle lokale politikere der står på mål for at have det op, hvis det her giver klager. Man skal huske på at de her lokale politikere skal også vælges næste gang.” (Bilag 2: 2).

Ud fra ovenstående citat kan man se problematikken ved den statslige beslutning at flytte en del af ansvaret for den lokale omstilling til det kommunale niveau, gennem tiltag som strategisk energiplanlægning som var møntet på at få aktiveret dette myndighedsniveau som en bærende del af omstillingen. Det er her en stor udfordring at få gennemført de lokale VE-projekter som der identificeres, når lokalpolitikere grundet det politiske system, ikke har mod og vilje til at få gennemført projekter i en grad som ville skabe en stigende kapacitet af vindenergi på land. Her mener Rasmus Munch Sørensen fra Energistyrelsen at det er vigtigt at bibeholde den lokale forankring så kommunerne gennem dialog med de lokale borgere tager stilling til hvor man bør opfører vindmøller i kommunen. Sørensen mener ikke at der fra statslig hånd detaljeret skal styres hvor og hvor mange vindmøller der skal opstilles, hvis man ikke ønsker at underminere det nære demokrati (Bilag 1).

Derudover ses der en forventning om at landvind fremadrettet er så økonomisk konkurrencedygtig at denne kan opføres uden støtte, hvilket har gjort at det politiske fokus man havde for at understøtte teknologien i den indledende fase er blevet mindre og tilskudsordningerne udfaset (ibid.). Men eftersom at landvind stadig udkonkurrerer havvind økonomisk, men omvendt ikke har en stigende samlet kapacitet, må der i den statslige planlægning tages højde for de andre barrierer der medfører at landvinds potentialet ikke udnyttes. Der tegner sig derfor et billede af at det ud fra de nuværende rammer bliver meget udfordrende at få udnyttet potentialerne der ligger for landvind, selvom det fortsat er det bedst samfundsøkonomiske alternativ. Dette sammenholdt med en politisk struktur hvor lokalpolitikere ikke har mandat eller vilje til at gennemføre projekter, og hvor top downstyring fra staten anses som en overskridelse af de demokratiske værdier der er altafgørende for det danske samfund. De gener landvind medfører har altså politisk udkonkurreret det økonomiske aspekt, og deraf medført en større national udgift ved implementeringen af VE-anlæg til fremtidens elproduktion. Ifølge energiaftalen fra 2018, skal antallet af landvindmøller ca. halveres. Her foreligger der mulighed for kommunerne at kapacitets opgradere, men udfordringen ved dette er stor, da enkelte kommuner ikke har mulighed for at foretage mindre vindmølleordrer. Anders Hasselager understreger problematikken:

“Så er der jo selvfølgelig også muligheden for at få mere effektive møller som ikke er meget større end dem der stod der i forvejen, på 40 meter. Men der er bare ikke meget gang i dette segment. Tyskerne er i gang med det, men ville ikke sætte en produktion i gang medmindre vi kan sætte en bestilling på et større antal møller. Og det er en af vores udfordringer, at det er ikke sådan lige at få sat det i gang, selvom man koordinerer mellem kommunerne og forsyningsselskaberne, så bliver det stadigvæk noget småtteri med 10-20 møller. Mens at hvis tyskerne først skal starte en produktionslinje så vil det være et meget større antal som vil være interessant for dem. De ser simpelthen ikke et marked for det.” (Bilag 2: 2).

Hermed vil kommunal bæredygtigt omstilling af Energiforsyningen inden for landmøller være udfordret. Dette er en udfordring da planlægningen og implementeringen af havvind efter 2023 ikke er fastlagt. I sig selv ville det være acceptabelt hvis yderligere planlægning og implementering af havvind finder sted, da den teknologiske udvikling ved fx størrelsen på møllerne overhaler landvind, men for nuværende står politikerne overfor en række valg vedrørende fremtidens energiproduktion og forsyning. Problematikker så som: Hvordan opretholder vi effekttilstrækkeligheden, hvordan skal

den endelige udformning af energisystemet være, hvordan vil denne yderligere implementering skulle spille sammen med sektorer som varme og transport og hvilke teknologiske valg bør foretages. Her kunne staten søge at skabe bedre koordination og samarbejde med og mellem lokale aktører. Her kunne man tage et eksempel som de mindre tyske vindmøller der omtales af Hasselager. Deraf kan der opstå et bedre overblik over kommunernes behov og mangler for at kunne gennemføre de lokale projekter som for nuværende i høj grad er udfordrede. Hvis staten her ser et potentiale i at en række kommunerne alle ville anvende fx før omtalte 40 meters møller fra Tyskland, kunne man her gå ind og lave en langt større bestilling og dermed få sat gang i projekterne.

En fordeling af vindmøller over større geografiske områder vil også understøtte forsyningssikkerheden grundet time forskellene mellem møllernes produktionsudsving. Som det ses i nedenstående citat fra sidste regering, var der her en stor politisk modstand mod yderlige implementering af landvind, set i form af punktet i energiaftalen fra 2018 om at mere end halvere antallet af anlæg på land frem mod 2030.

“Konkret er parterne enige om, at antallet af landvindmøller skal mere end halveres. Det indebærer, at antallet af landvindmøller reduceres fra de nuværende ca. 4.300 til et loft på 1.850 i 2030.” (Regeringen, 2018 B: 5).

En forhåbning kunne her være at man formåede at opretholde den nuværende kapacitet gennem udskiftning til større og mere effektive møller i det lavere antal placeringer. Overordnet set sætter denne linje dog en retning hvor landvindspotentialet udnyttes i meget lav grad. Den nuværende regering blev i 2019 enige om deres klimalov aftale, hvori der indgår en målsætning om en reduktion på 70 % frem mod 2030 (Regeringen, 2019). Det vil her være oplagt at man i den planlægning som kommer i kraft af denne målsætning genovervejer den politiske linje der er lagt for landvindmøller, med henblik på større kapacitetsudvidelse frem mod 2030.

De fortsatte udfordringer ved vindenergien som primær produktionsteknologi af el frem mod 2050 indbefatter et stigende behov for energisystemets fleksibilitet, så variationer i produktionen kan indpasses med forbruget. Det er derfor afgørende at vindenergi og udbud fortsat planlægges og vedtages efter 2023, hvis man ønsker den situation der fremskrives, sideløbende med at teknologien indpasses i systemet gennem tiltag der

understøtter fleksibiliteten. Her vil en opbygningen af en systemteknisk robusthed, der giver muligheder for lagring i peak perioder, være afgørende for effektiviteten i de implementerede nationale mølleparker. Derved kan man i højere grad opretholde effektilstrækkeligheden ved brug af strøm produceret af fluktuerende energikilder. Omvendt vil implementeringen af andre teknologisor sideløbende med vindenergien være et krav ved brugen af denne teknologi. Her vil biomasse, biogas og solenergi fortsat være centrale løsninger for gennem en bred vifte af produktionsteknologier at opnå en effektilstrækkelighed i produktionen der opretholder forsyningssikkerheden.

## 4.6 Solenergi

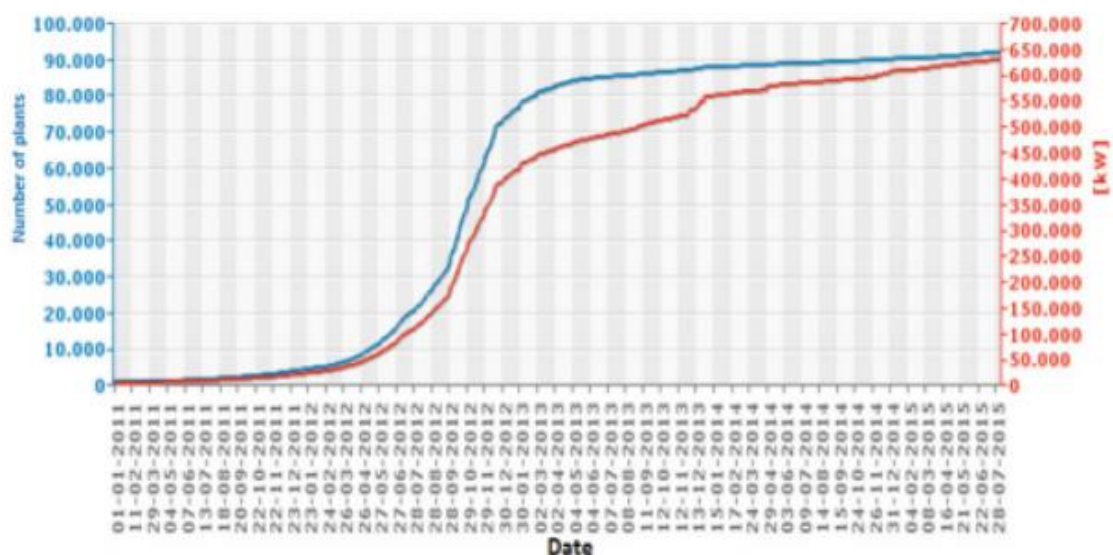
Solenergi har i Danmark været en mindre implementeret teknologi, op imod vindenergien, og kan derfor anskues som en supplerende del af den samlede bæredygtige elproduktion. Solenergien har grundet vejrforhold og Danmarks nordlige placering ikke optimale vilkår målt op imod andre geografiske områder, men teknologien har stadig store potentialer og vil have en mindre men afgørende rolle i fremtidens forsyning. Den historiske udvikling for solenergiens bidrag kan ses i nedenstående tabel. Her ses det at teknologien har været langsom til at komme ind på det danske marked, hvilket i høj grad skyldes den teknologiske udvikling, og de førnævnte udfordringer teknologien møder i en dansk kontekst.

| Tabel 4: Produktionen af solenergi fra 1990-2018, angivet i TJ. (Energistyrelsen, 2018 A) |      |      |      |      |       |       |       |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                                           | 1990 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  |
| Solenergi                                                                                 | 100  | 335  | 419  | 657  | 3.713 | 4.658 | 5.068 | 6.195 |

Den danske udbygning af solcellekapacitet forekom hovedsageligt i perioden fra 2012 til 2013, den samlede danske solcellekapacitet kan ses i figur 9. Grunden til den

markante udbygning af solkapaciteten i denne periode, skyldes at der i denne periode var favorable tilskudsordninger for at investere i solceller. Dette har ført til at der i Danmark har været omkring 5.000 solcelleanlæg til at der i 2015 var over 90.000 anlæg (Mathiesen, et al., 2015). Den danske udbygning af solcellekapacitet forekom hovedsageligt i perioden fra 2012 til 2013, den samlede danske solcellekapacitet kan ses i figur 9. På nuværende tidspunkt er der ikke nogen gældende støtteordninger, for opsætningen af solcelleanlæg. Der er dog stadig mange solcelleanlæg der er opsat og stadig underlagt tidligere støtteordninger for opsætningen af solcelleanlæg. Særligt i perioden fra 2012 til 2013 forekom der en markant stigning i antallet solcelleanlæg i Danmark, som det bliver illustreret i figur 9. I perioden fra den 20. november 2012 til 10. juni 2013, var der en tilskudsordning for opsætningen af solcelleanlæg på husstande med en kapacitet på mindre end 6 kWh, en fast afregningspris på elproduktion med 130 øre/kWh over ti år (Energistyrelsen, 2018 B). Der har altså været en markant stigning i implementeringen i perioden tilskudsordningen var i kraft. Efter tilskudsordningen frafaldt, stagnerede opsætningen af nye solcelleanlæg. Der blev dog indført nye tilskudsordninger for solcelleanlæg på husstande, efter tilskudsordningen med de 130 øre/kWh frafaldt. Disse var dog ikke ligeså favorable for ejeren af solcelleanlæggene, da den faste afregningspris blev sænket til hhv. 102 øre/kWh i 2015 og 88 øre/kWh i 2016. Der blev også indført en pulje hvori tilskudsordninger blev trukket fra, på hhv. 60 MW og 20 MW for 2015 og 2016 (ibid.). Derved har man skabt en grænse for hvor mange solcelleanlæg der kan opsættes under støtte fra denne tilskudsordning. De nye tilskudsordninger for solcelleanlæggene er også gældende for en tiårig periode, de frafaldt dog i 2017 og sidenhen er der ikke givet tilskudsordning til solcelleanlæg (ibid.).





Figur 9: Antal af solcelleanlæg i Danmark (Mathiesen, et al., 2015)

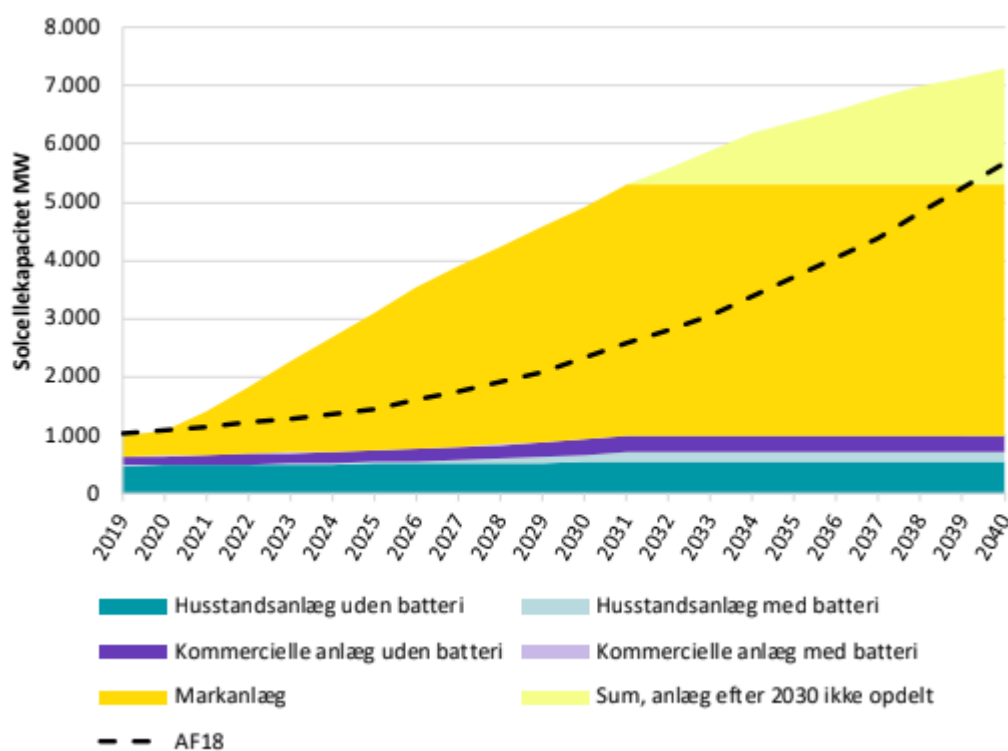
Det kan derfor konkluderes at tilskudsordningerne i høj grad havde den ønskede effekt, og formåede at understøtte teknologiens økonomiske konkurrenceevne på et tidspunkt hvor denne stadig var markant udfordret, grundet den manglende teknologiske udvikling og de geografiske vilkår i Danmark. For nuværende i 2020 og fremadrettet er situationen dog blevet mere favorabel for solenergien. På baggrund af *Analyseforudsætninger 2019* forventes der en markant udbygning af solenergi kapaciteten, på 365 MW frem mod 2030, ekskluderende udbygning af markanlæg. Denne forventning er baseret på nogle forudsætninger der gør solenergi billigere at producere i fremtiden, blandt andet en ændring i el-afgiften og en overordnet teknologiudvikling af solceller der gør solceller markant billigere at producere (Energistyrelsen, 2019, B). Energifaften fra 2018 indfører en lempelse af den overordnede el-afgift, med 4 øre pr/kWh i perioden 2019-2022, 7 øre pr/kWh i 2023, 8 øre pr/kWh i 2024 og 14 øre pr/kWh i 2025, sådan så den samlede elafgift i 2025 vil ligge på 77,4 øre pr/kWh (Regeringen, 2018 B). Rasmus Munch Sørensen udtaler at Energistyrelsen allerede nu er ved at opskalere forventningerne til solenergiens rolle i analyseforudsætninger 2020 grundet energinets dialog med relevante kommercielle aktører og deres villighed til fortsat at bygge solcelle anlæg uden støtte. Derudover bygger denne opskalering på forventninger om en fortsat, men dog lidt mindre, teknologisk udvikling og gode vilkår for elpriserne. Sørensen udtaler derudover at markanlæg fremadrettet vil være den primære implementeringsmetode for solenergi,

da der ikke er regulering der skaber incitament for at implementering af solenergi på bygning i stor stil (Bilag 1).

Anders Hasselager nævner at de i Gate 21 ikke er begejstrede for en udvikling mod store markanlæg. Her er Gate 21 i dialog med kommunerne omkring de visuelle udfordringer ved markanlæg, i et perspektiv som minder om borgermodstanden vedvørende landvind. Her ser han langt hellere at man får lettet på restriktionerne ved implementering og drift af solenergi på store tage, på eksempelvis lokale sportshaller, skoler og private virksomheder. Dermed kan man undgå at omstille landbrugsjorde og rekreative områder til store markanlæg. Man har dog i Gate 21 også bemærket at markanlæg vil være en mulig business model og forventer at dette vil vinde ind på det danske marked, selvom de er politisk imod det i Gate 21 (Bilag 2). Her vil det være oplagt at man for det første får revideret lovgivningen og derigennem åbnet op for langt større udnyttelse af solenergi på tage. Denne anvendelse af solenergi vil være mere decentral end den mere simplificerede implementeringsproces i form af de store markanlæg, men har fordele i form af arealudnyttelse op imod markanlæg som vil medfører at jordbrug tages ud af dennes nuværende anvendelse. Denne udbygning af solcelleanlæg, kunne fremskyndes på husstande og andre større tagarealer, hvis lignende tilskudsordninger blev indført som tidligere. Hvor der gives støtte til elproduktionen fra solcelleanlæg, i form af en afregningspris der sikre ejeren af solcelleanlæggene en fast pris på den producerede elektricitet og derved skaber større incitament og sikkerhed til at investere i solcelleanlæg. Det kan diskuteres hvorvidt det er nødvendigt at anvende sådanne tiltag, da støtteordninger medfører en højere statsomkostning og udvikling på solcelleteknologien i forvejen tyder på at solceller inden for en overskuelig fremtid bliver konkurrencedygtig med andre elproduktioner. Derved kan der argumenteres for at der vil ske en teknologisk udvikling af solceller og derved ikke vil være nødvendigt med eventuelt omkostningsrige tilskudsordninger, hvis udvikling naturligt vil forekomme.

Den markante udbygning af den kommercielle markanlæg solcellekapacitet der forventes frem mod 2030 på 3.750 MW, er dannet på baggrund af et kendskab til antallet af projekter der på nuværende tidspunkt er i planlægningsfasen. Disse solcelleprojekter forventes at opnå finansiering gennem teknologi neutrale udbud, ligesom tilfældet er med landmøller, eller gennem PPA'er grundet en kommerciel

aftager ønsker at profilere sig som grøn energiforbruger. De projekter der på nuværende tidspunkt ligger i planlægningsfasen, forventes at blive tilsluttet net i 2019 og 2020, da solcelleprojekter normalt har en hurtig implementeringsfase, fra plan til færdigt anlæg på omkring 2 år. I perioden 2020-2024 forventes der at blive godkendt solcellekapacitetsprojekter for 400 MW årligt, i perioden 2025-2030 forventes denne udbygning at blive reduceret til 300 MW årligt, hvilket vil resultere i en samlet solcellekapacitet på 5 GW i 2030. Udbygningen af solcellekapaciteten forventes at være støt faldende i 2030'erne, så den samlede forventede solcellekapacitet i 2040, vil være på 7,3 GW. Figur 10 viser den forventede udvikling af solenergikapaciteten i Danmark (Energistyrelsen, 2019 B).



Figur 10: Forventet udvikling i den samlede solcellekapacitet målt ved inverteren, dvs. i MW i perioden 2019-2040 (Energistyrelsen, 2019 B)

På grund af et øget økonomisk pres på elektriciteten produceret i solskinsrige timer, hvilket vil blive yderligere forværret desto mere solenergi der er i systemet, forventes solcellekapaciteten at stagnere når den udgør omkring 15 % af det samlede elforbrug. Denne forventning kan dog ændres hvis det viser sig at lagringsteknologier, gennemgår en uventet teknologisk udvikling sådan så lagring af energi bliver et rentabelt alternativ i fremtiden. Udbygningen af sol kapacitet forventes at fordele sig

med 60 % i DK vest og 40 % i DK øst, hvilket primært skyldes den arealmæssige forskel i de to landsdele og ikke hvor det største sol potentiale er (ibid.).

Solenergi vil altså have en voksende rolle i den danske energiproduktion fremadrettet og vil og skal fortsat være en supplerende del af elproduktionen. Det er vigtigt at der i planlægningen af VE-implementering både satses på flere teknologispor for at sikre effektilstrækkeligheden, men også når man ser på implementeringsmulighederne i Danmark som geografisk område. Der vil være en lang række cases hvor projekter for vindenergi grundet barrierer som afstandskrav og borgermodstand ikke vil være mulige at gennemføre, men hvor solenergi måske vil kunne bidrage som alternativt løsningsforslag. Dette sammenholdt med fremskrivningerne om en fortsat forbedret konkurrenceevne, skaber grundlag for en højere prioritering af solenergi politisk i både stat og kommuner, hvorved der i planlægningen bør undersøges og indtænkes muligheder for at udnytte det voksende potentiale.

## 4.7 Delkonklusion

Situationen i energisektoren er den at man i 2018 havde en VE andel på 29,44 %, som kan holdes op imod de nye politiske målsætninger omkring en drivhusgasreduktion på 70 % frem mod 2030. Der vil altså være et stort behov for yderligere implementering af VE-kapacitet i systemet, hvis man ønsker at opnå de politiske målsætninger gennem stigende produktion af bæredygtig energi, samt robust energiforsyning, hvor fleksibilitet og forsyningssikkerhed er i fokus.

Centrale termiske kraftværker er som regime på vej ud som bærende enhed i elproduktionen i Danmark. Den driftsklare kapacitet forventes at blive halveret frem mod 2040. Den fortsatte produktion fra disse kraftværker bør overgå til store varmepumper når dette bliver økonomisk muligt. De decentrale kraftværkers samlede kapacitet forventes at blive reduceret med 44 % frem mod 2040. Her vil det være meningsfuldt at de designes til at kunne køre i kortere tidsperioder samt lavere kapacitet. De decentrale kraftværker vil derved kunne blive en essentiel del af systemet i spidsbelastningsperioder. Til denne produktion af energi kan biomassen og biogas få en afgørende rolle. Det bør være i fokus at i planlægning at sikre udnyttelsen af denne regulerbare kapacitet for at sikre effekttilstrækkeligheden der forventes at blive udfordret af den stigende fluktuerende VE-andel. Her vil planlægning og implementering af decentrale kraftværker, designet til køre i få timer, være et potentiale.

I et system perspektiv bør gassen samlet set spille en anden og mere afgrænset rolle i fremtidens energisystem. Derfor bør man i designet af fremtidens gassystem søge at anvende den høj kvalitets ressource i de af samfundets sektorer hvor omstillingen til andre brændselstyper vil være mest omfattende, set op imod de resterende sektorer. Her er der mange scenarier, men det vil være oplagt fx at arbejde mod at fremtidens biogas anvendes til høj energi processer i industrien og de dele af transporten hvor elektrificeringen udfordres som tung transport.

Det forventes at den samlede vindkapacitet vil stige fra 6-12 GW i perioden 2019-2040. Her vil det primært være en stigning i havvinds kapaciteten, og en lille andel i kystnære møller, som vil understøtte udviklingen.

For landvind forventes der ikke markant udbygning. Elprisen fra landvind var i 2018 ca. halvdelen holdt op imod prisen på havvind. Derfor må det fortsat være en central diskussion at udnytte potentialer for implementering af landvind, når dette teknologispor fortsat formår at levere den billigste forsyning til forbrugerne.

Det konkluderes at der er et stort potentiale for igen at kapacitetsudvide med landvind, men at det ikke vil blive udnyttet med de nuværende samfundsstrukturer.

Den problemstilling der ligger omkring landvind er ikke baseret på manglende tilskudsordninger til at understøtte den økonomiske konkurrenceevne op imod energiproduktion baseret på andre energikilder. Men i højere grad påvirkes landvinden af lokale case afhængige barrierer i implementeringsfasen, her fx borgermodstand, afstandskrav og naturfredningsområder. Derudover er den manglende politiske vilje og prioritering af teknologien, på tværs af myndighedsniveauerne afgørende for manglende målsætninger på området.

Der blev i 2018 produceret 6.195 TJ, så solenergien kan stadig ses som et mindre, og understøttende teknologispor. Energistyrelsen forventer dog en stor stigning i sol kapaciteten, grundet øget konkurrenceevne, hvor markanlæg vil være den primære implementeringsmetode. Det vil her være afgørende at man indtænker de visuelle udfordringer ved implementering af store markanlæg på land, ud fra de erfaringer man kan drage fra cases for landvind og biogasanlæg, hvor lokal modstand blev afgørende. Derudover er der et potentiale i gennem reguleringsændringer at understøtte brugen af solenergi på bygninger.

Det konkluderes at den tidligere tilskudsordning i perioden 2012-2013 havde en stor effekt på antallet af solanlæg. Tilskudsordningen til sol er dog bortfaldet, og hvis man ønsker at højne konkurrenceevnen for denne teknologi bør man kigge på om frafaldet af denne ordning er en god ide. Man kunne vælge at lade tilskudsordningen løbe indtil solenergi er endnu mere rentabelt, og dermed også fremme mulighederne for planlægning og implementering i et bredere perspektiv, og understøtte energisystemet i forhold til robusthed og fleksibilitet.

Kommunen kan som facilitator og myndighed være med til at nedbryde barrierer ved at inddrage aktører centrale aktører, som fx vindmølleproducenter, og facilitere samarbejder tværsektorielt og tværkommunalt. Formålet er at finde frem til hvordan

der skal planlægges og implementeres mellem de lokale kommuner, og dermed skabe rammerne for hvordan en samlet strategi kan se ud.

Bedre brug af strategisk energiplanlægning, og samspil med de andre kommuners strategiske energiplaner som en central og obligatorisk del af alle kommunernes fremadrettede arbejde, vil i høj grad kunne understøtte udviklingen. Her ses der et behov for at staten bedre formår at støtte kommunernes ressourcegrundlag, for at disse kan udfylde deres ansvar i implementeringsdelen af den samlede omstilling. Det kan ses som en del af statens ansvar at skabe de bedst mulige rammer for kommunerne, når man skal realisere EU's direktiver i praksis. Her vil gavnlige effekter være samlet planlægning, målsætninger, økonomiske fordele ved fx fælles vindmølle indkøb, fælles tanker om energisystem, vidensdeling samt mulighed for borgerinddragelse. De danske politikere bør derfor tænke i et meget længere perspektiv, og den langsigtede planlægning bør som minimum have en vision om implementering af havvindmølleparker der skal opfylde de målsætningerne som er fastsat, samt hvordan andre teknologier som landvind, sol og biogas skal samspille med dette. Ikke mindst pga problematikken omkring forsyningssikkerhed, men også fordi det danske energisystem generelt bør være fleksibelt og robust.

## 4.8 anbefalinger

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.0 | Det anbefales at der i langt højere grad sættes fokus på de systemtekniske behov der opstår i fremtidens energisystem, når vi skifter til fluktuerende VE-produktion som den primære energiproduktion i det danske samfund. Disse krav vil være i form af stigende behov for robusthed, fleksibilitet for at bibeholde en stærkt forsyningssikkerhed når sammenhæng mellem produktion- og forbrugsmønstre udfordres.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 1.1 | Det anbefales at de decentrale kraftværker i højere grad designs til langsigtet at kunne køre i kortere tidsperioder, og anvendes som regulerbar kapacitet, og dermed understøtte systemet i spidsbelastningsperioder. Dette skyldes også en forventning om at værkernes rentabilitet udfordres, op imod elprisen på den stigende VE-andel frem mod 2050.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 1.2 | I omstillingen af gasforsyningen vil biogassen være den ressource der skal substituere naturgassen. Biogas er dog langt mere udfordrende at producere end naturgassen. Her udfordres teknologien både i form af mængden af input, og de økonomiske omkostninger der gør det dyrt at producere. Derfor skal gassens rolle i fremtiden prioriteres til at dække en mindre del af det samlede energiforbrug i samfundet end den nuværende situation. Her anbefales at der planlægges mod et 2050 scenarie, hvor biogas primært anvendes til procesvarme i industrien, de dele af transportsektoren hvor en elektrificering er udfordrende, samt kunne fungere som en mulig del af den regulerbare kraftvarmeproduktion. |
| 1.3 | Landvindens rolle bør igen politisk prioriteres som en central del af kapacitetsudvidelsen i VE-anlæg fremadrettet. Hvis havvind langsigtet ses som den eneste løsning, til kapacitetsudvidelse på stor skala, ses dette som en forsimplet og dyr løsning. Der er store potentialer for landvind men dette vil ikke kunne udnyttes med de nuværende samfundsstrukturer.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 1.4 | For udnyttelse af landvindspotentialet kunne man se på områder som borgerinddragelse, ændring i energiaftalen fra 2018 vedrørende halvering af landvindmøller, ændring i afgifter og tilskud, økonomisk gevinst ved ejendoms ekspropriering, kapacitets opgradering af eksisterende møllepark, tværkommunale samarbejder omkring vindmølleplanlægning, fælles indkøb, fælles strategisk energiplanlægning. Overordnet set mangler der en statslig linje som sætter rammerne, og skaber et råderum, for at kommunerne i praksis vil kunne implementere landvind lokalt i langt højere grad.                                                                                                                           |
| 1.5 | Landvind kan også i højere grad understøtte forsyningssikkerheden, i samspil med havvind, hvis de to spor kapacitetsudvides sideløbende. Hvis man her formår at have decentraliseret vindmøllekapacitet vil dette medføre at produktion, grundet den geografiske afstand, i højere grad vil producere i forskellige tidsperioder. Man kan altså understøtte effekttilstrækkeligheden bedre på timebasis, i takt med at vinden rykker sig igennem forskellige områder.                                                                                                                                                                                                                                                |
| 1.6 | Ved brugen af markanlæg som implementeringsmetode for solenergi, er det                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |



|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | <p>vigtigt at der i den indledende fase, i design og planlægningen af anlæg, tages højde for de visuelle gener som disse store anlæg vil medføre. Hvis man i de enkelte cases her ikke formår at tage højde for denne barriere kan brugen af markanlæg ende med at blive nedprioriteret grundet lokal modstand, på samme vis som det har været tilfældet i en lang række eksempler for landvind.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1.7 | <p>Det anbefales for den samlede omstilling af energiproduktionen at der sættes langt mere fokus på kommunernes rolle. Her må staten tage på sig, at det for en stor del af omstillingen er statens rolle at skabe de bedst mulige rammer for at EU's direktiver realiseres i praksis, gennem lokale projekter i kommunerne. Decentraliseret implementering af VE på land medfører at projekter bør gennemføres lokalt i kommunerne. Derfor skal planlægningen og ressourcer til dette decentraliseres i langt højere grad så kommunerne opnår et kompetenceniveau der gør dem i stand til at udnytte de lokale potentialer. Systematisk brug af strategisk energiplanlægning i alle kommuner er her oplagt for at understøtte kompetenceniveauet i planlægningen. Derudover kunne man få frigjort potentialer ved at kommunerne får større råderum og planlægningsmuligheder over hele det samlede energisystem, på niveau med deres nuværende rolle i varmeforsyningen.</p> |

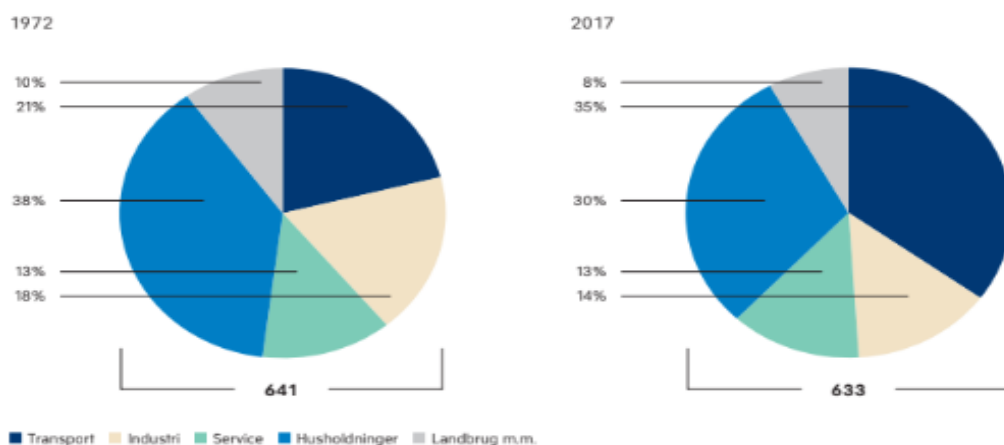
## 5. Elektrificering af varme- og transportsektoren

*Hvordan ses udviklingen i energiforbruget i takt med at fossile brændsler udfases, og hvilke teknologier bør implementeres?*

### 5.1 Indledning

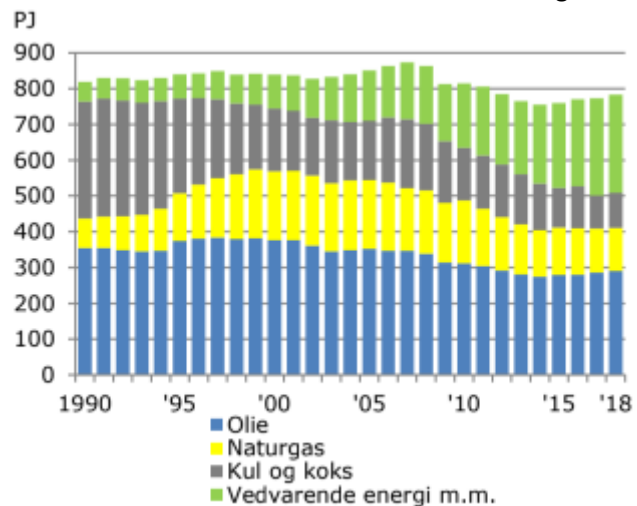
I dette afsnit vil udviklingen i energiforbruget blive kortlagt, samt fokus på hvilket behov der er i fremtiden ved omstilling til elbiler inden for personbiltransporten og omstilling af varmesektoren med henblik på husstandenes varmeforbrug. Hertil også hvordan og hvorfor det giver mening at implementere de udvalgte teknologier i forhold til den udvikling vi ser i fremtidens energiforsyning. Her med henblik på at diskutere de systemtekniske fordele ved teknologierne, i form af synergieffekter med den fluktuerende VE-produktion, som sideløbende med udfasningen af fossile brændsler er grundlaget for implementeringen. Det afgørende er her at forbrugssektoren gradvist omstilles til teknologisor som mest effektivt kan udnytte den store elproduktion der forventes fremadrettet. Disse teknologiske løsninger vil blive gransket, diskuteret og analyseret med henblik på hvordan omstillingen og planlægningen af denne skal finde sted. Herunder infrastruktur, regulering, statslig og kommunal planlægning, implementering samt politiske målsætninger.

Som det kan ses i figur 11 er transporten i 2017 den sektor i Danmark med det største energiforbrug på 35 %. Derudover står husstandene for den anden største andel, på 30 %, hvoraf 84,3 % af dette forbrug går til varmeforbruget (Energistyrelsen 2018 A). Derfor er der i denne analyse fokus på netop disse sektorer, og deres rolle i omstillingen fremadrettet.



Figur 11: Danmarks energiforbrug fordelt på sektorer, PJ (DrivkraftDanmark, 2019)

Når man i figur 12 ser det samlede forbrug, fordelt på energiformer, viser den historiske udvikling i perioden 1990-2018 at energiforbruget samlet set har været relativt stabilt. Man har her formået at udskifte en stor del af kulforbruget med VE, men olie og naturgas har tilsammen næsten samme andel som i 1990. Det er derfor altafgørende at man i langt højere grad begynder at få udfaset netop olie og naturgas, hvor det primært vil være gennem en radikal omstilling af transport og varmesektoren man vil kunne opnå en stor effekt. Her både i form af en bedre energieffektivitet i disse sektorer, og et stort potentiale for yderligere CO<sub>2</sub> reduktion.



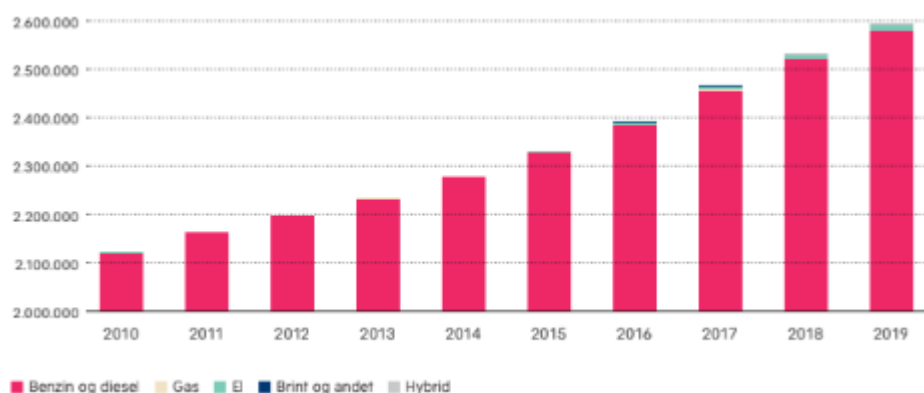
Figur 12: Bruttoenergiforbrug fordelt på brændsler (Energistyrelsen, 2018 A)

Elforbrugets udvikling har, ifølge Energinets miljørapport, været relativt stabilt i perioden 1990-2020, og fremskrives til at stige i perioden 2020-2028. Her vil elektrificeringen af transport- og varmesektoren spille en afgørende rolle. Hvis man her opnår en markant omstilling af disse sektorer, kan elektrificeringen medføre et større behov for yderligere kapacitet i elproduktionen (Energinet, 2019).

## 5.2 Transportsektoren

### 5.2.1 Indledning

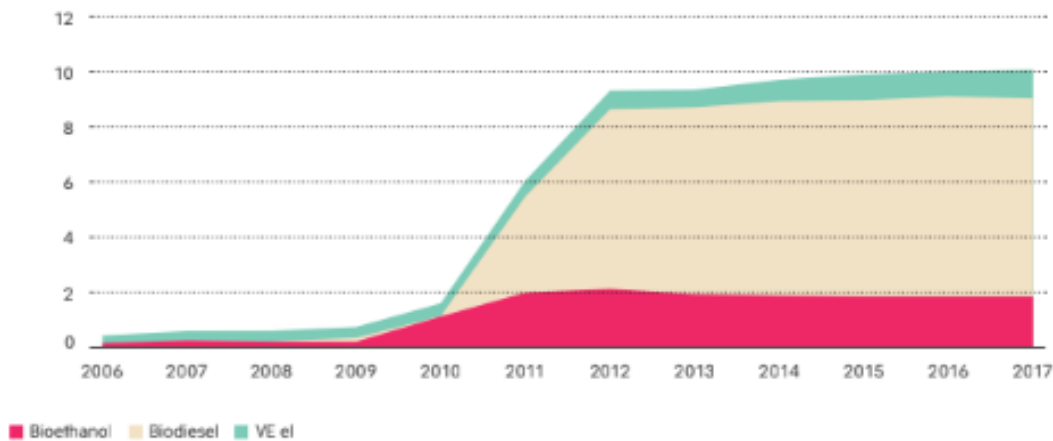
Transportsektoren stod i 2017 for 35 % af det samlede danske forbrug, hvilket er 221,55 PJ (DrivkraftDanmark, 2019). Det er altså enormt vigtigt at få omstillet denne del af forbruget, hvis man ønsker hurtig CO<sub>2</sub> reduktion. Transportsektoren har indtil nu været en sektor hvor man ikke har formået at skabe stor bæredygtig omstilling. Hvis man ser på udviklingen, i figur 13, af den danske bilpark i perioden 2010-2019 ses der en stor stigning i antallet af personbiler. Her er transportsektorens samlede CO<sub>2</sub> udledning ca. den samme i 2017 som den var i år 2000. Sammenhængen er her at der er kommet flere biler ind i systemet, men at disse sideløbende også er blevet mere effektive. Der er i perioden kommet næsten 500.000 flere personbiler ind i systemet, hvoraf kun en meget lille andel nu er andet end benzin og diesel biler.



Figur 13: Danmarks samlede bilpark, antallet af personbiler (DrivkraftDanmark, 2019)

Med tal fra Dansk elbil alliance ses der en stigning salget af el- og hybridbiler. Med en fordobling fra ca. 3 % i 2015 til lidt over 6 % i januar 2020, af det samlede nationale salg af nye biler (Dansk Elbil Alliance, 2020).

Når man ser på figur 14 klargøres det tydeligt at el andelen af den bæredygtige transport har en fortsat mindre rolle. Her har det været biobrændstofloven i 2010 der medførte stigningen i 2010-2012, i form af at olieselskaberne blev pålagt at blande bioethanol i benzin og diesel. For den lille el andel er det ifølge DrivkraftDanmark hovedsageligt el anvendt til togtransport, hvilket yderligere sætter fokus på hvor få elbiler der reelt er blevet implementeret i perioden.



Figur 14: Vedvarende energi i transporten, opgjort i PJ (DrivkraftDanmark, 2019)

Omstillingen af transportsektoren er dog ved at komme i fokus i disse år, og bidraget til den grønne omstilling er målsat igennem klima udspillet *Sammen om en grønnere fremtid* hvor den tidligere VLAK regering har sat et mål omkring udfasning af benzin- og diesel personbiler. Den sidste benzin- og diesel bil skal være indregistreret i 2030, og i 2035 skal salget af nye plugin hybridbiler ophøre. VLAK regeringen målsatte at i 2030 skal der være 1 million lav-emissions personbiler, og i 2050 skal der være nul-emission fra personbiler (Regeringen, 2018 B).

Når man ser på figur 14 er der lang vej hjem hvis man politisk fortsat ønsker at opnå målsætningen for 2030, hvormed det også må indtænkes at omstillingen af selve bilparken kun udgør en del af omstillingen. Her vil infrastruktur i form af opladning, elnettet og intelligent styring også være omfattende delområder som vil kræve politisk prioritering. Når personbiltransporten skal gennemgå en grøn omstilling til el, er implementering af infrastruktur afgørende for at understøtte det transportbehov som fremtidens samfund byder på. Transportens grønne omstilling kræver at man er på forkant med udviklingen i forhold til nye effektbehov der implicit ligger ved elbilernes indpas i samfundet og dertilhørende opladning, og de danske elnetselskaber ønsker at understøtte og facilitere dette (Dansk Energi, 2019 B).

### 5.2.2 Elektrificering af personbiltransporten

En grøn omstilling af personbiltransporten til el vil have konsekvenser for eldistributionsnettet. Når de politiske målsætninger for den grønne omstilling af transportsektoren er der 3 veje at gå, "Business as usual", den "smarte" og den "dyre" vej. Business as usual er en model hvor samfundet ikke bliver elektrificeret, og hvor leveringsomfang og kvalitet frem mod 2050 forbliver uændret. Det bliver brugt som referencepunkt for de to andre scenarier (Dansk Energi, 2019 B).

Den dyre vej er en model hvor personbiler, og opladningen af disse, er en del af en elektrificeret fremtid. Fleksibiliteten i det nye elforbrug fra opladningen er ikke eksisterende i denne model, hvilket stiller krav til elnettet. Elnettet skal være i stand til at oplade samtlige elbiler uanset tidspunkt og dermed skal det kunne understøtte et maksimalt effektbehov, og kantstensopladning i byområder er en forudsætning i dette scenarie (ibid.). Den smart vej er en model hvor forbrugsfleksibilitet som ny ressource i driften og optimeringen af nettet bliver aktiveret og baseret på en fremtid der indeholder elektrificering fra opladning af elbiler. I forhold til belastningen forudsættes det at det tidspunkt hvor nettet er belastet, her tænkes kogespids tidspunktet om aftenen, er det muligt at få flyttet opladningen af elbiler væk fra det tidsrum. Her vil ca. 85% af opladningen af elbilerne i lavspændingsnettet, dermed skulle flyttes til andre tidspunkter end den ovennævnte kogespids. Dette betyder også at 15% af opladningen er ufleksibel og dermed ikke kan flyttes væk fra kogespids tidspunktet om aftenen. Hertil er der to udfald, og der differentieres ved opladningsmetoden i byområder, hvor det ene udfald hviler på opladning ved kantstensopladning tilsluttet lavspændingsnettet og det andet på lynladning på centrale eltankstationer. Disse eltankstationer skal være tilsluttet mellemspændingsnettet, men der forudsættes heller ikke ved lynladning at fleksibiliteten skal aktiveres (ibid.).

### 5.2.3 Integration af elbiler frem mod 2050

Når integrationen af elbiler i eldistributionsnettet skal finde sted, er de økonomiske rammer for elnetselskaberne og hvordan de bliver tilpasset afgørende. Her bør et tillæg til indtægtsrammen etableres så elnetselskaberne kan få dækket de investeringer der er nødvendige for opnåelse af de klimapolitiske målsætninger der er fastlagt (Dansk Energi, 2019 B). Det er usikkert hvilke elbiler der kommer på markedet og hvordan den teknologiske udvikling vil påvirke implementeringen. Derfor er det

usikkert hvilke krav der vil være til elnettet samt hvilket behov det skal levere. Politikerne bør fokusere på hvad vi som samfund skal inden for denne sektor, og træffe beslutninger for hvad elnettet skal levere i fremtiden så elnetselskaberne kan investere efter dette (ibid.). Derudover vil tidlige politiske beslutninger gøre at elnetselskaberne er på forkant med det ryk ind som elbilerne vil gøre over de næste mange år. Dette er vigtigt da det er at forstærke hele elnettet fra et år til et andet er besværliggjort at investeringerne kommer løbende. Dertil yderligere besværliggjort af at elnetselskaberne bevæger sig ud på ukendt terræn investeringsmæssigt fordi behovet fra elkunderne vokser, men man ved ikke hvor meget og det er derfor svært at være foran. Balancen er her at sørge for at elkunderne ikke ender med en høj regning ved at være ansvarlig i forhold til hastighed, men samtidigt også sørge for det ikke går for langsomt, så det bremser el bilernes indtog (ibid.).

I forhold til forbruget er tariffer en måde hvorpå smart opladning kan fremmes og bevirke at danskerne oplader deres elbiler på andre tidspunkter der er mere gunstige for elnettet. Dertil skal alle ladestandere være fleksible og have mulighed for at kunne fjernstyres, så bilejeren kan opnå økonomisk gevinst. Denne økonomiske gevinst opnås ved indgåelse af aftale om en fjernstyret opladning der sker på tidspunkter hvor der ikke er trængsel. Dette kunne eksempelvis være om natten hvor belastningen og trængslen på elnettet ikke er stor (ibid.).

Ved gennemførelse af disse tiltag vil forbedret adgang til forbrugsdata for el muliggøres. Hermed vil de kommercielle aktører kunne udvikle produkter og service løsninger der giver elbilejeren et billigere elforbrug, grundet opnåelse af fleksibilitet. Dette betyder også at der er behov for at ladestandere og elbiler bliver mere detaljeret registreret, hvor elnetselskaberne så vil kunne følge forbruget af ladestandere samt udviklingen indenfor dette område. Hertil skal elnettets fleksibilitet og kapacitet tilpasses alt efter hvor elbilerne hører til i landet, og dette overblik kan skabes via en udvidelse med elbiler i motorregistret (ibid.). Øgning af den økonomiske pulje til etablering af ladeinfrastruktur fra 80 til 120 millioner frem mod 2025, bør især bruges til opstilling af hurtig og lynladere ved ejendomme, byer og offentlige veje (ibid.). Angående udbredelse af ladeinfrastruktur er der pr. 3 april 2020 indgået en aftale, og denne *Aftale om udmøntning af pulje til grøn transport 2020*, omhandler blandt andet en afsættelse af puljemidler på 50 millioner kroner til udbredelse af ladeinfrastruktur til elbiler og varebiler. Denne pulje omhandler specifikt ladestander infrastruktur på motorvejsnettet samt i byerne og uden for byerne. Her er fordelingen ca.  $\frac{1}{3}$  til hver, og

de givne ladestand operatører kan søge om midler til medfinansiering. Dette er målrettet hurtig- og lynladere samt lynladere på motorvejsnettet. Ydermere kan der søges om midler fra puljen af partnerskaber, som er styret af Vejdirektoratet, til demonstration koncepter vedrørende opstilling af ladestandere. Et kriterium for at søge disse midler er lige adgang for alle elbiler, hvilket betyder det skal være lige nemt uanset om opladningen foregår via en abonnements opladning eller opladning ad hoc (Transport- og Boligministeriet, 2020).

I sig selv er det fint at der bliver afsat støttemidler til opsætning af ladeinfrastruktur. Men set i lyset af de massive investeringer der skal til for at infrastrukturen i det danske samfund er tilpasset den fremtid vi går i møde, samt den hurtige udvikling der ønskes, står udmøntningen af disse midler ikke mål med målsætningerne. Dertil kan der argumenteres for at spredte initiativer som disse er lappeløsning på det der egentligt bør ske, nemlig en samlet investeringsstrategi for en fuld implementering af ladeinfrastruktur.

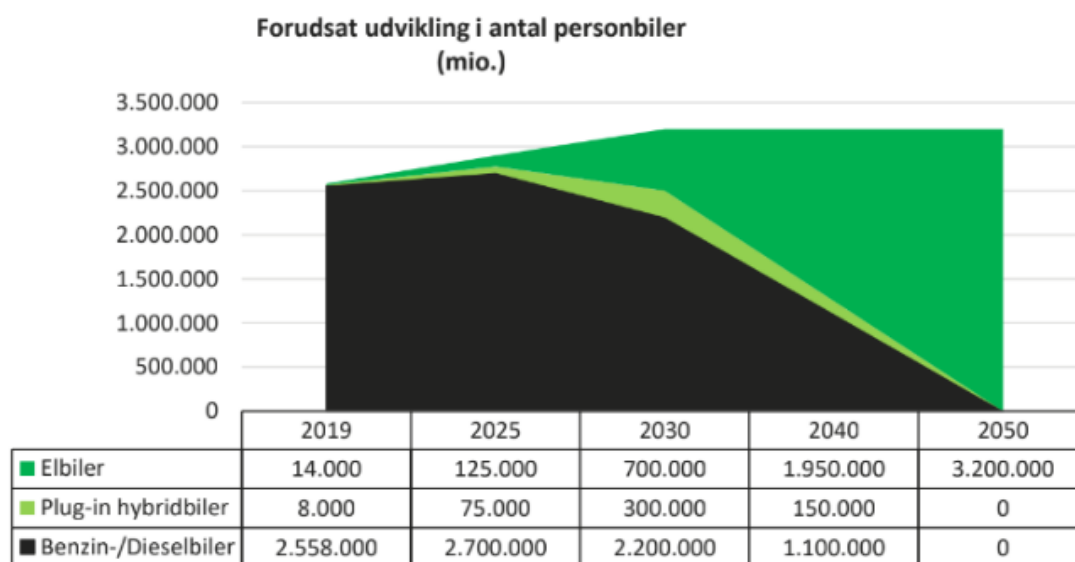
I aftalen er der også vist en vej til yderligere undersøgelser omkring offentligt tilgængelige ladestandere, ladestand operatørernes betalingssystemer og prissætning, offentlige udbud på udvalgte geografiske områder samt vilkårene for nettilslutning af offentligt tilgængelige ladestandere (Dansk Energi, 2019 B).

Disse skridt er helt rigtige at tage når man ønsker at optimere mulighederne for implementering af elbiler gennem forbedring af infrastruktur, i tillæg til de afsatte puljemidler. Her er det nok nærmere rækkefølgen der kan diskuteres. Man kunne vælge at lave et udkast for en samlet strategi for alle de nævnte områder, og derefter kigge på de økonomiske parametre der skal til for opfyldelse af disse. Dog er tankegangen omkring at gøre noget med det samme ved at afsætte puljemidler forståelig, da handling må og skal foretages.

Ud fra regeringens målsætninger som er nævnt tidligere, har Dansk energi foretaget en analyse inkluderende ind- og udfasning af de forskellige typer biler, dog undtaget de 10 % af personbilparken som ikke er privatejet så som firmabiler på hvide og gule plader. De vil som oftest lade på hjemmelader, men er ikke muligt at adskille fra ikke privatejede biler. Ca. 20 % af bilparken er knyttet til byområder, og grunden til den lille andel er at de ofte benytter andre transportformer modsat folk i villaområder som oftere benytter bilen. Tallene op imod hinanden siger at der er indregistreret henholdsvis 0,5



bil pr. husstand byområder og 1,2 bil pr. husstand i villaområder (ibid.). I figur 15 ses udviklingen i antallet af personbiler frem mod 2050:



Figur 15: Analyseforudsætninger om udvikling i bestanden af elbiler, plug-in-hybridbiler samt benzin- og dieselbiler (Dansk Energi, 2019 B)

For at sætte denne fremskrivning i relation til elbilernes påvirkning på transportsektorens forbrug, er der her regnet på et scenarie for denne sammenhæng. Her anvendes en effektivitet i form af et elforbrug på 0,227 KWh pr. km. Derudover arbejdes der med en forventning om at hver elbil vil køre 15.000 km om året. Hvis man regner ud fra eksemplet på en samlet bilpark på 3.200.000 elbiler i 2050 vil dette medføre et årligt energiforbrug på 39.225 TJ (Bilag 4). Dette bud på et årligt energiforbrug fra elbiler i 2050, kan her ses som denne del af transportsektorens elektrificering. Når man holder dette i relation til elsektoren i 2018, med en elproduktionen på 109.350 TJ og elforbrug 111.904 TJ, må de ca. 39.000 TJ i forbruget fra elbilerne ses som et relativt stort yderligere elforbrug, der skal tages højde for i planlægningen (Energistyrelsen, 2018 A).

Energiforbruget til vejtransport var i 2018 på 166.100 TJ og i persontransporten var forbruget på 165.986 TJ (ibid.). Her fremskrives det at 45 % af persontransporten vil være køretøjer, ud af et samlet transportforbrug på 133.000 TJ. Der må her tages højde for at der i denne fremskrivning var en større andel biobrændsler, op imod elforbrug i denne sektor (IDA, 2015). Her er der i scenariet ovenfor, med elbilernes forbrug på 39.22 TJ, regnet med at elbilerne vil have en langt større andel af bilparken. Derfor kan det altså konkluderes at i scenariet vil en bilpark på 3.200.000 elbiler

medføre et relativt lavt energiforbrug til denne del af den samlede transportsektor i 2050. Det forventes her at den bedre energieffektivitet elbilerne har opnået, op imod benzin- og dieselmotorer, vil være understøttende for at transportsektoren herigennem opnår en kombineret reduktion i både klimabelastning og energiforbrug gennem omstillingen til elbiler. Dette underbygges af et optimistisk perspektiv på elbilernes teknologiske udvikling. Elbilerne er for nuværende kun implementeret i en meget lille grad, og det forventes at den teknologiske udvikling der vil følge med når elbiler bliver den nye dominerende løsning på området i høj grad vil understøtte implementeringsmulighederne. Man må dog også tage højde for mulige teknologiske barrierer såsom batteriernes udvikling.

Anders Hasselager belyser at også at antallet af tilgængelige elbils modeller på markedet for danskerne på nuværende tidspunkt ligger på 10, men når året er slut vil op mod 30 elbiler være på markedet (Bilag 2). Dette bevidner at udrulning hastigheden af ladestandere bør ske i et langt højere tempo, da udbuddet af elbiler er stigende og det er en tendens der bare vil fortsætte over årene. Det afgørende spring vil derfor være om infrastrukturen er designet til denne fremtid, samt om de elbiler der kommer på markedet de kommende år falder i pris eller afgiften bliver reguleret så en større bestanddel af danskerne får mulighed for at skifte til en elbil. Disse faktorer vil være essentielle at fokusere på hvis de ønskede målsætninger skal opfyldes. Rasmus Munch Sørensen belyser dette i følgende citat.

“ [...] det her med afgifter og tilskud, så er det jo den måde man fremmer elbiler i Danmark på i dag, er jo igennem en markant afgiftslempelse på indkøbet af elbilen sammenlignet med fossile biler [...] ” (Bilag 1: 9).

Derudover understreger Per Homann Jespersen hvilke faktorer der kan være medvirkende til at elbilerne får nemmere vilkår for at blive udrullet på det danske marked. Her er 3 parametre nævnt: at sørge for at lade infrastrukturen er på plads så det ikke bliver en barriere når elbiler skal oplades, samlet strategi som viser borgerne at benzin- og dieselmotorer ikke er fremtiden og hvor eksempelvis kun elbiler må køre i København fra 2030, samt beskatning af benzin- og dieselmotorer (Bilag 3).

Man kan argumentere ud fra disse ekspertudsagn, at afgifts- og beskatningsgrundlaget for elbiler kontra benzin- og dieselmotorer er essentielt hvis man ønsker at rykke store dele af befolkningen over på en grønnere transport løsning. Hertil mener

Per Homann Jespersen at private aktører skal stå for etableringen af ladeinfrastruktur, med mindst muligt statsligt tilskud (Bilag 3).

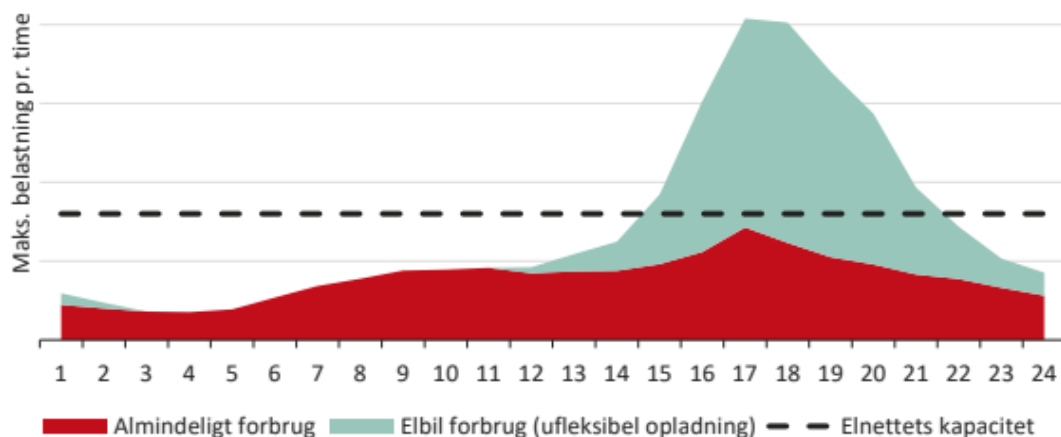
Dette er en fornuftig pointe, men som der vil blive belyst senere hen kunne en model være en kombination af ageren fra statslig side i et samarbejde med private aktører, hvor staten i form af Vejdirektoratet opstiller ladestander infrastrukturen hvorefter private aktører tager over og driver, samt vedligeholder denne infrastruktur. Dertil også at private aktører helt og holdent står for dette.

#### 5.2.4 Elbil opladning og fremtidige investeringer

Effektbehovet i elnettet vil i 2050 være væsentligt anderledes end i dag når personbiltransporten omstilles til elbiler. I 2050 kan effektbehovet være op til 7 gange større i villaområder end det er i dag, og tilsvarende for byområder hvor det vil være op til 5 gange større. Det vil altså sige at elnettet, grundet forventningen om en markant stigning i antallet af elbiler, vil blive en del mere presset end det er i dag.

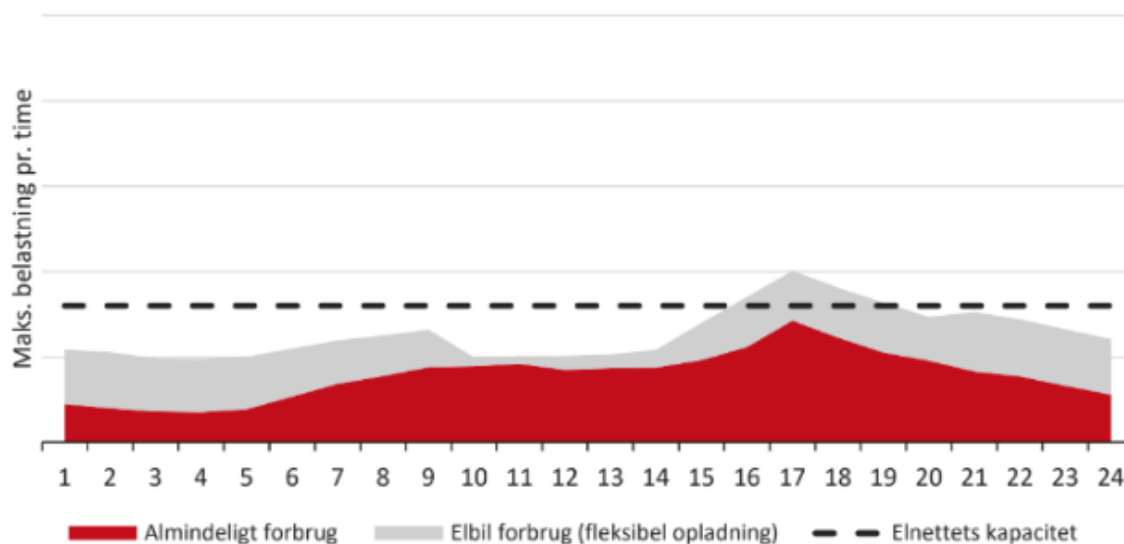
Dette er ved at vælge den dyre vej. Optimering af netkapaciteten kan ske ved at aktivere fleksibilitetspotentialet i elbilopladningen, og dermed reduceres behovet for så stort et effektbehov. Opnåelse af dette kan ske ved at indføre tidsdifferentierede tariffer, men også ved at kunne afbryde og nedregulere ladestander. Forskellige incitamenter kan gøre at trækket på elnettet bliver mere fordelt, og hvis dette fleksibilitetspotentiale kan frigøres er effektbehovet langt lavere ved fuld elektrificering af personbiltransporten i 2050. Dermed vil effektbehovet i villaområder blive ca. 3 gange større og en lille øgning i byområder (Dansk Energi, 2019 B).

Hvis man vælger at gå den dyre vej indbefatter det ufleksibel opladning i villaområder, og bilejerne skal kunne oplade bilen hvornår de vil og så hurtigt som muligt i disse forudsætninger, og derudover betragtes bilejerne som pendlere der arbejder i dagtimerne og kommer hjem ca. samtidigt. Hvis man vælger at gå med den dyre model hvor ufleksibel opladning er i fokus, betyder det en situation hvor man ikke påvirkes af kapacitetsbegrænsninger i elnettet eksempelvis i spidslastsituationer. Ydermere er ladeprofilen ikke afhængig af prissignaler fra elmarkedet og elnettet (ibid.).



Figur 16: Illustration af ladeprofil ved ufleksibel opladning (dyrt scenarie) (Dansk Energi, 2019 B)

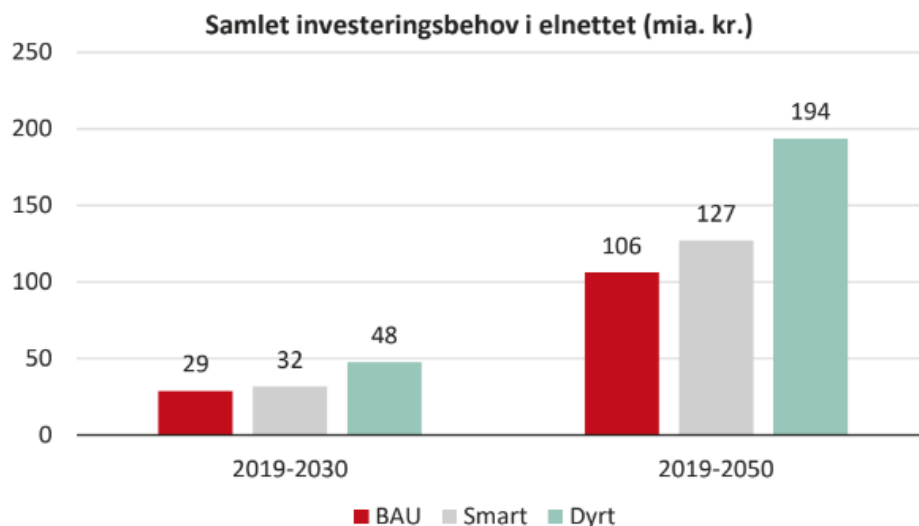
Som det ses i figur 16 vil en stor andel af ufleksibel opladning medføre et stort elforbrug, oven i den nuværende kogespids, hvilket står i direkte modsætning med målsætninger om at skabe samspil mellem forbrug- og produktionsmønstre. Det må her være et politisk fokus at udligne forbruget så effektivt som muligt, så man undgår økonomiske udgifter til lagring og/eller behov for transmission, som i forvejen vil blive presset af den stigende fluktuation i produktionen. Hvis man vælger at gå den smarte vej er fokus på en fleksibel opladning hvor opladningen kan flyttes til andre tidspunkter. Det forudsættes her at bilejerne flytter deres elforbrug med opladning af elbilen til mere gunstige tidspunkter for elnettet. Dette kunne være når elforbruget er lavt, men også en begrænsning af ladeeffekt i pressede tidsperioder vil have effekt. Dertil skal opladningen kunne styres som en forudsætning, samt det forudsættes at den spidseffekt der er ved hver husstand stiger med dobbelt hastighed af energibehovet (ibid.). Ved valg af den smarte vej skal opladningen af elbilerne dermed tage højde for den givne elpris og kapaciteten i elnettet. Man skal dog være opmærksom på at fuld opnåelse af dette fleksibilitetspotentiale ser svært ud, da forudsætningen er at elbil ejerne selv kan styre opladningen, og dermed ikke alle elbiler der opnår fleksibel opladning. Ydermere skal forbrugerne kunne købe el når priserne er lave, og dertil skal det fleksible forbrug fra elbilerne kunne udbydes. Dette skal ske på markedet for systemydelse. Derudover vil opladningen af elbilerne og disses tilpasning til distributionsnettets kapacitet bevirke at systemoperatørerne vil opleve begrænsninger i forhold til at kunne balancere det samlede system ved brug af elbiler (ibid.). Herunder ses ladeprofilen ved fleksibel opladning:



Figur 17: Illustration af ladeprofil ved fleksibel opladning (Smart scenarie), eksemplet er for en villavej med 48 parcelhuse, uden elvarme og med 48 elbiler med en ladeeffekt på 3,7 kW (Dansk Energi, 2019 B),

Opladning i byområder via hurtig- og lynladere er en del af forudsætningen hvis man vælger den smarte vej, og herunder hører en ufleksibel opladning da opladningen skal kunne ske hurtigt og akut. Disse lynlader stationer vil hovedsageligt skulle bruges i dag- og aftentimerne, hvilket betyder at de følger de forbrugsmønstre vi ser idag for regulære tankstationer (ibid.).

Investeringsbehovet er forskelligt alt efter om man vælger den smarte eller den dyre vej. Ved at vælge den smarte vej er kapacitetsudfordringerne i elnettet overskuelige frem mod 2050, men kræver dog at det gamle net udskiftes løbende som det bliver forældet. Dette drejer sig om ca. 75-80% af lav- og mellemspændingsnettet da det er fra 70'erne og 80'erne, hvilket betyder at der skal investeres massivt over de kommende år. Disse investeringer i elnettet drejer sig om 29 mia. frem mod 2030 og yderligere 77 mia. frem mod 2050. Dette er udelukkende for at få elnettet opgraderet til moderne standarder, da leveringsomfang- og kvalitet skal opretholdes. Det er en nødvendighed da elbiler ellers ikke vil kunne udrulles grundet spændingsfald og afbrydelser. Investeringerne i elnettet og opgradering til moderne standard er dog ikke nok i sig selv for at øge til den kapacitet som skal understøtte den smarte vej og dyre vej. I figur 18 visualiseres det økonomiske potentiale der af Dansk Energi vurderes ved brugen af smarte løsninger i planlægning. Der ses et signifikant økonomisk incitament til at forfølge den smarte vej hvor understøtning af fleksibilitetspotentialet er i fokus (ibid.).



Figur 18: Samlet investeringsbehov i elnettet (Dansk Energi, 2019 B)

Per Homann Jespersen gør sig desuden nogle tanker omkring hvordan elnettet skal styrkes og finansieres. Her er modellen at på baggrund af en liberaliseret el sektor bør elnettet udbygges i takt med der bliver solgt mere el og dermed finansiering igennem taksterne (Bilag 3). Denne liberale model er en mulighed, men synes ikke stærk nok til at imødegå de udfordringer som det danske system står overfor med et ønske om omstilling til elektrificeret persontransport med elbiler. En model kunne være en blanding af den smarte og dyre vej samt Jespersens model. Altså at fleksibilitetspotentialet bliver forløst via ændringer i elafgiften så man flytter opladning væk fra kogespids tidspunktet, at indtægtsrammen bliver tilpasset så elnetselskaberne ikke møder finansieringsunderskud samt at indtægter fra salg af mere el i fremtiden bliver kanaliseret over til udbygning af infrastruktur. Her kunne en mindre prisafgift til den solgte el blive øremærket til investeringer i infrastrukturen. Hermed vil man ikke fastlægge sig på et bestemt spor og dermed satse på dette opfylder fremtidens kriterier, men lave en mere sammenfattet model hvor forskellige parter bliver tilgodeset.

### 5.2.5 Regulering

Elnetselskaberne oplever barrierer i den økonomiske reguleringsmodel, og dette betyder at finansieringen af de investeringer som er nødvendige ikke bliver dækket. Dette skyldes at totalomkostningerne vokser, men indtægtsrammen ikke følger med da korrektionen af denne sker bagud hvert 5. år inden for den nuværende regulering.

Dermed opstår der finansieringsunderskud for elnetselskaberne da investeringerne øges år for år grundet fornyelse af elnettet så det er klar til elbilerne. Dette finansieringsunderskud ligger på mellem 75-180 % af indtægtsrammerne. Netselskaberne bør kompenseres med et tillæg som understøtter fremtidige investeringsbehov og modvirker finansieringsunderskuddet. Dette kan tilføjes til den økonomiske regulering (Dansk Energi, 2019 B).

Dog er denne form for regulering ikke nok hvis man ønsker at implementere elbiler baseret på den smarte vej. Her vil opladning skulle flyttes væk fra kogespids tidspunktet ved hjælp af regulering, og prismekanismer skal sørge for at elbilerne kobles fra når prisen overstiger et vist niveau. Anders Hasselager understreger dette:

“ [...] aktiv regulering og brug af prismekanismer, bliver den måde man får skubbet tingene. Og det er klart at det bliver ikke bare de her små-ører som vi ser i hovedstadsområdet i øjeblikket, det skal op på noget der virkelig batter noget før at det virkelig giver god mening [...] ” (Bilag 2: 6).

Ved valg af den smarte vej giver det derfor mening at vurdere hvorvidt højere priser og fastsættelsen af disse skal være markante så omstillingen der ønskes finder sted. Naturligvis kunne en regulering få flyttet en vis del, men med en målsætning på 85 % der skal flyttes fra kogespids tidspunktet, må der drastiske metoder i brug. Anders Hasselager belyser at en fordobling måske er det der skulle til “ [...] hvis man virkelig mener det på sigt så lad da bare prisen gå op til det dobbelte, så skal du se at der nok er nogle der skal få gjort noget [...] ” (Bilag 2: 6).

Et tiltag den tidligere regering har indført er el afgiftslempelser for proces-elaftgift i forbindelse med opladning af elbiler, og disse er forlænget til og med 2021 (Folketinget, 2019). Man kan argumentere for at indtil det rette prisniveau er fastsat burde man lade denne ordning køre videre for at fremme el bilernes indtog på markedet. Hertil kunne generelle betragtninger være at elbiler skulle have mere fordelagtige vilkår, så folk ser lyset i at investere i disse ud fra et økonomisk perspektiv.

### 5.2.6 Infrastruktur

Når omstillingen til fremtidens elektrificerede personbiltransport skal finde sted, er implementering af infrastruktur afgørende. Det skal være nemt og hurtigt for forbrugerne at oplade deres elbil, og derfor er ladestandere en vigtig del af infrastrukturen. Hertil skal der afsættes penge til en pulje til opsætning af ladestandere.

Disse ladestandere skal sættes op i det offentlige rum, grundet de kunder som bor i ejendomskomplekser ikke har mulighed for at opsætte egne ladestandere. Derudover får lynladere en rolle væsentlig rolle da de skal overtage istedet for tankstationer, og udbredelsen af disse er derfor essentiel da folk skal kunne oplade langs motorvejen og i byerne.

Der var i 2019 15.205 elbiler og plug in hybridbiler, og man har formået at oprette 29 tankstationer der kan oplade disse biler. Der er her 2.034 normale tankstationer der understøtter brugen af den dominerende del af bilparken på 2.580.000 fossil drevne personbiler (DrivkraftDanmark, 2019). Disse tal inddrages for at sætte fokus på hvor enormt langt man er fra at opnå et reelt paradigmeskift i persontransporten, til et bæredygtigt forbrug der stemmer overens med de politiske linjer for sektoren frem mod 2030. Det er her godt at transportsektorens omstilling er kommet politisk i fokus, men hele omstillingen ligger stadig foran os. For at denne udbredelse finder sted kunne vejdirektoratet nettilslutte lynladere på rasteplader. Når de er nettilsluttet kan de efter en periode udlejes til kommercielle ladestandardoperatører (Dansk Energi, 2019 B).

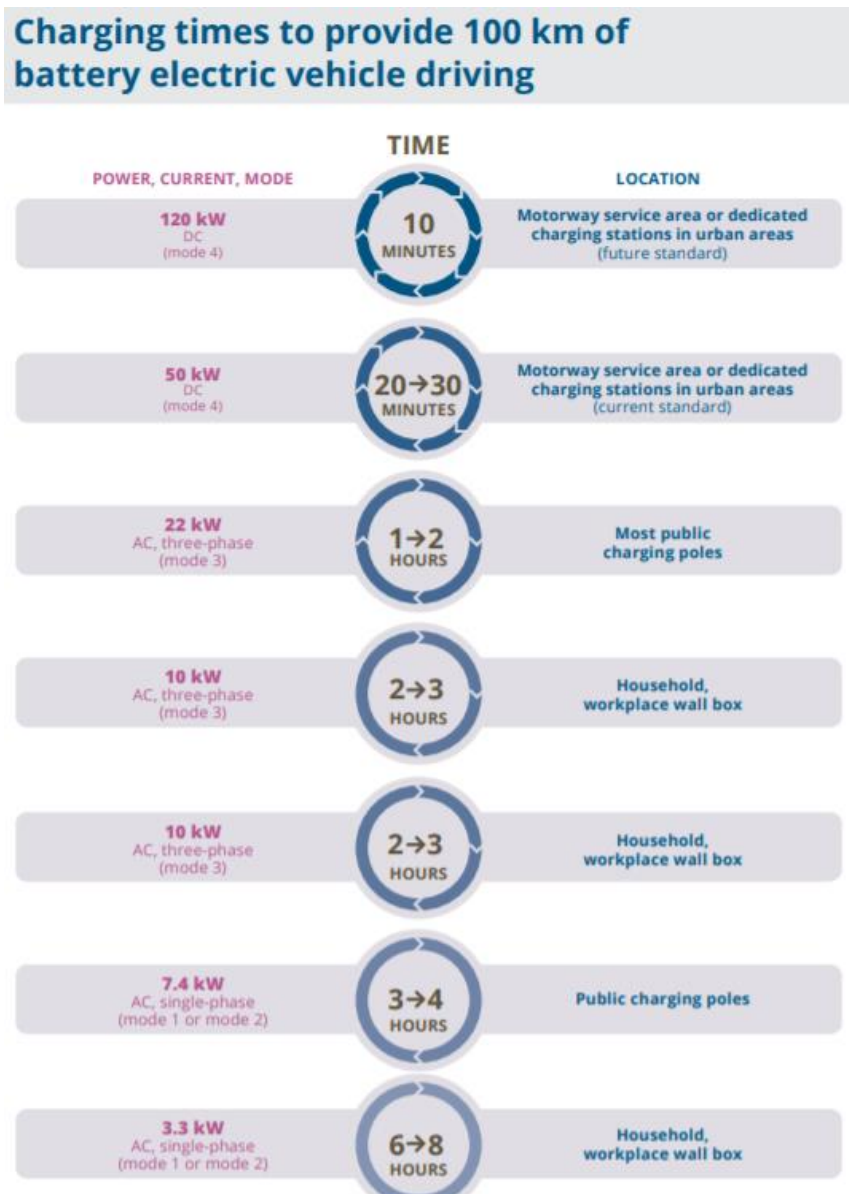
På Bornholm har man en model hvor staten, her Vejdirektoratet, investerer i alt det der ligger under jorden, det vil sige gravearbejde og nettilslutninger. Efterfølgende bliver ladestandardoperatørerne udbudt muligheden for at investere og byde på de installationer der skal være over jorden. Dette drejer sig om de konkrete ladestandere, oprettelse af abonnementsordninger, skabelse af gode betalingsløsninger samt konkurrencedygtige priser. Den underjordiske investeringer tilbagebetaler de, og dette sker via en omsætningsafgift (Flader og Kudsk, 2020).

Generelt set skal ladestandere udbredes i det danske system, og herunder ses den udbredelse af ladestandere og ladeeffekt som skal implementeres i systemet:



| Ladested                                 | Offentlig ladestander                                                             | Arbejdsplads, indkøbscentre, parkeringshus, parkeringspladser mv.                  | Carport, indkørsel eller kantsten                                                   |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                          |  |  |  |
| Type af ladestander                      | Lynlader                                                                          | Hurtiglader                                                                        | Hjemmelader                                                                         |
| Ladeeffekt                               | 100-350 kW                                                                        | 20-100 kW                                                                          | 3,7-11 kW                                                                           |
| Antal ladestander i 2030                 | 4.000                                                                             | 7.500                                                                              | 850.000                                                                             |
| Ladefordeling for biler fra villaområder | 15 pct.                                                                           |                                                                                    | 85 pct.                                                                             |
| Ladefordeling for biler fra byområder    | 50 pct.                                                                           | 40 pct.                                                                            | 10 pct.                                                                             |

Tabel 5: Analyseforudsætninger om type, effekt og udbredelse af ladestander samt fordeling af anvendelse for elbiler hjemmehørende i villa- og byområder (Dansk Energi, 2019 B)



Tabel 6: Charging times to provide 100 km of battery electric vehicle driving (European Environment Agency, 2016)

En høj kapacitet i den samlede ladestand vil understøtte elbilerne på flere områder, men må også ses som en stor økonomisk udfordring, da de indledende anlægsinvesteringsomkostninger må forventes at blive omfattende frem mod 2030. Man kan argumentere for at alle type ladestationer selvfølgelig er vigtige. Men hvis man skulle starte med at afsætte midler til et specifikt område kunne ladestanderne ved motorveje og eltankstationer være en god idé at kigge på først. Dette skyldes at opladningen sker hurtigt, samt at mange mennesker benytter motorvejsnettet til og fra arbejde og vil have nem adgang til eltankstationer, samt at mange offentlige institutioner i forvejen har mulighed for opladning. Dermed vil en stor del af bilparken

kunne have opladningsmuligheder, men der er selvfølgelig stadigvæk store problemer for dem som ikke benytter motorvejsnettet og ikke arbejder et sted med mulighed for opladning. Man skal dog være opmærksom på at i takt med at elbilerne vinder frem i det danske samfund vil en prioritering af motorvejene og eltankstationer langt fra være nok, og en samlet løsning er derfor klart at foretrække.

Der er forskellige muligheder for aktører inden for transportsektoren at påvirke og eventuelt fremme tilvæksten af elbiler. Elbilproducenter kan fx gøre brug af diverse opladnings aftaler med forbrugerne. Sådanne aftaler ses i Teslas initiativ, hvori de giver forbrugerne gratis opladning ved brugen af nogle typer af deres elbiler (European Environment Agency, 2016). Dette initiativ kunne andre bilproducenter også gøre brug af og de behøves ikke være udformet på samme måde, som Teslas med gratis opladning. De kunne fx give forbrugerne en vis mængde elektricitet der kunne oplades gratis med efter købet af deres modeller, eller indføre perioder med favorable købsordninger for elektriciteten til opladningen af elbiler. I forhold til konstruktionen af opladningsstandere og en overordnet opladningsstruktur, vil det her give mening hvis de forskellige operatører af ladestandere og bilproducenterne laver nogle universelle løsninger i forhold til brugen af deres produkter. Med sådanne universelle løsninger til brugen af deres produkter, menes betalingsformer og opladning, i form af en vis ensartethed i produktkonstruktion. Dette vil gøre det nemmere for forbrugerne at benytte et væld af forskellige elbilsmodeller og betalingsformer, ved opladningen af elbilen ved forskellige operatørers ladestandere. Derved vil valget af forskellige elbiler og betalingsformer ikke være begrænsende for hvor der kan oplades. Der er flere lignende tiltag der kan implementeres for at fremme omstillingen til elbiler. Frederiksberg Kommune har i deres elbil strategi fra 2019 *Frederiksberg Elbilby nr. 1*, fremlagt flere forskellige initiativer der er tiltænkt at øge væksten af elbiler i kommunen. Disse tiltag inkluderer opsætning af ladestandere, sådan så Frederiksbergs borgere kan få opladt deres elbiler og gratis parkering i kommunen hvis man kører i en elbil. Deres tiltag med opsætning af ladestandere, så borgerne på Frederiksberg har mulighed for at oplade elbilerne, er udformet ud fra et ønske om at sikre gode opladningsmuligheder for borgere i hele kommunen. Tiltaget er opgjort i en målsætning for 2023 og 2030, hvori der arbejdes mod at sikre borgere i etagebyggeri adgang til ladestandere med en minimumsafstand på hhv. 500 og 250 meter. Dette tiltag og tiltaget med at tilbyde gratis parkering i kommunen for elbiler, skal medvirke

til at kommunen opnår deres målsætning om at blive Danmarks førende elbil by og øge andelen af elbiler fra 0,5 % til 20 % i 2030 (Frederiksberg Kommune, 2019). Sådanne forskellige tiltag kan være incitamentsskabende for forbrugerne at omstille deres bilpakke til elbiler.

Men hvis man her arbejder ud fra et scenarie hvor i Danmarks bilpark er på 3,2 mio. personbiler i 2030, hvoraf 1 mio. er elbiler svarende til 31,25 % af den nationale bilpark, er den statslige målsætning altså langt over hvad man lokalt har sat som målsætning i Frederiksberg Kommune. Der er altså langt fra de politiske målsætninger der arbejdes med i et statsligt perspektiv, holdt op imod hvad der i kommunerne politisk opfattes som mere end fyldestgørende. Man kan her se et eksempel på hvor langt der er fra hvad der statslig omtales i folketinget, og hvordan den reelle forandring planlægges i praksis på lokalt niveau. Derudover kan private aktører, der udbyder ladestandere både privat og offentligt, komme til at overhale Frederiksberg Kommune indenom. Clever udbyder ladestandere både privat og offentligt, og de har en abonnementsordning med fast pris for opladning, samt fri adgang til hele deres ladestander netværk (Clever, 2020).

I forhold til aktører på lokalt niveau understreger Anders Hasselager at den store udfordring er at få de forskellige samfundsaktører til at forberede sig på en fremtid med elbiler. Kommunerne er så at sige ved at finde deres egne ben, og hvordan implementering af ladestandere som elbil infrastruktur skal ske (Bilag 2). Det kan dog her for kommunerne blive svært at lave strategier for infrastrukturen indledende, hvis der ikke i høj grad sættes en politisk linje på området. Man kan argumentere for at hvis man ønsker et samfund hvor elbiler er en stor del af transportsektoren, bør der lægges fællesstrategier både fra statsligt og kommunal side. Der bør være synergi mellem det der ønskes fra statslig side og kommunernes reelle mulighed for at omstille til denne infrastruktur. Her kunne staten via Vejdirektoratet opstille de nødvendige ladestandere i kommunerne, og så lægge en plan for hvordan driften kan overtages af kommercielle aktører eller de enkelte kommuner, og i hvilket tempo netop den lokale kontekst skal omstilles. Eksempelvis vil det give god mening først at få implementeret de nødvendige ladestandere der hvor det giver mening i forhold til den geografiske kontekst og allerede eksisterende infrastruktur. Dette vil i første omgang skabe en divergens mellem land og by, men et sted skal der tages fat først og en omstilling skal igangsættes hurtigst muligt.

Ydermere udtaler Hasselager at større ladecentraler på kommunalt niveau giver mening at placere der hvor transmissionsnettet er stærkt, så udgifter til at trække strøm bliver minimeret (ibid).

Per Homann Jespersen understreger desuden behovet for langsigtede målsætninger der viser veje til at køb af fossil biler ikke er en rentabel løsning i fremtiden. Dertil også nogen planer omkring planlægning og udbud af infrastruktur, samt helt skrotte ideen omkring stop af fossil bil salg i 2030 og hellere vise vejen til hvorfor det er en dårlig ide at investere i denne type bil (Bilag 3). Denne tankegang omkring statslig ageren der viser vejen til en grønnere fremtid ved køb af elbil frem for fossil bil, samt klar planlægning og udbud af infrastruktur, vil være rammesættende for hvordan den danske befolkning opfatter seriøsiteten omkring overgang til elbiler.

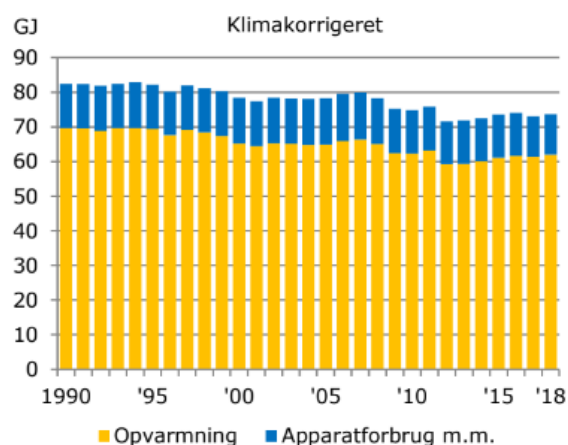
## 5.3 Varmesektoren

### 5.3.1 Indledning

Den følgende analyse vil fokusere på omstillingen af varmesektoren, og den løbende elektrificering der kan ske i sektoren, for at den stigende elproduktion fra fluktuerende VE-produktion kan anvendes bredt i varmekonsumet.

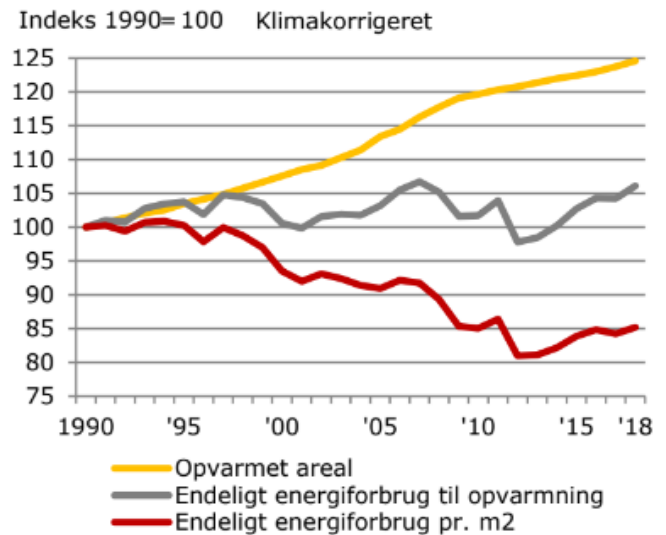
I analysen er den overordnede systemtilgang at fjernvarme bør udbredes og anvendes i de områder hvor det er muligt. Herefter vil nabovarme med henblik på senere indfasning i et fjernvarmenet, eller som langsigtet løsning, blive anvendt til mindre cases hvor den konventionelle fjernvarme metode ikke vil være konkurrencedygtig. Til de afsidesliggende cases hvor hverken fjernvarme eller nabovarme vil være muligt er svaret derfor individuel forsyning. Disse forsynings løsninger vil blive diskuteret for at finde frem til hvilke teknologier der vil kunne anvendes til hver af løsningerne, både kort- og langsigtet, for derved at finde frem til hvilke barrierer der må tages højde for, hvis man ønsker stor skala omstilling af varmesektoren gennem brugen af disse løsninger og teknologi spor. De danske husholdningers endelige forbrug til opvarmning er steget med 6,1% i perioden 1990-2018, imens nettoenergiforbruget er steget til 13,8 % (Energistyrelsen, 2018 A). Med nettoenergiforbruget menes opvarmning af brugsvand samt rumopvarmning. Det lokale tab af energi der finder sted hos forbrugerne der bruger eksempelvis olie og naturgas, og er det der differentierer det endelige energiforbrug og nettoenergiforbruget, da nettoenergiforbrug forstås som den rent faktisk anvendte energi. Årsagen til at nettoenergiforbruget er steget beror på at det opvarmede areals vækst er større end reduktionen i forbruget, her målt pr. m<sup>2</sup> (Energistyrelsen, 2018 A).

Hvis man ser på figur 19 og holder husstandenes varmekonsum op imod elforbruget kan man se at varmekonsumet på 84,3 % står for den primære andel af

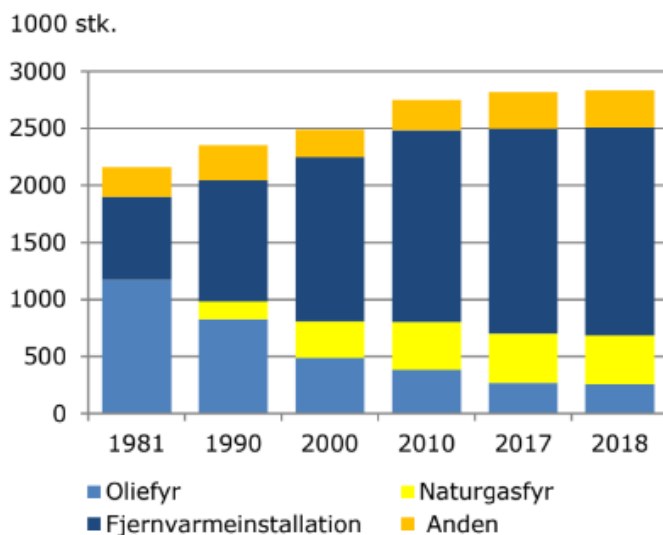


Figur 19: Energiforbrug pr. husholdning (Energistyrelsen 2018 A)

energiforbruget. Det samlede energiforbrug i husholdningerne er i perioden 1990-2018 faldet med 10,7 %. Dette står dog i modsætning til opvarmningen, som det kan ses i figur 20, hvor der ses en stigning i forbruget over perioden. Denne udvikling skyldes den store stigning i det opvarmede areal på 24,6 % over perioden. Her er energiforbruget anvendt pr. m<sup>2</sup> faldet med 14,8 %, men der udvides altså i større grad end de energibesparelser der opnås gennem teknologisk udvikling i byggeriet.



Figur 20: Energiforbrug til opvarmning i boliger (Energistyrelsen, 2018 A)



Figur 21: Varmeinstallationer i boliger (Energistyrelsen, 2018 A)

Når man ser på udviklingen, i figur 21, af varmeinstallationer til boliger ses det at man har formået at opnå en stor udfasning af oliefyr, som grundet den store forureningsgrad blev den første brændselstype man politisk søgte helt at udfase.

En del af disse udfasede oliefyr er blevet omstillet til naturgasfyr, en anden fossil forsyningsmetode, som dog har en mindre klimabelastning. Naturgassen er derfor som løsning vundet ind på markedet og har nu opnået en væsentlig andel af forsyningen. Hvis man her ser på udviklingen i et langsigtet perspektiv mod 2050, kan naturgassen ses som en midlertidig løsning. Naturgassen medførte i en lang række cases, hvor fjernvarmen ikke kunne anvendes, at man opnåede en hurtig CO<sub>2</sub> reduktion, men må også søges nu at blive udfaset så varmesektoren kan blive fossilfri frem mod 2050. Her bliver fjernvarme som sagt det primære løsningsforslag, og vil derfor være det indledende fokus i den kommende analyse.

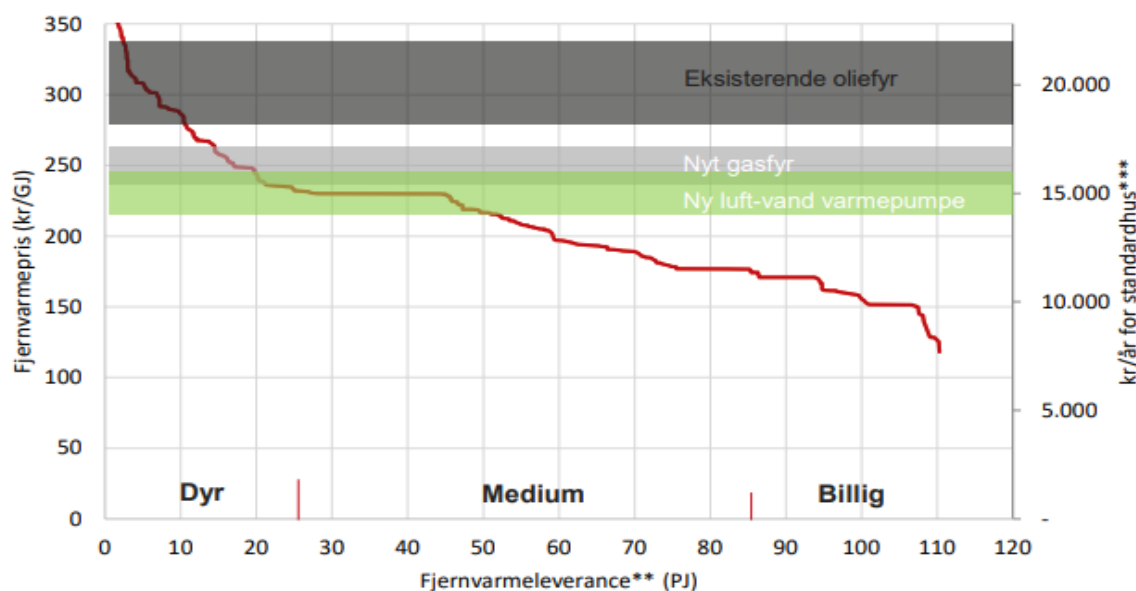
## 5.4 Fjernvarmens rolle

Fjernvarme er den dominerende opvarmningsform i Danmark i dag, den overhaledede i 1980'erne individuel opvarmning med oliefyr, og står i dag for ca. 50 % af opvarmningen af bygningsmassen. Samlet i Danmark er der 2,8 millioner varmeinstallationer, og fjernvarmeinstallationer udgør over 60 % af disse (Ea Energianalyse, 2017). Fjernvarmen opnåede i 2018 en andel på 64,4 % af boligernes varmeinstallationer og er som sagt det primære løsningsforslag frem mod 2050. Hvis man ser på figur 22 ses det at langt størstedelen af fjernvarmeforsyningen har en god økonomisk konkurrenceevne, men også at der i denne forsyning er et stort spænd mellem den dyreste og billigste forsyning. Her ses det at 25 PJ af fjernvarmeforsyningen defineres som billig, med en årlig omkostning på 8-12.000 kr. pr. husstand. Omvendt er der 25 PJ som defineres som dyr med en årlig omkostning på mindst 15.000 kr, hvoraf 5 PJ af forsyningen er helt oppe over 20.000 kr (Dansk Energi, 2018).

Det kan derfor konkluderes at langt størstedelen af fjernvarmeforsyningen har en god driftsøkonomi, set op imod de individuelle varmeinstallationer. Hovedsageligt er pointen at fjernvarmen, case afhængigt udfordres økonomisk, men at man bør anvende den i så vid grad som muligt, hvis man ønsker lave driftsomkostninger og høj energieffektivitet i varmesektoren gennem kollektiv forsyning. Fjernvarmeværkets brændselsforbrug og varmetab, der skifter alt efter afstandsforhold, er her de afgørende faktorer for prisen hos slutbrugerne. Eksempelvis har fjernvarmeværker der opnår lave driftsomkostninger gennem brug af kul som brændsel en billigere forsyning end værker der i højere grad er omstillet til naturgas og/eller biomasse (ibid.).



### Fjernvarmepris samt prisniveauer for olie- og naturgasfyr samt individuel varmepumpe\*



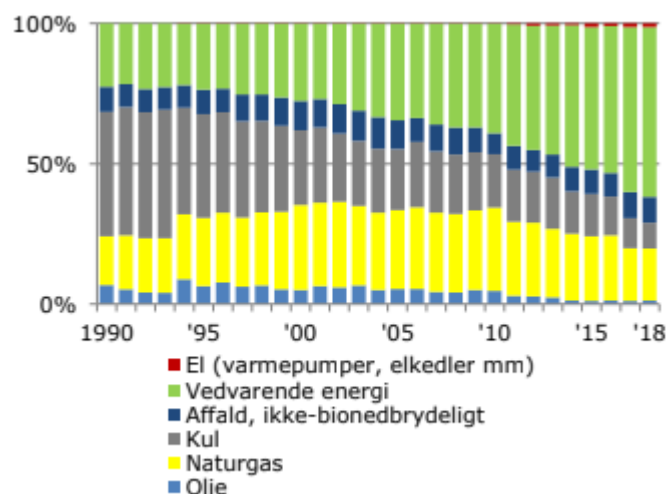
Figur 22: Fjernvarmepris samt prisniveauer for olie- og naturgasfyr samt individuel varmepumpe (Dansk Energi, 2018)

Der er dog her en række forbehold i produktionen af fjernvarme som må tages højde for hvis man ønsker at denne forsyningsform skal blive helt bæredygtig på længere sigt. I 2018 var CO<sub>2</sub> emissionen i fjernvarmen 26 kg. pr. GJ (Energistyrelsen, 2018 C). Hvis man her se på udviklingen af brændselsforbruget i fjernvarmeproduktionen i figur 23, ses det at VE-andelen er steget, sideløbende med udfasningen af kul. Andelen af ikke-bionedbrydeligt affald og naturgas har her været relativt stabil. Et afgørende punkt for fjernvarmen langsigtet er her at man i 2018 opnåede en VE-andelen på 60,5 %, så der er altså lang vej igen til en fuldt bæredygtig produktion. Derudover er langt den største andel af denne VE biomasse, som stod for 49.962 TJ ud af en VE-andel på 54.875 TJ i 2018 (Energistyrelsen, 2018 A). Hvis man det politisk bliver besluttet at biomassens forbrug frem mod 2050 bør afgrænses, ud fra hvad der kan forbruges bæredygtigt, vil en stor så stor biomasseandel måske blive udfordrende. Det prioriteres derfor at man i højere grad ser på store varmepumper som den primære produktionsmetode, hvoraf aftag af el fra vindenergi som det største input vil have en afgørende rolle.

Som det ses i figur 23 er fjernvarmen fortsat udfordret af en stor andel af fossile brændsler i produktionen, selvom denne dog er faldende. Det er derfor et krav for

fremtidens varmeforsyning at man får fuldt udfaset brugen af kul, olie og naturgas og erstattet denne med store varmepumper og biomasse.

Prioriteringen mellem disse to VE løsninger er at de store varmepumper skal stå for en så høj andel af produktion som muligt, da biomassen forventes at blive en efterspurgt ressource når man ser på scenarier for design af fremtidens samlede energisystem.



Figur 23: Brændselsforbrug til fjernvarmeproduktion (Energistyrelsen, A, 2018)

I 2018 var fjernvarmesektorens samlede omkostninger i omegnen af 16 milliarder kroner, herunder produktionsomkostninger og omkostninger til vedligeholdelse samt drift (Forsyningstilsynet, 2020). Danmark er inddelt i en række fjernvarmeområder, ses i tabel 7, med store sammenhængende fjernvarmenet eller mellemstore og mindre net, her 4 grupper i alt. I gruppe 1 er der et eller flere selvstændige transmissions-selskaber, hvorimod dette ikke forefindes i gruppe 2. Disse to grupper udgør ca. 65% af den samlede markedsandel. I gruppe 3 og 4 findes de mellemstore og små net, og disse udgør ca. 35% af den samlede markedsandel (Ea Energianalyse, 2017).

|                                                                                       | Antal fjernvarmeområder | Samlet markedsandel | Karakteristika ved fjernvarmeområderne                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Gruppe 1:</b><br>Store sammenhængende net med selvstændige transmissionselskaber   | 3                       | Ca. 40 %            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Et eller flere selvstændige transmissionselskaber</li> <li>• Stor varmeproduktion (6-34 PJ) og mange slutbrugere</li> <li>• 4 eller flere fjernvarmeproducenter</li> <li>• Høj befolkningstæthed</li> </ul>       |
| <b>Gruppe 2:</b><br>Store sammenhængende net uden selvstændige transmissionselskaber. | 9                       | Ca. 25 %            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ikke noget selvstændigt transmissionselskab</li> <li>• Stor varmeproduktion (1-10 PJ) og mange slutbrugere</li> <li>• 1-4 fjernvarmeproducenter</li> <li>• Høj befolkningstæthed</li> </ul>                       |
| <b>Gruppe 3:</b><br>Mellemstore net                                                   | 25+                     | Ca. 15 %            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hovedsageligt forbruger- og kommunaltejede selskaber</li> <li>• Mellem varmeproduktion (&lt; 1 PJ)</li> <li>• Ofte integreret produktions- og distributionsselskab</li> <li>• Mellem befolkningstæthed</li> </ul> |
| <b>Gruppe 4:</b><br>Mindre og små net                                                 | 350+                    | Ca. 20 %            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ofte forbrugerejede selskaber</li> <li>• Lille varmeproduktion (&lt; 100-300 TJ)</li> <li>• Integreret produktions- og distributionsselskab</li> <li>• Lav befolkningstæthed</li> </ul>                           |

Tabel 7: Gruppering af fjernvarmeområder (Ea Energianalyse, 2017)

Som det ses i tabel 7 er store sammenhængende net den dominerende metode i den danske fjernvarmeforsyning. Udbredelse af fjernvarme giver bedst mening i byområder med tæt bebyggelse, hvorimod mere åbne og landlige områder primært vil skulle forsynes gennem mindre net, her kaldet nabovarme, og individuelle varmepumper. Der er en række fjernvarmeproduktionsteknologier som også producerer el, og disse har forskellige anlægsomkostninger, produktionsomkostninger og driftsomkostninger. Disse teknologier drejer sig om kulfyret kraftvarme, naturgas kraftvarme, naturgaskedler, oliekedler, biomassefyret kraftvarme, biomasse kedler, biogas kraftvarme, solvarme, elpatroner og varmepumper (Ea Energianalyse, 2009).

Hvis man politisk mod 2050 beslutter at biomasseforbruget skal afgrænses, uden global import af eksempelvis træpiller fra Canada, vil der derfor ikke være ubegrænsede mængder af denne ressource. Biomassens store VE-andel kan derfor blive udfordret når den fossile produktion løbende udfases. Derfor vil der være behov for at andre teknologier, der ikke anvender fossile brændsler og biomasse, bliver implementeret løbende frem mod 2050. Da fremtidens energiproduktion primært bør baseres på vedvarende elproduktion, vil det være oplagt her at få omstillet dele af varmeproduktionen til teknologier der kan anvende el direkte. Her er store varmepumper et alternativ som er ved at vinde frem, og forventes fortsat at opnå øget fokus fremadrettet.

#### 5.4.1 Store varmepumper

Når man ser på fjernvarmeproduktionen frem mod 2050 vil store varmepumpe være et teknologier som der bør fokuseres på i stigende grad. De store varmepumper stod i 2018 for 309 TJ, ud af den samlede fjernvarmeproduktion på 134.933 TJ (Energistyrelsen, 2018 A). Det er altså et teknologier som for nuværende er implementeret i meget lav grad i denne del af varmesektoren, men potentialerne fremadrettet forventes at sætte gang i en langt større omstilling til store varmepumper. Varmepumper skal have energi til at køre, og en varmekilde for at fungere. Der ses for nuværende tre primære teknologi spor for de store varmepumper. Disse er kompressor varmepumper, på enten el eller forbrændingsmotorer, og absorptions-varmepumper på varme eller direkte/indirekte fyring. Her er luft, overskudsvarme og havvand de vigtigste varmekilder indtil videre (Energinet, 2016 A). Der vil hovedsageligt blive fokuseret på de eldrevne kompressor varmepumper, grundet

forventningen om den store VE-andel der vil producere el i fremtiden, som denne del af forbruget skal opnå samspil med.

“In energy systems where electricity plays a vital role, compression heat pumps can incorporate electricity in heating systems in an effective manner. For processes that are electrically heated, heat pumps reduce power consumption and load on the electrical grid.” (Energinet, 2016 A: 288).

Det skal her nævnes at de andre typer af varmepumper også vil have en rolle, men at der grundet fokus på elektrificering af både produktion og forbrug, arbejdes ud fra et langsigtet scenarie hvor varmesektoren så vidt muligt skal elektrificeres. Eksempelvis er brugen af overskudsvarme en meget effektiv og stabil metode til at bruge varmepumper, men potentialets omfang afgrænses af mængden af cases, hvor de kølesystemer man bruger er tæt nok på fjernvarmen.

I Danmark er det primært kompressor luft varmepumper som er blevet anvendt til fjernvarme indtil videre, og denne teknologi har for nuværende det bedste teknologiske design og reguleringsramme. Der arbejdes her med en forståelse af at de store varmepumper har en kapacitet mellem 1-10 MW, holdt op imod eksempelvis varmepumper til individuel forsyning på 2-10 KW. Den samlede kapacitet kan dog her udvides ved at lave systemer hvor flere varmepumper sammenkobles i varmeproduktionen. Varmepumper som samlet teknologi har som udgangspunkt været implementeret som et supplerende spor, i samspil med en anden varmeinstallation. Store varmepumper er ofte designet til at kapaciteten planlægges ud fra at kunne dække halvdelen af forbruget i peakperioder for forbruget. En sådan prioritering medfører at denne kapacitet på årlig basis vil kunne stå for 85-90 % som base load i produktionen, og skal her suppleres af andre teknologier i form af lagring og regulerbar kapacitet (Energinet, 2016 A).

Sammenhængen er her at hvis man ser på et scenarie hvor varmepumperne skal stå for 100 % af den årlige produktion, vil der skulle implementeres meget større kapacitet, for at man kan opnå effektilstrækkelighed i høje forbrugsperioder, og scenariet er derfor en meget dyr løsning (ibid.). Brugen af store varmepumper til fjernvarme er stadig i den indledende fase og der forventes derfor en række økonomiske effekter der vil understøtte teknologien fremadrettet. Fx er de fleste store varmepumper specialbygget til den givne case hvor de implementeres. Her vil en udbredelse, og udvikling, af teknologien medføre at man bedre kan systematisere og understøtte

design- og anlægsfasen. Ydermere forventes den teknologisk udvikling for store varmepumper, der udnytter luft og havvand som varmekilde, at være den største da det område ikke bliver anvendt bredt i samfundet endnu. Store varmepumper der udnytter overskudsvarme fra industrien er mere udbredte og forventes at være mere optimerede, og deraf en lavere teknologisk udvikling frem mod 2050. Her fremskrives store varmepumper der anvender havvand eller luft som varmekilde, til en prisreduktion på hhv. 25 % og 30 % i perioden 2020-2050. Store varmepumper der anvender overskudsvarme fremskrives til at have en prisreduktion på 9 % (ibid.). Generelt set forventes COP værdien på varmepumper at have en lav løbende stigning, men det skal her nævnes at en lavere gennemsnitstemperatur i fjernvarmesystemet vil medføre at varmepumper med højere COP-værdi implementeres (ibid.).

Hvis man ser på de store varmepumpers fleksibilitet er de som udgangspunkt ikke designet til at fungere som regulerbar kapacitet, da de ikke kan starte eller stoppe hurtigt eller skifte mængden der produceres. Hvis dette er et ønske, hvilket det i høj grad kan blive langsigtet for at opnå samspil med fluktuerende elproduktion, kan det dog designes sådan at systemet omkring varmepumperne kan blive understøttende for at fleksibiliteten i disse udvides (ibid.). Varmepumperne har en god driftsøkonomi, men anlægsomkostningerne skaber en dynamik hvor man søger at implementere en så begrænset mængde af kapacitet som muligt.

Hvis man ser på investeringsomkostningerne og fordele ved storskala produktion, ved brug af store varmepumper til kollektiv forsyning, er der en række faktorer. I dette scenarie vil varmepumpen selv vil ikke opnå store økonomiske fordele i investeringsomkostningerne, med en sammenhæng på 100 % øget kapacitet vil investeringsomkostningerne stige med 80 % (ibid.). Men ud over selve varmepumpen er også delelementer som varmekilden, tilslutning til elnettet, tilslutning til fjernvarmenettet, bygninger til anlægget og rådgivning. Alle disse faktorer vil i højere grad drage økonomiske fordele af opskalering af anlæg, end selve varmepumpen, og dette må derfor regnes med når man ser på den samfundsøkonomiske vurdering af projekter. Det skal dog her nævnes at varmepumpen og luftkølere her står for ca. 80 % af anlægsomkostninger, i dette eksempel for en luftvarmepumpe på 1-2 MW. Når anlæggets kapacitet her stiger vil omkostningerne til de førnævnte resterende faktorer ikke stige i samme grad. Så varmepumpen står for klart den største andel, og den teknologiske udvikling af denne isoleret set derfor er den vigtigste på langt sigt.

Ydermere skaber store varmepumper værdi for fremtidens energisystem, ikke mindst fordi bæredygtig omstilling forbedres ved integration af teknologier på tværs af systemet, hvor især integration af de kollektive systemer som fjernvarme, naturgas og el giver mening. Varmepumper giver som teknologi mulighed for at skabe fleksibilitet og koblinger mellem energisystemerne, og der er en række fordele som skal fremhæves. I forhold til elsystemet understøtter store varmepumper udbygningen af den grønne elproduktion, da behovet og efterspørgslen efter el bliver øget. Når der er overskud af vindenergi i systemet kan det udnyttes i eldrevne varmepumper der omdanner elektriciteten til varme i fjernvarmesystemet, og dette betyder at varmen kan lagres i akkumuleringsstanke eller erstatte andre typer af varmeproduktion. Sæsonlagring af varmen til senere brug er også en mulighed (ibid.). Fjernvarmesystemets samspil med de store varmepumper har også en række fordele, herunder at samproduktion af varme og køling er effektivt. Derudover er der synergi imellem fjernvarmesystemets lagerkapacitet, vindkraft og store varmepumper. Fjernvarmesystemets lagerkapacitet drejer sig om grundvands- og damlagre, tanke og rørsystemer. Kraftvarmeanlæg kan desuden producere el og varme når vinden ikke blæser, og dette forstærker synergien yderligere. Til sidst skal nævnes at forsøg, samt erfaringer fra Danmark og Sverige, viser at spidslast kapaciteten i varmesystemet om vinteren kan øges, hvis varmepumper der bliver anvendt til køling udbygges så de også kan levere varme om vinteren. Dette skyldes at overskydende kulde ikke bliver anvendt om vinteren, og dermed kan udnyttes (ibid.).

#### 5.4.2 Varmeprojekter og planlægning

Lokal planlægning af varmeforsyningen i kommunerne er pålagt kommunalbestyrelserne, og varmeplanen i de enkelte kommuner er en essentiel ting at forholde sig til og bruge når godkendelse af kollektive varmeforsyningsanlæg skal finde sted. Dette skal ske i henhold til varmeforsyningsloven og projektbekendtgørelsen. Varmeplanen kan være en del af kommuneplanen, eller den strategiske energiplanlægning (Dansk Fjernvarme, 2015 A).

Når den kollektive varmeforsyning skal omstilles er denne primært opdelt i to områder, naturgas og fjernvarme. Fjernvarme er som oftest det mest attraktive valg i tæt bebyggede områder, men man skal være opmærksom på at når naturgasområder skal omstilles til fjernvarmeområder skal fjernvarmeselskabet kompensere naturgas-

selskabet. Dette skyldes at afviklingen af naturgas skal ske på en økonomisk velfungerende måde. Omvendt må fjernvarmeområder ikke konverteres til individuel naturgasfyring. Derudover er der en række brændsler som ikke kan godkendes som produktionsform, eksempelvis kul og fødevarer (ibid.). Man kan her se på kompensationsordningen vedrørende områdeafgrænsning, for at understøtte de statslige målsætninger. Det kan konstateres at hvis man her ikke understøtter fjernvarmeselskaberne i denne kontekst, vil områdeafgrænsningen fortsat være en barriere for fjernvarme i disse områder.

Der hviler også et samfundsøkonomisk krav for projekter som skal opfyldes, og kommuner kan vælge at godkende projekter som udelukkende er samfundsøkonomiske fordelagtige, men også selskabsøkonomien og brugerøkonomien gør sig gældende. Selskabsøkonomiens ansvar beror på fjernvarme selskabets bestyrelse der skal vurdere den og er ansvarlig for selskabets fremtid, og bruger økonomien drejer sig om en acceptabel økonomi for forbrugeren hvor energi- og klima fordele er indlejret. Hvile i sig selv princippet er et princip som fjernvarmesektoren er underlagt der tilsiger at fjernvarmeselskaber ikke må tjene penge på forbrugerne, og dette betyder at en positiv selskabsøkonomi vil komme forbrugerne til gode da dette skal overføres og dermed giver en god brugerøkonomi (Dansk Fjernvarme, 2015 A)(Dansk Fjernvarme, 2015 B).

|                          | Fjernvarmeområde |                                       | Naturgas-baserede områder                                             |                                       | Uden for kollektivt forsynet område     |
|--------------------------|------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|
|                          | Inden for        | I nærheden                            | Inden for                                                             | I nærheden                            |                                         |
| Tvungen tilslutning      | Ja               | Ja, hvis samfundsøkonomisk fornuftigt | Ja                                                                    | Ja, hvis samfundsøkonomisk fornuftigt | Nej, alle typer brændsler kan godkendes |
| Ikke tvungen tilslutning |                  |                                       | Hvis blokvarmecentralen etableres som kraftvarme                      |                                       |                                         |
| Varmekapacitet over 3 MW |                  |                                       | Er varmekapaciteten over 3 MW, skal anlægget etableres som kraftvarme |                                       |                                         |

Tabel 8: Oversigt over bestemmelser for fjernvarme og naturgas områder (Dansk Fjernvarme, 2015 A)

Hvile i sig selv princippet kan her blive en barriere for effektivisering af fjernvarmesektoren, hvis alt incitament for at selskabsøkonomien forbedres skal bindes op på en lavere brugerøkonomi. Forsyningstilsynet anbefaler en afskaffelse af hvile-i-sig-selv princippet til fordel for elnettet idag. Den skal indbefatte

effektiviseringskrav, både generelle og individuelle, som kommer fjernvarme-forbrugerne til gode i form af lave priser. Derudover skal reguleringen udformes sådan at realisering af større effektiviseringer af fjernvarmeselskabernes indtægtsramme skal give økonomisk fordel, hvilket skal bevirke at incitamentet til yderligere effektiviseringer opstår deraf. Ydermere kan finansiering af grønne aktiviteter og investeringer til grøn omstilling fremadrettet blive indeholdt i indtægtsrammereguleringen (Thomassen og Ventzel, 2020).

Forsyningstilsynet anbefaler yderligere for at understøtte effektiviseringerne at man skaber et frit brændselsvalg så virksomheder kan konvertere til grønne brændsler. Dette kunne være gas til et grønt brændsel. Hertil anbefaler de at man fjerner kraftvarmekravet så værker underlagt dette krav nødvendigvis ikke skal producere både el og varme sammen. Dette giver økonomisk optimering og større fleksibilitet for virksomhederne. Overskudsvarmeafgiften bør også reduceres eller helt fjernes, og dette vil bevirke at overskudsvarme i fjernvarmedistributionen bliver benyttet grundet et større økonomisk incitament. Dette kan være med til sikring af en billigere varmeproduktion da områder med overskudsvarme vil blive benyttet, og disse områder vil derfor have en lavere varmepris (ibid.).

#### 5.4.3 Barrierer for fjernvarme

Udbredelsen af fjernvarme har en række centrale barrierer hvoraf den økonomiske konkurrencedygtighed er den vigtigste faktor. Om denne konkurrencedygtighed er tilstrækkelig for fjernvarmeprojekter afgøres i høj grad af den nationale regulering på naturgas, den politiske linje for naturgassens udfasning er her afgørende når vi ser langsigtet frem mod 2050. Først og fremmest i form af de økonomiske rammer i form af afgifter på gassen, men også skabt i form af de udbudsrunder hvor man fortsat overvejer at forøge muligheden for den nationale produktion af naturgas fra Nordsøen langsigtet. En anden barriere for udvidelse af nettet er anlægsomkostningerne der medfører et stort indledende investeringsbehov for fjernvarmeprojekter. Her vil man kunne opnå en bedre samlet økonomi for projekter, hvis man formår at opnå en større tilslutningsgrad fra boligerne i de nye områder hvor nettet udvides. Vigtige faktorer er her at kommunen og forsyningsselskaberne samarbejder om vidensdeling og dialog med borgerne i de relevante områder. Derved kan der sættes mere fokus på muligheden for at borgerne skifter deres forsyning, og den økonomiske effekt af dette, og derudover at få bedre indblik i hvor stor tilslutningsgrad man reelt vil kunne opnå i



en given case. Tilslutningspligten har her været et effektivt værktøj til at sikre tilslutningsgraden, men man må indtænke de nye løsninger i den samlede statslige strategi, for yderligere fjernvarmeudvidelse, så man i den lokale planlægning kan præge udviklingen i den ønskede retning. Hvis man her ser på levetiden af forbrugernes anlæg, vil et overblik over denne data kunne understøtte prioriteringen af hvor man fortsat forventer at kunne opnå en reel CO<sub>2</sub> reduktion. Hvis man her finder frem til de områder, hvor mange af forbrugerne over de kommende år står til at skulle udskifte deres nuværende varmeinstallationer, må man forvente at der hurtigere opnås en højere tilslutningsgrad, end i områder hvor levetidens på nuværende varmeinstallationer er længere. Der ses et potentiale for energi- og CO<sub>2</sub> reduktion ved omstilling til fjernvarme hvor det er muligt.

## 5.5 Nabovarme

I den danske varmesektor er der flere områder der ikke for nuværende har mulighed for at blive tilsluttet fjernvarmenettet. Der kan være forskellige årsager til at det ikke på nuværende tidspunkt er muligt at tilslutte dem fjernvarmen. Dette kan være økonomiske årsager, området ligger for langt fra det nærmeste fjernvarmenet og for nuværende vil det ikke være rentabelt at omstille varmforsyningen til fjernvarme. Området kan også være så småt at det heller ikke vil være rentabelt at udvide forsyningen til området, eller der kan være manglende interesse for fjernvarme i området, så mange forbrugere vil vælge en alternativ varmforsyning.

I områder der ligger uden for fjernvarmforsyningen for nuværende, er der en mulig overgangsløsning i etableringen af nabovarme projekter. Derudover vil det i en række cases, hvor det ikke forventes at området langsigtet kan indføres i fjernvarmen, være oplagt at implementere nabovarme som den permanente løsning.

Nabovarme projekter, som det bliver brugt i denne specialerapport, er en betegnelse for mindre varmeprojekter, der er baseret på en mellemstor varmepumpe, og en varmeakkumuleringstank, der forsyner et mindre antal husstande i omegnen af 10-40 husstande. Løsningen kan anses som en mindre lokal varmforsyning, som søger at opnå fordele indenfor økonomi i anlægsomkostninger og drift, gennem opskaleringen af fælles varmepumpe, op imod implementeringen af et større antal individuelle varmepumper i området. Derudover vil en samlet og større akkumuleringstank også give systemteknisk mening, ift. samspil med den fluktuerende elproduktion og billig

indkøb af denne, kombineret med decentraliseret lagring af energi i varmesektoren. Varmeakkumleringstanken vil kunne opbevare energien fra favorable tidsperioder med en billig el, i form af varme, som vil kunne bruges når elektriciteten igen stiger i pris (Energinet, 2011).

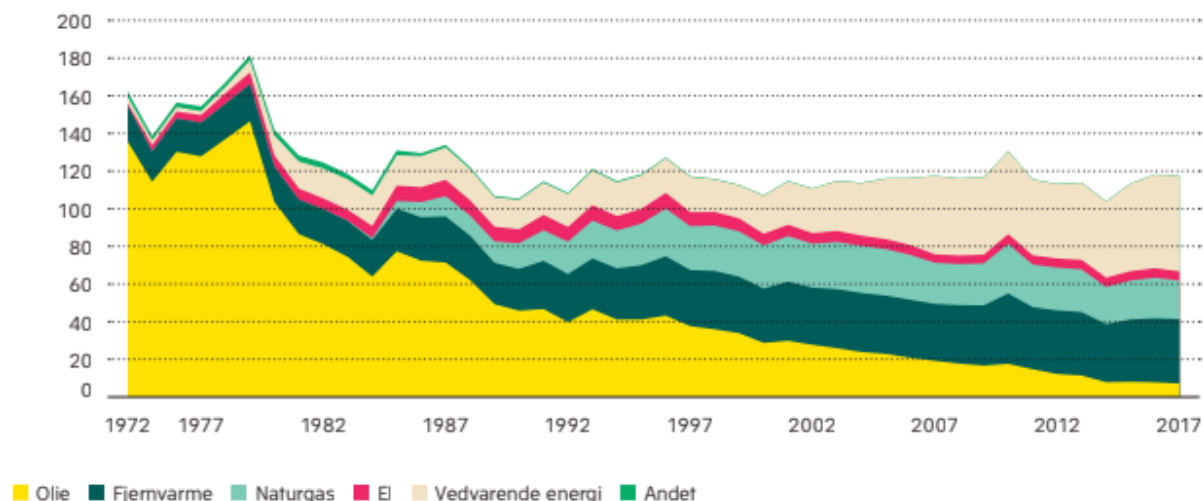
Før det giver mening at indføre et nabovarme projekt, er der nogle kriterier der skal være opfyldt. Husstandene skal ligge indenfor et begrænset areal, ellers bliver anlægskostningerne uoverkommeligt høje. Indenfor nabovarme området skal der være et mindre areal hvor selve anlægget kan blive placeret og eventuel nedgravning af jordslanger ved anlæggelsen af en jordvarmepumpe (ibid.). En af fordelene ved et nabovarme projekt, er at hvis det bliver konstrueret i det omfang der bliver beskrevet, til at forsyne omkring 10-40 husstande, er at det kan have en kapacitet på under 250 kW, hvilket betyder at det ikke er underlagt varmforsyningsloven og dermed behøves projektet ikke blive godkendt af Byrådet som det bedst samfundsøkonomiske alternativ. Dette vil gøre det nemmere at få implementeret nabovarme projekter i forhold til andre projekter der først skal igennem en godkendelsesproces. Der kan dog være grunde til at få projektet godkendt af byrådet alligevel, for at informere berørte aktører omkring anlæggets tekniske og økonomiske forhold, samt at få adgang til kommunale garantiordninger (ibid.). Grunden til at nabovarme projekter er særligt anvendeligt i forhold til et energisystem baseret på vedvarende energikilder, skyldes at det har en vis fleksibilitet i forhold til produktionen. Varmepumper kan regulere deres produktion, i forhold til hvornår der er elektricitet i systemet, hvilket passer godt til et system der primært bliver forsynet af fluktuerende energikilder, som sol og vind. Dette betyder at varmepumper kan regulere deres produktion, så de kan følge produktionsmønstrene for sol og vind og derved producere når elektriciteten er billig. Dermed vil produktionen kunne tilpasses fremtidens fluktuerende energiproduktion. Nabovarme projekter nævnes også som en god overgangsløsning i områder der ligger uden for kollektiv varmforsyning, til en eventuel senere tilslutning til fjernvarmenettet. Dette skyldes at mange af de anlægskostninger som foretages under nabovarme projektet også er gældende ved konstruktionen af fjernvarme i området. Derfor vil dele af anlægskostningerne til udvidelsen af fjernvarmen allerede være foretaget ved konstruktionen af nabovarme projektet. Nabovarme som forsyningsmetode er endnu ikke udbredt i stor grad, og konceptet kan med fordel videreudvikles, hvis dette prioriteres i større grad. Der er nogle ændringer og tiltag man kunne foretage sig, hvis man vil skabe et øget incitament for implementeringen af nabovarme projekter. På

nuværende tidspunkt får forbrugerne ikke det fulde udbytte af de besparelser der opnås ved de systemtekniske fordele ved nabovarme projekterne. Grundet den nuværende afgiftsstruktur på elektriciteten bliver den endelige besparelse for forbrugeren der opnås minimal, og den egentlige besparelse går i stedet til netselskaberne. Ved at ændre i denne afgiftsstruktur, sådan så den tilsiger brugen af elektricitet når den er billig, vil det skabe et øget incitament for et dynamisk elforbrug og i forlængelse heraf nabovarme projekter (ibid.).

## 5.6 Individuel forsyning

Når man ser på den individuelle forsyning, er langtidsscenariet at disse varmeinstallationer kun skal implementeres i de boliger, hvor det ikke er muligt at tilslutte fjernvarme og/eller oprette nabovarmenet. Når man her ser på reduktionen af fossile brændsler er den individuelle sektors omstilling i høj grad udfordret. Dette skyldes at varmepumper står som det primære løsningsforslag langsigtet. Biogas er her også et potentiale, sideløbende med udfasningen af naturgas. Prioriteringen af fremtidens samlede gasressource kan dog med fordel anvendes i mere udfordrede sektorer. Biogassen til individuel forsyning bør derfor ikke nødvendigvis være det potentiale man søger at omstille imod, og derfor vil varmepumpen være afgørende.

Når man ser på de fossile brændsler man skal have udfaset frem mod 2050, er olie og naturgas de primære udfordringer. Individuel opvarmning i danske husstande med olie, benytter fyr i omegnen af 15 kW, hvilket kan opvarme en husstand på mellem 200-300 m<sup>2</sup>. Oliefyr er hovedsageligt installeret i områder hvor kollektiv forsyning ikke er tilgængeligt (Energinet, 2016 B). Der blev i 2018 leveret olie til ca. 70.000 boliger, dermed er olieforbruget til opvarmning af enfamiliesboliger faldet med 90 % siden 1972 (DrivkraftDanmark, 2019). Olieforbruget til husholdninger var i 2018 kommet ned på en andel på 5,2 %, hvorimod naturgassen stadig har en andel på 12,3 % (Energistyrelsen, 2018 A). Som det ses i figur 24 har olieforbruget til opvarmning været løbende faldende og nærmer sig en fuld udfasning af dette forbrug. Naturgassen har derimod haft et relativt stabilt forbrug siden starten af 1990'erne, og er fortsat den største udfordring at få udfaset i denne del af forbruget.



Figur 24: Energi til opvarmning, PJ (DrivkraftDanmark, 2019)

Naturgassen ses derfor som den største udfordring fremadrettet og må være det teknologispor man går efter at udskifte. Her vil regulering af selve naturgassen være afgørende, i samspil med at man tager højde for at skabe incitament for at de teknologispor man ønsker at omstille til kan implementeres.

Som det ses i tabel 9 har både oliefyr og gasfyr en anlægslevetid på 20 år, og det er derfor en langvarig proces at få omstillet. En tidlig regulering rettet mod installering af naturgasfyr fremadrettet vil have en langsom, men langsigtet nødvendig effekt på omstillingen. Tidsperspektivet i en sådan regulering kan holdes op imod især de individuelle varmepumpers implementerings vilkår der senere omtales.

| Tabel 9: Kapacitet, effektivitet, anlægs levetid og omkostninger og årlige omkostninger for olie- og gasfyr (Energinet, 2016 B) |              |              |                   |                        |                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------------|------------------------|---------------------|
|                                                                                                                                 | Kapacitet kW | Effektivitet | Anlægsleve tid år | Anlægsomkostninger kr. | Årlige omkostninger |
| Oliefyr                                                                                                                         | 15           | 92 %         | 20                | 44.732,38              | 1.856,39            |
| Gasfyr                                                                                                                          | 10           | 97 %         | 20                | 23.857,27              | 1.558,17            |

I områder med individuel forsyning baseret på fossile brændsler, vil varmepumper være et bæredygtigt alternativ til varme baseret på fossile brændsler. Når man ser på varmepumpers udbredelse i varmesektoren var der i 2018 en samlet produktion på 10.235 TJ (Energistyrelsen, 2018 A). Heraf var en mindre andel på 309 TJ som sagt

til fjernvarme, og der ses også enkelte nabovarme projekter. Men langt størstedelen af varmepumpernes samlede varmeproduktion kommer fra den individuelle forsyning. Dette afsnit vil fokusere på individuelle kompressorvarmepumper der er baseret el. Der er dog andre definitioner til at opgøre forskellige slags varmepumper, som er baseret på varmekilder, altså hvordan varmepumper indvinder varmen (Energinet, 2016 B). De mest udbredte forskellige former for individuelle varmepumper vil kort blive beskrevet herunder:

**Luft-luft varmepumper** benytter omgivelsesluften til at lave varmen, og levere den igennem elektriske varmere, der var i 2014 mellem 120.000 og 160.000, og de er mest anvendeligt til boliger uden et helårs varmebehov.

**Luft-vand varmepumper** benytter omgivelsesluften som varmekilde, og levere den igennem vand via radiatorer, gulvvarme og lignende. Der var 17.000-22.000 i Danmark 2014.

**Jordvarmepumper** benytter jordtemperaturen til at lave varme, og levere varmen igennem vand via radiatorer, gulvvarme og lignende apparater. Der var 25.000-35.000 i Danmark 2014

**Ventilationsvarmepumper** trækker varmen fra en ventilation, og kan levere varmen både via vand eller elektriske varmere. Der var 17.000-22.000 i Danmark 2014 (Energinet, 2016 B).

| Tabel 10: Kapacitet, effektivitet, anlægs levetid og omkostninger og årlige omkostninger for forskellige typer varmepumper (Energinet, 2016 B). |              |              |               |                     |                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------------|----------------------------|
|                                                                                                                                                 | Kapacitet kW | Effektivitet | Anlægslevetid | Årlige omkostninger | Anlægsomkostninger         |
| Luft-luft                                                                                                                                       | 2,5 - 6      | 490 %        | 12 år         | 1.267,41 kr.        | 11.182,17 kr.              |
| Luft-vand                                                                                                                                       | 4-10         | 340 %        | 18 år         | 2.169,52 kr.        | 52.183,50-74.547,86 kr.    |
| Jordvarmepumper                                                                                                                                 | 4-10         | 365 %        | 20 år         | 2.169,52 kr.        | 89.457,44 - 119.276,58 kr. |
| Ventilation                                                                                                                                     | 2            | 317,5 %      | 15 år         | 1.505,99 kr.        | 14.909,57 kr.              |

Tabel 10 er udarbejdet ud fra teknologikataloget, *Technology data heating installations* udgivet af energistyrelsen.<sup>1</sup> Dette er for også at give et billede af de eksisterende anlæg der er i det danske samfund. Anlæg i lejligheds- og bygningskomplekser er ikke medtaget, da dette bliver opgjort samlet for hele komplekset og dermed kan være lidt misvisende for den enkelte husstand.

Hvis man ser på varmepumpens rolle i et langsigtet systemperspektiv er teknologiens systemtekniske egenskaber afgørende. Først og fremmest er den energieffektive brug af den producerede el afgørende. Man har her et teknologispor der kan understøtte et direkte forbrug af el i den individuelle varmeforsyning. Varmepumpens effektivitet er, selvom COP-værdien sæsonmæssigt udfordres, meget høj og man får meget varme ud af den forbrugte el.

Alle de opgjort varmepumper har en regulerbar kapacitet på 100 %, hvilket vil sige at de inden for et minut, kan starte eller slukke for produktionen (Energinet, 2016 B). Dette gør dem særligt anvendelige i et energisystem der primært bliver forsynet af en vedvarende elektricitetsproduktion, som det vil være tilfældet med det fremtidige danske energisystem. Da elforbruget fra varmepumperne vil kunne tilpasses den hovedsageligt fluktuerende elproduktion fra sol- og vindenergi og derved kunne bruges som en regulerbar kapacitet til at balancere energisystemet.

Det må dog konkluderes at set op imod naturgassens anlægsomkostninger på 23.857,27 kr, set i tabel 9, var anlægsomkostningerne for både luft-vand- og jordvarmepumper langt højere i 2016, som det ses i tabel 10. Dette er en markant udfordring, da en stor andel af de boliger man ønsker at omstille har et kapacitetsbehov, som gør at den billigere luft-luft varmepumpe ikke vil være tilstrækkelig i mange cases. Hvis man her mener at individuelle varmepumpe bør blive den teknologi man i disse cases anvender til omstilling er der altså lang vej i mål. Luft-luft er allerede relativt udbredt, og implementeres naturligt på markedsvilkår. Hvis man skal nå frem til at luft-vand og jordvarmepumper i lignende grad skal udbredes på større skala er det ikke nok at læne sig op af forhåbninger om markant teknologisk udvikling vil skabe denne omstilling. En samlet strategi for omstillingen af den individuelle forsyning, bør sætte fokus på hvordan man kan komme rundt om de store investeringsomkostninger der følger med udskiftningen til en individuel luft-vand eller

---

<sup>1</sup> Nogle af tallene der fremgår af tabellen er summen af flere tal, fx er der opgjort tal både fra eksisterende anlæg og nye anlæg, hvor tallene sagtens kan variere en lille smule, og derfor er gennemsnittet af de tal opgjort.

jordvarmepumpe. Anlægsomkostningerne som barriere understøttes yderligere af at de boliger der kun kan forsynes individuelt, i mange cases vil have en lavere værdi, og investeringen i en individuel varmepumpe vil derfor være en større økonomisk andel af husets værdi. En tilskudsordning til netop luft-vand og jordvarmepumper, på en fast procentdel af anlægsomkostningerne vil her være et effektivt bud på at nedbryde denne barriere. En tidsramme for tilskudsordningen kunne her være at der primært fokuseres på at den bibeholdes indtil anlægsprisen falder yderligere. Dette sideløbende med at varmepumpernes driftsomkostninger fortsat vil være faldende, hvis man får faldende elpriser gennem stigende VE-andel, lavere elafgift og brugen af en dynamisk elafgift der periodisk vil give bedre økonomiske vilkår for brugen af el. Man kunne her også udvikle en løsning hvor forsyningsselskabet står for anlægsinvesteringen, hvorefter forbrugerne løbende afbetaler disse investeringsomkostninger gennem de årlige udgifter til forsyningsselskaber, sideløbende med driftsomkostningerne. Dermed omgår man den store barriere i anlægsomkostningerne, og udnytter teknologiens høje effektivitet og de deraf lavere driftsomkostninger så den økonomiske byrde fordeles over anlæggets levetid.

## 5.7 Regulering

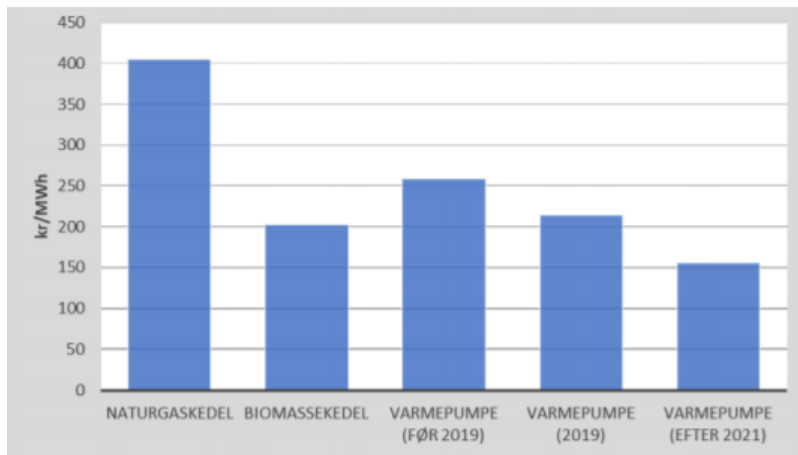
### 5.7.1 Elvarmeafgift og PSO-tarif

Regulering af fjernvarmesektoren er struktureret sådan at de valg der foretages inden for denne sektor skal tage hensyn til forbrugernes økonomi og samfundsøkonomien, hvilket udfordrer overgangen til grønne løsninger hvor varmepumpeprojekter eksempelvis ikke har været gennemført i stort antal. Rammevilkårene har tidligere været forhindrende, hvor niveauet på elvarmeafgiften har spillet en rolle. Varmepumpeprojekter havde fokus på gode varmekilder og optimere anlægsdesign samt tilskud fra puljer, da dette var midlet til at opnå en så stor samlet effektivitet som muligt og dermed gennemførelse af projektet (Energistyrelsen, 2017). Nu har de økonomiske rammer ændret sig, og PSO-tariffen vil blive udfaset og udgår helt i 2022. Fra 1. januar 2019 blev elvarmeafgiften sænket permanent med 10 øre/kWh, og dette udsprang af den politiske aftale fra 2017 som også tilsagde at den skulle sænkes yderligere. Hensigten er at nedsætte samlet med 25 øre/kWh i 2021. Samlet betyder det at før 2019 var elvarmeafgiften 405 kr./MWh og PSO-tariffen 160 kr./MWh, i 2019 305 kr./MWh og PSO-tariffen 80 kr./MWh og efter 2021 155 kr./MWh og PSO-tariffen 0 kr./MWh (ibid.).

Energispareordningen der løber fra 2016-2020 bidrager positivt til økonomien i varmepumpeprojekter da energibesparelserne i denne type projekter ofte er store (ibid.). Dog må det ses som en barriere for fremtidige varmepumpeprojekter at ordningen udløber pr. 31. december 2020, og de forpligtede virksomheder skal have opfyldt målet for realisering af energibesparelse (Forsyningstilsynet, 2019).

For at vise de muligheder som de forskellige teknologier kan producere varme til under forudsætning af ovennævnte elvarmeafgifter og PSO-tarif samt COP-faktor 4,0 er figur 25 sigende for varmepumpers konkurrenceevne efter 2021:



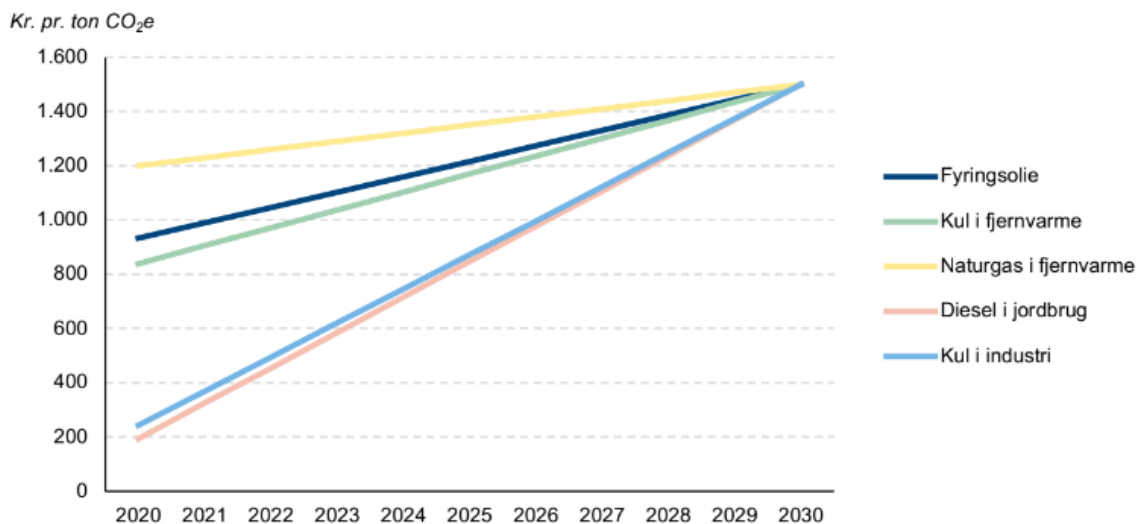


Figur 25: Varmeproduktionspriser uden investering (Energistyrelsen, 2017)

### 5.7.2 CO<sub>2</sub> afgift

En afgift der bliver diskuteret i disse dage er CO<sub>2</sub> afgiften. Denne afgift vil kunne være med til at skubbe forbruget af fossile brændsler ud til fordel for anvendelse af vedvarende energi, både i varmforsyningen og transportsektoren. Danmarks nye målsætninger omkring 70 % drivhusgasreduktion kræver strammere regulering hvilket betyder at afgiftsniveauet skal hæves i forskellige sektorer. Mange af Danmarks nabolande har væsentligt højere CO<sub>2</sub> afgifter, og afgiften på drivhusgasser bør gradvist stige frem mod 2030 (Klimarådet, 2020).

Herunder ses det forslag klimarådet kommer med angående CO<sub>2</sub> afgifter. Man skal dog være opmærksom på afgifterne vedrørende naturgas og kul i fjernvarmen drejer sig om værker med en indfyret effekt på over 20 MW, og afgifterne på fyringsolie henlægger sig på den fyringsolie der bliver brugt til opvarmning i husholdningerne. Ydermere kan der være ret til fradrag i afgiftsbetalingen grundet lækageforhold (ibid.).



Figur 26: Klimarådets eksempel på udviklingen i afgiftsniveauet i forhold til udledningen af CO<sub>2</sub>-ækvivalenter, fra fossile brændsler i udvalgte sektorer (Klimarådet, 2020)

Som det ses i scenariet i figur 26 bliver de forskellige fossile brændselstyper underlagt en stigende afgift frem mod 2030. Dette vil betyde at overgangen til brug af vedvarende energi i produktionen i fjernvarmeforsyningen, samt implementering af varmeforsyning teknologier baseret på elektricitet der støtter op om fremtidens fjernvarmeforsyning, vil have langt bedre muligheder for at vinde indpas. Her skal det bemærkes at det er denne type regulering der gør det muligt, for fossil energi er i dag stadigvæk langt billigere at producere varme og elektricitet med. Men det er et redskab til at komme en fremtid i møde hurtigere, hvor vedvarende energi rent faktisk vil være den dominerende energiform til produktion af varme og elektricitet. De teknologier som der omstilles til ved elektrificering af varme- og transportsektoren er generelt set langt mere effektive. Derudover mindskes behovet for fortsat at sikre en forsyning af fossile brændsler, som kan blive udfordrende på langt sigt. Det er dog vigtigt at indtænke energiprisen hos borgere og virksomheder, så en høj CO<sub>2</sub> afgift ikke skaber energifattigdom og bliver en barriere for økonomisk vækst.

Hvis man ser på den aktuelle politiske situation vedrørende afgiften er den seneste udtalelse fra klimaminister Dan Jørgensen, at regeringen ikke forventer at inddrage CO<sub>2</sub> afgiften som værktøj i den kommende klimahandlingsplan for den kommende del af omstillingen. Klimaministeren mener her at man grundet den samfundsøkonomiske situation, som følge af corona krisen, ikke skal sætte økonomisk pres gennem denne

afgift, men hellere give støtte til omstillingen (Andrew, 2020). Dette står skarpt i modsætning til de nyeste anbefalinger klimarådet er kommet med ift. de næste 10 års omstilling. Her anbefales en reformering af afgiftssystemet, med en ensartet drivhusgasafgift der er væsentligt højere end energi- og CO<sub>2</sub> afgiften er i dag. Der anbefales her en løbende indfasning af afgiften over en årrække der gør det muligt for virksomheder og borgere at tilpasse sig de nye afgifter (Klimarådet 2020). Hvis man skal udnytte potentialet er der altså behov for yderlige politisk pres, for at CO<sub>2</sub> afgiften som et af de mest effektive redskaber udnyttes frem mod 2030.

### 5.7.3 Dynamisk elafgift

Med en dynamisk elafgift menes at afgiftsniveauet på elektriciteten tilpasses tilgængeligheden af el i systemet, og elafgiften er højere i perioder med lidt el og reduceres i perioder med meget el. Indførelse af en dynamisk elafgift vil være meningsfuldt da tilpasningen af elforbruget idag i forhold til produktionen fra vind- og solkraft er lille, samt den producerede elektricitet bliver solgt til lave priser. Man fremmer altså de anlægstyper som har godt samspil med fluktuerende elproduktion, og understøtter en stigende fleksibilitet og robusthed. En dynamisk elafgift vil muliggøre en omlægning af elforbruget til perioder hvor produktionen fra vind og sol er høj. Dette vil betyde at en varmforsyning med varmepumper og varmelagre vil kunne omlægge elforbruget til gunstige perioder for energiproduktionen, men også opladning af elbiler vil kunne dette (VedvarendeEnergi, 2014).

Hvis man her skal opnå en reel effekt af denne afgift kræver det også at afgiften skaber store nok økonomiske incitamenten der rykker forbruget i den ønskede retning i praksis. Her mener Anders Hasselager at der i transportsektoren er et stort potentiale for at udnytte potentialet, hvis man fx fordobler afgiften (Bilag 2).

## 5.8 anbefalinger

### 5.8.1 Transportsektoren

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.0 | <b>Infrastruktur</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 2.1 | Infrastruktur til elbiler i form af opladning, elnettet og intelligent styring være omfattende delområder som vil kræve politisk prioritering.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 2.2 | Afsættelse af flere midler til etableringen af en veludbygget ladeinfrastruktur af elbiler, fra niveauet på 80 millioner kroner nu til 120 millioner frem mod 2050. Der er indgået en aftale i 2020 om at afsætte en pulje på 50 millioner kroner til opsætningen af ladestandere. Kriteriet for denne pulje er at ladestandere opsat med tilskud fra denne pulje, skal have en nem universel opladning, altså biler af forskellige modeller skal kunne bruge standerne. Hertil kunne der anvendes abonnementsordninger hvor der i stedet betales for kapaciteten i opladningen, frem for det reelle energiforbrug. Ved at afsætte flere midler til opsætning af ladestandere, vil det forøge tempoet hvori der etableres ladestandere til elbiler. |
| 2.3 | Der ses et stort behov for hurtigt at få opbygget en ladeinfrastruktur der kan understøtte brugen og funktionaliteten for elbiler. Derfor anbefales at der arbejdes ud fra et scenarie hvor en kombination af privat aktørers ageren og staten vil være en løsningsmodel. I nogle situationer vil private aktører helt og holdent stå for implementering og drift af ladeinfrastruktur. I andre situationer vil staten, i form af Vejdirektoratet, stå for implementeringen, hvorefter drift og vedligeholdelse kan blive udbudt til kommercielle aktører.                                                                                                                                                                                          |
| 2.4 | Opladning i byområder via hurtig- og lynladere er en del af forudsætningen hvis man vælger den smarte vej, og herunder hører en ufleksibel opladning da opladningen skal kunne ske hurtigt og akut. Disse lynlader stationer vil hovedsageligt skulle bruges i dag- og aften timerne, hvilket betyder at de følger de forbrugsmønstre vi ser idag for regulære tankstationer.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 2.5 | Ved implementering af lynladestationer vil de i den indledende fase skulle placeres i de områder hvor de vil have den største effekt. Her vil lokationer langs motorvejene, og omstilling af de nuværende fossile tankstationer til el tankstationer, være oplagte at udnytte i den første del af en storskala udbredelse af denne nye del af infrastrukturen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 3.0 | <b>Regulering</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 3.1 | Yderligere økonomiske incitamenter for brugen af elbiler, op imod den fossile bilpark, kan i høj grad understøtte en hurtigere omstilling. Dette kan ske gennem regulering af afgifter og tilskudsordninger for elbilerne, og de fossile biler. Tariffer er en måde hvorpå smart opladning kan fremmes. Det vil betyde at danskerne oplader deres elbiler på andre tidspunkter til fordel for elnettet og forbrugeren. Ladestandere skal være fleksible og kunne fjernstyres for at bilejeren kan opnå økonomisk gevinst. Forbedret adgang til forbrugsdata for el bliver muligt. Kommercielle aktører kan udvikle produkter og service                                                                                                             |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | <p>løsninger der giver elbilejeren et billigere elforbrug, pga. opnåelse af fleksibilitet. Der er behov for at ladestandere og at elbiler bliver mere detaljeret registreret. El netselskaberne vil så kunne følge forbruget. Optimering af netkapaciteten kan ske ved at aktivere fleksibilitetspotentialer i elbilopladningen, og dermed reduceres behovet for så stort et effektbehov. Man kan indføre tidsdifferentierede tariffer, samt kunne afbryde og nedregulere ladestandere. Forskellige incitamenter bevirker at trækket på elnettet fordeles mere lige. Hvis dette fleksibilitets potentiale kan frigøres er effektbehovet langt lavere ved fuld elektrificering af personbiltransporten i 2050.</p> |
| 3.2 | <p>I et systemperspektiv bør man langsigtet søge at udbrede elbilernes forbrug over døgnet. Derved understøttes sammenhængen mellem produktions- og forbrugsmønstrene, og der kan derfor blive lavere investeringsbehov i sektoren. For at opnå den ønskede spredning i elbilernes opladning kræver det her at man udnytter potentialer for fleksibel opladning. Da man ønsker at flytte 85% af opladningen væk fra kogespidstidspunktet, skal der et stort økonomisk incitament til. Her mod en fordobling af elprisen kan komme på tale, hvis den reelle effekt skal opnås når så stor en procentdel skal flyttes.</p>                                                                                          |
| 3.3 | <p>Fastholdelse af el afgiftslempelser for process-elaftag, i forbindelse med opladning af elbiler. Denne periode kan forlænges ud over 2021, for fortsat at fastholde dette økonomiske incitament for forbrugerne.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 3.4 | <p>Man kunne gennemføre en lavere prisafgift på solgt el, og her øremærke denne fortjeneste til investeringer i infrastrukturen. Dermed kanaliseres indtægter over i udbygningen af infrastruktur.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 3.5 | <p>Tillæg til indtægtsrammen vil muliggøre dækning af elnetselskabernes investeringer. Netselskaberne kan kompenseres med et tillæg som understøtter fremtidige investeringsbehov. Det vil modvirke finansieringsunderskuddet, og kan føjes til den økonomiske regulering.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

## 5.8.2 Varmesektoren

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.0 | <b>Fjernvarmen</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 4.1 | Fjernvarmen er fortsat den mest oplagte løsning at udbrede frem mod 2050, og har i størstedelen af cases en høj energieffektivitet og god driftsøkonomi. Den kollektive forsyning af fjernvarmen udfordres dog case afhængigt på effektivitet og økonomi. Fjernvarmen har gode vilkår i byområder med tæt bebyggelse, hvorimod åbne og landlige områder må forsynes gennem mindre net som nabovarme, og individuelle varmepumper.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 4.2 | Udfasningen af de fossile brændsler, som fortsat har en markant rolle i forbruget, er afgørende for at fjernvarmen langsigtet kan anses som en bæredygtig forsyning. Fuld udfasning af disse brændsler er derfor et krav og denne andel af forbruget må overtages af løsninger, som store varmepumper og biomasse.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 4.3 | Store varmepumper ses langsigtet som den primære produktionsmetode i fjernvarmen. Biomassen kan her spille en supplerende rolle, men anbefalingen er her at de store varmepumper står for den primære produktion. Dette skyldes en forventning om at biomassen langsigtet vil være en mere efterspurgt ressource på tværs af sektorer, og at de store varmepumpers drift understøttes af et højt antal produktionstimer på årsbasis.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 4.4 | Det anbefales at de store varmepumper ses som baseload produktion, da dette vil understøtte driften økonomisk. Denne baseload produktion bør dog understøttes af andre teknologier, for at mængden af kapacitet der skal implementeres fra varmepumper kan være så lav som muligt for at opnå lavere anlægsomkostninger.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 4.5 | Områdefrænsningen mellem fjernvarme- og naturgasområder er fortsat en barriere for udvidelsen af fjernvarmen. Her bør staten gå ind og understøtte fjernvarmeselskaberne ift. kompensationsordningen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 4.6 | Regulering af hvile-i-sig-selv princippet, sådan så forsyningsselskaberne vil kunne få økonomisk gevinst af eventuelle effektiviseringstiltag der implementeres. Ved at tilpasse det sådan så en vis procentdel af den eventuelle besparelse gives til selskaberne, vil det kunne medvirke en højere grad af effektivisering i fjernvarmeselskabernes driftsomkostninger. Indtægtsrammeregulering kunne også erstatte hvile-i-sig-selv princippet og skal indeholde effektiviseringskrav der både er generelle og individuelle. Dette kommer fjernvarmeforbrugerne til gode i form af lave priser. Reguleringen udformes sådan at realisering af større effektiviseringer af fjernvarmeselskabernes indtægtsramme skal give økonomisk fordel. Det skal give incitamentet til at yderligere effektiviseringer opstår deraf. Finansiering af grønne aktiviteter og investeringer til grøn omstilling fremadrettet kunne være indbefattet i indtægtsrammereguleringen. |
| 4.7 | Lokale samarbejder mellem kommuner og forsyningsselskaber kan systematisk skabe overblik over levetiden på installerede varmeinstallationer. Derved kan disse data udnyttes til case afhængigt at vurdere hvilke områder                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            | det vil være oplagt for store andele af husstandene, inden for en kort tidshorisont, at skifte til en mere bæredygtig varmforsyning, og dermed en højere tilslutningsgrad.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>5.0</b> | <b>Nabovarme</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 5.1        | Nabovarme ses som et løsningsforslag, for de områder hvor det samfundsøkonomisk ikke er muligt at udbrede fjernvarmen. Her vil det langsigtet være oplagt at nabovarmenet, hvor det er muligt, designes med henblik på at blive indfaset i den kollektive fjernvarmforsyning. Derudover vil der være cases hvor nabovarme kan ses som den permanente langsigtede løsning. Nabovarme giver mening, grundet de lavere anlægs- og driftsomkostninger der kan opnås ved en større fælles varmepumpe, op imod implementeringen ved en tilsvarende kapacitet fra individuelle varmepumper. En fælles akkumuleringskøle tank vil her også være billigere og mere effektiv, end en række individuelle, og give mulighed for et mere fleksibelt forbrug. Dermed kan fluktuerende el forbruges i perioder hvor produktionen er høj og prisen er lav. |
| 5.2        | Det anbefales at implementere nabovarme, når man langsigtet arbejder hen imod fjernvarmforsyning i dette område. Derved afbetales anlægsinvesteringer løbende og vil derfor være lavere når nettet indfases fjernvarmen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>6.0</b> | <b>Individuel forsyning</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 6.1        | De individuelle varmepumper anbefales som en løsning for denne del af varmforsyningen langsigtet. Dette skyldes teknologiens høje effektivitet, det direkte elforbrug, fleksibiliteten i form af regulerbarhed og forventninger om at teknologien fortsat udvikles. Det forventes her også at lavere elpriser fra fremtidens VE, og afgiftslempelser vil give en bedre driftsøkonomi. Anlægsomkostninger er dog stadig en stor udfordring, især for de varmepumper som kan dække forbruget på årsbasis i form af luft-vand og jordvarmepumper.                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 6.2        | De boliger der langsigtet forventes at blive anvendt til individuel forsyning vil oftest ligge uden for byområder og forventes at have en lavere værdi. Dette sætter yderligere pres på anlægsprisen ved en varmepumpe, set i relation til boligens værdi, og de borgere da skal stå for investeringen. En tilskudsordning til anlægsomkostninger på luft-vand og jordvarmepumper vil her være et dyrt men effektivt løsningsforslag for at overkomme denne barriere i den kommende fase af omstillingen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>7.0</b> | <b>Regulering</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 7.1        | Fuld udfasning af elvarmeafgiften efter 2021. Dette vil forbedre konkurrenceevnen for varmforsyningsteknologier baseret på el.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 7.2        | En CO <sub>2</sub> afgift vil være et oplagt og effektivt redskab til at sætte gang i omstillingen i en grad der understøtter målsætningen om 70 % reduktion i 2030. Effekten af denne afgift vil blive afgjort af hvor høj en afgift man politisk                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | kan blive enige om at vedtage. Her kan der også tages forbehold for hvilke sektorer og brændsler der indledende sættes mest pres på, så man eksempelvis understøtter industriens vilkår og mulighed for at tilpasse sig omstillingen løbende.                                                                                                                                                                        |
| 7.3 | En dynamisk elafgift vil kunne understøtte at elforbruget i større grad tilpasses den fluktuerende elproduktion. Ved indførelsen af denne afgift vil teknologisor som her kan udnytte denne få bedre vilkår, og deraf opnår man et mere fleksibelt og robust energisystem i fremtiden.                                                                                                                               |
| 7.4 | Afskaffelse af brændselsbindingen vil kunne understøtte effektiviseringer ved at man skaber et frit brændselsvalg, så virksomheder kan konvertere til grønne brændsler. Et eksempel kunne være gas til grønne brændsler.                                                                                                                                                                                             |
| 7.5 | Afskaffelse af kraftvarmekravet vil betyde at værker der er underlagt dette krav ikke skal producere både el og varme sammen. Økonomisk optimering og større fleksibilitet for virksomhederne er et potentiale heri.                                                                                                                                                                                                 |
| 7.6 | Overskudsvarmeafgiften ses også som en barriere for fuld udnyttelse af overskudsvarme i samspil med langsigtet storskala implementering af store varmepumper i fjernvarmesystemet. Netop udnyttelse af overskudsvarmen er vigtigt, grundet dens høje kvalitet som varmekilde til varmepumperne som udfordres ved faldende temperaturer på sæson basis. Det anbefales derfor at overskudsvarmeafgiften fuldt udfases. |



## 6. Konklusion

Det kan konkluderes ud fra denne specialerapport at, samspil mellem produktion og forbrug i Danmarks samlede energisystem står overfor en række udfordringer systemteknisk, når fluktuerende VE vinder indpas som primær produktionskapacitet. Disse udfordringer defineres som systemkrav, og der forventes at skulle foretages økonomiske investeringer for at disse krav langsigtet dækkes i tilfredsstillende grad.

Her vil de vigtigste systemtekniske krav, både nationalt og lokalt, samt kompetencer til energisystemet blive opridset, og fleksibilitet, robusthed og forsyningssikkerhed er nøgleparametre når dette skal vurderes. Det første systemkrav der identificeres er det stigende pres på forsyningssikkerheden der opstår i kraft af den stigende fluktuerende andel af produktionen. Når man planlægger mod en produktion hvor vind på land og hav vil stå for den primære produktion, må man her tage højde for denne sammenhæng i resten af systemets design. Første løsningsforslag er her at man søger at opnå en stor decentralisering i vindkapaciteten. Derved kan man opnå en spredning i vindmøllernes produktion på timebasis, grundet skiftende vejrforhold på tværs af land og hav i Danmark. Derudover konkluderes det at der fortsat er et stort nationalt potentiale for fortsat implementering af landvind, men at de nuværende samfundsstrukturer, og kommunernes manglende implementerings vilkår, forventes at blive en barriere for udnyttelse af dette potentiale inden for de nuværende rammer. Landvind skal altså politisk prioriteres igen på nationalt plan, og vil være en billig løsning med et stort potentiale. Det er her case afhængige barrierer der må tages højde for gennem et bedre kompetenceniveau i den lokale planlægning i kommunerne. Her vil centrale anbefalinger være større bevidsthed om lokal borgerinddragelse, ændring i målsætningen om halvering i antallet af landvindmøller fra 2018, økonomisk gevinst ved ejendoms ekspropriering og kapacitets opgradering af eksisterende landvindmøller. Vindmølleplanlægning skal indgå i tværkommunale samarbejder, samt fælles indkøb af vindmøller samt fælles strategisk energiplanlægning. En samlet strategi der sætter rammerne og skaber råderum vil gøre at kommunerne i praksis kan implementere landvindmøller på større skala.

Supplerende til vindsporet ses solenergi, som fortsat har en mindre rolle i produktionen af energi, men har potentiale for i større grad at understøtte VE-produktionen fremadrettet. I forhold til storskala implementering er der for nuværende udsigt til at man primært vil gå efter markanlæg, selvom solceller på bygninger også bør bidrage

mere til energisystemet. Dermed er solceller som teknologi ikke anvendeligt til spidslast eller regulerbar kapacitet, men som et supplement til energisystemet der er med til at skabe robusthed ved anvendelse af forskellige produktionsteknologier. Grundlaget for at solcellerne får en større rolle er den teknologiske udvikling og øget konkurrenceevne over tid. Man må dog her tage højde for de visuelle udfordringer der er med at bruge store markanlæg, og de barrierer der opstår af dette.

Biogas vil langsigtet skulle benyttes som alternativ for de ydelser der stadig er baseret på gasforbrænding. Biogassen benyttes allerede som iblandingsprodukt i gasforsyningen, denne andel vil kunne blive yderligere forøget, så brugen af naturgas minimeres yderligere. Produktionen af biogas er dog meget dyr og dette begrænser hastigheden hvormed biogas bliver implementeret. Udover at biogas vil kunne erstatte ydelserne der er baseret på gas, blandt andet som procesvarme i industrien, vil en andel af biogasproduktionen også kunne anvendes som brændsel i transportsektoren, hvor det ikke giver mening at omstille til elektricitet. Samlet set konkluderes det at biogas vil blive afgørende til at substituere den nuværende gas på en række områder hvor elektrificering ikke vil være en mulig løsning. Men at gasforbruget i fremtiden bør begrænses til de sektorer hvor der er et systemteknisk behov, grundet de økonomiske omkostninger ved implementering og drift af teknologien. Hvis man her får skabt effektive lagringsmuligheder for gassen, kan denne også prioriteres til el og varmeproduktion i spidsbelastningsperioder hvor den fluktuerende produktion ikke er tilstrækkelig. Ved yderligere udvikling af gasanlæg vil gas kunne komme til at fungere som regulerbar kapacitet.

Til at imødekomme samme udfordring, med at opretholde effekttilstrækkeligheden, vil det også være oplagt at planlægge implementering af decentrale kraftværker. Disse bør designes til at køre i kortere tidsperioder, med henblik på at blive anvendt som regulerbar kapacitet som kan skabe fleksibilitet og robusthed i systemet.

I forbrugssektoren identificeres der krav vedrørende effektivt og direkte forbrug af el til de teknologier man satser på til storskalaimplementering i varme og personbiltransporten. Derudover ses intelligent styring som et systemteknisk krav der skal inddrages i designet af fremtidens forbrugssektor, med henblik på at opnå større fleksibilitet og deraf lavere investeringsomkostninger til VE-kapacitet i produktion og lagring af energi.

Til omstilling af personbiltransporten ses elbiler som løsningen, og det intelligente samspil med energiproduktionen er i højsædet. Elbilerne har en høj energieffektivitet og spiller godt sammen med forbrug af fluktuerende el, hvis man formår at udnytte potentialerne for at rykke opladningsmønstrene ud af de perioder med højt forbrug fra andre sektorer. Det konkluderes at elbilernes forventes at blive mere konkurrencedygtige og at der vil blive et større udvalg af modeller, som vil understøtte elbilernes voksende markedsandel fremadrettet. Grundlaget for brugen af elbilerne er dog i høj grad afspejlet af den infrastruktur som skal gøre denne teknologi til en funktionel løsning for forbrugerne. Implementering af intelligent og hurtig lynladeinfrastruktur vil derfor være den vej man skal gå, hvis man vil gøre elbiler anvendelige i praksis, og samspillet med energiproduktionen skal optimeres. Her vil adgang til forbrugsdata være essentiel så forbrug kan skubbes væk fra spidslastperioder i elnettet, og dette gøres via en afgift som er incitamentsskabende for forbrugeren. Hertil vil implementering af lynlader eltankstationer hvor folk kan lade efter de forbrugsmønstre vi ser idag, samt lynladere langs motorvejen der kan tage et stort antal biler, være vigtige skridt at starte med i en omstilling af infrastrukturen. Vedrørende omstilling af infrastruktur er der flere løsningsmodeller. En model er at lade private aktører stå for implementering, vedligeholdelse og drift eller lade staten stå for det. Staten, her i form af Vejdirektoratet, kan også stå for implementering hvorefter drift og vedligeholdelse mv. kan udbydes til kommercielle aktører. Hvis man ser på elbilernes fleksibilitets potententialer vil smart opladning kunne mindske presset på elnettet, set som effektbehovet, og derudover kan strøm købes og bruges når den er billig, hvilket vil understøtte salget af VE i perioder hvor dette kan være udfordrende grundet høj produktion. For at skabe et økonomisk incitament til elbilsopladning for forbrugerne, anbefales det at fastholde afgiftslempelserne for process-elaftgift. For at få sat skub under omstillingen af infrastrukturen kunne en mindre prisafgift på solgt el øremærkes til udbygning af dette. I forhold til reguleringsrammen for elnetselskaberne og deres fremtidige investeringers muligheder vil et tillæg som understøtter investeringsbehovet modvirke finansieringsunderskuddet, og dermed være incitamentsskabende for investeringer.

For varmesektoren ses eldrevne kompressor varmepumper, grundet den høje energieffektivitet og det direkte elforbrug, som den primære løsning til forsyning af

varme langsigtet. Der differentieres her mellem løsningerne fjernvarme, nabovarme der omstilles til fjernvarme, permanent nabovarme og individuel forsyning.

Fjernvarmen ses her som det mest effektive og økonomisk konkurrencedygtige alternativ til størstedelen af varmeforsyningen. Fjernvarmen udfordres dog case afhængigt grundet store afstande, hvilket medfører større anlægsomkostninger og varmetab. I disse områder vil nabovarme og individuel forsyning derfor være de løsninger man må fokusere på. For fremtidens fjernvarme er det mest centrale, for at denne bliver bæredygtig, at man får udfaset den resterende andel af fossile brændsler. Det anbefales at strategien for de store varmepumper bliver at de skal stå for en så stor andel af baseload kapaciteten som muligt, suppleret af biomasse som fortsat vil have en afgørende rolle i denne del af forsyningen.

Regulering af hvile-i-sig-selv princippet vil kunne betyde at forsyningsselskaberne får økonomisk gevinst ved effektiviseringstiltag der bliver implementeret, og dette vil være incitamentsskabende for omstilling. Ydermere vil en erstatning af hvile-i-sig-selv princippet med en indtægtsramme, der giver økonomisk fordel ved større realisering af effektiviseringer, være incitamentsskabende for yderligere effektiviseringer.

Det konkluderes at nabovarme vil være en mulig løsning som overgangsspor til fjernvarme, i cases hvor det for nuværende ikke er samfundsøkonomisk muligt at godkende fjernvarmeprojekter. Her vil en mellemstor varmepumpe, med tilhørende akkumuleringstank, være den teknologiske løsning i et system på 10-40 husstande. Den løbende afbetaling på anlægsomkostninger vil langsigtet understøtte en indfasning i fjernvarmesystemet. Der konkluderes derudover at der også vil kunne opnås fordele ved nabovarme som permanent løsning. Disse fordele forventes at blive opnået ved at en samlet varmepumpe, og akkumuleringstank, for et mindre område vil have mindre anlægsomkostninger end individuelle anlæg til de forsynede husstande. Derudover er der en forhåbning om at en større akkumuleringstank vil have bedre driftsomkostninger og kunne udnytte potentialer for indkøb lagring af energi, når produktion er stor og elprisen er lav.

Den individuelle forsyning konkluderes til hovedsageligt at blive baseret på elektriske varmepumper. Anlægsomkostningerne for de individuelle varmepumper er dog udfordrende, og forventes at være en stor økonomisk byrde i mange af de landområder hvor individuel forsyning er den eneste løsning. Dermed er der behov for at mindske denne byrde, hvilket kunne opnås gennem særlige ordninger hvor forsyningsselskaber opsætter varmepumpen og forbrugeren løbende afbetaler

anlægsomkostningerne over tid. Fælles for alle løsninger er dog at anlægsomkostninger for varmepumper i alle størrelser stadig er enormt høje, og implementering af så lav en kapacitet som muligt er afgørende. Derfor skal varmepumper understøttes af andre teknologisor i spidsbelastningsperioder, så man kan omgå at varmepumpernes kapacitet skal være så høj at denne kan dække forbruget alene.

For at den samlede omstilling af energisystemet kan gennemføres ses der et stort behov for regulering og planlægning fremadrettet, og at der her sættes fokus på de systemkrav der opstår ved en fluktuerende energiproduktions samspil med forbrugsteknologier. De udvalgte teknologisor i både produktion- og forbrugssektoren er i høj grad rettet mod el, og det vil derfor være oplagt at der fokuseres på dette i reguleringen. Her er værktøjer som CO<sub>2</sub> afgift, fuld udfasning af elvarmeafgiften efter 2021, dynamisk elafgift, afskaffelse af brændselsbindingen, afskaffelse af kraftvarme kravet og udfasning af overskudsvarmeafgiften, alle muligheder for at understøtte en udvikling der stemmer overens med at få implementeret de teknologisor der vil skabe et fleksibelt og robust energisystem i 2050. Derudover er en bedre strategi for kommunernes rolle i hele omstillingen afgørende, samt klare statslige retningslinjer for både personbiltransporten og varmesektoren. Her vil systematisk brug af strategisk energiplanlægning og fælles strategisk energiplanlægning på tværs af kommuner være oplagt. Her må staten gøre denne planlægning obligatorisk for alle kommuner, og deraf skal der bevilges ressourcer til at opnå et tilfredsstillende kompetenceniveau i den lokale planlægning. Det konkluderes at statens rolle i denne omstilling, for en lang række cases, vil være at skabe de bedst mulige rammer. Hvorimod kommunerne ofte vil stå for den reelle identificering, godkendelse og implementering af lokale bæredygtige projekter. Potentialer i den kommunale planlægning kan frigøres ved at give kommunerne fuldt lokalt råderum og planlægning over det nationale energisystem ligesom man ser med varmeplanlægningen. Hertil vil kommunerne også bedre udnytte deres roller som facilitator, virksomhed, planlægger og ejer og ikke mindst inddrage de respektive aktører i langt større omfang, alt sammen til fordel for bæredygtig omstilling.

## 7. Perspektivering

Hvis man her yderlige vil undersøge fordelene ved at vælge teknologiske løsninger, der understøtter de identificerede systemkrav i 2050, kunne man her se på den økonomiske effekt af disse. Altså hvad det vil koste at understøtte disse krav og behov der vil opstå i fremtidens energisystem, hvis ikke man designer de teknologiske løsninger i produktion- og forbrugssektoren til at understøtte et fleksibelt samspil på tværs af sektorerne. Hvis man her finder den økonomiske effekt af de anbefalede løsninger vil dette kunne ses som en økonomisk besparelse i de langsigtede investeringsomkostninger, som ellers i højere grad skulle gå til mere VE-kapacitet, større energiforbrug, lagring af energi osv. Af en sådan analyse ville man kunne tilbageføre de langsigtede økonomiske gevinster der kan opnås gennem de udvalgte løsninger, og deraf kan disse blive en del af de nuværende betingelser i form af en investeringsramme der vil understøtte hurtigere og smartere omstilling. De økonomiske aspekter af potentialernes effekt vil derfor kunne skabe yderligere belæg for at de ønskede tiltag hurtigere og i højere grad prioriteres politisk.

## 8. Litteraturliste

- Andrew, T. 2020 **Regeringen afviser CO2-afgift i kommende klimaudspil**, Finans.  
<https://finans.dk/politik/ECE12154647/regeringen-afviser-co2afgift-i-kommende-klimaudspil/?ctxref=ext>
- Bilag 1 2020 **Interview af Rasmus Munch Sørensen**, Energistyrelsen.
- Bilag 2 2020 **Interview af Anders Hasselager**, Seniorprojektleder i Energi på tværs, Gate 21.
- Clever 2020 **Clever**, <https://clever.dk/produkter/> [Senest hentet eller vist den 4 Juni 2020].
- Dansk Elbil Alliance 2020 **Statistik**  
<https://www.danskelbilalliance.dk/statistik> [Senest hentet eller vist den 28 Maj 2020].
- Dansk Energi 2018 **Varme Outlook 2018: Perspektiver for fremtidens varme i Danmark**, Dansk Energi.
- Dansk Energi 2019 A **VE Outlook 2019**, Dansk Energi.
- Dansk Energi 2019 B **Er elnettet klar til elbiler**, Dansk energi.
- Dansk Fjernvarme 2015 A **Kom godt i gang: Varmeforsyningsloven og projektbekendtgørelsen - i forbindelse med varmeprojekter og varmeplanlægning lokalt**, Dansk Fjernvarme
- Dansk Fjernvarme 2015 B **Kom godt i gang: Anvendelse af økonomimodeller i fjernvarmeprojekter - i forbindelse med varmeprojekter og varmeplanlægning lokalt**, : Dansk Fjernvarme.
- DrivkraftDanmark 2019 **Energistatistik 2019**.
- Ea Energianalyse 2017 **Konkurrence analyse af fjernvarmesektoren**, Ea Energianalyse.
- Energinet 2011 **Nabovarme med varmepumpe i Solrød Kommune**, Energinet.
- Energinet 2015 **Energikoncept 2030 - Baggrundsrapport: En analyse af koncepter og udviklingsveje, der kan understøtte et konkurrencedygtigt og robust VE-baseret energisystem**, Energinet.dk.
- Energinet 2015 **Analyse af potentialet for landvind i Danmark 2030**.  
Energinet.dk.
- Energinet 2016 A (Opdateret 2020) **Technology Data - Generation of Electricity**

- and District heating**, Energistyrelsen.
- Energinet 2016 B (Opdateret i 2018) **Technology Data heating installations**, Energistyrelsen.
- Energinet 2018 A **Miljørapport 2018 - Miljørapport for dansk el og kraftvarme i statusåret 2017**, Energinet.dk.
- Energinet 2018 B **Redegørelse for gasforsyningssikkerhed 2018**, Energinet.
- Energinet 2019 **Miljørapport 2019**, Energinet.dk.
- Energistyrelsen 2013 **Strategisk energiplanlægning i kommunerne: Vejledning i analyser af systemændringer og scenarieanalyser**, Energistyrelsen.
- Energistyrelsen 2017 **Drejebog: til store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet**, Energistyrelsen.
- Energistyrelsen 2018 A **Energistatistik 2018: Data, tabeller, statistikker og kort**, Energistyrelsen.
- Energistyrelsen 2018 B **Oversigt over støtteregele mv. for elproduktion baseret på vedvarende energi og anden miljøvenlig elproduktion**, : Energistyrelsen.
- Energistyrelsen 2018 C **Danske Nøgletal 2018**.
- Energistyrelsen 2019 A **Basisfremskrivning 2019: Energi- og klimafremskrivning frem til 2030 under fravær af nye tiltag**, Energistyrelsen.
- Energistyrelsen 2019 B **Analyseforudsætninger til energinet 2019**.
- Energistyrelsen 2020 **Ændrede vilkår for støtte til anvendelse af biogas på eksisterende anlæg med energiaftale 2018**, ens.dk.  
<https://ens.dk/ansvarsomraader/bioenergi/stoette-til-biogas> [Senest hentet eller vist den 22 maj 2020].
- European Commission 2020 **An official website of the European Union**, [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en) [Senest hentet eller vist den 12 Juni 2020].
- European Environment Agency 2016 **Electric vehicles in Europe**, European Environment Agency.
- Flader, L. & Kudsk, T. L. 2020 **Gør Bornholm og skab konkurrence på ladestandere til elbiler**, Ingeniøren.  
[https://ing.dk/artikel/kronik-goer-bornholm-skab-konkurrence-paa-ladestandere-elbiler-235686?utm\\_medium=email&utm\\_source=ing.dk&utm\\_campaign=tipenven](https://ing.dk/artikel/kronik-goer-bornholm-skab-konkurrence-paa-ladestandere-elbiler-235686?utm_medium=email&utm_source=ing.dk&utm_campaign=tipenven)



[Senest hentet eller vist den 9 Juni 2020].

Folketinget 2019 **Forslag til lov om ændring af lov om afgift af elektricitet og forskellige andre love**, Folketinget.

Forsyningstilsynet 2019 **Den 31. december 2020 lukker energispareordningen**, <https://forsyningstilsynet.dk/aktuelt/nyheder/den-31-december-2020-lukker-energispareordningen> [Senest hentet eller vist den 5 Juni 2020].

Forsyningstilsynet 2020 **Fjernvarmestatistikken december 2019**, Forsyningstilsynet.

Frederiksberg Kommune 2019 **Frederiksberg Elbilby nr. 1**, Frederiksberg Kommune.

Gaarsmand, R. & Kjær, T. 2019 **Vindkraftpotentialer - Potentiale for større møller**, RUC institut for mennesker og teknologi.

Grontmij 2013 **Arbejdsgruppen for gennemgang af: Kommunernes opgaver og beføjelser på energiområdet**, Grontmij.

Hinrichsen, M. B. 2018 **Danmark får EM-guld i forsyningssikkerhed**, Danskenergi.dk.

IDA 2015 **IDA's Energivision 2050 - Et intelligent 100% vedvarende energisystem**, Ingeniørforeningen IDA.

IRENA 2019 **Renewable power generation costs in 2018**, IRENA.

Kristensten & Hussein 2016 **Metoder i samfundsvidenskaberne**, Samfunds Litteratur.

Klimarådet 2018 **Biomassens betydning for grøn omstilling: Klimaperspektiver og anbefalinger til regulering af fast biomasse til energiformål**, Klimarådet.

Klimarådet 2020 **Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion - retning og tiltag for de næste ti års klimindsats i Danmark**, Klimarådet.

Mathiesen, B. V. et al. 2015 **IDA Energy's vision 2050**, Aalborg university.

Regeringen 2018 A **Sammen om en grønnere fremtid**.

Regeringen 2018 B **Energiaftale**, Folketinget.

Regeringen 2019 **Aftale om klimalov**.

Robinson, J.B. 1982 **Energy backcasting – a proposed method of policy analysis**. Energy policy.

Transport- og Boligministeriet 2020 **Aftale om udmøntning af pulje til grøn transport i 2020**, Transport- og Boligministeriet.

Thomassen, F. & Ventzel, R. L. 2020 **Effektiviseringspotentialer af fjernvarmen har været på tegnebrættet i mange år**, EY. [Online] Tilgængelig på: [https://www.ey.com/da\\_dk/power-utilities/effektiviseringspotentialer-i-fjernvarmesektoren](https://www.ey.com/da_dk/power-utilities/effektiviseringspotentialer-i-fjernvarmesektoren) [Senest hentet eller vist den 8 Juni 2020].

UNFCCC 2020 **United Nations Climate Change**, [ [https://unfccc.int/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/kyoto_protocol) ] [Senest hentet eller vist den 11 Juni 2020].

United Nations 1992 **United Nations Framework Convention on Climate Change**. Giddens, Anthony. The Politics of Climate Change, Polity Press, 2011. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/kbdk/detail.action?docID=1180910>.

VedvarendeEnergi 2014 **Forslag til dynamisk elafgift**, VedvarendeEnergi.