



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **Varmeplan Danmark 2021 - En Klimaneutral Varmeforsyning**

Mathiesen, Brian Vad; Lund, Henrik; Nielsen, Steffen; Sorknæs, Peter; Moreno, Diana; Thellufsen, Jakob Zinck

*Publication date:*  
2021

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Mathiesen, B. V., Lund, H., Nielsen, S., Sorknæs, P., Moreno, D., & Thellufsen, J. Z. (2021). *Varmeplan Danmark 2021 - En Klimaneutral Varmeforsyning*. Aalborg Universitet.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### **Take down policy**

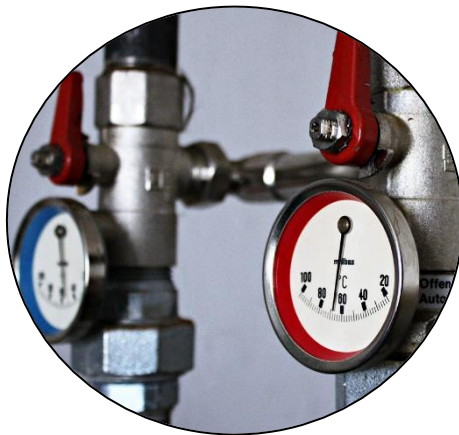
If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

# VARMEPLAN DANMARK 2021

## En Klimaneutral Varmeforsyning



**VARMEPLAN DANMARK 2021**  
**En Klimaneutral Varmeforsyning**

© Forfatterne

Brian Vad Mathiesen

Henrik Lund

Steffen Nielsen

Peter Sorknæs

Diana Carolina Moreno Saltos

Jakob Zinck Thellufsen

**Udgivet af**

Institut for Planlægning

Aalborg Universitet

Rendsburggade 14

9000 Aalborg

Denmark

**ISBN: 978-87-93541-39-9**

*Resultater, metoder og analyser i "Varmeplan Danmark 2021" er baseret på en række forskningsprojekter gennemført af forskere fra energiforskningsgruppen ved Institut for Planlægning ved Aalborg Universitet. Selve udarbejdelse af planen har modtaget finansiel støtte af Danfoss, Grundfos og Innargi.*

## Forord

I foråret 2020 udgav Ingeniørforeningen i Danmark (IDA) rapporten "IDAs Klimasvar", der kommer med et konkret bud på hvordan Danmark kan opnå målet om 70% reduktion i drivhusgasudledningen i 2030. Året efter, i foråret 2021, blev den efterfulgt af rapporten "IDAs Klimasvar 2045", som viser, at et klimaneutralt energisystem bygget på 100% vedvarende energi er muligt i Danmark allerede i 2045. Begge rapporter er udarbejdet af forskere ved forskningsgruppen i Energiplanlægning ved Institut for Planlægning på Aalborg Universitet. Analyserne viser, at varmesektoren kommer til at spille en væsentlig rolle som en integreret del af denne omstilling.

Varmesektoren har, ligesom elsektoren, kendte og kommercielle løsninger til rådighed. Spørgsmålet er i højere grad, hvilken pris vi vil betale som samfund, og hvor effektive vi er mht. anvendelsen af vedvarende energi, herunder biomasse? Udfordringerne er mange, både regulatorisk, samfundsøkonomisk og teknisk.

IPCC satte med sin seneste rapport fra august 2021 udfordringer og behovet for handling på dagsordenen. For at nå længst muligt inden 2030 og for derefter at opnå CO<sub>2</sub>-neutralitet i Danmark, er det afgørende, at der er en samlet vision og plan for, hvordan det kan gøres. Dels med fokus på, at det gøres på en fleksibel måde, som løbende kan tilpasses, dels på en omkostningseffektiv måde, som ikke stiller hindringer i vejen for det endelige mål om klimaneutralitet. Med denne rapport ønsker vi at vise, at varmesektoren kan omstilles hurtigt og dermed give et afgørende bidrag til 2030 målsætningen samtidigt med at Danmarks særlige position som eksportør af netop disse teknologier fastholdes og udbygges.

Med input fra Danfoss, Grundfos og Innargi har vi udarbejdet "Varmeplan Danmark 2021", hvor vi ser på, hvordan varmesektoren spiller sammen med resten af fremtidens energisystem med varmebesparelser, elektrificering, energilagere, Power2X og elektrofuels, samt datacentre og geotermi og ikke mindst langt mere vedvarende energi i energisystemet end i dag.

Varmeplan Danmark 2021 står på skuldrene af de to tidligere Varmeplan Danmark rapporter fra 2008 og 2010. I den forbindelse vil vi gerne takke Anders Dyrelund fra Rambøll for hans omfattende bidrag.

God læselyst

*Brian Vad Mathiesen, Henrik Lund, Steffen Nielsen, Peter Sorknæs, Diana Carolina Moreno Saltos og Jakob Zinck Thellufsen*

*Oktober 2021*

## Indledning

Danmark har en målsætning om at opnå en 70% reduktion i udledningen af drivhusgasser i 2030 og at blive klimaneutrale i 2050. "Varmeplan Danmark 2021" indeholder en samlet plan for, hvordan varmesektoren kan bidrage til 70% målsætningen og et klimaneutralt Danmark allerede i 2045. I Klimafremskrivningen fra Energistyrelsen [1] og i andre rapporter antages varmesektoren stort set ikke at udlede drivhusgasser i 2030. For at opnå det, skal de fossile brændsler ud af varmesektoren. Imidlertid er der ressourcemæssigt og økonomisk stor forskel på, hvordan man vælger at omlægge varmforsyningen. Det drejer sig om at finde en fornuftige balance mellem varmebesparelser og produktion samt mellem fjernvarme og individuelle løsninger. Det handler i høj grad om at finde de energieffektive løsninger, der passer ind i den samlede grønne omstilling. I sidste ende handler det om, hvor mange vindmøller, hvor meget biomasse og hvor mange penge vi skal bruge for at nå i mål.

"Varmeplan Danmark 2021" er et konkret bud på, hvad der bør ske i varmesektoren for, at Danmark kan gennemføre den grønne omstilling på en teknisk, økonomisk og miljømæssig hensigtsmæssig måde i 2030 (VPDK-30) såvel som i 2045 (VPDK-45). Med "Varmeplan Danmark 2021" vises, at varmesektoren kan omstilles hurtigt og med teknologier, der allerede er tilgængelige på markedet.

"Varmeplan Danmark 2021" har fire vigtige budskaber:

1. **Energibesparelser i bygningsmassen er vigtige.** Vi skal finde den rette balance mellem energibesparelser, energieffektiviseringer og vedvarende energi. Det betyder, at vi forsat skal satse på energirenovering.
2. **Fjernvarmen bør udbygges** i takt med, at vi nedlægger naturgas og oliefynd og i takt med at nye byområder opstår. Uden for fjernvarmeområderne bør varmen komme fra **individuelle varmepumper** suppleret med solvarme. Denne kombination giver den mest energieffektive og fleksible løsning, som samtidigt mindsker behovet for biomasse og antallet af vindmøller.
3. I fjernvarmforsyningen bør der **satses målrettet på overgangen til 4. generationsfjernvarme** med lavere temperaturer. Det giver de laveste omkostninger og den mest effektive udnyttelse af geotermi, overskudsvarme og store varmepumper.
4. I fremtidens energisystem er der **store potentialer for geotermi og overskudsvarme** fra industri, datacentre og Power2X. Disse muligheder bør udnyttes.

At kunne gennemføre disse ambitioner kræver planlægning. Derfor opfordres alle kommuner til at udarbejde en strategisk varmeplan, hvor bl.a. mulighederne for fjernvarmeudvidelser og nye varmekilder undersøges. Det kræver ligeledes, at der sikres politiske rammer ift. både at kunne udvikle fjernvarmforsyningen til en fremtidssikret forsyningsteknologi samt at sikre energibesparelser i bygningsmassen, da disse to elementer går hånd og hånd i et energi- og omkostningseffektivt fremtidigt klimaneutralt energisystem. Gør vi det rigtigt, så vil det også give mulighed for øget jobskabelse og eksportmuligheder.

Som en hjælp til den kommunale varmeplanlægning er en del af kortarbejdet gjort tilgængelige online<sup>1</sup>.

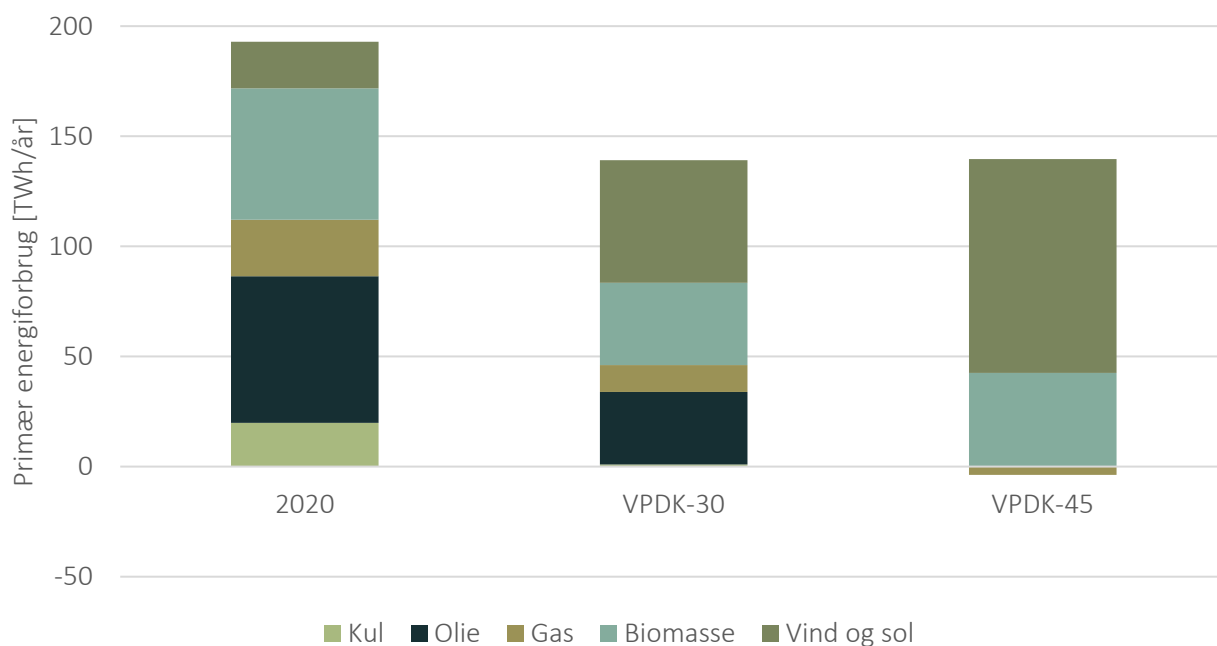
---

<sup>1</sup> Tilgængeligt på hjemmesiden: <https://energymaps.plan.aau.dk> i menuen "Maps of Denmark"

## Det fremtidige integrerede 100% vedvarende energisystem, bæredygtig biomasse og international handel

Varmesektoren kan ikke ses isoleret fra resten af den grønne omstilling. Det gælder om at finde den løsning, der bakker bedst og mest omkostningseffektivt op om at opnå de samlede politiske mål om reduktion i klimagasserne. Derfor analyserer vi varmesystemet som en integreret del af en kompleks og sektorintegreret fremtid baseret på vedvarende energi, med langt flere elbiler, Power2X, store og små varmepumper, elektrificering af industrien mv. Varmeforsyningen og varmemarkedet skal ses i lyset af målet om en omstilling til 100% vedvarende energi. Analyserne i "Varmeplan Danmark 2021" tager afsæt i scenariet for et klimaneutralt Danmark 2045 fra "IDA's Klimasvar 2045" [2]. I begge analyser er der fokus på, hvordan Danmark holder sig inden for en bæredygtig anvendelse af biomasse, tager højde for brændselsforbrug til international fly- og skibstransport og er en del af de internationale elmarkeder til handel med grøn strøm. I analyserne udveksler Danmark el med de omkringliggende lande og er nettoeksportør af biomasse i form af grøn gas baseret på biogas, som er opgraderet til naturgaskvalitet.

De langsigtede analyser for 2045 er udgangspunktet for at vise vejen for varmesektoren til 70%-målsætningen i 2030. "Varmeplan Danmark 2021" fremlægger en robust omkostnings- og ressourceeffektiv omstilling af varmesektoren, både ift. de langsigtede målsætninger frem mod klimaneutralitet (VPDK-45) og 70%-målsætningen i 2030 (VPDK-30).



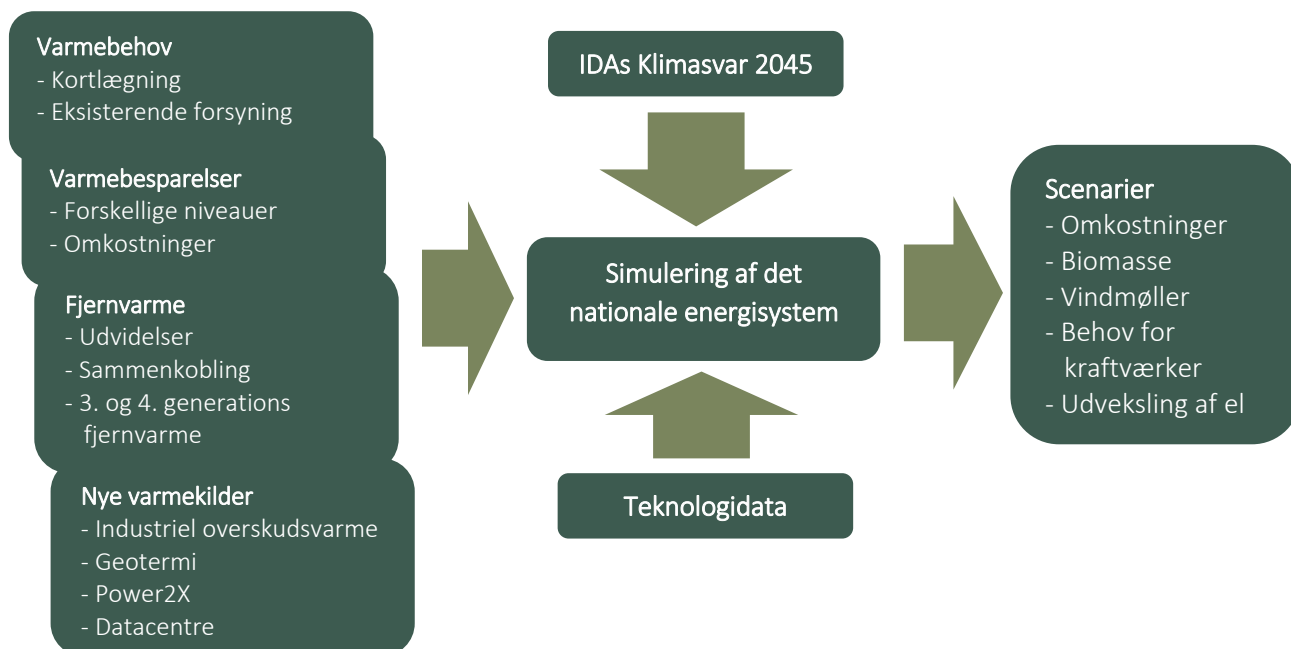
Figur 1: Primær energiforbrug i det samlede danske energisystem (el, varme, køling, transport og industri)

## Over 1.000 time-for-time sektorintegrerede energisystemanalyser og 125 GIS-analyser giver den hidtil dybeste forståelse for den danske varmesektor

”Varmeplan Danmark 2021” anvender og tilvejebringer den nyeste viden om energiforbrug, overskudsvarme og teknologi som grundlag for at vurdere potentialerne for energibesparelser og overskudsvarme såvel som balancen mellem individuel opvarmning og opvarmning med fjernvarme i et fremtidigt fossilfrit energisystem. Denne viden kombineres med delanalyser på de enkelte teknologier.

7 detaljerede GIS-analyser (geografiske informationssystemer) giver mulighed for at kortlægge og analysere varmemarkedet ned til den enkelte bygnings varmeforbrug og placering i sammenhæng med overskudsvarmepotentiale fra 9.235 konkrete virksomheder og mulighederne for at bruge det geotermiske potentiale. GIS-kortlægningen og -analyserne anvendes også til at se på udvidelse af fjernvarmetransmissionssystemet på tværs af Danmark, så potentialet for at udnytte varmekilder øges. De 7 analyser er baseret på ca. 125 modelkørsler.

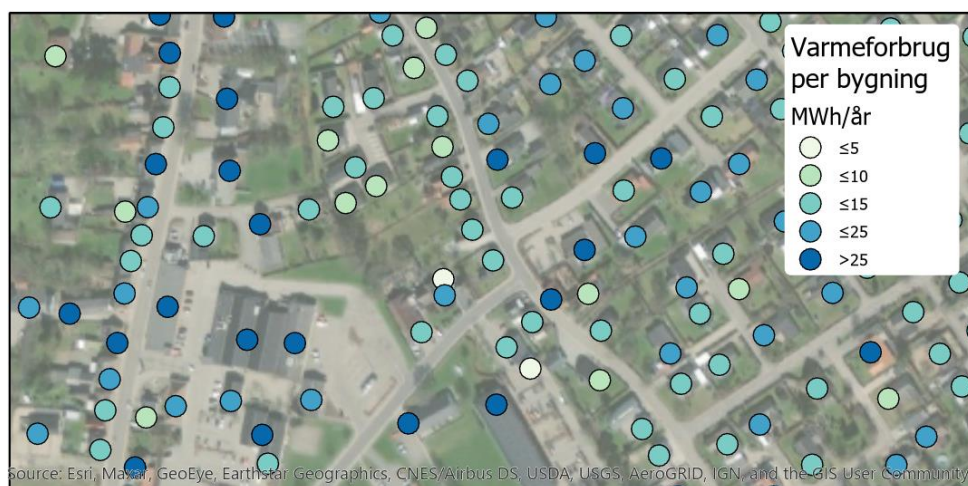
Over 1.000 time-for-time energisystemanalyser undersøger balancen mellem forsyning og forbrug sammen med potentialet for at anvende overskudsvarme og geotermi og afdækker de økonomiske og ressourcemæssige fordele ved at udvide fjernvarmedækningen. Analyserne er lavet i et komplekst sektorintegreret energisystem med balancering af alle energibehov, herunder sikring af balancen i elnettet, og forskellige fleksible energiforbrug og lagringssystemer. Samlet set giver analyserne den hidtil dybeste forståelse for hvilken udvikling, der omkostnings- og ressourceeffektivt kan gøre Danmarks varmesektor klimaneutral.



Figur 2: Analysernes fokus og sammenhæng

Energibesparelser i bygningsmassen på 36 procent giver bedre økonomi, mindsker forbrug af vind og biomasse samt behov for kraftværker

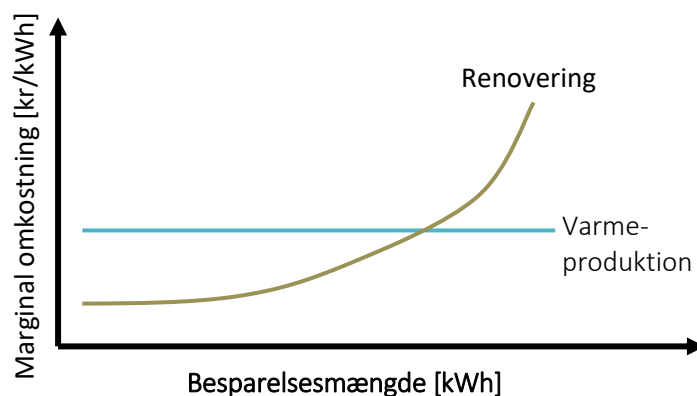
”Varmeplan Danmark 2021” rummer en række detaljerede analyser af værdien af varmebesparelser. Varmebesparelsesmulighederne er baseret på Statens Byggeforskningsinstituts (SBI) rapport om mulige varmebesparelser i det eksisterende byggeri [3]. Effektiviseringstiltagene inkluderer forbedringer af facader, tage, gulve og vinduer og er opstillet i syv scenarier, som er rangeret i forhold til omkostninger. Det er de samme scenarier, der er implementeret i varmeatlasset, som er en detaljeret GIS-kortlægning af varmebehovet i de danske bygninger udarbejdet af Aalborg Universitet.



Figur 3: Detaljeret kortlægning af varmeforbrug

Estimaterne for de årlige varmebehov i varmeatlasset, Figur 3, er baseret på en varmeforbrugsmodel, der anvender gennemsnitsbehov baseret på bygningernes anvendelse, alder og størrelse. Varmeforbrugsmodellen er herefter sammenkoblet med de bygningsspecifikke data fra Bygnings- og Boligregistret (BBR).

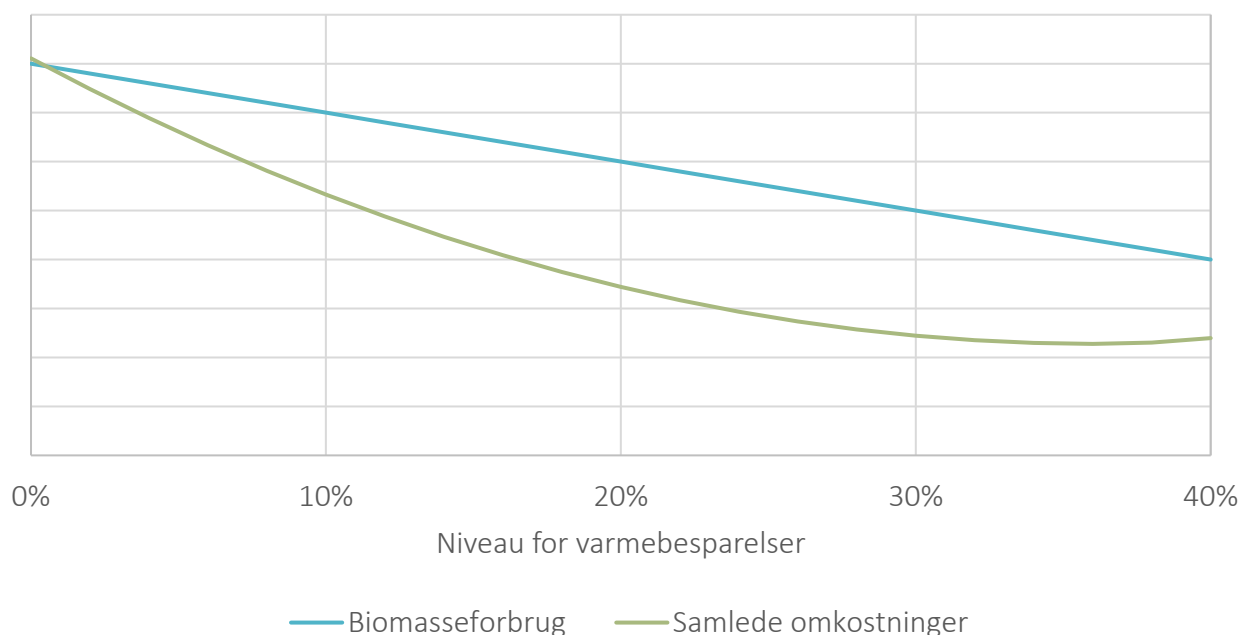
Den principielle tilgang til at finde af, hvor store varmebesparelserne bør være er, at energirenoveringer kun bør ske ind til det punkt, hvor udgiften til varmeforsyning er billigere end omkostningerne til flere renoveringer. Dette princip vises også i Figur 4.



Figur 4: Principielt diagram, der viser at energirenoveringer kun bør investeres ind til det punkt, hvor udgiften til varmeforsyning er billigere end omkostningerne til flere renoveringer [4].



Der er i analyserne undersøgt forskellige varmebesparelsesniveauer i spændet fra 0 til 40%. Besparelsesniveauerne kan i princippet være en følge af forbedring af bygningernes klimaskærm (ydervæge, tag, vinduer, osv.) eller mere optimeret drift af varmesystemerne gennem f.eks. intelligente målere og styring. Resultaterne af analyserne er, at de samlede omkostninger til varmforsyningen er lavest, når der gennemføres varmebesparelser i bygningerne på mellem 32% og 36%. På tværs af analyserne af udnyttelsen af overskudsvarme giver 36% varmebesparelser reducerede omkostninger i energisystemet på 1,1 til 1,3 mia. DKK. Besparelserne mindsker presset på biomasseressourcen med 8-10 terawatt-timer (TWh) om året svarende til cirka 15% af biomasseforbruget. 40% varmebesparelser forringer økonomien marginalt, mens 32% varmebesparelser samlet set resulteter i tilsvarende omkostninger for det samlede energisystem, som blev fundet ved 36% varmebesparelser. Derfor bygger "Varmeplan Danmark 2021" på varmebesparelser på 36% i sit forslag mod 2045 (VPDK-45). Det er midlertid vigtigt at understrege, at hvis der opstår et ønske om at mindske presset på biomasse yderligere, så kan dette gøres ved at øge varmebesparelsen til 40% med blot marginalt øgede omkostninger i det samlede system. Analyserne indikerer, at biomasseforbruget falder i omegnen 0,04-0,22 TWh-biomasse per %-point reduktion i varmekonsumet i bygningerne. Udsvinget er påvirket af installation af varmeteknologi i fjernvarmen, og især af overskudsvarme fra industri, datacentre, Power2X eller geotermi. Figur 5 viser den principielle effekt af varmebesparelser på omkostningerne i energisystemet og biomasseforbruget.



Figur 5: Principiel effekt af varmebesparelser på omkostningerne i energisystemet og biomasseforbruget

I "Varmeplan Danmark 2021" foreslår vi frem mod 2030 (VPDK-30) konkret en acceleration af varmebesparelser i bygningsmassen svarende til ren reduktion af varmebehovet på 14 % i forhold til i dag. Denne renovering antages at foregå lineært med ca. 1,44% om året. I forhold til Klimafremskrivningen 2021 [1] er det et udtryk for en øget ambition på besparelsesområdet, da der her kun antages 0,8% årlig reduktion i energibehovet frem mod 2030. Det vil kræve mere fokus på højere energibesparelser, når man i forvejen renoverer bygningen, samt at man energirenoverer i en højere takt.

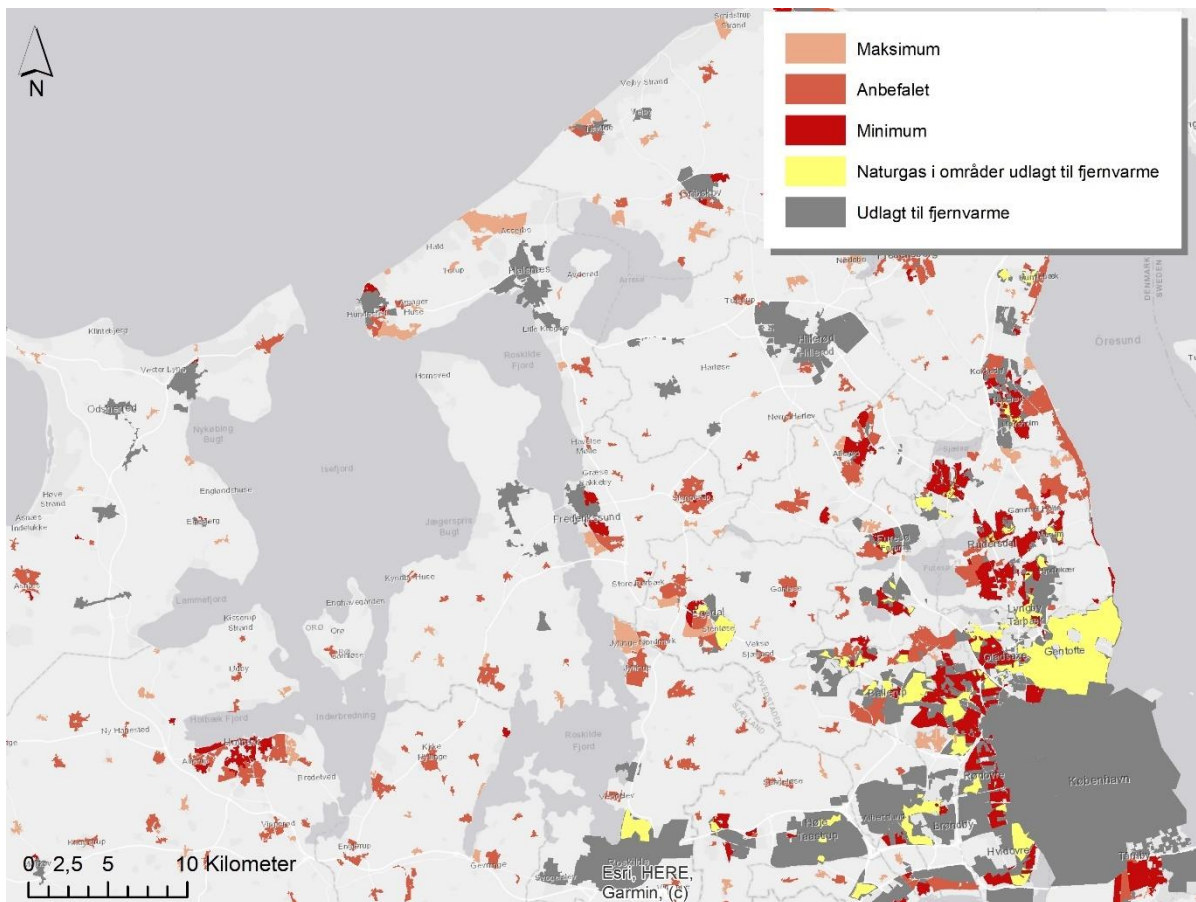
## Udvidelse af fjernvarmedækningen

”Varmeplan Danmark 2021” omfatter en række analyser af, hvor meget fjernvarme hhv. individuel varmforsyning Danmark bør stille imod. Målet er at finde frem til et forslag for hele varmforsyningen, som bedst bakker op om at gennemføre den grønne omstilling for alle sektorer.

På baggrund af disse analyser anbefaler vi i ”Varmeplan Danmark 2021”, at der stiles mod at udvide fjernvarmen fra de nuværende ca. 50% af det samlede varmebehov i bygninger til et sted mellem 63-70% i 2045, primært på bekostning af individuel opvarmning med naturgas, men også olie, biomasse og direkte elvarme. I ”Varmeplan Danmark 2021” er der konkret regnet på udvidelsen til de 70%. Samlet set giver det de laveste omkostninger for samfundet samtidigt med at presset på biomasse og vind mindskes i det samlede energisystem. Når ”Varmeplan Danmark 2021” formulerer spændet mellem 63-70% skyldes det, at det i den sidste ende er en række lokale forhold i form af tilgængelighed af geotermi og overskudsvarme, der afgør, hvad der konkret er bedst i det enkelte område.

Konkret regner Varmeplan Danmark på følgende udvidelsesscenarier:

- Nuværende: Nuværende bygninger registreret med fjernvarme (~50%)
- Fortætning: Alle bygninger i områder udlagt til fjernvarme (~59%)
- Minimum udvidelse: Udvidelser til byområder med varmedensitet over 15 kWh/m<sup>2</sup> (~63%)
- **Anbefalet udvidelse:** Udvidelser til byområder med varmedensitet over 10 kWh/m<sup>2</sup> (~70%)
- Maksimum udvidelse: Udvidelser til byområder med varmedensitet over 5 kWh/m<sup>2</sup> (~74%)

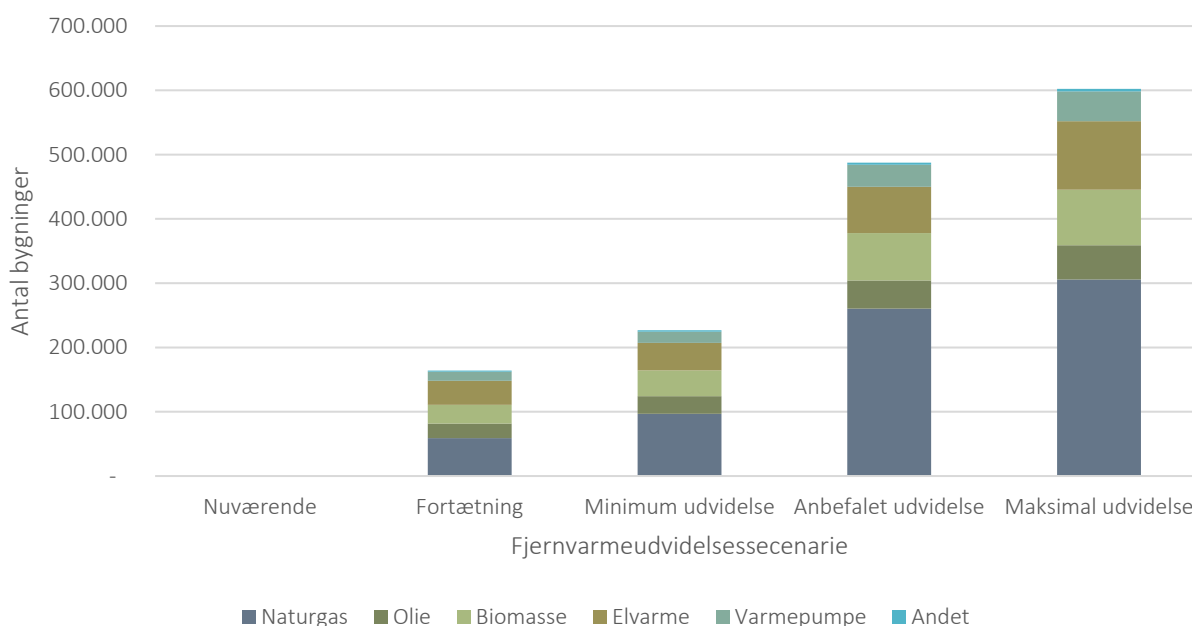


Figur 6: Kort over de analyserede udvidelsesscenarier for fjernvarmen

Regnes der på de enkelte ressourcer hver for sig ,er fortætningsscenariet typisk det med de laveste omkostninger. Regnes der på en samtidig udnyttelse af geotermi og alle overskudsvarmeressourcerne i et omfang, som beskrevet overfor, så er minimumsscenarioet det med de lavest samlede omkostninger. Når det også indregnes, at man med en udvidelse af fjernvarmedækningen vil kunne udnytte mere overskudsvarme, har det anbefalede scenarie lige så lave omkostninger som minimumsscenarioet. Men i den situation har det anbefalede scenarie den yderligere fordel, at det giver et mindsket pres på, hvor meget biomasse der er brug for, og hvor mange vindmøller vi skal bygge i det samlede system. Analyserne i ”Varmeplan Danmark 2021” viser, at med det anbefalede scenarie opnår Danmark et endnu mindre pres på biomassen end i ”IDA’s Klimasvar 2045”, hvor der ikke helt er forudsat den samme udbygning af fjernvarmen. Derfor er det valgt, at ”Varmeplan Danmark 2021” i de konkrete regnstykker er baseret på det anbefalede scenario.

Det skal understreges, at analyserne klart peger på vigtigheden af at udnytte geotermi og overskudsvarme. Således er der for alle fjernvarmeudvidelsesscenarier foretaget sammenlignende analyser af en situation, hvor der ikke udnyttes overskudsvarme. I alle sammenligninger har scenarierne med udnyttelse af overskudsvarme de laveste omkostninger samtidigt med, at behovet for biomasse og vind mindskes.

En anden pointe er, at i scenarierne med geotermi og overskudsvarme er det fordelagtigt at udvide fjernvarmeforsyningen helt op til 70% (det anbefalede scenarie), mens det i scenarierne uden geotermi og overskudsvarme ikke kan betale sig at udvide fjernvarmen mere end til fortætningsscenarioet. Det skal dog understreges, at fortætning repræsenterer en udvidelse fra cirka 50% til cirka 59% og inkluderer de naturgasområder der allerede er udlagt til fjernvarme. Det er således helt afgørende for diskussionen af, hvor meget fjernvarme der bør være i Danmark i fremtiden, hvordan udnyttelse af geotermi og overskudsvarme indgår.



Figur 7: Antal bygninger der omlægges til fjernvarme fordelt på fjernvarmeudvidelsesse scenarie og nuværende opvarmningsform

I ”Varmeplan Danmark 2021” foreslår vi således en varmeforsyning, som på to områder er væsentlig forskellig fra Energistyrelsens Klimafremskrivning. Som det første forudsætter Klimafremskrivningen stort set ingen fjernvarmeudvidelse, hvor ”Varmeplan Danmark 2021” anbefaler en væsentlig udvidelse af fjernvarmeområderne. For det andet forudsætter Klimafremskrivningen en høj grad af anvendelse af biomasse

og biometan (grøn naturgas) til opvarmning af individuelle boliger, hvor "Varmeplan Danmark 2021" anbefaler en varmforsyning uden biomasse og biometan i den enkelte bolig.

"Varmeplan Danmark 2021" anbefaler, at op mod 260.000 bygninger med naturgasfyr frem mod 2045 erstattes med fjernvarme og omkring 115.000 bygninger med naturgasfyr forsynes med individuelle varmepumper. Samt at op mod 44.000 oliefyr konverteres til fjernvarme. Samtidig er der i "Varmeplan Danmark 2021" langt flere individuelle varmepumper end i Klimafremskrivningen, fordi fokus er på at få biomassen *ud af* den individuelle forsyning. I "Varmeplan Danmark 2021" er ud af omkring 2 mio. opvarmede bygninger dækker fjernvarme op mod 1,32 mio. bygninger og individuelle varmepumper i kombination med en mindre mængde biomasse og solvarme 0,67 mio. bygninger.

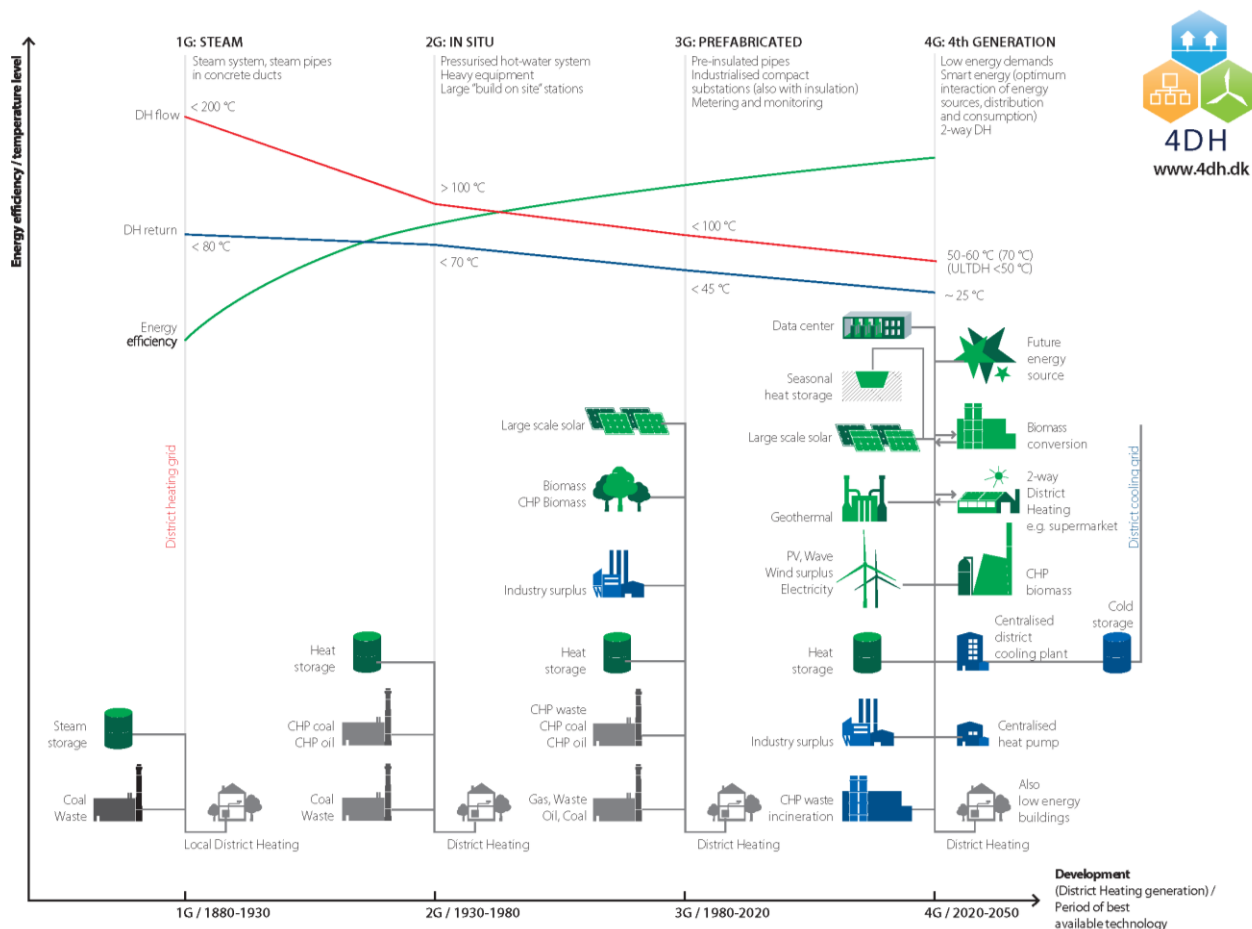
Som resultat af varmebesparelser i eksisterende bygninger, forbrug i nye bygninger og fjernvarmeudvidelser øges nettoenergiforbruget til fjernvarme fra ca. 27 TWh/år til ca. 31 TWh/år, mens den individuelle forsyning reduceres fra 26 TWh/år til 12 TWh/år. For at opnå denne udvidelse af fjernvarmesystemet i 2045 er det vigtigt, at udvidelserne igangsættes tidligere frem for senere. Især er det vigtigt, at der frem mod 2030 sættes fart på udvidelsen af fjernvarmen for at kunne nå 70% målsætningen så omkostnings- og energieffektivt som muligt. Her bliver kommunal varmeplanlægning vigtig for lokalt at kunne identificere de bedste områder til igangsættelse af fjernvarmeudvidelserne.

## 4. generationsfjernvarme - mod lavere temperaturer og større effektivitet

”Varmeplan Danmark 2021” indeholder en række analyser af betydningen af at overgå til fremtidens 4. generationsfjernvarme (4GDH) både i forhold til teknologier og systemer. I analyserne undersøges således effekten af at reducere temperaturniveauet i fjernvarmenettet fra et niveau på omkring 80°C i fremløbet og 40°C i returløbet (3. generationsfjernvarme (3GDH)) ned til 55-60°C i fremløbet og 25-30°C i returløbet (4GDH). Figur 8 viser en oversigt over de fire fjernvarmegenerationer. Analyserne viser, at reducerede temperaturniveauer i fremtidens fjernvarmesystem giver synergier for slutbrugeren og i hele forsyningskæden. Overgangen til 4GDH reducerer nettabet i fjernvarmerørene, men den helt afgørende fordel er imidlertid, at 4GDH sikrer en langt bedre udnyttelse af fremtidens fjernvarmekilder, hvad enten der er tale om overskudsvarme og geotermi, eller der er tale om solvarme og varmepumper.

I ”Varmeplan Danmark 2021” er der udviklet en række scenarier for produktionen og udvidelsen af fjernvarmenettet samt varmebesparelser i bygningerne, som sammenligner 4GDH teknologien med den nuværende 3GDH teknologi. I alle tilfælde reducerer 4GDH omkostningerne og biomasseforbruget i det samlede danske energisystem sammenlignet med, hvis det kun var 3GDH, der blev anvendt i fjernvarmesystemerne.

Det er derfor en klar anbefaling i ”Varmeplan Danmark 2021”, at der fremover er fokus på overgangen til 4GDH i *hele* fjernvarmesektoren. En sådan overgang skal ske i samspil med en løbende tilpasning af bygningsmassen.

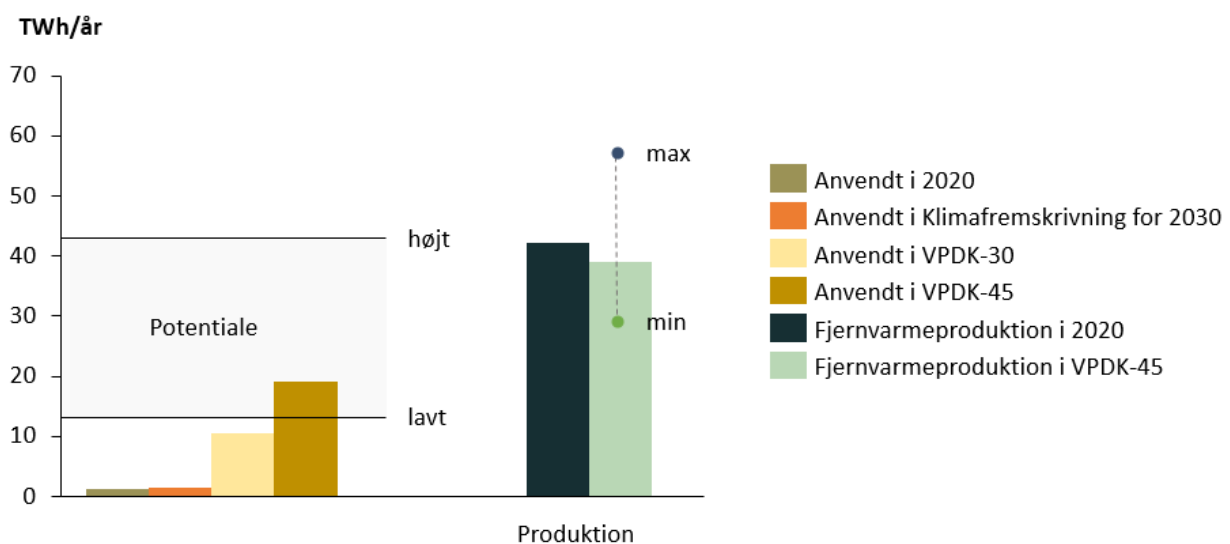


Figur 8: Oversigt over udviklingen i fjernvarmegenerationer [5]

## Anvend mere overskudsvarme fra industri, datacentre, Power2X og udbyg med geotermi

Potentialet for overskudsvarme i Danmark er allerede langt større end det niveau, der pt. udnyttes. Her er potentialerne dels vurderet via GIS-analyser for industri og geotermi, dels via egne og andres estimater for udviklingen af Power2X og datacentre. "Varmeplan Danmark 2021" estimerer et samlet potentiale på mellem 11,9 og 41,7 TWh/år geotermi og overskudsvarme oveni den eksisterende mængde overskudsvarme. Det høje potentiale kan teoretisk set dække hele det nuværende behov for fjernvarme. I et fremtidigt system afhænger fjernvarmebehovet til dels af fjernvarmedækningen og bygningsmassens energiforbrug. I VPDK-45 er fjernvarmebehovet udvidet og bygningsmassen mere energieffektiv, hvilket betyder, at fjernvarmebehovet er på samme niveau som i dag. I scenariet med maksimal udvidelse uden energibesparelser i bygningsmassen stiger fjernvarmebehovet til 56,5 TWh/år, mens det i en situation med den nuværende fjernvarmedækning og betydelige varmebesparelser falder til 29,5 TWh/år.

For at sætte fart på den grønne omstilling bør der allerede inden 2030 ske en betydelig udbygning af fjernvarmeforsyningen. I 2045 anslås det, at overskudsvarme fra industri, datacentre og Power2X samt geotermi vil kunne dække halvdelen af fjernvarmeproduktionen svarende til 19 TWh/år.



Figur 9: Fjernvarmebehov i 2020 og niveauer for fjernvarmebehov i 2045 (til venstre). Højt og lavt potentiale for overskudsvarme fra industri, datacentre og power2X samt geotermi. Anvendt industriel overskudsvarme i 2020, andel af potentialet anvendt i Klimafremskrivningen for 2030, samt i VPDK-30 og VPDK-45.

I de følgende afsnit præsenteres detaljerne for hver af de 4 varmekilder. Figur 10 viser det samlede overblik.

### Industriel overskudsvarme i Varmeplan Danmark 2021

I 2045 er potentialet for overskudsvarmen fra industrien estimeret til 7,2 TWh/år i et højt scenarie og 3,2 TWh/år i et lavt scenarie, inklusiv den nuværende anvendte overskudsvarme på 1,2 TWh/år. Metoden til estimering af overskudsvarmepotentialet undervurderer sandsynligvis potentialet for den enkelte industri, da denne er baseret på generelle antagelser, der i praksis vil variere fra virksomhed til virksomhed. Derfor tages der i "Varmeplan Danmark 2021" delvist hånd om, at der er usikkerhed om, hvor meget og hvilken industri der er frem til 2045, hvor industrien er placeret i fremtiden, samt hvad temperaturen er på overskudsvarmen. Potentialet fra industrien er estimeret for tre forskellige temperaturniveauer for 46 forskellige branche: 80°C,

60-80°C og under 60°C. Denne opdeling bevirker f.eks., at en større mængde overskudsvarme kan udnyttes uden brug af varmepumpe til at 'booste' temperaturen i 4GDH frem for i 3GDH, samt at varmepumper til temperaturboosting kan udnyttes mere effektivt i 4GDH frem for i 3GDH. Med den nuværende fjernvarmedækning vil cirka 6,8 TWh/år eller 95 % af potentialet teoretisk set kunne anvendes, hvilket er mere end 5 gange niveauet i dag. I 2020 og i Energistyrelsens Klimafremskrivningen for 2030 [1] anvendes kun en brøkdel af den overskudsvarme, der er til rådighed fra de nuværende industrier. "Varmeplan Danmark 2021" indregner 5,9 TWh/år svarende til, at der bruges 80% af potentialet oveni den allerede anvendte overskudsvarme. I 2030 dækker industriel overskudsvarme 10% af fjernvarmeproduktionen og 15% i 2045.

## Overskudsvarme fra datacentre i Varmeplan Danmark 2021

Der er fortsat væsentlig usikkerhed om, hvor mange datacentre der kommer til Danmark, hvilke typer datacentre vi får, hvor de bliver placeret, og om de vil blive bygget, så de er egnet til at koble sig på fjernvarme. Allerede i dag kan man dog se, at varme fra datacentre kan blive udnyttet i stor skala via store varmepumper i Odense, og at dette anlæg planlægges at blive udvidet. Det teoretisk maximale potentiale er sat til 9,5 TWh/år svarende til den mængde strøm, der forventes tilført datacentrene i 2045. Dette er skønnet ud fra Energistyrelsens opgørelser [6,7] og "IDAs Klimasvar 2045", hvor der er forudsat 5% energieffektivisering af de årlige elforbrug. Tallet er i sagens natur forbundet med væsentlig usikkerhed. Det mindste potentiale er estimeret til 0,16 TWh/år baseret på omfanget af overskudsvarme fra datacentret i Odense, efter det er udvidet. I "Varmeplan Danmark 2021" er der indregnet et bidrag i 2045 på 3,3 TWh/år, svarende til omkring 35% af det teoretisk maximale potentiale og 8% af fjernvarmeproduktionen. I 2030 anvendes 2/3 af dette niveau i "Varmeplan Danmark 2021" svarende til 6% af fjernvarmeproduktionen. For at maksimere udnyttelsen af overskudsvarmen fra datacentre bør datacentrenes køling i mest muligt omfang indrettes således, at overskudsvarmen kan udnyttes uden brug af varmepumper til temperaturboosting, da det vil fjerne behovet for ekstra investeringer i varmepumper og et deraf følgende højere elbehov.

## Overskudsvarme fra Power2X i Varmeplan Danmark 2021

Overskudsvarmen fra Power2X er forbundet med væsentlige usikkerheder. Dels fordi det samlede behov for elektrofuels, syntetiske brændsler, brint, kunstgødning, plastik og produkter baseret på vindmøllestrøm kombineret med kulstof og kvælstof ikke kendes. Dels fordi vi ikke ved præcist, hvor anlæggene bliver placeret. Hertil kommer usikkerhed om teknologien for elektrolyse kan udvikle sig, så andelen af overskudsvarme bliver mindre, da overskudsvarmemængden i høj grad forventes at afhænge af den brugte teknologi. I modsætning til datacentre vurderes det, at Power2X sandsynligt placeres på gamle kraftværkspladser og lignende steder af hensyn til behovet for gode el-forbindelser. I vurderingen af potentialet er der taget udgangspunkt i det konkrete teknologiforslag, som er en del af "IDAs Klimasvar 2045". Der anvendes 3 TWh/år, svarende til det danske behov for tung transport inklusive internationale fly- og skibstransport i 2045. Potentialet omfatter overskudsvarme fra elektrolyse, samt forgasning, Hydro Thermal Liquefaction<sup>2</sup> og hydrogenering<sup>3</sup> og giver en andel på 17% af fjernvarmeproduktionen baseret på 4.800 MW elektrolysekapacitet. I 2030 tages udgangspunkt i overskudsvarme fra produktionen af elektrofuels i "IDAs Klimasvar" svarende til 0,7 TWh/år eller 2% af fjernvarmeproduktionen baseret på 1.200 MW elektrolysekapacitet. Den største usikkerhed er ikke hvilken elektrolyseteknologi, der anvendes (alkalisk eller højtemperaturolektrolyseanlæg), men placeringen af de komponenter, der indgår i produktionen i forhold til fjernvarmenet, samt efterspørgslen efter slutproduktet.

---

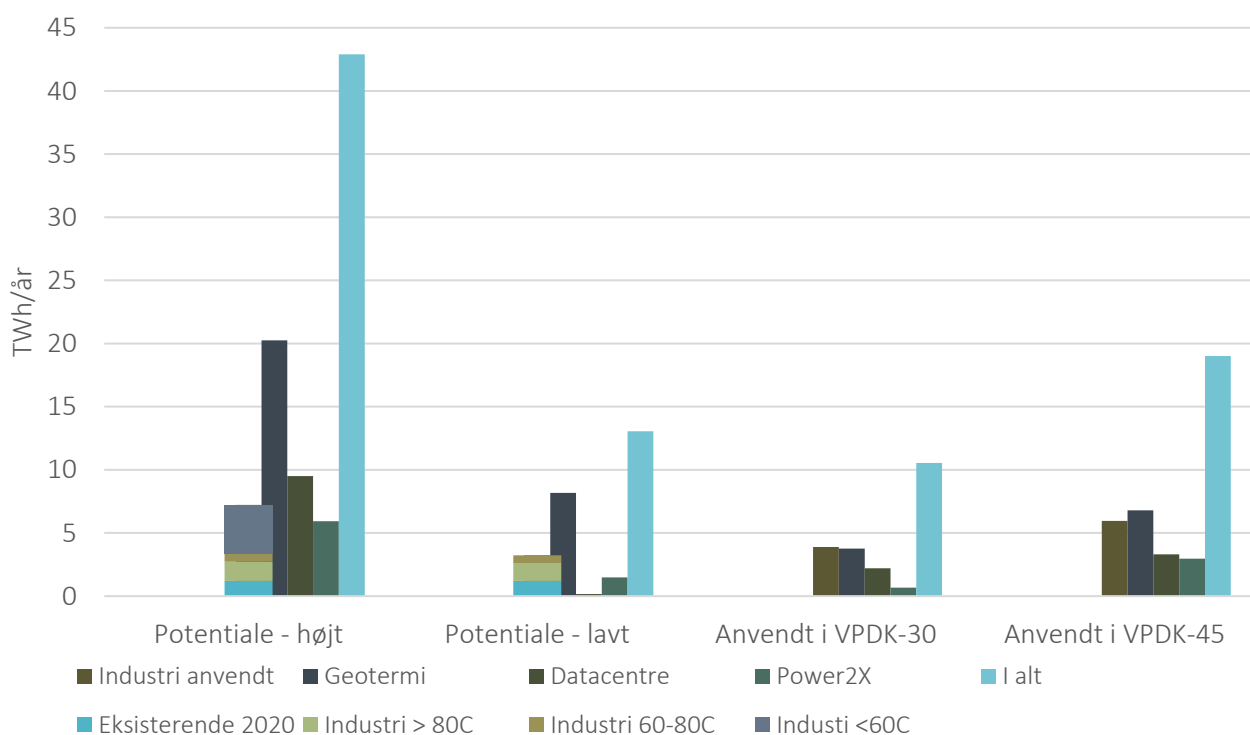
<sup>2</sup> Hydro Thermal Liquefaction er en teknologi der anvendes til omdannelse af faste stoffer til flydende stoffer

<sup>3</sup> En teknologi der kan blande brint fra elektrolyse med andre ressourcer for at danne f.eks. metan

Et konservativt estimat for varmeproduktionen er, at Power2X dækker den tunge transport i Danmark svarende til 2,96-3,86 TWh/år afhængig af teknologi. Et højt estimat er, at Danmark producerer dobbelt så meget som sit eget behov. Et lavt estimat er, at vi laver brændsler svarende til energiforbruget for den danske transport, men at halvdelen ikke udnyttes, grundet lavere efterspørgsel, placeringer væk fra fjernvarmeområder på land eller på afsidesliggende energiover. I alle tre tilfælde kan en del af produktionen være til kunstgødning, plastikprodukter eller brint til andre formål. I alt er potentialet opgjort til et sted mellem 1,5 og 5,9 TWh/år.

## Geotermi i Varmeplan Danmark 2021

I princippet er potentialet for geotermi langt større end fjernvarmebehovet. I praksis begrænses potentialet af forekomsternes tilgængelighed teknisk og økonomisk, samt hvor store energibesparelser der foretages fremadrettet. I et scenarie, hvor vi udnytter ressourcerne via enkeltstående borer på 10 MW i de bedst egnede områder på Sjælland og Østjylland, samt i Aalborg og Sønderborg kan potentialet opgøres til over 20 TWh/år. I praksis vurderes de anvendelige potentialer i "Varmeplan Danmark 2021" ud fra klynger med mindst 7 borer af 10 MW hver. Det antages at dække 25% af varmespidsforbruget i et givet potentielt fjernvarmeområde indenfor 7,5 km. Et lavt potentiale er derfor estimeret via 70 MW i en situation med det eksisterende fjernvarmebehov og varmebesparelser til 8,2 TWh/år. I teorien kan geotermi dække halvdelen af det nuværende danske fjernvarmebehov, men i praksis vil man anvende andre overskudsvarmekilder først, da disse har lavere omkostninger. I VKDK-45 er det anvendelige potentiale estimeret til 6,8 TWh/år svarende til 17% af fjernvarmeproduktionen. I VPDK-30 anvendes 3,8 TWh/år af geotermi potentialet eller 10% af fjernvarmeproduktionen.



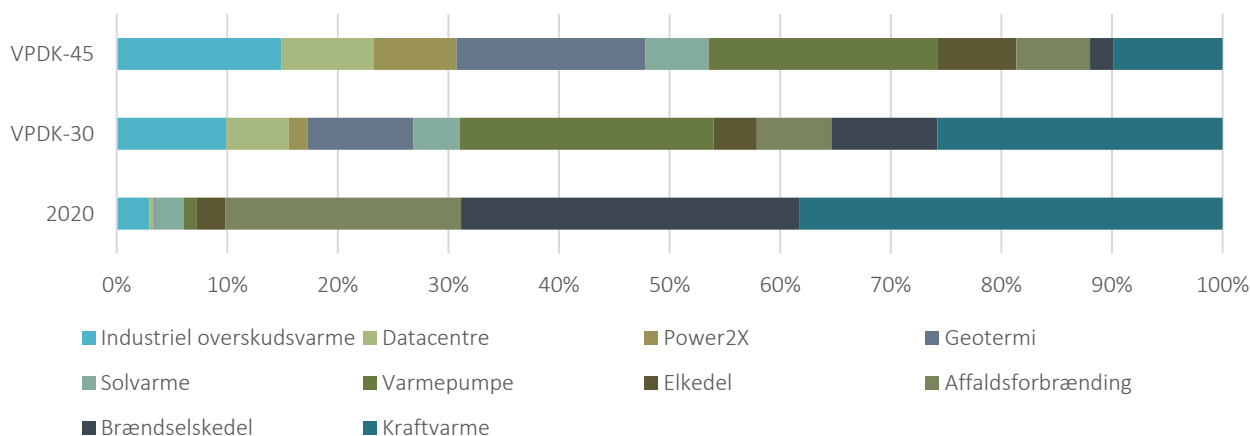
Figur 10: Potentialet for industriel overskudsvarme, varme fra datacentre og power2X, samt potentialet for geotermi. Anvendte mængder varme-estimerer i "Varmeplan Danmark 2021" i 2030 og 2045.



Af Figur 10 fremgår det samlede potentiale for geotermi og overskudsvarme, som er i samme størrelsesorden som det samlede fjernvarmebehov. I VPDK-45 er der kun anvendt en del af potentialet fra hver kilde. Dels pga. usikkerheder vedr. potentialet fra den enkelte teknologi, dels pga. usikkerheden mht. at se 25 år frem i tiden. Samlet set kan potentialet dække hele fjernvarmebehovet i 2045 med en udvidet fjernvarmedækning på op mod 70% og med varmebesparelser på 36% i forhold til i dag.

## Elektrificering, varmelagre og en flerstrengt fleksibel varmeforsyning

Den samlede fjernvarmeproduktion vil ændre sig gradvist fra i dag frem mod 2045. Hvor kraftvarme, kedler og affaldsforbrænding dominerer billedet nu, vil billedet blive et helt andet fremadrettet. Som det fremgår, er der en række tangenter at spille på. De nationale energisystemanalyser peger på, at overskudsvarme og geotermi hensigtsmæssigt kan udgøre cirka 50% af fjernvarmeproduktionen i 2045. I den vurdering er der taget hensyn til ovennævnte usikkerheder for udviklingen af hver teknologi samt geografiske forhold og hensynet til samspillet med resten af energisystemet. I 2030 vurderes op mod 27% af dette potentiale at kunne anvendes. Får vi mere overskudsvarme fra industrien, fra datacentre eller fra Power2X, så har vi brug for mindre geotermi og en mindre andel af store varmepumper. Der kan således være andre bud på den konkrete fremtid på produktionssiden. Imidlertid udgør fjernvarmenettet et robust grundlag for at samle overskudsvarmen op, og også for fleksibelt at kunne tilpasse sig løbende ift. de behov der måtte opstå i det samlede energisystem.



Figur 11: Fordeling af fjernvarmeproduktion i 2020, samt Varmeplan Danmark 2030 og 2045. 2020 tal er et skøn baseret på egne simuleringer.

I "Varmeplan Danmark 2021" vil solvarme i fjernvarmeområder dække 6% af varmemeforbruget i 2045. Solvarmeproduktionen begrænses af omfanget af overskudsvarme og varmebehovet (især i sommerhalvåret) i de konkrete fjernvarmeområder. Affaldskraftvarmeproduktionen falder, grundet øget genanvendelse, fra 21% til 7% af fjernvarmeproduktionen fra 2030 og frem.

I "Varmeplan Danmark 2021" udvides den direkte elektrificering af fjernvarmesektoren, via elkedler og varmepumper, betydeligt ift. det nuværende energisystem. Varmepumper og elkedler udgør i omegnen af 2-4% af fjernvarmeforsyningen i det nuværende energisystem, hvorimod i "Varmeplan Danmark 2021" er det ca. 1/3 af fjernvarmeforsyningen, som er produceret via varmepumper og elpatroner (ekskl. geotermi).

For at sikre forsyningsikkerheden består fjernvarmesystemerne både af kedler, der i perioder kan dække fjernvarmebehovet, og store varmelagre, der kan sikre udnyttelsen fra alle varmekilderne og gøre brug af fleksibelt forbrug af el i store varmepumper. I 2020 estimeres det, at varmelagre i fjernvarmen kan lagre 13-14 timer, set ift. det årlige nationale gennemsnitlige fjernvarmebehov. Dette øges til ca. 36 timer i 2030 og ca. 50 timer i 2045. Dette inkluderer sæsonlagre anvendt til solvarme, og potentielt til overskudsvarme, på 50 GWh i 2030 og 55 GWh i 2045.

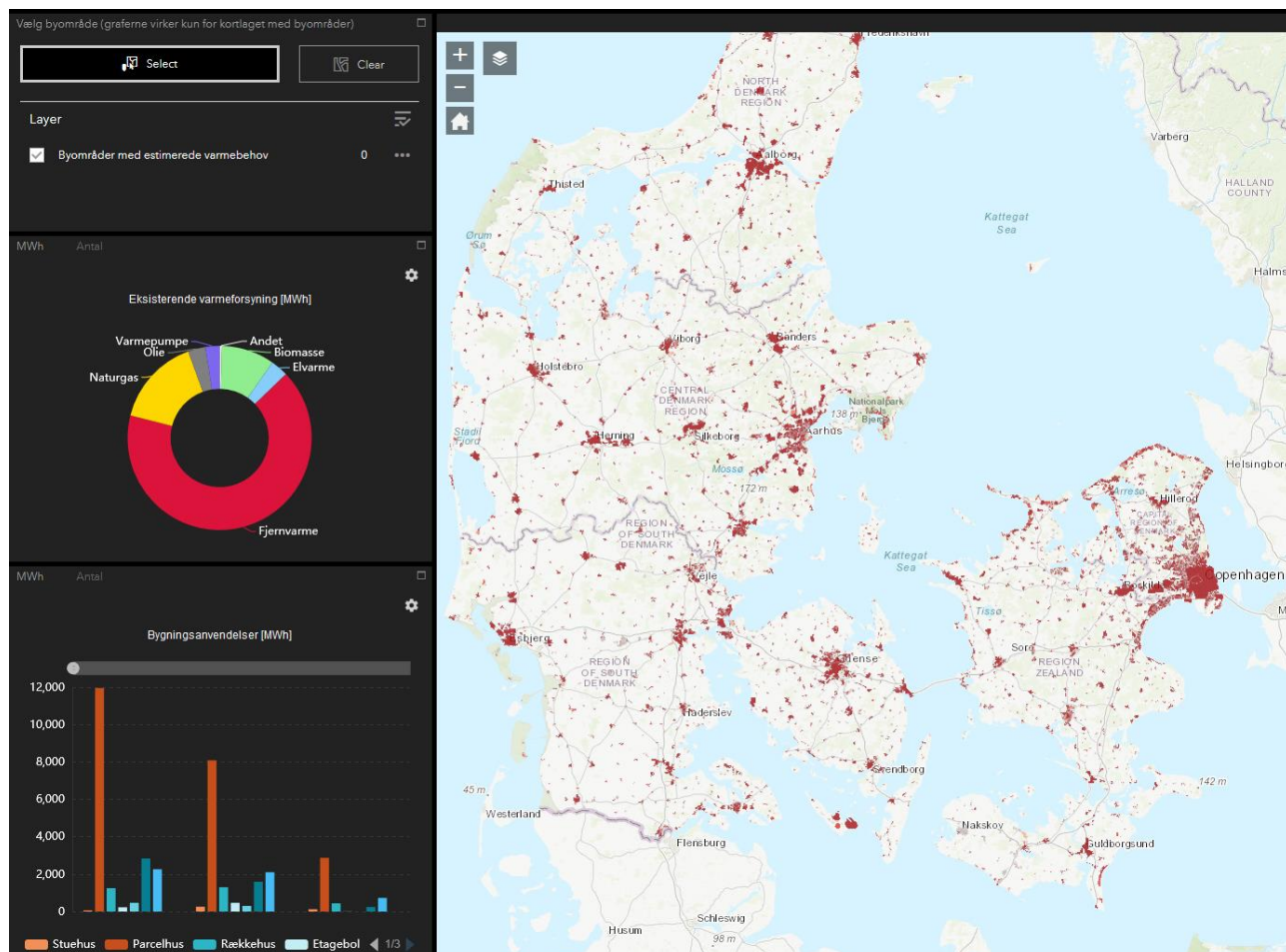
## Onlinekort fra Varmeplan Danmark 2021

Som et supplement til varmeplanlægningen, er en del af kortmaterialet publiceret og tilgængeligt på hjemmesiden <https://energymaps.plan.aau.dk> (i menuen Maps of Denmark)

Her er 4 forskellige kort tilgængelige:

1. Varmeforbrug og antal bygninger opsummeret på byområder, med informationer om tilhørende eksisterende varmeforsyning og bygningsanvendelse.
2. Afgrænsning af de fem fjernvarmeudvidelsesscenarier. Det er således muligt at se det anbefalede scenario for hvert byområde.
3. Et punkttema med estimaterne for den årlige overskudsvarme fra virksomheder. Her er det bl.a. muligt at se hvilke temperaturniveauer, der typisk er for den givne industri.
4. Grundlast varmebehov fordelt på eksisterende fjernvarmeområder. For hvert område er varmeproduktionen fra industriel overskudsvarme og affaldsvarme fratrukket, således det er muligt at identificere områder, hvor der er potentialer for at afsætte overskudsvarmen fra eksempelvis Power2x og datacentre.

Det skal understreges, at alle kortene bør ses som screeningsredskaber, da alle metoderne bygger på generelle antagelse både for bygninger, virksomheder og fjernvarmeområder. Der vil typisk være mulighed for at indsamle mere præcise og opdaterede informationer lokalt.



## Referenceliste

- [1] Energistyrelsen. Klimastatus og -fremskrivning, 2021 2021. [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/kf21\\_hovedrapport.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/kf21_hovedrapport.pdf) (accessed October 6, 2021).
- [2] Lund H, Mathiesen BV, Thellufsen JZ, Sorknæs P, Chang M, Kany MS, et al. IDAs Klimasvar 2045 - Sådan bliver vi klimaneutrale. Ingeniørforeningen IDA; 2021.
- [3] Wittchen KB, Kragh J, Aggerholm S. Varmebesparelse i eksisterende bygninger - potentiale og økonomi. 2017.
- [4] Mathiesen BV, Drysdale DW, Lund H, Paardekooper S, Ridjan I, Connolly D, et al. Future Green Buildings: A Key to Cost-Effective Sustainable Energy Systems. 2016.
- [5] Lund H, Østergaard PA, Chang M, Werner S, Svendsen S, Sorknæs P, et al. The status of 4th generation district heating: Research and results. Energy 2018. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.206>.
- [6] Cowi. Udviklingen af datacentre og deres indvirkning på energisystemet. Kongens Lyngby: 2021.
- [7] COWI A/S for Energistyrelsen. Temaanalyse om store datacentre 2018.