



Smart Energy Aalborg

Energivision for Aalborg Kommune 2050

Lund, Henrik; Thellufsen, Jakob Zinck; Østergaard, Poul Alberg; Nielsen, Steffen; Sperling, Karl; Djørup, Søren Roth; Sorknæs, Peter; Remmen, Arne; Kær, Søren Knudsen; Rosendahl, Lasse

Publication date:
2020

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Lund, H., Thellufsen, J. Z., Østergaard, P. A., Nielsen, S., Sperling, K., Djørup, S. R., Sorknæs, P., Remmen, A., Kær, S. K., & Rosendahl, L. (2020). *Smart Energy Aalborg: Energivision for Aalborg Kommune 2050*. 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 providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



SMART ENERGY AALBORG

Energivision for Aalborg Kommune 2050



AALBORG UNIVERSITET

Indhold

© Forfatterne
Maj 2019

Forfattere:
Henrik Lund
Jakob Zinck Thellufsen
Poul Alberg Østergaard
Steffen Nielsen
Karl Sperling
Søren Roth Djørup
Peter Sorknæs
Arne Remmen
Søren Knudsen Kær
Lasse Rosendahl

Udgiver:
Institut for Planlægning
Aalborg Universitet
Rendsburggade 14
9000 Aalborg
www.plan.aau.dk

Pdf-udgave af udgivelse: vbn.aau.dk

Layout: Pernille Sylvest Andersen

Fotos/illustrationer: Bernd Møller, Aalborg Forsyning, Aalborg Kommune - Digitalisering og Data m.fl.

ISBN: 978-87-93541-10-8

1 TJ = 1 Tera Joule = $1 \cdot 10^{12}$ Joule
1 GWh = 1 gigawatttime = $1 \cdot 10^9$ Wh
1 GWh = 3,6 TJ
1 TWh = 1 Terawatttime = 10^{12} Wh
1 TWh = 3600 TJ

INDLEDNING

Forord	3
Forsknings samarbejde med Aalborg Universitet	4
Formål og metode	5
Afgrænsning af energisystemet.....	6

FORBRUG OG RESSOURCER

Status og reference for energiforbrug.....	7
Vedvarende energikilder i Aalborg.....	8
Overskudsvarme	9
El, transport og industri i 2050	10
Varmebesparelser.....	12
Fremtidens fjernvarme i Aalborg Kommune	13

VISIONEN

Aalborg Energivision frem mod 2050	14
Vurdering af alternativer i varmforsyningen	18
Balancering af vedvarende energi.....	20
Vindmøller og solceller	22
Gigafuel på Aalborg Portland	23
Fremtidens biomasseteknologi: HTL	24

REALISERING

Realisering af varmebesparelser	25
Kommunen kan gå foran	26
Energivisionen som erhvervsstrategi	28
Grønt testcenter	29
Realisering i industri og erhverv	30
Appendiks	31

De globale klimaudfordringer kræver, at vi alle tager et fælles ansvar, og at kommuner, uddannelsesinstitutioner, erhverv og borgere arbejder sammen på tværs for at opfylde de ambitiøse klimamål.

I de kommende år vil der være fokus på en grøn omstilling af vores samfund, og her spiller især kommunerne og energi- og forsyningssektoren en afgørende rolle.

I Aalborg Kommune har vi siden begyndelsen af 1990'erne arbejdet med at nedbringe udledningen af drivhusgasser fra energiforsyningen og transport. Vi har gennem de seneste 10 år arbejdet målrettet med langsigtet og strategisk energi- og varmeplanlægning for at opnå Aalborg Kommunes overordnede mål om at være fossilfri senest i 2050.

Vi har løbende arbejdet på at fremme den grønne omstilling, hvilket blev understreget af Aalborg Kommunes køb af Nordjyllandsværket og deraf følgende fokus på at få udfaset brugen af kul.

De nye politiske målsætninger, den teknologiske udvikling på energiområdet og købet af Nordjyllandsværket har medført behov for at opdatere Aalborg Kommunes visioner og strategier på energiområdet.

Formålet er at få et helhedsorienteret grundlag for de langsigtede beslutninger, der skal træffes i Aalborg Kommune, blandt andet for at opfylde lokale, nationale og internationale klima- og energimålsætninger.

Derfor har Aalborg Kommune nu - sammen med Aalborg Universitet - udarbejdet Energivision for Aalborg Kommune 2050 - Smart Energy Aalborg. Energivisionen omfatter det samlede energiforbrug og tager udgangspunkt i, at vi vil være uafhængige af fossile brændsler og basere os på lokale vedvarende energikilder.

Energivision 2050 viser, at et samlet energisystem med 100 pct. vedvarende energi senest i 2050 er muligt. Det kræver dog, at vi får skabt et sammenhængende integreret energisystem, hvor de forskellige teknologier arbejder sammen på tværs af forsyningsarter.



Aalborg Kommune

Lasse P.N. Olsen

Rådmand for Miljø- og Energiforvaltningen

Forsknings-samarbejde med Aalborg Universitet



Denne energivision er udarbejdet for Aalborg Kommune af en række energiforskere ved Inst. for Planlægning med bidrag fra Inst. for Energiteknik, begge Aalborg Universitet. Arbejdet har løbende været drøftet med repræsentanter for Aalborg Kommune, Miljø- og Energiforvaltningen, By- og Landskabsforvaltningen samt Aalborg Forsyning. Desuden har der været en dialog med lokale industri- og erhvervsinteresser. Arbejdet er uddybet i baggrundsrapporten "Documentation for Scenarios in the 2050 Aalborg Energy Vision", som findes på vbn.aau.dk.

Visionen er en opdatering af en tilsvarende vision fra 2010 med fokus på betydningen af Aalborg Kommunes køb af Nordjyllandsværket, kommunens arbejde med en strategi for fossilfri varmeproduktion, den teknologiske udvikling samt ændringer i de politiske målsætninger. Formålet med visionen er at få et opdateret helhedsorienteret grundlag for de langsigtede beslutninger, der skal træffes i Aalborg Kommune, bl.a. med henblik på at opfylde lokale, nationale og internationale klima- og energimålsætninger.

Energivisionen rækker således ud over kommunens aktiviteter som virksomhed og ser på kommunen som en geografisk og befolkningsmæssig enhed. Energivisionen afdækker mulighederne for at basere hele kommunens energiforsyning på vedvarende energikilder kombineret med markante energibesparelser, og altså ikke kun energibesparelser i kommunalt regi.

Energivisionen er resultatet af et forsknings-samarbejde, hvor Aalborg Universitet har trukket på en række gennemførte og igangværende forskningsprojekter. Tilsvarende anvendes resultaterne af denne energivision som case i igangværende forskning og undervisning på universitetet.

Smart Energy Europe

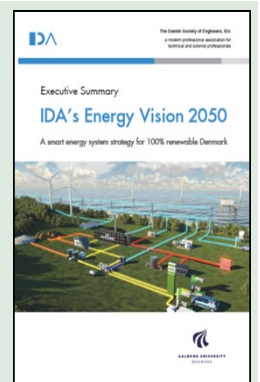
Smart Energy Europe er en vision for, hvordan Europa kan gå over til 100% vedvarende energi i 2050.

Visionen er baseret på de samme principper som IDAs energivision for Danmark. Her er visionen brugt som pejlemærke for, hvordan Aalborg kan være en del af en strategi for hele Europa, herunder hvor meget biomasse, vi kan tillade os at bruge i Aalborg.

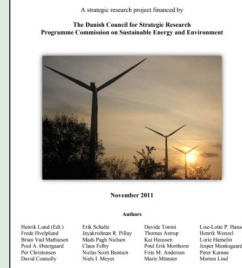


IDAs Energivision 2050

IDA's Energivision 2050 er en energiplan udarbejdet af Ingeniørforeningen i Danmark (IDA) i et samarbejde med Aalborg Universitet. Den viser, hvordan Danmark kan nå målet om 100% vedvarende energi i 2050. Planen har hele transportsektoren med og baserer sig på Danmarks andel af verdens potentiale for bæredygtig biomasse. Planen tager udgangspunkt i en holistisk forståelse af det smarte energisystem og tager sin andel af indregulering af en elforsyning baseret på vind-, sol- og bølgekraft.



Coherent Energy and Environmental System Analysis



CEESA

CEESA var et forskningsprojekt koordineret af Aalborg Universitet og med deltagelse af en række andre danske universiteter og forskningsinstitutioner. Projektet udviklede teorier, metoder og værktøjer blandt andet ved at kombinere

energisystemanalyser med livscyklusvurdering til analyse af den fremtidige energiforsyning. Forskningsprojektet er her og i IDA's Energivision brugt som inspiration til blandt andet afgrænsningen af biomasseressourcerne og transportsektoren.



Fjerdegenerationsfjernvarme – 4DH

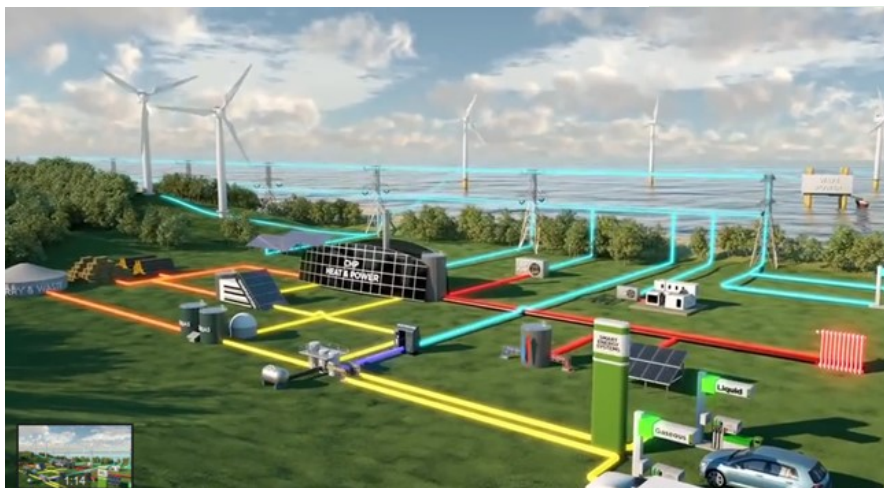
4DH var et forskningscenter, som gennem syv år (2012-2018) udviklede og udbredte kendskabet til fremtidens fjernvarme – også kendt som 4. generationsfjernvarme. Projektet var ledet af Aalborg Universitet, og Aalborg Forsyning deltog i projektet. Fremtidens bæredygtige energiforsyning baseret på vedvarende energi har brug for fjernvarmen for at undgå spild og genbruge overskudsvarme. De mange data og analyser er her brugt som grundlag for at vurdere fjernvarmens rolle i Aalborg Kommune.

Det primære formål med en langsigtet energivision for Aalborg Kommune er at skabe grundlag for, at Aalborg Kommune kan bidrage til realiseringen af den langsigtede vision om, at Danmark bliver 100 pct. uafhængig af fossile brændsler i år 2050. Den danske regering har fremhævet mindst tre gode grunde til at frigøre os fra fossile brændsler: 1) At fastholde forsyningssikkerheden; 2) at modvirke klimaforandringerne, og 3) at øge beskæftigelsen og fremme eksporten af grønne danske klimaløsninger. Det er intentionen "at slå tre fluer med et smæk" og løse tre store udfordringer samtidigt ved at kombinere massive energioptimeringer med vedvarende energikilder.

Ingeniørforeningen i Danmark (IDA)'s Energivision for 2050 er anvendt som udgangspunkt for, hvordan regeringens vision om et Danmark baseret på 100% vedvarende energi kan realiseres i 2050. Helt centralt i IDAs Energivision står **det smarte energisystem**, dvs. en forståelse af, at det er når alle dele af energisystemet samarbejder og hjælper hinanden, at man kan finde de

bedste og de billigste løsninger på lang sigt. Omdrejningspunktet er besparelser og effektiviseringer i kombination med vedvarende energi i form af indenlandske biomasseressourcer samt vind, sol og evt. bølgekraft. For at kunne opnå en dækning af hele transportbehovet foreslår IDAs Energivision en produktion af grøn gas og grønt flydende brændstof baseret på biomasse og vindstrøm via brint, hvilket i sidste ende suppleres med fangst af CO₂. Derfor skal der ligge et anlæg, der kan dette, også i Aalborg. Denne del af IDAs vision bakkes op af Energinet, der forestiller sig noget tilsvarende, samt senest også af EUs vision **A Clean Planet for All**.

Med udgangspunkt i det nationale scenarie fremlægger vi et forslag til, hvordan energiforsyningen kan udformes i Aalborg Kommune. Tidshorizonten er bevidst sat langt frem i tiden, nemlig 2050, når de nuværende anlæg baseret på fossile brændsler er blevet udfaset. Til den tid er levetiden for nuværende tekniske anlæg, f.eks. Nordjyllandsværket og Reno Nord, ophørt.

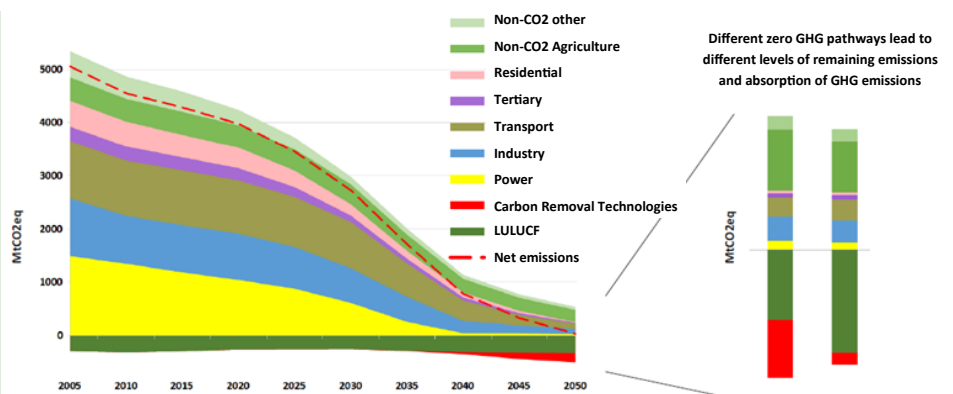


Det Smarte Energisystem

Det smarte energisystem fokuserer på, hvordan de enkelte dele af energisektoren (el, varme, boliger, industri, transport, forbrug og forsyning) kan samarbejde, så målet om 100% vedvarende energi kan nås på en realistisk og hensigtsmæssig måde. Når sektorerne koordineres og samarbejder, kan vi fordele og lagre energien på den billigste måde.

EU – A Clean Planet for All

EU-Kommissionen har fremlagt en langsigtet strategi for, hvordan EU kan nedbringe sin CO₂-udledning. På linje med IDA og Energinets energivisioner er grønne brændsler baseret på brint fra vindkraft og solceller et vigtigt element.



Afgrænsning af energisystemet



Aalborg Kommune er en storbykommune med færre biomasseressourcer og mere industri pr. indbygger end landet som helhed, specielt når Aalborg Portland medregnes. Det rejser spørgsmålet om, i hvilken grad Aalborg Kommune selv skal dække energiforbruget i hele industrien med lokal vedvarende energi, samt i hvilket omfang, Aalborg Kommune kan medregne biomasse fra omkringliggende landområder. I denne energivision er der valgt det overordnede princip, at Aalborg Kommune skal kunne dække, hvad der svarer til Aalborg Kommunes befolkningsmæssige andel af den samlede danske industri og udelukkende med brug af Aalborg Kommunes andel af de samlede danske biomasseressourcer.

Samme befolkningsmæssige princip er anvendt i transportsektoren: Aalborg Kommune skal kunne dække sin andel af biomasse til en samlet dansk transportløsning (inkl. biler, tog, skib og fly) inden for den biomasse-ressource, der er til rådighed nationalt.

Konkret er der regnet med en biomasseressource på 6.200 TJ/år (1.720 GWh) svarende til Aalborg Kommunes befolkningsmæssige andel af den forventede samlede danske biomasse i form af halm, træ, biogas og bi nedbrydeligt affald. Denne mængde svarer samtidig til de ressourcer, der iflg. Energibalancen for Aalborg Kommune (2009) kan fremskaffes lokalt, hvis der dyrkes energiafgrøder, og hvis den nuværende affaldsafbrenning opretholdes og udbygges.

I forhold til afgrænsningen af industri bliver der taget udgangspunkt i, at Aalborg Kommune med ovennævnte ressourcer skal kunne dække et energiforbrug i industrien på 984 GWh i år 2018, svarende til den befolkningsmæssige andel af den samlede danske industri. Dette svarer således til at dække en andel af Aalborg Portlands forbrug plus det samlede forbrug i den øvrige del af industrien i Aalborg Kommune.

Den altdominerende industri i Aalborg Kommune er Aalborg Portland med et brændselsforbrug på 11.519 TJ (3.200 GWh) primært kul og petcoke. Inkl. Aalborg Portland er det totale brændselsforbrug til industri i Aalborg Kommune 13.175 TJ (3.660 GWh), mens det ekskl. Aalborg Portland blot er 1.656 TJ (460 GWh). I Danmark som helhed var det direkte forbrug i industrien af kul, olie og gas 96.012 TJ (26,7 TWh) i 2015 (baseret på IDA Energivision). I forhold til befolkning (3,7%) udgør Aalborg Kommunes andel altså ca. 3.542 TJ (984 GWh).



[TJ/år]	Andel af DKs forventede ressourcer efter befolkning	Biomasseressourcer i Aalborg Kommune
Halm	1.800	980
Træ	1.600	670
Biogas	1.400	520
Fiberfraktion	-	60
Bioafgrøder	-	1.360
- heraf græs	-	200
Affald	1.400	2.300
I alt	6.200	6.090

Tabel 1: De anvendte biomasseressourcer svarer til Aalborg Kommunes andel af de forventede danske ressourcer som vist i venstre søjle, men kan også findes inden for kommunen som vist i højre søjle.

Status og reference for energiforbrug

Siden 1992 har Aalborg Kommune, Forsyningsvirksomhederne og senere Miljø- og Energiforvaltningen og Aalborg Forsyning arbejdet målrettet for at reducere udledningen af CO₂ fra energiforsyningen, blandt andet gennem øget udbygning og tilslutning til fjernvarme, øget udnyttelse af overskudsvarme, øget anvendelse af vedvarende energi, effektivisering af energianlæg og en øget energispareindsats hos kunderne via tilbud om helhedsrådgivning.

I 2004 vedtog Aalborg Byråd et mål for reduktionen af CO₂-udledning fra energiforsyningen i Aalborg Kommune, eksklusiv Aalborg Portland, i perioden 1990 til 2012 på 33%. I 2012 formulerede byrådet et mål om at være uafhængig af fossile brændsler i år 2050.

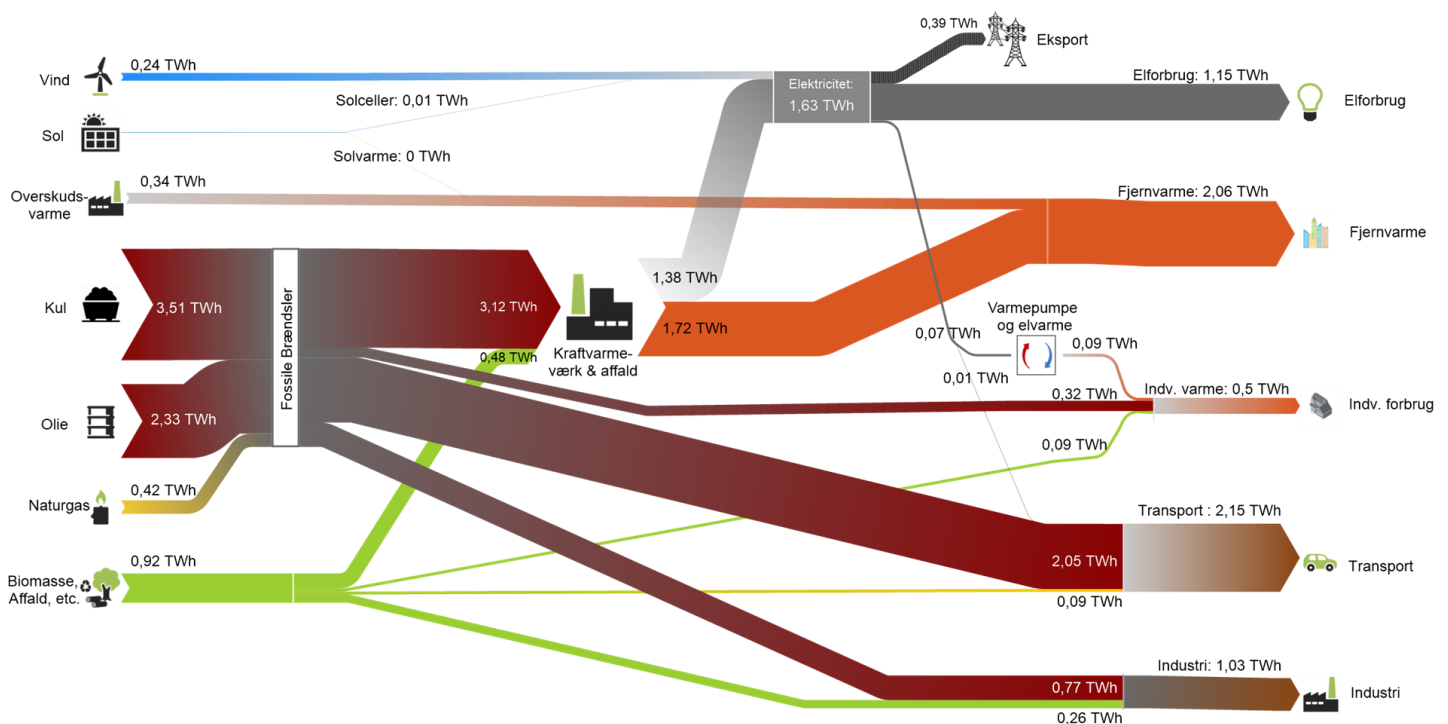
På baggrund af Energibalance for Aalborg Kommune (PlanEnergi 2018) kan det konstateres, at energiforbruget i Aalborg Kommune siden 2007 er faldet med 15% og CO₂-emissionen er faldet med 22%. Dog har der i perioden 2013-2016 været en stigning i energiforbruget på knap 8% og en tilsvarende stigning i CO₂-emissionen på 11%. Grunden til denne udvikling skal til dels findes i Finanskrisen. Tallene vidner dog stadig om, at Aalborg Kommunes energiforbrug er stigende, og at der med fordel kan sættes fokus på besparelser og effektiviseringer.

I arbejdet med IDAs Energivision blev der lavet en landsdækkende opgørelse af Danmarks energisystem i henholdsvis 2015 og 2050. Disse opgørelser er brugt til at beskrive referencer for 2018 og 2050. I reference-scenariet er der ikke indregnet en ændring i mængden af vedvarende energi eller affaldsmængde til forbrænding, men der er foretaget følgende fremskrivninger af energibehovet:

Elforbruget forventes at stige fra 1.150 GWh i 2018 til 1.450 GWh i 2050, svarende til en stigning på i alt næsten 26%.

Varmeforbruget i Aalborg Forsynings område (central fjernvarme) forventes øget fra 1.915 GWh i 2018 til 2.280 GWh i 2050, svarende til en stigning på 19%. Den forventede stigning i fjernvarmeforbruget skyldes dels øget nybyggeri og dels en udvidelse af fjernvarmeområdet.

Olieforbruget til transport forventes at stige fra 2.140 GWh i 2018 til 2.440 GWh i 2050, svarende til en stigning på i alt knap 14%. Aalborgs andel af Danmarks industribehov og brændsel til andet formål forventes øget fra 1.030 GWh til 1.220 GWh, svarende til en stigning på 18%.



Figur 1: Aalborg energiforsyning 2019

Vedvarende energikilder i Aalborg



Aalborg Kommune har en række potentielle vedvarende energikilder i form af vindkraft, solenergi, geotermi, biomasse (og affald) samt overskudsvarme. De forskellige energikilder har forskellige karakteristika i energisystemet, hvor vind, sol og biomasse kan anvendes til produktion af el; sol, biomasse, geotermi og overskudsvarme kan anvendes til produktion af varme, og vind, sol og biomasse direkte eller indirekte via produktion af brændsler kan dække transportbehov og industriens højtemperaturvarmebehov. Set på en anden måde har nogle en indbygget lagringsmulighed, hvorimod primært vindkraft og el fra solceller skal anvendes samtidigt med, at de produceres.

Ved sammensætning af et energisystem, der kun har vedvarende energi, er der derfor brug for en bred vifte af forskellige ressourcer med forskellige karakteristika.

Aalborg Kommune er umiddelbart velegnet til vindkraft. Ultimo 2018 var der 180 vindmøller på mellem 10 kW og 3,4 MW og med en samlet installeret effekt på 158 MW i kommunen. Dertil kommer en planlagt udvidelse af Nørrekær Enge på 60 MW.

Analyserne i denne energivision har vist, at disse knap 220 MW ikke er tilstrækkeligt til at opnå et 100% VE system for Aalborg Kommune. Der skal således findes plads til i størrelsesordenen 600 MW i alt, hvis energivisionens andre tiltag gennemføres; enten som offshore placeringer eller via ændrede nærhedskrav til f.eks. beboelse og veje.



Solvarme anvendes kun i beskedent omfang i Aalborg Kommune; primært på private huse samt tilkøbet fjernvarmeværkerne i Ulsted, Mou og Sønderholm. Trods den nordlige breddegrad er der gode muligheder om end den årlige variation er i modfase med forbruget.

Solceller til elproduktion har undergået en kraftig udvikling de sidste år, hvor produktionen steg med mere end en faktor 100 fra 2010 til 2017. I 2017 udgjorde solceller 2,4% af elforbruget i Danmark, hvilket i 2018 steg videre til 2,8%. Med anvendelse af tagflader til solceller er potentialet i Aalborg i størrelsesordenen 1 TWh.

Aalborg er beliggende oven på en efter danske forhold ganske god geotermisk ressource med vand ved en temperatur på op til 58°C i en dybde på op mod 2.000 meter. Selve ressourcen kan dække hele fjernvarmebehovet de næste århundreder, men der fordres enten absorptionsvarmepumper drevet med damp eller kompressionsvarmepumper drevet af el for at opnå en tilstrækkelig høj fjernvarmetemperatur samt for at trække mest muligt varme ud af vandet. Når et geotermisk anlæg med varmepumpe er etableret, er det både energimæssigt og økonomisk fordelagtigt at anvende ressourcen i videst mulig udstrækning.

Varmepumper kan også trække varme ud af f.eks. Limfjorden, som dermed også bliver en tilgængelig ressource.

Biomasse har den fordel, at ressourcen kan lagres og anvendes efter behov. Biomasse kan endvidere anvendes til både el- og varmeproduktion samt til transport og industri. Det er både som biomasse, og igennem biogas og forgasning. De tilstedeværende biomasseressourcer er beskrevet i afsnittet om afgræsning s. 6.

Der er store muligheder for at udnytte industriel overskudsvarme i fjernvarmeforsyningen i Aalborg. Allerede i dag modtager Aalborg Forsyning ca. 300-330 GWh/år fra Aalborg Portland og en mindre mængde fra andre kilder. Det svarer til over 20% af den samlede fjernvarme. Men der er mulighed for at udnytte langt mere, og det kræver ikke store investeringer. Især Aalborg Portland kan levere mere, men også andre kilder bør udnyttes.

Den største barriere i dag er afgifter på overskudsvarmen. Desuden er temperaturniveauet afgørende. Jo lavere temperatur fjernvarmeforsyningen kan klare sig med, jo mere overskudsvarme kan man udnytte. Der-

for passer en overgang til lavtemperaturfjernvarme fint med en større og mere effektiv udnyttelse af overskudsvarmen. Som en del af visionen er der lavet en opgørelse over potentialet fra den eksisterende industri. Potentialet er opgjort hhv. ift. de nuværende temperaturniveauer i fjernvarmenettet (3GDH), samt et lavt temperaturniveau på 55-60°C i fremløb og 25-30°C returløb (4GDH) og vist i tabel 2.

Som det ses vil den nuværende udnyttelse på ca. 300-330 GWh/år kunne øges med op til 500+180 GWh/år til i alt over 1.000 GWh/år. I visionen er der regnet med en udnyttelse på 850 GWh/år.

	3GDH		4GDH	
	Varmepumpe	Direkte	Varmepumpe	Direkte
Aalborg Portland	-	-	46 GWh/år	344 GWh/år
Detailhandlen	-	8 GWh/år	-	12,8 GWh/år
Andre	113 GWh/år	-	134 GWh/år	-
Samlet (nye)	113 GWh/år	8 GWh/år	180 GWh/år	357 GWh/år

Tabel 2: Identificerede nye overskudsvarmekilder i Aalborg Kommune, som medtages i scenarieudviklingen. I visionen er indregnet i alt 850 GWh ud af et potentiale på over 1.000 GWh om året.





Hovedidéen i Aalborgs Energivision er, at Aalborg bliver en integreret del af en omstilling af hele det danske energisystem til 100% vedvarende energi i 2050. Hvad angår el, transport og industri er hovedprincippet, at Aalborg Kommune dækker borgernes andel af de danske behov som beskrevet i IDAs Energivision for Danmark 2050. Det betyder, at disse tre behov alle er baseret på Aalborg Kommunes andel af de nationale el-, transport- og industribehov baseret på Aalborgs befolknings procentandel af hele Danmarks befolkning.

Aalborg Kommunes elbehov i 2050

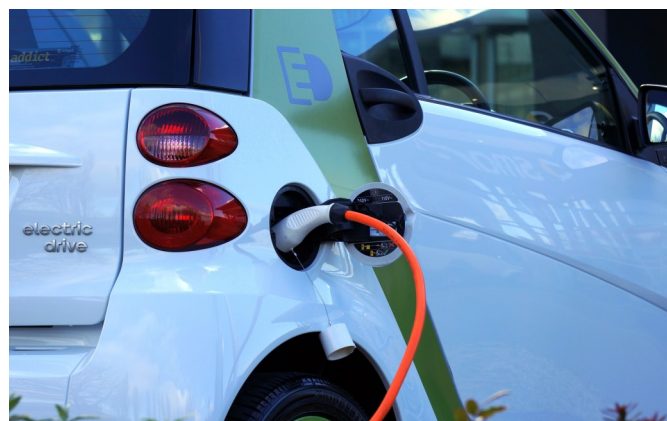
Udviklingen i elbehovet er som allerede beskrevet fremskrevet med en forøgelse på 25%. Herefter er det reduceret ved hjælp af to tiltag: 1) Gennem besparelser vil der ske en reduktion af det nuværende elbehov, og 2) gennem en omlægning fra brændsel til el

vil mere vedvarende elproduktion kunne udnyttes direkte i f.eks. industrisektoren.

I 2016 var det samlede elbehov på 1.150 GWh til husholdninger og industri. Det svarer til Aalborg Kommunes andel af Danmarks elbehov. Dette elbehov forventes alt andet lige at stige til 1.450 GWh i 2050. Frem mod 2050-visionen vil en kombination af elbesparelser i industri og husholdninger medføre et lavere elforbrug. Omvendt omlægges mere af industrien til el, hvilket øger elbehovet. Samlet set giver det et elforbrug i industrien og husholdninger på 1.231 GWh, hvortil der kommer ekstra 130 GWh som fleksibelt elbehov i industri mm., hvor elbehov kan rykkes til timer med overproduktion fra vind og sol.

Aalborg Kommunes transportbehov i 2050

En særlig stor udfordring er at få transportsektorens energiforbrug over på vedvarende energi. I denne energivision reduceres det samlede drivmiddelbehov til transportsektoren fra ca. 2.140 GWh i 2018 (7.704 TJ) til ca. 1.397 GWh i 2050 (5.029 TJ). Dette behov er udregnet således, at Aalborg Kommune kan dække dens borgeres andel af Danmarks transportbehov, inklusiv indenrigs- og udenrigstrafik.



En stor del af denne effektivisering er baseret på en omlægning fra brændselmotorer til elbiler. I forhold til IDAs energivision er det i Aalborg Energivision antaget, at 20% mere af transportbehovet kan direkte elektrificeres pga. den teknologiske udvikling. Dermed forventes også en vis andel af bus- og lastbiltransporten at overgå til el.



Aalborg Kommunes industribehov i 2050

Aalborg Kommunes skal som nævnt dække et brændselsforbrug i industrien på 984 GWh i 2016 svarende til Aalborg Kommunes andel af den nuværende samlede danske industri. Dette stiger til 1.180 GWh i 2050 business as usual. Baseret på omlægning til el og besparelser i industrien bliver det samlede brændstofbehov i industrien 131 GWh biomasse og 322 GWh gas fra biogas og forgasning. Den resterende mængde industribehov er opnået igennem brændselsbesparelser, energioptimeringer, varmebesparelser og en omlægning til el. Den samlede investering i energibesparelser i industrien er ca. 280 mio. kroner årligt. Dette inkluderer elektricitetsbesparelser samt besparelser i opvarmning og produktionsteknologi. Hertil kommer omkostninger og fordele ved at udnytte overskudsvarmen til fjernvarme.



Aalborg Kommune, Digitalisering og Data

Varmebesparelser



Det centrale fjernvarmenet i Aalborg Kommune er kendt for sin forholdsvis billige fjernvarme. Derfor har der hidtil ikke været synderlig fokus på varmebesparelser pga. manglende incitament. Men fremtidens forbrug af ressourcer til opvarmning er stærkt afhængigt af bygningsmassens evne til at holde på varmen samt dennes beliggenhed i forhold til fjernvarmenettet. Som en del af arbejdet med visionen er hele Aalborg Kommunes bygningsmasse kortlagt detaljeret med den enkelte bygning som mindste enhed, hvor opvarmningsbehovet og potentialet for varmebesparelser samt deres omkostninger er blevet vurderet. Potentialet for varmebesparelser varierer med bygningsmassens tilstand, alder og anvendelse. Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) har lavet en rapport, hvor omkostningerne for forskellige varmebesparelsetiltag estimeres ift. forskellige bygningskategorier. Omkostningerne er delt ud på følgende 7 scenarier:

0: Udgangspunkt uden tiltag

1: Minimum ved basal renovering af bygningsdelene til byggeteknisk acceptabel standard

2: Scenarie 1 + Isolering af tomme hulmure

3: Scenarie 2 + Vinduer med energimærke A

4: Scenarie 3 + Nogen isolering på loft og tag

5: Sædvanlig god praksis for isolering ved renovering

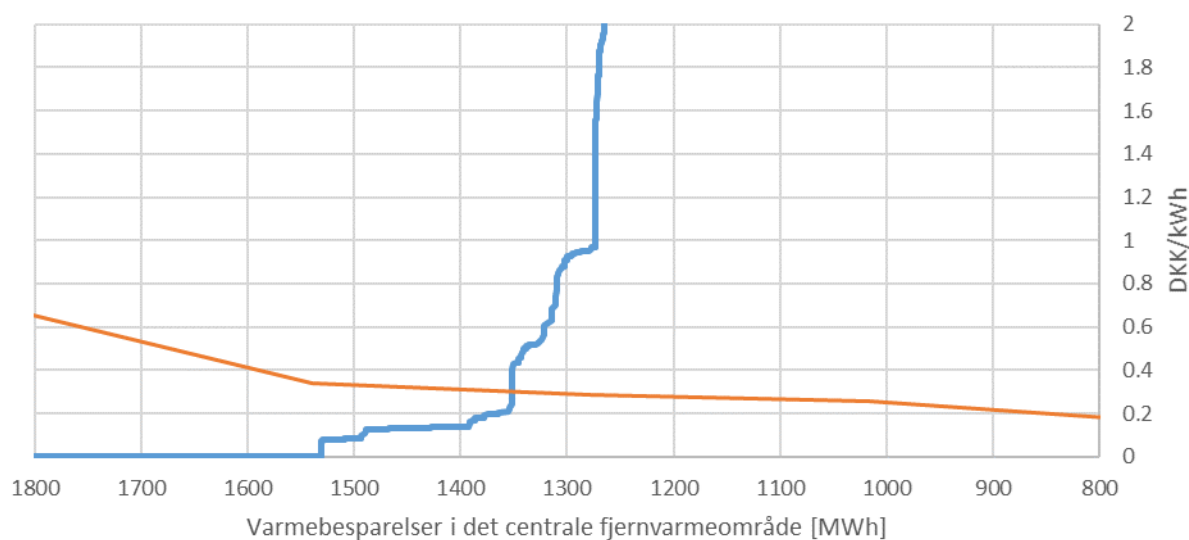
6: Energifokus ved isolering af renoverede bygningsdele

7: Scenarie 6 + efterisolering af loft og tag, som er isoleret svarende til scenarie 6

Ved at kombinere varmeetilslaget med besparelsesomkostningerne fra SBI-rapporten kan omkostningerne estimeres geografisk og sammenlignes med forsyningsomkostningerne. Hermed kan man finde det optimale niveau for besparelser. Herunder ses de samlede omkostninger i relation til den marginale varmepris i det centrale fjernvarmeområde. Det konkluderes baseret på Figur 2, at et besparelsesniveau for det centrale fjernvarmenet i Aalborg med fordel vil kunne ligge på ca. 30% (520 GWh/år). Dette er lidt højere end priskrydset men skyldes en vurdering af at flere boliger vil få installeret mekanisk ventilation og A+ vinduer, end der er i SBI scenarierne. Dette niveau opnås ved at gennemføre besparelser op til scenarie 4.

Et vigtigt budskab ift. varmebesparelserne er, at disse realiseres, når bygningsmassen alligevel skal renoveres. Generelt er det ikke rentabelt at påbegynde varmebesparelsetiltag i bygningerne, før en renovering er nødvendig.

I baggrundsrapporten findes desuden resultaterne for andre områder og for individuel varmforsyning.

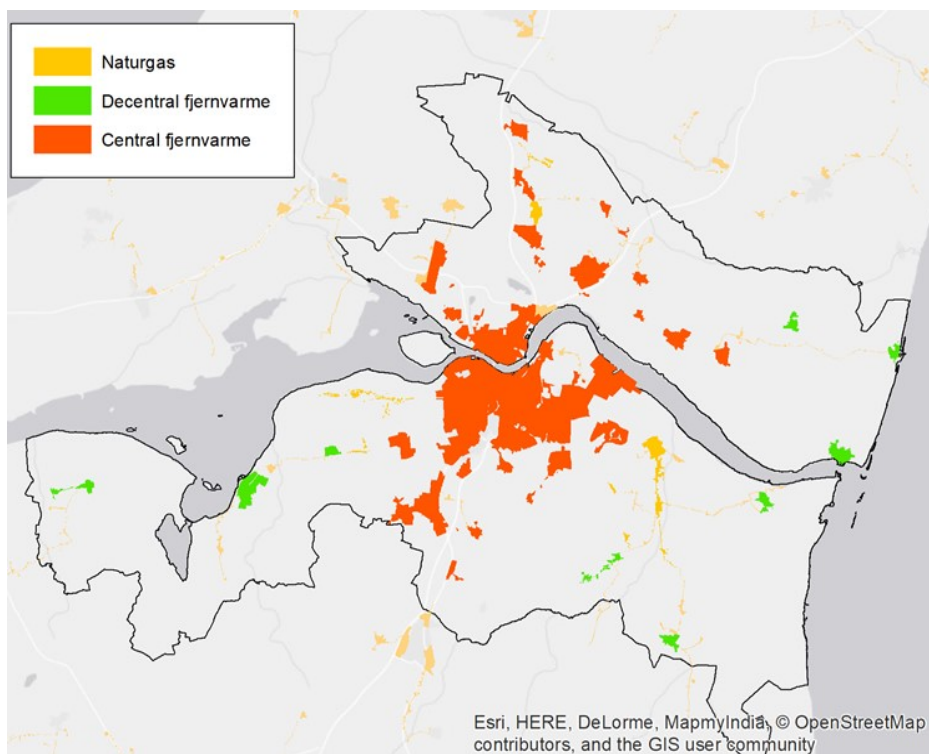


Figur 2: Marginalpriskryds mellem varmforsyning og varmebesparelser i det centrale forsyningsområde i Aalborg

Fremtidens fjernvarme i Aalborg Kommune

Figur 3 illustrerer varmeforbruget i Aalborg Kommunes kollektive forsyningsområder. Inden for hvert af disse områder estimeres varmebehovet i bygningerne med baggrund i et varmeetlas udviklet af Aalborg Universitet, der kombinerer BBR-data på bygningsniveau med gennemsnitsforbrug for forskellige bygningskategorier af type og alder.

inkluderer Hostrup, Ajstrup, Storvorde/Sejflod, Gudumholm, Lillevorde, Gudum, Gudumlund, Nibe, Sønderholm, Str. Restrup og Nørholm/Restrup Enge. Denne omlægning giver et forøget forbrug i det centrale fjernvarmenet, der stiger fra 75% (1.513 GWh/år) til 83% (1.676 GWh/år) af bygningernes slutforbrug i kommunen.



Figur 3: Varmeforbrug i Aalborg

Opsummeret giver disse et samlet varmeforbrug i kommunen på 2.026 GWh/år i 2018, hvoraf 75% (1.513 GWh/år) er i det centrale fjernvarmenet, 5% (103 GWh/år) i de decentrale fjernvarmenet og 20% (410 GWh/år) dækkes af individuelle varmeforsyningsanlæg baseret på naturgas, olie, el, varmepumper eller biomasse.

I denne rapport anvendes resultatet fra notatet "Fremtidigt varmegrundlag, 2016" udarbejdet af Aalborg Varme i samarbejde med COWI, og der er derfor ikke lavet en dybdegående analyse af udvidelsepotentialet i denne rapport. De områder, der i COWI-analysen refereres til som Niveau 1, er de områder, der i denne rapport på sigt forventes at blive forbundet med det centrale fjernvarmenet. Disse områder

I Aalborg Kommunes Befolkningsprognose 2018-2029, antager man, at der bygges 310 ældreboliger, 13.760 etageboliger, 3.695 parcelhuse/stuehuse, 2.993 rækkehuse og 882 ungdomsboliger frem mod 2029. Et estimeret varmeforbrug på 130 GWh/år for disse nye bygninger medtages i analysen for det fremtidige behov i Aalborg. Dette giver en forøgelse på 6% ift. det nuværende behov, primært i det centrale forsyningsområde. Samlet set giver dette et varmebehov på 1.800 GWh/år i det centrale forsyningsområde.

Aalborg Energivision frem mod 2050



I perioden frem mod år 2050 skal en række initiativer sættes i værk for at sikre, at målene for kommunen nås. Hvordan dette organisatorisk skal gribes an, beskrives senere (s. 25-30), mens dette afsnit handler om, hvilke tekniske tiltag der skal realiseres, og hvordan energisystemet ser ud i 2050 i visionen.

Energiforbruget i Aalborg Kommune frem mod år 2050 er kendetegnet ved massive el- og varmebesparelser og brændselsbesparelser i industrien set i forhold til udgangspunktet i år 2018.

Varmeforbruget er reduceret med gennemsnitligt 30%, og bygninger i nærheden af fjernvarmenettet omlægges til fjernvarme, som beskrevet s. 12-13. Alle opvarmede bygninger uden for fjernvarmeområderne omlægges til varmepumper. Det gælder individuelle olie-, naturgas- og el-opvarmede bygninger, men også eksisterende huse, der opvarmes vha. individuelt biomassefyre, idet biomasseressourcen øremærkes til transport, industri og kraftvarmeformål.

Hele fjernvarmeforsyningen omlægges til 4. generations fjernvarme, dvs. at man gennem bygningsisolerings samt anvendelse af højisolerede fjernvarmerør sænker fremløbstemperaturen i fjernvarmen til 65°C

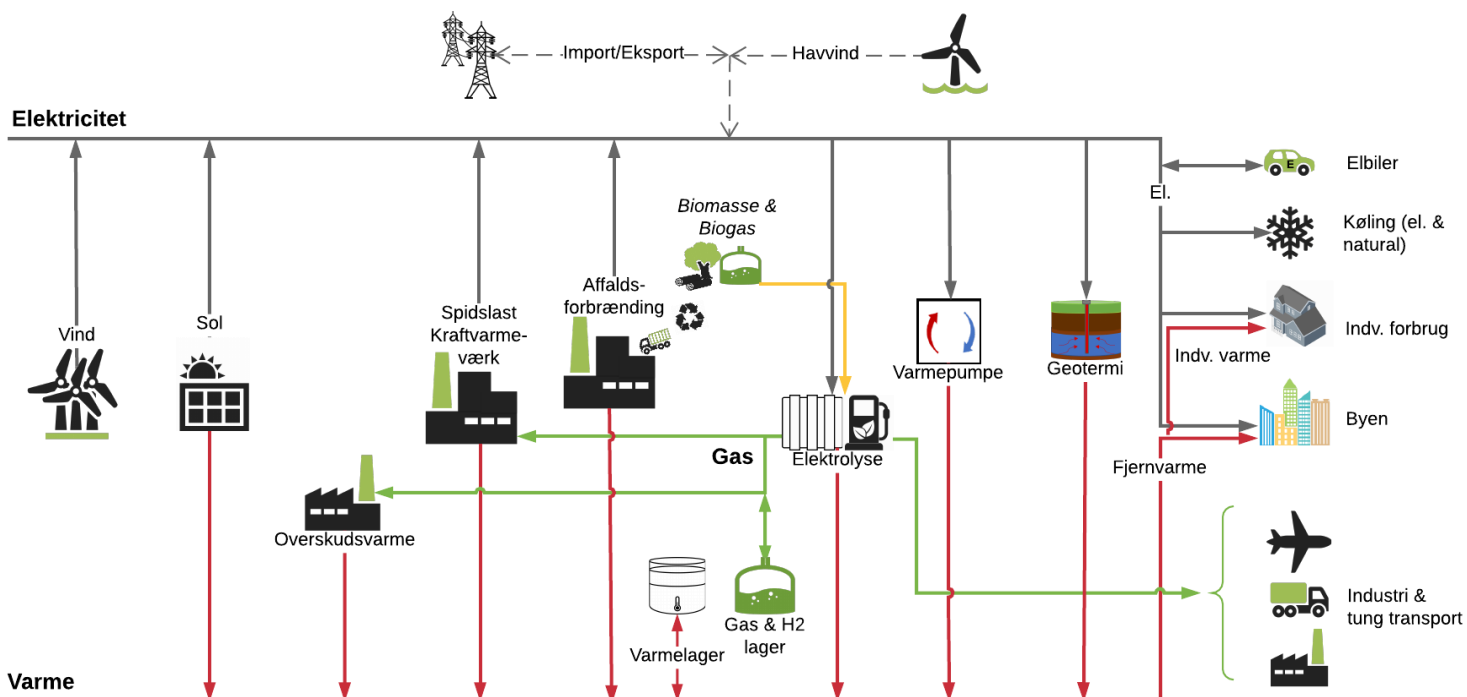
(årgennemsnit), hvorved virkningsgraden i produktionsanlæggene kan forbedres.

På forsyningsiden dækkes behovene som illustreret i Figur 4 og forklaret i det følgende:

Det centrale fjernvarmenet forsynes først og fremmest med industriel overskudsvarme, hvor Aalborg Portland tegner sig for en betydelig andel. Men også andre potentialer forudsættes udnyttet. Hertil kommer overskudsvarme fra RenoNord, dog med reducerede affaldsmængder dels som følge af øget genbrug og dels som følge af anvendelse af dele af affaldsressourcen til biogas i stedet for forbrænding.

Den restende del af fjernvarmen produceres på kraftvarme og med varmepumper og for en mindre del solvarme og spidslastkedler. Varmepumperne kan enten være en del af et geotermianlæg, eller de kan få deres varme fra fjorden. En god løsning vil være at gøre begge dele.

De decentrale fjernvarmområder fastholdes og deres motorer vil anvendes i samarbejde med varmepumper.



Figur 4: Principskitse af Energivision for Aalborg Kommune 2050



Som det fremgår af Figur 5, vil Aalborg i denne vision gøre sig meget afhængig af varme fra Aalborg Portland. Alternativet er (som vist senere) at erstatte overskudsvarmen fra Aalborg Portland med mere geotermi og større varmepumper.

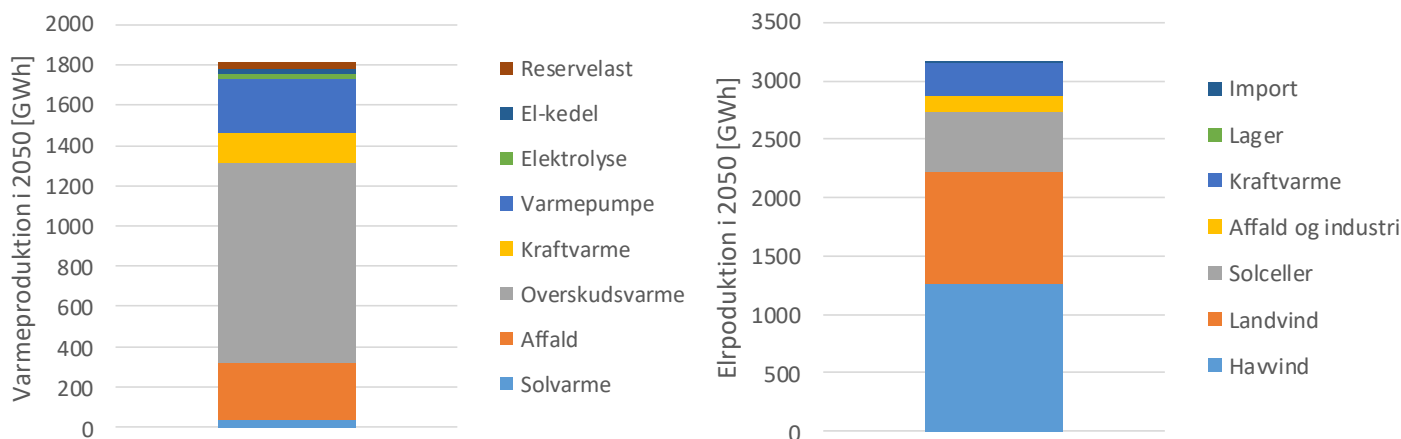
Som beskrevet er der forudsat en svag stigning i transportbehovet frem mod 2050, som antages dækket af biobrændstof, brint, el og kollektiv transport. Ved at dække den stigning i høj grad med for elbiler gælder, at det specifikke energiforbrug er faldet med en faktor tre gennem mere effektive teknologier set i forhold til konventionelle biler baseret på forbrændingsmotorer

Der introduceres nye elforbrug til kollektive og individuelle varmepumper, til brændsels substitution i industrien, til transport, til produktion af brint til transport samt til produktion af biogas. Der etableres således et væsentligt nyt elforbrug, og i alt øges forbruget med

Som nærmere forklaret på de efterfølgende sider sigtes der mod at indregulere vindkraft og solceller gennem import/eksport, når det er billigst, og lokalt når det er billigst. Det overordnede formål er at opnå en fleksibilitet i elforsyningen, hvor Aalborg kan overgå til 100% vedvarende energi på en måde, så det passer ind i at Danmark og Europa gør det samme. Derfor er der en vis andel import/eksport af el.

En del af biomassen skal transformeres til brændsler, der kan anvendes i transportsektoren eller i det omtalte gasfyrede kraftvarmeværk. Derfor skal der være en udbygning med biogasanlæg samt forgasningsanlæg.

Figur 6 (s. 16) viser, hvor meget det vil koste at indføre det skitserede energisystem. I figuren er omkostningen sammenlignet med referencen, dvs. hvad det ville koste, hvis Aalborg fortsatte med den nuværende kulbaserede energiforsyning. De økonomiske beregninger



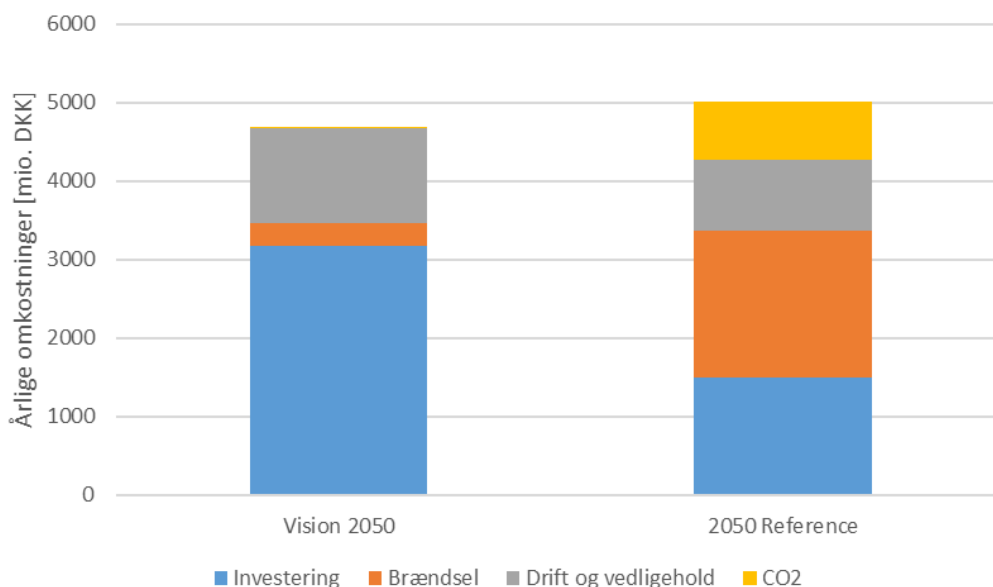
Figur 5: Varme- og elproduktion i Energivision for Aalborg Kommune 2050

ca. 1.700 GWh til et samlet elforbrug på 3.250 GWh. En medvirkende årsag til dette er, at solceller og vindkraft – og dermed el – er eneste reelle mulighed. Skulle behovet i stedet dækkes med biomasse, ville der skulle importeres betydelig mængder til området eller også skulle fødevarerproduktionen nedsættes.

Som vist i Figur 5 er elforsyningen primært baseret på vindkraft suppleret med solceller (2.730 GWh). Dog kommer der også et bidrag fra RenoNord og et gasturbinekraftvarmeværk, som dækker elforbruget i de timer, hvor produktionen fra vind og sol ikke er tilstrækkelig.

ser på behovet for investeringer, brændselsomkostninger samt andre drifts- og vedligeholdelsesomkostninger. Beregningerne er samfundsøkonomiske, hvilket vil sige, at der ikke tages hensyn til skatter, afgifter og tilskud. Der er her dog heller ikke indregnet sparede helbreds- eller miljøomkostninger. Når visionen ender med at være billigere end referencen skyldes det, at der er regnet med en vis stigning i kul- og olieprisen (svarende til en oliepris på 87 kr./GJ ~110 \$/tønne).

I appendiks (s. 31) er vist de konkrete investeringer, herunder de anlægsstørrelser samt omkostninger der er anvendt. Anlægsinvesteringerne er som udgangs-



Figur 6: Energivisionens samfundsøkonomiske omkostninger sammenlignet med reference

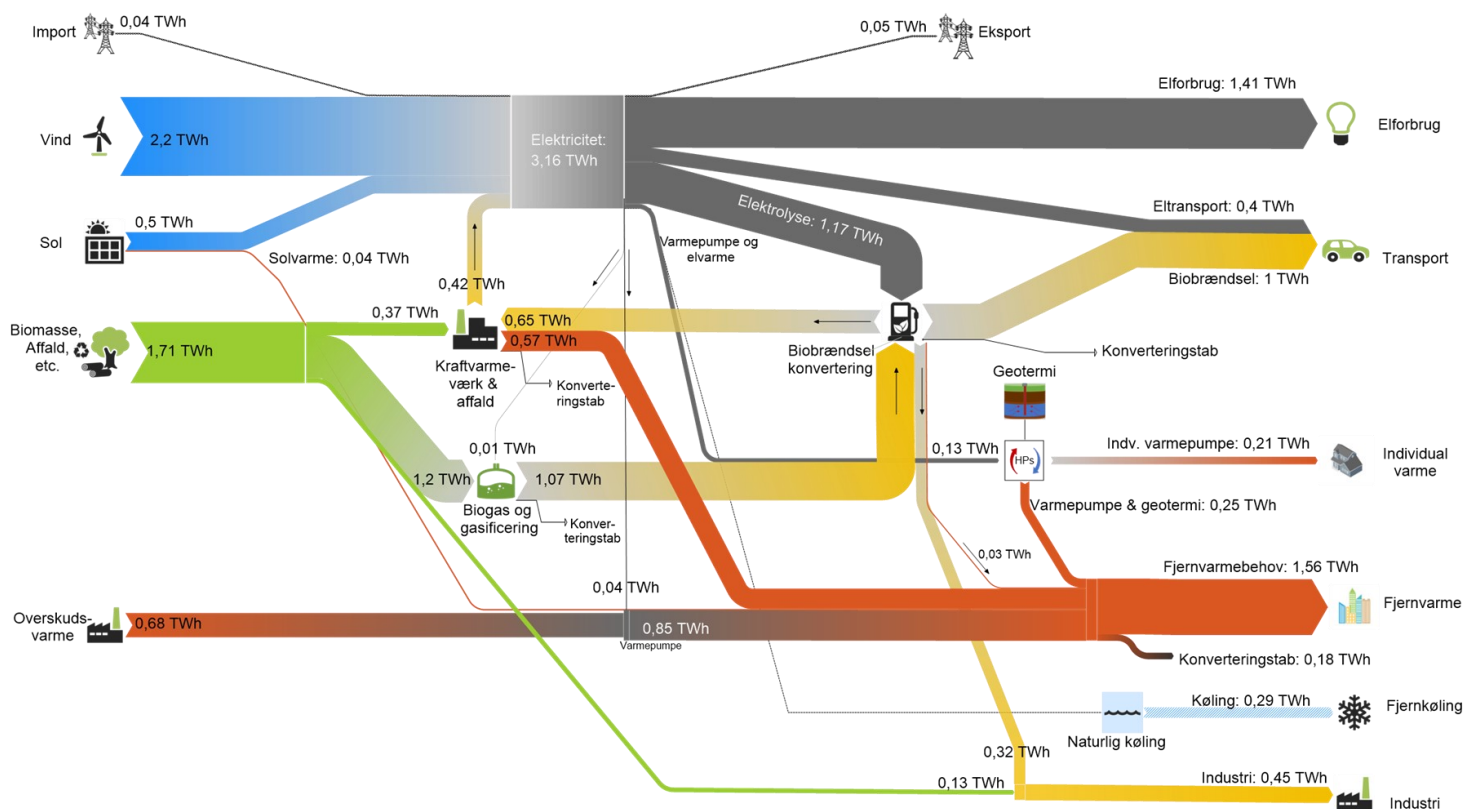
punkt vurderet som forventede omkostninger til fremtidige anlæg.

De samlede årlige omkostninger bliver i størrelsesordenen 20.000 kr. pr. indbygger, hvoraf hovedomkostningen ligger i investeringer, som det fremgår af søjlediagrammet. De ca. 20.000 kr. er bestemt ud fra en befolkning på 210.000, stigende til 240.000 indbyggere, og omfatter alle de anførte omkostninger til energi herunder brændsel, investeringer samt drift og vedligeholdelse forbundet med privat, offentligt og erhvervsmæssigt el- og varmemeforbrug.

Omkostningerne ved at anvende de foreslåede transportformer (f.eks. elbiler, biomassedrevne lastbiler, forbedret baneinfrastruktur og letbaner) frem for eksisterende teknologier er også omfattet heraf. For transportmidlerne er der altså tale om den ekstra omkostning ved at anvende energirigtige løsninger. At hovedparten af omkostningen flyttes fra brændsler – der skal importeres – og til investeringer samt drift og vedligeholdelse betyder, at flere penge holdes i Danmark samt i kommunen.

Eftersom de økonomiske analyser er samfundsøkonomiske analyser, skal de naturligvis kobles med virksom-

heds-/privatøkonomiske analyser før en rentabiliteten i den enkelte investering kan vurderes.



Figur 7: Aalborg Energivision 2050

Energivisionen i hovedtal (ca.)

Offshore Vindkraft	275 MW
Vindmøller i kommunen	300 MW
Solceller	500 MW
Biomasse	6.000 TJ/år
Kraftvarmeverker (grøn gas)	130 MW-el
Affaldskraftvarme	10-20 MW-el
Varmepumper	100 MW-th
Biogas/forgasning	120 MW
Elektrolyseanlæg	330 MW
Stort varmelager	43 GWh
Brintlager	50 GWh
El-lager (i elbiler)	3 GWh

Tabel 3: Energivisionen i hovedtal

Vurdering af alternativer i varmforsyningen

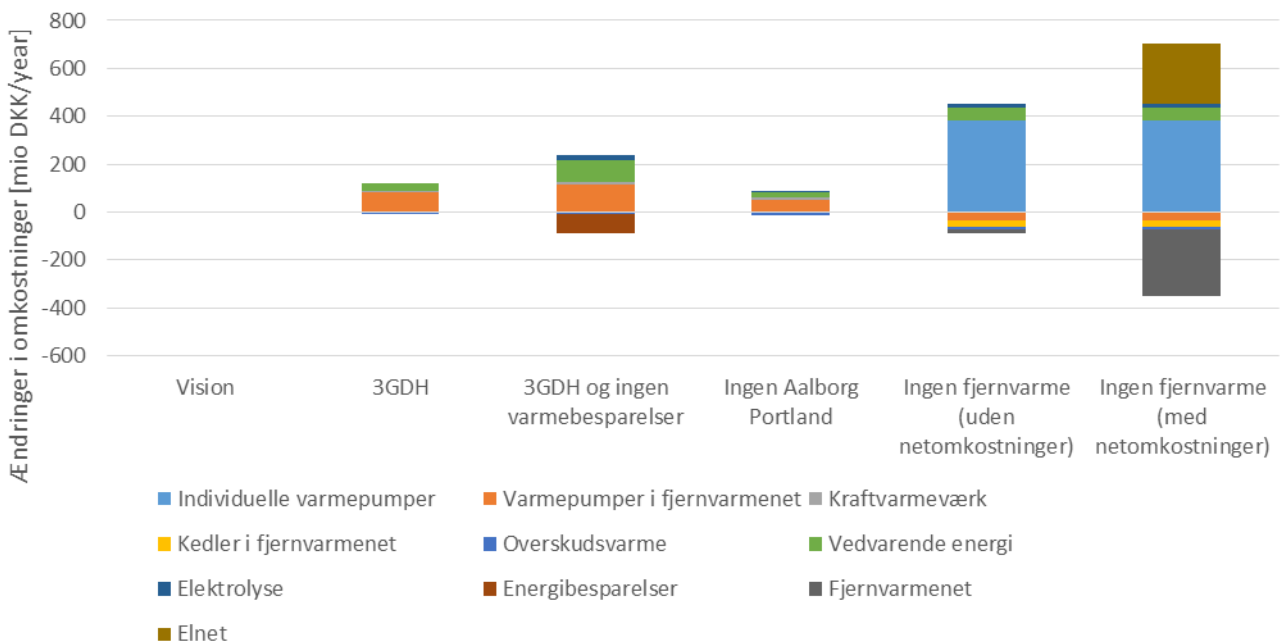


Som en del af arbejdet med energivisionen er der blevet regnet på en række alternativer. Formålet med disse regnestykker er dels at vise betydningen af varmebesparelser og 4. generationsfjernvarme og dels at vise betydningen af afhængigheden af Aalborg Portland i fjernvarmforsyningen. Desuden er der regnet et alternativ, hvor fjernvarmen i stedet erstattes med individuelle varmepumper.

De samfundsøkonomiske konsekvenser er vist i Figur 8, mens de energimæssige er vist i Figur 9 i form af antallet af ekstra vindmøller, alternativet vil kræve.

sætning for at kunne sænke temperaturniveauet. Som det ses, er konsekvensen øgede omkostninger og behov for yderligere vindkraft.

Det tredje alternativ (**Uden Aalborg Portland**) viser, hvad der vil ske, hvis Aalborg Portland ikke mere leverer overskudsvarme til Aalborg. I dette tilfælde er det forudsat, at Aalborg i stedet øger investeringerne i varmepumper og geotermi. Som det ses, vil det øge omkostningerne, men ikke så meget, at Aalborg ikke vil kunne klare sig uden Aalborg Portland.



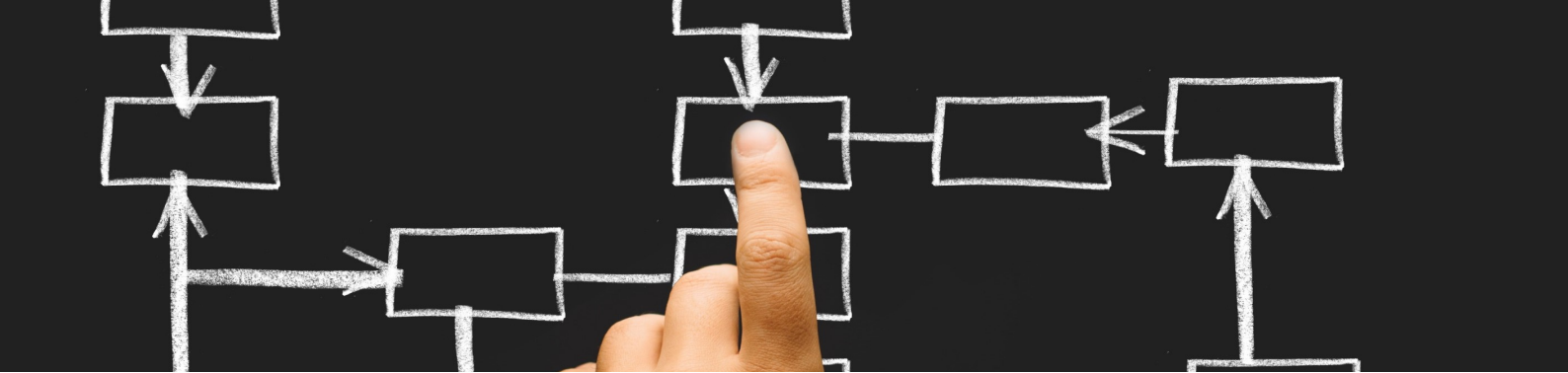
Figur 8: Samfundsøkonomi i alternativer sammenlignet med Energivisionen

Det første alternativ (**3GDH**) viser, hvad der vil ske, hvis Aalborg ikke overgår til 4. generationsfjernvarme, men fortsætter med det nuværende temperaturniveau. En sådan løsning vil dels øge nettabet og dels (hvad der betyder langt mere) forringe effektiviteten og mulighederne i at nyttiggøre overskudsvarme, geotermi, varmepumper og kraftvarmeanlæg. Det øger behovet for vindkraft og bliver en væsentlig dyrere løsning.

Det næste alternativ (**3GDH og ingen besparelser**) viser, hvad der vil ske, hvis Aalborg ikke gennemfører varmebesparelser som en del af reoveringen af de eksisterende bygninger og samtidig heller ikke går over til 4. generationsfjernvarme. Disse to ændringer hænger sammen, idet energireovering ofte er en forud-

l det fjerde alternativ (**Individuelle varmepumper**) er fjernvarmen erstattet af varmepumper i alle huse og lejligheder. Dette alternativ er markant dyrere end at forsætte med fjernvarmen, fordi det ikke udnytter overskudsvarme, og fordi de krævede investeringer i individuelle varmepumper og el er højere end investeringerne i fjernvarmenettet.

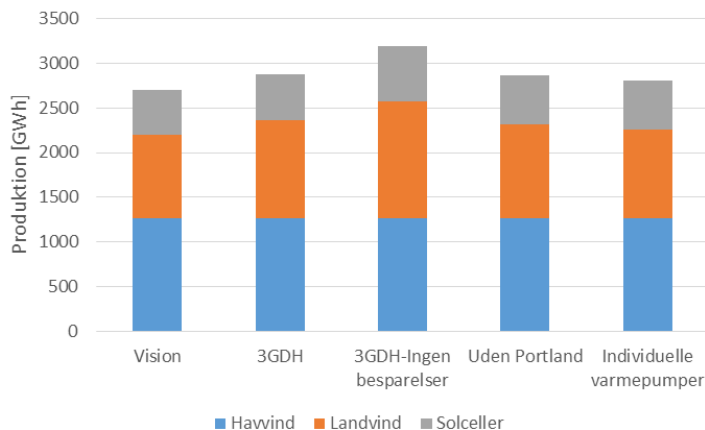
Det sværeste ved at vurdere dette alternativ er at fastsætte omkostningerne dels ved besparelserne i det eksisterende fjernvarmenet og dels i udvidelsen af el-distributionsnettet for at kunne forsyne alle de individuelle varmepumper. Derfor er omkostningerne her udregnet både hhv. med og uden disse omkostninger.



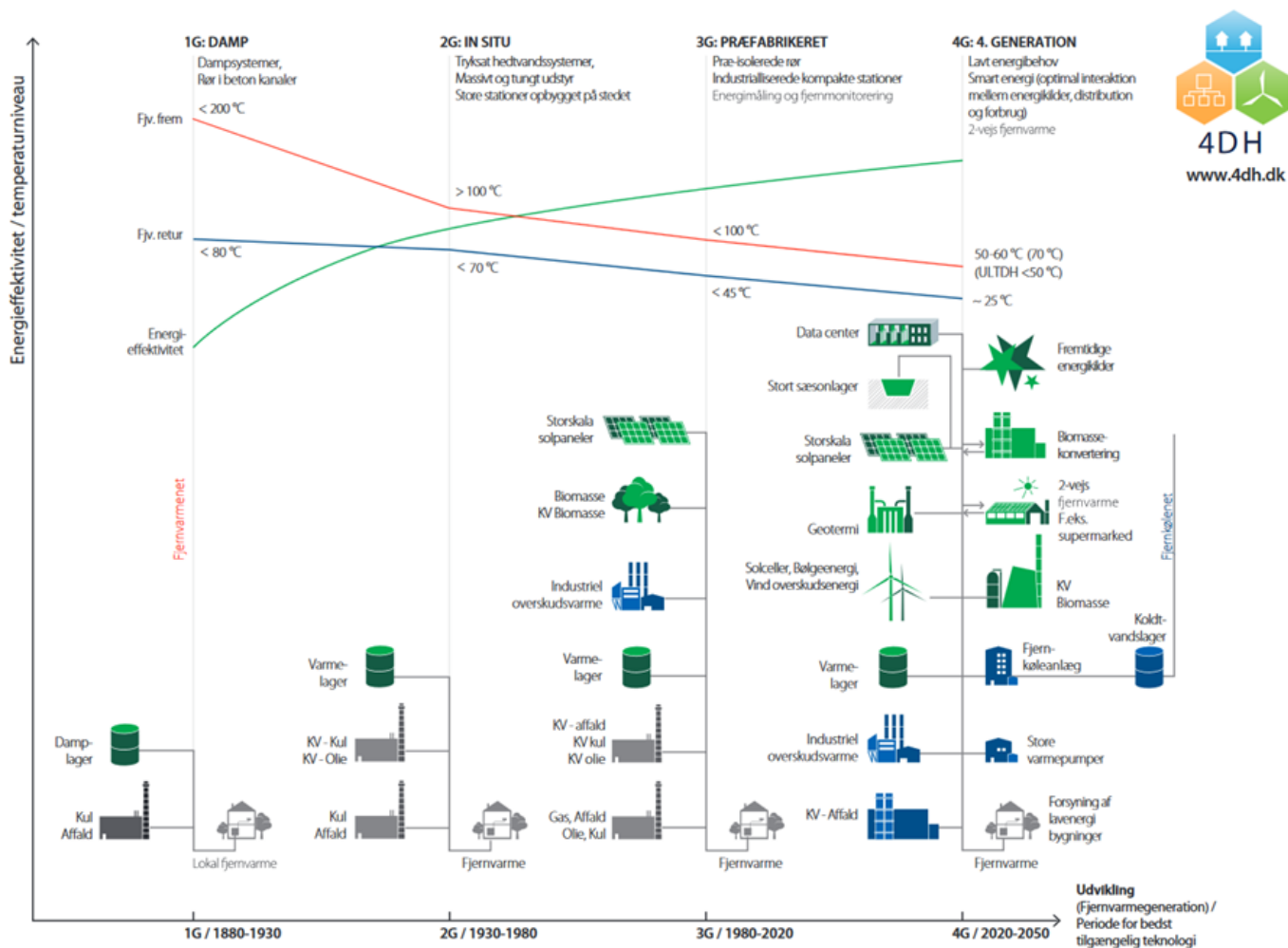
Til vurdering af omkostninger til net er anvendt generelle omkostninger, som angivet i appendiks.

Som det ses, opnås den bedste samfundsøkonomi og det mindste behov for flere vindmøller når der satses på både besparelser og 4G fjernvarme.

Det er også en fordel at satse på en markant større udnyttelse af overskudsvarme fra især Aalborg Portland. Og selvom Aalborg hermed gør sig afhængig af Aalborg Portland er det ikke et stort problem. Aalborg vil relativt let og uden de store omkostninger på sigt kunne erstatte overskudsvarmen med øget udnyttelse af store varmepumper og/eller geotermi.



Figur 9: Vindmøller og solceller i alternativer sammenlignet med Energivisionen



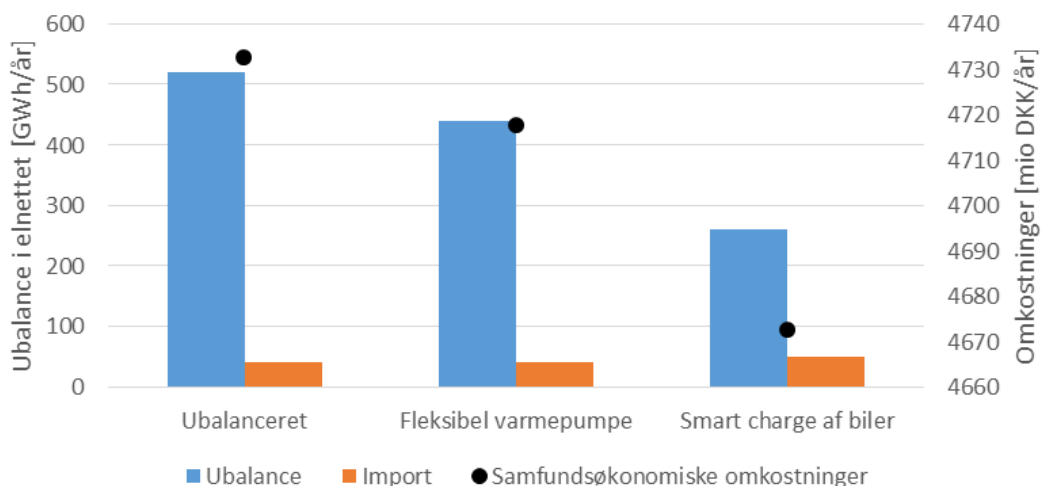
Figur 10: 4. generationsfjernvarme er et væsentligt element i Energivision for Aalborg Kommune 2050

Balancering af vedvarende energi

Når en stor andel af elproduktionen kommer fra vindmøller med begrænset eller ingen mulighed for at tilpasse produktionen efter det øjeblikkelige behov, opstår der store udfordringer for elsystemet. Dette sker, når Aalborg Kommune omlægges til 100% vedvarende energi. Overordnet set på dansk og europæisk niveau er det ikke hensigtsmæssigt, at hvert lokalområde lukker sig om sig selv og investerer i sin egen løsning. Det vil blive alt for dyrt for det samlede system. Der er fordele ved at udligne mellem områder, fordi sol og vind varierer i tid fra den ene del af Europa til den anden, og der er fordele ved at udnytte lagringsmulighederne i norsk vandkraft også uden for Norge.

for resultaterne af de efterfølgende analyser af, hvilken type af indregulering man bør satse på.

Figur 11 og 12 viser betydningen af de reguleringstiltag, som enten er foreslået eller analyseret. I alle alternativerne er importen mindsket til et passende niveau ved at producere på det gasfyrede kraftvarmeværk, når produktionen fra vind og sol ikke er tilstrækkelig. Alternativerne er også vurderet på deres økonomi (se Fig. 13). Deres investeringer er holdt op imod de besparelser, de giver, i form af mindre behov for vindkraft.

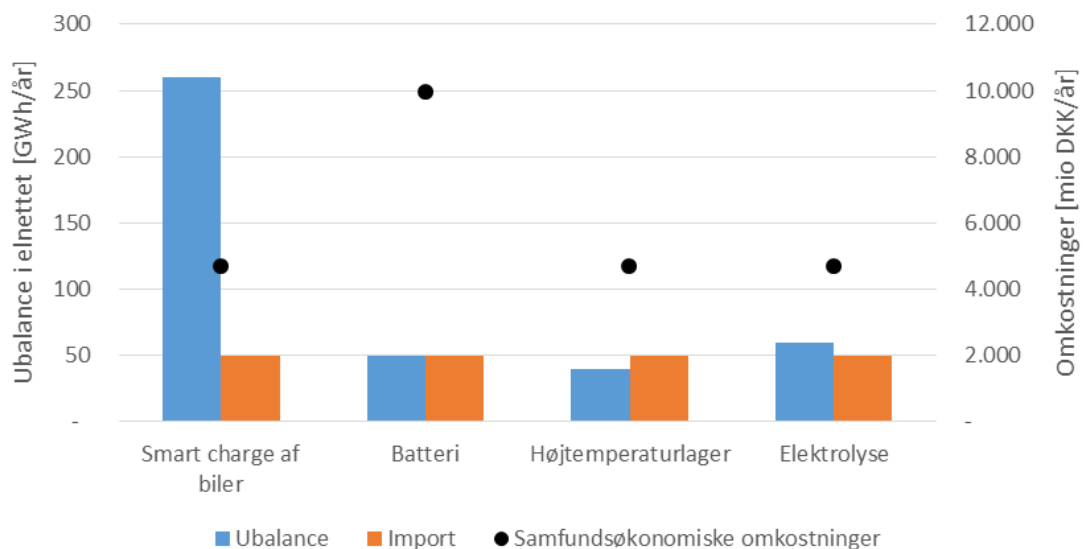


Figur 11: Fleksibel drift af varmepumper og elbiler vil kunne fjerne store dele af ubalancen i elproduktionen

I visionen er det derfor ikke målet, at Aalborg selv skal løse disse problemer på egen hånd. Derimod er det målet, at Aalborg giver sit bidrag til, at de fælles ubalancer kan løses i fællesskab med resten af Danmark og Europa. Konkret for Aalborg betyder det, at nogle af ubalancerne bedst løses ved import/eksport, mens andre bør kunne løses lokalt. Her er det valgt at begrænse import/eksport til 50 GWh/år, svarende til, at 10-20% af ubalancerne løses uden for Aalborg, mens resten løses i Aalborg. Dette tal skal naturligvis tages med et vist forbehold og vil kunne vise sig at være anderledes i fremtiden. Omvendt betyder det ikke det store

For at kunne mindske ubalancen i form af tvungen eksport/tab foreslås først og fremmest fleksibel drift af store varmepumper, samt fleksibel opladning (smart charge) af elbiler, vist i Figur 11. Disse tiltag er primært smart drift og kræver ikke store ekstrainvesteringer. Og som det ses, kan de mindske en betydelig del af problemet. For at kunne løse resten er der vurderet 3 forskellige muligheder som vist i Figur 12.

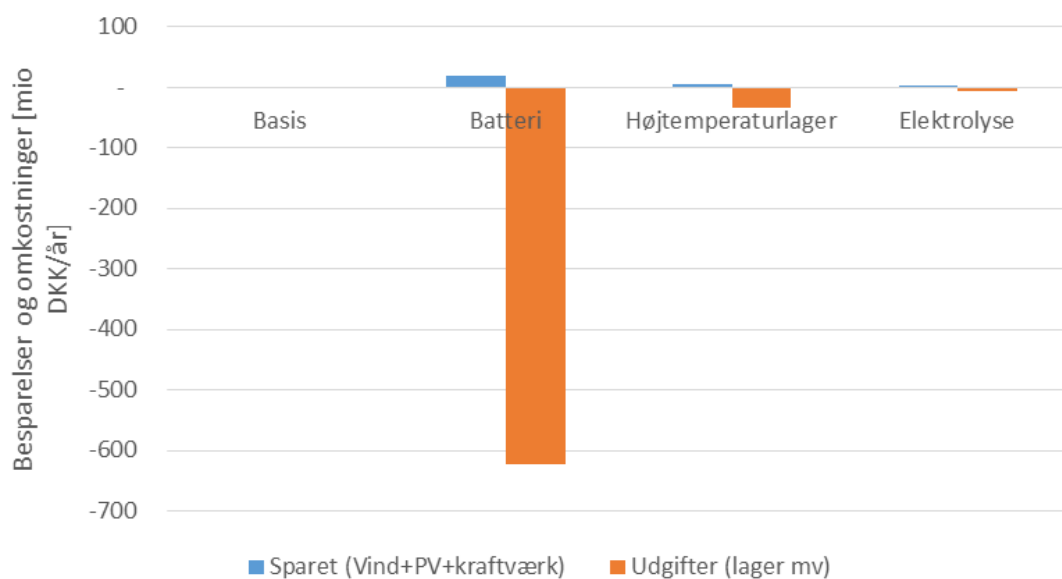
Den første mulighed er et (meget stort) batteri. Dette alternativ har den fordel, at det også kan erstatte kraftvarmeværket. Problemet er dog, at batteriet er meget dyrt og langt fra rentabelt.



Figur 12: Import og eksport balance ved implementer af forskellige balanceringssteknologier i Aalborg energivision

Den næste mulighed er et højtemperaturdamplager også kaldet et stenlager. Dette alternativ vil kunne erstatte brændsel til kraftvarmeverket, men kræver til gengæld, at værket er baseret på en damp turbine. Økonomien i denne løsning er ikke umiddelbar god, men kan dog ikke udelukkes. Forsøg, der vil kunne afklare driften og evt. nedbringe omkostningerne, vil kunne anbefales.

Den tredje mulighed er at investere ekstra i elektrolyse anlæggene og at anvende dem fleksibelt, dvs. bruge mere når vinden blæser, og mindre når vinden står stille. Denne løsning er umiddelbart økonomisk set den bedste mulighed og derfor den, der er indregnet i den endelige udgave af visionen.



Figur 13: Udgifter og besparelser ved forskellige balanceringssteknologier i Aalborg energivision

Vindmøller og solceller



El fra vind, sol og evt. bølgekraft udgør en helt afgørende del af energivisionen, og der er foretaget en række analyser og vurderinger af dels en hensigtsmæssig fordeling mellem energiformerne og dels omfanget af de enkelte energiformer.

Mht. bølgekraft er denne ressource som udgangspunkt ikke indregnet, fordi den ikke pt. er til rådighed på kommercielle vilkår tilsvarende sol og vind. Men hvis den skulle blive det, kan den med fordel erstatte nogle af havvindmøllerne.

Analyser af forskellige kombinationer af sol og vind viser, at det bedste er at få ca. 20% af den vedvarende el-produktion fra solceller og resten fra vind. Det giver de laveste omkostninger og de mindste ubalancer. Herudover giver det også de laveste belastninger af el-nettet.



I en ubalanceret udgave af energivisionen medfører det et behov for ca. 500 MW solceller svarende til en årlig el-produktion på ca. 570 GWh. I princippet kan disse solceller placeres på hustagene i Aalborg Kommune. Ud af i alt ca. 2.200 hektar tage vender 950 hektar helt eller delvist mod syd og vil fuldt udnyttet kunne producere ca. 1.000 GWh. Alternativt kan anlæggene placeres på jorden, hvor de vil beslaglægge i alt ca. 800 hektar (inkl. gange og tilstødende områder). I visionen er der, hvad angår omkostningerne, regnet med at halvdelen af kapaciteten sættes på marker og den anden halvdel på tage.

Mht. vindkraft vil Aalborg kunne være en del af den planlagte danske udbygning til havs. Dog bør Aalborgs andel være mindre end f.eks. Københavns, idet Aal-

borg Kommune råder over store arealer til landvindmøller. Her er der regnet med 280 MW til havs og ca. 300 MW til lands. I øjeblikket står der allerede 158 MW i kommunen, og med beslutningen om Nørrekær enge kommer kommunen op på ca. 220 MW. Der mangler altså kun i omegnen af 100 MW yderligere inden år 2050. En del af dette vil kunne komme fra en naturlig udskiftning og opskalering af nogle af de eksisterende vindmøller, tilsvarende hvad der er gældende for Nørrekær. Dertil kan komme en yderlig udbygning i andre arealer.





I et langsigtet 100% vedvarende energiscenarie for Danmark (både i IDA, hos Energistyrelsen og i Energinet) spiller produktion af grøn gas og/eller flydende brændsler en afgørende rolle for især omstillingen af den del af transportsektoren, som ikke umiddelbart kan dækkes direkte med el. Ud over behovet fra transport skal der også anvendes en vis del grøn gas til spidslastproduktion af elektricitet (og varme) i et begrænset antal timer, hvor vindmøller og solceller ikke producerer nok.

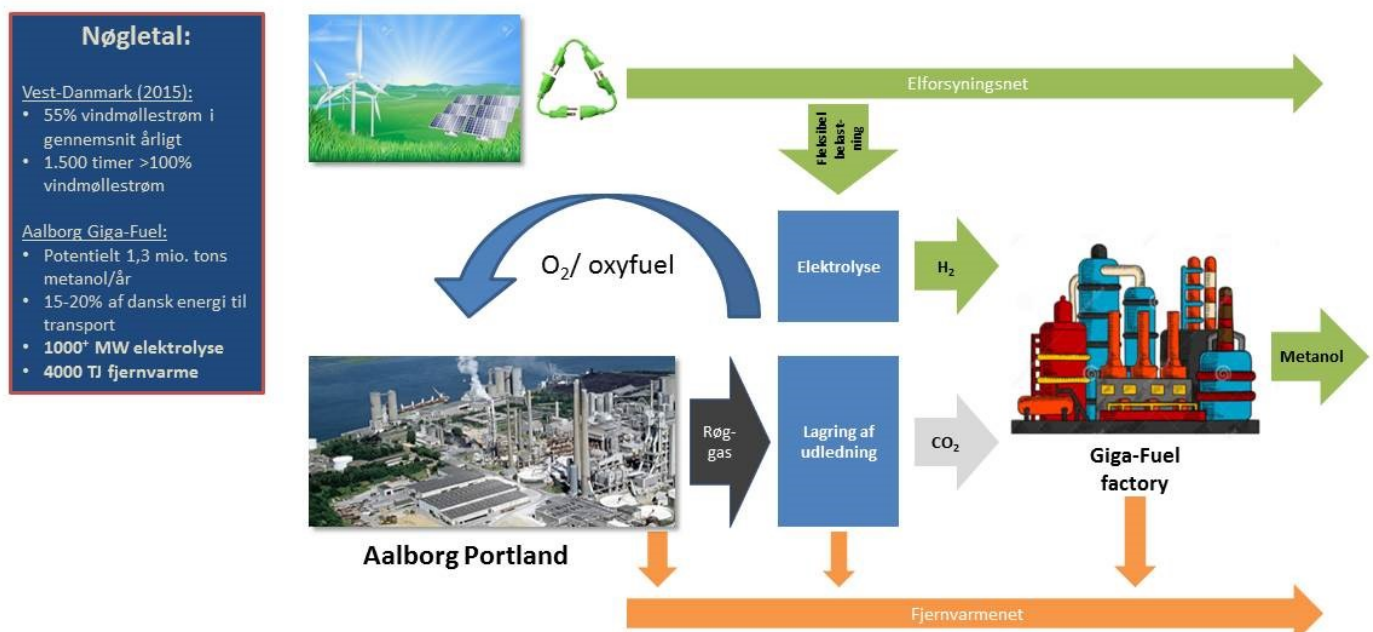
Produktion af metan (grøn naturgas) og/eller metanol (træsprit) kræver dels kulstof og dels brint. Kilden til brint forventes at være elektrolyse baseret på elektricitet fra vindkraft eller anden form for vedvarende energi, mens kilden til kulstof kan være forskellige former for biomasse eller det kan være "carbon capture" af CO₂ fra røggas eller andre lignende kilder.

I det perspektiv har Aalborg med Aalborg Portland en helt enestående mulighed for at bidrage. Aalborg Portland har nemlig en stor og koncentreret udledning af CO₂ dels fra selve fremstillingsprocessen og dels fra afbrænding af brændsler. Der er tale om betydelige mængder på årligt ca. 2 mio. tons, som gør, at der kan blive tale om et storskalaanlæg. Aalborg er samtidig ideel, fordi der er fjernvarme og el-infrastruktur til rådighed i umiddelbar nærhed, ligesom der er havneforhold til afskibning af metanol og/eller gas-infrastruktur til afsætning af methan.

Et muligt anlæg er beskrevet i et projekt, der hedder "Aalborg Giga-fuel". I dette projekt udnyttes røggas fra Aalborg Portland til produktion af CO₂, som igen anvendes til produktion af metanol via en *giga-fuel factory*. Tilsvarende mange af de andre dele af Energivision skal et sådant anlæg ikke ses isoleret ift. Aalborg men i en bredere dansk sammenhæng. Aalborg Giga-Fuel har således en forventet årlig produktion på op til 1,3 millioner tons metanol, svarende til et energiindhold på 26 PJ, eller hvad der svarer til 2/3 af Danmarks forbrug af flybrændstof, som udgjorde 38 PJ i 2015.

Aalborg Giga-Fuel vil udnytte CO₂ fra cementproduktionen på Aalborg Portland og brint fremstillet ved elektrolyse til at lagre vindmøllestrøm som flydende brændstof. Anlægget vil kunne aftage op mod 1500 MW svarende til elproduktionen fra 2 store havvindmølleparker. Energiindholdet i det producerede brændstof vil kunne dække 2/3 af Danmarks forbrug af flybrændstof i 2015.

Aalborg Giga-Fuel



Figur 14: Principtegning af carbon capture and utilisation ved Aalborg Portland

Fremtidens biomasse- teknologi: HTL

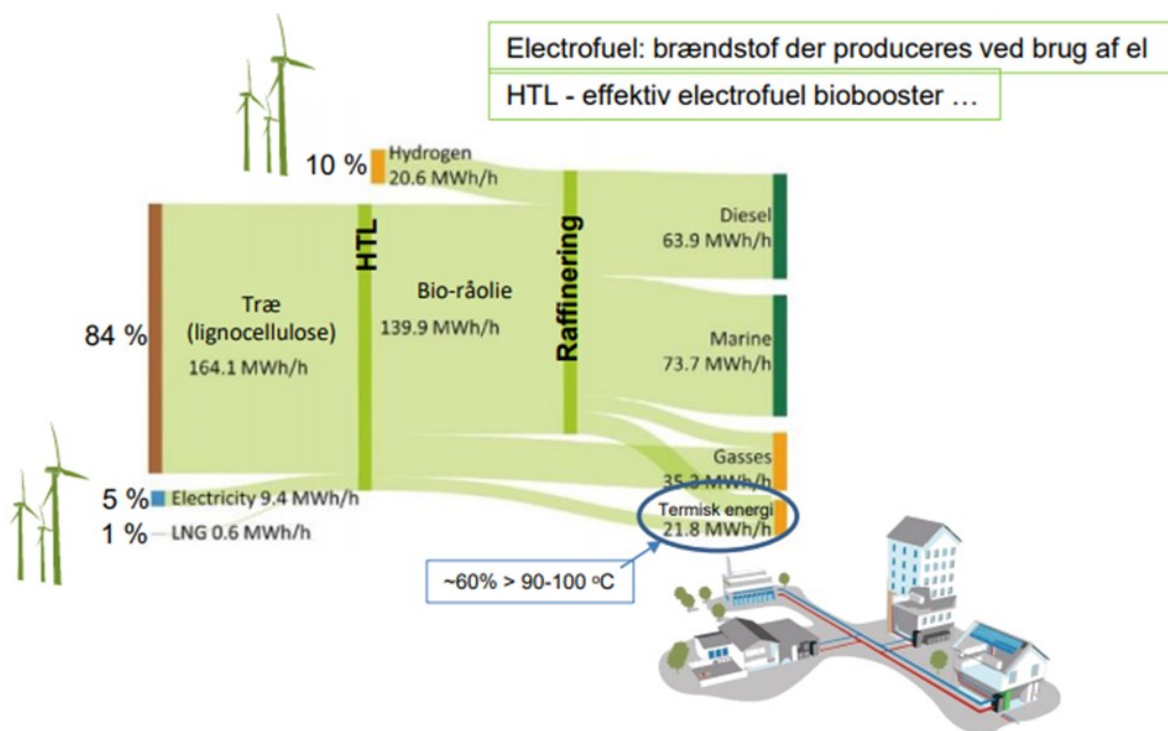


I energivisionen for Aalborg Kommune skal der bruges 935 GWh syntetisk brændsel for at opfylde Aalborg Kommunes borgeres behov for brændstof til bus-, gods- og flytransport. I energivisionen frembringes det af kulstof fra biomasse i kombination med brint via elektrolyse fra vindkraft. Biomassen omsættes i biogas og forgasningsanlæg. Desuden afbrændes der fortsat det affald, som ikke kan genbruges eller anvendes til biogas.

Et alternativ til biogas, forgasning og afbrænding af biomassen er en ny teknologi, nemlig Hydrothermal Liquefaction (HTL). Hydrothermal liquefaction kan udnytte biomasse, som træ og affald, til at producere brændstof (se Fig. 15). Dette sker gennem en HTL-proces, der udnytter biomasse og elektricitet i symbiose for at danne en bio-råolie. Hertil anvendes hydrogen fra elektrolyse, produceret på overskydende vedvarende energi, for at raffinere bio-råolien til et brugbart brændstof i transportsektoren.

HTL er ikke en kræsen proces, og derfor kan der anvendes affald. Tilmed kan den være med til at sikre Aalborgs nultolerance for plastik på markerne i fremtiden, som kan være et problem ved biogas og affaldsforbrænding.

I Aalborg Energivision forventes de 935 GWh syntetisk brændsel alle at skulle produceres ud fra en biomasseproces. Enten via biogas, eller gennem forgasning af biomasse. Samlet set medfører dette et biomasseforbrug på 1.060 GWh biomasse og affald og 140 GWh biogas. Dette giver en effektivitet på 78%. Hertil skal der bruges 794 GWh el for at producere det nødvendige brint, svarende til 66% af den nødvendige biomasse. I HTL er effektiviteten fra biomasse til brugbart brændsel 84% (svarende til 1.113 GWh biomasse). HTL vil til sammenligning have et elforbrug på 22% af den anvendte biomasse (svarende til 244 GWh el). Hvis CO₂ fra HTL-processen også ønskes udnyttet til brændstofproduktion (elektrofuel), vil elforbruget dog stige, og den nødvendige mængde biomasse altså falde tilsvarende for at nå den samme mængde produceret brændstof. Implementering af et HTL-anlæg kan derfor potentielt både give et mere effektivt system, bedre udnyttelse af biomassen og installeret elektrolysekapacitet, samt hjælpe til med reduktion af plastik til recipienter.



Figur 15: Principtegning og energiudnyttelse af hydrothermal liquefaction

Frem til 2050 opbygges i Aalborg Kommune et nyt forsyningsystem baseret på vedvarende energikilder. Parallelt bør varmeforbruget reduceres betragteligt. Dette kan betale sig, såfremt energisparetiltagene laves i forbindelse med bygningsrenoveringer. Investeringer i bygningsmassen har levetider på 30-60 år, så det er en hastesag at etablere virkemidler, der sikrer en energistandard i de bygningsrenoveringer, der gennemføres i de nærmeste år, som passer til de forsyningsystemer, der bliver introduceret frem til 2050.

Det anbefales derfor, at Folketinget skærper bygningsreglementet så meget, at renoveringer af eksisterende bygninger medfører en energibesparelse på gennemsnitlig ca. 40% frem til 2050. I Aalborg Kommune viser udregninger at det skal være mellem 30 og 40%.

Det anbefales ligeledes, at der etableres økonomiske incitamenter til at gennemføre varmesparelser i bygninger.

Det kan bl.a. gøres ved, at varmforsyningsloven ændres, så varmforsyningsvirksomheder kan yde tilskud, kautio og langfristede lån til renoveringer, der lever op til det ovenfor skærpede bygningsreglement.

Aalborg Forsyning tilskrives en meget stor rolle i den fremtidige varmforsyning i Aalborg Kommune gennem sammenlægninger af fjernvarmenet, omlægning

ger til fjernvarmforsyning samt opbygning af ny forsyningskapacitet. Det er derfor vigtigt, at Aalborg Kommune sikrer, at selskabet forbliver et kommunalejet selskab, som kan påtage sig en række public service opgaver på varmesparelsesområdet.

Aalborg Forsyning kan fremme varmesparelser ved at øge det variable led i varmetarifferne og reducere den forbrugsafhængige andel af forbrugernes varme-regning.

De nyligt indførte såkaldte motivationstariffer kan være et middel til at forbedre afkølingen i de enkelte huse. Et andet muligt virkemiddel for at øge effektiviteten kan være, at forsyningen overtager ejerskabet af installationer i de enkelte boliger.

Som følge af de lavere temperaturer i et fjerdegenerationsfjernvarmesystem kan det også blive aktuelt at afprøve nye modeller for effektbetaling med henblik på at undgå for høj spidslast, der kan resultere i forhøjede omkostninger til opgradering af ledningsnettet.

Det er afgørende for forsyningens langsigtede omkostningsniveau, at der findes den rette balance mellem investeringer i nedbringelse af varmeforbrug og investeringer i varmforsyning. En væsentlig barriere for at denne balance findes er, at de privatøkonomiske omkostninger for isolering af bygninger er væsentlig højere end de samfundsøkonomiske omkostninger. Det skyldes, at tidshorizonten for de privatøkonomiske finansieringsmuligheder er væsentlig lavere end de tekniske levetider af investeringerne. Dertil vil renteniveauet for private lån til energibesparelser ofte være højere end renteniveauet for fjernvarmens investeringer i energiforsyning.

På den baggrund anbefales det, at den kommunale varmforsyning opnår mulighed for at yde kautio for lån til energibesparelser og sikre, at der udbydes langvarige (30-60-årige) lavtforrentede lån til investering i varmesparelser, der lever op til kravene i det skærpede bygningsreglement. Endelig bør der aktivt tilbydes energirådgivning og gives tilskud til energisyn, der kan danne basis for uddeling af ovennævnte incitamenter. På denne måde kan forbrugerne i Aalborg fortsætte med at have omkostninger til opvarmning, der er blandt de laveste i landet, samtidig med Aalborgs varmforsyning baseres på vedvarende energi.

Takster	
<p>Boligkunder (inkl. moms) ved Aalborg Varme A/S Januar 2019</p>	
<p>Takster</p>	
Abonnement for boliger på max 50 m ² (pr. måler pr. år)	625,00 kr.
Abonnement for øvrige kunder (pr. måler pr. år)	1.250,00 kr.
Effekt pr. m ²	20,00 kr.
Forbrug pr. m ²	20,00 kr.
Energi pr. kWh	0,540 kr.
Motivationsstart – tillæg/afdrag ifølge bilæg til leveringsbestemmelser.	
Taksten anvendes i særligt definerede pilotområder.	
Effekt beregnes efter regler med udgangspunkt i ejendommens beregningsareal	
<p>Sådan er taksterne sammensat</p>	
Abonnement	1.000,00 kr.
Moms	250,00 kr.
I alt	1.250,00 kr.
Effekt pr. m ²	16,00 kr.
Moms	4,00 kr.
I alt	20,00 kr.
Forbrug pr. m ²	16,00 kr.
Moms	4,00 kr.
I alt	20,00 kr.
Energi pr. kWh	0,432 kr.
Moms	0,108 kr.
I alt	0,540 kr.
<p>Kraftvarmetillæg for omegnsbyer</p>	
How	
Meromkostningsselement pr. m ² beregningsareal	67,68 kr.
Tillægsselement for standardforbruger pr. m ² beregningsareal	13,14 kr.
Tillægsselement for øvrige forbrugere	individuel
Tillæggene bortfalder 1. december 2020	
<p>Aalborg Forsyning Sjælland Brygge 5 9400 Halsundby www.aalborgforsyning.dk</p>	



Aalborg Kommune har en væsentlig rolle at spille i omlægningen af energisystemet til 100% vedvarende energi, og Energivisionen fra 2010 fremlagde forslag til, hvordan kommunen aktivt kan understøtte omstillingen. Dette kan generelt ske via information, planer, krav samt konkret igennem investeringer og ejerskab. Yderligere kan den kommunale indsats deles op i *interne tiltag* i kommunens egne bygninger og institutioner og *eksterne tiltag* rettet mod borgere, virksomheder og andre organisationer i kommunen. Det samme gælder delvist også kommunale forsyningsvirksomheder.

Energivisionen fra 2010 (se s. 4) foreslog, at den *interne indsats* rettedes mod energibesparelser i egne bygninger såsom skoler samt fastholdelse af ejerskabet af varmforsyningsnettet. Sidstnævnte blev indirekte styrket via købet af Nordjyllandsværket, som muliggør et endnu bedre samspil mellem produktion og forsyning. Endvidere anbefalede 2010-visionen, at kommunen kan udarbejde transporthandlingsplaner for forvaltningerne, tilbyde erhvervskort til kollektiv transport til ansatte og øge brugen af elbiler og delebiler. For at styrke kommunens *eksterne indsats*, blev det foreslået, at kommunen deltager aktivt som investor og ejer af vindmøller. Derudover blev det foreslået, at kommunen stiller energisparekrav til nye virksomheder.

I Smart Energy Aalborg foreslår vi, at kommunen holder fast i de samme indsatsområder. Det er derudover vurderingen, at der fremover i særdeleshed er behov for at udvikle en model, der kan sikre en langtidsholdbar og balanceret udbygning med VE-anlæg, herunder infrastruktur til lokal integration af den fluktuerende produktion herfra.

Vedvarende energi til gavn for lokal udvikling

Med de stigende mængder af VE-anlæg er det vigtigt, at udbygningen tager hensyn til lokalbefolkningen, naturen og den lokale udvikling og økonomi i kommunen. Kommunen kan fremme udbygningen med vindmøller, solceller, biogas og andre VE-anlæg både politisk, som myndighed og som investor/ejer.

1. Kommunens politikere kan udarbejde retningslinjer, der sikrer muligheden for at have en høj andel af lokalt ejerskab i vindmøller, solceller, biogasanlæg m.fl.

Det foreslås, at projektudviklere bliver motiveret til tidligt og aktivt at udbyde mindst 51% af VE-projektets andele blandt borgere og virksomheder i lokalområdet og senere i kommunen. Blandt virksomhederne kan varme- og elselskaber være med til at sikre den lokale finansiering af projekterne. Vindmølleprojekter i Nissum Bredning og Hvide Sande kan nævnes som projekter, der allerede er gennemført under tilsvarende forhold. Samtidig kan f.eks. vindmøller ejet af varmforsyningen understøtte brugen af el til fjernvarmeproduktion via store varmepumper og dermed sikre lavere varmepriser. Det samme kunne gøre sig gældende for transportvirksomheder, som vil sikre en billig produktion af vind-/sol-/elbaserede brændsler (elektrolyse) til busser og tog. Derudover kan politikerne tilskynde projektudviklere til at etablere medejerskabsmodeller - f.eks. almennyttige fonde - der sikrer, at projektoverskuddet kan gå til lokale udviklingsformål.

2. Kommunen kan som myndighed komme tidligt i dialog med projektudviklere, borgere og virksomheder for at sikre en god planlægningsproces samt høj lokal opbakning, forankring og ejerskab.
3. Kommunen kan som myndighed sikre, at arealer bliver udnyttet bedst muligt. Det foreslås, at kommunen undersøger, hvor stor en andel af den fremtidige solcellekapacitet kan installeres på de store tagarealer i kommunen. Store solcelleanlæg på marker skal som minimum etableres som fællesanlæg, jf. punkt 1, og evt. i kombination med vindmøller eller biogasanlæg.
4. Kommunen kan som investor og medejer i et energiproduktionsselskab understøtte det lokale ejerskab i VE-projekter. Dette kan både ske via partnerskaber med projektudviklere, og mere indirekte hvor kommunen, efter projektandelene først har været udbudt blandt borgere og virksomheder, leverer den nødvendige "buffer" for at nå op på 51% lokalt ejerskab. Overskuddet kunne anvendes til energiformål i forbindelse med implementeringen af den nye energistrategi – f.eks. en støttepulje til energirenoveringer. Morsø og Samsø Kommune har erfaring med investeringer i vindmøller, som der her kan trækkes på.



Energibesparelser i virksomheder og husholdninger

- Kommunen kan i samarbejde med Aalborg Forsyning undersøge incitament og støttemuligheder, som sikrer, at det langsigtede besparelsesniveau opnås.
- Dette gælder især varmebesparelser i private hjem og virksomheder, hvor investeringshorisonten ofte er meget kort.
- Kommunen kan i samarbejde med Aalborg Forsyning understøtte en bedre udnyttelse af overskudsvarme fra virksomheder – specielt i overgangen til lavtemperaturfjernvarme. Dette gælder også nye virksomheder - herunder eventuelt nye datacentre i kommunen - hvor kommunen aktivt kan søge dialogen, inden virksomheden etablerer sig.

Samarbejde omkring strategiske indsatsområder

- Kommunen bør etablere en fast dialog med Energi styrelsen, andre relevante centrale myndigheder såvel som andre kommuner for at gøre opmærksom på mulige barrierer og udfordringer i forhold til ovennævnte indsatsområder.
- Herunder udvikle en regulering af overskudsvarme, der fortsat tilskynder energieffektivitet i industri og erhverv, men samtidig nedbringer det spild af overskudsvarme, som den nuværende overskudsafgift skaber.
- Derudover sikre bedre finansieringsmuligheder for varmebesparelser i bygninger, så der ikke, som under den nuværende regulering, overinvesteres på forsyningsiden og dermed opbygges et unødvendigt højt omkostningsniveau i varmeforsyningen.



Energivisionen som erhvervsstrategi



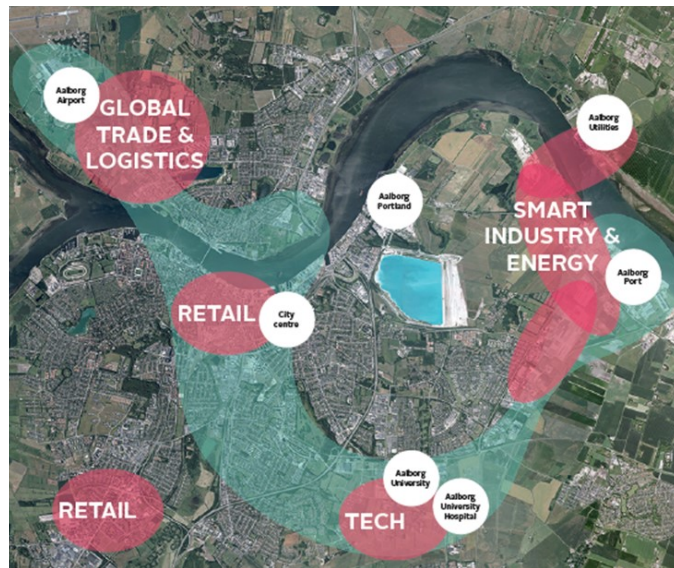
En realisering af energivisionen for Aalborg Kommune vil være en aktiv erhvervsstrategi med en række potentialer for eksisterende virksomheder i området samt for at tiltrække nye virksomheder. Aalborg erhvervsstrategi 2019-2022 satser på at udvikle virksomheder og forretningsidéer indenfor de to spydspidsområder: bæredygtighed og digitalisering.

Der er en langvarig tradition for et tæt samarbejde mellem industrien, vidensinstitutioner og offentlige virksomheder i Nordjylland om forskning og udvikling samt om konkrete udviklings- og demonstrationsprojekter. Netværk for Bæredygtig Erhvervsudvikling, Erhvervsnetværk 9220, House of Energy og BrainsBusiness er eksempler på nogle klynger og netværk, som gennem mange år har været en stabil platform for samarbejdet omkring udvikling af bæredygtige energi- og miljøløsninger.

Som led i udarbejdelse af denne energivision er der dels afholdt bilaterale møder med relevante aktører og dels afviklet en Energi- og Erhvervsdag på Nordjyllandsværket i januar 2019 sammen med House of Energy. Formålet med dagen var at samle alle relevante virksomheder og aktører med henblik på at blive opdateret på nye teknologier og at få en dialog om konkrete projekter ift. realiseringen af energivisionen.

Aktuelt kommer fjernvarme primært fra kul, affald og overskudsvarme, og ca. 1/3 er vedvarende energi. På den korte bane inden 2028 er fokus på at erstatte fjernvarmeproduktionen fra Nordjyllandsværket med velkendte teknologier, herunder geotermi, store varmepumper kombineret med et stort sæsonvarmelager. Som illustreret af Aalborg Forsyning på Energi- og Erhvervsdagen er hensigten at lave et robust energisystem baseret på et mix af teknologier, og med flere synergier imellem disse teknologier primært baseret på vedvarende energikilder. Konferencen viste, hvordan der i Nordjylland findes stor ekspertise og erfaring med disse teknologier.

Løbende fra 2019 frem til 2050 skal der være fokus på energibesparelser og -optimeringer, og der bør investeres i renovering af bygninger, overgang til 4. generation-slavtemperaturfjernvarme, stigende udnyttelse af overskudsvarme samt udbygning med solvarme, solceller og vindmøller. Desuden bør der også udbygges med biogas og evt. forgasning. Også i relation til disse løsninger fin-



Figur 16: By- og erhvervsudviklingsplan for Aalborg

des der oplagte nordjyske virksomheder og industrier samt kompetence på universitetet.

Det store spørgsmål er, hvornår der eventuelt skal investeres i et kraftvarmeverk og i givet fald hvor stort og hvilken type. Energivisionen peger på et gasturbineværk i størrelsen 100-120 MW samt bevarelse af de eksisterende decentrale kraftvarmemotorer. Realiseringen af denne del af visionen afhænger imidlertid helt af, hvordan el-markedet udvikler sig.

På den lange bane vil der være behov for yderligere investeringer og teknologier. Flere af disse skal ske i koordinat med resten af Danmark som allerede beskrevet. I den forbindelse vil Aalborg kunne byde ind med test, udvikling og demonstration af nye muligheder i et Grønt Testcenter.



Grønt testcenter

”Aalborg har viljen og evnen til at sætte Danmark på verdenskortet som frontløber for grøn omstilling. Vi har universitetet, erhvervslivet, mentaliteten og størrelsen til at blive et af Danmarks Grønne Testcentre”

Sådan lyder indledningen til Aalborg Kommunes ideoplæg til et grønt testcenter. Aalborg Forsyning har allerede vedtaget, at hele området omkring Nordjyllandsværket kan anvendes til at lave et grønt testcenter – altså hvor areal og anlæg bliver stillet til rådighed for ek-

være relevant gennem pilot- og demonstrationsprojekter at teste disse og tilsvarende teknologier. Tilsvarende vil det være relevant at se nærmere på lagrings- og integrationsteknologier så som brintlagre, højtemperaturlagre og lignende.

Udover at fungere som testcenter kan arealerne omkring Nordjyllandsværket også indgå aktivt i udbygningen med vind- og solenergi, varmepumper og kraftvarmeværk samt evt. store varmelagre (se Fig. 17). Der er masser af



Figur 17: Ideskitse til Grønt Testcenter på Nordjyllandsværket fremlagt af Aalborg Forsyning.

sterende og nye virksomheder med henblik på at udvikle og teste teknologiske muligheder. Betingelserne er ideelle – området er allerede i dag et knudepunkt for flere energiinfrastrukturer så som el, varme og gas. Idéen er, at infrastrukturen i form af adgang til fjernvarmenet, elnet og gasnet bliver stillet til rådighed for pilot- og demonstrationsprojekter. Arealet er tænkt til at kunne huse alle forsyningsdiscipliner i Aalborg for at opnå tværgående synergier.

På den lange bane er der brug for nye teknologier især inden for kombinationer af biogas, forgasning og elektrolyse til produktion af grøn gas og grøn benzin. Potentielle muligheder vil være Hydrothermal liquefaction (HTL) og Giga-fuel i form af Cryogenic Carbon Capture and Utilization (CCCU) som beskrevet tidligere. Allerede nu vil det

plads til nye start-ups samt til virksomheder, der vil eksperimentere med de oplagte innovationsmuligheder ved at gå på tværs af de traditionelle forsyningsområder så som el, fjernvarme, vand, spildevand, affald, biogas, mv. Arbejdet med denne energivision har klart illustreret, at der blandt de relevante partnere er viden, vilje og overskudsenergi til at realisere dette Grønne Testcenter og i praksis eksperimentere med ikke blot de enkelte teknologier, men i mindst lige så høj grad med 1) Det smarte energisystem og potentialerne i digitaliseringen, samt 2) De bæredygtige og helhedsorienterede løsninger på tværs af sektorerne.

Disse potentialer kan kun realiseres via partnerskaber på tværs af private og offentlige virksomheder, samt ved at tænke på tværs af de traditionelle siloer.



Energieffektivisering er i alle henseender den mest bæredygtige løsning. For industrien giver det mulighed for både at spare penge, nedsætte miljø- og klimabelastningen og forbedre virksomhedens miljøprofil.

På trods af mange års fokus på energieffektivisering, er det stadig muligt at opnå effektivisering og optimering af produktion og drift. Udvikling af nye teknologier som f.eks. LED-belysning betyder, at elforbruget ofte kan halveres samtidig med at der opnås en bedre belysning på arbejdspladsen. Tilsvarende sker der løbende forbedringer af f.eks. pumper og maskiner, som til stadighed kan medføre nye energibesparelser.

I de senere år er et skifte undervejs fra *energi- til materialeeffektivitet*, så fokus ikke blot er på energianvendelsen i forbrugsfasen, men i langt højere grad på den indlejrede energi ved valg af materialer. Eksempelvis er boligernes energiforbrug uhyre effektivt, mens der samtidig vælges materialer som fx aluminium med et højt energiforbrug under fremstillingen. Med andre ord er vi på vej til at få en bredere forståelse af energieffektivisering. Dette gør sig også gældende i forhold til såvel industriel symbiose som cirkulær økonomi.

I en *industriel symbiose* samarbejder virksomhederne på et kommercielt grundlag, hvor affald eller biprodukter fra en produktionsproces bliver til en ressource og input i en anden proces. Netop energisystemet og udnyttelse af overskudsvarme er ofte ryggraden i en industriel symbiose, hvilket i høj grad er tilfældet i f.eks. Aalborg, hvor Aalborg Portland hidtil har udgjort omdrejningspunktet i den industrielle symbiose i byen, også i relation til materialeudveksling.

Cirkulær økonomi er mere ambitiøst ved at satse på 100% vedvarende energi, og på at være gendannende som intention. Tre hovedstrategier er knyttet til cirkulær økonomi:

- Reducering – formindsket brug af energi/materialer
- Lukning af kredsløbet
- Forsinkelse – forlængelse af produkternes levetid

Alle tre strategier sparer på energi og ressourcer men på forskellige måder.

En lukning af kredsløbet i form af forbedret genanvendelse og materialegenindvinding betyder, at ressourcerne ikke går tabt, ligesom en stor CO₂-reduktion er

forbundet hermed. F.eks. genanvendt plast har kun den halve klimabelastning sammenlignet med ny plast.

Ved at forlænge produkternes levetid gennem reparation, service og vedligehold opnås der også store resourcebesparelser ved at forsinke udskiftningen af produkter. Hvis produkter derefter genbruges og distribueres til andre brugere, opnås der yderligere reduktion i klimabelastningen.



Figur 18: Lineær økonomi vs. cirkulær økonomi

Region Nordjyllands kommuner er gået sammen om en fælles satsning på cirkulær økonomi, og dette rummer potentiale til, at de tekniske materialer jf. Figur 18 bliver udnyttet meget mere optimalt end hidtil. Noget tilsvarende gør sig gældende for det biologiske kredsløb, som udgør den anden del af den cirkulære økonomi. Affald er blevet en ressource, som vi systemmæssigt skal udnytte mest optimalt indenfor et afgrænset geografisk område.

Denne energivision bygger netop på en udnyttelse af synergien mellem forskellige energiteknologier samt de tilgængelige ressourcer i Aalborg Kommune. Dette kan udgøre grundlaget for en erhvervspolitisk satsning.

De følgende tabeller viser det samlede investeringsforløb, startende med omkostningerne til de konkrete udbygninger (Tabel 1), årlige variable drifts- og vedligeholdelsesomkostninger (Tabel 2) samt endelig de samlede årlige omkostninger (Tabel 3).

Alle årlige omkostninger er beregnet ud fra den anførte periode med en diskonteringsfaktor på 3%. Omkostningerne for varme- og el-net er angivet som ekstraomkostninger til udvidelserne af det eksisterende net. Alle omkostninger er samfundsøkonomiske – dvs. uden skatter, afgifter og tilskud.

Tabel 1: Investeringsomkostninger og faste D&V-omkostninger

Anlæg	Enhed	Levetid [år]	Invest/år [mio. kr]	D&V/år [mio. kr]
Små kraftvarmenheder	22 MW-e	25	8	1
Store kraftvarmenheder	110 MW-e	25	25	15
Varmelager	2 GWh	20	2	0
Affaldskraftvarme	0.37 TWh	20	40	0
Varmepumper til fjernvarme	28 MW-e	25	38	3
Fjernvarmekedler	630 MW-th	25	14	9
Elkedler til fjernvarme	100 MW-e	20	3	0
Landvind	290 MW-e	30	103	69
Havvind	277 MW-e	30	181	67
Solceller	462 MW-e	30	87	17
Solvarme	0.05 TWh	30	6	0
Sæsonvarmelager	41 GWh	20	10	1
Biogasværk	0.14 TWh	20	15	3
Forgasningsanlæg	101 MW	20	68	24
Biogasopgradering	22 MW	15	3	1
Genindvending af kulstof	0.09 MtCO ₂	20	6	11
Syntetisk gas	268 MW	25	23	16
Syntetisk brændstof	107 MW	25	14	10
Opgradering til jetfuel	38 MW	25	6	4
Elektrolyse	330 MW	30	51	30
Brintlager	50 GWh	20	161	49
Individuelle varmpumper	14.000 enheder	15	44	16
Overskudsvarme	- -	30	15	0
Fjernvarmeudvidelser	- -	40	15	0
Varmebesparelser	- -	40	83	0
Elbesparelser	- -	10-15	128	0
Industribesparelser	- -	20	195	0
Elnetudvidelser	- -	45	30	8
Transportsektor	- -	13-30	1.808	848

Tabel 2: Variable drifts- og vedligeholdelsesomkostninger

	Mængde [TWh/år]	Enhed	[Mio. kr]
Biobrændsel	1,71	TWh	300
Variable D&V	-	-	7,5
CO ₂ -emissioner (fra affald)	0,044	Mton	15

Tabel 3: Totale årlige omkostninger mio. kr/år

Investering	3.172
Faste omkostninger	1.193
Variable omkostninger	23
Biobrændsel	300
Total	4.688



Smart Energy Aalborg er en vision for, hvordan Aalborg kommune kan opnå en energiforsyning baseret 100% på vedvarende energi i 2050. Visionen er udarbejdet af forskere ved Aalborg Universitet for Aalborg Kommune.

Det bærende princip er, at Aalborg skal kunne gå over til 100% vedvarende energi på en måde, så det passer ind i, at det samme skal kunne ske i Danmark og i næste omgang i Europa og i sidste ende i hele verden.

Det betyder, at Aalborg ikke må lægge beslag på mere end sin andel af verdens bæredygtige biomasseresourcer. Det betyder også, at Aalborg skal dække transportbehovet for byens borgere ikke kun, når de kører indenfor kommunens grænser, men også når de flyver til den anden ende af verden. Samtidig er det ikke kun persontransporten, der skal dækkes, men også Aalborgs andel af godstransport.

Til gengæld skal Aalborg ikke dække forsyningen af Aalborg Portland alene. I stedet skal Aalborg kunne dække sin andel af den samlede danske industri.

Aalborg skal ikke fungere som en isoleret ø, hvad angår udveksling med el og energi med omverdenen. Når vindkraft og solcellestrøm skal balanceres, skal Aalborg samarbejde og udveksle med andre områder, når det er fordelagtigt. Aalborg skal dog også investere i teknologier, der gør, at Aalborg kan give sit bidrag til integration og lagring i den samlede danske og europæiske energiforsyning.

Energivisionen foreslår, at Aalborg først og fremmest satser på energieffektivitet i form af løbende forbedringer af boligerne, overgang til 4. generationslavtemperaturfjernvarme og langt større udnyttelse af industriel overskudsvarme. Inden år 2028, når Nordjyllandsværkets kul tages ud af drift, foreslår energivisionen, at der investeres i varmepumper, geotermi og store varmelagre. Løbende bør Aalborg parallelt med resten af Danmark overgå til elbiler og grøn gas og brændsler i fly, skibe og øvrig tung transport.

Hvis der på den måde satses på energieffektivitet, vil Aalborg kunne blive 100% forsynet med vedvarende energi med en bæredygtig anvendelse af biomasse samt ca. 300 MW vind og 500 MW solceller i Aalborg Kommune. Hertil kommer 280 MW vindkraft på havet.

