



Huvudaktivitet 2

Energiscenarier for Frederikshavn og Göteborg

- Arbejdsrapport juni 2012 -

Lisa Bolin (IVL Svenska miljöinstitutet)
Karl Sperling (Aalborg Universitet)

1	<u>INLEDNING</u>	5
2	<u>MÅL OCH AVGRÄNSNINGAR</u>	5
3	<u>ELEFFEKTIVISERING</u>	6
3.1	GÖTEBORG	6
3.1.1	HUSHÅLL	6
3.1.2	INDUSTRI	6
3.2	FREDRIKSHAMN	6
3.2.1	HUSHOLDNINGER	6
3.2.2	INDUSTRI	6
4	<u>BRÄNSLEBESPARINGAR I INDUSTRI</u>	7
4.1	GÖTEBORG	7
4.2	FREDRIKSHAMN	7
5	<u>TRANSPORT OCH MOBILITET</u>	9
5.1	GÖTEBORG	9
5.2	FREDRIKSHAMN	9
6	<u>VÄRMEFÖRSÖRJNING OCH VÄRMEBESPARINGAR</u>	10
6.1	GÖTEBORG	10
6.2	FREDRIKSHAMN	11
7	<u>FÖRNYBARA ENERGIRESURSER</u>	18
7.1	BIOMASSA OCH BIOGAS	18
7.1.1	GÖTEBORG	18
7.1.2	FREDRIKSHAMN	19
7.2	GEOTERMI	20
7.2.1	FREDRIKSHAMN	20
7.3	SOLENERGI	20
7.3.1	GÖTEBORG	20
7.3.2	FREDRIKSHAMN	20
7.4	VINDKRAFT	21
7.4.1	GÖTEBORG	21
7.4.2	FREDRIKSHAMN	21
7.5	VÅGKRAFT	22
7.5.1	GÖTEBORG	22
7.5.2	FREDRIKSHAMN	22
7.6	AVFALL	22
7.6.1	GÖTEBORG	22
7.6.2	FREDRIKSHAMN	22
7.7	FJÄRRKYLA	22
	<i>En investering för framtiden</i>	3

7.7.1	GÖTEBORG	22
-------	----------------	----

8 ENERGISYSTEMANALYSMODELL OCH TIMFÖRDELNING AV EL – OCH VÄRMEFÖRBRUKNING24

8.1	ENERGYPLAN.....	24
8.2	TIMFÖRDELNINGAR.....	24
8.3	GRUPPER AV PRODUKTIONSANLÄGGNINGAR.....	25
8.3.1	FREDRIKSHAMN	25

9 VALIDERING AV MODELLEN.....26

9.1	GÖTEBORG.....	26
9.2	FREDRIKSHAMN.....	28

10 .ENERGISYSTEMSCENARIER FÖR FREDRIKSHAMN GÖTEBORG29

10.1	GÖTEBORG.....	29
10.1.1	BUISINESS AS USUAL	29
10.1.1	RES GÖTEBORG 2050.....	30
10.2	FREDRIKSHAMN.....	34
10.3	VIGTIGE SKRIDT PÅ VEJEN MOD ET 100% VE SYSTEM I FREDERIKSHAVN KOMMUNE	37
10.4	VIKTIGA STEG PÅ VÄGEN MOT 100 % FÖRNYBART ENERGISYSTEM I GÖTEBORG	38
10.5	REFERENCELISTE	38

1 Indledning

Denne rapport beskriver resultaterne af arbejdet med PRINCIP projektets anden hovedaktivitet: *"Klimasmart energisystem – vision og praktik"*. Rapporten fokuserer især på aktivitet 2.2: *"Scenarier for klimasmart energisystem"*.

2 Mål och avgränsningar

Rapportens formål er at beskrive hvordan Göteborg Stad og Frederikshavn Kommune kan opnå deres visioner for det klimasmarte energisystem. Göteborgs vision är att *"2050 har Göteborg en hållbar och rättvis utsläppsnivå för koldioxid"*. Frederikshavn Kommune har som målsætning at implementere et energisystem, som er 100% baseret på vedvarende energi frem til 2025. I forhold til Frederikshavns vision er vigtige retningslinjer, at energiforsyningen skal så vidt muligt baseres på energiressourcer, som ligger inden for kommunens geografiske område. Angående udnyttelsen af biomasseressourcer er det valgt, at optimere energiscenarierne således, at Frederikshavns forbrug af biomasse ikke overstiger det forventede fremtidige per capita potentiale. Implementeringen af visionen skal således ikke spænde ben for at andre kommuner i Region Nordjylland og i Danmark kan implementere tilsvarende visioner. Teknologierne, som indgår i scenarierne, skal være kendte og afprøvede, således at implementeringen af visionen kan sættes i gang på kort sigt. Opbygningen af energiscenarierne i rapporten følger dette princip i det omfang det er muligt.

Som Frederikshavn kommunes energisystem betragtes al energiproduktion, - konvertering og forbrug inden for varme-, el og transportsektoren i kommunens geografiske område. Indbyggertallet i Frederikshavn kommune var ca. 62.000 (ultimo 2010). I energiscenarierne antages dette tal at være uændret. En del af brændselsforbruget i Frederikshavn kommune skyldes det nationale og internationale skibs- og flytrafik. Dette forbrug betragtes i rapporten imidlertid ikke som en del af kommunens energisystem og indgår derfor ikke energiscenarierne.

I Göteborg blir situationen en annan, eftersom största delen av kommunen är bebyggd med hus och industrier skulle det bli otroligt svårt att förse kommunen med förnybar energi som produceras inom kommunens gränser. Därför har i vissa fall även förnybara resurser som finns utanför kommunen räknats med i scenarierna. För att kunna uppnå ett Göteborg med 100 % förnybar energi krävs alltså att omgivningen, det vill säga övriga Sverige, också effektiviserar användningen av energi. Detta är nödvändigt för att förnybar el och biobränslen ska kunna täcka de behov som finns. Göteborg hade den 31 december 2011 520 374 invånare, vilket gör att energisystemet i staden är betydligt större och mer omfattande än det i Fredrikshamn.

Rapportens struktur er opbygget således, at potentialet for energibesparelser i Göteborg og Frederikshavn vurderes i de første afsnit. Derefter redegøres for den fremtidige varmforsyningsstruktur, herunder især potentialet for fjernvarmeudvidelser. Potentialer for en række vedvarende energiressourcer og –teknologier, som kan indgå i en 100% vedvarende energiforsyning opgøres efterfølgende og resultaterne af scenarieanalyserne beskrives sidst i rapporten.

3 Eleffektivisering

3.1 Göteborg

3.1.1 Hushåll

År 2010 var elförbrukningen i Göteborg 4716 GWh. I den klimatplan som tagits fram av ingenjörsgenombudet IDA i Danmark så kan danska hushåll minska sin elförbrukning med 50 % till år 2030 jämfört med 2008 års nivå om förutsättningar ges (Mathiesen et al. 2009). För att detta ska kunna ske krävs att omfattande upplysning och märkning av energieffektiva apparater. Det krävs också kampanjer för att främja de mest energieffektiva produkterna och för att minska elanvändningen. Ett antagande har gjorts i denna studie om att denna potential också finns i Sverige.

3.1.2 Industri

Den svenska industrin skiljer sig från den danska och därför har inte siffror ifrån ovanstående studie använts. Enligt det energiscenario som IVL tagit fram åt WWF som presenteras i rapporten "Energy Scenario for Sweden 2050 Based on Renewable Energy Technologies and Sources" (Gustavsson et al. 2011) kan industrins elanvändning minska med ca 20 % till 2050 jämfört med år 2005. I scenariet för Göteborg 2050 antas alltså att industrin kan minska elanvändningen med 20 % utifrån basåret 2010. För servicesektorn och offentlig sektor tros dock elbehovet kunna minska på samma sätt som i IDA:s klimatplan, det vill säga med 45 % (Mathiesen et al. 2009). Läger man samman dessa potentialer så resulterar det i att det totala elbehovet minskar med ungefär 35 % i Göteborg.

3.2 Fredrikshamn

3.2.1 Husholdninger

Elbehovet i Frederikshavn kommune var 449 GWh i 2010 (inkl. nettab). Potentialet for elbesparelser antages at være det samme som opgjort i IDAs klimaplan og Aalborg kommunes energiplan fra 2010. Konkret betyder det, at elbehovet i husholdninger kan nedbringes med ca. 50% ved at implementere tiltag, som har en rimelig tilbagebetalingstid. Dette inkluderer bl.a. udskiftning af gamle elforbrugende apparater og belysning. Det betyder at husholdningers elbehov falder fra 270 GWh til 135 GWh om året (uden nettab).

3.2.2 Industri

Industriens elforbrug i 2010 opgøres i Energiregnskabet (PlanEnergi 2012) til 143 GWh. Ifølge IDAs klimaplan kan industriens elforbrug nedbringes med 45% gennem tiltag, som højst har en tilbagebetalingstid på 7,5 år (Mathiesen et al. 2009). Det er valgt, at anvende samme besparelspotentiale på Frederikshavn kommunes industrielle elforbrug, hvorved dette falder til 79 GWh om året.

4 Bränslebesparingar i industrin

4.1 Göteborg

När det gäller bränsleförbrukningen i industrier så har data från ovannämnda WWF-rapport använts (Gustavsson et al. 2011). Enligt denna ersätts fossila bränslen som olja och naturgas med biobränslen som biogas, bioolja och fasta biobränslen. Det är viktigt att påpeka att detta är ett scenario för hur man skulle kunna nå ett mer fossiloberoende Göteborg, vilket skiljer sig från de potentialer som beräknades i aktivitet 1 i PRINCIP. Vad det gäller effektiviseringsåtgärder, så kan man göra otroligt mycket lokalt. Men för att kunna fasa ut fossila bränslen mot biobränslen krävs en omställning i hela Sverige, detta för att resurserna ska räcka till.

Data på energianvändning inom industrin i Göteborg har hämtats från SCB (SCBa 2012), i brist på bättre datakällor. Det är oklart om raffinaderierna i Göteborg är inräknade i dessa siffror, eftersom de utsläpp som redovisats i raffinaderiernas miljörapporter är så höga jämfört med den mängd bränsle som används enligt SCB. I scenarierna har dock de bränslemängder som anges av SCB använts. Detta betyder alltså att en viss mängd utsläpp som kommer från industri (raffinaderierna) inte är inräknade, eftersom de inte kunde kopplas till något energiflöde.

4.2 Fredrikshamn

Udover elforbruget er der et industrielt brændselsbehov til dækning af procesvarmebehovet, opvarmning af bygninger og varmt vand. Ifølge Energiregnskabet for 2010 er dette behov 492 GWh, hvoraf lang størstedelen er dækket af naturgas i store erhvervsanlæg. Opgørelsen af besparelspotentialet er forbundet med usikkerheder, da den præcise sammensætning af slutforbruget ikke kendes. Dette gør det svært at afgøre hvilke processer som kan omlægges, effektiviseres eller erstattes. Ifølge IDAs klimaplan og Aalborg kommunes energiplan (Østergaard et al. 2010) kan brændselsforbruget reduceres med 33% gennem forbedringer og effektiviseringer, som har en tilbagebetalingstid på maks. 7,5 år. Det antages, at dette potentiale også kan anvendes på industrien i Frederikshavn. Samtidig kan en lille del af behovet lægges om til fjernvarme. Samlet set resulterer tiltagene i et brændselsbehov på 285 GWh, som erstattes af biomasse.

MAN Diesel er ved at undersøge muligheden for etablering af et test-motoranlæg, som kan levere overskudsvarme til fjernvarmenettet i Frederikshavn by. Der foreligger p.t. ikke konkrete oplysninger mht. installeret effekt og årsproduktion af sådan et anlæg, men det skønnes, at motoranlæggets elkapacitet mindst vil kunne svare til halvdelen af elkapaciteten i det eksisterende naturgasfyrede kraft-varmeverk i Frederikshavn. I basis scenariet antages det, at overskudsvarmen fra motoranlægget vil supplere varmeproduktionen fra affaldskraftvarmeverket og overskudsvarmen på 17 GWh/år fra DME/metanol-anlægget i Energibyen Frederikshavn. Ved en installeret varmeeffekt på 6,3 MW vil varmeproduktionen på motoranlægget dermed være ca. 55 GWh/år. Ved en varmekoefficiensgrad på 50% svarer dette til et ekstra biobrændselsbehov på ca. 111 GWh/år.

I de ovennævnte planer regnes derudover med en omlægning af dele af industriens procesvarmebehov til el. I Aalborg kommunes baggrundsrapport konverteres ca. 20% af

industriens brændselsbehov til el. I Frederikshavn kommunes energisystem svarer dette ca. 79 GWh. Denne omlægning inkluderes i ”E1-scenariet” for 2025.

5 Transport och mobilitet

5.1 Göteborg

När det gäller transporter i Göteborg så har samma effektiviseringspotentialer använts som för det scenario som tidigare tagits fram för 2030. Dessa effektiviseringspotentialer är hämtade från rapporten ”ett fossiloberoende transportsystem 2030” som tagits fram av Elforsk (Sköldberg et al. 2008). Detta innebär att det totala bränslebehovet minskar med 50 % på personbilar och 35 % på tunga fordon, till följd av tekniska åtgärder på fordon, sparsam körning och åtgärder i transportbehovet (logistik, bilpooler mm.). Energin som går till transportsektorn antas för Göteborg vara fördelad enligt WWF-studien (Gustavsson et al. 2011). Vilket betyder att ca 30 % av energin är el och övrig energi kommer från biobränslen.

Enligt Göteborg Energi så ska anläggningen GoBiGas kunna leverera 1 TWh gas år 2020 (Göteborg Energi, 2012). Anläggningen ska producera gas via förgasning av träråvara, så som grot och annat spill från skogs/trä-industri. Övriga biobränslen antas vara dels biogas från avfall och DME.

5.2 Fredrikshamn

I 2010 var bränselsbehovet til transport i Frederikshavn kommune 512 GWh, som er næsten udelukkende dækket af benzin og diesel og en meget lille mængde biobränsler. Diesel i lastbiler, busser, traktorer og arbejdsmaskiner udgør halvdelen af dette behov. I 2011 versionen af scenarieplanen for Energiby Frederikshavn lægges Energibyens andel af transportbehovet om til 97¹ GWh biogas/metanol og 25 GWh elektricitet. Grundet de begrænsede biomasse-ressourcer, regnes i første omgang ikke med mere biogas eller biometanol produktion i resten af kommunen. Som umiddelbar løsning lægges resten af bränselsbehovet i personbiler derfor om til el. Elbehovet til transport bliver dermed 58 GWh. Muligheder for omlægning af den tunge transport vurderes i fremtiden at bestå af en kombination af brint/metanol i forbindelse med bränselsceller og syngas/biogas i forbrændingsmotorer (Lund et al. 2011). I basis scenariet for Frederikshavn kommune forsynes den tunge transport med brint/syngas, som fremstilles i et 25 MW_{el} elektrolyseanlæg (inkl. 1 GWh brintlager) med en effektivitet på 80%. Den nøjagtige fordeling mellem brint og syngas er ikke nærmere undersøgt – i analysen modelleres hele bränselsbehovet som brint. Grundet den lidt bedre effektivitet i bränselsceller, falder bränselsbehovet til lastbiler, busser og traktorer til 164 GWh (som dækkes af brint/syngas). Reduktioner i transportbehovet, i forbindelse med f.eks. forbedret kollektiv transport og delebilsordninger er der ikke taget højde for, men det anbefales, at dette område bliver en vigtig del af energiplanlægningen i kommunen.

Basis-scenariet indeholder derudover et DME/metanolanlæg til produktion af det ovennævnte metanol med en årlig produktion af overskudsvarme på 17 GWh, som beskrevet i scenarieplanen for Energiby.

¹ Ifølge scenarieplanen for Energiby Frederikshavn, omsættes 87 GWh metan til 61 GWh metanol, mens de resterende 10 GWh anvendes direkte i køretøjer.

6 Värmeförsörjning och värmebesparingar

6.1 Göteborg

I Tabell 1 visas hur fördelningen mellan olika bränslen ser ut idag i Göteborgs fjärrvärmenät. Det totala fjärrvärmebehovet år 2010 var 4848 GWh. Av detta så var ca 25 % spillvärme från raffinaderierna i Göteborg. En liten del av värmen kommer från värmepumpat avloppsvatten (4 %), i övrigt kommer värmen från kraftvärmeverk och värmeverk. Bränslemixen för dessa finns i Tabell 2.

Tabell 1 Bränslemix för Göteborgs fjärrvärme 2010.

	Bränslen energi [GWh]	
Olja (kvv)	65	1.3%
Naturgas (kvv)	2869	57.6%
Avfall (kvv)	1660	33.3%
Olja (vv)	43	0.9%
Naturgas (vv)	106	2.1%
Biobränslen (vv)	236	4.7%
Summa bränslen	4980	100.0%
Restvärme	1138	-
Värmepump (el)	60	-

Tabell 2 Värmeproduktion per anläggning i Göteborg 2010

Anläggning	Bränsle/El in [GWh]	Värme ut [GWh]
Rya värmepumpar	60	195
Renova kvv	1671	1268
Rosenlund kvv	463	397
Högsbo kvv	112	49
Rya kvv	2460	1193
Rya vv	139	136
Sävenäs vv	193	435
Småanläggningar olja	43	28
Småanläggningar NG	10	9
Restvärme	0	1138
Summa	5152	4848

För att Göteborg ska kunna ha ett klimatsmart energisystem krävs att fjärrvärmen går ifrån fossila bränslen, som naturgas, som utgör en stor del av bränslemixen idag, till förnybara bränslen, sol, eller utnyttjar mer spillvärme.

I scenariot för 2050 har det antagits att värmehovet i byggnader kommer att minska med 50% till 2050. Detta baseras på de mål som finns för Sverige och flera studier som gjorts på området. (Boverket 2010, Gustavsson et al. 2011, Jarnehammar et al. 2011). Detta betyder att det totala fjärrvärmebehovet skulle bli ca 2800 GWh i Göteborg. All eluppvärmning och alla oljepannor fasas ut och ersätts med biobränslen och fjärrvärme.

6.2 Fredrikshamn

Bränselsförbruket til opvarmning og varmt vand i bygninger er opgjort i Energiregnskabet for 2010 (512 GWh produktionsbehov ab værk; ca. 334 GWh nettovarmebehov an forbruger²). For at nedbringe dette forbrug, kan 3 overordnede grupper af tiltag implementeres: 1) varmebesparelser & effektiviseringer i bygninger; 2) omlægning til fjernvarme; 3) installation af varmepumper og solvarme i bygninger, som ikke kan forsynes med fjernvarme. Den første gruppe gælder såvel forsynings- som forbrugssiden, men det antages, at det største besparelspotentiale findes i bygningerne, altså på forbrugssiden. Effektiviseringer på forsyningsiden kan eksempelvis ske gennem renovering og forbedringer i fjernvarmenettet, lavere fremløbstemperatur til fjernvarme og udskiftning af ældre produktionsanlæg. Frederikshavn Forsyningens målsætning er, at reducere nettabet med 1% om året frem til 2015. Denne målsætning er inkluderet i 2011 versionen af scenarieplanen for Energibyen Frederikshavn og inkluderes videre i energiscenarierne for kommunen. Som udgangspunkt regnes der imidlertid ikke med forbedringer af de andre fjernvarmenet i kommunen.

Fordeling af det nuværende varmebehov og potentiale for varmebesparelser

Potentialet for varmebesparelser og udvidelse af fjernvarmeområderne i kommunen er beregnet ved hjælp af et varmeetlas for kommunen (se evt. også Möller og Sperling 2011). For at opgøre det langsigtede varmebesparelspotentiale samt tilsvarende omkostninger, tages udgangspunkt i SBi rapporten ”Danske bygningers energibehov i 2050” (SBi 2010). I rapporten opgøres reduktionspotentialer i forbindelse med forbedring af en række bygningskomponenter (vægge, vinduer, ventilation, varmt vand) og i forhold til forskellige bygningstyper og perioder for opførelse. Afhængig af hvor stor en del af komponenterne der forbedres, ligger det samlede besparelspotentiale for alle bygninger mellem 52% - 73%. I forbindelse med varmeetlaset for Frederikshavn kommune tages udgangspunkt i 52%-scenariet, da tidshorizonten er kortere end 2050. Angående fjernvarmeudvidelserne, baseres tilslutningsomkostningerne på Rambølls omkostningstabel i Varmeplan Danmark (Dyrelund et al. 2008). Der er god overensstemmelse mellem disse omkostningstal og de lokale tal i Frederikshavn Forsyningens område, som beskrevet i rapporten ”Energibyen Frederikshavn - Potentiale for varmebesparelser og udvidelse af fjernvarmeområder (Möller og Sperling 2010).

De følgende tabeller og figurer viser en række udtræk fra varmeetlaset angående det

² Den relativ store difference mellem produceret og leveret varme skyldes, at 2010 har været et koldt år med flere graddage end i et normalår. Samtidig sker der en løbende udvidelse af fjernvarmenettene, som ikke er opdateret i Varmeatlaset.

nuværende opvarmningsbehov og potentiale for varmebesparelser samt omkostninger. Derudover findes der ca. 9.000 bygninger uden opvarmning i kommunen. Nedenstående tabel viser den overordnede fordeling af opvarmede bygninger mellem byer, landsbyer og landområder. Det fremgår bl.a., at landsbyer udgør en lille del af det samlede opvarmede areal, men at opvarmningsbehovet pr. m² er forholdsvis stort.

Tabell 3 Oversigt over antal, bygningsareal, varmebehov og potentiale for varmebesparelser i de opvarmede bygninger i Frederikshavn kommune. Tabellen er delt op i byer med registreret forsyningsform (fjernvarme eller naturgas), landsbyer uden kollektiv varmforsyning og landområder.

	Antal opvarmede bygninger [stk.]	Samlet bygningsareal [m ²]	Nettopvarmningsbehov [MWh/år]	Specifikt varmebehov [kWh/m ²]	Besparelspotentiale [%]
Byer (fjernvarme- og naturgasområder)	23.937	4.957.980	578.941	117	53%
Landsbyer (uden fjernvarme)	759	122.844	16.524	135	52%
Landområder (uden fjernvarme)	6.676	823.591	98.207	119	51%
Sum	31.372	5.904.415	693.672	-	-

I den næste tabel opgøres de samlede besparelsesomkostninger som direkte og marginale besparelsesomkostninger. De direkte omkostninger omfatter alle renoverings- og energiforbedringsomkostninger, mens de marginale omkostninger kun omfatter ekstraomkostninger til energiforbedring; dvs. de ekstra omkostninger til forbedring af energistandarden, som opstår sammenholdt med en almindelig renovering (uden forbedring af energistandarden).

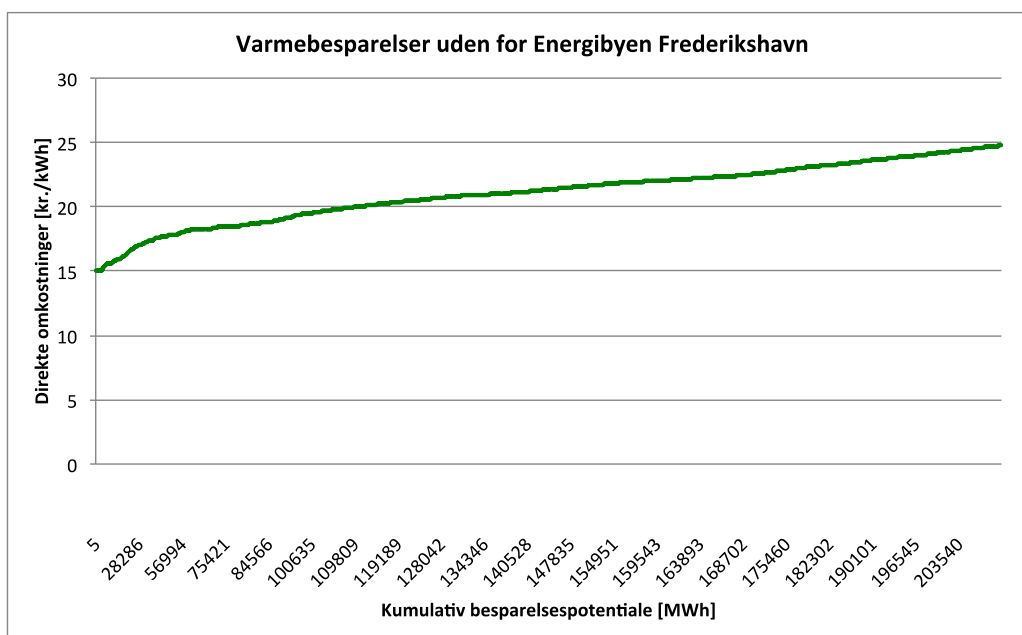
Tabell 4 Fordeling af direkte og marginale besparelsesomkostninger i by- og landområder i Frederikshavn kommune. Mens de specifikke omkostninger stort set ikke varierer mellem by og land, er de specifikke direkte omkostninger lidt lavere i Energibyens område

	Direkte besparelsesomkostninger [1000 kr.]	Specifikke direkte besp. omkost. [Kr./kWh]	Marginale besparelsesomkostninger [1000 kr.]	Specifikke marginale besp. omkost. [Kr./kWh]
Byer (fjernvarme- og naturgasområder)	7.324.745	24	3.937.403	13
Landsbyer (uden fjernvarme)	211.995	25	117.210	14
Landområder (uden fjernvarme)	1.274.262	25	691.385	14
Sum/gns.	8.811.002	25	4.745.998	13
Energiby	3.592.405	23	1.925.587	12
Ikke-Energiby	5.218.597	25	2.820.411	13

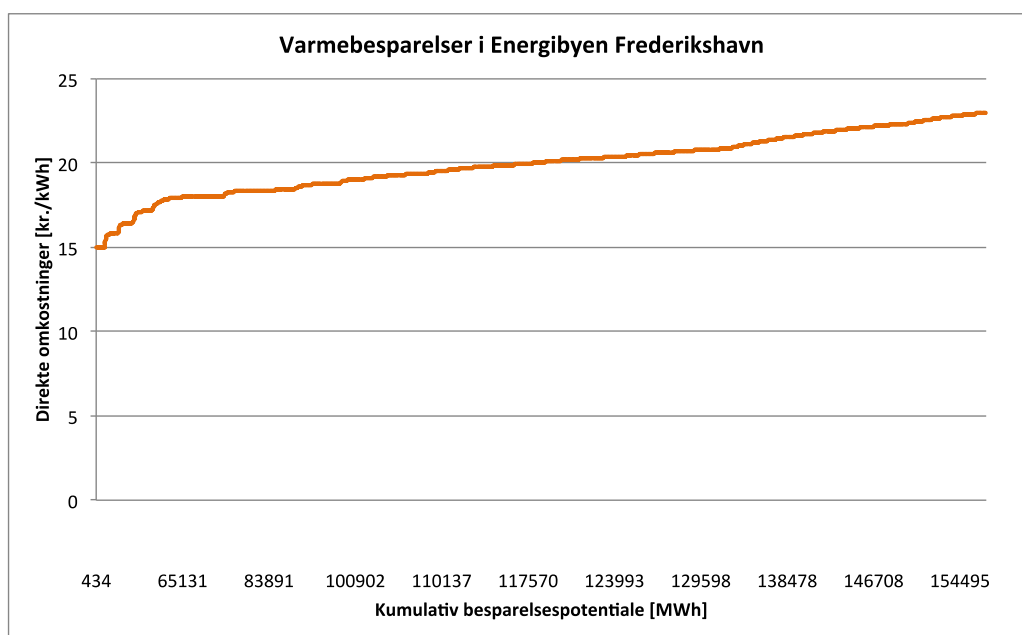
Tabell 5 Antal af opvarmede bygninger i Frederikshavn kommune, opgjort efter forsyningsområde. Det fremgår, at potentialet for varmebesparelser i gennemsnittet er 53%, mens det i enkelte områder ligger på 58%.

Forsyningsområde	Forsyning	Antal opvarmede bygninger	Samlet bygningsareal	Nettopvarmnings behov	Nettopvarmnings behov, besparelser	Besparelses potentiale
		[stk.]	[m ²]	[MWh/år]	[MWh/år]	[%]
Brøndén	NG	107	12.587	1.843	906	51%
Bunken	NG	9	5.171	475	198	58%
Dybvád	FV	369	74.967	9.208	4.182	55%
Elling	NG	506	87.874	9.946	5.040	49%
Frederikshavn	FV	7.517	1.758.268	212.656	96.793	54%
Frederikshavn naturgas	NG	584	227.264	22.757	10.318	55%
Frederikshavn Havnen	NG	178	148.007	16.043	6.704	58%
Gærúm	NG	318	67.239	7.814	3.708	53%
Halbjerg	NG	193	58.993	6.574	3.026	54%
Hulsig	NG	177	24.260	2.417	1.136	53%
Hørby	FV	263	47.449	5.778	2.698	53%
Jerup	NG	373	72.947	9.658	4.478	54%
Kvissel	NG	576	94.904	11.616	5.582	52%
Præstbro	FV	141	22.616	2.995	1.417	53%
Skagen	FV	2.922	502.605	64.516	30.968	52%
Skagen naturgas	NG	2.207	453.052	46.949	22.428	52%
Strandby	FV	1.051	161.364	19.327	9.643	50%
Strandby naturgas	NG	18	8.383	778	329	58%
Syvsten	NG	196	42.419	4.929	2.306	53%
Sæby	FV	4.148	663.155	74.641	36.448	51%
Sæby naturgas	NG	93	98.406	9.609	4.068	58%
Thorshøj	FV	159	22.413	2.947	1.417	52%
Voerså	FV	292	39.368	4.883	2.347	52%
Østeråvrå	FV	612	100.143	12.039	5.722	52%
Østeråvrå naturgas	NG	47	19.438	2.153	944	56%
Aalbæk	NG	881	144.688	16.390	7.930	52%
Landområder/landsbyer	-	7.436	946.435	114.731	55.999	51%
Sum/gns.		31.373	5.904.415	693.672	326.735	53%

På Figur 1 og Figur 2 vises det kumulative besparelspotentiale i Energibyén og resten af kommunen. Potentialet er angivet i sammenhæng med de direkte omkostninger.



Figur 1 Omkostningskurve for de direkte (=samlede) besparelsesomkostninger uden for Energibyen Frederikshavns område.



Figur 2 Omkostningskurve for de direkte (=samlede) besparelsesomkostninger i Energibyen Frederikshavn.

I Tabell 6 vises fordelingen af varmekilder i landområderne i Frederikshavn kommune. Det fremgår, at størstedelen af bygningerne har installeret oliefyr eller elvarme.

Tabell 6 Opvarmning i det åbne land (landsbyer og landområder). Det fremgår, at oliefyr og elvarme er dominerende opvarmningsformer. (I tabellen indgår alle bygninger i det åbne land, inkl. ikke opvarmede bygninger, som for det meste falder under kategorien ”ikke registreret”).

	Antal bygninger	Nettopvarmningsbehov ² [MWh/år]	Nettopvarmningsbehov ² besparelser ¹ [MWh/år]
Oliefyr	3.030	63.554	30.767
Elvarme	3.264	28.135	14.330
Fastbrændsel	644	11.564	5.625
Halmfyr	146	4.132	1.901
Anden opvarmning	142	2.973	1.364
Varmepumpe	86	1.548	801
Naturgas	6	97	48
Ikke registreret	7.641	2.728	1.163
Sum	14.959	114.731	55.999

Potentiale for fjernvarmeudvidelse

Følgende tabel viser potentialet for fjernvarmeudvidelse opgjort efter forsyningsområde og inklusive omkostninger før og efter implementering af varmebesparelser. Ud af de ca. 117 GWh ekstra fjernvarmebehov efter varmebesparelser befinder sig ca. 8 GWh i kommunens landsbyer. Landsbyerne har i forvejen ingen kollektiv varmforsyning (fjernvarme eller naturgas), men det antages, at der på sigt vil kunne etableres kollektive former for varmforsyning i disse områder – enten gennem sammenkobling med eksisterende fjernvarmeområder eller etablering af lokale varmenet (”nærvarme”). Som udgangspunkt inkluderes de 8 GWh fjernvarmebehov i landsbyerne derfor i basis-scenariet 2025. Tabellen viser også, at størstedelen af fjernvarmepotentialet ligger inden for nuværende naturgasområder. Nogle af naturgasområderne skal i denne sammenhæng forsynes med transmissionsledninger, hvis omkostninger dog ikke fremgår af tabellen.

Tabell 7 Potentiale for fjernvarmeudvidelse i kommunens forsyningsområder. En potentiel tilslutning af landsbyerne er medtaget, dog uden hensyntagen til eventuelle ekstra omkostninger i forbindelse med etablering af transmissionsledninger og sammenkobling af fjernvarmeområder etc.

Forsyningsområde	Forsyning	Nytilsluttede bygninger	Ekstra fjernvarmebehov (anbruger)	Sum omkostninger ny fjernvarme	Nytilsluttede bygninger, besparelser	Ekstra fjernvarmebehov (anbruger), besparelser	Sum omkostninger ny fjernvarme besparelser
		[stk.]	[MWh/år]	[1000kr.]	[stk.]	[MWh/år]	[1000kr.]
Brønden	NG	107	1.843	6.928	106	902	5.818
Bunken	NG	9	475	1.189	7	189	719
Dybvad	FV	62	2.313	3.347	62	1.023	2.309
Elling	NG	503	9.816	35.179	494	4.942	29.439
Frederikshavn	FV	1.472	37.604	62.176	1.407	16.989	46.951
Frederikshavn naturgas	NG	575	22.247	42.304	566	10.062	32.351
Frederikshavn havnen	NG	159	12.325	11.726	149	5.134	6.885
Gærum	NG	316	7.808	23.607	309	3.675	18.858
Halbjerg	NG	191	6.546	16.787	185	2.985	11.963
Hulsig	NG	142	2.359	11.340	121	1.034	7.611
Hørby	FV	55	1.615	2.862	52	737	2.040
Jerup	NG	365	9.618	29.953	353	4.411	21.507
Kvissel	NG	573	11.605	42.437	544	5.455	33.123
Præstbro	FV	42	1.154	2.209	37	499	1.416
Skagen	FV	502	8.482	32.286	385	3.572	19.119
Skagen naturgas	NG	2.097	46.148	106.244	1.791	20.796	70.297
Strandby	FV	241	4.270	13.824	198	1.944	8.986
Strandby naturgas	NG	16	727	853	14	304	418
Syvsten	NG	196	4.929	14.518	192	2.291	11.756
Sæby	FV	1.038	20.341	59.443	663	8.095	26.531
Sæby naturgas	NG	88	9.440	9.093	85	3.985	5.948
Thorshøj	FV	55	984	2.087	53	471	1.656
Voerså	FV	89	1.290	4.618	77	603	3.140
Øster Vrå	FV	33	792	1.397	29	344	860
Øster Vrå naturgas	NG	46	2.144	3.134	45	938	2.321
Aalbæk	NG	858	16.255	65.629	769	7.499	47.986
Landsbyer	-	755	16.508	54.611	732	7.846	41.325
Landområder	-	-	-	-	-	-	-
Sum		10.585	259.638	659.781	9.425	116.725	461.333
Sum energi byen		2.966	86.989	166.062	2.828	39.375	125.030
Sum FV områder		3.589	78.845	184.249	2.963	34.277	113.008
Sum NG områder		6.241	164.285	420.921	5.730	74.602	307.000

Potentiale for sammenkobling af fjernvarmeområder

Frederikshavn kommune har sammen med kommunens varmeværker startet en dialog omkring den fremtidige varmforsyningsstruktur i kommunen. Eksempelvis har nogle værker drøftet mulighederne for sammenkobling af fjernvarmeområder, herunder:

- en transmissionsledning mellem Frederikshavn fjernvarme og Elling/Strandby ifm. omlægningen af Elling til fjernvarme
- sammenkobling af Øster Vrå, Thorshøj og Hørby fjernvarmeområder
- etablering af en transmissionsledning mellem Frederikshavn og Sæby

Disse ændringer vil (i forbindelse med implementeringen af varmebesparelser) formentlig kunne føre til at den installerede varmekapacitet kan reduceres. Dette gælder især de ældre

En investering for fremtiden

varmeværker i områderne.

Varmeforsyning uden for fjernvarmeområder

Det individuelle varmebehov, som ikke kan lægges om til fjernvarme, forsynes med en kombination af individuelle varmepumper og solvarme. Dette gælder også alle individuelle biomassefyr. Konkret betyder det, at ud af et samlet individuelt varmebehov på 143 GWh (efter besparelser) erstattes 110 GWh med individuelle varmepumper og 33 GWh med individuelle solvarmeanlæg – hvor alle bygningerne får varmepumper med solvarme som supplerende varmekilde.

Mulige fejlkilder

Usikkerheden i forbindelse med registrering af opvarmningskilder i det åbne land i Varmeatlasset er relativ stor, sammenholdt med f.eks. opvarmningen i byerne, hvor dataene er ajourført med tal fra fjernvarmeforsyningerne og naturgasselskaber. Dette gælder især mængden af brændeovne/oliefyr i private boliger og sommerhuse. I mange tilfælde er oliefyret eksempelvis blevet skiftet ud med et biomassefyr og/eller biomassefyret benyttes som supplerende varmekilde, uden at denne konvertering er blevet opdateret i BBR. Det antages derfor, at olieforbruget jf. Varmeatlasset er større end det faktiske forbrug af olie til individuel opvarmning, mens biomasseforbruget er mindre end det faktiske forbrug. I Energiregnskabet for 2010 er brændselsforbruget til individuel opvarmning beregnet på basis af oplysninger fra kommunens skorstensfejere vedrørende antallet af forskellige fyrtyper i kommunen. Dette vurderes at give et mere nøjagtigt billede af det individuelle brændselsforbrug og i rapporten tages derfor udgangspunkt i tallene i Energiregnskabet.

7 Förnybara energiresurser

7.1 Biomassa och Biogas

7.1.1 Göteborg

Potentialen för biomassa i Göteborg kommun är som sagt inte stor, med tanke på att större delen av kommunen består av stadsmiljö. Om man räknar med att 30 % av avfallet i Göteborg är matavfall och att 90 % av detta sorteras ut och går till biogasproduktion blir potentialen för biogas från rötning av matavfallet ca 150 GWh gas.

Flera olika rapporter har undersökt vilken potential som finns för biobränslen i Sverige. I rapporten ”Förnybar energi och energieffektivisering – potential för 2020” så anges att skogsbaserade biobränslen kan öka med 28 TWh till 2020 (Henrysson & Westander 2009). Detta betyder att användningen skulle kunna öka från dagens 52-58 TWh till runt 80 TWh per år. I en utredning gjord av Svebio, som är en förening som arbetar för ökad biobränsleanvändning, så kan användningen av biobränslen från skog och jordbruk öka till drygt 130 TWh (Andersson 2012).

Av de biobränslen som används i Sverige så används drygt 40 % av industrin. Detta betyder att ca knappt 60 % finns tillgängligt för biodrivmedel och för fjärrvärme. Här antas att det även i framtiden kommer vara runt hälften av biobränslena som används inom industrin.

Tabell 8 Uppskattade potentialer för biomassa i Sverige

Potential biobränsle från skog och jordbruk		
Svebio (Henrysson & Westander 2009)	165	TWh/år
Förnybart.nu (Andersson 2012)	91	TWh/år
Används idag (Andersson 2012)	58	TWh/år

Tabell 9 Omräknade potentialer för biomassa som kan användas för biodrivmedel och fjärrvärme i Göteborg

Potential biobränsle från skog och jordbruk i Göteborg år 2050**		
Svebio (Henrysson & Westander 2009)	5080	GWh/år
Förnybart.nu (Andersson 2012)	2802	GWh/år
Motsvarande dagens användning (Andersson 2012)	1786	GWh/år

I det scenario som gjorts för Göteborg 2050, som ska vara ett energiscenario som bygger helt på förnybar energi, så används ungefär 3730 GWh biobränslen totalt till industri, transport och fjärrvärme/el. Detta ligger alltså någonstans emellan de två potentialer som visas i Tabell 8. Potentialerna i Tabell 9 har räknats ut genom att först dra bort 50 % av potentialerna i Tabell 8, eftersom 50 % av biobränslena antas användas inom industri. Sedan har resterande potential fördelats till Göteborg baserat på Göteborgs befolkning 2050, jämfört med Sveriges totala befolkning 2050.

7.1.2 Fredrikshavn

Biomassepotentialet i kommunen er opgjort i Energiregnskabet for 2010. Det fremgår, at ca. 350 GWh af potentialet på 506 GWh p.t. ikke er udnyttet. Imidlertid vil næsten hele gyllepotentialet samt ca. 1/3 del af energiafgrøderne/industriaffaldet blive udnyttet af biogasanlægget, som planlægges i sammenhæng med Energibyen (PlanAction 2011). Dermed kan det ikke udnyttede potentiale efter 2015 opgøres til ca. 231 GWh.

Tabell 10 Oversigt over tilgængelige og potentielle biomasseressourcer i Frederikshavn kommune, jf. Energiregnskabet for 2010 (PlanEnergi 2012) og Plan Actions skitseprojekt for biogasanlægget. Alle værdier er angivet som nedre brændværdier. ”Industri- og haveaffald” omfatter natur- og slagteriaffald til biogasproduktion i Energibyen 2015.

GWh	Biobrændsler/energi afgrøder				SUM
	Gylle	+ Industri- og haveaffald	Halm	Brænde/træflis	
Potentiale	85,0	150,6	134,2	136,4	506,1
Udnyttet 2010	6,4	3,6	38,3	107,5	155,8
Biogasanlæg i Energibyen 2015	73,0	45,9	0,0	0,0	118,9
Ikke udnyttet	5,6	101,1	95,8	28,9	231,4

Frederikshavn kommunes biomasseressourcer i dansk sammenhæng:

I CEESA projektet (”recommendable scenario”) vurderes det fremtidige danske biomassepotentiale til at ligge på ca. 240 PJ (66 TWh). Dette svarer til ca. 12 MWh pr. indbygger, altså 732 GWh i alt i Frederikshavn kommune. Energiscenarierne optimeres som udgangspunkt således, at behovet for biomasse ikke overstiger 700-800 GWh/år.

Biogas:

Ifølge PlanActions skitseprojekt vil det være muligt at etablere et biogasanlæg, som omsætter ca. 119 GWh gylle, energiafgrøder og organisk affald til ca. 100 GWh metan biogas, i Frederikshavn kommune. Anlægget vil have et procesvarmebehov på 8 GWh/år, som enten kan dækkes af en kedel eller en kraftvarme-motor. I basis-scenariet er det valgt, at dække procesvarmebehovet med en flisfyret kedel.

7.2 Geotermi

7.2.1 Fredrikshavn

I scenarieplanen for Energibyen Frederikshavn beskrives muligheden for etablering af en absorptionsvarmepumpe på affaldskraftvarmeverket. Varmepumpen vil kunne øge fjernvarmeproduktionen fra værket og vil kunne drives af dampudtag fra værket og geotermi. Der foreligger p.t. ikke flere konkrete undersøgelser og løsningen indgår ikke i de seneste energiscenarier for Energibyen. Det er derfor valgt, at se bort fra geotermi i basis-scenariet for Frederikshavn kommune.

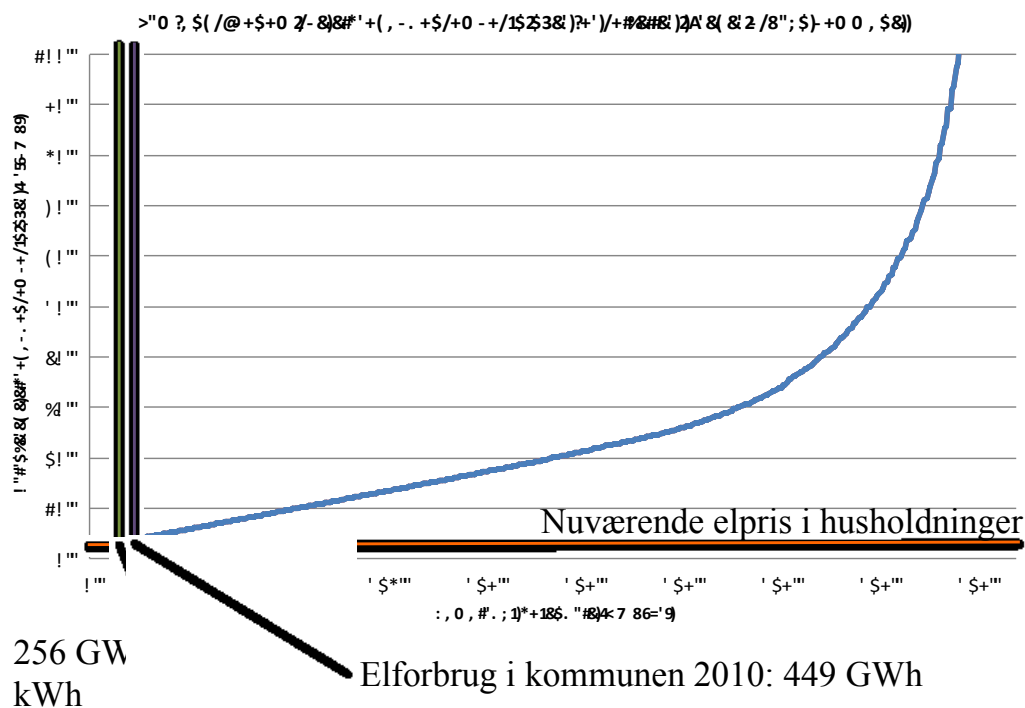
7.3 Solenergi

7.3.1 Göteborg

I Göteborg har en utredning gjort kring hur stor potential det finns för solenergi. Denna utredning visar att 20 % av Göteborgs nuvarande elbehov kan förses med solceller som kan placeras i staden. (Jonsson, 2011). I denna studie har GIS använts för att kartlägga vilka ytor i Göteborg som kan vara lämpliga för solceller. Det gäller alltså ytor som har rätt placering och vinkel för att lämpa sig. Utredningen visar att 20 % av Göteborgs elbehov kan tillgodoses med el från solceller.

7.3.2 Fredrikshavn

Potentialet for strømproduktion fra solceller er blevet beregnet med et GIS-baseret solatlas. Solatlasset kombinerer BBR data for alle bygninger i kommunen med en digital højdemodel, som muliggør analysen af den årlige indstråling og strømproduktion samt produktionsomkostninger (Möller et al. 2012).



Figur 3

Figur 3: Potentiale og produktionsomkostninger for solcellestrøm i Frederikshavn kommune. Det kan ses, at det tekniske potentiale kunne dække det nuværende elforbrug i kommunen. Dette ville dog være forbundet med meget høje omkostninger. Hvis elprisen f.eks. stiger fra de nuværende ca. 2 kr./kWh til omkring 3 kr./kWh kunne stadigvæk mere end halvdelen af kommunens elforbrug dækkes af solceller.

I CEESA rapporten (Lund et al. 2011) antages en fortsat stærk udbygning af den installerede solcellekapacitet frem til 2050. I 100% VE-scenarierne for Danmark indgår en solcellekapacitet på 5000 MW. Dette svarer til ca. 1 kWp pr. indbygger. Skaleres dette ned til Frederikshavn kommune, fås en solcellekapacitet på 60 MW. Denne kapacitet ville svare til en årlig strømproduktion på ca. 42 GWh – eller knap 20% af det fremtidige elbehov. Denne kapacitet anvendes i basis-scenariet.

Solvarme – centrale anlæg i fjernvarmeområder:

Der findes p.t. tre store solvarmeanlæg i kommunen: Strandby solvarmeanlæg med en årlig fjernvarmeproduktion på 3750 MWh og Sæby solvarmeanlæg med en beregnet årsproduktion på 6300 MWh, samt et mindre individuelt anlæg på rådhuset i Frederikshavn med en produktion på 200 MWh/år. Fremover vil det være realistisk, at installere mindst ét solvarmeanlæg på størrelse med det eksisterende anlæg i Sæby – enten i Sæby eller fordelt på de andre varmekærker i kommunen. Det antages at dette også vil være i overensstemmelse med varmekærkernes ønsker i kommunen. Derfor indgår yderligere 6300 MWh solvarmeproduktion til fjernvarme i basis-scenariet.

7.4 Vindkraft

7.4.1 Göteborg

Möjligheten att placera ut vindkraftverk i Göteborg är ganska begränsad, men tanke på bebyggelsen. I dagsläget levererar vindkraftverken i Göteborg ca 9 GWh per år. Potentialen i Västra Götaland har uppskattats till 12 TWh per år (Löf Green) vilket skulle kunna ge Göteborg närmare 400 GWh el från vindkraft. I Scenariot för 2050 har 300 GWh antagits som en potential för Göteborg.

7.4.2 Frederikshavn

Den samlede installerede vindmøllekapacitet i Frederikshavn kommune var ca. 42 MW i 2010.

DONG Energy arbejder på at opføre 6 offshore-testvindmøller i Energibyen Frederikshavn. Deres samlede installerede effekt vurderes ca. at blive 30 MW. Ifølge Frederikshavn kommunes temaplan for vindmøller (Frederikshavn kommune 2011), er 5 vindmølleområder blevet udpeget i kommunen med mulighed for at installere en vindmøllekapacitet på ca. 45 MW. Derudover foreligger der forespørgsler på 5 lignende områder – dvs. yderligere 45 MW kapacitet. Endelig er et indledende arbejde med et vindmølleprojekt ved Gårdbosø påbegyndt, hvor Frederikshavn kommunes andel formentlig vil være 17 vindmøller á 3 MW – dvs. ca. 51 MW kapacitet.

Samlet set ville dette kunne give en ekstra vindmøllekapacitet på omkring 170 MW.

7.5 Vågkraft

7.5.1 Göteborg

Potentialen för vågkraft i Sverige har uppskattats till 30 TWh per år (Bernhoff et al 2005). Baserat på detta har det antagits att Göteborg kan förses med 500 GWh från vågkraft år 2050. Detta är ett antagande är högst osäkert, eftersom vågkrafttekniken fortfarande inte kommersialiserats i större skala.

7.5.2 Fredrikshavn

Bølgeenergiteknologien er i test- og demonstrationsstadiet og det vil på sigt formentlig være muligt at etablere en række storskala-demonstrationsanlæg i Nordjylland. I denne sammenhæng har Energibyen Frederikshavn indgået et samarbejde med Crestwing og Erhvervshus Nord om etablering af et produktionscluster inden for bølgeenergi i Frederikshavn. Derudover har Energibyen taget kontakt til testcentret DANWEC i Hanstholm og bølgeenergiforskningsgruppen på AAU.

Som udgangspunkt er en potentiel el-produktion fra bølgekraftanlæg ikke inkluderet i basis-scenariet for Frederikshavn kommune.

7.6 Avfall

7.6.1 Göteborg

Att avfallet inte ska öka är ett mål i Sverige och därmed är avfallsmängderna samma som för år 2010 i scenariot för 2050.

7.6.2 Fredrikshavn

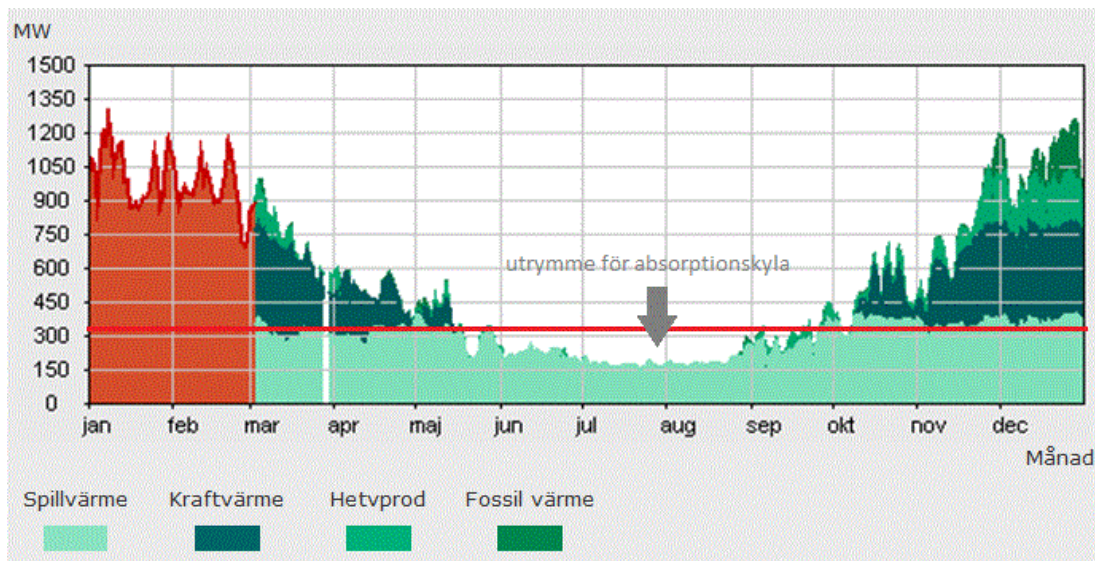
Det forudsættes, at de eksisterende forbrændingsanlæg i Frederikshavn og Skagen forsætter deres nuværende drift i energiscenariene. I energiscenariene forudsættes det derudover, at den fossile fraktion af affaldet erstattes med biomasse – hvilket vil sige, at affaldsforbrændingen i scenariene antages at være CO₂-neutral.

7.7 Fjärrkyla

7.7.1 Göteborg

Eftersom man i Göteborg använder en stor mängd spillvärme i fjärrvärmenätet så finns det på sommaren ett överskott av spillvärme som kyls bort. Denna värme kan användas för fjärrkyla. I dagsläget används redan fjärrkyla i Göteborg i viss utsträckning. Att bygga ut för uttag av mer spillvärme för produktion av kyla kommer inte vara ekonomiskt hållbart. Detta eftersom absorptionskyla är en relativt ineffektiv och dyr process. Men i dagsläget så kyler raffinaderierna bort än viss mängd värme sommardag, vilket betyder att det med det finns möjlighet att utnyttja denna värme för kylning. Det som har antagits är alltså att samma mängd spillvärme som levereras från raffinaderierna vintertid också kan levereras sommardag, se Figur 4. Detta skulle innebära ett utrymme för att använda omkring 300 GWh för absorptionskyla sommardag. Detta ger, vid en COP på absorptionskylmaskinerna på 0,6, 180 GWh absorptionskyla. Med tanke på att det i dagsläget levereras omkring 30 GWh kyla från absorptionskyla i Göteborg idag, så innebär detta alltså en ökning med omkring 150 GWh.

Om man tänker sig att denna kyla skulle ersätta kyla från kompressormaskiner så skulle det kunna ersätta 50 GWh el, om man antar att kylmaskiner har en COP³ på 3.



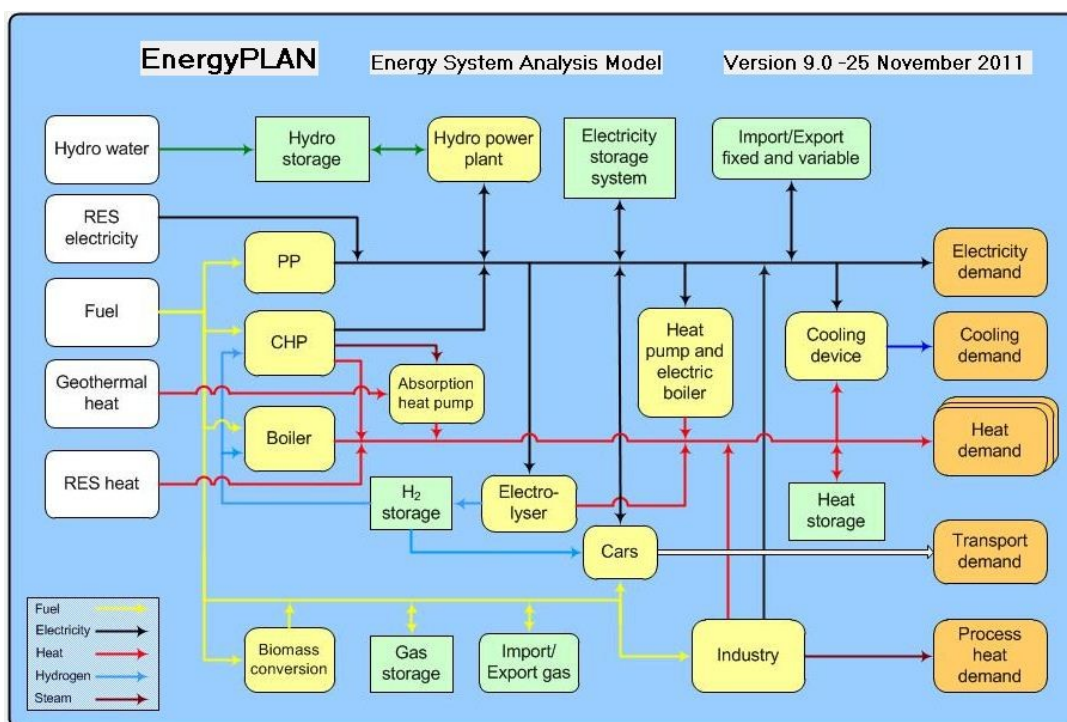
Figur 4 Fjärrvärmelevereras i Göteborg 2010, med inritat utrymme för absorptionskyla

³ COP = coefficient of performance

8 Energisystemanalysmodell och timfördelning av el - och värmeförbrukning

8.1 EnergyPLAN

Energisystemen i Göteborg och Fredrikshamn har modellerats med hjälp av mjukvaran EnergyPLAN. I EnergyPLAN kan man modellera mer komplexa energisystem och programmets främsta styrka är att det modellerar timme för timme, utifrån att man lägger in medeleffekt per timme för alla energibehov. På så sätt kan man se om till exempel värmeproduktionen räcker till även under de kallaste timmarna på vintern.



Figur 5 Skärmbillede af EnergyPLAN modellen: översigt över produktions-, konverterings- og forbrugsenheder som kan modelleres.

8.2 Timfördelningar

För att kunna göra modeller i EnergyPLAN krävs alltså att det finns information för timvis behov av el och värme. Dessutom krävs timvis information om hur icke kontinuerliga energikällor som t.ex. vind och sol levererar el eller värme.

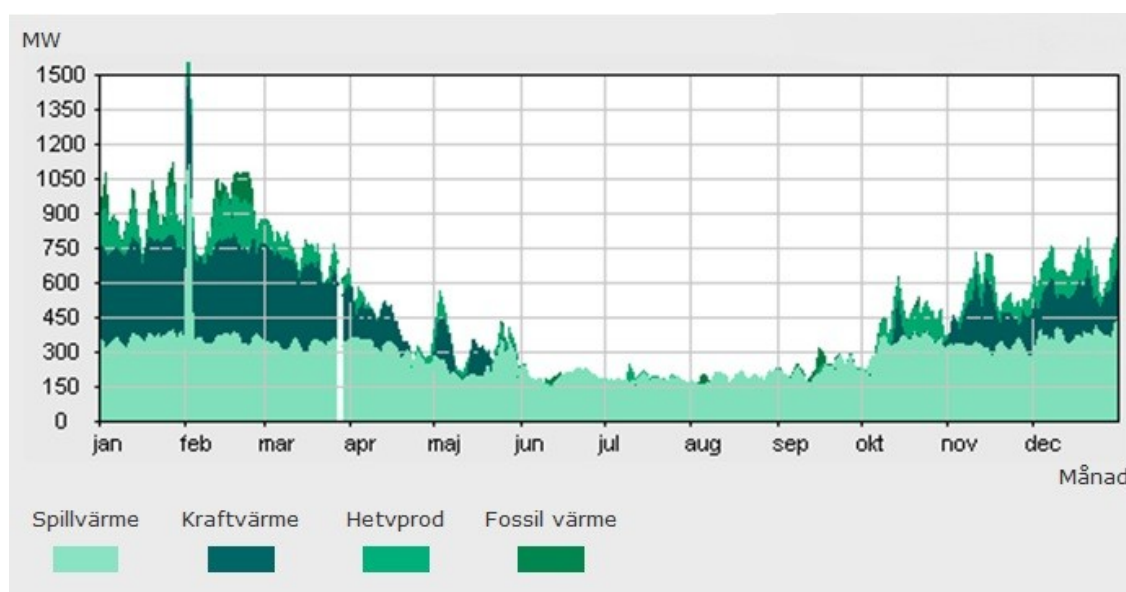
I Göteborg levereras fjärrvärme till 90 % av flerbostadshusen i Göteborg och även till endel villor. Fjärrvärmens i Göteborg kommer till stor del från spillvärme från de raffinaderier som finns i Göteborg. Tillsammans med värme från avfallsförbränning utgör spillvärmens en bas i Göteborgs fjärrvärmemix. Utöver detta har Göteborg Energi flera produktionsanläggningar där man eldar biomassa, men framför allt naturgas. De större anläggningarna producerar både el och värme, men det finns också ett flertal mindre värmeverk.

I Figur 6 visas fjärrvärmeleveransen från Göteborg Energi år 2011. Bilden är tagen från Göteborg Energis hemsida och visar fjärrvärmens uppdelad enligt deras definitioner. Spillvärme inkluderar i bilden värme från avfallsförbränning, raffinaderier, övrig industri samt återvunnet avloppsvatten som har värmepumpats. I kraftvärme ingår värme från

En investering för framtiden

kraftvärmeverk. I fossil värme ingår naturgas och olja som eldas i värmeverk, medan hetvattenproduktion innefattar bibränslen som eldas i kraftvärmeverk samt värme från värmepumpar som försetts med ”grön el”.

Modelleringen som har gjorts av Göteborgs energisystem i EnergyPLAN har baserats på timfördelningar som fås av Göteborg Energi. Dessa innefattar timvis: fjärrvärmeleverans, elleverans och fjärrkylaleverans. Göteborg stad har bistått med uppmätt solinstrålning och vindhastighet på timnivå. Allt detta är en förutsättning för att modellering i EnergyPLAN ska vara möjlig.



Figur 6

8.3.1 Fredrikshavn

I energiscenarierna bibeholdes den nuværende produktionskapacitet på varmeværkerne uden for Energibyen. Som beskrevet i afsnit 6, vil implementeringen af varmebesparelser og sammenkobling af fjernvarmeområder kunne føre til at denne kapacitet muligvis kan reduceres.

Det antages, at produktionen på det naturgasfyrede kraftvarmeværk i Frederikshavn by nedlægges. Ud af de to mulige alternativer – et flisfyret kraftvarmeværk eller overskudsvarme fra MAN Diesel – implementeres MAN Diesel løsningen som udgangspunkt i scenariene (se afsnit 4.2), således at varme- og elproduktionen på det eksisterende kraftvarmeværk bliver 0 i 2025.

9 Validering av modellen

9.1 Göteborg

För att kunna göra scenarior för framtida energisystem så krävs att man första har en klar bild av hur det ser ut i dagsläget. För Göteborg gjordes dels ett scenario som beskriver kommunens energisystem som de ser ut idag. Utifrån detta gjordes sedan ett så kallat ”Business as usual”-scenario (BAU) där vi antar en utveckling där allt i stort sett förblir som det är, men att energianvändning, trafikarbete mm. ökar enligt de prognoser som hämtats dels från Göteborg stad och Energimyndigheten.

I huvudaktivitet 1 i PRINCIP gjordes en grundlig genomgång av energisystemet i Göteborg. Även scenarier för 2020 och 2030 gjordes. Dessa scenarier gjordes dock på årsbasis, vilket gör att det blir svårt att avgöra om de potentialer som beskrivs kan infrias. Till exempel, räcker den fjärrvärmeproduktion som finns kvar 2030 för att värma Göteborg under vinterns kallaste natt? Eller, klarar elnätet den mängd vindenergi som det finns potential för i regionen?

För att kunna göra scenarier som även svarar på dessa frågor används energyPLAN. Detta innebär att de data som tidigare fanns i Excel nu har överförts till EnergyPLAN, för att utifrån dessa data kunna göra scenarier för 2050. Eftersom modellen i Excel bara består av siffror årsvis och är helt statisk, så är det inte helt lätt att få de två modellerna att överensstämna. Eftersom man i energyPLAN anger det totala värmebehovet och effekten på de anläggningar man har för värmeproduktion så är det svårt att få siffrorna från hur det verkligen såg ut att stämma överens med outputen från EnergyPLAN. Tabell 11 visar hur de två modellerna stämmer överens.

Tabell 11 Jämförelse mellan statistik över energianvändning i Göteborg och modell i EnergyPLAN

Efterfrågan	PRINCIP [TWh/år]	EnergyPLAN [TWh/år]
Transport naturgas	0.08	0.07
Transport olja	3.71	3.71
Transport biobränsle	0.17	0.17
Transport summa	3.96	3.95
Indv. panna olja	0.49	0.49
indv. panna biomassa	0.04	0.04
indv. solfångare	0.00	0.00
Indv. summa	0.54	0.53
Industri olja	0.31	0.31
Industri naturgas	0.56	0.56
Industri biomassa	0.00	0.00
Industri summa	0.87	0.87
Kraftvärmeverk, värme	1.10	1.04
Värmeverk, värme	0.35	0.54
Spillvärme	2.42	2.42
Överskott (-)/Underskott (+)	0.00	-0.13
EL (inkl. elvärme och VP)	3.87	3.87
Bränsletyp	PRINCIP [TWh/år]	EnergyPLAN [TWh/år]
Elimport	4.11	4.19
Naturgas	2.85	2.96
Bensin	1.65	-
Diesel	1.50	-
JET	1	-
Eldingsolja	0.84	-
Olja summa	4.55	4.56
Vindkraft	0.01	0.01
Sol	0.00	0.00
Avfall	1.25	1.25
Biomassa	0.56	0.48
Förnybart summa	1.81	1.74

9.2 Fredrikshavn

Validering af Energiregnskab 2010 og modellering i EnergyPLAN

Tabell 12 viser reference-scenariet jf. PlanEnergis regnskab for 2010 og validering af referencen i EnergyPLAN. Den lille forskel i den samlede brændselsbalance skyldes en lavere elimport i EnergyPLAN modellen. Grunden er, at kraftvarmeværkerne producerer mere end i ”virkeligheden”, da modellen forsøger, at optimere el- og varmeproduktionen⁴.

Tabell 12

	Energiregnskab 2010, Planenergi [TWh/år]	EnergyPLAN [TWh/år]
Behov		
Diesel	0,30	
Benzin	0,21	
Biobrændsler	0,004	
Transport Sum	0,51	0,51
Indiv. kedler olie	0,13	
Indiv. kedler naturgas	0,07	
Indiv. kedler biomasse	0,18	
Indiv. solfangere	0,002	
Individuel Sum	0,38	0,38
Industri olie	0,02	
Industri naturgas	0,48	
Industri biomasse	0,01	
Industri kul+koks	0,00	
Industri Sum	0,50	0,50
Varmeværker	0,04	
Lokal kraftvarme	0,06	
Decentral kraftvarme	0,40	
Fjernvarmebehov Sum	0,51	
Elbehov (inkl. elvarme, elpatron + VP)	0,48	0,49
Brændsel (type)		
Overskudsvarme	0,01	0,01
Kul	-	-
El import *)	0,22	0,20
Kul (inkl. import)	0,55	0,50
Naturgas	1,11	1,14
Benzin/diesel	0,51	
Fuelolie/Gasolie	0,15	
Olie (sum)	0,65	0,65
Vindkraft	0,08	0,08
Solvarme	0,004	0,00
VE i alt	0,09	0,09
Affald	0,14	0,14
Anden biomasse	0,03	0,04
Biomasse (inkl. affald)	0,36	0,37
Primærenergi i alt	2,77	2,75

*) *Elimport i Energiregnskabet antages produceret på et kulfyret kondenskraftværk med en elvirkningsgrad på 40%*

⁴ Modelleringen gennemføres med en teknisk optimeringsstrategi (frem for en markedsøkonomisk optimering), og kapaciteterne på kraftvarmeværkerne er nedsat, for at minimere forskellen mellem modellens resultater og PlanEnergis energiregnskab.

10 . Energisystemscenarier för Fredrikshamn och Göteborg

10.1 Göteborg

För Göteborg har det gjorts ett scenario som kallas Business as usual (BAU) och ett scenario för en hållbar utsläppsnivå. Detta scenario grundar sig på det mål som finns för Göteborg att "2050 har Göteborg en hållbar och rättvis utsläppsnivå för koldioxid". Vad en hållbar utsläppsnivå är kan man diskutera, men vi har här utgått ifrån att energisystemet i Göteborg ska vara helt fossilfritt..

10.1.1 Business as usual

Detta scenario bygger helt på hur det ser ut i nuläget i Göteborg. Det som skiljer detta scenario från det som beskriver dagsläget är att vissa energibehov antas ha ökat fram till 2050. Statistik för elanvändning visar att elanvändningen inte har ökat nämnvärt i Sverige under 2000-talet (Energimyndigheten, 2012). Baserat på detta har det antagits att elanvändningen kommer att vara den samma i Göteborg år 2050 som nu. Energianvändningen i form av bränslen och fjärrvärme har stadigt minskat i Sverige sedan 70-talet (Energimyndigheten, 2012). I BAU-scenariot har dock antagits att den håller samma nivå som 2010. Detta för att Göteborg kommer att växa till följd av att fler flyttar till städer från landsbygden.

Det som skiljer BAU-scenariot från scenariot för 2010 är att trafikarbetet i Göteborg antas fortsätta öka. Trafikarbetet i Göteborg ökade med 10 % mellan år 2000 och år 2009 (Trafikkontoret, 2010), och denna trend ser ut att hålla i sig. Tabell 13 visar hur BAU-scenariot skiljer sig från nuläget (Baseline 2010).

Tabell 13

Efterfrågan	Baseline 2010 [TWh/år]	BAU 2050 [TWh/år]
Transport naturgas	0.07	0.11
Transport olja	3.71	5.01
Transport biobränsle	0.17	0.25
Transport summa	3.95	5.37
Indv. panna olja	0.49	0.49
indv. panna biomassa	0.04	0.04
indv. solfångare	0	0
Indv. summa	0.53	0.53
Industri olja	0.31	0.31
Industri naturgas	0.56	0.56
Industri biomassa	0	0
Industri summa	0.87	0.87
Kraftvärmeverk, värme	1.63	1.48
Värmeverk, värme	0.79	0.65
Spillvärme	2.62	3.05
Överskott (-)/Underskott (+)	-0.15	-0.29
EL (inkl. elvärme och VP)	4.89	4.89
Bränsletyp	Baseline 2010 [TWh/år]	BAU 2050 [TWh/år]
Elimport	3.23	3.28
Naturgas	3.73	3.71
Bensin	-	-
Diesel	-	-
JET	-	-
Eldingsolja	-	-
Olja summa	4.56	5.96
Vindkraft	0.01	0.01
Sol	0	0
Våg	0	0
Avfall	1.42	1.9
Biomassa	0.75	0.73
Förnybart summa	2.18	2.64

10.1.1

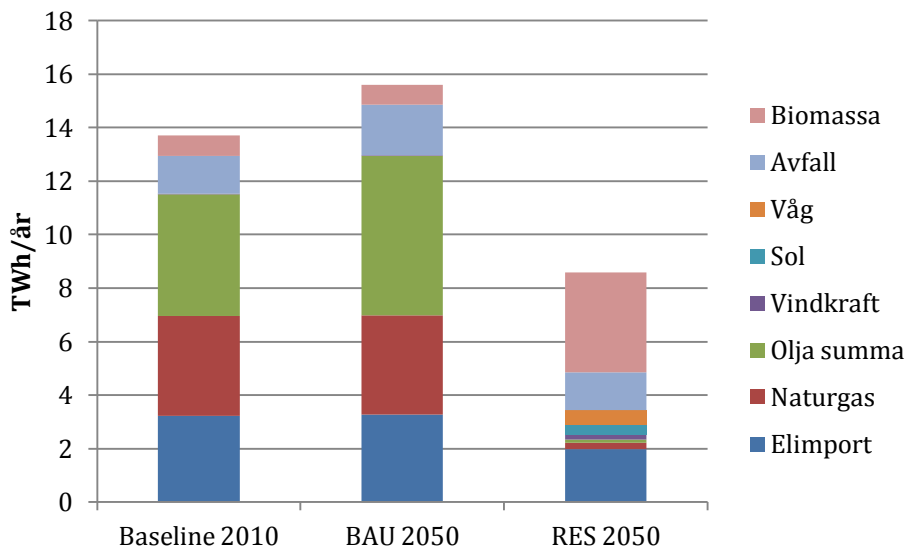
10.1.2 RES Göteborg 2050

Resultaten av det scenario som har gjorts för Göteborg 2050 visas i

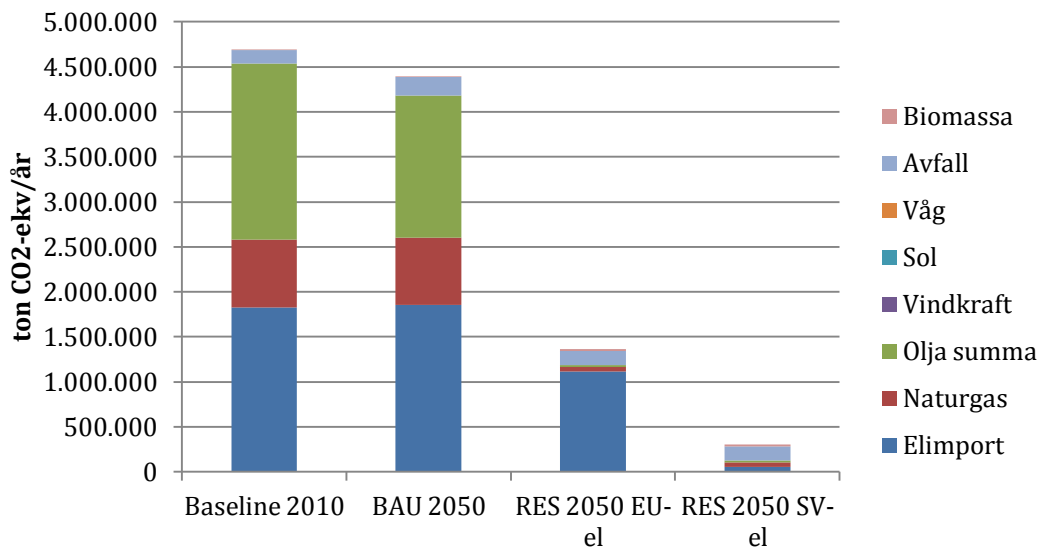
Tabell 14. I detta scenario har alltså målet varit ett fossilfritt energisystem. Lite fossila bränslen används fortfarande i industrin, men i övrigt används inga fossila bränslen inom Göteborg. Närmare 2 TWh el ”importeras” där emot till kommunen per år. Hur denna el är producerad blir självklart avgörande för hur låga de utsläpp blir som tillräknas Göteborgs energisystem. Figur 7 visar hur fördelningen av energibärare ser ut i detta scenario jämfört med baseline-scenariot och BAU-scenariot. Figur 8 visar hur utsläppen av CO₂-ekvivalenter kommer att se ut för de olika scenarierna. Om man räknar med att den importerade elen är svensk el-mix så kommer utsläppen att hamna på ungefär 300 000 ton per år. Detta skulle år 2050 motsvara ungefär 0,5 ton CO₂-ekvivalenter per person. Dock finns det utsläpp som inte är inräknade i detta, så det är svårt att säga något om den totala utsläppsnivån i Göteborg.

Tabell 14

Efterfrågan	Baseline 2010 [TWh/år]	BAU 2050 [TWh/år]	RES 2050 [TWh/år]
Transport naturgas	0.07	0.11	0
Transport olja	3.71	5.01	0
Transport biobränsle	0.17	0.25	1.63
Transport summa	3.95	5.37	1.63
Indv. panna olja	0.49	0.49	0
indv. panna biomassa	0.04	0.04	0.23
indv. solfångare	0	0	0
Indv. summa	0.53	0.53	0.23
Industri olja	0.31	0.31	0.13
Industri naturgas	0.56	0.56	0.24
Industri biomassa	0	0	0.33
Industri summa	0.87	0.87	0.7
Kraftvärmeverk, värme	1.63	1.48	0.72
Värmeverk, värme	0.79	0.65	0.12
Spillvärme	2.62	3.05	2.62
Överskott (-)/Underskott (+)	-0.15	-0.29	-0.37
EL (inkl. elvärme och VP)	4.89	4.89	3.09
Bränsletyp	Baseline 2010 [TWh/år]	BAU 2050 [TWh/år]	RES 2050 [TWh/år]
Elimport	3.23	3.28	1.97
Naturgas	3.73	3.71	0.24
Bensin	-	-	-
Diesel	-	-	-
JET	-	-	-
Eldingsolja	-	-	-
Olja summa	4.56	5.96	0.13
Vindkraft	0.01	0.01	0.2
Sol	0	0	0.35
Våg	0	0	0.55
Avfall	1.42	1.9	1.42
Biomassa	0.75	0.73	3.73
Förnybart summa	2.18	2.64	6.25



Figur 7 Fördelning av bränslen och energislag i de olika scenarierna



Figur 8 Utsläpp av CO2-ekvivalenter för de olika scenarierna

10.2 Fredrikshavn

Som udgangspunkt opstilles ét **basis-scenarie**, hvor energiforsyningen i kommunen baseres 100% på vedvarende energikilder. Inputtene og potentialerne i basis-scenariet er beskrevet i de foregående afsnit og er sammenfattet i Tabell 15.

Tabell 15 Input-værdier i basis-scenariet for år 2025 i Frederikshavn kommune.

Elbehov		230,5 GWh
Varmeværker i kommunen		
	Fjv.behov	23,5 GWh
Fjernvarme i Energiby		
	Fjv.behov	148,6 GWh
	Solvarmeandel	4 GWh
Kraftvarme i kommunen		
	Fjv.behov	147,5 GWh
	Solvarmeandel	12,6 GWh
Industribrændselsbehov		
	Biomasse	404,9 GWh
Industrioverskudsproduktion		
	Fjernvarme i Energiby	72,3 GWh
	El i Energiby	0,0 GWh
	Fjernvarme i kommunen	10,7
	El i kommunen	1,7
Individuel opvarmning		
	Varmepumpe	143,0 GWh
	Solvarmeandel	33,4 GWh
	Biogas i (biomasse)	13,7 GWh
Transport		
	Biogas/DME/metanol	97,0 GWh
	Biodiesel	3,6 GWh
	El	57,6 GWh
	Elektrolyse i (brint/syngas)	163,8 GWh
Vind og PV		
	Vindkraft	145 MW
	PV	60 MW
Affaldproduktion		
	Fjv. i Energiby	76,3 GWh
	El i Energiby	25,7 GWh
	Fjv. i resten af kommunen	13,0 GWh
Biogas i (biomasse)		120 GWh

El-scenarie

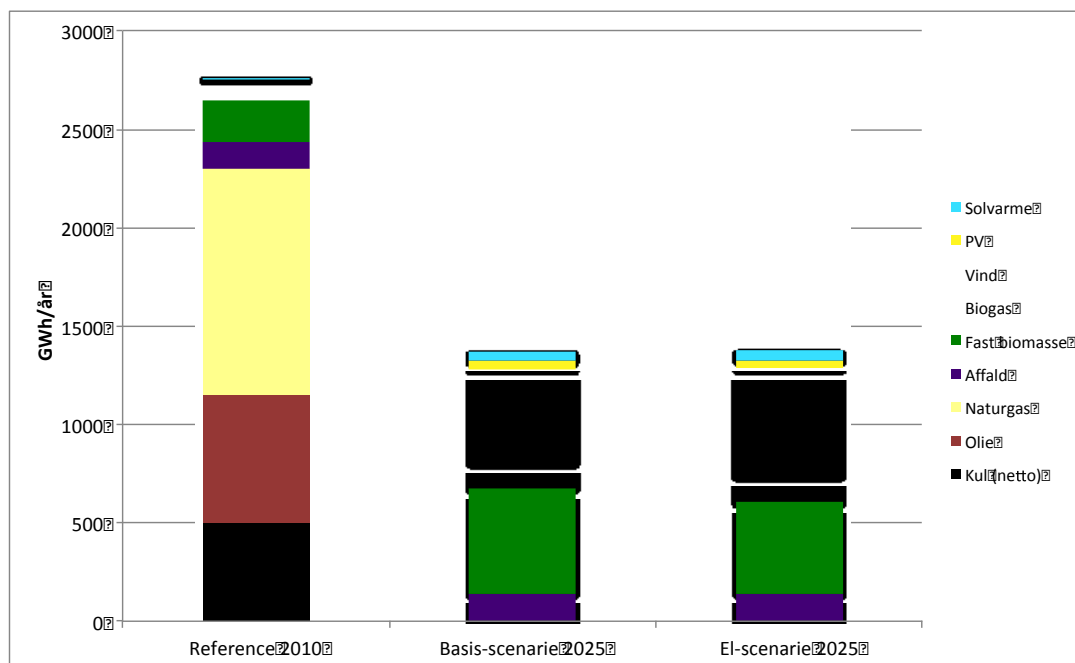
I dette scenarie implementeres følgende ændringer i forhold til basis-scenariet: a) ca. 20% af industriens brændselsbehov omlægges til el, svarende til et ekstra elbehov på 79 GWh; b) den installerede vindkraftkapacitet øges til 165 MW; c) en yderligere varmepumpe-kapacitet på 19 MW_{el} installeres i fjernvarmesystemet; d) den ekstra varmepumpekapacitet erstatter sammen med en øget varmeproduktion på kraftvarmeværkerne varmeproduktionen på varmeværkerne. Resultaterne af energisystemanalysen er vist i de følgende tabeller og figurer:

Tabell 16 Resultater af energisystemanalysen af basis-scenariet. Som det fremgår, dækkes mere end halvdelen af brændselsbehovet af biomasse.

Basis-scenarie 2025 [GWh/år]	Elproduktion	Elforbrug	Import	Eksport
Kraftvarme	30			
Vind+sol	520			
Affalds-KV&I Industri	13			
Eludveksling			150	-150
Elbehov		230		
Transport/fleksibelbehov		58		
Varmepumpe		60		
Elektrolyse		200		
	Varmeproduktion	Varmebehov		
Fjernvarme		320		
Varmeværker	24			
Kraftvarme	20			
Affaldsvarme	185			
Kedel	50			
Varmepumpe, fjv.	36			
Solvarme, fjv.	17			
Balance				-12
Biomasse	Vind	PV	Solvarme	Sum
	810	470	42	50
				1372

Tabell 17 Resultater af energisystemanalysen af el-scenariet, hvor biomassebehovet reduceres og vindproduktionen forøges i tråd med at der er et større elbehov i industrien. Samtidig øges el-udvekslingen på årsbasis.

El-scenarie 2025					
[GWh/år]	Elproduktion	Elforbrug	Import	Eksport	
Kraftvarme	40				
Vind+sol	585				
Affalds-KV+Industri	13				
Eludveksling				170	-170
Elbehov			310		
Transport/fleksibelbehov			60		
Varmepumpe			60		
Elektrolyse			200		
	Varmeproduktion		Varmebehov		
Fjernvarme			320		
Varmeværker	0				
Kraftvarme	30				
Affaldsvarme	185				
Kedel	50				
Varmepumpe, fjv.	50				
Solvarme, fjv.	17				
Balance					-12
Biomasse	Vind	PV	Solvarme	Sum	
	742	543	42	50	1377



Figur 9 Brændselsforbrug i reference-scenariet 2010 og i de to 2025 scenarier.

Som det kan ses, er brændselsforbruget i de to fremtidsscenerier halveret, sammenholdt med referencen for 2010. Grundet den større vindkraftkapacitet og kraftvarmeproduktion i E1-scenariet øges elimport/eksport fra 150 GWh til ca. 170 GWh om året. Dette er dog stadig lavere end i referencen, hvor el-importen var 220 GWh i 2010.

10.3 Vigtige skridt på vejen mod et 100% VE system i Frederikshavn kommune

- 1) Reduktion af el- og varmebehovet i husholdninger og industrien med ca. 50% er nødvendig for at sikre en optimal udnyttelse af de knappe biomasseressourcer i kommunen. Anbefalingen er, at denne reduktion implementeres på kort og mellemlang sigt og koordineres med udbygningen af eventuelle produktionskapaciteter (f.eks. på fjernvarmeområdet). Dermed skal det sikres, at energiforbruget ikke låses fast på det nuværende niveau, hvilket ville vanskeliggøre implementeringen af 2025 visionen. Mulige tiltag kan i denne forbindelse f.eks. være indførelsen af 100% variable fjernvarmetariffer, som fastsættes på basis af de fremtidige produktionsomkostninger for fjernvarme, som foreslået i Aalborg kommunes baggrundsrapport for energivisionen 2050.
- 2) En tredje del af den biomasse, som Frederikshavn kommune ifølge CEESA "har lov til at bruge" i fremtiden, befinder sig uden for kommunens geografiske grænser (jf. de nuværende opgørelser). Derfor bør det undersøges hvordan kommunen kan få adgang til de nødvendige ressourcer, f.eks. gennem samarbejde med nabokommunerne eller andre kommuner som har et større biomassepotentiale. Det bør også undersøges hvordan kommunens eget biomassepotentiale kan øges, f.eks. gennem omlægning af land- og skovbruget og dyrkning af nye former for biomasse. Samtidig skal det sikres, at den lokale udnyttelse af biomassen sker på en bæredygtig måde, som ikke er i konflikt med andre anvendelser, såsom fødevarer og materialer. En (tvær-)kommunal biomassestrategi, som sætter rammerne for en bæredygtig og energisystemmæssig fornuftig anvendelse af biomassen, kan i denne sammenhæng være et vigtigt skridt på vejen, og kan eksempelvis indgå i arbejdet med den strategiske energiplanlægning.
- 3) I energiscenarierne forudsættes den nuværende fossile fraktion af affaldet erstattet med organisk affald/biomasse i 2025. Det bør undersøges om og hvordan affaldsforbrænding skal indgå i det fremtidige energisystem. Eksempelvis bør muligheden for at neddrole affaldsforbrændingen og i stedet for øge kraftvarmeproduktionen samt forgasning af biomasse undersøges i et energisystemsperspektiv.
- 4) I forbindelse med omlægningen af transportsektoren, bør det undersøges hvilken kombination af brændselstyper er mest favorabel ud fra energiresourcemæssige og samfundsøkonomiske betragtninger. I denne rapport forudsættes den del af

transportsektoren, som ikke kan elektrificeres, konverteret til brint/syngas vha. af (store) elektrolyseanlæg. I betragtning af de begrænsede biomasseressourcer er dette på nuværende tidspunkt den mest effektive løsning. I CEESA rapporten understreges det imidlertid, at en storskala anvendelse af syntetiske brændsler er forbundet med en ret stor usikkerhed, da teknologierne stadig ikke er markedsmodne. På kort og mellemlang sigt kan det derfor være hensigtsmæssig, at supplere de syntetiske brændsler (i den tunge transport) med biomethanol/DME/biogas, da de tilsvarende teknologier er mere markedsmodne. Det er dog vigtigt, at de tilsvarende produktionsanlæg implementeres på en fleksibel måde, sådan at det på sigt stadig bliver muligt, at erstatte disse brændsler med syntetiske brændsler.

- 5) I energiscenarierne forudsættes transportbehovet i 2025 at blive på det nuværende niveau. Det vurderes, at der imidlertid findes en række muligheder for at nedbringe dette behov – ikke mindst i forhold til de kommunale køretøjer. Potentialet for eksempelvis delebilsordninger, fleksibel kollektiv trafik, transporteffektiv fysisk planlægning og fleksibel lokalisering af arbejdspladser/virksomheder bør derfor undersøges.

10.4 Viktiga steg på vägen mot 100 % förnybart energisystem i Göteborg

- 1) Att arbeta med att kraftigt reducera energibehovet är helt nödvändigt. För att kunna förse göteborg, Sverige och i förlängningen hela världen, med förnybar energi så krävs effektivisering i alla delar av energisystemet. Det är otroligt viktigt att skapa incitament för energieffektivisering av byggnader som ändå ska renoveras, att ställa krav vid nybyggnation i de fall där kommunen kan göra detta. Eleffektivitet är också av största vikt. Eftersom en stor del av den förnybara energin som används i Göteborg 2050 består av biobränslen, så är det otroligt viktigt att effektivisera alla system så att användandet av biobränslen i en region inte hindrar ett hållbart energisystem på en annan ort i regionen.
- 2) Den sektor där energianvändningen fortfarande ökar markant är transportsektorn. För att kunna uppnå ett fossilfritt energisystem krävs kraftiga insatser på detta område. Alla typer av åtgärder måste finnas med. Effektivisering av fordon, användning av elbilar, biobränslen, sänkta hastigheter och eco-driving, bättre planerad logistik vid kommersiella transporter och en väl fungerande kollektivtrafik.
- 3) För att kunna uppnå ett 100 %-förnybart energisystem krävs stora lokala initiativ inom solenergi och vindkraft.

10.5 Referenceliste

Dyrelund, A, Lund, H, Möller, B, Mathiesen, BV, Fafner, K, Knudsen, S, Lykkemark, B, Ulbjerg, F, Laustsen, TH, Larsen, JM & Holm, P 2008: Varmeplan Danmark, Aalborg Universitet.

En investering för framtiden

Frederikshavn kommune 2011, Forslag til Retningslinjer for vindmøller, http://frederikshavn.odeum.com/dk/temaplaner/vindmoelletemaplan/retningslinjer_for_vindmoeleomraader/

Gustavsson, M., E. Särholm, P. Stigsson and L. Zetterberg (2011). "Energy Scenario for Sweden 2050 Based on Renewable Energy Technologies and Sources", IVL Swedish Environment Institute and WWF Sweden, Göteborg and Stockholm. September

J. Kragh, Wittchen, K. B., 2010, Danske bygningers energibehov i 2050, SBI 2010:56 Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, <http://www.sbi.dk/miljo-og-energi/energiebesparelser/danske-bygningers-energiebehov-i-2050/danske-bygningers-energiebehov-i-2050>

H. Lund (Ed.), 2011, Coherent Energy and Environmental System Analysis <http://www.ceesa.plan.aau.dk/Publications/work+package+reports/>

H. Lund, P.A. Østergaard, K. Sperling, 2011, Energibyen Frederikshavn - Scenarier for 100% vedvarende energi i år 2015 http://energy.plan.aau.dk/Frederikshavn_Scenarieplan.pdf

B.V. Mathiesen, H. Lund, K. Karlsson, 2009, The IDA climate plan 2050. Technical energy system analysis, effects on fuel consumption and emissions of greenhouse gases, socio-economic consequences, commercial potentials, employment effects and health costs, The Danish Society of Engineers (IDA), Copenhagen (2009), <https://www.google.com/url?q=http://ida.dk/omida/laesesalen/Documents/UK-Future%2520Climates%2520Background%2520Report.pdf&sa=U&ei=jzXsT8PJBYjStAb27Pj0BQ&ved=0CAUQFjAA&client=internal-uds-cse&usg=AFQjCNEjYLHQAF7E1-IDVuTHUB4AS92EQ>

B. Möller, K. Sperling, 2011, Energibyen Frederikshavn - Potentiale for varmebesparelser og udvidelse af fjernvarmeområder http://energy.plan.aau.dk/Frederikshavn_Varheatlas.pdf

B. Möller, S. Nielsen, K. Sperling 2012, A solar atlas for building-integrated photovoltaic electricity resource assessment, Proceedings of SEEP 2012, 05-08 June 2012, DCU, Dublin, Ireland

PlanAction, 2011, Frederikshavn Biogas Skitseprojekt for etablering af fælles biogasanlæg i Frederikshavn kommune, Plan Action Aps.

PlanEnergi, 2012, Energiregnskab for Frederikshavn kommune 2010.

P.A. Østergaard (Ed.), Baggrundsrapport for Energivision for Aalborg Kommune 2050 [Background report for energy vision for Aalborg Municipality 2050], Aalborg University, Aalborg, Denmark (2010), pp. 82–86 http://vbn.aau.dk/da/publications/energivision-for-aalborg-kommune-2050_1282ae46-5abb-43b0-b110-44172d7f7069.html

Gustavsson, M., E. Särholm, P. Stigsson and L. Zetterberg (2011). "Energy Scenario for Sweden 2050 Based on Renewable Energy Technologies and Sources", IVL Swedish Environment Institute and WWF Sweden, Göteborg and Stockholm. September.

SCBa (2012), Kommunal och regional energistatistik, http://www.scb.se/Pages/Product___24622.aspx

Boverket (2008), Hälften bort! Energieffektivisering i befintlig bebyggelse, Karlskrona.

Sköldberg, H. et al. (2010) Ett fossiloberoende transportsystem år 2030 - Ett visionsprojekt för Svensk Energi och Elforsk (Elforskrapport 10:55), Stockholm

Göteborg Energi (2012), http://www.goteborgenergi.se/Privat/Projekt_och_etableringar/GoBiGas

Jarnehammar, A., Kildsgaard, I., Prejer, E., (2011) Kunskapsinventering avseende resurseffektiviserande åtgärder inom befintlig bebyggelse, IVL Rapport B1960

Henryson, J. and H. Westander (2009). Förnybar energi och energieffektivisering - Potential för 2020, Rapport, Förnybart.nu, Stockholm, 16 juni, pp 39.

Andersson, K. (2012). Bioenergy the Swedish Experience - How Bioenergy became the largest energy source in Sweden, Svebio, Stockholm, May, pp 81.

Jonsson, P. (2011), Solar Energy from Existing Structures - Development of the SEES GIS tool that assesses solar irradiance on roofs, WSP

Löf Green, J., Vindkraft i Västra Götaland - Vindkraftens potential i Västra Götaland med beaktande av naturvårdsaspekter, Naturskyddsföreningen.

Hans Bernhoff, Elisabeth Sjöstedt and Mats Leijon, "Wave energy resources in sheltered sea areas: A case study of the Baltic Sea", Renewable Energy, Volume 31, Issue 13, October 2006, Pages 2164-2170

Energimyndigheten, 2012 Energiläget i siffror 2011.

Trafikkontoret (2010) Trafik- och resandeutveckling 2010, Meddelande 1:2011, Trafikkontoret Trafikant & ITS/Analys