



# Smart Grid i Danmark





# Indhold

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Forord.....                                                                                     | 4  |
| Resume .....                                                                                    | 5  |
| Rammer og forudsætninger for rapporten.....                                                     | 8  |
| 1. Energisystemet står ved en skillevej.....                                                    | 9  |
| 1.1 Danmarks klima- og energimål vil ændre vilkårene<br>for elsystemet.....                     | 9  |
| 1.2 Ændringerne i elsystemet nødvendiggør et valg af<br>dets fremtidige udformning .....        | 9  |
| Fakta-ark: Hvad er smart grid? .....                                                            | 12 |
| 2. Smart Grid er den effektive vej til at indpasse et yderligere elforbrug.....                 | 15 |
| 2.1 Omstillingen af energisystemet kræver store investeringer.....                              | 15 |
| 2.2 Smart Grid er den mest effektive og billigste metode<br>til at opgradere el systemet.....   | 15 |
| 2.3 Samfundsmæssig omkostning ved etablering af et Smart Grid.....                              | 15 |
| 2.4 Samfundsmæssig omkostning ved fortsat<br>traditionel udbygning.....                         | 17 |
| 2.5 Økonomien i Smart Grid er god selv<br>under andre forudsætninger .....                      | 18 |
| Fakta-ark: De økonomiske beregninger .....                                                      | 19 |
| 3. Smart Grid giver nye muligheder for forbrugerne .....                                        | 22 |
| 3.1 Elbiler bliver grønnere og mere fleksible .....                                             | 22 |
| 3.2 Smart Grid vil kunne give et samlet<br>overblik over energiforbruget.....                   | 22 |
| 3.3 Nye energi-relaterede services vil skabe helt nye muligheder.....                           | 22 |
| 4. Smart Grid er en fælles opgave.....                                                          | 23 |
| 4.1 Realisering af Smart Grid-potentialet<br>kræver en indsats fra hele sektoren .....          | 23 |
| 4.2 Et effektivt marked vil skabe en fælles<br>indsats og realisere Smart Grid-potentialet..... | 23 |
| 5. To nødvendige politiske forudsætninger.....                                                  | 25 |
| 5.1 Fremtidssikring af elsektorens økonomiske<br>regulering skal skabe incitamenter.....        | 25 |
| 5.2 Smart Grid udviklings- og demonstrationsaktiviteter<br>kan accelerere udviklingen.....      | 25 |
| 6. Vejen fremad.....                                                                            | 26 |
| 6.1 Fase 1 – Faciliterings-fasen .....                                                          | 26 |
| 6.2 Fase 2 – Etableringsfasen.....                                                              | 26 |
| 6.3 Fase 3 – Kommercialiseringsfasen .....                                                      | 27 |

# Forord

I de kommende år omstilles elforbruget og elproduktionen i Danmark markant. Elproduktionen vil i stigende grad komme fra vedvarende energikilder, samtidig vil forbrugerne skifte deres oliefyr ud med elektriske varmepumper og erstatte deres benziner med elbiler. Derfor skal elsystemet udbygges, men hvordan gøres det mest effektivt?

Det har Energinet.dk og Dansk Energi analyseret i denne fælles rapport.

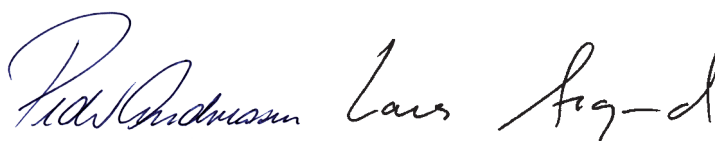
Og konklusionen på rapportens økonomiske analyser er, at et intelligent elsystem – et Smart Grid – både er den mest effektive og den billigste metode, når elsystemet skal udbygges.

I analysen er der foretaget følsomhedsberegninger, der viser, at denne konklusion er robust, uanset om der skulle komme færre eller flere elbiler i forhold til analysens grundforudsætninger.

Så samlet set er konklusionen på beregningerne klar: Hvis man ønsker et samfund uafhængigt af fossile brændsler, der bruger store mængder vindkraft til transport og opvarmning, så vil Smart Grid være den mest effektive udviklingsvej for elsystemet.

Og selv om vi først vil se den fulde udrulning af Smart Grid om mange år, skal det strategiske fundament skabes nu. Et fundament, som vi håber, denne rapport kan være med til at bane vejen for.

God læselyst.



Peder Ø. Andreasen  
Administrerende direktør  
Energinet.dk

Lars Aagaard  
Direktør  
Dansk Energi



# Resume

Elforbruget og elproduktionen i Danmark omstilles i de kommende år markant. El-kunderne vil efterspørge nye ydelser i takt med, at de udskifter oliefyr med elektriske varmepumper og den klassiske benzinbil med en elbil. Elsektoren skal være klar til at levere disse ydelser med den samme høje leveringssikkerhed som hidtil. Dette skal ske i en situation, hvor elproduktionen i stigende grad kommer fra vedvarende energi.

Danmark har ambitiøse politiske klima- og energipolitiske målsætninger om at reducere CO<sub>2</sub>-udledningen, integrere mere vedvarende energi, især vindkraft, i elproduktionen og forbedre energieffektiviteten. Samlet set giver dette et behov for at forstærke og udbygge elsystemet. Men hvordan?

Det har Energinet.dk og Dansk Energi analyseret i rapporten "Smart Grid i Danmark", hvis formål har været at beskrive og analysere de konkrete udfordringer, som elsystemet står overfor i de kommende 15 til 25 år. At beskrive hvordan og i hvilket omfang Smart Grid-løsninger kan gøre elsystemet klar til at kunne håndtere disse udfordringer.

Energinet.dk og Dansk Energi har analyseret den del af Smart Grid som muliggør et effektivt samspil mellem vindkraftproduktion, varmepumper i private husstande samt elbiler og plug-in hybridbiler.

Projektet har lagt til grund for analyserne, at den danske elsektor i 2025 kan håndtere,

- at vindmøllekapaciteten er udbygget til at kunne dække 50 pct. af det årlige danske elforbrug
- at der samlet er 600.000 el- og plug-in hybridbiler og
- at der er 300.000 individuelle varmepumper.

Rapportens analyser viser, at elsystemet mest effektivt håndterer et øget og ændret elforbrug samt en mere fluktuerende produktion ved at etablere et Smart Grid, der skaber et dynamisk samspil mellem elsystem og forbrugere gennem måling, styring og automatik i elnettet og hos forbrugerne. Konklusionen gælder også, hvis der skulle komme færre elbiler end antaget ovenfor.

Men da Smart Grid er en ny og meget anderledes måde at udvikle elsystemet på end den traditionelle udbygning, skal der træffes et valg, som sikrer, at alle aktører trækker i samme retning for at undgå investeringer i og omkostninger til udstyr og systemer, som ikke vil blive udnyttet optimalt. Dette kræver et øget samarbejde mellem sektorens aktører.

## Traditionel udbygning versus Smart Grid

Indtil nu har elsektoren tilpasset elsystemet ved at lægge flere og større kabler i jorden, opstille flere transformerstationer og sikre adgang til tilstrækkelig produktionskapacitet. Forbrugerne har primært været 'passive' forbrugere med et forudsigeligt og regelmæssigt forbrugsmønster.

Et intelligent elsystem – et Smart Grid – vil skabe helt nye perspektiver. Forbrugerne vil kunne interagere med elsystemet og produktionen gennem automatiseret og intelligent styring af deres elapparater, hvorved de vil komme til at fungere som ressourcer for elsystemet.

Det samlede regnestykke viser, at fremtidens elsystem med Smart Grid kan etableres med en samfundsmæssig netto-omkostning med en nutidsværdi i størrelsesordenen 1,6 milliarder kroner. Det kræver imidlertid, at der foretages

en investering på omkring 9,8 milliarder kroner – en investering, som vil give afledte gevinster på ca. 8,2 milliarder kroner i form af lavere omkostninger til elproduktion, en mere effektiv frembringelse af systemtjenester og flere elbesparelser.

En traditionel udbygning vil på den anden side kræve en samfundsmæssige investering på cirka 7,7 milliarder kroner i nutidsværdi, og der skabes ingen gevinster. Dermed er fordelene ved at vælge Smart Grid-sporet anslået til cirka 6,1 milliarder kroner.

Distributionsnettet skal udbygges i takt med, at kunderne efterspørger el til elbiler og varmepumper. Forstærkningsbehovet er dog 1,6 milliarder kroner mindre, hvis det nye forbrug optimeres fleksibelt og intelligent ved hjælp af Smart Grid-funktionaliteter. Konkret reduceres behovet for forstærkninger af distributionsnettet fra 5,7 milliarder kroner til 4,1 milliarder kroner via Smart Grid.

## Rapportens konklusion

Konklusionen på rapportens økonomiske analysearbejde er, at Smart Grid er den mest effektive og billigste metode til at udbygge elsystemet, så det er klar til at håndtere fremtidens udfordringer.

I projektet er der opstillet en række forudsætninger vedrørende den forventede fremtidige udvikling af elproduktionen og elforbruget i Danmark. Disse forudsætninger er forbundet med en vis usikkerhed, fordi det er svært at spå om, hvor hurtig udviklingen vil blive. Dette medfører en usikkerhed, som naturligt vil aflejlige sig i beregningerne. En væsentlig ændring i forudsætningerne vil naturligvis ændre i størrelsen af de beregnede investeringer og gevinster.

Samlet set vurderes beregningerne dog at være så robuste, at konklusionen er klar: Hvis man ønsker et samfund med udbredt anvendelse af elektricitet til transport og opvarmning, vil Smart Grid være den mest effektive og den billigste løsning.

I analysen er der foretaget følsomhedsberegninger, der viser, at denne konklusion er robust under antagelser om såvel færre som flere elbiler i forhold til de grundforudsætninger, der er anvendt i analysen. Specielt er Smart Grid en meget effektiv løsning, hvis der på lang sigt vil komme en endnu større udbredelse af elbiler.

## Fordele for forbrugerne

Etableringen af et Smart Grid vil øge digitaliseringen af de danske husstande. Der vil komme mere måle-, styre- og kommunikationselektronik i husene, hvilket vil give forbrugerne overblik over deres forbrug og mulighed for at opnå et automatisk styret og intelligent elforbrug.

En ekstra gevinst ved udstyret vil være, at forbrugeren vil kunne købe en række relaterede ydelser. Man kan for eksempel forestille sig, at forbrugerne vil kunne modtage en SMS, hvis deres varmepumpe skulle bryde ned, mens de er på vinterferie. De vil kunne vælge automatisk sluk af standby-forbrug i hjemmet, når de ikke er hjemme, og de vil til enhver tid kunne styre temperaturen i huset fra deres telefon eller pc.

Og man må forvente, at der hen ad vejen vil komme nye og innovative produkter til. Produkter, der vil udnytte den nye infrastruktur, ligesom vi har set det med mobiltelefoni og internettet.

Smart Grid vil desuden sikre, at ejere af elbiler vil kunne få deres energiforbrug til transport dækket meget individuelt og fleksibelt, fordi bilens batteri vil kunne lades op til forskellige priser, afhængig af hvor hurtigt det skal gå.

Samtidig vil forbrugerne med et intelligent forbrug og automatiske energisparereløsninger få mulighed for at reducere deres elregning ved at lade deres elapparater fungere automatisk til gavn for sig selv og for elsystemet.

## Realisering af Smart Grid kræver en indsats fra hele sektoren

Kundernes ønsker til nye ydelser vil gøre elsystemet mere omfangsrigt og meget mere dynamisk, end det er i dag. For at honorere dette skal elsystemet i fremtiden integreres yderligere på tværs af de eksisterende grænseflader.

Der skal udvikles én gennemsigtig pris, der dynamisk afspejler omkostningerne i hele elsystemets værdikæde, så kunden kan høste den fulde værdi af at gøre sit forbrug fleksibelt og intelligent. Derudover skal der udvikles systemer og produkter, der gør det let for kunderne at tilbyde deres fleksible forbrug som regulerkraft og reserver og få en gevinst ved dette.

Dette betyder, at såvel systemansvar som netselskaber kommer til at påtage sig nye opgaver. Systemansvaret skal fortsat udvikle markedet for balanceerings- og systemydelser, og netselskaberne skal skabe et realtidsbillede af belastningen af distributionsnettet, som kan indgå i den samlede dynamiske elpris, og derigennem motivere forbrugerne til at bruge el på en måde, der minimerer omkostningerne til netudbygning.

For at sikre en effektiv udvikling af Smart Grid på markedsbaserede vilkår er det afgørende, at såvel rammebetingelser som konkrete løsninger har fokus på at sikre lav kompleksitet og lave omkostninger.

## To nødvendige politiske forudsætninger

Elbranchen skal og vil indtage en aktiv rolle for at sikre en fælles og koordineret udvikling af et intelligent elsystem i Danmark. Dette kræver dog, at de politiske forudsætninger samtidig fremmer en proaktiv adfærd hos alle aktører.

Der er to nødvendige forudsætninger, der er afgørende for at understøtte denne proaktive adfærd.

Den økonomiske regulering af netselskaberne skal sikre, at de deltager aktivt i udviklingen af Smart Grid, og at de foretager de nødvendige, langsigtede investeringer i at skabe et intelligent elsystem. Udgifter, som med den gældende regulering ikke medfører en udvidelse af netselskabernes indtægtsrammer.

Derudover kræves en øget demonstrationsindsats for dels at videreudvikle og tilpasse de nødvendige Smart Grid-teknologier dels at sikre den nødvendige standardisering på området. Derfor bør der fortsat ydes økonomisk støtte fra samfundet til at udføre fokuserede og koordinerede udviklings- og demonstrationsaktiviteter, der fremmer modningen af teknologien og de løsninger, der skal være byggestenene i fremtidens intelligente elsystem. Denne indsats er afgørende for, at Danmark kan opnå en førerposition på Smart Grid-området.

## Vejen frem

Vi vil først se den fulde udrulning af Smart Grid om mange år. Men fundamentet skal skabes nu. En række netselskaber er enten i gang med eller planlægger udskiftning af elmålere hos private forbrugere, og udskiftningen af oliefyr med eldrevne varmepumper er allerede godt i gang. I forhold til el- og plug-in hybridbiler ligger den store udbredelse nogle år ude i fremtiden, men der foregår i dag meget arbejde med konceptudvikling, udvikling af ladestander og planlægning af udbredelsen af hele ladeinfrastrukturen.

Der bør derfor arbejdes målrettet på at afdække behovet for og sikre den nødvendige standardisering og krav til funktionalitet, så disse elementer i videst muligt omfang er forberedt, så de umiddelbart kan fungere i et Smart Grid koncept.

Vejen frem mod et intelligent elnet kan kort beskrives i tre faser. Facilitering på kort sigt. Etablering på mellemlangt sigt, og kommercialisering på langt sigt.

## Faciliteringsfasen (2010-2012)

I perioden fra 2010 til 2012 vil samfundet opleve, at der i stigende grad sker en udbredelse af elektriske varmepumper, og de kommercielle aktører kommer med den første reelle lancering af el- og plug-in hybridbiler.

Ved udgangen af denne periode bør el-sektoren have sikret, at de relevante aktører både inden for og uden for elsektoren er mobiliserede og involverede i tankerne omkring fremtidens elsystem. Samtidig bør der i perioden skabes en masse erfaring gennem udviklings- og demonstrationsprojekter, som kan danne grundlag for rammer og standarder.

## Etableringsfasen (2012-2020)

Fra cirka 2012 til cirka 2020 vil ændringerne på forbrugssiden begynde at tage form, da varmepumperne nu vil have en væsentlig udbredelse, og da forbrugerne så småt er begyndt at købe el- og plug-in hybridbiler.

Denne udvikling gør, at man ved udgangen af perioden skal have et elsystem, hvor den grundlæggende infrastruktur til Smart Grid er etableret. Samtidig skal systemet være så modent, at der begynder at være en udbredelse af kommercielle løsninger, der understøtter et fleksibelt og intelligent elforbrug.

## Kommercialiseringsfasen (2020-)

Forventes at opstå efter 2020. På det tidspunkt vil elektriske varmepumper være den mest udbredte varmekilde uden for fjernvarme- og naturgasområderne. Samtidig vil el- og plug-in hybridbilerne være velkendte og udbredte i gadebilledet.

Denne situation gør, at elsystemet kan balanceres via Smart Grid-funktionalitet i form af intelligent og automatisk styring af forbrugernes fleksible apparater samtidig med, at der skal være videreudviklet på Smart Grid-ydelserne, så der nu er en lang række produkter at vælge imellem for forbrugerne.





# Rammer og forudsætninger for rapporten

Dansk Energi og Energinet.dk har i de senere år arbejdet målrettet med at undersøge de muligheder og udfordringer, som elsystemet står over for givet de ambitiøse politiske målsætninger på klima- og energiområdet. I første halvår af 2010 igangsatte man et fælles projekt med fokus på at analysere perspektiverne i, at Danmark udnytter muligheden for at gøre det danske elsystem mere miljørigtigt og effektivt ved at skabe et fleksibelt og intelligent styret elforbrug i de danske husstande. Platformen for dette intelligente elforbrug skabes i takt med, at forbrugerne i stigende grad investerer i elektriske varmepumper og i en nær fremtid også i el- og plug-in hybridbiler.

Formålet med projektet har været at beskrive og analysere de konkrete udfordringer, som elsystemet står overfor i de kommende 15 til 25 år og beskrive, på hvilken måde og i hvilket omfang Smart Grid-løsninger kan adressere disse udfordringer, samt hvilke alternativer der eksisterer. Det vil give et overblik over, hvilke muligheder de potentielle løsninger skaber for forbrugerne, samt hvilke investeringer løsningerne kræver. Dette overblik er centralt for at skabe grundlag for en fremsynet og langtidsholdbar investeringsplan for elbranchens regulerede virksomheder såvel som aktører, der agerer på rent konkurrenceudsatte, kommercielle betingelser.

Derudover skal projektet beskrive, hvilke rammebetingelser der med fordel kan justeres, for at den bedste løsningsmodel kan realiseres, ligesom projektet skal forsøge at anviser, hvordan etableringen af den bedste løsningsmodel kan foregå i Danmark på kort og på lang sigt.

Arbejdet er udført af en række arbejdsgrupper bestående af medarbejdere fra Energinet.dk, Dansk Energi samt Dansk Energis medlemsvirksomheder. Denne rapport er baseret på disse gruppers analyser og konklusioner, og deres arbejde er detaljeret beskrevet i en række bilagsrapporter.





# 1. Energisystemet står ved en skillevej

Realisering af Danmarks ambitiøse politiske klima- og energipolitiske målsætninger om reduceret CO<sub>2</sub>-udledning, større andel af vedvarende energi særligt i elproduktionen samt forbedring af energieffektiviteten betyder, at el vil få en endnu mere central og bærende rolle i fremtidens energisystem, end det har i dag.

Dette kapitel beskriver, hvad det vil betyde for elsystemet. Konklusionen er, at denne udvikling vil betyde øgede investeringer, som principielt vil kunne følge to spor. Det ene spor kan betegnes som en traditionel udbygningsstrategi, hvor elsystemet forstærkes, og elkunderne fastholdes som "passive" forbrugere, mens det andet spor vil medføre etablering af et intelligent elsystem, et Smart Grid, som med måling, styring og automatik skaber et dynamisk samspil mellem elsystemet og forbrugerne.

Med henblik på at undgå dobbeltinvesteringer er det mest effektive at påbegynde en tilpasning til et Smart Gridspor allerede nu, hvis det er dette, der vurderes mest effektivt på sigt. Således vil økonomien i Smart Grid-sporet blive forringet, hvis der foretages større udbygninger ud fra en traditionel strategi.

## 1.1 Danmarks klima- og energimål vil ændre vilkårene for elsystemet

Danmark har en ambitiøs politisk målsætning, om inden for de næste ti år at reducere CO<sub>2</sub>-udledningen uden for de kvoteomfattede sektorer med 20 procent, øge andelen af vedvarende energi i energiproduktionen til 30 procent, øge andelen af vedvarende energi i transportsektoren til 10 procent

samt forbedre energieffektiviteten. Målsætningerne er et væsentligt skridt på vejen mod det langsigtede politiske mål om at gøre det danske samfund uafhængigt af fossile brændsler. Vejen frem er at tilpasse det danske energisystem og herunder at skabe væsentlige ændringer i elsystemet – både i forhold til den måde, der produceres el på, og brugen af el hos forbrugerne. El, der i stigende grad produceres ved hjælp af vedvarende energi, kan med fordel erstatte fossile brændsler i varme- og transportsektorerne. El vil derfor få en endnu mere central og bærende rolle i fremtidens energisystem, end det har i dag.

På produktionssiden vil der ske en væsentlig udbygning af den danske vindproduktionskapacitet, så vindmøller i 2025 forventes at kunne producere op mod 50 procent af det årlige danske elforbrug. Derudover vil fokus på vedvarende energi og nulenergi huse øge antallet af husstande med lokal energiproduktion i form af solceller, husstands-vindmøller osv. i de kommende år.

Hos forbrugerne vil el i stigende grad blive anvendt i varme- og transportsektoren igennem udbredelse af elektriske varmepumper samt el- og plug-in hybridbiler. I begge disse sektorer kan el nemlig gøre forbruget mere klimavenligt og mere effektivt. Varmesektoren anvender cirka 20 procent af det danske energiforbrug til opvarmning af boliger, og 60 procent af denne energi produceres på fossile brændsler. Eldrevne jord-til-vand varmepumper kan producere den samme mængde varme som i dag med et energiforbrug, der er 50-75 procent lavere<sup>1</sup>. I transportsektoren anven-

des andre cirka 20 procent af det danske energiforbrug på vejtransport, og her er næsten 100 procent forsynet af fossile brændsler. Motoren i en elbil er mere energieffektiv end en benzin- eller dieselmotor, da den kan køre den samme afstand med 50-75 procent mindre energi tilført<sup>2</sup>. Forbrugerne vil ved at investere i varmepumper samt el- og plug-in hybridbiler derfor kunne bidrage væsentligt til:

- forbedring af energieffektiviteten
- reduktion af CO<sub>2</sub>-udledningen ved at erstatte fossile brændstoffer med VE-baseret elektricitet
- realisering af målsætningen om 10 procent vedvarende energi i transportsektoren
- at mindske afhængigheden af importeret olie og naturgas

## 1.2 Ændringerne i elsystemet nødvendiggør et valg af dets fremtidige udformning

Dagens elsystem er baseret på en række grundlæggende forudsætninger om produktion og forbrug. For det første sikres balancen mellem forbrug og produktion grundlæggende ved, at produktionen følger forbruget, dog ved aktiv brug af vores forbindelser til udlandet. For det andet er elsystemet et envejssystem i og med at elektriciteten næsten udelukkende er blevet transporteret fra elsystemet til forbrugeren. For det tredje er det afgørende hele tiden at have nogle centrale kraftværker kørende for at skabe og fastholde den elektrotekniske systemstabilitet.

<sup>1</sup> "Effektiv anvendelse af vindkraftbaseret el i Danmark", Energinet.dk, 2009

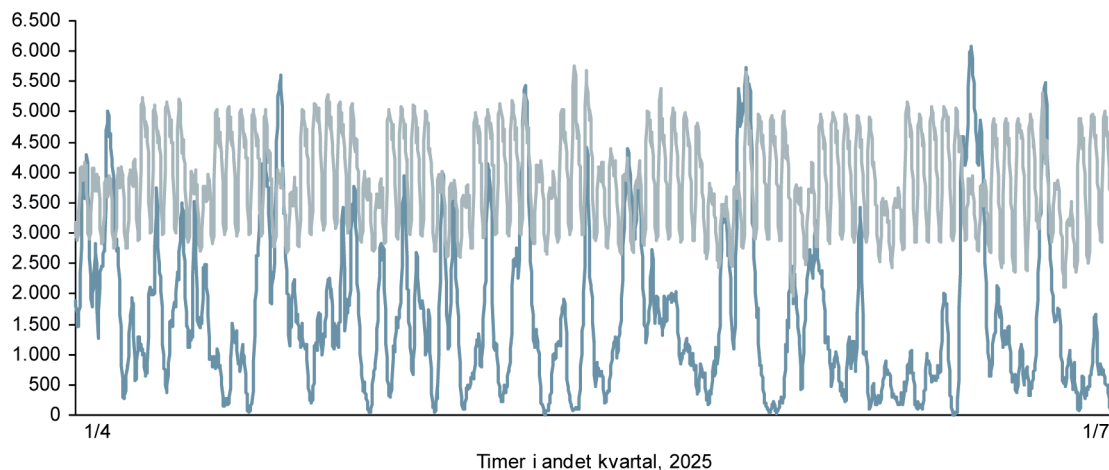
<sup>2</sup> "Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren", COWI, 2007. Effektiviteten er baseret på mekanisk output i forhold til inputenergi.

**Ved en kraftig udbygning af vindkraftkapaciteten vil der i meget vindfyldte perioder blive produceret betydelige mængder el, der med fordel kan anvendes af et fleksibelt og intelligent styret elforbrug**

MWh per time fremskrevet til 2025 baseret på 2010 forbrug og vindproduktion

— Vindkraft-produktion  
— Forbrug

Estimeret produktion  
og forbrug i 2025

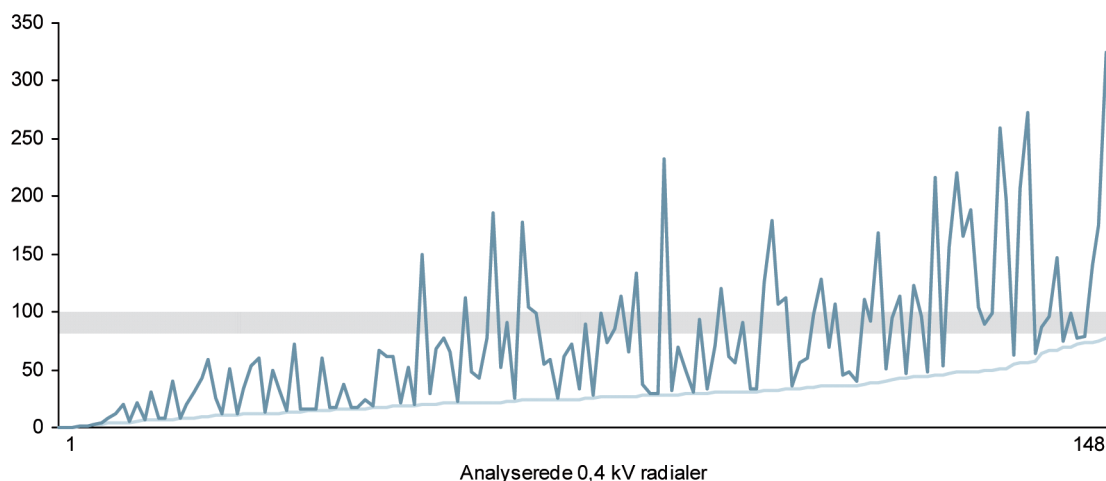


Figur 1. Vindmøller vil i fremtiden producere betydelige mængder el, der med fordel kan anvendes i Danmark via intelligent styret forbrug, og som vil skabe tidspunkter, hvor der ikke er kommercielt grundlag for drift af centrale kraftværker.

**En analyse af 148 udvalgte radialer i lavspændingsnettet viser, at mange ledninger i fremtiden vil skulle overføre mere el, end de i dag er bygget til.**

— Belastningsgrad i 2010  
— Belastningsgrad i 2025, hvis der ikke forstærkes  
— Belastningsgrænse

Belastningsgrad  
i procent



Figur 2. Det øgede elforbrug vil nødvendiggøre større kabler i mange dele af el-nettet, og samtidig vil det skabe større udsving i spændingen på ledninger på de enkelte villaveje, når forbruget svinger meget.

I takt med at elsystemet fremadrettet gennemgår markante ændringer på produktionssiden som beskrevet ovenfor, vil der i elsystemet skulle arbejdes på nye måder for at sikre:

- *En effektiv anvendelse af vindkraftproduktionen.* Elproduktionen fra vindmøller kan ikke fastlægges til bestemte tidspunkter, og ved en kraftig udbygning af vindkraftkapaciteten vil der i meget vindfyldte perioder blive produceret betydelige mængder el, der med fordel kan anvendes af et fleksibelt og intelligent styret elforbrug
- *Adgang til systemydelser<sup>3</sup> fra nye kilder.* I takt med, at vindkraften bliver hovedkilden til elproduktionen, vil det være hensigtsmæssigt at sørge for, at forbrugerne gives bedre mulighed for at bidrage til leverancer af systemydelser til elsystemet, så elsystemet kan fungere, hvis der opstår tidspunkter, hvor der ikke er et kommercielt grundlag for, at centrale kraftværker er i drift

Samtidig vil ændringerne på forbrugssiden betyde, at der i distributionsnettet skal tænkes nye tanker for at sikre:

<sup>3</sup> Systemydelser er produktionskapacitet til reserver og regulerkraft, inert i samt kortslutningseffekt.

En effektiv udbygning af overførselskapaciteten i distributionsnettet<sup>4</sup>. Introduktionen af el- og plug-in hybridbiler samt varmepumper vil betyde, at elnettet i fremtiden skal overføre mere el, end det i dag er bygget til at kunne klare. Derfor skal det forstærkes på den mest effektive måde

Fortsat fastholdelse af en stabil spænding i distributionsnettet. Mange elforbrugende apparater har behov for, at spændingen i distributionsnettet er stabil, hvis de skal fungere korrekt. Et øget antal elproduktionsenheder på husstands niveau sammen med et nyt og meget fluktuerende forbrugsmønster vil medføre en øget variation i spændingen i de lokale distributionsnet og vil skabe en mere ustabil spænding til gene for forbrugerne.

Traditionelt set har elsektoren tilpasset elsystemet til ændringer i omverdenen ved at lægge flere og større kabler i jor-

<sup>4</sup> Energinet.dk har tidligere konkluderet, at et intelligent elforbrug ikke er et alternativ til udbygninger i transmissionsnettet, da udbygningsbehovet af dette i højere grad dimensioneres af udviklingen i elsystemets produktionssammensætning og samhandlen i det grænseoverskridende elmarked. Udbygningsbehovet i transmissionsnettet har derfor ikke været analyseret nærmere i dette projekt.

den, ved at opstille flere transformestationer og ved at sikre adgang til tilstrækkelig produktionskapacitet. Forbrugerne har primært været 'passive' forbrugere med et forudsigeligt og regelmæssigt forbrugsmønster. Elsektoren har fortsat mulighed for at følge den traditionelle strategi, men nye teknologier giver en alternativ mulighed. Denne nye mulighed er at påbegynde etableringen af et intelligent elsystem – et Smart Grid – der skaber helt nye perspektiver for, at elforbrugerne kan interagere med elsystemet og produktionen. Det kan ske igennem automatiseret og intelligent styring af forbrugernes apparater, så de kan fungere som ressourcer for elsystemet.

Da Smart Grid er en ny måde at udvikle elsystemet på, som er væsentligt anderledes end den traditionelle udbygningsstrategi, skal der træffes et valg om den ene eller den anden strategi. Dette valg skal sikre, at alle aktører trækker i samme retning, og at der dermed forhindres investeringer i og omkostninger til udstyr og systemer, som ikke vil blive udnyttet optimalt.



## Hvad er Smart Grid?

Smart Grid-begrebet er de seneste år blevet udbredt, og i forskellige sammenhænge anvendes begrebet med vidt forskellige betydninger. I dette projekt analyseres den del af Smart Grid som muliggør et effektivt samspil mellem vindkraftproduktion, varmepumper i private husstande samt el- og plug-in hybridbiler. Både Dansk Energi og Energinet.dk arbejder i andre sammenhænge med Smart Grid i bredere betydninger.

Det er mange beskrivelser og definitioner af, hvad et Smart Grid er. En udmærket definition foreslås af "European Technology Platform", der definerer Smart Grid som "Intelligente el-systemer, der kan integrere alle tilkoblede brugeres adfærd og handlinger – både dem der producerer el, dem der forbruger el,

og dem der gør begge dele – for effektivt at kunne levere en bæredygtig, økonomisk og sikker elforsyning."<sup>1</sup>

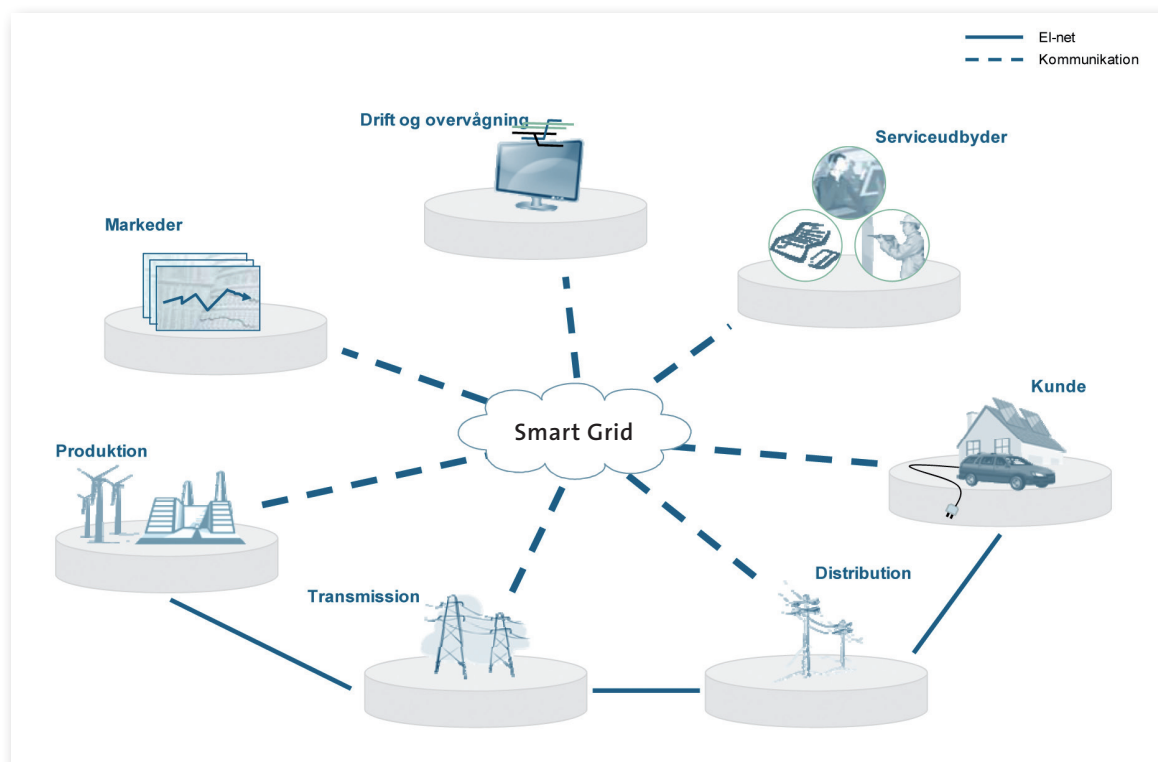
Internationale undersøgelser identificerer en række konkrete fordele for forbrugere, miljø og samfund ved at indføre Smart Grid i et elsystem. Disse fordele omhandler primært<sup>2, 3</sup>

- Bedre systemstabilitet med højere leveringssikkerhed til følge
- Flere muligheder for billigere og mere effektivt at skabe effektbalance
- Hurtigere udbedringer af fejl i elnettet
- Et reduceret behov for investeringer i elnettet

<sup>1</sup> Kilde: Smart Grid definition, [www.smartgrids.eu](http://www.smartgrids.eu)

<sup>2</sup> Kilde: "What's So Smart about the Smart Grid?", Booz&CO 2008

<sup>3</sup> Kilde: "European Technology Platform SmartGrids", Europakommisionen, 2006



Figur 3. Et dansk Smart Grid bygger oven på den eksisterende infrastruktur og skaber nye muligheder for interaktion med forbrugerne.



- Generelle energibesparelser og lavere priser på el til elbiler og varmepumper for forbrugerne
- Øget integration af vedvarende energi via fleksibiliteten i elbiler og varmepumper, hvor en mindre tidsmæssig forskydning af forbruget ikke vil reducere forbrugernes komfort.

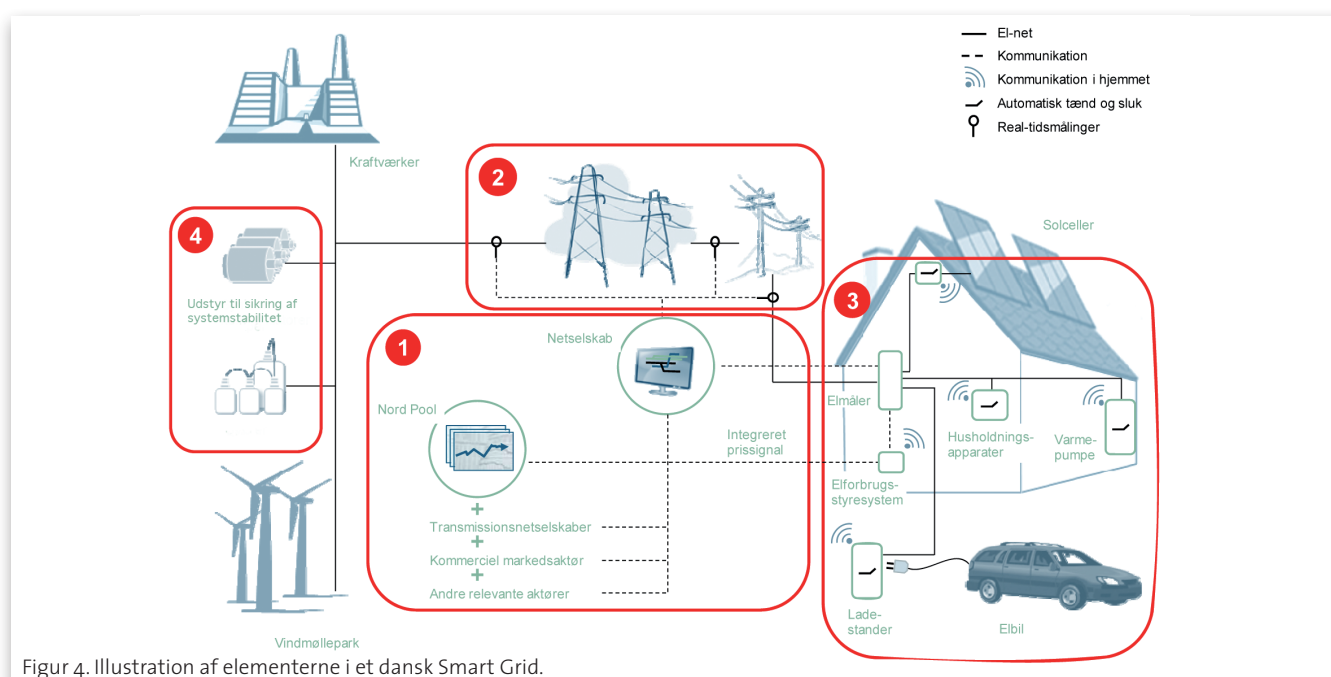
I dette projekt analyseres Smart Grid som vejen til at udvikle et elsystem, der kan skabe et fleksibelt, intelligent elforbrug med de komponenter, der er nødvendige for effektivt at integrere mere vindmøllestrøm, flere elproduktionsapparater på husstandsniveau, elektriske varmepumper samt el- og plug-in hybridbiler. Analyserne har vist, at et sådant Smart Grid kan give forbrugerne mulighed for aktivt at

- levere systemstabiliserende ydelser til elsystemet,
- reducere behovet for forstærkning af distributionsnettet
- forbruge el, når det er billigt
- opnå generelle energibesparelser.

Et sådant system kan skabe økonomiske gevinster for både samfundet og forbrugerne – uden komforttab til følge, og systemet er konceptuelt gengivet i følgende illustration.

En mere detaljeret gengivelse af det beskrevne Smart Grid og dets elementer er illustreret i figur 4, hvor de nummerede områder er beskrevet i teksten efter figuren.





Figur 4. Illustration af elementerne i et dansk Smart Grid.

## 1 Systemer til tværgående koordinering og dataudveksling imellem elsystemets aktører

Smart Grid kræver en tæt koordinering på tværs af elsystemets grænseflader, og det vil derfor være nødvendigt at etablere it-systemer, der kan modtage og behandle data om elsystemets tilstand - for de flestes vedkommende online. Disse it-systemer skal gøre det muligt at efterleve forbrugernes ønsker og behov, uden at elsystemet overbelastes, og således at forbrugernes fleksibilitet kan belønnes.

## 2 Udstyr til måling af distributionsnettets tilstand

Måling af distributionsnettets tilstand er en forudsætning for at kunne sikre, at distributionsnettet ikke overbelastes. Derfor skal der installeres måleudstyr i distributionsnettets knudepunkter i de områder, hvor der vil opstå risiko for en sådan overbelastning. Dette måleudstyr skal kunne udsende informationer om nettets tilstand og belastning i real-tid.

## 3 Udstyr til fleksibel styring og afregning af forbruget hos forbrugere, der investerer i varmepumpe eller en elbil

Den fleksible styring af forbruget håndteres af en eller flere elektroniske enheder i forbrugernes hjem, som kan styre forbruget til hjemmets fleksible, elforbrugende apparater. Styringen kan på samme tid maksimere forbrugerens komfort og sikre et effektivt samspil med elsystemets behov udtrykt gennem prissignaler. Den fleksible afregning foretages ved hjælp af data fra en fjernflæst elmåler<sup>4</sup>. Den elektroniske enhed sørger for, at det er forbundet med mindst muligt besvær for forbrugeren at optimere elforbruget intelligent. Elmåleren er en vigtig

brik i etableringen af et intelligent elsystem, men vil isoleret set ikke kunne skabe den ønskede ambitiøse omstilling til et mere fleksibelt forbrug og intelligent elsystem. Det er nødvendigt, at elmålerens data understøttes af et kontraktforhold mellem forbruger og elleverandør, der giver forbrugeren en gevinst ved at agere fleksibelt; fx afregning i henhold til timepriserne i engros-markedet.

## 4 Udstyr til sikring af systemstabilitet

En fremtid med mere vindkraft vil gøre, at der kan være perioder, hvor kraftværkerne ikke vil have et økonomisk rationale til at være i drift. Der skal under alle omstændigheder sikres systemstabiliserende ydelser som inert og kortslutningseffekt, der normalt kommer fra kraftværker. Der er ikke i projektet taget stilling til, hvordan dette sikres mest effektivt, men det er beregningsmæssigt antaget, at systemstabiliteten sikres via opstilling af synkronkompensatorer og SVC'er,

For at binde Smart Grid elementerne effektivt sammen, skal der sikres en velfungerende arbejdsdeling mellem branchens regulerede aktører og rent konkurrenceudsatte virksomheder. Samtidig skal der skabes et markedsdesign, som faciliterer et velfungerende samspil mellem aktørerne.

Omstillingen til et energisystem, som hjælper Danmark tættere på sine klima- og energipolitiske målsætninger, vil kræve betydelige investeringer i hele energisystemet og specielt i elsystemet.

Analyserne viser, at elsystemet mest effektivt håndterer et øget og ændret elforbrug samt mere fluktuerende produktion ved at etablere et Smart Grid, der skaber et dynamisk samspil mellem elsystem og forbrugere igennem måling, styring og automatik i elnettet og hos forbrugeren.

<sup>4</sup> Det antages i dette projekt, at alle private forbrugere med varmepumpe og/eller elbil vil have en elmåler, som kan registrere og gemme forbrugerens elforbrug for hver time. Denne forudsætning afspejler, at en lang række netselskaber i dag har eller planlægger at udrulle målere, som kan leve op til disse krav, og at flere af netselskaberne løbende vil installere nye, fjernflæselige målere hos kunder med fleksibelt forbrugspotentiale, når den "gamle" elmåler skal skiftes. For nogle forbrugere vil det også blive aktuelt at skifte den eksisterende elmåler, når forbrugeren anskaffer sig en forbrugsenhed med mulighed for fleksibelt elforbrug – en elbil eller en elektrisk varmepumpe.

## 2. Smart Grid er den effektive vej til at indpasse et yderligere elforbrug

### 2.1 Omstillingen af energisystemet kræver store investeringer

Fremtiden vil bringe store ændringer i både energiproduktionen og energiforbruget. Produktionen vil ændres, så den baserer sig mere på vedvarende energi, hvilket blandt andet vil ske igennem en udbygning med vindkraft. Skal Danmark blive mindre afhængig af fossile brændsler, skal forbrugernes energiforbrug ændres til i større grad at kunne anvende den nye vedvarende energi effektivt fx ved hjælp af elektriske varmepumper samt el- og plug-in hybridbiler. Disse ændringer vil kræve betydelige investeringer fra både samfundet og forbrugerne, som dette projekt ikke har forsøgt at kvantificere. Projektet har lagt til grund for analyserne, at vindmøllekapaciteten udbygges til at kunne dække ~50% af det årlige danske elforbrug, at der samlet vil være ~600.000 el- og plug-in hybridbiler samt at der vil være ~300.000 individuelle varmepumper i Danmark – alt sammen i 2025<sup>5</sup>. Det er dog ikke afgørende for projektets analyser og konklusioner, om det netop bliver i dette årstal, at den nævnte udvikling opnås.

Denne udvikling vil medføre et behov for at få de nye fluktuerende produktionsformer og de nye forbrugsformer til at spille effektivt sammen. Elnettet og dets komponenter er det centrale bindeled imellem produktion og forbrug. Et øget elforbrug og mere fluktuerende produktion vil stille krav om investeringer i elnettet for at få enderne til at mødes.

Hvor store disse investeringer bliver, afhænger dels af hvor effektivt elnettet kan udnyttes og dels af forbrugernes mulighed for at agere fleksibelt.

Analysen omfatter ikke investeringer i overførselskapacitet i transmissionsnettet, da dette er nøje analyseret i forbindelse med Elinfrastrukturudvalgets arbejde i 2008<sup>6</sup>.

### 2.2 Smart Grid er den mest effektive og billigste metode til at opgradere elsystemet

Konklusionen på det økonomiske analysearbejde er, at Smart Grid er den mest effektive og billigste metode til opgradering af elsystemet, så det er klar til at håndtere de fremtidige udfordringer.

Dette skyldes, at etablering af et Smart Grid vil koste samfundet cirka 9,8 milliarder kroner i investering i måling, styring og automatik hos forbrugerne og i elnettet. Denne investering vil give samfundet gevinster for i alt cirka 8,2 milliarder kroner, så den samlede omkostning bliver cirka 1,6 milliarder kroner.

Alternativet til Smart Grid er en traditionel udbygningsstrategi, hvor den samfunds-mæssige investering vil være cirka 7,7 milliarder kroner, uden at der skabes nogle gevinster. Dermed er fordelene ved at forfølge Smart Grid-sporet cirka 6,1 milliarder kroner. Disse beregninger<sup>7</sup> er yderligere detaljeret i det følgende<sup>8</sup>.

<sup>6</sup> Se <http://www.energinet.dk/da/menu/Planlægning/Udbygning+af+elsystemet/Udbygning+af+elsystemet.htm>

<sup>7</sup> Beregningerne tager ikke højde for den såkaldte nettoafgiftsfaktor. Nettoafgiftsfaktoren er en beregningsteknisk størrelse, der søger at korrigere for forskelle mellem faktor- og forbrugerpriser (se mere i Finansministeriets vejledning i samfundsøkonomisk analyse). En anvendelse i dette projekt vil udelukke have ændret tallenes absolutte størrelse og ikke deres relative forhold.

<sup>8</sup> De økonomiske beregninger beskriver den samfunds-mæssige økonomi i relation til elfrembringelse.

### 2.3 Samfundsmæssig omkostning ved etablering af et Smart Grid

Opgradering af det danske elsystem til et dansk Smart Grid vil kræve investeringer og vil dermed generere øgede omkostninger. Analysearbejdet har identificeret nødvendige investeringer og omkostninger, der summerer til en samlet samfundsmæssig omkostning på cirka 9,8 milliarder kroner. Denne omkostning udgøres af følgende poster

- Måleudstyr i distributionsnettet, som løbende kan give et overblik over, hvordan distributionsnettet er belastet. Dette er en væsentlig forudsætning for – i kombination med elprisen på engros markedet – at danne integrerede prissignaler, som forbrugerne kan agere efter til fordel for dem selv og elsystemet. Hertil kommer omkostninger, der er nødvendige for, at forbrugere med elbiler og varmepumper kan anvende timeafregning, hvilket sikres ved en opgradering af deres elektroniske elmålere. (~2,1 milliarder kroner)
- Elektronik hos forbrugerne, der automatisk kan kommunikere med elsystemet og på baggrund af dette – samt forbrugerens ønsker – kan styre husstandens elforbrug (~1,6 milliarder kroner)
- Udbygning og forstærkning af distributionsnettet i områder, hvor Smart Grid-funktionalitet alene ikke kan håndtere overbelastningen (~4,1 milliarder kroner)
- Investering i anlæg til at sikre systemstabiliteten, i et elsystem med væsentligt mere vindkraft. (~1,7 milliarder kroner)
- Måle- og styresoftware hos Energinet.dk og netselskaberne, der kan opsamle og behandle data samt sik-

Medmindre andet er angivet, er alle beløb en tilbage-diskonteret nutidsværdi af fremtidige pengestrømme baseret på en diskonteringsrate på 5 procent per år.

<sup>5</sup> Antallet af elbiler er baseret på scenario A2 fra EFP-projektet "El til Vejtransport, Fleksible El-systemer og Vindkraft", og antallet af varmepumper er estimeret ved at analysere potentialet for udskiftning af eksisterende individuelle varmeanlæg, primært oliekedler og elvarme

re tilstrækkelig datakommunikation imellem både de regulerede og de kommercielle aktører i elsystemet (~0,3 milliarder kroner).

Analyserne har også undersøgt gevinsterne ved Smart Grid i en dansk kontekst. Det danske elsystem er i dag meget robust med en høj leveringssikkerhed, og derfor er der ikke en væsentlig Smart Grid-gevinst ved forbedring af leveringssikkerheden, selv om det ofte fremhæves i udlandet. Analysen viser dog, at de øvrige gevinstområder in-

deholder et væsentligt dansk potentiale, som kan opgøres til en samfundsmæssig gevinst på cirka 8,2 milliarder kroner fordelt på følgende områder

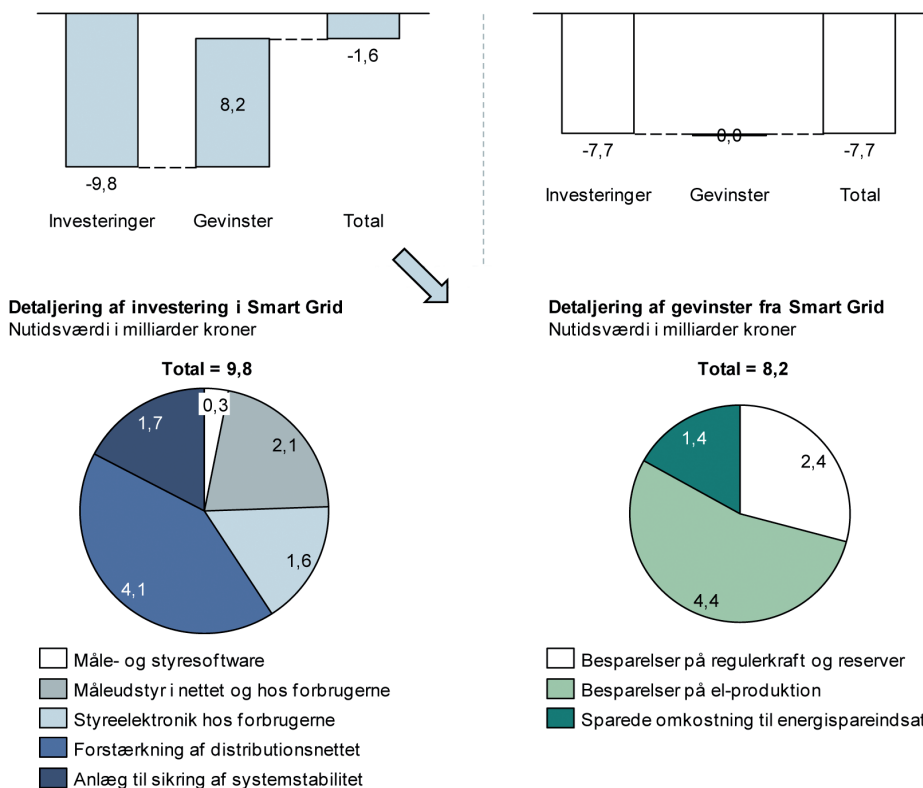
- Udnyttelse af elbilers og varmepumpers tidsmæssige fleksibilitet kan flytte disses elforbrug til tidspunkter med billig strøm og dermed reducere de samfundsmæssige omkostninger til den samlede elproduktion, uden at forbrugernes oplevede komfort reduceres (~4,4 milliarder kroner)
- Omkostningerne til regulerkraft, reserver og systemydelse kan reducere-

res ved at give flere udbydere med lave omkostninger adgang til markedet (~2,4 milliarder kroner)

- En tydeliggørelse af forbrugernes elforbrug samt en mulighed for automatiserede energi-besparelsesløsninger fx igennem automatisk standby-funktion kan reducere det samlede elforbrug, hvilket sparer samfundet for de alternative omkostninger, det ellers ville koste at lave denne energispareindsats (~1,4 milliarder kroner).

**Smart Grid har en samfundsmæssig meromkostning på cirka 1,6 milliarder kroner imod 7,7 milliarder kroner ved traditionel netudbygning**  
Samfundøkonomi i milliarder kroner

Smart Grid  
Traditionel udbygning



Figur 5. Investeringer og gevinster ved etablering af fremtidens elsystem.



Hertil kommer yderligere gevinster i form af bedre mulighed for hurtigere at lokalisere fejl i elnettet og dermed reducere varigheden af eventuelle strømafbud, en potentiel reduktion i produktionsenheder til dækning af spidslast-behovet samt udvikling af knowhow i Danmark, der kan sikre at den danske førerposition på området omsættes i arbejdspladser og eksport. Disse gevinster er dog ikke værdisat i dette projekts arbejde, men repræsenterer en betydelig up-side til analysens konklusioner.

Det samlede regnestykke viser, at fremtidens elsystem med Smart Grid kan etableres med en samfundsmæssig nettoomkostning på cirka 1,6 milliarder kroner, der fordeler sig på 9,8 milliarder kroner i investeringer og 8,2 milliarder kroner i gevinster. Gevinsterne kan realiseres under forudsætning af, at alle Smart Grid-potentialer kommercialiseres.

## 2.4 Samfundsmæssig omkostning ved fortsat traditionel udbygning

De fremtidige udfordringer for elsystemet vil som et alternativ til Smart Grid kunne håndteres med en traditionel udbygningsstrategi, hvor der ikke fokuseres på at skabe øget forbrugerinvolvering i elsystemet, men blot på at styrke elnettet.

Hvis denne metode vælges til at løse udfordringerne, vil den samfundsmæssige omkostning til elfrembringelse øges med cirka 7,7 milliarder kroner og dermed udgøre cirka 6,1 milliarder kroner mere end de samfundsmæssige nettoomkostninger ved en Smart Grid-udbygningsstrategi.

Den store del af omkostningerne (~5,7 milliarder kroner) skyldes behovet for at forstærke distributionsnettet. Dette be-

hov opstår, fordi specielt elbiler og til dels varmepumper vil trække energi fra distributionsnettet sidst på eftermiddagen og først på aftenen, hvis ikke deres forbrug optimeres intelligent. Dette øgede forbrug vil falde sammen med det tidspunkt, hvor der allerede i dag er størst pres på distributionsnettet – den såkaldte 'kogespids'.

En mindre del af omkostningerne (~2,0 milliarder kroner) skyldes behovet for at installere nye elektriske anlæg, der kan sikre systemstabiliteten i et dansk elsystem, med en væsentligt udbygget vindmøllekapacitet.

I modsætning til en etablering af et intelligent elsystem, vil den traditionelle udbygningsmetode og forbrugeradfærd ikke skabe samfundsmæssige gevinster i form af reducerede system- og produktionsomkostninger samt yderligere energibesparelser.



## 2.5 Økonomien i Smart Grid er god selv under andre forudsætninger

I projektets arbejde er der gjort en række forudsætninger omkring den forventede fremtidige udvikling af elproduktionen og elforbruget i Danmark. Der er en vis usikkerhed omkring, hvordan denne udvikling præcis vil være, og dette medfører naturligvis en usikkerhed omkring projektets forudsætninger, som naturligt vil afleje sig i beregningerne. En væsentlig ændring af forudsætningerne vil naturligvis ændre i størrelsen af de beregnede investeringer og de beregnede gevinster.

Samlet set vurderes beregningerne dog at være så robuste, at konklusionen er klar: Hvis man ønsker et samfund med udbredt anvendelse af elektricitet til transport og opvarmning, vil Smart Grid være den mest effektive og billigste løsning.

Projektets analyser af de langsigtede implikationer af et elektrificeret sam-

fund indikerer tydeligt, at Smart Grid er en langsigtet bedre samfundsøkonomisk og teknisk løsning end traditionel udbygning af elsystemet. Specielt vil en øget mængde vindkraft eller et større antal forbrugsapparater med et stort og fleksibelt forbrug kunne øge værdien væsentligt. Specifikt er der i projektet regnet på, at der samfundsøkonomisk vil kunne spares yderligere et milliardbeløb ved at have implementeret et dansk Smart Grid under forudsætning af at antallet af elbiler stiger væsentligt i perioden efter 2025.<sup>9</sup>

Der er beregnet på et eksempel på lang sigt, hvor halvdelen af den danske bilpark udgøres af el- og plug-in hybridbiler. Med et allerede etableret dansk Smart Grid vil det øgede antal el-biler kunne integreres i dette og samlet set udløse en samfundsmæssig nettogevinst i elsystemet på cirka 1 milliard kroner. Denne gevinst opnås ved at udføre mindre investeringer, der sikrer elbilernes inte-

<sup>9</sup> I projektets beregninger er der forudsat en forøgelse af antallet af el- og plug-in hybridbiler fra cirka 600.000 i 2025 til cirka 1.100.000 i 2030. Denne udvikling er baseret på scenariet A2 fra EFP-projektet "El til Vejtransport, Fleksible El-systemer og Vindkraft"

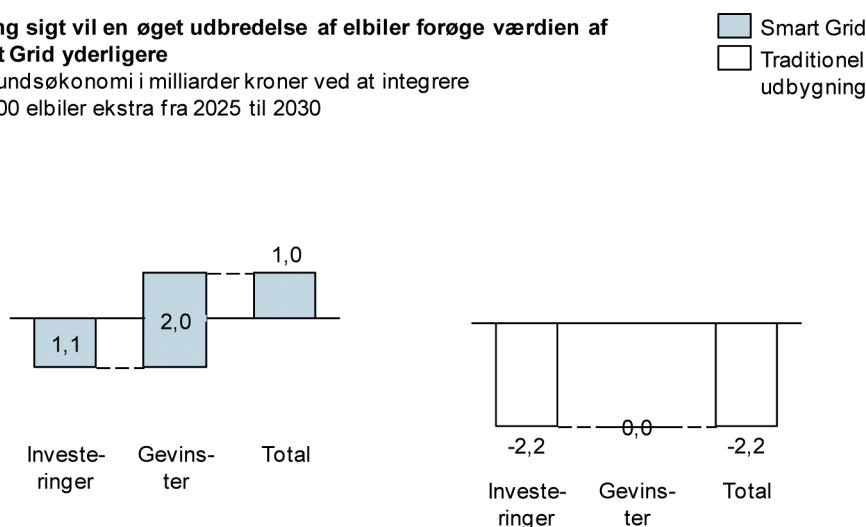
gration i elsystemet og samtidig skaber væsentlige samfundsøkonomiske besparelser igennem billigere elproduktion og energibesparelser hos ejerne af de nye elbiler.

Ved traditionel udbygning af elsystemet vil det øgede antal elbiler skabe en samfundsmæssig meromkostning på cirka 2,2 milliarder kroner. Med denne metodik vil netselskaberne udføre lokale og individuelle forstærkninger og udbygning af deres distributionsnet, når der identificeres områder med risiko for overbelastning. Derfor vil behovet for investeringer stige løbende og i takt med, at der opstår nyt forbrug.

Analyserne viser ligeledes, at konklusionen vil være den samme – også hvis der fx kommer færre elbiler end antaget ovenfor. Nettoomkostningen ved 300.000 elbiler er 6,2 milliarder kroner. I ved traditionel udbygning, mens den er 2,5 milliarder kroner ved et udbygning via Smart Grid.

### På lang sigt vil en øget udbredelse af elbiler forøge værdien af Smart Grid yderligere

Samfundsøkonomi i milliarder kroner ved at integrere 500.000 elbiler ekstra fra 2025 til 2030



Figur 6. Et intelligent elsystem vil også på lang sigt være samfundsøkonomisk fordelagtigt.

# De økonomiske beregninger

De økonomiske beregninger i projektet er blevet udført i de enkelte arbejdsgrupper. Denne oversigt giver en kort introduktion til beregningerne, som kan findes i detaljer i bilagsrapporterne fra de enkelte arbejdsgrupper. Alle beregninger er foretaget ud fra en samfundsøkonomisk<sup>11</sup> betragtning og er opgjort i nutidsværdier baseret på en årlig diskonteringsrate på 5 procent.

## Investeringerne

Investeringerne i at opgradere det danske elsystem til et intelligent elsystem vil løbe op i cirka 9,8 milliarder kroner. Videreførelse af den nuværende metode med traditionel netudbygning vil kræve investeringer på cirka 7,7 milliarder kroner.

## Gevinsterne

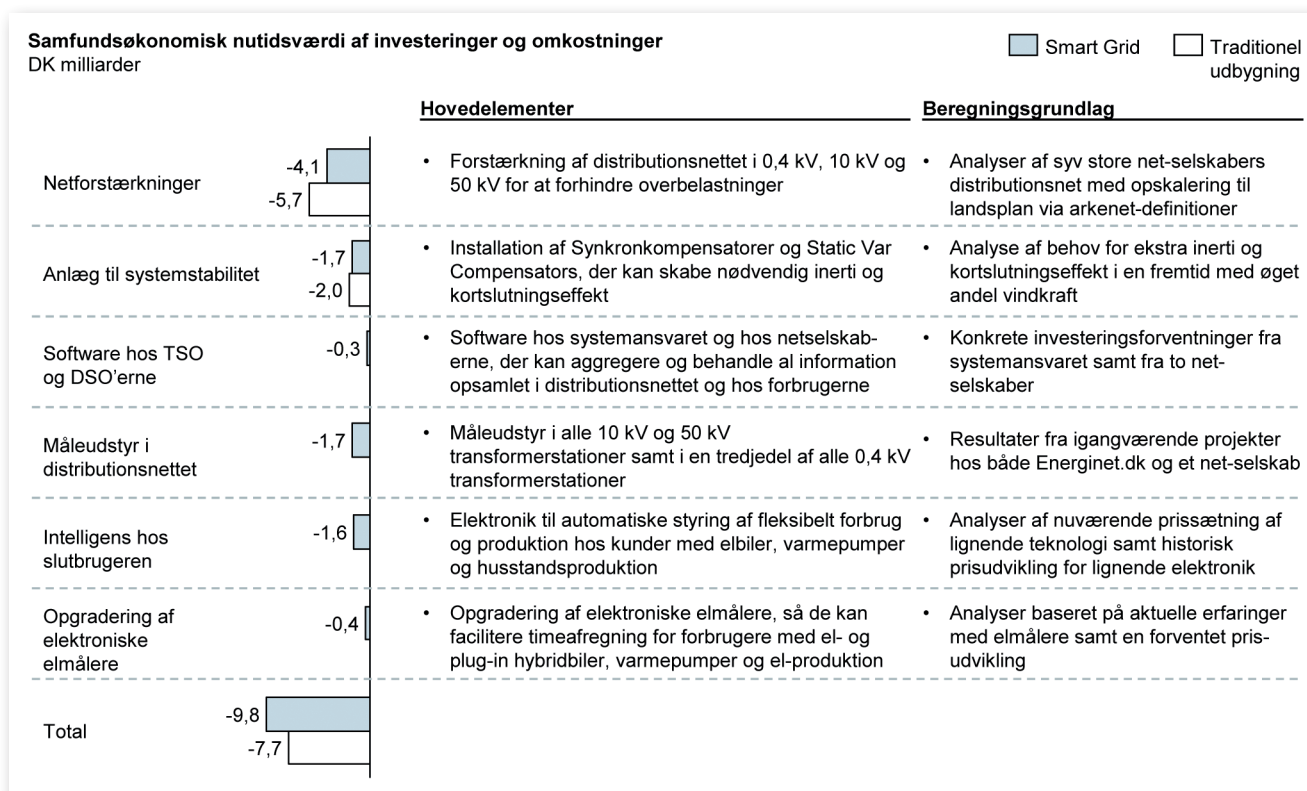
Investeringen i at skabe et intelligent elsystem i Danmark vil

<sup>11</sup> Beregningerne tager ikke højde for Finansministeriets nettoafgiftsfaktor. Se note 8.

give mulighed for at skabe gevinster med en værdi på cirka 8,2 milliarder kroner. Videreførelse af den nuværende metode med traditionel netudbygning vil ikke på samme måde kunne skabe gevinster.

## Økonomien i Smart Grid er god – selv under andre forudsætninger

I projektets arbejde er der gjort en række forudsætninger omkring den forventede, fremtidige udvikling af elproduktionen og elforbruget i Danmark. Der er en vis usikkerhed omkring, hvordan denne udvikling præcis vil være, og dette medfører naturligvis en usikkerhed omkring projektets forudsætninger, som naturligt vil afleje sig i beregningerne. En væsentlig ændring af forudsætningerne vil naturligvis ændre i størrelsen af de beregnede investeringer og de beregnede gevinster. Samlet set vurderes beregningerne dog at være så robuste, at



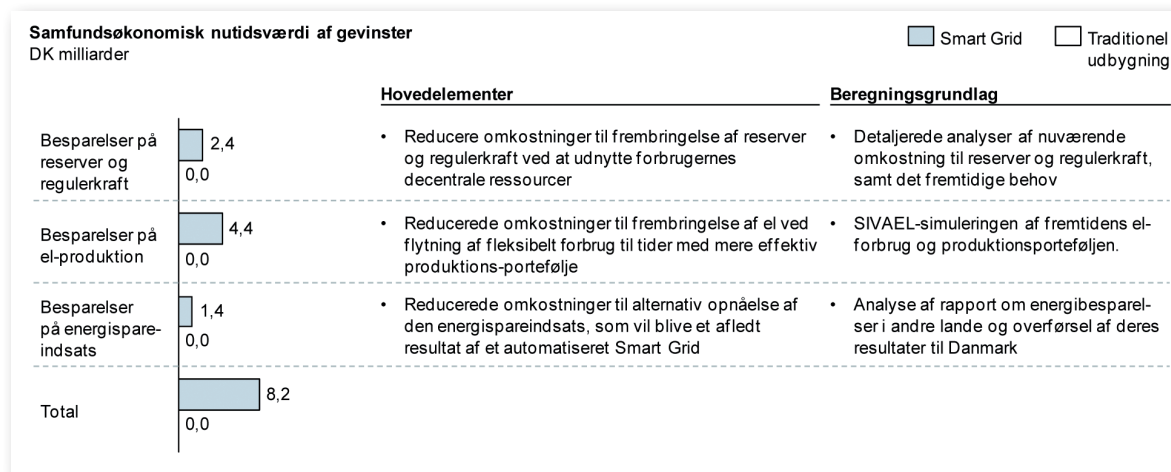
Figur 7. Investeringer og omkostninger til etablering af fremtidens elsystem i Danmark.

konklusionen er klar: Hvis man ønsker et samfund med udbredt anvendelse af elektricitet til transport og opvarmning, vil Smart Grid være den mest effektive og billigste løsning.

Specifikt er der i projektet regnet på, at der samfundsøkonomisk vil kunne spares yderligere et milliardbeløb ved at have implementeret et dansk Smart Grid under forudsætning af, at

antallet af elbiler stiger væsentligt i perioden efter 2025.

Der er regnet på et eksempel på lang sigt, hvor halvdelen af den danske bilpark udgøres af el- og plug-in hybridbiler. Med et allerede etableret dansk Smart Grid vil det øgede antal elbiler kunne integreres i dette og samlet set udløse en samfundsmæssig nettogevinst i elsystemet på cirka 1 milliard kroner.



Figur 8. Gevinster fra etableringen af fremtidens elsystem i Danmark.

| Argument                                                                                         | Implikation                                                                                                                                                                                                                                                                      | Konsekvens for Smart Grid potentialet |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Der vil komme færre el-biler i Danmark eller udbredelsen forsinkes                               | Der vil være et mindre behov for at investere i udstyr hos elbilerne. Til gengæld vil der også være færre Smart Grid gevinster i form af en reduktion af besparelsen på netforstærkninger samt en reduktion i de afledte energibesparelser                                       | Potentialet reduceres                 |
| El-bilerne vil have en højere ladeeffekt                                                         | Presset på distributionsnettets overførelseskapacitet vil være højere, og derfor vil en intelligent styring af enhedernes ladeeffekt vha. Smart Grid kunne give øgede gevinster                                                                                                  | Potentialet øges                      |
| Der vil komme flere varmepumper i Danmark                                                        | Flere varmepumper vil med Smart Grid give en større mulighed for igennem fleksibelt forbrug at reducere de samfundsmæssige omkostninger til elproduktion. Der vil også være flere husstande, som kan opnå afledte energibesparelser                                              | Potentialet øges                      |
| Der vil komme færre varmepumper i Danmark, da der i stedet vil komme individuelle biomasse-anlæg | Færre varmepumper vil betyde, at der er mindre gevinst ved fleksibelt forbrug og færre husstande med potentiale for afledte energibesparelser. Omkostningerne til udbygning af distributionsnettet vil dog også blive reduceret                                                  | Potentialet reduceres                 |
| Varmepumperne vil have en større akkumulerings-tank                                              | Varmepumper med en større akkumulerings-tank vil med Smart Grid muliggøre, at opvarmningen bliver mere tidsmæssig fleksibel. Det vil kunne skabe reducerede omkostninger til netforstærkninger, lige som det vil kunne reducere de samfundsmæssige omkostninger til elproduktion | Potentialet øges                      |
| Der vil komme flere lokale elproduktionsanlæg                                                    | En forøgelse af antallet af lokale elproduktionsanlæg vil skabe øget udsving i spændingskvaliteten i distributionsnettet. Med et Smart Grid ville disse udsving kunne håndteres uden behov for yderligere udstyr, hvilket vil øge værdien af et Smart Grid                       | Potentialet øges                      |

Figur 9. Konsekvenser af ændringer i forudsætningerne.



Denne gevinst opnås ved at udføre mindre investeringer, der sikrer elbilernes integration i elsystemet og samtidig skaber væsentlige samfundsøkonomiske besparelser igennem billigere elproduktion og energibesparelser hos ejerne af de nye elbiler. Ved traditionel udbygning af elsystemet vil det øgede antal elbiler skabe en samfundsmæssig meromkostning på cirka 2,2 milliarder kroner.

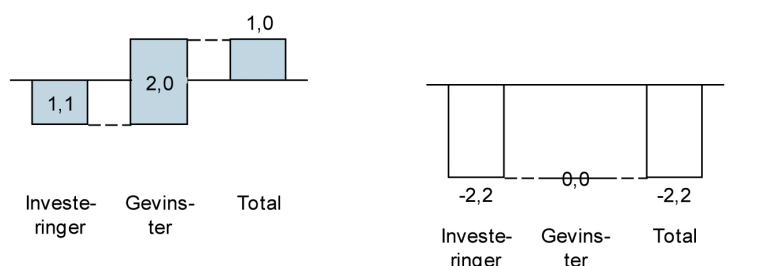
Analyserne viser ligeledes, at konklusionen vil være den samme, også hvis der fx kommer færre elbiler end antaget ovenfor. Netto-omkostningen ved 300.000 elbiler er 6,2 milliarder kroner ved traditionel udbygning, mens den er 2,5 milliarder kroner ved et udbygning via Smart Grid.

## Konklusion

Projektets beregninger viser, at den samfundsmæssige investering i omstilling af elsystemet frem mod 2025 vil være cirka 9,8 milliarder kroner ved etablering af Smart Grid. Denne investering vil realisere en samfundsmæssig gevinst på cirka ~8,2 milliarder kroner og dermed give en samlet samfundsmæssig omkostning på ~1,6 milliarder kroner. Alternativet til Smart Grid er en traditionel udbygningsstrategi, hvor den samfundsmæssige investering vil være cirka 7,7 milliarder kroner, og hvor der, i modsætning til Smart Grid, ikke vil blive skabt afledte samfundsmæssige gevinster. Dermed er fordelene ved at forfølge Smart Grid-sporet cirka 6,1 milliarder kroner.

### På lang sigt vil en øget udbredelse af elbiler forøge værdien af Smart Grid yderligere

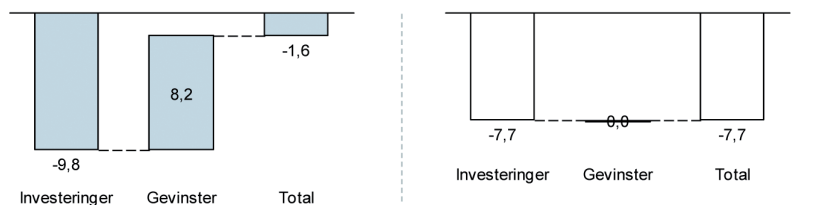
Samfundsøkonomi i milliarder kroner ved at integrere 500.000 elbiler ekstra fra 2025 til 2030



Figur 10. Et intelligent elsystem vil også på lang sigt være samfundsøkonomisk fordelagtigt.

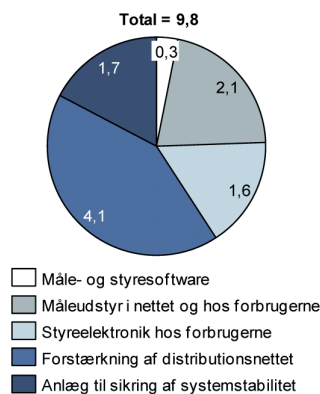
### Smart Grid har en samfundsmæssig meromkostning på cirka 1,6 milliarder kroner imod 7,7 milliarder kroner ved traditionel netudbygning

Samfundøkonomi i milliarder kroner



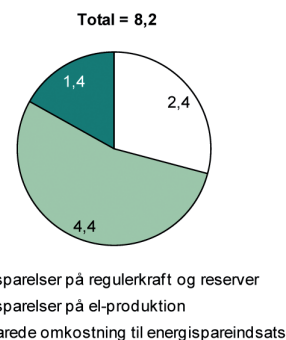
#### Detaljeret af investering i Smart Grid

Nutidsværdi i milliarder kroner



#### Detaljeret af gevinster fra Smart Grid

Nutidsværdi i milliarder kroner



Figur 11. Investeringer og gevinster ved etablering af fremtidens elsystem.

## 3. Smart Grid giver nye muligheder for forbrugerne

Smart Grid giver både på kort og lang sigt en lang række fordele for forbrugerne. Ud over muligheden for at reducere elregningen ved et intelligent forbrug, som er medregnet i den økonomiske sammenstilling i kapitel 2, er der en række yderligere potentielle gevinster for forbrugerne i et Smart Grid-elsystem. Disse gevinster vil på mellemlang sigt komme fra en større fleksibilitet i opladningen af el- og plug-in hybridbiler, og på lang sigt vil de komme fra nye serviceydelser, der dels relaterer sig til forbrugernes energiforsyning og dels relaterer sig til øvrige aspekter af forbrugernes dagligdag.

### 3.1 Elbiler bliver grønnere og mere fleksible

Bil ejere har i dag stor glæde af, at deres biler giver dem en væsentlig frihed og fleksibilitet på grund af den gode danske infrastruktur i form af både veje og tankstationer. Dette ønske om fleksibilitet vil bilejerne fortsætte med at have, og Smart Grid kan hjælpe med at opfylde dette ønske.

Det kan lade sig gøre, fordi et Smart Grid gør det muligt for ejeren af en elbil at få sit energiforbrug til transport dækket på en meget individuel måde, som på bedste vis kombinerer ønsket om billig transport med ønsket om høj fleksibilitet til at håndtere uforudsete kørselsbehov.

Således vil en elbilejer med et stabilt og forudsigeligt kørselsbehov kunne vælge at lade sin elbil foretage opladninger, når bilen alligevel står i garagen eller på parkeringspladsen, og når det er mest økonomisk effektivt, hvilket typisk vil være i tidspunkter med et lavt elforbrug og/eller en høj produktion af el fra vedvarende kilder. Dette giver den billigste transport for elbilejeren, og det vil samtidig

medvirke til at øge andelen af grøn energi, som anvendes i elbilerne.

Omvendt vil en elbilejer med et uforudsigeligt og stort behov for transport kunne opnå meget stor fleksibilitet med et Smart Grid, da et Smart Grid vil muliggøre lynopladninger af elbilens batteri, uden at elnettet overbelastes. Disse lynopladninger vil typisk være dyrere end en normal, økonomisk optimeret opladning, men til gengæld får elbilejeren mulighed for hurtigt at komme fra tom tank til fuld tank.

Disse muligheder vil ikke være tilgængelige uden Smart Grid, da et elsystem, der udbygget på traditionel vis, ikke vil give forbrugerne mulighed for samme styring af deres forbrug, og lynopladninger vil næppe kunne håndteres i private hjem uden Smart Grid.

### 3.2 Smart Grid vil kunne give et samlet overblik over energiforbruget

Etableringen af et Smart Grid vil øge digitaliseringen af de danske husstande, da der vil komme mere måle-, styre- og kommunikationselektronik i husene for at give forbrugerne mulighed for at opnå et automatisk styret, intelligent elforbrug. En ekstra gevinst ved dette udstyr vil være, at forbrugeren vil kunne købe en række relaterede ydelser.

Fx kan man forestille sig, at forbrugeren kan bede om at modtage en SMS, hvis fx varmepumpen bryder ned under vinterferien, så der er mulighed for at tilkalde service og forhindre, at huset og vandrørene fryser.

Den øgede digitalisering vil også kunne understøtte serviceydelser, som forbedrer forbrugernes dagligdag fx ved – via

kommunikation med styringen af husets elforbrug – at give mulighed for automatisk sluk af husstandens elektriske standby-forbrug eller dynamisk optimering af temperaturen i huset igennem den elektriske varmepumpe.

Endeligt vil det være en naturlig forlængelse at koble den øgede digitalisering til husstandens øvrige forsyningskilder som vand og gas. Mulighederne spænder her vidt og kan fx omfatte en ydelse, hvor forbrugerne får adgang til oplysningsydelser om afvigende vandforbrug, der kan skyldes et sprængt vandrør.

### 3.3 Nye energi-relaterede services vil skabe helt nye muligheder

På lang sigt kan man forvente, at elektronikken i hjemmet vil give mulighed for, at der opstår en lang række nye serviceydelser. Når først de tekniske dele er på plads, er det meget sandsynligt, at der vil være kommercielle aktører, der opfinder nye, innovative produkter og nye markeder, ligesom det fx er sket inden for mobiltelefoni og internettet. Et eksempel her kan være en sammenkobling med elektronikken fra Smart Grid med tilbud om tyverialarm og overvågning af hjemmet, da disse ydelser vil kunne anvende den infrastruktur, som Smart Grid baserer sig på.

Ud over de fordele, der er umiddelbart økonomisk kvantificerbare, viser flere undersøgelser, at forbrugere ofte også har mere emotionelle begrundelser for at ønske ny teknologi, da dette også kan give en oplevet værdi. I denne sammenhæng vil Smart Grid-elektronikken give forbrugerne mulighed for at placere dele af deres elforbrug på tidspunkter, hvor det kan dokumenteres, at der er meget vedvarende energi i elnettet.

## 4. Smart Grid er en fælles opgave

Smart Grid er den mest effektive måde at tilpasse elsystemet på, så det kan håndtere en fremtid med mere vindkraft, flere el- og plug-in hybridbiler og flere varmepumper. For at denne tilpasning kan finde sted, skal alle aktører investere i udstyr og løsninger, der kombinerer måling, styring og automatik i elnettet og hos forbrugerne med kommercielle produkter. Hvis alle skal være med til at udføre disse investeringer, skal der skabes et marked, hvor pengestrømmene frit kan bevæge sig, så alle aktører har økonomiske incitamenter til at deltage i tilpasningen. Derudover skal det afklares, hvilke aktiviteter der skal håndteres af regulerede selskaber, og hvilke aktiviteter der skal bæres igennem på det frie konkurrencemarked.

### 4.1 Realisering af Smart Grid-potentialet kræver en indsats fra hele sektoren

Analyserne i projektet har vist, at etableringen af et Smart Grid vil medføre omkostninger for samfundet på 1,6 milliarder kroner, hvorimod en alternativ traditionel udbygning af elsystemet vil koste 7,7 milliarder kroner. Smart Grid er altså den mindst dyre metode til at tilpasse elsystemet til fremtiden og kan spare samfundet for en alternativ omkostning på 6,1 milliarder kroner.

Etableringen af et intelligent elsystem i Danmark kræver indsats og investeringer fra alle elsektorens regulerede aktører samt fra aktører, der agerer på rent konkurrenceudsatte, kommercielle vilkår både indenfor og udenfor branchen. Kun hvis alle disse aktører bidrager, vil de samlede gevinster ved et Smart Grid kunne realiseres. Dette behov skyldes, at et effektivt, markedsbaseret og forbrugerorienteret Smart Grid i Danmark vil gøre elsystemet mere omfangsrigt og

meget mere dynamisk, end det er i dag. Derfor vil der være behov for væsentlig øget integration på tværs af de eksisterende grænseflader, for at sikre et tilstrækkeligt grundlag for involvering af forbrugerne i systemet.

Nogle af de vigtigste fremtidige nye opgaver vil være:

- Udarbejdelse af en integreret prismetkanisme, der for et givet tidspunkt afspejler såvel elprisen fra spotmarkedet, eventuelle priser på regulerkraft og systemydelser, samt en dynamisk pris-sætning af belastningen af distributionsnettet, så markedsaktørerne kan bringe denne i anvendelse i konkurrencemarkedet
- Implementering af et system, der sikrer, at der altid er overblik over, hvilke decentrale ressourcer der står til rådighed til levering af regulerkraft og reserver, samt hvor i elnettet de befinder sig.

For at muliggøre disse nye, tværgående funktioner vil der også være behov for ændringer inden for hvert af elsystemets ansvarsområder, hvor systemansvaret og netselskaberne kommer til at påtage sig nye opgaver:

- Systemansvaret skal fortsat udvikle markedet for balancerings- og systemydelser for at give let adgang til nye udbydere af ydelserne i takt med at disse kommer frem
- Netselskaberne skal skabe et real-tidsbillede af belastningen af distributionsnettet, som kan danne grundlag for en integreret prisdannelse, der motiverer forbrugerne til at bruge el på en måde, der minimerer meromkostningerne til netudbygning.
- Systemansvaret og netselskaberne skal sikre kommunikation med videre, som er nødvendig for at markedsaktørerne kan bringe de nye markeder effektivt i spil overfor forbrugerne.

En række netselskaber er enten i gang med eller planlægger udskiftning af elmålere hos private forbrugere og udskiftningen af oliefyrt med eldrevne varmepumper er allerede godt i gang, blandt andet fremmet gennem forskellige tilskudsordninger. I forhold til el- og plug-in hybridbiler ligger den store udbredelse nogle år ude i fremtiden, men der foregår i dag meget arbejde med konceptudvikling, udvikling af ladestander og planlægning af udbredelsen af hele ladeinfrastrukturen. En væsentlig del af fundamentet for fremtidens intelligente elsystem installeres således allerede nu. Der bør derfor arbejdes målrettet på at afdække behovet for og sikre den nødvendige standardisering og krav til funktionalitet, så disse elementer i videst muligt omfang er forberedt, så de umiddelbart kan fungere i et Smart Grid koncept. Dette vil fremme en effektiv implementering af Smart Grid-funktionaliteten hos ejere af varmepumper og elbiler.

### 4.2 Et effektivt marked vil skabe en fælles indsats og realisere Smart Grid-potentialet

En forudsætning for at sikre en fælles indsats fra hele sektoren er, at der er økonomiske incitamenter for alle involverede aktører. Dette bliver særligt afgørende i en situation med stigende omkostninger og nye gevinster, på tværs af regulerede og rent kommercielle selskaber samt forbrugere, hvor nogle i udgangspunktet har omkostningen, og andre vil høste gevinsten.

Markedet skal kommercialiseres, og der sikres fri bevægelighed af pengestrømmene imellem aktørerne. Herunder skal sikres den rette arbejdsdeling mellem

regulerede og konkurrenceudsatte aktiviteter.

For at en sådan kommercialisering af markedet har bedst mulige vilkår for at lykkes, skal markedet for Smart Grid allerede i etableringsfasen skabes med fokus på lav kompleksitet og lave omkostninger. Adgangsbarriererne til markedet holdes lave, så nye aktører let

kan komme ind på markedet uden behov for at foretage store investeringer i udstyr eller it-systemer for at overholde unødvendigt strenge og indviklede marksregler. Samtidig skal transaktionsomkostningerne for ydelserne i markedet gøres så lave som muligt, så gevinsten for forbrugerne og nye kommercielle aktører ikke opsluges af komplekse handelsprocesser.

Skabes et sådant marked, vil forbrugerne få nem adgang til at udnytte elsystemets muligheder, fordi de derigennem kan stille fleksibiliteten i deres elforbrug til rådighed for elsystemet, så den kan konverteres til økonomiske gevinster for alle i sektoren, uden at de forsvinder i dyre og rigide transaktioner.





# 5. To nødvendige politiske forudsætninger

Elbranchen skal og vil tage en aktiv rolle i at sikre en fælles og koordineret udvikling af et intelligent elsystem i Danmark, og det bør derfor også sikres, at de politiske forudsætninger fremmer en proaktiv adfærd for alle aktørerne. Dette kapitel beskriver to nødvendige forudsætninger, der vil være afgørende for at understøtte denne adfærd.

## 5.1 Fremtidssikring af elsektorens økonomiske regulering skal skabe incitament

Netselskaberne ser ind i en fremtid, hvor de skal være en væsentlig drivkraft i etableringen af fremtidens intelligente elsystem, hvor de får nye opgaver, og hvor de skal afholde en række investeringer for at sikre den samlede samfunds-mæssige gevinst.

En sådan ændring i netselskabernes aktiviteter vil betyde, at den nuværende økonomiske regulering, som har været en effektiv regulering af et elsystem med forudsigeligt elforbrug og forbrugsudvikling, vil vise sig at være uhensigtsmæssig og muligvis endda en direkte hindring for etableringen af det intelligente elsystem.

Den helt store udfordring er, at der for at skabe et fremtidigt intelligent elsystem skal afholdes nogle investeringer og omkostninger, som ikke medfører en tilsvarende udvidelse af netselskabernes indtægtsrammer. Som eksempel kan nævnes:

- Forstærkning af elnettet for at håndtere nye apparater som fx elbiler. Disse har et stort effekttræk ved opladning, som nødvendiggør væsentlige netforstærkninger, men da deres elforbrug i forhold til klassiske forbrugsappa-

rater er relativt mindre end effektforbruget, vil indtægtsrammen ikke øges tilstrækkeligt til at kunne dække investeringerne i netforstærkninger

- Installation af måleudstyr, der giver et bedre indblik i elnettet, men som ikke skaber et større el-forbrug
- Omkostninger til behandling og kommunikation af de store mængder af data og prissignaler, der er centrale løsninger i Smart Grid
- Omkostninger til demonstrationsprojekter

Beslutningen om at vælge en fremtidig retning for elsystemet skal baseres på en langsigtet forventning om fremtiden. Årsagen til dette langsigtede perspektiv er, at elsektoren typisk investerer i aktiver, der har meget lang levetid og afskrivningshorisont

En langsigtet forventning er behæftet med stor usikkerhed, hvilket kan give et incitament for aktørerne i elsektoren til at se tiden an og fastholde deres nuværende arbejds- og investeringsmetodikker. Det vurderes derfor som centralt, at der skabes en regulering, som sikrer, at netselskaberne ikke bliver økonomisk straffet, hvis de proaktivt understøtter udbredelsen af elbiler og varmepumper, og udviklingen viser sig at gå i en anden retning.

Både for at forhindre en skævvridning af netselskabernes økonomi og for at sikre, at aktørerne ikke bliver økonomisk straffet for at have foretaget proaktive investeringer, bør den økonomiske regulering gennemtænkes og justeres, så den aktivt bidrager til at sikre etableringen af et intelligent elsystem i Danmark med de deraf afledte gevinster for elsystemet, forbrugerne og samfundet.

## 5.2 Smart Grid udviklings- og demonstrationsaktiviteter kan accelerere udviklingen

Etablering af et intelligent elsystem i Danmark og realisering af de gevinster, som det potentielt kan bidrage med, kræver, at der skabes en række nye teknologier og processer, som kan muliggøre de mange nødvendige funktioner i et intelligent elsystem.

Udviklingen af disse teknologier vil kræve udvikling og en betydelig demonstrationsindsats, og investering i dette fra kommercielle aktører indenfor og udenfor elsystemet må forventes ikke i tilstrækkelig grad at kunne skabe et accelereret udviklingsforløb, da tilbagebetalingen fra sådanne investeringer først vil vise sig, når der reelt opstår et presserende behov for løsninger.

Derfor bør der fortsat ydes økonomisk støtte fra samfundet til at udføre fokuserede og koordinerede udviklings- og demonstrationsaktiviteter, der fremmer modningen af teknologien og løsninger, som skal være byggestenene i fremtidens intelligente elsystem. Disse aktiviteter skal både optimere udviklingen inden for værdikædens enkelte dele og samtidig sikre, at der også udvikles og afprøves tværgående løsningsmodeller.

## 6. Vejen fremad

Etableringen af et samlet dansk elsystem, som giver forbrugerne mulighed for automatisk at opnå gevinster, er en stor opgave, som vil kræve et langsigtet fokus og handling allerede på kort sigt.

### 6.1 Fase 1 – Faciliteringsfasen

På kort sigt – i perioden fra 2010 til 2012 – vil samfundet opleve, at der i stigende grad vil ske en udbredelse af elektriske varmepumper, og at de kommercielle aktører kommer med den første reelle lancering af el- og plug-in hybridbiler. Ved udgangen af denne periode bør el-sektoren have sikret, at de relevante aktører både inden for og uden for el-sektoren er mobiliseret og involveret i tankerne omkring fremtidens elsystem. Samtidig bør der i perioden skabes en masse erfaring igennem udviklings- og

demonstrationsprojekter, som også kan danne grundlag for rammer og standarder.

For at udføre dette arbejde, skal der iværksættes en række nøgleaktiviteter

- Fastsættelse af nødvendige standarder for kommunikations- og datamodeller – med internationalt udsyn og kompatibilitet
- Fastlæggelse af roller og ansvar for systemansvar, netselskaber og kommercielle aktører
- Tilpasning af nødvendig lovgivning, økonomisk regulering og forskrifter
- Iværksættelse af piloter, teste og korrigerende såvel forbrugerorienterede som tekniske løsninger
- Udvikling af en tarifmodel, som modvirker overbelastning af distributionsnettet

### 6.2 Fase 2 – Etableringsfasen

I etableringsfasen – fra cirka 2012 til cirka 2020 – vil ændringerne i forbrugssiden begynde at tage form, da varmepumperne nu vil have en væsentlig udbredelse, og da forbrugerne så småt er begyndt at købe el- og plug-in hybridbiler.

Denne udvikling gør, at man ved udgangen af perioden skal have et elsystem, hvor den grundlæggende infrastruktur til Smart Grid er etableret. Samtidig skal systemet være så modent, at der begynder at være en udbredelse af kommercielle løsninger, der understøtter et fleksibelt og intelligent elforbrug, og aktørerne skal være i en position der muliggør løbende udvikling af systemet og løsningerne med specielt fokus på at begrænse transaktionsomkostningerne i forbindelse med udvekslingen af de kommercielle ydelser.



I denne fase skal der også udføres en række nøgleaktiviteter, for at dette slutpunkt kan opnås

- Opsamling af yderligere erfaringer nationalt og internationalt
- Opbygning af Smart Grid markedsmekanismer som fx handel med systemydelser, fastsættelse af tariffer og en integreret prisdannelse på tværs af elsystemet.
- Implementering af Smart Grid funktionalitet igennem måling, styring og automatik i elnettet og hos forbrugerne
- Penetrering af forbrugermarkedet med første bølge af kommercielle Smart Grid baserede ydelser/løsninger
- Løbende justering af marksregler og forskrifter i takt med erfaringsindsamlingen.

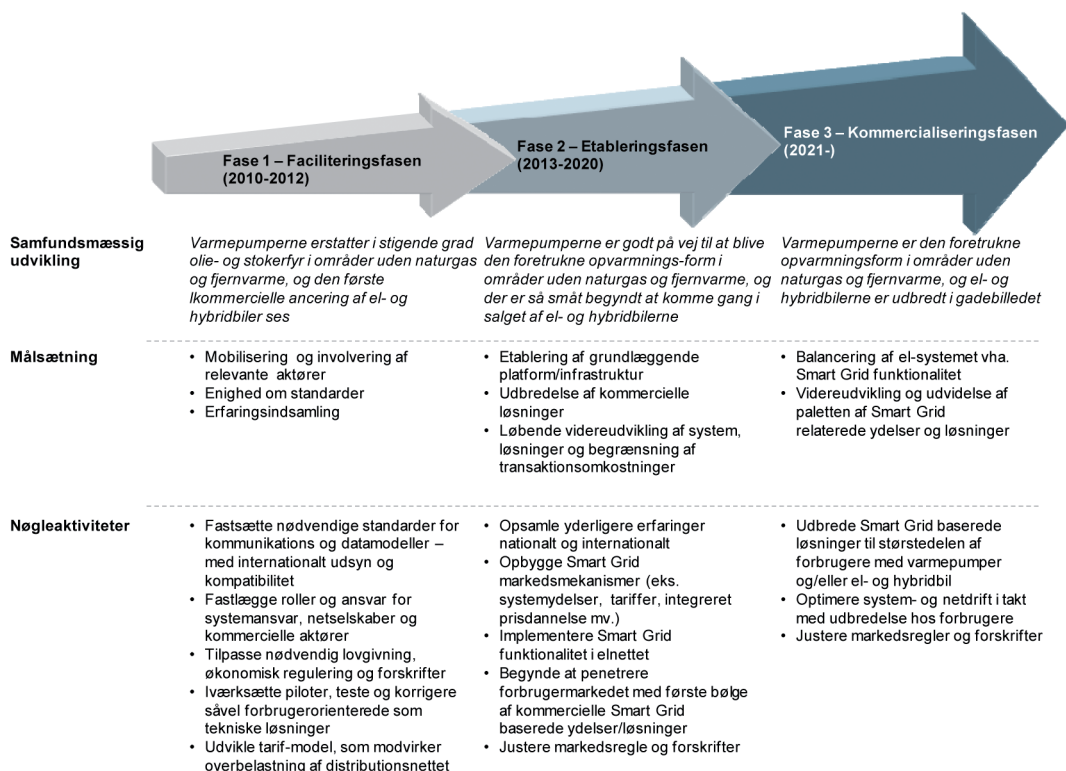
### 6.3 Fase 3 – Kommercialiseringsfasen

Kommercialiseringsfasen forventes at opstå efter 2020. På dette tidspunkt vil elektriske varmepumper være den mest udbredte varmekilde uden for fjernvarme- og naturgasområderne. Samtidig vil el- og plug-in hybridbilerne være velkendte og udbredte i gadebilledet.

Denne situation gør, at elsystemet allerede inden for få år af denne periode skal kunne balanceres via Smart Grid funktionalitet i form af intelligent og automatisk styring af forbrugernes fleksible apparater, samtidig med at der skal være videreudviklet på Smart Grid ydelserne, så der nu er en lang række ydelser at vælge imellem for forbrugerne.

Få at nå disse mål, skal der udføres en række nøgleaktiviteter

- Kommerciel udbredelse af Smart Grid baserede løsninger til størstedelen af forbrugere med varmepumper og/eller el- og hybridbil
- Optimering af system- og netdrift, der er baseret på Smart Grid-funktionalitet i takt med, at fleksible elforbrugende apparater vinder udbredelse hos forbrugerne
- Løbende justering af marksregler og forskrifter for at sikre optimal Smart Grid-funktionalitet.



Figur 12. Faser for indførelse af intelligens i det danske elsystem.