



# FUD til fremme af elsystemets effektivitet

– Status og forslag til udviklingsindsats på Smart Grid-området



## Indhold

Resumé og konklusioner .....	3
1. Baggrund .....	8
2. Arbejdsgruppens observationer .....	9
2.1 Forskning for en usikker fremtid.....	9
2.2 Megatrends for husholdninger.....	9
2.3 Svag formidling af forskningsresultater .....	11
3. Elforsyningens udfordringer .....	12
3.1 Situationen i 2014 .....	12
3.2 Perspektiver for 2020 .....	12
3.3 Udviklingen fra 2020 til 2035.....	13
3.4 Sigtelinjer mod 2050 .....	14
4. Smart Grid .....	15
4.1 Smart Grid-funktioner .....	15
4.2 Transmission.....	17
4.3 Distribution.....	18
4.4 Smart Grid-udvikling .....	19
4.5 Design af slutbrugermarked .....	21
5. Energiforskningens stade og anbefalinger.....	23
5.1 Elsystemet.....	23
5.2 Energimarkeder .....	25
5.3 Komponenter .....	27
5.4 Forbrugere.....	32
5.5 Informations- og kommunikationsteknologi .....	35
Bilag 1 - Kommissoriet.....	39
Bilag 2 - Liste over aktuelle Smart Grid-forskningsprojekter .....	43
Appendiks 1 - Projekter med relevans for markedsdesign.....	45
Appendiks 2 - Projekter med relevans for komponenter .....	46
Forkortelsesliste.....	47

## Resumé og konklusioner

Rammerne for udbygning med vindkraft i Danmark er fastlagt med en politisk aftale fra foråret 2012. Vindkraftens naturlige variationer vil udfordre driften af elsystemerne. Som et bidrag til løsning af dette problem indføres en ny generation af intelligent automatik i elnetten med to-vejskommunikation helt ud til brugerne. Et af formålene er at kunne tilpasse elforbruget til det aktuelle udbud og til forholdene i de lokale net. De nye metoder betegnes internationalt som Smart Grid.

I Danmark har der i flere år været arbejdet med Smart Grid-forberedelser. I april 2013 fremlagde Klima-, Energi- og Bygningsministeriet en Smart Grid-strategi med en række initiativer til gennemførelse af det politiske system og af energivirkomhederne. Målet er at gøre engros- og detailmarkederne klar til at håndtere fleksibelt elforbrug i perioden indtil 2020. Rapporten specificerer i alt 14 initiativer til det politiske system og 6 initiativer til energibranchen. Det sidste af energibranchens initiativer lyder:

"Energiforskningsprogrammerne opfordres til at foranledige en tværgående vurdering af, hvilke forhold der mangler at blive udviklet og demonstreret for at fremme en optimal ressourceudnyttelse med 50 pct. vindenergi i elsystemet."

Energiforskningsprogrammerne har til opgaven udpeget en arbejdsgruppe af evaluatore. Arbejdsgruppen har baseret sine vurderinger på tilgængelig information om igangværende og afsluttede Smart Grid-forskningsprojekter.

Arbejdsgruppen har konstateret, at en række igangværende forskningsprojekter forventes at kunne levere operationelle resultater i god tid inden 2020. Det gælder især for driften af transmissionssystemet og for planlægningen af distributionssystemerne.

Arbejdsgruppen konstaterer på den anden side, at væsentlige anbefalinger fra Koordinationsudvalget for Fremtidens Elsystem fra 2011<sup>1</sup> kun er fulgt op i begrænset omfang. Det gælder især for områderne kommunikation og marked.

Arbejdsgruppen har noteret sig, at regeringens Smart Grid-strategi<sup>2</sup> lægger særlig vægt på at gøre elforbruget mere fleksibelt for at skaffe plads til mere vindkraft. Arbejdsgruppen skal dog pege på de bredere Smart Grid-formål.

Et fleksibelt elforbrug forudsætter varierende (volatile) elpriser. Andre samtidige virkemidler til håndtering af de nye udfordringer kan imidlertid dæmpe prisudsvingene og dermed elforbrugets fleksibilitet. Det gælder fx særlige incitamentter til installation af reservekapacitet (kapacitetsordninger) samt elpatroner og store varmepumper til aftag af overskudsenergi. Det er derfor vigtigt at analysere den indbyrdes konkurrence mellem alle potentielle virkemidler og den samlede virkning af disse.

Muligheden for at udligne de naturlige variationer i vind- og solkraft ved påvirkning af elforbruget forventes først at få mere end marginal betydning efter 2020. Engrosmodellen, med mulighed for afregning af fleksibelt elforbrug, lanceres ultimo 2015 og skal først derefter udrulles gradvist i de enkelte netselskaber. Derefter vil der gå noget tid, inden branchen og kunderne opdager, at der er en ny indtjeningsmulighed. I 2020 skal andre virkemidler derfor absorbere hovedparten af vindkraftens variationer.

<sup>1</sup> Kortlægning af den danske elbranches Smart Grid FUD-indsats, Energinet.dk og Dansk Energi, 25. januar 2011.

<sup>2</sup> Smart Grid-strategi – fremtidens intelligente energisystem. Klima-, Energi- og Bygningsministeriet. April 2013.

"Smart Grid i Danmark" fra 2010<sup>3</sup> rummer en cost benefit-analyse. Der er allerede sket store ændringer i væsentlige forudsætninger for denne analyse. Derfor anbefaler arbejdsgruppen, at der gennemføres en opdatering af beregningerne, gerne opdelt på enkelte Smart Grid-elementer, herunder varmepumper, energilagere, elbilladere og solceller og gerne opdelt på erhverv og private.

Elproduktionens omlægning fra styrbare kraftværker til vejrafhængig vindkraft og solceller medfører forskellige udfordringer for **det overordnede net** og for **de lokale net**. Det indebærer dilemmaer, fordi der kan være modstridende interesser mellem henholdsvis sikringen af det samlede systems balance og afhjælpning af lokale flaskehalse og, når slutbrugernes fleksibilitet skal udnyttes, må der udvikles gode mekanismer til koordinering af disse interesser.

Smart Grid Forskningsnetværket<sup>4</sup> definerer fem Smart Grid-forskningsområder, som arbejdsgruppen skal tage udgangspunkt i. Arbejdsgruppen er optaget af, at der desuden bør forskes i systemegenskaber på tværs af de fem områder.

For hvert af de fem områder har arbejdsgruppen identificeret følgende emner, hvor forskningsindsatsen med fordel kan intensiveres i perioden frem til 2020:

- Elnettet:
  - Distributionsselskabernes fremtidige rolle bør granskes med henblik på at sikre effektiv og ensartet kundebehandling.
  - Der bør udvikles en udbygningsstrategi med tilhørende analyseværktøj til sikring af acceptabel forsyningskvalitet i distributionsnettene.
  - En modernisering af beskyttelsen i lokale net (60 kV og derunder) bør undersøges med henblik på at gøre net med høj andel af vindkraft og solceller mere modstandsdygtige under driftsforstyrrelser.
  - Planlægning af ressourcer til levering af reaktiv effekt opfattes normalt ikke som et Smart Grid-emne. En systematisk automatisering (inklusive PMU) og optimering ud fra en passende driftssikkerhed vil kunne bidrage positivt til elsystemets effektivitet. Derfor kan netregler, ansvarsfordeling, planlægning og styring for reaktiv kapacitet godt være relevant for en samordnet systemteknisk og samfundsøkonomisk forskning.
- Energimarkeder:
  - Udviklingen af nye markedsdesign er centralt for etableringen af et mere fleksibelt elforbrug. Dynamiske prissignaler skal føre til handlinger, men kun når priser vurderes at være det mest effektive styresignal. Vi behøver projekter, som kan udrede, hvilke ydelser der egner sig til prisstyring, og hvilke der egner sig til andre styreprincipper, hvilke ydelser der effektivt kan tilbydes af den enkelte slutbruger, og hvornår en aggregator er mere hensigtsmæssig. Herunder bør det afklares, hvilke forbrugssegmenter der forventes at være de mest relevante til de forskellige ydelser, og i hvilken grad præmisserne for en effektiv prisdannelse synes opfyldt inden for de aktuelle ydelser og segmenter.
  - Et særligt vigtigt område er forretningsmodeller for implementering af demand response (fleksibelt elforbrug). Dette kræver yderligere forskning inden for områder som mulige produktdefinitioner, prisernes rolle og andre signalfaktorer, regelsæt, markedsopbygning og selvfølgelig omkostninger. Dette rummer nogle udforskede dilemmaer:

<sup>3</sup> Dansk Energi og Energinet.dk: Kortlægning af den danske elbranches Smart Grid FUD-indsats, januar 2011.

<sup>4</sup> Roadmap for forskning, udvikling og demonstration inden for Smart Grid frem mod 2020, 22. januar 2013.

- Hvis flaskehalse i lokale net skal modvirkes ved at styre privat elforbrug via elpriserne, må elpriserne være forskellige på hver side af den givne flaskehals. Vil vi acceptere forskellige elpriser i forskellige dele af en by?
  - Nettarifferne kan forstyrre eller forstærke prissignaler fra elmarkedet. Hvorledes skal nettarifferne udformes, så påvirkningen på elforbruget bliver optimal? Og hvordan sikrer vi, at nettarifferne er retfærdige?
  - Hvis flaskehalse i lokale net bliver almindelige, må der tages stilling til, hvorledes flaskehalsindtægter hos netselskaberne skal påvirke nettarifferne, og hvordan vi sikrer, at netselskaberne foretager en optimal vurdering af, om flaskehalsen skal fjernes ved netforstærkning, eller fortsat håndteres med prisforskelle.
- Komponenter:
    - Produktion
      - Vindmøller og vindparkeres evne til at stabilisere nettet ønskes yderligere analyseret og demonstreret.
      - Nye kraftværkstyper til perioder uden vind og til reserve og spidslast bør udvikles.
      - Store varmepumper, egnet til drift i fjernvarmesystemerne, ønskes udviklet og demonstreret i kombination med kraftvarmeværker.
    - Energikonvertering
      - Processer og brændselstyper til energikonvertering ønskes undersøgt yderligere med vægt på termodynamisk effektivitet, lagringsmuligheder og omkostningseffektivitet.
      - Opgradering af biogasser og metanisering af brint til indføddning i naturgasnettet bør optimeres og demonstreres.
    - Distributionssystemet
      - Standardisering af måleudstyr og kommunikation for Smart Grid-elementer med særlig vægt på elementer, hvor aktiv styring er relevant.
      - Analyse af det reelle potentiale for forbrugsstyring og lønsomhed af de aktuelle metoder.
    - Forbrugsleddet
      - Kommende bygningsreglementer bør tilpasses automatisk energistyring, så bygningers evne til dynamisk at spille sammen med energiløsninger vægtes højere.
      - Værdien af lokale el- og varmelagre bør analyseres.
      - El- og hybridbilers krav til infrastruktur og genanvendelighed af eksisterende infrastruktur ønskes kortlagt.
  - Forbrugere:
    - Viden om forbrugeradfærd
      - Der bør skabes viden om, hvordan forbrugers adfærd kan indgå i et Smart Grid-system både med og uden, det handler om økonomiske fordele. Herunder viden om, hvad er forbrugernes behov og præferencer, som kan føre til nye former for involvering og engagement i fremtidens Smart Grid?
      - Der bør gennemføres effektmålinger på forbrugers adfærd, bidrag og involvering af og til forskellige Smart Grid-tiltag.

- En tendens er, at flere private forbrugere går sammen, og at de i samspil inden for klyngen tilpasser forbruget til den aktuelle markedsituation. Det bør kortlægges, hvorledes adfærden inden for klyngen ændres/tilpasses.
  - Tilpasning til nye markedsfunktioner
    - Hvis effektmålingerne viser, at det på sigt er hensigtsmæssigt at inddrage forbrugerne, bør der udvikles teknologiske løsninger til dette formål og følges op med en undersøgelse af forbrugernes reaktion på de nye løsninger.
    - Der bør udvikles viden om forbrugernes praksis, motivationer og værdier til relevante produkter, services og markeder, fordi det i fremtiden forventes, at boligerne bliver intelligente og i mange tilfælde selvforsynende med varme og energi fra små decentrale anlæg.
    - Der bør iværksættes undersøgelser af, hvordan forbrugere agerer under forandrede forhold på husstandsniveau, kvarterniveau, almen boligmasse, arbejdspladsniveau og i forhold til transport. Undersøgelserne kunne iværksættes som Living Labs.
    - Der er behov for, at forbrugeren kan flytte sit forbrug til tidspunkter, der er til fordel for energisystemet. Der er i dag ikke tilstrækkeligt kendskab til, hvilke løsninger der kan tages i anvendelse, og i hvilket omfang de kan medvirke til en kortere eller længere tidsforskydning. Der vil være apparater, komponenter eller anlæg, hvor forskydningen kan ske ved at give forbrugeren et styringssignal, men langt hovedparten af forskydningen skønnes at skulle gå via lagring af energi. Der bør skabes viden om, hvordan behovet kobles sammen med lagerstørrelsen og den ønskede tidsforskydning.
  - Virksomheders processer og indeklima
    - Der bør skabes viden om, i hvor høj grad virksomheder vil gå på kompromis med deres produktion i forhold til styring af deres processer. Hvor fleksible er de?
    - Udviklingen forventes at gå mod højere temperaturer samt tættere byggerier med større varme fra apparater og solindfald, hvilket betyder en udvikling mod et større elforbrug og et mindre varmemeforbrug. Der bør derfor udvikles løsninger for intelligente styringer af elforbrugende teknologier som køleanlæg og ventilationsanlæg i forhold til prognoser for varmeindfald og udetemperaturer, opdelt i forhold til bygningens orientering, men også i forhold til at anvende bygningens facader dynamisk.
- Informations- og kommunikationsteknologi:
  - Sensorer og måling
    - Forskellige fremgangsmåder bør testes. Den ekstra værdi af flere og hyppigere data bør undersøges. Et behov for hyppige indgreb betyder også behov for hyppige målinger, fx ved at bruge PMU-teknologi. Behovet for sensorer bør baseres på en evaluering af nødvendige inputsignaler fra sensorer, der derfor skal designes til formålet.
  - Datapræsentation
    - Forskellige muligheder for visning af data til kontrolrumspersonalet, andre personers smart phones og til andre testes for at sikre en korrekt opfattelse af tilstanden og korrekte handlinger. Det er nødvendigt at komprimere informationerne for at identificere, hvad der er vigtigt.

- Beslutningstagning
  - Beslutninger kan tages af mennesker og/eller computere. Flere sensorer kan føre til en enorm datamængde. Beslutninger bør være baseret på bedste tilgængelige informationer om systemets tilstand og konsekvensen af beslutningen. Der er behov for udvikling af bedre værktøjer hertil.
- Udsendelse af styresignal
  - Ydeevnen af forskellige metoder bør sammenlignes. Dette inkluderer menneskelig og/eller computermotagelse af styresignal, design af backup-system, hvis første reaktion mislykkes, og identifikation af, om et udsendt styresignal resulterede i den tilsigtede handling.
- Økonomisk evaluering
  - Balancen mellem omkostningerne til mere IKT og værdien ved at have mere IKT bør udredes. Det inkluderer, hvad der bør måles, hvor ofte, datahåndtering, datasikkerhed, hyppighed af indgreb, menneskelige/automatiske beslutninger, typen af styresignaler etc.
- Personlig integritet, cybersikkerhed og interoperabilitet
  - Der er ikke forsket meget på dette område. Allerede i 2011 blev adskillige områder identificeret af "Koordinationsudvalget for Fremtidens Elsystem", og der er et stort behov for flere projekter inden for områder som valg af data-protokol, koncept for datasikkerhed, arkitektur for kommunikationssystemer og kommunikationssystemssikkerhed.

Visse emner kan udskydes til efter 2020. Arbejdsgruppen peger på følgende:

- Komponenter
  - Forskningsmæssigt grundlag for ikke fossile brændsler til elproduktion og tung transport.
  - Analyse af energilagringmuligheder (varmelagre, batterier, gaslagre, syntetiske brændsler).
  - HVDC-løsninger til havmøller og Super Grid, og betydningen for Danmark.
  - Infrastruktur til billadning med stor effekt og til "ikke-fossile brændsler" til tung transport.
  - Bedre værktøjer til prognostisering, opdelt i tid og sted, så der er styreparametre for de enkelte netstreng.

Det er arbejdsgruppens opfattelse, at energiforskningen i Danmark fortsat bør have et bredt sigte. Det skyldes en betydelig usikkerhed om elsystemernes udvikling i Danmark og i andre europæiske lande, også på kort sigt.

Usikkerheden betyder også, at energiforskningsprogrammerne ikke bør have et ensidigt teknisk fokus. Samspillet mellem teknologierne og menneskene/samfundet har afgørende betydning. Markederne og institutionerne i energiforsyningen skal tilpasses den teknologiske og politiske udvikling. Samfundsvidenskaberne (økonomi, statsvidenskab, sociologi) bør derfor have en naturlig plads i energiforskningen, herunder afdækning af regulatoriske barrierer.

Da det har været vanskeligt for arbejdsgruppen at skaffe sig et overblik over resultaterne af den danske energiforskning, anbefaler arbejdsgruppen, at forskningsprogrammerne fremlægger over-

sigter over resultaterne. Det kunne samtidigt forbedre grundlaget for at målrette den kommende forskningsaktivitet.

Sammenlignet med andre EU-lande har Danmark en forholdsvis lav andel af projekter med demonstration og implementering af nye metoder<sup>5</sup>. Arbejdsgruppen anbefaler derfor, at der godkendes flere projekter med vægt på disse områder.

## 1. Baggrund

Rammerne for udbygning med vindkraft i Danmark er fastlagt med en politisk aftale fra foråret 2012. Vindkraftens naturlige variationer vil udfordre driften af elsystemerne. Som et bidrag til løsning af dette problem indføres en ny generation af intelligent automatik i elnetten med to-vejskommunikation helt ud til brugerne. Et af formålene er at kunne tilpasse elforbruget til det aktuelle udbud og til forholdene i de lokale net. De nye metoder betegnes internationalt som Smart Grid.

I Danmark har der i flere år været arbejdet med Smart Grid-forberedelser. I april 2013 fremlagde Klima-, Energi- og Bygningsministeriet en Smart Grid-strategi med en række initiativer til gennemførelse af det politiske system og af energivirkomhederne.

Målet er at gøre engros- og detailmarkederne klar til at håndtere fleksibelt elforbrug i perioden indtil 2020. Et af midlerne er installation af fjernaflæste timeelmålere hos alle forbrugere.

Rapporten specificerer i alt 14 initiativer til det politiske system og 6 initiativer til energibranchen. Det sidste af energibranchens initiativer lyder:

- Energiforskningsprogrammerne opfordres til at foranledige en tværgående vurdering af, hvilke forhold der mangler at blive udviklet og demonstreret for at fremme en optimal ressourceudnyttelse med 50 pct. vindenergi i elsystemet.

Energiforskningsprogrammerne har til opgaven udpeget en arbejdsgruppe af evaluatore.

Evaluatortruppens medlemmer:

- Lennart Söder, KTH
- Per Holmgaard, Holmgaard Consulting
- Pernille Skjerskede Nielsen, Gate 21
- Jørgen Bjørndalen, EC Group
- Paul-Frederik Bach, konsulent (formand)

Styregruppens medlemmer:

- Klaus Rosenfeldt Jakobsen, Danmarks Innovationsfond
- Hanne Thomassen, EUDP
- Jørn Borup Jensen, ELFORSK
- Jeannette Møller Jørgensen, ForskEL

<sup>5</sup> Ref. til JRC-rapporten.



## 2. Arbejdsgruppens observationer

### 2.1 Forskning for en usikker fremtid

Det eneste, vi med sikkerhed ved om fremtiden, er, at det er uvist, hvad der vil ske. Planlægning for fremtiden betyder derfor planlægning med uvished. Når uvisheden er stor, og det er sandsynligt, at tiden bringer vished, er det sundt fornuft at overveje at udsætte beslutninger om fremtiden. Men hvis det er usandsynligt, at vi får større vished og mere viden på et senere tidspunkt, kan vi lige så godt træffe beslutninger med det samme.

Hvad angår energisektoren, ved vi ikke, hvad der vil blive de dominerende teknologier til at skaffe el, varme, køling og strøm til vores hjem og tilværelse i 2050, selv om vi har store ambitioner om at klare os uden at ødelægge kloden og klimaet. Den viden, vi i dag har om omkostningerne til forskellige teknologier og andre egenskaber, kan være helt forældet og irrelevant i 2050. Vi kender ikke folks præferencer og vaner angående såvel forbrug som energiforsyning i 2050.

Denne rapport er baseret på formodningen om, at den danske energisektor i 2020 vil levere 50 pct. af den elektricitet, der forbruges i Danmark fra vindkraft. Vindkraft er uregelmæssig og udfordrer forsynings- og systemsikkerheden. Når mængden af vindkraft øges, kræves der mere fleksibilitet fra andre kilder. Ud over denne formodning og dens almindelige implikationer er det uvist, hvordan den resterende elektricitet produceres, hvilke teknologier der vil blive anvendt for at sikre systemsikkerhed, balance, frekvens, spænding, evnen til at starte fra dødt net etc., hvordan mennesker og virksomheder vil bruge elektricitet, og i hvilket omfang slutbrugerne vil tilbyde den indbyggede fleksibilitet i deres brug af elektricitet til et marked, eller om de hellere vil foretrække at tilbageholde fleksibiliteten til "eget" brug.

Når beslutninger udsættes, bør forskningsprogrammerne for fremtidens el- og energisystemer omfatte en bred vifte af teknologier både for udbud og efterspørgsel af el. Desuden er det vigtigt at forstå konsekvenserne af en aktuel politik og markeder, hvad angår potentielle begrænsninger for fremtidige valgmuligheder (kendt som lock-in effect). I stedet for at vælge en eller nogle få teknologier og fokusere al forskning inden for et snævert mål, er vores evaluering baseret på troen på, at forskning bør kunne maksimere fremtidens valgmuligheder. Mangfoldighed er i sig selv også en værdifuld egenskab, når det drejer sig om kilder til fleksibilitet i fremtidens elsystem. Robusthed, systemsikkerhed og effektivitet kræver en portefølje af teknologier, ressourcer og leverandører (af fleksibilitet). Da midler og ressourcer er begrænsede, er implementering af en bred vifte alt andet end enkel. Støtteprogrammerne til forskning og udvikling bør derfor nøje overveje mulighederne.

### 2.2 Megatrends for husholdninger

I nedenstående afsnit er sammenfattet forskellige bud på megatrends inden for bosætning, transport, byggeri og livsstil. Dette for at skabe en forståelse for, hvordan vores samfund udvikler sig, og hvordan vi kan realisere de samfundsmæssige målsætninger.

#### 2.2.1 Bosætning

Den mest betydningsfulde demografiske forandring er en stigende urbanisering. Særligt forventes en befolkningstilvækst i Hovedstadsområdet og i Østjylland. Urbaniseringen forventes at være hård mod mange landområder. Mange små samfund forventes enten at være marginaliserede eller helt forsvundet. Danmarks Statistiks befolkningsfremskrivning frem mod 2023 viser, at Københavns Kommune forventes at have en befolkningstilvækst på 19 pct., hvilket er landets største befolkningstilvækst. I Århus forventes en befolkningstilvækst på 12 pct. Trods en forventet

samlet befolkningstilvækst for hele Danmark på 3 pct. er der i 52 kommuner udsigt til et fald i befolkningen frem mod 2023. Tilbagegangen forventes at blive størst i yderområderne, eksempelvis Læsø og Lolland. Her forventes en befolkningstilbagegang på henholdsvis 14 og 12 pct.

Ud over den stigende urbanisering forventes andelen af ældre og enlige at vokse. Ifølge Danmarks Statistik forventes der i 2044 at være halvanden mio. over 65 år, hvilket svarer til 25 pct. af befolkningen.

### *2.2.2 Bygninger*

Ifølge Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) fornyes bygningsmassen i gennemsnit med 1 pct. om året. Det meste af det byggeri, der står i 2050, er dermed allerede bygget i dag.

Vi forventes at bo i større boligenheder, men husholdningernes energiforbrug forventes at være halveret i 2050. Det forventes, at vores boliger bliver energirenoveret i to bølger. I første bølge, drevet af besparelspotentialet, er der fokus på at begrænse boligens energitab. I den anden bølge, drevet af teknologiudviklingen, bliver husene intelligente og i mange tilfælde selvforsynende med varme og energi fra små, decentrale anlæg. Varmepumper overtager opvarmningen uden for tæt bymæssig beboelse.

Danmark forventes også at have nyt bæredygtigt byggeri, først og fremmest i omegnen af de større byer og bycentrene, hvor industrien har rømmet store arealer. Her har urbaniseringen og befolkningsudviklingen skabt behov for nye boliger. Nye boliger er opvarmningsmæssigt energineutrale.

En megatrend er genanvendelse. Når en bygning rives ned eller renoveres, bliver de forskellige elementer typisk afmonteret og genbrugt. Der forventes også at være en udvikling i at genanvende materialer fra andre industrier. Genanvendelse betyder også, at flere af os bor i bygninger, der er sat sammen af selvstændige moduler. Det er både billigere og imødekommer efterspørgslen efter fleksible boliger, hvor eksempelvis fleksible vægge og elementer gør det muligt at udvide med et værelsesmodul eller på anden vis indrette boligen efter forskellige behov.

### *2.2.3 Transport*

Den korte fysiske afstand i byområder mellem erhvervsliv, myndigheder, medarbejdere og uddannelse forventes at gøre det samlede persontransportbehov mindre. Flere og flere møder afvikles via computer og telefon, så transportbehovet knyttet til arbejdslivet forventes også at blive mindre.

I de nye byer forventes der mere kollektiv trafik, og flere cykler sætter deres præg på livet i byen. 9 ud af 10 københavnere bor højst 600 meter fra en metrostation. Udfordringerne er, at de flere mennesker i byerne øger behovet for mobilitet på et mindre areal. Det skaber trængsel og et behov for effektive kollektive transportløsninger, der kan flytte mange mennesker effektivt. Der vil være behov for en overordnet trafikstyring modsat i dag, hvor hver transportform styres separat og ikke er koordineret.

Vi har stadig bil, men mikser transportformer efter behov. Fremtiden vil byde på mere koordinati- on mellem transportmidler og bedre information til mobilisten "on their way". Mobilisten stræber efter fleksibilitet, og ejerskab af bil m.m. er ikke så interessant som i dag. Deleøkonomier er også udbredt på transportområdet med delebiler og delecycler.

I 2008 brugte vi 32 pct. af vores energi i transportsektoren. I 2050 forventes det samlede energiforbrug at være faldet med en femtedel, selvom den økonomiske vækst fortsætter, og transporten kun udgør 27 pct. 80 pct. af den danske person- og varetransport forventes at køre på el.

#### 2.2.4 Energiforbrug og livsstil

Meget omkring os vil forandre sig, men vi vil i høj grad bo i de samme boliger, uanset om det er lejligheden, rækkehuset eller villaen. Boligen er holdepunktet i vores tilværelse, og det sted vi søger hen, når vi har brug for at være os selv eller sammen med familien. Sociologer og psykologer synes at være enige om, at det i fremtiden bliver endnu vigtigere at have et hjem med fred, tryghed og stabilitet i en verden, der forandrer sig hurtigere og hurtigere. Det skal være sådan, at vi, når vi vågner om morgenen, ikke behøver at starte helt forfra. Hjemmet vil afspejle, hvem vi er.

Antropolog ved SAXO-Instituttet Marc Vancher anbefaler boligselskaberne, at lejerne fremover får mulighed for at kunne have mulighed for at skabe deres eget rum omkring sig. Han anbefaler, at den almene sektor lader sig inspirere af vores viden, om hvad der driver husejerne i den private sektor. *"Det ses jo tydeligt, hvor vigtigt det er for dem (ejerne) at sætte deres eget præg på omgivelserne både ude og inde."*

Vores elforbrug forventes i endnu højere grad at blive flyttet til underholdning, kommunikation og information. Vores apparater forventes at bruge fortsat mindre energi, men vi anskaffer flere. Vi kommunikerer med alt og alle, og dataflowet pr. person forventes at vokse enormt, men det er ikke noget problem. Datakapaciteten synes uendelig.

Sundhed er også integreret på boligmarkedet. Vi vil ikke acceptere luftforurening i byerne, og vores trivsel i bygningerne er kommet i fokus. Dagslys og frisk luft er en integreret del af energirenovering. Energibehovet til belysning vil falde drastisk over de nærmeste år.

Marskandisere, genbrugsbutikker og udlejningsbureauer har kronede dage. Vintage er hot. Brug-og-smid-væk er dårlig smag og dyrt. Det betyder, at kvalitet er en vigtig konkurrenceparameter. Vi accepterer kollektive løsninger, men vil have effektivitet og komfort. Vi vil hellere lease, leje, abonnere og dele end eje. Denne tendens ses allerede nu og forventes at stige i takt med, at vaskemaskiner, vinduer, energisystemer mv. bliver mere og mere avancerede, dyrere at vedligeholde og sværere at betjene, så vi leaser dem af firmaer, som sørger for vedligeholdelse og løbende optimering.

### 2.3 Svag formidling af forskningsresultater

Til støtte for dens vurderinger af den aktuelle forskningsindsats har arbejdsgruppen haft nytte af en liste over 99 projekter (bilag 2). Listen er fremkommet som bilag til et indledende arbejde. Desuden findes der på <http://www.energiforskning.dk/da> statistikker over dansk energiforskning og korte oversigter over 2.221 projekter gennem de seneste 8 år.

Arbejdsgruppen har imidlertid været nødt til at søge andre kilder for at kunne vurdere, hvor langt forskningen er nået. Det er kun lykkedes i begrænset omfang.

Alle projekter indeholder en forpligtelse til at foretage en formidling af projektets forløb og resultater. Det aftales i hvert enkelt tilfælde, i hvilket omfang formidlingen skal respektere kommercielle interesser. Formidlingsindsatsen har imidlertid været ujævn og mangler fuldstændigt i visse tilfælde.

Adgang til et retvisende overblik over energiforskningens fremdrift må være af interesse for både forskningsmiljøerne og for den offentlighed, som betaler forskningen. Desuden kan et overblik over resultaterne være nyttigt ved forberedelsen af fremtidige programmer og ansøgninger.

Derfor anbefaler arbejdsgruppen, at projektoversigterne skal indeholde en kort beskrivelse og bedømmelse af resultaterne af afsluttede projekter.

Det ligger i forskningens natur, at projekternes intentioner ikke altid kan opfyldes. Det er der ikke noget odiøst i. Derfor skal bedømmelserne ikke have økonomiske konsekvenser, medmindre der konstateres forsømmelser i forhold til vilkårene for projekternes godkendelse.

### 3. Elforsynings udfordringer

#### 3.1 Situationen i 2014

Med lukningen af Stignæsværket og Enstedværket er Danmark kommet i den situation, at det ikke vil være muligt at dække hele elforbruget i alle tænkelige situationer, hvis det ikke blæser. Det understreger vigtigheden af adgang til at sikre den nødvendige forsyning fra de internationale markeder.

Den installerede kapacitet af vindmøller ved udgangen af 2013 var 4.795, heraf 3.524 MW på land og 1.271 MW på havet<sup>6</sup>. Den samlede produktion i 2013 var 6.451 GWh svarende til 33 pct. af det danske elforbrug.

En betydelig kraftvarmeproduktion bidrager til et produktionsoverskud af el om vinteren. Udlandsforbindelserne og de internationale markeder har indtil nu været i stand til at opfange udsvingene som følge af, at summen af kraftvarmeproduktion, vindkraft og solceller ikke følger elforbrugets variationer.

I de primære net er der installeret nye synkronkompensatorer for at stabilisere nettet i de situationer, hvor de nødvendige systemtjenester ikke kan leveres fra store enheder.

De lokale net rapporterer i enkelte tilfælde om spændingsproblemer på grund af solceller, især når disse ikke er jævnt fordelt på de 3 faser.

#### 3.2 Perspektiver for 2020

Frem mod 2020 forventer Energistyrelsen vindkraftens effekt i Danmark forøget til 5.700 MW<sup>7</sup>. Samtidigt forventes den termiske kapacitet reduceret fra 7.000 MW til 5.800 MW.

Det er muligt, at den termiske kapacitet i 2020 vil være endnu lavere end vist i tabellen. Vattenfall har meddelt, at Fynsværkets blok 7 tages ud af drift i 2016. De decentrale kraftværker mister det såkaldte grundbeløb i 2018. Det kan medføre omfattende lukninger.

På grund af kraftværkslukningerne vil de indenlandske ressourcer til balancering af de danske net være mindre i 2020 end i 2014. Foruden kraftværkerne findes der godt 300 MW elpatroner i fjernvarmesystemerne. Der er i Danmark kun ringe erfaringer med store varmepumper. Det skyldes først og fremmest energifgifterne.

Kapacitet (MW)	2013	2020
Central i drift	4.600	4.100
(Centrale ikke i drift)	(2.400)	-
Decentral, fjernvarme	1.800	1.100
Decentral, industri	600	600
(Decentral ikke i drift)	(100)	-
<b>Termisk total i drift</b>	<b>7.000</b>	<b>5.800</b>
Udland, import	5.100	7.900
Havvind	1.300	2.700
Landvind	3.300	3.000
<b>Total</b>	<b>19.200</b>	<b>19.400</b>

*Tabel 3. Vurdering af kapacitet på termiske værker, udlandsforbindelser og vind i 2013 og 2020.*

<sup>6</sup> Energistyrelsens stamdataregister for vindmøller.

<sup>7</sup> Energistyrelsen: Analyse af elnettets funktionalitet, maj 2014.

I andre europæiske lande ses den samme tendens. Det vil skabe det paradoks, at der vil være kapacitet nok, men mangel på styrbar effekt. Derfor forbereder de fleste lande kapacitetsordninger, som skal sikre kraftværksejernes incitament til at opretholde den nødvendige styrbare kapacitet. Kapacitetsordningerne kan få den virkning, at de dæmper elmarkedets prisspidser og dermed også forbrugernes incitament til at sænke forbruget i disse perioder.

Efterspørgselssidens bidrag til balanceringen er genstand for mange undersøgelser. Det forudsætter design og implementering af et slutbrugermarked og/eller andre mekanismer for udnyttelse af slutkundernes fleksibilitet. Der er i Danmark arbejdet en del med forbrugeradfærd, men ikke meget med markedets design.

Kraftværkslukningerne vil reducere kortslutningseffekten og dermed svække driftssikkerheden. Grænserne for sikker drift af de store net bygger i høj grad på erfaring. De omfattende ændringer i flere lande aktualiserer revurderinger af, om disse grænser skal justeres. På grund af emnets kompleksitet vil det være egnet til forskning.

Planlægning af ressourcer til levering af reaktiv effekt vil kræve særlig opmærksomhed i forbindelse med omlægningen til vedvarende energi. Manglende reaktiv effekt medfører faldende net-spænding, hvad der har haft en afgørende rolle i de fleste store blackouts. Fremskaffelse af reaktiv effekt opfattes normalt ikke som et Smart Grid-emne, men det kunne det godt være ifølge beskrivelserne i kapitlerne 4.2 og 4.3. En systematisk automatisering (inklusive PMU) og optimering ud fra en passende driftssikkerhed vil kunne bidrage positivt til elsystemets effektivitet og driftssikkerhed. Derfor kan netregler, ansvarsfordeling, planlægning og styring for reaktiv kapacitet godt være relevant for en samordnet systemteknisk og samfundsøkonomisk forskning.

De lokale net kan forvente en betydelig tilgang af solceller, varmepumper og elbiler. Ingen kender den fremtidige sammensætning af denne tilgang. I store områder er nettene dimensionerede til et forholdsvis lavt elforbrug, som har været stagnerende på grund af effektive kampagner for elbesparelser.

Derfor vil der efter al sandsynlighed være tale om store udfordringer både til en sammenhængende strategi for udviklingen af lokale net og for de strukturer, som skal muliggøre forbrugernes aktive medvirken i en effektiv udnyttelse af den forhåndenværende infrastruktur. Dette omfatter både IKT, komponenter, forbrugeradfærd og markeder. Dette problemkompleks må betragtes som en hastesag, da elforbrugets sammensætning kan ændre sig hurtigt.

### **3.3 Udviklingen fra 2020 til 2035**

I de lokale net vil erstatningen af oliefyr med varmepumper være den mest forudsigelige ændring med de nuværende intentioner. Det betyder et øget elforbrug, som ikke vil være fleksibelt i den kolde årstid, og som mange steder kommer, hvor det lokale elnet er forholdsvis svagt. Der kan endda tænkes supplerende elvarme, især på kolde dage, hvor luft til luft-varmepumper ikke kan dække varmebehovet.

Desuden vil forbruget til elbiler ifølge de nuværende prognoser vokse til ca. 1.200 GWh om året og produktionen fra solceller til ca. 1.500 GWh om året. Tilsammen vil det medføre betydelige ændringer for driften af lokale net.

Et avanceret koncept for overvågning og styring af lokale net, som bør være udviklet og afprøvet inden 2020, må forventes at være implementeret i stor skala i 2035.

Balanceringsen vil bero på biomassefyrede kraftværker, konvertering af el til varme og udveksling med udlandet. De biomassefyrede kraftværker vil sandsynligvis være mindre fleksible end de kul- og gasfyrede. Det forventes således, at produktionen på Studstrupværket og andre enheder efter ombygning til fyring med træpiller vil følge varmekonsumet (modtryksdrift), da marginalprisen i kondensdrift ikke bliver konkurrencedygtig. Det vil være muligt at absorbere ganske meget el-overløb i fjernvarmesystemerne.

Det virkelige problem bliver vindstille perioder. Om vinteren kan der forventes en betydelig elproduktion fra biomassefyrede kraftvarmeværker, men de vil sandsynligvis ikke bidrage om sommeren. Det kan så blive spotprisen i Tyskland, som kommer til at bestemme markedsprisen i Danmark, og den skal højt op, før det kan betale sig at lave kondensproduktion på et biomassefyret kraftværk.

Det har længe stået klart, at den klimaneutrale og fleksible afløser for elforsynings nuværende arbejdsheste endnu ikke er opfundet. Her er der en stor udfordring for forskerne.

Driftssikkerheden skal nok blive udfordret i 2035, men det vil være svært at vurdere uden detaljerede systemanalyser.

### 3.4 Sigtelinjer mod 2050

Hvis målene for 2035 bliver opfyldt i tide, synes der ikke at være behov for større nyskabelser i de lokale net mellem 2035 og 2050.

I 2050 vil Energistyrelsens fire ikke-fossile scenarier være meget forskellige. De udgør 2 grupper, Bio+ og Biomasse på den ene side og Vind og Brint på den anden side.

2050 (MW)	Vindkraft	Solceller	CKV	DKV	IKV	Affald	GT*	Total
Fossil	8.500	800	1.575	1.425	488	366	1400	14.554
Bio+	6.000	1.000	2.400	864	516	366	400	11.546
Biomasse	8.500	2.000	2.040	684	516	366	1000	15.106
Vind	17.500	2.000	-	684	305	366	4600	25.455
Brint	21.000	2.000	-	684	445	366	4600	29.095

*Tabel 4. Installeret kapacitet i 2035 og 2050 i de 5 scenarier. Foreløbige data. CKV = centrale kraft(varme)værker, DKV = decentrale kraft(varme)værker, IKV = industrielle kraftvarmeværker.  
\* Det er beregningsmæssigt antaget, at den elkapacitet, der mangler for at opnå tilfredsstillende forsyningsikkerhed, etableres som gasturbiner. Men det kunne også være anden kapacitet eller forbrug.*

For Vind og Brint er elsystemets omsætning øget fra de nuværende ca. 35 TWh om året til 78 og 89 TWh. Det vil gøre disse scenarier til de største udfordringer, både med hensyn til balancering og driftssikkerhed.

Scenarie PJ	Vind	Solceller	KV	Kondens	Brændsels-fabrikker	Elimport	Eleksport	Total
Vind	246,2	6,1	24,6	5,0	3,9	46,7	-51,9	280,6
Biomasse	113,3	6,1	34,9	33,4	4,8	15,4	-42,7	165,3
Bio+	75,9	3,1	39,7	40,1	5,2	5,4	-46,4	122,9
Brint	295,4	6,1	21,2	4,4	3,0	45,5	-55,7	320,1
Fossil	113,2	2,4	63,2	23,6	0,0	6,9	-62,1	147,1

Tabel 5. Beregnet elproduktion, elimport og -eksport i PJ for 2050.

1 TWh er 3,6 PJ.

Vind og Brint udveksler 13-15 TWh med udlandet i begge retninger, mens de mere traditionelle scenarier har en nettoeksport omkring de 10 TWh. I begge scenarier skal konvertering fra en energiform til en anden bidrage til balanceringen.

Det kan bemærkes, hvis der er nettoeksport, betyder det sandsynligvis, at gennemsnitsprisen i Danmark vil være lavere end prisen i nabolandene, ellers vil der ikke være en nettoeksport. Det kan derfor være en udfordring at finansiere ressourcer, som muliggør et overskud.

Brintscenariet forudsætter, at brintfabrikker kan aftage over 4 GW samtidigt med, at der efter behov kan eksporteres 4 GW. I den modsatte retning rådes der over 4,6 GW gasturbiner, og der skal kunne importeres omkring 4 GW.

Det er svært at pege på, hvad der skal udvikles for at gøre den ekstreme driftsform mulig. Det er usikkert, om fremtidens spotmarkeder vil absorbere sådanne svingninger, så driftsformen forudsætter sandsynligvis nogle særlige kapacitetsaftaler.

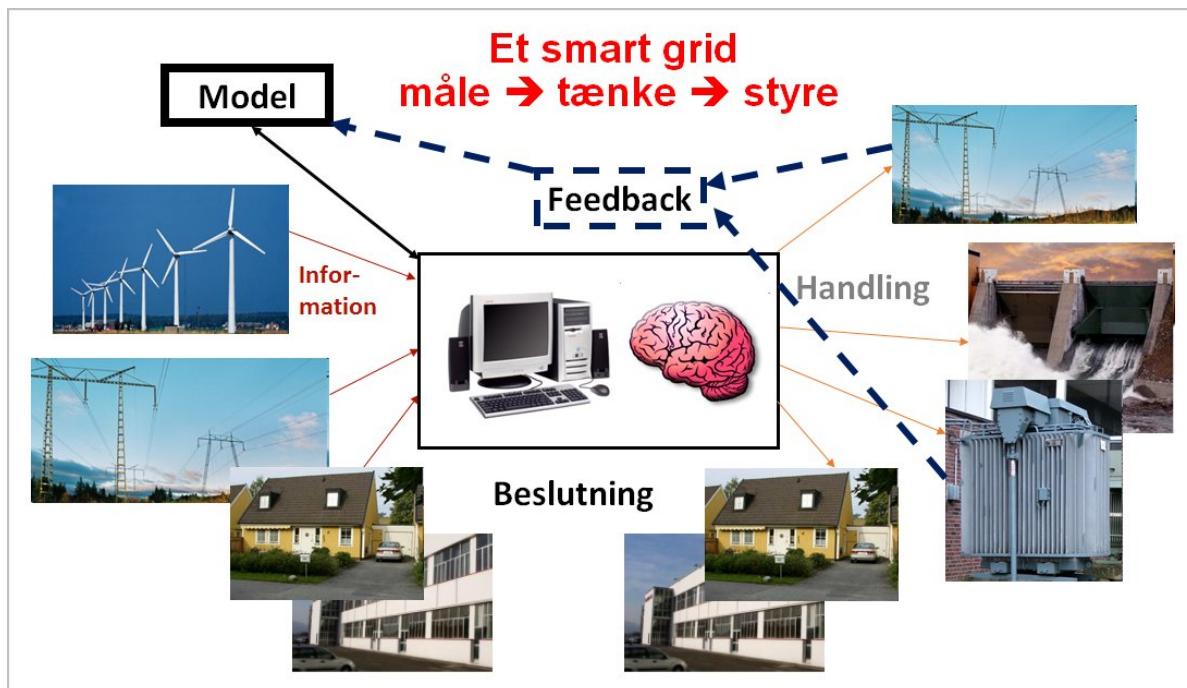
Den øgede omsætning og især de langt større effekter vil kræve betydelige netforstærkninger. Ønsket om at undgå nye luftledninger vil kræve formaskede jævnstrømsløsninger, som endnu ikke anses for moden teknologi.

Endelig bør det nævnes, at de nye anlæg til håndtering af store effekter med en forholdsvis lille benyttelsestid bliver en økonomisk udfordring. Der kan således være behov for driftsøkonomiske analyser.

## 4. Smart Grid

### 4.1 Smart Grid-funktioner

Smart Grid er en betegnelse, som i de senere år er blevet brugt stadig hyppigere for at beskrive, hvordan man kan forbedre driften af elsystemet på forskellig vis ved at øge brugen af informationsteknologi. En almindelig definition er: *"Smart Grid er et elnet, som på intelligent vis kan integrere adfærd og handling af alle brugere, der er forbundet til det – producenter, forbrugere og dem, der er begge dele – for at sikre økonomisk effektive, bæredygtige energisystemer med små tab og højt niveau af kvalitet, forsyningsikkerhed og sikkerhed"* (fra *European Technology Platform*). I et elsystem er opgaven at bibeholde en løbende balance mellem produktion og forbrug på en økonomisk, pålidelig og miljøvenlig måde. Da der ikke er nogen egentlig lagring i elsystemet, må man fortsat styre balancen fra sekund til sekund. Figuren beskriver driftsprincippet for, hvordan denne interaktion kan finde sted.



I elsystemet bruges IKT til løbende at **måle** mangeartede parametre fx spænding, overført effekt, produktion og forbrug. Disse informationer kan så bruges til at træffe forskellige beslutninger. Beslutningerne er målrettede til på den mest effektive (smarte) måde at **styre** produktionen, forbruget og overførslen, så driften af elsystemet overholder kravene til økonomisk effektivitet, pålidelighed og miljøpåvirkning. Det er ikke selve styringen, der er smart, men **resultatet** af styringsindgrebet. For at vide om en særlig styring er "smart" eller ej, skal man have en **model** af systemet for at udarbejde en prognose af konsekvensen. Dette er i realiteten en form for udregning, hvor konsekvensen af en bestemt beslutning bliver beregnet/estimeret. **Beslutninger** kan enten anvendes automatisk af computere/processorer eller af mennesker, som studerer situationen og udsender styresignaler.

Denne grundlæggende funktion er ikke ny, men en generel teknologisk udvikling med en kraftig omkostningsreduktion i forbindelse med, at IKT har gjort det muligt at udnytte nye muligheder og markant strømlinje denne proces. For at realisere visionen om et smartere elsystem er der behov for ny udvikling på områder som Smart Grid, effektive IKT-systemer, innovative elektriske komponenter og materialer samt energilagring.

Der er adskillige grunde til, at "Smart Grid" er ved at blive mere interessant. Disse omfatter:

- **Sensorer** bliver billigere, hvilket betyder, at man for mindre omkostninger kan **måle** fx. spændingsniveauer og overføre signalerne.
- Den tekniske udvikling med mere effektelektronik har ført til, at det er blevet lettere og billigere at **styre**. Eksempler på dette er konvertere til ventilatorer eller solceller, hvor man ret nemt kan skifte effektniveau og/eller spændingsniveau. Andre eksempler (dog ikke nye) er ændret timing af vandopvarmning, brugen af huses termiske inertie til at vælge opvarmningstid, opladning af elbiler og valg af tidspunkt for brug af varmepumper.
- Udviklingen har ført til bedre og billig **IKT** (inklusive høj kapacitetsoverførsel, hurtige computerskærme, smart phones etc.), hvilket betyder, at det er lettere at få et hurtigt og præcist



estimat af systemets tilstand. Og med fx smart phones kan man næsten overalt få de krævede informationer.

Udviklingen af disse teknologier har gjort det lettere at kunne estimere konsekvenserne af visse indgreb. Fx kan man direkte måle konsekvensen af visse handlinger, og ved lagring af disse informationer kan man få et godt mønster for konsekvensen af en vis styringsfunktion. Dette øger igen muligheden for at tage **smarte beslutninger**.

## 4.2 Transmission

Transmissionssystemet forbinder alle forbrugere med producenter. Dette omfatter også forbindelser med andre områder. Der er adskillige mål for dette system inklusive:

- Bevare en stabil spænding
- Reducere behov for lokale reserver, så disse kan spredes ud på et større geografisk område og koordineres
- Reducere samlede produktions- og forbrugsvariationer, da belastning og produktion i forskellige områder ikke varierer på samme måde
- Muliggøre reduktion af driftsomkostninger, da billig strøm kan transporteres til andre områder og på den måde erstatte dyrere strøm i disse områder.

Der er dog adskillige forhold, som skal tages i betragtning for at designe det korrekte omkostningseffektive transmissionssystem, herunder:

- Effektiv håndtering af afbrydelser, der er forårsaget af lynnedslag. Det omfatter effektive beskyttelsessystemer, det vil sige hurtig identifikation af fejl og hurtig tilpasning af driften til den nye tilstand.
- Investering i den rette mængde transmission på baggrund af omkostninger og driftsnytte.
- Optimal teknisk/økonomisk balance mellem automatiske systemer og omfanget af nødvendige menneskelige indgreb.

Smart Grid medfører brugen af IKT til at drive transmissionssystemet så effektivt som muligt. Generelt er der allerede en stor mængde IKT implementeret i disse systemer. Der er imidlertid nogle områder, hvor der er behov for forskning og udvikling. Disse inkluderer:

- Brug af PMU'er. Med denne teknologi kan man næsten omgående få et overblik over systemets tilstand. Man kan bruge PMU-data til fx beskyttelsessystemer, identifikation af strømforhold (statisk eller dynamisk) og identifikation af komponent- og systemparametre.
- Med store computerressourcer er det muligt at kombinere estimat af driftstilstand med viden om komponenters styringsparametre (fx vindkraft) og drive systemet tættere på de tekniske grænser med et givet accepteret risikoniveau. Dette inkluderer også dynamisk klassificering af komponenter, som kræver flere målinger og fortsat analyse. Resultatet er mindre sikkerhedsmarginer, hvilket betyder reducerede omkostninger, da eksisterende ressourcer udnyttes i højere grad.
- Med bedre viden er det muligt at drive systemet tættere på de tekniske grænser eller i stedet bruge denne viden til at øge systemets pålidelighed.
- Øget automatisk systemanalyse, som kan erstatte menneskers beslutninger og/eller understøtte beslutninger, der er taget af mennesker i kontrolrummene.

### 4.3 Distribution

Distribution består både af mellemspændingsledninger forbundet via transformere til transmissionsnettet og lavspændingssystemet, som forsyner husholdninger med el. Distribution inkluderer også mellemspændingsledninger fra fx vindmølleparker. Der er ikke på nuværende tidspunkt meget IKT i dette system sammenlignet med mængden i transmissionssystemet.

Smart Grid indebærer brugen af IKT til at drive distributionsnettet så effektivt som muligt. Da IKT bliver billigere, kan det være relevant at installere nogle af de løsninger, som allerede findes på transmissionsniveau, men der er også nogle nye specifikke udfordringer i disse systemer, som fx:

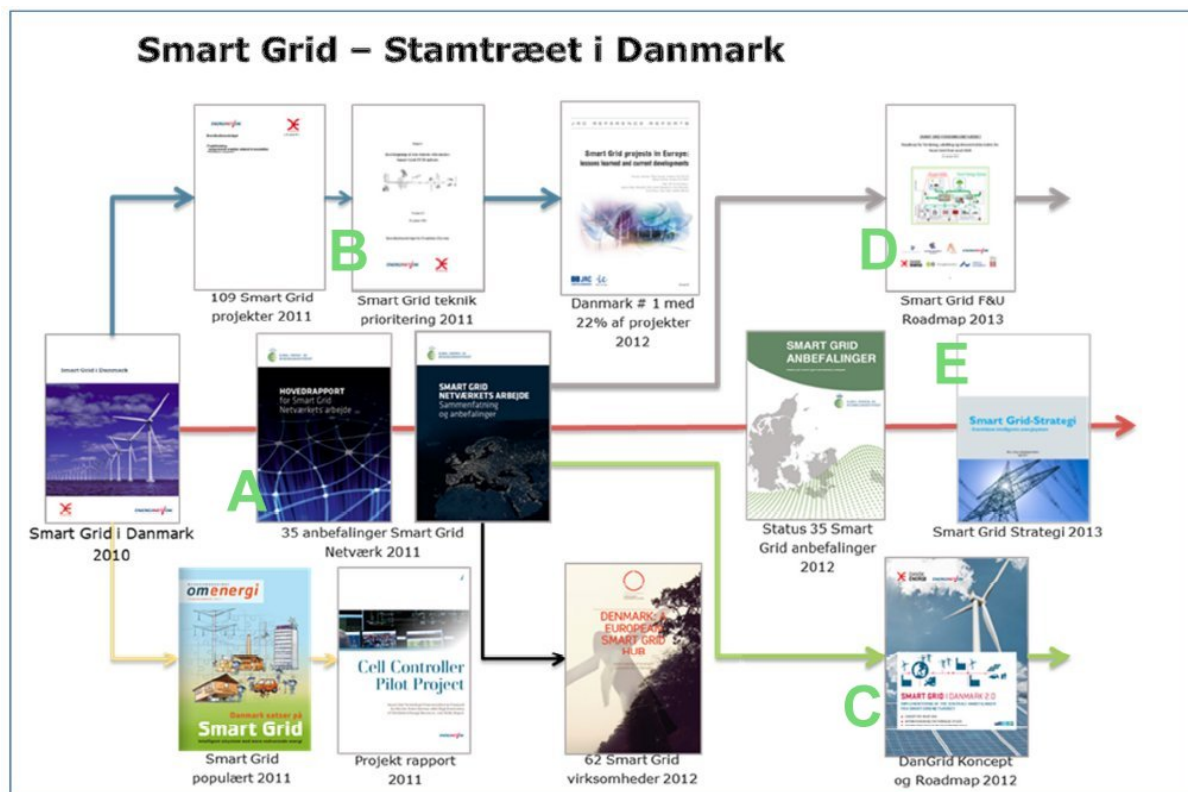
- Brugen af fjernaflæste målere. Når intelligente målere bliver implementeret i husholdninger og andre steder, kan dette udstyr måle spænding og strøm, og disse data kan overføres til dem, der driver systemet. Vigtige spørgsmål er: Hvor ofte og hvad er værdien?
- Med solceller og tilhørende invertere i distributionsnettet er det teknisk muligt at styre lavspændingsniveauet. Udfordringerne omfatter kommunikation, parameterindstilling og systemværdi.
- Med større mængder distribueret produktion er det teknisk muligt at drive distributionsnettet som ø-drift i tilfælde af problemer i transmissionsnettet. Men det vil kræve et mere komplekst styreværktøj at holde systemet stabilt.
- Med flere målinger er det muligt at implementere systemer, som meget hurtigere omkøber kunderne efter et udfald i distributionsnettet, da det bliver meget lettere at identificere stedet og typen af problem, der forårsagede udfaldet.

Med større styrbarhed i systemet er det også muligt at håndtere flaskehalse også i distributionsnettet ved at bruge muligheden for regulering af efterspørgslen og/eller decentral produktion.

## 4.4 Smart Grid-udvikling

### 4.4.1 Det danske stamtræ

Arbejdsgruppens kommissorium præsenterer de vigtigste referencer med denne figur:



"Stamfaderen" er "Smart Grid i Danmark 2010". Dette arbejde beskriver de oprindelige ambitioner for Smart Grid-udviklingen. Resultatet af rapportens økonomiske analyser er, at Smart Grid er den mest effektive og billigste metode til opgradering af elsystemet.

Da væsentlige forudsætninger om udviklingen for elbiler og solceller allerede nu har ændret sig afgørende siden 2010, bør resultaterne anvendes med forsigtighed. Forskydningerne skaber behov for en opdatering af rapportens økonomiske analyser.

GWh i 2020	Smart Grid i Danmark 2010	Energinet.dk: Analyseforudsætninger 2014-2035
Forbrug elbiler	720	140
Produktion PV	110	714

Desuden er følgende arbejder udpeget med særlig relevans for arbejdsgruppen:

- A. "Hovedrapport for Smart Grid Netværkets arbejde" 2011
- B. "Kortlægning af den danske elbranches Smart Grid FUD-indsats" 2011
- C. "Smart Grid i Danmark 2.0 – Implementering af tre centrale anbefalinger fra Smart Grid Netværket". 2012
- D. "Smart Grid Forskningsnetværkets Roadmap for forskning, udvikling og demonstration inden for Smart Grid frem mod 2020" 2013
- E. "Smart Grid-Strategi - fremtidens intelligente energisystem", 2013

Hovedrapporten (A) er udgivet af Klima-, Energi- og Bygningsministeriet og udarbejdet af et Smart Grid-netværk, bestående af 25 virksomheder. Det er rapportens hovedsigte at gøre en del af elforbruget flytbart i tid. Rapporten munder ud i 35 anbefalinger, som alle er rettet mod eldistributionen.

"Kortlægning af den danske elbranches Smart Grid FUD-indsats" (B) er udgivet af Energinet.dk og Dansk Energi og udarbejdet af Koordinationsudvalget for Fremtidens Elsystem med deltagelse af Energinet.dk, Dansk Energi, DONG Energy, TREFOR EI-net og SydEnergi Net. Rapporten er en meget systematisk gennemgang af elsystemets udviklingsbehov med klassifikation af et stort antal forskningsprojekter og angivelse af aktualitet i enten 2015 eller 2020.

"Smart Grid i Danmark 2.0..." (C) er udgivet af Energinet.dk og Dansk Energi med Dangrid som paraply. Rapporten bygger på resultater fra "Smart Grid i Danmark 2010".

Bag "Smart Grid Forskningsnetværkets Roadmap..." (D) står Energinet.dk, Dansk Energi, fire universiteter foruden DI Energi og Alexandra Instituttet. Rapporten vil være en central kilde ifølge kommissoriet. Arbejdsgruppens vurderinger skal dække denne rapporters fem hovedområder:

- Elsystemet
- Energimarkeder
- Komponenter
- Forbrugere
- Informations- og kommunikationsteknologi, IKT

Klima-, Energi- og Bygningsministeriets Smart Grid-strategi fra 2013 (E) rummer oplæg til en række initiativer herunder det arbejde, som er beskrevet i denne arbejdsgruppes kommissorium.

#### 4.4.2 EU

Den Europæiske Kommission har udgivet rapporten "Smart Grid Projects Outlook 2014"<sup>8</sup>.

Den omfattende rapport rummer detaljerede statistikker for EU-landenes Smart Grid-forskning. I den internationale sammenligning ligger dansk Smart Grid-forskning forholdsvis højt, men andelen af demonstration og implementering ligger ret lavt.

<sup>8</sup> Smart Grid Projects Outlook 2014 udgivet af Den Europæiske Kommission.

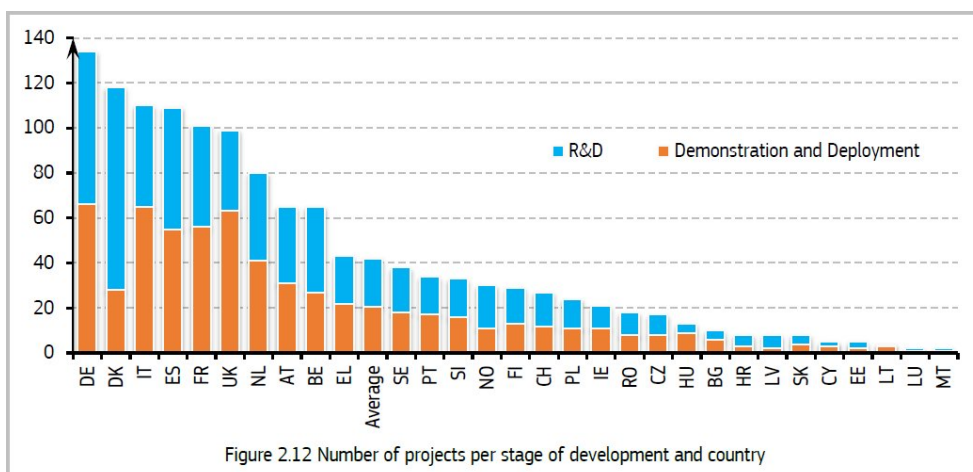


Figure 2.12 Number of projects per stage of development and country

Det giver anledning til overvejelse om, hvorvidt Smart Grid-forskningen i Danmark bør lægge vægten på demonstration og implementering.

#### 4.5 Design af slutbrugermarked

I de første hundrede år gav elmarkederne rundt om i verden kun købere af el få valgmuligheder. Monopoler var state of the art. Men for fire til fem årtier siden dukkede tanken om at introducere konkurrence op i litteraturen. Fokus var især rettet mod organisering af konkurrencebaserede engrosmarkeder, hvor produktionsvirksomheder udarbejder kontrakter med detailhandlere og meget store (industrielle) slutbrugere. De fleste lande, der senere gik om bord i "liberaliseringen af markedet" inklusive Danmark, startede også sådan og udsatte åbningen af slutbrugermarkederne (detail), indtil et konkurrencebaseret engrosmarked var veletableret. To af grundene til udsættelsen er, at det forventede bruttoudbytte ved at skabe konkurrencebaserede markeder er størst i engrossegmentet, og at design og skabelse af velfungerende konkurrencebaserede slutbrugermarkeder kræver en større indsats og større administrative ressourcer.

Opsplitningen af energiselskaber ved at skille netaktiviteter fra konkurrencebaserede aktiviteter er en afgørende faktor for at skabe effektive konkurrencemarkeder. Ved første øjekast er det ret nemt at fastlægge, hvilke opgaver der burde være konkurrencebaserede, og hvilke der burde være inden for de regulerede monopolars domæner: Bygning og drift af ledninger er netopgaver, mens bygningen og drift af kraftværker og salg af el er kommercielle opgaver. Men efterhånden som markeder udvikler sig, skifter efterspørgslen, og nogle kraftværker bliver udfaset og andre bygges, bliver det mere kompliceret. Et nyt kraftværk er måske urentabelt, medmindre der foretages visse netinvesteringer – og sådanne netinvesteringer kan være meningsløse uden det nye kraftværk. Et andet eksempel er muligheden for at reducere netinvesteringer på grund af mere fleksibel belastning. Så hvordan kan vi sikre, at uafhængige parter træffer effektive beslutninger, samtidig med at vi tvinger dem til en opsplitning? Det er givetvis en af grundene til, at sektoren blev organiseret med lodret integrerede firmaer i første århundrede af den elektriske æra.

Inden for sektorens engrosdel er opsplitningen normalt blevet opnået ved at skabe et eller nogle få transmissionsselskaber, i Europa er de primært organiserede som TSO'er<sup>9</sup>. Da TSO'erne er monopoler inden for deres grænser, bliver de (eller bør de blive) reguleret tæt både teknisk og finansielt. Dette kan lade sig gøre, da der kun er en eller få TSO'er at regulere for hver regulerende myndighed. Inden for detailmarkedet er situationen mere kompleks. Og på trods af at di-

<sup>9</sup> TSO er en forkortelse af Transmission System Operator og refererer generelt til en el- eller gasansvarlig virksomhed, som også ejer eller udøver stor kontrol over infrastrukturen. I USA og andre dele af verden er ejerskabet af infrastrukturen ofte adskilt fra systemansvaret. Selvom der kun er en systemansvarlig transmissionsvirksomhed inden for hver region, kan der være adskillige infrastrukturejere.

stribueret produktion og Smart Grid byder på nye muligheder, medfører det også yderligere komplikationer til udfordringen med at designe effektive detailmarkeder og effektiv regulering af lokale netselskaber (DSO'er – distributionselskab). Nogle af disse udfordringer og dilemmaer bliver forklaret efterfølgende og bør tages i betragtning i fremtidige forskningsprogrammer.

- Mange er af den opfattelse, at elpriserne bør være ens ikke kun inden for et lands grænser, men helst også ret ens i forhold til nabolandenes priser. Stabile priser over en periode kan anses for en succesfaktor for organisering af elsektoren, men disse "krav" modarbejder fuldstændigt de muligheder, som Smart Grid-teknologien åbner for: Her er idéen at opfordre selv små slutbrugere til at tilpasse deres forbrug i forhold til udefrakommende afvigelser i produktionen (fx vindkraft) eller kortsigtet kapacitetsmangel forårsaget af stor sideløbende efterspørgsel i form af varierende priser. Hvis det er tilfældet, vil elpriserne blive alt andet end stabile og ens.
  - Dette dilemma kan løses på to måder. Enten opgiver man idéen om stabile og ens priser, eller også skal tilpasning af forbruget styres af andre midler og metoder end prissignaler. Dette er udelukkende et politisk valg, men det vil få stor indflydelse på det egentlige design af slutbrugermarkedet.
- I det omfang vi bruger prissignaler til at tilpasse forbruget, skal vi også overveje prisdannelse og markedsmekanismer i mikro-markeder. Historisk set har der været betydelig bekymring for prisdannelse i det danske engrosmarked og mistanke om misbrug af dominerende positioner. Hvad med et lokalt marked bestående af 10-20 husholdninger bag en overbelastet transformerstation, hvor nogle af disse både er producenter og forbrugere? Burde hvert netselskab opstille børslignende mekanismer – for hver overbelastet transformerstation? Hvem skulle overvåge og gennemtvinge konkurrencelove i sådanne mikro-markeder? Accepterer vi rent faktisk forskellige elpriser i forskellige dele af en by? Og hvordan skulle vi helt nøjagtigt designe interaktionen mellem priser og udsving i efterspørgslen? Reaktionen på prissignaler, efter at priserne er fastsat fx i balancemarkedet, er ikke det samme som at deltage i prisdannelse på baggrund af udbud og efterspørgsel.
- Nettariffer er også prissignaler. Da vi ønsker, at forbrugerne skal reagere på energipriser, og da vi opmuntrer både producenter og forbrugere til at deltage aktivt i at imødekomme efterspørgslen på el, er det endnu vigtigere, at nettarifferne afspejler omkostningerne på optimal vis. Mens principperne er velkendte i teorien (det vil sige, at energirelaterede nettariffer kun bør afspejle kortsigtede variable omkostninger som nettab, hvorimod de øvrige netomkostninger bør opkræves uden at påvirke beslutninger om forbrug eller produktion), er implementeringen i en dansk sammenhæng i praksis en permanent udfordring.
- Selv om den moderne teknologi sandsynligvis vil reducere transaktionsomkostninger, virker det sandsynligt, at belastningsændringer (eller optioner til ændring) fra individuelle husholdninger og andre små slutforbrugere er samlet og markedsført af aggregatorer. Men bør vi lade aggregatorerne konkurrere blandt slutbrugerne, eller bør vi kræve, at de lokale netselskaber involverer en sådan samlefunktionalitet i deres serviceportefølje? Bør aggregatorerne drive konkurrerende markeder, eller burde vi hellere stræbe efter en slags centraliseret løsning som en puljeløsning (D-pool – Nord Pool for distribution)?
- Smart Grid-teknologi tillader strammere og større udnyttelse af netaktiver. Det vil uundgåeligt øge de fysiske tab i netinfrastrukturen, da tab er en fysisk kapacitetsudnyttelsesfunktion. Men der er modstridende politiske ambitioner i forhold til at reducere de fysiske tab, som kun kan opnås ved at øge netkapaciteten i forhold til efterspørgsel, og i det tilfælde er behovet for Smart Grid-teknologi i distributionsnettet lavere.
- Hvis større fysiske tab accepteres, og kapacitetsmangel bliver mere almindelig i distributionsnettet, opstår der en ny type problemer med kapacitetsallokering. Kapacitetsallokering og styring af overbelastning er en af de mere komplekse dele af reguleringen af en-

grosmarkedet og transmissionsselskaberne, og på en måde skal der i sidste ende udvikles noget lignende for distributionssektoren. Accepterer vi, at de lokale distributionselskaber opkræver flaskehalsindtægter? Hvornår og på hvilke betingelser burde vi i stedet kræve netforstærkning? Kan netselskaber øge deres flaskehalsindtægter og rentabilitet ved at reducere investeringer, som øger kapaciteten? Hvem bør bære risikoen og flaskehalsomkostningerne — kunderne eller netselskaberne? Hvilken type langsigtede kontrakter bør der tilbydes? Bør netselskaber være forpligtede til at tilbyde langsigtede (finansielle) kontrakter?

Lignende udfordringer opstår, når distribueret produktion øges. Når (eller hvis) husholdninger hyppigt er nettopleverandører, hvordan skal omkostningerne til det lokale net så deles mellem forbrug og produktion? Bør produktion, der føder ind i lokale net, betale mindre end produktion, der føder direkte ind i transmissionssystemet? Eller burde produktion være mere eller mindre undtaget fra nettariffer?

## 5. Energiforskningens stade og anbefalinger

Ifølge kommissoriet (bilag 1) skal arbejdsgruppens vurderinger dække områderne:

1. Elsystemet
2. Energimarkeder
3. Komponenter
4. Forbrugere
5. Informations- og kommunikationsteknologi (IKT)

Kapitlerne 5.1 til 5.5. belyser den aktuelle forskning på disse områder. Teksterne tilstræber en samlet fremstilling for hvert område. Det medfører et vist overlap, så samme forskningsemne omtales i flere afsnit.

### 5.1 Elsystemet

#### 5.1.1 Anbefalinger fra januar 2011

Koordinationsudvalget for Fremtidens Elsystem under Energinet.dk og Dansk Energi har allerede i januar 2011 i "Kortlægning af den danske elbranches Smart Grid FUD-indsats"<sup>10</sup> samlet deres anbefalinger for elsystemets udvikling.

Fra udvalgets liste over emner, som fortjener intensiveret FUD-indsats, anses følgende for stadig at være aktuelle i 2014:

- Tilgangen af jævnstrømsforbindelser vil skærpe rampeproblemet ved timeskift. Problemet vil bedst kunne løses i et samarbejde mellem eksperter fra drift og marked.
- Der er behov for tekniske og økonomiske analyser af forretningsmodeller for betaling for de systembærende egenskaber, som skal være til stede for at sikre stabil drift og høj el-kvalitet.
- Lukning af store kraftværker vil medføre faldende kortslutningseffekter. Dette vil udfordre den stabile drift, ikke kun for transmissionen, men også i distributionsnettene, hvor begrænsning af spændingsvariationer og sikring af en acceptabel spændingskvalitet vil kræve nye virkemidler.
- Timeaflysninger af slutbrugernes energiforbrug bør kunne suppleres med effekt- og spændingsmålinger til støtte for håndteringen af flaskehalse i lokale net. Brug af PMU i lokale net kan også blive aktuelt.

<sup>10</sup> Dansk Energi og Energinet.dk: Kortlægning af den danske elbranches Smart Grid FUD-indsats, januar 2011

- Tilgangen af fleksibelt elforbrug vil gøre driften af lokale net (60 kV og derunder) mere kompleks. Det vil øge behovet for en nyfortolkning af DSO-rolle samt udvikling af strategier og særlige planlægningsværktøjer til distributionsnet.

For kommunikationen peges særligt på fastlæggelsen af protokolstandarder og på de voksende problemer med datasikkerhed.

### 5.1.2 Udvalgte aktuelle projekter

Emnerne i foregående afsnit behandles i nogle af projekterne fra listen i appendiks 1. Den følgende tabel rummer udvalgte eksempler. For flere af disse projekter er de foreliggende beskrivelser imidlertid utilstrækkelige til en bedømmelse.

Emner	Projekt	Nr.	Bedømmelse
Elsystemet			
Samlet funktion	Udvikling af ... et moderne elsystem	54	Ikke mulig (bør uddybes)
Balancering	BPES	71	Afvent resultat
Drift	Systemtjenester fra ... decentrale ...	47	Ikke mulig (bør uddybes)
Transmissionen			
Planlægning	Best paths	93	Næppe aktuelt før 2020
Drift	SOSPO	53	Meget interessant
Distributionen			
DSO-rolle	evolvDSO	96	Ikke mulig (bør uddybes)
Planlægning	IDE4L-DK	99	Meget interessant
	Planlægning af Smart Grid distributionsnet	80	Ikke mulig (bør uddybes)
Drift	Styring, beskyttelse og ... i LV-net	72	Ikke mulig (bør uddybes)
Netbeskyttelse	PRONET	52	Interessant (bør uddybes)
Planlægning	iPower, WP3	1	Bredt anlagt analyse

Med færre store enheder og et voksende transportbehov bliver det vanskeligere at opretholde transmissionssystemets driftssikkerhed. SOSPO-projektet udvikler styresystemer til automatisk ændring af produktions- og forbrugsmønstret i nettet for dermed at modvirke ustabilitet og forebygge afbrydelse. Dette projekt skønnes at kunne bidrage til driftssikkerhedens opretholdelse under de nye vilkår.

Der er mange og forholdsvis små distributionsselskaber i Danmark. Samspillet mellem transmission og distribution skal foregå ensartet og sikre alle kunder en acceptabel leveringskvalitet. Derfor kan der være en idé i at se nærmere på, om projektet "EvolvDSO" kan bidrage med nye tanker til det eksisterende samarbejde mellem transmission og distribution.

"Smart Grid i Danmark" fra 2010 fremhævede de nye anvendelser af distributionsnettene som den store udfordring, hvor en begavet kombination af automatik og forstærkninger kunne spare mange penge. Projektet "IDE4L-DK" tester distributionsnet for ekstreme belastninger og alternative virkemidler. Resultatet kan blive et værdifuldt planlægningsværktøj. Det bør måske suppleres med udviklingen af en udbygningsstrategi, som tager højde for den store usikkerhed i forventningerne til de nye anvendelser af nettene.

Der er desuden grund til at se nærmere på PRONET, fordi beskyttelsen af net for 60 kV og derunder har stået i vejen for en mulig genopbygning af forsyningen fra lokale værker efter større driftsforstyrrelser. Problemet skyldes, at traditionelle beskyttelser forudsætter, at kortslutningseffekt fødes ind fra det højere spændingsniveau. Det vil være interessant, hvis PRONET kan føre til udvikling af mere fleksible beskyttelsessystemer til lokale net.



Nogle af de øvrige projekter bør revurderes efter tilvejebringelse af de nødvendige oplysninger.

## 5.2 Energimarkeder

Markedsforskning handler om, hvordan en sektor bør organiseres, hvilket ansvar, hvilke forpligtelser og rettigheder de forskellige agenter (markedsdeltagere) burde have, hvordan "produkter" kan eller bør defineres, og hvordan disse produkter bør allokeres, og hvordan priserne bør fastsættes. Svarene på sådanne spørgsmål afhænger helt klart af, hvilke teknologier der er eller vil være til rådighed, hvordan vi kan forvente slutbrugere, leverandører og andre agenter vil opføre sig og reagere på forskellige markedsresultater og udefrakommende hændelser, og hvilke krav samfundet stiller til markedet.

Bemærk, at "marked" ikke nødvendigvis refererer til et konkurrencebaseret marked. En sektor eller service kan lige så godt organiseres med en enkelt leverandør (monopol) eller køber (købermonopol), hvis det er mere effektivt. Markedet er ikke et mål, men et middel til at opnå specielle formål som effektivitet, fairness, klimaforandring og lignende. Prioritering af formålene er generelt et politisk emne. I adskillige sektorer inklusive energi, skelner vi mellem engros- og detailmarkeder. Opdelingen er hensigtsmæssig, hvis der fx er betragtelige forskelle i mængden mellem sælgere og købere. Det er tilfældet, når el primært kommer fra kraftværker på adskillige hundrede MW, og de fleste kunder kun kræver nogle få kW, er forskellen blevet passende. Hvis hovedparten af elektriciteten kom fra mange og små uafhængige producenter, ville situationen måske være anderledes.

Rundt regnet en tredjedel af projekterne, som vi har undersøgt, behandler omdannelse af traditionel efterspørgsel (last) til fleksibel efterspørgsel med en mere eller mindre tydeligt formuleret idé om husholdninger eller andre slutbrugere, som giver en slags fleksibilitet til en DSO, TSO'en eller "markedet". Vi benævner ikke dette som markedsforskning, da der generelt ikke er nogen ambitioner i sådanne projekter om at undersøge, hvordan markedet burde eller kunne fungere eller designes. Ikke desto mindre giver disse projekter en værdifuld og vigtig indsigt i forbrugeradfærd og andre karakteristika i forhold til fleksibilitet i potentielle leverancer fra forskellige typer slutbrugere.

10-15 pct. af de potentielt relevante projekter har et omfang ud over mobilisering af fleksibel efterspørgsel, og disse projekter kan betragtes som markedsforskning. Nogle af dem tilgår fleksibilitet som et svar på en allerede fastsat pris, hvorimod andre projekter iagttager muligheden for fleksibilitet som en del af prisdannelsen. To meget vigtige emner, når man diskuterer markedsdesign, som passer til dansk (og europæisk) energipolitik mod 2050, er, hvordan fleksibilitet bør defineres som et produkt", og hvordan den egentlige elslutbruger bør tilpasses (optimeres) i henhold til elsystemets ændrede tilstand. Adskillige af disse projekter adresserer disse emner, selv om få af disse projekter har disse emner som deres overordnede forskningsmål. Se appendiks 2 for et kort overblik over, hvilke projekter der er relevante.

Yderligere forskning med tydeligt fokus på elmarkedsdesign i en Smart Grid-sammenhæng er nødvendig, og vi anbefaler følgende emner:

### 5.2.1 Produktificering – hvad er "en enhed fleksibilitet"?

Uden en skarp definition af et produkt eller en service er det svært at beskrive og organisere et konkurrencemarked og at undersøge prissætningen af et produkt. I elmarkeder som Nord Pool Spot og detailmarkederne, hvor leverandører konkurrerer om kunder blandt små og mellemstore slutbrugere, bruges MWh/h eller kWh som "produktbeskrivelse". TSO'er opretholder generelt markeder til systemydelse, hvor "produkter" er defineret sammen med adskillige dimensioner,

som beliggenhed og tilslutningssted, hastighed, hvormed man øger/nedsætter aktivitet, svartid og varighed, inerti og lignende. Hvis distribueret elproduktion og fleksibilitet i efterspørgsel forventes at skabe tjenester for TSO'er eller lignende markeder på DSO-niveau, kræves yderligere arbejde for at klarlægge passende produktdefinitioner.

### 5.2.2 *Prisernes rolle*

Når der diskuteres markeder og markedsdesign, tager vi det normalt for givet, at individuelle agenter bør tage deres beslutninger baseret på priser og betalingsvilje. Det er et væsentligt træk i konkurrencebaserede markeder, hvorimod monopoler ofte forventes at motivere fx kapacitet og beslutninger om priser anderledes. Men prisernes rolle afhænger af, i hvilket omfang agenterne er villige til at reagere på priser, og i hvilket omfang offentligheden accepterer, at priser svinger i forhold til knaphed på produkter.

Hvilken rolle bør priser spille på fremtidens elmarked – i særdeleshed på fleksible markeder? Bør vi opfordre til omlægning af efterspørgsel baseret på tidsdifferentierede priser til relevante slutbrugere, eller bør vi hellere stole på fjernstyring eller indbygget styring baseret på tekniske parametre eller indikatorer? Mens vi kan forvente, at husholdninger ikke bekymrer sig om, hvornår deres køleskabe aftager strøm fra nettet, så længe den indvendige temperatur er korrekt, er sagen ikke helt så klar, når vi taler om opladning af elbiler, opvarmning eller offentlige bygninger generelt.

### 5.2.3 *Markedsarkitektur*

Produktificering er en forudsætning for en rigtig analyse af markedsarkitekturen, fx hvem der er de (potentielle) markedsdeltagere, hvad deres roller er, forpligtelser og ansvar og lignende. Vigtige og endnu ikke berørte forhold inkluderer, hvordan man håndterer konkurrerende købere, både når deres krav er ens, og når deres krav konflikter. Hvordan bør vi koordinere og prioritere blandt de potentielle købere af fleksibilitet? Bør der være fastsatte prioriteringsregler? Er det sandsynligt, at det vil være effektivt, hvis vi lader DSO'er og TSO'er sende bud som på en traditionel auktion?

Et stiliseret eksempel kan fremhæve dette forhold: Forestil dig en slutbruger, der er villig til at udsætte sit forbrug – hun tilbyder fleksibilitet. Det kan være nyttigt for DSO'en, hvis den relevante station udnyttes næsten fuldt ud. Samtidig kan det også være nyttigt for TSO'en, hvis systemet har en frekvens under 50 Hz. På den anden side, hvis systemfrekvensen er over 50 Hz, kan udsættelse af belastningen måske løse DSO'ens problem, mens den samtidig øger TSO'ens. Det interessante tilfælde er, når en TSO betaler forbrugerne for at øge efterspørgslen, mens DSO'er samtidig betaler forbrugerne for at reducere eller udsætte efterspørgslen. Mens dette måske er et ubetydeligt dilemma, når der er tale om én husholdning, kan det være markant, hvis det drejer sig om 100.000.

### 5.2.4 *Transaktionsomkostninger*

Med transaktionsomkostninger henviser vi her til de administrative omkostninger til afsendelse og modtagelse af bud og tilbud på fleksibilitet, inklusive kommunikation, koordinering, måling, afregning, driftssikkerhed etc. Mens adskillige demonstrationsprojekter har givet værdifuld indsigt i forbrugeradfærd og forskellige apparaters evne til at sende information og endda træffe beslutninger (fx tænd/sluk-beslutninger afhængigt af priser eller andre parametre), har vi langt fra fuld indsigt i relevante omkostninger, når man sammenligner fleksibilitet fra konkurrerende ressourcer.

### 5.2.5 DSO-styring

Da lokale netselskaber (DSO'er) betragtes som naturlige monopoler, er de underlagt teknisk og økonomisk styring. Styringens art afspejler opgaverne og DSO'ens teknologi. Med indførelsen af Smart Grid ændrer vi begge, og derfor må man også overveje forandringer i styringen. Hvordan sikrer man neutralitet og objektiv behandling af alle gennemførlige alternativer for DSO'er, som står over for fx kapacitetsbegrænsninger? Inden for hvilke grænser bør DSO'er tillades at designe lokale markeder for relevante lokale systemydelser? Hvordan bør flaskehalsindtægter, opkrævet via stationer underlagt begrænsninger, behandles under den finansielle kontrol af DSO'en?

### 5.2.6 Afsluttende bemærkninger

Mens adskillige projekter har berørt vigtige markedsaspekter for Smart Grid, som fx forbrugeradfærd og tekniske muligheder, har få projekter taget vigtige økonomiske forhold om markedsdesign op. Nogle projekter bør have et større perspektiv og betragte markedsdesign i lyset af de største udfordringer for elsystemet. Det ultimative mål bør være at udvikle realistiske forretningsmodeller for demand response (fleksibelt forbrug). Det medfører udnyttelse af erfaringer, som er samlet fra demonstration og andre tidligere projekter, som forklarer, hvordan forbrugssidens fleksibilitet kan aggregeres og implementeres på markedet. For at gøre dette, behøver man mere forskning inden for områder som mulige produktbeskrivelser, prisernes rolle og andre signalfaktorer, reguleringsramme, markedsarkitektur og selvfølgelig omkostninger. Nye projekter bør derfor have større fokus på hvert af de 5 nøgleområder, der er nævnt ovenfor.

Dette peger også på, at de økonomiske videnskaber som adfærdsøkonomi, optimering og driftsforskning, forretning og strategi, og samfundsøkonomi alle er yderst relevante. Det er imidlertid vigtigt at have for øje, at disse videnskaber skal anvendes i tæt samspil med de tekniske videnskaber især el, men også med områder som termodynamik, automation og IKT.

## 5.3 Komponenter

Ved komponenter forstås alle elementer, der producerer, transporterer, transformerer, konverterer, kobler, lagrer eller forbruger elektricitet.

Der er i teksten summarisk henvist til hidtidigt udviklingsarbejde, en mere systematisk henvisning findes i Appendiks 2.

### 5.3.1 Produktionsleddet

Den store udfordring for produktionsleddet i et system med meget stor installeret effekt fra vindmøller er stabilitet i perioder, hvor næsten hele produktionen kommer fra vindmøller, og alternativ produktion i de perioder, hvor der er meget ringe vind. Disse perioder kan vare i uger, og det er derfor nødvendigt at råde over import eller egne produktionsenheder, der kan dække den samlede belastning. Det er nødvendigt, at der træffes strategiske beslutninger om, hvorledes dette problem håndteres, og at der kan meldes så klart ud, at vi ikke risikerer, at den bestående kraftværkseffekt, centralt og decentralt, forsvinder uden, at der er klarhed over, hvad der skal erstatte den. Produktionsprofilen for disse enheder vil blive stor effekt i lille driftstid, og gasturbiner er derfor for nuværende den mest nærliggende løsning. Gassystemet med tilhørende lagre vil derfor fortsat være vigtige elementer. Samproduktion af el og varme vil give gode muligheder for at inddrage fjernvarmen i behovet for fleksibel produktion og energilagring. Det er derfor nødvendigt i tide af have afklaret, hvorledes denne kobling skal se ud i det fremtidige produktionsmønster, og i hvor høj grad store varmepumper og eventuelle fjernkøleanlæg skal indgå i løsningen.

Problemstillingen er velkendt, men der er i det tilgængelige materiale stort set ingen projekter, der beskæftiger sig med egentlig elproduktion og med en samlet analyse af, hvordan vores pro-

duktionsapparat skal transformeres frem mod 2035. Vi ser kraftværksblokke lukke, og de centrale anlæg vil have det svært efter bortfald af grundbeløbet i 2018.

### **Behov for ny forskning og udvikling frem mod 2020**

For at sikre stabilitet i produktionen med vind som dominerende producent bør vindparkernes evne til at stabilisere nettet som vindkraftværker analyseres og eftervises (spændingsregulering, effektregulering, High Wind Ride Through, inertie m.m. kortlægges).

Analyse af de nuværende centrale og decentrale produktionsenheders rolle i de kommende år og deres samspil med varme- og gassystem vurderes med stor vægt på behovet for regulerings-egenskaber.

### **Behov for forskning og udvikling på længere sigt**

Udvikle og opbygge kosteffektive produktionsenheder til dækning af perioder med lav eller ingen vind, samt til reserve og spidslast, herunder valg af ikke-fossile brændsler.

#### *5.3.2 Energikonvertering (Power to Fuel) og biogas til gasnet og energilagring*

Målsætningen om CO<sub>2</sub>-neutralitet i elforsyningen fra 2030 vil sandsynligvis give anledning til en del overproduktion fra vindkraft, og den langsigtede målsætning for 2050 vil stille krav om CO<sub>2</sub>-neutrale brændsler til hele transportsektoren. Det er svært at se, hvorledes dette kan realiseres uden konvertering af elektricitet fra vindsektoren til gasformige eller flydende brændsler enten direkte eller ved opgradering af biomateriale.

Der er en del projekter i gang på dette område, men de fleste er rettet mod demonstration af enkelte processer. Der synes at være behov for mere grundforskning til at støtte valget af de processer til energikonvertering og lagring, der har bedst potentiale til opskalering og kommercialisering. Det er måske lidt for tidligt i forhold til markedets behov, men det er meget vigtigt at få skabt et beslutningsgrundlag for valg af de teknologier, der skal udvikles frem til storskala produktion.

### **Behov for ny forskning og udvikling frem mod 2020**

Forskningsmæssigt grundlag for at kunne vælge de processer og de brændselstyper, der har potentiale til at lave energikonverteringerne (P2G, P2H, G2P) med høj termodynamisk effektivitet og til acceptable priser, og hvor lagring og transport af disse indgår.

Analyser af forskellige typer biomasses indpasning i energisystemet (forbrænding, forgasning, konvertering).

### **Behov for forskning og udvikling på længere sigt**

Demonstration af de udviklede processer og etablering af produktions- og lagringsanlæg. Afklaring af om brint er egnet som slutprodukt, eller om det er mere hensigtsmæssigt at arbejde med metanisering til gasnettet eller mod flydende brændstoffer til tung transport og industri og anlægsarbejde.

#### *5.3.3 Transmissionssystemet*

Transmissionssystemet får nye roller i et system, hvor der ikke er store termiske kraftværker i drift, og hvor en stor del af produktionen er placeret i lavere spændingsniveauer. Meget af produktionen og en stigende del af forbruget forbindes til nettet via frekvensomformere. Derved mistes den stabiliserende virkning af inertien i de store enheders roterende masser, og den nødvendige stabilisering må skabes på anden måde. Der er planlagt installation af en række synkronkompensatorer og af et antal SVC-anlæg for at stabilisere spændingskvaliteten. Reserver

må påregnes at ligge ganske langt fra forbrugsområderne, og det internationale transmissionsnet indgår derfor også i stabiliseringsopgaven. Der er behov for at stille skærpede krav til de komponenter, der indgår i transmissionsnettet i form af måleudstyr, koblingsanlæg, stabiliseringsenheder og produktionsanlæg som større vindparker.

Der foregår en del forskning og udvikling på feltet med Energinet.dk som det naturlige omdrejningspunkt. Der er ligeledes en række internationale projekter i gang for at håndtere de overordnede problemstillinger, ved at de vedvarende energikilder fra vand, vind og sol typisk ligger langt fra belastningscentrene i Europa. Danmark ligger med sin placering mellem vand og termisk dominerede områder og med stor indføddning af vindkraft meget specielt, og der er derfor grund til at være stærkt engageret i de europæiske arbejder. Der bør træffes politisk/strategiske beslutninger om, i hvilken grad vi vil være afhængige af udlandsforbindelser for at dække effekt, balancering, reserve og eventuelle dødstartsbehov. Kommende udviklinger i HVDC-teknologien vil give nye muligheder for transport af store energimængder over store afstande.

### **Behov for ny forskning og udvikling frem mod 2020**

Fastlæggelse af fremadrettede krav til ydelser og kommunikationssystemer for komponenter til levering af systemydelser.

### **Behov for forskning og udvikling på længere sigt**

Analysere HVDC-løsninger til store havmølleparker og til opbygning af Super Grid og vurdering af betydningen for Danmark.

#### *5.3.4 Distributionssystemet*

Distributionsnettet vil møde udfordringer ved lokal produktion yderst i nettet og ved en ændret profil af forbruget med etablering af solceller, varmepumper og billadere.

Med lovgivning mod olie og gasfyr til opvarmning vil en meget stor del af varmebehovet uden for fjernvarmeområder blive lagt på elsystemet via varmepumper. I områder, hvor mange har solceller, vil produktionen fra disse være dimensionsgivende for de yderste dele af distributionsnettene, og med den forventede vækst i antallet af elbiler vil ladning af disse give helt nye udfordringer for distributionen. Der er derfor mange nye elementer, der radikalt vil ændre driftsbetingelserne for nettene, og der vil en lang række steder blive behov for netforstærkninger og sandsynligvis også behov for en egentlig styring af forbruget, således at overbelastninger kan undgås, og så netudbygningen ikke bliver alt for dyr. Det er her, vi for alvor ser behovet for Smart Grid.

Det er der jo ikke noget overraskende i, og vi ser da også, at det er i dette område, at en meget stor del af forsknings- og udviklingsindsatsen har fundet sted. Der er gennemført en række projekter på styring af varmepumper, optimering af elbilladning, systemanalyser til optimering af netdrift, værktøjer til aggregering af fleksibilitet, analyser af markedsmodeller, oplæg til standardisering af kommunikationsprotokoller osv. Resultatet er, at der er ganske god viden på komponentniveau, men det er ikke lykkedes endnu at få et ægte markedssignal ud til brugeren. Forbrugernes incitament til at involvere sig er dermed ikke til stede.

For at sikre en kosteffektiv og markedsvenlig opbygning af Smart Grid er det nødvendigt, at distributionsselskaberne samarbejder om de nødvendige standarder for komponenter og kommunikationssystemer, gerne set i internationalt perspektiv. Det skal, ud over at skifte leverandør, også være muligt at have flere leverandører, at aggregere fleksibelt forbrug til fx elbiler og varmepumper og at lade sin bil overalt, uden at det medfører datatab eller andre problemer. Der er en del projekter, hvor branchen indgår i samarbejder om koncepter og dataudvekslingsprotokoller, men finder det væsentligt, at disse arbejder fortsættes og munder ud i egentlige standarder og krav-

specifikationer til de indgående komponenter. Der sker i øjeblikket en meget hurtig udvikling på batteriområdet, både hvad angår kapacitet og pris. Det er sandsynligt, at batterier kan få ganske stor betydning for stabilisering og belastningsudjævning i distributionsnettene.

### **Behov for ny forskning og udvikling frem mod 2020**

Sikre nationale og internationale standarder for Smart Meters og deres kommunikation, således at de signaler, der er nødvendige for Smart Grid/Smart Operation, kan hentes. Tilsvarende bør væsentlige styrbare elementer som elbilladere, varmepumper og solcelleanlæg underlægges en standardisering, der tilgodeser Smart Grid-behov (uden at stoppe udviklingen af komponenterne).

Analyse af omkostningseffektivitet ved etablering af Smart Grid-styrede komponenter, hvad skal kunne styres, og hvor kan systemet finde billigere løsninger på anden måde?

Skabe effektive beregningsværktøjer til belastningssimulering og dimensionering af distributionsnet og en metodik for opbygning og serviceniveau, så kommende markedskrav kan imødekommes.

Analysere driftsstabilitet i transmission og distribution ved forskellige scenarier for udbygning med solceller, varmepumper og elbiler for at afklare, i hvilken udstrækning overordnet styring af disse komponenter er nødvendig, og på hvilket detaljeringsniveau styring er hensigtsmæssig, og for at udlede de krav der skal stilles til de pågældende komponenter.

Få skabt ægte og dynamiske priser eller andre incitamenter ud til forbrugeren og mulighed for aggregering af forbrugere, så fleksibiliteten kan markedsføres. Markedsdesign skal inddrages.

Der bør etableres demonstration af store varmepumper i fjernvarmenet, gerne i et større decentralt kraftvarmesystem med flere produktionskilder.

Der bør etableres batterilagre i distributionssystemet for at teste deres anvendelighed til netstabilisering og til belastningsudjævning, specielt i forbindelse med solcelleanlæg, varmepumper og billadere

### **Behov for forskning og udvikling på længere sigt**

Få etableret en infrastruktur for ladning og afregning af elbiler på steder, hvor de ikke holder på ejerens matrikel.

Opbygge afregningssystemer, der tillader aggregering på tværs mellem selskaber (varmepumper m.m.), og som kan følge kunden overalt (elbiler).

Etablering af effektive værktøjer til prognostisering for PV-produktion, vindproduktion, varmebehov opdelt i tid og sted, således at belastningsprognoser for de enkelte netstrenge kan etableres, og således at der kan styres og reguleres herefter.

Sikre at udviklingen på batteriområdet kan benyttes til mere effektive distributionsanlæg.

#### **5.3.5 Forbrugsleddet**

Kunderne eller forbrugerne spiller naturligvis en stor rolle i etablering af det samlede Smart Grid-billede. Det er dem, som træffer beslutning om det øjeblikkelige og kommende energiforbrug dels ved deres adfærd, og dels ved deres beslutninger om anskaffelse af diverse intelligente apparater, både privat og i erhvervs-mæssig sammenhæng.

Det er afgørende, at der opbygges en økonomi, der får forbrugerne til at træffe de valg, der understøtter den overordnede politik, og som afbalancerer produktion og forbrug på ønskelige tidspunkter på døgnet. Dette gælder, uanset om vi taler om investeringer i industri, erhverv, transport eller husholdninger.

Et væsentligt virkemiddel til at sikre fleksibelt forbrug og samtidigt at opretholde en acceptabel brugerkomfort er lagring af energi. I forbrugsleddet vil disse lagre hovedsageligt være termisk lagring i tanke og i bygningskonstruktioner, eller batterilagre i forbindelse med solceller, varmepumper, køleanlæg og billadere. Det termiske lager kan synes simpelt, men kræver meget plads, og varmepumper bliver udfordret af, at effektiviteten daler, når der arbejdes med høje temperaturer.

De vigtigste elementer, der skal skabe incitamenter til forbrugerens valg af komponenter for at sikre grundlaget for Smart Grid-funktioner, er:

Batterier	Solcellelager, netstabilitet, belastningsudjævning og spændingsregulering
Bygninger	Kommende bygningsreglementer, termoaktive konstruktioner, samtænkning af varme, køling og ventilation
Elbiler	Batterier, ladningsstyring og bilbatterier som distribuerede energileverandører
Home Automation	Nødvendig for sikring af indeklima og styremuligheder og kobling til Smart Grid
Solceller	Optimal placering og styring
Styring og regulering	Samspil mellem diverse komponenter, variable elpriser og tidspunkter på døgnet for brug, datamængde, sikkerhed og interaktion med forbrugerne
Varmelagre	Vand, sol, jord, is og faseskiftende materialer
Varmepumper	Styremulighed, temperaturområde, bufferkapacitet, aktiv brug af termiske lagre og opsamling af spildvarme (højtemperatur varmepumper)

## Behov for ny forskning og udvikling frem mod 2020

### Batterier

Med den forventede udvikling i ydelse og pris analyseres mulighederne i kombination med eksempelvis solcelleanlæg, varmepumper og batteriladere, både med hensyn til lagerstørrelse, brugerøkonomi og netstabilisering. Det ser ud til, at batterier allerede fra 2020 vil være økonomisk interessante til mange anvendelser.

### Bygninger

Kommende bygningsreglementer bør tilpasses, således at bygningernes evne til dynamisk at spille sammen med energiløsninger vægtes i forhold til det absolutte energibehov.

Bygningernes evne til varmeakkumulering værdisættes, både ved akkumulering i termisk tunge bygningsdele og ved mere dynamisk lagring i tanke. Nye materialer til isolering eller til energiakumulering ved faseovergang vurderes.

For større bygninger samtænkes systemerne for ventilation, opvarmning, køling, vand, afløb og belysning, således at det samlede potentiale for energieffektivitet kan udnyttes, herunder brugen af aktive facader og ved inddragelse af varmeakkumulering i eller uden for bygningen

## **Elbiler**

Udviklingen på udbredelse og teknologi for el- og hybridbiler bør analyseres løbende. Der er en hastig udvikling i gang specielt på batterier og ladningssystemer, og kravene til infrastruktur bør analyseres.

## **Varmepumper**

Udviklingen af varmepumper bør understøttes, således at der fremkommer mere fleksible løsninger til brug i boliger og i industri. Varmepumper, der kan arbejde med højere temperatur, bør vurderes til fjernvarmeformål, og pumper til opsamling af spildvarme i industrien bør udvikles. Varmepumper bør mærkes, og der bør udvikles en Smart Grid ready specifikation.

Der bør udvikles løsninger, der kan anvendes ved tættere byggeri, eksempelvis ved lodrette boringer. Barrierer for anvendelse af fælles brineanlæg, fælles solfangere og solceller bør fjernes.

## **Varmelagre**

Der bør arbejdes på at udvikle varmelagre, der er egnede i boliger, således at varmepumpeanlæg, solfangere og solcelleanlæg kan udnyttes bedre. Varmelagre tager plads i boligen og er dermed ganske dyre. Flexibel formgivning, effektiv isolering og eventuelt andre medier end vand bør analyseres. Faseskiftende materialer bør undersøges.

Store fællesanlæg i tanke, jord eller grundvand bør analyseres for omkostninger og effektivitet.

## **Behov for forskning og udvikling på længere sigt**

Batteriteknologier målrettes de forskellige anvendelser, og der bør forskes i materialer og teknologier, der har størst økonomisk og miljømæssigt potentiale.

Krav til bygninger må løbende tilpasses, således at bygninger og de tilhørende energisystemer udvikles i takt med det samlede energisystems behov for at kunne møde kravet om fossilfri energiforsyning.

Planlægning og udvikling af infrastruktur til alternative energiformer specielt til transportsektoren bør have høj prioritet, specielt el- og hybridbiler vil kræve store tilpasninger.

Styre- og kommunikationsmetoder til alle Smart Grid-komponenter bør standardiseres på en sådan måde, at kommunikation lettes, men samtidig således at udviklingen ikke bremses.

## **5.4 Forbrugere**

### *5.4.1 Forbrugerens rolle og udbytte*

I et fremtidigt Smart Grid-system vil forbrugerne udfylde rollen som både fleksible elkunder og decentrale elproducenter. Det gælder både i privat og erhvervsmæssig sammenhæng. Forbrugerne træffer beslutningerne om deres energiforbrug både ved indkøb af apparater og via deres forbrugsadfærd. Forbrugernes beslutninger drives af økonomisk tilskyndelse, men også af ikke-økonomiske værdier (Non Energy Benefits, NEB). Den private forbruger vil kunne opnå komfortmæssige forbedringer, mens industrien vil kunne opnå produktions- og driftsmæssige forbedringer. Når der indføres variable tariffer og installeres intelligente elmålere, vil der forventes et stigende marked for Smart Grid-teknologier.

Under de seneste store omlægninger af energistrukturen i Danmark har vi set, at det kan gå overordentlig hurtigt, hvis den politiske vilje er stor nok til, at der etableres adfærdsregulerende



mekanismer i form af afgifter eller tilskud. Denne udvikling kan fortsættes med en attraktiv brugerøkonomi, politisk korrekthed og andre fordele. Det er derfor afgørende, at der opbygges en økonomi, der får forbrugerne til at træffe de valg, der understøtter den overordnede politik. Dette gælder, uanset om vi taler om investeringer og driftsfordele i virksomhederne, husholdninger eller transportsektoren.

Større virksomheder og institutioner forventes at kunne motiveres af økonomiske incitamenter på grund af størrelsen på deres mulige besparelser. Det må forventes, at husholdningerne (små private forbrugere) kun kan opnå økonomiske besparelser, såfremt der indføres variable tariffer. På køle- og varmepumpeområdet vil der ved hjælp af lagring ske radikale ændringer hos såvel de private husholdninger som i virksomhederne (industrien).

### **Private forbrugere**

Danmark har flere demonstrationer såsom EcoGrid på Bornholm (86) og Project Zero Sønderborg (17). Projekter hvor lokalsamfund går sammen med energiselskaber og virksomheder om at teste fremtidens klimavenlige teknologier inden for el/varme, vand, affald, gadebelysning, trafikstyring mv.

Projekterne har blandt andet lært os om kompleksiteten i private forbrugeres beslutninger. Økonomiske og miljømæssige motivationer gør det ikke alene. De er blot en del af rækken af motivationer, som har betydning for, hvorfor vi forbruger strøm, som vi gør, og hvad der kan motivere os til at ændre adfærd. Projekterne bidrager med viden om udvikling af nye metoder og teknisk viden om forbrug. Eksempelvis giver EcoGrid-projektet viden om, hvilke typer af aftaler de private forbrugere ønsker at indgå fx omkring komfortmæssige forhold og tidspunkter for drift.

Der er igangsat flere demonstrationsfaciliteter, der kan give virksomheder adgang til at få testet og demonstreret, at deres teknologi holder vand, eksempelvis PowerLabDK (2), Green Power Electronics Test Lab (3), Green Lab for energieffektive bygninger (GLEEB)(4) og Dream (19). Endvidere er der igangsat en række Living Lab-projekter. Eksempler på eksisterende projekter er Smart Grid Ready buildings and customers (21), Green Tech Center (57), EnergyFlexHouse (58), Smart Grid i forklædning (64), IHSMAG (73), ChooseCOM (78), IMPROSUME (82). Faciliteterne i projekterne kan anvendes af brugeren med henblik på at undersøge brugeradfærdens indvirkning på energiforbruget.

### **Behov for ny forskning og udvikling frem mod 2020**

Der er både behov for fortsat forskning og udvikling inden for viden om forbrugernes adfærd, men også udviklingen af nye markeder baseret på den viden, der opnås gennem forskellige former for forbrugeradfærd.

### **Viden om forbrugeradfærd**

Der skal skabes viden om, hvordan de private forbrugeres adfærd kan indgå i et Smart Grid-system, både for økonomiske incitamenter og for andre adfærdsregulerende forhold.

- Hvad er forbrugernes behov og præferencer, som kan føre til nye former for involvering og engagement i fremtidens Smart Grid? Findes der forskellige modningsfaser for forbrugeradfærdsændringer hen imod Smart Grid? Hvordan agerer forbrugere under forandrede forhold på hustandsniveau, almen boligmasse (lejlighedskomplekser), arbejdsniveau (kontor/produktion) og i forhold til transport? (Living Labs hvor den viden, der skabes, er baseret på aktuel praksis og ikke på tænkte scenarier).
- Effektmålinger på forbrugeres adfærd og involvering af forskellige Smart Grid-tiltag. Med effekt forstås her brugerens oplevelse af og tilfredshed med tiltag, sammenholdt med den

reelle effekt. Hvor meget kan forbrugere bidrage med, og i hvilket omfang er det hensigtsmæssigt at inddrage dem i Smart Grid-løsninger? Indgår forbrugerne overhovedet i Smart Grid-strukturen i fremtiden?

En tendens er, at vi fremover forventes at se flere eksempler på, at private forbrugere/husholdninger går sammen om anvendelse af fx en varmepumpe, et solcelleanlæg, et lager (vandtank eller bygningselement), og hvor de i samspil inden for klyngen regulerer efter produktion og forbrug, og hvor adfærden herefter inden for klyngen ændres/tilpasses. Spørgsmålet er herefter, om det er noget, som kan udbredes til boligejendomme, villaveje, landsbyer m.m.

### **Udvikling af nye markeder**

- Hvis effektmålingerne viser, at det på sigt er hensigtsmæssigt at inddrage forbrugerne, mangler der udvikling af smarte, intelligente løsninger, som kan involvere forbrugerne samt undersøgelser af, hvordan brugerne vil reagere på det.
- Som beskrevet i afsnittet om megatrends er der en forventning om en energireoveringsbølge, der drives af teknologiudviklingen, og som betyder, at boligerne bliver intelligente og i mange tilfælde selvforsynende med varme og energi fra små decentrale anlæg, og varmepumper overtager opvarmningen uden for tæt bymæssig beboelse. Hvordan får vi i sammenhæng hermed omsat viden om forbrugernes praksis, motivationer og værdier til relevante produkter, services og markeder?
- Det anbefales at benytte Living Labs med fokus på, hvordan forbrugere agerer under forandrede forhold på hustandsniveau, kvarterniveau, almen boligmasse (lejlighedskomplekser), arbejdspladsniveau (kontor/produktion) og i forhold til transport.
- I takt med at elforsyningen gør anvendelse af vedvarende energikilder som vind og sol, er der behov for, at forbrugeren kan flytte sit forbrug til tidspunkter, der er til fordel for energisystemet. Der er i dag ikke tilstrækkeligt kendskab til, hvilke løsninger der kan tages i anvendelse, og i hvilket omfang de kan medvirke til en kortere eller længere tidsforskydning. Der vil være apparater, komponenter eller anlæg, hvor forskydningen kan ske ved at give forbrugeren et direkte incitament (primært en økonomisk fordel), men langt hovedparten af forskydningen skønnes at skulle gå via lagring af energi. Lagringen kan ske både termisk og elektrisk. Udfordringen vil være at koble behovet sammen med lagerstørrelsen for en udvalgt lagertype og den ønskede tidsforskydning.

### **Behov for forskning og udvikling på længere sigt**

Forskning og udvikling frem mod 2050 har fokus på styring og regulering af virksomheders processer og indeklima.

- Der er behov for viden om, i hvor høj grad virksomheder vil gå på kompromis med deres produktion i forhold til styring af deres processer. Hvor fleksible er de? Virksomhedsprocesser kan med fordel styres efter et ønske om færrest mulige flaskehalse, men også i forhold til ønsket fleksibilitet (billig strøm).
- Udviklingen i klimaet mod højere temperaturer samt tættere byggerier med mere gratis varme fra apparater og solindfald betyder en udvikling mod et større elforbrug og et mindre varmeforbrug.

I bygninger tillades, at indeklimaforhold kan variere over døgnet, blot tolerancer for indeklimaet overholdes. Det vil være muligt at udnytte bygningens overskydende energi til en driftsstrategi, der sigter efter lavest mulig energiregning. Udfordringen er at vurdere, i hvor stort omfang denne mulighed for temperaturglid kan betale sig i forhold til bygningens varmekapacitet og benyttelsestid, og hvordan brugerne vil reagere på disse udsving.

## 5.5 Informations- og kommunikationsteknologi

Målet med IKT i Smart Grid er at måle, træffe beslutninger og sende styresignaler til styrbare apparater i systemet. Der er derfor adskillige områder, som er interessante ud fra et forsknings-, udviklings- og investeringsmæssigt aspekt. Disse inkluderer:

- A. **Sensorer og måledata** sampling. Dette inkluderer temperatursensorer på ledninger, spændingsniveauer på alle spændingsniveauer, måling indendørs og af transformertemperaturer, spændings- og strømniveauer fra fasemåleenheder (Phase Measurement Units (PMU)), ladeniveau i elbiler (EV), ejerens planer for at bruge elbiler, forbrugerinformation om behov for at vaske tøj, have varmt vand, virkningsgraden i forskellige kraftværker, forskellige typer elpriser, transmissionsbegrænsninger, information om udfald og lignende. På en måde skal al den information bedømmes og overføres til et sted, hvor data kan bruges til at træffe beslutninger af enhver slags. Et vigtigt forhold er typen af data, fx gennemsnitlige timeværdier, minutværdier, hvor ofte de bliver sendt etc. Timeværdier kan fx sendes direkte efter den pågældende time eller senere.
- B. **Datapræsentation – målte data**. På en eller anden måde bør data fra A bruges til at tage beslutninger, enten direkte til driften eller til samling af data for at få et bedre overblik over udfordringer fx til brug for investeringer og/eller yderligere studier. Dette emne inkluderer mobiltelefonapplikationer, skærme og teknologier til afsendelse af sms til brugere, skærme i driftscentre eller til at skabe en datahub, hvor interesserede aktører kan downloade de data, de er interesseret i. Med udviklingen af teknologien til A kan udfordringerne for B være at bearbejde de store datamængder, som skal præsenteres på relevant vis.
- C. **Beslutningstagning** baseret på tilgængelige informationer og IKT-værktøjer. Fra B har man et overblik over situationen, og man skal så træffe beslutning om, hvad der skal gøres. Det vigtige resultat er ikke det udsendte styresignal, men resultatet fra signalet. Det betyder, at man skal have et overblik over konsekvenserne. Hvis man fx udsender besked til elbilerne om ikke at lade, skal man have en prognose for, hvor mange der oplader i øjeblikket, og hvor mange der vil reagere på styresignalet. Hvis man sender en pris ud til forbrugerne, skal man have en prognose for, hvor mange der vil reagere på prissignalet. Dette område omfatter udvikling af værktøjer til brug, når der skal træffes beslutninger, fleksibel styring (ændre styring afhængig af resultat), prognosemetoder (fx et estimat af resultatet af en vis pris eller et styresignal) etc. Et vigtigt område er også mulig interaktion, og hvem der bør træffe beslutninger: TSO, DSO, detailhandler, forbruger eller producent?
- D. Udsendelse af **styresignaler**. Dette betyder enten direkte styring til en afbryder (tænd/sluk) eller jævn styring (spændingsniveau) eller et prissignal, hvor resultatet kan være usikkert, afhængigt af aktørens reaktion. Direkte styring kan også skabe et usikkert resultat, da forbrugsniveauet kan være ukendt, når der bliver slukket/afbrudt. Når priserne bliver sendt ud, er spørgsmålet, hvilken type priser og hvor lang tid i forvejen de sendes ud, fx hvor hurtigt aktøren skal reagere på prisen. Der kan forekomme en iteration mellem C-D på en sådan måde, at aktøren kan foretage et automatisk svar, kun hvis en vis pris udsendes, så vil aktøren reagere.
- E. Evaluering angående **økonomisk effektivt niveau** af mængde og struktur af IKT i fremtidens net. Der er store mængder mulige kombinationer af område A-C ovenfor. Teknisk set kan man måle gennemsnitsværdier i minuttet i alle stik i alle huse, hvilket vil danne en enorm mængde data. Dette ekstreme tilfælde er ikke økonomisk effektivt, så spørgsmålet er, hvilket niveau er det korrekte? Fremover vil fx køleskabe være meget mere effektive, og så er spørgsmålet, hvad værdien af løbende at måle og styre i forhold til at have øget overførsel til andre systemer og/eller mere styrbare kraftværker er.

- F. Der er også andre forhold, der har skabt interesse fx **personlig integritet** angående det forhold, at data kan misbruges. Et andet forhold er **cybersikkerhed**, hvor diskussionen går på risikoen ved at stole på store mængder data. Et tredje forhold er **interoperabilitet**, som er den udfordring, at alle forskellige systemer kan kommunikere med hinanden.

Hvad angår områderne A-D, kan man have strukturerede diskussioner, simulationer, demonstrationer og også kommercielle investeringer. For at opnå resultater til område E skal man undersøge det til et fremtidigt system, og dette system vil så være usikkert, da fremtiden altid er usikker. En ret almindelig IKT-udvikling er styresystemer, der er en kombination af sensorer, beslutninger og styring: A+C+D.

#### 5.5.1 *Hvad er der blevet gjort og/eller planlagt i de undersøgte projekter?*

- A. **Sensorer og målinger:** Styresystemer er udviklet inden for iPower. READY og SDVP2 udvikler styresystemer til varmpumper. TWENTIES udvikler styresystemer til offshore vindkraft og virtuelle kraftværker. Der er dog ikke nogen enkel tilgængelig og nøjagtig information, men det virker som om TWENTIES ikke bruger nogen nye IKT-strukturer, da styringen er baseret på frekvens, som er et lokalt signal. I EcoGrid EU er et specielt IKT-system til styring af efterspørgsel blevet udviklet. IKT-implementeringen består i et prisgenereringsmodul og prisdistributionskomponenter. Prisgenereringsmodulet henter input fra i) TSO, ii) elspotmarkedet, iii) historiske måledata, iv) vejrudsigter. Genereringsmodulet sender priser og prisprognoser til prisdistributionssystemet, som bruger publish-subscribe-teknologi til at formidle information om realtidspriser til kunderne. Alle testdeltagere er udstyret med nye elmålere til fjernlæsning. Afregning og registrering af det faktiske elforbrug gør det nemt at få et minut-for-minut-overblik over elforbruget i løbet af dagen og måneden (i EcoGrid EU fastsættes priserne hvert femte minut). Måleren sender forbrugsdata til en database fra Østkraft. De fleste målere vil blive aflæst via mobilnetværk, hvilket betyder, at måledata sendes til databasen hvert 10. minut. IDE4L udvikler komplette systemer til automation af distributionsnet, it-systemer og funktioner til aktiv netstyring. Open-Smart-Grid-projektet vil sikre realisering af regler, metoder og testprotokoller til test af kommunikationsinterfaces til Smart Grid Ready-produkter og -ydelser. I SOSPO-projektet bruges PMU-data til at vurdere de overvågede driftspunkter og deres afstand til elsystemets sikkerheds- og stabilitetsafgrænsninger.
- B. **Datapræsentation:** iPower udvikler billig overvågning. CITIES udvikler IKT-løsninger til at understøtte overvågning og driftsportal. Et specielt produkt til trådløs kommunikation med styrbart udstyr til hjemmet testes i projekt eButlerA. I EcoGrid EU får kunder til Siemens- og IBM-huse adgang til en portal for at se den nuværende status på husene inklusive styreparametre og temperaturmålinger. I GreenCom vil Smart Energy-systemet indsamle, aggregere og analysere realtids- eller nær-realtidsdata fra apparater på forbrugsniveau såsom husholdningsartikler, Smart Home-apparater, sensorer og aktuatorer og Smart Meters via et uafhængigt datakommunikationsnet.
- C. **Beslutningstagning:** CITIES udvikler optimeringsmetoder. I iTesla er målet at yde præcis sikkerhedsvurdering, idet der tages højde for tilgængelige data og systemdynamikker ved at bruge tidsdomæne simuleringer, som er mulige med computere af i dag/i morgen, da så mange tilfælde er blevet undersøgt. Se også punkt A for styresystemer, som inkluderer beslutninger.
- D. **Udsendelse af styresignaler:** CITIES udvikler metoder til strategier til direkte og indirekte styring (fx udsendelse af prissignaler). I EcoGrid EU er styringen i testhusholdningerne automatisk ved hjælp af prissignaler. Den vil blive testet i huse med henholdsvis IBM-Green Wave-udstyr og Siemens-udstyr. I CHPCOM udvikles fremtidens Smart Grid-løsninger til datakommunikation til og fra decentrale kraftværker. I PRONET undersøges effektivt og pålideligt kommunikationssystem til distributionsnet, som fx M2M-

kommunikation mellem Smart Meters, IED (Intelligent Electronic Devices), RTU (Remote Terminal Units). Se også punkt A for styresystemer, som inkluderer udsendelse af styresignaler.

- E. **Økonomisk evaluering:** I iPower-WP5 er idéen at estimere værdien af mere fleksibilitet. DREAM ønsker at udvikle de bedst egnede Smart Meters til nogle specifikke danske områder. I Smart-Grid-i-forklædning er idéen at teste adfærdsændringer på grund af nye produkter, men der er kun lidt information om detaljer som fx priser.
- F. **Personlig integritet, cybersikkerhed og interoperabilitet:** CITIES undersøger data-sikkerhed og interoperabilitet, EDISON har arbejdet med standardisering af kommunikation til elbiler, fx interoperabilitet. I EcoGrid EU til fremtiden vil industripartnerne give en ramme for standarder i kommunikation og beskrivelser af udstyret, baseret på erfaringer fra demonstration, så der kan sammensættes et interoperabelt system.

#### 5.5.2 *Hvad er endnu ikke gjort = forskningsbehov?*

- A. **Sensorer og målinger:** Desværre har der ikke foreligget noget særlig detaljeret materiale om anvendte sensorer. Fra EcoGrid EU er der forholdsvis mange detaljer om, hvad der er målt og med hvilken frekvens. Men det er ikke muligt at finde ud af, hvad der er input til controllerne for fx alle styringsprojekter for varmepumper. Fx hvis man bruger prisprognoser (→ vent med opvarmning), og/eller hvilken elpris der anvendes (spotpris eller regulerkraftmarkedspris). Det betyder, at det er svært at evaluere, hvad der gøres og ikke gøres. **Konklusion:** Der er virkelig et behov for at teste forskellige tilgange og studere den ekstra værdi af at have stadig hyppigere data til den dataansvarlige. Der er mange idéer inklusive PMU'er i transmissionssystemet, løbende måling af spænding ved at bruge fjernaflæste målesystemer og lignende. En ekstra værdi af højfrekvensmålinger er at undersøge reaktionen på blandt andet en ændring i netstrukturen. Hvis en vis reaktion let kan identificeres, kan man få en bedre model af systemet, som gør det muligt at udarbejde en meget mere præcis prognose af systemadfærden.
- B. **Datapræsentation:** Man kan have direkte styring (hvilket betyder automatisk styring, hvor en computer/processor træffer beslutningerne) eller indirekte styring (hvor fx en person får prisen, og dernæst træffer beslutning om at forbruge eller ikke). "Datapræsentation" er hovedsageligt af interesse ved indirekte styring, det vil sige, når mennesker studerer data og bruger dem i driften og/eller til beslutninger om investering. Forskellige opsætninger er blevet testet i det studerede projekt. **Konklusion:** Der er bestemt en interesse i at få et systematisk studie af, hvilken slags data der skal præsenteres, og hvordan de forskellige aktører får dem til at opføre sig på en rationel måde. Det betyder, at man ikke kun bør udvikle måder at præsentrere data på, men også vurdere (eller sammenligne på systematisk vis) den varierende menneskelige adfærd i forhold til, hvordan data bliver præsenteret (hvor ofte, hvor enkelt, hvilke data, på hvilken måde data er tilgængelige og lignende).
- C. **Beslutningstagning:** Beslutninger tages af computere og/eller mennesker baseret på tilgængelige data og en vurdering af resultatet af forskellige handlinger og en vurdering af, hvad der er et "godt" resultat. De fremkomne resultater i de undersøgte projekter er hovedsageligt fra enten tilpassede eller målrettede styresystemer. Det betyder, at hvad der er defineret som en "god" reaktion kommer direkte i processoren/computeren. Som angivet ovenfor er det ikke så let at identificere nøjagtigt, hvilken slags data der bruges og hvordan (fx vindprognoser, arten af vindpriser), hvilket betyder, at det ikke er så let at angive, hvad der gøres, og hvad der ikke gøres. **Konklusion:** Jo flere data der findes, jo mere udfordrende er det at træffe beslutninger på baggrund af alle disse data. Udfordringen er at udvælge de vigtigste data, og hvor ofte man skal modtage dem for at træffe stabile beslutninger. Det er bestemt en videnskabelig udfordring at evaluere, hvordan det bør gøres og sammenligne forskellige strategier. Et vigtigt spørgsmål er også balancen

mellem direkte og indirekte styring, hvor det ville være interessant at se sammenligningen mellem disse for at evaluere den bedste strategi i fremtiden.

- D. **Udsendelse af styresignaler:** Dette punkt er nært forbundet med beslutningspunktet, hvor man skal have den samme tekniske mulighed for at sende styresignaler som frekvensen af beslutningerne. Dette er også knyttet til emnet om direkte styring (sende signaler til udstyr til tænd/sluk eller løbende styring, fx PV-konvertere) eller indirekte styring (sende signaler til en hjemmeside, mobiltelefon, en skærm, hvor den, der tager beslutningen, kan få den opdaterede information om priser m.m.). I tilfælde af indirekte styring er det vigtigt, at det er let for den person, der tager beslutningen at reagere på en eller anden måde, fx svare direkte til mobiltelefon). **Konklusion:** Der er bestemt en værdi i at sammenligne forskellige slags teknologier vedrørende både direkte og indirekte styring. Der er en særlig udfordring med Plug-in elbiler, da disse kan forbindes til forskellige salgssteder. IKT-udfordringen er en kombination af afregning og styring, da der kan være forskellige priser (eller ikke?) i forskellige knudepunkter og forskelligt behov for styring.
- E. **Økonomisk evaluering:** Et behov for at sammenligne forskellige målefrekvenser, fx det rette niveau af IKT. Der er ikke blevet gjort ret meget på dette område. Kun iPower-WP5 har en lovende plan for at gøre det. Der er nogle forsøg på at sammenligne en særlig Smart-løsning ved ikke at have en sådan, men ikke så meget mellem forskellige mængder eller udgaver af Smart-løsninger. **Konklusion:** Som angivet ovenfor, er det adskillige muligheder for, hvordan man implementerer mere IKT i elsystemet, inklusive hvad der skal måles, hvor ofte, frekvensen for afsendelse af signaler, hvor meget computer intelligens, direkte eller indirekte styring etc. Der er bestemt behov for at evaluere, hvilke intelligente løsninger der er de bedste i forskellige situationer/scenarier.
- F. **Personlig integritet, cybersikkerhed og interoperabilitet:** Der er ikke blevet gjort ret meget på dette område. Interoperabiliteten (en del af standardiseringen, hvor idéen er, at man kan vælge enhver type IKT-system, og at de kan arbejde sammen) er imidlertid blevet studeret i nogle projekter. Cybersikkerhed eller personlig integritet (som har været en showstopper i Holland) er næsten ikke blevet berørt i de undersøgte projekter. **Konklusion:** Flere undersøgelser af personlig integritet og cybersikkerhed vil være værdifulde. Hvad angår standardisering og interoperabilitet er der bestemt et behov for i det mindste at tjekke, at de teknologier, der er implementeret i forskellige demonstrationsmodeller, ikke er for forskellige. Der er fx test af målere forskellige steder i Danmark, men det er uklart, om disse opfylder den samme standard? Et andet problem er bekymringen for, hvem der ejer forbrugerens data, det vil sige, hvem kan beslutte, hvilken organisation, der har retten til at bruge disse. Der er stor forskel på at have enkelte teststeder og anvende de udviklede teknologier, der producerer Tera Bytes af data for hele Danmark. Og hvordan er pålideligheden af store IKT-systemer? De store datamængder indebærer behovet for forskning i, hvad der er vigtige data, og hvilke data der skal overføres. Specielt i uforudsete situationer kan der sendes en enorm mængde data rundt, og så er det væsentligt, at det er muligt at træffe de korrekte beslutninger og identificere, hvad der virkelig skete.

## Bilag 1 - Kommissoriet

### Vurdering af behovet for forskning, udvikling og demonstration af Smart Grid med 50 pct. vindenergi i elsystemet

#### Kommissorium for evaluator-arbejdsgruppe

##### Baggrund

I regeringens "Smart Grid-Strategi – fremtidens intelligente energisystem" fra april 2013 fremgår følgende opfordring til de offentlige energiprogrammer:

Initiativer
Branchen:
› Energiforskningsprogrammerne opfordres til at foranledige en tværgående vurdering af, hvilke forhold der mangler at blive udviklet og demonstreret for at fremme en optimal ressourceudnyttelse med 50 % vindenergi i elsystemet.

Desuden understøttes opfordringen i regeringens Smart Grid-Strategi med følgende:

"Energibranchen kan med fordel uddrage erfaringer fra de igangværende udviklings- og demonstrationsaktiviteter med henblik på at identificere fremadrettede indsatsområder.

For at understøtte dette arbejde og i forlængelse af forskningsnetværkets roadmap opfordres energiforskningsprogrammerne til at vurdere resultaterne fra Smart Grid-projekter, som programmerne har støttet og støtter med henblik på at klarlægge, hvilke forhold der mangler at blive udviklet og demonstreret for at fremme en optimal ressourceudnyttelse med 50 pct. vindenergi i elsystemet. Internationale projektresultater kan inddrages i det omfang, de supplerer de danske FUD-resultater. Dette spørgsmål vil også være relevant for smart-partnerskabet om udviklingen af et intelligent energisystem."

Endvidere har de offentlige danske energiprogrammer inden for forskning, udvikling og demonstration (FUD) også udpeget Smart Grid som ét af tre særligt væsentlige områder for at realisere de ambitiøse energipolitiske målsætninger om en grøn omstilling frem mod 2050. De to andre udpegede områder er: energilagring og energieffektivisering i bygninger.

Begrebet **Smart Grid** anvendes fortrinsvis om etablering af intelligens i elsystemet ved hjælp af IT og kommunikationsløsninger samt styring og regulering af elsystemet på både transmissions- og distributionsniveau. Det øgede behov for fleksibilitet leveres i høj grad af elforbrugerne.

Begrebet **Smart Energy** dækker bredere og omhandler også bedre udnyttelse af samdrift og sammenhængende energiløsninger hele vejen fra produktion til anvendelse af energi.

For at efterkomme ovenstående har de offentlige FUD-programmer på energiområdet: ELFORSK, EUDP, Innovationsfonden og ForksEL besluttet i fællesskab at udarbejde en vurdering af, hvordan de allerede igangsatte danske initiativer og projekter inden for Smart Grid samt de almindeligt

kendte fyrtårnsprojekter på området støtter op om den prioriterede Smart Grid-indsats. Der ud over identificeres væsentlige temaer/områder, som ikke er dækket af de eksisterende aktiviteter. Samlet set ønskes en kortlægning og en vurdering af den nuværende status for projekter og estimerede modne teknologier og resultater i 2020 og 2030 fra den danske Smart Grid-indsats. Vurderingen skal indeholde anbefalinger til den kommende danske indsats på Smart Grid-området inden for såvel forskning, som udvikling og demonstration.

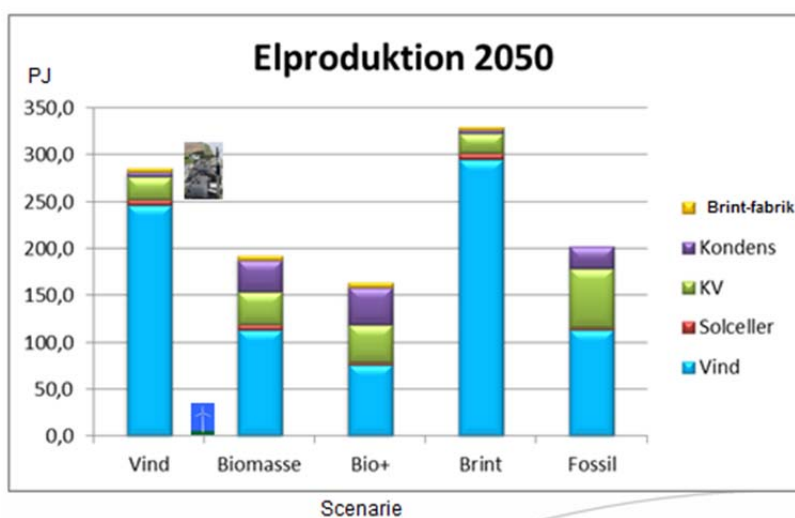
Arbejdet skal sammenfattes i en rapport, der kan understøtte en dansk fokuseret FUD-indsats på Smart Grid-området og skal kunne anvendes af både programmernes sekretariater og deres evaluatore/peer reviewere i forbindelse med vurdering af ansøgninger. Rapporten offentliggøres og indgår som baggrund og inspiration for ansøgere og FUD-programmer ved identificering af relevante ansøgninger til programmerne. Endvidere kan den understøtte og kvalificere danske ansøgninger til EU' støtteprogrammer som fx Horizon2020.

### Beskrivelse af opgaven

Med baggrund i ovenstående skal der udføres en kortlægning og vurdering af de danske FUD-behov inden for Smart Grid både frem til 2020 (kort sigt) og til 2030 (langt sigt) med anbefalinger til prioriterede områder. Arbejdet skal blandt andet besvare de overordnede spørgsmål:

- Hvor er Danmark nu på Smart Grid området?
- Hvor vil Danmark være i 2020 og 2030?
- Hvilke sigtelinjer for 2050 kan der peges på?

I Figur 1 er vist Energistyrelsens fem scenarier for produktion af el i 2050. Scenarierne kan betragtes som det brede udfaldsrum for fremtidens Smart Grid, som den offentlige FUD på området skal understøtte.



Figur 1. Fem scenarier for produktion af el i 2050. Fotos af lille vindmølle og kraftvarmeværk (KV) symboliserer, at den fluktuerende produktion skal udnyttes fuldt ud, mens KV'erne står for balanceringen af elsystemet. Kilde: Energistyrelsen.

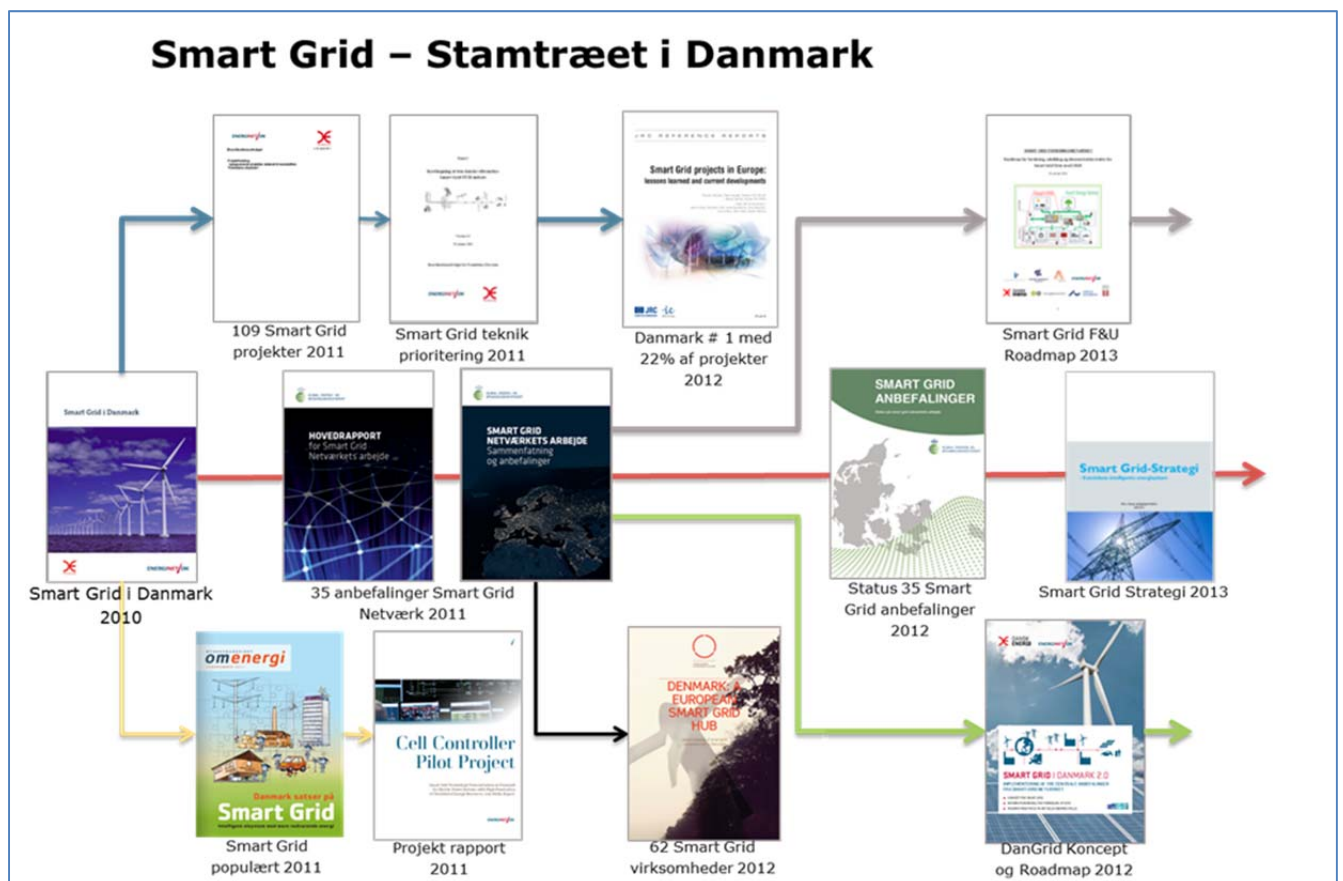
Vurderingen skal tage udgangspunkt i det arbejde, som Smart Grid Forskningsnetværket offentliggjorde i januar 2013<sup>11</sup> og således dække områderne:

<sup>11</sup> <http://www.kebmin.dk/klima-energi-bygningspolitik/dansk-klima-energi-bygningspolitik/energiforsyning-effektivitet/smart-1>



1. Elsystemet – det samlede forsyningssystem bestående af elnettet og de enheder og brugere, der er tilsluttet det. Både tekniske og merkantile systemaspekter spiller en central rolle.
2. Energimarkeder – markedspladserne fremtidige opbygning og fx hvor mange subsidierede teknologier kan konkurrere på en markedsplads med fri prisdannelse.
3. Komponenter – elektriske apparater, der muliggør styring af effekt/energi hurtigt og effektivt på el-produktionssiden samt på transmissions- og distributionssiden og på forbrugssiden.
4. Forbrugere – der skal skelnes mellem forskellige typer, fx husholdninger, prosumers og større virksomheder. Det er specielt forbrugernes fleksibilitet, der er interessant.
5. Informations- og kommunikationsteknologi (IKT) – kommunikationen mellem de enkelte enheder i elnettet og deres ageren i forhold til at sikre systemstabiliteten.

De teknologiske løsninger skal klassificeres og indpasses i forhold til udviklingskæden fra forskning, udvikling over demonstration. Men da det er væsentligt at Smart Grid bringes helt frem til kommercialisering kan vurderingen på nogle punkter gå længere end til demonstration.



Figur 2. Smart Grid – Stamtræet i Danmark. Blå pil: Tekniske rapporter. Grå pil: Indsatsområder med stort indhold af forskning og udvikling. Rød pil: Politisk engagement og prioritering. Gul pil: Rapporter formuleret til bredere publikum. Sort pil: Kortlægning af danske industrier/virksomheder med aktiviteter inden for Smart Grid. Grøn pil: Netselskabernes fælles plan for implementering af koncept og roadmap.

Arbejdet leveres som en selvstændig rapport evt. med appendiks. Et resume af rapporten skal kunne indgå i et fælles notat fra de danske energiprogrammer: "Smart Grid – fremtidens intelli-

gente elsystem. Vurdering af behov for forskning, udvikling og demonstration". Rapporten afleveres som et høringsudkast og kan justeres efter dialog med en styregruppe bestående af repræsentanter fra energiprogrammerne. Evaluator-arbejdsgruppen vurderer, hvorvidt det er mest hensigtsmæssigt at skrive på dansk eller engelsk.

Kortlægning og vurdering skal tage udgangspunkt i eksisterende viden, herunder allerede gennemførte studier i regi af blandt andet Dansk Energi, Energinet.dk og Energistyrelsen. "Smart Grid stamtræet" (Figur 1) viser de mange publikationer, der er udgivet inden for området, heraf har følgende særlig relevans:

- Smart Grid teknik prioritering 2011
- DanGrid Koncept og Roadmap 2012
- Smart Grid F&U Roadmap 2013

Energiprogrammerne bidrager til at fremskaffe materiale om de relevante Smart Grid projekter.

### **Proces og tidsplan**

Vurderingen udføres af en arbejdsgruppe af evaluatore udpeget af de respektive programmer, hvis ekspertise tilsammen dækker de ovenfor nævnte fem områder inden for Smart Grid:

- Paul-Frederik Bach /ForskEL
- Jørgen Bjørndalen /ForskEL
- Lennart Söder /Innovationsfonden
- Per Holmgård /EUDP
- Pernille Skjershede /ELFORSK

Projektledelsen foretages af Paul-Frederik Bach.

Hvert program indgår aftale og afholder omkostninger til de enkelte evaluatore, som i forvejen er i deres evaluator-arbejde. Projektperioden er fra medio maj til 1. oktober 2014.

Projektlederen refererer til en styregruppe med deltagelse af repræsentanter fra ELFORSK, EUDP, InnovationsFonden og ForskEL. ForskEL er tovholder for styregruppen v) Jeannette Møller Jørgensen, som er kontaktperson i forhold til evaluator-arbejdsgruppen.

ForskEL stiller digitalt projektrum til rådighed for arbejdsgruppen, hvorfra publikationer fra figur 1 også kan tilgås.

Evaluatorene skal så vidt, som det er muligt, deltage i planlægning og afholdelse af seminar den 2. juni 2014 på Hotel Trinity i Fredericia. Deltagerne i seminariet er de væsentligste projektere og -deltagere i danske Smart Grid FUD-projekter primært støttet af disse energiteknologprogrammer.

Det forventes, at arbejdsgruppen afholder ca. to statusmøder med styregruppen. Det første efter sommerferien 2014 medio-ultimo august. Yderligere høringsaktiviteter kan forventes og vil blive afviklet i samarbejde med energiprogrammerne.

Arbejdsgruppen må forventes at skulle fremlægge resultaterne af vurderingen for programmerne ved givne lejligheder.

## Bilag 2 - Liste over aktuelle Smart Grid-forskningsprojekter

Nr.	Projekt	Emne	Program
1	iPower		
2	PowerLabDK	Testfacilitet	EUDP
3	Green Power Electronics		
4	Grøn Gas Testenter		
5	GLEEB		
6	CITIES		Det strategiske Forsk-
7	EDISON	Integration af elbiler	ForskEL
8	NEMO	Netmodel for elsystem med elbiler	Det strategiske Forsk-
9	NIKOLA	Infrastruktur for ladning af elbiler	ForskEL
10	EVCOM	Elbilladning: kommunikation og af-	ForskEL
11	Evergreen	Intelligent opladning af elbiler	EUDP
12	HyProvide-HRS	Brint optankning for biler	EUDP
13	Green Flex	Modelbaseret værktøj, FlexIQ .	EUDP
14	Pyroneer og Gasolution	Lavtemperatur forgasning af halm	ForskEL
15	Electrochaea – P2G-	Biologisk opgradering af biogas til	EUDP
16	Maabjerg Energy Con-		EUDP
17	Project Zero Sønderborg	Visionen om et CO2-neutralt Søn-	
18			
19	DREAM	Fuldskala Smart Grid demonstration	ForskEL
20	Smart Grid Samsø		ForskEL
21	Go green with Aarhus	VPP for Smart Grid Ready buildings	ForskEL
22	Smart Grid Livø	100 % egenforsyning af el og varme	ForskVE
23	TotalFlex	Teknisk og kommerciel VPP	ForskEL
24	FlexPower		ForskEL
25	5BALL	Virksomheders fleksible elforbrug	ForskEL
26	HIGHE	Tovejs energikonvertering mellem	ForskEL
27	INCAP	Forbrugernes villighed til fleksibelt	Det strategiske Forsk-
28	EDGE	Forbedret integration af vindkraft i	Det strategiske Forsk-
29	eButler	Energivisualiseringssystem	EUDP
30	READY	Aggregering af varmepumper	ForskEL
31	SDVP2 – Styr din var-	Standardiseret datakommunikation	ForskEL
32	Effektiv integration af	Store varmepumper i fjernvarmesy-	EUDP
33	Online varmepumpe	Styring af varmepumper på fjern-	EUDP
34	Netselskabets udfor-	Overvågnings- og styringssystemer	ForskEL
35	Fremtidssikring af dansk	Udvikling af en ny generation af	ELFORSK
36	Varmepumper i eksiste-	Genvinding af spildvarme fra vandaf-	ELFORSK
37	Energieffektiv og miljø-	Udvikle og teste en brugsvandsvar-	ELFORSK
38	Borehuller i Brædstrup	Totalenergianlæg	EUDP
39	Energilager til super-	Flytning af energiforbrug fra dag til	ELFORSK
40	Energibesparelser på		ELFORSK
41	Professionelle energi-		ELFORSK
42	Smart Building Indekli-		ELFORSK
43	Optimal styring af kli-		Højteknologifonden
44	Fremtidens højisoleren-		Højteknologifonden
45	Smart Grid Ready lys-		EUDP
46	SMART GRID-Styring til		EUDP
47	Systemtjenester fra		EUDP
48	Energilagring – Brintin-		EUDP

49	Grøn naturgas		EUDP
50	Smart Grid Open	Kommunikationsinterfaces for Smart	ForskEL
51	CHPCOM	Standardiseret kommunikation	ForskEL
52	ProNet	Intelligent beskyttelse af fremtidens	ERA Net
53	SOSPO	Nyt værktøj baseret på PMU	Det strategiske Forsk-
54	Udvikling af et sikkert,		Det strategiske Forsk-
55	CopenHydrogen	Brint og brændselsceller i København	EUDP
56	Gaffeltrucks først med	Brændselscellesystemer til miljørig-	Højteknologifonden
57	Green Tech Center	Living lab for Smart Grid i Vejle	
58	EnergyFlexHouse fami-		ELFORSK
59	Varmepumper med lod-		ELFORSK
60	Energieffektiv mælkekø-		ELFORSK
61	Bæredygtige Energi-Plus		ELFORSK
62	Nyt værktøj til analyse		ELFORSK
63	Varmepumpe kombine-		ELFORSK
64	Smart Grid i forklæd-	Afprøvning af Smart Grid ready pro-	ELFORSK
65	Optimal udnyttelse af		ELFORSK
66	Landsbyvarme med		ELFORSK
67	Off peaking af elforbrug	Temperaturlagdeling i en el-	ELFORSK
68	BOLIG+ - måling, eva-	Måleprogram for 10 lejligheder	ELFORSK
69	Boligejendomme med		ELFORSK
70	EVCOM 2	IEC 61850 kommunikationssystemer	ForskEL
71	BPES	Planlægnings- og driftsstrategier for	ERA Net
72	Control, protection and		ForskEL
73	IHSMAG	EV in the everyday life of households	ERA Net
74	Information and educa-	Necessary information for educating	ForskEL
75	Manual power reserves	Flexible energy reserves in server	ForskEL
76	Smart Grid Ready bat-	Developing and operating a battery	
77	ESWA	Energy Smart Water Utilities.	ForskEL
78	ChooseCOM	Large-scale demonstration of charg-	ForskEL
79	Holiday residences and	Air-air heat pumps and electric stor-	ForskEL
80	Distribution system	Planning tools for distribution grids	ForskEL
81	IMPROSUME	Behavioral responses to playing a	ERA Net
82	RTLAbOS	Next generation SCADA systems	ForskEL
83	Micro-grid Technology,		
84	System services from		
85	Twenties	Aktiv regulering af offshore vindmøl-	FP7
86	EcoGrid EU	Prototype på aktivt elsystem på	FP7
87	iTesla	Styring af eltransport i EU	FP7
88	OPTIMATE	Markedsmodeller for optimeret inte-	FP7
89	eHighway2050	Udvikling af den europæiske el-	FP7
90	GARPUR	Bl.a. alternativer til n-1 kriteriet	FP7
91	RES4less	Analyse af afregnings- og støttesy-	FP7
92	SafeWind	Simulering af ekstreme vindsitua-	FP7
93	BEST PATHS	Udvikling af europæisk eltransmis-	FP7
94	North Sea Power to Gas	Udvikling af el-til-gas (P2G)	
95	HyUnder	Metoder til lagring af brint i store	
96	evolvDSO	HVDC-teknologi til transport af store	FP7
97	stoRE	Modeller for lagring af store mæng-	FP7
98	Greencom	Fleksibilitet med intelligens i distri-	FP7
99	IDE4L	Aktiv styring af et lokalt elsystem	FP7

## Appendiks 1 - Projekter med relevans for markedsdesign

Project No.	Project	Selected topics	For creating (C) price	Optimisation	Pricing and pro-ductification	Testing
1	iPower	Valuation of flex; implementing in Balmorel; taxes and network pricing wrt flex; Flexibility Clearing House, Domestic and industrial demand response	R	X	X	
2	PowerLabDK	Testing facility,				X
20	Smart Grid Samsø	Optimal use of energy according to prices	R	X	X	X
21	VPP for Smart Grid Ready build-ings	Optimal use of energy according to prices	R	X	X	
23	TotalFlex	Optimisation of all resources; creating a VPP of local (DSO-level) resources; developing flex-market, Forecasting demand & flex; preparing flex-offers	C		X	
24	FlexPower	One-way price signals, to attract regulating energy	R/C	X	X	X
28	EDGE	Focus on handling of bids, not design of bidding formats etc.,	C	X		
30	READY	Discussion about requirements to market,	C		x	
47	Systemtjenester fra mindre de-centrale enheder	Specified and documented system services available from decentralised sources,	C		X	
86	EcoGrid EU	Testing micro-market; real-time prices; ,		X	X	X
88	OPTIMATE	Testing platform,				X
90	GARPUR	New reliability criteria, also relevant for market clearing definitions,		X	X	

## Appendiks 2 - Projekter med relevans for komponenter

Nr.	Projekt	Emner
	<b>Produktion</b>	
16	Maabjerg Energy Conc.	Samspil mellem flere lokale energikilder
28	EDGE	Integration af vind i elsystemet
85	TWENTIES	Aktiv regulering af Offshore vindmøller
	<b>Energikonvertering</b>	
14	Pyroneer	Forgasning og opgradering af gassen
15	Electrochaesa	P2G biologisk brintproduktion og opgradering
26	HIGHE	Systemintegration el, gas og varme og med P2G
48	Energilagring	Elektrolytisk brintproduktion og injektion i gasnettet
49	Grøn naturgas	
94	North Sea Power to Gas	
95	HyUnder	Lagring af store mængder brint
97	stoRE	Modeller for lagring af store elmængder
	<b>Transmissionssystemet</b>	
02	PowerLabDK	Udvikling og demonstration hele elnettet
53	SOSPO	Sikker drift ved hjælp af fasevinkelmålinger
71	BPES	Driftsstrategier for europæiske elnet
89	eHighway 2050	Udvikling af det europæiske elnet
93	Best Paths	Flytning af store energimængder i europæiske elnet
96	evolVDSO	HVDC til overordnede transmissionsforbindelser
	<b>Distributionssystemet</b>	
03	Green Power Electronics Test lab.	
07	EDISON	Systemløsninger til opladning af elbiler
08	NEMO	Netmodel for et system med mange elbiler
09	NICOLA	Intelligent ladestruktur
10	EVCOM	Kommunikation mellem elbiler og elsystem
11	Evergreen	Intelligent opladning af elbiler
19	DREAM	Smart Grid løsning med mange varmepumper
20	Smart grid Samsø	Løsninger til landbruget
23	Total Flex	Markeds modeller
24	FlexPower	Styring af forbrug ved tidstro elpriser
30	READY	Styring og aggregering af varmepumper
32	ANS	Integration af store varmepumper
51	CHPCOM	Datakommunikation med decentrale kraftvarmeverker
76		Smart Grid Ready battery Storage Systems
78	ChooseCom	Intelligent Charging of Electric Cars
82	RTLabOS	Next generation Scada Systems
83	Micro Grid Technology	
86	ECOGRID	Drift af elsystem med mere end 50% vedvarende energi

## Forkortelsesliste

DSO	Distribution System Operator
FUD	Forskning, udvikling og demonstration
HVDC	High Voltage Direct Current
IED	Intelligent Electronic Devices
IKT	Informations- og kommunikationsteknologi
PMU	Phasor Measurement Unit
PV	Photovoltaic
RTU	Remote Terminal Units
TSO	Transmission System Operator