



Analyse af digitalisering af eldistribution

Rapport

Energistyrelsen

Dato: 2. september 2022

Indhold

1.	Rapportens opbygning	4
2.	Resumé og konklusioner	5
3.	Indledning.....	7
3.1	Tilgang og metode	7
3.2	Afgrænsning	8
3.3	Hvad er digitalisering	9
4.	Elsystemets organisering og netvirksomhedernes opgaver	10
4.1	Det fysiske elsystem	10
4.2	Elsystemets organisering	12
4.3	Netvirksomhedernes opgaver	14
5.	Digitalisering i danske netvirksomheder i dag	15
5.1	Status.....	15
5.2	Udfordringer	16
6.	Konsekvenser af øget elektrificering og grønning	18
6.1	Mere vedvarende energiproduktion (sol, vind mv.).....	18
6.2	Højere elforbrug	18
6.3	Nye krav til netvirksomhederne	19
7.	Værdiskabelse i et samfundsperspektiv.....	20
7.1	Opnåelse af øget elforbrug frem for forbrug af fossil energi	22
7.2	Håndtering af højere elforbrug og mere vedvarende elproduktion	22
8.	Midler til øget kapacitetsudnyttelse i nettet.....	24
8.1	Fleksibilitet i produktion og forbrug	24
8.2	Fleksibilitet via lagring og sektorkobling.....	26
8.3	Øget kapacitetsudnyttelse via Dynamic Line Rating	27
8.4	Peer-to-Peer energifællesskaber	27
9.	Værdiskabelse i et aktørperspektiv	28
10.	Potentielt værdiskabende digitaliseringstiltag	30
10.1	Tiltag primært til gavn for netvirksomhederne	30
10.2	Tiltag primært til gavn for ejere af energiproducerende anlæg	34
10.3	Tiltag primært til gavn for Energinet	34
10.4	Tiltag primært til gavn for forbrugerne	35
10.5	Tiltag primært til gavn for konkurrenceudsatte aktører og deres kunder	36

10.6	Tiltag primært til gavn for myndigheder	37
10.7	Konklusion på værdiskabelsen	37
11.	Teknologier til digitalisering af eldistributionsnettet	39
11.1	Internet of things applikationer	39
11.2	Kunstig intelligens, digitale tvillinger og big data værktøjer	39
11.3	Dataplatform (dataspaces)	40
12.	Danske og internationale erfaringer med digitale teknologier og digitalisering	42
12.1	Introduktion	42
12.2	CoordiNet	42
12.3	Collaborative procurement of flexibility services by DSO and TSO	43
12.4	eBalance-plus	43
12.5	SINTEG – Smart Energy Showcases	44
12.6	SmartNet projektet	45
12.7	Center for IT Intelligent Energy Systems (CITIES)	46
12.8	Flexible Energy Denmark (FED)	47
12.9	Øvrige danske og internationale projekter og analyser	48
<hr/>		
	Bilag 1 - Referencer	51

1. Rapportens opbygning

Rapporten er forsøgt opbygget med en rød tråd, hvor der i de første kapitler er fokus på definitioner, begreber og sammenhænge mellem mål og midler, således at basis for - og logikker bag - analysen er klar. Herefter anvendes de beskrevne sammenhænge til at konkludere omkring hvilke typer af digitaliseringsprojekter inden for rapportens scope, der er værdiskabende for samfundet og de enkelte aktører i elsystemet.

Kapitel 2 indeholder et kort resumé af analysens konklusioner.

Kapitel 3 introducerer analysen, herunder analysens baggrund, tilgang og metode, afgrænsning samt en beskrivelse af, hvad digitalisering er.

Kapitel 4 giver en kort introduktion til elsystemets organisering og netvirksomhedernes opgaver som baggrund for at identificere de behov, som digitaliseringstiltag i netvirksomhederne skal understøtte og de aktører, som kan have glæde af digitaliseringstiltagene.

I kapitel 5 gives en kort status over hvor langt netvirksomhederne i dag er nået med digitaliseringen og de udfordringer som netvirksomhederne oplever i den forbindelse. Kapitlet danner baggrund for en forståelse af, hvad der er realistisk at opnå på den korte og den lange bane ift. digitalisering af eldistributionsnettet.

Som baggrund for beskrivelsen af værdiskabelse på samfundsniveau giver kapitel 6 en kort beskrivelse af de udfordringer, som den grønne omstilling via øget elektrificering forventes at give samfundet og netvirksomhederne. Det er disse udfordringer, som digitaliseringen af eldistributionsnettet skal være med til at løse.

Kapitel 7 er et teori-afsnit som danner rammen for beskrivelsen af værdiskabelse. I kapitlet beskrives årsagskæder og sammenhænge mellem de udfordringer for samfundet, som er beskrevet i det forudgående kapitel, midler til at løse disse udfordringer og digitaliseringstiltag i netvirksomhederne som understøtter midlerne.

I kapitel 8 findes en kort beskrivelse af forskellige potentielle midler til at øge kapacitetsudnyttelsen af det eksisterende net og de krav det stiller til digitalisering af eldistributionsnettet. Øget kapacitetsudnyttelse gavner alle aktører og mange af midlerne kræver tværgående initiativer i sektoren. Dette emne har derfor fået sit eget kapitel i rapporten.

Som baggrund for beskrivelsen af værdiskabelse for de enkelte aktører i energisystemet, beskrives i kapitel 9, som også er et teori-afsnit, hvilke overordnede typer af værdiskabelse de forskellige aktører i elsystemet kan få ud af digitalisering af eldistributionsnettet.

I Kapitel 10 gennemgås de enkelte aktørers konkrete behov og ønsker til digitalisering i eldistributionsnettet med fokus på digitaliseringstiltag, som kan gennemføres hos netvirksomhederne, og som har til formål at understøtte midler til at løse de beskrevne samfundsmæssige udfordringer ved elektrificeringen.

Kapitel 11 indeholder en oversigt med eksempler på teknologier til digitalisering af eldistributionsnettet.

Kapitel 12 indeholder en oversigt over danske og internationale erfaringer med digitale teknologier og digitalisering

2. Resumé og konklusioner

Energistyrelsen har bedt NIRAS om at kortlægge digitalisering af eldistributionsnettet, herunder hvilken værdiskabelse digitalisering kan føre til og hvem der høster denne værdi. Analysen er baseret på et litteraturstudie og en omfattende inddragelse af elsektoren bl.a. via Green Power Denmark. Uanset dette, så er det ikke muligt at få alle perspektiver med eller sikre, at alle aktører er enige i alle analysens konklusioner.

Den grønne omstilling vil betyde en øget elektrificering. Elforbruget vil stige, hvilket vil udfordre kapaciteten i elnettet, og øget elproduktion baseret på fluktuerende vedvarende energikilder vil give udfordringer med balancering af produktion og forbrug. Digitalisering af eldistributionsnettet kan bidrage til at løse disse udfordringer omkostningseffektivt, når der er en positiv business case for de konkrete digitaliseringstiltag.

Fokus for kortlægningen er på digitaliseringsprojekter i netvirksomhederne, som understøtter interne arbejdsprocesser i netvirksomhederne eller andre aktører i elsystemet under den grønne omstilling. Nogle af digitaliseringsprojekterne kan forudsætte, at der udvikles nye markedsmodeller eller opstår nye aktører. Udvikling af nye (digitale) markedsmodeller kan også i sig selv opfattes som et digitaliseringsprojekt. Det er dog uden for scope for opgaven at beskrive, hvordan fremtidens markedsmodeller kan eller bør se ud.

Hvorvidt konkrete digitaliseringstiltag i konkrete netvirksomheder er værdiskabende afhænger af businesscasen for det konkrete tiltag. Man kan derfor ikke konkludere, at specifikke digitaliseringstiltag altid vil være værdiskabende for alle netvirksomheder eller for samfundet.

Overordnet set findes to typer af potentielt værdiskabende digitaliseringsprojekter i netvirksomhederne:

- 1) Digitaliseringsprojekter, som har til formål at optimere investeringer og drift af eldistributionsnettet.
- 2) Digitaliseringsprojekter, som har til formål at udstille relevante data til andre aktører.

Optimering af investeringer og drift af eldistributionsnettet kræver investeringer i udstyr til måling af kapacitet, produktion og forbrug samt investeringer i IT-systemer, der nyttiggør disse data til prognose og planlægningsformål. Derudover kan det være potentielt værdiskabende at investere i en integrationsplatform, der gør det muligt at samkøre data fra de mange forskellige systemer i netvirksomhederne.

Udstilling af data til andre aktører herunder kommuner, Energinet, ejere af solceller og vindmøller, ladestanderoperatører mv. er potentielt værdiskabende ved at gøre det muligt i højere grad at optimere placeringen af anlæggene. Relevante data kan være data vedr. kapacitet, produktion og forbrug lokalt i eldistributionsnettet opdelt på forskellige kategorier (fx adskille forbrug fra ladestander fra øvrigt forbrug) og i forskellig tidsopløsning. Det kan kræve yderligere digitaliseringstiltag hos netvirksomhederne at imødekomme dette behov. Der er dog en væsentlig bekymring i branchen omkring cybersikkerhed, så der skal være god kontrol med adgangen til disse data.

Der er herudover et potentiale af uvis størrelse i forbindelse fleksibilitetsydelse. Den potentielle værdiskabelse ved fleksibilitetsydelse knytter sig primært til reduktion - eller udskydelse - af netvirksomhedernes investeringer. En del af denne værdi vil tilfalde leverandørerne af fleksibiliteten via en kompensation eller lavere tarif. Hvordan den potentielle gevinst konkret deles mellem netvirksomhed og leverandør af fleksibilitet vil afhænge af markedsmodellen.

En del af fleksibilitetspotentialet kan formentlig høstes uden investeringer i yderligere væsentlige digitaliseringstiltag. Det kan fx være afbrydelighedskontrakter med udvalgte store elforbrugere. Etablering og drift af systemer, der skal understøtte et egentligt marked for fleksibilitet og optimering af netvirksomhedernes efterspørgsel efter fleksibilitet på

dette marked, så der sikres en omkostningsægte kompensation eller tarif, vil derimod kræve en omfattende digitalisering af bl.a. netvirksomhedernes styring af investeringer og drift. Det vil kræve en egentlig samfundsøkonomisk analyse at afgøre, om det vil kunne betale sig.

3. Indledning

Denne rapport omhandler en kortlægning af digitalisering i eldistributionsnettet. I rapporten beskrives, hvad digitalisering i elnettet er og hvilke værdiskabelser digitalisering i eldistributionsnettet kan føre til, gennem konkrete eksempler fra netvirksomheder i ind- og udland. Kortlægningen bygger på forskning, data og erfaringer fra konkrete digitaliseringsprojekter samt inddragelse af netvirksomheder og relevante aktører i sektoren gennem interview og workshops.

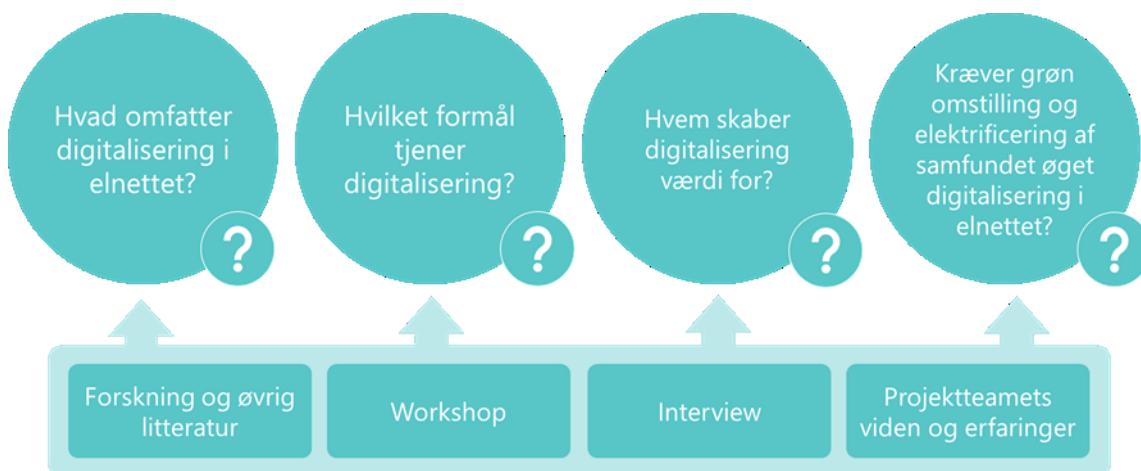
Baggrunden for igangsættelsen af analysen er stemmeaftale af 4. juni 2021 om en effektiv og fremtids sikret elinfrastruktur til understøttelse af den grønne omstilling og elektrificeringen. I henhold til aftalen skal elnetvirksomhedernes rammevilkår understøtte en tilstrækkelig digitalisering i takt med den grønne omstilling af samfundet og den øgede elektrificering. Nærværende kortlægning skal understøtte Energistyrelsens arbejde hermed.

Analysen er udbudt af Energistyrelsen og udarbejdet af NIRAS i perioden september 2021 til september 2022. DTU compute og DTU management har bidraget med input til analysen – særligt til kapitel 8, 11 og 12.

3.1 Tilgang og metode

Med afsæt i erfaringer og indsigter fra konkrete digitaliseringsprojekter belyser kortlægningen: Hvad digitalisering i eldistributionsnettet kan bestå i, hvilket formål og hvilken værdiskabelse digitalisering kan føre til, hvem der høster denne værdi (værdi i form af øget kvalitet og effektivitet i elnettet eller værdiskabelse for andre aktører), samt hvorvidt elektrificering og grøn omstilling fordrer øget digitalisering.

Figur 3.1 Fremgangsmåde



Kilde: NIRAS og DTU.

Som illustreret i Figur 3.1 ovenfor, trækker analysen på viden fra digitaliseringsprojekter i ind- og udland, fra forskningslitteratur, inddragelse af aktører fra sektoren og projektteamets egne erfaringer.

I første fase af projektet (kortlægningen af digitaliseringsprojekter) blev der indsamlet viden til projektet via en workshop med netvirksomhederne og Dansk Energi samt interviews med øvrige centrale aktører. Projektteamet fra DTU har herudover gennemgået relevant litteratur samt kortlagt og analyseret digitaliseringsprojekter i ind- og udland.

I anden fase af projektet (analysen af værdiskabelse) har Green Power Denmark (resultatet af fusionen mellem Dansk Energi, Wind Denmark og Dansk Solkraft, som fandt sted under projektperioden) været en central bidragsyder. Green Power Denmark repræsenterer en lang række af aktørerne i elsystemet og har stillet medarbejdere med baggrund i

de forskellige dele af branchen til rådighed for projektet. I alt blev der afholdt tre workshops med Green Power Denmark, to med fokus på netvirksomhederne og en med fokus på de øvrige aktører i sektoren.

Green Power Denmark har således bidraget både til beskrivelsen af netvirksomhedernes opgaver, de konkrete mulige digitaliseringstiltag hos netvirksomhederne samt værdiskabelsen for netvirksomhederne. Herudover har Green Power Denmark bidraget til beskrivelsen af de andre aktørers perspektiver.

Da Green Power Denmark er en brancheorganisation, der spænder over både netvirksomhederne og konkurrenceudsatte elektricitetsaktiviteter er centrale konklusioner – særligt omkring værdiskabelsen – efterfølgende søgt kvalificeret på to workshops med hhv. netvirksomheder og de øvrige aktører selv.

Endelig har Energinet samt Forsyningstilsynet bidraget med data og viden til projektet samt kvalificering af konklusionerne via to separate møder.

Analysen hviler således på en omfattende inddragelse af aktører i branchen. Uanset dette, så er det ikke muligt at få alle perspektiver med eller sikre, at alle aktører er enige i alle analysens konklusioner. Denne analyse er heller ikke den eneste på sit felt. Der findes parallelle initiativer, dog med et lidt andet fokus, bl.a. et stort projekt om frisættelse af elforsyningsdata. Det har ikke været muligt inden for rammerne af denne analyse at inkludere erfaringerne fra de parallelle initiativer og den daglige dialog mellem myndighederne og aktørerne i sektoren. Der kan således være forskelle på konklusionerne i denne og øvrige analyser.

3.2 Afgrænsning

Kortlægningen undersøger digitalisering i eldistributionsnettet. Dvs. digitalisering, som enten består i at digitalisere netvirksomhedernes interne arbejdsprocesser, eller digitalisering, som består i at indsamle, analysere og udstille data, der potentielt kan hentes fra netvirksomhedernes fysiske aktiver eller IT-systemer og anvendes af andre aktører.

Fokus for kortlægningen er på digitaliseringsprojekter som understøtter aktørernes opgaver i forbindelse med elektrificeringen af samfundet, dvs. behovet for at håndtere højere elforbrug og mere fluktuerende (vedvarende) elproduktion. Nogle af løsningerne kan forudsætte, at der udvikles nye markedsmodeller eller opstår nye aktører, for at de kan give værdi. Udvikling af nye (digitale) markedsmodeller kan også i sig selv opfattes som et digitaliseringsprojekt. Det er dog uden for scope for opgaven at beskrive, hvordan fremtidens markedsmodeller kan eller bør se ud.

De interne arbejdsprocesser i netvirksomhederne, som er omfattet af analysen, afgrænses derfor til dem, der har til formål at optimere netvirksomhedernes investeringer og drift af elnettet. Se afsnit 4.3 for en oversigt over de centrale opgaver i netvirksomhederne, som er omfattet af analysen.

Derudover har netvirksomhederne opgaver vedr. kundefølgning (fx besvare henvendelser, kommunikere via kommunikationsplatforme mv.) og tværgående opgaver (fx opgaver vedr. strategi, overordnet asset management, resource- og kompetencestyring, risikostyring, økonomistyring, fastsættelse af nettariffrer mv.), som også kan understøttes med digitalisering. Digitalisering af disse opgaver ligger uden for scope, da de ikke er specifikke for netvirksomhederne men er generelle digitaliseringstiltag, som alle virksomheder kan vælge at gennemføre.

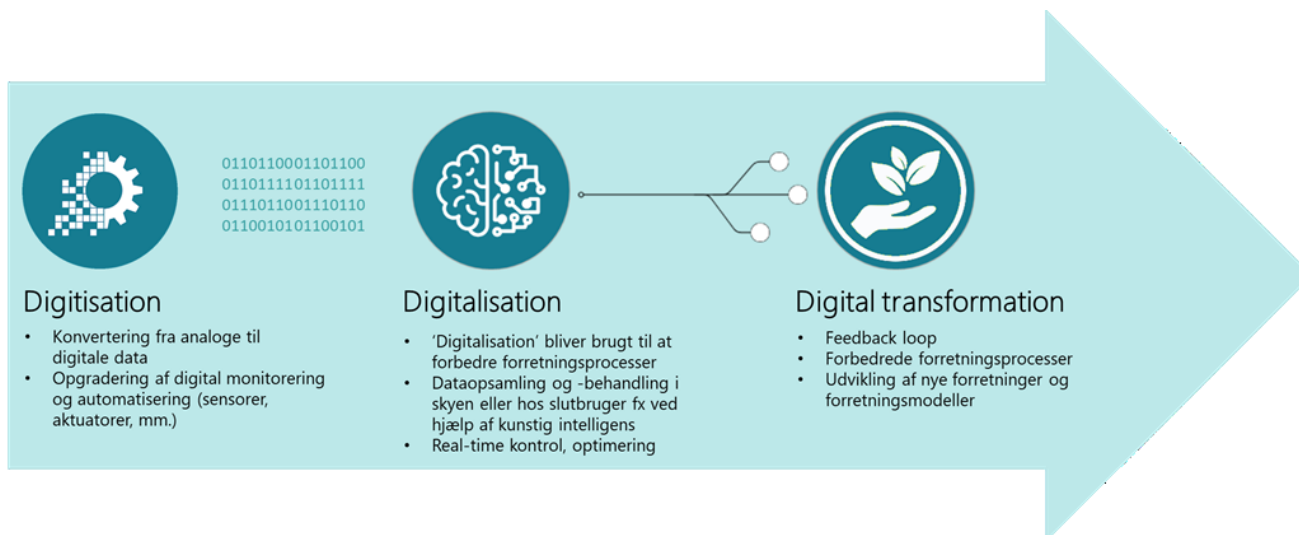
Digitaliseringsprojekter, som har til formål at netvirksomhederne lever op til diverse love og reguleringer fra Danmark og EU, fx GDPR, krav til IT-beredskab og cybersikkerhed, indrapportering til myndigheder mv. er ikke i fokus for denne analyse. Det er digitaliseringsprojekter, som skal gennemføres uanset den stigende elektrificering i Danmark og som netvirksomhederne ikke kan vælge fra.

For de øvrige aktører afgrænses kortlægningen til digitaliseringsprojekter som kræver nye data eller medvirken fra netvirksomhederne, og som ikke allerede er igangsat.

3.3 Hvad er digitalisering

Digitalisering af energisystemet kan forordnet defineres som integrationen af digitale systemer og informations- og kommunikationsteknologi (IKT), samt de nye forretningsmodeller og interaktionsmuligheder som disse understøtter i energisystemet (Rhodes, 2020). Digitalisering skal forstås som en proces, der indbefatter en række faser, der tilsammen kan siges at udgøre en digital rejse (se Figur 3.2).

Figur 3.2 Den digitale rejse



Kilde: NIRAS og DTU.

Grundlaget i en digital udviklingsproces kan beskrives med det engelske begreb "digitisation", som indbefatter at analoge data (fx geografiske data i form af kort over elnettet i et givent område) konverteres til digitale data (fx i form af GIS-kort).

Næste fase på rejsen består i, at de digitale data bearbejdes, analyseres og anvendes i digitale arbejdsprocesser. På engelsk kaldes dette "digitalisation" (fx at GIS-kort beriges med andre data og bruges og opdateres direkte af driftsmedarbejdere i marken).

Sidste fase af rejsen – der kan kaldes "digital transformation" – består i, at de digitale data og systemer udnyttes optimalt til at forbedre fx investeringsbeslutninger, driftsprocesser og vedligeholdelsesplaner (det kan fx være prædiktive analyser på basis af GIS-, drifts- og tilstandsdata, der kan bruges til at effektivisere vedligeholdelsesindsats).

Digitisation- og digitaliseringsindsatsen ligger typisk internt hos netvirksomhederne, mens den digitale transformation kan kræve bidrag fra andre aktører, fx myndigheder, forbrugere eller aggregatorer, som skal tillade eller spille en rolle i det digitalt transformerede system. Det kan fx være i form af forbrugsfleksibilitet, som muliggør optimeret netplanlægning og/eller optimerer udnyttelsen af de variable vedvarende energiressourcer.

Den digitale rejse er aldrig fuldendt en gang for alle. Der vil løbende opstå optimeringsmuligheder i takt med at nye rammevilkår og nye digitale muligheder opstår. Ligeledes vil en virksomhed typisk befinde sig i forskellige digitale faser på én og samme tid, da nogle forretningsområder vil være nået længere end andre.

4. Elsystemets organisering og netvirksomhedernes opgaver

Som baggrund for beskrivelsen af digitaliseringsprojekter og værdiskabelse fra disse, har vi behov for et overblik over det danske elsystem og netvirksomhedernes opgaver, som potentielt kan digitaliseres, samt de aktører som omgiver netvirksomhederne og som potentielt kan høste værdi fra digitaliseringen.

Det danske elsystem består af fysiske forbindelser mellem aktører, som bruges til at transportere elektriciteten. Dette er beskrevet i afsnit 4.1. Herudover er aktørerne i elsystemet forbundet via elmarkederne, hvor den elektricitet, som strømmer i nettet, bliver handlet. Dette er beskrevet i afsnit 4.2. I afsnit 4.3 bliver netvirksomhedernes opgaver beskrevet nærmere.

4.1 Det fysiske elsystem

Det fysiske elsystem består af fem overordnede elementer:

- Produktionsanlæg
- Udlandsforbindelser
- Transmission (drives ved spændinger på 132 kV til 400 kV)
- Distribution (drives ved spændinger fra 60 kV til 0,4 kV)
- Forbrugere

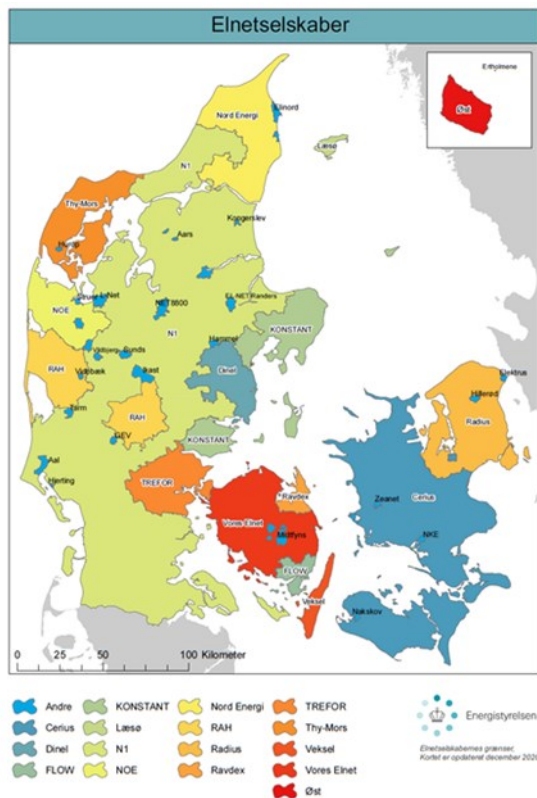
Elnettet består af adskilte net, som drives ved forskellige spændingsniveauer, og hvor der mellem hvert spændingsniveau er et antal transformere, som danner forbindelse mellem nettene ved at transformere spændingen fra et niveau til et andet.

Transmissionsnettet og til dels distributionsnettene forbinder produktionsenheder (fx vindmøller og kraftvarmeværker), mens de enkelte forbrugere (husholdninger og virksomheder) er forbundet med transmissionsnettet via distributionsnettene. Enkelte meget store forbrugere er dog tilsluttet transmissionsnettet direkte, ligesom nogle typer af produktionsenheder (fx solceller og vindmøller under 75-100 MW) som oftest er tilsluttet elnettet på distributionsniveau. Forbrugere, som også producerer elektricitet til nettet, kaldes populært for "prosumers".

Netvirksomhederne transporterer elektricitet på distributionsniveau samt måler elforbruget ved slutbrugeren. Der er de seneste år sket en kraftig konsolidering blandt netvirksomhederne. Pr. 25. november 2021 varetages distribution af el i Danmark af 39 netvirksomheder¹. Netvirksomhedernes forsyningsområder er illustreret i Figur 4.1.

¹ Kilde: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Forsyning/oversigt_over_elnetbevilingshavere.pdf

Figur 4.1 Netvirksomhedernes distributionsområder, dec. 2020



Kilde: Energistyrelsen, <https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/elnetgraenser.pdf>

Der er stor forskel på omfanget og opbygningen af enkelte netvirksomheders net, da netvirksomheder i tyndtbefolkede områder fx har behov for langt flere kilometer net pr. kunde end netvirksomheder i tætbefolkede områder. Der er også stor forskel på typer og alder af forskellige komponenter i nettene, hvilket kan have betydning for digitalisering af distributionssystemerne. Nettene omfatter typisk:

- Eldistributionsnet, som består af:
 - Hovedfordelingsnet, som drives ved 50 eller 60 kV (højspænding)
 - Fordelingsnet, som oftest drives ved 10, 12 eller 20 kV (mellemspænding)
 - Distributionsnet, som drives ved 0,4 kV (lavspænding)
- Transformerstationer/nettransformere
- Koblingsanlæg/-tavler
- Forbrugsmålere

Nettene er geografisk sammenhængende på tværs af distributionsområder, men adskilt spændingsmæssigt ved transformere, og sektioneret ved brydere, således at enkelte forsyningsområder kan adskilles ved for eksempel fejl på nettet.

De fleste forbrugere i Danmark er tilsluttet elnettet på 0,4 kV spændingsniveau. Alle der er tilsluttet eldistributionsnettet, både husstande og virksomheder, har fået installeret fjernaflæste elmålere med timeregistrering senest ved udgangen af 2020 som følge af Regeringens pålæg herom fra 2013². Pålægget var begrundet i en forventet årlig samfundsøkonomisk gevinst på 10 mio. kr. ved at indføre timeafregning af elforbruget.³ Det er uklart, om den forventede samfundsøkonomiske gevinst er realiseret.

Ud over de ovenstående traditionelle netaktiver ejer netvirksomhederne også en lang række IT-aktiver. Det er bl.a. hardware (bl.a. servere, skærme mv.) i forbindelse med netcenteret, hvor elnettet overvåges og drives fra, software som bruges ifm. drift af elnettet fra netcenteret (bl.a. SCADA systemer) samt fiberkabler til at transportere data fra nettet frem til de centrale systemer. Herudover findes hardware og software til planlægningsformål, rapportering, økonomistyring mv.

4.2 Elsystemets organisering

Det fysiske elnet består af naturlige monopoler. Det er hverken teknisk eller samfundsøkonomisk fornuftigt at have parallelle fysiske elnet, som transporterer elektricitet. I Danmark er transmissions- og distributionsaktiviteterne udskilt fra de konkurrenceudsatte aktiviteter. Konkurrenceudsatte aktiviteter omfatter bl.a. produktion af elektricitet samt salg af elektricitet til forbrugere. Netvirksomhederne ejer således ikke på noget tidspunkt den elektricitet, som transporteres igennem deres net.

De overordnede aktører på det danske elmarked er skitseret i Figur 3.3. Figuren er en forsimplet illustration med det formål at skitsere de forskellige aktører og deres roller. Der findes flere pengestrømme og datastrømme end vist på figuren, fx opkræver elleverandører også transmissions- og distributionstariffer samt afgifter.

² Bekendtgørelsen findes her: <https://www.retsinformation.dk/eli/ta/2013/1358>

³ Se <https://ens.dk/presse/alle-elmaalere-vil-vaere-fjernaflaeste-i-2020>

Figur 4.2 Roller, aktører og centrale udvekslinger i det danske elsystem



Kilde: NIRAS og DTU på basis af Energinet⁴

Aktørerne varetager følgende opgaver:

- **Ejere af elproducerende anlæg**, fx kraft- og kraftvarmeværker, vindmøller og solceller.
- **Energinet** er ansvarlig for at drive det fysiske transmissionsnet samt balancering af produktion og forbrug. Herudover har Energinet ansvar for Datahub'en. Energinet er ejet af staten.
- **Netvirksomheder**, som er ansvarlige for at drive det fysiske distributionsnet samt måle forbrug og sende forbrugsdata til DataHub. Netvirksomhederne er typisk forbrugerejede eller kommunalt ejede.
- **Elforbrugere**, privatkunder og erhvervs-kunder, herunder "prosumers".
- **Elleverandører og produktionselleverandører**. Elleverandører indkøber el via de balanceansvarlige og sælger denne til forbrugere, opkræver afgifter samt vedligeholder kundeoplysninger i DataHub. Produktions-elleverandører, som er elleverandør for de kunder, der selv producerer strøm, typisk for VE-anlæg ejet af privatkunder (prosumers). Erhvervs-kunder der ejer regulerbare anlæg aftaler typisk med den balanceansvarlige at denne varetager produktionsleverandørens rolle.
- **Balanceansvarlige**, som er tradere på elbørsen og køber og/eller sælger strøm på vegne af anlægssejere og elleverandører i Danmark og over landegrænserne.
- **DataHub**, som håndterer al datakommunikation mellem forbrugere og elleverandører fx til afregningsformål. DataHub er ejet af Energinet.

⁴ <https://energinet.dk/El/Elmarkedet/Roller-paa-elmarkedet>

Herudover findes en række aktører, som er leverandører til netvirksomhederne (fx graveentreprenører, rådgivere, måleroperatører mv.) eller leverandører til elforbrugere (fx energirådgivere, leverandører af udstyr til SMART homes mv.).

Disse aktører påvirkes forskelligt af elektrificeringen og de øgede mængder VE i energisystemet, ligesom forskellige digitaliseringsprojekter i netvirksomhederne har forskellig værdi for dem. Dette er beskrevet nærmere i afsnit 9.

4.3 Netvirksomhedernes opgaver

Som monopolvirksomheder er netvirksomhederne underlagt en økonomisk regulering, der har til formål at beskytte elforbrugerne ved at sikre, at netvirksomhederne investerer i – og driver - deres net effektivt. Hermed menes, at de kan levere høj forsyningsikkerhed så billigt som muligt, dvs. at de er gode til at bedrive asset management⁵.

De opgaver hos netvirksomhederne vedr. optimering af investeringer og drift (dvs. netvirksomhedernes asset management), som kan understøttes med digitalisering, omfatter:⁶

- **Netplanlægning.** På baggrund af prognoser for det fremtidige kapacitetsbehov og tilstanden af de eksisterende aktiver (tilstandstal), planlægges det hvor og hvordan, der skal reinvesteres i hvilke eksisterende aktiver eller investeres i nye aktiver. Netplanlægningen bør på sigt inkludere både netaktiver og IT-aktiver.
- **Vedligeholdelse af netaktiver og IT-aktiver.** På baggrund af tilstanden af eksisterende aktiver planlægges og gennemføres inspektioner og planlagt vedligeholdelse samt afhjælpende vedligeholdelse ved fejl på aktiverne.
- **Tilslutning af nye kunder og ændring af tilslutninger.** Planlægning og gennemførelse af nye nettilslutninger og ændringer af nettilslutninger hos virksomheder og husholdninger efter behov, fx i forbindelse med byudvikling.
- **Drift af elnettet.** Netcenteret overvåger og styrer nettet og nettets koblingstilstand. Netcenteret har endvidere ansvaret for netvirksomhedens beredskab. Netcenteret iværksætter afhjælpende foranstaltninger ved fejl. Netcenteret kan fx omkoble, så forbrugerne ved afbrud kan forsynes via andre dele af nettet, hvis det er muligt, og medarbejdere kan komme til at udføre vedligeholdelse sikkerhedsmæssigt forsvarligt.
- **Drift af målere,** dvs. datahjemtagning fra målere og videreformidling til DataHub.
- **Drift af IT-infrastruktur og IT-systemer.** Dvs. udvikling af (samlet) IT-arkitektur samt drift af øvrig intern IT-infrastruktur og IT-systemer til brug for netplanlægning, vedligeholdelse og drift.

Netvirksomhedernes rolle og ansvar defineres herudover i bl.a. Energinets markedsforskrifter⁷. Disse definerer bl.a. krav til samspillet – herunder dataudvekslingen - mellem de konkurrenceudsatte elleverandører og netvirksomhederne via DataHub. Netvirksomhederne deler og udstiller også andre typer af data, herunder fx ledningsdata via Ledningsejerregisteret (LER)⁸.

En lang række af de ovennævnte aktiviteter understøttes i dag af forskellige digitale løsninger. Det er i øvrigt en integreret del af en virksomheds asset management strategi at beslutte, hvordan der skal arbejdes med digitalisering i virksomheden.

⁵ Hvad asset management er, og hvordan asset management bedrives, er bl.a. beskrevet af IAM samt i ISO 55001. Se fx <https://theiam.org/knowledge-library/asset-management-an-anatomy> og <https://www.ds.dk/da/om-standarder/ledelsesstandarder/iso-55001-asset-management>

⁶ Det er netvirksomhederne som har ansvaret, men selve udførelsen af nævnte opgaver kan være outsourcet til eksterne leverandører, herunder graventreprenører, IT-leverandører, koncernforbundne driftsvirksomheder mv.

⁷ Se markedsforskrifterne her: <https://energinet.dk/El/Elmarkedet/Regler-for-elmarkedet/Markedsforskrifter#C1>

⁸ <https://ler.dk/Portal/P.1.Forside.aspx>

5. Digitalisering i danske netvirksomheder i dag

I dette afsnit gives en kort beskrivelse af status på - og udfordringerne med - digitalisering og digitale løsninger i netvirksomhederne i dag. Afsnittet bygger på input fra netvirksomheder og fra andre aktører i elsystemet samt på projektteamets viden og erfaringer. Herudover har Forsyningstilsynet gennemført en spørgeskemaundersøgelse blandt netvirksomhederne om hvilke data om deres netaktiver de har.

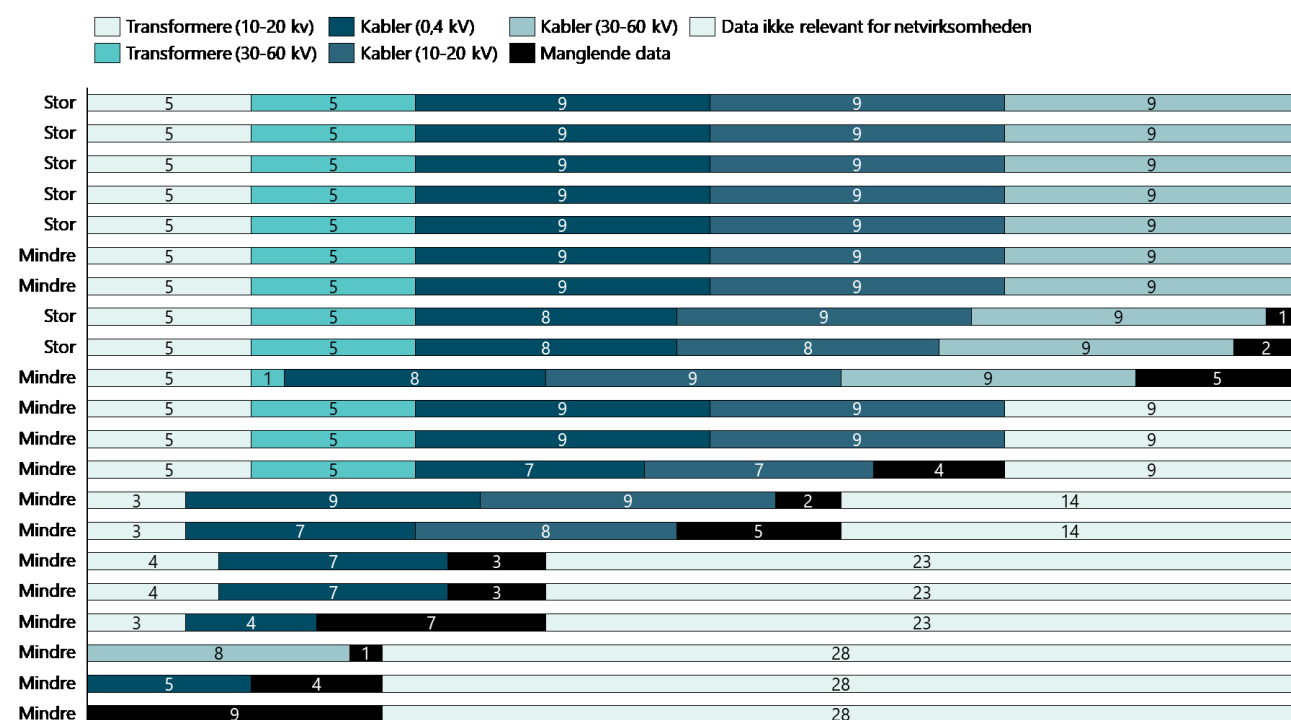
For netvirksomhederne er det primære formål med digitalisering at finde ud af, hvordan de kan udnytte, drifte og vedligeholde deres eksisterende net bedst og mest omkostningseffektivt, bl.a. for at kompensere for aldrende net og/eller kapacitetsudfordringer. Dette behov forventes at blive større i fremtiden.

5.1 Status

Overordnet set er de fleste af netvirksomhederne godt i gang med "digitisation". Derimod er der endnu relativt få erfaringer med mere avancerede datadrevne analyser, dvs. "digitalisation". Avanceret databehandling i form af maskinlæring og neurale netværk bliver således endnu ikke brugt i praksis.

Analysen fra Forsyningstilsynet viser, at størstedelen af netvirksomhederne ligger inde med centrale stamdata om deres aktiver.⁹ Generelt har de større netvirksomheder flere data om deres aktiver end de mindre, jf. Figur 5.1.¹⁰

Figur 5.1 Antal datatyper til rådighed om forskellige aktivklasser i netvirksomhederne



Kilde: FSTS og NIRAS.

⁹ Kilde: Upubliceret notat fra Forsyningstilsynet til Energistyrelsen af 28. maj 2021 som afrapporterer spørgeskemaundersøgelse blandt netvirksomhederne om "Indsamling af informationer om kapaciteter og udnyttelse".

¹⁰ Grænsen mellem store og mindre netvirksomheder er sat ved 100.000 tilsluttede kunder i koncernen, baseret på Elforsyningslovens § 45 om habilitetskrav.

Forsyningstilsynets analyse viste endvidere, at netvirksomhedernes SCADA-systemer primært indeholder data fra transformerne i hovedstationer (50/10 kV eller 60/10 kV transformere), hvor alle har målere og stort set alle overfører data til SCADA-systemet. De fleste netvirksomheder har ikke data fra deres 10/0,4 kV transformere i netstationer i SCADA-systemet. Enkelte har dog data fra alle deres 10/0,4 kV netstationer, mens enkelte andre har data fra 10-15% af netstationerne.

5.2 Udfordringer

Mange af de netvirksomheder, der findes i dag, er opstået gennem sammenlægning af mindre netvirksomheder. Ofte har de enkelte virksomheder haft forskellige systemer og praksisser for registrering og lagring af data, og det betyder, at mange netvirksomheder har "arvet" vidt forskellige datagrundlag, -kvalitet og -strukturer i forskellige dele af deres forsyningsområde. Derfor står mange midt i en omfattende opgave med kvalitetssikring og konvertering af data. Flere nævner eksempelvis at det er en udfordring, at net-topologien ikke altid er registreret korrekt eller på en ensartet måde, ligesom der ofte mangler data om netkomponenterne og deres vedligeholdstilstand.

I netvirksomhederne er forskellige typer af data ofte også registreret, gemt og anvendt i separate systemer, der er udviklet med hvert deres afgrænsede formål for øje, fx fakturering, overvågning, netplanlægning mv. En stor del af netvirksomhedernes systemer og data er digitale, men da det er sket gradvist og som knopskydninger, er virksomhederne i vid udstrækning hæmmet af, at data befinder sig i siloopdelte, dårligt integrerede systemer. Mange bruger ældre IT-systemer, som er funktionelle til deres oprindelige formål, men som ikke kan understøtte nye behov ift. data-kvalitet, -eksport, -integration og -analyse. Som eksempel kan nævnes, at de data, der skal bruges til beregning af netudviklingsplaner ofte ligger i forskellige systemer. I mange tilfælde sammensættes data derfor manuelt fra gang til gang i forbindelse med konkrete analysebehov, hvilket er tidskrævende og begrænser hvor mange scenarier, det er muligt at analysere. Flere netvirksomheder efterlyser en fælles datastruktur og et fælles system til samkøring af data internt i netvirksomheden.

Flere netvirksomheder påpeger, at investeringer i digitalisering langt fra altid kan svare sig. Der er behov for en positiv business case for at legitimere og påvise værdien af investeringer i ny hardware og software. Det gælder fx investeringer i semi- eller fuldautomatiske netstationer. Selvom data fra disse ville kunne skabe værdi, vurderes værdien af flere netvirksomheder at være utilstrækkelig til at retfærdiggøre investeringen, med mindre der gør sig særlige forhold gældende på den pågældende netstation. Det kan således ikke altid betale sig at udrulle semi- eller fuldautomatiske netstationer alle steder – kun på nøje udvalgte netstationer. Digitaliseringstiltag kan derfor ikke siges altid at være universelt gode idéer, det kommer an på lokale forhold. For netvirksomhederne er prioritering af hvilke digitaliseringsprojekter og digitale tiltag, der skal investeres i, derfor central.

Leverandører af hard- og softwareløsninger oplever da også, at det kan være svært at overbevise netvirksomhederne om værdien af de nye digitale løsninger. I leverandørernes optik repræsenterer nogle af de nye løsninger et paradigmeskift, der indbefatter en bevægelse i retning af lynhurtige datadrevne beslutningsprocesser baseret på realtidsdata - processer der i højere grad styres af computere (via maskinlæring og kunstig intelligens) end af mennesker. Netvirksomhederne efterspørger endnu ikke disse løsninger, og leverandører vurderer derfor, at der stadig er et markant behov og marked for mere konventionel "old-school" datahåndtering.

Dette understreges af, at flere netvirksomheder vurderer, at potentialet i deres eksisterende hardware (fx målere) og software (fx systemer) endnu ikke er fuldt udnyttet. De vurderer, at der er behov for kompetencer og ressourcer for at realisere den fulde værdi af deres eksisterende digitale løsninger. Gennemgang, kvalitetssikring og samkøring af data fra de forskellige (separate) registre og systemer i selskaberne er en tidskrævende, men nødvendig opgave, fordi nye anvendelser af data ofte forudsætter en højere datakvalitet end tidligere. Der er således behov for faglige profiler, som netvirksomhederne ikke traditionelt har haft ansat (fx IT-udviklere og teknikere – datamatikere), til at rense, strukturere, anvende og omsætte data til værdi.

Udfordringerne for digitalisering i elsystemet er også beskrevet i litteraturen. Ifølge Colle et al. (2019) findes en række vigtige operationelle udfordringer, herunder:

- Utilstrækkelige it-systemer
- Mangel på data og analyser til at studere og kontrollere systemkonfigurationen i realtid
- Mangel på kommercielle rammer for kontrakter med aggregatorer og lokale elproducerende anlæg som fx små sol-, vind, og batterianlæg
- Dårlig datakvalitet om kundernes efterspørgsel og udbud
- Utilstrækkelige investeringer i at sikre rette talent- og personaleuddannelse
- Manglende koordinering (herunder balanceydelse med TSO'en – Energinet i Danmark)
- Mangel på åbne standarder og protokoller der muliggør interoperabilitet med lokale elproducerende anlæg

6. Konsekvenser af øget elektrificering og grøn omstilling

Den grønne omstilling er i fuld gang med at forandre elsystemet på en række områder, og i dette afsnit beskrives, hvilke udfordringer dette forventes at skabe.

Den grønne omstilling vil betyde en øget elektrificering og udfordringer i elsystemet og for netvirksomhederne i fremtiden. Energinet Elsystemansvar og Dansk Energi har i rapporten "Tendenser og fremtidsperspektiver for elsystemet" fra 2019 givet et bud på de væsentligste udfordringer¹¹.

Der er betydelige usikkerheder omkring den fremtidige udvikling, både i forhold til retning og hastighed. I rapporten beskrives derfor forskellige scenarier for udviklingen i 2025 og 2035. Overordnet set er forventningen, at der kommer et øget kapacitetsbehov – både på transmissions- og distributionsniveau. Kapacitetsbehovet i elnettet defineres af spidsbelastningen (den potentielle spidsbelastning). Hvor stort det ekstra kapacitetsbehov bliver afhænger bl.a. af i hvor høj grad det lykkes at udjævne forbruget, så høje spidsbelastninger undgås. Herudover påvirker de potentielle udviklinger balanceringen af elsystemet og dermed udnyttelsen af de energiproducerende anlæg.

Nedenfor gives et overblik over en række af de udfordringer som Energinet og Dansk Energi potentielt forventer - og de mulige konsekvenser heraf - med fokus på netvirksomhederne.

6.1 Mere vedvarende energiproduktion (sol, vind mv.)

Vedvarende energiproduktion via vindmøller og solceller fluktuerer i takt med at vinden blæser og solen skinner. Fluktuerende energiproduktion kan udfordre elforsynings sikkerheden. Der kan opstå afbrud som følge af effektmangel på tidspunkter, hvor den vedvarende energiproduktion er lav, og der ikke kan importeres tilstrækkeligt via udlandsforbindelserne.

Tilsvarende kan det være nødvendigt ikke at producere på anlæggene, hvis forbruget er lavt, og der ikke kan eksporteres tilstrækkeligt via udlandsforbindelserne. Dvs. at kapaciteten på produktionsanlæggene ikke kan udnyttes optimalt.

På distributionsniveau kan der komme ubalancer mellem produktion og forbrug i netområder, hvor der tilsluttes meget lokal vedvarende energiproduktion. Det kan kræve forøget kapacitet på mellemspændingsniveau at håndtere den lokale energiproduktion, hvis ikke det lykkes med andre midler at sikre lokal balance mellem produktion og forbrug.

6.2 Højere elforbrug

Øget elektrificering har til formål at flytte energiforbruget fra fossile til vedvarende energikilder og vil som følge heraf føre til øget elforbrug og elforbrug fra en række nye kilder. Blandt disse er:

- **El- og hybridbiler.** Mange el- og hybridbiler kan udfordre kapaciteten i distributionsnettene – særligt de ældre net – og særligt hvis elbilerne bliver ladet op samtidig med den eksisterende spidsbelastning, "kogespidsen".
- **Centrale hurtigladere til elbiler.** Centrale hurtigladere kan reducere behovet for kapacitet i lavspændingsnettet, fordi bilerne lades mindre på villavejene. Til gengæld kan det kræve udbygning af høj- og mellemspændingsnettet, som forsyner de centrale hurtigladere.
- **Tung transport.** Batteridrevne lastbiler og busser vil kræve udbygning af høj- og mellemspændingsnettet som forsyner ladestationer. Forsynes lastbiler og busser via køreledninger (ligesom tog), vil det kræve udbygning af lavspændingsnettet bl.a. langs motorveje.

¹¹ https://www.danskenergi.dk/sites/danskenergi.dk/files/media/dokumenter/2019-07/Tendenser_og_fremtidsperspektiver_for_elsystemet_v2.pdf

- **Varmepumper.** En øget elektrificering af varmesektoren ved hjælp af elvarmepumper vil øge elforbruget. Mange store varmepumper i fjernvarmen kan udfordre kapaciteten i elnettet. Mange individuelle varmepumper hos forbrugere kan udfordre kapaciteten på distributionsniveau.
- **PtX anlæg.** Anlæg, som producerer vedvarende brændstoffer af elektricitet, er store elforbrugere. Bygges der mange og store anlæg, vil det kræve udbygning af højspændingsnettet på transmissions- eller distributionsniveau. Kan også føre til nye spidsbelastninger.
- **Datacentre.** Datacentre er store elforbrugere. Det vil kræve udbygning af særligt transmissionsnettet, hvis der bygges mange datacentre. Til gengæld kan de potentielt være med til at balancere elsystemet via deltagelse på markedet for systemydelse – særligt de hurtige systemydelse – fordi de ejer store UPS anlæg og batterier, men også store nødstrømsgeneratorer.

Det er dyrt at sikre tilstrækkelig (over)kapacitet alene via traditionelle netudbygninger, når kapacitetsbehovet stiger, mens det er risikofyldt ift. forsyningssikkerheden at drive nettet tæt på kapacitetsgrænsen. Det er derfor afgørende, at netvirksomhederne finder de optimale løsninger ift. økonomi og forsyningssikkerhed.

6.3 Nye krav til netvirksomhederne

Netvirksomhederne har som beskrevet i afsnit 4.3 ansvaret for asset management af eldistributionsnettet, herunder valg af omkostningseffektive løsninger, som sikrer et højt niveau af forsyningssikkerhed¹².

I januar 2023 offentliggør netvirksomhederne for første gang netudviklingsplaner, som fra nu af skal offentliggøres hvert andet år¹³. Disse netudviklingsplaner baseres blandt andet på analyseforudsætninger fra Energistyrelsen¹⁴. Det er dog op til netvirksomhederne at fastlægge egne forudsætninger baseret på lokale forhold, som fx den forventede lokale byudvikling, i samspil med forventningerne til udviklingen i transmissionsnettet (se NIRAS 2019). Hidtil har netvirksomheder typisk dimensioneret og udbygget nettet på basis af fremskrivninger af historiske forbrugsdata og med en 40-årig tidshorizont. Netvirksomhederne baserer disse fremskrivninger på egne standarder og erfaringer og dimensionerer elnettet efter den forventede fremtidige belastning (effektbehov), når der fx skal udskiftes komponenter eller etableres udvidelser. Dette indebærer en løbende overdimensionering i forhold til det aktuelle kapacitetsbehov, hvilket kan svare sig, fordi graveomkostningerne udgør den største andel af omkostningen ved udskiftning, imens fx kabeltykkelse har mindre betydning (se Energistyrelsen 2021).

Som beskrevet ovenfor vil øget elektrificering og øget produktion af vedvarende energi bl.a. have stor betydning for bl.a. kapacitetsbehovet i distributionsnettet. I en fremtid, hvor produktions- og forbrugsmønstre formentligt vil ændre sig markant, bliver den præcise udvikling i kapacitetsbehovet vanskeligere at forudsige. Netvirksomheder kan i mindre grad basere deres netplanlægning på fremskrivning af historiske forbrugsdata. Samtidig har netvirksomhederne mulighed for at påvirke udviklingen i kapacitetsbehovet og konsekvenserne for de andre aktører, bl.a. via løsninger som forudsætter digitalisering, så udfordringen med at finde optimale løsninger på fremtidens kapacitetsbehov og driften af elnettet er ikke blevet mindre.

¹² Netvirksomhederne bliver som et led i den økonomiske regulering benchmarket årligt på økonomisk effektivitet og forsyningssikkerhed. Benchmarkingen foretages af Forsyningstilsynet.

¹³ I henhold til Lov om elforsyning (<https://www.retsinformation.dk/eli/ta/2021/984> §22 stk. 7)

¹⁴ Indholdet er beskrevet nærmere i Bekendtgørelse om varetagelse af netvirksomhedsaktiviteter (<https://www.retsinformation.dk/eli/ta/2021/1499>)

7. Værdiskabelse i et samfundsperspektiv

Nærværende analyse skal beskrive værdiskabelsen ved digitalisering af eldistributionsnettet. For at kunne beskrive værdiskabelsen, er det nødvendigt først at definere hvad værdi er. I denne sammenhæng handler det om værdiskabelse i form af understøttelse af den grønne omstilling - specifikt den del, der vedrører elektrificering. Som omtalt i afsnit 6 består den primære udfordring i, at elforbruget kommer til at stige og at elproduktion fra vedvarende energikilder er mere fluktuerende og det dermed bliver vanskeligere at balancere produktion og forbrug.

For at digitaliseringsprojekter i elnettet kan være værdiskabende i denne kontekst, skal de derfor direkte eller indirekte understøtte elektrificeringen. Værdiskabelsen fordeler sig på forskellige aktører, hvilket er nærmere beskrevet i afsnit 9.¹⁵

Figur 7.1 på næste side viser et overblik over, hvordan digitalisering kan understøtte grøn omstilling via elektrificering, dvs. midler til at opnå og håndtere et højere elforbrug og mere vedvarende elproduktion frem for forbrug af fossil energi.

Figuren kan læses både oppefra og nedefra. Oppefra spørges hvilke samfundsmål, som skal opfyldes for at skabe værdi, hvilke midler som understøtter samfundsmålene og hvilke typer af digitaliseringstiltag som kan understøtte disse midler. Digitaliseringstiltagene har form af investeringer i – og anvendelse af – forskellige digitale teknologier og værktøjer. Nedefra svares hvilke outputs man forventer ved digitaliseringstiltagene, hvilke effekter man forventer disse outputs kan have og hvordan effekterne understøtter værdiskabelse.

For at understøtte samfundsmålene vil der være behov for at bringe en kombination af forskellige midler i anvendelse. Midlerne er delt ind efter om de primært understøtter erstatning af fossil energi med elektricitet eller primært understøtter håndteringen af det højere elforbrug og mere vedvarende – og dermed mere fluktuerende - elproduktion.

For at reducere udfordringerne med - og omkostningerne til - den grønne omstilling og elektrificeringen, kan der herudover være behov for at reducere energiforbruget generelt – både det fossile energiforbrug (for at reducere behovet for investeringer i omstilling) og elforbruget (for at reducere behovet for investeringer i vedvarende energi) fx via mere energieffektive bygninger, apparater, maskiner mv. eller ved at forbrugerne styrer forbruget på nye måder. Hvor stor en rolle energieffektiviseringer bør spille afhænger af omkostningerne til at gennemføre disse set i forhold til den samfundsøkonomiske gevinst¹⁶.

¹⁵ Ud over den klimamæssige værdiskabelse og direkte værdiskabelse for aktørerne i elsystemet kan den grønne omstilling føre til yderligere samfundsøkonomisk værdiskabelse, fx i form af eksportindtægter, højere beskæftigelse mv. Dette er ikke fokus for analysen.

¹⁶ Den samfundsøkonomiske gevinst ved udfasning af fossil energi skal her forstås bredt, både i forhold til opnåelse af de klimapolitiske målsætninger, men også i forhold til bl.a. sikkerhedspolitiske målsætninger om uafhængighed i energiforsyningen, som kan være vanskelig af værdisætte samfundsøkonomisk. Det er en analyse i sig selv at undersøge, hvor stort bidraget fra energieffektiviseringer bør være.

Figur 7.1 Værdikæden – hvordan digitalisering kan understøtte grøn omstilling



Kilde: NIRAS.

7.1 Opnåelse af øget elforbrug frem for forbrug af fossil energi

For at opnå et øget elforbrug frem for forbrug af fossil energi skal der for det første være vedvarende energi til stede i elsystemet. Det er ikke fokus for denne rapport. Dernæst skal den vedvarende energi efterspørges frem for fossil energi.

Det er derfor et samfundsmål, at sikre, at el bliver mere konkurrencedygtigt frem for fossil energi, målt på både omkostninger, forsyningssikkerhed og tilgængelighed til nye anvendelser. Det skal være så let og så billigt som muligt for virksomheder og husholdninger at vælge løsninger baseret på vedvarende elenergi frem for fossil energi i form af olie, gas, benzin mv.

For at el kan være konkurrencedygtigt på prisen ift. fossil energi kræver det at tarifferne er så lave som muligt set ift. forsyningssikkerheden, dvs. at investeringer i - og drift af – transmissions og distributionsnettet er effektiv og optimeret, givet elforbruget og håndteringen af den vedvarende, fluktuerende elproduktion. For at el kan være konkurrencedygtigt på tilgængeligheden ift. fossil energi kræver det etablering af ny eller supplerende fysisk infrastruktur, fx i form af ladeplatforme, som gør det muligt og attraktivt at skifte til eldrevne biler, lastbiler, tog, busser, skibe mv.

Digitaliseringstiltag, der skal understøtte tilgængelighed af el til nye anvendelser samt effektive investeringer og drift af elnettene, er værdiskabende, hvis resultatet står mål med omkostningerne til digitaliseringstiltaget. Hvordan dette bør evalueres afhænger bl.a. af, hvilke typer gevinster som tiltagene søger at opnå.

For digitaliseringstiltag, som har til formål at opnå effektiviseringer af netvirksomhedernes opgaver, vil det således afhænge af den konkrete business case hos netvirksomheden, om tiltaget er værdiskabende. Er tiltaget værdiskabende for netvirksomheden, er det også værdiskabende for samfundet, med mindre der er (tilstrækkeligt store) negative samfundsøkonomiske eksternaliteter forbundet med tiltaget.

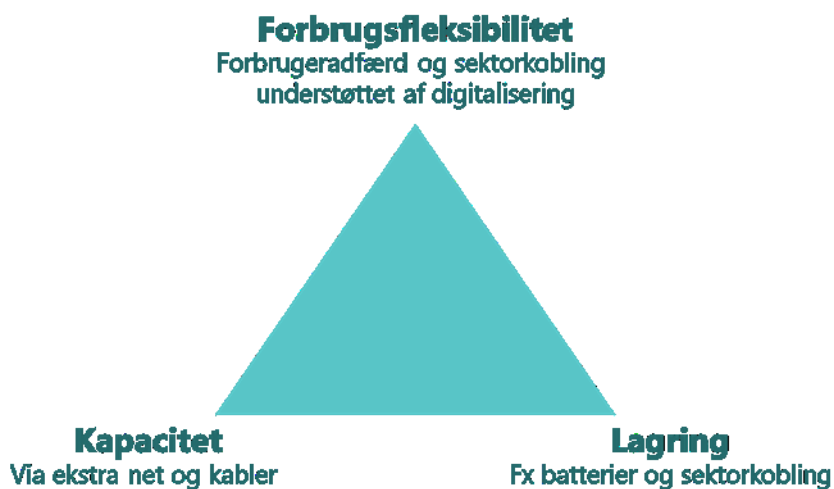
For digitaliseringstiltag hos netvirksomhederne, hvor værdiskabelsen er fordelt på flere parter, bør der ligge en samfundsøkonomisk businesscase til grund for vurderingen af værdiskabelsen af det konkrete digitaliseringstiltag. Det kan fx være digitaliseringstiltag hos netvirksomhederne, som har til formål at understøtte udrulning og optimering af ladeinfrastruktur, hvor gevinsten tilfalder ladeoperatørerne og samfundet og ikke netvirksomhederne.

7.2 Håndtering af højere elforbrug og mere vedvarende elproduktion

Når der i fremtiden kommer højere elforbrug og mere vedvarende – og dermed fluktuerende - elproduktion, vil der være behov for at håndtere dette via øget kapacitet og/eller øget kapacitetsudnyttelse i transmissions- og distributionsnettet. Dvs. det skal gøres fysisk muligt at håndtere det højere elforbrug og den mere fluktuerende elproduktion i energisystemet, eller forbruget skal flyttes i tid, så konsekvenserne af det højere elforbrug og den mere fluktuerende elproduktion i form af øget kapacitetsbehov reduceres. Et reduceret kapacitetsbehov kan give sig udtryk i enten reducerede investeringer og/eller udskyde tidspunktet for hvornår der bliver behov for investeringer.

Som illustreret i Figur 7.2 findes der tre overordnede midler til at håndtere eller reducere konsekvenserne af højere elforbrug og mere fluktuerende elproduktion: 1) øget transmissions- og distributionskapacitet (via flere/kraftigere kabler), 2) øget lagring af energi (fx via batterier og sektorkobling) samt 3) øget forbrugsfleksibilitet (via udjævning af forbrug og sektorkobling). Trekanten er ikke et udtryk for en a priori vægtning af de tre typer af midler. Den optimale løsning vil være en kombination af de tre typer af midler og ligge et sted inden i trekanten. Hvor stort et bidrag de forskellige typer af midler bør give, afhænger af business casen for de konkrete løsninger.

Figur 7.2 Midler til håndtering af øget elforbrug og mere vedvarende elproduktion



Kilde: NIRAS og DTU.

Kapaciteten i nettet har typisk været sikret via netudbygning (flere og tykkere kabler), og der vil også fremover være brug for dette. I takt med omstillingen til vedvarende energikilder og øget elektrificering – og i kraft af de nye krav vedrørende netudviklingsplaner (se afsnit 6.3.) – må det forventes, at der som grundlag for netplanlægningen vil blive efterlyst både nye data, analyser og prognoseværktøjer. Investeringer i IT og digitalisering vil her være centralt for at sikre optimal netplanlægning.

Forbrugsfleksibilitet og energilagring repræsenterer nyere løsningsmuligheder, som kan reducere behovet for øget kapacitet via netforstærkninger. Der er ikke et absolut skel mellem fleksibilitet og lagring, da fleksibilitet fx kan opnås via ændret forbrugeradfærd, der gør det muligt at få optimalt udbytte af den lagringskapacitet forbrugerne har (fx i form af batterier i elbiler mv.). Sektorkobling et middel til opnå både forbrugsfleksibilitet og lagring. En særlig variant af sektorkobling er samplacering/direkte linjer mellem store elproducerende og elforbrugende anlæg.¹⁷ Både fleksibilitet og lagring fordrer digital og teknologisk udvikling, herunder bl.a. nye data og hurtigere adgang til disse.

Lagring af energi, forøget kapacitet på udlandsforbindelser¹⁸, samt forøget forbrugsfleksibilitet muliggør herudover mere optimal udnyttelse af de elproducerende anlæg, fordi disse løsninger kan reducere behovet for nedregulering af elproduktionen, når forbruget ikke er tilstrækkeligt højt til at aftage hele den mulige aktuelle produktion.

Hvilke løsninger og digitaliseringstiltag til at håndtere højere elforbrug og mere vedvarende elproduktion, der er mest værdiskabende, afhænger også her af den samfundsøkonomiske business case. Netvirksomhedernes direkte rolle i forbindelse med disse tre midler er at være effektive i investeringer og drift af distributionsnettene. Herudover har netvirksomhederne en mulig indirekte rolle i at understøtte andre aktører med at gøre ny infrastruktur tilgængelig eller energieffektivisering.

¹⁷ Fx placering af PtX anlæg så det kan forbindes direkte med en vindmøllepark uden om transmissionsnettet.

¹⁸ Kapacitet på udlandsforbindelser er ikke i fokus for denne rapport, som fokuserer på eldistributionsnettet i Danmark..

8. Midler til øget kapacitetsudnyttelse i nettet

I dette afsnit findes en kort beskrivelse af lagring og forbrugsfleksibilitet som potentielle midler til at opnå øget kapacitetsudnyttelse i nettet. Kapaciteten på elnet dimensioneres efter behovet. Da behovet svinger over døgnet og året, og kapaciteten altid skal være tilstrækkelig, betyder det, at kapaciteten dimensioneres efter behovet på det tidspunkt af døgnet og året, hvor behovet er størst.

Øget kapacitetsudnyttelse i nettet kan opnås via lagring af el eller forbrugsfleksibilitet. Lagring af el giver mulighed for at tilføre fluktuerende produktion til nettet jævnt over tid, mens forbrugsfleksibilitet udjævner forbruget over tid. Hvis belastningen af nettet kan udjævnes, dvs. spidsbelastninger mindskes, vil nettet ude på de enkelte radialer kunne drives tættere på kapacitetsgrænsen, og dermed kan behovet for udbygning af kapaciteten i nettene mindskes. Øget fleksibilitet på lokalt niveau kan reducere behovet for udbygning af distributionsnettet mens øget fleksibilitet på systemniveau herudover kan understøtte integration af mere vedvarende energi ved at sikre balance mellem produktion og forbrug.

Når grupper af forbrugere og aktører ændrer deres adfærd, og derved stiller fleksibilitet i produktion eller forbrug til rådighed for elsystemet, kaldes det fleksibilitetsydelse. Det kan fx ske via aktører, som styrer/puljer forbruget for en række forbrugere, såkaldte aggregatorer. Eksempelvis kan der være tale om en teknisk aggregator for fleksibilitetsydelse fra rensningsanlæg. Præcis hvilken rolle aggregatorerne skal spille og hvordan er stadig under afklaring.

Der forskes intenst i, hvordan lagring af el og forbrugsfleksibilitet kan opnås i praksis, men der findes ingen færdigudviklede løsninger endnu. Et overblik over nogle af forskningsprojekterne findes i afsnit 12. Fælles for dem er, at de kræver en tværgående koordinering i elsektoren og ofte også involvering fra myndighederne for at stille rammer for aktørerne op. Det er ikke noget netvirksomhederne kan indføre eller opnå på egen hånd, men netvirksomhederne er centrale aktører. Digitalisering og digitale løsninger er centrale elementer i alle projekterne.

Sidst i afsnittet gives endvidere et eksempel på en løsning til højere kapacitetsudnyttelse, som ikke involverer fleksibilitet hos producenter eller forbrugere men i stedet udnytter variationer i vejret via såkaldt "Dynamic Line Rating". Eksemplet viser, at mere viden om den aktuelle belastning kan gøre det muligt at drive nettet tættere på kapacitetsgrænsen.

8.1 Flexibilitet i produktion og forbrug

Flexibilitet i produktion og forbrug kan reducere behovet for kapacitet. Ved at udnytte fleksibiliteten hos producenter og forbrugere, kan netvirksomhederne potentielt styre belastningen af nettet.

Den primære motivator for at producenter og forbrugere ændrer produktionen, flytter forbruget, eller lagrer og efterfølgende tilbagefører el til elsystemet, er penge eller et ønske om at reducere sin CO₂ udledning.¹⁹ Netvirksomhederne kan kompensere forbrugere og producenter for at ændre deres adfærd – og dermed styre fleksibiliteten - på to måder: Via direkte styring eller indirekte via prissignaler.

- **Via direkte styring, fx via afbrydelighedskontrakter.** Dette svarer fx til Energinets udbud efter systemydelse, hvor Energinet – mod betaling – indgår aftaler med leverandører af fleksibilitet om at deres forbrug eller produktion kan blive afbrudt eller reguleret automatisk eller manuelt på energinets initiativ, når nettet ikke er i balance.²⁰ Tilsvarende kan netvirksomheder på forhånd aftale med en stor forbruger et relevant sted i nettet, at de - mod en

¹⁹ Netvirksomhederne har ikke indflydelse på CO₂ udledningen, deres styring af fleksibilitet har til formål at optimere investeringer og drift i nettet.

²⁰ Markedet for systemydelse er et fleksibilitetsmarked baseret på auktioner. Læs mere om systemydelse hos Energinet her: <https://energi-net.dk/El/Systemydelse>. Flexibilitetsmarkeder kan også være baseret på andre markeds mekanismer.

økonomisk kompensation - kan få lov at afbryde produktionen eller forbruget, hvis der opstår udfordringer med en konkret flaskehals i nettet. En sådan direkte styring af forbruget eller produktionen vil oftest forudsætte en to-vejs-kommunikation mellem leverandøren af fleksibilitet og netvirksomheden. Herudover forudsætter automatisk regulering at netvirksomheden eller leverandøren af fleksibiliteten har måleudstyr som genererer data i realtid om det aktuelle behov for op- og nedregulering.

- **Indirekte via prissignaler.** Gennem dynamiske prissignaler motiveres brugerne til at ændre forbruget, når netvirksomheden eller elsystemet har behov for det. Denne form for styring gør det muligt at respektere at aktøren kan have andre væsentlige prioriteringer, da tilpasningen af forbrug og produktion sker på dennes initiativ. For at kunne fastlægge, hvordan tarifferne skal variere, og dermed sende de korrekte prissignaler til markedet, er der behov for data om kapacitetsudnyttelsen (flaskehalse) i transmissions- og distributionsnettene. Skal tarifferne være dynamiske – dvs. ændre sig løbende i takt med udsving i produktion og forbrug – skal data være i høj opløsning (gerne realtid), således at tarifferne kan opdateres, når produktion og forbrug ændrer sig. Selve den indirekte styring sker typisk blot gennem envejs-kommunikation, og der kræves ikke specielle sensorer eller software installeret hos aktøren.

Styring af fleksibilitet via prissignaler er et koncept, hvor priserne afspejler et hierarki af optimeringsproblemer så som spændingskontrol, flaskehalsstyring, temperaturkontrol i transformatorer, mv samt styring af netbelastning og reduktion af CO₂-aftrykket. Konceptet er en generalisering af de velkendte tidstariffer, hvor der ofte er en høj tarif mellem kl. 17 og 20 og kaldes ofte dynamiske tariffer. Samme løsninger kan anvendes ved dynamiske energifgifter. En hierarkisk prisbaseret løsning betyder at fx. kølehuset selv holder øje med temperaturen (og priserne på el) og eksempelvis selv bestemmer, hvornår der skal køles. En fuldt digitaliseret løsning vil bestå af et hierarki af controllere, som hver for sig løser deres problem ved at sende et prissignal. Disse prissignaler 'samles' inden de rammer slutbrugeren. Baggrunden for denne løsning er, at det nok ikke er muligt eller rentabelt at lave et marked for hver eneste radial i et distributionsnet. Datasikkerhed skal indtænkes i løsningerne. De skal respektere GDPR og privatliv og være robuste og cybersikkerheden skal være i orden. Styringen kan implementeres som envejskommunikationsløsninger i realtid. Den forudsætter ingen eller kun meget simple kontrakter.

Prissignaler i form af tidstariffer (timeafregning) blev indført i forbindelse med indførelse af Datahubben og engrosmodellen. Derimod findes fleksible (og dynamiske) tariffer ikke i dag, bl.a. fordi der ikke findes et datagrundlag eller IT-systemer, som understøtter disse. Det er derfor også uafklaret, hvor stort et bidrag disse vil kunne give til reduktion af kapacitetsbehovet og udnyttelse af investeringerne i vedvarende energiproduktion.

8.1.1 Teknisk krav til styring af fleksibilitet

Uanset mekanismen til styring af fleksibilitet – om det er indirekte via prissignaler eller direkte styring, vil det stille store krav til digitalisering i netvirksomhederne og hos leverandørerne af fleksibilitet. Der vil være behov for:

Hardware:

- Lokal computer eller en cloudbaseret løsning; IoT løsninger hos brugerne.
- Sensorer til tilstandsovervågning af nettet; herunder nyere energimålere.

Software:

- Løsninger til identifikation af behov for fleksibilitet, fx data-drevne modeller/digitale tvillinger.
- Identifikation af fleksibilitetsfunktionen for relevante aggregeringsniveauer som basis for styring af fleksibiliteten.
- Automatiske/styringsbaserede løsninger som målrettes de specifikke behov for netværksydelse mv.

Protokoller:

- Ingen særlige krav. Automatiske løsninger hos forbrugerne forudsætter dog, at der kan aflæses et prissignal eller et signal om levering af fleksibilitet i realtid.

8.2 Flexibilitet via lagring og sektorkobling

Energilagre kan lagre overskudsproduktion fra vedvarende energi, som ikke kan overføres på grund af overbelastning af nettet. Energilagre kan supplere den eksisterende infrastruktur og tilbyde et alternativ til at forstærke elnettet, hvor der er behov for yderligere kapacitet. Der er ikke meget erfaring i Danmark i relation til eldistributionsnettet alene. Energilagring i Danmark er fokuseret på varmesektoren og sektorkobling.

Lagring kan opnås via implementering af flere/større batterier i elsystemet, via øget udnyttelse af forbrugernes lagringskapacitet (fx i elbiler mv.) og via sektorkobling (udnyttelse af lagring i fx varme-kølesystemer). Energinet og Dansk Energi har bl.a. udpeget følgende potentialer:²¹

- **Batterier** på villavejene, fx i elbiler og ifm. solceller. Store og mindre batterier kan potentielt blive en fordel for netvirkomhederne, hvis de formår at motivere ejerne til at bruge batterierne på en måde, der reducerer (eller undlader at forøge) kapacitetsbehovet i nettet. Kan muligvis understøtte balancering af elsystemet.
- **Nye langtidslagringsteknologier.** Lagring af elektrisk energi i andre medier, fx varmt vand, varme sten mv. kan bidrage til at balancere elsystemet og reducere behovet for investeringer i vedvarende energiproduktion, fordi disse udnyttes bedre.

Forsyningssektoren har store potentielle kilder til forbrugsflexibilitet via sektorkobling. Det gælder fjernvarmesystemer (via varmeakkumulator - VAK'er), vandforsyning (via vandtårne) samt spildevandsforsyning (via renseanlæg). Nogle energilagre er bygget med det formål at være energilagere (f.eks. VAK'er og vandtårne), men der er også eksempler på energilagre, hvor man f.eks. udnytter den termiske masse i et eksisterende system (fjernvarmenettet eller boligmassen, hvor varmen er produceret med varmepumper) samt spildevandsforsyning (via renseanlæg) som lager. Eksempler på energilagerkapacitet / sektorkobling i forsyningssektoren kan være:

- Et vandtårn er en stor tank, som indeholder koldt vand som er pumpet op i en højde, så vandet via gravitation kan løbe gennem vandledningerne og ud til forbrugerne. Opfyldning af vandtanken sker via eldrevne pumper. Den løbende opfyldning af vandtanken kan potentielt styres efter elprisen.
- Renseanlæg har brug for at varme spildevandet op for at fungere optimalt. Derudover pumper spildevand med eldrevne pumper. Samtidig genererer renseprocessen biogas, som kan bruges internt på anlægget (fx til at varme spildevandet op) eller føres ud på gasnettet. Renseanlæg kan styre pumpningen efter elprisen.
- En varmeakkumulator (VAK) er en stor tank, som indeholder varmt vand. Denne oplades og aflades, når den modtager varme fra et varmeproducerende anlæg (fx en varmepumpe) og sender varme ud til forbrugerne via fjernvarmesystemet. Opladning af VAK'en via varmepumper kan styres efter elprisen.

8.2.1 Tekniske krav til lagersystemer

Hardware:

- Batterier eller andre lagringssystemer bør vælges i forhold til varigheden og graden af nettets behov, såvel som lagerets tekniske muligheder for at levere de nødvendige tjenester. Batterier er mere effektive til at bidrage til at balancere nettet end termiske lagre; til gengæld er termisk lagring langt billigere.

Software:

- Styresystemer til at optimere udnyttelsen af batteri- og netværksinfrastruktur (evt. ved brug af kunstig intelligens).
- Batteristyringssoftware til at beskytte el batterier og som samtidigt fungerer som site-controller til at implementere opladnings- og afladningsalgoritmerne.

²¹ Se https://www.danskeenergi.dk/sites/danskeenergi.dk/files/media/dokumenter/2019-07/Tendenser_og_fremtidsperspektiver_for_elsystemet_v2.pdf

Protokoller:

- Fælles interoperable standarder (på fysisk, informations- og kommunikationsteknologi niveau) for at muliggøre koordinering mellem netvirksomheder og Energinet samt interaktion med ejere af elproduktionsenheder.

8.3 Øget kapacitetsudnyttelse via Dynamic Line Rating

Dynamic Line Rating (DLR), også kendt som real-time thermal rating (RTTR), er et redskab til at vurdere og maksimere kapacitetsudnyttelsen i en elledning afhængigt af vejrforholdene. Når elledningerne køles, fx i køligt vejr, kan de udnyttes tættere på kapacitetsgrænsen. Herved kan man drage fordel af de skiftende vejrforhold og disses effekter på elledningers termiske kapacitet, til at presse udnyttelsen af ledningerne til kapacitetsgrænsen og dermed maksimere integrationen af fluktuerende vedvarende energi. De samme principper bruges også f.eks. for transformatorer, hvor det er muligt at presse transformatorerne til højere kapacitet når der er gode vejrforhold hvor der kan ske en høj naturlig afkøling.

DLR vil fx kunne bruges til at optimere brugen af kapaciteten i det eksisterende net, fx i forbindelse med ny lokal vedvarende energiproduktion. DLR vil kunne bruges til at optimere transporten i ledningerne frem for at skulle vente på etablering af en ny ledning med højere kapacitet. Hvor meget kapaciteten kan øges afhænger af hvor stor en andel af ledningens kapacitet, som bliver brugt. Men ved brug af DLR vil netvirksomheden kunne bruge en mindre margin ift at udnytte ledningerne til kapacitetsgrænsen. Vejrforudsigelser kan bruges til at planlægge kapaciteten i ledningerne når kølingen er maksimal.

8.3.1 8.1.6 Tekniske krav til DLR

Hardware:

- Dynamisk linjeklassificeringsudstyr, såsom linjemonitorer (der er selvstændige), falddetektorer, vejrstationer, data-loggere og kommunikationsenheder.

Software:

- Skræddersyet algoritme til beregning af transmissionskapacitet for hver linje.
- Datalogning software til at registrere og analysere data fra dynamisk linjeklassificeringsudstyr.
- Dataanalyse software til at analysere data genereret af dynamiske linjeklassificeringssystemer. Denne software skal være interoperabel med eksisterende software, der bruges af systemoperatører.
- Prognose algoritmer, suppleret med kunstig intelligens-værktøjer, for at forbedre dynamisk linje vurdering ydelse, minimere prognose og driftsfejl.

Protokoller:

- 4G/5G-aktiveret dynamisk linjeklassificeringsudstyr, der kan bruges til realtids videresendelse af data til systemoperatører.

8.4 Peer-to-Peer energifællesskaber

Ud over ovenstående, som fokuserer på hele elsystemet geografisk set, forudsiger Energinet og Dansk Energi muligheden for løsninger i form af Peer-to-Peer energifællesskaber. Dette er en slags ø-drift af elsystemet, hvor lokale energi-producenter og energiforbrugere går sammen om at være selvforsynende og også selv balancerer deres net. Løsningen kan reducere kapacitetsbehovet i transmissions- og distributionsnetene, da elektriciteten forbruges lokalt.

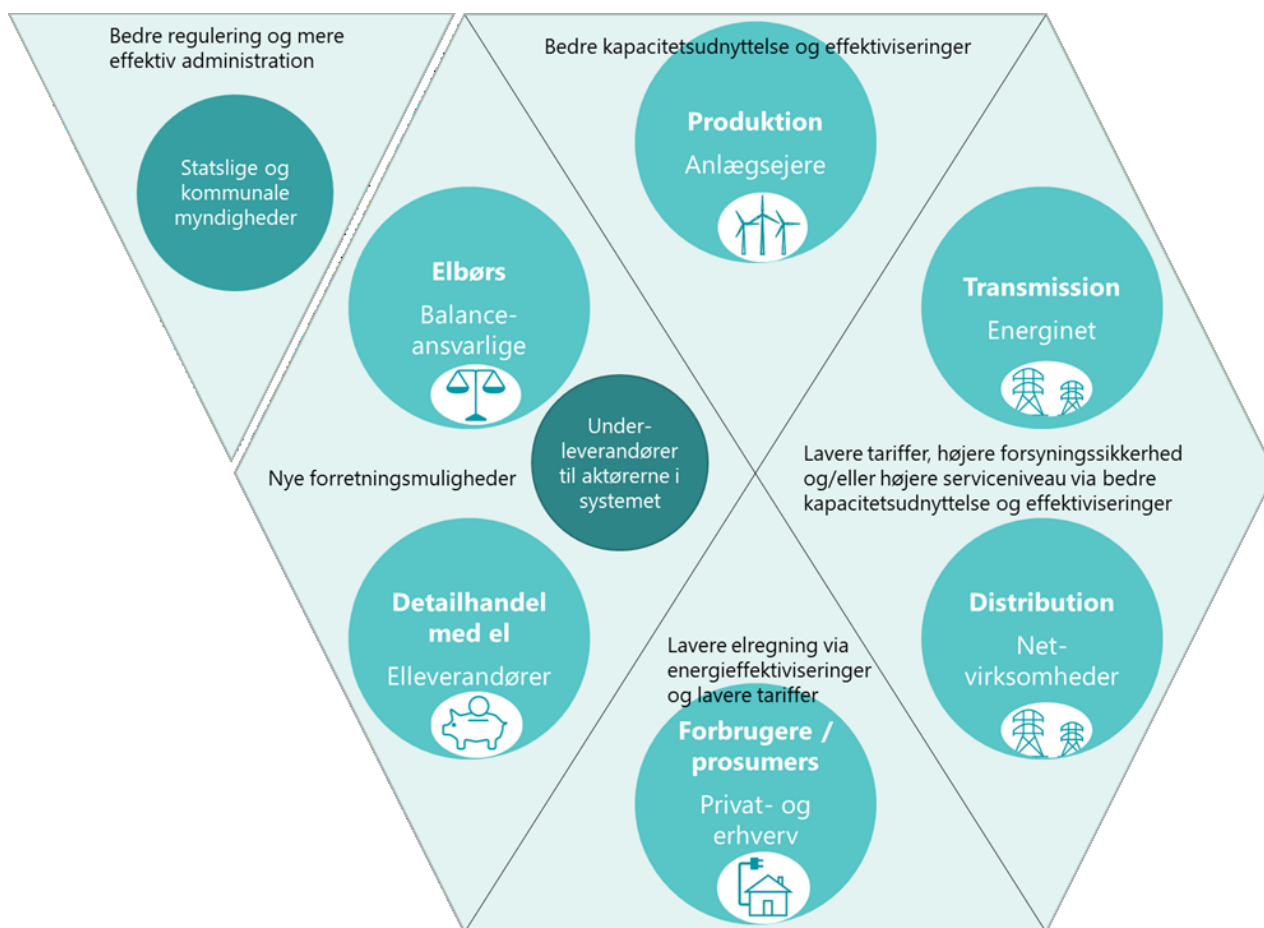
9. Værdiskabelse i et aktørperspektiv

Det overordnede formål med elektrificeringen og de digitaliseringstiltag, som skal understøtte denne proces, er at skabe værdi på samfundsniveau som beskrevet i afsnit 7. Et overblik over de forskellige aktører, som kan høste værdi, er givet i afsnit 4.2.

Værdien for aktørerne kan enten opstå som følge af at det lykkes at indfri samfundsmålet om at opnå og håndtere højere elforbrug og vedvarende energiproduktion i sig selv, eller som direkte følge af de digitaliseringstiltag, som skal understøtte midlerne til at opnå samfundsmålene.

I Figur 9.1 er der givet korte stikord til, hvad værdiskabelsen kan bestå i for de forskellige aktører. Værdiskabelsen skal forstås "alt andet lige", dvs. alternativt ville der være lavere kapacitetsudnyttelse, mindre effektiv drift og færre nye forretningsmuligheder. Tilsvarende er det klart, at elektrificeringen i sig selv fører til højere elregning når forbrugerne øger deres elforbrug ved at skifte fra gas, olie, benzin mv. til el, så værdiskabelsen består i at elregningen bliver lavere end den ellers ville have været, givet dette skifte.

Figur 9.1 Værdiskabelse for aktører "alt andet lige"



Kilde: NIRAS.

For myndighederne kan digitaliseringen skabe transparens og derigennem give grundlag for bedre og mere effektiv regulering og administration af sektoren.

For de balanceansvarlige, elleverandører og øvrige underleverandører til aktørerne, består værdiskabelsen i, at der kan opstå nye forretningsmuligheder (markeder for nye produkter), fx i forbindelse med fleksibilitetsydelse eller nye digitale løsninger. Disse nye produkter har kun værdi, hvis de bliver efterspurgt af kunderne, dvs. er værdiskabende for de øvrige aktører i elsystemet. Værdien af de nye forretningsmuligheder afspejler derfor i sidste ende værdiskabelsen hos de øvrige aktører. Hvis man lagde værdiskabelserne sammen på tværs af aktørerne, ville man derfor medtage værdiskabelsen to gange.

For at undgå denne "dobbeltregning" er der i analysen af værdiskabelse ved digitaliseringstiltagene taget udgangspunkt i at digitaliseringstiltaget skal være værdiskabende for producenter, Energinet, netvirksomheder eller forbrugere. Værdiskabelsen kan enten være direkte, hvis aktøren selv kan implementere digitaliseringstiltaget, eller indirekte, hvis værdiskabelsen afhænger af at der er andre aktører, som skal bidrage for at tiltaget giver værdi, fx konkurrenceudsatte aktører, kommuner mv.

10. Potentielt værdiskabende digitaliseringstiltag

For at et digitaliseringstiltag kan være værdiskabende, skal de løse et problem, som netvirksomhederne eller andre aktører i elsystemet står overfor i dag eller forventer i fremtiden. I kortlægningen er der således taget udgangspunkt i, hvad der fremadrettet kan gøres. Problemer, som er løst, fx via digitaliseringstiltag, som er gennemført af alle netvirksomheder, er derfor ikke medtaget i kortlægningen.

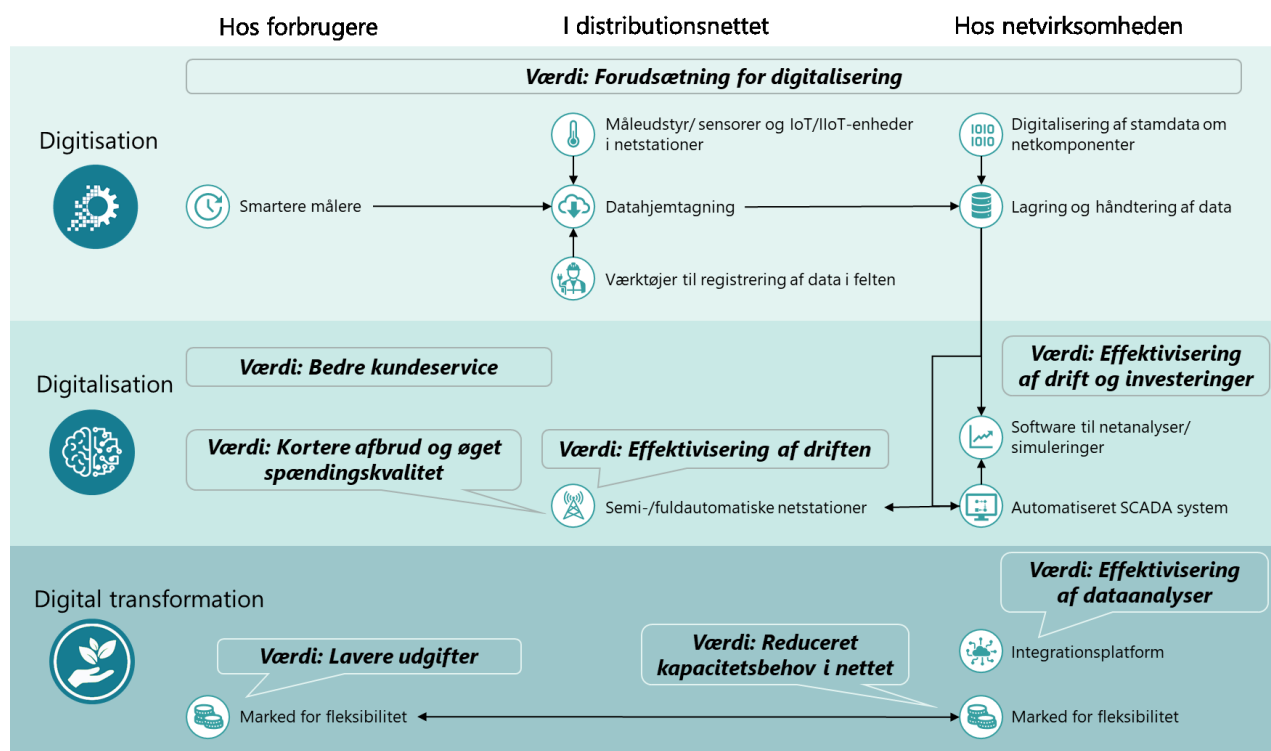
Oversigten medtager kun digitaliseringstiltag, som der er en efterspørgsel efter hos andre aktører, eller som netvirksomhederne arbejder med nu eller planlægger at arbejde med fremadrettet og hvor den forventede værdiskabelse kan forklares konkret. Løse idéer om at data eller digitalisering som sådan vil kunne udnyttes til et eller andet hvis man arbejder med det, er ikke tilstrækkelig dokumentation for potentialet for værdiskabelse og derfor ikke medtaget i oversigten.

Beskrivelsen af den forventede værdiskabelse ved de forskellige tiltag er rent kvalitativ. Man kan have en forventning om værdiskabelsen, men man kan reelt først evaluere værdiskabelsen efter at tiltaget er implementeret, og værdiskabelsen ved at implementere tiltaget vil også være forskellig fra aktør til aktør, bl.a. afhængig af udgangspunktet. Det er derfor ikke muligt at angive en konkret værdi i kroner og øre eller konkludere at særlige digitaliseringstiltag altid vil være værdiskabende for alle aktører.

10.1 Tiltag primært til gavn for netvirksomhederne

Figur 10.1 viser et overblik over de forskellige typer af digitaliseringstiltag og deres overordnede værdiskabelse hos netvirksomhederne og dermed indirekte hos forbrugerne. Værdiskabelse for de øvrige aktører i elsystemet er beskrevet i afsnit 10.2 til 10.5.

Figur 10.1 Værdiskabelse ved digitaliseringstiltag



Kilde: NIRAS.

For netvirksomhederne er et vigtigt overordnet formål med digitalisering at finde ud af, hvordan de kan udbygge, drive og vedligeholde deres net bedst og mest omkostningseffektivt, bl.a. for at kompensere for aldrende net og/eller kapacitetsudfordringer. Dette behov forventes at blive større i fremtiden i takt med elektrificeringen. Lykkes netvirksomhederne med at være omkostningseffektive i investeringer og drift, vil det skabe værdi for forbrugerne i form af højere kvalitet i leveringen og/eller lavere udgifter til el end de ellers ville have oplevet.

Digitisation i form af investeringer i flere og bedre data ude fra nettet og i centrale systemer er en forudsætning for digitaliseringen. Værdien af de enkelte investeringer afhænger dog ofte af hvilke andre digitaliseringstiltag der implementeres. Eksempelvis bliver værdiskabelsen ved digitisation større, når der efterfølgende investeres i digitalisering, dvs. digitale værktøjer hos netvirksomheden, der nyttiggør de nye og bedre data og digitale styringsmuligheder. Der må derfor forventes en initial omkostning til digitisation og digitale tiltag, hvor værdien først kan høstes i takt med at der investeres i yderligere digitale tiltag.

Digitaliseringstiltagene og deres forventede værdiskabelse er beskrevet kort i de nedenstående afsnit. Tiltagene er sorteret efter om de primært kan karakteriseres som led i hhv. digitisation, digitalisation eller digital transformation.

10.1.1 Digitisation

- **Indsamling af supplerende data om netkomponenter.** Data om netkomponenters tilstand og belastning kan skabe værdi ved at muliggøre bedre forudsigelser af risikoen for nedbrud og fejl på komponenterne. Disse oplysninger kan bruges til at vurdere, hvornår komponenterne optimalt set bør udskiftes eller hvornår, der bør investeres i netudbygninger. Denne type analyser forudsætter en række tilstandsdata, der ofte men ikke i alle tilfælde er registreret i dag, fx om kvaliteten af netkomponenter, oplysninger om den enkelte komponent (fx ledertværsnit, type, placering, tilkobling, temperatur, belastningsgrad mv.) Eksempler på digitaliseringsprojekter, som har til formål at indsamle supplerende data om nettet er:
 - Investering i "smarte netstationer" og andet supplerende måleudstyr/sensorer og IoT/IloT-enheder, som kan måle strøm, spænding, temperatur, gasser, vibrationer mv. samt datahjemtagning fra måleudstyr og sensorer til SCADA systemet. Disse data kan gøre det muligt at måle og vurdere tilstanden samt belastningen af netkomponenterne set i forhold til hvad netkomponenterne kan tåle, så netkomponenterne ikke bliver overbelastet/slidt eller går i stykker før tid. Data kan også bruges til at udvikle eller verificere modeller for tilstand og belastning af netkomponenter. Det er uafklaret, hvor store investeringer i yderligere data, herunder hvilken tidsopløsning af data, der er mest værdiskabende.
 - Investering i værktøjer, som driftsmedarbejderne kan registrere data om elnettet i direkte fra felten, fx om tilstanden af netkomponenter (tilstandsvurderinger, billeddokumentation mv.). Disse værktøjer kan effektivisere tilstandsvurderinger og gøre dem mere ensartede og dermed øge datakvaliteten.
 - Investeringer i værktøjer til automatisk indsamling og bearbejdning af data om tilstanden af aktiver, fx droner til indsamling af data (billeder, temperaturmåling mv.) vedr. netkomponenter, system til automatisk tilstandsvurdering ud fra billedgenkendelse og sammenstilling med andre data. Disse værktøjer kan effektivisere tilstandsvurderinger og gøre dem mere ensartede og dermed øge datakvaliteten.
 - Investering i digitalisering og indsamling af stamdata om netkomponenter fx placering, diameter, type mv. (er kablet af aluminium, kobber, olieisoleret, osv.) i anlægskartotek, net- og ledningskort i GIS samt registrering i LER2.0 Der er brug for korrekte stamdata om netkomponenterne for at kunne vurdere behovet for investeringer og optimere vedligeholdelsesindsatsen.
- **Indsamling af supplerende produktions- og forbrugsdata,** herunder strøm og/eller spænding. Flere netvirksomheder har et godt billede af de nuværende forbrugsmønstre og kapacitetsbehov, men forventer at dette vil ændre sig meget fremover. Der er derfor behov for at der udvikles modeller, der forudsiger lokal elproduktion og elforbrug de næste døgn, måneder og år, for at sikre at den nødvendige kapacitet er til stede. Dette kræver flere og højere frekvens af data end de dag-gamle forbrugsdata netvirksomhederne skal sende til Data-hubben i dag. Helst geografisk stedfæstede produktions- og forbrugsdata.

Data fra fjernaflæste målere hos forbrugere og producenter kan bl.a. bruges til at optimere nettet fra et bottom-up synspunkt ved at beregne belastningen på de enkelte radialer og summere op til større områder. Sammenholdes disse data med data fra målere i 10 kV nettet (fx i netstationerne), kan netselskabet se, hvor folk bruger mere strøm eller højere strømstyrke (flere ampere), end de betaler for²². Netselskabet kan også se, hvor der er kabelfejl og hvilken retning strømmen går, så de får bedre kendskab til belastningen af deres anlæg. Tidsopløsning af data kan der justeres på, afhængig af hvor det skaber værdi. For at indsamle realtidsdata kan der være behov for:

- Investering i målere, fx nye målere, som kan måle flere typer af data evt. i en højere tidsopløsning end i dag, hos alle eller udvalgte producenter og forbrugere eller udvalgte steder i nettet.
- Investering i kapacitet til hjemtagning af flere data i en højere tidsopløsning fra målere, fx investering i bredbåndskapacitet.
- IT-systemer til lagring og håndtering af flere typer data i en højere tidsopløsning, fx cloud storage løsninger.

10.1.2 Digitalisation

- **Modeller til beregning af forudsigelser af tilstand på netkomponenter (restlevetider) samt kapacitetsbehov og flaskehalse i nettet** til brug for planlægning af vedligeholdelse, reinvesteringer og netudbygninger. Dvs. systemer der anvender og nyttiggør stamdata om netkomponenterne, tilstandsdata og data om produktion og forbrug til asset management formål og til opstilling af netudviklingsplaner til myndighederne. Der mangler dog p.t. metoder til automatiseret analyse af data, herunder forståelse af sammenhængen med bl.a. drifts-tilstanden af nettet på måletidspunktet. Eksempler på denne type projekter er:
 - Beregning og analyser af forbrugs- og produktionsprofiler og load-forecasts, hvor forbrugs- og produktionsdata behandles og analyseres mhp. at lave retvisende profiler og forecasts af forbrug og produktion. Forbrugs- og produktionsprofiler og forecasts er i udgangspunktet statiske profiler, men kan videreudvikles til mere eller mindre dynamiske profiler.
 - Investering i software til Netanalyser, –simuleringer og –modellering (Power Factory, Neplan, NetBas mv.), hvor forbrugs- og produktionsprofiler samt load forecasts bruges til at beregne fremtidigt kapacitetsbehov (herunder reduceret nettab, optimeret spændingsregulering mv.) og dermed behov for reinvesteringer og nyinvesteringer i nettet (netforstærkninger og netudbygninger).
- **Automatiseret SCADA system / fjernkontrollsystemer**, som giver realtidsviden om den aktuelle belastningssituation i nettet. Et automatiseret SCADA system hjælper kontrolrummet med at skabe estimater for aktuel spænding og strøm for alle radialer, så kontrolrummet bedre kan håndtere variation i forbrug og produktion i planlægningen af det næste driftsdøgn. Herudover hjælper det driften med omkoblinger ved fejl på nettet eller ved udførelse af vedligeholdelsesopgaver. Et automatiseret SCADA system / fjernkontrollsystem kan også bruges til at identificere fremadrettet kapacitetsbehov.
- **Semi- og fuldautomatiske netstationer** som kan kobles om fra netcenteret eller selv kan omkoble automatisk og dermed reducere varigheden af afbrud. Personersikkerhed er dog pt. en udfordring i forbindelse med automatisk omkobling, hvis driftspersonale i marken ikke har kendskab til koblingstilstanden. Automatiserede netstationer kan også bruges til at verificere modeller, så kapacitetsudnyttelsen forbedres. Det er dog også en dyr investering, der langt fra altid kan betale sig, med mindre netstationen er vanskeligt tilgængelig (fx låst inde i en bygning som netvirksomheden ikke ejer).

10.1.3 Digital transformation

- **Integrationsplatform** til sammenkobling af data på tværs af systemer, på tværs af netvirksomheder – og på sigt sammenkobling af den øvrige energi- og forsyningssektor. Det kan fx være i en central integrationsplatform som

²² Tyveri af strøm har i princippet ikke nogen for økonomisk konsekvens for netvirksomheden da nettabet og udgifterne til sagsbehandling ifbm. tyverier kan opkræves fra de øvrige forbrugere.

man kender det fra DataHub eller via et distribueret setup med selvstændige men sammenhængende aktører i et "Data Space" for energi og forsyning.²³ En central platform eller et decentralt setup i et Data Space vil gøre det muligt at optimere og automatisere en række driftsprocesser, herunder til beslutningsstøtte, optimering af drift, og aktiv brug af data i netplanlægning. Dette kræver et nyt digitalt setup og fælles datanøgler til at skabe interoperabilitet - altså sammenhæng på tværs af egne data fra de siloopdelte systemer i selskaberne. Generelt oplever netvirksomhederne at have mange forskellige specialiserede systemer, som ikke snakker særligt godt sammen, og derfor kun giver begrænset værdi eller er omkostningstungt at få værdi ud af pga. manuelle arbejdsprocesser. Sammenkobling af data vil gøre det muligt at optimere og automatisere en række driftsprocesser, herunder til beslutningsstøtte, optimering af drift og aktiv brug af data i netplanlægning. Dette kræver et fælles system, en fælles database eller fælles datanøgler (fx CIM-datafiludveksling), der kan bruges til at samkøre kvalitetssikrede data fra de siloopdelte systemer i selskaberne. Et sådan IT-system findes ifølge selskaberne ikke på markedet i dag, men nogle selskaber arbejder på forskellige vis med at udvikle systemer der er tilpasset deres konkrete behov. Myndigheder i Danmark og i Europa arbejder for at etablere et data space.²⁴ Formålet er at understøtte den overordnede digitaliseringsindsats, herunder datafrisættelse og større deling af data.

- **Understøttelse og håndtering af forbrugsfleksibilitet** (netvirksomhedernes andel heraf). Udnyttelse af forbrugsfleksibilitet har til formål at reducere behovet for kapacitet i nettet og sikre balance mellem produktion og forbrug. Værdiskabelsen kan være i form af reducerede eller udskudte investeringer og optimeret drift. Der er indført tids-differentierede tariffer, der skal motivere forbrugeren til at bruge mindre strøm, når belastningen er høj, fx om aftenen. Der arbejdes på at gøre det muligt at lave mere omkostningsægte prissignaler. Nogle netvirksomheder arbejder også med afbrydelighedskontrakter som redskab til at udnytte forbrugsfleksibilitet. Både afbrydelighedskontrakter og prissignaler forudsætter en række forskellige detaljerede data om bl.a. produktion, forbrug og kapacitet, for at sikre korrekt styring af prissignalerne eller prissætning af afbrydelighedskontrakterne.²⁵

I realiteten skal netvirksomhederne have digitaliseret deres asset management først, for at kunne etablere et marked for fleksibilitet. For at kunne beregne et omkostningsægte fleksibel tarif eller pris på afbrydelighedskontrakt skal netvirksomhederne ikke bare have detaljeret overblik over det fremadrettede behov for investeringer og reinvesteringer i netkomponenter på hver enkelt radial, og over hvad det vil koste at gennemføre planerne, de skal også have overblik over de medfølgende driftsomkostninger og trade-offs mellem investeringer og driftsomkostninger, når kapacitetsbehovet ændrer sig som følge af forøget forbrugsfleksibilitet.

Herudover kan der være behov for aggregatorer for at realisere forbrugernes fleksibilitet. Aggregatorer er nye aktører der kan lagre og/eller styre og regulere forbruget fra flere forbrugere samlet, fx via digitale løsninger hos forbrugerne. Dette forudsætter, at aggregatorer har data om bl.a. fremtidigt forbrug, produktion og priser. Kravene til netvirksomhedernes asset management er således de samme, uanset om det er forbrugerne selv - eller andre aktører på forbrugernes vegne - der skal reagere på prissignaler eller sælge afbrydelighed.

Nogle netvirksomheder udtrykker dog skepsis ift. fleksibilitetsydelse, fordi de opfatter fleksibilitet som en ubekendt faktor - en "joker" - der risikerer at vanskeliggøre deres styring af kapaciteten i nettet fordi der bliver usikkerhed i load-forecasts. Det er vigtigt for netvirksomhederne, at en fleksibel ydelse er pålidelig og velkendt (hvor, hvornår og hvor meget), hvilket givetvis hænger sammen med, at netvirksomhedernes opgave er at levere høj pålidelighed - en

²³ <https://www.danskenergi.dk/files/media/document/Dialogopl%C3%A6g-Data-Space-Energinet-Dansk-Energi-nov2021.pdf>

²⁴ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/digitalisation-energy-best-practices-data-sharing>

²⁵ Dynamiske tariffer sender et direkte prissignal. Afbrydelighedskontrakter sender derimod et indirekte prissignal, da netvirksomhederne kun bør gå ind i afbrydelighedskontrakter, der ikke er for dyre. For at prissætte afbrydelighed i kontrakter, har netvirksomhederne brug for samme information som til at sende et direkte prissignal via tarifferne.

opgave de traditionelt har sikret via kontrol over nettet og styring af netudvidelser. Afhængighed af eksterne parter for at sikre forsyningssikkerheden opleves som et kontroltab af netselskaberne.

10.2 Tiltag primært til gavn for ejere af energiproducerende anlæg

Anlægsejere omfatter ejere af kraftværker, solceller og vindmøller. Deres behov, og dermed værdiskabelsen ved digitaliseringstiltag, adskiller sig væsentligt fra hinanden, fordi de har forskellige roller i energisystemet.

10.2.1 Kraftværker

For at den regulerbare produktion på kraftværker kan understøtte integration af vedvarende energi og optimere driften er der behov for gode prognoser for produktion af vedvarende energi (vind og sol) samt forbrug, lokalt og internationalt. Prognoseværktøjerne er dog i høj grad allerede på plads, da de er forretningskritiske.

Kraftværkerne efterspørger derfor ikke yderligere data eller digitalisering fra netvirksomhederne eller andre aktører ud over hvad der allerede er i gang. Der findes allerede masser af data, som det er vanskeligt at udnytte på en værdiskabende måde. De er tværtimod bekymrede for informations-overload og cybersikkerhed.

10.2.2 Sol og vind

Ejere af solcelleanlæg og vindmøller efterspørger primært data og værktøjer til at planlægge optimal placering af deres anlæg, så de kan opnå optimal kapacitetsudnyttelse (færre produktionsstop). Green Power Denmark og Energinet stiller Kapacitetskortet²⁶ til rådighed for dette behov, men der er et potentiale for at forbedre frekvensen af - og processen for – opdatering af Kapacitetskortet.

For anlæg tilsluttet på distributionsnettet kan det herudover være en mulighed at deltage i lokal balancering af produktion og forbrug via lokale markeder for fleksibilitet, hvis netvirksomhederne efterspørger dette. Forventningen er dog, at det ikke kan betale sig samfundsøkonomisk, fordi de forventer at det bliver et midlertidigt marked indtil distributionsnettet bliver udbygget tilstrækkeligt, og måske kan det slet ikke nås at implementere inden da.

Hvis der implementeres lokale markeder for fleksibilitet er det den fremtidige markedsmodel, der definerer databehov og potentialer for værdiskabelse for anlægsejerne, dvs. delingen af den samfundsøkonomiske gevinst ved fleksibiliteten mellem netvirksomhederne og de fleksible producenter.

10.3 Tiltag primært til gavn for Energinet

Mange af de digitaliseringstiltag, som netvirksomhederne kan implementere på distributionsniveau vil også være værdiskabende for Energinet at implementere på transmissionsniveau. Der er helt generelt meget værdiskabelse forbundet med digitalisering af elnettet og Energinet er allerede i gang med at realisere gevinsterne i dag. Af særlig betydning kan eksempelvis nævnes:

10.3.1 Tiltag til optimeret drift af elnettet

- Bedre realtidsoverblik over den aktuelle driftssituation samt mulighed for beslutningsstøtte, hvilket kan forbedre mulighederne for at holde balancen i et fremtidigt energisystem baseret på fluktuerende vedvarende energi og med stigende kompleksitet (f.eks. decentralisering, højere tidsopløsning i markederne og mere internationale markeder)
- Bedre udnyttelse af eksisterende og ny infrastruktur, f.eks. ved at beregne mulig belastning af luftkabler baseret på aktuelle og forventede vind- og vejrforhold (f.eks. Dynamic Line Rating)
- Bedre proaktiv balancering via forbedret ubalanceprognose gør kontrolcentret i stand til at handle sig bedre i balance inden driftstidspunktet

²⁶ <https://storymaps.arcgis.com/stories/eb5b387e376f49b8996d5e7c47fbd37>.

- Dynamisk dimensionering af balanceringsreserver, så Energinet indkøber behov time for time
- Realtidsprognoser på lavere aggregeringsniveau forbedrer Energinets situationsforståelse i kontrolcentret.
- Automatisk kontrol af leverancer af systemydelse sikrer troværdighed og korrekt afregning
- Bedre monitorering af tilstanden på komponenter i elnettet kan modvirke nedbrud, f.eks. gennem bedre forebyggende vedligehold

10.3.2 Tiltag til optimeret udvikling af elnettet

- Accelereret og dynamisk planlægning er effektivt, bruger nye datakilder, hurtigere afklaringer, afspejler aktuelle forudsætninger og sikrer bedre interessant involvering.
- Data-drevet beslutningsstøtte forbedrer planlagt udbygning af elnettet, investeringer i ud-landsforbindelser, samt rette informationer om tilslutning af produktion og forbrug i samspil med samfundet, f.eks. Kapacitetskortet.

10.3.3 Tiltag til udvikling af elmarkederne

- Etablering af nye markedsrammer og markedsmodeller, der realiserer samfundsværdi (f.eks. aggregatorer) og som høster synergier på tværs af landegrænser (f.eks. MARI og PICASSO).²⁷
- Design af ny tarif-model, der giver retvisende incitamenter til placering af forbrug og produktion, både fysisk og tidsmæssigt.²⁸
- Dokumentation af grøn værdi og certifikater tillader forbrugere at handle grønt og f.eks. være i balance time-for-time (Projekt Energy Origin).²⁹

10.3.4 Hvad er allerede muligt at realisere i dag?

Etableringen af den danske DataHub betyder, at Energinet allerede modtager en stor del af de danske netselskabers forsyningsdata med formålet at sikre smidige markedsprocesser og korrekt afregning i detailmarkedet. Der vurderes at være et stort potentiale for Energinet forbundet med at anvende disse data til drift og planlægning af elnettet (jf. ovenstående punkter), men netselskabernes forsyningsdata anvendes kun i begrænset omfang direkte hertil (altså dataene fra de danske smarte elmålere). Her har Energinet allerede mulighed for i højere grad at anvende forsyningsdataene fra netselskaberne mere aktivt ifm. ovenstående punkter givet at disse data allerede modtages i den danske DataHub.

10.3.5 Hvad kræver yderligere forsyningsdata fra netvirksomhederne?

Der er dog tilfælde, hvor smart måler dataene kunne give højere værdi, hvis de blev kombineret med andre af netvirksomhedernes forsyningsdata, der ikke indsamles i dag. Et eksempel er monitorering og fremskrivning af det danske elforbrug pr. transformerstation, hvilket udover adgangen til smart målerdata, kræver data om netvirksomhedernes nettopologi, så det er muligt at koble det enkelte målepunkt med en transformerstation. I denne sammenhæng kan det endvidere være værdifuldt for Energinet at have adgang til bedre stamdata, herunder (forventet) placering af ladeplatforme til elbiler. Et andet eksempel er geografisk placering af enheder, der leverer systemydelser, hvor det ikke blot ville være værdifuldt at vide, hvilken transformerstation de tilhører, men samtidigt om aktivering af dem medfører problemer i DSO-nettet og om de på den baggrund reelt er tilgængelige.

10.4 Tiltag primært til gavn for forbrugerne

Nogle forbrugere ønsker sig formentlig adgang til yderligere data, som gør det muligt at styre eller reducere elforbruget. Data til at detailstyre forbruget på en lokation hos en forbruger findes typisk "bag måleren", dvs. det er forbrugeren selv, der skal indsamle disse lokale data. Det er netvirksomhederne ikke involveret i.

²⁷ https://www.entsoe.eu/network_codes/eb/

²⁸ <https://energinet.dk/Om-nyheder/Nyheder/2021/11/04/Energinet-vil-aendre-elforbrugernes-systemtarif>

²⁹ <https://en.energinet.dk/Project-origin>

Øget digitalisering i netvirksomhederne kan også have til formål – eller også kunne bruges til – at gøre det er muligt at give bedre kundeservice, fx i forbindelse med sagsbehandling ved nettilslutningsprocessen og kunderettet information om fx årsager til afbrud eller kommunikation om driften. Denne type digitaliseringstiltag indgår ikke i scope for analysen, jf. afsnit 4.3.

Nogle forbrugere tilsluttet på distributionsnettet ønsker herudover at bruge styringen af forbruget til at tilbyde forbrugsfleksibilitet, hvis netvirksomhederne efterspørger dette. Der er også et muligt potentiale for sektorkobling mellem fx el og varme med bygningsejere, leverandører af varmepumper mv.

Hvis der implementeres lokale markeder for fleksibilitet er det den fremtidige markedsmodel, der definerer databehov og potentialer for værdiskabelse for forbrugerne, dvs. delingen af den samfundsøkonomiske gevinst ved fleksibiliteten mellem netvirksomhederne og de fleksible forbrugere.

10.5 Tiltag primært til gavn for konkurrenceudsatte aktører og deres kunder

De konkurrenceudsatte aktører omfatter balanceansvarlige, detailhandel med el og underleverandører til de øvrige aktører.

Denne aktørgruppe kan levere to typer af ydelser til deres kunder:

- Understøtte producenter og forbrugere med at deltage i et evt. fleksibilitetsmarked (fx aggregatorer)
- Levere digitale løsninger (fx dataspace, IoT enheder) og ny infrastruktur (fx ladestandere)

Forudsætningen for værdiskabelse af disse ydelser er, at der er efterspørgsel efter dem fra netvirksomhederne eller andre aktører i sektoren. Markedet vil derfor vise, om ydelserne kan sælges og derfor er værdiskabende. Netvirksomhederne kan således implementere digitaliseringstiltag hos sig selv, som også fører til værdiskabelse hos konkurrenceudsatte aktører.

Herudover kan der være tiltag, som har til formål at understøtte elektrificeringen generelt ved at understøtte energieffektivisering og at el bliver konkurrencedygtigt på tilgængeligheden ift. fossil energi. Det kan fx være investeringer i ladestandere som gør det muligt og attraktivt at skifte til eldrevne biler, lastbiler, tog, busser, skibe mv. Disse opgaver hører ikke til hos netvirksomhederne i dag og skal løses af konkurrenceudsatte aktører, men de kan kræve supplerende digitaliseringstiltag hos netvirksomhederne.

Eksempelvis er der for ladestandere – ligesom for solceller og vindmøller, lagerkapacitet mv. – et behov for optimal placering af anlæggene. Konkret for ladestandere skal man finde ud af, hvor der er mest behov for yderligere ladekapacitet. Kommunerne spiller her en central rolle, da de står for udbuddene efter offentlige ladestandere.

Kommunerne har i dag ikke et godt overblik over behovet for ladestandere. De ved ikke hvor der står offentlige og private ladestandere og hvad forbruget på disse er, fordi forbruget ikke adskilles automatisk fra øvrigt forbrug. Deling af data mellem ladestanderoperatører og kommuner sker kun delvist i dag, og det sker manuelt. Det kan gøres til et krav i kontrakterne mellem kommunerne og ladestanderoperatørerne, at der skal ske en automatisk deling af data med kommunerne til brug for planlægningen af deres udbud.

Hvis netvirksomhederne skal opgøre data fordelt på opladning og andet forbrug vil det være en ny opgave for dem. Herudover skal datahubben kunne håndtere opdelingen, hvis den skal stå for at formidle/udstille de nye data vedr. opdelt forbrug. Det kræver en ny attribut til måleren.³⁰

Hvis forbruget på ladestanderne skilles ud, kan det skabe værdi på flere måder:

1. Optimeret planlægning af udbud efter ladekapacitet hos kommunerne
2. Bedre kundeservice (fx give kunderne mulighed for selv at vælge elleverandør)
3. Optimeret drift af ladestanderne
4. Potentielt bidrage til forbrugsfleksibilitet via styring af laderne

10.6 Tiltag primært til gavn for myndigheder

For myndighederne kan digitaliseringen skabe transparens, og derved være et fundament for øget indsigt i netvirksomhederne.

Denne indsigt kan bl.a. gøre Energistyrelsen og Forsyningstilsynet i stand til at foreslå forbedringer til reguleringen, evaluere reguleringen eller føre et bedre tilsyn. Det gør sig særligt gældende, hvis data er opgjort på en ensartet måde på tværs af selskaberne.

Kommuner kan også få glæde af digitalisering i netvirksomhederne, fx i forbindelse med udbud efter ladestationer, jf. afsnit 10.5.

10.7 Konklusion på værdiskabelsen

Som beskrevet i de ovenstående afsnit vil den primære værdiskabelse ved digitalisering i netvirksomhederne ske internt i netvirksomheden. Det er her de store perspektiver og potentialer er. Hvorvidt konkrete digitaliseringstiltag i konkrete netvirksomheder er værdiskabende, afhænger dog af business casen. Man kan derfor ikke sige, at specifikke digitaliseringstiltag altid vil være værdiskabende for alle netvirksomheder.

De digitaliseringsprojekter, som netvirksomhederne investerer i for deres egen skyld, kan også i nogle tilfælde skabe data, som kan have værdi for andre aktører. Konkret kan det skabe værdi, hvis Energinet får adgang til mere detaljerede data om bl.a. netvirksomhedernes nettopologi, data om geografisk placering af ladestander og leverandører af systemydelse samt forbrug på de enkelte transformere på distributionsniveau. Det vil gøre Energinet i stand til at tage bedre højde for de lokale forhold, når de lægger planer for udbygning og drift af transmissionsnettet, herunder aktivering af leverandører af systemydelser. Det vil også kunne komme netvirksomhederne til gode.

Der er herudover et potentiale af uvis størrelse hos andre aktører for at data fra netvirksomhederne kan understøtte bedre planlægning af placeringen af solceller, vindmøller, batterier, PtX-anlæg, lade-infrastruktur mv., ligesom der er et potentiale af uvis størrelse for forbrugere og andre aktører i forbindelse med levering af fleksibilitetsydelser, hvis dette efterspørges af netvirksomhederne.

Hvilke fleksibilitetsydelser der evt. bør efterspørges og understøttes af digitale løsninger hos netvirksomhederne afhænger af, om de konkrete løsninger kan betale sig samfundsøkonomisk. Det må derfor afgøres af en samfundsøko-

³⁰ Herudover peger branchen på, at målingen af forbrug på ladestanderne kan effektiviseres, hvis netvirksomhederne tillader ladestanderoperatørerne at måle forbrug og sende det til datahubben. Derved undgås dobbelt-målere (netselskabsmåler + måler til ladestanderoperatøren) eller at målinger ikke udføres. Det kræver naturligvis, at ladestanderoperatøren lever op til kravene og at data kvalitetssikres af netvirksomheden. Dette er dog ikke et digitaliseringstiltag.

nomisk business case som afvejer værdien af de reducerede eller udskudte investeringer i udbygning eller forstærkning af nettet overfor de samlede omkostninger for alle aktører ved investering i - og efterfølgende drift af - de løsninger, som skal implementeres for at realisere fleksibilitetspotentialet.

Derudover er der et tidsmæssigt aspekt i om det kan betale sig samfundsøkonomisk at implementere fleksibilitetsydelser. Hvis det tager for lang tid at implementere tilstrækkelig med fleksibilitetsydelser, må man i mellemtiden udbygge og forstærke nettet for at imødekomme behovet. Men når nettet så er udbygget og forstærket, vil der være meget mindre behov for fleksibilitetsydelser efterfølgende, hvilket reducerer den samfundsøkonomiske nytte af disse.

En del af fleksibilitetspotentialet kan formentlig høstes uden investeringer i yderligere digitaliseringstiltag, men kræver alene en administrativ forandring. Det kan fx være afbrydelighedskontrakter med udvalgte store elforbrugere. Skal værdien af afbrydelighedskontrakterne optimeres, vil der dog være behov for at etablere et datagrundlag for dette. For at kunne beregne en optimal pris på afbrydelighedskontrakt (eller en omkostningsægte fleksibel tarif) skal netvirksomhederne ikke bare have detaljeret overblik over det fremadrettede behov for investeringer og reinvesteringer i netkomponenter på hver enkelt radial, og over hvad det vil koste at gennemføre planerne, de skal også have overblik over de medfølgende driftsomkostninger og trade-offs mellem investeringer og driftsomkostninger, når kapacitetsbehovet ændrer sig som følge af forøget forbrugsfleksibilitet.

11. Teknologier til digitalisering af eldistributionsnettet

Ud fra de danske og internationale projekter er der lavet en overordnet kategorisering af forskellige typer af digitaliseringsteknologier, som kan implementeres med det formål at øge effektiviteten eller optimere udnyttelsen af kapaciteten af distributionsnettet. I afsnittet gennemgås kort de tekniske muligheder, udfordringer mht. hardware, software og protokoller. I afsnit 12 gennemgås en række danske og internationale projekter, der bl.a. anvender disse digitale teknologier.

11.1 Internet of things applikationer

Tingenes internet, eller IoT, er et system af indbyrdes forbundne computerenheder, mekaniske og digitale maskiner, objekter, dyr eller mennesker, der er forsynet med unikke identifikatorer (UID'er) og har evnen til at overføre data over et netværk uden at kræve menneske-til-menneske eller menneske-til-computer interaktion. Internet of Things gør det specielt muligt at operere i decentrale smarte net. Et smart net kan være et lokalt netværk, hvor det er muligt at sende og indsamle højopløselige data. Det gør det muligt at øge kompleksiteten i elnettet og at matche elforbrug og produktion lokalt. F.eks. gennem tovejskommunikation såsom peer-to-peer løsninger eller envejskommunikation, hvor der eksempelvis sendes et prissignal for at aktivere en fleksibilitet hos en forbruger eller en producent.

11.1.1 Tekniske krav

Hardware:

- Smarte målere med højopløselige måledata og sensorer.
- Anvender sensorer, som er installeret i mange forskellige enheder.
- Supercomputere, edge computing, hvor beregningerne sker i enheden eller "cloud teknologi", hvor beregningerne sker i skyen.
- Andre digitale teknologier såsom IoT løsninger, der tilføjer automatiseret kontrol til elsystemet for at øge fleksibiliteten og styre flere energikilder, der strømmer til nettet fra lokale energiressourcer.

Software:

- Dataindsamling, databehandling, databearbejdning, test.
- Optimeringsværktøjer.
- Software til versionskontrol, datalagring og data kvalitetsvurdering.

Protokoller

- Baserer sig på fælles interoperable standarder på såvel fysisk som på informations- og kommunikationsteknologi niveau.
- Mange forskellige teknologier er involveret som i princippet hver kan have deres protokol er det vigtigt at der defineres og udvikles fælles cyber sikkerheds protokoller.

11.2 Kunstig intelligens, digitale tvillinger og big data værktøjer

Intelligente værktøjer kan hjælpe med at administrere komplekse systemer, hvor beslutninger tages af maskiner og ikke mennesker, fx fordi det kræver stort overblik og komplekse analyser og/eller skal gå hurtigere end mennesker kan klare. Kunstig intelligens er maskiner, der er i stand til at overveje, lære og tage beslutninger på samme niveau som et menneske.

En digital tvilling er en virtuel repræsentation, der fungerer som det digitale modstykke i realtid til et fysisk objekt eller en proces. Samkøring af forskellige dataset kan også ske udelukkende i en digital tvilling dvs. at der ikke nødvendigvis er en sammenkobling i den fysiske verden. Resultatet af samkøring af forskellige datasæt i den digitale tvilling kan så overføres til det fysiske system.

Big data er et begreb inden for datalogi, der bredt dækker over indsamling, opbevaring, analyse, processering og fortolkning af store mængder af data. Disse værktøjer er baseret på hyppig dataindsamling, samt data fra mange kilder. Målet er at skabe værdi ud fra viden, der kan findes i de nye data og som ikke umiddelbart kan aflæses uden brug af de avanceret big data værktøjer. Løsningerne baseret på kunstig intelligens skal primært understøtte beslutningsprocessen. Big data værktøjer er nødvendige som input til løsninger, der er baseret på kunstig intelligens.

11.2.1 Tekniske krav

Hardware:

- Smarte net og smarte målere til at indsamle store mængder af høj kvalitets, granulære data.

Software:

- Software, der er specifik udviklet til brug med kunstig intelligens-teknologien.
- Cloud platform (hvis data ikke er lagret lokalt).
- Store mængder granulære data til at træne modeller.
- Data-drevne digitale tvillinger

Protokoller:

- Algoritmer og løbende forbedrede modeller, selvfølgelig med henblik på anvendelse i elsektoren.

11.3 Dataplatform (dataspaces)

En dataplatform er en centraliseret løsning til at indsamle, behandle, analysere og præsentere data, som er indsamlet via digitalt hardware såsom sensorer og smarte målere. Det er altså en centralisering af primært historiske data. Det drejer sig bl.a. om at der skal være tilstrækkelig hardware til rådighed, men i største grad om at både hardware og software løsninger kan integreres. Der findes mange forskellige protokoller, hvilket betyder, at det er vigtigt med en stor koordinering mellem netvirksomheder og Energinet, samt øvrige spillere i forhold til energi og forsyning. Med andre ord, en "fælles" platform er vigtig for at systemerne kan tale sammen. Datahubben hos Energinet som indsamling af produktions- og forbrugsdata, som kan bruges bl.a. til afregninger, er et godt eksempel på en dataplatform, der er udviklet til få specifikke opgaver. Et andet eksempel på en dataplatform er Center Danmark, som via en central data lake indsamler og samkører data fra forskellige datakilder som fx fjernvarme og eldata fra DataHub'en.

Hvor en dataplatform er en centralisering af data, så er et "data space" et struktureret dataøkosystem, der understøtter effektiv datatilgængelighed, -udveksling og -anvendelse på tværs af værdikæder, sektorer og landegrænser. Det er en sikkerhed for at data, produkter, systemer og forretningsprocesser hænger sammen på tværs via en konsolideret governance og styring, som sætter rammer og standarder. Derfor er fælles standarder og kommunikationsprotokoller meget vigtige ingredienser for at kunne understøtte dataudveksling – i princippet understøtte dataudveksling i realtid, hvorfor et distribueret setup er nødvendigt fremfor en centralisering af data. Dette kræver en it-arkitektur, der muliggør hurtig og sikker datahentning fra de forskellige decentrale datakilder. En it-arkitektur er en organisations samlede anvendelse af it (eller it-infrastrukturen). It-arkitekturen skal binde eksisterende it-løsninger sammen i en ny helhed, så de understøtter organisationen og dens forretningsmæssige behov.

Data på tværs af energisystemer i samme data økosystem (data space) er nødvendig, for mange løsninger har til formål fx at udnytte fleksibilitetspotentialet i varmepumper via sektorkobling mellem el og fjernvarme. Hvis dette potentielle skal realiseres, vil det kræve en adgang til et mix af centrale og decentrale datakilder gennem et data spaces, der inkluderer data fra el og fjernvarmesektoren, som kan bruges på nye markeder til at understøtte sektorkobling og fleksibilitet. Et sådant data space giver mulighed for et data økosystem, dvs. sammenhængende data fra mange forskellige kilder, men naturligvis data med tilknytning til energi og forsyning. Det er også vigtigt, at governance strukturen omkring disse data spaces er opbygget med fokus på samarbejde, partnerskaber, åbne løsninger, brugerinddragelse, digital tillid, overholde relevant lovgivning herunder GDPR, datasikkerhed og cyber sikkerhed generelt.

11.3.1 Tekniske krav

Hardware:

- Installering af smarte målere, IoT-enheder, og styringsenheder mm., der muliggør hurtig dataindsamling og avanceret dataudveksling.
- Stor båndbredde, både internt i netvirksomhedernes eget fibernet og eksternt på mobile net eller faste fibernet.

Software:

- IT-systemer, der muliggør dataindsamling og udveksling i realtid eller tæt på realtid mellem forskellige interessenter.
- Kommunikationssystemer, der muliggør signaler for frekvens-/spænding tjenester mellem systemoperatører og individuelle produktionsenheder eller via aggregatorer.
Beskyttelses- og cyber sikkerhedssystemer, der sikrer håndtering af data i henhold til loven og beskytte it-systemer mod eksterne angreb.

Protokoller:

- Fælles interoperable standarder (på fysisk, informations- og kommunikationsteknologi niveau) for at muliggøre koordinering mellem netvirksomheder og Energinet samt interaktion med ejere af produktionsenheder, samt kobling til andre energisystemer såsom fjernvarme. I visse tilfælde er envejskommunikation (såsom et prissignal til brugere) både simple, mere robust og sikkerhedsmæssigt bedre.
Cyber sikkerhedsprotokoller.

12. Danske og internationale erfaringer med digitale teknologier og digitalisering

12.1 Introduktion

Dette afsnit indeholder en gennemgang af udvalgt dansk og international litteratur om store væsentlige digitaliseringsprojekter i elsektoren. Der er typisk tale om forskningsprojekter, da de avancerede softwareløsninger stadig er i udvikling. I nogle tilfælde er løsninger gået fra at være testet i forskningsprojekter til at blive testet af netvirksomheder. Det kan være vanskeligt at vurdere, om konkrete projekter er gået fra udviklingsfase til anvendelse, da der kan være tale om en flydende overgang.

Projekterne fokuserer på at optimere driften af hele elsystemet gennem digitalisering og dataudveksling bl.a. mellem netvirksomheder og TSO'er (i Danmark Energinet). Dvs. projekterne forsøgte at opnå reduktion af kapacitetsbehov i transmissions- og distributionsnettet samt udnyttelse af produktionskapacitet for vedvarende energi. Herudover fokuserer nogle af projekterne også på digitale løsninger hos husholdninger, virksomheder og andre aktører.

De fleste af projekterne er meget store og omfatter mange partnere og foreslår flere praktiske og digitale løsninger primært til at indfri fleksibilitetspotentialer på forskellig vis og i forskellig kontekst. Projekterne tester forskellige tilgange og løsninger på tværs af energisektoren. Ingen af projekterne er på et modenhedsniveau, hvor man kan pege på løsningerne som endelige færdige løsninger. De er snarere enkelte udvalgte brikker i et samlet puslespil.

Aktørerne i elsystemet i andre lande har ikke altid præcis samme rolle som i Danmark, hvor eldistribution og detailhandel med el er adskilt. Derfor er det ikke alle konklusioner fra projekterne, som er relevante i Danmark. Mange forskningsprojekter stopper også med at rapportere når en løsning går fra at være forskning til at være en generel anvendelse. Derfor har det ikke været muligt at uddrage konklusioner fra alle projekterne. Desværre har ingen af projekterne af rapporteret om deres værdiskabelse. Det er derfor ikke muligt at pege på, hvilke konkrete digitale løsninger – eller dele af løsninger – der er værdiskabende i en dansk kontekst.

De fleste af projekterne har af rapporteret beskrivelser af løsninger og udfordringer i en lang række videnskabelige publikationer. At gå dybt ind i de enkelte digitale løsninger ligger uden for rammerne af denne rapport, hvorfor der henvises til projekternes hjemmesider, hvor publikationerne kan findes. Nedenfor er en kort gennemgang af projekterne med henvisning til yderligere materiale.

12.2 CoordiNet³¹

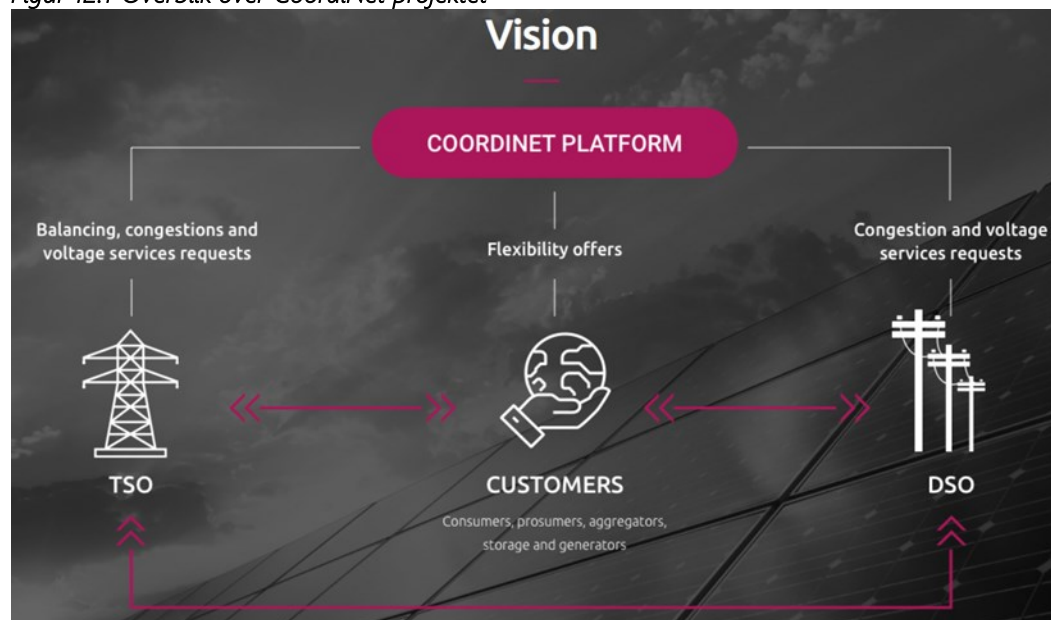
CoordiNet har til formål at demonstrere, hvordan DSO'er og TSO'er ved at agere koordineret kan give gunstige samarbejdsvilkår for alle aktører og samtidig fjerne barrierer for deltagelse på fleksibilitetsmarkedet for kunder og mindre markedsaktører, der er tilsluttet distributionsnet. CoordiNet vil også udvikle nye mekanismer, som er mere velegnede til realtidsoperationer, for at definere krav til udvikling af europæiske standardplatforme. Disse krav skal udnyttes uden for dette projekts rammer. Resultaterne vil hjælpe med at designe skalerbare værktøjer og metoder til netoperatører og tredjeparter til sikkert at forbinde, administrere og koordinere fleksibilitetsudbydere.

Ved at opsætte en række standardiserede produkter til netjenester på EU-niveau vil CoordiNet definere og detaljere mekanismer for levering af de nødvendige netjenester på distributions- og transmissionsniveau. Disse vil omfatte (hvis relevant) reservations-, aktiverings- og afviklingsprocessen. De foreslåede CoordiNet-mekanismer vil blive testet ved tre storstilede demonstrationsprojekter på tværs af 10 forskellige lokationer i Spanien, Sverige og Grækenland. De

³¹ <https://coordinet-project.eu/projects/coordinet>

vil anvende forskellige koordinationsordninger og teste det komplette sæt af produkter til netjenester, der er defineret i projektet. Erfaringer fra disse store felt demonstrationsprojekter vil blive brugt til at designe strukturen af en fælles paneuropæisk koordinationsplatform.

Figur 12.1 Overblik over CoordiNet projektet



Der køres tre pilotstudier, og et af disse er sammen med EON i Sverige. Kapacitetsoverskridelser opgøres i Sverige på månedsniveau og overskridelser af aftalte kapacitetsgrænser forskellige steder i elnettet kan lede til store ekstraomkostninger. I projektet har de udviklet løsninger til at reducere disse ved hjælp af såkaldte koordineringsskemaer, som beskriver hvorledes de forskellige aktører (TSO, DSO, BRP, mv.) kommunikerer med hinanden. Disse koordinationskemaer kobles sammen med markeds løsninger gennem en løsning af store optimeringsproblemer.

12.3 Collaborative procurement of flexibility services by DSO and TSO

Projektet om Collaborative procurement of flexibility services by DSO and TSO er beskrevet i Utrilla et al. (2020). Projektet inkluderer spanske demonstrationsprojekter, hvor REE (TSO) og de to største DSO'er, det vil sige e-distribution og i-DE deltager, samt IIT Comillas og TecNALIA sammen med flere europæiske partnere. Projektet indeholder udviklingen af en platform for driften, som omfatter forskellige moduler, hvoraf nogle er helt nye og andre kræver modificering af eksisterende moduler, til (i) at øge net-overvågningen og identificere behovene for fleksibilitet, (ii) markedsdriftmodulen, som matcher fleksibilitetsbehovene fra DSO'er og TSO'er med tilbudt fleksibilitet sendt af udbydere af disse tjenester og (iii) aggregerings- og opdelings modulerne, som estimerer den tilgængelige fleksibilitet og vælger den bedste strategi til at levere systemtjenester.

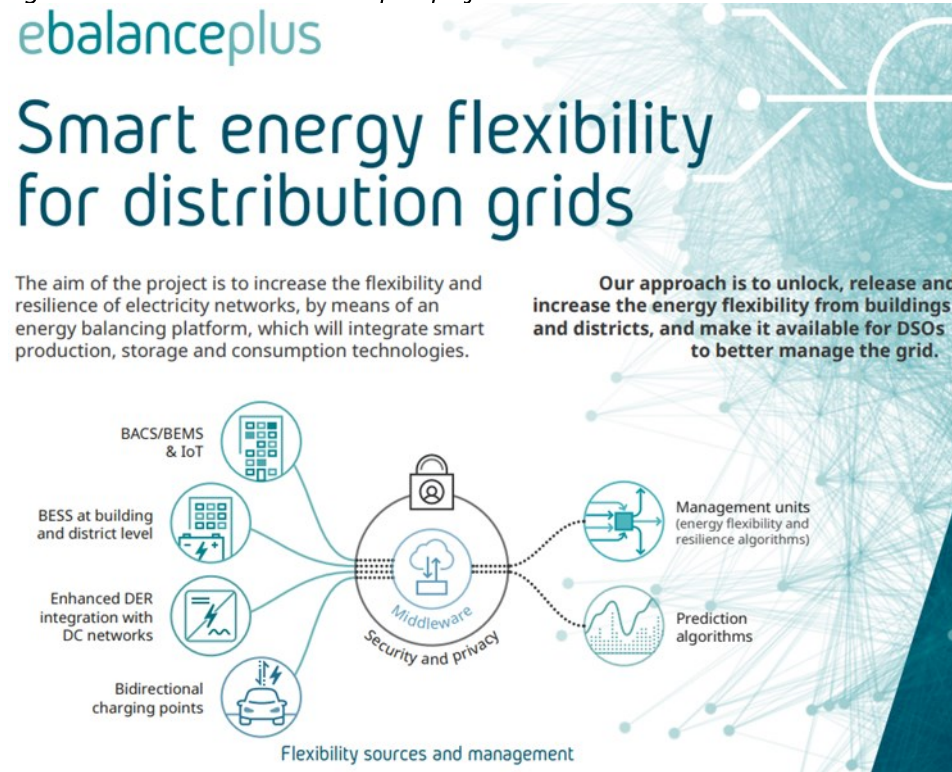
12.4 eBalance-plus³²

I EU projektet eBalance-plus udvikles digitale smart grid løsninger med henblik på at bruge fleksibiliteten til at håndtere nogle flaskehalse og sikre at kapaciteten i produktionsanlæg udnyttes bedre via lagring i batterier. Der er fokus på metoder til at observere og måle tilstandene i distributionsnettet. I projektet deltager såvel TSO'er, aggregatorer, balanceansvarlige, elproducenter og operatører af bygninger - herunder sommerhuse i Danmark. I flere tilfælde anvendes hierarkiske prisbaserede løsninger, og der er udviklet løsninger til forudsigelse af elhandelspriserne på intraday markederne. De hierarkiske prisbaserede løsninger består typisk af en række kontrolproblemer, som hver for sig

³² <https://www.ebalanceplus.eu/project/>

løser et problem i nettet. Dette kan eksempelvis være et flaskehalsproblem ved en transformator, som typisk er underlagt begrænsninger for at olien i transformatoren ikke bliver for varm. Tilsvarende prisbaserede løsninger anvendes til optimal udnyttelse af batterisystemer i nettet. Projektet er en del af EU's BRIDGE projekterne som i fællesskab skal bane vej for fremtidens digitale smart grid løsninger, og koordinering mellem operatører (netvirksomheder og TSO) samt balanceansvarlige og aggregatorer.

Figur 12.2 Overblik over eBalance-plus projektet



12.5 SINTEG – Smart Energy Showcases ³³

SINTEG-programmet i Tyskland fokuserer på tre områder:

1. Netstyring: Brug af data til at forbedre netdriften
2. Marked: Forbedring af intradag-markederne for at muliggøre indkøb af fleksibilitetstjenester fra elproducenter til at styre distributionsnettene
3. Data: Opbygning af sikre informations- og kommunikationssystemer til at indsamle og analysere data.

Som en del af dette projekt har EWE AG og elmarkedsoperatøren EPEX SPOT skabt en lokal markedsplatform for systemoperatører til at indkøbe fleksibilitetstjenester (IRENA 2020a).

Et af elementerne i SINTEG programmet var DESIGNETZ³⁴ projektet. Denne showcase har en del forskellige løsningsstrategier, som omhandler områderne energimarked/handel, intelligent netdrift samt it-løsninger. Der udvikles bl.a. en virtuel laboratoriearbejdsplads, kaldet System-Cockpit, som ekstrapolerer og simulerer potentialet ved fleksibilitet i 2035. DESIGNETZ arbejder også med spørgsmålet om, hvordan dataudveksling kan gøres muligt når databeskyttelsen

³³ <https://www.sinteg.de/en/>

³⁴ <https://designetz.de/>

samtidig skal sikres. For at kunne drive et sådant sammenhængende energisystem på lokalt, regionalt og overregionalt niveau, både drifts- og markedsmæssigt, kræves en stor grad af digitale løsninger fra individuelle netniveauer til prosumer niveau.

Figur 12.3 Overblik over DESIGNETZ projektet

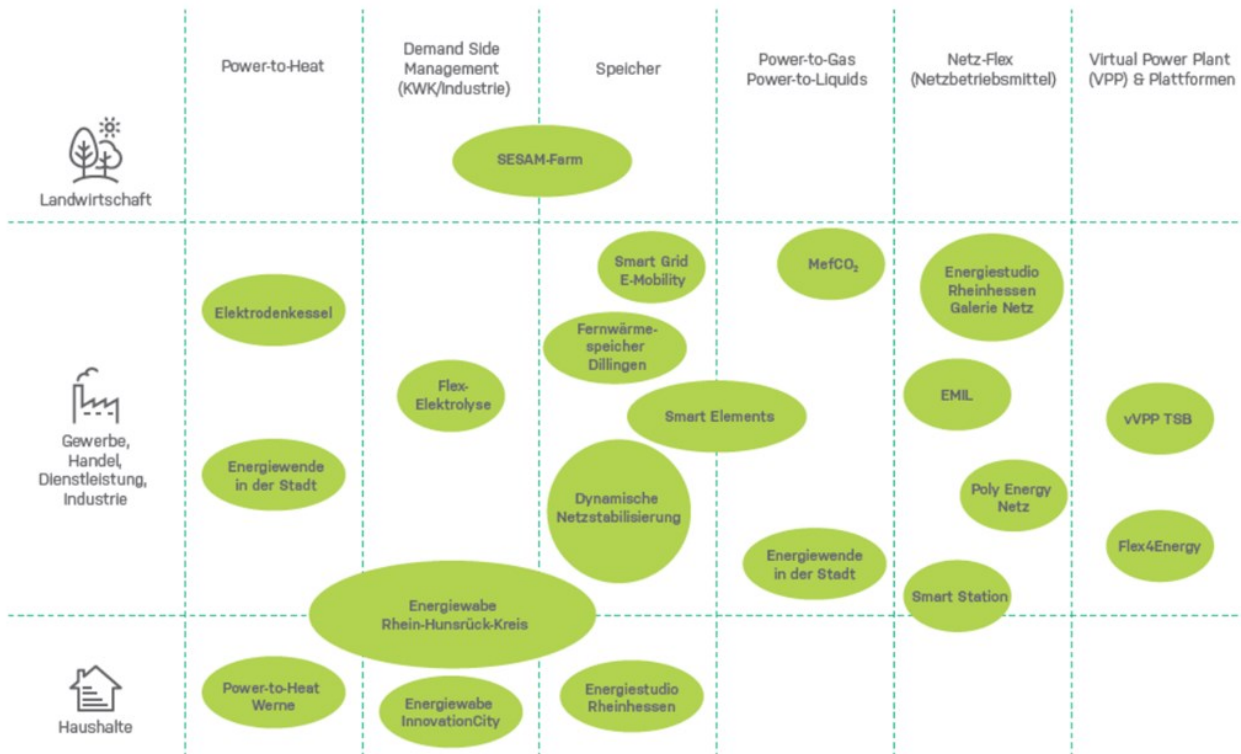


Abbildung 1: Verteilung der Flexibilitätsanbieter (Teilprojekte) im Projekt DESIGNETZ

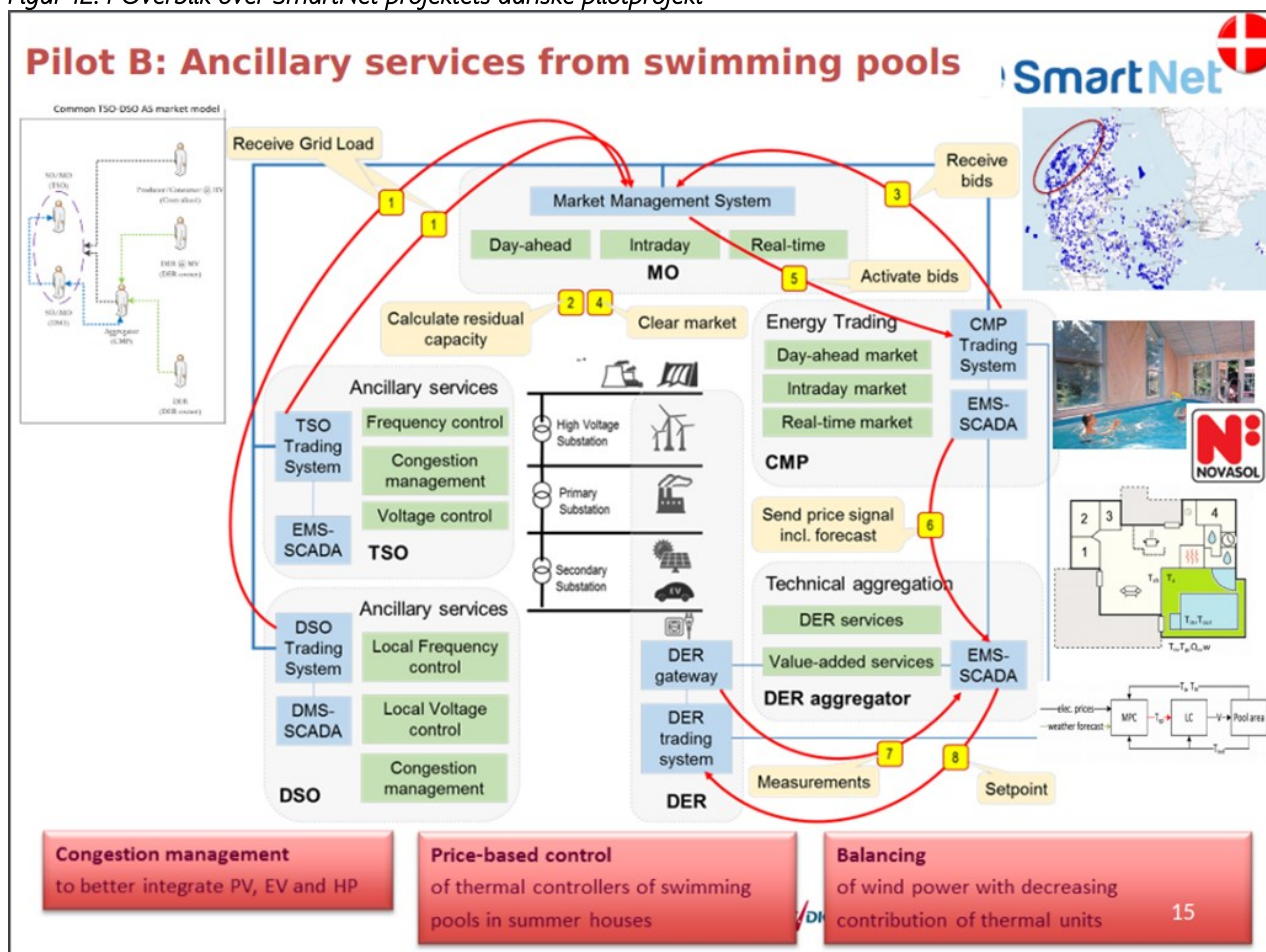
12.6 SmartNet projektet³⁵

I EU SmartNet-projektet i Danmark er der udviklet cloud-baserede løsninger, der udnytter data i realtid fra smarte målere til Energinet, netvirksomheder og aggregatorer. Løsningerne gør det muligt for systemoperatører at overvåge og kontrollere forbruget og lette balancering og håndtering af overbelastning gennem prisbaseret styring (IRENA, 2020a), (G. De Zotti et.al., 2018).

I projektet blev der bl.a. set på styring af varmepumper til opvarmning af pools i sommerhuse. Man kan udnytte fleksibilitet i varmepumper til at styre forbruget så det primært foregår på tidspunkter, hvor både CO₂-emissionen og omkostningerne ved elforbruget reduceres. Varmepumpen kan også levere smart grid løsninger eksempelvis til styring af belastningen i distributionsnet og transformere (C. Madina, et.al, 2019).

³⁵ <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-energy/grids/smartnet>

Figur 12.4 Overblik over SmartNet projektets danske pilotprojekt



I projektet, hvor bla. Energinet, DSO'er, balanceansvarlige, og DTU deltager, er der udviklet et operativsystem for fremtidens smart grid. Dette er et koncept baseret på styringsmetoder, som er arrangeret i et hierarki – "hierarkiske pris-baserede kontrolmetoder" fra (Madsen, et al., 2015) som anvendes til implementering af flere typer af styring, spændingskontrol, flaskehalsstyring, temperaturkontrol i transformatorer, mv. samt styring af netbelastning og reduktion af CO₂-aftrykket. Tilsvarende metoder anvendes i eBalance-plus projektet (EU BRIDGE projekt) til styring af batterisystemer mv.

12.7 Center for IT Intelligent Energy Systems (CITIES)³⁶

CITIES projektet er dansk og finansieret af Innovationsfonden. I CITIES projektet (CITIES, 2020) er der udviklet digitale løsninger til smarte og koblede energisystemer, eksempelvis sektorkobling mellem el- og fjernvarmesystemer. Sektorkobling er nøglen til at opnå stor fleksibilitet eksempelvis gennem lagring af store energimængder i sæsonlagre.

I CITIES er der udviklet data-drevne digitale løsninger og data spaces for kobling mellem energi- og forsyningsystemer på alle relevante aggregeringsniveauer. I projektet har der været fokus på digitaliseringsløsninger (i.e. data, modellering, forecasting, control, optimering, IoT) som vil kunne bringe fleksibilitet i spil med henblik på en effektiv integration af store mængder af fluktuerende vedvarende energi i energisystemet. Der er bl.a. udviklet forslag til, hvorle-

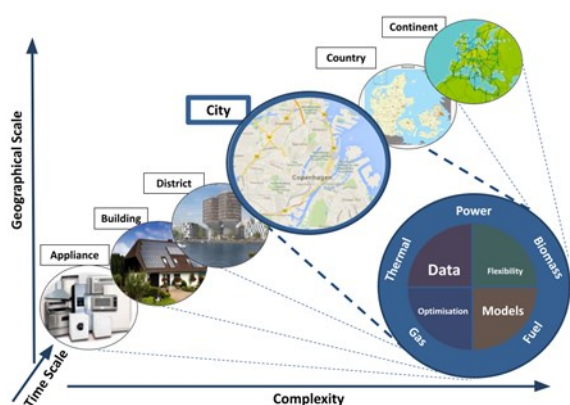
³⁶ <https://smart-cities-centre.org/>

des de digitale løsninger kan omsættes til smart styring og forecasting for netvirksomheder, samt hvorledes de digitale løsninger kan danne baggrund for dynamiske tariffer, som er tilpasset de aktuelle tilstande og udfordringer i nettet.

I projektet er der udviklet metoder til beskrivelse af fleksibilitet og metoder, som kan anvendes til en digital sammenkobling mellem klassiske elmarkeder og de fysiske enheder, som kan levere fleksibilitet i energi- og forsyningssektoren til brug for en effektiv transformation af energisystemet

Eksempelvis er det påvist, at med udnyttelsen af den fleksibilitet de digitale løsninger kan give anledning til, kan der i gennemsnit spares op til 50 % af CO₂-emissionen fra rensningsanlægget målt over en periode (Stentoft, 2021). I (Juncker et. al, 2021) er det i et tæt samarbejde med Grundfos påvist, hvorledes vandtårne og drikkevandsforsyningen kan levere fleksibilitet til elnettet.

Figur 12.5 Geografisk og tidlig tilgang til data på alle aggregationsniveauer fra energi- og forsyningssektorer i 'data spaces' hos Center Danmark



Kilde: DTU.

CITIES projektet gav anledning til ca. 30 forskellige såkaldte demoprojekter i tilknytning til energi og forsyning, og mange af disse demoprojekter undersøgte fleksibilitetspotentialet gennem en anvendelse af digitale løsninger. Mange af disse digitale løsninger indgår, sammen med yderligere løsninger fra FED (Flexible Energy Denmark) projektet, i det spektrum af løsninger som er implementeret hos Center Danmark, som er det nye nationale 'data space' og digitaliseringshub for smarte energisystemer.

12.8 Flexible Energy Denmark (FED)³⁷

FED projektet er dansk og finansieret af Innovationsfonden. FED er et digitaliseringsprojekt, der handler om at gøre det danske elforbrug fleksibelt, så det bliver muligt at udnytte overskudsstrøm fra vindmøller og solceller. Et af de primære formål er at opbygge og teste en national dataplatform (data space) for energi og forsyning, som muliggør udveksling af data i realtid.

I projektet testes en række tekniske og digitale løsninger til fleksibilitet endvidere i såkaldte Living Labs, for at undersøge om – og hvordan - de fungerer i praksis under realistiske forhold, fx på skoler, rensningsanlæg, fjernvarmesystemer mv. Et eksempel på en udfordring, som er identificeret i FED projektet, er, at miljøet på skoler er meget hårdt ved

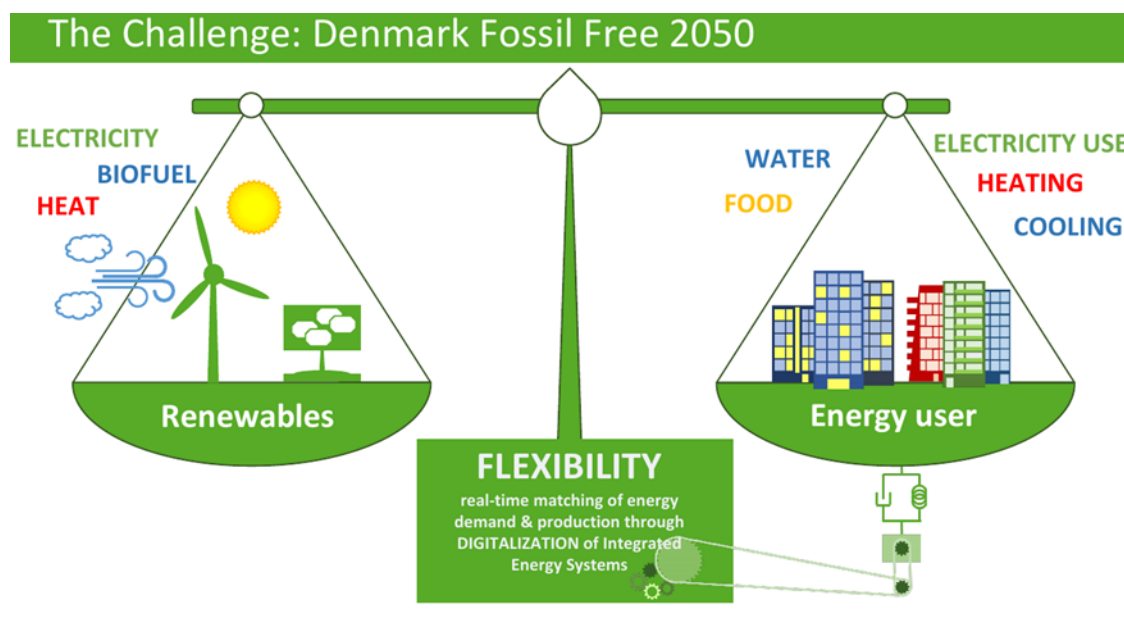
³⁷ <https://www.flexibleenergydenmark.dk/>

IoT enheder som termostater og indeklimate-sensorer, hvor eleverne kommer til at ødelægge dem. Det forsøger man at finde løsninger på.

Udgangspunktet for projektet er forventningen om, at den fluktuerende elproduktion i fremtiden kræver, at fleksibiliteten skal i spil på alle niveauer, eksempelvis også for aktører i distributionsnettet. Dette kræver digitalisering. Eksempelvis kræver det ny software at estimere sammenhængen mellem prissignaler og spænding i et distributionsnet og det kræver samtidig adgang til state-of-the-art forecasts af belastning af nettet og lokal VE produktion. Automatisk styring af forbruget i realtid fordrer passende data spaces med data i realtid.

Datalagringen sker på tværs af forsyningsarter i en såkaldt data lake. Dataplatformen opbygges som en del af FED projektet hos Center Danmark. Et af de grundlæggende principper er, at data skal være tilgængelig på alle relevante aggregeringsniveauer, og her tænkes på såvel temporal og spatial (tid og sted) aggregering. I FED projektet er der stor fokus på digitalisering af distributionsnettet forskellige steder i Danmark.

Figur 12.6 *Fleksibilitet baseret på digitalisering og sektorkobling som motor for den grønne omstilling*



Kilde: DTU.

12.9 Øvrige danske og internationale projekter og analyser

Der findes en lang række analyser, som underbygger behovet for fleksibilitet, herunder forbrugsfleksibilitet og sektorkobling og der er på den baggrund igangsat projekter og analyser både i EU, USA og i andre lande.

EU har i høj grad fokus på digitalisering som middel til en acceleration af den grønne omstilling. Eksempelvis vil 'data spaces' og digitalisering være nogle af de vigtigste emner i den kommende 'Digitalisation of Energy Sector Action Plan', som forventes at blive lanceret sommer 2022. Dette initiativ er i forlængelse af EU's strategi fra 2020 'An EU Strategy for Energy Systems Integration'. Denne strategi lister de vigtigste tiltag for den grønne omstilling, og her nævnes integration af energisystemerne (sektorkobling), fleksibelt forbrug samt infrastrukturer på såvel nationalt (transmissions-) som lokalt (distributions-) niveau.

SmartEn Europe har for EU Kommissionen redegjort for status for forbrugsfleksibilitet i EU og understreger, at der flere steder er behov for en større fokus på dynamiske prissignaler, der kan understøtte udviklingen (se SmartEn Europe, 2020 & 2021).

I erkendelse af den store betydning slutbrugerne potentielt kan få i det kommende energisystem, er der også søsat en række nyere EU projekter med fokus på digitalisering hos slutbrugerne i energifællesskaber og micro-grids. Her kan nævnes FLEXCOOP og uGRID projekterne. Det samme gælder i høj grad nogle af de nyere EU Green Deal projekter, såsom ARV og syn.ikia. Disse projekter arbejder med data spaces på EU niveau som middel til digitalisering af energisystemerne. Eksempelvis vil der i ARV projektet bliver opbygget en fælles Europæisk cloud-baseret dataplatform (data space) for demonstrationsprojekter i seks lande. Denne EU cloud hub og 'data space' for smarte energisystemer bliver formodentlig placeret i Danmark.

I (Østergaard og Madsen, 2021) er der udtrykt behov for et egentligt digitalt styresystem for fremtidens smarte energisystem; et system, som via data og styring kan binde teknologier og sektorer sammen og effektivt flytte den vedvarende energi derhen, hvor der er brug for den, når der er brug for den. Det kræver signaler og styresystemer, som fungerer på tværs af energisystemer og på alle aggregationsniveauer. Artiklen understreger også, at et digitalt styresystem vil kunne udgøre grundlaget for at implementere dynamiske tariffer og energiafgifter for fremtidens smarte energisystem.

I USA er der også fokus på sektorkobling og integration af større andele af vedvarende energi, og at dette stiller store krav til el-, energi- og forsyningsinfrastruktur; herunder integration med vandforsyningen. Behovet for digitalisering og data spaces er bla beskrevet i NREL rapporten (O'Malley, et.a., 2016).

I takt med at de centrale værker forsvinder er det afgørende, at der også fremadrettet fokuseres på robuste, stabile og pålidelige energisystemer. Forskellige projekter arbejder med net-stabilitet og pålidelighed. DCbrain (Frankrig) arbejder på at muliggøre optimering af flow og forbrug, identifikation og forebyggelse af netværksanomalier og simulering af netværksudvikling. Fraunhofer Institute har udviklet en kunstig intelligens-algoritme, der kan logge og komprimere op til 4,3 millioner datasæt om dagen. Algoritmen kan behandle disse data og producere nøjagtige forudsigelser for netoperatører, opdage eventuelle netværksanomalier og handle på dem inden for 20-50 millisekunder. Grid Edge projektet (Storbritannien), leverer cloud-baserede software tjenester, der giver forbrugerne mulighed for at forudsige, optimere og kontrollere deres energiforbrug. Derudover leverer projektet Analytics for IoT (SAS) dataanalyse-løsninger, der bruger kunstig intelligens, maskinlæring og streaming-funktioner til at organisere og analysere store mængder data til netdrift og energisystemer. Som et konkret eksempel kan vi nævne systemer med indirekte / pris-baseret styring. Her er der behov for kunstig intelligens for at tilvejebringe en dynamisk sammenhæng mellem eksempelvis priser og elbelastningen – eller mellem priser og spændingsniveauer i nettet.

PSR og Kunumi arbejder med avancerede prognosesystem operationer (Brasilien). PSR og Kunumi integrerer AI og nye analytiske metoder til at levere prognoser og optimere energisystemer under usikkerhed, herunder drift, planlægning og handel. Hortonworks Dataflow (Hortonworks) bruger streaming af data fra virksomhedsdrift og aktiver til at udføre forudsigelses analyser og strømlining af dataflow. Kan bruges sammen med andre teknologier til at overvåge transmissionsledninger og smarte målere for at forudsige og forhindre fejl.

En anden type digitaliseringsprojekter vedrører dynamiske kabelvurderinger (DLR), hvor man måler på den termiske belastning af kablerne for at vurdere deres kapacitet. Der foregår bl.a. et projekt vedr. netforstærkning i Tyskland rettet mod at undgå overbelastning af nettet. I denne sammenhæng planlægges der at installere to rumligt adskilte energilagringenheder nord og syd for hvor hovednettet er overbelastet. Disse kan fungere som kilde og forbrug dermed også virke som en "virtuel" kraftledning i nødstilfælde (IRENA, 2020b, Tennet-, 2020). DLR er blevet implemente-

ret, fx i Belgien og i Frankrig. Den franske TSO (RTE) har gennemført pilotprojekter, herunder "Ampacité" og "Ampacité 2" (IRENA, 2020b). I modsætning til RTE anvendte Belgiens TSO (Elia) DLR på flere luftledninger for at øge sin importkapacitet, dvs. kunne drive ledningerne tættere på kapacitetsgrænsen. Tilsvarende DLR-lignende løsninger kan også bruges hos netvirksomheder, eksempelvis til overvågning/optimeret drift af transformatorstationer.

Bilag 1 - Referencer

- CITIES (Center for IT-Intelligent Energy Systems) (2020), <https://smart-cities-centre.org/>
- Colle, S., Micallef, P., Legg, A. and Horstead, A., 2019. Where does change start if the future is already decided?. Ernst & Young.
- CoordiNet, <https://coordinet-project.eu/projects/project>
- eBalance-plus, <https://www.ebalanceplus.eu/>
- Energinet. Roller og opgaver på elmarkedet. <https://energinet.dk/El/Elmarkedet/Roller-paa-elmarkedet>
- Energistyrelsen. 2020. Elnetselskabernes grænser. <https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/elnetgraenser.pdf>
- Energistyrelsen. 2021. Analyse af fremtidssikret eldistributionsnet
- Energistyrelsen. 2021a. Oversigt over elnetbevillingshavere. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Forsyning/oversigt_over_elnetbevillingshavere.pdf
- Flexible Energy Denmark (FED), <https://www.flexibleenergydenmark.dk/>
- IRENA. 2020a. Co-operation between transmission and distribution system operators. Innovation Landscape Brief. International Renewable Energy Agency.
- IRENA. 2020b. Virtual power lines. Innovation Landscape Brief. International Renewable Energy Agency.
- Junker, R. G., Kallesøe, C. S., Real, J. P., Howard, B., Lopes, R. A., & Madsen, H. 2020. Stochastic nonlinear modelling and application of price-based energy flexibility. *Applied Energy*, 275(1), 115096. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115096>
- Madina, Carlos, Joseba Jimeno, Luca Ortolano, Margherita Palleschi, Razgar Ebrahimi, Henrik Madsen, Miguel Pardo, Cristina Corchero, and Gianluigi Migliavacca. 2019. "Technologies and Protocols: The Experience of the Three Smart-Net Pilots." Edited by Gianluigi Migliavacca. *TSO-DSO Interactions and Ancillary Services in Electricity Transmission and Distribution Networks*, 141–83. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29203-4_6.
- Madsen, H., Parvizi, J., Halvgaard, R. F., Sokoler, L. E., Jørgensen, J. B., Hansen, L. H., & Hilger, K. B. 2015. Control of Electricity Loads in Future Electric Energy Systems. In A. J. Conejo, E. Dahlquist, & J. Yan (Eds.), *Handbook of Clean Energy Systems: Intelligent Energy Systems (Vol. 4)*. Wiley.
- NIRAS. 2019. Analyse af geodata til fremtidens elsektor. Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering
- O'Malley, M., Kroposki, B., Hannegan, B., Madsen, H., Andersson, M., D'haeseleer, W., Rinker, M. 2016. Energy Systems Integration: Defining and Describing the Value Proposition. International Institute for Energy Systems Integration. <https://doi.org/10.2172/1257674>
- SINTEG, <https://www.sinteg.de/en/>
- SmartNet, <http://smartnet-project.eu/>
- SmartEn Europe. 2021. EU Market Monitor for Demand Side Flexibility

https://smarten.eu/wp-content/uploads/2021/03/EU_Market_Monitor_2020_1-32.pdf

SmartEn Europe 2020. The Implementation of the Electricity Market Design to Drive Demand-Side Flexibility

https://smarten.eu/wp-content/uploads/2020/11/FINAL_smartEn-EMD-implementation-monitoring-report.pdf

Stentoft, P. A., Munk-Nielsen, T., Møller, J. K., Madsen, H., Valverde-Pérez, B., Mikkelsen, P. S., & Vezzano, L. 2021. Prioritize effluent quality, operational costs or global warming? – Using predictive control of wastewater aeration for flexible management of objectives in WRRFs. *Water Research*, 196, 116960. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116960>

Sæhl, M, 2022: Vi skal være fri af russisk gas, men store dele af Danmarks elnet er for gammelt til grøn strøm

<https://www.dr.dk/nyheder/viden/klima/vi-skal-vaere-fri-af-russisk-gas-men-store-dele-af-danmarks-elnet-er-gammelt-til> (Downloaded March 14, 2022).

Utrilla, F.D.M., Davi-Arderius, D., Martínez, A.G., Chaves-Ávila, J.P. and Arriola, I.G. 2020. September. Large-scale demonstration of TSO–DSO coordination: The CoordiNet Spanish approach. In *CIREN 2020 Berlin Workshop (CIREN 2020)* (Vol. 2020, pp. 724-727). IET.

De Zotti, G., Pourmousavi, S. A., Madsen, H., & Poulsen, N. K. 2018. Ancillary Services 4.0: A Top-To-Bottom Control-Based Approach for Solving Ancillary Services Problems in Smart Grids. *IEEE Access*, 6, 11694–11706. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2805330>

Østergaard, J. , Madsen. H. 2021: Digitalt styresystem skal understøtte fremtidens vedvarende ergi. <https://www.altin-get.dk/forsyning/artikel/professorer-digitalt-styresystem-skal-understoette-fremtidens-vedvarende-energi>