



Interreg
Deutschland - Danmark



carpeDIEM

Intelligent energistyring
for mikrogrids

AFSLUTTENDE RAPPORT 2019

carpeDIEM
Afsluttende Rapport September 2019

Forfattere
Projekt Partnere

Billeder/diagrammer
carpeDIEM
and Colourbox hvor det står

Tryk
SDU Print & Sign

University of Southern Denmark
Mads Clausen Institute
Alsion 2
6400 Sønderborg
Denmark

www.project-carpeDIEM.eu



Interreg
Deutschland - Danmark



Indholdsfortegnelse

Editorial	2
Projekt Fakta	
Introduktion	4
Resumé	5
Case studier, data indsamling og simuleringer	
Vores casestudier	7
Dataindsamling	8
Selfvforsyning gennem integration og intelligent kontrol af energilagre	9
Lokal optimeret energistyring	
Simuleringer	12
Nøgleresultater	15
DIEM systemet	
Opbygning	16
DIEM, intelligente ladeinfrastrukturer	19
Partnere af carpeDIEM	21
Publikationer	22
Vores netværkspartnere	24

Editorial

"Hvordan kan vi motivere folk til at anvende mere energi fra lokale kilder og gøre dette til en mulighed?" Det er en kendsgerning, at anvendelsen af energi på stedet er forbundet med den fordel, at den ikke skal transporteres over lange afstande. Det er med til at nedbringe transmissionstabet og dermed CO₂-udslippet. Derudover opnås der en reduktion af den fossile energi, idet det lokale behov dækkes af lokal vedvarende energi. Dertil kommer, at folk generelt har et ønske om at nedbringe deres CO₂-aftryk ved eksempelvis at oplade deres elbil med energi, som de selv har produceret ved hjælp af deres solcelleanlæg.



Vores region rummer masser af vedvarende energi fra vindmøller, solcelleanlæg på landbrugsbedrifter og biogasanlæg samt forsyningen til disse fra markerne. Spørgsmålet er imidlertid, hvordan vi kan udnytte al denne energi fra vedvarende kilder til dækning af det lokale behov. Det er en enorm udfordring, at den producerede energi varierer alt efter tidspunktet på dagen, vejrforholdene og årstiden. Derudover varierer energiforbruget naturligvis også over tid hos de mennesker, der bor i nærheden af anlæggene.

Et spørgsmål står derfor ubesvaret hen: "Hvordan kan vi skabe en forbindelse mellem energibelastning og energiforsyning?" og "Hvordan kan vi skærpe folks bevidsthed omkring den lokale energianvendelse og dens fordele?"

Det er netop for at finde svar på disse spørgsmål, at vi har sat dette carpe-DIEM-projekt i søen. Vores mål er at udvikle løsninger, der opnår folks accept. Det hele startede med to projektinitiatorer, som med tiden udviklede sig til et netværk bestående af forskellige typer af interessegrupper – fra offentlige institutioner til teknologiske udviklere og energileverandører på begge sider af grænsen. Der har været større opmærksomhed omkring projektet, end vi havde kunnet forestille os på tidspunktet for projektets start. Kulminationen var et interview med den tyske tv-station ZDF og et indslag i en videnskabelig tv-udsendelse. Vi var også meget stolte over, at carpeDIEM-projektet blev udvalgt som eksempelprojekt i en film om Interreg5a-programmet.

Vi modtager løbende forespørgsler om undersøgelser, tilbud på demonstrationssteder og opfordringer til at fremlægge projektresultaterne. Derudover indgår netværket i forskellige andre støtteprojekter, der tager udgangspunkt i carpeDIEM. Der er blevet dannet konsortier af forskellige virksomheder. Målet med disse er at løfte de udviklede teknologier op på det næste anvendelsestrin. Der er blevet grundlagt en nyetableret virksomhed, som fandt sin inspiration i carpeDIEM-projektet. Flere virksomheder har taget carpeDIEM-teknologien til sig, hvilket betyder, at der i dag er installeret to systemer. Disse kommer også fremover til at fungere som demonstrationssteder. Vi har søgt om yderligere støttemidler for at kunne sikre flere installationer baseret på carpeDIEM-teknologien.

Offentlighedens opmærksomhed blev yderligere højnet, da projektets fokus halvejs gennem projektforsløbet blev lagt på elbiler i forsyningssystemet. Elbilerne udgør et konkret eksempel på en flytbar belastning i energistyringssystemet. Prosumerne ser positivt på deres potentiale for i højere grad at kunne anvende lokale energikilder – både til mobilitetsformål og som flytbar belastning.

Nedenfor følger en beskrivelse af DIEM-teknologien, hvad angår dens anvendelsesformål. Derudover gennemgår vi casestudiernes resultater. Efterfølgende undersøger vi, hvorvidt det nationale forsyningssystem med fordel kan bygge på energistyringssystemer af denne type.

Sønderborg, 10. September 2019

Robert Brehm

PROJEKT FAKTA

Løbetid: Apr. 2016 - Sept. 2019

Total budget: 2.7 million Euro, Interreg-tilskud 1.55 million Euro

Partnere: 4 projekt partnere, 22 netværkspartnere

carpeDIEM er finansieret af Interreg Deutschland-Danmark med midler fra Den Europæiske Fond for Regionaludvikling.

Projekt partnere:

- Mads Clausen Institute, Syddansk Universitet, Sønderborg
- WiE University of Applied Sciences Lübeck
- Centre for Sustainable Energy Systems, Europa Universität Flensburg
- cbb software GmbH, Lübeck

Indledning

Et af fremtidens centrale udfordringer for energiforsyningssystemerne er, at behovet kommer til at stige som følge af et eksponentielt stigende befolkningstal og den samtidige nedgang i fossile energikilder. Det bliver stadig vigtigere, at energibehovet kan dækkes af pålidelige vedvarende kilder, idet en stadig højere grad af energiforbruget omstilles til elektricitet.

Inden for transportsektoren er den voksende elektrificering åbenlys, da elbilerne vinder mere og mere indpas på bekostning af de fossile drev. På bygningsområdet udskiftes olie- og gasforbrugende fyr med kraftvarmekoblinger (heat pump) og elkedler. EU's medlemsstater har vedtaget et rammeprogram for 2030, der omfatter EU-dækkende mål og politiske foranstaltninger for perioden 2020-2030 og dermed skal bidrage til opnåelsen af målene om langsigtet nedbringelse af klimaskadelige udslip frem til 2050 og den fortsatte underskridelse af den kritiske tærskel for kulstofudslip.

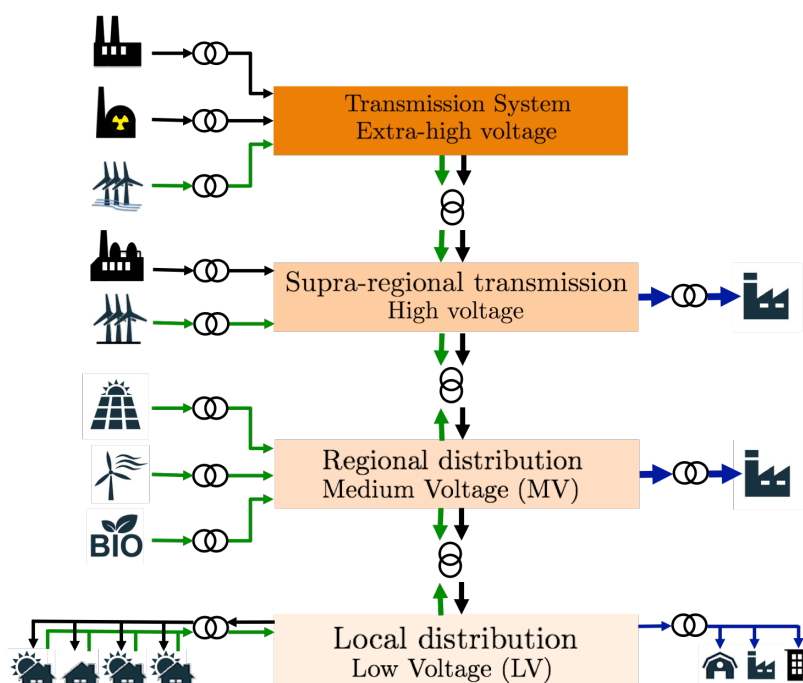


Fig. 1 Transmission system in general.

Det er et faktum, at fremtidens energiproduktion i stigende grad kommer til at være kendetegnet ved produktionen af vedvarende energi. Det betyder, at der vil skulle udvikles teknologier til håndtering af den todimensionelle og geografiske fordeling af de producerende enheder. I tider med spidsproduktion (peak feed in) – hvor den lokale energiproduktion overstiger det lokale behov – ledes strømmen fra det lavere forsyningsniveau til de højere liggende forsyningsniveauer. Denne overførsel foregår modsat i tider med spidsbelastninger.

Denne tidsafhængige overførsel af energi kan også betegnes som den meteorologiske energioverførsel. Overførslerne, som skiftevis går i op- og nedadgående retning, er yderst belastende for transformatorstationerne og fører til ustabile spændings- og frekvensforhold, således at energistandarderne – sådan som de er defineret i EN50160 – ikke kan overholdes, og der må iværksættes procedurer af systemoperatørerne. Disse procedurer reguleres delvis på politisk plan, hvor produktionen (feed in) styres fra de fordelte anlæg i spidsperioderne.

Vores teknologi beskæftiger sig med den optimale anvendelse af vedvarende energi. I løbet af projektets løbetid er der blevet foretaget målinger og simuleringer af forskellige cases. Disse tjener som eksempler på de udfordringer, vi står overfor som følge af den vejafhængige energioverførsel og den tiltagende elektrificering af transportsektoren.

Resumé

carpeDIEM-projektets fokus har de seneste 3,5 år ligget på at øge offentlighedens opmærksomhed på de eksisterende teknologier og energistyringssystemernes effektivitet til styring af energioverførslen i bygninger og bygningskomplekser. Målet med et sådant system er en øget anvendelse af lokalt producerede energikilder. Således skal solcellepaneler på tage dække det lokale energibehov og dermed nedbringe spidsbelastningen. Intelligente energistyringsteknologier kommer i stigende grad til at udnytte lokale energikilder og reducere afhængigheden af fjerntliggende forsyningsvirksomheder baseret på fossil energi.

Projektets fokus har navnlig ligget på regionens særlige energiforbrugs- og -forsyningsstruktur, som inddrager både firmaer samt turist- og landbrugsområder.

Vi har inden for rammerne af carpeDIEM udviklet og demonstreret en teknologi, der nedbringer forsyningsnettets spidsbelastninger og frigiver kapaciteter i nettet. Vi har indsamlet data på forskellige steder, vi har optimeret systemet og har simuleret effekten af selvforsyning på de lokale forhold og på det overordnede system i Tyskland og dens elektriske nabo. Resultatet er blevet evalueret, hvad den økonomiske nytteværdi og CO₂-balancen angår. Det er muligt at se teknologien på to demonstrationssteder, nemlig på GreenTEC Campus i Enge-Sande (Tyskland) og ved Alsion-bygningen i Sønderborg (Danmark). Begge demonstrationssteder er udstyret med intelligente energistyringssystemer i ladestationer, som kan integreres i enhver ladestation.

Målinger i Bordelum og på Ærø viser, at selvforsyningen vil skulle vurderes på en differentieret måde. For at blive selvforsynende og dermed uafhængig af eksterne energileverandører vil der skulle oprettes lagre. Vores simuleringer viser, at en central udnyttelse af lagrene medfører den største effekt på økonomien og CO₂-balancen. Det vil skulle være muligt at styre de elektriske lagringsenheder i den aktuelle forsyningsstruktur i Tyskland og landets elektriske nabo på centralt plan.

Derudover havde carpeDIEM-projektet til formål at styrke de komplementære kompetencer inden for intelligent energistyring på begge sider af grænsen. To demonstrationssteder og et stærkt netværk bestående af aktive samarbejder viser, at dette er blevet opnået, og at teknologien også vil blive benyttet i fremtiden.

Case studier, dataindsamling og simuleringer



Biogasanlæg (CHP)
Billede: Colourbox

Vores casestudier

Vores mål var at finde frem til en række repræsentative eksempelcases, der ville kunne forsyne os med data til brug i forbindelse med simuleringerne. Det var en forudsætning, at der var en vis andel af vedvarende energi til stede, og at der var mulighed for dataindsamling. I løbet af projektets løbetid blev der foretaget analyser af forskellige casestudier, som fungerede som referencecases i forbindelse med udviklingen af DIEM-systemet.

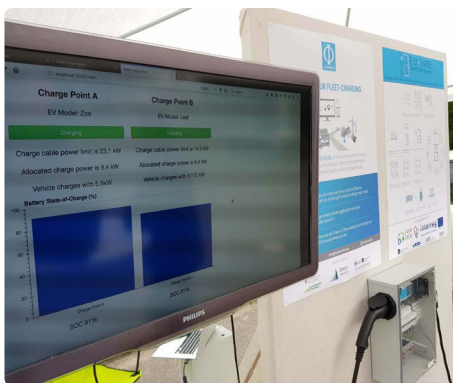


Fig. 2 GreenTEC Campus, demonstration af kontrolleret opladning af elbiler og simulation af optimeret opladning.



Fig. 3 Installation af en intelligent ladestation på GreenTEC Campus.

Casestudier

Der blev fundet frem til en eksempelcase i en landsby i det nordvestlige Schleswig-Holstein. Landsbyen kunne fremvise vindenergi, et biogasanlæg og solcelleanlæg på private huse. Landsbyen sigtede mod at blive uafhængig af ekstern energiforsyning og var derfor et godt eksempel i vores undersøgelse. Partnerne installerede udstyr til dataindsamling 10 forskellige steder i landsbyen til indsamling af data i sekundintervaller. Disse data blev analyseret og indgik i simuleringerne.

Der blev fundet frem til et yderligere demonstrationssted i form af GreenTEC Campus. Her installerede vi en intelligent ladestation, hvor DIEM-teknologien

blev brugt til at oplade elbiler. Derudover har vi foretaget analyser af brugen af en vognpark bestående af elbiler tilhørende en virksomhed i Kreis Ostholstein.

På dansk side analyserede vi forbruget på Ærø – en lille ø i Det Sydfynske Øhav. Ærø producerer mere energi, end øen selv forbruger. På trods af dette er Ærø nødsaget til at importere og eksportere energi, da indbyggernes forbrugsmønstre ikke matcher den energiproduktion, der opnås gennem de seks store vindmøller på øen.

Endelig har vi oprettet et demonstrationssted ved SDU i Sønderborg, der er udstyret med intelligente ladestationer til elbiler.

Dataindsamling

Vi har indsamlet data fra forskellige kilder. I Bordelum og på GreenTEC Campus indsamlede vi ved hjælp af forskellige intelligente målere (smart meter) data om varme- og elforbrug for private husholdninger, solcellesystemer, landbrug og ladestationer til elbiler. Disse data blev behandlet i databehandlingssystemet cbb Libra-Smart Metering*. Vi udviklede en sikker forbindelse til dataindsamling og -overførsel til partneren cbb og dataindsamlingsserveren. De indsamlede data kunne visualiseres og analyseres med brug af onlinemanagementportalen "enwiso" fra cbb.

Andre steder – herunder på Ærø – udnyttede vi de data, som vi fik stillet til rådighed, og supplerede dem, hvis relevant, med de eksisterende officielle statistiske data. Originalteksterne indeholder en liste over de anvendte kilder.

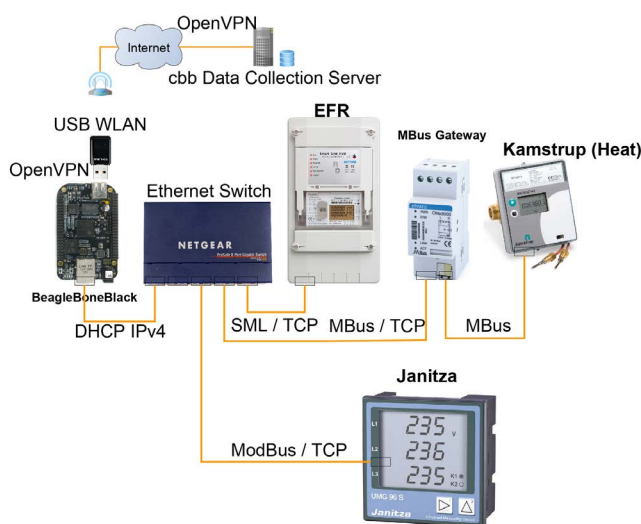


Fig. 4 Dataindsamling og metere vi brugte.

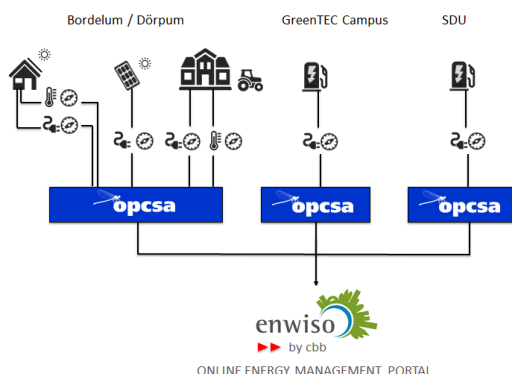


Fig.5 Energistyring med portal enwiso.

OpenVPN Gateway for en sikker smart meter-forbindelse

Figur 4 er en illustration af vores koncept for indsamlingen af data fra de enkelte målere. En integreret enkeltkortsdatamat (single board computer) baseret på ARM fungerede som hardwareplatform. Det anvendte drivsystem var et Debian Linux-system, idet dette allerede havde vist sig at være kompatibelt med målplatformen, nemlig cbb's middleware opcsa. Vi installerede og konfigurerede en OpenVPN client som sikker kommunikation med cbb-dataserveren. De pågældende gates var genstand for en individuel konfiguration. Idriftsættelsen skete på stedet.

Illustration og analyse af dataene

cbb-konceptet for databehandling og -strukturering kaldes enwiso, som er virksomheden cbb software GmbH's energistyringsportal. Virksomheder får gennem enwiso mulighed for at måle, illustrere og vurdere deres energiforbrug eller energiproduktion (se figur 5). Det samme gælder dataindsamlingen ved hjælp af DIEM-systemet, som fandt sted over en længere periode.

* Yderlige informationer på cbb-Smart Metering: cbb.de/produkte/cbb-libra-smart-metering

Selvforsyning gennem integration og intelligent kontrol af energilagere

Landdistrikterne rummer et stort potentiale for at kunne anvende vedvarende energi. Lagringsteknologier vil kunne øge den selvforsyningsgrad, der vil kunne opnås. Det er grunden til, at vi har udviklet et simuleringsværktøj til undersøgelse af selvforsyningsgraden i mikronet. Enten el- eller varmesektoren eller også dem begge vil kunne behandles i denne simuleringsmodel. Der er blevet indsamlet og analyseret data for Bordelum (Nordfriesland, Tyskland) og øen Ærø i Danmark. I nogle tilfælde var det nødvendigt at supplere dataene med officielle statistiske datasæt. Casestudierne viser, at det er muligt at øge selvforsyningsgraden.

Selvforsyning med el i Bordelum*

I nogle kommuner ønsker indbyggerne at være uafhængige af deres energileverandør. Vi har simuleret, op til en hvilken grad og under hvilke betingelser det er muligt at opnå selvforsyning set over et år. Elforbruget, solenergiproduktionen, en vindmølle og et biogasanlæg i Bordelum spillede ind i forbindelse med simuleringen. Forbrugene kunne simuleres ved hjælp af en forbrugssimulator fra

TU Chemnitz. Der blev i syv forskellige scenarier udført en undersøgelse af effekten af individuelle lagre eller et Redox-Flow-batteri, som skulle etableres centralt i landsbyen, samtidig med at lagerstørrelsen blev varieret. Derudover blev den heraf følgende belastning på nettet evalueret, idet en stigende spidsbelastning ville kunne føre til dyre netudvidelser.

Som det fremgår af diagram

7, skal biogasanlægget fungere som elleverandør for at kunne opnå fuldstændig selvforsyning. I andre tilfælde er det dog muligt næsten at opnå selvforsyning. Såfremt vi ser, at spidsbelastningen for det eksterne net bør minimeres, er case III det eneste scenarie, hvor spidsbelastningen nedbringes (grøn farve) og dermed er velegnet for systemet.

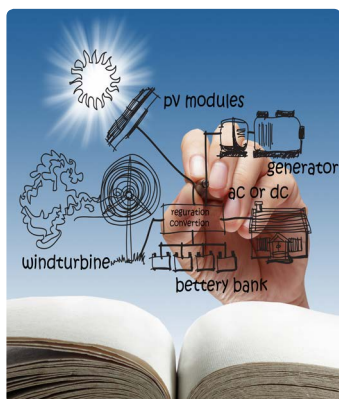


Fig. 6 System komponenter.

Cases

- | | |
|------|--|
| I | Eksisterende solcelleanlæg på bygninger suppleret med et batterilager: 8-10 kWh. |
| II-a | Bygninger, uden solceller, udstyres med 9,7 kWp-solcelleanlæg og 4,9 kWh-batterilager. |
| II-b | Som II-a, dog med 9,7 kWh-batterilager. |
| III | Redox Flow-batteri til et lokalt fordelingssystem 2200 kWh. |
| IV | Vindmølle til det lokale fordelingssystem. |
| V | Lille Redox Flow-batteri (560 kWh) kombineret med vindenergi. |
| VI | Anvendelse af eksisterende biogasanlæg til strømfor- syning (875 kWel). |

Table 1: Scenarier for simuleringer i fig. 7.

* Der er udarbejdet en plakat omhandlende dette af Malte Myrau, som ligger på webstedet under publikationer.

Billede fig. 5: Colourbox

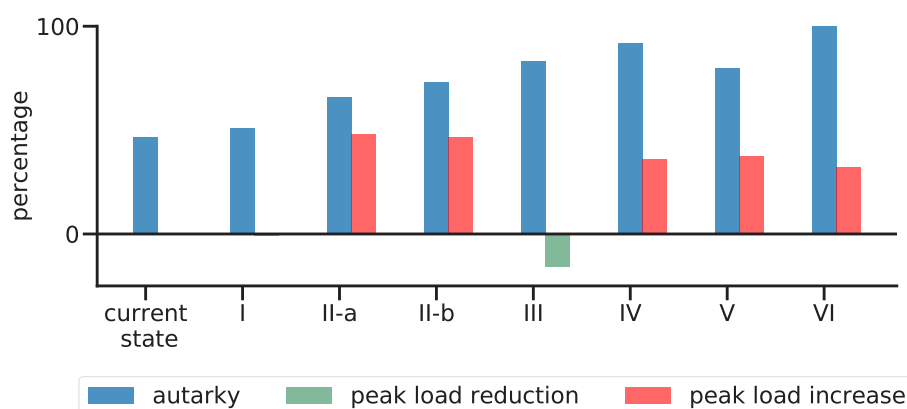


Fig. 7 : Simulering vedrørende selvforsyningsgraden og spidsbelastningen for de forskellige cases i tabel 1*

El- og varmeselforsyningsgrad i Bordelum**

Som det næste undersøgte vi både el- og varmforsyningen. Vi modellerede varmforsyningen med varmepumper, -stænger og -lagre og sammenlignede med den aktuelle status. Det viser sig, at det er muligt at opnå en høj grad af selvforsyning (99%) uden ekstra CO₂ udledning i både

el- og varmforsyningen. Det kræver sektorkobling af varme og elektricitet, varmelagring samt el fra vedvarende energikilder. Lige som i det forudgående tilfælde er det en fordel at anvende en central enhed til varmelagring i landsbyen, og hvert hus skal have en varmepumpe. Hertil kommer enheden

til central lagring af el (case III).

Alle simuleringer vedrører kun landsbyen Bordelum og tager ikke højde for påvirkningen på det eksterne elnet. Denne analyse er udarbejdet af EUF og gennemgås på side 12 ff. Økonomiske aspekter indgik ikke i analysen.

*Forfatter: Joscha Höck, Master thesis, findes under menuen 'Publikationer' på webstedet.

**Lucas Bergmann, Thesis, findes under menuen 'Publicationer' på webstedet.



Fig. 8 Elfærgen på Ærø er den første færge, der er i stand til at sejle 22 sømil udelukkende på elektricitet.* Illustration: Jens Kristensen Consulting Naval Architects.

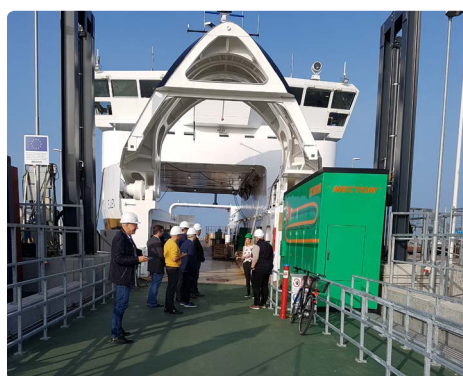


Fig. 9 Elfærgen på Ærø samt forsyningsforbindelser på land.

Ærøs selvforsyningsgrad, simulering**

I denne undersøgelse har vi analyseret den aktuelle elektriske og termiske energiforsyning på alle steder med fjernvarmenet på Ærø. Efterfølgende gennemførte vi en evaluering af elfærgens og et Redox Flow-batteris indvirkning på øens selvforsyning. På samme måde som i Bordelum ville det også her være en fordel

i forhold til selvforsyningsgraden at oprette et centralt lager såsom et Redox Flow-batteri. I den forbindelse er det vigtigt at foretage en forsigtig dimensionering af størrelsen, da selvforsyningsgraden inden for 0 og 500 kWh stiger med omkring 0,48 %, mens den inden for 4500 og 5000 kWh stiger med kun 0,24 %.

Parameter	Including ferry	Without ferry	Difference
Autarky (%)	66,21	67,15	-0,94
Self consumption part (%)	52,96	50,98	1,98

Konklusioner

I casen med Bordelum har vi fundet frem til, at der opnås en høj selvforsyningsgrad (83 %) og en nedbringelse af nettets spidsbelastning (-16 %), når der anvendes et Redox Flow-batteri inden for fordelingssystemet.

Under alle omstændigheder er det en god idé at anvende en central lagringsenhed i stedet for lagre hos de enkelte prosumere.

I de undersøgte cases var energiforbruget af den producerede energi ikke særlig høj. Både Bordelum og Ærø producerer mere strøm, end de selv forbruger.

* Få yderlige informationer om elfærgen her : <https://www.el-færgeprojekt.dk/om-e-ferry> / English: <http://e-ferryproject.eu/>

** Kilian Menzel, Thesis, findes under menuen 'Publicationer' på webstedet.

Lokal optimeret energistyring

Simuleringer

Der er blevet udført en analyse af den rolle, som et lokalt optimeret energiforsyningssystem (f.eks. et landsbynet) spiller inden for det nationale og internationale forsyningssystem. I den forbindelse var vi meget optaget af spørgsmålet om, hvilken effekt en lokal optimering har på helhedssystemets CO₂-balance i Tyskland og de elektriske nabolande. Ud fra yderligere simuleringer var det muligt at komme med et bud på den bedste økonomiske løsning. Der blev foretaget simuleringer af forskellige scenarier, hvoraf de fire bliver præsenteret her.



A: Village without storage, Prosumers, PV



B: Village with storage and PV. Isolated approach

Fig. 10

A: Reference, kun PV installeret

B: Yderligere decentraliserede batterier i husholdninger



D: Village with storage that is available to the overlaying power system, PV only



F: Village with storage that is available to the overlaying power system, with Wind turbine

Fig. 11

D: Solceller og yderligere centraliserede batterier

F: Vindmølle og centralt batterilager

Hvad er vigtigt for det overordnede system?

Vi anser det tyske forsyningssystem og systemerne i de tilknyttede nabolande som det overordnede system.

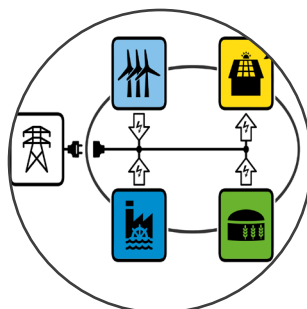
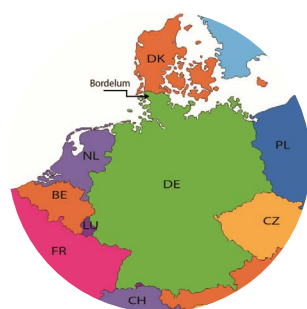
Vi har indsamlet data fra vores modellandsby og data fra Tyskland og de omkringliggende lande og sat dem ind i vores model. Der er registreret belastningsskurver for hver enkelt time i løbet af året. Subsystemet kan fungere som støtte for det overordnede system – dvs. at det er velegnet for systemet – eller ej, alt efter hvordan det pågældende scenarie er blevet valgt. Subsystemet er velegnet for det overordnede system, hvis det kan

sikre en forsyning af yderligere energi på de tidspunkter, hvor der mangler energi i det overordnede system – eller omvendt.

Her bliver der præsenteret fire forskellige scenarier: A, B, D og F, se figur 10 og 11. Samlet set blev der foretaget simuleringer af yderligere scenarier end dem, der er præsenteret her. Det er grunden til nummereringen. De andre cases kan konsulteres i en detaljeret rapport (*). Rapporten indeholder endvidere en beskrivelse af, hvordan man kan få adgang til simuleringerne på github.com/znes/carpeDIEM.

*Sönke Böhm and Martin Söthe, Report EUF findes under menuen 'Publicationer' på webstedet.

Simulations



Scenario	CO ₂ (t/a)
A Base case	0
B Prosumer batteries	9
D PV and centralized battery	45
F Wind and centralized battery	7

Table 2 CO₂ Oversigt over resultaterne af den isolerede case. hvor energilagere er kun lokalt tilgængelige.

Scenario	CO ₂ (t/a)
A Base case	0
B Prosumer batteries	-7
D PV and centralized battery	-48
F Wind and centralized battery	-5

Table 3 CO₂ Integreret tilgang hvor energilagere kan styres fra det overordnede system.

Inducerede og undgåede CO₂-udslip

Ved hjælp af simuleringerne bliver det muligt at fastlægge CO₂-udslippet for de beskrevne scenarier. I den forbindelse skelner vi mellem en isoleret landsby med et lager, som udelukkende står lokalt til rådighed, og en integreret case, hvor lagrene kan integreres i det overordnede forsyningsnet.

Tabel 2 giver en oversigt

over resultaterne af den isolerede case. For alle scenarier viser de positive værdier, at vi i dette tilfælde genererer yderligere CO₂-udslip. Referencecasen er dog sat til nul.

Resultaterne af den integrerede tilgang, tab.3, viser, at alle scenarier i denne case medfører et nedbragt CO₂-udslip, dvs. negative værdier for CO₂-udslippet.

Omkostninger

De økonomiske data kan inddeles i to kategorier – centrale og decentrale batterier. Vi har som decentrale batterier taget udgangspunkt i Vanadium Redox Flow (VRF)-batterier, mens vi i tilfælde af de centrale enheder benyttede os af Li-ion-batterier. Herved er der taget hensyn til, at et VRF-batteri ifølge

beregninger foretaget af vores partner THL er den mest omkostningseffektive løsning. Modellen er baseret på de gennemsnitlige teknologiomkostninger på 985 og 855 euro per kWh. Derudover har de finansielle parametre såsom renter og en afskrivningsperiode spillet ind.

Billede på toppen til højre: Colourbox

Simulations

Scenario	Costs €/a	Costs €/a
Period	20 a	30 a
B Prosumer batteries	2729,73	1819,82
D PV and centralized battery	2370,18	1580,12
F Wind and centralized battery	5416,66	3611,10

Tabel 4 Omkostningerne for forebyggelse af CO₂ er blevet beregnet.

Scenarie D er det eneste, som med en integreret tilgang reducerer CO₂-udslippet mest sammenlignet med den isolerede tilgang (se tabel 4). Et centralt batterilager synes derfor mere velegnet end flere fordelte batterilagre.



Fig. 12 Li-Ion batterielager.

Økonomien forbundet med lokale batterier

Subsystemets resulterende belastningskurver blev analyseret yderligere, hvad angår de økonomiske fordele ved salget og købet af el til/fra det overordnede elnet.

De teoretiske omkostninger og nytteværdien forbundet med en referencecase blev beregnet. Det samme blev de teoretiske omkostninger og nytteværdien forbundet med casene med batterilagre. I casene med batterilagre viste det sig, at der rent faktisk blev brugt

færre penge på køb af strøm i lavproduktionsperioder. Derimod så vi også, at gevinsten ved at sælge el i de fleste tilfælde også var reduceret – endda mere, end hvad der blev sparet ved strømkøbet. Tabel 5 viser cost/benefit-balancen som negative værdier for scenarie B og D, mens scenarie F fremviser en positiv værdi. Dog vil der i denne kontekst også skulle tages højde for eventuelle besparelser versus batteriomkostningerne.

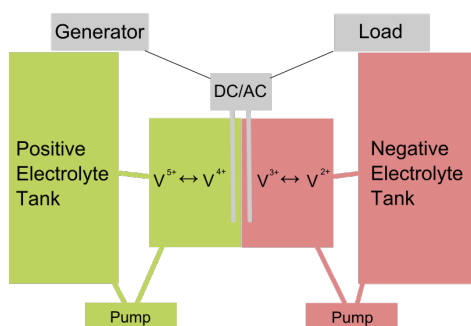


Fig. 13 Skitse af Vanadium redox flow batteri. Systemet har brug for opbevaring af electrolyte.

Scenario	Income	Expenses	Balnace	Relation to reference case
A	75500	18183	57317	
B	73552	16821	56731	-586
D	60475	5079	55396	-1921
F	123639	4812	118829	643

Table 5 Indtægter fra energisalg og udgifter som følge af energikøb (alle værdier i euro).

Fig 13 by Paj.meister - Newscientist, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1559479>

Simuleringer

Nøgleresultater

1. I casen med den isolerede tilgang induceres der yderligere CO₂-udslip i det overordnede energisystem. Vi kan konstatere, at den integrerede tilgang medfører de laveste CO₂-udslip i de simulerede scenarier. Hver enkelt isoleret tilgang fører til suboptimale løsninger. Der vil skulle

sikres en så central adgang til batterilagre som muligt for at minimere CO₂-udslippet. Sammenlignet med andre lagringsmuligheder udgør batterierne dog en dyr variant.

Sammenfattende kan vi konstatere, at batterierne er hensigtsmæssige ud fra et systemperspektiv, når der ikke er adgang til andre

fleksible løsninger. Batteriopladningen og -afladningen vil dog skulle stå til rådighed for energisystemet som helhed.

2. Er det hensigtsmæssigt at tilslutte et lokalt batterilager til et mikronet?

Det kan måske være hensigtsmæssigt at købe et batteri og slutte det til et mikrosystem ud fra et forbrugersynspunkt. Herved nedbringes omkostningerne, såfremt det i spidsperioder giver mulighed for at tilkøbe strøm,

eller hvis forbindelsen til det overordnede system, f.eks. en inverter eller en transmissionsledning, er for svag, med henblik på at transportere den overskydende eller brugte energi mellem subsystemet og det overordnede system. Ved sammenligningerne af mulighederne vil styrkelsen af nettet også skulle spille ind i dette tilfælde.

Ud fra et makroperspektiv kan lokale batterier være med til at nedbringe CO₂-udslippet, når systemet som helhed har adgang til batterierne, f.eks. når opladning og afladning styres alt efter behovene hos systemet som helhed. Er dette ikke tilfældet, vil deres effekt på systemet som helhed altid være suboptimal.

Resumé

- En "optimering" af et lokalt system kan føre til yderligere CO₂-udslip i det overordnede energinet.
- Integrationen af lagre i det overordnede energisystem reducerer CO₂-udslippet.
- Batterilagre er altid en dyr løsning til reduktion af CO₂-udslippet.
- Anbefaling: Er der et ønske om batterilagre, bør de stilles til rådighed på centralt plan.

Simuleringerne er baseret på den aktuelle netinfrastruktur.

Det ville være hensigtsmæssigt med lagre i et lokalt system:

- når den lokale infrastruktur er så begrænset, at det ikke er muligt at udvide anvendelsen af den vedvarende energi,
- for afsidesliggende systemer, navnlig fordi netinfrastrukturen her er begrænset,
- når netstabiliteten styrkes gennem lagringsløsninger, navnlig i det tilfælde hvor andelen af vedvarende kilder øges på elmarkedet.

Reference: Sönke Bohm and Martin Söthe, Report EUF findes under menuen 'Publicationer' på websitet.

DIEM-systemet

Opbygning

DIEM-systemet er en alsidig software- og hardwareløsning, der består af et software-, et kommunikations- og et DIEM-brugerniveau. Systemet kan udnyttes helt generelt, hvilket betyder, at det kan omfatte en platform med forskellige fordelte energianvendelsesformål, f.eks. til styring af laderegulatorer til elbiler eller solcellepaneler med tilsluttet batteri. Systemet blev afprøvet sammen med forskellige energileverandører og energiproducenter i en måleopbygning i laboratoriet*. I laboratoriet blev reaktionstiden og kommunikationsprotokollen optimeret.

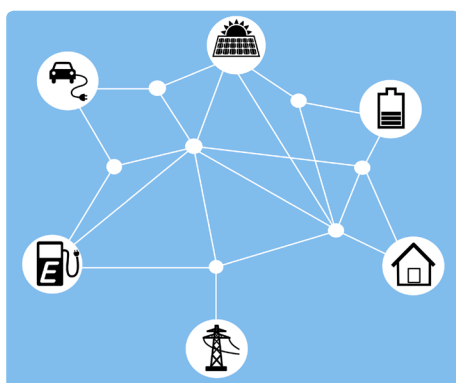


Fig. 14 Skitse til illustration af en decentraliseret kommunikation mellem komponenter.

DIEM systemet

Vi har udviklet DIEM-systemet som et decentralt fordelt system. Det betyder, at der ikke findes en central styreenhed, men at individuelle systemkomponenter derimod deler informationen mellem sig og koordinerer energioverførslen, idet overførslen følger en række forhåndsbestemte regler. Disse regler kan indbefatte,

at elbilen skal lades op, således at der hovedsageligt anvendes lokale energikilder, eller at belastningen på forsyningsnettet reduceres på bestemte tidspunkter af døgnet. Fordelen ved en decentral opbygning er, at systemet ikke kan svinge på et centralt punkt og netop kan udvides eller reduceres med komponenter.

Interaktion med hardwaren

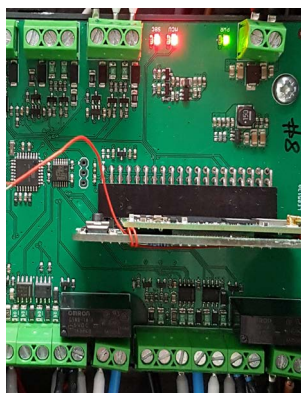


Fig. 15 Del af hardware for ladningsstyring.

Hardwareniveauet giver adgang til en kontrolgrænseflade til eksempelvis at kontrollere energioverførslen fra og til en lagringsenhed, kontrollerer den maksimale opladning af en elbil eller stiller information til rådighed om et lokalt solcelleelement. Over dette hardwareniveau findes der et middlewareniveau til kommunikation og behandling af dataene fra det fordelte system. For brugeren

betyder det, at middlewareniveauet får systemet til at virke som et kohærent system. Systemets middlewareniveau blev udviklet inden for rammerne af projektet og anvendes under navnet opcsa (Open Process Communication – Simplified Architecture)**. Det er muligt at installere en software i DIEM-anvendelsesniveauet, som om der var tale om en central enhed.

** Timo Helsper and Christian Ziegelmann, thesis, * For more information on opcsa visit <https://opcsa.de/>

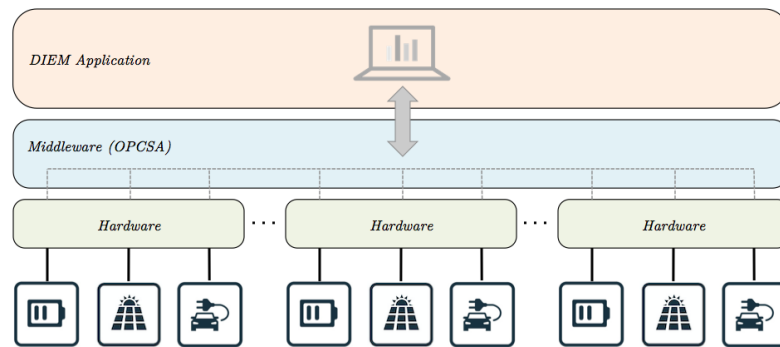


Fig. 16 : Hardware- og softwareniveauer.



Fig. 17 Garage med elbiler og solceller på taget.

Anvendelseseksempel

Ved dette anvendelsesformål skal der anvendes et solcellesystem som energikilde til opladning af en vognpark bestående af elbiler (fig. 17). Den tidsmæssige forskydning mellem energiforsyningen fra solcelleanlægget og behovet for opladningsstrøm resulterer i et ikke optimeret egenforbrug af den producerede strøm. En stor del af

den producerede energi skal afgives til forsyningsnettet. Ved hjælp af DIEM-systemet bliver det muligt at styre opladningen af vognparken og et tilkøbt Vanadium Redox Flow-batteri, således at egenforbruget af strømmen fra solcelleanlægget kan maksimeres, og behovet for yderligere forsyning fra energileverandøren kan minimeres.

DIEM-systemets rolle

Det afgørende for den effektive udnyttelse af et batteri er, at energistyringssystemet er baseret på DIEM-teknologien. På den måde er det muligt på en hensigtsmæssig måde at kombinere de begrænsninger, der opstår som følge af batteriet, herunder den maksimale op- og aflad-

ningsstrøm, med de begrænsninger, der er forbundet med opladningen af vognparken med elbiler. Nøglen i den forbindelse er den effektive anvendelse af batteriet, der er tilpasset vognparkens behov. Her vil man altid forsøge at anvende så meget lokalt produceret strøm som muligt.

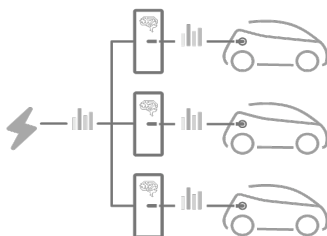


Fig. 18 Styling af laderegulatorer.



Ein Aus
• Ladevorgang beenden
Gerät betriebsbereit
Fahrzeug angeschlossen
Ladevorgang läuft
Laden nicht möglich



Opladning med DIEM teknologi.



DIEM

Intelligente ladeinfrastrukturer

En stigende andel eldrevne køretøjer kræver en passende og pålidelig infrastruktur, der er til at betale – og dette omfatter ladestationer. Udfordringen i forbindelse med integrationen af denne infrastruktur er den stigende belastning, navnlig spidsbelastningen, på det eksisterende net. Forsyningsnettet skal kunne håndtere høje spidsbelastninger, når der skal lades mange elbiler op på samme tid. Spidsbelastningerne kan føre til overbelastning af nogle netkomponenter, herunder transmissionsledninger og transformatorstationer. Der opstår spidsbelastninger på nettet, når folk kommer hjem fra arbejdet om aftenen og tilslutter deres elbiler for at få dem ladet op, eller når erhvervsvognparkerne lades op om aftenen, efter at de har været undervejs i løbet af dagen. Hvis bilerne lades op på tidspunkter, hvor der er et overskud af vedvarende energi, øger det anvendelsen af vedvarende energikilder. De lokale energikilder bør foretrækkes for at nedbringe energitransporten. Dette kan reducere en netudvidelse eller en styrkelse.

Hvad gør teknikken intelligent?

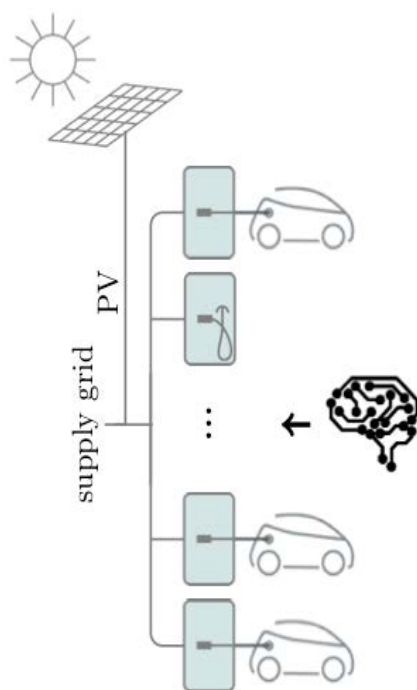


Fig. 19 Ladeinfrastruktur kræver intelligens for at kunne tilpasse udbud og efterspørgsel efter grøn energi.

En opladning af elbiler på samme tid kan resultere i uønskede spidsbelastninger, der ikke er til at håndtere. Det er muligt at undgå spidsbelastninger ved hjælp af avancerede algoritmer til belastningsstyring, der baserer på matematisk optimering. En nødvendig forudsætning herfor er dog, at ankomst- og afgangstiderne er kendte. Heldigvis viser vores foreløbige dataanalyse af elvognparken, at opladningen af vognparkens biler kan løses gennem maskinindlæring (ML). Når det er kendt, hvordan det tidsmæssige forløb er, er det muligt at forudsige belastningen over tid for de kommende tilstande og at forudsige de typiske ankomst-

og afgangstider. Det er vigtigt at nævne, at maskinindlæring også giver adgang til nyttig information, herunder om køretøjstypen, den optimale ladeprofil og den procentuelle andel af eksisterende vedvarende energi over tid. Maskinindlæringsalgoritmer har to faser til fælles: I træningsfasen indlæses der data i algoritmen. Derefter går systemet videre til en testfase eller forudsigelsesfase, hvor der på baggrund af de "indlærte" data automatisk bliver truffet afgørelser eller afsagt forudsigelser (se figur 20). Testdataene anvendes til evaluering af de afsagte forudsigelser.

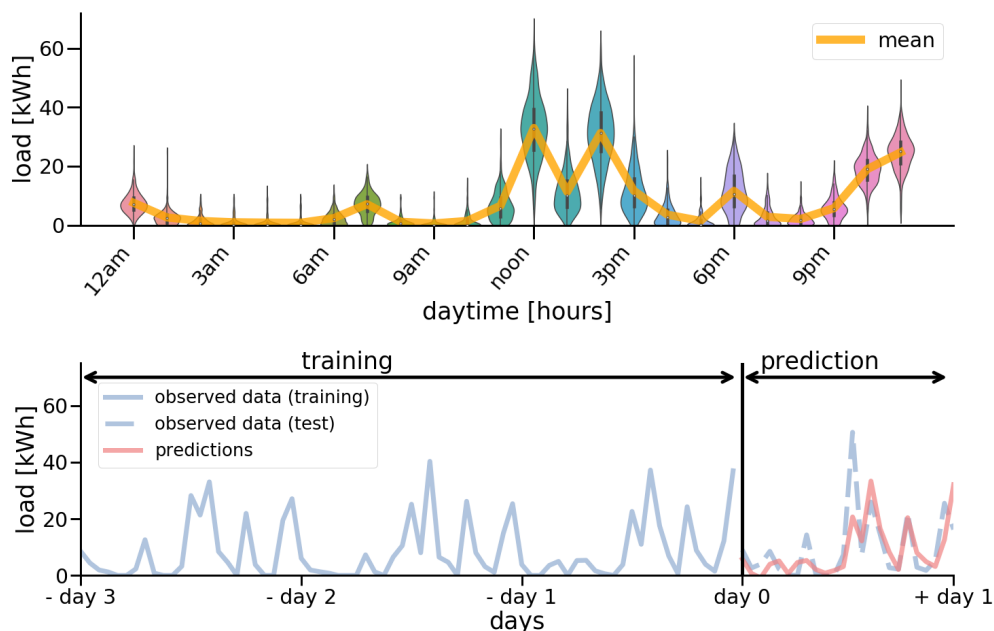


Fig. 20 Øverst: Foreløbig dataanalyse. "Typisk" gennemsnitligt energiforbrug om dagen (orange linje) baseret på målinger hver time hen over året 2018. "Violin"-grafer viser de statistiske energiforbrugsdata for hver time i løbet af et døgn. De typiske belastningstoppe gentages kl. 12, kl. 13 og kl. 23. Nederst: De foreløbige resultater viser, at de tidsmønstre, der gentager sig, gør det muligt at forudsige energiforbruget ved hjælp af et Kalman-filter. Dataene er baseret på målinger af elektroniske opladningsdata, sådan som de blev målt på Samsø.

Foruden det rigtige valg af maskinindlæringsalgoritmer afhænger forudsigelsernes pålidelighed i høj grad af de data, der står til rådighed. For at kunne komme med præcise forudsigelser, hvad ankomst- og afgangstiderne angår, har vi planer om at indsamle et

meget stort antal data fra ladestationer, der er tilsluttet nettet. Forskellige neuronale net kan trænes i at tage højde for årstidsbetingede mønstre og daglige mønstre.

To offentlige demonstrationssteder på GreenTEC Campus og ved Alsion bevares. Der er yderligere projekter i støbeskeen, således at arbejdet med de intelligente ladealgoritmer baseret på maskinindlæring kan videreføres.

Partners of carpeDIEM



Leadpartner
Prof. Robert Brehm
Mads Clausen Institute - MCI
Alsion 2
6400 Sønderborg, Denmark

www.sdu.dk/MCI



Technische Hochschule Lübeck
Prof. Carsten Lüders
Kompetenz- und Wissenschaftszentrum für intelligen-
te Energienutzung - WiE
Mönkhofer Weg 239
23562 Lübeck, Germany

www.wie-zentrum.de



Europauniversität Flensburg
Martin Söte
Zentrum für nachhaltige Energiesysteme - ZNES
Auf dem Campus 1
24943 Flensburg, Germany

www.znes-flensburg.de



cbb software GmbH
Debbie Ferber
Isaac-Newton-Straße 8
23562 Lübeck, Germany

www.cbb.de

Publikationen

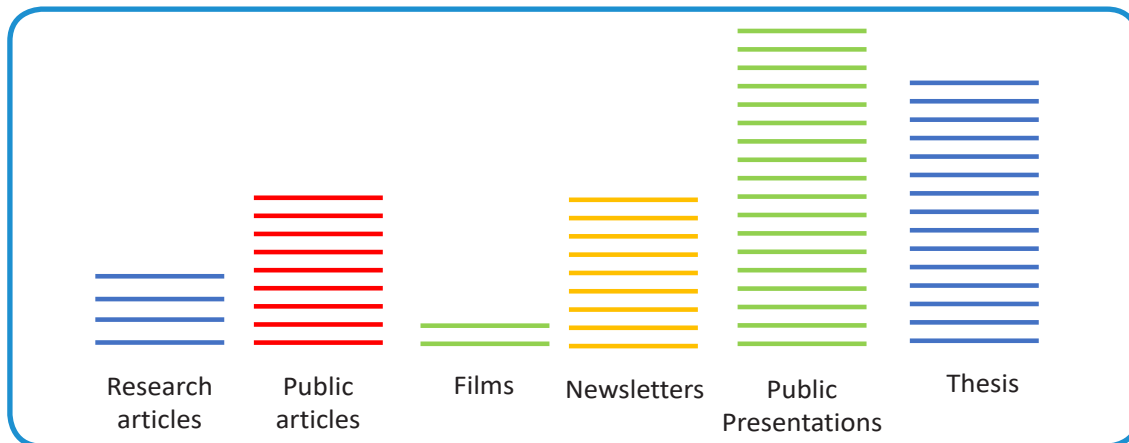


Fig. 20 Publicationer af carpeDIEM.

Scientific Publications

Brehm, R., Mt-Tempi, R., and Top, S. (2017). Consensus based scheduling of storage capacities in a virtual microgrid. Advances in Smart Systems Research, Advances in Smart Systems Research ISSN 2050-8662 Vol. 6. No. 1 : pp.13-22 : ams17-04

Brehm, R., Redder, M., & Kazakov, D. Bruce-Boye, C. (2018). 6. Agentenbasierte Regelung von Energieflüssen in Verteilnetzen durch ein Softwarebussystem. In Agentensysteme in Der Industrie 4.0. In Birgit Vogel-Heuser (Editor), Softwareagenten in der Industrie 4.0 (pp. 109–124). Berlin, Boston: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110527056-006>

Robert W. Brehm ; Hossein Ramezani ; Jerome Jouffroy, Distributed coordination of energy-storage capacities in virtual microgrids, 2018 European Control Conference (ECC18), Limassol, Cyprus, DOI: 10.23919/ECC.2018.8550574

Brehm, R., Redder, M., Flaegel, G., Menz, J., Bruce-Boye, C. (2018, June). A framework for a dynamic inter-connection of collaborating agents with multi-layered application abstraction based on a software-bus system. In International Conference on Intelligent Decision Technologies (pp. 150-157). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-92028-3_15

Qian, K.; Brehm, R. and Duggen, L. (2019). Experimental Evaluation of a Method for Simulation based Learning for a Multi-Agent System Acting in a Physical Environment. In Proceedings of the 11th International Conference on Agents and Artificial Intelligence - Volume 1: ICAART, ISBN 978-989-758-350-6, pages 103-109. DOI: 10.5220/0007250301030109

Films

ZDF 'Nano' contribution in Dec. 2018

DIEM Technolgy explained <https://youtu.be/XfGgjlBSjgl>

Intelligent charging <https://youtu.be/BRUzcZiwopU>



Master Thesis

Hendrik Sass, Machine Learning Based Identification of Electrical Appliances

Joscha Höck, Analyse von Szenarien für die Nutzung von erneuerbaren Energien und Batteriespeichertechnologien in subautarken Ortsnetzen

Jendrik Menz, Dynamic Reconfiguration of Multi Agent System Topologies

Christian Mørk-Pedersen, Architecture for distributed energy management

Jegvan Jon Hansen, Methods for decentralized scheduling of load and storage capacities

Forvaldur Reynir Ásgeirsson, Investigation and implementation of multi-agent based decentralized charge management system for electric vehicles

Bence Magyar, Investigation and implementation of methods to predict charge behaviours of electric vehicles when connecting to mode 3 charging stations

Bachelor Thesis

Entwicklung einer Schnittstelle zur Anbindung von dezentralen Steuerungssystemen an simulierte sub-autarke Mikronetze

Bestandsaufnahme und Kategorisierung des Energiesystems Schleswig Holsteins

Analysis of Reinforcement Learning Methods in Multi-Agent-System Topologies

Janina Leptien, Charakterisieren des transienten Verhaltens von Photovoltaikmodulen mittels eines Versuchsstands auf Basis eines Sonnensimulators

Lukas Bergmann, Analysen von Ausbauszenarien von erneuerbaren Energien und Wärmespeichertechnologien in subautarken Mikronetzen ländlicher Räume

Kilian Menzel, Analysen von Ausbauszenarien von erneuerbaren Energien und Speichern der Insel Aero in Dänemark

Timo Helsper, Entwicklung einer Simulationsumgebung für den Test von Steuerungsalgorithmen für Energieflüsse in Mikronetzen

Christian Ziegelmann, Entwicklung einer Simulationsumgebung für den Test von Steuerungsalgorithmen für Energieflüsse in Mikronetzen

Projectwork

Hendrik Sass Programmierbare Mehrfachsteckdose

Yderlige information på vores websted: www.project-carpediem.eu/publications



Vores netværkspartnere



www.atsolar.dk



www.wfg-nt.de



www.stadtwerke-flensburg.de



www.h-tec.com



www.kreis-oh.de



www.schwartauer-werke.de



www.projectzero.dk



www.greentec-campus.de/de/index.php



www.soenderjylland.dk



www.kalundborg.dk



dansolar.dk



nordgreen.de



www.energie-impuls-owl.de



www.furgyclean.eu/de/



www.znes-flensburg.de



www.samsøe.dk/kommunen



www.ihk-schleswig-holstein.de/news/ihk_flensburg



www.aeroekommune.dk/



drives.danfoss.dk/home/#/



www.seas-nve.dk



www.aeroewhisky.com/



visblue.com



grannenergi.dk/



www.iodynamics.de/

Billedet på bagsiden: Colourbox

