

## Synthesebericht 1

# FLEXIBILITÄTSPOTENZIALE UND SEKTORKOPPLUNG



## IMPRESSUM

Die SINTEG Ergebnissynthese wurde unter der Leitung von Guidehouse in einem Projektkonsortium mit Beteiligung von AIT Austrian Institute of Technology, ifok, OFFIS – Institut für Informatik, RE-xpertise, sowie dem Wuppertal Institut durchgeführt.



Weitere Informationen über das SINTEG Förderprogramm finden sich auf [www.sinteg.de](http://www.sinteg.de).

### Autorinnen und Autoren dieses Berichts:

Benjamin Munzel (Guidehouse)  
Marco Reiser (Guidehouse)  
Dr. Karoline Steinbacher (Guidehouse)

Bitte zitieren als:

Munzel, B., Reiser, M., Steinbacher, K. (2022): Flexibilitätspotenziale und Sektorkopplung. Synthesebericht 1 d es SINTEG Förderprogramms, Studie im Auftrag des BMWK, Berlin.

### Danksagung

Wir danken allen Beteiligten der SINTEG Schaufenster für ihre Teilnahme am Prozess der Ergebnissynthese und an den Synthesetreffen im Erstellungsprozess des vorliegenden Berichtes. Diese mündlichen und schriftlichen Beiträge waren eine wichtige Grundlage für die Erstellung des Syntheseberichtes.

### Disclaimer

Dieser Bericht wurde durch Guidehouse Germany GmbH (Guidehouse) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz erstellt. Die in diesem Bericht vorgestellte Arbeit stellt eine professionelle Einschätzung von Guidehouse und seinen Unterauftragnehmern auf der Grundlage von Informationen dar, die zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts zur Verfügung standen. Guidehouse ist weder für die Verwendung des Berichts oder das Vertrauen auf den Bericht seitens des Lesers noch für irgendwelche Entscheidungen auf Grundlage des Berichts verantwortlich. Leser des Berichts werden darauf hingewiesen, dass sie sämtliche Haftungspflichten tragen, die für sie oder Dritte entstehen, weil sie sich auf den Bericht oder die in dem Bericht enthaltenen Daten, Informationen, Erkenntnisse und Meinungen stützen.

Weder die deutsche Bundesregierung noch Behörden, Auftragnehmer, Unterauftragnehmer bzw. deren Angestellte geben eine ausdrückliche oder stillschweigende Zusicherung oder Garantie ab und übernehmen eine rechtliche Haftung oder Verantwortung für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Brauchbarkeit von offengelegten Informationen, Apparaten, Produkten oder Prozessen oder eine Garantie dafür, dass durch die Verwendung der betreffenden Informationen, Produkte oder Prozesse keine Privateigentumsrechte verletzt werden. Bezugnahmen in diesem Dokument auf spezifische kommerzielle Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen durch Handelsnamen, Handelsmarken, Hersteller oder Sonstiges bedeuten oder implizieren nicht zwangsläufig, dass die Bundesregierung oder Behörden, ihre Auftragnehmer oder Unterauftragnehmer betreffende Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen befürworten, empfehlen oder bevorzugen. Die Sichtweisen und Meinungen von Autoren, die in diesem Dokument zum Ausdruck gebracht werden, entsprechen nicht zwangsläufig den Sichtweisen und Meinungen der deutschen Bundesregierung oder anderer deutscher Behörden bzw. spiegeln nicht zwangsläufig deren Meinung wider.

# INHALTSVERZEICHNIS

Executive Summary	4
Abkürzungsverzeichnis	6
Glossar	8
<b>1. Einleitung und Überblick</b>	<b>19</b>
1.1 Das Förderprogramm SINTEG und die Ergebnissynthese im Überblick	19
1.2 Methodik der SINTEG-Ergebnissynthese	22
1.3 Einführung in das Synthesefeld 1 – Flexibilitätspotenziale und Sektorkopplung	27
1.4 Struktur dieses Berichtes	36
<b>2. Kategorie 1: Kleinteilige Flexibilitäten im Haushaltssektor</b>	<b>39</b>
2.1 Kategoriebeschreibung	39
2.2 Blaupause 1: Akquise von Flexibilitätspotenzialen in Haushalten	48
2.3 Blaupause 2: Hebung kleinteiliger Flexibilitäten in Gebäuden	54
2.3.1 Detail-Blaupause 2.1: Steuerung und Lastverhalten von kleinteiligen Flexibilitäten in Gebäuden	59
2.3.2 Detail-Blaupause 2.2: Digitaler Netzanschluss	64
2.3.3 Detail-Blaupause 2.3: Kommunikation über das Smart Meter Gateway	71
2.4 Blaupause 3: Flexibilitätspotenzial durch Quartierslösungen heben	75
2.4.1 Detail-Blaupause 3.1: Bestandsquartier: Flexibilisierung der Wärmeversorgung	82
2.4.2 Detail-Blaupause 3.2: Neubauquartier: Nahwärmenetz als Flexibilitätspotenzial	84
<b>3. Kategorie 2: Lastverschiebung und Sektorkopplung in Gewerbe und Industrie</b>	<b>88</b>
3.1 Kategoriebeschreibung	88
3.2 Blaupause 4: Akquise von Flexibilitätspotenzialen in Gewerbe und Industrie	92
3.3 Blaupause 5: Flexibilisierung von Querschnittstechnologien	94
3.4 Blaupause 6: Flexibilisierung kontinuierlicher Produktionsprozesse	98
3.5 Blaupause 7: Energiemanagement und Produktionsplanung	102
3.6 Blaupause 8: Integration flexibler PtH-Module	105
3.6.1 Detail-Blaupause 8.1: Flexible Wärme- und Kälteversorgung eines Gewerbeareals	108
3.7 Blaupause 9: Gesteuertes (Ent-)Laden elektrischer Fahrzeugflotten	111
<b>4. Kategorie 3: Sektorkopplung und Flexibilitäten in der öffentlichen Energieversorgung</b>	<b>115</b>
4.1 Kategoriebeschreibung	115
4.2 Blaupause 10: Elektrifizierung der Fernwärmeerzeugung	119
4.3 Blaupause 11: Flexibilisierung von KWK-Anlagen	123
4.4 Blaupause 12: Power-to-Gas	126
<b>5. Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen</b>	<b>130</b>
<b>6. Literaturverzeichnis</b>	<b>138</b>

# EXECUTIVE SUMMARY

Im Förderprogramm „**Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende**“ (SINTEG) wurden von 2016 bis 2021 in fünf großflächigen Modellregionen übertragbare Ansätze für eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung bei zeitweise 100 % Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien entwickelt. Die in den Schaufenstern **C/sells, DESIGNETZ, enera, NEW 4.0 und WindNODE** erprobten Lösungen wurden vom Teilprojekt Ergebnissynthese im SINTEG-Begleitvorhaben unter der Leitung von Guidehouse zusammengeführt. Dabei entstanden **Blaupausen in fünf Synthesefeldern**, die Anwenderinnen und Anwender in Wirtschaft, Technik und Wissenschaft sowie politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger ansprechen.

Der vorliegende Bericht zum Synthesefeld 1 „**Flexibilitätspotenziale und Sektorkopplung**“ beschreibt Blaupausen zur Akquise und Hebung von Flexibilitätspotenzialen in Haushalten, im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) sowie in der Industrie im Kontext des **wachsenden Flexibilitätsbedarfs im Stromsystem**. Der steigende Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung sowie der sinkende Beitrag (flexibler) konventioneller Erzeugung erhöhen den Bedarf für neue, bisher weitgehend ungenutzte Flexibilitätspotenziale auf der Nachfrageseite, im Bereich der Energiespeicher und in der Erzeugung.

Der **Erschließung neuer Flexibilitätsoptionen**, besonders jener auf der Nachfrageseite, stehen jedoch erhebliche Hürden entgegen. Aufgrund ihrer Kleinteiligkeit, Heterogenität und komplexen Kostenstrukturen bleiben sie heute häufig ungenutzt. Vor diesem Hintergrund erprobten die SINTEG-Schaufenster eine Reihe technologischer Flexibilitätsoptionen im Rahmen von **Demonstratoren und Feldtests**. Dabei wurden Praxiserfahrungen mit Lösungsansätzen in einer Bandbreite an Technologien und unterschiedlichen Sektoren gesammelt, die im vorliegenden Bericht in übertragbare Blaupausen eingeflossen sind.

Aus der Erfahrung der SINTEG-Projekte wird klar, dass Flexibilitätsoptionen mit der heutigen Technik aktuelle und absehbare zukünftige Flexibilitätsanforderungen des Stromsystems (bspw. an Verfügbarkeit, Einsatzhäufigkeit, Reaktionsgeschwindigkeit) weitgehend abdecken können. Die **technische Umsetzbarkeit der Flexibilisierung** bestehender und des Aufbaus neuer flexibler Anlagen wurde in den SINTEG-Demonstratoren vielfach gezeigt und Lösungen für die Überwindung verbleibender Herausforderungen bei der Einbindung und Steuerung von flexiblen Anlagen entwickelt.

Die **Mehrfachnutzung von (IT-)Infrastruktur** ist für die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Flexibilisierung wichtig. Mehrfachnutzung bezieht sich auf die Kombination von Flexibilitätsnutzung z. B. mit Effizienzsteigerung, Optimierung von Energieflüssen und Verbrauchsmonitoring. Dadurch lassen sich **Geschäftsmodelle für Flexibilität** zukünftig leichter abbilden. Darüber hinaus sind jedoch auch Anpassungen am regulatorischen Rahmen notwendig, um Anreize für die Flexibilitätsbereitstellung zu setzen.

Die Praxiserfahrungen der SINTEG-Projekte unterstreichen – unabhängig vom Sektor – die Bedeutung der **Bereitschaft zur Partizipation** der Flexibilitätsbereitsteller für die Akquise von Flexibilität. Frühzeitige und intensive Kommunikation mit relevanten Akteuren wie Gebäudebesitzerinnen und Gebäudebesitzern oder Verantwortlichen in industriellen Produktionsprozessen ist für diese entscheidend. Auch Geschäftsmodelle sollten unter Einbeziehung der zukünftigen Flexibilitätsanbieter entwickelt werden. Der Sorge vor Zielkonflikten,

beispielsweise zwischen Effizienz und Flexibilität, und Bedenken im Hinblick auf den Eingriff in Produktionsprozesse oder Wärmeversorgung kann auf diesem Weg begegnet werden.

Im Bereich der **kleinteiligen Flexibilitäten** aus Haushalten zeigten sich **Digitalisierung und Standardisierung** als entscheidende Erfolgsfaktoren für die Hebung und Anbindung von Flexibilität. Die Entwicklung und Umsetzung von Standards für Energiemanagementsysteme (EMS) und Komponenten sowie standardisierten Schnittstellen dienen dabei als Grundlage für eine wirtschaftlich sinnvolle Hebung von Flexibilitätspotenzialen. Die Ergebnisse der SINTEG-Projekte haben andererseits die Wichtigkeit eines schnellen und unkomplizierten Smart Meter Rollouts im Sinne der gesetzlichen Vorgaben deutlich gemacht, wenn Haushaltslasten wie Elektroautos und Wärmepumpen flexibilisiert werden sollen.

Die in SINTEG entwickelte vielversprechende Idee des „**digitalen Netzanschlusses**“ verschiebt den Fokus von einer Einzelbetrachtung von Anlagen hin zu Gebäuden als Gesamtsystemen, die aggregiert Flexibilität unter Berücksichtigung gebäudeinterner Optimierung zur Verfügung stellen können. Durch Aggregation können Flexibilitätspotenziale aus Haushalten einfacher gehoben und genutzt werden. Offene Umsetzungs- und Ausgestaltungsfragen des digitalen Netzanschlusses sollten in enger Zusammenarbeit zwischen Netzbetreibern, Technologieherstellern, Marktakteuren und der Politik adressiert werden.

Im **Industriebereich** generierten die SINTEG-Projekte Praxiserfahrungen in der Flexibilisierung von Querschnittstechnologien sowie kontinuierlichen Produktionsprozessen. Ein ausgereiftes, umfassendes **Lastmanagement** (Produktionsplanung, Verfügbarkeit elektrischer Leistung) und Energiemanagementsystem mit entsprechender Datenerfassung und Verbrauchsprognosen zeigte sich dabei zumindest vorteilhaft, zum Teil sogar als **Vorbedingung** für die Hebung von Flexibilitätspotenzialen und Sektorkopplung in Gewerbe- und Industriebetrieben.

**Bewusstsein** zu den vorhandenen Flexibilitätspotenzialen im eigenen Betrieb sowie zu konkreten Auswirkungen auf die Fahrweise von Anlagen erwies sich auch hier als wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche Akquise von Flexibilitäten. Das Herausstellen von Mehrfachnutzen (Digitalisierung im Rahmen von Industrie 4.0, Produktionsplanung und Nutzung von Flexibilität) kann auch im Industriebereich zur **Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit** von Flexibilisierung beitragen.

**Geschäftsmodelle** für die Hebung von Flexibilitäten im Industriebereich sowie im Bereich der Sektorkopplung in der Energieversorgung mittels Power-to-Gas (PtG) und Power-to-Heat (PtH) hängen stark vom **regulatorischen Rahmen** ab. Neben der Prüfung von Präqualifikationsanforderungen für die Regelleistungsbereitstellung für lastseitige Ressourcen spielt auch die Belastung von Strom durch Abgaben und Umlagen im Vergleich zu fossilen Energieträgern eine Rolle und bremst den Fortschritt der Sektorkopplung.

Aus den Ergebnissen der SINTEG-Projekte lassen sich **übertragbare Blaupausen** für die Erschließung neuer Flexibilitätspotenziale in Haushalten, Gewerbe und der Industrie ableiten. Die erfolgreiche Skalierung der in SINTEG erreichten Ergebnisse wird jedoch an vielen Stellen von der **Umsetzung der Handlungsempfehlungen** abhängen. Vereinzelt ist auch weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf gegeben, um die immer relevanter werdenden Flexibilitätspotenziale der in SINTEG untersuchten Sektoren heben zu können, Zielkonflikte zu weiteren Aspekten der Energiewende wie Energieeffizienz zu vermeiden und Synergien im Sinne der Sektorkopplung auf dem Weg zur Klimaneutralität zu nutzen.

# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>AIT</b>	Austrian Institute of Technology GmbH
<b>AP</b>	Arbeitspaket
<b>BHKW</b>	Blockheizkraftwerk
<b>BMWi</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie*
<b>BMWK</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz*
<b>BSI</b>	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
<b>CLS</b>	Controllable Local Systems
<b>dena</b>	Deutsche Energie-Agentur
<b>DR</b>	Demand Response
<b>DSM</b>	Demand Side Management (Lastmanagement)
<b>EE</b>	Erneuerbare Energie(n)
<b>EEG</b>	Erneuerbare-Energien-Gesetz
<b>EinsMan</b>	Einspeisemanagement
<b>EMS</b>	Energiemanagementsystem
<b>EMT</b>	Externer Marktteilnehmer
<b>ENKO</b>	Energie intelligent Koordinieren
<b>EUREF</b>	Europäisches Energieforum
<b>FNN</b>	Forum Netztechnik/Netzbetrieb
<b>FuE</b>	Forschung und Entwicklung
<b>GHD</b>	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
<b>GW</b>	Gigawatt
<b>GWA</b>	Gateway Administrator
<b>GWh</b>	Gigawattstunde
<b>IFF</b>	Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
<b>IKT</b>	Informations- und Kommunikationstechnologie
<b>iMSys</b>	Intelligentes Messsystem
<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>ISFH</b>	Institut für Solarenergieforschung Hameln
<b>KEMS</b>	Kommunales Energiemanagementsystem
<b>KI</b>	Künstliche Intelligenz
<b>KWK</b>	Kraft-Wärme-Kopplung
<b>KWKG</b>	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
<b>mME</b>	moderne Messeinrichtungen

<b>MW</b>	Megawatt
<b>MWh</b>	Megawattstunde
<b>NSH</b>	Nachtspeicherheizung
<b>OGE</b>	Open Grid Europe
<b>ÖPNV</b>	Öffentlicher Personen Nahverkehr
<b>PEM</b>	Proton Exchange Membran
<b>PKW</b>	Personenkraftwagen
<b>PLC</b>	Powerline Communications
<b>PtC</b>	Power-to-Cold
<b>PtG</b>	Power-to-Gas
<b>PtH</b>	Power-to-Heat
<b>PtX</b>	Power-to-X
<b>PV</b>	Photovoltaik
<b>RTU</b>	Remote Terminal Unit
<b>SG</b>	Smart Grid
<b>SINTEG</b>	Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende
<b>SLP</b>	Standardlastprofil
<b>SMGW</b>	Smart Meter Gateway
<b>SW</b>	Stadtwerk
<b>TAF</b>	Tarifanwendungsfall
<b>TAP</b>	Teilarbeitspaket
<b>TRL</b>	Technology Readiness Level (Technologiereifegrad)
<b>TWh</b>	Terawattstunde
<b>ÜNB</b>	Übertragungsnetzbetreiber
<b>UC</b>	Use Case
<b>VK</b>	Virtuelles Kraftwerk (auch: Virtual Power Plant, VPP)
<b>VNB</b>	Verteilnetzbetreiber
<b>vs.</b>	versus
<b>WEA</b>	Windenergieanlage(n)
<b>WP</b>	Wärmepumpe(n)

*\*Nach der Bundestagswahl 2021 wurde das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) in Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) umbenannt. Da wesentliche Teile der Arbeit der Ergebnissynthese noch in die Zeit des BMWi fallen, wird das Ministerium im nachfolgenden Text weiterhin als solches bezeichnet.*

# GLOSSAR

## **Aggregation**

Durch Aggregation werden Flexibilitäten von zumeist kleinen und mittleren Lasten und Erzeugern gebündelt. Die gemeinsame Vermarktung der aggregierten Anlagen ermöglicht den Marktzugang, selbst wenn die Anlagen die Anforderungen für eine alleinige Teilnahme am Markt nicht erfüllen. Aggregation wird durch die Rolle des Aggregators vorgenommen.

## **Akteur, Rolle**

Marktakteure sind Teilnehmer am Strommarkt, die eine (oder mehrere) Rollen einnehmen. Marktakteure sind insbesondere Stromerzeuger, Stromversorger, Energieversorgungsunternehmen, Netzbetreiber, Verbraucher. Markttrollen zeichnen sich aus durch bestimmte Verantwortlichkeiten und Aufgaben. Markttrollen sind bspw. Einsatzverantwortlicher oder Bilanzkreisverantwortlicher.

Unabhängig von diesen Definitionen kann Akteur auch weitere wichtige Interessengruppen innerhalb der Branche Energiewirtschaft bezeichnen, wie Regulator, Politik, Wissenschaft, Gesellschaft.

Im Kontext Digitalisierung (Synthesefeld 3): Ein Akteur modelliert eine menschliche oder nicht-menschliche Rolle, die mit einem System interagiert. Der Akteur kann dabei sowohl aktiv das System benutzen und dadurch Anwendungsfälle auslösen, als auch passiv vom System benutzt werden, um Anwendungsfälle realisieren zu können.

## **Akzeptanz**

Im Kontext der Schaufensterarbeit folgt Akzeptanz näherungsweise der Definition, „dass jemand (bzw. ein näher zu definierendes Akzeptanzsubjekt), etwas (Akzeptanzobjekt) innerhalb der jeweiligen Rahmen- oder Ausgangsbedingungen (Akzeptanzkontext) akzeptiert oder annimmt.“ Weiter gefasst betrachtet Akzeptanz im SINTEG-Kontext die soziale Dimension der Schaufensterarbeit, insbesondere hinsichtlich der gesellschaftsrelevanten Auswirkungen eines weitestgehend auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesystems, dessen fortschreitende Integration und Flexibilisierung und der damit verbundenen Digitalisierungsaspekte. Akzeptanz ist in diesem Zusammenhang als dynamisches Phänomen zu verstehen.

## **Anforderung**

Leistungsmerkmal, das die durch ein Produkt zu erfüllenden Kriterien vermittelt.

## **Anreizregulierung**

Stromnetze stellen natürliche Monopole dar. Damit die Netzbetreiber jedoch keine Monopolgewinne erzielen und die Netze so kostensparend wie möglich betrieben werden, werden die Stromnetzbetreiber durch die Anreizregulierung reguliert. Diese sichert die transparente Kalkulation von Entgelten für die Durchleitung von Strom und Gas sowie ausreichende Erlöse für den Betrieb der Netze.

## **Arbeitspreis**

Im Rahmen der Abrechnung von Bezugskosten für Strom wird zwischen einem Grund- bzw. Leistungs- und einem Arbeitspreis unterschieden. Anhand des Arbeitspreises werden die Kosten des bezogenen Stroms berechnet. Der Arbeitspreis wird in Cent pro Kilowattstunde angegeben. Der Arbeitspreis setzt sich aus Beschaffungskosten, Netzentgelten, Konzessionsabgaben, staatlichen Steuern und Abgaben zusammen.



Ebenso wird bei der Vergütung auf Regelenergie-/Regelleistungsmärkten und lokalen Flexibilitätsmärkten zwischen der Zahlung eines Leistungs- und Arbeitspreises unterschieden. Je nach Produkt kann die Vorhaltung von Leistung mit einem Leistungspreis in Cent pro Kilowatt und/oder die abgerufene Energie mit einem Arbeitspreis in Cent pro Kilowattstunde vergütet werden.

### **Architektur**

Die Architektur definiert die grundlegende organisatorische Struktur, verkörpert durch deren Komponenten, deren Beziehungen zueinander sowie zur Umwelt und den Prinzipien und Richtlinien, die das Design, die Fähigkeiten und die Entwicklung eines Systems im Laufe der Zeit leiten (übersetzt aus dem Standard ISO/IEC/IEE 42010:2011).

### **Ausgleichsenergie**

Der Begriff Ausgleichsenergie bezeichnet die Umlage der Abrufkosten der Regelenergie auf die verschiedenen Akteure im Stromnetz. Jeder Stromproduzent und jeder kommerzielle Stromabnehmer (bspw. Energieversorger oder Industrieunternehmen) muss die Strommenge prognostizieren, die von ihm am Folgetag ins Netz eingespeist (also verkauft) bzw. aus dem Netz entnommen (also verbraucht) wird. Dieses Prinzip der Bilanzkreise gewährleistet die Netzsicherheit in jeder Minute eines jeden Tages. Abweichungen von den Prognosen resultieren in einem Regelenergieeinsatz, welcher den Verursachern über die Ausgleichsenergie in Rechnung gestellt wird.

### **Beteiligung**

Beteiligung fasst im Rahmen der Schaufensterarbeit ganzheitlich die Verbindung der Ansätze Partizipation, Akzeptanz und Kommunikation & Öffentlichkeitsarbeit zusammen. Beteiligung hat dabei oft auch eine stark kommunikative Komponente bspw. im Rahmen von Einzelgesprächen mit Bürgerinnen und Bürgern. Der Begriff renzt sich dabei bewusst von der Terminologie der traditionellen Bürgerbeteiligung in politischen Prozessen ab und agiert als über die Energiewende hinausgehender Zweck.

### **Betriebsführung**

Unter der Betriebsführung wird die Steuerung und Überwachung des Stromnetzes durch die Netzbetreiber verstanden. Dazu zählt die Koordination der Systemdienstleistungen (Frequenzhaltung, Spannungshaltung, Netzwiederaufbau) sowie das Netzengpassmanagement.

### **Blaupause**

Blaupausen stellen im Kontext der SINTEG-Ergebnissynthese generalisierte, skalier- und übertragbare Lösungen dar, die aus den Ergebnissen der Schaufenster im SINTEG Förderprogramm abgeleitet werden. Sie zeigen beispielsweise Kombinationen von Anwendungsfällen, Technologien, Rahmenbedingungen und Geschäftsmodellen auf, die eine Übertragbarkeit und Skalierbarkeit der Ergebnisse der Schaufenster auf Bundesebene über den Rahmen von SINTEG und dessen Laufzeit hinaus beinhalten. Die Blaupausen richten sich damit an Fachexpertinnen und -experten. Blaupausen werden mit Übertragbarkeitsbedingungen versehen. Somit ergibt sich eine weite Definition, die auch mittel- und langfristig übertragbare Lösungen sowie auch Lösungen mit einem niedrigerem Technologiereifegrad beinhaltet, die weiterentwicklungsfähig sind.

### **Dekarbonisierung**

Umstellung von Gesellschafts- und Wirtschaftssystemen mit dem Ziel einer Abkehr von kohlenstoffhaltigen Energieträgern.

**Demand Response**

Damit wird die kurzfristige, aktive Veränderung der Verbraucherlast bezeichnet (zu Deutsch: Laststeuerung) als Reaktion auf ein externes Signal. Dieses Signal kann entweder ein Marktsignal sein (wie zeitabhängige Strompreise oder Anreizzahlungen) oder auf eine Aktivierung im Rahmen einer vertraglich zugesicherten Leistung folgen. Dabei kann die Last entweder zeitlich verschoben, also vorgezogen oder nachgelagert werden (Lastverschiebung) oder sie wird reduziert bzw. gänzlich ausgesetzt (Lastreduktion bzw. Lastabwurf) (in Anlehnung an Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung et al. (o.J.b) und Definition in der EU-Strombinnenmarkttrichtlinie 2019/944).

**Demand Side Management**

Demand Side Management wird als Oberbegriff verstanden, der sowohl Demand Response umfasst, als auch längerfristige, andauernde Verbrauchslaständerungen bspw. auf Grund von Effizienzmaßnahmen (siehe auch Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung et al. (o.J.c)).

**Demonstrator**

Demonstrationsprojekte die eine praktische Umsetzung der SINTEG Inhalte in Gebäuden, Liegenschaften, Stadtteilen, regionalen oder überregionalen Gebieten aufgebaut und live betrieben haben.

**Detail-Blaupause**

Blaupausen werden teilweise konkretisiert durch Detail-Blaupausen. Diese haben die gleichen Eigenschaften wie Blaupausen, bilden aber spezifische (technische) Umsetzungen einer Lösung ab. Verschiedene Detail-Blaupausen zeigen damit innerhalb einer Blaupause unterschiedliche Lösungsansätze auf.

**Digitalisierung**

Digitalisierung ist ein weitreichender Begriff von der Umwandlung von analogen Werten in digitale Formate bis hin zum digitalen Wandel der Gesellschaft und der Wirtschaft durch die zunehmende Nutzung digitaler Technologien. Im Energiesystem beinhaltet dies die Erfassung, Verarbeitung, Vernetzung, den Austausch sowie die Analyse von Daten über die verschiedenen Wertschöpfungsstufen der Energieversorgung hinweg.

**Einspeisemanagement (EinsMan)**

Um das Stromnetz zu stabilisieren, werden situationsabhängig, gezielte Einsenkungen der Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien zur Behebung von Netzengpässen von Netzbetreibern vorgenommen. Dies wird als Einspeisemanagement bezeichnet.

**Engpassmanagement**

Summe aller Maßnahmen des Netzbetreibers zur Vermeidung bzw. Behebung eines Engpasses (z. B. Auktionen, Redispatch, Countertrading, Market Splitting).

**EnOcean-Technologie**

EnOcean bezeichnet einen vor allem in der Überwachung und Steuerung von Gebäudetechnik genutzten herstellerübergreifenden Standard für batterielose Funksensorik.

**Feldtest**

Austesten einer Lösung (Technologien/Kopplung von Technologien oder Geschäftsmodellen) unter realen Bedingungen. Ein Feldtest kann einen experimentellen Charakter haben und im

Sinne eines Realexperiments Lösungen mit niedrigerem TRL in einer realen Einsatzumgebung im kleinen bzw. geschützten Rahmen austesten. In vielen Fällen wird jedoch bei einem Feldtest ein größerer Praxistest eines Prototypens im realen Einsatz und im Zusammenspiel mit mehreren Komponenten durchgeführt (TRL 6-7). Ein Feldtest kann mehrere Demonstratoren umfassen.

### **Flexibilität / Flexoption**

Flexibilität bezeichnet die Veränderung von Einspeisung oder Entnahme in Reaktion auf ein externes Signal – Preissignal oder Aktivierung – mit dem Ziel, eine Dienstleistung im Energiesystem zu erbringen. Elemente, die diese Fähigkeit besitzen, werden als Flexoptionen bezeichnet. Dazu zählen flexible Erzeuger, flexible Verbrauchsanlagen sowie Speicher.

### **Flexkataster/Meta-Flexkataster**

Im Schaufenster C/sells wurde der Begriff Flexibilitäts-Kataster (Flexkataster) geprägt. Er bezeichnet eine Datenbank mit Informationen über die verfügbare Flexibilität aller Flexibilitätsoptionen innerhalb einer Zelle, wie beispielsweise einzelnen Anlagen oder auch ganze Liegenschaften oder Quartiere. Das Flexkataster nutzt ein standardisiertes Modell für die Daten einer Flexibilität (Flexibilitätsdatenmodell), welches alle zur Beschreibung einer Flexibilität notwendigen Parameter enthält (bspw. Anlagenart, zur Verfügung stehende Flexibilität). Das Meta-Flexkataster stellt analog zum Flexkataster Informationen über die verfügbare Flexibilität im Energiesystem bereit, jedoch nicht für einzelne Anlagen, sondern auf der Ebene der Zellen aggregiert. Das Meta-Flexkataster enthält damit nur Informationen, die für den Austausch von Flexibilität zwischen verschiedenen Zellen notwendig sind (Haller, Langniß, Reuter & Spengler, 2020).

### **Human-Centered-Design**

Human-Centered-Design umfasst einen Ansatz, der darauf abzielt, Produkte oder Dienstleistungen grundsätzlich so nutzerinnen- und nutzerfreundlich wie möglich zu gestalten. Die Perspektive von Nutzerinnen und Nutzern wird dabei in allen Entwicklungsschritten in den Mittelpunkt gerückt, um so individuelle Eigenschaften und Verhaltensweisen von Nutzerinnen und Nutzern von Beginn an mit in die Entstehung eines Produktes einfließen zu lassen.

### **Infrastruktur**

Der notwendige technische Unterbau, der für das Funktionieren eines digitalisierten Energiesystems notwendig ist.

### **Infrastrukturzelle, Energiezelle, Zelle**

Im Schaufenster C/sells wurde der Begriff Zelle geprägt, um autonome Einheiten im Energiesystem zu beschreiben. Zellen stellen eine Organisationsebene dar, die vorhandene Steuerungsmechanismen und Märkte ergänzen. Zellen können einzelne Gebäude, aber auch ganze Liegenschaften, Areale, Quartiere, Städte oder Regionen sein. Über den Einsatz von Energieerzeugern und -verbrauchern in einer Zelle kann weitgehend autonom entschieden werden, wodurch Erzeugung und Verbrauch in der Zelle optimal abgestimmt werden können. Über die Grenzen der Zelle hinaus erfolgt auch eine Abstimmung zwischen verschiedenen Zellen, zur Optimierung des gesamten Energiesystems. Hierfür sind die Zellen über das Kommunikationsnetz miteinander verbunden und können über das Strom- und ggf. auch Wärme- und Gasnetz Energie und energienahe Dienstleistungen austauschen (Haller et al., 2020).

### **Innovationsgehalt**

Der Innovationsgehalt einer Blaupause beschreibt qualitativ den in SINTEG erreichten Neuigkeitsgehalt und damit verbundenen Erkenntnisgewinn in Relation zum bisher erreichten

Kenntnis- und Entwicklungsstand. Dabei wird der heutige Kenntnis-/ Entwicklungsstand in Deutschland berücksichtigt. Ein Teilaspekt des Innovationsgehaltes ist die Erhöhung des Technologiereifegrades einer Lösung durch Forschung, Entwicklung, Demonstration und praktischen Einsatz.

### **Interoperabilität**

Interoperabilität ist die „Fähigkeit unterschiedlicher Systeme, möglichst nahtlos zusammenzuarbeiten“ (Definition nach dem Standard ISO/IEC/IEEE 24765:2017). Im Bereich von SINTEG führt die zunehmende Vernetzung des Energiesystems zu einer Vielzahl von Akteuren, Systemen und Geräten, die miteinander kommunizieren und interagieren müssen. Die Sicherherstellung von Interoperabilität ist daher ein Schlüsselfaktor im vernetzten Energiesystem.

### **Komplexität**

Grad der Abhängigkeiten und Vernetzungen in der Struktur eines Systems. Mit zunehmender Komplexität wird die Struktur eines Systems aufgrund der zahlreichen Komponenten, Interaktionen sowie Wechselwirkungen zwischen den Komponenten schwerer zu verstehen. Im Kontext des Systems Engineering wird die Komplexität in der Regel innerhalb der drei Unterkategorien "Strukturelle Komplexität", "Dynamische Komplexität" und "Sozialpolitische Komplexität" unterschieden, die unterschiedliche Perspektiven auf die verschiedenen Dimensionen darstellen.

### **Konsortium**

Ein Konsortium ist ein Zusammenschluss mehrerer rechtlich und wirtschaftlich selbstständig bleibender Unternehmen zur zeitlich begrenzten Durchführung eines vereinbarten Zwecks. Im Rahmen des SINTEG Programms wurden fünf Konsortien gebildet, in denen zusammen mehr als 300 Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft in unterschiedlichen Formen in sogenannten „Schaufenstern“, zusammenarbeiteten.

### **Lastverschiebung/ Lastverschiebepotenzial**

Als flexibilisierte Steuerungsmaßnahme ist die Lastverschiebung vornehmlich in industriellen Prozessen vorzufinden. Als Lastverschiebung kann die gesteuerte Erhöhung oder Minderung der Last bezeichnet werden. Bei der Lastverschiebung wird im Gegensatz zum Lastabwurf in Summe nicht weniger Strom verbraucht als eigentlich geplant – der Strom wird nur zu anderen Zeiten als geplant verbraucht (siehe auch Definition Demand Response und Demand Side Management).

### **Leistungspreis**

Der Leistungspreis wird für die maximal genutzte Leistung für einen Netzanschluss von Industrie- und Geschäftskunden berechnet. Damit wird die Bereitstellung des Netzanschlusses mit den damit verbundenen Systemdienstleistungen (z.B. Regelenergie) abgedeckt. Bei Haushalts- und Gewerbekunden entspricht der Leistungspreis dem Grundpreis.

Auf Regelleistungsmärkten und lokalen Flexibilitätsmärkten kann je nach Ausgestaltung ein Preis für die Vorhaltung einer Leistung gezahlt werden, neben der möglichen Zahlung eines Arbeitspreises.

### **(Lokale) Flexibilitätsplattform/Flexplattform/Flexmarkt**

Hierbei handelt es sich um marktlich organisierte Plattformen für den Handel von netzdienlicher Flexibilität mit dem Ziel, Netzengpässe auf Verteil- und Übertragungsnetzebene zu verhindern oder zu lösen. Da Netzengpässe lokal auftreten, spielt im Gegensatz zu dem zonalen Markt die Verortung einer Anlage eine entscheidende Rolle. Damit ist die Anzahl der Markt-

teilnehmer auf Anbieterseite auf diejenigen begrenzt, die einen Einfluss auf einen Netzengpass haben können. Auf der Nachfrageseite steht entsprechend der jeweilige Netzbetreiber, in dessen Netz ein Netzengpass auftritt.

### **Lösung**

Als Lösung wird eine Kombination aus Software- und/oder Hardwarekomponenten für die Bewältigung einer bestimmten, konkreten Aufgabenstellung verstanden. Unternehmen, die derartige Gesamtlösungen für Kunden vertreiben nennt man Lösungsanbieter. Lösungsanbieter, die Software und/oder Hardware nicht selber herstellen, sondern Produkte Dritter vertreiben und für den Kunden anpassen, nennt man auch Systemintegratoren.

### **Marktdienlichkeit**

Der Begriff **arktdienlichkeit** wird in zonalen Preissystemen für Maßnahmen verwendet, die zum Ausgleich der Systembilanz dienen. In dieser Studie werden **Netzdienlichkeit** (im engeren Sinne) und **Marktdienlichkeit** als **Systemdienlichkeit** verstanden.

### **M-Bus**

M-Bus (oder auch Meter-Bus) ist eine technische Norm, die Regeln zur Übertragung von Zählerdaten, z.B. den Verbrauch von Strom in Stromzählern, aber auch Gas, Wärme, etc., definiert.

### **Netzbetriebsmittel**

Netzbetriebsmittel sind die verschiedenen Elemente eines Stromnetzes. Zu den Netzbetriebsmitteln gehören Freileitungen, Kabel, Schaltanlagen und Netzstation, die den Übergang zwischen zwei Spannungsebenen bilden, sowie Schutz- und Leittechnik (nach Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE [VDE FNN] (2022)).

### **Netzengpass**

In einzelnen Regionen des Stromnetzes kann es zu zeitlich befristeten Engpässen kommen, wenn die Stromeinspeisungen die Transportkapazität der betroffenen Netzkomponenten überschreiten. In der Folge werden die von einem Engpass betroffenen Erzeugungsanlagen zum Schutz des Netzes in ihrer Einspeiseleistung gedrosselt. Dadurch vermeiden Netzbetreiber Versorgungsausfälle und Beschädigungen der Netzanlagen, siehe Einspeisemanagement.

### **Netzdienlichkeit**

Netzdienlichkeit (im engeren Sinne liegt) vor, wenn der Netznutzer seine Flexibilität nach Vorgabe des Netzbetreibers einsetzt, um eine ohne sein Verhalten bereits existierende oder drohende Netzüberlastung abzumildern. Hier erfolgt ein direkter Eingriff in das Verhalten des Netznutzers durch Vorgabe einer zu erbringenden positiven oder negativen Mindestleistung. Netzdienlichkeit liegt vor, wenn ein Beitrag zur Netzstabilisierung, wie z. B. Spannungshaltung oder Engpassmanagement, geleistet wird. In den SINTEG Syntheseberichten wird Netzdienlichkeit weiter gefasst und als Systemdienlichkeit verstanden (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik [BSI] & Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi], 2021).

### **Partizipation**

Partizipation wird schaufensterübergreifend als die aktive Teilhabe verschiedener Zielgruppen bzw. Nutzerinnen- und Nutzergruppen über eine gezielte Einbindung in die Aktivitäten der Schaufenster verstanden. Im Kontext des SINTEG-Programms wurde Partizipation entweder in Anlehnung an den partizipativen Forschungsansatz als probates Mittel zur Akzeptanzförderung oder als gesellschaftlicher Beitrag zur Bekämpfung des Klimawandels verstanden.

**Peer-to-Peer-Markt**

Der Peer-to-Peer-Markt beschreibt einen Marktplatz, auf dem ein bilateraler, horizontaler Energiehandel zwischen zwei Gleichgestellten (sog. „Peers“) stattfindet. Auf lokaler Ebene stellen die Peers Konsumenten oder Prosumer dar, die auf einer elektronischen Plattform direkt miteinander handeln können. Ein solcher Marktplatz im Consumer-to-Consumer-Bereich ist im derzeitigen Energiesystem noch nicht üblich. Im SINTEG Kontext wird unter dem Begriff – ebenfalls der direkte Handel zwischen Unternehmen im Business-to-Business-Bereich mit eingeschlossen (in Anlehnung an Forschungsstelle für Energiewirtschaft FfE] (2018) und BNetzA (2019)).

**Pool**

Pool bezeichnet im vorliegenden Kontext eine Gruppe von aggregierten Anlagen (siehe Aggregation).

**Präqualifikation**

Über das Präqualifikationsverfahren liefern potenzielle Regelleistungs-Anbieter den Nachweis, dass sie die zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit erforderlichen Anforderungen an die Erbringung der unterschiedlichen Regelleistungsarten erfüllen. Die Präqualifikation stellt sicher, dass neben technischer Kompetenz auch eine ordnungsgemäße Erbringung der Regelleistung unter betrieblichen Bedingungen gewährleistet ist.

**Produkt**

Produkt beschreibt die auf einem Markt gehandelten Güter oder Dienstleistungen. Auf Energiemärkten (bspw. Energy Only Markt, Flexplattform) werden im Regelfall standardisierte Produkte gehandelt. Diese Produkte werden durch zahlreiche Parameter definiert. Wichtige Parameter für Produkte auf Flexplattformen sind bspw. der Erbringungszeitraum, die Energiemenge, die Höhe der (bereitgestellten) Leistung sowie der Zeitrahmen für Handel und die Abrechnungsmodalitäten.

**Prosument**

Prosument (englisch Prosumer) ist die Verbindung der Rollen des Energieerzeugers und des Energienutzers. Beispielsweise werden Haushaltskunden mit eigenen Erzeugungsanlagen, wie PV-Anlagen, als Prosumenten bezeichnet.

**Reallabor**

Der Begriff des Reallabors wird im Allgemeinen für die Beschreibung unterschiedlicher Konzepte verwendet, wie z.B. Living Labs oder Demonstrationszellen. In Deutschland wurde dieser Begriff stark durch das Wuppertal Institut geprägt. Dabei werden die aktive Miteinbeziehung der Zivilbevölkerung in den Prozess der Wissensproduktion sowie das Zusammenspiel zwischen Nutzer und Innovationen in einer realweltlichen Umgebung als die zwei wesentlichen Charakteristika identifiziert. Im Kontext von SINTEG bezeichnen Reallabore zusätzlich eine Art von Experimentierraum für die Umsetzung von technologischen und systemischen Innovationen für die Energiewende. Hierfür hat die Bundesregierung die SINTEG-Verordnung beschlossen. Durch die Verordnung erhielten die Schaufenster die Möglichkeit, neue Technologien, Verfahren und Geschäftsmodelle im Rahmen von Reallaboren zu testen, die mit dem bestehenden Rechts- und Regulierungsrahmen nur bedingt vereinbar sind.

**Redispatch**

Redispatch steht für eine Abänderung des vorgesehenen Kraftwerkseinsatzes von Erzeugungsanlagen und Speichern zur Vermeidung von Netzengpässen. Netzbetreiber nutzen

Redispatch für die Sicherung der Netzstabilität. Der Prozess basiert auf der Lieferung von Stamm- und Bewegungsdaten, auf deren Grundlage eine Netzengpassbewertung sowie Ableitung und Abruf von Redispatch-Maßnahmen durchgeführt werden (BSI & BMWi, 2021).

### **Regulatorik**

Unter Regulatorik versteht man die Gesamtheit staatlicher Rechtsnormen, die das Marktgeschehen und das Verhalten der Marktakteure in einem bestimmten Bereich (z.B. der Energiewirtschaft) beeinflussen.

### **Residuallast**

Diese beschreibt die verbleibende Systemlast abzüglich der Stromerzeugung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien zu jeder Stunde eines Jahres. Daraus ergibt sich die Leistung, die durch regelbare Stromerzeugungseinheiten, Speicher oder flexible Verbraucher – also verschiedene Flexibilitätsoptionen – gedeckt werden muss. Hierbei kann es künftig sowohl zu Defiziten (=positive Residuallast), als auch gehäuft zu Überschüssen (=negative Residuallast) kommen, bei denen die Einspeisung aus erneuerbaren Energien die Last übersteigt.

### **Sektorenkopplung/Sektorkopplung**

Der Begriff Sektorenkopplung bezeichnet die Verbindung von Verbrauchssektoren, wie bspw. dem Verkehrs- und Stromsektor. Sektorenkopplung trägt zu den Zielen der Energiewende bei, wenn Strom aus erneuerbaren Energien energieeffizient eingesetzt wird und dadurch fossile Energieträger ersetzt werden. Neben Effizienzsteigerungen und der direkten Nutzung von erneuerbaren Energien ist Sektorenkopplung damit ein zusätzlicher Weg zur Dekarbonisierung. Beispiele sind im Verkehrsbereich die Elektromobilität oder im Wärmebereich Elektrodenkessel.

### **Sensorik und Aktorik im Netzbetrieb**

Sensorik im Stromnetz ermöglicht die Erfassung des Netzzustandes, bspw. durch Messgeräte, die Strom, Spannung oder Phasenwinkel erfassen. Aktorik im Stromnetz ermöglicht die (Fern-) Steuerung von Netzbetriebsmitteln, Erzeugern und Verbrauchern.

### **Skalierbarkeit**

Skalierbarkeit einer (Detail-) Blaupause beschreibt ihre Fähigkeit zum Einsatz in einem größeren Umfang. Skalierbarkeit hat eine technische, eine ökonomische und eine regulatorische Dimension sowie eine Akzeptanzdimension. Die technische Skalierbarkeit der Lösungen ist vor allem von Digitalisierungsaspekten (IT-Infrastruktur, Modularität und Anpassungsfähigkeit der Lösung, nutzbare Interfaces) geprägt, aber auch von den generell vorherrschenden lokalen Bedingungen wie der Verfügbarkeit von EE oder der vorhandenen Infrastruktur (Strom-, Gas-, Kommunikationsnetz). Die ökonomische Skalierbarkeit wird geprägt durch das Geschäftsmodell und Skaleneffekte beim Technologieeinsatz. Regulatorik beeinflusst Skalierbarkeit durch Restriktionen und Auflagen.

### **Smart Meter Gateway (SMGW)**

Die zentrale Kommunikationseinheit in der Infrastruktur eines intelligenten Messsystems (BSI, 2021).

### **Smart Meter Rollout**

Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) hat am 31.01.2020 die „technische Möglichkeit zum Einbau intelligenter Messsysteme nach § 30 Messstellenbetriebs-

gesetz (MsbG)“ festgestellt, auch Markterklärung genannt. Damit beginnt die gesetzliche Verpflichtung zum Rollout intelligenter Messsysteme zum 24.02.2020 durch die zuständigen Messstellenbetreiber (BSI, o.J.).

### **Spotmarkt**

Am Spotmarkt der Strombörse werden kurzfristige Stromlieferungen gehandelt. Die kleinste gehandelte Stromzeiteinheit liegt bei 15 Minuten.

### **Standardisierung**

Standardisierung oder Normung ist der Prozess der Entwicklung und Implementierung technischer Standards auf der Grundlage eines Konsenses verschiedener Parteien, zu denen Unternehmen, Anwender, Interessengruppen, Normungsorganisationen und Regierungen gehören. Standardisierung kann dazu beitragen, Kompatibilität, Interoperabilität, Sicherheit, Wiederholbarkeit oder Qualität zu maximieren. Sie kann auch die Kommerzialisierung von ehemals kundenspezifischen Prozessen erleichtern.

### **Standardlastprofil**

Anstatt einer Messung des realen Lastverlaufs wird das zeitliche Verbrauchsverhalten (Standardlastprofil) bei Privatkunden und Gewerbekunden durch normierte kundengruppenbezogene oder branchenbezogene Verbrauchsmuster ersetzt. Diese Kunden werden daher auch als Standardlastprofilkunden (SLP-Kunden) bezeichnet. Die Verteilnetzbetreiber unterteilen die SLP-Kunden, die in ihrem Netzgebiet angeschlossen sind, in verschiedene Kundengruppen und legen fest, welche Zeitreihen als repräsentative Lastprofile für die jeweilige Kundengruppe herangezogen werden (nach Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung et al. (o.J.d)).

### **System / System of Systems und konstituierendes System**

Individuelle Systeme und Systems of Systems entsprechen der Definition eines Systems, in dem alles aus Teilen, Beziehungen und einem Ganzen besteht, das größer ist als die Summe seiner Teile.

System of Systems (SoS): Eine Gruppe von Systemen oder Systemelementen, die zusammenwirken, um eine einzigartige Fähigkeit bereitzustellen, die keines der konstituierenden Systeme allein erreichen kann.

Hinweis: Systemelemente können notwendig sein, um die Interaktion der konstituierenden Systeme im System of Systems zu erleichtern.

Konstituierende Systeme: Konstituierende Systeme können Teil eines oder mehrerer System of Systems sein.

Hinweis: Jedes konstituierende System ist für sich genommen ein nützliches System mit eigenen Entwicklungs- und Verwaltungszielen sowie eigenen Ressourcen, interagiert aber innerhalb des System of Systems, um die einzigartigen Fähigkeiten des System of Systems zu realisieren (Übersetzung aus dem Standard ISO/IEC/IEEE 21839:2019).

### **Systemdienlichkeit**

Im Kontext der SINTEG Ergebnissynthese wird der Begriff Systemdienlichkeit als Oberbegriff von Netzdienlichkeit im engeren Sinne und Marktdienlichkeit verstanden. In anderen Definitionen wird Systemdienlichkeit nicht als übergeordneter Begriff sondern synonym mit Marktdienlichkeit (Ausgleich der Systembilanz) verstanden (Schulze, Müller, Faller, Duschl & Wirtz, 2021).

### **Tarifanwendungsfall (TAF)**

Tarifanwendungsfälle beschreiben die Funktionalitäten, die ein Smart Meter Gateway reali-



sieren können muss. Sie werden vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) festgelegt, um Standardprozesse im Rahmen der Verarbeitung von Messdaten zu gewährleisten, z. B. zeitvariable Tarife oder Zählerstandsgangmessung.

### **Technology Readiness Level (TRL)**

Das Technology Readiness Level (auf Deutsch: Technologiereifegrad) wird genutzt um die technische Reife einer Technologie während ihrer Entwicklung zu beschreiben. Im Kontext der SINTEG Ergebnissynthese wird der wissenschaftliche-technische Entwicklungsstand einer Blaupause auf einer Stufe von eins bis neun eingeordnet. Die Definition der Stufen erfolgt in Anlehnung an BMWi (2018).

### **Teilhabe**

„Teilhabe“ wird von den SINTEG-Schaufenstern weitgehend analog zum Begriff Partizipation verwendet.

### **Übertragbarkeit**

Übertragbarkeit einer (Detail-) Blaupause beschreibt ihre Fähigkeit zum Einsatz in einem anderen (geographischen) Kontext. Sie hat eine technische, eine ökonomische und eine regulatorische Dimension sowie eine Akzeptanzdimension. Die technische Übertragbarkeit der Lösungen ist vor allem von Digitalisierungsaspekten (Standardisierung, Interoperabilität) geprägt, aber auch von lokalen Bedingungen wie der Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien oder der vorhandenen Infrastruktur (Strom-, Gas-, Kommunikationsnetz). Die ökonomische Übertragbarkeit beschreibt das Geschäftsmodell zur Finanzierung der Lösung, welches zumeist beeinflusst wird von den Preisen auf Energiemärkten inkl. Nebenkosten, den Kosten der eingesetzten Technologien sowie der Regulatorik. Letztere beeinflusst bspw. Strompreisbestandteile, Unbundlingvorschriften, Anreizstruktur für Netzbetreiber oder Datenschutzvorgaben. Die Akzeptanz ist insbesondere für Blaupausen relevant, die den Endnutzersektor betreffen.

### **Use Case (Anwendungsfall)**

Spezifikation einer Menge von Aktionen, die von einem System ausgeführt werden und ein beobachtbares Ergebnis liefern, das typischerweise für einen oder mehrere Akteure oder andere Stakeholder des Systems von Wert ist. (Quelle: Übersetzt aus SG-CG/M490/E:2012-12) Business Use Cases beschreiben, wie Business-Rollen interagieren, um einen Geschäftsprozess auszuführen. Diese Prozesse werden von Services, d. h. Geschäftsvorfällen, abgeleitet, die zuvor identifiziert wurden.

System Use Cases beschreiben, wie System- und/oder Business-Rollen eines bestimmten Systems interagieren, um eine Smart Grid-Funktion auszuführen, die erforderlich ist, um die in Business Use Cases beschriebenen Geschäftsprozesse zu ermöglichen / zu erleichtern. Ihr Zweck ist es, die Ausführung dieser Prozesse aus der Sicht des Informationssystems zu beschreiben (Übersetzung aus Standard IEC 62913-1).

### **Volatile Stromerzeugung**

Die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien (insbesondere Sonne und Wind) ist insofern volatil als dass sie, abhängig von der jeweiligen Witterung, Jahres- und Tageszeit, dementsprechend Schwankungen unterworfen ist.

# 1

---

## Einleitung und Überblick

# EINLEITUNG UND ÜBERBLICK

*Mit dem SINTEG-Förderprogramm ermöglichte das BMWi die Durchführung eines großflächigen Praxistests für die Energieversorgung der Zukunft und die Digitalisierung des Energiesektors. In fünf Modellregionen, Schaufenster genannt, wurden von 2016 bis 2021 neue und innovative Lösungen für eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung bei hohen Anteilen fluktuierender Stromerzeugung aus Wind- und Sonnenenergie entwickelt. Die Schaufenster nutzten digitale Technologien, um die technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen der Energiewende zu meistern. Das Teilprojekt Ergebnissynthese im SINTEG-Begleitvorhaben unter der Leitung von Guidehouse führt diese Lösungen zusammen.*

Ziel der das Programm seit Ende 2019 begleitenden SINTEG-Ergebnissynthese ist es, Erkenntnisse aus den fünf Schaufenstern zu aggregieren, einzuordnen, ihre Übertragbarkeit zu bewerten und Ergebnisse in Blaupausen zu überführen. Blaupausen stellen damit generalisierte Lösungen dar, die im Rahmen der definierten Gültigkeitsbedingungen auch über die zeitlich und räumlich begrenzten SINTEG-Reallabore hinweg für ganz Deutschland anwendbar sind bzw. sein werden.

Das von Guidehouse geleitete Konsortium der Ergebnissynthese erarbeitete unter enger Einbeziehung von Schaufensterexpertinnen und -experten fünf Syntheseberichte in folgenden Synthesefeldern: Flexibilität und Sektorkopplung (Bearbeitung: Guidehouse), netzdienliche Flexibilitätsmechanismen (Guidehouse und RE-xpertise), Digitalisierung (OFFIS), Pioniere für Reallabore (AIT) und Partizipation und Akzeptanz (ifok und Wuppertal Institut). Blaupausen stellen einen Hauptbestandteil der Syntheseberichte dar und werden ergänzt durch Handlungsempfehlungen und Hinweise zu zukünftigem Forschungsbedarf.

Der vorliegende Synthesebericht im Synthesefeld 1 (Flexibilitätspotenziale und Sektorkopplung) gibt zunächst einen Überblick über das SINTEG-Förderprogramm sowie den Prozess der Ergebnissynthese. Anschließend folgt der Kern des Berichtes, die Darstellung der Blaupausen in diesem Synthesefeld. Die Blaupausen werden in den Kapiteln 2 bis 4 thematisch gegliedert dargestellt. Abschließend folgt in Kapitel 5 eine Zusammenfassung des Berichts und die Darstellung übergreifender Handlungsempfehlungen.

## 1.1 Das Förderprogramm SINTEG und die Ergebnissynthese im Überblick

Die Verwirklichung des Ziels der Treibhausgasneutralität Deutschlands bis 2045 erfordert neue Lösungen für eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung. Ziel des Förderprogrammes **„Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“**, kurz **SINTEG**, war es daher, technische, wirtschaftliche und regulatorische Herausforderungen zu adressieren, um als Zwischenschritt auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität eine zeitweise Versorgung aus 100 % erneuerbaren Energien im Stromsystem realisieren zu können.



Abbildung 1: Die SINTEG-Schaufenster umfassen verschiedene Regionen in Deutschland (Quelle: BMWi)

Hierfür arbeiteten in den fünf Schaufenstern mehr als 300 Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft zusammen. Der in SINTEG genutzte transdisziplinäre Reallaboransatz ermöglichte dabei eine Vernetzung nicht nur über verschiedene Disziplinen, sondern auch über die Grenzen von Wissenschaft und Praxis hinweg. So wurden systemische Lösungen für eine zukünftige

Energieversorgung mit einem Fokus auf die Digitalisierung des Energiesystems entwickelt und demonstriert. Über die Projektlaufzeit von mehr als vier Jahren (Ende der Laufzeit in 03/2021) wurden Mittel in Höhe von über 500 Millionen Euro investiert, davon 200 Millionen Euro Fördergelder des BMWi.

Die fünf Schaufenster, in denen anwendungsorientierte Entwicklungen vorangetrieben und unter realen Bedingungen getestet wurden, umfassen bundesweit Regionen mit ihren eigenen jeweiligen Voraussetzungen und Herausforderungen:<sup>1</sup>

- **„C/sells: Großflächiges Schaufenster im Solarbogen Süddeutschland“:** C/sells gründete auf dem Konzept der Energiezellen – einzelnen oder gebündelten Haushalten und Unternehmen, die gemeinsam Energie produzieren und bereitstellen. Das Projekt hat die zelluläre Organisation weiterentwickelt und erfolgreich demonstriert, also die Koordination autonomer Einheiten in einem überregionalen Verbund. Wesentliche Instrumente dafür waren eine digitale Infrastruktur als Basis, die intelligente Organisation des Stromnetzes, die Verknüpfung von Netz und Markt auf Flexibilitätsplattformen und neue Optionen für den Energiehandel.
- **„DESIGNNETZ: Baukasten Energiewende – Von Einzellösungen zum effizienten System der Zukunft“:** Im Schaufenster DESIGNNETZ wurden in den drei Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Saarland Lösungen für das dezentrale Stromnetz der Zukunft entwickelt, in dem mit einem Minimum an Netzausbau erneuerbare Energien in das Energiesystem integriert werden können. Zentrales Element hierfür war die Verknüpfung der lokalen, regionalen und überregionalen Ebene.
- **„enera: Der nächste große Schritt der Energiewende“:** enera entwickelte Antworten darauf, wie sich Stromnetze und Märkte, Speicher-, Kommunikations- und Verbrauchstechnologien mit Hilfe digitaler Innovationen im nord-westlichen Niedersachsen intelligent kombinieren lassen. In den Schwerpunkten Netz, Markt und Daten wurden Lösungen entwickelt, u. a. um den Netzbetrieb zu stabilisieren und das Energiesystem zu flexibilisieren.
- **„NEW 4.0: Norddeutsche EnergieWende“:** Das Schaufenster NEW 4.0 forcierte die norddeutsche Energiewende mit digitalen Technologien. In Feldversuchen wurde demonstriert, wie Windstrom besser integriert werden kann, beispielsweise durch die Erhöhung der

<sup>1</sup> Weiterführende Informationen zu den einzelnen Schaufenstern sowie ein Verweis auf die jeweiligen Ergebnisse dieser findet sich auf [www.sinteg.de](http://www.sinteg.de).

Stromexporte in andere Regionen, die Flexibilisierung industrieller und privater Stromverbraucher, den systemstützenden Einsatz elektrischer und thermischer Speicher oder auch durch den Einsatz von Strom zur Erzeugung von Wärme und synthetischen Gasen.

- **„WindNODE: Das Schaufenster für intelligente Energie aus dem Nordosten Deutschlands“:** Das Schaufenster WindNODE arbeitete an einem intelligenten Energienetz, das Erzeugung und Verbrauch ins Gleichgewicht bringt. Dabei wurden energie- und informationstechnische, wirtschaftliche, rechtliche und gesellschaftliche Perspektiven eng miteinander verknüpft. Der Fokus galt der Hebung von Flexibilitäten, dem Gedanken „Nutzen statt Abregeln“.

Wenngleich in vielen Fällen ähnliche Fragestellungen durch die Schaufenster adressiert wurden, spiegeln die Lösungen jeweils die Schaufenster-spezifischen Voraussetzungen und Erfahrungen wider. Ziel der **SINTEG-Ergebnissynthese** (siehe Abbildung 2) war es daher, die aggregierten Erkenntnisse der Schaufenster in Blaupausen zu überführen. Eine ausführlichere Darstellung des Prozesses der Ergebnissynthese sowie eine Definition der Blaupausen findet sich in Abschnitt 1.2.

Im Rahmen von fünf thematischen **Syntheseberichten** wurden die Blaupausen in die jeweiligen Themenfelder eingeordnet und Zusammenhänge zwischen den Blaupausen aufgezeigt. Die Syntheseberichte richten sich damit vorrangig an Branchenakteure, die sich mit den in SINTEG adressierten Herausforderungen konfrontiert sehen und die Blaupausen als Handlungshilfen für Nachahmung und Skalierung heranziehen können. Von der Lektüre profitieren weiterhin auch Akteure aus Forschung und Entwicklung, da in den Berichten bestehende Forschungs- und Entwicklungsbedarfe herausgearbeitet werden. Nicht zuletzt richten sich die Syntheseberichte auch an Gesetzgeber und Regulator, durch die Ableitung und Darstellung übergreifender Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen aus den Ergebnissen der SINTEG-Schaufenster

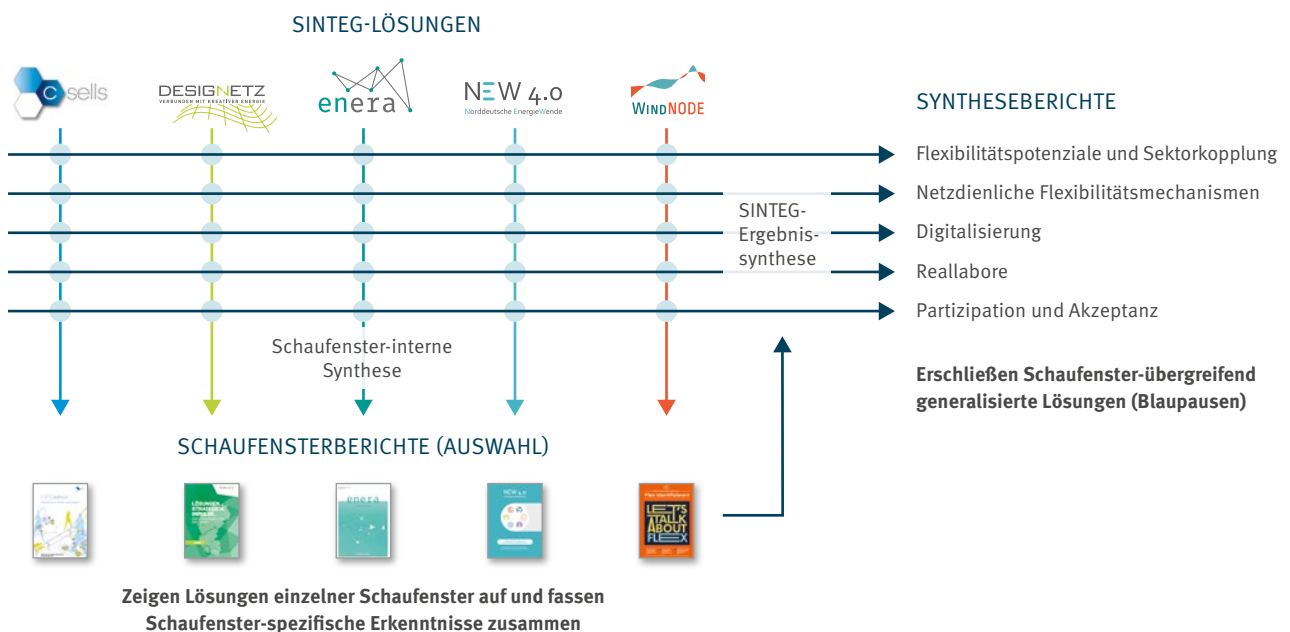


Abbildung 2: Zusammenführung der Ergebnisse des SINTEG-Programmes in Schaufensterberichten und Schaufenster-übergreifenden Syntheseberichten

Die fünf **Synthesfelder** werden durch folgende inhaltliche Schwerpunkte geprägt:

1. **Flexibilitätpotenziale und Sektorkopplung:** Das Synthesfeld betrachtet die in SINTEG untersuchte und umgesetzte Flexibilisierung des Energiesystems von der Identifizierung von Flexibilitätpotenzialen zu deren Erschließung und technischen Umsetzung auf Erzeugungs- und Nachfrageseite in unterschiedlichen Sektoren. Für vielfältige Technologien aus den Bereichen Haushalte und Quartiere, GHD, Industrie und dem Energiesektor werden Erkenntnisse zur gesamten Wertschöpfungskette der Flexibilisierung zusammengetragen.
2. **Netzdienliche Flexibilitätsmechanismen:** Der Einsatz von Flexoptionen bietet vielfältige Vorteile für einen effizienten und effektiven Systembetrieb – und stellte einen weiteren Forschungsschwerpunkt der SINTEG-Schaufenster dar. Im Fokus dieses Synthesfeldes stehen daher Mechanismen, die den operativen Einsatz der Flexibilitäten für verschiedene Anwendungszwecke koordinieren: Mechanismen für den Flexibilitäts Einsatz für das Netzengpassmanagement auf Übertragungs- und Verteilungsebene, für den Systembilanzausgleich und für die Bereitstellung und den Einsatz von Systemdienstleistungen.
3. **Digitalisierung:** Methoden und Ansätze der Digitalisierung spielten eine entscheidende Rolle für die Umsetzung der in SINTEG entwickelten und getesteten Lösungen. Dementsprechend wird in diesem Synthesfeld die Funktion der Digitalisierung als Enabler herausgearbeitet und basierend auf den Erkenntnissen und Arbeiten der Schaufenster ein Fokus auf die respektive Architekturentwicklung gelegt. Weitere Schwerpunkte sind die Querschnittsthemen IT-Sicherheit sowie die Standardisierung und Interoperabilität von digitalen Lösungen.
4. **Pionier für Reallabore:** Der in SINTEG genutzte Reallaboransatz, um innovative Lösungen in der Praxis zu testen, ist Gegenstand dieses Synthesfeldes. Im Mittelpunkt der Analyse stehen die technischen, organisatorischen und rechtlichen Aspekte von Reallaboren. Im Einzelnen werden die Erfahrungen und Erkenntnisse anhand folgender Themen herausgearbeitet: die Rolle von Reallaboren für die Validierung neuer Ansätze, die Innovationsförderung in realen Umgebungen, die Zusammenarbeit in großen, heterogenen Konsortien, die Möglichkeit zur systemischen Innovation, das regulatorische Lernen im Reallabor und die Übertragbarkeit der Lösungen.
5. **Partizipation und Akzeptanz:** Die Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern stellte ein zentrales Element, vor allem aber auch Bedingung für die Umsetzung vieler SINTEG-Lösungen dar. Dementsprechend greift das Synthesfeld Aktivitäten der Schaufenster im Bereich Partizipation und Akzeptanz auf. Erkenntnisse werden synthetisiert durch die Herausarbeitung von geeigneten Beteiligungsmechanismen, Formaten und Kommunikationskanälen sowie relevanten Erfolgsfaktoren für die aktive Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern am gesamtgesellschaftlichen Projekt Energiewende.

## 1.2 Methodik der SINTEG-Ergebnissynthese

### SYNTHESEPROZESS ALLGEMEIN

Für die SINTEG-Ergebnissynthese wurde ein dreistufiges Vorgehen gewählt, dargestellt in Abbildung 3. Zunächst legten vorbereitende Arbeiten und die finale Festlegung der methodischen Herangehensweise in enger Abstimmung mit dem BMWi, dem Projektträger Jülich

und den Schaufenstern den Grundstein für die Ergebnissynthese. Anschließend erfolgte die inhaltliche Ergebnissynthese und die Entwicklung programmübergreifender Blaupausen. Erkenntnisse der Synthese wurden anschließend zielgruppenspezifisch aufbereitet und an Stakeholder kommuniziert.

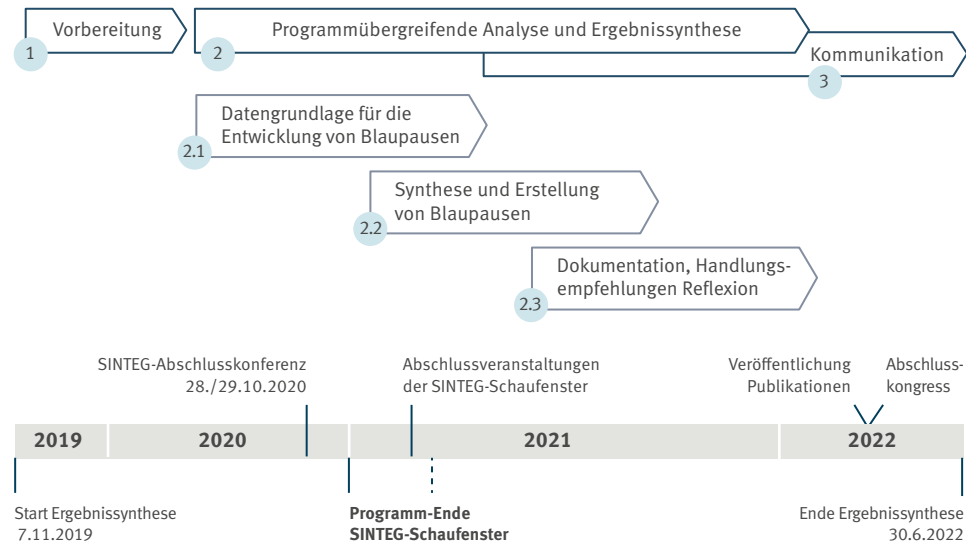


Abbildung 3: Prozess der SINTEG-Ergebnissynthese

## ERSCHLIESSEN DER SINTEG-LÖSUNGEN UND ENTWICKLUNG VON BLAUPAUSEN

In allen Synthesefeldern wurde eine ähnliche Herangehensweise verfolgt, um die Schaufenster-Ergebnisse zu erschließen, zu synthetisieren und Blaupausen abzuleiten. Wichtige Grundlage für die Ergebnissynthese bildete die Ergebnisdokumentation der Schaufenster in Form von Zwischenberichten einzelner SINTEG-Projektpartner, bis hin zu den Ergebnisberichten der Schaufenster, als Resultat der Schaufenster-internen Synthese.

### FÜR JEDES THEMA INNERHALB DES SYNTHESEFELDES...

- Vorabfrage** an Teilnehmer:innen der Synthesetreffen zu Schwerpunktsetzung
- Synthesetreffen** zur Orientierung
- Zusammenfassen der Ergebnisse in einem „Arbeitsstand“ und Ergänzung durch Wissensträger:innen der Schaufenster
- Weitere bilaterale **Gespräche** zur Vertiefung
- Nutzung Ergebnisdokumente & Einbindung in **Schaufenster-interne Synthese**

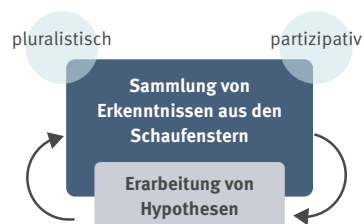


Abbildung 4: Vorgehen, um Wissen in den Synthesefeldern zu erschließen

Ein zentrales Instrument, um Zugang zu den Schaufenster-Ergebnissen zu erhalten, bildeten zudem die sogenannten Synthesetreffen. Diese Treffen banden die Wissensträger aller SINTEG-Schaufenster, das Projektteam der Ergebnissynthese und das BMWi sowie den Projektträger Jülich ein. Ergänzend zu den Synthesetreffen wurden weitere Gespräche mit Wissensträgern einzelner Schaufenster geführt, um Themen zu vertiefen. Darüber hinaus erhielten die Schaufenster die Möglichkeit, Arbeitsstände aus dem Prozess der Ergebnissynthese zu kommentieren.



Ausgewählte Blaupausen wurden vor Fertigstellung dieses Berichts den involvierten Akteuren und der Öffentlichkeit im Rahmen von Fachgesprächen vorgestellt und abschließendes Feedback eingeholt.

Das Vorgehen, um in jedem Synthesefeld relevante SINTEG-Lösungen zu erschließen und zu dokumentieren, ist in Abbildung 4 verdeutlicht.

Der methodische Ablauf der Erarbeitung der Blaupausen auf Basis der SINTEG-Ergebnisse erfolgte in fünf grundsätzlichen Schritten, die pro Synthesefeld methodisch ergänzt wurden.

1. Für jedes Synthesefeld wurde ein Strukturierungsschema erarbeitet, welches die inhaltliche Abgrenzung verschiedener Kategorien und Inhalte der SINTEG-Aktivitäten im jeweiligen Synthesefeld erfassbar macht (bspw. Sektoren, Technologien, Prozessschritte). Über die Synthesefelder hinweg wurde definiert, welche fachlichen Parameter für die Beschreibung der Blaupausen relevant sind (Einsatzbereich, Marktreife, Innovationsgehalt, etc.).
2. Die in den SINTEG-Schaufenstern entwickelten Lösungen wurden anhand des Strukturierungsschemas gegliedert und kondensiert. Lösungsansätze aus mehreren Schaufenstern mit gleichartiger Struktur wurden in Blaupausen zusammengefasst. Einzelne Lösungsansätze mit spezifischem Nutzen wurden in Detail-Blaupausen dargestellt.
3. Die definierten Parameter wie Innovationsgehalt und Marktreifegrad wurden angewendet, um die Blaupausen zu charakterisieren. Unter Einbeziehung der fachlichen Auswertung relevanter Ergebnisse anderer Programme und Studien wurden die Blaupausen weiter abgegrenzt und eingeordnet.
4. Die inhaltliche Ausgestaltung der Blaupausen und die Erarbeitung von notwendigen Kriterien für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit erfolgte auf Basis der ausgewerteten quantitativen und qualitativen Ergebnisse je Synthesefeld und der Verschneidung mit Fachwissen des Projektteams.
5. Schließlich wurden die Blaupausen anwendungsorientiert dargestellt, mit dem Ziel ihrer Nutzung über die zeitlichen und räumlichen Grenzen der SINTEG-Schaufenster hinaus.

Zur übersichtlichen Darstellung wurden die Erkenntnisse der Ergebnissynthese in drei verschiedenen Detailtiefen präsentiert, die sich an unterschiedliche Zielgruppen richten (siehe Abbildung 5):

- Innerhalb eines jeden Synthesefeldes wurden **Kategorien** definiert, um Blaupausen thematisch zu ordnen und Zusammenhänge aufzuzeigen. Gleichfalls werden übergreifende Erkenntnisse herausgearbeitet, Handlungsempfehlungen und Forschungsbedarfe dargestellt. Damit richten sich die Kategoriebeschreibungen auch an politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger.
- Die **Blaupausen** selbst stellen generalisierte, übertragbare Lösungen dar, die aus SINTEG-Lösungen abgeleitet werden. Sie zeigen beispielsweise Kombinationen von Anwendungsfällen, Technologien, Rahmenbedingungen und Geschäftsmodellen auf, die eine Übertragbarkeit und Skalierbarkeit der Ergebnisse der Schaufenster über den Rahmen von SINTEG und dessen Laufzeit hinaus sicherstellen können. Die Blaupausen richten sich damit an Fachexpertinnen und -experten. Blaupausen wurden mit Übertragbarkeitsbe-



dingungen versehen. Somit ergibt sich eine weite Definition, die auch mittel- und langfristig übertragbare Lösungen sowie Lösungen mit einem niedrigeren Technologiereifegrad beinhaltet, die weiterentwicklungsfähig sind.

- Teilweise werden Blaupausen konkretisiert durch **Detail-Blaupausen**. Diese haben die gleichen Eigenschaften wie Blaupausen, bilden aber spezifische (technische) Umsetzungen ab und zeigen innerhalb einer Blaupause unterschiedliche Lösungsansätze auf. Ebenso wie Blaupausen richten sie sich an Fachexpertinnen und -experten.

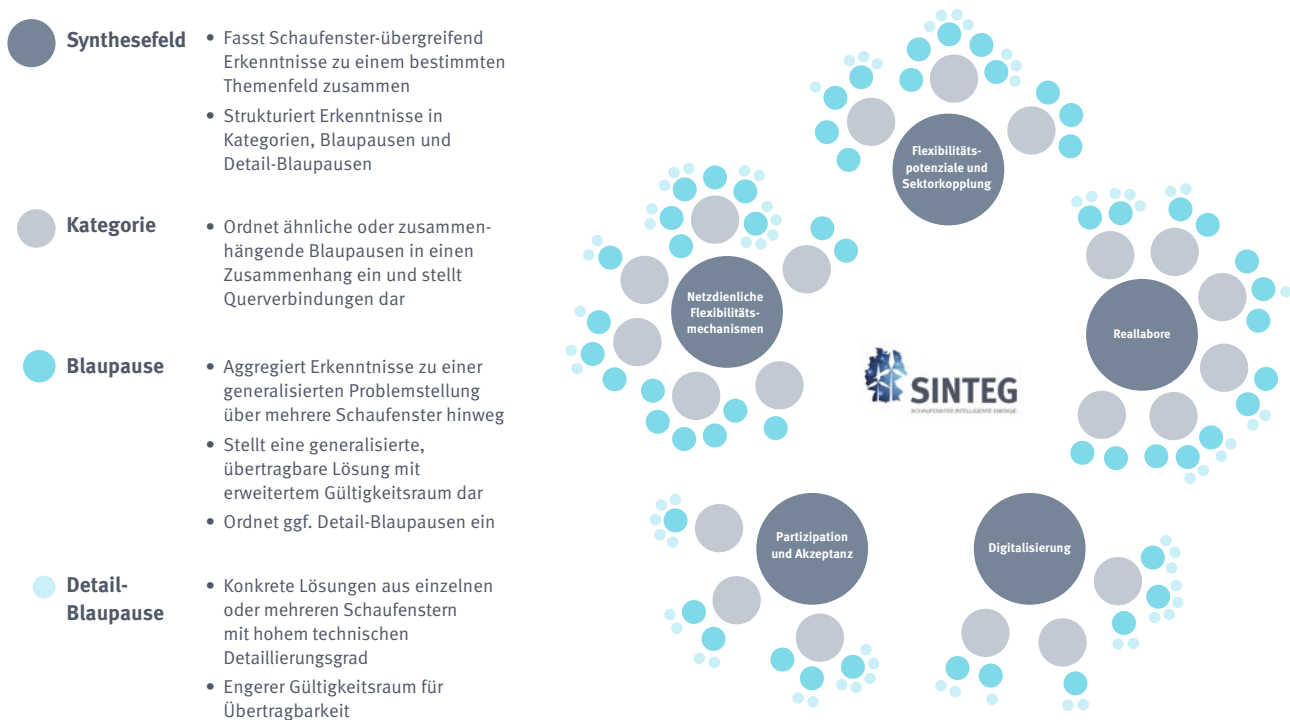


Abbildung 5: Definition und Struktur von Kategorien, Blaupausen, Detail-Blaupausen

Die entwickelten Blaupausen werden anhand eines für jedes Synthesefeld definierten Schemas beschrieben. Diese Erläuterungen folgen der Form eines Factsheets, das jeder Blaupause vorangestellt wird und die wesentlichen Punkte des Schemas zusammenfasst. In jedem Synthesefeld werden individuelle Anpassungen dieses Grundschemas vorgenommen, die den Spezifika des Synthesefeldes Rechnung tragen. Dieses Schema wird nachfolgend vorgestellt.

## STRUKTUR DER FACTSHEETS FÜR SINTEG-BLAUPAUSEN

Blaupause																					
<b>Zielgruppen</b>	Hier werden Akteur(e) benannt, für die diese Blaupause relevant ist (z. B. Netzbetreiber, Industrieunternehmen etc.)																				
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	Hier wird beschrieben, auf welche Problemstellung die Blaupause reagiert und in welchen Kontext sie sich einordnet.																				
<b>Lösungsansatz</b>	Hier wird wiedergegeben, welcher Ansatz verfolgt wird, um die zuvor beschriebene Problemstellung zu lösen																				
<b>Einordnung der Blaupause</b>	Hier wird, falls erforderlich, der Zusammenhang zwischen mehreren Blaupausen und die Einordnung in das Synthesefeld dargestellt.																				
<b>Technologiereifegrad (Spektrum der Detail-Blaupausen)</b>	<div style="text-align: center;"> </div> <p>Die Blaupause wird einem Technologiereifegrad (Technology Readiness Level - TRL) zugeordnet (s. auch Abschnitt Übertragbarkeit), da in forschungsnahen Arbeitspaketen auch SINTEG-Lösungen betrachtet wurden, die noch nicht unmittelbar anwendbar sind. Die Zuordnung von TRL-Stufen erfolgt entsprechend der Definitionen im Sinne des 7. Energieforschungsprogramms, die im Folgenden auszugsweise dargestellt sind (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi] (2018)).</p> <div style="text-align: center;"> </div> <table border="1"> <thead> <tr> <th>TRL-Stufe</th> <th>Definition</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Ein grundsätzliches Prinzip wurde wissenschaftlich beobachtet, welches für eine Technologie/Verfahren/etc. in Frage kommt.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Die Funktionsweise und mögliche Anwendungen einer Technologie/Verfahren/o.Ä. wurden wissenschaftlich beschrieben.</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Für einzelne Elemente der Technologie/Verfahren/o.Ä. wurde ein Funktionsnachweis im Labor/in einer Versuchsumgebung erbracht.</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Generelle Funktion der Technologie/Verfahren/o.Ä. konnte im Labor/in einer Versuchsumgebung nachgewiesen werden.</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Technologie/Verfahren/o.Ä. wurde in einem anwendungsorientierten Gesamtsystem implementiert und generelle Machbarkeit nachgewiesen.</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Demonstrationsanlage/-konzept in anwendungsähnlicher Umgebung funktioniert.</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Prototyp mit systemrelevanten Eigenschaften existiert und wird im Betriebsumfeld getestet.</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Verkaufsmuster/-prototyp liegt vor und erfüllt alle Anforderungen der Endanwendung.</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Kommerzieller Einsatz.</td> </tr> </tbody> </table> <p>Die (Detail-) Blaupausen werden anhand ihres TRL eingeordnet. Fließen Detail-Blaupausen mit einem unterschiedlichen TRL in eine Blaupause ein, wird die resultierende TRL-Bandbreite angegeben.</p>	TRL-Stufe	Definition	1	Ein grundsätzliches Prinzip wurde wissenschaftlich beobachtet, welches für eine Technologie/Verfahren/etc. in Frage kommt.	2	Die Funktionsweise und mögliche Anwendungen einer Technologie/Verfahren/o.Ä. wurden wissenschaftlich beschrieben.	3	Für einzelne Elemente der Technologie/Verfahren/o.Ä. wurde ein Funktionsnachweis im Labor/in einer Versuchsumgebung erbracht.	4	Generelle Funktion der Technologie/Verfahren/o.Ä. konnte im Labor/in einer Versuchsumgebung nachgewiesen werden.	5	Technologie/Verfahren/o.Ä. wurde in einem anwendungsorientierten Gesamtsystem implementiert und generelle Machbarkeit nachgewiesen.	6	Demonstrationsanlage/-konzept in anwendungsähnlicher Umgebung funktioniert.	7	Prototyp mit systemrelevanten Eigenschaften existiert und wird im Betriebsumfeld getestet.	8	Verkaufsmuster/-prototyp liegt vor und erfüllt alle Anforderungen der Endanwendung.	9	Kommerzieller Einsatz.
TRL-Stufe	Definition																				
1	Ein grundsätzliches Prinzip wurde wissenschaftlich beobachtet, welches für eine Technologie/Verfahren/etc. in Frage kommt.																				
2	Die Funktionsweise und mögliche Anwendungen einer Technologie/Verfahren/o.Ä. wurden wissenschaftlich beschrieben.																				
3	Für einzelne Elemente der Technologie/Verfahren/o.Ä. wurde ein Funktionsnachweis im Labor/in einer Versuchsumgebung erbracht.																				
4	Generelle Funktion der Technologie/Verfahren/o.Ä. konnte im Labor/in einer Versuchsumgebung nachgewiesen werden.																				
5	Technologie/Verfahren/o.Ä. wurde in einem anwendungsorientierten Gesamtsystem implementiert und generelle Machbarkeit nachgewiesen.																				
6	Demonstrationsanlage/-konzept in anwendungsähnlicher Umgebung funktioniert.																				
7	Prototyp mit systemrelevanten Eigenschaften existiert und wird im Betriebsumfeld getestet.																				
8	Verkaufsmuster/-prototyp liegt vor und erfüllt alle Anforderungen der Endanwendung.																				
9	Kommerzieller Einsatz.																				
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> </div> <p>Hier werden die Aktivitäten der fünf Schaufenster genannt, die bei der Erstellung der Blaupause berücksichtigt wurden.</p>																				
<b>Innovationsgehalt</b>	Die Feststellung des Innovationsgehaltes erfolgte unter Berücksichtigung des Kenntnis-/ Entwicklungsstandes in Deutschland zum Zeitpunkt der Erstellung der Syntheseberichte sowie Innovationen in anderen Branchen oder Ländern.																				



### Bedingungen für die Übertragbarkeit und Skalierbarkeit

Der Schwerpunkt der Blaupausen wird in Abhängigkeit vom TRL unterschiedlich gesetzt. Bei Blaupausen mit einem hohen TRL liegt der Fokus auf Übertragbarkeit und Skalierbarkeit der Lösung sowie Darstellung der konkreten Anwendbarkeit. Für diese Blaupausen werden Bedingungen aufgezeigt, unter denen die Blaupausen übertragbar bzw. skalierbar sind. Für Blaupausen mit einem niedrigeren TRL hingegen liegt der Fokus auf dem Aufzeigen des Forschungs- und Entwicklungsbedarfes.

Die Übertragbarkeit lässt sich in die Dimensionen technische Übertragbarkeit, ökonomische Übertragbarkeit und Kompatibilität mit den regulatorischen Rahmenbedingungen unterteilen. Schließlich wird die Übertragbarkeit von der Akzeptanz beeinflusst. Diese Dimensionen sind abhängig von der Blaupause unterschiedlich bedeutsam und fließen mit unterschiedlichem Gewicht in die Beurteilung der Übertragbarkeit ein.

Diese Überlegungen gelten analog für die Skalierbarkeit der Blaupausen: Auch hier kann zwischen technischer Skalierbarkeit, ökonomischer Skalierbarkeit und der regulatorischen Dimension unterschieden werden.

Die zeitliche Dimension ergibt sich als überschlägige Zusammenfassung der regulatorischen, ökonomischen und Akzeptanzdimension und wird in kurz-, mittel- und langfristige Horizonte eingeteilt. Dabei können folgende Richtwerte angenommen werden:

**Kurzfristig** bedeutet, die Übertragbarkeit oder Skalierbarkeit ist unmittelbar bzw. bei geringer Veränderung der Rahmenbedingungen möglich

**Mittelfristig** bedeutet, Übertragbarkeit oder Skalierbarkeit benötigen einen mittleren zeitlichen Vorlauf (1,0 bis 1,5 Jahre) bzw. eine moderate Anpassung der Rahmenbedingungen.

**Langfristig** bedeutet, die Übertragbarkeit oder Skalierbarkeit ist erst mit einem noch längerem Vorlauf bzw. nur bei einer deutlichen Anpassung der Rahmenbedingungen möglich.

## 1.3 Einführung in das Synthesefeld 1 – Flexibilitätspotenziale und Sektorkopplung

### AUSWIRKUNGEN DER DEKARBONISIERUNG AUF DAS STROMSYSTEM

Eine zentrale Säule zur Erreichung der deutschen Klimaziele – die Reduktion der Treibhausgasemissionen um 65 % bis 2030 gegenüber 1990 und die Treibhausgasneutralität bis 2045 – ist der stetige Ausbau der Erzeugungskapazität auf Basis erneuerbarer Energien im Stromsektor. Damit soll nicht nur die konventionelle Erzeugung im Stromsektor schrittweise substituiert werden, sondern fossile Brennstoffe auch in den Sektoren Verkehr und Wärme über eine zunehmende Elektrifizierung (Sektorkopplung) ersetzt werden. Bis Ende 2020 machten erneuerbare Energien bereits knapp über 47 % der Gesamterzeugung im deutschen Stromsektor aus (SMARD, 2021). An die Stelle regelbarer, konventioneller Großkraftwerke tritt damit zunehmend die fluktuierende und dargebotsabhängige Erzeugung aus dezentralen Anlagen mit erneuerbaren Energien (Navigant, 2020). Dies führt zu neuen Herausforderungen für einen sicheren und zuverlässigen Systembetrieb (Bundesnetzagentur, 2017).

Mit dem wachsenden Anteil der Stromerzeugung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien steigt der Bedarf an **Flexibilität**, während gleichzeitig der Anteil flexibler (konventioneller) Erzeugung sinkt. Der steigende Bedarf an Flexibilität im System muss somit zunehmend von zu erschließenden und neuen, bisher ungenutzten Flexibilitätsoptionen gedeckt werden (Abbildung 6). Technologien, die diese Flexibilitätslücke schließen (werden), lassen sich in Flexibilitätsoptionen und -potenziale auf der **Nachfrageseite**, **Energiespeicher** und Flexibilitätspotenziale auf der **Erzeugungsseite** kategorisieren.

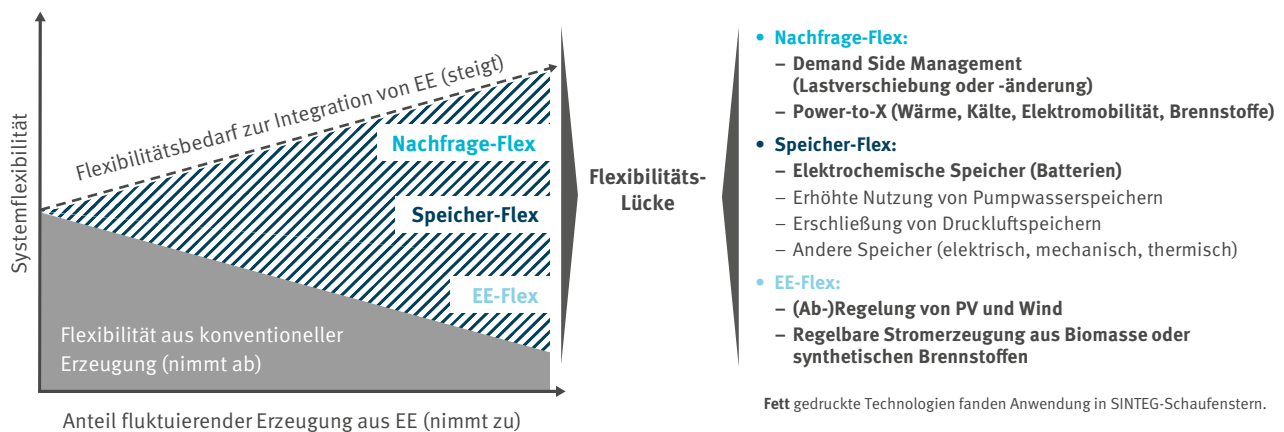


Abbildung 6: Wachsende Flexibilitätslücke bei steigendem Anteil fluktuierender Erzeugung (illustrative Darstellung)

Gründe dafür, dass diese neuen Flexibilitätsoptionen bisher weitgehend ungenutzt bleiben, sind vielfältig. Zum einen sind die Potenziale häufig leinteilig (in den unteren Netzebenen situiert), technologisch und in ihrem Entwicklungsstand heterogen oder weisen teilweise intransparente Kostenstrukturen im Hinblick auf Investitions- als auch Einsatzkosten (Opportunitätskosten) auf. Zum anderen sind die regulatorischen oder wirtschaftlichen Rahmenbedingungen häufig noch nicht gegeben, um Flexibilitätsoptionen mit den beschriebenen Eigenschaften zu erschließen und Geschäftsmodelle zu entwickeln. Vor diesem Hintergrund bot SINTEG die Möglichkeit, den Einsatz einer Vielzahl bisher ungenutzter Flexibilitätsoptionen für unterschiedliche Anwendungsfälle zu erproben, Geschäftsmodelle zu prüfen oder auch gänzlich neue Flexibilitätsoptionen zu testen. In Abbildung 6 wird aufgezeigt, welche Optionen in SINTEG untersucht wurden.

## QUANTIFIZIERUNG DES FLEXIBILITÄTSBEDARFS: WACHSENDE FLEXIBILITÄTSLÜCKE

Wie in Abbildung 6 illustrativ dargestellt, ist die wachsende Flexibilitätslücke im Stromsystem maßgeblich durch den kontinuierlichen Abbau regelbarer, konventioneller Erzeugung bestimmt. Dieser Abbau ist durch den gesetzlich festgeschriebenen Kohle- und Kernkraftausstieg vorgegeben. Nach den bisher festgelegten Eckdaten werden bis spätestens 2038 rund 43 GW gesicherte Leistung durch die Kohlekraftwerke, sowie weitere 11 GW bis 2022 durch die Stilllegung von Kernkraftwerken entfallen (BDEW, 2019a, BDEW, 2019b). Die Bundesregierung hält in ihrem Koalitionsvertrag einen Kohleausstieg jedoch idealerweise bis 2030 fest (SPD, Die Grünen & FDP, 2021). Zur Erreichung der Treibhausgasneutralität bis 2045 müsste langfristig auch der Energieträger Erdgas als Brennstoff in Gaskraftwerken durch klimaneutrale Gase substituiert werden oder entsprechend neue bzw. andere Flexibilitätsoptionen erschlossen werden.

Auf der anderen Seite steigt der Flexibilitätsbedarf kontinuierlich durch die zunehmende dargebotsabhängige Erzeugung von Strom aus Wind- und PV-Anlagen, die sich nicht nach Zeiten hohen Strombedarfs bzw. Last richtet. Zugleich ist eine Zunahme an Schwankungen des Strombedarfs im Tagesverlauf und saisonal durch neue Verbraucher, wie beispielsweise Elektroautos und Wärmepumpen (WP) zu erwarten. Entsprechend müssen in den Zeiträumen, in denen entweder ein Überangebot an Erzeugung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien oder ein Defizit zur Deckung der Last besteht, Flexibilitätsoptionen, wie regelbare Stromerzeugungseinheiten

ten, Speicher oder flexible Verbraucher, einen Ausgleich ermöglichen. Wie bisher weitgehend ungenutzte Flexibilitätsoptionen eingesetzt werden können, wurde in SINTEG demonstriert. Im Ergebnis wurden Schritte aufgezeigt, wie diese Flexibilitätspotenziale erschlossen werden können, um den wachsenden Flexibilitätsbedarf zu decken.

In der gesamtdeutschen Betrachtung könnten sich somit bis 2050 die Extremwerte solcher Leistungsdefizite in einzelnen Stunden eines Jahres mehr als verdoppeln (auf 143 GW) und für die Überschüsse sogar verzehnfachen (auf -150 GW) (50Hertz, Amprion, TenneT & TransnetBW, 2019; Fraunhofer IWES, 2015; r2b energy consulting GmbH, 2015; Zimmermann, Tödter, Schülting & Kather, 2020)<sup>2</sup>. Der Flexibilitätsbedarf aus Netzperspektive zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit ist noch zusätzlich zu betrachten und dabei unter Umständen auch regional begrenzt, wodurch der Erbringungsort der Flexibilität relevant wird.

## QUANTIFIZIERUNG DER FLEXIBILITÄTSPOTENZIALE

### ÜBERBLICK

Der wachsenden Flexibilitätslücke stehen schon heute eine Reihe von Flexibilitätsoptionen – zumindest theoretisch – gegenüber. Im Gegensatz zu erzeugungsseitiger Flexibilität sind Flexibilitätsoptionen auf der Nachfrageseite sowie dezentrale Speicher heute kaum aktiv in das Strommarktgeschehen oder den Netzbetrieb eingebunden. Im Rahmen der SINTEG-Schaufenster wurden Lösungsansätze zur Hebung solcher groß- und kleinteiligen Flexibilitätspotenziale umfassend erprobt. Zur Einordnung dieser Lösungsansätze und zur Skalierung von Ansätzen stellt sich die Frage, wie groß das Potenzial der bisher weitgehend unerschlossenen Flexibilitätsoptionen ist und sein wird. Die SINTEG-Schaufenster haben das heutige und künftige Flexibilitätspotenzial der Nachfrageseite, sowie dezentraler Speicher als Flexibilitätsoptionen auf Haushaltsebene bewertet.

In Tabelle 1 werden die im Rahmen von SINTEG ermittelten technischen Flexibilitätspotenziale je Schaufenster für den jeweiligen Betrachtungszeitraum deutschlandweit und in der jeweiligen Region zusammenfassend dargestellt. Da jedes Schaufenster unterschiedliche Technologien, Betrachtungsjahre, Regionen, Methoden oder Faktoren zur Bestimmung des Potenzials herangezogen hat, ist ein direkter Vergleich der Zahlen zwar nicht möglich, jedoch kann so die Spanne der ermittelten Flexibilitätspotenziale aufgezeigt werden.

<sup>2</sup> Verglichen werden hier die geschätzten Extremwerte für die positive und negative Residuallast aus den gelisteten Studien im Jahr 2050 mit den Werten aus dem Jahr 2020 nach Fraunhofer ISE (2021a)

Flexibilitätsoption	enera		WindNODE	NEW 4.0
	2018	2030	2017	2030
Bezugsraum/-zeitraum	deutschlandweit		BE, BB, MV, SN, ST, TH	HH, NI, SH
	[GW]		[GW]	[GW]
<b>Nachfrageseitige Flexibilität</b>				
<b>Demand Response (DR)</b>	<b>3,82</b>			
DR Industrie	1,17	1,25		0,23
DR Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD)	2,75	4,13		0,55 für Klima- tisierung
DR Haushalte	3,95	2,71		
<b>Power-to-X (PtX)</b>			<b>0,69</b>	
PtH (Fernwärme)	0,22	0,83		0,24
PtH (Industrie, GHD, Haushalte)	6,85	10,68		1,25
PtG	0,03	1,92		0,06
Elektroautos	0,11	4,21		0,60
<b>Speicherseitige Flexibilität</b>				
Großbatteriespeicher			0,15	0,14
Dezentrale Batteriespeicher				0,08

Anmerkung: Negatives und positives Potenzial wurde für die Übersicht zusammengefasst. BE = Berlin, BB = Brandenburg, HH = Hamburg, MV = Mecklenburg-Vorpommern, NI = Niedersachsen, SH = Schleswig-Holstein, SN = Sachsen, ST = Sachsen-Anhalt, TH = Thüringen  
 Quellen: Eigene Darstellung basierend auf: Zusatzmaterial von Heitkoetter et al. (2021) für enera, WindNODE (2020a) für WindNODE, NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende (2021) für NEW 4.0.

Tabelle 1: Übersicht im Rahmen von SINTEG ermittelter Flexibilitätspotenziale in GW

Ergänzend hierzu wurde in DESIGNETZ das gesamte Potenzial dezentraler Flexibilitätsoptionen (Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)-Anlagen eingeschlossen) für die Schaufenster-Region nach unterschiedlichen Szenarien für 2030 auf 50-213 GW geschätzt (DESIGNETZ 2021b, 356). In dem im Rahmen von C/sells veröffentlichten Flexibilitäts-Atlas<sup>3</sup> wird das regionale Potenzial der drei Technologien elektrische Speicherheizungen, Wärmepumpen und Hausspeichersysteme in Deutschland dargestellt. In der hierzu erschienen Veröffentlichung von Mueller, Reinhard, Ostermann, Estermann und Köppl (2019) wird ein mittleres negatives Potenzial von 17,5 GW für elektrische Speicherheizungen genannt, ein mittleres Potenzial von 1,5 GW für Wärmepumpen sowie ein maximales Potenzial von 0,55 GW für Hausspeichersysteme. In einer weiteren Veröffentlichung im Rahmen von C/sells wird ein Potenzial verschiedener dezentraler Flexibilitätsoptionen auf Haushaltsebene (Power-to-X, DR und dezentrale Batteriespeicher) für 2030 von 80 GW ermittelt (Dörre et al., 2021).

## EIGENSCHAFTEN UND REGIONALE VERTEILUNG DER POTENZIALE

Das dargestellte Potenzial kann hinsichtlich seiner Eigenschaften weiter differenziert werden, um tatsächlich bewerten zu können, für welche Anwendungen und Flexibilitätsbedarfe dieses zur Verfügung stehen kann. Hierzu gehört zum einen die Unterscheidung zwischen positivem

<sup>3</sup> [www.flexibilitaetsatlas.de](http://www.flexibilitaetsatlas.de)

(Erhöhung der Einspeisung bzw. Abwerfen der Last) und negativem (Reduzierung der Einspeisung bzw. Erhöhung der Last) Potenzial und zum anderen die zeitliche und regionale Verfügbarkeit einer Flexibilitätsoption. Aus den im Rahmen von SINTEG durchgeführten Untersuchungen werden hierzu entscheidende Erkenntnisse eingeordnet und zusammengefasst:

## DEMAND RESPONSE-POTENZIAL

Die SINTEG-Ergebnisse liefern unterschiedliche Einschätzungen zum Anteil verschiedener Sektoren am Demand Response (DR)-Potenzial. Während bei WindNODE das negative Potenzial durch industrielles Lastmanagement als besonders hoch eingeschätzt wird (WindNODE, 2020a), ermitteln Heitkoetter et al. (2021) im Rahmen von enera ein besonders großes negatives Potenzial im Haushaltssektor. Zusätzlich wird hier das positive Potenzial, also die Möglichkeiten der Lastreduzierung, für die Industrie und GHD höher eingeschätzt als ihr negatives Potenzial. Dies deckt sich mit einer aktuellen und umfassenden Analyse, die im Rahmen des SynErgie-Projektes<sup>4</sup> durchgeführt wurde. Dort wird das positive Flexibilitätspotenzial des Industriesektors auf 4 GW, das negative Potenzial auf 1 GW (Sauer, Abele & Buhl, 2019) geschätzt. Potenzialschätzungen für den Haushaltssektor, die außerhalb von SINTEG durchgeführt wurden, zeigen eine enorme Bandbreite von 9-94 GW auf (Weygoldt & Hoffrichter, 2018). Diese ist auch darauf zurückzuführen, dass E-Mobilität oder PtH-Anwendungen teils dem Haushaltssektor zugeordnet werden. Zusätzlich legen Untersuchungen aus enera nahe, dass aufgrund von Effizienzmaßnahmen das DR-Potenzial der Haushalte künftig abnehmen könnte (Heitkoetter et al., 2021), während für GHD und Industrie die Potenziale bis 2030 ansteigen (Heitkoetter et al., 2021; NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende, 2021).

Aus den im Rahmen von enera durchgeführten Untersuchungen geht hervor, dass das DR-Potenzial relativ konstant über den Tag und das Jahr zur Verfügung steht. Weiterhin ist das DR-Potenzial auf Haushaltsebene und aus GHD in Landkreisen mit hoher Bevölkerungsdichte erwartungsgemäß höher, während bei den Industrieprozessen auch hohe Potenziale in ländlichen Regionen liegen. Im Gegensatz zu den DR-Flexibilitätsoptionen auf Haushaltsebene, werden die spezifischen Investitionskosten für die Flexibilitätsoptionen in der Industrie aufgrund der hohen installierten Kapazität pro Anlage als relativ niedrig bewertet. Einige der Industrieprozesse weisen jedoch hohe variable Kosten für eine Lastverschiebung auf. Davon ausgenommen sind Lüftungs-, Kühlungs- und Heizungsanlagen in der Industrie (Heitkoetter et al., 2021).

## POWER-TO-X-POTENZIAL

Die SINTEG-Ergebnisse zeigen die wichtige Rolle von PtH-Anwendungen als Flexibilitätsoption. Ihre Bedeutung dürfte bis 2030 noch weiter zunehmen. Auch wenn das Flexibilitätspotenzial in der Elektromobilität derzeit noch als gering eingeschätzt wird, wird mit der Zunahme an Fahrzeugen und der möglichen Nutzung als mobiler Speicher ein großer Potenzialzuwachs bis 2030 prognostiziert (Heitkoetter et al., 2021; Mueller et al., 2019; NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende, 2021; WindNODE, 2020a). Zum Startzeitpunkt der SINTEG-Schaufenster stand der Hochlauf der Elektromobilität weniger im Fokus als die Elektrifizierung der Wärmeversorgung. Die Aktivitäten der SINTEG-Projekte legen daher einen Schwerpunkt auf den Wärmebereich. Viele Erkenntnisse aus dem Bereich Wärme lassen sich jedoch auch auf andere Haushaltslasten wie Elektromobilität übertragen.

<sup>4</sup> <https://synergie-projekt.de/>

Die meisten Power-to-X-Anwendungen können mehr negatives als positives Potenzial bereitstellen, also mehr Potenzial zur Zuschaltung als zu Abschaltung einer Last bereitstellen. Die im Rahmen von enera und C/sells durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die zeitliche Verfügbarkeit von PtH-Anwendungen und der Elektromobilität stark im Tagesverlauf schwankt. Ein hohes negatives Potenzial steht insbesondere in den Nachtstunden zur Verfügung, wenn der Stromverbrauch in der Regel gering ist. Positives Potenzial steht prinzipiell morgens und abends zur Verfügung, wenn die Nutzung der elektrischen Anwendungen verschoben werden könnte. Ebenfalls variieren die Verfügbarkeiten des Potenzials für PtH-Anwendungen übers Jahr mit der Veränderung der Wärmenachfrage. Entsprechend steht im Winter mehr Potenzial zur Lastreduktion zur Verfügung als im Sommer. Eine weitere Beobachtung ist, dass das Potenzial von PtH-Anwendungen über einen längeren Abrufzeitraum zur Verfügung steht, ebenso das Potenzial von PtG (Heitkoetter et al., 2021; Mueller et al., 2019).

Die im Rahmen von enera und C/sells durchgeführten Untersuchungen zeigen darüber hinaus, dass das Potenzial von PtH-Anwendungen und Elektromobilität stark mit der Bevölkerungsdichte korreliert (Heitkoetter et al., 2021; Mueller et al., 2019). In Heitkoetter et al. (2021) werden auch für PtG-Anlagen und PtH-Anlagen in der Fernwärme die spezifischen Investitionskosten aufgrund der hohen installierten Kapazität pro Anlage als relativ niedrig bewertet.

## SPEICHER-FLEXIBILITÄT

Batteriespeicher, insbesondere auf Haushaltsebene, weisen bisher nur ein geringes Flexibilitätspotenzial auf. Mit einer Kostendegression von Batteriespeichern und dem weiteren Ausbau an Photovoltaik (PV)-Dachanlagen in Kombination mit Hausspeichern, werden diese allerdings in Zukunft an Bedeutung zunehmen (Dörre et al., 2021; Mueller et al., 2019; NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende, 2021). Die von Mueller et al. (2019) durchgeführten Untersuchungen im Rahmen von C/sells zeigen, dass die Haushaltsspeicher eng mit dem Potenzial der PV-Erzeugung korrelieren. Folglich überwiegt im Winter im Falle von PV-Speichern das negative Potenzial, da die Speicher seltener vollgeladen werden und in der Regel Strom aus dem Netz aufnehmen können. Weiterhin finden sich Hausspeichersysteme derzeit vor allem im Süden Deutschlands und könnten dort auch zukünftig eine größere Rolle spielen.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die in SINTEG durchgeführten Untersuchungen zeigen deutlich den möglichen Beitrag bislang kaum erschlossener Flexibilitätsoptionen auf der Nachfrageseite sowie im Bereich dezentraler Speicher auf. Insbesondere das Flexibilitätspotenzial der Sektorkopplung wird durch PtH-Anwendungen und Elektromobilität bis 2030 stark zunehmen. Das derzeit und künftig vorhandene Flexibilitätspotenzial durch PtH-Anwendungen und Elektromobilität korreliert dabei maßgeblich mit der Bevölkerungsdichte. Dennoch ist das ermittelte technische Potenzial im Vergleich zu der künftig bestehenden Erzeugungskapazität an PV- und Wind-Anlagen, die notfalls abgeregelt werden könnten, und zu Import- bzw. Exportkapazitäten, eher gering. Dennoch könnten die Flexibilitätsoptionen auf der Nachfrageseite und dezentrale Speicher, insbesondere im regionalen Kontext, eine kostengünstige Alternative darstellen (Heitkoetter et al., 2021). Zusätzlich sollte eine Abregelung von PV- und Wind-Anlagen aus klimapolitischen Gesichtspunkten vermieden werden. Daher muss der Flexibilitätsbedarf künftig aus einem Mix der bestehenden und bisher unerschlossenen Optionen bereitgestellt werden.



## IN SINTEG ERPROBTE FLEXIBILITÄTSOPTIONEN

In den SINTEG-Schaufenstern wurden verschiedene Technologien zur Flexibilisierung von Stromverbrauch und -einspeisung in unterschiedlichen Bereichen angewandt. Abbildung 7 listet die Sektoren und Untersektoren auf, in denen die Flex-Technologien, die in Abbildung 8 dargestellt sind, Anwendung fanden. Untersektoren im Bereich GHD und im Industriesektor werden zu „Sonstige“ zusammengefasst, wenn jeweils nur ein einzelnes SINTEG-Projekt in diesem Bereich Lösungen entwickelt hat. Hierzu zählen Einzelhandelsbetriebe (Supermarkt), Landwirtschaftsbetriebe, kommunale Liegenschaften, Papierfabriken und die Automobilbranche. Schaufenster-Aktivitäten, die sich innerhalb eines Sektors nicht einem Untersektor direkt zuordnen lassen oder mehrere Untersektoren betreffen, werden ebenfalls unter „Sonstige“ verortet.

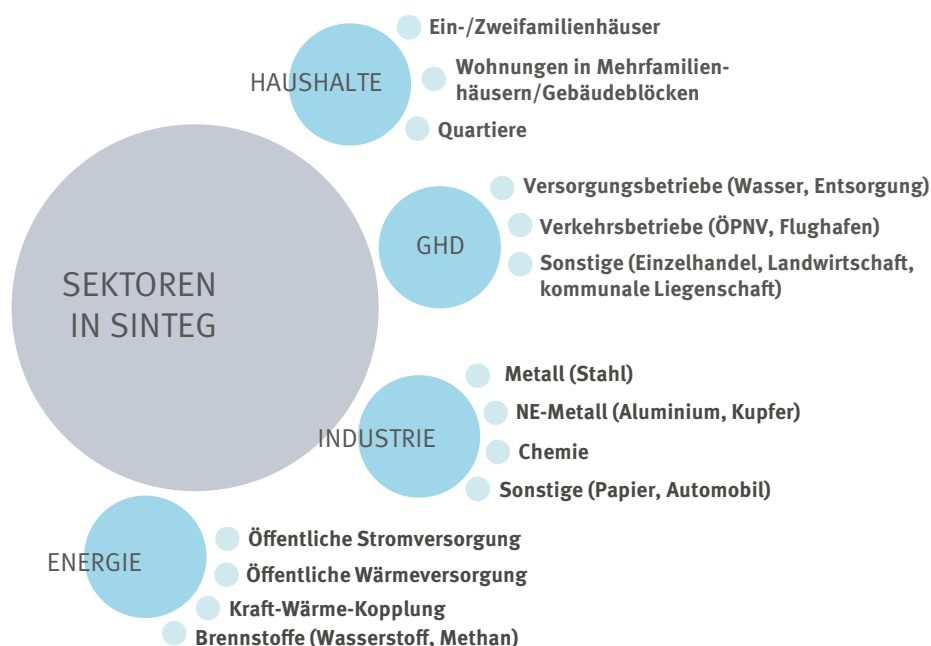


Abbildung 7: Sektoren in SINTEG

Die erprobten Flexibilitätstechnologien wurden für die Ergebnissynthese (siehe auch Abbildung 8) wie folgt zusammengefasst: Die Flexibilisierung elektrischer **Lasten** umfasst Aktivitäten, in denen bereits vorhandene bzw. klassische elektrische Lasten mit Steuerungstechnik ausgestattet wurden, die es erlauben, den Stromverbrauch zeitlich zu verschieben bzw. die Leistungsaufnahme zeitweise zu erhöhen oder zu verringern. Unter **Sektorkopplung** sind (moderne) elektrische Lasten zusammengefasst, denen eine Elektrifizierung und der Ersatz konventioneller fossiler Brennstoffe zugrunde liegt. Dazu gehören Wärmepumpen<sup>5</sup>, PtH-Technologien mit Widerstands- und Induktionserwärmung, PtG und das gesteuerte Laden von Elektrofahrzeugen. Die genannten lastseitigen Flexibilitätsoptionen und Sektorkopplungstechnologien wurden vertieft in diesem Synthesefeld 1 betrachtet.

Auf der **Erzeugerseite** sind Technologien zu verorten, die die Stromerzeugung bzw. -netzeinspeisung anpassen. **Batteriespeicher** – entweder dezentral in Gebäuden oder großskaliert direkt am Stromnetz – sind zudem in der Lage, überschüssigen Strom aufzunehmen. Wäh-

<sup>5</sup> Wärmepumpen werden getrennt von PtH-Technologien betrachtet. Während PtH-Technologien direkt Elektrizität in Wärme umwandeln, verbrauchen Wärmepumpen Elektrizität zum Antrieb einer Pumpe die Umgebungswärme als Nutzwärme in ein System (Gebäude) überträgt.

rend dezentrale Batteriespeicher in Synthesefeld 1 b ehandelt werden, sind Großbatteriespeicher und ihre Systemdienstleistungen Gegenstand des Syntheseberichts im Synthesefeld 2 („Netzdienliche Flexibilitätsmechanismen“), ebenso wie Aktivitäten zur flexiblen Belastung von Netzbetriebsmitteln wie Transformatoren oder Leitungen.

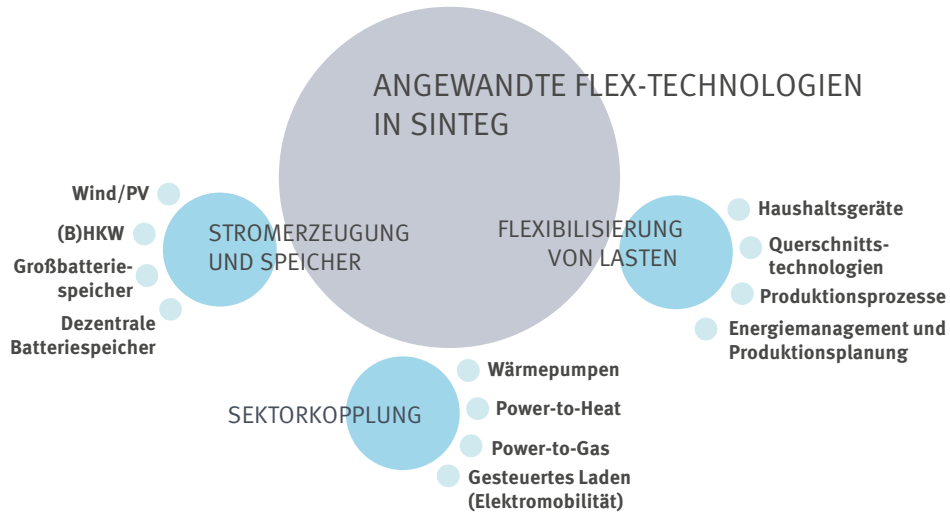


Abbildung 8: Angewandte Flex-Technologien in SINTEG

Die für das Synthesefeld 1 r relevanten Aktivitäten der SINTEG-Schaufenster, d. h. Projekte, Arbeitspakete, Teilarbeitspakete oder Demonstratoren, wurden kategorisiert. Die Kategorisierung erfolgte anhand der Frage wo, d. h. in welchem Sektor, die Flexanlagen umgesetzt wurden sowie der Frage was, d. h. welche Technologie, umgesetzt wurde. Die Tabellen im Anhang: Übersicht SINTEG-Aktivitäten enthalten eine vollständige Übersicht der eingeflossenen SINTEG-Aktivitäten und die Ergebnisse der Kategorisierung. Die in den Synthesebericht eingeflossenen SINTEG-Aktivitäten wurden im Text mit Kurztiteln benannt.

Tabelle 2 stellt in Form einer „Heatmap“ dar, wie viele Aktivitäten an der Schnittstelle einzelner Sektoren und Technologien in SINTEG durchgeführt wurden. Dabei kann eine Aktivität auch in mehreren Technologien oder Sektoren gezählt werden; z. B. könnte ein Quartiersprojekt sich mit Wärmepumpen und PtH-Elementen beschäftigen haben. Im Ergebnis gibt die Heatmap eine Übersicht darüber, in welchen Sektoren die Schaufenster besonders aktiv waren und welche Technologien dort untersucht wurden. Aus der Heatmap lässt sich jedoch keine automatische Wertung der Relevanz einzelner Technologie-Sektoren-Paare für die Ergebnissynthese ableiten.

		Haushalte			GHD			Industrie				Energiesektor			
		Ein-/Zwei-familienhäuser-	Wohnungen	Quartier	Versorgung	Verkehr	Sonstige	Metall	NE-Metall	Chemie	Sonstige	Stromversorgung	Wärmeversorgung	KWK	Brennstoffe
Flexibilisierung	Querschnittstechnologien		1			1					2				1
	Produktionsprozesse				1			1	2		1				
	Produktionsplanung						1				3				
	Haushaltsgeräte	1		1											
Sektorkopplung	Wärmepumpen	1	2	2											
	PtH	3	3	2			2	1	1	3	1	3	6	1	
	Power-to-Gas											3	1	2	4
	Elektromobilität	1		3	1	1	3								
Erzeugung/Speicher	Einspeiseregulierung			2								2			
	BHKW	1	1	2						1		2	2	5	1
	Großbatteriespeicher	1		1							1	9			
	Dez. Batteriespeicher	2		4			2					1			

Tabelle 2: Heatmap der SINTEG-Aktivitäten (Anzahl je Sektor-Technologie-Kombination)

Bei einem Blick auf die Heatmap wird deutlich, dass die Flexibilisierung klassischer Verbraucher weniger im Fokus der SINTEG-Aktivitäten stand als Sektorkopplung (vor allem PtH-Technologien). Über die Sektoren hinweg lag dabei ein besonderer Fokus auf dem Bereich Wärmeversorgung. Gemessen am Energiebedarf, insbesondere im Vergleich zum Industriesektor, ist der Haushaltssektor in der Anzahl der SINTEG-Projekte stark repräsentiert. Trotz des geringen Einzelpotenzials von Haushaltslasten können diese für die Adressierung lokaler Netzengpässe aufgrund ihrer Lage in der Niederspannungsebene besonders relevant werden. Das Synthesefeld 1 legt den Schwerpunkt auf Flexibilitäten aus Sektorkopplung und auf der Nachfrageseite.

## ABGRENZUNG ZU ANDEREN SYNTHESEFELDERN

Das Synthesefeld 1 – Flexibilitätspotenziale und Sektorkopplung besitzt einige Verknüpfungen, Synergien und Überschneidungen zu weiteren SINTEG-Synthesefeldern. Im Laufe der übergreifenden Ergebnissynthese fanden kontinuierliche Abstimmungen innerhalb des Konsortiums zwischen den Synthesefeldern statt. Daraus ergaben sich folgende Abgrenzungen:

- **Synthesefeld 2 – Netzdienliche Flexibilitätsmechanismen:** Synthesefeld 1 betrachtet primär die Erfahrungen, die im technischen Erschließen verschiedener Flexibilitätspotenziale gesammelt wurden und nimmt dabei vorrangig die Perspektive von Flexibilitätsanbietern ein. Dabei spielen auch Geschäftsmodelle eine wichtige Rolle. Erlösmöglichkeiten für Flexibilitätsanbieter sind häufig gekoppelt an netzdienliche Flexibilitätsmechanismen und Flexibilitätsplattformen, die das Synthesefeld 2 behandelt. Das Synthesefeld 2 umschließt auch die Definition von Flexibilitätsprodukten. Die Systemdienstleistungen, die Großbatteriespeicher in vielen Schaufensterprojekten und -demonstratoren bereitstellen, werden ebenso in Synthesefeld 2 beschrieben. Darüber hinaus behandelt das Synthesefeld 2 die flexible Belastung und netzdienliche Funktionen von Netzbetriebsmitteln (Beispiel: regelbarer Ortsnetztransformator).
- **Synthesefeld 3 – Digitalisierung:** Synthesefeld 1 behandelt konkrete, informations- und kommunikationstechnische Umsetzungen an den Flexibilitätsanlagen. Synthesefeld 3 dagegen behandelt die IKT (Informations- und Kommunikationstechnologie)-technischen Aspekte der übergeordneten Smart Grid (SG)-Architektur und -Infrastruktur als ein integriertes System von Systemen.
- **Synthesefeld 5 – Partizipation und Akzeptanz:** Synthesefeld 1 behandelt konkrete Schritte, die zur erfolgreichen Akquise von Flexanlagen und der Überzeugung derer Besitzer bzw. Betreiber durchgeführt wurden. Synthesefeld 5 behandelt die übergeordneten Konzepte zur Partizipation und zur Erreichung von Akzeptanz.

## 1.4 Struktur dieses Berichtes

Der vorliegende Synthesebericht stellt die Kategorien, Blaupausen und Detail-Blaupausen im Synthesefeld 1 vor. Zur Strukturierung des Berichts wird auf die zuvor dargestellten Abstraktionsebenen der Blaupausen zurückgegriffen. Die Strukturierung von Kategorien erfolgte maßgeblich anhand von Sektoren, d. h. Haushalte, Industrie und GHD sowie dem Energiesektor. Innerhalb dieser Kategorie-Kapitel wird für jede Blaupause ein Unterkapitel genutzt. Den Blaupausen untergeordnet sind zum Teil Unterkapitel für die Darstellung von Detail-Blaupausen.

Die Blaupausen und Detail-Blaupausen beleuchten unterschiedliche Technologien bzw. unterschiedliche Schritte im Flexibilisierungsprozess (wie Akquise oder Einbindung). Diese Struktur wird in der nachfolgenden Abbildung 9 dargestellt.

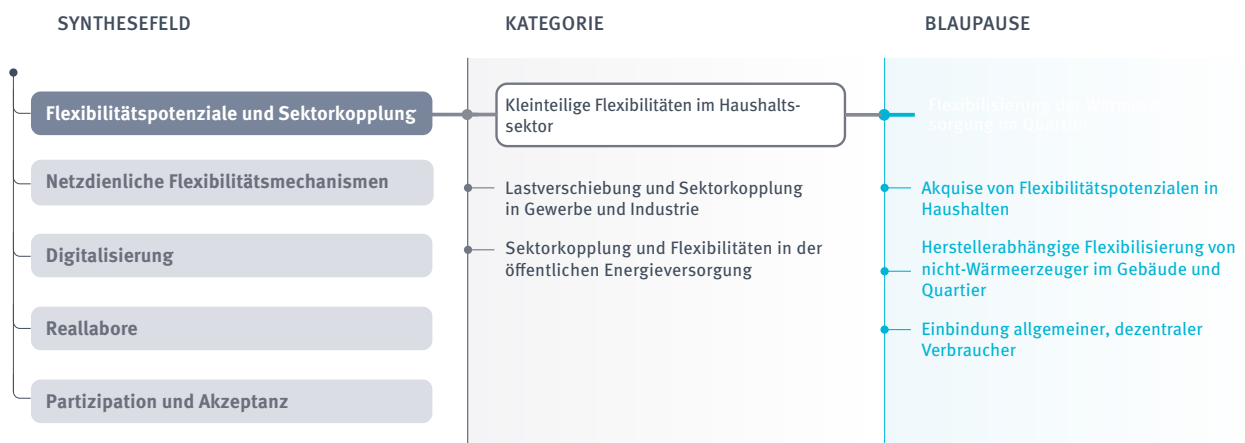


Abbildung 9: Struktur des Syntheseberichtes im Synthesefeld 1 (Auszug)

Die Aufbereitung der in SINTEG aufgezeigten Lösungen in den Beschreibungen der Blaupausen erfolgte basierend auf den Ergebnisdokumentationen der Schaufenster, die der Ergebnissynthese vorlagen. Anhang: Übersicht SINTEG-Aktivitäten führt auf, welche Dokumente je SINTEG-Aktivität hinzugezogen wurden. Von einem detaillierten Referenzieren dieser Dokumente innerhalb der Blaupausen und Detail-Blaupausen im Synthesebericht wird im Sinne der besseren Lesbarkeit abgesehen.

Der vorliegende Bericht umfasst folgende Kapitel, basierend auf den drei identifizierten Kategorien:

- **Kategorie 1 – Kleinteilige Flexibilitäten im Haushaltssektor:** Kapitel 2 befasst sich mit der Akquise und Hebung von Flexibilitätspotenzialen in Haushalten mit einem besonderen Fokus auf die Steuerung von Lasten und Aggregationsebenen, insbesondere von elektrifizierter Wärmeerzeugung.
- **Kategorie 2 – Lastverschiebung und Sektorkopplung in Gewerbe und Industrie:** Kapitel 3 beleuchtet zunächst die Möglichkeiten zur Lastverschiebung im Industrie- und GHD-Sektor. Darüber hinaus werden Blaupausen für Sektorkopplung in Zusammenhang mit PtH und Elektromobilität vorgestellt.
- **Kategorie 3 – Sektorkopplung und Flexibilitäten in der öffentlichen Energieversorgung:** Möglichkeiten, Verbrauch oder Erzeugung in der öffentlichen Strom-, Wärme- und Gasversorgung zu flexibilisieren behandelt Kapitel 4.

Abgerundet wird der Bericht durch die Darstellung von übergreifenden Handlungsempfehlungen und der Feststellung des weiteren Forschungsbedarfs in Kapitel 5.

# 2

---

**Kategorie 1:  
Kleinteilige  
Flexibilitäten im  
Haushaltssektor**

# KLEINTEILIGE FLEXIBILITÄTEN IM HAUSHALTSSEKTOR

## 2.1 Kategoriebeschreibung

### PROBLEMSTELLUNG

Die zunehmende Einspeisung dezentral erzeugter Energie und gleichzeitige Elektrifizierung in den Sektoren Wärme (Wärmepumpen) und Verkehr (Elektroautos) führt dazu, dass Netzengpasssituationen vermehrt in unteren Spannungsebenen auftreten werden. Der konventionelle Netzausbau ist eine Methode, diesen Engpässen zu begegnen. Eine ergänzende Möglichkeit ist die Nutzung von flexiblen Stromverbrauchern und -erzeugern zur Stabilisierung des bestehenden Stromnetzes.

Die Erzeugung oder der Verbrauch von Haushalten (z. B. durch Elektrofahrzeuge oder Raumwärmeerzeugung) wird als kleinteilige Flexibilität bezeichnet, da die einzelnen Anlagen – im Vergleich zu den heute zur Regelung des Netzes genutzten Flexibilitäten wie Kraftwerken oder großen Batteriespeichern – eine geringe Leistung haben. Die Nutzung der Flexibilitäten in Haushalten kann dennoch relevant werden, da nur sie auf sehr lokale Engpässe im Verteilnetz reagieren können. Diese Flexibilitäten sind bereits dort installiert, wo zukünftig vermehrt Engpässe auftreten können. Netzausbaumaßnahmen können aufgrund der notwendigen Genehmigungs- und Bauzeiten diese Engpässe teilweise nur verzögert auflösen. Kleinteilige Flexibilitäten sind somit gleichzeitig Mitverursacher und mögliche ergänzende Lösung für lokale Engpässe (siehe auch Abschnitt „Sektorkopplung als Treiber des Flexibilitätspotenzials in Gebäuden“). So kann ein gleichzeitiger Strombezug mehrerer Wärmepumpen oder Elektroautos in einer Straße zu Lastspitzen führen. Als konventionelle Lösung für lokale Engpässe würden Leitungen so weit verstärkt, dass der maximal zu erwartende Strombezug geliefert werden kann. Alternativ könnten beispielsweise Wärmepumpen so gesteuert werden, dass Pufferspeicher genutzt werden oder Elektroautos so geladen werden, dass hohe Gleichzeitigkeit vermieden wird. Der Netzausbaubedarf kann über den Einsatz lokaler netzdienlicher Flexibilitäten auf ein volkswirtschaftlich effizientes Maß gesenkt werden.

Einzelne oder wenige Gebäude können bereits genutzt werden, um Defizite vor Ort auszugleichen. Wird eine größere Anzahl an Anlagen aggregiert, können sie zur Stabilisierung des übergeordneten Stromnetzes beitragen. Dafür werden heute vor allem größere, einspeisende Anlagen genutzt. Beide Aspekte machen die Nutzung von kleinteiligen Flexibilitäten in Zukunft interessant. Sie bildeten daher einen wichtigen Teil der Schaulensteraktivitäten.

Technisches Potenzial an kleinteiliger Flexibilität – wie Elektromobilität, Wärmepumpen und Heimspeicher – ist vorhanden und wird mit zunehmender Sektorkopplung weiter steigen. Derzeit kann dieses Potenzial jedoch kaum genutzt werden: die ausstehende Digitalisierung der Infrastruktur und der Anlagen, aber auch mangelnde Bereitschaft und Anreize für Haushalte stellen Hürden dar.

Um diese Hürden zu überwinden sind zur Aktivierung und Nutzung kleinteiliger Flexibilitäten folgende grundlegende Voraussetzungen notwendig:

- **Digitale Infrastruktur** zur Messung der Entnahme und Einspeisung durch die Haushalte, zur Erhebung von Netzzustandsinformationen sowie zur sicheren Weitergabe der Daten ist vorhanden;
- **Sichere Infrastruktur** zur Ansteuerung der Anlagen ist umgesetzt;
- Flexibilitätpotenzial zahlreicher kleinteiliger Anlagen wird auf **sinnvollen Ebenen aggregiert**;
- Besitzer des Flexibilitätpotenzials sind **sensibilisiert und bereit**, ihre Potenziale bereitzustellen;
- **Interessante Geschäftsmodelle** für die systemdienliche Nutzung von Flexibilität aus Haushalten/Gebäuden bestehen.

Der Fokus der Inhalte in der Kategorie „Haushaltssektor“ liegt auf der Nutzbarmachung und Aggregation der Flexibilität zu einem Produkt, welches direkt genutzt oder weitervermarktet wird. Die Infrastruktur zur Aggregation mehrerer Flexibilitätsprodukte z. B. auf Plattformen wird im Synthesefeld 2 näher betrachtet.

## TECHNISCHE KOMPONENTEN BEI DER HEBUNG VON FLEXIBILITÄTSOPTIONEN IM HAUSHALTSSEKTOR

Bei der Flexibilisierung von Haushalts- und Gebäudelasten kann auf folgende technische Optionen zurückgegriffen werden:

- Elektrischen Wärme- und Warmwassererzeuger, Mikro-KWK-Anlagen,
- Batteriespeicher,
- Wallboxen (Elektrofahrzeuge),
- und sonstige elektrische Verbraucher (Haushaltsgeräte).

„Sonstige elektrische Verbraucher“ bezeichnet alle nichtgenannten Haushaltsgeräte an Steckdosen wie z. B. Waschmaschinen, Trockner oder Kühlschränke. Die Einzellasten dieser Geräte sind für sich genommen sehr klein. Sollte jedoch die Digitalisierung der Haushalte voranschreiten, könnten sie aggregiert ebenfalls in die lokale Optimierung der Energieflüsse in Gebäuden mit eingebunden werden (hierzu siehe auch Detail-Blaupause 2.3.2 „Digitaler Netzanschluss“).

Die Erzeugung von Raumwärme und die Brauchwassererwärmung sind verantwortlich für den mit Abstand größten Teil des Endenergieverbrauchs in Haushalten (über 80 %) (Umweltbundesamt [UBA], 2020a). Der hiervon als Flexibilität für das Stromnetz nutzbare Anteil begrenzt sich zwar auf die Fernwärme (ca. 10 %) und strombetriebene Anlagen (ca. 2 %) (Statistisches Bundesamt [DESTATIS], 2019), beide Wärmequellen sollen in Zukunft jedoch ausgebaut werden. Batteriespeicher bieten sich als flexible Verbraucher und Einspeiser an,



da sie bereits in den Haushalten zur Anpassung des flexiblen Verbrauchs genutzt werden und potenziell in das öffentliche Netz einspeisen können. Zukünftig wird E-Mobilität eine der größten Einzellasten in Gebäuden darstellen, wodurch eine intelligente Regelung von Ladevorgängen hohe Relevanz für die Netzstabilität besitzt.

Die Begriffe Haushalte, Gebäude und Liegenschaften in dieser Kategorie beziehen sich auf private Haushalte und größere Gebäude oder Liegenschaften mit überwiegend privaten Wohnungen. Das Flexibilitätpotenzial in gewerblich und industriell genutzten Gebäude wird im folgenden Kapitel (Kategorie 2) behandelt. Obwohl dort ähnliche Verbrauchsarten vorhanden sind (Raumwärme, Lüftung, etc.) unterscheiden sich die Herausforderungen in der Hebung der Flexibilität. Um Flexibilitätpotenziale privater Haushalte zu heben, müssen mehrere, für sich genommen eher geringe Lasten, aggregiert werden. Bei industriellen und gewerblichen Lasten kann dagegen die Aggregation innerhalb des Unternehmens stattfinden und es stehen Kriterien wie die Prozesssicherheit im Vordergrund.

## HEMNMISSE FÜR DIE HEBUNG KLEINTEILIGER FLEXIBILITÄTEN

Im Prozess der Ergebnissynthese konnten folgende schaufensterübergreifende Hemmnisse für die Hebung kleinteiliger Flexibilitäten identifiziert werden:

- **Nutzer-Investor-Dilemma:** Gerade im Gebäudebereich werden in vielen Fällen die nötigen Investitionen nicht vom Nutzer selbst umgesetzt (bspw. Gebäudebesitzer/Mieter). Damit entfällt ein signifikanter Anreiz, die Investition zu tätigen.
- (Zu) **geringe monetäre Anreize** für die potenziellen Anbieter von Flexibilität: Die Erlöspotenziale der gehobenen Flexibilität sind zu gering oder nicht vorhanden, um Investitionen zu rechtfertigen.
- **SMGWs (Smart Meter Gateway)** waren zur Zeit der Implementierung der SINTEG-Demonstrationsprojekte nicht in ausreichendem Umfang installiert und die bereits installierten hatten noch nicht die notwendigen Funktionalitäten (Tarifanwendungsfälle - TAF) die zur Hebung von Flexibilitäten nötig sind.
- **Regulatorische Komplexität und Grenzen von** Eigenstromnutzung, Mieterstrom etc.
- **Digitale, bidirektionale Interoperabilität** zwischen den SMGWs bzw. der CLS (Controllable Local Systems)-Steuerbox, potenziellen Energiemanagementsystemen und den Anlagen in den Haushalten weitestgehend nicht gegeben.

## VERZÖGERUNG BEIM SMGW-ROLLOUT<sup>6</sup>

Mit dem „Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende“ wurde im Jahr 2015 ein schrittweiser Einbau von SMGWs in Deutschland beschlossen (BMWi, 2015). Der Rollout sollte im Jahr 2017 mit den Verbrauchern 100.000 kWh/Jahr starten, bis dann die Gruppe <10.000 kWh/Jahr ab dem Jahr 2020 miteinbezogen werden sollte. Entsprechend diesem initialen Zeitplan zielten einige Schaufensterprojekte darauf ab, die neue Infrastruktur in den Demonstratoren auf ihre Praxistauglichkeit zu testen. Während der Schaufensterlaufzeit verzögerte sich jedoch der Roll-

<sup>6</sup> Aufgrund der Präsenz des Themas und seiner Bedeutung für die Projektvorhaben folgt eine Übersicht zur initialen Planung des SMGW Rollouts und dessen Stand am Ende der Schaufensterlaufzeit. Es ist zu beachten, dass der SMGW Rollout kein Teil der SINTEG-Projekte war und daher keine Empfehlungen formuliert werden.

out stark aufgrund fehlender Zertifizierung der SMGWs durch das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI). Die technische Möglichkeit des Einbaus von intelligenten Messsystemen nach § 30 Messstellenbetriebsgesetz fordert, dass mindestens die Geräte von drei Herstellern zertifiziert sind bevor der Einbau beginnen kann. Die Zertifizierung eines dritten Herstellers war erst im Dezember 2019 abgeschlossen. Damit wurde die für den Rollout notwendige positive Markterklärung erst im Januar 2020 durch das BSI veröffentlicht (BSI, 2020).

Die Arbeit in den Demonstrationsprojekten wurde bis dahin mit nicht-zertifizierten SMGWs oder Eigenentwicklungen der Schaufenster durchgeführt und war bis zum Abschluss des Zertifizierungsprozesses teilweise schon abgeschlossen oder in den letzten Auswertungsphasen. Für eine Einbeziehung in die Planung und den Aufbau der Demonstratoren – in der Phase von 2017 bis 2019 – waren die (zertifizierten) SMGWs somit nicht verfügbar. Zusätzlich verfügten die nun zertifizierten SMGWs nicht über alle erwarteten Funktionalitäten (zur Einführung waren es lediglich 4 der insgesamt 12 geplanten Funktionalitäten) (EnergieAgentur NRW, 2020).

Dies hatte Folgen für die Ergebnisse der Schaufensterprojekte, die mit einer breiten Verfügbarkeit der SMGWs in den Haushalten gerechnet hatten. In vielen dieser Projekte konnten deutlich weniger Anlagen flexibilisiert werden, da der Aufwand zur Installation der nun notwendigen alternativen Kommunikationsinfrastruktur sehr hoch war. Teilweise wurde prototypische IKT-Infrastruktur als Alternative zur Realisierung der Demonstratoren genutzt oder es wurden nicht-zertifizierte SMGWs eingesetzt. Diese Lösungen können jedoch nicht direkt als Grundlage für Blaupausen dienen, da in Zukunft nur zertifizierte SMGWs für die Kommunikation verwendet werden dürfen.

## SEKTORKOPPLUNG ALS TREIBER DES FLEXIBILITÄTSPOTENZIALS IN GEBÄUDEN

Die Sektorkopplung ist ein wichtiges Instrument, um den Energieverbrauch in unterschiedlichen Sektoren zu dekarbonisieren. Bezogen auf den Gebäudesektor geht es hierbei vor allem um die Raumwärme- und Warmwassererzeugung sowie Ladevorgänge für Elektromobilität. Zunächst führt der Umstieg auf elektrisch betriebene Fahrzeuge und Wärmeerzeuger zu einer zusätzlichen Belastung des Stromnetzes. Neben dem insgesamt steigenden Stromverbrauch werden Gebäudelastprofile vermehrt Lastspitzen aufweisen, sofern diese neuen Technologien nicht intelligent geregelt werden.

Gelingt es jedoch, neue Verbraucher aktiv und netzdienlich zu steuern, können sie einen Beitrag zur Stabilisierung des Stromnetzes, zur Minimierung des Netzausbaus und zu einer Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien in den Sektoren Wärme und Mobilität leisten.

Gebäudelasten haben gegenüber großen zentralen Verbrauchern oder Erzeugern den Vorteil, dass sie über das ganze Stromnetz verteilt sind und lokal gezielt eingesetzt werden können. Dezentral erzeugte, erneuerbare Energie kann vor Ort verwendet werden und lokale Netzengpässe können direkt aufgelöst werden. Hier haben die SINTEG-Schaufenster angesetzt: Mit den Projekten wird angestrebt, die zusätzliche Belastung durch die voranschreitende Sektorkopplung in Gebäuden zu minimieren und das neue Potenzial als Chance zu begreifen, um Gebäude aktiv zur Netzstabilisierung zu nutzen.

## STROMMARKT VS. WÄRMEMARKT

Die SINTEG-Schaufensterprojekte haben auf das Ziel hingearbeitet, die Lasten im Gebäudesektor, hauptsächlich der Wärmeerzeugung, für das Stromnetz nutzbar zu machen. Die Anforde-

rungen des Strom- und Wärmemarktes sind bei der Sektorkopplung in diesem Bereich teilweise gegenläufig. So wurden in den Demonstratoren teils Wärmeerzeuger verwendet, die auf einfache Weise Strom in Wärme umwandeln und dementsprechend einfach geregelt werden können. Dies betrifft im Gebäudebereich hauptsächlich Heizstäbe, zudem auch Elektro-Heizkessel, auf die im Kapitel 4 über die öffentliche Energieversorgung näher eingegangen wird.

Diese Technologien weisen jedoch, verglichen mit Wärmepumpen, eine schlechte Effizienz auf. Daraus ergeben sich – neben der ökologischen Ineffizienz – Hürden für den Einsatz der Technologien im Wärmemarkt. Aktuell zur Wärmezeugung verwendete Energieträger wie Gas oder Öl sind für Verbraucher noch kostengünstiger als Strom. Während Wärmepumpen unter geeigneten Einsatzbedingungen diesen Nachteil durch ihre hohe Effizienz ausgleichen können, ist der Einsatz von Elektro-Kesseln oder Heizstäben aufgrund des höheren Stromverbrauchs deutlich teurer. Auch ein steigender CO<sub>2</sub>-Preis wird diese Lücke in absehbarer Zukunft nicht schließen.

Die Nutzung von sogenanntem „überschüssigem erneuerbarem Strom“ – also Stromerzeugung durch Wind oder PV, die aufgrund von Netzengpässen abgeregelt werden müsste – wäre eine Möglichkeit günstigen oder, bei negativen Preisen, sogar vergüteten Strom zu beziehen. Das könnte dazu beitragen Heizstäbe ökonomisch und (im Vergleich zur Abregelung) ökologisch sinnvoll zu betreiben. Dieses Einsatzszenario ist im aktuellen regulatorischen Rahmen (kein stark vergünstigter Strombezug) jedoch nicht vorgesehen und auch die Anzahl der Stunden mit Überschussstrom ist noch gering (Agora Energiewende, 2018).

Es gab jedoch vor allem positive Synergien zwischen Strom- und Wärmemarkt bei der Umsetzung der SINTEG-Projekte zu beobachten. Erfolgreiche Lösungen nutzten häufig Infrastruktur, die ursprünglich für den Wärmesektor installiert wurde, zur Bereitstellung von Flexibilität an den Stromsektor. Dazu zählen PtH-Elemente („Franklin Quartier“, c/sells), die im Wärmenetz installiert wurden, um den Durchfluss der Wärmeversorgung zu gewährleisten oder Heizstäbe („Prenzlauer Berg“, WindNODE), die zu Warmwasserbereitstellung benötigt wurden (näheres hierzu in Blaupause 3: Flexibilitätpotential durch Quartierslösungen).

## AUSSERHALB VON SINTEG ERREICHTER KENNNTIS- UND ENTWICKLUNGSSTAND

Die Kategorie Haushalte deckt ein breites Spektrum an Technologien und Anwendungsfällen ab. Der Kenntnis- und Entwicklungsstand wird im Detail in der jeweiligen Blaupause abgebildet.

Auch außerhalb von SINTEG wurden und werden bereits zahlreiche Projekte zu Lastflexibilität im Haushaltssektor durchgeführt. Darunter sind viele Quartiersprojekte und Eigenentwicklungen, die von Hardware-Herstellern getrieben wurden. Parallel arbeiten die deutschen Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB), oftmals mit den Hardware-Herstellern zusammen, an Pilot-Projekten in denen Anlagen für den Regelenergieeinsatz oder zum Redispatch genutzt werden. Zu diesen zählen u. a. die Lösungen zu Wärmepumpen, E-Mobilität und PV/Batteriespeichern großer Heizungshersteller, oder spezialisierten Anbietern von PV/Batteriespeichern. Mehrere Unternehmen testen bereits mit ÜNB die Erbringung von Regelleistung durch den herstellereigenen Anlagen-Pool. Hierbei ist auch der lange Prozess der SMGW-Zertifizierung ein Treiber für herstellerabhängige Lösungen. Anlagenhersteller können ihre proprietäre digitale Infrastruktur verwenden, um dezentrale Anlagen zu aggregieren. Der Zugriff durch die ÜNB erfolgt dann auf den bereits voraggregierten Anlagenpool.

Zur Aggregation von Flexibilitäten in Haushalten für den Einsatz in virtuellen Kraftwerken haben vor allem Unternehmen, die Softwareplattformen entwickeln, versucht, digitale Lösungen zu entwickeln. Diese stoßen jedoch häufig bei der praktischen Einbindung der Bestandsanlagen in den Gebäuden auf Schwierigkeiten. Das liegt an der mangelnden Kommunikationsfähigkeit der Anlagen in Bestandsgebäuden (keine digitalen Schnittstellen) und der mangelnden Steuermöglichkeit durch SMGWs. SMGWs sind als sichere Infrastruktur zur Kommunikation in die Haushalte vorgesehen.

Lokale EMS, welche beispielsweise die Eigenstromversorgung von Prosumenten optimieren, sind schon deutlich präsenter im Markt. Jedoch fehlt auch ihnen die Möglichkeit der bidirektionalen Kommunikation nach außen, sprich mit den Netzbetreibern, um ihre Flexibilität anzubieten.

Trotz zahlreicher Einzelentwicklungen (z. B. Abregelung von PV-Anlagen mit Rundsteuerempfänger) in diesem Bereich gibt es wenige herstelleroffene, integrierte Lösungen, die die vollständige Kette – von der Leitwarte des Netzbetreibers bis zur Kundenanlage – für unterschiedliche Technologien abdecken. Nur für herstellerabhängige Lösungen<sup>7</sup> (ein Anlagenhersteller bietet dem Netzbetreiber „seinen“ Anlagenpool an) – konnte in Pilotprojekten außerhalb von SINTEG die vollständige Kommunikationskette getestet werden. Die Ansteuerung durch einen externen Aggregator (nicht Hersteller der Anlage) ist bisher kaum gelungen. Dieser Herausforderung widmete sich SINTEG in diversen Projekten.

## BLAUPAUSEN AUS SINTEG-PROJEKTEN

Die SINTEG-Schaufenster haben die technische Machbarkeit unterschiedlicher Lösungen zur Steuerung kleinteiliger Flexibilitäten demonstriert. Diese reichen von spezielleren Anwendungen, wie der Vernetzung und Hebung der Flexibilitäten eines gesamten Wohnblocks, bis hin zu systemischen Ansätzen in denen mehrere unterschiedliche Flexibilitäten für Marktplattformen nutzbar gemacht wurden. Übergeordnete Erkenntnisse und Herangehensweisen werden in diesem Abschnitt beschrieben, während die Unterkapitel mit den Blaupausen sich auf die Details einzelner Lösungen fokussieren.

## ÜBERBLICK DES KAPITELS

Die im folgenden vorgestellten Blaupausen greifen die Erfahrungen der SINTEG-Projekte im Bereich Haushaltsflexibilität aggregiert auf, um diese für die Praxis zur Verfügung zu stellen. Dabei sind Blaupausen zu den drei wichtigsten Themen aus Sicht der Ergebnissynthese entstanden:

- Einer der wichtigsten Aspekte zur Hebung der Flexibilitäten in Privathaushalten ist die Bereitschaft der Bevölkerung, sich diesen neuen Technologien zu öffnen und aktiv an der Energiewende teilzuhaben. Hierbei haben die Schaufensterprojekte zahlreiche Erfahrungen gesammelt, die in der ersten Blaupause **„Akquise von Flexibilitätpotenzialen in Haushalten“** zusammengefasst sind.
- Den Hauptteil dieser Kategorie bildet die Blaupause **„Hebung kleinteiliger Flexibilitäten in Gebäuden“**. Mit ihren Detail-Blaupausen zu „Steuerung und Lastverhalten“, dem Konzept des „Digitalen Netzanschluss“ und den Erkenntnissen zur „Kommunikation über das

<sup>7</sup> Zur Unterscheidung zwischen herstellerabhängiger Lösung und externer Aggregator siehe Blaupause 2

Smart Meter Gateway“ werden hier die größten Herausforderungen zur Nutzbarmachung des Flexibilitätpotenzials in Haushalten angegangen.

- Eine zusätzliche, davon ausgegliederte Komponente bildet die Blaupause **„Flexibilitätpotenziale durch Quartierslösungen heben“**. Neben den übergeordneten Vorteilen von Quartierslösungen wird im Detail auf eine Lösung eines Bestandsquartiers und eines Neubauquartiers eingegangen.

Zur **Kapitelübersicht** sind im Folgenden alle Blaupausen mit den zugehörigen Detail-Blaupausen aufgelistet:

- 1 Blaupause: Akquise von Flexibilitätpotenzialen in Haushalten
- 2 Blaupause: Hebung kleinteiliger Flexibilitäten in Gebäuden
  - 2.1 Detail-Blaupause: Steuerung und Lastverhalten von kleinteiligen Flexibilitäten in Gebäuden
  - 2.2 Detail-Blaupause: Digitaler Netzanschluss – Die intelligente Schnittstelle zwischen Stromnetz und Gebäude
  - 2.3 Detail-Blaupause: Kommunikation über das Smart Meter Gateway
- 3 Blaupause: Flexibilitätpotenzial durch Quartierslösungen heben
  - 3.1 Detail-Blaupause: Bestandsquartier: Flexibilisierung der Wärmeversorgung
  - 3.2 Detail-Blaupause: Neubauquartier: Nahwärmenetz als Flexibilitätpotenzial

## INNOVATIONSGEHALT

Die in SINTEG umgesetzten Lösungen basieren auf heute verfügbaren und aus technischer Sicht meist einfach zu replizierenden Technologien. Jedoch wurden in SINTEG die Lösungen in ein systemisches Konzept eingebracht, dessen Umfang vergleichbare Projekte in Deutschland übersteigt.

Die Akquise von Haushalten zur Flexibilitätsbereitstellung in unterschiedlichsten Regionen Deutschlands ist ein Alleinstellungsmerkmal von SINTEG. Die Nutzungsmöglichkeiten vorhandener oder kürzlich entwickelter IKT-Infrastruktur sowohl in Neubau- wie Bestandsquartieren zur Hebung von Flexibilitäten wurde in diesem Ausmaß ebenfalls erstmals untersucht.

Ein weiterer, in SINTEG erzielter, Fortschritt ist die Kommunikation zwischen bislang nicht verbundenen Akteuren, wie Wohnungsunternehmen, VK (Virtuelles Kraftwerk)- und Netzbetreibern. Ein Wissensaustausch und deutlich verbesserte Kenntnis der Anforderungen und Funktionsweise der beteiligten Akteure konnten hier erreicht werden.

Vor allem gelang es, wenn auch unter großem Aufwand, die Kommunikationsstrecke von der einzelnen Anlage in unterschiedlichen Haushalten bis zur Leitwarte des Netzbetreibers zu etablieren. Flexibilitätpotenzial nicht nur zur Eigenverbrauchssteigerung im Gebäude oder der Glättung von Spitzenlasten zu nutzen, sondern auf Anfragen des Netzbetreibers direkt zu reagieren war eine technische und koordinative Leistung. Dies konnte, wie im Abschnitt „Außerhalb von SINTEG erreichter Kenntnis- und Entwicklungsstand“ dargestellt, nicht nur mittels proprietärer Lösungen, also in Zusammenarbeit mit herstellerabhängiger IKT-Infrastruktur, sondern mit unterschiedlichsten Anlagen im Bestand erreicht werden.

## BEDINGUNGEN FÜR ÜBERTRAGBARKEIT

Für eine erfolgreiche Implementierung der genannten Blaupausen sind übergreifend folgende Punkte erforderlich:

- **Preisreize sind für valide Geschäftsmodelle unabdingbar.** Die Schaufenster haben durchweg gezeigt, dass rentable Geschäftsmodelle für die Bereitstellung von Flexibilität fehlen. Neue Preisreize wie marktliche Flexplattformen oder bereits angedachte regulatorische Preisreize wie dynamische Netzentgelte zur Förderung netzdienlicher Flexibilitätsbereitstellung könnten eine Möglichkeit darstellen, die Umsetzung von Flexibilitätspotenzialen in Haushalten rentabel zu machen.
- **SMGWs müssen in der Breite vorhanden sein.** Ein breiter Rollout an SMGWs mit den nötigen Funktionalitäten ist unerlässlich für die meisten Konzepte, die von den Schaufenstern untersucht wurden. Die teilweise angewendeten Eigenentwicklungen als Alternativen zu fehlenden SMGWs stellen keine effizienten Lösungen dar.
- **Flexibilitätsangebot muss auf Abnehmer treffen.** Angebot und Nachfrage an Flexibilität bedingen sich gegenseitig. Für Projektentwickler ist es wichtig, zumindest mittelfristig ein klareres Bild davon zu haben wie viel Flexibilität von wem nachgefragt wird und in welchem Rahmen diese vergütet wird. Eine Abnahme über marktliche Beschaffungsmechanismen wie Flexplattformen, z. B. von Verteilnetzbetreibern (VNB), könnte hierbei die Entwicklung vorantreiben.
- **Digitale Schnittstellen und Standards.** Sowohl die Schnittstellen am SMGW bzw. der CLS-Steuerbox als auch die Schnittstellen an der Anlage selbst müssen bidirektional funktionieren und über Standardprotokolle ansprechbar sein. Es braucht zudem lokale EMS, die in der Lage sind, über diese Schnittstellen mit den Anlagen bzw. dem SMGW zu kommunizieren.

## WEITERE ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN

Die SINTEG-Demonstrationsprojekte konnten zeigen, dass kleinteilige Flexibilitäten für den Netzbetreiber oder andere, marktorientierte, Akteure nutzbar gemacht werden können und auf Steuerungssignale reagieren. Es bleiben jedoch nach Abschluss der SINTEG-Schaufenster noch Fragen offen. Da je Demonstrator nur wenige Anlagen erfolgreich angeschlossen und getestet wurden, konnte z. B. die Frage des aggregierten Gesamtpotenzials einer Technologie in einer Region oder darüber hinaus nicht in der Praxis untersucht werden. Die Frage der breiten Akzeptanz für die Flexibilisierung von Lasten in der Bevölkerung und wie diese gesteigert werden kann, ist dadurch ebenfalls noch offen.

Weitere Fragestellungen bleiben unbeantwortet, da in den SINTEG-Schaufenstern nur einzeln SMGWs installiert und einzelne Kommunikationskanäle getestet werden konnten. Zahlreiche Vorhaben konnten nicht wie ursprünglich geplant umgesetzt werden. TAF waren noch nicht vorhanden oder es konnte aufgrund der Rolloutverzögerung keine SMGW-Infrastruktur mit Gateway Administrator und CLS-Steuerbox aufgebaut werden. Die Anbindung von Kundenanlagen erfolgte ausschließlich in Einzellösungen mit viel individuellem Aufwand. Der nächste Entwicklungsschritt ist es, Lösungen zu entwickeln, welche einen standardisierten Einbau und Konfiguration der SMGW-Infrastruktur erlauben. Im Rahmen eines standardisierten Einbaus kann auch eine realistischere Untersuchung der Kosten zur Hebung einzelner

Flexibilitäten bestimmt werden. Des Weiteren ist es durch einen breiten Einsatz möglich den Nutzen für das Netz besser zu analysieren.













Des Weiteren sollte die Nutzung einer Flexibilität durch mehrere externe Marktteilnehmer (EMT), z. B. ein VK, einen Anlagenhersteller und den Netzbetreiber, untersucht werden. Dies wird in Zukunft relevant sein, um z. B. gleichzeitig mehrere Geschäftsmodelle zu etablieren. Infolgedessen könnte die Vergütung einzelner Anwendungsfälle geringer, die Gesamterlösmöglichkeiten jedoch höher ausfallen.

Der wenig digitalisierte Anlagenbestand stellte die Projektentwickler vor große Herausforderungen. Es gibt kaum Heizungsanlagen, die über eine digitale Schnittstelle nach außen verfügen. Selbst die neuere Generation – mit Smart-Ready Label – garantiert nur eine unidirektionale Kommunikation. Eine erfolgreiche Hebung des breiten Flex-Potenzials im Gebäudebestand hängt stark von der Möglichkeit der standardisierten Kommunikation zwischen den Anlagen und dem SMGW und damit verbunden geringem Installationsaufwand ab.

Der Fokus der SINTEG-Demonstratoren lag zudem auf der Einbindung einzelner Anlagen oder Anwendungen wie Wärmeerzeugern. Dadurch spielte die Implementierung von lokalen EMS in den Haushalten zur Koordinierung unterschiedlicher Anlagentypen noch kaum eine Rolle. Um eine erfolgreiche Hebung des relevanten Flexibilitätpotenzials zu erreichen, ist dieser Schritt jedoch von entscheidender Bedeutung. Die Entwicklung in Richtung Standardisierung der Schnittstellen zwischen EMS und den Anlagen aber auch zwischen den EMS und der CLS-Steuerbox muss vorangetrieben werden.

Zudem sollte die Infrastruktur zur Hebung von Flexibilität auch für weitere Anwendungsfälle genutzt werden. Das EMS kann auch vom Anbieter der Flexibilität genutzt werden, um den Wohnkomfort zu steigern, Energie zu sparen oder den Verbrauch zu monitoren. Gleichzeitig ist es wichtig, bei der Entwicklung und Implementierung von IKT-Infrastruktur, wie einem lokalen EMS, die potenzielle Nutzung des Systems zur Bereitstellung von Flexibilität mitzudenken. Die Weiterentwicklung der Mehrwerte benötigter IKT-Infrastruktur trägt erheblich zu einem wirtschaftlichen Geschäftsmodell, höherer Akzeptanz und somit einer früheren Hebung des Flexibilitätpotenzials in der breiten Bevölkerung bei.

## 2.2 Blaupause 1: Akquise von Flexibilitätpotenzialen in Haushalten

Blaupause									
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wohnungsunternehmen und Gebäudebesitzer</li> <li>■ Energieversorger / Stadtwerke</li> <li>■ VNB und VK-Betreiber</li> </ul>								
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	Bedenken zu Komforteinbußen und Datenschutz erschweren die Akquise von Flexibilitäten aus Haushalten. Der mögliche Beitrag von Flexibilitätsbereitstellung für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende ist potenziellen Bereitstellern häufig nicht bekannt.								
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Haushalte werden mit lokal abgestimmten Konzepten angesprochen, z. B. unter Einbindung der lokalen Presse oder Handwerkern vor Ort. Kernargumente, wie Mehrfachnutzen für die Haushalte und Umwelt werden aktiv beworben und bekannte Hemmnisse von Beginn an adressiert.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kernargumente und Anreize für die Flexibilitätsbereitstellung klar kommunizieren: Beitrag zu lokaler Energieversorgung, CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung, Reduzierung der Energiekosten bzw. Steigerung der Erlösmöglichkeiten.</li> <li>■ Bedenken im Hinblick auf bspw. Datenschutz sollten ernst genommen, adressiert und kooperativ Lösungen entwickelt werden.</li> <li>■ Lokale Akteure wie Installateure, aber auch die lokale Presse sollten in die Wissensvermittlung eng einbezogen werden.</li> <li>■ Flexibilisierung darf nicht mit Komfortverlusten einhergehen, sondern muss Mehrwert bieten.</li> </ul>								
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td><b>Haushalte</b></td> <td>GHD</td> <td>Industrie</td> <td>Energie</td> </tr> <tr> <td><b>Flexibilisierung</b></td> <td>Sektorkopplung</td> <td colspan="2">Erzeugung</td> </tr> </table>	<b>Haushalte</b>	GHD	Industrie	Energie	<b>Flexibilisierung</b>	Sektorkopplung	Erzeugung	
<b>Haushalte</b>	GHD	Industrie	Energie						
<b>Flexibilisierung</b>	Sektorkopplung	Erzeugung							
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> <p>TRL: Nicht anwendbar</p>								
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	<table border="0"> <tr> <td>  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ALF / ReFlex</li> <li>■ Franklin Quartier</li> <li>■ Intelligente Wärme München</li> </ul> </td> <td>  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ PtH Werne</li> <li>■ Mikro-KWK</li> </ul> </td> <td>  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gas-Hybrid-Heizungen</li> <li>■ Hausspeicher</li> </ul> </td> <td>  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Dynamische Tarife</li> </ul> </td> <td>  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Quartier Prenzlauer Berg</li> </ul> </td> </tr> </table>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ALF / ReFlex</li> <li>■ Franklin Quartier</li> <li>■ Intelligente Wärme München</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ PtH Werne</li> <li>■ Mikro-KWK</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gas-Hybrid-Heizungen</li> <li>■ Hausspeicher</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Dynamische Tarife</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Quartier Prenzlauer Berg</li> </ul>			
 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ALF / ReFlex</li> <li>■ Franklin Quartier</li> <li>■ Intelligente Wärme München</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ PtH Werne</li> <li>■ Mikro-KWK</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gas-Hybrid-Heizungen</li> <li>■ Hausspeicher</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Dynamische Tarife</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Quartier Prenzlauer Berg</li> </ul>					
<b>Innovationsgehalt</b>	Bisherige Pilotprojekte außerhalb von SINTEG greifen bei der Akquise auf einen bestehenden Kundenstamm zurück, während in SINTEG die breite Bevölkerung angesprochen wurde (z. B. ein Landkreis). Dadurch wurden Herangehensweisen und Inhalte zur Gewinnung und Sensibilisierung breiter Bevölkerungsgruppen in SINTEG erstmalig erprobt.								
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	Diese Blaupause bezieht sich auf private Haushalte. Gebäude in öffentlicher Hand sowie Gewerbe sind nicht enthalten. Um die Akquise von Flexibilitäten aus Haushalten in der Masse zu sichern, müssen attraktive Geschäftsmodelle für Flexibilitätsnutzer und -anbieter entwickelt werden.								

### IN SINTEG ENTWICKELTE LÖSUNGEN

Flexibilitätpotenziale in Haushalten können nur gehoben werden, wenn Endkunden Eingriffe in ihre private Energieversorgung erlauben. Diese Blaupause stellt Ansätze vor, die in der Praxis zu einer erfolgreichen Akquise von Flexibilitäten aus Haushalten beitragen konnten. Zudem wird aufgezeigt, welche Informations- und Beteiligungskonzepte die Akquise unter-



stützen können und welche Bedenken adressiert werden müssen. Eine Übersicht der Hemmnisse – für spezielle Eigentümerstrukturen als auch allgemein für die Flexibilitätsakquise – soll die zukünftige Entwicklung von Angeboten erleichtern.

## ANREIZE ZUR BEREITSTELLUNG VON FLEXIBILITÄT

In den Schaufensterprojekten wurden Anreize und Argumente identifiziert, die Endkunden von der Bereitstellung von Flexibilitäten überzeugen konnten. Neben monetären Anreizen wurden zahlreiche nicht-monetäre Argumente mit Überzeugungskraft identifiziert, allen voran die Möglichkeit, zum Gelingen der „lokalen Energiewende“ beizutragen sowie die Möglichkeit zur Nutzung von Mehrwertdiensten über die installierte IKT-Infrastruktur. Zudem unterstützte ein aktives Marketing die Akquise entscheidend. Tabelle 3 zeigt eine Übersicht der Erfolgsfaktoren für Flexibilitätsbereitstellung, die in den Schaufensterprojekten identifiziert wurden.<sup>8</sup>

Erfolgsfaktor/Argument	Beschreibung
Nachhaltigkeit und Relevanz	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Flexibilitätsbereitstellung unterstützt eine nachhaltigere Energieversorgung, Integration erneuerbarer Energien und CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen.</li> <li>■ Eröffnet die Möglichkeit, einen aktiven Beitrag zum Gelingen der lokalen Energiewende zu leisten.</li> </ul>
Monetäre Anreize	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Dynamische Tarife können systemdienliches flexibles Verhalten anreizen, dies muss jedoch (teil-) automatisiert ablaufen.</li> <li>■ Langfristig kann nur durch eine angemessene Höhe der Vergütung die Akzeptanz für Flexibilitätsbereitstellung über den bereits „energiebewussten“ Teil der Bevölkerung hinausgehen.</li> <li>■ Gegenargumente wie befürchteter Kontroll- oder Komfortverlust können durch geringe monetäre Anreize kaum kompensiert werden.</li> <li>■ Die Bewohnerinnen und Bewohner an potenziellen Gewinnen der Flexibilitätsbereitstellung beteiligen: So muss bei Investitionen in die Infrastruktur zur Hebung von Flexibilitätspotentialen eine Win-Win-Situation für Mieter und Gebäudebesitzer geschaffen werden.</li> </ul>
Mehrwertdienste durch Digitalisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Das Angebot weiterer Dienstleistungen auf Basis der installierten IKT-Infrastruktur kann die Akzeptanz von Flexibilisierung steigern, z. B. Verbrauchsmonitoring, Energiemanagement zur Eigenverbrauchs- oder Effizienzsteigerung, Sub-Metering.</li> <li>■ Mehrwertdienste können die Bereitschaft zur Digitalisierung der eigenen Anlagen erhöhen, worauf die spätere Nutzung als Flexibilität aufbauen kann.</li> <li>■ Die Installationskosten für IKT-Infrastruktur können durch andere Anwendungen, neben der Flex-Bereitstellung, mitfinanziert werden und durch Mehrwerte wie z.B. Energieeinsparungen, Kontrolle des Verbrauchs, Steigerung des Wohnkomforts die Akzeptanz steigern.</li> </ul>

Tabelle 3: Übersicht der identifizierten Erfolgsfaktoren

Erfolgreiche Projekte im Rahmen der SINTEG-Schaufenster zeichnen sich dadurch aus, dass sie möglichst viele der genannten Erfolgsfaktoren und Argumente kombinierten und somit ein attraktives Angebot für Endkunden bereitstellen. Zu diesen Beispielen zählt das Quartiersprojekt „Quartier Prenzlauer Berg“ (WindNODE), im Rahmen dessen Endkunden Energieeinsparungen realisieren und ihren Verbrauch monitoren und regeln konnten.

<sup>8</sup> Weitere Erkenntnisse zu Ansätzen, die Akzeptanz und Partizipation von Nutzerinnen und Nutzern im zukünftigen Energiesystem steigern können, beispielsweise Human-Centered-Design, werden im Synthesebericht des Synthesefeldes „Partizipation und Akzeptanz“ ausgeführt.

Im Projekt „Dynamische Tarife“ (NEW 4.0) wurde untersucht, inwieweit flexibles Verbrauchsverhalten von Haushalten durch dynamische Stromtarife angereizt werden kann. Umfragen bei über 500 Haushalten zeigten, dass eine Mehrheit der Haushalte ab vergünstigten Stromtarifen von 5 – 10 ct/kWh bereit wäre, das eigene Verbrauchsverhalten anzupassen (Hoffmann & Meyer, 2018). Diese Einschätzung hat sich in der Praxis bestätigt. Die resultierenden monatlichen Einsparungen von 5 – 8 Euro waren im Projekt ausreichend für eine Verschiebung von bspw. Wasch- oder Ladevorgängen. Jedoch ist eine Absenkung der Stromkosten um diesen Betrag (Reduktion um ca. 20 – 25 ct/kWh) außerhalb des SINTEG-Rahmens kaum umsetzbar.

## HERANGEHENSWEISE ZUR AKQUISE VON PRIVATEN HAUSHALTEN

Um die genannten Argumente für die Flexibilitätsbereitstellung wirksam zu adressieren, wurden in den Demonstratoren unterschiedliche Kanäle und Methoden gewählt. Als besonders erfolgsversprechend kristallisierten sich die folgenden Ansätze heraus:

- Potenzielle Bereitsteller von Flexibilitäten sollten möglichst frühzeitig in den Entscheidungs- und Planungsprozess eingebunden werden. Dies kann durch Informationsveranstaltungen, Postwurfsendungen sowie die Nennung konkreter Ansprechpartner vor Ort gelingen.
- Technische Gebäudeverantwortliche sollten intensiv über das Vorhaben, seine Vorteile, aber auch mögliche Beeinträchtigungen während der Bauarbeiten informiert werden, um sie als Unterstützer zu gewinnen.
- Schriftverkehr zur Akquise von Flexibilitäten sollte mit offiziellen Logos und Ansprechpartnern lokaler Energieversorger und Netzbetreiber versehen werden. Diese bekannten Akteure vermitteln Endkunden Verlässlichkeit und Seriosität.
- Durch die Einbindung lokaler Medienvertreter können Vorhaben zur Flexibilitätsakquise effektiv bekannt gemacht werden.

## BEDENKEN UND HEMMNISSE ZUR FLEXIBILITÄTSBEREITSTELLUNG DURCH HAUSHALTE

Neben Erfolgsfaktoren identifizierten die SINTEG-Schaufensterprojekte Hemmnisse für die Bereitstellung von Flexibilitäten durch Haushalte. Ein signifikanter Mehraufwand für Bewohner oder erwartete Einschränkungen beim Wohnkomfort können die Projektumsetzung gefährden. Dies wurde z. B. im Projekt „Prenzlauer Berg“ (WindNODE) erkannt und adressiert.

Bewohnerinnen und Bewohner äußerten zudem in mehreren SINTEG-Schaufensterprojekten Bedenken zum Datenschutz durch die für Flexibilisierung notwendige Digitalisierung und die Verwendung privater Verbrauchsdaten. In den Projekten wurden ähnliche Strategien verwendet, um diese Bedenken zu vermeiden:

- Prüfung aller Dokumente durch einen Datenschutzbeauftragten und Festlegung interner Richtlinien für den Umgang mit Daten.
- Technik, die mit der Datenschutz-Grundverordnung konform ist, zusätzliches Gutachten für den konkreten Anwendungsfall.

- Transparente und vor allem leicht verständliche Offenlegung der Datennutzung. Augenmerk auf Verständlichkeit, kombiniert mit Sinnhaftigkeit der Datennutzung.
- Lokale Versorger genießen einen Vertrauensvorsprung in der Bevölkerung.

Im Projekt „ReFlex“ (Heilmann, Ißler, Hoffner, Wetzel & Fait, 2020) (C/sells) wurde die Nutzergruppe der Besitzer von PV-Anlagen auf ihre Bereitschaft in untersucht, ihre sonstigen Anlagen (Speicher, Elektroautos, Wärmepumpen) zur Flexibilitätsnutzung bereitzustellen. Zum einen wurde getestet, ob die Aufklärung mit zusätzlichen Informationen zur Relevanz der Flexibilitätsbereitstellung für die weitere Integration erneuerbarer Energien und dem positiven Umwelteffekt die Menschen eher dazu bewegt, Eingriffen zuzustimmen. Zum anderen konnten Endkunden zwischen unterschiedlichen Vergütungs- und Eingriffsmodellen entscheiden. Grundsätzlich schienen die Haushalte einer Bereitstellung von Flexibilität eher skeptisch gegenüberzustehen: Nur gut die Hälfte wählte einen der angebotenen Flex-Optionstarife aus. Es zeigt sich jedoch ein Unterschied zwischen Besitzern von Batteriespeichern – die eher dazu neigten, diese als Flexibilität anzubieten – und den Besitzern von Elektroautos und Wärmepumpen, die kaum Eingriffe zulassen wollten. Wenn die Teilnehmer vorab über den ökologischen Nutzen der Flexibilitätsbereitstellung informiert wurden, stieg unter den Besitzern von Wärmepumpen die Teilnahmebereitschaft. Elektrofahrzeugbesitzer blieben über alle Gruppen hinweg skeptisch. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 grafisch aufbereitet.

	Monetäre Anreize	Komfortverlust	Einflussnahme	Anzahl Abrufe	Informationsmaterial
Batteriespeicher	● ●	●	● ●	●	● ● ●
Elektrofahrzeuge	●	● ● ●	● ●	●	
Wärmepumpen	●	● ● ●	● ●	●	● ●

● Relevanz

Tabelle 4: Relevanz der einzelnen Maßnahmen und Kriterien für die Entscheidung zur Flex-Bereitstellung bei PV-Besitzern (grafische Darstellung: Guidehouse auf Basis ReFlex - Heilmann et al. 2020)

Die Ergebnisse stehen im Einklang mit den Erkenntnissen anderer SINTEG-Projekte, dass mögliche Komforteinbußen ein großes Hemmnis für die Flexibilitätsbereitstellung sind. Bei Elektrofahrzeugen kommt dies über die befürchteten kürzeren Reichweiten durch Eingriffe in den Ladeprozess am stärksten zum Tragen, gefolgt von Eingriffen in die Nutzung von Wärmepumpen. Sowohl die Anzahl der theoretisch erlaubten Flexibilitätsabrufe als auch die Höhe der Vergütung für die Flexibilitätsbereitstellung hatten nur geringen Einfluss auf die Entscheidung. Die Möglichkeit der persönlichen Einflussnahme, z. B. das Verhindern geplanter Abrufe, steigerte jedoch die Bereitschaft zur Flexibilitätsbereitstellung.

## EINFLÜSSE DER EIGENTUMSSTRUKTUR AUF DIE BEREITSCHAFT ZUR FLEXIBILITÄTSBEREITSTELLUNG

Die Erfahrungen der SINTEG-Schaufenster zeigen die Bedeutung der Eigentumsstruktur von Gebäuden und Quartieren für die Flexibilitätsakquise. So wurden im Projekt „Quartier Prenzlauer Berg“ (WindNODE) verschiedene Akteure – große private Investoren (z. B. Wohnungsbau-gesellschaften), kleine private Wohnungseigentümer und kommunale, kirchliche und genossenschaftliche Wohnungsträger – mit verschiedenen Strategien angesprochen.

Private Wohnungsbaugesellschaften zeigten sich grundsätzlich offen für die Flexibilisierung der Anlagen in ihren Gebäuden. Gerade der Einzug von Elektromobilität in den Wohnquartieren bringt dieser Akteursgruppe die Relevanz von Themen wie lokaler Flexibilität und Sektorkopplung näher. Da Wohnungsbaugesellschaften jedoch keine Erlöse aus der Bereitstellung einzelner Flexibilitäten erwarten können und dies außerhalb des Kerngeschäftes der Unternehmen liegt, war die Bereitschaft zur aktiven Mitwirkung begrenzt. Komplettlösungen in Form eines Pakets aus EMS mit Infrastruktur und Software zur Effizienz- und Wertsteigerung und einem möglichen resultierenden Angebot von Flexibilität, könnten hier zum Erfolg führen. Die kommunalen, genossenschaftlichen und kirchlichen Wohnungsträger zeigten sich deutlich offener für das Thema, wenn Nachhaltigkeitsaspekte in den Vordergrund gestellt wurden. Zudem spielten kurze Amortisationszeiten eine geringere Rolle als der Nutzen für die Mieter. Für kleinere private Immobilienbesitzer war das Thema noch nicht relevant.

Gehört das gesamte Gebäude einem Eigentümer, sind Installationen in den Wohnungen einfacher zu koordinieren, andernfalls muss für viele Einzelparteien derselbe Prozess durchlaufen werden. Die Einbindung ganzer Wohnblöcke oder Quartiere in der Hand eines einzelnen Eigentümers zur Flexibilitätsbereitstellung ist daher anzustreben.

Im Hinblick auf die Flexibilitätsbereitstellung durch einzelne Haushalte zeigte sich die Bedeutung des Nutzer-Investor-Dilemmas bei nicht selbst genutzten Wohnungen. In einem vermieteten, mehrgeschossigen Gebäude müssen Investitionen in die Technik durch den Vermieter getragen werden, während der Mieter von den Einsparungen profitiert (Beucker, 2017) (näheres unter Blaupause 3 in Abschnitt 2.4.1). Dies lässt Mietern wenig Möglichkeit, selbst über eine Teilnahme an Flexibilisierungsprogrammen zu bestimmen und birgt wenig Anreiz für Vermieter. Komplexe Amortisations- und Wirtschaftlichkeitsbewertungen des dezentralen Energiemanagements fallen ebenfalls ins Gewicht.

## AUSSERHALB VON SINTEG ERREICHTER ERKENNTNISSTAND

Außerhalb von SINTEG gibt es kaum Projekte, die sich ausschließlich mit der Akquise von Flexibilitäten aus Haushalten befassen. Häufig erfolgt Forschung hierzu als Teilaspekt im Rahmen konkreter Projekte zur Entwicklung von Geschäftsmodellen für Industrie- und Haushaltskunden oder als Teilarbeitspaket von Forschungsprojekten zur technischen Integration von Flexibilitäten. Unternehmen greifen üblicherweise auf ihren vorhandenen Kundenstamm zurück, mit dem Ziel die Kundenakzeptanz festzustellen und zu erhöhen.

Das Thema dynamische Tarife zur Anreizung netzdienlichen Verhaltens von Kunden ist ein vergleichsweise häufiger Anwendungsfall. In Projekten außerhalb von SINTEG arbeiten z. B. die Stadtwerke Wuppertal im Projekt „AutoFlex“<sup>9</sup> an der Entwicklung eines dynamischen Stromtarifs für Haushaltskunden und Industrie. Dabei sind Praxistauglichkeit und Akzeptanz entscheidende Fragestellungen, die von den Stadtwerken und der Bergischen Universität Wuppertal beantwortet werden sollen. In einem weiteren Projektbeispiel bieten Software-as-a-Service Anbieter<sup>10</sup> ihren Kunden in „Energie-Communities“ dynamische Boni aufgrund ihres Lastverhaltens.

Zudem wird auf die Relevanz des Themas Flexibilitätsakquise aus Haushalten zunehmend im fachlichen Diskurs eingegangen. So veröffentlichte der Think Tank Agora Energiewende 2020

<sup>9</sup> <https://www.wsw-online.de/autoflex/projekt/>

<sup>10</sup> <https://www.lumenaza.de/de/referenzen/>
















einen Impulsbeitrag zu „Akzeptanz und lokale Teilhabe in der Energiewende“ (Local Energy Consulting, 2020) mit Vorschlägen zur Akzeptanzpolitik auf Bundesebene.

## WEITERE ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN

Obwohl ein genereller Konsens besteht, dass die Steigerung der Bereitschaft in Haushalten ein entscheidender Faktor gerade bei der Hebung kleinteiliger Flexibilitäten ist, kommt diesem Aspekt in Forschungsprojekten häufig eine nachgeordnete Rolle zu.

Da technisch noch so ausgereifte Lösungen zur Hebung kleinteiliger Flexibilitäten ohne Bereitschaft zur Flexibilitätsbereitstellung keinen Mehrwert bieten können, sind speziell auf Akzeptanz abgestellte, von der öffentlichen Hand geförderte und von Unternehmen und Forschungseinrichtungen umgesetzte, Forschungsvorhaben zu begrüßen. Bei Projekten zur technischen Umsetzung für Flexibilität muss Partizipation stets mitbearbeitet und frühzeitig priorisiert werden. Von besonderer Bedeutung ist die Ansprache breiter Teile der Bevölkerung, über bereits überzeugte Akteure der Energiewende hinaus. Der Synthesefeldes 5 – Partizipation und Akzeptanz stellt weitere Empfehlungen dar.

## 2.3 Blaupause 2: Hebung kleinteiliger Flexibilitäten in Gebäuden

Blaupause									
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wohnungsunternehmen und Gebäudebesitzer</li> <li>■ Anlagenhersteller</li> <li>■ Energieversorger/Stadtwerke</li> <li>■ VNB und VK-Betreiber</li> </ul>								
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	<p>Die Hebung von Flexibilitäten in der Niederspannung kann zur Vermeidung von Netzengpässen beitragen. Aufgrund der geringen Last pro Haushalt spielen die Investitionskosten für die Erschließung eine große Rolle; der Aufwand muss möglichst gering gehalten werden. Eine externe Steuerung der Anlagen sollte nicht zu Komfortverlusten für Bewohnerinnen und Bewohner führen.</p>								
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Die Blaupause zeigt auf, wie gesamte Haushalte oder Gebäude als Flexibilitätsoption gehoben werden können. Zur Steuerung von Wärmeerzeugern können einfache Standards wie die SG-Ready Schnittstelle bereits ausreichen, Weiterentwicklungen sind zukünftig jedoch notwendig. Anlagenhersteller sollten einbezogen und evtl. vorhandene Infrastruktur mit genutzt werden.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kommunikationsinfrastruktur ist in der Hand des Flex-Nutzers (z. B. der Stadtwerke);</li> <li>■ Mehrwert durch den Ausbau der IKT-Infrastruktur für die Bewohnerinnen und Bewohner generieren (zusätzlich zur Bereitstellung von Flexibilität);</li> <li>■ Möglichkeit, zur Ansteuerung und zum Monitoring der Anlagen die bereits vorhandene Internet of Things (IoT) Infrastruktur der Anlagenhersteller zu nutzen.</li> </ul> <p>SG-Ready Schnittstelle an Wärmepumpen vorhanden.</p>								
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td><b>Haushalte</b></td> <td>GHD</td> <td>Industrie</td> <td>Energie</td> </tr> <tr> <td><b>Flexibilisierung</b></td> <td><b>Sektorkopplung</b></td> <td colspan="2">Erzeugung</td> </tr> </table>	<b>Haushalte</b>	GHD	Industrie	Energie	<b>Flexibilisierung</b>	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung	
<b>Haushalte</b>	GHD	Industrie	Energie						
<b>Flexibilisierung</b>	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung							
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 <b>6 7</b> 8 9</p> <p>TRL: Technologie funktioniert im anwendungsnahen Umfeld, Prototypen wurden im Betriebsumfeld getestet.</p>								
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	<table border="0"> <tr> <td>  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Franklin Quartier</li> <li>■ Intelligente Wärme München</li> <li>■ Living Labs</li> <li>■ ALF</li> <li>■ AutonomieLab Leimen</li> </ul> </td> <td>  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ PtH Werne</li> <li>■ EMIL</li> </ul> </td> <td>  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gas-Hybrid-Heizung</li> <li>■ Hausspeicher</li> </ul> </td> <td>  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Demand Side Management (DSM)</li> <li>■ Nachtpeicher</li> <li>■ Dynamische Tarife</li> </ul> </td> <td>  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Netzdienliche WP</li> <li>■ Quartier Prenzlauer Berg</li> <li>■ iMSys (intelligentes Messsystem) bei Standardlastprofil (SLP)-Kunden</li> <li>■ VK-Geschäftsmodelle</li> </ul> </td> </tr> </table>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Franklin Quartier</li> <li>■ Intelligente Wärme München</li> <li>■ Living Labs</li> <li>■ ALF</li> <li>■ AutonomieLab Leimen</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ PtH Werne</li> <li>■ EMIL</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gas-Hybrid-Heizung</li> <li>■ Hausspeicher</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Demand Side Management (DSM)</li> <li>■ Nachtpeicher</li> <li>■ Dynamische Tarife</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Netzdienliche WP</li> <li>■ Quartier Prenzlauer Berg</li> <li>■ iMSys (intelligentes Messsystem) bei Standardlastprofil (SLP)-Kunden</li> <li>■ VK-Geschäftsmodelle</li> </ul>			
 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Franklin Quartier</li> <li>■ Intelligente Wärme München</li> <li>■ Living Labs</li> <li>■ ALF</li> <li>■ AutonomieLab Leimen</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ PtH Werne</li> <li>■ EMIL</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gas-Hybrid-Heizung</li> <li>■ Hausspeicher</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Demand Side Management (DSM)</li> <li>■ Nachtpeicher</li> <li>■ Dynamische Tarife</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Netzdienliche WP</li> <li>■ Quartier Prenzlauer Berg</li> <li>■ iMSys (intelligentes Messsystem) bei Standardlastprofil (SLP)-Kunden</li> <li>■ VK-Geschäftsmodelle</li> </ul>					
<b>Innovationsgehalt</b>	<p>Die Vernetzung der Stromverbraucher über mehrere Haushalte und Technologien hinweg – mit dem Ziel, dem Stromnetz Flexibilitäten bereitzustellen – ist in Deutschland von Stadtwerken und Verteilnetzbetreibern vor SINTEG nur in theoretisch simulierten Projekten umgesetzt worden. SINTEG sammelte Erfahrungen mit der tatsächlichen Umsetzung der Flexibilisierung in unterschiedlichsten Haushalten und Gebäuden von der Akquise bis zum Live-Betrieb.</p>								
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Vorhandene Kommunikationsinfrastruktur (SMGW); (digitale) ansteuerbare Schnittstellen an den Anlagen im Gebäudebestand</li> <li>■ Fortschreitende Sektorkopplung (Wärmepumpen, Elektroautos) als Grundlage für Potenzial</li> <li>■ Wachsender Bedarf an Flexibilität und geeignete Geschäftsmodelle/Erlösmöglichkeiten</li> </ul>								

## IN SINTEG ENTWICKELTE LÖSUNGEN

Die Flexibilisierung der Potenziale in Gebäuden beinhaltet aus technischer Sicht im Wesentlichen drei Elemente: Die flexibel fahrbare Anlage mit Schnittstelle (Elektrofahrzeug/Wallbox, Batterie oder elektrischer Wärmeerzeuger), ein Element zur aktiven Steuerung sowie die Möglichkeit, nach außen, z. B. mit dem VNB oder einem anderen EMT, zu kommunizieren. Zudem zeigt die Detail-Blaupause 2.2 „Digitaler Netzanschluss“ in Abschnitt 2.3.2 auf, wie ein lokales EMS über eine Schnittstelle zum Netzbetreiber oder Marktakteur angesteuert werden kann.

Studien zur Analyse des gesamten theoretisch verfügbaren Flexibilitätspotenzials in Deutschland zeigen, dass PtH-Anwendungen in den untersuchten Zeiträumen (heute und 2030) das größte Flexibilitätspotenzial liefern (Heitkoetter et al., 2021). Dies ist einer der wesentlichen Gründe für den starken Fokus der SINTEG-Schaufensterprojekte auf die Flexibilisierung von Wärmeerzeugern in allen Sektoren. Zudem waren zu Beginn der Schaufensterlaufzeit im Jahr 2016 gerade in privaten Haushalten noch sehr wenige Elektrofahrzeuge und Batteriespeicher vorhanden, welche die Demonstratoren hätten einbeziehen können. Auch in der öffentlichen Debatte spielte der Hochlauf von Elektromobilität eine untergeordnete Rolle. Daher wurden vergleichsweise wenige Projekte zu Batteriespeichern oder Elektromobilität in SINTEG geplant und durchgeführt.

Umso intensiver haben die SINTEG-Projekte die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Flexibilisierung der Wärmeversorgungstechnologien untersucht. Es wurden alle strombasierten Wärmeerzeuger miteinbezogen, die in Haushalten üblicherweise zum Einsatz kommen. Dazu zählen Heizstäbe (u. a. „Gas-Hybrid-Heizung“, enera), Wärmepumpen (u. a. „Intelligente Wärme München“, C/sells) und Nachtspeicherheizungen (u. a. „Netzdienliche Wärmepumpen“, WindNODE). Zudem wurde sowohl die direkte Erzeugung von Raumwärme als auch die Erhöhung der Vorlauftemperatur des Heizkessels („PtH Werne“, DESIGNETZ) oder die Warmwassererzeugung (u. a. „Quartier Prenzlauer Berg“, WindNODE) betrachtet. Während die genannten, dezentralen Technologien in dieser Blaupause behandelt sind, werden Erkenntnisse zur Nutzung von Wärmenetzen in der folgenden Blaupause zu Quartieren unter Abschnitt 2.4 und im Abschnitt 4 „Kategorie 3: Sektorkopplung und Flexibilitäten in der öffentlichen Energieversorgung“ beschrieben.

Diese Blaupause geht auf übergeordnete Erkenntnisse zur Nutzbarmachung von kleinteiligen Flexibilitäten ein. Dies umfasst die Relevanz der Sektorkopplung, die potenziell gegensätzlichen Interessen von Strommarkt und Wärmemarkt sowie die Unterschiede zwischen der Hebung von Flexibilitäten durch herstellerabhängige und -unabhängige Lösungen.

Spezielle Themen, die für die Hebung von kleinteiligen Flexibilitäten in Gebäuden relevant sind, werden in den folgenden Detail-Blaupausen behandelt. So haben sich die Schaufensterprojekte mit der Ansteuerung der Anlagen und dem resultierenden Lastverhalten unterschiedlicher Technologien (Detail-Blaupause 2.1: Steuerung und Lastverhalten von kleinteiligen Flexibilitäten in Gebäuden), den möglichen Aggregationsebenen in Bezug auf Gebäude und dem Einsatz von EMS (Detail-Blaupause 2.2: Digitaler Netzanschluss) sowie der Nutzung von SMGW (Detail-Blaupause 2.3: Kommunikation über das Smart Meter Gateway) beschäftigt – auch wenn letztere nur begrenzt bzw. in nicht-zertifizierten Varianten zur Verfügung standen.

## FLEXIBILITÄTSPOTENZIAL NICHT AUF ANLAGEN-, SONDERN GEBÄUDEEBENE DENKEN

In den SINTEG-Projekten, z. B. „Intelligente Wärme München“ (C/sells), wurde deutlich, dass PtH-Anlagen bei der Hebung von kleinteiligen Flexibilitäten nicht isoliert betrachtet werden sollten. Der Trend sollte vom Schalten einzelner Anlagen hin zum Regeln von Systemen gehen: einzelne Anlagen in Gebäuden sollten nicht separat betrachtet, sondern das Gebäude an sich als regelbares System gesamthaft genutzt werden. Nicht nur das Flexibilitätspotenzial kann auf diese Weise deutlich erhöht werden, auch entsteht für Netzbetreiber als Flexibilitätsnutzer weniger Aggregationsaufwand (zur Umsetzung siehe Detail-Blaupause 2.2: Digitaler Netzanschluss in Abschnitt 2.3.2).

## PROGNOSEN ZUM POTENZIAL DER FLEXIBILITÄT NICHT ALS EXAKTE WERTE KOMMUNIZIEREN

Eine exakte Prognose der verfügbaren Flexibilität zu jedem Zeitpunkt ist nicht möglich, da die abrufbare Flexibilität stets durch Unsicherheiten wie das Wetter oder Nutzerverhalten bedingt ist. Aus diesem Grund sollte, wie in DESIGNETZ in mehreren Demonstratoren erfolgt (DESIGNETZ, 2021), ein Prognoseband des zu erwartenden Flexibilitätspotenzials vom lokalen EMS zunächst an einen Aggregator als Zwischeninstanz übermittelt werden. Dieser kann, in Zusammenschau mit den Prognosen anderer lokaler EMS, ein kumuliertes Prognoseband für den Nutzer der Flexibilität berechnen. Je nach Größe des betrachteten Gebiets kann, vor allem bei lokalem Nutzen der Flexibilität durch den VNB, nur eine Aggregationsebene nötig sein.

## ROLLE DER ANLAGENHERSTELLER BEI DER AGGREGATION UND ANSTEUERUNG VON KLEINST-FLEXIBILITÄTEN

Bei Aggregation kleinteiliger Flexibilitäten verfolgten die Schaufensterprojekte zwei unterschiedliche Wege:

- **Aggregation herstellerunabhängiger Systeme:** Externe Dienstleister (z. B. Stadtwerke) aggregieren mittels herstelleroffener Lösungen mehrere Gebäude mit Anlagen verschiedener Hersteller in ihrem Netz- oder Geschäftsgebiet. Beispiele hierfür sind die Projekte „Intelligente Wärme München“ (C/sells) oder „Netzdienliche Wärmepumpe“ (WindNODE). Der Anschluss der Heizungsanlagen erfolgte hier jeweils ohne die Nutzung von IKT-Infrastruktur des Heizungsherstellers.
- **Aggregation proprietärer Systeme:** Hersteller von Wärmeerzeugungsanlagen aggregieren die Flexibilität derjenigen Gebäude in einem bestimmten Gebiet, welche mit ihren eigenen Systemen ausgestattet sind. Beispiele hierfür aus den Schaufensterdemonstratoren sind die Wärmespeicher im „Franklin Quartier“ (C/sells) oder das Projekt „Gas-Hybrid-Heizung“ (enera)

Die Ansteuerung einer Anlage ist aufgrund der vielen unterschiedlichen Anlagentypen, mangelnden Schnittstellen und unbekanntem Anlagenverhalten eines der größten Hindernisse bei der Flexibilisierung der Wärmeversorgung. Die Zusammenarbeit mit Anlagenherstellern bei der Aggregation kann einen Vorteil darstellen, da diese über alle anlagenrelevanten Parameter verfügen, diese auslesen und die Anlagen ansteuern können. Dies erleichtert die Bestimmung des aktuell verfügbaren Flexibilitätspotenzials und die optimierte Steuerung der Anlage. Das EMS kann auf die Anlagen des Herstellers zugeschnitten werden oder ist beim Kauf des Systems schon vorhanden.



Der mangelnden Kommunikationsinfrastruktur (SMGW) zwischen den Systemen in den Gebäuden und dem Netzbetreiber oder EMT stehen die IoT Anbindungen neuer Geräte mit den Clouds der Hersteller gegenüber. So ist es Kunden proprietärer Lösungen bereits möglich, Daten ihrer Systeme zuhause auszulesen und diese auch zu regeln, z. B. die Heizung auf dem Nachhauseweg einzuschalten.

Einige Demonstratoren haben aus diesem Grund die vorhandene Infrastruktur mit genutzt. So wurden im Projekt „Franklin Quartier“ (C/sells) die Wärmespeicher über die Regelung des Speicherherstellers angesteuert und der Demonstrator „Smart E-Mobility“ (DESIGNETZ) setzte zur Ansteuerung der Ladesäulen auf einen Backend-Kanal des Herstellers. In beiden Fällen wurde nicht in die Stromversorgung von Haushalten eingegriffen oder Daten an Externe weitergegeben. Bei der Regelung der Wärmespeicher wurden die Daten im eigenen Glasfasernetz an lokale Server übertragen; die Ladesäulen sind öffentlich. Die erfolgreich durchgeführte Regelung vieler Einzelanlagen in diesen Schaufensterprojekten zeigt die Vorteile herstellerabhängiger Lösungen im Hinblick auf die einfachere Umsetzbarkeit auf.

Diesen gegenüber stehen Nachteile proprietärer Lösungen im Hinblick auf Aggregation. Anlagen unterschiedlicher Hersteller im selben Gebäude müssten jeweils separat aggregiert werden. Zudem müssten VNB mit vielen Anlagenherstellern kooperieren und Schnittstellen herstellen, um Flexibilitätspotenziale effektiv zu erfassen. Anlagenhersteller müssten einer solchen Kooperation zustimmen.

In den SINTEG-Schaufensterprojekten erfolgte keine direkte Gegenüberstellung der beiden Konzepte. Sie wurden lediglich separat betrachtet. Es ist darauf hinzuweisen, dass die vom Gesetzgeber angestrebte Lösung stets über das SMGW gehen muss. Auch die herstellerabhängigen Lösungen müssten, nach heutiger Rechtslage, in Zukunft als intelligente Messsystem (iMSys) in ihre Lösung integrieren, wenn sie für den netzdienlichen Einsatz in Fragen kommen sollen.

## AUSSERHALB VON SINTEG ERREICHTER ERKENNTNISSTAND

Die Energieversorgung von Wohnungen, Gebäuden und vor allem ganzen Quartieren steht in den letzten Jahren immer stärker im Fokus von Forschungsprojekten zu den Themen Autonomie, Sektorkopplung und Dekarbonisierung. Digitalisierung und Elektrifizierung erlauben es, alle drei Aspekte in Gebäuden voranzutreiben und legen den Grundstein für den systemdienlichen Einsatz von Flexibilitäten in Haushalten.

Im Folgenden sind einige Projekte beschrieben, die während der SINTEG-Laufzeit gestartet wurden und ebenfalls die zukünftige Flexibilitätsbereitstellung durch Gebäude untersuchten.

Das Fraunhofer ISE hat in einem Versuch über 50 Wärmepumpen mit SG-Ready Schnittstelle auf ihr Lastverschiebungspotenzial hin untersucht (Fraunhofer ISE, 2020). Ähnlich wie der SINTEG Demonstrator „Netzdienliche WP“ (WindNODE) kamen die Forschenden zu dem Schluss, dass die Lastverschiebung häufig zwischen 30 – 60 Minuten beträgt und für längere Zeiträume nicht geeignet ist. Zudem bestätigten beide Projekte, dass die mehrstufige Steuermöglichkeit der Schnittstelle nützlich ist, um die Wärmepumpe mit einem EMS netzdienlich zu steuern. Das Fraunhofer ISE konnte aufgrund der höheren Zahl an getesteten Anlagen darüber hinaus feststellen, dass mindestens 250 Systeme aggregiert werden sollten. Das Verschiebungspotenzial lag zwischen -0,18 kWh und 10,68 kWh pro Einheit und Zyklus.

Im Projekt „Wind-Solar-Wärmepumpenquartier“ des Instituts für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) wurde untersucht, wie im Quartier durch intelligente Steuerung der Wärmepumpen und den Zubau von Speichern möglichst viel lokaler, grüner Strom genutzt werden kann. Im Ergebnis führte die intelligente Steuerung zu einer ca. zehnpromtigen Steigerung der lokalen Ökostromnutzung, während der größere Anteil (ca. 20 %) durch Speicher erreicht wurde, was in Kombination mit lokalen Windanlagen zu einer Gesamtanteil von 80 % lokalem, erneuerbarem Wärmepumpenstrom führte.

Die Nutzung dezentraler Wärmeerzeuger über ein Netzgebiet hinweg wird z. B. im Projekt „HeatFlex“ der Netzbetreiber Bayernwerk Netz GmbH und TenneT untersucht. Hier wurde gefolgert, dass die Intelligente Steuerung von Wärmepumpen Netzengpässe reduzieren kann (TenneT & Bayernwerk, 2020). Konkret können die Schaltungen zu zwei vordefinierten fixen Zeitpunkten für maximal 1 h erfolgen und die Teilnehmenden erhalten auf Grundlage des § 14a des Energiewirtschaftsgesetzes reduzierte Netzentgelte (Bayernwerk Netz, 2021). Das Projekt wird nun mit Beteiligung weiterer Verteilnetzbetreiber ausgeweitet. Hier konnte das Projekt „HeatFlex“ weiter gehen als die SINTEG-Projekte, da in einem Gebiet mehrere Wärmepumpen erfolgreich über einen längeren Zeitraum gesteuert werden konnten.

Während in den SINTEG-Projekten das Potenzial von Nachtspeicherheizungen als eher gering und weiter abnehmend angesehen wird, gibt es in Deutschland Kooperationen, die eine Erneuerung und Digitalisierung, d. h. Nutzbarmachung dieser Anlagen vorantreiben. So arbeiten der Energiedienstleister Getec und das Software Unternehmen Greencom Networks an steuerbaren Nachtspeicherheizungen, die Bestandsanlagen ersetzen sollen.
















Schließlich zielen laufende Standardisierungsaktivitäten darauf ab, Mechanismen zur Kommunikation von Flexibilität durch Geräte einzuführen (EN50491-12). Dies erleichtert es zukünftig dem lokalen EMS, Flexibilität zu aggregieren und ex-ante dem Netzbetreiber und/oder dem Markt zur Verfügung zu stellen.

## WEITERE ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN

Für die Bereitstellung von Flexibilität in Gebäuden wurde die technische Machbarkeit demonstriert und die Auswirkungen auf das Netz mittels Einzelanlagen untersucht. In einem nächsten Schritt kann die standardisierte Umsetzung untersucht werden und dabei die Effekte eines großen Anlagenpools auf das Netz ermittelt werden.

Der Fokus der SINTEG-Projekte lag auf der Flexibilisierung der Wärmeerzeugung in Haushalten. Vor allem bei der Flexibilitätshebung aus Haushalten erfordert die wachsende Zahl von Elektrofahrzeugen und Batteriespeichern eine verstärkt technologieübergreifende Denkweise. In diesem Rahmen sollte auch die Entwicklung standardisierter EMS als Schnittstelle zwischen System und Anlagen erfolgen. Diese Themen werden in der Detail-Blaupause 2.2: Digitaler Netzanschluss unter Abschnitt 2.3.2 erneut aufgegriffen. Außerdem gilt es, Technologien wie Elektromobilität, Großwärmepumpen, Niedertemperaturwärmenetze (< 60 °C) und Wasserstoff erstärkt zu integrieren, die sich jedoch erst nach Beginn der SINTEG-Schaufenster stärker verbreiteten.

### 2.3.1 DETAIL-BLAUPAUSE 2.1: STEUERUNG UND LASTVERHALTEN VON KLEINTEILIGEN FLEXIBILITÄTEN IN GEBÄUDEN

Detail-Blaupause											
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Anlagenhersteller</li> <li>■ SMGW-Hersteller (Hard- und Software)</li> <li>■ Wohnungsunternehmen und Gebäudebesitzer</li> <li>■ VNB und VK-Betreiber</li> </ul>										
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	Die Nutzung kleinteiliger Flexibilitäten basiert auf einer aktiven Steuerung des Lastverhaltens. Dabei ist die Weitergabe digitaler Signale von potenziellen Nutzern der Flexibilität an die Flexibilitäten eine Herausforderung. Letztere verfügen teilweise nicht über digitale und offene Schnittstellen zur Ansteuerung. Zudem verhalten sich die Anlagen bei der Übertragung eines Steuersignals je nach Typ, Hersteller und Betriebszustand sehr unterschiedlich.										
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Einfache Schaltungen über die vorhandenen Schnittstellen (z. B. SG-Ready) können bereits einen relevanten Regelungseffekt haben. Nachtspeicherheizungen können – im richtigen Betriebsmodus – schon über Relaischaltungen genutzt werden. Der Einsatz von Heizstäben ist einfach umzusetzen und zu steuern, jedoch aus Sicht des Wärmemarkts nicht die effizienteste Lösung. Die Einbindung der Warmwasserversorgung sorgt für ein konstanteres Flexibilitätspotenzial.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Einfache Möglichkeit zur Nachrüstung (z. B. Heizstab in Wärmespeicher installierbar, Einbausituation im Schaltkasten und Keller, Erreichbarkeit durch Funk)</li> <li>■ SG-Ready Schnittstelle an Wärmepumpen</li> </ul>										
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td><b>Haushalte</b></td> <td>GHD</td> <td>Industrie</td> <td>Energie</td> </tr> <tr> <td><b>Flexibilisierung</b></td> <td><b>Sektorkopplung</b></td> <td colspan="2">Erzeugung</td> </tr> </table>	<b>Haushalte</b>	GHD	Industrie	Energie	<b>Flexibilisierung</b>	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung			
<b>Haushalte</b>	GHD	Industrie	Energie								
<b>Flexibilisierung</b>	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung									
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 <b>7</b> 8 9</p> <p>TRL: Prototyp im Betriebsumfeld getestet</p>										
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	<table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>■ Intelligente Wärme München</td> <td>■ PTH Werne ■ Mikro-KWK</td> <td>■ Gas-Hybrid-Heizungen ■ Hausspeicher</td> <td></td> <td>■ Netzdienliche WP</td> </tr> </table>						■ Intelligente Wärme München	■ PTH Werne ■ Mikro-KWK	■ Gas-Hybrid-Heizungen ■ Hausspeicher		■ Netzdienliche WP
											
■ Intelligente Wärme München	■ PTH Werne ■ Mikro-KWK	■ Gas-Hybrid-Heizungen ■ Hausspeicher		■ Netzdienliche WP							
<b>Innovationsgehalt</b>	In SINTEG konnte die Ansteuerung von unterschiedlichen elektrischen Verbrauchern und Erzeugern in Haushalten erfolgreich umgesetzt werden – und das, auch ohne die Nutzung der IKT-Infrastruktur der Anlagenhersteller. Steuersignale konnten erfolgreich von außerhalb der Gebäude, automatisiert an die Anlagen übermittelt werden. Vor SINTEG wurden keine vergleichbaren Projekte in der Praxis umgesetzt.										
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Einbaumöglichkeit und Kommunikationsinfrastruktur im Gebäude, z. B. Platz in Schaltschränken, Empfang in Kellerräumen, SMGW inkl. Steuerbox</li> <li>■ Bereitschaft zur Teilnahme und teilweise Abgabe der Schaltungshoheit über eigene Anlagen</li> <li>■ Digitale Schnittstellen und Standards an den Anlagen</li> </ul>										

Die Detail-Blaupause bezieht sich, wie in der übergeordneten Blaupause bereits erläutert, hauptsächlich auf elektrische Wärmeerzeuger wie Heizstäbe, Nachtspeicherheizungen und Wärmepumpen, aber auch Mikro-KWK-Anlagen. Vor allem bei Nachtspeicherheizungen und Wärmepumpen werden bestehende Heizsysteme angesteuert, während Heizstäbe als zusätzliche Heizelemente zur Unterstützung der vorhandenen Wärmeerzeuger neu installiert werden konnten. Mikro-KWK-Anlagen sind kaum im Bestand verbaut, könnten aber mit einem ansprechenden Vergütungsmodell eine Alternative für die Wärmeerzeugung bieten.

Weitere Erkenntnisse wurden in den SINTEG-Projekten zur Steuerung eines Batterieschwarms gewonnen. Zur Ansteuerung der Flexibilität über einen EMT, ist zudem ein digitaler Anschluss des Gebäudes an das Netz erforderlich. Dies wird näher in der Detail-Blaupause „Detail-Blaupause 2.2: Digitaler Netzanschluss“ unter Abschnitt 2.3.2 beschrieben.

## SCHALTUNG DER BESTANDSANLAGEN: RELAISSCHALTUNGEN

Sogenannte Relaisschaltungen erlauben im einfachsten Fall lediglich zwei Zustände: „an“ und „aus“. Anlagen ohne Schnittstellen – hauptsächlich Nachtspeicherheizungen und Heizstäbe – konnten also nur gesteuert werden, indem sie an- und ausgeschaltet wurden.

Die nächste Stufe, eine Schaltung über potenzialfreie Kontakte, wird heute u. a. als eine Möglichkeit zur Abregelung von PV-Anlagen verwendet. Die Anlage verfügt dabei über eine Schnittstelle mit vier Eingängen, die jeweils für einen Betriebsmodus stehen. Wird einer dieser Eingänge angesteuert, stellt die Anlage auf den jeweiligen Betriebsmodus um. Die dahinterliegende Konfiguration ist abhängig vom Anlagentyp und Hersteller. Bei PV-Anlagen wird die maximale Einspeiseleistung durch die vier Kanäle z. B. auf (1) 100 %, (2) 70 %, (3) 30 %, oder (4) 0 % begrenzt.

## STEUERUNG VON WÄRMEPUMPEN: SG-READY SCHNITTSTELLE FÜR GRUNDLEGENDE STEUERUNG AUSREICHEND, JEDOCH NUR EIN ZWISCHENSCHRITT

Der Anschluss der Wärmepumpen erfolgte in allen Projekten ohne digitale Schnittstellen, sprich der Übertragung von Protokollen, sondern mittels einfacher Relaisschaltungen (an/aus) oder potenzialfreier Kontakte. Zum einen waren die nötigen digitalen Schnittstellen an den Anlagen nicht vorhanden oder konnten von externen Akteuren nicht angesteuert werden, zum anderen fehlten Ausgänge der CLS-Steuerbox. Diese hat in den verfügbaren Varianten lediglich vier potenzialfreie Ausgänge. Selbst wenn die Anlagen über eine digitale Schnittstelle verfügen würden, könnten sie daher mit der dafür vorgesehenen Steuerbox noch nicht genutzt werden.

Im Projekt „Intelligente Wärme München“ (C/sells) wurde gefolgert, dass die Anbindung über potenzialfreie Kontakte der oben beschriebenen Komplexität nicht gerecht wird. Der Aufbau erlaubt nur eine unidirektionale Übertragung von Signalen, d. h. es können keine Informationen zum Zustand der Wärmepumpe über das SMGW zurückgegeben werden. Das erschwert die interne Potenzialabschätzung, denn es kann höchstens auf Erfahrungswerte, abhängig von Uhrzeit und Außentemperatur zurückgegriffen werden. Es bleibt auch unsicher, wie viel Leistung die Wärmepumpe in diesem Fall vom Netz beziehen wird. Diese Funktionalitäten müssen daher in zukünftigen Generationen der CLS-Steuerboxen integriert sein oder direkt am SMGW möglich sein.

Dennoch kam die in SINTEG erprobte aktive Ansteuerung schon einer tatsächlichen Regelung der Anlage nah. Wärmepumpen sollten als Voraussetzung über ein SG-Ready Label<sup>11</sup> und damit über eine Schnittstelle zur Aktivierung von vier unterschiedlichen Betriebsmodi verfügen. Dadurch kann die Wärmepumpe nicht nur ein- und ausgeschaltet, sondern auch auf maximaler oder minimaler Last gefahren werden. Die Ansteuerung erfolgt durch die Aktivierung einer der vier potenzialfreien Ausgänge der CLS-Steuerbox und damit eines Eingangs an der SG-Ready Schnittstelle, die damit den Betriebsmodus der Wärmepumpe setzt. Das Projekt „Netzdienliche Wärmepumpe“ (WindNODE) zeigte, dass diese Möglichkeit dem Netzbetreib-

<sup>11</sup> <https://www.waermepumpe.de/normen-technik/sg-ready/>

ber bereits eine ausreichende Steuerung der Wärmepumpen erlaubt. Da es sich bei Wärmepumpen in Haushalten jeweils nur um wenige kW Leistung pro System handelt, ist eine exakte Steuerung der Leistung weniger relevant: es reicht aus, das System auf Teil-/ Volllast zu fahren oder auszuschalten. Die Möglichkeiten zur Steuerung sind im Abschnitt „Lastverhalten von Wärmeerzeugern durch Steuerungssignale“ näher beschrieben. Wärmepumpen, die nicht zumindest über eine SG-Ready Schnittstelle verfügen, sind nur im begrenzten Maße als Flexibilitätspotenzial nutzbar. In diesem Fall ist aktuell nur eine quasi „Spitzenlastkappung“ bzw. Sperre durch den Energieversorger möglich. Es ist jedoch zu erwarten, dass die in Zukunft eingebauten Wärmepumpen – und damit ein großer Teil des zukünftigen Bestandes – zumindest über eine SG-Ready Schnittstelle verfügen wird.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Ansteuerung von vier unterschiedlichen Betriebsmodi für die Nutzung des eher kleinen Einzelpotenzials von Wärmepumpen ausreicht. Wenn künftig die Flexibilitäten im Haushalt über ein lokales EMS gesteuert und optimiert werden sollen, ist eine bidirektionale Kommunikation zwischen EMS und Wärmepumpe jedoch vorteilhaft. Dadurch kennt das EMS den aktuellen Zustand und mögliche Potenziale der Wärmepumpe deutlich besser. Zudem könnten alle relevanten Systeme im Haushalt über dieselben standardisierten Schnittstellen angesprochen werden. Die SG-Ready Schnittstelle ist in ihrer heutigen Ausführung daher nur als Zwischenschritt zu betrachten.

## STEUERUNG VON NACHTSPEICHERHEIZUNGEN

Nachtspeicherheizungen können theoretisch einfacher in ein Lastmanagement eingebunden werden, da sie im Vergleich zur Wärmepumpe weniger Komplexität und Betriebsmodi besitzen. Sie bringen somit aber auch weniger flexibles Potenzial ein. Zur Steuerung genügen ebenfalls die potenzialfreien Kontakte der aktuellen CLS-Steuerboxen. Einschränkend ist hier zu nennen, dass keine Lastsenkung einer einzelnen Anlage auf ein definiertes Niveau, sondern aufgrund der Technik von Nachtspeicherheizungen lediglich ein Ab- und Anschalten möglich ist. Dies wird sich auch mit weiterentwickelter SMGW-Technologie nicht ändern. Zudem wird in Zukunft, im Gegensatz zur Wärmepumpentechnologie, kein signifikanter Zubau an Geräten in Deutschland erwartet. Somit hat diese Technologie höchstens für den Bestand Relevanz.

## LASTVERHALTEN VON WÄRMEERZEUGERN DURCH STEUERUNGSSIGNALE

Im Projekt „Netzdienliche Wärmepumpe“ (WindNODE) zur Einbindung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit SG-Ready Schnittstelle und zwei Nachtspeicherheizungen wurden Erkenntnisse zum Lastverhalten der Wärmeerzeuger im Anschluss an die Schaltvorgänge gesammelt. Die resultierenden Lastgänge können im Projektbericht eingesehen werden, während im Folgenden die Kernergebnisse beschrieben sind. Die SG-Ready Schnittstelle an einer Wärmepumpe verfügt über vier Betriebsmodi: Normalbetrieb, Sperre durch den Energieversorger (Ausgeschalten), reduzierter Betrieb, Maximallastbetrieb. Die Betriebsmodi können auch an der Wärmepumpe eingestellt werden und beschreiben im Wesentlichen, in welchem Bereich die Speichertemperatur gehalten wird. Volllast aktiviert die Wärmepumpe sofort und bricht hart ab, sobald der Speicher die maximale Temperatur erreicht hat. Bei normaler bzw. reduzierter Last schaltet die Wärmepumpe in der Testphase in unregelmäßigen Intervallen für ca. 30 Minuten ein.

Bei Nachtspeicherheizungen gibt es historisch bedingt drei mögliche Fahrweisen. Die Aufheizung erfolgt entweder zu Betriebsbeginn (Vorwärtssteuerung), über die Nacht (Spreizsteuerung) oder bis zum Ende der Nacht (Rückwärtssteuerung). Es wurde gezeigt, dass mit der Vorwärtssteuerung der beste netzdienliche Einsatz der Nachtspeicherheizung ermöglicht

werden kann. In den anderen Betriebsmodi kann der Zeitraum des Lastbezugs nicht hinreichend genau bestimmt werden.

## **INSTALLATION EINES HEIZSTABS: SCHNELLE UND EINFACHE AKTIVIERUNG VON FLEXIBILITÄTSPOTENZIAL IN BESTANDSGEBÄUDEN**

Die zusätzliche Installation eines Heizstabs kann an unterschiedlichen Stellen erfolgen. Eine Möglichkeit ist, das Rücklaufwasser vor der Heizungs- und Warmwasserbereitung zu erwärmen. Hierzu ist ein zusätzlicher Pufferspeicher nötig, der mit den ggf. bereits integrierten Heizstäben neben der bestehenden Heizungsanlage installiert wird. Diese Methodik ist mit mehreren Heizungssystemen erfolgreich erprobt. Im Projekt „PtH Werne“ (DESIGNETZ) konnten so in Privathaushalten bis zu 12 kW pro Haushalt an Flexibilität installiert werden. Der Flexibilitätsabruf konnte mit 25 installierten Anlagen in 6-kW-Schritten auf bis zu 292 kW erfolgen.

Das Volumen des Pufferspeichers sollte groß genug sein, damit der Heizstab mindestens eine Viertelstunde betrieben werden kann (eine Schaltperiode), wie auch im Projekt „Gas-Hybrid-Heizungen“ (enera) festgestellt wurde. Platzprobleme sind dabei ein häufiges Hindernis. Die Installation der Heizstäbe erfordert eine vergleichsweise geringe Investition, die Kosten für den Einbau des Gesamtsystems mit Speicher und Anschluss an die bestehende Anlage können jedoch beträchtlich sein.

Eine weitere Möglichkeit stellt die Integration der Heizstäbe in die bereits vorhandenen Pufferspeicher der Heizanlage oder Warmwasserbereitung dar. So können zusätzlicher Platzbedarf und Kosten für einen weiteren Speicher samt Rohrleitungen vermieden werden, jedoch ist diese Option nur bei nachrüstbaren Pufferspeichern umsetzbar („PtH Werne“ DESIGNETZ). Neben der Flexibilität für das Stromnetz, kann – bei gasbefeuerten Heizungen – auch eine Flexibilisierung für das Gasnetz angedacht werden. Zudem sind die Heizstäbe auch in der Lage, für die Übergangszeiten Frühling und Herbst die Grundlast der Heizung teilweise mit potenziell erneuerbarem Strom zu übernehmen.

Der Einsatz von Heizstäben ist nur bei sehr geringen oder negativen Strompreisen ökonomisch sinnvoll. Auch mittelfristig ist jedoch davon auszugehen, dass nicht ausreichend Stunden mit solchen Strompreisen auftreten werden, um allein auf dieser Basis die notwendigen Investitionen zu rechtfertigen.

## **LOKALE INSTALLATEURSBETRIEBE BEAUFTRAGEN**

Zur Installation der Anlagen und deren Steuerung hat sich eine Kooperation mit lokal agierenden Heizungsinstallateuren bewährt. Diese kennen häufig die unterschiedlichen Anlagen und verfügen zudem über das Vertrauen von Bewohnern und Bewohnerinnen in Gebäuden. Ein Nachteil dieser Variante ist der erhöhte Koordinationsaufwand mit unterschiedlichen Installateuren, sowohl bei der Installation als auch später bei Störmeldungen. Aus diesem Grund hat sich als weitere Empfehlung im Projekt „PtH Werne“ (DESIGNETZ) ergeben, dass die Installation (je regionalem Gebiet) über nur einen Installateur vergeben werden sollte.

## **WARMWASSER STELLT KONSTANTES POTENZIAL ÜBER DAS JAHR**

Die Einbindung der Brauchwasserversorgung ist für eine erfolgreiche Flexibilisierung ein zusätzlicher Erfolgsfaktor. In diesem Anwendungsgebiet werden höhere Temperatu-

ren benötigt, wodurch das Flexibilisierungspotenzial höher ist, und dieses kann auch im Sommer genutzt werden. Beide Aspekte steigern das Flexibilitätspotenzial der Anlage erheblich. Im Falle von Gasheizungen kann ggf. auch für Gasnetzbetreiber Flexibilität zur Verfügung gestellt werden. Die Vorwärmung des Rücklaufwassers senkt den Gasverbrauch der Heizung und könnte somit ebenfalls bei Netzengpässen oder -überschüssen im Gasnetz eingesetzt werden.

Die eingebundenen Wärmepumpen und Nachtspeicherheizungen wurden im Rahmen von SINTEG hauptsächlich durch die Netzbetreiber getestet, während die Heizstäbe in den Projekten an virtuelle Kraftwerke angebunden wurden.

## MIKRO-KWK-ANLAGEN: STEUERUNG UND LASTVERSCHIEBEPOTENZIAL

Mikro-KWK-Anlagen wurden im Projekt „Mikro-KWK“ (DESIGNETZ) auf ihr Flexibilitätspotenzial hin untersucht. Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Wärmeerzeugern, bieten KWK hauptsächlich positives Lastpotenzial, d.h. zusätzliche Einspeisung ist möglich. Damit stellt die Technologie eine gute Ergänzung zu den verbrauchsseitigen Flexibilitäten dar. Die Steuersignale wurden vom Nutzer der Flexibilität in Form eines Fahrplans an die Anlage übergeben. Es war ausreichend, den Fahrplan zwei Stunden vor dem eigentlichen Abruf der Flexibilität zu übermitteln. Als technisches Potenzial der Anlagen konnten bis zu 3 kW identifiziert werden. Die Anlagen sind wärmegeführt, d. h. das Leistungsband der Stromerzeugung wird durch die maximale Temperaturdifferenz im Wärmepufferspeicher (im Projekt ca. 10 Kelvin) limitiert.

Die Verwendung der Flexibilität kann potenziell für Netzbetreiber im Rahmen des lokalen Redispatch oder EinsMan in aggregierter Form genutzt werden. Zur Vermarktung durch VK an den Regelenergiemärkten ist sie als Ergänzung zu anderen Technologien, z. B. großen Wärmeerzeugern, Speichern (Wärme und Strom), Fernwärmenetz sinnvoll, um die Bedarfe gewährleisten zu können.
















## BATTERIESCHWARM: DURCH DEN HERSTELLER AGGREGIERTE FLEXIBILITÄT NUTZEN

Batteriespeicher bieten ein vergleichsweise einfach zu hebendes Potenzial für netzdienliche Flexibilität, da sie im Gegensatz zu verbrauchsseitigen Flexibilitäten keine grundlegenden Bedürfnisse wie Wärme oder Mobilität, erfüllen müssen. Praktisch alle privaten Batteriespeicheranlagen werden in Kooperation mit einer PV-Anlage betrieben und haben bereits ein EMS integriert. Zusätzlich bieten die Hersteller ihren Kunden vermehrt die Teilnahme an einem cloudbasierten Speicherschwarm an, über den bereits Produkte wie Regelenergie vermarktet werden.

Weitere potenzielle Nutzer dieser Flexibilitäten, z. B. VNB, können mit sehr geringem zusätzlichem Aufwand darauf zugreifen, da Batteriehersteller über die Cloud bereits die Aggregatoren-Rolle übernehmen. Steuersignale können dadurch einfach umgesetzt werden, wie im Projekt „Hausspeicher“ (enera) gezeigt wurde. Zudem sind bereits ausgereifte Prognosemodelle vorhanden.

Das Projekt „Hausspeicher“ (enera) konnte vielversprechende Ergebnisse liefern: Die Lieferquote zwischen angefragter und tatsächlich abgerufener Flexibilität lag, nach einer initialen Abstimmungsphase konstant über 75 % und der Pool von 60 Anlagen, mit einer maximalen Beladeleistung von 0,183 MW, lieferte im Schnitt ca. 0,6 MWh/Woche. Bei der Untersuchung zur potenziellen Bereitstellung von Regelenergie wurde die initiale Annahme bestätigt, dass vor allem in den Morgen-, Abend- und Nachtstunden negative Flexibilität bereitgestellt werden kann.

## 2.3.2 DETAIL-BLAUPAUSE 2.2: DIGITALER NETZANSCHLUSS

Detail-Blaupause											
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Stadtwerke und Kommunen</li> <li>■ SMGW-Hersteller</li> <li>■ EMS-Entwickler</li> <li>■ Wohnungsunternehmen und Gebäudebesitzer</li> <li>■ VNB und VK-Betreiber</li> </ul>										
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	Einzelne Anlagen wie Wärmepumpen haben für sich genommen ein geringes Lastverschiebepotenzial, was die ökonomisch sinnvolle Erschließung erschwert. Wenn mehrere Flexibilitäten einzeln angebunden werden, könnten ineffiziente parallele Strukturen aufgebaut und haushaltsinterne Optimierungspotenziale nicht erschlossen werden.										
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Es werden nicht einzelne Anlagen angesteuert, sondern das Flexibilitätspotenzial gesamter Haushalte oder Gebäude gehoben. Die Regelung und Optimierung der Einzelanlagen findet mittels lokalem EMS in Haushalten oder Gebäuden statt.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hardware zur Kosten- und Komplexitätsreduktion auf das notwendige Minimum reduzieren</li> <li>■ „Komplexität lösen, wo sie entsteht“ und möglichst schon hinter dem SMGW aggregieren</li> <li>■ EMS einsetzen, welches möglichst viele Anlagenarten integrieren und steuern kann</li> </ul>										
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td><b>Haushalte</b></td> <td>GHD</td> <td>Industrie</td> <td>Energie</td> </tr> <tr> <td><b>Flexibilisierung</b></td> <td><b>Sektorkopplung</b></td> <td colspan="2">Erzeugung</td> </tr> </table>	<b>Haushalte</b>	GHD	Industrie	Energie	<b>Flexibilisierung</b>	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung			
<b>Haushalte</b>	GHD	Industrie	Energie								
<b>Flexibilisierung</b>	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung									
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 <b>6</b> 7 8 9</p> <p>TRL: Demonstrationsanlage in anwendungsähnlicher Umgebung implementiert.</p>										
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	<table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Franklin Quartier</li> <li>■ AtonomieLab Leimen</li> <li>■ Intelligente Wärme München</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ EMIL</li> <li>■ Energiestudio Markt/Kunde</li> </ul> </td> <td></td> <td></td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Netzdienliche WP</li> </ul> </td> </tr> </table>						<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Franklin Quartier</li> <li>■ AtonomieLab Leimen</li> <li>■ Intelligente Wärme München</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ EMIL</li> <li>■ Energiestudio Markt/Kunde</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Netzdienliche WP</li> </ul>
											
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Franklin Quartier</li> <li>■ AtonomieLab Leimen</li> <li>■ Intelligente Wärme München</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ EMIL</li> <li>■ Energiestudio Markt/Kunde</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Netzdienliche WP</li> </ul>							
<b>Innovationsgehalt</b>	In SINTEG wurden erstmalig Anlagen unterschiedlicher Hersteller mit einem EMS, das nicht von den Anlagenherstellern entwickelt wurde, gesteuert. In einer durchgehenden Kommunikationsstrecke über ein SMGW konnten Schaltbefehle getestet werden.										
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Flächendeckender SMGW-Rollout</li> <li>■ (Herstellerunabhängige) EMS auf dem Markt verfügbar sowie standardisierte Schnittstellen am EMS, aber auch an den Anlagen, die eine bidirektionale Kommunikation ermöglichen</li> <li>■ Anreize für Gebäudebesitzer, um lokale EMS zu installieren</li> <li>■ Kommunikationsinfrastruktur vom Gebäudeanschluss (SMGW) zum Netzbetreiber und Möglichkeit der bidirektionalen Kommunikation zwischen SMGW/CLS-Steuerbox und lokalem EMS</li> </ul>										

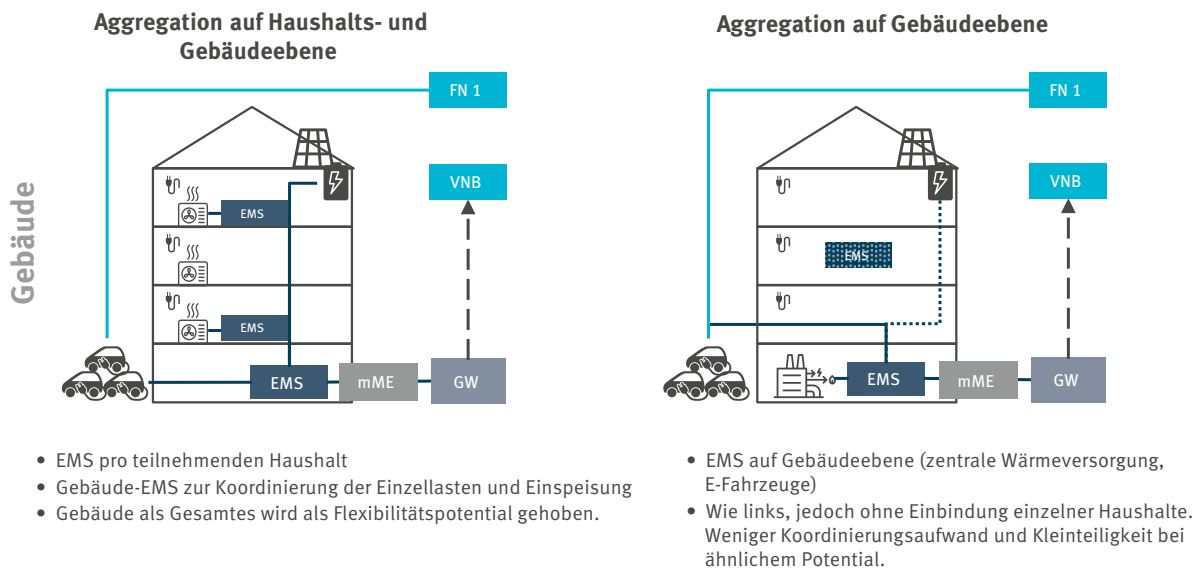
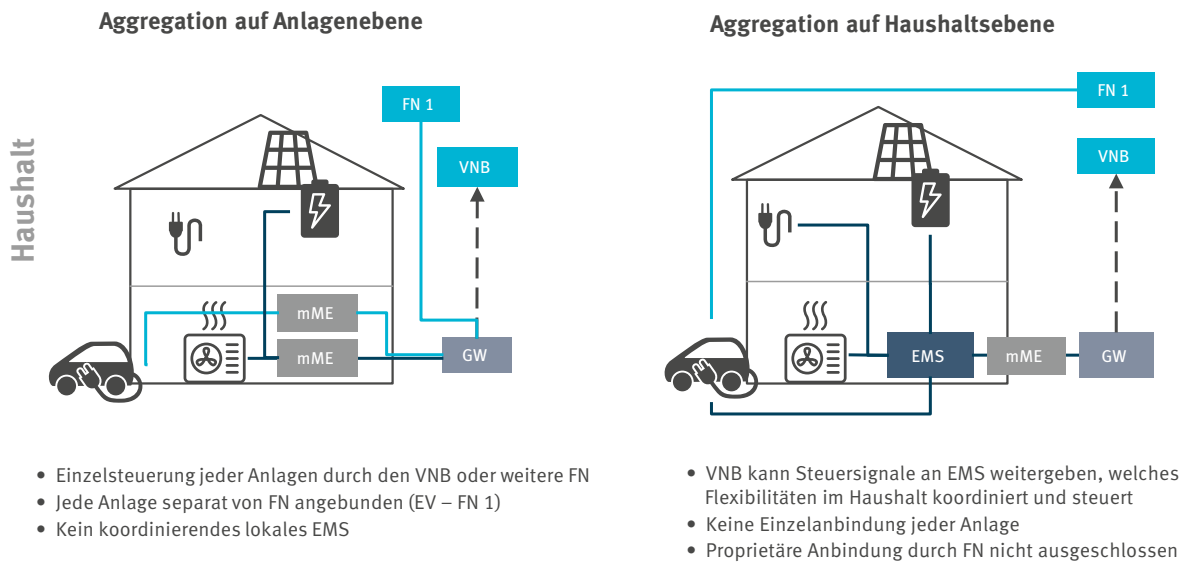
Das Konzept des digitalen Netzanschlusses wurde hauptsächlich in den Demonstratoren „Intelligente Wärme München“, „Autonomie Lab Leimen“ und „Franklin Quartier“ des Schau Fensters C/sells entwickelt (Weigand, Rogg, Köppl & Springmann, 2021). Das Konzept zielt vornehmlich auf die Nutzung von Flexibilitäten in Gebäuden durch den Netzbetreiber ab.



Die Architektur des digitalen Netzanschlusses besteht aus einem Kommunikationsanschluss, einem intelligentem Messsystem und einer digitalen Steuerbox des Netzbetreibers sowie einer Schalteinrichtung am Netzanschluss. Signale zur Leistungsbegrenzung sollten von einem lokalen EMS zur autonomen Leistungssteuerung im Gebäude gegeben werden. Einzelanlagen werden im Ansatz des digitalen Netzanschlusses somit nicht isoliert als Flexibilitätspotenziale betrachtet, sondern das Gebäude wird gesamthaft als ein Verbraucher gesehen. Statt einzelne Wärmeerzeuger, Batterien oder E-Autos zu steuern, kann somit das System „Gebäude“ geregelt werden.

Die Ansteuerung durch Flex-Nutzer erfolgt über ein SMGW. Dieses empfängt das Steuersignal und gibt es an die Anlagen im Gebäude weiter. Wird das SMGW direkt mit der Anlage verbunden, kann nur die jeweilige Anlage angesteuert werden. Interessanter ist es daher, zwischen dem SMGW und der Anlage ein lokales EMS zu installieren. Dieses empfängt das Signal vom SMGW und gibt es an die angeschlossenen Anlagen (PV, Speicher, Elektromobilität, Wärmepumpen etc.) weiter. Einer der Vorteile ist, dass das EMS das Signal an mehrere Anlagen verteilen und eine Einsatzoptimierung durchführen kann. Es ist zu beachten, dass eine Ansteuerung von Einzelanlagen über vorhandene proprietäre Kanäle nicht grundsätzlich ausgeschlossen ist. Abbildung 10 stellt eine Übersicht möglicher Varianten dar. In der Grafik wird von Aggregationsebenen gesprochen, da die Lage des SMGW schon eine erste Aggregation mit sich bringt.

Der digitale Netzanschluss bedeutet die Installation des SMGW mit Steuerungsfunktionalität (in der Abbildung nur „GW“), wie sie in den Skizzen rechts oben und unten dargestellt ist, und vermeidet eine direkte Ansteuerung durch Flex-Nutzer auf Anlagenebene (wie in der Abbildung links oben dargestellt).



	Elektrische Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser		Elektrofahrzeug
	Photovoltaik und Batteriespeicher		Sonstige Stromverbraucher im Haushalt
	Zentrale Gebäudewärmeversorgung		Standard EMS Protokolle (Mod-Bus, Zig-Bee, EEBUS, etc.)
	Smart Meter Gateway		Proprietärer Zugang
	Energiemanagementsystem		Netzsignal VDN/EN/ISO/DIN 42..
	Flex-Nutzer / VNB		Gepunktet bedeutet „optional“
	Moderne Messeinrichtung		

Abbildung 10: Mögliche Architekturen des Netzanschlusses von Haushaltsgeräten mittels SMGW und EMS (eigene Darstellung Guidehouse)

## ANSCHLUSSPUNKT DES SMGW LEGT DIE ERSTE AGGREGATIONSEBENE FEST

Das SMGW bündelt die Informationen zu Signalen (Lastbegrenzung, Fahrplan), unabhängig davon, ob hinter dem SMGW eine einzelne Anlage oder ein ganzes Quartier liegt. Für den Nutzer der Flexibilität (z. B. den VNB) ist damit schon eine Aggregation erfolgt, da er lediglich ein Signal weiterleiten muss und die Prognosen der Anlagen gebündelt über das SMGW erhält. So benötigte das Projekt „Quartier Prenzlauer Berg“ (WindNODE) nur ein SMGW zur Kommunikation des Lastverhaltens seiner Quartierswärmeversorgung von 230 Wohneinheiten, während im Projekt „PtH Werne“ (DESIGNETZ) jeder Wärmeerzeuger pro Gebäude einzeln über ein eigenes SMGW angesteuert werden musste.

## VORTEILE DES DIGITALEN NETZANSCHLUSSES

Es gibt mehrere Argumente für die Bündelung einzelner Anlagen auf Gebäudeebene mittels digitalem Netzanschluss:

### **Eigenoptimierung und Berücksichtigung von Präferenzen der Bewohnerinnen und Bewohner erlauben und dadurch die Akzeptanz steigern.**

Die Ansteuerung von Einzelanlagen führt dazu, dass die externen Anforderungen, z. B. eine Lastabsenkung, nicht den internen Benutzerpräferenzen angepasst werden. Sollte beispielsweise der Ladevorgang eines E-Autos unterbrochen werden, obwohl die Nutzerin oder der Nutzer eine vollgeladene Batterie benötigt, sorgt das für Konflikte. Wenn gleichzeitig der Hausbatteriespeicher die Flexibilität bereitstellen kann, könnte ein lokales EMS diesen Konflikt regeln. Für einen Netzbetreiber wäre diese kleinteilige Optimierung – also die Anweisung an die Batterie weiterzugeben – zu komplex.

Der digitale Netzanschluss erlaubt es, Komplexität dort zu lösen, wo sie entsteht. Der Netzbetreiber gibt lediglich eine maximale Last oder Einspeisung durch das Gebäude im Rahmen einer sogenannten „Hüllkurve“ oder eines Lastbandes vor. Wie eine mögliche Lastabsenkung oder -erhöhung intern geregelt wird, entscheidet das EMS – und damit die Bewohnerinnen und Bewohner.

Dieser Ansatz kann die Akzeptanz der Haushalte für Flexibilitätsbereitstellung steigern, da Eingriffe durch Externe den individuellen Bedürfnissen, die das lokale EMS kennt, untergeordnet werden. Nur in Ausnahmefällen würde es zu Einschränkungen führen, wenn z. B. eine Abregelung vieler Gebäude notwendig ist, um einen Netzausfall zu vermeiden.

### **Das verfügbare kumulierte Flexibilitätspotenzial wird prognostiziert.**

Bewohnerinnen und Bewohner können einem lokalen EMS in ihrem Haushalt Bedürfnisse übermitteln, z. B. wann das Auto geladen sein muss, wie warm die Wohnung sein soll, etc. Unter Verwendung von Wetterprognosen und Erfahrungswerten kann das EMS zu jeder Zeit das verfügbare kumulierte Flexibilitätspotenzial aller angeschlossenen Anlage prognostizieren. Durch die Kombination mehrerer Anlagen wird zudem das Gesamtpotenzial des Gebäudes höher ausfallen.

### **Die Komplexität für den Netzbetreiber und andere Nutzer der Flexibilität wird reduziert.**

Die Mehrheit der SINTEG-Projekte musste die Unterstützung der Anlagenhersteller oder lokaler Installateure zur Umsetzung einer Anlagensteuerung hinzuziehen. Dies geschah in den Aktivitäten „Hybrid-Heizung“ (enera), „Netzdienliche Wärmepumpe“ (WindNODE), „Energie-wabe Rhein-Hunsrück“ (enera) und „PtH Werne“ (DESIGNETZ). In einem Projekt, in dem der Energieversorger mit eigenen Ressourcen die Installation vorantrieb („Intelligente Wärme München“ C/sells), betrug der Aufwand 1 – 2 Tage Arbeit des Teams pro Anlage. Dazu kam die Bearbeitung von Wartungs- und Störmeldungen, die eine Rufbereitschaft der Projektbeteiligten forderten.

Eine klare Erkenntnis des Projektes war, dass es aufgrund des hohen Aufwandes nicht zu den Kernaufgaben des Netzbetreibers bzw. Messstellenbetreibers gehört, in die Gebäude zu gehen und Anlagen anzubinden. Der Netzbetreiber kann sich im Konzept des digitalen Netzanschlusses auf die Sicherstellung einer funktionierenden Kommunikationsinfrastruktur zwischen Leitwarte und dem Gebäudenetzanschluss konzentrieren (Glasfaser, 5G-Empfänger, Powerline, etc.), während EMS-Entwickler, Anlagenhersteller und Installateure den gebäude-internen Anschluss übernehmen.

### **Die Komplexität für die Entwicklung der SMGW / CLS-Steuerbox wird reduziert.**

Bei der Entwicklung von digitalen Schnittstellen zwischen der CLS-Steuerbox und den Anlagen in den Haushalten kann ein Fokus auf den Abgleich zwischen EMS-Entwicklern und Steuerbox einfacher sein, als offene Schnittstellen für eine große Anzahl an unterschiedlichen Anlagentypen im Bestand zu entwickeln.

### **Die Komplexität für die Entwicklung von EMS wird reduziert.**

Lokale EMS können sich auf die interne Optimierung, z. B. die Erhöhung des Eigenverbrauchs, und die Vernetzung der Anlagen im Haushalt konzentrieren. Es muss lediglich ein zusätzlicher Eingang und Ausgang für die (standardisierten) Schnittstellen des SMGW berücksichtigt werden und dessen Lastsignale umgesetzt werden können. Die Entwickler von lokalen EMS benötigen somit auch keine Freigabe und Kenntnisse der Netzbetreiber- / SMGW-protokolle (Übertragungsprotokoll IEC 61850). Dies erleichtert die Entwicklung eines Marktes für das Energiemanagement auf Gebäudeseite, während die Stromnetzseite vom Netzbetreiber geregelt wird.

## **ANLAGENHERSTELLER UND SOFTWAREENTWICKLER SIND BEIM ANSCHLUSS DER ANLAGEN GEFORDERT – DER NETZBETREIBER MUSS FÜR DIE FUNKTIONIERENDE KOMMUNIKATIONSINFRASTRUKTUR SORGEN**

Die oben genannten Erkenntnisse bedeuten, dass sich im Konzept des digitalen Netzanschlusses alle Akteure auf ihre jeweiligen Kernkompetenzen fokussieren, dabei aber die Schnittstellen zu den anschließenden Komponenten zusammen gedacht werden müssen. Für die Umsetzung ist erforderlich, dass Anlagenhersteller offene, standardisierte Schnittstellen zur Verfügung stellen, die es dem EMS erlauben, Daten auszulesen und gleichzeitig aktiv zu regeln. Dazu sind Standardisierungsaktivitäten im Gange (z. B. EN50491-1-2-2).

Die Entwickler von EMS sollten die Kommunikation mit möglichst vielen Anlagentypen und -herstellern ermöglichen. Gleichzeitig gilt es, eine bidirektionale Schnittstelle an das SMGW

zu implementieren. Die Netzbetreiber müssen dafür sorgen, dass sie selbst, aber auch andere auf die Messdaten und Prognosen aus den Haushalten Zugriff haben und die Steuerungssignale zuverlässig an das SMGW weitergegeben werden.

## **BEREITS HEUTE DIE NÖTIGE IKT-INFRASTRUKTUR IMPLEMENTIEREN – MIT MEHRWERTEN FÜR DIE HAUSHALTE**

Die nötige Infrastruktur in den Gebäuden, nämlich Anlagen mit offenen Schnittstellen und lokale, standardisierte EMS, sollten schon heute installiert werden. Die Regelung mehrerer Geräte über ein lokales EMS kann auch ohne den Gedanken der Bereitstellung von Flexibilität Vorteile bringen. Das Monitoring des eigenen Energieverbrauchs, die Steigerung der Energieeffizienz, eine Erhöhung des Eigenverbrauchs, eine Absenkung der Lastspitzen durch E-Autos und die Steigerung des thermischen Komforts sind nur einige Beispiele für Mehrwerte, die durch die Digitalisierung in Gebäuden erreicht werden können. Die genutzten EMS sollten dabei standardisiert sein, d. h. externe Signale über das SMGW empfangen und verarbeiten sowie Flexibilitätsprognosen zurücksenden können.

Investitionen in die IKT-Infrastruktur müssen dank dieser Mehrwerte nicht nur über den Nutzen als Flexibilitätspotenzial aufgewogen werden. Vielmehr ist die Bereitstellung von Flexibilität ein mögliches „Add-On“ auf die bereits bestehenden Funktionalitäten, die das vernetzte Gebäude mit sich bringt. Das könnte mögliche Geschäftsmodelle, die heute noch von hohen Anschlusskosten ausgehen, realistischer erscheinen lassen und zusätzlich die Akzeptanz steigern, da die Schaltungshöhe der Anlagen schon an das EMS abgegeben ist.

Zusätzlich interessant ist in diesem Zusammenhang die Nutzung eines SMGW für mehrere moderne Messeinrichtungen (mME). Dies ist erforderlich, wenn nur ein einzelnes SMGW am Gebäudeanschluss mehrere Haushalte einschließt. Die Umsetzung ist im Projekt „EMIL“ (DESIGNETZ) erprobt und in der Detail-Blaupause 2.3: Kommunikation über das Smart Meter Gateway im Abschnitt 2.3.3 näher beschrieben.

## **WEITERE AGGREGATIONSEBENEN VOR DEM SMGW KÖNNEN SINNVOLL SEIN**

Eine zusätzliche Aggregation über der Gebäudeebene, z. B. ein Quartier, ist für viele Nutzer der Flexibilität erstrebenswert. Diese Ebene kann oftmals noch durch einen lokalen Akteur aggregiert werden, z. B. den Besitzer mehrere Gebäude oder ein Nachbarschaftsverbund, wie im Projekt „Quartier Prenzlauer Berg“ (WindNODE) geschehen (siehe auch Blaupause „Blaupause 3: Flexibilitätspotenzial durch Quartierslösungen heben“ in Abschnitt 2.4.1). Diese Zwischeninstanz aggregiert die Flexibilitäten der einzelnen Haushalte z. B. im Wohnblock und sollte wiederum über ein eigenes EMS verfügen. Lokale Akteure haben unter Umständen einen besseren Zugang zu den Haushalten und können als Aggregateure erfolgreicher sein als externe Akteure.

Entscheidend für die Aggregationsebene ist aber der angestrebte Nutzen der flexibilisierten Lasten. Geht es darum, lokale Netzengpässe in Niederspannungssträngen zu vermeiden, könnten schon einzelne Gebäude eine positive Wirkung zur Engpassvermeidung haben. Ist der Zweck dagegen z. B. Primärregelleistung bereitzustellen, gilt es, viele Haushalte unabhängig von ihrer Lage im Netz zu aggregieren. Eine allgemeingültige Empfehlung für Aggregationsebenen nach dem SMGW am Gebäudeanschluss kann somit nicht gegeben werden.

## HERAUSFORDERUNGEN UND OFFENE FRAGESTELLUNGEN ZUM DIGITALEN NETZANSCHLUSS: NUTZUNG DER FLEXIBILITÄT DURCH MEHRERE AKTEURE
















In Zukunft sollen die Flexibilitätspotenziale auf Gebäudeebene durch mehrere Akteure genutzt werden können, sprich durch den VNB, aber auch durch VK, die wiederum unterschiedliche Optimierungsziele verfolgen. In den SINTEG-Demonstratoren wurde die Nutzung einer Anlage durch mehrere Akteure nicht getestet. Einen Ausblick auf mögliche Herausforderungen gaben jedoch Erkenntnisse des Projekts „Energiestudie Markt/Kunde“ (DESIGNETZ). Hier sollten Flexibilitäten u.a. für den Einsatz als Regelenergie genutzt werden. Dazu muss genau nachvollziehbar sein wie die Anlage zur Regelenergiebereitstellung genutzt wurde, weswegen die bereitstellende Anlage bislang einen individuell abrechenbaren Netzanschluss benötigt.

Mittels eines SMGW können mehrere mME angeschlossen werden. Es ist jedoch noch nicht abschließend geklärt, inwiefern eine Anlage für mehrere Akteure Flexibilität bereitstellen kann, solange die Nachverfolgbarkeit über einen eigenen Netzanschlusszähler gewährleistet sein muss. Weiterhin ist das lokale EMS dafür zuständig, welche Anlagen im Gebäude die externen Lastbegrenzungen ausführen. Damit wird es komplexer, wenn einzelne Akteure nur auf einzelne Anlagen zugreifen dürften. Das lokale EMS müsste eine Priorisierung der unterschiedlichen Akteure zulassen. Einige Überlegungen zur Kombination der Koordinierungsfunktion mit einem Flexibilitätsmarkt wurden bereits angestellt (Springmann, Köppl & Estermann, 2020). Weitere Entwicklungsarbeit – auch im Rahmen der Ausgestaltung der Regulatorik, z. B. zu Regelenergiebereitstellung von Kleinstanlagen – ist noch nötig, um das Konzept umzusetzen. Dies wird im Folgeprojekt unIT-e<sup>2</sup><sup>12</sup>, das auf den SINTEG-Erkenntnissen aufbaut, untersucht.

---

<sup>12</sup> <https://www.ffe.de/news/unit-e%C2%B2-elektromobilitaet-intelligent-ernetzen/>

### 2.3.3 DETAIL-BLAUPAUSE 2.3: KOMMUNIKATION ÜBER DAS SMART METER GATEWAY

Detail-Blaupause									
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Stadtwerke und Kommunen</li> <li>■ SMGW-Hersteller</li> <li>■ EMS-Entwickler</li> <li>■ Wohnungsunternehmen und Gebäudebesitzer</li> <li>■ VNB und VK-Betreiber</li> </ul>								
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	Die externe Steuerung von Haushaltslasten erfordert ein hohes Maß an Sicherheit der Kommunikationsinfrastruktur. Die Kommunikation zwischen SMGW und Anlagen scheitert häufig an fehlenden Schnittstellen, jene zwischen SMGW und Netz-/Messstellenbetreiber wird durch mangelnden Mobilfunkempfang und fehlende Infrastruktur erschwert.								
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Die externe Kommunikation mit Flexnutzern kann u. a. durch die Nutzung der 450-MHz-Frequenz, den Aufbau kabelgebundener Infrastruktur oder die Verwendung einer Multi-Sim erleichtert werden. Zur internen Kommunikation „hinter dem SMGW“ hat sich die Nutzung des Standards der EEBUS-Initiative in einem Projekt bewährt (nach VDE 2829-6).</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Anbindung über kabelgebundene Infrastruktur (PLC, Glasfaser), 450-MHz-Frequenz, Multi-Sim</li> <li>■ Kommunikationsstandard zwischen SMGW und EMS (z. B. EEBUS und Forum Netztechnik/Netzbetrieb (FNN)-Steuerbox)</li> </ul>								
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: #004a7c; color: white;">Haushalte</td> <td>GHD</td> <td>Industrie</td> <td>Energie</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #004a7c; color: white;">Flexibilisierung</td> <td style="background-color: #004a7c; color: white;">Sektorkopplung</td> <td colspan="2">Erzeugung</td> </tr> </table>	Haushalte	GHD	Industrie	Energie	Flexibilisierung	Sektorkopplung	Erzeugung	
Haushalte	GHD	Industrie	Energie						
Flexibilisierung	Sektorkopplung	Erzeugung							
<b>Technologiereifegrad</b>	<p style="text-align: center;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">7</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">8</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">9</span> </p> <p>TRL: Demonstrationsanlage und Prototypen wurden im Betriebsumfeld getestet.</p>								
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">   <ul style="list-style-type: none"> <li>■ TP: SMGW</li> <li>■ Intelligente Wärme München</li> <li>■ Franklin Quartier</li> <li>■ ALF</li> <li>■ Prosumer Ulm</li> <li>■ AutonomieLab Leimen</li> </ul> </td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">   <ul style="list-style-type: none"> <li>■ EMIL</li> <li>■ Energiestudio Markt/Kunde</li> </ul> </td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">  </td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">   <small>modulare energie-netze</small> </td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">   <ul style="list-style-type: none"> <li>■ AP „Vernetzer Endkunde“</li> </ul> </td> </tr> </table>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ TP: SMGW</li> <li>■ Intelligente Wärme München</li> <li>■ Franklin Quartier</li> <li>■ ALF</li> <li>■ Prosumer Ulm</li> <li>■ AutonomieLab Leimen</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ EMIL</li> <li>■ Energiestudio Markt/Kunde</li> </ul>		 <small>modulare energie-netze</small>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ AP „Vernetzer Endkunde“</li> </ul>			
 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ TP: SMGW</li> <li>■ Intelligente Wärme München</li> <li>■ Franklin Quartier</li> <li>■ ALF</li> <li>■ Prosumer Ulm</li> <li>■ AutonomieLab Leimen</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ EMIL</li> <li>■ Energiestudio Markt/Kunde</li> </ul>		 <small>modulare energie-netze</small>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ AP „Vernetzer Endkunde“</li> </ul>					
<b>Innovationsgehalt</b>	Die SMGWs wurden während der Schaufensterprojektlaufzeit zertifiziert. In SINTEG wurde erstmals die Kommunikationsstrecke zwischen EMT und dem Gebäudeanschluss im Gebäudebestand erprobt. Dies wurde sowohl in urbanen als auch ländlichen Gebieten durchgeführt. Auch neue Kommunikationsstandards zur Verbindung des SMGW mit den lokalen Anlagen wurden erstmals in einer Liegenschaft implementiert.								
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ SMGW-Rollout und alle Funktionalitäten einsatzbereit (TAF)</li> <li>■ Ausreichend Platz zur Installation der Hardware, verlässliche Kommunikationsinfrastruktur</li> <li>■ Definierte Standards die von den Anlagen-/EMS-Herstellern verwendet werden und die CLS-Steuerboxen/SMGW ebenfalls verwenden</li> </ul>								

Das SMGW bildet die Schnittstelle zwischen der mME und den Anlagen in den Haushalten sowie den Nutzern der Messdaten und Flexibilitätspotenziale. Wenn im Folgenden von „extern“ oder „vor dem SMGW“ gesprochen wird, ist die Kommunikation vom Gebäude zu den Nutzern der Flexibilitäten (z. B. VNB) gemeint.

## HANDLUNGSMÖGLICHKEITEN ZUR VERBESSERUNG DER EXTERNEN KOMMUNIKATION DES SMGW

Die Erfahrungen in mehreren Schaufensterprojekten, u. a. im Projekt „Intelligente Wärme München“ (C/sells), haben bei der externen Anbindung der SMGW gezeigt, dass vor allem Funklösungen starke Defizite aufweisen können. Unabhängig von urbanem oder ländlichem Umfeld ist der Empfang in den Kellern der Häuser, wo sich die Schaltschränke befinden, immer wieder unzureichend.

1. Eine mögliche Lösung wurde im Demonstrator „EMIL“ (DESIGNETZ) erfolgreich getestet: Die **Nutzung der 450-MHz-Frequenz**. Die Nutzung dieser Frequenz erleichtert die Anbindung von SMGW in Kellern, da sie Mauerwerk besser durchdringen kann als höhere Frequenzen.
2. Zudem brachte in einigen Fällen die Verwendung einer einfachen **Verlängerung beim Antennenanschluss** eine deutliche Verbesserung des Empfangs. Diese konnten dann in der Nähe oder direkt am Kellerfenster angebracht werden.
3. **Die Anbindung über kabelgebundene Infrastruktur**, die im besten Fall durch den Netzbetreiber oder die Stadtwerke erfolgt, zeigt sich z. B. in den Projekten „ALF“ (C/sells) und „Franklin Quartier“ (C/sells) als vielversprechend und deutlich robuster. Dabei sind sowohl Glasfaserkabel als auch Powerline Technologie erfolgreich zum Einsatz gekommen. Glasfaserkabel bringen weitere Mehrwerte für die Bewohner, wie eine schnelle Internetverbindung. Powerline ist hingegen günstiger zu realisieren, sollte es rein um die Steuerung der Anlagen gehen. Die Entwicklung einer stabilen Infrastruktur wird durch das Messstellenbetriebsgesetz weiter beschleunigt, welches den Messstellenbetreiber dazu verpflichtet Haushalte mit SMGW und Erzeugungsanlagen nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) oder Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) anzubinden.
4. **Lösung für eine bessere Abdeckung im ländlichen Raum:** Eine weitere Lösungsmöglichkeit, um die teilweise mangelhafte Funkabdeckung zu umgehen, wurde im Projekt „Netzdienliche Wärmepumpen“ (WindNODE) eingesetzt. Anstatt herkömmlicher SIM-Karten wurden sogenannte Multinetz SIM-Karten verwendet. Diese wählen sich immer in das Netz ein, welches den besten Empfang am jeweiligen Ort bietet. Theoretisch könnte auch ein Netzabdeckungstest bei der Installation gemacht werden und die entsprechende SIM-Karte vom Installateur eingelegt werden. Vor allem bei einer zukünftig standardisierten Installation der SMGW ist es einfacher, direkt eine Multinetz SIM-Karte zu nutzen. Sollte zudem später ein Funkmast abgebaut oder neu installiert werden, kann sich das SMGW darauf eigenständig einstellen. Besonders für den ländlichen Raum ist diese Lösung zu empfehlen.
5. **Nutzung mehrerer mME über ein SMGW:** Eine weitere Möglichkeit stellt die zentrale Nutzung eines SMGW für mehrere mME über einen Straßenzug oder ein Quartier hinweg dar. Im Projekt „EMIL“ (DESIGNETZ) wurde dieses Konzept erfolgreich für mehrere Haushalte umgesetzt. Das Gateway ist in einen Ortsnetztransformator eingebunden. Es wurde eine Kommunikation zwischen dem Gateway und den Messeinrichtungen in den Haushalten eingerichtet. Dadurch können Investitionskosten deutlich gesenkt werden.
6. **Lokale Kommunikationsinfrastruktur über iMSys aufbauen, um Lücken im Telekommunikationsnetz zu umgehen:** Wie oben erwähnt, konnte im Projekt „EMIL“



(DESIGNETZ) ein SMGW genutzt werden, um die Daten mehrerer mME zu übertragen. Um die Probleme des teilweise zu schwachen Mobilfunknetzes zu umgehen, wurde eine weitere Lösung entwickelt: Die verwendeten mME bauten ein eigenes Funknetz auf. Hierzu wurden jede mME zusätzlich mit einem Repeater ausgestattet. Durch eine flächendeckende Implementierung der Geräte in den Haushalten kann so ein Netz aufgebaut werden, über das die Messwerte weitergegeben werden. Haushalte, die weit vom SMGW entfernt liegen, nutzen dazwischenliegende Repeater (an den mME), um ihre Daten zu übermitteln. Die Kommunikation basiert auf einem „CDMA450/ LTE450-Funknetz“. Im Ergebnis ist eine einfache und kostengünstige lokale Kommunikationsinfrastruktur aufgebaut.

## **EMT ERHALTEN DIE MESSDATEN DER HAUSHALTE ÜBER DEN MESSTELLENBETREIBER**

Die Daten welche vom iMSys über das SMGW nach außen weitergegeben werden, sind nach der Regelung der Marktkommunikation 2020 (§ 60 MsbG) direkt an den Messtellenbetreiber zu kommunizieren. Dieser Stand gilt mindestens bis zum Jahr 2026. Eine zu Beginn der Schaufensterlaufzeit diskutierte Variante ist die Übertragung der Messdaten direkt vom SMGW an einen EMT im Rahmen der sogenannten sternförmigen Kommunikation. Ursprünglich war im Messtellenbetriebsgesetz die sternförmige Kommunikation als Zielbild 2020 ausgegeben. Dies wurde gegen Ende der Schaufensterlaufzeit jedoch zurückgezogen (BMWi, 2021 a). Nach dem aktuellen Beschluss kann der früheste Zeitpunkt einer Umstellung auf sternförmige Kommunikation – im Falle einer positiven Evaluation bis 2023 – im Jahr 2026 erfolgen.

Erfahrungen der Schaufenster zu diesem Thema deuten in unterschiedliche Richtungen. So betonte das Projekt „Prosumer Ulm“ (C/sells) die Notwendigkeit einer dezentralen Kommunikation, um es möglichst vielen EMT – unabhängig vom Messtellenbetreiber und dessen potenziellen Limitierungen bei der Geschwindigkeit der Datenübertragung – zu erlauben, auf die Flexibilitäten zuzugreifen. Es fällt vor allem kleineren Messtellenbetreibern schwer, die Prozesse intern zu etablieren, um die Messdaten in Echtzeit, hochaufgelöst weiterzugeben. Die Erfahrungen der Arbeitsgruppe „Vernetzter Endkunde“ (Wind-NODE) zeigten, dass das Konzept der sternförmigen Kommunikation softwaretechnisch umsetzbar ist. Jedoch wird in dieser Arbeitsgruppe auch angemerkt, dass der Markttrend, getrieben durch die Entscheidung zum Messtellenbetriebsgesetz (siehe oben), in Richtung einer zentralen Verteilung der Daten geht. Zudem ist der Vorteil für den EMT, dass bei einer zentralen Kommunikation keine eigene, komplexe Verschlüsselung der Datenübertragung implementiert werden muss und somit geringere Initialkosten und administrative Hürden zur Nutzung der Flexibilitäten bestehen.

## **STEUERSIGNAL ÜBER DIE GESAMTE KOMMUNIKATIONSTRECKE – VOM EMT ZUR ANLAGE IM HAUSHALT – BENÖTIGT MAXIMAL 100 SEKUNDEN**

Die Latenzzeit beim Steuern und der Signalübertragung über das SMGW – auch Signallaufzeit – wurde am Rande des Projektes „ALF“ (C/sells) mit den verfügbaren SMGWs untersucht. Vier Szenarien sind betrachtet: Schalten mit und ohne Messen des Netzzustands sowie beide Varianten bei bereits aufgebautem und abgeschaltetem CLS-Kanal (Forschungsstelle für Energiewirtschaft FFE], 2018). Der Aufbau des Kanals benötigt die längste Zeit mit ca. 50s und die Messung ist mit ca. 40s hauptsächlich für den Rest der Signallaufzeit verantwortlich. Die Schaltung selbst hat eine Signallaufzeit von unter 5s. Das bedeutet isolierte Schaltvor-

gänge können praktisch in Echtzeit durchgeführt werden, sollte der CLS-Kanal bereits aufgebaut sein. Ist dieser noch einzustellen und eine Messung vor und nach dem Vorgang nötig, beträgt die Signallaufzeit insgesamt ca. 1 000.

## DIE INTERNE KOMMUNIKATION – VOM SMGW ZUR ANLAGE
















Die interne Kommunikation zwischen dem SMGW und den CLS, zu denen die elektrisch betriebenen Anlagen des Haushalts gehören, ist eine der Schlüsselfunktionen hin zu einem intelligenten und steuerbaren System. Die Ansteuerung läuft über den CLS-Proxy-Kanal, der über das SMGW aufgebaut wird. Dieses erlaubt einem EMT ein Steuersignal sicher durch das SMGW in den Haushalt zu senden oder Messdaten und Prognosen aus dem Haushalt zu empfangen. Damit dieser Zugriff nur durch autorisierte EMT erfolgt, kann der CLS-Kanal ausschließlich vom Gateway Administrator (GWA) aktiviert werden. Hinter dem SMGW befindet sich die Steuerbox, welche die Signale, die über den CLS-Kanal gesendet werden in erster Instanz empfängt und über Schnittstellen an die Anlagen weitergibt. Diese Schnittstellen (zwischen Steuerbox und Anlagen) müssen dieselbe Sprache sprechen, um eine funktionierende Kommunikation zu ermöglichen. Ein Vorschlag zur Umsetzung einer Architektur hinter dem SMGW wird in der Detail-Blaupause zum digitalen Netzanschluss (unter dem Abschnitt 2.3.2) vertieft.

Die Schaufensterprojekte haben an dieser Schnittstelle große Hindernisse identifiziert. Kaum ein Projekt konnte eine Anlage mit Protokollen ansprechen die einen stufenlosen, bidirektionalen Austausch von Daten erlauben würden. Dies liegt zum einen an den mangelnden Schnittstellen der Anlagen selbst, aber auch an den nicht-vorhandenen digitalen Ausgängen der verwendeten CLS-Steuerboxen. Aktuell können vor allem die potenzialfreien Kontakte der Steuerbox genutzt werden um Relaischaltungen (An/Aus) zu realisieren oder über mehrere dieser unidirektionalen, potenzialfreien Kontakte vordefinierte Betriebszustände der Anlagen anzusteuern. Dies erfolgte in Anlehnung an die bereits etablierte Rundsteuertechnik bei PV-Anlagen im Projekt „ALF“ (C/sells) oder mittels der SG-Ready Schnittstelle bei Wärmepumpen im Projekt „Netzdienliche WP“ (WindNODE).

Eine Möglichkeit der Standardisierung der Übertragungsprotokolle bietet die EEBUS-Initiative. Im „Autonomie Lab Leimen“<sup>13</sup> (C/sells) konnte auf Basis dieses Kommunikationsstandards und der neuen VDE 2829-6 die praktische Umsetzung der Steuerbarkeit am Netzanschlusspunkt demonstriert werden. Dabei wird das Steuerungssignal des EMT mittels IEC 60870-5-104 oder IEC 61850 durch das SMGW an die FNN-Steuerbox übertragen, die es als EEBUS-Protokoll an ein EMS weitergibt.

<sup>13</sup> <https://energieorganismus.de/digitaler-netzanschluss-und-autonomes-energiemanagement/>

## 2.4 Blaupause 3: Flexibilitätspotenzial durch Quartierslösungen heben

Blaupause											
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Stadtwerke und Kommunen</li> <li>■ Wohnungsunternehmen und Gebäudebesitzer</li> <li>■ VNB</li> <li>■ Wärmenetzbetreiber</li> </ul>										
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	Die hohe Anzahl und Heterogenität der Anlagen erschweren die Flexibilisierung in Haushalten bei gleichzeitig geringer Flexibilitätsleistung. Dieser Herausforderung kann in Quartieren besser bewältigt werden.										
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Zur Vermeidung des hohen Aufwands bei der Akquise und Hebung von Flexibilitäten in einzelnen Haushalten, können Eigentümer großer oder mehrerer Mehrfamilienhäuser sowie Quartiersentwickler einbezogen werden. Diese entwickeln eine Flexibilisierungsstrategie für das ganze Quartier, unter Einbeziehung der Gebäude und öffentlicher Infrastruktur wie Ladestationen für E-Fahrzeuge.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Weiterer Mehrwert durch den Ausbau der IKT-Infrastruktur neben der Bereitstellung von Flexibilität wird geschaffen</li> <li>■ Bereits vorhandene Infrastruktur (z. B. regelbare PTH-Elemente) wird zusätzlich zur Bereitstellung von Flexibilität genutzt</li> <li>■ Kommunikationsinfrastruktur, Gebäude und, falls vorhanden, das Nahwärmenetz sind in der Hand eines Akteurs bzw. Interessenverbands</li> <li>■ Infrastruktur wurde zentral geplant</li> </ul>										
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td><b>Haushalte</b></td> <td>GHD</td> <td>Industrie</td> <td>Energie</td> </tr> <tr> <td><b>Flexibilisierung</b></td> <td><b>Sektorkopplung</b></td> <td colspan="2">Erzeugung</td> </tr> </table>	<b>Haushalte</b>	GHD	Industrie	Energie	<b>Flexibilisierung</b>	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung			
<b>Haushalte</b>	GHD	Industrie	Energie								
<b>Flexibilisierung</b>	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung									
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 7 8 <b>9</b></p> <p>TRL: Technologien sind kommerziell verfügbar.</p>										
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	<table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>■ Franklin Quartier</td> <td>■ Energiestudio Markt/Kunde ■ Smart E-Mobility</td> <td></td> <td></td> <td>■ Quartier Prenzlauer Berg</td> </tr> </table>						■ Franklin Quartier	■ Energiestudio Markt/Kunde ■ Smart E-Mobility			■ Quartier Prenzlauer Berg
											
■ Franklin Quartier	■ Energiestudio Markt/Kunde ■ Smart E-Mobility			■ Quartier Prenzlauer Berg							
<b>Innovationsgehalt</b>	Die in SINTEG entwickelten Quartierskonzepte nutzen erstmals die vorhandenen Flexibilitäten im Quartier nicht nur zur Optimierung des Eigenverbrauchs von lokal erzeugter Energie, sondern als Flexibilität für das Stromnetz.										
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Zur Umsetzung eines Quartierskonzeptes sollten mehrere Gebäudeblocks in der Hand eines Besitzers oder einer Gesellschaft ein und räumlich nah zusammenliegen</li> <li>■ Bestandsgebäude: Bereitschaft der Haushalte, die nötige IKT-Infrastruktur zu installieren</li> <li>■ Strombasierte Wärmequelle oder KWK-Anlagen</li> </ul>										

## QUARTIERSKONZEPTE ERMÖGLICHEN EINE EINFACHERE HEBUNG KLEINTEILIGER FLEXIBILITÄTSPOTENZIALE

Die größte Herausforderung bei der Hebung von Flexibilitätspotenzialen in Gebäuden ist die hohe Anzahl unterschiedlicher Anlagen und der damit verbundene Aufwand zum Anschluss der Anlagen, bei gleichzeitig eher geringer Flexibilitätsleistung. Hier bieten Quartierskonzepte zur Hebung von Flexibilitäten eine interessante Alternative. Zur Umsetzung dieser Blaupause bedarf es eines großen oder mehrerer Gebäudeblocks, die nah beieinanderliegen und in der Hand eines Eigentümers sind. Häufig wird diese Konstellation als ein (Wohn-)Quartier bezeichnet, weswegen diese Bezeichnung stellvertretend ebenfalls verwendet wird.

Da einzelne Akteure, wie Wohnungsbaugenossenschaften oder Quartiersentwickler, für die Versorgung mehrerer Gebäude zuständig sind, wird die Komplexität in der Umsetzung reduziert. Die SINTEG-Demonstratoren „Franklin Quartier“ (C/sells), „Quartier Prenzlauer Berg“ (WindNODE) und „Energiestudio Markt/Kunde“ (DESIGNETZ) haben sich auf eine Quartierslösung fokussiert. In diesen drei Projekten konnten deutlich mehr Haushalte als Flexibilitätspotenzial gehoben werden, wie in den Projekten, die sich ausschließlich auf einzelne Gebäude oder Haushalte konzentrierten.

### DIE ENTSCHEIDENDEN VORTEILE WAREN:

- Eine zentrale Wärmeversorgung: Dadurch waren nur wenige, zentrale Wärmeerzeuger anzubinden. Gleichzeitig bietet das Wärmenetz ein Pufferpotenzial, das durch die PtH-Elemente als indirekter Speicher für das Stromnetz genutzt werden kann. Dieses Potenzial wird gehoben, ohne dass direkt mit den Haushalten interagiert werden muss.
- Vereinheitlichung der Anlagen und IKT-Infrastruktur in den Haushalten: Der Einsatz von Automatisierungstechnik des gleichen Herstellers in allen Haushalten erleichterte nicht nur die initiale Anbindung, sondern auch die anschließende Regelung. Zudem ist es möglich, durch Skaleneffekte die Investitionskosten zu senken.
- Höhere Reichweite: Im Bestandsquartier konnten durch Mieterversammlungen direkt die meisten Haushalte angesprochen und informiert werden. Im Neubauquartier wird die Infrastruktur mit eingebaut und die Haushalte sind dadurch „automatisch“ eingebunden. Aufwendige, individuelle Akquise pro Haushalt entfällt.

### MÖGLICHE WÄRMEQUELLEN FÜR ZENTRALE WÄRMENETZE IM QUARTIER

Eine zentrale Wärmeversorgung ist besser geeignet, um Nachfrageflexibilität zu heben. Dies erfolgte in den SINTEG-Quartiersprojekten durch ein zusammenhängendes Niedertemperatur-Nahwärmenetz. Das Nahwärmenetz kann an einem größeren (Hochtemperatur-)Fernwärmenetz angeschlossen sein, und mittels KWK oder anderen zentralen Wärmequellen gespeist werden. Grundsätzlich kommen alle elektrisch betriebenen, größeren Wärmeerzeuger infrage, nämlich Großwärmepumpen, Heizstäbe oder auch Stromerzeuger wie KWK-Anlagen, um Flexibilitätspotenzial bereitzustellen.

Großwärmepumpen stellen eine effiziente, aber noch teure Technologie dar. Deren wirtschaftlicher Einsatz wird in einem neuen BMWi-Reallabor „Großwärmepumpen in Fernwärmenetzen“ (AGFW-Projekt GmbH, 2021) erarbeitet und wurde in den SINTEG-Schaufenstern noch nicht erprobt. Heizstäbe sind die technisch einfachste Möglichkeit, weisen jedoch eine

geringe Effizienz auf. Sie können direkt über PV-Anlagen betrieben werden, wodurch zum einen der Anteil (lokaler) erneuerbarer Energien im Wärmenetz steigt und gleichzeitig eine flexible Last und Einspeisung an das Netz geliefert werden kann. Zudem weisen sie die geringsten Investitionskosten bei größtmöglicher Modularität auf.

KWK-Anlagen sind im Gegensatz zu den anderen Wärmequellen nicht nur lastseitige Flexibilitäten (Absenken der Einspeisung), sondern können auch zusätzlich einspeisen. Daher sind sie für einen Mehrfachnutzen geeignet, und können z. B. auch an den Regelenergiemärkten anbieten. Grundsätzlich ist ein Einsatz aller genannten Wärmeerzeuger sowohl für das Bestands- als auch das Neubauquartier realisierbar. Heizstäbe sind bereits für kleinere Leistungen eine gute Option, z. B. der Warmwassererzeugung bei weniger Haushalten, während Großwärmepumpen für größere Wärmenetze interessanter sind.

Anstatt Heizungen im Keller jedes Gebäudes werden bei der Versorgung mit Wärmenetzen Wärmeüberträger mit Warmwasserspeichern in den Gebäuden installiert. Diese nehmen die Wärme aus dem Nahwärmenetz auf und gewährleisten einen lokalen Puffer. Ein wichtiger Aspekt für Bestandsquartiere ist, dass die Versorgungsinfrastruktur in Bestandsgebäuden selbst unverändert bleiben kann, mit dem Wärmespeicher in der Rolle der Heizungsanlage.

## STEUERUNG UND POTENZIAL VON LADESTATIONEN FÜR ELEKTROFAHRZEUGE IM QUARTIER

Die Flexibilisierung von **stationären Ladesäulen** im Quartier ist in Zusammenarbeit mit den Herstellern der Ladesäulen erheblich einfacher zu gestalten. Wenn im Netz Engpässe identifiziert werden, die über eine Regelung der Ladeleistung gelöst werden können, wird ein Signal an die Ladesäule zur Lastreduktion weitergegeben.

Die Umsetzung im Demonstrator „Smart E-Mobility“ (DESIGNETZ) setzt zur Ansteuerung der Ladesäulen auf einen Backend-Kanal des Herstellers. Dieser war im Projekt bereits durch den Hersteller in allen Ladesäulen integriert, u. a. um die Freigabe von Ladevorgängen zu ermöglichen. Das Steuerungssignal wird vom Netzbetreiber an das Backend des Säulenherstellers gesendet. Von dort wird es per Open Charge Point Protocol an die entsprechende Ladesäule übergeben.

Im Rahmen des Schaufensters C/sells wurden Lade- und Buchungsdaten im Quartier einer E-Sharing Flotte mit vier Fahrzeugen über 6 Monate ausgewertet. Das Ergebnis war, dass in über 80 % der Fälle, die Ladeleistung von 21 kW auf 1 kW gesenkt werden konnte, ohne dass die Nutzer in ihren Aktivitäten eingeschränkt wurden. Lastspitzen können somit vor allem nachts, wenn auch weniger erneuerbare Energie zur Verfügung steht, durch das aktive Management der Ladeleistung häufig vermieden werden. Positives Flexibilitätpotenzial steht maximal für 15 Minuten zur Verfügung, da mit 21 kW die meisten Ladevorgänge schnell vorüber sind. Negatives Flexibilitätpotenzial könnte vor allem nachts garantiert werden, mit bis zu 0,4 kW über eine Stunde. Die nötige Verfügbarkeit der Fahrzeuge tagsüber sorgt dafür, dass mit maximaler Last ab dem Einstecken geladen wird und somit wenig Potenzial für eine weitere Erhöhung besteht. Nachts können hingegen nicht nur die Lastspitzen deutlich gekappt werden, sondern auch eine Verschiebung der Last um mehr als eine Stunde ist möglich.

## ENERGIEMANAGEMENT SPIELT ZENTRALE ROLLE IM QUARTIER

Das Energiemanagement nimmt in den Quartieren eine zentrale Stellung ein. Im Neubauquartier wird die Wärmeversorgung auf Quartiersebene optimiert. In Kombination mit his-

torischen Lastprofilen und Wetterdaten werden Prognosen und optimale Fahrpläne für die Erzeugungsanlagen erstellt, um eine effiziente, aber sichere Wärmeversorgung zu gewährleisten. Es erfolgt zudem eine Zusammenführung mit den weiteren Flexibilitätsoptionen im Quartier, wie den Ladesäulen für Elektrofahrzeuge und der Einspeisung von PV-Anlagen.

## VERMARKTUNGSOPTIONEN FÜR FLEXIBILITÄTSPOTENZIALE IN QUARTIEREN

Im SINTEG-Schaufenster WindNODE wurden die Flexibilitätspotenziale von Quartieren im zwei- bis dreistelligen Kilowattbereich gesehen (WindNODE, 2020a). Konkreter Bezugspunkt ist ein Wohnquartier mit ca. 230 Wohneinheiten (siehe Detail-Blaupause 3.1 in Abschnitt 2.4.1). Dieses relativ kleine Potenzial (im Projekt „Prenzlauer Berg“ ca. 80 kW) erschwert eine alleinige Vermarktung. Ein Aggregator kann die Vermarktung am Elektrizitäts-Spotmarkt oder an den Regelenenergiemärkten realisieren. Im konkreten Projekt konnte die Präqualifikation zur Regelenenergiebereitstellung – in Zusammenarbeit mit einem VK-Betreiber – erfolgreich durchlaufen werden. Die erwarteten Gewinne waren jedoch so gering, dass es keinen Anreiz für den Gebäudebesitzer darstellte diese Lösung weiter zu verfolgen. Im zweiten Quartiersprojekt „Franklin Quartier“ (C/sells) konnten die verwendeten PtH-Elemente erfolgreich in ein VK eingebunden und betrieben werden, welches Regelenenergie bereitstellt, da ein höheres Potenzial besteht (500 kW). Perspektivisch könnten neue Vermarktungsmöglichkeiten hinzukommen, z. B. durch Flexibilitätsmärkte wie sie in Synthesefeld 2 beschrieben sind.

Für kurzzeitige lokale Engpässe könnte das Flexibilitätspotenzial eines Stadtquartiers bereits einen wichtigen Beitrag leisten und so z. B. überschüssige PV-Einspeisung im Stadtgebiet oder hohe Ladeleistungen von Elektrofahrzeugen abfangen. Neben der externen Bereitstellung von Flexibilität, kann auch die Nutzung im Quartier einen positiven Effekt auf das Netz haben. Ein intelligentes Quartiers-EMS vermeidet Last- oder Einspeisespitzen durch die interne Aktivierung von Flexibilität und entlastet somit das Stromnetz, wie im Projekt „Franklin Quartier“ (C/sells) demonstriert.

## MIETERSTROM ZUR HEBUNG „INTERNER FLEXIBILITÄT“

Mit dem Mieterstromkonzept kann die lokale Belastung für das Stromnetz durch dezentrale Erzeuger reduziert werden. Die Mieterinnen und Mieter werden so angehalten einen Großteil der erzeugten Leistung selbst zu verbrauchen und nicht ins Netz einzuspeisen, denn dieser Strom ist für sie günstiger.

Im Projekt „Quartier Prenzlauer Berg“ (WindNODE) wurde erkannt, dass es Besonderheiten für Wohnungsbaugenossenschaften beim Betrieb eines Blockheizkraftwerks (BHKW) zur Versorgung des Quartiers zu beachten gilt. Eine Genossenschaft kann kein BHKW betreiben, ohne den genossenschaftlichen Status zu verlieren. Contracting-Lösungen stellen eine Alternative dar. Aktuell können jedoch Contracting-Kosten nicht als Betriebskosten umgelegt werden, wenn sie die bisherigen Wärmebereitstellungskosten überschreiten. Zudem sollte beim Betrieb eines BHKWs in ein Arealstromnetz für die versorgten Gebäude investiert werden, da nur so die steuerliche Reduzierung mit dem Status Eigenstromversorgung erreicht werden kann.

Es ist jedoch zu beachten, dass bei der Bereitstellung von Mieterstrom durch das BHKW die Mieter nicht verpflichtet sind, dieses Angebot anzunehmen. Das führt dazu, dass eine getrennte Abrechnung möglich sein muss. Der Einbau von mME rechnete sich im Projekt nicht und es wurden optische Auslesegeräte eingesetzt. Diese erwiesen sich als technisch und

wirtschaftlich gut realisierbare Option. Den Kunden können so aber noch keine zeitvariablen Tarife oder sonstige flexiblere Lösungen angeboten werden.

## AUSSERHALB VON SINTEG ERREICHTER ERKENNTNISSTAND

Projekte in Deutschland zu den Themen Sektorkopplung, Digitalisierung sowie Effizienz- und Autonomiesteigerung im Quartier sind z. B. ein Quartiersprojekt bei Karlsruhe-Durlach (Fraunhofer ISE, 2021b), ENaQ oder EnStadt: Pfaff. Die Überschneidungen mit den SINTEG-Projekten betreffen die Themen Sektorkopplung und Steigerung der Autonomie. Darüber hinaus legten die Schaufenster ihren Fokus auf die direkte Zusammenarbeit mit den Verteil- und Übertragungsnetzbetreibern als Nutzern potenzieller Flexibilität. Eine Stärke der Schaufensterprojekte liegt darin, dass die durch Sektorkopplung und Digitalisierung gehobenen Flexibilitätspotenziale, an eine Kommunikationsstrecke bis in die Leitwarten der Netzbetreiber angeschlossen oder deren Anbindung an Flexibilitätsplattformen umgesetzt wurden. Dadurch konnten erste konkrete Schritte zur Untersuchung auf ihre Netzdienlichkeit hin erfolgen. Zudem wurde neben den Quartiersprojekten ein verstärkter Fokus auf die Einbindung dezentraler Wärmeerzeuger in einem (über-)regionalen Netz- oder Marktgebiet gelegt, die nicht direkt durch einen Quartiersentwickler oder Immobilienbesitzer „verbunden“ sind. Hierzu gibt es aber auch bereits erste Projekte der Netzbetreiber außerhalb von SINTEG.

Im Wohnquartier am „Heidrehmen“ in Hamburg-Sülldorf wird seit 2017 ein Bestandsquartier aus den 60er Jahren mit einer modernen zentralen Wärmeversorgung mittels BHKW und PtH-Elementen ausgestattet (UmweltPartnerschaft Hamburg [UPHH], 2017). Ein Wärmespeicher erlaubt als Puffer dem BHKW bei hoher EE-Einspeisung zunächst herunterzufahren, um die Stromeinspeisung zu senken. Zudem können die PtH-Elemente den zusätzlichen EE-Strom aus dem Netz oder den lokalen PV-Anlagen in die Wärmeversorgung einbinden. Ein weiteres Projekt mit flexibler, zentraler KWK-Anlage im Quartier wird in Oberhausen im Rahmen des Forschungsprojekts „QUENTIN“ realisiert (Fraunhofer UMSICHT, 2021). In SINTEG wurde dies im Projekt „Quartier Prenzlauer Berg“ (WindNODE) untersucht.

Das bereits 2018 aufgesetzte Forschungsprojekt MEMAP<sup>14</sup> untersucht die Sektorkopplungspotenziale einzelner Liegenschaften – besonders durch deren gemeinsame Integration im Verbund oder Quartier. Es wird eine Aggregationsplattform entwickelt, welche die ebenfalls im Projekt entwickelten EMS auf Gebäudeebene koordiniert und optimiert. Die Projektpartner haben einen starken Fokus auf Gebäudemanagement und -automatisierungstechnik. Die Lösung ist dadurch vergleichbar mit dem Projekt „Quartier Prenzlauer Berg“ (WindNODE). Beide Projekte konnten einen deutlichen Mehrwert und Effizienzsteigerung durch den Einsatz der IKT erreichen.

Das 2020 gestartete Projekt „SmartQuart: Energiewende im Quartiersmaßstab“ (innogy SE, 2021), welches ein vom BMWi gefördertes „Reallabor der Energiewende“ ist, untersucht in drei Quartieren, u. a. ein Neubauquartier, ein Wasserstoffquartier und ein urbanes Bestandsquartier, die Optimierung der Energieflüsse auf Quartierebene, das Potenzial zur Sektorkopplung und die Integration von SG-Technologien. Je nach Art des Quartiers werden hier Aspekte erprobt die SINTEG-Projekte wie „Energiewabe Rhein-Hunsrück“ (DESIGNETZ) oder „Franklin Quartier“ (C/sells) ebenfalls untersucht haben, wobei die SG-Technologie – allem voran die Smart Meter Infrastruktur – weiter ausgebaut sein wird. Zusätzlich werden hier neue Elemente, wie eine lokale Wasserstoffinfrastruktur mitbetrachtet.

<sup>14</sup> <https://memap-projekt.de/ueber-memap/>

Das Projekt „ENaQ - Energetisches Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg“ ist ein Neubauquartier das die Sektoren Strom, Wärme/Kälte und Elektromobilität koppelt und in ein sektorenübergreifendes Versorgungsnetz integriert (Stadt Oldenburg, 2021). Hier liegt zudem ein verstärkter Fokus auf einer Energie-Gemeinschaft – sich der Förderung des direkten Energieflusses zwischen Erzeugern und Verbrauchern im Quartier selbst. Dieser Aspekt wird im Rahmen der SINTEG-Projekte auch im Bericht des Synthesefeld 2 behandelt (siehe Synthesebericht des Synthesefeld 2: Kategorie 2 - Peer-to-Peer-Märkte).

Ein weiteres Neubauquartier, welches Sektorkopplung und einen hohen Nutzungsgrad lokaler EE zum Ziel hat, wird im Verbundprojekt EnStadt: Pfaff in Kaiserslautern gebaut (Fraunhofer UMSICHT, 2021). Auch hier soll der Verbrauch an die EE-Einspeisung angepasst werden, jedoch ist keine direkte Zusammenarbeit mit den Netzbetreibern als aktive Nutzer der Flexibilität angedacht.

Die Möglichkeiten der Flexibilitätsbereitstellung eines Nahwärmenetzes als Regelenergie werden zudem im Verbundprojekt: „EnEff: Wärme - NATAR: Netze mit abgesenkter Temperatur als Anbieter von Regelleistung“ (TH Ingolstadt - ZAF & Forschungszentrum Jülich GmbH, 2020) untersucht. Obwohl hier der direkte Nutzen für Netzbetreiber im Fokus steht, werden im Gegensatz zu den SINTEG-Projekten überwiegend konzeptionelle und modellierte Projektergebnisse generiert.

## WEITERE ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN

Den Quartiersprojekten in SINTEG ist es gelungen, Flexibilitätspotenziale zahlreicher Gebäude zu heben. Die nächsten möglichen Schritte beinhalten eine Umstellung auf effizientere elektrische Wärmeerzeuger wie Großwärmepumpen. Zudem sollten weitere Flexibilitätspotenziale eingebunden werden. Dies beinhaltet zum einen zusätzliche Anlagen in den Haushalten wie Batteriespeicher, aber auch neue potenzielle Technologien im Quartier wie PtX-Anlagen. Auch neuartige Wärmenetze müssen weiter auf ihre Eignung zur Bereitstellung von Flexibilitätspotenzial untersucht werden.

Im Folgenden sind Projektbeispiele genannt, die bereits geplant oder gestartet sind und die die genannten Entwicklungsmöglichkeiten aufgreifen.

In einem 2021 g estarteten, vom BMWi geförderten „Reallabor der Energiewende“ werden Großwärmepumpen als effiziente Wärmeerzeuger für Wärmenetze untersucht (BMW, 2021b), da sie zur Dekarbonisierung und Flexibilisierung eingesetzt werden können. Diese Technologien waren für die Wärmenetze im SINTEG-Projekt „Franklin Quartier“ (C/sells) schon angedacht, aber ohne direkte Förderung noch zu teuer. Sollten diese Projekte erfolgreich umgesetzt werden, stehen mit den Großwärmepumpen große Abnehmer für lokal erzeugten PV-Strom oder – mit deren netzdienlicher Regelung – ein erhebliches positives und negatives Lastverschiebungspotenzial zur Verfügung.


Zudem werden vermehrt Wärmenetze mit niedrigeren Temperaturen (10 – 60 °C), vor allem für Neubauquartiere, installiert, wie in einem Reallabor der Energiewende in Gelsenkirchen (E.ON Energy Solutions, 2021). Diese dienen in erster Linie zur Effizienzsteigerung von Wärmenetzen und ermöglichen eine Wärmespeisung durch mehrere Technologien, z. B. Solarthermie oder Abwasser. Das dabei resultierende Potenzial für Flexibilität an das Stromnetz, ob indirekt durch die Wärmespeicherkapazität des Netzes oder Erneuerbare und KWK-Einspeisung, muss noch untersucht werden.



Ein weiterer Aspekt, der erst während der Laufzeit der SINTEG-Schaufenster verstärkt in den öffentlichen Diskurs zur Dekarbonisierung kam, ist die Einbindung von Wasserstoff-Is PtX-Technologie. Neben der Wasserstoffherzeugung im großen Stil, wird auch eine mögliche Rolle im Wohnquartier untersucht, so z. B. in einem Neubauprojekt in Esslingen (Steinbeis-Innovationszentrum EGS, 2021) wo in einer unterirdischen Energiezentrale ein Elektrolyseur installiert wird, der den Solarstrom von den Dächern nutzt, um grünen Wasserstoff herzustellen. Die Abwärmenutzung des Elektrolyseurs zur Heizung des Quartiers soll dabei dessen Effizienz von ca. 60 % auf 90 % steigern. Zudem kann eine dezentrale Erzeugung die dezentrale Nutzung des Wasserstoffs fördern, da keine Übertragungsinfrastruktur notwendig ist. In den SINTEG-Schaufenstern wurden diese Themen in Gebäuden noch nicht betrachtet und wären eine weitere Entwicklungsmöglichkeit.

Eine Möglichkeit, Mieterstrommodelle für Wohnungsunternehmen attraktiver zu machen kann durch eine Anpassung der steuerlichen Regelung erreicht werden. So ist die Wohnungsvermietung weitgehend von der Gewerbesteuer befreit. Bieten die Unternehmen ihren Mietern Strom an, droht ihnen der Verlust dieser Vergünstigung, Somit bietet diese Möglichkeit für Vermieter kein attraktives Geschäftsmodell (Prognos & Boos, Hummel & Wegerich [BH&W], 2017).

## 2.4.1 DETAIL-BLAUPAUSE 3.1: BESTANDSQUARTIER: FLEXIBILISIERUNG DER WÄRMEVERSORGUNG

Detail-Blaupause									
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Automatisierungstechnikhersteller</li> <li>■ Stadtwerke und Kommunen</li> <li>■ Wohnungsunternehmen und Gebäudebesitzer</li> <li>■ VNB und VK-Betreiber</li> </ul>								
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	<p>Das in Bestandsquartieren vorhandene Flexibilitätpotenzial zu heben, wird durch den Mangel an digitaler Infrastruktur erheblich erschwert. Zudem muss das Potenzial in der Wärmeversorgung zunächst durch Sektorkopplung adressierbar gemacht werden.</p> <p>Eine, in den vorangegangenen Blaupausen bereits diskutierte Hürde ist, dass der Aufwand zur Anbindung jeder einzelnen Anlage den Nutzen bei weitem übersteigt.</p>								
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Die Digitalisierung der Bestandsquartiere erfolgt mit einer Sensorik und Aktorik, die unabhängig von der Art der Wärmeversorgung installiert und auf weitere Stromverbraucher im Gebäude ausgeweitet werden kann. Die Wärmeversorgung wird auf Basis von Sektorkopplungstechnologien zentralisiert und Flexibilitäten werden für Markt und/oder Netzbetreiber bereitgestellt.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Intensive Aufklärung und Infoveranstaltungen bei der Akquise</li> <li>■ Umsetzung in mehreren lokal zusammenliegenden Gebäudeblocks eines Besitzers (Wohnungsgenossenschaft)</li> <li>■ Verwendung von „State-of-the-Art“ Technologie</li> </ul>								
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td><b>Haushalte</b></td> <td>GHD</td> <td>Industrie</td> <td>Energie</td> </tr> <tr> <td><b>Flexibilisierung</b></td> <td><b>Sektorkopplung</b></td> <td>Erzeugung</td> <td></td> </tr> </table>	<b>Haushalte</b>	GHD	Industrie	Energie	<b>Flexibilisierung</b>	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung	
<b>Haushalte</b>	GHD	Industrie	Energie						
<b>Flexibilisierung</b>	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung							
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> <p>TRL: Technologie ausgereift und kommerziell verfügbar.</p>								
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	 <p>■ Quartier Prenzlauer Berg</p>								
<b>Innovationsgehalt</b>	<p>Die Integration eines Automatisierungsgrades, wie im beschriebenen SINTEG-Projekt umgesetzt, in Kombination mit einer Zentralisierung der Wärmeversorgung und dem Anschluss an den lokalen VNB ist für ein Bestandsquartier ein innovatives Konzept.</p>								
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ein Eigentümer, bzw. ein Unternehmen oder eine Genossenschaft, welche die Gebäude besitzt und vermietet</li> <li>■ Baulich zusammenhängende Gebäude</li> <li>■ Akzeptanz der Bewohner</li> <li>■ Gemeinsame, zusammenhängende Wärmeversorgung</li> </ul>								

In dieser Detail-Blaupause sind die Komponenten beschrieben, die in einem Bestandsquartier installiert werden können, um das Flexibilitätpotenzial der Wärmeversorgung aller Haushalte zu heben. In dem SINTEG-Projekt „Quartier Prenzlauer Berg“ (WindNODE) wurde die zentrale Wärmeversorgung eines Bestandsquartiers, ein BHKW, als Flexibilitätpotenzial zur Regelenergiebereitstellung aktiviert. Bei dem Quartier handelt es sich um mehrere Wohnblocks mit insgesamt ca. 230 Wohneinheiten; siehe auch (Beucker, 2017), (WindNODE, 2020c) und (WindNODE, 2020a).

## STATE-OF-THE-ART TECHNOLOGIE NUTZEN, UM DEN BESTAND ZU DIGITALISIEREN UND DAS FLEXIBILITÄTSPOTENZIAL ZU AKTIVIEREN

Die auf Wohnungsebene installierte Automatisierungstechnik, bestehend aus Sensorik, Aktorik und Intelligenz, stellt ein wichtiges Element der beschriebenen Lösung dar. Die Bewohner sind in der Lage, für jeden Raum eine Temperatur abhängig von der Zeit festzulegen, die vom EMS automatisch eingestellt und gehalten wird. Alle verbauten Komponenten sind „bekannte Technik“ und kommen ohne komplexe Neuentwicklungen aus. Die Geräte auf Wohnungsebene sind mittels EnOcean-Technologie kabellos verbunden, während die Zählerstände über M-Bus übertragen werden. Es wurden auch keine einzelnen Wärmeerzeuger, sondern die Wohnungen „direkt digitalisiert“. So ist z. B. an den Heizkörpern in jedem Raum eine Aktorik installiert, welche die Wärmezufuhr entsprechend regelt.

Die anonyme Aggregation der Betriebswerte und Prognosen aller Wohnungen wird an den Quartiersmanager (Quartiers-EMS) weitergegeben, welcher den optimalen Betrieb des Wärmeerzeugers berechnen kann und das Potenzial zur Flexibilitätsbereitstellung prognostiziert.

Die zentrale Wärmeversorgung stellt das zweite Kernelement der Lösung dar. Die Flexibilisierung eines zentralen Wärmeerzeugers ist bedeutend einfacher zu realisieren als bei vielen Kleinst-Anlagen auf Gebäude- oder Wohnungsebene. Da Leistungssignale nicht in die Wohnungen, sondern nur an eine zentrale Stelle übertragen werden müssen, ist für die Wärmeversorgung nur ein SMGW für alle Wohneinheiten nötig. Zu beachten ist, dass hierdurch nur die Wärmeversorgung abgedeckt wird, während weitere elektrische Verbraucher nicht ohne Weiteres hinzugefügt werden können. Ein Quartiersenergiemanager regelt die sichere Wärmeversorgung und gleichzeitig die Bereitstellung von Flexibilität für das Stromnetz.

## MEHRWERTE SCHAFFEN, UM DIE AKZEPTANZ UND WIRTSCHAFTLICHKEIT ZU STEIGERN

Eine wesentliche Erkenntnis anderer Schaufensterdemonstratoren zur erfolgreichen Hebung von Flexibilitäten bestätigte sich auch im Projekt „Quartier Prenzlauer Berg“ (WindNODE): Die (IKT-)Infrastruktur zur Hebung der Flexibilität sollte zusätzliche Mehrwerte für die Bewohnerinnen und Bewohner liefern. Im Idealfall hat die Infrastruktur bereits ohne den Nutzen als Flexibilität ein erfolgreiches Geschäftsmodell und trägt zur Komfortsteigerung in den Haushalten bei. In diesem Projekt trug die Digitalisierung der Wohnungen dazu bei, dass die Bewohnerinnen und Bewohner ihre Wohntemperatur optimal anpassen können – auch von außerhalb des Gebäudes, beispielsweise auf dem Nachhauseweg. Zudem sorgen Digitalisierung und Zentralisierung in Kombination dafür, dass die Energieversorgung effizienter und somit günstiger wird (näheres zur Basis dieser Blaupause in (Beucker, 2017)).
















Diese Vorgehensweise zur Aktivierung von Flexibilität ist im Gebäudesektor anzustreben: Die Digitalisierung des Bestandes erfolgt ohne komplexe, dafür aber mit effektiver IKT-Infrastruktur und resultiert in Mehrwerten wie Effizienz- und Komfortsteigerung.

## ÜBER 80 KW AKTIVIERTES FLEXIBILITÄTSPOTENZIAL

Im Bestandsquartier wird Flexibilität der elektrischen Last durch das BHKW (34 kW) und die PtH-Elemente (Heizstäbe) zur Warmwasserbereitung (ca. 50 kW, möglich 200 kW) geboten. Thermische Simulationen und Testfahrten haben zudem gezeigt, dass das BHKW 16 % des Wärmeverbrauchs im Quartier (ca. 72 MWh/a) – durch die thermische Speicherfähigkeit des

Quartiers – verschieben könnte. Die Vermarktungsmöglichkeiten dieses Potenzials sind in der übergeordneten Blaupause beschrieben.

## 2.4.2 DETAIL-BLAUPAUSE 3.2: NEUBAUQUARTIER: NAHWÄRMENETZ ALS FLEXIBILITÄTSPOTENZIAL

Detail-Blaupause											
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Quartiersentwickler</li> <li>■ (Nah)Wärmenetzbetreiber</li> <li>■ VNB und Stadtwerke</li> </ul>										
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	<p>In Deutschland werden rund 10 Prozent des gesamten Raumwärmebedarfs über Wärmenetze gedeckt. Damit stellen sie ein relevantes lastseitiges Flexibilitätpotenzial da, welches in Zukunft teigen wird, aber noch nicht für netzdienliche Zwecke genutzt wird.</p>										
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Im Wärmenetz werden PtH-Module eingesetzt, deren Flexibilität im Stromsystem genutzt werden kann. Damit kann z. B. Abregelung der lokal erzeugten erneuerbaren Energie vermieden werden. Eine Erweiterung der Speicherkapazitäten wird durch die intelligente Steuerung der Haushaltswärmespeicher erreicht. Die Steuerung übernimmt ein Quartiersenergiemanagementsystem.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ IKT-Infrastruktur des Herstellers der Wärmespeicher in den Haushalten konnte genutzt werden</li> <li>■ PtH-Elemente im Wärmenetz waren bereits installiert und in das Quartier-EMS eingebunden</li> <li>■ Eigene, kabelgebundene Kommunikationsinfrastruktur im Quartier, inkl. lokaler Server</li> <li>■ Quartiers-EMS</li> </ul>										
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td><b>Haushalte</b></td> <td>GHD</td> <td>Industrie</td> <td>Energie</td> </tr> <tr> <td><b>Flexibilisierung</b></td> <td><b>Sektorkopplung</b></td> <td colspan="2">Erzeugung</td> </tr> </table>	<b>Haushalte</b>	GHD	Industrie	Energie	<b>Flexibilisierung</b>	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung			
<b>Haushalte</b>	GHD	Industrie	Energie								
<b>Flexibilisierung</b>	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung									
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 7 8 <b>9</b></p> <p>TRL: Technologie kommerziell verfügbar.</p>										
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	<table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>■ Franklin Quartier</td> <td>■ Energiestudio – Markt/Kunde</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						■ Franklin Quartier	■ Energiestudio – Markt/Kunde			
											
■ Franklin Quartier	■ Energiestudio – Markt/Kunde										
<b>Innovationsgehalt</b>	<p>Der Fokus in Quartierskonzepten lag meist auf der Optimierung lokaler Flexibilitäten, wie der Erhöhung der Eigenversorgung der Haushalte durch lokal erzeugten Strom. Im SINTEG-Quartiersprojekt konnte durch die erfolgreiche Zusammenarbeit mit den Netzbetreibern erstmals auf Steuerungssignale zur Bereitstellung von Flexibilität mit dem Zweck der Stabilisierung des Stromnetzes außerhalb des Quartiers reagiert werden.</p>										
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Neubauquartier liegt in der Hand eines Akteurs oder Interessenverbands mit dem Bewusstsein für die zukünftigen Herausforderungen durch die Energiewende</li> </ul>										

Ein Fokus dieser Detail-Blaupause liegt auf der Nutzung des Nahwärmenetzes als Flexibilitätpotenzial im Quartier. Im Unterschied zur Detail-Blaupause 3.1 „Detail-Blaupause 3.1: Bestandsquartier: Flexibilisierung der Wärmeversorgung“ im Abschnitt 2.4.1 wird hier die Bereitstellung von Flexibilität nicht über ein zentrales BHKW realisiert, sondern PV-Anlagen in Kombination mit Heizstäben verwendet. Zudem ist eine einfacheres IKT Konzept umgesetzt, d. h. weniger IKT-Infrastruktur in den Wohnungen nötig gewesen, da vieles auf Quartiersebene erfolgen konnte.

## ARCHITEKTUR DER FLEXIBILITÄTSPOTENZIALE IM QUARTIER

Im Neubauquartier des SINTEG-Projektes „Franklin Quartier“ (C/sells) wird das Nahwärmenetz als Pufferspeicher und somit als Flexibilität für das Stromnetz genutzt. Als Element zur Sektorkopplung werden elektrische Heizstäbe mit ca. 500 kW Leistung eingesetzt. Diese können überschüssigen Strom aus dem Netz in Wärme umwandeln und in das Wärmenetz einspeisen. Zudem sind im Quartier PV-Anlagen installiert, die zum Betrieb dieser Heizstäbe verwendet werden können oder in das Stromnetz einspeisen. Zu diesem Zweck besteht eine direkte physische Verbindung zwischen den Heizstäben und der PV-Anlage und beide haben eine ähnliche Leistungsaufnahme/-abgabe. Dies erhöht den Anteil erneuerbarer Energien in der Wärmeversorgung des Quartiers oder, wenn zu viel Erneuerbare bereits Strom in das Netz einspeisen, können die PV-Anlagen im Quartier ihre Energie über die Heizstäbe (weiter) in das Wärmenetz speisen. Als weitere Wärmequelle speist das anliegende Fernwärmenetz Energie über eine Beimischstation ein.

Das Wärmenetz dient somit als Pufferspeicher für die erneuerbar erzeugte Energie und kann diese direkt oder zu einem späteren Zeitpunkt nutzen. Das energetische Potenzial des Wärmenetzes kann durch den möglichen maximalen Temperaturhub von 15 Kelvin bestimmt werden. Es müssen mindestens 85 °C zur Warmwasserbereitung gehalten werden und es sollte maximal auf 100 °C erhitzt werden, da es somit auf jeden Fall unterhalb der vom TÜV definierten Temperaturgrenze für die Sorgfaltspflicht gehalten wird. Die maximale Leistung ist durch die Leistungsaufnahme der Heizstäbe (500 kW) definiert.

In den Gebäuden des Quartiers stehen Übergabestationen, welche die Energie aus dem Wärmenetz aufnehmen und damit einen lokalen Speicher erhitzen. Dieser dient zur Wärme- und Warmwasserversorgung der Haushalte. Die Übergabestationen funktionieren durch einfache Regler, die den Durchfluss aus dem Wärmenetz steuern und damit die Wärmemenge, die an den Haushalt übergeben wird. Somit ist es möglich, die lokalen Speicher in den Gebäuden zusätzlich als Puffer zu nutzen und damit das Potenzial des Wärmenetzes weiter zu steigern. Sollte das Wärmenetz an seine Temperaturobergrenze kommen, könnten die Haushaltsspeicher weitere Wärme aufnehmen.

## IKT-INFRASTRUKTUR BRINGT MEHRWERTE FÜR DAS WÄRMENETZ

Die vorangegangenen (Detail-)Blaupausen betonen bereits, dass weitere Mehrwerte für die Akteure generiert werden sollten, um die Bereitschaft in die IKT-Infrastruktur zu investieren zu erhöhen. Im beschriebenen Neubauquartier wird die Regelung der Übergabestationen zur Aufrechterhaltung des Wärmeflusses im Netz genutzt, was einen deutlichen Mehrwert für den Betreiber des Wärmenetzes mit sich bringt.

Der Wärmefluss im Netz wird durch die Abnahme an den Gebäuden und das dadurch entstehenden Wärmegefälle aufrechterhalten. Vor allem im Sommer oder in der Phase der Inbetriebnahme, sprich bei geringer Wärmeabnahme, kann es dazu kommen, dass die Wärmeversorgung nur stark verzögert bei nachgelagerten Speichern ankommt. Um die Trinkwassererwärmung dennoch zu gewährleisten, wird durch eine gezielt gesteuerte Wärmeaufnahme einzelner Speicher des Schwarms der Wärmefluss stets aufrechterhalten. So konnten positive Synergien zwischen dem Mehrwert für die Quartiersentwickler (Wärmesektor) und der Steigerung des Flexibilitätspotenzials (Stromsektor) genutzt werden.

## NEUBAUQUARTIER ERLAUBT EINHEITLICHE UND FLÄCHENDECKENDE INSTALLATION DER IKT-INFRASTRUKTUR

Ein entscheidender Vorteil des Neubauquartiers ist, dass die IKT-Infrastruktur bereits bei der Installation des Wärmenetzes und der Wärmeüberträger mitgeplant werden kann. Der Einbau eines einheitlichen Speichersystems erlaubt die Entwicklung einer skalierbaren und damit kosteneffizienteren Lösung für alle Gebäude im Quartier. Benötigt wird eine Mess- und Regelvorrichtung am Wärmespeicher, die von außen über ein Gateway gesteuert wird. Es ist möglich hier ein Gateway des Wärmespeicherherstellers einzusetzen, da die Steuermöglichkeiten nicht die Strom- sondern direkt die Wärmeversorgung des Haushalts betreffen. Übergebene Messdaten sind vor allem die Speichertemperatur, welche es dem Betreiber erlaubt, den Zustand des Wärmenetzes an den jeweiligen Punkten zu ermitteln. Es werden darüber keine Stromverbräuche aus den Haushalten übermittelt, was ein SMGW erfordern würde.

Es handelt sich um eine einfache Regelung, die im Falle von Wärmebedarf den Zustrom aus dem Wärmenetz öffnet. Die Sensoren an den Wärmespeichern stellen sicher, dass die Gebäude ihren Wärmebedarf stets decken können, d. h. die minimale Speichertemperatur von 75 °C stets eingehalten wird. Eine IoT-Infrastruktur des Herstellers ermöglicht den Bewohnern die Kontrolle über und den Einblick in ihr Heizverhalten. Die Kommunikation mit dem Wärmenetzbetreiber erfolgt über das Kommunikationsprotokoll „Modbus“. Dafür sind alle Haushalte über eine Glasfaserleitung mit einem zentralen Server im Quartier verbunden. Dies gewährleistet eine stabile Kommunikation.

## KÜNSTLICHE INTELLIGENZ BRINGT WENIG MEHRWERT BEI DER PROGNOSE DER WÄRMELAST

Der Einsatz von komplexen Algorithmen, inkl. künstlicher Intelligenz, zur Prognose und Optimierung der Wärmeversorgung wurde getestet. Es wurde jedoch festgestellt, dass die Wärmelastprofile sehr konstant sind und auch ohne deren Einsatz ausreichend genau abgeschätzt werden können. Die Prognosen über Wetterdaten und historische Lastprofile erlauben es in ausreichender Genauigkeit, mögliche Flexibilitätpotenziale der Wärmequellen vorzeitig zu bestimmen und externen Nutzern anzubieten. Zusätzlich sind an zentralen Knotenpunkten im Wärmenetz Sensoren installiert, die weitere Auskünfte über den Netzzustand (Temperatur) geben.

## ENERGIEMANAGEMENT ZUR LOKALEN OPTIMIERUNG UND VERMARKTUNG VON FLEXIBILITÄT

Die Nutzung einer „Smart Infrastructure Plattform“ – einer IoT Plattform mit EMS für das Quartier – ermöglicht den optimalen Einsatz der PtH-Elemente, PV-Einspeisung, Beimischung, lokaler Wärmespeicher und die Bereitstellung von Regelenergie. Die Plattform sorgt dafür, dass die Strom- und Wärme Flüsse im Quartier effizient und kostengünstig ablaufen. Ein Ziel ist es, so viel wie möglich der lokal erzeugten Energie vor Ort zu nutzen. Darüber hinaus werden die überschüssige Energie und Potenziale zur Aufnahme ermittelt und können an verschiedene Markt- und Netzakteure vermarktet werden. In der jetzigen Ausgestaltung werden die PtH-Elemente am Regelenergiemarkt angeboten. Bei der Entwicklung des EMS ist zu beachten, dass nicht zwangsläufig alle Akteure im Quartier von Anfang an teilnehmen, womöglich aber später aufgenommen werden können. Aus diesem Grund muss der Algorithmus flexibel sein und zusätzliche oder neue Anlagen integrieren können.

# 3

---

**Kategorie 2:  
Lastverschiebung und  
Sektorkopplung in  
Gewerbe und Industrie**

# LASTVERSCHIEBUNG UND SEKTOR- KOPPLUNG IN GEWERBE UND INDUSTRIE

## 3.1 Kategoriebeschreibung

### PROBLEMSTELLUNG

Industrielle Nachfrageflexibilität kann aufgrund des bedeutenden Maßstabs der elektrischen Last im Industriesektor und dem hohen Potenzial zur Dynamisierung zu einem wichtigen Baustein für die Integration von erneuerbaren Energien werden. Entscheidend für die Hebung dieses Potenzials ist die Fähigkeit von Gewerbe- und Industriebetrieben, ihre Last an die Stromerzeugung und Systemanforderungen anzupassen, das heißt Demand Response (DR) zu betreiben. Das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) schätzt, dass 60 % aller industriellen Anwendungen zur Lastverschiebung geeignet sind (WindNODE, 2018). Die Untersuchung zeigt weiterhin, welchen Beitrag die industriellen Prozesse damit zur Netzentlastung leisten könnten. Denn wenn nur 1 % des für mechanische Nutzenergie aufgewendeten Stroms in der Industrie, durch die vom Fraunhofer IFF untersuchten Technologien, flexibel und koordiniert einsetzbar gemacht wird, können bis zu 10 % der abgeregelten Redispatchmengen eingespart werden (ca. 10 TWh in 2018). Sektorkopplung, insbesondere die Elektrifizierung thermischer Prozesse, kann das Flexibilitätspotenzial in Industrie und Gewerbe weiter erhöhen.

Während in Industrie- und Gewerbebetrieben Energieeffizienzmaßnahmen nicht zuletzt aus wirtschaftlichen Gründen bereits umgesetzt werden (BMWi, 2018), wird DR bisher nur teilweise von energieintensiven Unternehmen eingesetzt. Die Erschließung und Vermarktung von Flexibilität werden aktuell durch verschiedene Herausforderungen gehemmt (Deutsche Energie-Agentur [dena], 2016c). Dazu gehören<sup>15</sup>:

- Herausforderungen der **Informations- und Datenlage**: Betriebe müssen bezüglich des Einsatzes von Flexibilität informiert, sensibilisiert und über die Erhebung prozessspezifischer Daten befähigt werden.
- **Energiewirtschaftliche Herausforderungen**: Der regulatorische Rahmen kann die derzeitigen Vermarktungsmöglichkeiten für industrielle Nachfrageflexibilität einschränken. Dazu gehören Marktzugangshemmnisse oder fehlende Instrumente und Anreize zur Hebung von Flexibilitätspotenzialen.
- **Betriebswirtschaftliche Herausforderungen** betreffen insbesondere die Kosten zur Erschließung und Vermarktung von Flexibilitätsoptionen in Gegenüberstellung zu den zu erwartenden Erlösen.
- **Technische Herausforderungen** entstehen im Rahmen der Flexibilisierung von industriellen Prozessen und der Abstimmung von Flexibilitätsmaßnahmen auf die Anforderungen aus dem Energiemarkt.

<sup>15</sup> Basierend hauptsächlich auf: dena (2016c); ergänzt mit: Fraunhofer IFF (2020); Sauer, Abele und Buhl (2019)



Grundsätzlich gibt es eine Vielzahl von Technologien und Maßnahmen mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen, die genutzt und implementiert werden können, um Flexibilitätspotenziale in Industrie- und Gewerbebetrieben zu heben. Die Heterogenität der deutschen Industrielandschaft – ann dabei Vorteile für die Erfüllung von Flexibilitätsanforderungen des Energiesystems bieten, bedeutet allerdings auch, dass die Identifizierung, Modellierung und Nutzbarmachung von standortspezifischer Flexibilität in höchstem Maß individuell sein kann (Fraunhofer IFF, 2020; WindNODE, 2020b).

Zusätzlich muss beachtet werden, dass die Forderung nach einer größeren Flexibilitätsbereitstellung durch die Industrie im Licht des zunehmenden Anteils volatiler erneuerbarer Energien auch von Bedenken zu möglichen Zielkonflikten begleitet wird. Einerseits müssen die Wechselwirkungen zwischen Flexibilität und Effizienz beachtet werden, denn die Flexibilisierung von Prozessen könnte zu einer Reduzierung der Energieeffizienz führen, da die Anlagen nicht mehr im Optimum betrieben werden (Ecofys, 2016). Ein weiterer möglicher Zielkonflikt zwischen der Bereitstellung von Flexibilität und der netzstabilisierenden Wirkung der bisher gleichmäßigen Stromabnahme der Grundstoffindustrie muss im Zuge der Umsetzung der Energiewende ebenfalls berücksichtigt werden.

## AUSSERHALB VON SINTEG ERREICHTER KENNTNIS- UND ENTWICKLUNGSSTAND

Eine Reihe von Pilot- und Forschungsprojekten sowie Studien haben sich in den letzten Jahren mit der Fragestellung beschäftigt, wie die Flexibilität des Industriesektors für das Stromsystem erschlossen werden kann. Einen Überblick über die in dem Themenbereich durchgeführten Studien liefert die im Rahmen von WindNODE erstellte Studie des Fraunhofer IFF (Fraunhofer IFF, 2020).

In dem Kopernikus-Projekt SynErgie (Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung), dessen erste Projektphase (2016 – 2019) fast parallel zu SINTEG verlief, wurden in einer Metastudie 130 nationale und internationale Forschungs- und Pilotprojekte zusammengetragen, die sich dem Themenbereich Energienachfrageflexibilität und DR insbesondere mit Bezug zum Industriesektor widmen (Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, Kernkompetenzzentrum FIM & Fraunhofer FIT, 2019). Die Projekte wurden ebenfalls bewertet und kategorisiert. Als Ergebnis wurden 24 Projekte als besonders relevant eingestuft – aufgrund ihrer Ausrichtung auf die Weiterentwicklung des Markt- und Strommarktsystems bezüglich der Einbindung industrieller Nachfrageflexibilität. Unter diesen Projekten werden auch die in diesem Bereich relevanten SINTEG-Projekte aufgeführt.

Unter diesen 24 Projekten sind erste Forschungs- und Pilotprojekte, die sich umfassend mit den Flexibilitätspotenzialen im Industriesektor beschäftigt haben: „Kurz- bis mittelfristig realisierbare Markt Potenziale für die Anwendung von Demand Response im gewerblichen Sektor“ (Focken, Bümmerstedt & Klobasa, 2011), das DRIP-Projekt (European Commission CINEA, 2021) und die Pilotprojekte „Demand Side Management (DSM) in Bayern bzw. Baden-Württemberg“ (dena, 2016a, dena, 2016c). Die dena veröffentlichte die Roadmap „Demand Side Management“ (dena, 2016c) auf Basis der in dem Projekt „DSM in Bayern“ gewonnenen Erfahrungen. Darin werden Herausforderungen, Handlungsempfehlungen und Forschungsfragen für die Erschließung und Vermarktung von Flexibilität in der Industrie aufgezeigt. Einige der in der Roadmap aufgeworfenen Forschungsfragen und Herausforderungen wurden in weiteren Forschungsprojekten und auch in SINTEG-Schaufenstern aufgegriffen.

Die übergeordneten Forschungsfragen betreffen insbesondere die Rolle von DR auf Verteilnetzebene zur Hebung regionaler Engpässe, sowie das konkrete Flexibilitätspotenzial von DR in Gewerbe- und Industriebetrieben. Das SynErgie-Projekt befasste sich hierzu eingehend mit der offenen Frage der Flexibilitätspotenziale in der Industrie. Zu diesem Zweck wurden 47 Studien analysiert, die das Potenzial der deutschen Industrie hinsichtlich ihrer Energieflexibilität untersuchen (Sauer et al., 2019). Daraus quantifizieren 13 Studien das Flexibilitätspotenzial des Industriesektors. In SynErgie wurden die bisherigen Studien um eine weitere Abschätzung des Flexibilitätspotenzials ergänzt, in dem bisher noch nicht betrachtete Wirtschaftszweige mit einbezogen werden. Im Rahmen von SINTEG (enera) wurden dagegen übergeordnete Forschungsfragen in Heitkoetter et al. (2021) verknüpft und das Flexibilitätspotenzial von unter anderem Gewerbe- und Industriebetrieben regionalisiert. Zusätzlich wurde ein erster Ansatz zur Darstellung der regionalen Nachfrage-Flexibilität in Form einer Merit-Order-Kurve entwickelt.

Weiterer Forschungsbedarf, der in der Roadmap DSM identifiziert wurde, betrifft insbesondere die praktische Umsetzung und Auswirkung der Flexibilisierung einzelner Prozesse, den Mehrwert der Digitalisierung für die Erschließung von Flexibilitäten und die Befähigung von Unternehmen zur Erhebung ihrer Flexibilitätspotenziale. Welchen Beitrag SINTEG hierzu liefern konnte, wird aus den folgenden Blaupausen ersichtlich.

## BLAUPAUSEN AUS SINTEG-PROJEKTEN

In den SINTEG-Schaufenstern wurden unterschiedliche Lösungsansätze zur Hebung von Flexibilität in Gewerbe und Industrie untersucht. Die Lastverschiebung von Produktionsprozessen beispielsweise in der energieintensiven Industrie, stellte aufgrund des zu erwartenden hohen Potenzials einen Schwerpunkt dar.

Darüber hinaus wurden zahlreiche Querschnittstechnologien betrachtet, wozu u. a. Lüftungsanlagen oder Antriebe zählen. Diese bieten ein vielfältiges Potenzial, das häufig über mehrere Industriezweige hochskaliert werden kann. Ein weiteres Augenmerk lag auf dem Energiemanagement der Industrieanlagen – häufig im Zusammenhang mit der Zeitplanung von Produktionsprozessen. Intelligent gesteuerte Anlagen, z. B. durch Technologien aus der „Industrie 4.0“, sind einfacher für ein netzdienliches Fahrverhalten zu aktivieren. Es wurden aber auch hybride Prozesse untersucht, sprich die Einbindung der Maschinenbedienenden, um eine vorgeplante Fahrweise der Anlagen zu erreichen.

Lademanagement für elektrische Fahrzeugflotten ist vor allem für Gewerbeareale ein interessantes Thema, da hier in Zukunft eine Vielzahl an Elektrofahrzeugen auf kleinstem Raum – sprich am selben Netzanschluss – geladen werden. Die Reduktion der Lastspitzen hat hier nicht nur einen netzdienlichen Aspekt, sondern bringt bereits heute den Gewerbebetreibern deutliche Einsparungen. Ebenfalls wurde in einzelnen Projekten untersucht, was für Unternehmen ein Anreiz sein könnte, vermehrt in die Bereitstellung von Flexibilitäten für das Netz zu investieren.

## INNOVATIONSGEHALT

Die Mehrheit der Aktivitäten in den SINTEG-Schaufenstern im Bereich der Flexibilitätspotenziale haben gemein, dass eine Schnittstelle zu Flexibilitätsplattformen zumindest getestet wurde. Hierin liegt ein zentraler Innovationsgehalt der entsprechenden Arbeitspakete bzw. Demonstratoren.

Die angewandten Technologien reichen im Sinne von TRL-Stufen von entwickelten Prototypen, insbesondere bei der Flexibilisierung von kontinuierlichen Produktionsprozessen, bis zu dem Einsatz von am Markt verfügbaren Lösungen wie beispielsweise Elektrokesseln.


## **BEDINGUNGEN FÜR ÜBERTRAGBARKEIT**

Auch die Übertragbarkeit variiert in ihrer Ausprägung je Blaupause. Die Flexibilisierung von Produktionsprozessen, wie beispielsweise von Elektrolyseverfahren in einem Betrieb der metallverarbeitenden Industrie wie sie in SINTEG erfolgt ist, ist in der Form zugeschnitten auf den jeweiligen Prozess und dessen Parameter und somit nur bedingt auf andere Industriezweige übertragbar. Gleichzeitig bieten die Erfahrungen die Möglichkeit, die entsprechenden Prozesse im gleichen Industriezweig bzw. an anderen Produktionsstandorten analog zu flexibilisieren. Andere Beispiele wie die Integration von PtH-Modulen sind in hohem Maße und über mehrere Industriezweige hinweg übertragbar.

## **WEITERE ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN**

Die technische Umsetzung von Flexibilitätstechnologien in Industrie- und Gewerbebetrieben wurde im Rahmen von SINTEG umfassend erfolgreich demonstriert. Die automatisierte Anbindung an Flexibilitätsplattformen wurde dabei nur zum Teil bzw. testweise umgesetzt. Hier bestehen weitere Entwicklungsmöglichkeiten. Daran gekoppelt ist die Entwicklung standardisierter Flexibilitätsprodukte bzw. Geschäftsmodelle, die die energie- und betriebswirtschaftlichen Herausforderungen ferner lösen können. Fundierte Analysen zu den Wechselwirkungen zwischen Flexibilisierung und Effizienz oder Verschleiß von Anlagen (bspw. aus der Abweichung von technisch optimalen Arbeitspunkten) können Transparenz schaffen und die Akzeptanz fördern.

## 3.2 Blaupause 4: Akquise von Flexibilitätspotenzialen in Gewerbe und Industrie

Blaupause									
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Energieversorger</li> <li>■ Aggregatoren / VK-Betreiber</li> <li>■ Industrieunternehmen</li> </ul>								
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	Dem Beitrag der Bereitstellung von Flexibilität zur Energiewende sowie möglichen Erlösen daraus stehen Hindernisse gegenüber. Dazu zählen insbesondere sowohl energie- und betriebswirtschaftliche Herausforderungen als auch Vorbehalte im Hinblick auf die Sicherheit von Daten, der Energieversorgung im laufenden Betrieb bzw. der Produktion und der Prozesskontrolle. All dies hindert die Akquise von Flexibilitätspotenzialen in Gewerbe und Industrie durch beispielsweise einen Energieversorger.								
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Die Blaupause beschreibt, wie potenzielle Anbieter von Flexibilität im Industrie- und Gewerbesektor datenbasiert identifiziert und effektiv angesprochen und gewonnen werden können.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kernargumente und Anreize: CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung, Reduzierung der Energiekosten bzw. Erzielung von Erlösen kurz-/mittel-/langfristig</li> <li>■ Individuelle, fachlich kompetente Beratung der potenziellen Flexibilitätsanbieter</li> <li>■ Bedenken ernst nehmen, adressieren und kooperativ Lösungen identifizieren</li> </ul>								
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td>Haushalte</td> <td><b>GHD</b></td> <td><b>Industrie</b></td> <td><b>Energie</b></td> </tr> <tr> <td><b>Flexibilisierung</b></td> <td><b>Sektorkopplung</b></td> <td colspan="2"><b>Erzeugung</b></td> </tr> </table>	Haushalte	<b>GHD</b>	<b>Industrie</b>	<b>Energie</b>	<b>Flexibilisierung</b>	<b>Sektorkopplung</b>	<b>Erzeugung</b>	
Haushalte	<b>GHD</b>	<b>Industrie</b>	<b>Energie</b>						
<b>Flexibilisierung</b>	<b>Sektorkopplung</b>	<b>Erzeugung</b>							
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> <p>TRL: Nicht anwendbar</p>								
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	 <p>■ AP 5 (EWE VERTRIEB)</p>								
<b>Innovationsgehalt</b>	Die Akquise von Flexibilitätspotenzialen in Gewerbe und Industrie durch Aggregatoren bzw. Betreiber virtueller Kraftwerke erweist sich häufig als schwierig. Im Rahmen von SINTEG wurden mit gemischtem Erfolg Flexibilitätspotenziale in Industrie- und Gewerbebetrieben akquiriert. Dabei wurden Ansätze entwickelt zur datenbasierten Clusterung und Priorisierung von Verbrauchern sowie zur effektiven Ansprache von Betrieben und kooperativen Implementierung der Flexibilisierung entwickelt und umgesetzt. .								
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bestehende Geschäftsverhältnisse zwischen Energieversorger und potenziellen Flexibilitätsanbietern</li> <li>■ Fundierte Kenntnisse über potenzielle Flexibilitätsanbieter (Lastprofile, relevante elektrische Anwendungen)</li> </ul>								

Im Rahmen von enera hat die EWE VERTRIEB strukturierte Ansätze für die Akquise von Flexibilitäten in der Industrie verfolgt. Ihr Ziel war die Flexibilisierung technischer Anlagen von Gewerbe- und Geschäftskunden und deren Anbindung an das virtuelle Kraftwerk der EWE VERTRIEB. Für den regionalen Flexibilitätsmarkt<sup>16</sup>, der in enera erprobt wurde, wurden entsprechende Flexibilitätsprodukte entwickelt, die einerseits beim Kunden adressiert werden konnten und weiterhin an dem neu entwickelten Markt gehandelt werden konnten. Für diese Aufgaben gab es Produktmanager, die darauf spezialisiert waren, neue Lösungen und Produkte für die verschiedenen Kundengruppen zu entwickeln und für den Vertrieb vorzubereiten.
















<sup>16</sup> Vgl. Synthesebericht 2 „Netzdienliche Flexibilitätsmechanismen“

Der vorhandene umfangreiche Kundenzugang konnte genutzt werden, um verschiedene Kundengruppen für die entwickelten Flexibilitätsprodukte zu gewinnen. Dadurch konnte die Bedeutung verschiedener Akteure im zukünftigen Energiesystem eruiert werden. Konkret wurde eine Liste der Geschäftskunden mit einer Jahreshöchstleistung von über 200 kW generiert und mithilfe von Postleitzahlen auf die enera-Region gefiltert. Im nächsten Schritt wurde eine Potenzialanalyse durchgeführt.

Die Spezialisierung der Vertriebsmitarbeiterinnen und -mitarbeiter, beispielsweise als Energieberater, hat dazu beigetragen, dass die entwickelten Flexibilitätslösungen optimal zu den individuellen Gegebenheiten beim Kunden passten. Rückfragen seitens der Kunden konnten sehr qualifiziert beantwortet werden. Mit den hausinternen Ingenieuren und Technikern, die das virtuelle Kraftwerk betreuten, war technisch das nötige Know-how gegeben, um die neuen Anforderungen eines regionalen Flexibilitätsmarktes in Soft- und Hardwareanforderungen zu übersetzen. Darüber hinaus wurden zusammen mit externen Dienstleistern die Kundenanlagen intelligent vernetzt und technisch in die Lage versetzt, Flexibilität zu liefern.

Eine zentrale Erkenntnis aus den Akquisebemühungen ist, dass nicht jede Art der Produktion in der Industrie oder in einem Gewerbebetrieb gleichermaßen für die Bereitstellung von Flexibilität geeignet ist, was es vorab zu beachten gilt. Für die Kundenansprache konnten Leads aus der Auswertung von Stromlieferungsdaten von Kunden effektiv genutzt werden. Dabei ist auch die jeweilige geografische Lage des Kunden relevant, beispielsweise die Nähe zu installierter EE-Leistung oder Transformatorstationen. Individuelle Gespräche zur Evaluierung des Flexibilitätspotenzials schaffen einen Vertrauensgewinn bei Entscheidungs- und Betriebsverantwortlichen. Dabei ist das Verständnis von fachlichen und technischen Komplexitäten elementar. Darauf basierend können kooperativ wirtschaftlich sinnvolle Lösungen erarbeitet und umgesetzt werden. Um industrielle Lasten und deren Effizienz nicht signifikant zu beeinflussen, sind Flexibilitätsabrufe mit Laufzeiten unter einer Stunde in der Regel nicht zielführend. Schließlich sollten der (Um-)Bau und die Inbetriebnahme flexibilisierter Anlagen eng betreut werden.

### 3.3 Blaupause 5: Flexibilisierung von Querschnittstechnologien

Blaupause											
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Betriebe mit energieintensiven Anlagen (Antriebe, Pumpen, Ventilatoren o. ä.)</li> <li>■ Netzbetreiber</li> <li>■ Aggregatoren / VK-Betreiber</li> </ul>										
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	<p>Querschnittstechnologien wie Antriebe, Pumpen, Druckluft-, Lüftungs- oder Kälteanlagen kommen übergreifend in unterschiedlichen Industrieprozessen zum Einsatz. Zum Teil verfügen die Anlagen über Pufferspeicher oder sind redundant ausgelegt. Diese inhärenten Potenziale zur Lastverschiebung werden jedoch nur bedingt genutzt. Die Nutzbarmachung für den Strommarkt bzw. das Stromnetz setzt entsprechende Freiheitsgrade und Nachrüstungen voraus.</p>										
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Die Flexibilisierung von Anlagen mit Freiheitsgraden, beispielsweise durch Überdimensionierung oder Pufferspeicher, erlaubt deren netz- oder marktdienlichen Einsatz und dadurch die Reduktion von Energiekosten. Die Anlagensteuerungen können automatisiert oder manuell entsprechend angepasst werden.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ausgereiftes, umfassendes Lastmanagement (Produktionsplanung, Verfügbarkeit elektrischer Leistung) stellt ungestörten Betrieb sicher; weitgehend automatisierte Steuerung der Anlagen</li> <li>■ Lukrative Strompreisfluktuationen bzw. wirksame Anreize vom Regelenergiemarkt bedingen Wirtschaftlichkeit</li> <li>■ Absicherung gegen finanzielle Nachteile durch etwaige Erhöhung von Netzbezugsspitzen bei Aktivierung der Flexibilität (Nachteilsausgleich)</li> <li>■ Flexibilitätsabrufe mit hinreichender Dauer (mind. eine Stunde), um Anlagen und deren Effizienz nicht signifikant zu beeinflussen</li> </ul>										
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td>Haushalte</td> <td><b>GHD</b></td> <td><b>Industrie</b></td> <td><b>Energie</b></td> </tr> <tr> <td><b>Flexibilisierung</b></td> <td>Sektorkopplung</td> <td colspan="2">Erzeugung</td> </tr> </table>	Haushalte	<b>GHD</b>	<b>Industrie</b>	<b>Energie</b>	<b>Flexibilisierung</b>	Sektorkopplung	Erzeugung			
Haushalte	<b>GHD</b>	<b>Industrie</b>	<b>Energie</b>								
<b>Flexibilisierung</b>	Sektorkopplung	Erzeugung									
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 <b>7 8 9</b></p> <p>TRL: Technologien wurden z. T. anwendungsnah getestet oder sind z. T. kommerziell verfügbar</p>										
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	<table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Flughafen Stuttgart</li> <li>■ Wasser-Flex Cham</li> </ul> </td> <td></td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ E-Verdichter</li> </ul> </td> <td></td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Flex-Werkzeugkasten</li> <li>■ Kommunale Lastverschiebung</li> <li>■ Flüssigeispeicher</li> <li>■ Flex im Einzelhandel</li> <li>■ VK-Geschäftsmodelle</li> </ul> </td> </tr> </table>						<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Flughafen Stuttgart</li> <li>■ Wasser-Flex Cham</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ E-Verdichter</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Flex-Werkzeugkasten</li> <li>■ Kommunale Lastverschiebung</li> <li>■ Flüssigeispeicher</li> <li>■ Flex im Einzelhandel</li> <li>■ VK-Geschäftsmodelle</li> </ul>
											
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Flughafen Stuttgart</li> <li>■ Wasser-Flex Cham</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ E-Verdichter</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Flex-Werkzeugkasten</li> <li>■ Kommunale Lastverschiebung</li> <li>■ Flüssigeispeicher</li> <li>■ Flex im Einzelhandel</li> <li>■ VK-Geschäftsmodelle</li> </ul>							
<b>Innovationsgehalt</b>	<p>Forschung und Entwicklung zu Querschnittstechnologien zielen primär auf Effizienzsteigerungen ab. Die Flexibilisierung, bei möglichen Effizienzverlusten, ist bisher kaum Gegenstand von Forschung und Entwicklung. Zum Teil kamen im Rahmen von SINTEG innovative Technologien zum Einsatz (bspw. Eisspeicher) und originäre Modelle wurden entwickelt. Der Einsatz erprobter Querschnittstechnologien mit Redundanzfunktionen oder Pufferspeichern ist nicht neuartig, aber die Einbindung in umfassende Energiemanagementsysteme bis hin zu Flexibilitätsmärkten ist in diesem Umfang erstmalig erfolgt.</p>										
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Energieintensive, elektrische Anlagen mit Freiheitsgraden (Entkopplung von Betrieb und Bedarf durch Pufferspeicher oder parallel ausgelegte Anlagen mit anderen Energieträgern)</li> </ul>										

Querschnittstechnologien wie Antriebe, Pumpen, Druckluft-, Lüftungs- oder Kälteanlagen kommen sektorenübergreifend in unterschiedlichen Industrieprozessen zum Einsatz. Zum Teil verfügen die Anlagen über Pufferspeicher oder sind redundant ausgelegt. Diese inhärenten Potenziale zur Lastverschiebung werden jedoch nur bedingt genutzt. Die Nutzbarmachung für den Strommarkt bzw. das Stromnetz setzt entsprechende Freiheitsgrade und Nachrüstungen voraus. In der Regel sind automatisierte Regelungen und Steuerungen der Anlagen bereits vorhanden. Es können (Fern-)Steuerboxen vorgeschaltet werden, die Signale bzw. Befehle zum Hoch- oder Herunterfahren der Leistungsaufnahme oder An- oder Abschalten der Anlage weitergeben. Hier kommen standardisierte Schnittstellen und Protokolle zum Einsatz.

Flexibilitäten aus dem Betrieb von Querschnittstechnologien können folglich, wie Flexibilitäten generell, markt- bzw. netzdienlich eingesetzt werden und die Energiekosten für den Betreiber senken. Die Kosteneinsparungen oder Erlöse können als Anreiz für Investitionen in Flexibilisierungstechnologien und/oder Neuinvestitionen in effizienteste Querschnittstechnologien dienen.

Das Fraunhofer IFF hat in WindNODE einen Flex-Werkzeugkasten entwickelt, der zur Analyse und Bewertung von Flexibilitätpotenzialen in Querschnittstechnologien, wie Druckluftbereitstellung, Belüftung, Klimatisierung und Kältebereitstellung, dient. Ein Multienergiesystem-Demonstrator bildet Betriebe aus der Prozessindustrie mit entsprechenden Anlagen nach. Das Institut ging der Frage nach, unter welchen technischen, operativen und wirtschaftlichen Bedingungen ein Prozess unterbrochen oder verschoben werden kann. Entsprechende Softwaremodelle ermöglichen die Übersetzung technischer Eigenschaften und Flexibilitäten in Geschäftsmodelle am Strommarkt. Daraus können optimierte Betriebsstrategien und Fahrpläne entwickelt werden.

Im Rahmen von enera wurde ein elektrischer Kompressor zur Erzeugung von Prozessdruck errichtet und flexibel eingesetzt. Der Gasfernleitungsnetzbetreiber Open Grid Europe (OGE) hat die Verdichtung von Erdgas damit flexibilisiert. Ein elektrisch angetriebener Kompressor mit einer Nennleistung von 13 MW verdichtet Erdgas für den Ausgleich von Druckunterschieden zwischen Netzen (50 auf 60 bar). Parallel existieren mit Gasturbinen angetriebene Kompressoren. Die redundante Auslegung ermöglicht einen Wechsel zwischen strombasierter und erdgasbasierter Druckerzeugung durch eine automatisierte Steuerung. Durch den Anschluss an das Stromverteilnetz der EWE NETZ und die räumliche Nähe zur erneuerbaren Erzeugung ist der Standort dafür gut geeignet. Im Rahmen von enera wurde der elektrische Verdichter gezielt angeschaltet, wenn zu viel Windstrom im Stromnetz prognostiziert wurde. In diesem Zusammenhang gab es die Randbedingung, dass er nur dann eingesetzt werden durfte, wenn der Einsatz gegenüber anderen Betriebsmitteln wirtschaftlich erfolgen konnte. Negative Preise am Intraday-Markt sind dafür prinzipiell ausschlaggebend.

In Feldtests hat die OGE-Anlage mehrfach negative Flexibilitätsleistungen zwischen 2,4 und 5,5 MW über jeweils eine Stunde an Netzbetreiber über den enera-Flexibilitätsmarkt geliefert. Die Flexibilitätslieferung verzögerte sich dabei um einige Minuten, überschritt anschließend für einige Minuten den Sollwert bis die kontrahierte Leistung schließlich konstant gehalten wurde. Der Datenaustausch an das virtuelle Kraftwerk über eine Fernwirktechnik beinhaltete Bereitschaftssignale, Messwerte und Restriktionen der Anlage. Die Flexibilität und der Preis wurden darauf basierend berechnet. Das Handelsergebnis am Markt wurde in einen Fahrplan bestehend aus Sollwerten und Einsatzbefehlen vom virtuellen Kraftwerk an die Leitwarte der Anlage übermittelt.

In der C/sells-Demonstrationszelle Cham und Umgebung gingen die Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg und die Kreiswerke Cham der Frage nach, ob ein flexiblierter Einsatz von Trinkwasserpumpen dazu beitragen kann, zu kritischen Zeitpunkten die Stromnetze zu entlasten. Es wurde untersucht, ob die Pumpen auf stromnetzseitige Anforderungen reagieren können, d. h. insbesondere in Zeiten starker PV-Einspeisung Leistung aufnehmen. Die Trinkwasserpumpen eignen sich aus zwei Gründen besonders für flexible Nutzung. Zum einen verbrauchen sie eine beträchtliche Menge elektrischer Energie, zum anderen stehen die vorhandenen Hochbehälter ohne weitere Umbaumaßnahmen als Zwischenspeicher für das Trinkwasser zur Verfügung. Dadurch können die Kreiswerke die Pumpen innerhalb gewisser Grenzen zeitlich versetzt zu ihrer heutigen Betriebsweise einsetzen. Darüber hinaus ist das Wasserverbrauchsprofil prinzipiell der PV-Einspeisung sowohl im Tages- als auch im Jahresverlauf ähnlich, d. h. tagsüber höher als nachts und im Sommer höher als im Winter.

In einem Feldversuch konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von Flexibilität in der Trinkwasserversorgung technisch umsetzbar ist. Dazu wurde täglich ein ermittelter Flexibilitätshfahrplan mit Leistungsabweichung vom ursprünglichen Fahrplan der Pumpen erstellt und an die Kreiswerke übermittelt. Im Hauptpumpwerk wurde der Flexibilitätshabruf mithilfe einer modifizierten Anlagensteuerungssoftware umgesetzt. Die Änderungen am komplexen Steuerungssystem waren aufwändig. Die Flexibilität unterliegt bestimmten Grenzen, um eine zuverlässige und qualitativ hochwertige Wasserversorgung nicht zu gefährden.

Die installierte elektrische Pumpenleistung beträgt 900 kW in Cham, wo 40.000 Einwohner mit Trinkwasser versorgt werden. Eine Hochrechnung auf das Bundesgebiet basierend auf den Erfahrungen aus der Demozelle Cham und den Bevölkerungszahlen weist ein negatives, d. h. lasterhöhendes, Flexibilitätspotenzial von 300 MW in Deutschland für eine Zeitspanne von täglich vier Stunden aus.

In der C/sells-Zelle Flughafen Stuttgart wurden Flexibilitätspotenziale von Querschnittstechnologien wie Lüftungsanlagen und Kältemaschinen simulativ ermittelt. Ein „digitaler Zwilling“ der Liegenschaft dient der Identifizierung von Flexibilitäten, der Auslegung neuer Anlagen und der Optimierung des Lastmanagements. Die Maximierung des Eigenverbrauchs von Strom aus PV-Anlagen auf dem Flughafengelände ist dabei das primäre Ziel der Optimierung. Darüber hinaus kann Flexibilität aggregiert vermarktet und können vorgelagerte Netze bei Engpässen entlastet werden. Im Rahmen eines Feldtests wurde die Lüftungsanlage eines Terminals mit der Fernwirktechnik des Betreibers eines virtuellen Kraftwerks (Next Kraftwerke) ausgestattet. Die „NextBox“ tauscht über eine standardisierte Schnittstelle (Modbus Remote Terminal Unit (RTU)-Interface) mit der Anlagensteuerung verschiedene Parameter aus, insbesondere Status, Soll-Leistung und Wirkleistung. Die Box kommuniziert über das Mobilfunknetz mit eigenem Zugangspunkt mit dem Kontrollzentrum des virtuellen Kraftwerks, das die Flexibilität als Regelenergie vermarkten kann. Die Fernsteuerung der Lüftungsanlage gelang in dem Feldtest. Eine leichte Übersteuerung führte jedoch zu einer stärkeren Leistungsreduzierung der Anlage bei der Aktivierung der Flexibilität.



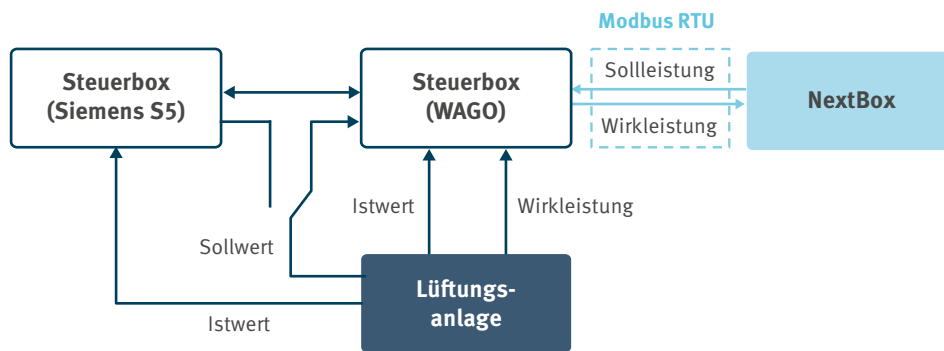


Abbildung 11: Steuerungsboxen und Schnittstellen einer flexibilisierten Lüftungsanlage (Flughafen Stuttgart, C/sells)













Im Rahmen von WindNODE hat das Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden nach dem Power-to-Cold (PtC)-Prinzip eine Kältespeicherung für industrielle Kälteanlagen entwickelt und demonstriert. Bei der Kälteerzeugung insbesondere in der Nahrungsmittelindustrie (Brauereien, Molkereien, Kühlhäuser) mit ganzjährigem Kältebedarf lassen sich so Lastverschiebungen realisieren. Dabei werden elektrische Wasserdampf-Turboverdichter und ein pumpfähiges Wasser-Eis-Gemisch zur Kältespeicherung eingesetzt. Die Energiedichte liegt höher als bei konventionellen Kälte-trägern. Der neuartige Eisspeicher mit Vakuum-Flüssigeistechnologie kann hohe Kältemengen speichern. Es wurden Vakuumeisanlagen errichtet, die ein Laborgebäude und ein Großrechenzentrum mit Kälte (mit-)versorgt haben. Die Anwendung wurde darüber hinaus in einem Demonstrator mit einer Kälteleistung von 500 kW und Kapazität von 12 MWh erprobt.

Die Schwarz Gruppe hat Flexibilitätspotenziale im Einzelhandel, d. h. in Supermarktfilialen der Ketten Lidl und Kaufland im WindNODE-Gebiet ermittelt. Die Kühlsysteme der Supermärkte können theoretisch eine zuschaltbare Last von 50 kW bieten. Dabei würden Lebensmittel kurzfristig auf tiefere Temperaturen herunter gekühlt, um Kälte so zwischen zu speichern. Unter realen Bedingungen können Kühltruhen über eine Stunde Kälte zwischenspeichern. In Logistikzentren können Kälteanlagen das Tiefkühlager vorübergehend von -24 °C auf -30 °C herunterkühlen und so Flexibilität bereitstellen.

Die Landeshauptstadt Dresden hat im Rahmen von WindNODE Lastverschiebungspotenziale in kommunalen Liegenschaften (Schulen, Kindergärten, Sportstätten) und in der Abwasserbehandlung der Stadtentwässerung anhand eines entwickelten Analysewerkzeuges untersucht. Letztere besitzt Pumpen und Gebläse in Kläranlagen, für den Abwassertransport sowie zur Abwasserüberleitung. In Sportstätten wurden in Kälteprozessen für die Kühlung von Eisbahnen die größten Lastverschiebepotenziale ermittelt.

Der VK-Betreiber Energy2market hat im Rahmen von WindNODE in Zusammenarbeit mit BMW die Lüfertechnik des Leipziger Standortes flexibilisiert und aggregiert am Strommarkt vermarktet. Die erfolgte „Subaggregation“ ermöglicht es, mehrere Kleinsteinheiten zu einer virtuellen Anlage zusammenzufassen und damit effizientere Anbindungsstandards und planbarere Vermarktungsansätze zu nutzen.

## 3.4 Blaupause 6: Flexibilisierung kontinuierlicher Produktionsprozesse

Blaupause											
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Industrieunternehmen (insb. Metall)</li> <li>■ Netzbetreiber</li> <li>■ Aggregatoren / VK-Betreiber</li> </ul>										
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	<p>Im verarbeitenden Gewerbe – insbesondere in der Metall- und NE-Metallindustrie – sind stromintensive, elektrochemische und elektrothermische Prozesse in der Regel kontinuierlich. Die Prozesse benötigen eine konstante Zufuhr elektrischer Energie beispielsweise für die Elektrolyse oder Schmelzvorgänge in Lichtbogenöfen. Diese konventionellen Prozesse bieten normalerweise kein Flexibilitätspotenzial. Eine Flexibilisierung der Produktionsprozesse bedingt kapitalintensive, technische Umrüstungen, um Effizienzverluste oder Prozessstörungen zu vermeiden, wenn die für die Prozesse optimalen Arbeitspunkte zu Gunsten einer Flexibilität bereitstellung verlassen werden. Elektrische Lasten werden zusammengefasst nicht markt- oder netzdienlich betrieben, sondern grundsätzlich mit dem Ziel der Minimierung der Stromkosten.</p>										
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Die Blaupause beschreibt, wie technische Umrüstungen und angepasste Fahrweisen die Flexibilisierung kontinuierlicher Produktionsprozesse erlauben, ohne dabei die Effizienz oder Qualität der Produktion (übermäßig) negativ zu beeinflussen. Der marktorientierte oder netzdienliche Einsatz der Produktionsanlagen ermöglicht die Senkung der Energiekosten.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kompensation von Nebeneffekten, die sich negativ auf den Produktionsprozess auswirken, und Prozessautomatisierung</li> <li>■ Preisfluktuationen am Strommarkt bzw. monetäre Anreize des Regelenergiemarktes müssen genügen, um die signifikanten Investitionen zu rechtfertigen</li> </ul>										
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td>Haushalte</td> <td>GHD</td> <td><b>Industrie</b></td> <td>Energie</td> </tr> <tr> <td><b>Flexibilisierung</b></td> <td>Sektorkopplung</td> <td></td> <td>Erzeugung</td> </tr> </table>	Haushalte	GHD	<b>Industrie</b>	Energie	<b>Flexibilisierung</b>	Sektorkopplung		Erzeugung		
Haushalte	GHD	<b>Industrie</b>	Energie								
<b>Flexibilisierung</b>	Sektorkopplung		Erzeugung								
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 <b>7</b> 8 9</p> <p>TRL: Prototypen (flexible Elektrolyse, flexibler Ofen) im Betriebsumfeld getestet</p>										
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	<table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>■ Flex-Aluminium</td> <td></td> <td>■ Power-to-Aluminium ■ Elektrolichtbogenofen</td> <td>■ Flex-Werkzeugkasten</td> </tr> </table>							■ Flex-Aluminium		■ Power-to-Aluminium ■ Elektrolichtbogenofen	■ Flex-Werkzeugkasten
											
	■ Flex-Aluminium		■ Power-to-Aluminium ■ Elektrolichtbogenofen	■ Flex-Werkzeugkasten							
<b>Innovationsgehalt</b>	<p>Forschung und Entwicklung zu kontinuierlichen Produktionsprozessen zielen primär auf Effizienz- und Qualitätssteigerungen ab, ihre Flexibilisierung stand bislang nicht im Fokus. Die der Blaupause zu Grunde liegenden Technologien wurden teilweise in SINTEG entwickelt bzw. neu in Steuerungssysteme eingebunden und ihr flexibler Betrieb erprobt. Aufgrund ihrer Komplexität und der Notwendigkeit der Anpassung an lokale Gegebenheiten sind die verwendeten technischen Lösungen teilweise einmalig. Ein in SINTEG entwickelter Flex-Werkzeugkasten befähigt Betriebe ihre Flexibilitätspotenziale zu identifizieren und Vermarktungsoptionen zu bewerten.</p>										
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Elektrochemischer oder elektrothermischer Prozess, der beschleunigt und verlangsamt werden kann, wenn andere Parameter konstant gehalten werden</li> <li>■ Entsprechender Spielraum in der Auslastung von Betriebsmitteln (z. B. Transformator)</li> <li>■ Fallspezifische Prüfung der technischen Rahmenbedingungen in den jeweiligen Produktionsstätten</li> </ul>										

Die Grundstoffindustrie benötigt viel elektrische Energie für elektrochemische Prozesse (z. B. Aluminium-Elektrolyse) und elektrothermische Prozesse (z. B. Stahl-Lichtbogenofen). Die konventionelle Elektrolyse ist ein kontinuierlicher Prozess. Elektrolyseöfen werden für eine

fixe Stromstärke und Energiezufuhr konstruiert, die den Wärmehaushalt und Magnetfelder stabil halten. Bei Änderung der Stromstärke und Energiezufuhr ändert sich die Energiebilanz des Ofens und führt zu Effizienzverlusten, Prozessstörungen oder Ausfällen. Die Steuerung von Elektrolysezellen war bisher nicht möglich. In Elektrolichtbogenöfen – beispielsweise in der Stahlherstellung – werden Eingangsstoffe eingeschmolzen. Das Einschmelzen ist ein komplexer Prozess, der von einer Vielzahl von Parametern abhängt. Die elektrische Leistung lässt sich durch Einstellung verschiedener Parameter, im Wesentlichen der Spannung und des Stromes des Lichtbogens, variieren.

Die kontinuierlichen Produktionsprozesse können durch Umrüstungen so flexibilisiert werden, dass Teile der signifikanten Last als Regelenergie genutzt werden können. Flexibilisierte Produktionsprozesse ermöglichen die Anpassung der elektrischen Leistungsaufnahme und damit die gezielte Erbringung von positiver und negativer Regelenergie bzw. erhebliche (virtuelle) Speicherkapazitäten. Ferner sind die Produktionsstätten als abschaltbare Lasten einsetzbar. Das Stromnetz wird so entlastet, da große Leistungsbilanzunterschiede ausgeglichen werden können. Auch schnelle Regelenergieprodukte wie Momentanreserve sind umsetzbar.

Die Leistungsaufnahme von Elektrolysezellen kann durch steuerbare Wärmetauscher, die die Energiebilanz bei unterschiedlichen Belastungssituationen aufrechterhalten, variiert werden. Durch die Integration von steuerbaren Wärmetauschern und einer angepassten Prozesssteuerung kann die Stromzufuhr nun für einen gewissen Zeitraum variiert werden, ohne dass sich die Temperatur im Ofeninneren ändert und der spezifische Energieverbrauch konstant gehalten werden. Die thermische Kompensation führt bei einer erhöhten Produktion die überschüssige Wärme ab und isoliert die Zellen während einer Drosselung der Produktion. Eine Flexibilisierung ohne steuerbare Wärmetauscher würde der Prozesseffizienz schaden und könnte zu irreparablen Schädigungen von Elektrolysezellen führen. Die Dynamik bewirkt je nach Anordnung der Elektrolysezellen magnetische Felder, die ebenfalls durch technische Vorrichtungen kompensiert werden können.

Im Rahmen von DESIGNETZ hat die TRIMET Aluminium am Standort Essen untersucht, wie die Produktion flexibilisiert und die große Last der Aluminiumhütte genutzt werden kann, um gezielt entweder überschüssigen Strom aus regenerativer Erzeugung aufzunehmen oder bei Erzeugungsmangel den knappen Strom durch Drosselung der Produktion anderen Verbrauchern zu überlassen. Dabei bleibt der primäre Nutzen der Anlage die Herstellung von Primäraluminium. Sekundär ergeben sich jedoch weitere Einsatzmöglichkeiten, sodass beispielsweise Märkte zur Momentanreserve, Primär-, Sekundär- und Minutenreserveleistung sowie für ab- und zuschaltbare Lasten bedient werden können. Darüber hinaus kann Flexibilität im Bilanzkreismanagement, für systemdienliche Residuallastanbieter am Energy-Only-Market, für innovative Strommarkt- und Ausgleichsenergiemarktprodukte und als steuerbare Last für den Versorgungswiederaufbau genutzt werden.

Die Aluminiumelektrolyse hat ein ursprüngliches Lastprofil von 90 MW über 8,500 Volllaststunden. Durch die Flexibilisierung entsteht ein Lastprofil von 90 MW  $\pm$  22,5 MW. Die Lastgrenzen können für bis zu 48 Stunden betrieben werden. Daraus ergibt sich eine symmetrische Lastverschiebekapazität von  $\pm$  1 G Wh. Die Flexibilität kann dabei mit einer hohen Dynamik (22 MW/s) bereitgestellt werden. Damit kann die Aluminium-Flex-Elektrolyse für das oben genannte Spektrum von Systemdienstleistungen genutzt werden.

Für den Schaufensterbetrieb im System Cockpit von DESIGNETZ wurden 1 MW Leistung zur Verfügung gestellt. Die Anlagen wurden über eine Schnittstellenbox physisch an das Ge-

samtsystem angebunden. Die Steuerung erfolgte in der gemeinsamen Leitwarte der Elektrolyselinie. Dort wurden die Datenaufnahme, Datenverwaltung, grafische Auswertung, intelligente Steuerung, Anlagen und Prozessüberwachung, Fahrplanübersendung und -empfang sowie die automatisierte Fahrplanumsetzung durchgeführt. Für die Prognose wurden Anlagendaten zum Betriebszustand, Fahrplandaten und Anlagen-Istwerte benötigt. Zum Abrufzeitpunkt wurde eine Führungsgröße (Soll-Leistungswert) übermittelt, die direkt in der Anlage umgesetzt wird, sofern diese in den definierten Grenzwerten liegt.

Im Rahmen von NEW 4.0 hat die TRIMET Aluminium auch am Standort Hamburg den Elektrolyseprozess flexibilisiert und 4 Mio. Euro in die Nachrüstung von zehn Elektrolysezellen investiert. Durch die im Vergleich zu der Elektrolyse in Essen unterschiedlichen Technologien, konnten die Wärmetauscher aus Essen nicht analog übernommen werden. Wärmetauscher mussten speziell für die Ofentechnologie in Hamburg, entsprechend der Zellengeometrie, entwickelt werden. So wurde eine Flexibilisierung von +/- 1,25 MW erreicht. Im Rahmen eines gemeinsamen Feldtests der NEW 4.0 Projektpartner wurden zwei Testfahrten mittels Gebot auf der Flexibilitätsplattform des Schaufensters mit automatischer Fernsteuerung durch Fernwirktechnik erfolgreich durchgeführt. Bei einer vollständigen Implementierung im Werk Hamburg und einer entsprechenden Modulation der regulären Last von ca. 240 MW könnte ein Flexibilitätspotenzial von insgesamt +40 MW für bis zu 48 Stunden und -20 MW für bis zu 96 Stunden gehoben werden. Die maximale Kapazität zur Lastverschiebung der Elektrolyse läge somit bei 3.840 MWh.

Potenzial zur Lastverschiebung durch die Flexibilisierung von kontinuierlichen Produktionsprozessen konnte auch im Hamburger Stahlwerk der ArcelorMittal aufgezeigt werden, wo unter anderem Metallschrott recycelt, in einem elektrischen Lichtbogenofen geschmolzen und anschließend zu Stahl verarbeitet wird. Im Rahmen von NEW 4.0 ist es gelungen, den Strom Einsatz im Ofen zu flexibilisieren. In den Elektrolichtbogenöfen lässt sich eine Anpassung der Schmelzleistung in Abhängigkeit an Bedingungen auf dem Strommarkt implementieren. Die Ausgangsstoffe können schneller oder langsamer eingeschmolzen werden und entsprechend zeitweise beispielsweise mehr Stahl produziert werden. Dazu wurden Arbeitspunkte für den lastflexiblen Betrieb ermittelt und in der Prozessautomatisierung implementiert.


Die mittlere Schmelzleistung von 100 MW kann infolgedessen durch die Auswahl geeigneter Arbeitspunkte um +/- 10 MW variiert werden („slow melting“ mit ca. 90 MW und „fast melting“ mit ca. 110 MW). In Zeiten mit einem Überangebot erneuerbaren Stroms kann der Schmelzprozess mit einer erhöhten Leistung betrieben werden. Übersteigt die Stromnachfrage das Angebot erneuerbaren Stroms, kann der Standard-Arbeitspunkt dagegen um 10 MW abgesenkt werden.

Die Zeitverfügbarkeit der Flexibilitätsoption wird auf 75 % geschätzt und liegt damit unterhalb der für Systemdienstleistungen geforderten Verfügbarkeit von 98 %. Stattdessen wurden Analysen angestellt, um (Stromkosten-)Einsparpotenziale durch Kurzfristhandel am Spotmarkt als Geschäftsmodell für die Flexibilisierung abzuschätzen. Dazu wurden beispielhafte Produktionswochen anhand von Simulationsrechnungen analysiert. Über die Kenntnis des zeitlichen Verlaufs des Strompreises, den Umfang des Wochenstillstands sowie von der Anzahl der produzierten Chargen mit dem gewählten Arbeitspunkt bzw. dem jeweiligen Lastgang einer Charge konnte durch eine zeitliche Umverteilung der Chargen ein Kostenoptimum als theoretisches Potenzial gefunden werden. Das „Fast Melting“ würde entsprechend in Zeiten niedriger Strompreise verlagert, hingegen Chargen unter Verwendung des „Slow Melting“ in Zeiten hoher Strompreise. Der Wartungsstillstand würde in Zeiten maximaler Strompreise verlagert.

Die Analysen ergaben ein maximales Erlöspotenzial von 2,43 €/MWh bei einer Beschaffung am Intraday-Markt, was eine Einsparung von rund 10 % der Stromkosten bedeuten würde. Dieser Vorteil stellt dabei lediglich eine theoretische Betrachtung dar, da eine perfekte Prognose des Strompreises vorausgesetzt wird und es stets zu kleineren oder größeren, ungeplanten Störungen im Prozess kommen kann, die ein permanentes Überprüfen der Produktionsplanung erforderlich machen würden. Es wurde geschlussfolgert, dass eine strompreisgeführte Fahrweise des Elektrolichtbogenofens unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Wirkungsgrade je Arbeitspunkt ab einem Spread am Strommarkt in der Größenordnung von  $> 50$  €/MWh sinnvoll erscheint.

Das Fraunhofer IFF hat im Rahmen von WindNODE einen Flex-Werkzeugkasten für industrielle Flexibilität entwickelt, der auch kontinuierliche Produktionsprozesse berücksichtigt. Die Software ermöglicht die Analyse und Bewertung des Flexibilitätspotenzials und übersetzt die technischen Eigenschaften in Geschäftsmodelle am Strommarkt.

## 3.5 Blaupause 7: Energiemanagement und Produktionsplanung

Blaupause									
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ GHD- und Industriebetriebe</li> <li>■ Netzbetreiber</li> <li>■ Aggregatoren / VK-Betreiber</li> <li>■ Anbieter von EMS- bzw. Prognose-/Optimierungssystemen</li> </ul>								
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	Elektrische Lasten in Gewerbe- und Industriebetrieben sind häufig in ein Datenerfassungssystem eingebunden, jedoch erfolgt selten eine Koordination der einzelnen Verbraucher und Prozesse im System. Etwaige Potenziale zur Lastverschiebung bleiben unentdeckt und ungenutzt.								
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Ein Energiemanagementsystem und die abgestimmte Ablaufplanung von flexiblen, nicht-kontinuierlichen Prozessen, beispielsweise die Chargenproduktion, bieten die Möglichkeit der Reduzierung von Stromkosten (Arbeitspreis und/oder Leistungspreis) und der Erhöhung der Nutzung erneuerbarer Energien (vor Ort oder aus dem Netz). Entsprechende Produktionspläne entlasten das Netz.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bestehende Systeme erweitern, statt in parallele Systeme zu investieren</li> <li>■ Hoher Automatisierungsgrad der Prozesse</li> <li>■ Einbindung der Anwender/Prozesseigner und transparente Aufbereitung des Flexpotenzials und Key-Performance-Indicators je Prozess (Stromkosten vorher/nachher, Anteil erneuerbarer Energien)</li> <li>■ Anreize vom Strommarkt (prognostizierbare Preisfluktuationen)</li> </ul>								
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td>Haushalte</td> <td>GHD</td> <td>Industrie</td> <td>Energie</td> </tr> <tr> <td>Flexibilisierung</td> <td>Sektorkopplung</td> <td>Erzeugung</td> <td></td> </tr> </table>	Haushalte	GHD	Industrie	Energie	Flexibilisierung	Sektorkopplung	Erzeugung	
Haushalte	GHD	Industrie	Energie						
Flexibilisierung	Sektorkopplung	Erzeugung							
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 7 <b>8</b> 9</p> <p>TRL: Prototypen für Prognose- und Optimierungsmodelle wurden erfolgreich eingesetzt</p>								
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ZIEL-System</li> <li>■ Intelligente Industrie Berlin</li> <li>■ Flex-Werkzeugkasten</li> <li>■ Flex-Vermarktung</li> <li>■ Lastmanagement Kläranlagen</li> </ul>								
<b>Innovationsgehalt</b>	In SINTEG wurden Steuerungsvorgänge und Optimierungsmodelle für die Produktionsplanung und das Lastmanagement weiterentwickelt und mit Flexibilitätsmechanismen erfolgreich verknüpft. Die nutzerfreundliche Aufbereitung von entscheidungsrelevanten Parametern im Rahmen neu entwickelter Softwareumgebungen ist innovativ und bringt einen deutlichen Mehrwert.								
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Möglichkeit zur flexiblen Fahrweise von Anlagen, z. B. Chargen- bzw. Batch-Produktion, verfahrenstechnische Anlagen oder Werkzeugmaschinen und produktionsbegleitende Prozesse</li> <li>■ Bestehendes Energiedatenerfassungssystem und Energiecontrolling</li> </ul>								

Elektrische Lasten in Gewerbe- und Industriebetrieben sind häufig in ein Datenerfassungssystem eingebunden, jedoch erfolgt selten eine Koordination der einzelnen Verbraucher und Prozesse im dem jeweiligen System. Etwaige Potenziale zur Lastverschiebung bleiben dadurch unentdeckt und ungenutzt. Ein Energiemanagement und die abgestimmte Ablaufplanung von flexiblen, nicht-kontinuierlichen Prozessen, beispielsweise bei Chargenproduktion,

bietet die Möglichkeit der Reduzierung von Stromkosten (Arbeitspreis und/oder Leistungspreis) und der Erhöhung der Nutzung erneuerbarer Energien (vor Ort oder aus dem Netz). Entsprechende Produktionspläne entlasten das Netz.

Viele Gewerbe- und Industrieunternehmen verfügen aufgrund betrieblicher – zum Teil auch gesetzlicher – Anforderungen über ein ausgereiftes Energiecontrolling und eine bestehende Datenerfassungsinfrastruktur. Mittlerweile sind rund 8.500 Betriebe in Deutschland mit einem nach der Norm ISO 50001 zertifizierten EMS ausgestattet (UBA, 2020b). Solche bestehenden Systeme können genutzt und erweitert werden, um Lastprofile zu prognostizieren sowie Flexibilitäten zu identifizieren und zu nutzen. Auf der Mess- und Steuerebene werden dazu Algorithmen und Prozesse integriert. Prognosemethoden und Verfügbarkeitsanalysen flexibler Anlagen und Prozesse erlauben eine betriebs- und volkswirtschaftlich effiziente Fahrweise des Betriebs.

Umfassende Energiemanagementsysteme erlauben die Synchronisierung von Energiebedarf und lokalem Energieangebot bei maximaler Nutzung regenerativer Energiequellen. Dies erfordert ebenso Eingriffe in verschiedene Planungs- und Steuerungsebenen von Produktionsanlagen und energetisch relevanten Produktions- und Gebäudeinfrastrukturen. Energieflüsse werden transparent gemacht, um eine energieangebotsorientierte Produktionsplanung zu erlauben. In einem ersten Schritt gilt es, die jeweiligen Prozessketten energetisch zu analysieren, um daraus genauere Prognosen des Energiebedarfs ableiten zu können. Darauf aufbauend wird ein aktives Gesamtenergiemanagement implementiert. Ein solches System orchestriert sämtliche energetisch relevanten Komponenten am Standort: Energiequellen, -wandler, -speicher und -verbraucher.

Durch die Abstimmung und Steuerung der Lastaufnahme von Verbrauchern kann die Jahresspitzenlast reduziert bzw. gedeckelt werden, was zu geringeren Stromkosten für die Betriebe führt. Sobald die Netzbelastung einen definierten Grenzwert überschreitet, kann ein automatischer Lastabwurf erfolgen. Beispielsweise wurde für eine Übertragung des Lastmanagements auf alle Klärwerke der Berliner Wasserbetriebe (WindNODE) das positive Flexibilitätpotenzial auf 5,9 MW geschätzt.

Im Rahmen von WindNODE widmeten sich die folgenden Aktivitäten bzw. Teilarbeitspakete dem Energiemanagement in Gewerbe- und Industriebetrieben sowie der flexiblen, strompreisgeführten Produktionsplanung.

Am Produktionsstandort Berlin hat Siemens eine proprietäre Softwareumgebung entwickelt, die mit Hilfe von künstlicher Intelligenz über einen Zeitraum von sieben Tagen den internen Strombedarf, basierend auf historischen Daten und Schichtplänen, sowie Preisniveaus am Spotmarkt prognostiziert. Der Strompreis wird basierend auf Wetterdaten und Rohstoffpreisen für jede Stunde kategorisiert in „teuer“, „durchschnittlich“, „günstig“ oder „negativ“. Ein anwenderfreundliches Frontend der Web-Plattform fragt Prozesseigner nach Flexibilitätsparametern ab. Der Anwender bestimmt den frühestmöglichen und geplanten Startzeitpunkt sowie die spätmöglichste Endzeit des Prozesses. Die Dauer und ein Lastprofil des jeweiligen Prozesses sind im System hinterlegt. Die ermittelten Flexibilitätszeiträume für die Startzeiten von Produktionsprozessen liegen zwischen 10 Minuten und 10 Stunden. Eine Verbindung zur WindNODE-Flexibilitätsplattform zur Netzengpassbewirtschaftung wurde erfolgreich aufgebaut und getestet.

Basierend auf den Verbrauchs- und Preisprognosen optimiert das System den Zeitpunkt der Produktion bei minimalen Gesamtkosten. Der Fahrplan wird entweder an den Anwender übermittelt, der den Prozess einleitet, oder vollständig automatisierte Anlagen fragen den optimierten Startzeitpunkt selbständig aus der Datenbank ab. In der Siemensstadt wurden insgesamt 250 Lasten analysiert und schließlich Anlagen mit einer Gesamtkapazität von 2 MW flexibilisiert. Die Prozesseigner wurden in die Entwicklung eng eingebunden und erhalten über die Web-Plattform aufbereitete Informationen und Kennzahlen ihrer Prozesse und über den Mehrwert der Flexibilitätsbereitstellung (Stromkostensenkung, erhöhter Anteil erneuerbarer Energien im Strommix).

Andere WindNODE-Projekte bildeten vollständig automatisierte Flexibilitäten an gewerblichen oder industriellen Standorten ab, deren Verfügbarkeit mit allen relevanten Daten vor Ort berechnet wurde. Die Vermarktungsinformationen können so Marktpartnern oder Netzbetreibern übermittelt werden. Bei Markteinsatz werden effiziente und optimierte Fahrpläne in individuelle Anlagensteuersignale zurück transformiert und an die Steuerungen der jeweiligen flexiblen Anlagen übertragen.



### 3.6 Blaupause 8: Integration flexibler PtH-Module

Blaupause									
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ (Energieintensive) Industrieunternehmen</li> <li>■ Netzbetreiber</li> <li>■ Aggregatoren / VK-Betreiber</li> </ul>								
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	<p>Verbrennungsanlagen mit fossilen Energieträgern stellen die Wärme für industrielle Produktionsprozesse beispielsweise in Form von Dampf bereit. Der Primärenergiebedarf bei der Verbrennung lässt sich nur bedingt und begrenzt auf erneuerbare Energieträger (Biomasse/Biogas, synthetische Brennstoffe) umstellen. Zudem lässt sich die Flexibilität des Endenergiebedarfs nicht für den Stromsektor nutzen. Die (teilweise) Elektrifizierung der Wärmeerzeugung bietet sich an, um eine strombasierte Wärmeerzeugung in Zeiten überschüssigen EE-Stroms oder unausgeglichene Lastverhaltens zu verlagern. Dies setzt Investitionen und entsprechende Geschäftsmodelle voraus.</p>								
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Am Markt verfügbare PtH-Module werden in die Wärmeinfrastruktur integriert und Einsatzfahrpläne energiepreisbasiert erstellt, um die Energiekosten der Wärmeerzeugung zu senken.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Niedrige Strompreise am Intraday-Markt (im Vergleich zu Brennstoffen) über hinreichend lange Zeiträume bzw. wirksame Anreize vom Regelenergiemarkt bedingen die Wirtschaftlichkeit</li> <li>■ Eine redundante Auslegung von Wärmeerzeugungsanlagen gewährt die Sicherheit der Wärmeversorgung</li> <li>■ Ein ausgereiftes, umfassendes Lastmanagement (Produktionsplanung, Wärmebedarf, Verfügbarkeit elektrischer Leistung) bewahrt die Sicherheit der Stromversorgung</li> </ul>								
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td>Haushalte</td> <td>GHD</td> <td><b>Industrie</b></td> <td>Energie</td> </tr> <tr> <td>Flexibilisierung</td> <td><b>Sektorkopplung</b></td> <td></td> <td>Erzeugung</td> </tr> </table>	Haushalte	GHD	<b>Industrie</b>	Energie	Flexibilisierung	<b>Sektorkopplung</b>		Erzeugung
Haushalte	GHD	<b>Industrie</b>	Energie						
Flexibilisierung	<b>Sektorkopplung</b>		Erzeugung						
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 7 8 <b>9</b></p> <p>TRL: Technologie (PtH-Module) ausgereift und kommerziell verfügbar</p>								
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Papierfabrik PtH</li> <li>■ Power-to-Steam</li> <li>■ EUREF PtH/PtC</li> </ul>								
<b>Innovationsgehalt</b>	<p>Die PtH-Technik findet in Deutschland bislang nur sehr begrenzt Einsatz, während sie in Dänemark bereits großflächig genutzt wird und entsprechend erprobt ist. Der „Fuel Switch“ zwischen zwei parallel vorhandenen, redundanten Wärmeerzeugungsanlagen in Abhängigkeit von Marktpreisen (Erdgas vs. Strom) ist gängig, aber die Anbindung an Flexplattformen im Rahmen von SINTEG ist neu. Auch das Zusammenspiel der Module mit einigen Produktionsprozessen (Kupferproduktion) wurde erstmalig erprobt.</p>								
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wärmebedarf in Form von Dampf oder Niedertemperaturanwendungen (beispielsweise Thermalölerhitzung, Wasseranwärmung)</li> <li>■ PtH-Module integrierbar in die Wärmeversorgungsinfrastruktur</li> <li>■ Entsprechende elektrische Anschlussleistung verfügbar</li> </ul>								

Die Wärmebereitstellung für Produktionsprozesse in der Industrie erfolgt typischerweise durch Heizkessel oder (Gas- und) Dampfkraftwerke, die mit Erdgas oder anderen fossilen Brennstoffen befeuert werden. Die Anlagen speisen Dampf in ein internes Wärmenetz oder ein Verbundnetz in industriellen Clustern ein. In Industrien mit Niedertemperaturanwendungen dienen die Anlagen beispielsweise der Thermalölerhitzung oder Wasseranwärmung.

Die Integration von PtH-Modulen in die Wärmeinfrastruktur erlaubt die Elektrifizierung der Wärmebereitstellung beispielsweise zur Nutzung überschüssigen Stroms aus dem Netz. Das Netz kann so entlastet und die konventionellen, CO<sub>2</sub>-intensiven Wärmeerzeugungsanlagen

heruntergeregelt werden. Findet die konventionelle Wärmeerzeugung in wärmegeführter Kraft-Wärme-Kopplung statt, die Elektrizität unabhängig vom (Über-)Angebot von Strom in das Netz einspeist, verstärkt sich der netzentlastende Effekt durch PtH-Anlagen bei Stromüberschuss, da im Vergleich zur Ausgangssituation der Strombedarf erhöht und die Stromproduktion gesenkt wird.

Die handelsüblichen PtH-Anlagen müssen gegebenenfalls an besondere, industrielle Umgebungen angepasst werden, d. h. Temperatur, Staubbelastung, bauliche Gegebenheiten hinsichtlich Zugänglichkeit und Ähnliches. Neben dem Bau und der Inbetriebnahme sind die regelungstechnischen Abhängigkeiten des kombinierten Betriebs aus konventioneller Wärmeerzeugungsanlage und PtH-Modul in der Programmierung der Anlagensteuerung zu berücksichtigen. Die Anpassung des Leitsystems kann durch den Betreiber selbst bzw. durch Dienstleister erfolgen. Die IKT-Anbindung an ein virtuelles Kraftwerk kann über Standard-Fernwirkprotokolle (z. B. IEC 104, Modbus) und/oder anbieterspezifische Protokolle erfolgen.

Die technische Einbindung der Module hat sich als problemlos erwiesen. Das Lastmanagement kann jedoch komplex werden, da der anstehende Wärmebedarf und die verfügbare elektrische Leistung zu managen sind. Ein weiterer Verbundbetrieb oder Wärmespeicher können hierbei helfen Wärmebedarf und -erzeugung zeitlich zu entkoppeln.

Bei der Erstellung von Fahrplänen für PtH-Module bzw. in Steuerungsalgorithmen sind die technischen Rahmenbedingungen der Anlage zu berücksichtigen. Anfahrt- und Mindestlaufzeiten sind Nebenbedingungen der Einsatzplanung.

Der wirtschaftliche Betrieb von PtH-Modulen setzt ein entsprechendes Strompreissignal voraus bzw. Endverbraucherpreise, die die strombasierte Wärmeerzeugung gegenüber der in der Regel Erdgas-basierten Wärmeerzeugung vorteilhaft machen. Die Flexibilität des Stromverbrauchs von PtH-Modulen kann am Regelenergiemarkt monetarisiert, d. h. als negative Sekundärregelleistung angeboten werden, sofern die entsprechenden Vorgaben erfüllt werden.

Im Rahmen von enera integrierte die Papier- u. Kartonfabrik Varel einen elektrischen Dampferzeuger mit einer Leistung von 20 MW. Die Fabrik benötigt viel Dampf für ihre Trockenzylinder und Wärmeabnehmer, der bislang mit Gas erzeugt wurde. Durch das PtH-Modul kann der Industriebetrieb auf elektrische Dampferzeugung umschalten, wenn umliegende Windkraftanlagen überschüssigen Strom produzieren. Da der Stromverbrauch beim Produktionsprozess stark schwankt, ist für einen Flexibilitätsmarkt die jeweils verfügbare Leistung des Moduls zu prognostizieren. Steuerung und Vermarktung erfolgen automatisiert. Im Rahmen eines Feldtests zur Netzengpassminderung lieferte das PtH-Modul 4,7 MW negative Flexibilität über eine Stunde an das virtuelle Kraftwerk der EWE im enera-Flexibilitätsmarkt.

Im Rahmen von NEW 4.0 wurde bei der Aurubis AG (NE-Metall-Industrie) ein 10 MW-Elektrodendampfkessel stromseitig auf 6,3 kV an das Netz angeschlossen. So kann etwa die Hälfte des Dampfbedarfs am Standort strombasiert gedeckt werden. Der Kessel wird mit Wasser gespeist, das durch die Elektroden verdampft wird. Der Dampf wird mit 3,5 bar aus dem Kessel an die Verbraucher geführt. Das Unternehmen plant den Einsatz des Elektrodendampfkessels basierend auf den Intraday-Marktpreisen und internem Strom- sowie Wärmebedarf.

Algorithmen können in Abhängigkeit der aktuellen Spotmarktpreise optimale Strombezugs- und Einspeiseverhalten ermitteln. Die Aurubis AG hat einen Grenzpreis von 20€/MWh ermittelt, der die strombasierte Dampferzeugung gegenüber dem Gaskessel rechtfertigt. Der

Prozess der Einsatzplanung basierend auf Intraday-Marktpreisen im Falle der Aurubis AG ist im folgenden Ablaufdiagramm skizziert. Der Planungshorizont umreißt sieben Tage und der Prozess wird entsprechend im Wochenrhythmus manuell durchgeführt. Die Überschaubarkeit des Aufwands führte dazu, dass der Prozess nicht vollständig automatisiert wurde.

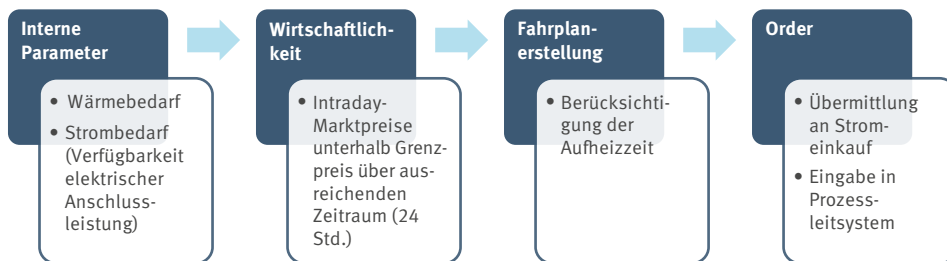



Abbildung 12: Prozess der PTH-Einsatzplanung basierend auf dem Intraday-Markt (Beispiel, Darstellung: Guidehouse)

### 3.6.1 DETAIL-BLAUPAUSE 8.1: FLEXIBLE WÄRME- UND KÄLTEVERSORGUNG EINES GEWERBEAREALS

Detail-Blaupause									
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Energieversorger</li> <li>■ GHD-Betriebe</li> </ul>								
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	Bürogebäude und Rechenzentren benötigen Wärme und/oder Kälte. Die entsprechenden Aggregate werden in der Regel bedarfsgerecht gefahren und mit fossilen Energieträgern befeuert. Der aggregierte Energiebedarf von zentral versorgten Gewerbearealen könnte Flexibilitätspotenzial bieten.								
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Die Integration von Pufferspeichern und strombasierten Anlagen (Durchlauferhitzer, Kompressionskältemaschine) und deren Anbindung an den Strommarkt kann bei einem Überangebot an Strom die Netze entlasten und die Kosten der Energieversorgung senken.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Vollautomatisierung der Fahrplanerstellung und Systemsteuerung unter Berücksichtigung des prognostizierten Bedarfs (Wetterdaten), technischer Vorgaben und Strompreisen</li> <li>■ Einsatz künstlicher Intelligenz und permanent lernender Steuerungs-Algorithmen zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit und des Beitrags zur Netzentlastung</li> <li>■ Einsatz möglichst großer Wasserspeicher und Nutzung von Rohrleitungen als zusätzliches Speichervolumen</li> <li>■ Geringe/volatile Strommarktpreise</li> </ul>								
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td>Haushalte</td> <td><b>GHD</b></td> <td><b>Industrie</b></td> <td>Energie</td> </tr> <tr> <td>Flexibilisierung</td> <td><b>Sektorkopplung</b></td> <td></td> <td>Erzeugung</td> </tr> </table>	Haushalte	<b>GHD</b>	<b>Industrie</b>	Energie	Flexibilisierung	<b>Sektorkopplung</b>		Erzeugung
Haushalte	<b>GHD</b>	<b>Industrie</b>	Energie						
Flexibilisierung	<b>Sektorkopplung</b>		Erzeugung						
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 7 <b>8</b> 9</p> <p>TRL: Technische Komponenten kommerziell verfügbar; IT-Lösung proprietär</p>								
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>									
<b>Innovationsgehalt</b>	Die Nutzung von PtH-Modulen und Wasserspeichern ist nicht neuartig. Innovativ ist die hydraulische Einbindung der Wasserspeicher, die die Aufnahme von Kälte oder Wärme erlaubt. Die automatisierte Systemsteuerung ist innovativ								
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wärme-/Kältebedarf in Form von Warm-/Kaltwasser (Raumheizung, Raumkühlung)</li> <li>■ Wasserspeicher integrierbar in das bestehende Wärme- und Kälteversorgungssystem</li> <li>■ Entsprechende elektrische Anschlussleistung für elektrische Aggregate verfügbar</li> </ul>								

Am „Europäischen Energieforum“ EUREF in Berlin sind 87 Unternehmen mit insgesamt etwa 5.000 Beschäftigten angesiedelt. Für die Energieversorgung des Büroquartiers entwickelte die GASAG Solution Plus in einem WindNODE-Projekt eine bundesweit einmalige PtH/PtC-Anlage. Sie wurde in einer Halle im Zentrum des Areals errichtet. Es ist die erste und bisher einzige Anlage ihrer Art in Deutschland. Die Komponenten wurden in das bestehende Versorgungssystem eingebunden. Abbildung 13 illustriert den Aufbau der Energieversorgung.

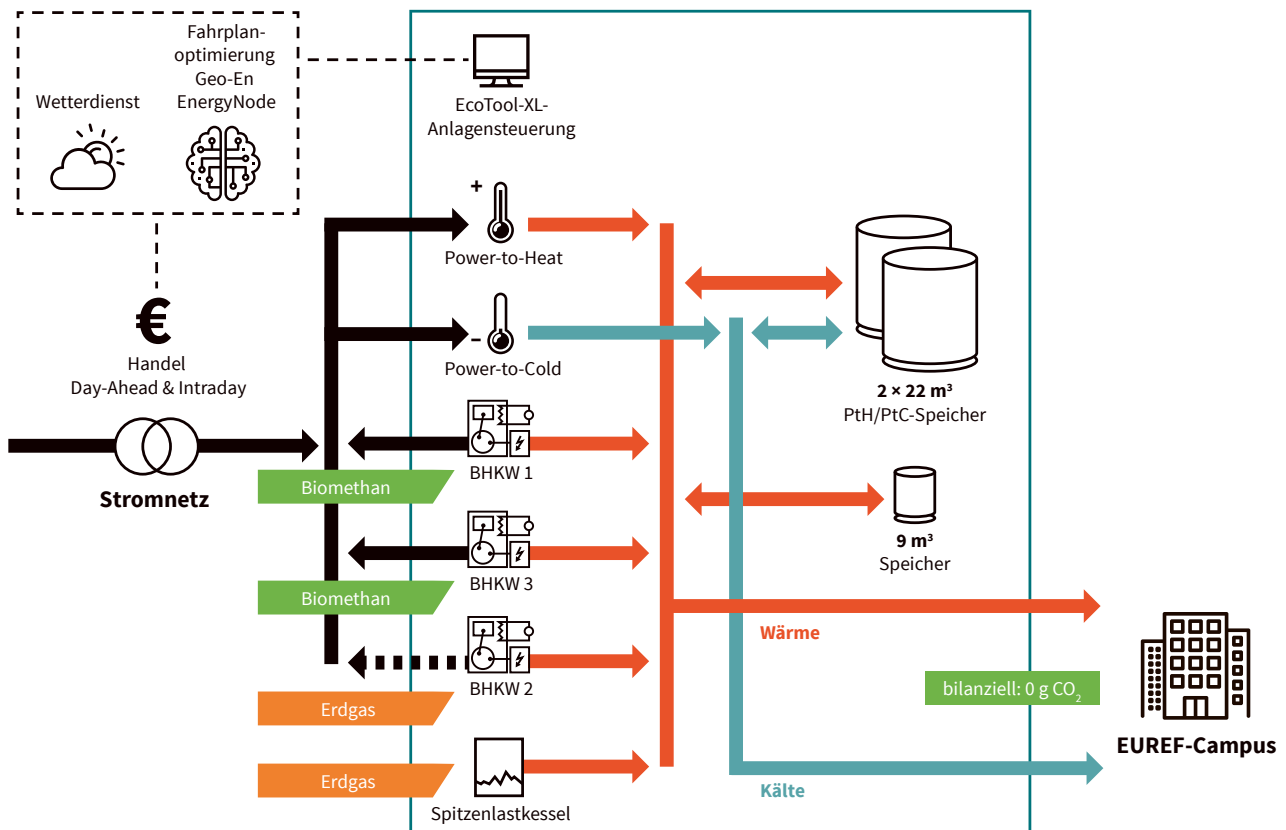


Abbildung 13: Prinzipskizze der Energieversorgung des EUREF-Campus (WindNODE, 2020b)

Aus der Energiezentrale werden sämtliche Gebäude über ein 2,5 Kilometer langes System von Rohrleitungen mit Wärme und Kälte für die Büros und die Kühlung der vorhandenen Computer- und Serverräume versorgt. Zuvor wurde Wärme vor allem durch ein Bio-Methan-BHKW (400 kWel, 431 kWth), ein mit Erdgas betriebenes Eigenstrom-BHKW (50 kWel, 100 kWth) und zwei Erdgas-befeuerte Spitzenlast-Gaskessel mit je 2,1 MW Leistung bereitgestellt. Zwei mit Ökostrom betriebene Kompressionskältemaschinen (je 278 kW Leistungsaufnahme und 1 MW Kälteleistung) decken den ganzjährigen Kältebedarf.

Im Rahmen des Projekts wurden ein Durchlauferhitzer (500 kW) als PtH-Anlage und zwei Wasserspeicher (je 22 m³) errichtet und integriert. Es ist das deutschlandweit erste PtH-/PtC-Speichersystem aus Speichern, die hydraulisch so konzipiert sind, dass für jeden Speicher einzeln festgelegt werden kann, ob er mit Wärme aus den Wärmeerzeugern oder mit Kälte aus den Kompressionskältemaschinen beladen werden soll.

Um die Flexibilität, die Wirtschaftlichkeit und den entlastenden Effekt auf das Stromnetz zu maximieren, wird neben den Wasserkesseln auch ein Teil des Leitungssystem als Speicher genutzt. Durch die Einbindung des Volumens des Nahwärmenetzes verdoppelt sich die Speicherkapazität.
















Vorab wurde das gesamte Energiesystem am EUREF-Campus mit allen Verbräuchen, Kesseln, Speichern sowie den Wärme- und Kälteerzeugern simuliert. Die Steuerung wurde basierend auf historischen Wetter- und Strompreisdaten getestet und optimiert. Die Innovation des Projekts liegt primär in der Steuerung des Systems und weniger in den technischen Komponenten. Es wurde eine proprietäre, automatisierte IT-Lösung mit künstlicher Intelligenz entwickelt („EcoTool“). Die Steuerung berücksichtigt technische Rahmenbedingungen wie die Anlaufzeiten der Komponenten und begrenzt die Zahl von Schaltzyklen, um die Lebensdauer nicht negativ zu beeinflussen. Die Kompressoren benötigen zwei Stunden, um die Wasserspeicher auf einen Minimalwert von 8 °C herunter zu kühlen. Die Erhitzung auf 90 °C benötigt vier Stunden. Die Kapazität genügt für die Zwischenspeicherung von Wärme oder Kälte für wenige Stunden.

Darüber hinaus werden Wetterdaten und Strommarktdaten berücksichtigt, um die strombasierte Kälte- bzw. Wärmeerzeugung in Zeiten geringer Strompreise (< 10 €/MWh) zu legen und vorgelagerte Stromnetze zu entlasten. Die Flexibilität der Anlage und die Menge an Energiewandlern ermöglicht es alle 15 Minuten auf Basis von Markt- und Wetterprognosen die optimale Einsatzreihenfolge der Energiewandler festzulegen. Die Strommengen für den Betrieb der Kältekompressionsmaschinen werden im Voraus am Day-Ahead-Markt beschafft. Am Intraday-Markt besteht Optimierungspotenzial für den Durchlauferhitzer. Die Teilnahme am Regelenergiemarkt wurde nicht verfolgt. Zur Deckung der Bedarfe wird schließlich unter Berücksichtigung aktueller Marktdaten mit einem stochastischen Optimierungsalgorithmus ein möglichst idealer Fahrplan errechnet und auf die Steuerung übertragen. Die Automatisierungstechnik regelt über die gesamte Prozesskette – von der Datenentstehung am Sensor bis zur Automatisierung der Prognosebildung und Fahrplanoptimierung.

Simulationen hatten gezeigt, dass es am Standort wirtschaftlich mehr Sinn macht, beide Speicher das ganze Jahr überwiegend als Kältespeicher zu nutzen. Das liegt daran, dass die Erzeugung von Kälte wirtschaftlich lohnender ist als die strombasierte Wärmeerzeugung, die in dem System intern mit dem geförderten Biomethan-BHKW konkurriert, das Wärme kostengünstig bereitstellt, während die PtH-Anlage mit Abgaben und Umlagen belastet wird. Die optimale Wirtschaftlichkeit der Anlage wird somit erreicht, wenn vorrangig Kältemaschinen genutzt werden, deren Einsatz nicht durch das BHKW ersetzt werden kann.

Es wird erwartet, dass sich die Wirtschaftlichkeit der flexiblen Anlage weiter erhöht, einhergehend mit steigender Preisvolatilität an den Strommärkten. Die gesammelten Erkenntnisse können auf andere Projekte und Anwendungsfelder übertragen werden, beispielsweise Wohnquartiere.

## 3.7 Blaupause 9: Gesteuertes (Ent-)Laden elektrischer Fahrzeugflotten

Blaupause											
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Flottenbetreiber</li> <li>■ Netzbetreiber</li> <li>■ Aggregatoren / VK-Betreiber</li> </ul>										
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	<p>Betriebe elektrifizieren ihre Fahrzeugflotten zunehmend. Neben Elektroautos als Dienstwagen kommen auch elektrische Nutzfahrzeuge wie Zugmaschinen, Flurförderzeuge und Busse zum Einsatz. Der Aufbau und Betrieb der entsprechenden Ladeinfrastruktur an den Standorten geht gegebenenfalls mit einem notwendigen Netzausbau und Engpässen einher.</p>										
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Intelligente Steuerungen und die zeitliche Planung von Ladevorgängen können deren Kosten senken und Engpässe vermeiden oder den Eigenverbrauch lokal erzeugter Elektrizität erhöhen. Bidirektionale Systeme können darüber hinaus elektrische Energie aus den Fahrzeugbatterien zurück in das Netz speisen und dieses aktiv entlasten.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Einbindung der Ladesteuerung in Energiemanagement und Einsatzplanung</li> <li>■ Ermittlung von Zeitfenstern für flexibles Laden</li> <li>■ Anbindung an Strommärkte und Preissignale</li> </ul>										
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td>Haushalte</td> <td><b>GHD</b></td> <td><b>Industrie</b></td> <td><b>Energie</b></td> </tr> <tr> <td>Flexibilisierung</td> <td><b>Sektorkopplung</b></td> <td>Erzeugung</td> <td></td> </tr> </table>	Haushalte	<b>GHD</b>	<b>Industrie</b>	<b>Energie</b>	Flexibilisierung	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung			
Haushalte	<b>GHD</b>	<b>Industrie</b>	<b>Energie</b>								
Flexibilisierung	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung									
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 <b>7</b> 8 9</p> <p>TRL: Prototypische Steuerungssysteme wurden entwickelt und getestet</p>										
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	<table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>■ Flughafen Stuttgart</td> <td>■ SESAM-Farm</td> <td></td> <td></td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ E-Nutzfahrzeugflotte</li> <li>■ E-Busse</li> <li>■ Flex-Vermarktung</li> </ul> </td> </tr> </table>						■ Flughafen Stuttgart	■ SESAM-Farm			<ul style="list-style-type: none"> <li>■ E-Nutzfahrzeugflotte</li> <li>■ E-Busse</li> <li>■ Flex-Vermarktung</li> </ul>
											
■ Flughafen Stuttgart	■ SESAM-Farm			<ul style="list-style-type: none"> <li>■ E-Nutzfahrzeugflotte</li> <li>■ E-Busse</li> <li>■ Flex-Vermarktung</li> </ul>							
<b>Innovationsgehalt</b>	<p>Elektromobilität generell (bspw. im Rahmen der Förderprogramme „Schaufenster Elektromobilität“, „ELEKTRO POWER I +II“, „Elektro-Mobil“) und elektrische Flotten speziell wurden bereits weitreichend erprobt und demonstriert (bspw. „TRADE EVs“, „Fleets Go Green“, „Ecargo“).<sup>17</sup> Für das gesteuerte Laden und Entladen mobiler Batteriespeicher wurden Systeme bereits entwickelt. Die Einbindung in ganzheitliche Energiemanagementsysteme und die Anbindung an Strommärkte und Plattformen sind neuartig.</p>										
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Elektrische Fahrzeugflotte</li> <li>■ Ggf. verfügbare Netzkapazitäten zur Versorgung von Ladepunkten</li> </ul>										

Betriebe elektrifizieren ihre Fahrzeugflotten zunehmend. Neben Elektroautos als Dienstwagen kommen auch elektrische Nutzfahrzeuge wie Zugmaschinen, Flurförderzeuge und Busse zum Einsatz. Der Aufbau und Betrieb der entsprechenden Ladeinfrastruktur an den Standorten geht in der Regel mit einem notwendigen Netzausbau und Engpässen einher. Intelligente Steuerungen und die zeitliche Planung von Ladevorgängen können deren Kosten senken und Engpässe vermeiden oder den Eigenverbrauch lokal erzeugter Elektrizität erhöhen. Bidirekti-

<sup>17</sup> Ein vollständige Liste entsprechender Förderprogramme ist auf [BWMi.de](http://BWMi.de) zu finden.

onale Systeme können darüber hinaus elektrische Energie aus den Fahrzeugbatterien zurück in das Netz speisen und dieses aktiv entlasten.

Im Rahmen von WindNODE untersuchten in Berlin die Wasserbetriebe, die Stadtreinigung sowie die Verkehrsbetriebe die Flexibilisierung der Ladevorgänge elektrischer Fahrzeuge. Die drei Betriebe teilen sich einen Carsharing-Pool, der sukzessive elektrifiziert wird. Die Wasserbetriebe bauten 100 Ladesäulen mit intelligenter Steuerung auf, die 82 Personenkraftwagen (PKW) und sechs Transporter gesteuert laden. Eine entwickelte Software übernimmt die Abrechnung der Ladevorgänge und erfasst Daten wie Kilometer- und Ladestand. In Kombination mit der Einsatzplanung der Fahrzeuge lassen sich Zeiträume definieren, in denen die Ladevorgänge flexibel erfolgen können. Durch die Vernetzung und eine automatische Datenerfassung können Lastverschiebepotenziale an allen Standorten mit Elektrofahrzeugen untersucht werden. In Summe lässt sich ein Flexibilitätspotenzial von 700 kW erschließen.

Die Berliner Stadtreinigung hat anhand 26 steuerbarer Ladepunkte die energiewirtschaftliche Optimierung von Ladevorgängen im Day-Ahead- und Intraday-Markt demonstriert. Dazu wurde eine prototypische Vernetzung mit dem Energiemarkt entwickelt. Dabei wurde ein System entwickelt, das steuerbare Ladestationen an industriellen Standorten in ein automatisiertes Energiemanagement integriert. Das entwickelte Energieeffizienz-Controlling-System verfügt dabei über eine Vermarktungsschnittstelle und kann die Flexibilitäten unter Berücksichtigung betrieblicher Restriktionen und Planungsdaten am Strommarkt und Netzbetreibern anbieten. Neben den Preissignalen am Spotmarkt berücksichtigt die Steuerungssoftware auch die Spitzenlast und minimiert netzentgeltbedingte Kosten. Die Betriebe schätzen, dass die strompreisoptimierte Ladeverschiebung die Kosten der Beladung der Fahrzeuge um bis zu 70 % senken kann.

Die Berliner Verkehrsbetriebe untersuchten netzverträgliches und systemdienliches Laden ihrer elektrischen Fahrzeugflotte, die neben internen Dienstwagen im Jahr 2030 pro Betriebshof 100 bis 300 E-Busse umfassen soll. Eine Ladeinfrastruktur wurde aufgebaut, sieht jedoch aufgrund von Engpässen im vorgelagerten Netz keine Ladevorgänge zur Spitzenlastzeit am frühen Abend vor. Die Flexibilität des Ladens von elektrischen Fahrzeugen im ÖPNV ist stark begrenzt. Zu Spitzenlastzeiten zwingend erforderliche Ladevorgänge werden durch ein Speichersystem aus Second-Life-Batteriespeichern sichergestellt. Der im Zuge der Integration einer elektrischen Fahrzeugflotte erforderliche Netzausbau kann so reduziert werden.

Im Rahmen von DESIGNETZ wurden auf einem Hofgut – der „SESAM-Farm“ – zwei Wechselbatteriespeicher eines Hybridtraktors über ein Energiemanagementsystem eingebunden. Da vollelektrische mobile Arbeitsmaschinen derzeit nur für kleine Leistungen realisierbar sind, kommt ein Hybridfahrzeug des Herstellers John Deere mit einer elektrischen Maschine mit 20 kW zum Einsatz. Im mobilen Einsatz wird einer der Speicher mit 33 kWh Kapazität und 1,2 t Gewicht als Frontbatterie am Traktor angebracht und dient als zusätzliche Energiequelle neben dem Dieselmotor. Im stationären Betrieb ist der jeweils andere Speicher an ein intelligentes, bidirektionales Ladesystem angeschlossen (Combo-2-Stecker-Standard,  $\geq 500$  V DC).

Ein zentraler Energiemanager steuert neben dem Ladesystem auch ein BHKW und eine PV-Anlage sowie energieintensive Verbraucher auf dem Hof. Wichtige Messwerte werden lokal über ein Funknetzwerk (Lo-Ra-WAN) sowie über Powerline übertragen. Das lokale



Energiemanagementsystem wurde auch an das überregionale DESIGNETZ System Cockpit angeschlossen. Das gesteuerte Laden und Entladen der Wechselbatterie erlaubt eine Erhöhung des Eigenverbrauchs bzw. der Vermeidung von Einspeisespitzen aus den eigenen Erzeugungsanlagen, die Reduktion von Leistungsspitzen des Netzbezugs sowie die Einspeisung ins Ortsnetz bei Energieengpässen. Die Belastung ländlicher Verteilnetze kann so reduziert werden.

Der Flughafen Stuttgart betreibt eine vollständig elektrifizierte Bus- und Gepäckschlepperflotte und plant die weitere Elektrifizierung seines Fuhrparks (PKW). Der flexible Strombedarf wird für das Jahr 2050 auf 6 GWh (Schnellladepunkte) plus 26 GWh (normale Ladepunkte) geschätzt. Die Fahrzeugbatterien sollen im Einklang mit der fluktuierenden Stromerzeugung von PV-Anlagen vor Ort geladen werden. Darüber hinaus soll eine intelligente Ladesteuerung Leistungsspitzen vermeiden. Die Einbindung und potenzielle Vermarktung der Flexibilität der intelligenten Ladesteuerung wurde aggregiert mit anderen Flex-Potenzialen der Liegenschaft im Rahmen von C/sells in Simulationsmodellen untersucht mit dem Ziel der Minimierung der Gesamtenergiekosten.

# 4

---

## **Kategorie 3: Sektorkopplung und Flexibilitäten in der öffentlichen Energie- versorgung**

# SEKTORKOPPLUNG UND FLEXIBILITÄTEN IN DER ÖFFENTLICHEN ENERGIEVER- SORGUNG

## 4.1 Kategoriebeschreibung

### PROBLEMSTELLUNG

Während im Stromsektor der Anteil erneuerbarer Energien stetig ansteigt, entwickeln sich die Anteile in den Bereichen Wärme und Gas nur langsam. Dabei ist Biomasse, z. B. genutzt in KWK-Anlagen oder als Biokraftstoff, aufgrund seiner vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten über alle Sektoren hinweg der wichtigste erneuerbare Energieträger in Deutschland (UBA, 2021). Jedoch ist der Ausbau seit einigen Jahren eingeschränkt. Um den Anteil der erneuerbaren Energien über den Stromsektor hinaus weiter zu steigern, werden zunehmend Technologien zur Sektorkopplung in der öffentlichen Energieversorgung eingesetzt. Unter öffentlicher Energieversorgung werden – in Abgrenzung zu den vorangegangenen Kategorien – Anlagen bezeichnet, die nicht in der Hand von Privatpersonen oder Unternehmen außerhalb der Energiewirtschaft sind. Hierzu zählen öffentliche Fernwärmenetze und PtG-Systeme, aber auch KWK-Anlagen, die der Speisung öffentlicher Gas-, Wärme- oder Stromnetze dienen.

Die Sektorkopplung eröffnet somit die Möglichkeit erneuerbaren Strom effizient in den Bereichen Wärme und Kälte, sowie im Verkehrssektor einzusetzen. Hierfür wird elektrische Energie direkt oder indirekt in thermische (PtH) oder chemische Energie (PtG) umgewandelt. Somit kann PtH entscheidend zur Dekarbonisierung des Wärmesektors beitragen und über PtG-Anlagen kann erneuerbarer Strom in allen anderen Energieverbrauchssektoren sowie in Industrieprozessen nutzbar gemacht werden.

Daneben können beide Technologien neue Flexibilitätsoptionen für das Energiesystem bereitstellen. Insbesondere PtG eröffnet die Möglichkeit zur Langzeitspeicherung von erneuerbarer Energie. Der Sektorkopplung kann damit im künftigen Energiesystem eine Schlüsselrolle zukommen. Hierfür ist es allerdings erforderlich, dass bestehende Hemmnisse abgebaut und Voraussetzungen für einen breitflächigen Einsatz geschaffen werden. Dies betrifft die Weiterentwicklung von sektorspezifischen und energieträgerspezifischen Regulierungen, den Aufbau von Infrastrukturen und die Weiterentwicklung von Einzeltechnologien.

Für PtG-Anlagen bedeutet dies, dass die Technologie für verschiedene Größenklassen verfügbar gemacht werden muss, sowie die Effizienz und Wirtschaftlichkeit gesteigert werden müssen. Für einen breitflächigen Einsatz des in PtG-Anlagen hergestellten Wasserstoffs müssten zusätzlich noch Transportkapazitäten und Anwendungstechnologien (weiter-)entwickelt werden. Aber auch die bereits etablierten PtH-Anlagen in Fernwärmesystemen, die in diesem Kapitel im Fokus stehen, müssen für einen flexiblen Einsatz erst befähigt werden (BMW, 2018). Hierbei steht der Informationsaustausch und die intelligente Steuerung zur Flexibilisierung eines Fernwärmesystems mit elektrischer Wärmebereitstellung und Wärmespeicherung im Vordergrund.

Grundsätzlich stellt sich den Akteuren die Herausforderung, dass die Sektoren im derzeitigen Energiesystem relativ unabhängig voneinander mit eigenen Regelwerken, Marktplätzen und Fördermechanismen organisiert sind. Daher stellt der bestehende regulatorische Rahmen ein Hemmnis für den Einsatz von Sektorkopplungstechnologien dar und steht einer integrativen Optimierung des Energiesystems entgegen. Dies betrifft beispielsweise die heterogene Gestaltung von Steuern, Abgaben und Umlagen für die verschiedenen Sektoren und Energieträger (Ausfelder et al., 2017). Hierbei ist insbesondere die Belastung des Strompreises mit staatlich induzierten Preisbestandteilen für den Einsatz von Sektorkopplungstechnologien entscheidend.

## AUSSERHALB VON SINTEG ERREICHTER KENNTNIS- UND ENTWICKLUNGSSTAND

PtG oder auch PtX als Sektorkopplungs- und Speichertechnologie wurde in den letzten Jahren intensiv im Hinblick auf die Integration erneuerbarer Energien im zukünftigen Energiesystem diskutiert und untersucht. Im Jahr 2016 veröffentlichte die dena den „Potenzialatlas Power-to-Gas“ als Ergebnisdokument der 2011 ins Leben gerufenen Strategieplattform Power-to-Gas. Darin werden der aktuelle Forschungsstand der Technologie, sowie mögliche Anwendungsfälle und Herausforderungen ausgeführt (dena, 2016b). Im Fokus der weiteren Entwicklung von PtG-Technologien (oder PtX) liegt insbesondere die Kostendegression, die Effizienz und Flexibilität entsprechender Anlagen, sowie die Erprobung in unterschiedlichen Nutzungspfaden (BMW, 2018). Noch 2016 beschreibt die dena, dass die installierten Anlagen Demonstrationscharakter haben (dena, 2016b). Auf der Internetseite der Strategieplattform sind mittlerweile 68 Vorhaben und Projekte in einer Deutschlandkarte vermerkt.<sup>18</sup> Damit nimmt Deutschland eine Vorreiterrolle im PtG-Bereich ein, wie der Überblick über nationale und internationale Projekte in Thema, Bauer und Sterner (2019) oder in Wulf, Linßen und Zapp (2018) zeigt. Nach Thema et al. (2019) lag die installierte Kapazität der PtG-Projekte in Deutschland bei ca. 60 MW.

Elektrische Heizkessel und Wärmepumpen kommen bereits seit Jahren in Fernwärmesystemen zum Einsatz. Bis zum Jahr 2019 waren in Deutschland bis zu 36 größere PtH-Anlagen mit einer elektrischen Leistung zwischen 0,5 und 60 MW installiert. Die summierte Gesamtleistung lag zwischen 555 und 658 MW (BDEW, 2020; Kühne, 2019). PtH-Anlagen werden aktuell genutzt, um den Betrieb von KWK-Anlagen zu flexibilisieren. In Zeiten von sehr niedrigen oder negativen Strompreisen können die KWK-Anlagen heruntergefahren oder abgeschaltet werden und die Wärmelast kann günstig durch die PtH-Anlage bereitgestellt werden (BDEW, 2020). Zusätzlich werden elektrische Heizkessel seit 2012 auch vermehrt zur Bereitstellung von negativer Regelleistung genutzt und erbaut (Bücken et al., 2017), wobei die Bereitstellung von Regelleistung mit gesunkenen Preisen in den letzten Jahren mittlerweile weniger attraktiv sein sollte.

Großwärmepumpen sind im deutschen Kontext bisher weniger verbreitet, obwohl deren Bedeutung als Sektorkopplungstechnologie in der Fernwärme seit einigen Jahren thematisiert wird (AGFW, 2017; VDE & ETG, 2015). In anderen europäischen Ländern, insbesondere Schweden, werden Großwärmepumpen bereits im großen Maßstab eingesetzt. Eine entsprechende Übersicht liefert David, Mathiesen, Averbalk, Werner und Lund (2017). In Geyer, Hangartner, Lindahl, Pedersen und Betz (2019) werden 39 Demonstrationsprojekte gelistet, die den Einsatz von großtechnischen Wärmepumpen in Fernwärmenetzen in Schweden, dem Vereinigten Königreich, Österreich, Dänemark und der Schweiz zeigen. In

<sup>18</sup> <https://www.powertogas.info/projektkarte/>

Deutschland soll nun mit dem Reallabor „GWP“ (2021-2026) ihr Einsatz ebenfalls an fünf Standorten exemplarisch erprobt werden (AGFW-Projekt GmbH, 2021).

## BLAUPAUSEN AUS SINTEG-PROJEKTEN

In den SINTEG-Schaufenstern wurden unterschiedliche Lösungsansätze für die Sektorkopplung in der Energieversorgung und Flexibilisierung von Erzeugungsanlagen untersucht. Die Schwerpunkte waren dabei die Elektrifizierung der Erzeugung von Wärme zur Einspeisung in Fern- oder Nahwärmenetze, die Flexibilisierung von konventionellen Erzeugungsanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung und der Einsatz von Wasserstoffelektrolyseuren (Power-to-Gas) zur Aufnahme von überschüssigem Strom.

Die in SINTEG entwickelten Lösungen beziehen sich damit auf die Fernwärmeerzeugung, Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und PtG-Technologien. Alle Technologien werden in den beiden bereits beschriebenen Sektoren Haushalte und Gebäude, als auch für den Gewerbe-/Industriesektor eingesetzt oder stehen zunächst unabhängig für sich (Energiesektor).

Die Fernwärmeerzeugung wurde von zahlreichen Schaufensterprojekten als Potenzial identifiziert, um die Wärmeerzeugung von Gebäuden zentral zu flexibilisieren. Schwerpunkt hier ist die Elektrifizierung und die Nutzung von erneuerbaren Energien als Wärmequellen.

KWK-Anlagen sind eine weitere Möglichkeit die Wärmeversorgung von Gebäuden, Gewerbe und Industrie nicht nur zu dekarbonisieren, sondern auch zentral zu flexibilisieren.

Die Nutzung von PtG-Anlagen, vor allem zur Nutzung als Sektorkopplungstechnologie, ist über die letzten Jahre verstärkt in den Fokus der Fachdiskussion gerückt. Die SINTEG-Schaufenster haben hierzu bereits einige Projekte durchgeführt, die sich auf die Erzeugung von Wasserstoff mit Proton Exchange Membran (PEM)-Elektrolyseuren und synthetischem, grünem Methanol aus erneuerbaren Energiequellen fokussieren.

## INNOVATIONSGEHALT

Die Mehrheit der Aktivitäten in den SINTEG-Schaufenstern im Bereich der Flexibilitätspotenziale haben gemein, dass eine Schnittstelle zu Flexibilitätsplattformen zumindest getestet wurde. Hierin liegt ein zentraler Innovationsgehalt der entsprechenden Arbeitspakete bzw. Demonstratoren. Daneben wurde die Vermeidung von Abregelungen im Zusammenhang mit EinsMan-Signalen erfolgreich demonstriert. Die Umstellung von wärmegeführten Betriebsweisen zu strom(-markt-)geführten Betriebsweisen ist gelungen.

Die angewandten Technologien reichen im Sinne von TRL-Stufen von entwickelten Prototypen, insbesondere bei der Flexibilisierung von Wärmenetzen, bis zu dem Einsatz von am Markt verfügbaren Lösungen wie beispielsweise Elektrokesseln. Hier setzte SINTEG neue Maßstäbe im Hinblick auf die Leistungsklasse von PtH-Anlagen.

Darüber hinaus wurden ganzheitliche PtX-Konzepte entwickelt, die eine Reihe und Vielfalt an Anlagen zur Strom-, Wärme- und Gaserzeugung bzw. -nutzung involvierten, welche über die bisherige getrennte Betrachtung von PtG-Anlagen hinausgehen.

## BEDINGUNGEN FÜR ÜBERTRAGBARKEIT

Auch die Übertragbarkeit variiert in ihrer Ausprägung. Der Einsatz von PtH-Anlagen und Wärmespeichern ist von der Topologie und den Kapazitäten der vorhandenen Erzeugungsstruktur, Wärmenetzen und Stromnetzen abhängig. Sektorkopplung macht naturgemäß dort am meisten Sinn, wo durch vorhandene EE-Kapazitäten Netzengpässe bzw. Einsparungen auftreten, die durch zusätzliche elektrische Lasten gezielt gelöst werden können. PtG-Anlagen setzen zudem voraus, dass die Gasinfrastruktur eine Einspeisung erlaubt und/oder es einen Absatzmarkt für den erzeugten Wasserstoff oder weiter aufbereitete Brennstoffe gibt.
















## WEITERE ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN

Die Ertüchtigung und Flexibilisierung von Wärmenetzen wurden in SINTEG vielversprechend untersucht. Entsprechende Analysen und Erprobungen von Komponenten und Steuerungssystemen für Wärmenetze sollten fortgesetzt werden.

Die Flexibilisierung der Erzeugungsanlagen, beispielsweise durch die Anpassung von Betriebspunkten, verschiebt den bisherigen Fokus von Forschung und Entwicklung von dem Wirkungsgrad der Erzeugungsanlage auf die Effizienz und Umweltverträglichkeit des gesamten Energiesystems über die Grenzen der Einzelanlage und des direkten Versorgungsgebietes hinaus. Die Flexibilisierung kann einhergehen mit Effizienzverlusten an der einzelnen Anlage oder auch technische Beeinträchtigungen mit sich bringen. Entsprechende Auswirkungen und deren Minderung oder Vermeidung sollten Gegenstand zukünftiger Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sein.

Der Markt für Wasserstoffelektrolyseure befindet sich im Hochlauf. Forschungs- und Entwicklungsarbeit zur weiteren Reduzierung der Produktionskosten, Verbesserung der technischen Parameter und Nutzungsoptionen in anderen Sektoren ist zielführend. So müssen als nächster Schritt auch größere Anlagen als die in SINTEG genutzten Elektrolyseure (150 – 2.400 kW) untersucht werden. Auch hingehend einer höheren Volllaststundenzahl, um die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen, oder eine Leistungsauslegung angepasst an die Größe des einspeisenden Windparks und/oder der zu erwartenden Netzengpässe.

## 4.2 Blaupause 10: Elektrifizierung der Fernwärmeerzeugung

Blaupause											
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Energieversorger (Fernwärme)</li> <li>■ Industrieunternehmen mit Wärmeerzeugung</li> <li>■ Netzbetreiber</li> </ul>										
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	<p>Fern- und Nahwärmenetze werden in der Regel aus Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung und/oder gegebenenfalls aus Kesseln mit fossilen Brennstoffen versorgt. Letztere kommen häufig zum Einsatz, wenn KWK-Anlagen im Rahmen von EinsMan abgeregelt werden. Der Primärenergiebedarf bei der Verbrennung lässt sich nur bedingt und begrenzt auf erneuerbare Energieträger (Biomasse/Biogas, synthetische Brennstoffe) umstellen. Darüber hinaus besitzt der Wärmesektor eine inhärente Flexibilität, die heute kaum für den Stromsektor nutzbar ist.</p>										
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Die (teilweise) Elektrifizierung der Wärmeerzeugung bietet sich an. Die strombasierte Wärmeerzeugung kann so in Zeiten überschüssigen EE-Stroms verlagert werden.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Lokales, regelmäßiges Stromüberangebot, das die Abregelung von Erzeugungsanlagen (BHKW oder Windkraftanlagen) bedingt, deren Strom direkt in die PtH-Anlage gespeist werden kann</li> <li>■ Anreize vom Strommarkt, d. h. günstige (negative) Preise am Spotmarkt oder attraktive Preise für Regenergie</li> <li>■ Eine redundante Auslegung gewährt die Sicherheit der Wärmeversorgung (BHKW, Brennkessel)</li> <li>■ Wärmespeicher können die Flexibilität des Fernwärmesystems weiter erhöhen</li> </ul>										
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td>Haushalte</td> <td>GHD</td> <td><b>Industrie</b></td> <td><b>Energie</b></td> </tr> <tr> <td>Flexibilisierung</td> <td><b>Sektorkopplung</b></td> <td colspan="2">Erzeugung</td> </tr> </table>	Haushalte	GHD	<b>Industrie</b>	<b>Energie</b>	Flexibilisierung	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung			
Haushalte	GHD	<b>Industrie</b>	<b>Energie</b>								
Flexibilisierung	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung									
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 7 8 <b>9</b></p> <p>TRL: Technologie (Elektrodenkessel und Heizelemente) ausgereift und kommerziell verfügbar</p>										
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	<table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>■ E-Kessel Völklingen</td> <td></td> <td>■ PtH Fernwärme Tarp ■ PtH Fernwärme Karoline ■ PtH Schwarzenbeck</td> <td>■ Power-to-Fernwärme ■ Regionalkraftwerk Uckermark</td> </tr> </table>							■ E-Kessel Völklingen		■ PtH Fernwärme Tarp ■ PtH Fernwärme Karoline ■ PtH Schwarzenbeck	■ Power-to-Fernwärme ■ Regionalkraftwerk Uckermark
											
	■ E-Kessel Völklingen		■ PtH Fernwärme Tarp ■ PtH Fernwärme Karoline ■ PtH Schwarzenbeck	■ Power-to-Fernwärme ■ Regionalkraftwerk Uckermark							
<b>Innovationsgehalt</b>	<p>PtH findet in Deutschland derzeit wenig Einsatz, während sie in Dänemark, wo die Sektorkopplung bereits weiter vorangeschritten ist, großflächig genutzt wird und entsprechend erprobt ist. In WindNODE wurde die größte Anlage ihrer Art in Europa errichtet (120 MW Elektrodenkessel). Die Vermeidung von Abregelungen im Zusammenhang mit EinsMan wurde demonstriert.</p>										
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ PtH-Anlagen (Elektrodenkessel, Speicher mit Heizstäben oder Durchlauferhitzer) integrierbar in die Wärmeversorgungsinfrastruktur (Hydraulik)</li> <li>■ Entsprechende elektrische Anschlussleistung verfügbar</li> </ul>										

Fern- und Nahwärmenetze werden in der Regel aus Anlagen mit KWK und/oder gegebenenfalls aus Kesseln mit fossilen Brennstoffen versorgt. Letztere kommen häufig zum Einsatz, wenn KWK-Anlagen im Rahmen von EinsMan abgeregelt werden. Der Primärenergiebedarf bei der Verbrennung lässt sich nur bedingt und begrenzt auf erneuerbare Energieträger (Biomasse/Biogas, synthetische Brennstoffe) umstellen. Darüber hinaus besitzt der Wärmesektor eine inhärente Flexibilität, die heute kaum für den Stromsektor nutzbar ist. Die (teilweise)

Elektrifizierung der Wärmeerzeugung bietet sich an. Die strombasierte Wärmeerzeugung kann so in Zeiten überschüssigen EE-Stroms verlagert werden.

Die Stadtwerke Flensburg betreiben ein BHKW mit 800 kW elektrischer und 850 kW thermischer Leistung, das vom vorgelagerten Verteilnetzbetreiber häufig im Rahmen von Einspeisemanagement abgeregelt werden muss. Die Wärmeerzeugung zur Versorgung der Fernwärmekunden wurde in der Vergangenheit dann durch einen Heizkessel sichergestellt. Der Kessel wurde im Rahmen von NEW 4.0 durch einen Elektrodenkessel mit 800 kW elektrischer Leistungsaufnahme bzw. Wärmeerzeugung ersetzt. Wenn das BHKW vollständig abzuregeln ist, wird es auf halbe Last heruntergefahren und der Elektrodenkessel nimmt den erzeugten Strom direkt auf und übernimmt die halbe Wärmeerzeugung. In Zeiten starken Wärmebedarfs im Winter wird das BHKW im Falle von Einspeisemanagement gar nicht heruntergefahren und der Elektrodenkessel nimmt bei voller Last die gesamte elektrische Leistung des BHKW auf und verdoppelt die Wärmeerzeugung.

Der Betrieb des Elektrodenkessels erfolgte überwiegend in einem Automatikmodus über die Leittechnik. Hierfür wurden umfangreiche Steuerungs- und Automatisierungsbausteine entwickelt und in Betrieb gesetzt. Der Grundbetrieb setzt ein Einspeisemanagementsignal voraus und den simultanen Betrieb des BHKW. Dieser BHKW-Betrieb ist vorgegeben, da andernfalls ein elektrischer Bezug aus dem vorgelagerten Stromnetz erfolgen würde. Sobald das Einspeisemanagement-Signal vom Netzbetreiber angekommen ist, wird bei vorliegenden Freigabebedingungen sofort der Elektrodenkessel gestartet. Der Start erfolgt innerhalb von einer Minute.

Die Anlage nahm sowohl an Feldtests der NEW 4.0 ENKO-Plattform (siehe Synthesefeld 2) als auch an einem Test mit der EnergiePlattform von HAMBURG ENERGIE teil. Dabei wurde die Möglichkeit einer Flexibilitätsbereitstellung sowie eines schnellen regionalen Intraday-Handels getestet. Im Falle von ENKO haben die Stadtwerke Flensburg am Vortag eine E-Mail mit den gewünschten Herabregelungszeiträumen für die 24 Stunden des Folgetages erhalten und diese in der Leitwarte mit Hilfe eines manuellen Timers umgesetzt. Im Falle der EnergiePlattform wurde über eine Browsermaske der Stromhandel abgeschlossen und anschließend der geänderte Fahrplan an die Schaltwarte manuell übermittelt. In beiden Fällen hat der Schaltmeister den Elektrodenkessel in den manuellen Betrieb versetzt und die entsprechende Laständerung vorgenommen.

Im Rahmen des Verbundkraftwerks Uckermark in WindNODE hat der Nahwärmeversorger Enertrag einen Wärmespeicher mit einer Million Liter Wasser und Heizstäben mit 2 MW Leistung errichtet. Die Gesamtkapazität beträgt 38 MWh. Der Durchlauferhitzer mit 100 Metallstäben ist über einen Transformator und ein 20 kV-Mittelspannungskabel direkt mit einem 800 Meter entfernten Windpark verbunden. Die Anlage wird gänzlich mit andernfalls abzuregelnder Leistung der nahegelegenen 17 Windkraftanlagen mit insgesamt 30 MW Leistung gespeist. Das Abregelsignal des Netzbetreibers führt zur Aktivierung der Heizstäbe. Das Einspeisemanagement erfolgt mehrmals monatlich. Die Aufheizung des Wasserspeichers auf bis zu 95 °C binnen Stunden genügt, um 50 Häuser in dem Ort Nechlin bis zu zwei Wochen lang mit Wärme zu versorgen. Die maximale Ausspeicherleistung in das Nahwärmenetz beträgt 300 kW. Der jährliche Heizbedarf von 700 MWh wird durch 1 % der örtlichen Winderzeugung gedeckt.

Vattenfall Wärme hat an verschiedenen Standorten in Berlin zwei kleine Elektrokessel mit je 6,5 kW Leistung im Rahmen von WindNODE errichtet, einen weiteren Elektrokessel mit 5 MW



und schließlich drei Elektrodenkessel mit je 40 MW. Letztere stellen mit insgesamt 120 MW die größte Anlage dieser Art in Europa dar. Die Kapazität genügt, um im Sommer 360.000 Haushalte mit Warmwasser zu versorgen und im Winter 36.000 Haushalte zu heizen. Die Inbetriebnahme der Großanlage am 380 kV-Übertragungsnetz benötigt eine Vorlaufzeit von 15 Minuten, in der konventionelle Wärmeerzeugungsanlagen ihre Leistung reduzieren. Die kleineren PtH-Anlagen haben deutlich schnellere Reaktionszeiten von 10 Sekunden. Die marktdienliche Kommunikation zwischen Netzbetreiber und Anlagenbetreiber war leicht zu koordinieren, die Präqualifikationen wurden erbracht und es wurden Gebote auf der WindNO-DE-Flexibilitätsplattform abgegeben. Eine Analyse von Strom- und Gaspreisen hat gezeigt, dass während insgesamt 610 Stunden eines Jahres, also 7 % der Zeit, die strombasierte Wärmeerzeugung wirtschaftlich ist.

HanseWerk Natur hat an einem BHKW-Standort im Rahmen von NEW 4.0 einen Elektrodenkessel mit 216 kW Leistung errichtet und für die Teilnahme am Regelenergiemarkt präqualifiziert. Neben dem Neubau eines Elektrodenkessels brachte die HanseWerk Natur ihre vier bereits bestehenden PtH-Anlagen mit 1,8 MW elektrischer Leistung in das Projekt NEW 4.0 mit ein. Zudem wurden zusätzliche Flexibilisierungsmöglichkeiten zur Kopplung des Wärme- und Strommarkts und zur Vergrößerung der Erzeugungsflexibilität eines bestehenden BHKW-Anlagenpools mit vorhandenen Wärmespeichern des Energieversorgers getestet.

Die bisherigen Regelungslogiken der bestehenden BHKW-PtH-Kombinationen waren weitestgehend auf die Regelleistungserbringung abgestellt mit einem beschränkten Nutzen als Flexibilitätsoption. Im Projekt wurde ein übergeordneter Anlagenfahrplan zur Anlagensteuerung etabliert. Dieser Anlagenfahrplan beinhaltet einen für die jeweils ausgewählte Betriebsstrategie optimalen Einsatz der verschiedenen Wärmeerzeuger unter Berücksichtigung unterschiedlicher Prognoseparameter wie Wärmebedarfe und Preissignale. Neben der Befähigung der Anlagen zur Regelenergieerbringung wurde die Anlagensteuerung zu einer automatisierten, marktdienlichen Fahrplanbewirtschaftung befähigt, die ebenfalls eine Bewirtschaftung von Netzengpässen ermöglicht.

Aufbauend auf einem entwickelten Kommunikations- und Vermarktungskonzept wurden ein BHKW und eine angeschlossene PtH-Anlage mit entsprechenden Fahrplanmodulen ausgerüstet und in eine neu geschaffene Ebene im virtuellen Kraftwerk der HanseWerk Natur integriert. Die Maßnahmen ermöglichen neben einem strommarktorientierten Betrieb ebenfalls die Teilnahme am Intraday-Handel. Nach der erfolgreichen Testphase wurden diese und weitere Anlagen in den Regelbetrieb für den strommarktorientierten Betrieb überführt.

Die PtH-Anlagen nahmen an Feldtests der NEW 4.0 ENKO-Plattform teil und ihre Flexibilitätspotenziale wurden mehrfach erfolgreich abgerufen. Die Voraussetzung für eine vollautomatische Bewirtschaftung über eine Flexibilitätsplattform wurde somit geschaffen. Insgesamt wurde mit der automatisierten Bewirtschaftung der BHKW-PtH-Kombinationen durch eingesetzte Prognosesoftware sowie Regelungstechnik die Grundlage geschaffen, PtH-Anlagen sowohl im aktuellen Regulierungsrahmen in Kombination mit einem BHKW sowie auch als eigenständige Anlagen zur Unterstützung der Integration von erneuerbaren Energien einzusetzen.

Im Rahmen von NEW 4.0 hat die Wärme Hamburg GmbH mit einem Investitionsaufwand von rund 6 Mio. Euro einen Elektrodenkessel mit einer Leistung von 45 MW in das Hamburger Fernwärmesystem eingebunden. Die Anlage kann stündlich bis zu 900.000 Liter Wasser auf bis zu 133 °C erhitzen und umwälzen und so 13.500 Wohneinheiten mit Wärme versorgen. Die Anlage benötigt eine 10-minütige Vorlaufzeit und kann anschließend innerhalb von 30
















Sekunden bestimmte Sollleistungswerte erreichen. Der elektrische Anschluss befindet sich auf der 110 kV-Verteilnetzebene. Der flexible Elektrodenkessel wurde über Kommunikationsschnittstellen und Steuerungsprozesse an die ENKO-Plattform von NEW 4.0 angebunden. Zwei Feldtests verliefen erfolgreich, sodass Angebote und Zuschläge über die erarbeitete Kommunikationskette mit der ENKO-Plattform kommuniziert und umgesetzt werden konnten. Angebote erfolgten als Eingabe manueller Fahrpläne in 15-Minuten-Auflösung. Der Abruf bzw. Zuschlag wurde zentral per E-Mail von der Plattform erteilt.

In demselben Vorhaben wurde an anderer Stelle ein Strömungserhitzer mit einer elektrischen Leistung von 550 kW errichtet, um ein Nahwärmenetz zu versorgen. Die Heizelemente sind an das Niederspannungsdrehstromnetz angeschlossen. Die Anlage nahm ebenfalls erfolgreich an den Feldtests mit der Flexibilitätsplattform von NEW 4.0 teil.

Das Energieversorgungsunternehmen STEAG hat an einem Kraftwerksstandort im Saarland, an dem es verschiedene KWK-Anlagen betreibt, im Rahmen von DESIGNETZ einen Elektrodenkessel mit einer Leistung von 20 MW installiert. Die Anlage ist stromseitig an das Mittelspannungsnetz angebunden, erzeugt mit einem Wirkungsgrad von 99,5 % Wärme und speist wärmeseitig in Reihe mit den anderen Wärmeerzeugern über eine Zentralstation in die örtliche „Fernwärmeschiene Saar“ ein. Die PtH-Anlage bietet Flexibilität, indem sie auf ein externes Signal hin die Nachfrageleistung erhöhen oder absenken kann. In DESIGNETZ wird eine Erhöhung der Nachfrage im Bereich zwischen 0,5 und 20 MW als Flexibilitätsband zur Verfügung gestellt. Bei ausreichender Wärmeabnahme ist die Dauer der Leistungsaufnahme theoretisch unbegrenzt verfügbar. Die Leistung des Elektrodenkessels kann im Betrieb je Sekunde um 650 kW geändert werden und die Erbringung von Primärregelleistung ist möglich.

Die Intelligenz der Anlage besteht aus einer eigenständigen Anlagensteuerung vor Ort, einer externen Prognoseerstellung und der Verarbeitung der zusammenlaufenden Daten in der STEAG-Lastzentrale in Essen. Diese übernimmt zentral Datenaufnahme, grafische Auswertung, intelligente Steuerung, Anlagen- und Prozessüberwachung, Fahrplanempfang und automatisierte Fahrplanumsetzung. Zur Berechnung des Fahrplans und des Anlageneinsatzes werden bei der Prognoseermittlung der abgeschätzte Wärmebedarf, Wetterdaten, historische Daten (Standardkurven aus jahrelanger Betriebsführung), sonstige geplante Vermarktungen und die technische Verfügbarkeit verarbeitet. Basierend auf dieser Prognose erfolgt die Vermarktung anhand der Grenzkosten der Anlage. Die Lastzentrale überwacht kontinuierlich die Anlagenzustände und die Steuerung und übernimmt zentral die Verantwortung zur Vermarktung am Regelleistungsmarkt. Die lokale Anlagensteuerung führt eine eigenständige Betriebsführung innerhalb von Betriebsgrenzwerten (unter anderem Volumenstrom, Temperatur, Druck, etc.) durch. Zudem besitzt die Anlage eine eigene Primärregelleistungs-Regelung, damit innerhalb der durch die Lastzentrale vorgegebenen Bandbreiten eine schnelle Bereitstellung möglich ist.

## 4.3 Blaupause 11: Flexibilisierung von KWK-Anlagen

Blaupause											
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Energieversorger (KWK-Betreiber)</li> <li>■ BHKW-Betreiber (z. B. Landwirtschaft)</li> <li>■ Industrieunternehmen mit BHKW</li> <li>■ Netzbetreiber</li> <li>■ VK-Betreiber / Aggregator</li> </ul>										
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	<p>Stromerzeugungsanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung wie BHKW sind meist für einen Grundlastbetrieb bzw. wärmegeführt ausgelegt. Ihre Fähigkeit der Arbeitspunktänderung und Taktung machen sie jedoch zu einer prinzipiell gut geeigneten Flexibilitätsquelle. Die Hebung des Potenzials setzt entsprechende Umrüstungen voraus und kann mit Wirkungsgradeinbußen einhergehen.</p>										
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Die Entkopplung von Wärmebedarf und KWK-Erzeugung bzw. die Fahrplanoptimierung der Anlagen ermöglicht eine netz- bzw. marktdienliche Flexibilitätsbereitstellung. Darüber hinaus können Abregelungen in Engpassregionen vermieden werden.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wärmespeicher erlauben die wirtschaftliche Optimierung der KWK-Anlage</li> <li>■ Speicher sollten möglichst nah an der KWK-Anlage errichtet werden, um Reaktionszeiten und Einflüsse anderer Erzeuger zu minimieren</li> </ul>										
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td>Haushalte</td> <td>GHD</td> <td><b>Industrie</b></td> <td><b>Energie</b></td> </tr> <tr> <td>Flexibilisierung</td> <td>Sektorkopplung</td> <td colspan="2"><b>Erzeugung</b></td> </tr> </table>	Haushalte	GHD	<b>Industrie</b>	<b>Energie</b>	Flexibilisierung	Sektorkopplung	<b>Erzeugung</b>			
Haushalte	GHD	<b>Industrie</b>	<b>Energie</b>								
Flexibilisierung	Sektorkopplung	<b>Erzeugung</b>									
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 <b>7</b> 8 9</p> <p>TRL: Optimierungsmodelle getestet; Wärmespeicher kommerziell verfügbar</p>										
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	<table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>■ Biomasse-BHKW Stausebach</td> <td>■ Fernwärmespeicher</td> <td>■ Biogas-BHKW</td> <td></td> <td>■ KWK-Flex in Fernwärme</td> </tr> </table>						■ Biomasse-BHKW Stausebach	■ Fernwärmespeicher	■ Biogas-BHKW		■ KWK-Flex in Fernwärme
											
■ Biomasse-BHKW Stausebach	■ Fernwärmespeicher	■ Biogas-BHKW		■ KWK-Flex in Fernwärme							
<b>Innovationsgehalt</b>	<p>Die Integration von Wärmespeichern in Wärmenetzen zur Entkopplung von Bedarf und Erzeugung ist bewährte Technik. Die strommarktgetriebene Nutzung der Speicher ist neu. Die Ertüchtigung des Speicherpotenzials des Wärmenetzes (d. h. Rohrsystem, Temperaturvariation) ist neu. Die Integration von BHKW in virtuellen Kraftwerken ist nicht neu, aber die Teilnahme an Flexibilitätsmärkten wurde erstmals erfolgreich demonstriert.</p>										
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Die Topologie des angeschlossenen Wärmenetzes ist ausschlaggebend für den Handlungsspielraum (Wärmelast, saisonale Effekte, Wärmeeinspeicher, Rohrsystem)</li> <li>■ Bei Biogasanlagen gibt die Kapazität des Biogasspeichers Stillstandzeiten im Rahmen von Bereitstellung negativer Flexibilität vor</li> </ul>										

Stromerzeugungsanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung wie BHKW sind meist für einen Grundlastbetrieb bzw. wärmegeführt ausgelegt. Ihre Fähigkeit der Arbeitspunktänderung und Taktung machen sie jedoch zu einer prinzipiell gut geeigneten Flexibilitätsquelle. Die Entkopplung von Wärmebedarf und KWK-Erzeugung bzw. die Fahrplanoptimierung der Anlagen ermöglicht eine netz- bzw. marktdienliche Flexibilitätsbereitstellung. Darüber hinaus können Abregelungen in Engpassregionen vermieden werden.

Am Biomassezentrum Stausebach speisen zwei BHKW mit einer Gesamtleistung von 1,5 MW gemeinsam mit einem Erdgas- und einem Holzkessel in ein Nahwärmenetz ein. Zentrale Wärmespeicher dienen der teilweisen Entkopplung von Wärmebedarf und Wärmeerzeugung in dem System. Zur weiteren Entkopplung und damit Flexibilisierung der Stromerzeugung der BHKW wurde im Rahmen von C/sells die Wärmespeicherfähigkeit des Wärmnetzes analysiert. Ein dynamisches Wärmenetzmodell ergab, dass kleinere Rohrdurchmesser sowie die Variation der Netztemperatur und deren Regelung die Flexibilität des Systems erhöhen können. Die Ergebnisse wurden abstrahiert und in ein Energiemanagementsystem integriert, das die Anlagen steuert und deren Fahrpläne optimiert.

Die Flexibilisierung setzt detaillierte Messungen am Wärmespeicher sowie die Steuerung der Vorlauftemperatur des Wärmenetzes voraus. Der Betrieb der BHKW kann sich in der Folge an den Preissignalen des Spotmarktes oder Regelenergiemarktes orientieren. Die Variation der Wärmenetzvorlauftemperatur bietet ein Flexibilitätspotenzial von etwa 500 kWh und besitzt bei einer Verschiebedauer von drei Stunden einen Speicherwirkungsgrad von 95 %. Die Spitzenwärmelast liegt bei 3,7 MW und der Jahresbedarf bei 5 GWh. Die mechanische Beanspruchung des Netzes durch die Variation der Temperatur kann durch eine Limitierung der Temperaturerhöhung, die dabei nicht sprunghaft, sondern allmählich erfolgt, gemindert werden.

Der Energieversorger STEAG betreibt einen Wärmespeicher mit einer Kapazität von 1 GWh an der Fernwärmeschiene Saar, der über Wärmetauscher in das Netz eingebunden ist. Die thermische Ladeleistung kann zwischen 5 und 50 MW variiert werden. Die maximale Ein- oder Ausspeiseleistung kann bis zu 10 Stunden bereitgestellt werden. Der Speicher diente bisher der Aufnahme von Überschusswärme aus einem Stahlwerk und der Unterstützung der Wärmebereitstellung. Das Zusammenspiel zwischen dem dezentralen Speicher und den KWK-Anlagen, die in das Fernwärmesystem einspeisen, wurde im Rahmen von DESIGNETZ, mit dem Ziel der Flexibilisierung der KWK-Anlagen, untersucht. Die Stabilität und Effizienz des Netzes wurde dabei gesteigert und die Erzeuger können prinzipiell stromgeführt auf Marktsignale reagieren bzw. dem Übertragungsnetzbetreiber Flexibilität anbieten. Die zentrale Leitstelle ermittelt einen Anlagenfahrplan basierend auf Wetterdaten, Wärmebedarfsprognosen und Vermarktungsdaten, der an die Anlagensteuerung vor Ort übermittelt wird. Eine kommunikationstechnische Anbindung an das DESIGNETZ System Cockpit erfolgte nicht.

Die verbundenen KWK-Anlagen können dem Verteilnetz eine negative Flexibilität bereitstellen, d. h. die elektrische Einspeisung erhöhen, wenn sie mehr Wärme erzeugen als nachgefragt wird und die überschüssige Energie im Wärmespeicher aufgenommen werden kann. Bei Bereitstellung positiver Flexibilität wird der Wärmebedarf zum Teil aus dem Wärmespeicher gedeckt, der entladen wird. In gleicher Höhe reduzieren die KWK-Anlagen die Wärme- und Stromerzeugung. Elektrische und thermische Leistungen von KWK-Anlagen können darüber hinaus durch Änderungen des Betriebspunktes flexibel angepasst werden. Der Wärmespeicher ermöglicht es, basierend auf Preissignalen am Strommarkt, die Betriebspunkte entlang begrenzender Kurven zu ändern und somit zusätzliche Flexibilität für den Stromsektor zu heben. Die Mehr- oder Minderwärmeerzeugung wird vom Wärmespeicher ausgeglichen.




In der enera-Modellregion, in der der Ausbau der Erzeugungskapazitäten mit erneuerbaren Energien dem Netzausbau vorausseilt, wurden 94 Biogas-BHKW mit einer Gesamtleistung von 46,5 MW in das virtuelle Kraftwerk integriert und an den Flexibilitätsmarkt angebunden. In der Region kommt es häufig zu Bremsungen der BHKW im Rahmen von EinsMan. Die Flexibilisierung der BHKW kann EinsMan-Maßnahmen vermeiden. Die vorhandene

Fernwirktechnik wurde zur Steuerung der Anlagen im virtuellen Kraftwerk genutzt. Messwerte aus der jeweiligen BHKW-Steuerung wurden mittels analogen oder digitalen Prozesssignalen (z. B. ModBus RTU) an die Fernwirkanlage und von dort aus über einen VPN-Tunnel weiter an das virtuelle Kraftwerk gesendet. Die Steuerungsbefehle wurden auf dem gleichen Weg zur Anlagensteuerung gesendet. Im Rahmen eines Feldtests stellten 29 der 94 Anlagen eine Flexibilität von 11 MW bereit. Deaktivierte Fernsteuerungen oder außerplanmäßige Stillstandzeiten durch Störungen minderten die Lieferquote. Dies tritt auf, wenn sich KWK-Anlagenbetreiber kurzfristig dazu umentschieden, keine Flexibilität anzubieten, oder durch Störungen dazu gezwungen waren und die jeweilige Anlage entsprechend nicht auf die Flexibilitätsabrufe reagierte.

Für die Biogas-BHKW hat EWE darüber hinaus eine automatisierte Fahrplanoptimierung erprobt, die auf Basis von individuellen Anlagenrestriktionen eine erlösoptimale, tägliche Einsatzplanung durchführt. Ein mathematisches Modell der Biogasanlage berücksichtigt dabei verschiedene Einflussgrößen wie Zielerzeugung, Anzahl der Motorstarts, Mindestbetriebsstunden sowie technische Parameter wie Motorwirkungsgrad als statische Restriktionen. Zudem wurde die bereits an den Anlagen verbaute Fernwirktechnik in einigen Fällen mit zusätzlichen Datenpunkten für Gas- und Pufferspeicherfüllstände erweitert, die als dynamische Restriktionen in die Optimierung eingehen. Diese Informationen helfen dabei, einen realistischen Fahrplan zu erstellen, den das Biogas-BHKW hinsichtlich der Gaserzeugung und des Wärmebedarfs auch erfüllen kann, anstatt die Einsatzplanung lediglich anhand von Preisprognosen auszurichten. Über Wärmelastprofile kann so der Wärmebedarf berücksichtigt werden, damit die in der Verstromung entstehende Prozesswärme genutzt werden kann und der Betreiber den KWK-Bonus geltend machen kann.

Im Rahmen von WindNODE haben die Stadtwerke Frankfurt (Oder) flexible Fahrweisen von KWK-Anlagen mit kurzen An- und Abfahrzeiten entwickelt. Eine entwickelte Softwarelösung verknüpft und steuert alle am Erzeugungs- und Verteilprozess beteiligten Komponenten modular. So werden eine optimale Fahrweise der Anlagen und ein flexibles Lastmanagement erreicht. Mit dieser neuen Flexibilität kann der Betrieb der Erzeugungsanlagen an die Einleitung von im Umland erzeugtem regenerativem Strom aus Wind- und Solaranlagen und an den Verbrauch im Netzgebiet effektiv angepasst werden. Zusätzliche Messwerte aus dem Fernwärmenetz dienen dabei der Bestimmung der Energiemenge im Fernwärmenetz und ermöglichen die Nutzung des Wärmenetzes als Energiespeicher.

## 4.4 Blaupause 12: Power-to-Gas

Blaupause											
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Energieversorger</li> <li>■ CO<sub>2</sub>-Emittenten (Betreiber von Kraftwerken, Stahlwerken, Zementöfen, Raffinerien etc.)</li> <li>■ Netzbetreiber</li> <li>■ Wasserstoffabnehmer (Gasanbieter, Industrie, Transport)</li> </ul>										
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	<p>In Abwesenheit ausreichender, lokaler Speichermöglichkeiten oder Übertragungskapazitäten elektrischer Energie, stellt die Kopplung des Stromsektors mit dem Wärme- und Transportsektor eine vielversprechende Alternative dar, um überschüssigen Strom flexibel zu nutzen. Darüber hinaus ist die Dekarbonisierung anderer Sektoren im Vergleich herausfordernder. Die Konversion elektrischer in chemische Energie durch Wasserstoffelektrolyse ermöglicht die Sektorkopplung, ist jedoch technisch und wirtschaftlich anspruchsvoll, was einer Skalierung bisher im Weg steht.</p>										
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Elektrolyseure zur Herstellung von Wasserstoff wurden in der Nähe von größeren Windparks aufgestellt, um deren volatile Stromspeisung abzufedern. Die Steuerung und Vermarktung der Flexibilität, z. B. an eine lokale Flexplattform, wurde über Steuerboxen von VK-Betreibern realisiert. Mehrere Anlagen beziehen den Strom mittels Direktvermarktung von den Windparks.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Vorgesehener Einsatzzweck und Fahrweise vorab analysieren und Anlagentechnik entsprechend auswählen</li> <li>■ Lokaler Wärmebedarf zur Nutzung der Abwärme</li> </ul>										
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td>Haushalte</td> <td>GHD</td> <td><b>Industrie</b></td> <td><b>Energie</b></td> </tr> <tr> <td>Flexibilisierung</td> <td><b>Sektorkopplung</b></td> <td colspan="2">Erzeugung</td> </tr> </table>	Haushalte	GHD	<b>Industrie</b>	<b>Energie</b>	Flexibilisierung	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung			
Haushalte	GHD	<b>Industrie</b>	<b>Energie</b>								
Flexibilisierung	<b>Sektorkopplung</b>	Erzeugung									
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 7 8 <b>9</b></p> <p>TRL: PEM-Elektrolyseure sind als dominierende Technik kommerziell verfügbar</p>										
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	<table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Methanol</li> <li>■ PtX Mainz</li> <li>■ PtG Ibbenbüren</li> </ul> </td> <td></td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Elektrolyseur Haurup</li> <li>■ Elektrolyseur Brunsbüttel</li> </ul> </td> <td></td> </tr> </table>							<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Methanol</li> <li>■ PtX Mainz</li> <li>■ PtG Ibbenbüren</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Elektrolyseur Haurup</li> <li>■ Elektrolyseur Brunsbüttel</li> </ul>	
											
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Methanol</li> <li>■ PtX Mainz</li> <li>■ PtG Ibbenbüren</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Elektrolyseur Haurup</li> <li>■ Elektrolyseur Brunsbüttel</li> </ul>								
<b>Innovationsgehalt</b>	<p>Power-to-Gas-Technologien werden im Rahmen verschiedener Programme und Initiativen seit einigen Jahren intensiv erprobt. Die Systemeinbindung in ganzheitliche Wärme-Gas-Strom-Konzepte, die über eine getrennt betrachtete PtG-Anlage hinausgehen, und in Flexibilitätsplattformen ist innovativ.</p>										
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Lokal verfügbare (temporär überschüssige) Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien</li> <li>■ Bei Einspeisung in das Erdgasnetz: Beimischungs-/Einspeiseanlage und Gasnetz</li> <li>■ Bei Aufbereitung zu Methan oder Methanol: Kohlenstoffdioxid (bspw. aus einem Kohlekraftwerk)</li> </ul>										

Im Rahmen des Projekts „Windgas Haurup“ in Schaufenster NEW 4.0 hat die Energie des Nordens – ein regionaler Zusammenschluss von ca. 80 Unternehmen, die im nördlichen Schleswig-Holsteinerneuerbare Energien-Anlagen betreiben – in Nähe zur dänischen Grenze einen Elektrolyseur mit einer Nennleistung von 1 MW und einer Überlastfähigkeit bis 1,4 MW errichtet. Die Anlage erzeugt pro Stunde 210 m<sup>3</sup> Wasserstoff bzw. 450 kg pro Tag mit einem Betriebsdruck von 35 bar. Der Systemwirkungsgrad liegt bei 75 %. Zur Einspeisung in die Gastransportleitung, die Deutschland mit Dänemark bidirektional verbindet, wird zunächst Erdgas entnommen, Wasserstoff zu 2 % beigemischt und eingespeist. Der Wasserstoff wird als erneuerbares Gas vermarktet. Bisher nutzte die PtG-Anlage Strom aus Windkraft, der

ohne diese Verwendung abgeregelt werden müsste. Der Strombezug wurde zum Projektende umgestellt auf einen bilateralen Stromliefervertrag (Power Purchase Agreement) mit einem Windpark, der nach 20 Jahren aus der Förderung ausscheidet. Der Elektrolyseur dient dabei als flexible Last zur Integration des Windstroms in das Portfolio des Energie- und Gasversorgers Greenpeace Energy und erreicht etwa 4.000 Volllaststunden im Jahr.

Die Anbindung der flexiblen PtG-Anlage an die NEW 4.0 ENKO-Plattform wurde durch den Anbieter Next Kraftwerke vorgenommen. Die Anlage wurde in den Regelleistungspool integriert. Zur Umsetzung der Strombelieferung und Fahrplanerstellung wurden entsprechende Verträge mit Next Kraftwerke geschlossen. Die Schnittstelle zwischen dem Leitsystem von Next Kraftwerke und der PtG-Anlage erfolgt durch eine Steuerbox (Next Box), die in die übergeordnete Steuerung der Anlage integriert ist. Die Next Box beinhaltet das zur Teilnahme am Regelleistungsmarkt notwendige Modul der Stromnetzfrequenzmessung. Das reibungslose Zusammenspiel der Komponenten der PtG-Anlage übernimmt eine proprietäre, übergeordnete Anlagensteuerung. Sie übernimmt die Kommunikation, Visualisierung und Datenspeicherung zwischen dem Elektrolyseur, der Wasserstoff-Einspeiseanlage und weiterer Anlagenperipherie (z. B. der Abwassertechnik) sowie der Next Box, die den Fahrplan für den Elektrolyseur vorgibt. Im Rahmen eines Feldtests wurden 800 kW über sechs Stunden über die Flexibilitätsplattform erfolgreich abgerufen.

In Ibbenbüren wurde im Rahmen von DESIGNETZ ein Elektrolyseur mit PEM als Flexibilität eingesetzt. Drei Stacks mit je 50 kW am 10 kV-Mittelspannungsnetz können ihre gemeinsame Leistungsaufnahme zwischen 25 und 150 kW aus dem vorgewärmten Betrieb variieren. Über zwei Stunden ist auch ein Überlastbetrieb mit 200 kW möglich. Die maximale kontinuierliche Wasserstoffproduktion beträgt 30 m<sup>3</sup> je Stunde. Mit einem Betriebsdruck von 13 bar kann der Wasserstoff ohne weitere mechanische Verdichtung direkt in das örtliche Erdgasnetz eingespeist werden. Ein Prozessgaschromatograph erfasst und bestimmt die damit verbundene Absenkung des Brennwertes. Die Flexibilität steht das ganze Jahr zur Verfügung und muss lediglich an vier Tagen im Jahr für Wartungsarbeiten vom Netz genommen werden.

Der Strombezug der PtG-Anlage ist über eine Direktvermarktung mit einer Windkraftanlage, die keine finanziellen Förderungen erhält, gestaltet. Die eingespeiste Wasserstoffmenge wird über das dena-Biogasregister nachverfolgt und bilanziell einem benachbarten Erdgas-BHKW zugerechnet. Das BHKW wandelt als abschließendes Glied der Stromspeicherkette den Wasserstoff virtuell bedarfsgerecht in Strom um. Der Gesamtwirkungsgrad des Power-to-Gas-to-Power-Systems wird auf 75 % erhöht, indem die Abwärme sowohl des Elektrolyseprozesses als auch der KWK zur Erdgasvorwärmung in einer benachbarten Gasdruckregel- und Messanlage bzw. für das lokale Fernwärmenetz genutzt wird.

Die PtG-Anlage wurde an das DESIGNETZ System Cockpit angeschlossen. An das Cockpit wurden für die PtG-Anlage statische Flexibilitätswerte übermittelt. Zum Abrufzeitpunkt wurde vom Cockpit eine Führungsgröße (Soll-Leistungswert), über die Netzleitstelle an die lokale Anlagensteuerung weitergegeben. Die PtG-Anlage besitzt eine eigene, lokale Steuerung, die die Steuerbefehle aus der Netzleitstelle umsetzt und den Betriebsstatus sowie Messwerte, wie zum Beispiel H<sub>2</sub>-Konzentration im Erdgasnetz und elektrische Leistung, kontinuierlich an die Leitstelle überträgt.

Die Flexibilität der Anlage ergibt sich aus der momentanen Wasserstoffkonzentration im Erdgasnetz, die in diesem Fall einen maximalen Wert von 1 % betragen kann, und der anliegenden Leistung am Elektrolyseur. Die Flexibilität wird von der PtG-Anlage an die Leitwarte

des Netzbetreibers und weiter an das System Cockpit von DESIGNETZ gemeldet. Von dort aus kann, wieder über die Leitwarte, die gewählte Flexibilität an der PtG-Anlage eingestellt werden. Die positive oder negative Leistungsänderung am Elektrolyseur wird mit einer Leistungsgradienten von ca. 25 kW/s umgesetzt. Die erfolgreichen Abrufttests in Melde- und Steuerrichtung haben gezeigt, dass das umgesetzte Kommunikations- und Steuerungskonzept funktioniert.

Im Rahmen von NEW 4.0 hat Wind to Gas Energy in Schleswig-Holstein eine PtG-Anlage errichtet und in Betrieb genommen. Die Anlage umfasst einen PEM-Elektrolyseur mit einer Nennleistung von 2,4 MW, einen Batteriespeicher mit einer Kapazität von 2,7 MWh und eine Anlage zur Beimischung von Wasserstoff in das Erdgasnetz, die eine Investition von 4,5 Mio. Euro voraussetzte. Der Strom, der die Anlage versorgt, stammt aus einem selbst betriebenen Windpark. Die Anlage kann stündlich 450 m<sup>3</sup> (ca. 40 kg) grünen Wasserstoff erstellen. Über eine Kooperation mit Greenpeace Energy und den Stadtwerken Brunsbüttel wird der eingespeiste Wasserstoff als grünes Erdgasprodukt vermarktet. Daneben konnte mit der Belieferung einer örtlichen Wasserstofftankstelle ein weiterer physischer wie marktlicher Absatzmarkt erschlossen werden. Theoretisch können stündlich zwölf Brennstoffzellenautos mit Wasserstoff aus der PtG-Anlage betankt werden.

Das Gas- und Wärme-Institut Essen hat im Rahmen von DESIGNETZ eine Power-to-Fuel-Versuchsanlage untersucht, die den Wasserstoff aus einem PEM-Elektrolyseur zusammen mit CO<sub>2</sub> aus dem Rauchgas eines Braunkohlekraftwerks zu Methanol aufbereitet. Methanol ist der Grundstoff für eine Vielzahl chemischer Produkte, wie Treibstoffe. Der PEM-Elektrolyseur kann bei seiner maximalen Leistung von 600 kW pro Stunde 120 m<sup>3</sup> Wasserstoff produzieren. Die Last kann binnen Sekunden an das Stromangebot bzw. an Netzengpässe angepasst werden. Auch der angeschlossene Methanol-Reaktor wurde flexibel ausgelegt und kann seine Produktion binnen Minuten anpassen sowie bei Teillast kontinuierlich betrieben werden. Die abgestimmte Auslegung von Elektrolyseur und Reaktor benötigt so keinen Zwischenspeicher.

Die Mainzer Stadtwerke haben in urbanem Raum einen Elektrolyseur mit einer flexiblen Leistungsaufnahme bis 5 MW an das 50 kV-Mittelspannungsnetz angeschlossen. Das Zusammenspiel mit anderen PtX-Technologien und der Erzeugung aus erneuerbaren Energien sowie potenzielle Geschäftsmodelle wurden im Rahmen von DESIGNETZ untersucht. Das Gesamtsystem wurde über eine Schnittstelle des Netzbetreibers („Westnetz-Box“) an einen Datenknoten angeschlossen. Die Schnittstelle wurde mit dem lokalen Energiemanagementsystem und Kraftwerks-Leitsystem der Kraftwerke Mainz-Wiesbaden AG gekoppelt, das die PtG-Anlage steuert.



# 5

---

**Zusammenfassung  
und Handlungs-  
empfehlungen**

# ZUSAMMENFASSUNG UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Die SINTEG-Schaufenster haben erfolgreich Möglichkeiten zur Akquise, Hebung und Einbindung von Flexibilitätspotenzialen und zur Realisierung von Sektorkopplung in den Sektoren Haushalte, Gewerbe, Industrie und öffentliche Energieversorgung demonstriert. Hürden wie dem verzögerten Rollout von SMGWs zum Trotz, konnte SINTEG die technische Umsetzbarkeit unterschiedlicher technologischer Optionen für die Flexibilitätsbereitstellung demonstrieren. Aus den SINTEG-Erfahrungen lassen sich übertragbare Blaupausen ableiten, die als Inspiration für die weitere Umsetzung in der Praxis dienen können. Die erfolgreiche Skalierung der in SINTEG erreichten Ergebnisse wird jedoch an vielen Stellen von der Umsetzung von Handlungsempfehlungen abhängen. Vereinzelt ist auch weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf gegeben, um die immer relevanter werdenden Flexibilitätspotenziale der in SINTEG untersuchten Sektoren heben zu können.

## ÜBERGEORDNET ZEIGTEN DIE SINTEG-PROJEKTE:

- Die Flexibilisierung von Haushaltslasten und von industriellen Prozessen ist in den meisten Fällen technisch gut lösbar. Auch künftige Anforderungen an die Eigenschaften von Flexibilitätspotenzialen können mit vorhandener Technologie meist erfüllt werden. Standardisierung, Aggregation und Digitalisierung sind Voraussetzung für die Erschließung von Flexibilitätspotenzialen.
- Die Erlösmöglichkeiten für Bereitsteller von Flexibilität stehen heute in einem schlechten Verhältnis zu den notwendigen Investitionen in Flexibilisierung. Neben Anpassungen des regulatorischen Rahmens, um Anreize für eine volkswirtschaftlich effiziente Hebung von Flexibilitätspotenzialen sicherzustellen, ist es wichtig, die notwendige Infrastruktur für Flexibilisierung (bspw. IKT) mit anderen Nutzungsmöglichkeiten (Effizienzsteigerung, Optimierung von Energieflüssen, Verbrauchsmonitoring) zu verknüpfen. Durch Mehrfachnutzen lassen sich Geschäftsmodelle für Flexibilität leichter abbilden.
- Egal ob in Haushalten oder der Industrie: die Akquise von Flexibilität gelingt nur mit Partizipation von Flexibilitätsbereitstellern. Frühzeitige und intensive Kommunikation mit relevanten Akteuren wie Gebäudebesitzerinnen und Gebäudebesitzern oder Verantwortlichen in der Produktion ist dafür entscheidend. Möglichen Zielkonflikten (Effizienz vs. Flexibilität; Nutzung für Wärme- vs. Strommarkt) und Bedenken im Hinblick auf den Eingriff in Produktionsprozesse oder Wärmeversorgung kann auf diesem Weg begegnet werden.

Für die einzelnen Sektoren können aus der Ergebnissynthese weitergehende Kernergebnisse und Handlungsempfehlungen identifiziert werden.

## KLEINTEILIGE FLEXIBILITÄT IM HAUSHALTSSEKTOR: DIGITALISIERUNG VORANTREIBEN UND MEHRWERTE NUTZEN

Trotz des geringen Potenzials einzelner Anlagen kann kleinteilige Flexibilität, beispielsweise aus Wärmepumpen oder Elektroautos, zukünftig eine wichtige Rolle bei der Vermeidung von und im Umgang mit lokalen Netzengpässen zukommen. Durch neue Verbraucher entstehen Herausforderungen für das Verteilnetz, denen – ergänzend oder, wo volkswirtschaftlich effi-

zient, als Alternative zum konventionellem Netzausbau – nur mit Flexibilitäten in der Niederspannung begegnet werden kann. Das wachsende Interesse an Flexibilität in Gebäuden wurde in SINTEG in zahlreichen Projekten, besonders im Bereich Wärme, aufgegriffen.

Die Schaufensterprojekte zeigten, dass kleinteilige Flexibilitäten im Haushaltssektor grundsätzlich mit der heutigen Technik gehoben werden können. Weitere Anstrengungen sind jedoch bei der Digitalisierung von Gebäuden und bei der Entwicklung und **Umsetzung von Standards und standardisierten Schnittstellen** zwischen einzelnen Komponenten notwendig. Ohne diese ist eine wirtschaftlich sinnvolle Hebung von kleinteiligem Flexibilitätspotenzial nicht möglich. Konkret müssen Hersteller von Anlagen, wie z. B. von Wärmepumpen oder Wallboxen, kurzfristig Schnittstellen bereitstellen, die eine Ansteuerung der Leistung von außen und das Auslesen des aktuellen Betriebszustands erlauben. Auch Hersteller von EMS auf Haushaltsebene sind gefragt: die Ein- und Ausgänge der EMS müssen mit den Standards der Anlagen abgestimmt sein, um eine bidirektionale Kommunikation zu ermöglichen. Zusätzlich ist es wichtig, dass bei den EMS bereits eine Schnittstelle zur bidirektionalen Kommunikation mit dem SMGW mitgedacht wird. Auch hier sind beide Seiten gefragt – die Entwickler der EMS, aber auch der SMGW bzw. CLS-Steuerbox. Die Weiterentwicklung der Idee des digitalen Netzanschlusses, in dem kleinteilige Flexibilitäten bereits innerhalb des Gebäudes aggregiert und optimiert werden, kann die Hebung von Flexibilitätspotenzialen aus Haushalten beschleunigen. Von der Hebung der Flexibilitätspotenziale einzelner Geräte verschiebt sich der Fokus auf die Hebung der Flexibilität ganzer Gebäude.

Beim Aufbau der **Infrastruktur**, wie Sensorik und Aktorik oder EMS und SMGW, für die Hebung kleinteiliger Flexibilitätspotenziale ist eine **ganzheitliche Betrachtung** notwendig, statt auf die Einbindung einzelner Anlagen (z. B. Batteriespeicher) oder Verbrauchstypen (z. B. nur Wärmeerzeuger oder Wallboxen) abzielen. Die aufgebaute Infrastruktur sollte alle Arten von Anlagen einbinden können. Nur so kann eine **Mehrfachnutzung** realisiert und höheres Flexibilitätspotenzial erschlossen werden. Auch sollte die Infrastruktur von mehreren Akteuren genutzt werden (VNB, VK, Flexibilitätsplattform). Dieses Vorgehen verringert die Investitionskosten zur Erschließung pro Anlage und erhöht durch das höhere Gesamtpotenzial gleichzeitig die Erlösmöglichkeiten.

Kurzfristig wird die Digitalisierung von Haushaltsanlagen vorrangig anderen Nutzungen als dem netzdienlichen Flexibilitätseinsatz dienen. Kunden und Energieversorgungsunternehmen können schon heute den Energieverbrauch monitoren, Energieeffizienzpotenziale heben oder Eigenverbrauchsoptimierung betreiben. Basierend auf diesen **Mehrwerten** kann bereits jetzt die notwendige Infrastruktur zur zukünftigen Hebung von Gebäudeflexibilität aufgebaut werden, ohne dass direkt Abnehmer der Flexibilität vorhanden sein müssen. Die Erlösmöglichkeiten aus der netzdienlichen Flexibilitätsbereitstellung spielen in diesem Fall eine kleinere Rolle, denn die Investitionen in Flexibilisierung werden über die Mehrwerte wie Energieeinsparpotenziale oder Komfortsteigerung bereits (teilweise) amortisiert. Die SINTEG-Quartiersprojekte zeigten, dass durch die Verwendung vorhandener Infrastruktur schon heute technisch und wirtschaftlich sinnvolle Verknüpfungen verschiedener Nutzungsmöglichkeiten (wie Effizienzsteigerungen in der Wärmeversorgung und Flexibilitätsbereitstellung) möglich sind.

Die Ergebnisse der SINTEG-Projekte haben die Bedeutung eines schnellen und unkomplizierten **SMGW Rollouts** im Sinne der gesetzlichen Vorgaben deutlich gemacht, wenn Haushaltslasten wie Wärmepumpen und Elektroautos flexibilisiert werden sollen. Neben dem Rollout im Gebäudebestand ist es wichtig, dass für die eingesetzten SMGW auch die geplanten Funktio-

nalitäten schnellstmöglich zur Verfügung stehen, d. h. durch das BSI zertifiziert werden. Um den Rollout nicht auszubremsten und zu vermeiden, dass installierte SMGW bald veraltet sind, können die nachträglich zertifizierten TAF über Softwareupdates bereitgestellt werden.

Um die Wirtschaftlichkeit der Bereitstellung von Gebäudeflexibilität sicherzustellen, sind weitere **Vergütungsanreize** bzw. der **Abbau regulatorischer Hürden** notwendig. Dazu zählt die Möglichkeit zum Angebot aggregierter Gebäudeflexibilität im Rahmen von Systemdienstleistungen, bspw. über einen einfacheren Zugang zum Regelenergiemarkt für Betreiber virtueller Kraftwerke durch niedrigere Produktgrößen unter 1 M W. In Bezug auf die Umsetzbarkeit der Idee des digitalen Netzanschlusses und der damit verbundenen Aggregation von Gebäudeflexibilität ist zu klären, ob einzelne Anlagen auch zukünftig über einen jeweils eigenen Netzanschluss verfügen müssen. Die Senkung dieser Barrieren muss durch regulatorische Vorgaben, in enger Zusammenarbeit mit Netzbetreibern, EMT und Herstellern, erfolgen. Auch Flexibilitätsmärkte – wie in Synthesefeld 2 dargestellt – können künftig Erlösmöglichkeiten für kleinteilige, aggregierte Flexibilitäten offerieren.

Die Nutzung der Flexibilitäten in Haushalten durch eine Optimierung des Strombezugs wird durch ihren Status als Letztverbraucher erschwert. Die Befreiung von Abgaben und Steuern sollte daher auch ohne separaten Netzanschlusspunkt der einzelnen Anlagen möglich sein (EWI, 2020). Eine Anpassung der Abgaben und Umlagen bei netzdienlichem Verhalten über eine Weiterentwicklung der Netzentgeltssystematik (Consentec & Fraunhofer ISI, 2018) kann zur höheren Wirtschaftlichkeit beitragen.

Die Installation der SMGWs sollte möglichst standardisiert ablaufen, um Skaleneffekte zu erzielen. Hierzu müssen die Steuerboxen standardisiert konfiguriert werden und eine einfache Installation ermöglicht werden. Dies ist ein Hebel, um die aktuell hohen Investitionskosten pro Anlage zu senken. Beim Einbau von SMGW sollten mehrere EMT angelegt werden können, um die wichtige Mehrfachnutzung der Flexibilitäten, aber auch die Nutzung unterschiedlicher Flexibilitätpotenziale über nur ein SMGW zu ermöglichen.

## FLEXIBILITÄTEN IN INDUSTRIE UND GEWERBE: ANREIZE SETZEN UND POTENZIALE HEBEN

Der Industriesektor birgt aufgrund der vorhandenen hohen Lasten und der Möglichkeit zur Dynamisierung von Prozessen große technische Potenziale für Lastverschiebung. Auch die Elektrifizierung thermischer Prozesse (PtH) kann zur Bereitstellung von Flexibilität für Stromnetze und -märkte einen Beitrag leisten. Mit Ausnahme der Projekte zur Flexibilisierung kontinuierlicher Produktionsprozesse (Lichtbogenofen und Elektrolyseverfahren), baute die Mehrheit der SINTEG-Aktivitäten auf dem Stand der Technik auf. Verfügbare Komponenten und Lösungen konnten in SINTEG erfolgreich im Flexibilitätseinsatz erprobt und in Flexibilitätsmechanismen eingebunden werden.

Die SINTEG-Ergebnisse zeigen, dass **Querschnittstechnologien** wie beispielsweise Lüftungsanlagen in industriellen und gewerblichen Gebäuden flexibilisiert werden können, indem die jeweilige Anlagensteuerung um eine Steuerbox mit Schnittstellen zu einem VK-Betreiber oder Flexibilitätsmarkt erweitert wird. Ein ausgereiftes, umfassendes Lastmanagement (Produktionsplanung, Verfügbarkeit elektrischer Leistung) und Energiemanagementsystem mit entsprechender Datenerfassung und Verbrauchsprognosen ist zumindest vorteilhaft, zum Teil sogar eine Vorbedingung für die Hebung von Flexibilitätspotenzialen und Sektorkopplung in Gewerbe- und Industriebetrieben.

Der Akquise von Flexibilitäten aus Gewerbe und Industrie stehen verschiedene Hemmnisse gegenüber. Zum einen bestehen bei betroffenen Akteuren wie Produktionsverantwortlichen **Vorbehalte** im Hinblick auf die Kontrolle und Sicherheit von energetischen Prozessen. Zum anderen stehen der mögliche (finanzielle) Nutzen und der (finanzielle) Aufwand für die Flexibilisierung von Produktionsprozessen in einem für den Anwender häufig ungünstigen Verhältnis.

Die Demonstration erfolgreicher **Geschäftsmodelle** in den SINTEG-Projekten zu industriellen Flexibilitäten beschränkte sich daher auf die Senkung von Strombeschaffungskosten durch die Verlagerung des Stromverbrauchs bzw. einen Energieträgerwechsel hin zu Elektrizität in Zeiten niedriger Strompreise am Spotmarkt. Die Vergütung von Flexibilitätsbereitstellung im Rahmen von Regelenergiemärkten oder Flexibilitätsplattformen war in SINTEG meist limitiert auf Feldversuche zur Demonstration der technischen Machbarkeit. Eine Anpassung des regulatorischen Rahmens durch den Gesetzgeber mit zusätzlichen Anreizen für die Flexibilitätsbereitstellung erscheint für die Umsetzung weiterer Geschäftsmodelle daher notwendig.

Abgaben und Umlagen, die dem Stromverbrauch auferlegt sind, hemmen häufig die Wirtschaftlichkeit von Elektrifizierungsmaßnahmen zur Dekarbonisierung von Energieanwendungen. Die Benachteiligung des Stromsektors gegenüber anderen, fossilen Energieträgern stellt ein **Hindernis für die Sektorkopplung** in Industrie und Gewerbe dar. Auch im Hinblick auf die Flexibilisierung von Gewerbe und Industrie ist eine Anpassung der Netzentgeltsystematik notwendig. So könnte beispielsweise sichergestellt werden, dass für netzdienlichen Flexibilitätseinsatz keine Kosten für die Flexibilitätsanbieter (zum Beispiel durch Leistungsentgelte) entstehen. Um Lastverschiebung und Sektorkopplung auch für Systemdienstleistungen besser einsetzbar zu machen, ist eine Vereinfachung entsprechender Präqualifikationsprozesse sowie die ausreichende Vergütung der Flexibilitätsbereitstellung zu prüfen. Die sinnvolle Nutzung von Flexibilität durch die Netzbetreiber könnte unter anderem durch die Anreizregulierung ermöglicht werden, um durch angemessene Flexibilitätsanreize eine volkswirtschaftlich optimale Entscheidung zwischen Investitionen in den Netzausbau und Flexibilitätsnutzung zu ermöglichen.

In der Vergangenheit widmeten sich Forschung und Entwicklung vorrangig der Steigerung der **Effizienz** von Energieanwendungen. Die Flexibilisierung der Anwendungen verschiebt den Fokus von der Energieeffizienz der Einzelanlage auf die Effizienz und Umweltverträglichkeit des gesamten Energiesystems über die Grenzen der Einzelanlage und des Betriebes hinaus. Die Flexibilisierung von Anlagen und Prozessen kann Bedenken zu möglichen Effizienzverlusten an der einzelnen Anlage oder Verschleiß hervorrufen. Entsprechende Auswirkungen und deren Minderung oder Vermeidung sollten daher Gegenstand zukünftiger öffentlich geförderter oder von Unternehmen initiiertes Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sein.

Schließlich ist für die **Akquise** von industriellen Flexibilitäten die frühzeitige Einbindung von Verantwortlichen wie Produktionsleiterinnen und -leitern entscheidend. Bewusstsein zu den vorhandenen Flexibilitätspotenzialen im eigenen Betrieb sowie zu konkreten Auswirkungen auf die Fahrweise von Anlagen muss geschaffen werden. Auch im Bereich der Industrie kann das Herausstellen von Mehrfachnutzen (Digitalisierung im Rahmen von Industrie 4.0, Produktionsplanung und Nutzung von Flexibilität) zur **Akzeptanz** beitragen.

## ÖFFENTLICHE ENERGIEVERSORGUNG: NEUE SEKTORKOPPLUNGSPOTENZIALE ERSCHLIESSEN

PtH, Wärmespeicher und Datenerfassungs- und Prognoseprozesse ermöglichen die Nutzbarmachung von Flexibilitäten des Wärmesektors für den Stromsektor. In den SINTEG-Projekten wurde auch die Einbindung von PtG-Anlagen in das Stromnetz, Strommärkte, Gasnetze und den Absatzmarkt für „grünes Gas“ demonstriert.

Die **Kopplung von Wärme- und Stromsektor** kann durch bewährte Technik bewerkstelligt werden. Auf der Erzeugerseite, insbesondere in der KWK, lag bisher die Steigerung von Wirkungsgraden der Erzeugungsanlagen im Fokus von Forschungs- und Entwicklungsbestrebungen. Die Flexibilisierung der Erzeugungsanlagen, beispielsweise durch die Anpassung von Betriebspunkten, verschiebt den Fokus auf die Effizienz und Umweltverträglichkeit des gesamten Energiesystems. Wie im Bereich Industrie und Gewerbe sollten Analysen zu Auswirkungen einer auf Effizienz, Flexibilität und Dekarbonisierung fokussierten Fahrweise auf Anlagen im Rahmen von praxisnahen Forschungsprojekten weiter untersucht werden.

Wie für andere Flexibilitätpotenziale war auch im Bereich der öffentlichen Energieversorgung die Vergütung von Flexibilitätsbereitstellung im Rahmen von Regelenenergiemärkten oder Flexibilitätsplattformen in SINTEG meist auf Feldversuche zur Demonstration der technischen Machbarkeit limitiert. Tragfähige **Geschäftsmodelle** beschränkten sich auf die Vermeidung von Abregelungen (Einspeisemanagement) durch den Einsatz von zusätzlichen Lasten (PtH), die die andernfalls abzuregelnde Leistung in unmittelbarer Nähe aufnehmen. Der Betrieb von PtH-Anlagen mit Strom aus dem Netz wurde aus Kostengründen (Abgaben, Umlagen) in der Regel nicht verfolgt.

Die beschränkte Umsetzbarkeit von Geschäftsmodellen liegt vor allem im aktuellen **regulatorischen Rahmen** begründet. Die Einstufung von PtH- und PtG-Anlagen als Letztverbraucher und die entsprechende Belastung des Stromverbrauchs durch Abgaben und Umlagen hemmt deren Ausbau und Einsatz. Die Skalierbarkeit über den Forschungs- und Entwicklungskontext hinaus wird durch hohe Strombezugskosten im Vergleich zu wesentlich geringeren Kosten für konventionelle Brennstoffe erschwert. Eine Senkung der Strombezugskosten beim Einsatz von PtH- und PtG-Anlagen im Zusammenhang mit Sektorkopplung oder Flexibilitätsbereitstellung zur Reduzierung operativer Kosten wird von den Schaufenstern gefordert.

Die Integration lokaler und regionaler Energiesysteme über die Sektoren Strom, Gas und Wärme hinweg erfordert die Weiterentwicklung von **Koordinationsmechanismen** und eine Definition der Rollen von Akteuren – insbesondere der Netzbetreiber – die mit dem Unbundling konform ist.

Der Markt für Wasserstoffelektrolyseure befindet sich im Hochlauf. Forschungs- und Entwicklungsarbeit zur weiteren Reduzierung der Produktionskosten für grünen Wasserstoff, zur Verbesserung der technischen Parameter und zur Erfassung von Nutzungsoptionen für Wasserstoff in anderen Sektoren ist zielführend. Für den Hochlauf einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft sind Regelwerke erforderlich, die, wo sinnvoll, die Ertüchtigung zur Wasserstofftauglichkeit von bislang für Methan ausgelegten Endgeräten Gasnetzen fördern.

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Die SINTEG-Schaufenster umfassen verschiedene Regionen in Deutschland (Quelle: BMWi)	20
Abbildung 2: Zusammenführung der Ergebnisse des SINTEG-Programmes in Schaufensterberichten und Schaufenster-übergreifenden Syntheseberichten	21
Abbildung 3: Prozess der SINTEG-Ergebnissynthese	23
Abbildung 4: Vorgehen, um Wissen in den Synthesefeldern zu erschließen	23
Abbildung 5: Definition und Struktur von Kategorien, Blaupausen, Detail-Blaupausen	25
Abbildung 6: Wachsende Flexibilitätslücke bei steigendem Anteil unflexibler Erzeugung (illustrative Darstellung)	28
Abbildung 7: Sektoren in SINTEG	33
Abbildung 8: Angewandte Flex-Technologien in SINTEG	34
Abbildung 9: Struktur des Syntheseberichtes im Synthesefeld 1 (Auszug)	37
Abbildung 10: Mögliche Architekturen des Netzanschlusses von Haushaltsgeräten mittels SMGW und EMS (eigene Darstellung Guidehouse)	66
Abbildung 11: Steuerungsboxen und Schnittstellen einer flexibilisierten Lüftungsanlage (Flughafen Stuttgart, C/sells)	97
Abbildung 12: Prozess der PtH-Einsatzplanung basierend auf dem Intraday-Markt (Beispiel, Darstellung: Guidehouse)	107
Abbildung 13: Prinzipskizze der Energieversorgung des EUREF-Campus (WindNODE, 2020b)	109

# TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht im Rahmen von SINTEG ermittelter Flexibilitätspotenziale in GW	30
Tabelle 2: Heatmap der SINTEG-Aktivitäten (Anzahl je Sektor-Technologie-Kombination)	35
Tabelle 3: Übersicht der identifizierten Erfolgsfaktoren	49
Tabelle 4: Relevanz der einzelnen Maßnahmen und Kriterien für die Entscheidung zur Flex-Bereitstellung bei PV-Besitzern (grafische Darstellung: Guidehouse auf Basis ReFlex - Heilmann et al. 2020)	51



# 6

---

## Literaturverzeichnis

# LITERATURVERZEICHNIS

50Hertz, Amprion, TenneT & TransnetBW (2019). Netzentwicklungsplan Strom 2030, Version 2019. Erster Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/NEP\\_2030\\_V2019\\_1\\_Entwurf\\_Teil1.pdf](https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/NEP_2030_V2019_1_Entwurf_Teil1.pdf)

AGFW (2017). EnEff: Wärme. Einsatz von Wärmespeichern und Power-to-Heat-Anlagen. Forschung und Entwicklung, Heft 4. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.agfw-shop.de/einsatz-waermespeicher-power-to-heat-anlagen.html>

AGFW-Projekt GmbH (2021). Neu: Großwärmepumpen in deutschen Fernwärmenetzen. Start Reallabor der Energiewende GWP. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.energiwendebauen.de/projekt/neu-grosswaermepumpen-in-deutschen-fernwaermenetzen/>

Agora Energiewende (2018). „Überschussstrom“ in Deutschland versus Volllaststunden der EE-Stromerzeugung. Abbildung 4. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://static.agora-energiwende.de/fileadmin/\\_processed\\_/1/f/csm\\_Abb-004\\_c17c52656c.png](https://static.agora-energiwende.de/fileadmin/_processed_/1/f/csm_Abb-004_c17c52656c.png)

Ausfelder, F., Drake, F.-D., Erlach, B., Fishedick, M., Henning, H.-M., Kost, C. et al. (2017). „Sektorkopplung“ - Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft). München: aceteach - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.; Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. - Nationale Akademie der Wissenschaften; Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften e.V. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [http://d-nb.info/1153\\_023679](http://d-nb.info/1153_023679)

Bayernwerk Netz (2021). Steuerbare Verbrauchseinrichtungen. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.bayernwerk-netz.de/de/bayernwerk-netz-gmbh/netzinformation/steuerbare-verbrauchseinrichtungen.html>

BDEW (2019a). Ergebnis der KWSB: Reduktion der Kohleverstromung (Überblick). Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.bdew.de/media/documents/20190603\\_BDEW\\_Reduktion\\_der\\_Kohleverstromung.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/20190603_BDEW_Reduktion_der_Kohleverstromung.pdf)

BDEW (2019b). Zahl der Woche / Über 50 Gigawatt gesicherte Kraftwerksleistung müssen bis 2038 geschaffen werden. Neben Wind- und Solarkraft ist auch die Speichertechnik gefragt. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/zahl-der-woche-ueber-50-gigawatt/>

BDEW (2020). Power-to-Heat. Ein Baustein der Sektorkopplung für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung und zur Systemintegration von Strom aus Erneuerbaren Energien. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.bdew.de/media/documents/Stn\\_20200427\\_Power-to-Heat.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/Stn_20200427_Power-to-Heat.pdf)

Beucker, S. (2017). Vorhaben ProSHAPE: Optimierung von Energiekosten im Quartier durch dezentrales Energiemanagement. J. Pöschk, Energieeffizienz in Gebäuden, 171–176.

Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.borderstep.de/publikation/beucker-s-2017-vorhaben-proshape-optimierung-von-energiekosten-im-quartier-durch-dezentrales-energiemanagement-in-j-poeschk-hrsg-energieeffizienz-in-gebaeuden-jahrbuch-2017-s-17-1-17-6/>

BSI (2020). Allgemeinverfügung zur Feststellung der technischen Möglichkeit zum Einbau intelligenter Messsysteme. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/Marktanalysen/Allgemeinverfuegung\\_Feststellung\\_Einbau\\_01\\_2020.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/Marktanalysen/Allgemeinverfuegung_Feststellung_Einbau_01_2020.pdf?__blob=publicationFile&v=4)

Bücken et al. (2017). Potenziale der Sektorkopplung und Nutzung von Strom aus Erneuerbaren Energien im Wärmebereich in Sachsen-Anhalt. (EEB ENERKO GmbH im Auftrag von Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt., Hrsg.). Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://enerko.de/wp-content/uploads/2017/12/Endbericht\\_PtH\\_web.pdf](https://enerko.de/wp-content/uploads/2017/12/Endbericht_PtH_web.pdf)

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (o.J.). Marktanalyse Smart Metering Systems. Zugriff m 27.01.2022. Verfügbar unter [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Standards-und-Zertifizierung/Smart-metering/Marktanalyse/marktanalyse\\_node.html#:~:text=Das%20am%2031.,Einbau%20intelligenter%20Messsysteme%20nicht%20festgestellt.](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Standards-und-Zertifizierung/Smart-metering/Marktanalyse/marktanalyse_node.html#:~:text=Das%20am%2031.,Einbau%20intelligenter%20Messsysteme%20nicht%20festgestellt.)

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2021). Anforderungen an die Interoperabilität der Kommunikationseinheit eines intelligenten Messsystems. Technische Richtlinie BSI TR-03109-1. Version 1.1. Zugriff m 01.02.2022. Verfügbar unter [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/TechnischeRichtlinien/TR03109/TR03109-1.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/TechnischeRichtlinien/TR03109/TR03109-1.pdf?__blob=publicationFile&v=4)

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik & Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021). Stufenmodell zur Weiterentwicklung der Standards für die Digitalisierung der Energiewende. Zugriff m 27.01.2022. Verfügbar unter [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/Stufenmodell/Anhang.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/Stufenmodell/Anhang.pdf?__blob=publicationFile&v=5)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015). Die Energiewende smart voranbringen. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2015/16/Meldung/topthema-die-energiewende-smart-voranbringen.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2018). 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Innovationen für die Energiewende. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/7-energieforschungsprogramm-der-bundesregierung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/7-energieforschungsprogramm-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=4)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021 a). Leitlinien zur sternförmigen Kommunikation (§ 60 MsbG). Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/J-L/leitlinien-zur-sternfoermigen-kommunikation.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/J-L/leitlinien-zur-sternfoermigen-kommunikation.pdf?__blob=publicationFile&v=6)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2021 b). Neues Reallabor der Energiewende startet: Großwärmepumpen koppeln an Wärmenetze. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar

unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/03/20210331-Neues-Reallabor-der-Energiewende-startet-Gro%C3%9Fwaermepumpen-koppeln-an-Waermeretze.html>

Bundesnetzagentur (2017). Flexibilität im Stromversorgungssystem. Bestandsaufnahme, Hemmnisse und Ansätze zur verbesserten Erschließung von Flexibilität. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/BNetzA\\_Flexibilitaetspapier.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/BNetzA_Flexibilitaetspapier.pdf?__blob=publicationFile&v=1)

Bundesnetzagentur (2019). Die Blockchain-Technologie. Potenziale und Herausforderungen in den Netzsektoren Energie und Telekommunikation. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2019/DiskussionspapierBlockchain.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2019/DiskussionspapierBlockchain.pdf?__blob=publicationFile&v=1)

Consentec & Fraunhofer ISI (2018). Optionen zur Weiterentwicklung der Netzentgeltsystematik für eine sichere, umweltgerechte und kosteneffiziente Energiewende. Studie im Auftrag des BMWi. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/options-zur-weiterentwicklung-der-netzentgeltsystematik.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/options-zur-weiterentwicklung-der-netzentgeltsystematik.pdf?__blob=publicationFile&v=6)

David, A., Mathiesen, B., Averfalk, H., Werner, S. & Lund, H. (2017). Heat Roadmap Europe. Large-Scale Electric Heat Pumps in District Heating Systems. *Energies*, 10, 578. <https://doi.org/10.3390/en10040578>

DESIGNETZ (2021). DESIGNETZ Abschlussbericht - Band 1. Lösung. Strategie. Impulse. (E.ON SE (in Vertretung für DESIGNETZ) & Breuer, A., Hrsg.). Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.designetz.de/fil\\_admin/downloads/DESIGNETZ\\_Band\\_1.pdf](https://www.designetz.de/fil_admin/downloads/DESIGNETZ_Band_1.pdf)

Deutsche Energie-Agentur (2016a). Demand Side Management – Unternehmen als Anbieter für Flexibilität im Energiesystem. Ergebnisse aus dem Pilotprojekt Demand Side Management Baden-Württemberg. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://irees.de/wp-content/uploads/2020/06/161222\\_Flyer\\_DSM\\_BW\\_Projektergebnisse.pdf](https://irees.de/wp-content/uploads/2020/06/161222_Flyer_DSM_BW_Projektergebnisse.pdf)

Deutsche Energie-Agentur (2016b). Potenzialatlas Power to Gas. Klimaschutz umsetzen, erneuerbare Energien integrieren, regionale Wertschöpfung ermöglichen. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.dena.de/fil\\_admin/dena/Dokumente/Pdf/9144\\_Studie\\_Potenzialatlas\\_Power\\_to\\_Gas.pdf](https://www.dena.de/fil_admin/dena/Dokumente/Pdf/9144_Studie_Potenzialatlas_Power_to_Gas.pdf)

Deutsche Energie-Agentur (2016c). Roadmap Demand Side Management. Industrielles Lastmanagement für ein zukunftsfähiges Energiesystem. Schlussfolgerungen aus dem Pilotprojekt DSM Bayern. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.dena.de/fil\\_admin/dena/Dokumente/Pdf/9147\\_Infobroschuere\\_Roadmap\\_DSM\\_Bayern.pdf](https://www.dena.de/fil_admin/dena/Dokumente/Pdf/9147_Infobroschuere_Roadmap_DSM_Bayern.pdf)

Dörre, E., Pfaffel, S., Dreher, A., Girón, P., Heising, S. & Wiedemann, K. (2021). Flexibility Reserve of Self-Consumption Optimized Energy Systems in the Household Sector. *Energies*, 14 (11), 3017. <https://doi.org/10.3390/en14113017>

E.ON Energy Solutions (2021). Niedertemperatur ersetzt Kohle-Infrastruktur. Reallabor der Energiewende: TransUrban.NRW. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.energiwendebauen.de/projekt/niedertemperatur-ersetzt-kohle-infrastruktur/>

Ecofys (2016). Flex-Efficiency. Ein Konzept zur Integration von Effizienz und Flexibilität bei industriellen Verbrauchern. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://static.agora-energiwende.de/file\\_admin/Projekte/2015/Flex-Efficiency/Agora\\_Flex-Efficiency\\_Foliensatz\\_Web.pdf](https://static.agora-energiwende.de/file_admin/Projekte/2015/Flex-Efficiency/Agora_Flex-Efficiency_Foliensatz_Web.pdf)

EnergieAgentur NRW (2020). Factsheet Smart-Meter Rollout: Wissenswertes und Diskussionswürdiges. Energiewirtschaft. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.energieagentur.nrw/energiwirtschaft/smartmeter>

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, Kernkompetenzzentrum FIM & Fraunhofer FIT (2019). Ausgangsbedingungen für die Vermarktung von Nachfrageflexibilität. Status-Quo-Analyse und Metastudie. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2019/12/Studie\\_SynErgie\\_Metastudie\\_Zweite-Auflage\\_final.pdf](https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2019/12/Studie_SynErgie_Metastudie_Zweite-Auflage_final.pdf)

European Commission CINEA (2021). Demand Response in Industrial Production. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n\\_proj\\_id=4214](https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=4214)

EWI (2020). Abschlussbericht Forschungsgruppe Smart Energy.NRW. Aggregation von Haushalten in (regionalen) virtuellen Kraftwerken. Regulatorische Rahmenbedingungen und Hürden. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2017/12/vise\\_policy\\_brief\\_aggregation\\_von\\_haushalten\\_in\\_rvwk.pdf](https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2017/12/vise_policy_brief_aggregation_von_haushalten_in_rvwk.pdf)

Focken, U., Bümmerstede, J. & Klobasa, M. (2011). Kurz- bis Mittelfristig realisierbare Marktpotenziale für die Anwendung von Demand Response im gewerblichen Sektor (Fraunhofer ISI, Hrsg.). Karlsruhe. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.tib.eu/en/search?tx\\_tibsearch\\_search%5Baction%5D=download&tx\\_tibsearch\\_search%5Bcontroller%5D=Download&tx\\_tibsearch\\_search%5Bdocid%5D=TI BKAT%3A726677981&cHash=b5dc6ac880d8c4052415b5cf64ce0266#download-mark](https://www.tib.eu/en/search?tx_tibsearch_search%5Baction%5D=download&tx_tibsearch_search%5Bcontroller%5D=Download&tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TI BKAT%3A726677981&cHash=b5dc6ac880d8c4052415b5cf64ce0266#download-mark)  
<https://doi.org/10.2314/GBV:726677981>

Forschungsstelle für Energiewirtschaft (2018a). Die Blockchain-Technologie. Chance zur Transformation der Energiewirtschaft? Berichtsteil Anwendungsfälle. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2017/11/Blockchain\\_Teilbericht\\_UseCases.pdf](https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2017/11/Blockchain_Teilbericht_UseCases.pdf)

Forschungsstelle für Energiewirtschaft (2018b). Smart Meter - Umfeld, Technik, Mehrwert. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/smart-meter-umfeld-technik-mehrwert-ffe-veroeffentlicht-digitalisierungsleitfaden/>

Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (2022). Netzbetriebsmittel. Zugriff m 27.01.2022. Verfügbar unter <https://www.vde.com/de/fnn/arbeitsgebiete/netzbetriebsmittel>

Fraunhofer IFF (2020). Prospektive Flexibilitätsoptionen in der produzierenden Industrie. Lastverschiebepotenziale erkennen, modellieren und vermarkten. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn\\_nbn\\_de\\_0011-n-5994944.pdf](http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-5994944.pdf)

Fraunhofer ISE (2020). Wärmepumpen in Bestandsgebäuden: Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „WPsmart im Bestand“. Abschlussbericht. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://wp-monitoring.ise.fraunhofer.de/wp-smart-im-bestand/download/Berichte/BMWi-03ET1272A-WPsmart\\_im\\_Bestand-Schlussbericht.pdf](https://wp-monitoring.ise.fraunhofer.de/wp-smart-im-bestand/download/Berichte/BMWi-03ET1272A-WPsmart_im_Bestand-Schlussbericht.pdf)

Fraunhofer ISE (2021 a). Nettostromerzeugung in Deutschland 2020. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter <https://energy-charts.info/charts/power/chart.htm?l=de&c=DE&year=2020&interval=year>

Fraunhofer ISE (2021 b). Smartes Quartier Durlach. Im Auftrag vom BMWi. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/sq-durlach.html>

Fraunhofer IWES (2015). The European Power System in 2030: Flexibility Challenges and Integration Benefits. An Analysis with a Focus on the Pentalateral Energy Forum Region. Im Auftrag von Agora Energiewende. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2014/Ein-flexibler-Strommarkt-2030/Agora\\_European\\_Flexibility\\_Challenges\\_Integration\\_Benefits\\_WEB\\_Rev1.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2014/Ein-flexibler-Strommarkt-2030/Agora_European_Flexibility_Challenges_Integration_Benefits_WEB_Rev1.pdf)

Fraunhofer UMSICHT (2021). Nahwärmeinseln mit flexibler Kraft-Wärme-Kopplung im Quartier. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.energiewendebauen.de/forschung-im-dialog/neuigkeiten-aus-der-forschung/detailansicht/nahwaermeinseln-mit-flexibler-kraft-waerme-kopplung-im-quartier/>

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung, OrbiTeam Software, Forschungszentrum Jülich, Ruhr-Universität Bochum, Technische Universität Darmstadt, Universität Stuttgart et al. (o.J.a). Demand Response. In EnArgus-Wiki. Zugriff am 26.01.2022. Verfügbar unter [https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d2214-2/\\*/\\*/\\*Demand%20Response.html?op=Wiki.getwiki&search=Demand%20Response](https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d2214-2/*/*/*Demand%20Response.html?op=Wiki.getwiki&search=Demand%20Response)

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung, OrbiTeam Software, Forschungszentrum Jülich, Ruhr-Universität Bochum, Technische Universität Darmstadt, Universität Stuttgart et al. (o.J.b). Demand Side Management. In EnArgus-Wiki. Zugriff am 26.01.2022. Verfügbar unter [https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d2220-2/\\*/\\*/\\*Demand%20Side%20Management.html?op=Wiki.getwiki&search=Demand%20Response](https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d2220-2/*/*/*Demand%20Side%20Management.html?op=Wiki.getwiki&search=Demand%20Response)

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung, OrbiTeam Software, Forschungszentrum Jülich, Ruhr-Universität Bochum, Technische Universität Darmstadt, Universität Stuttgart et al. (o.J.c). Standardlastprofil. In EnArgus-Wiki. Zugriff am 26.01.2022. Verfügbar unter [https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d12072-2/\\*/\\*/\\*Standardlastprofil.html?op=Wiki.getwiki](https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d12072-2/*/*/*Standardlastprofil.html?op=Wiki.getwiki)

Geyer, R., Hangartner, D., Lindahl, M., Pedersen, S. V. & Betz, M. (2019). IEA Heat Pumping Technologies Annex 47. Heat Pumps in District Heating and Cooling Systems Task 2: Demonstration projects. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter

<https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2019/07/task-2-summary-report.pdf>

Haller, B., Langniß, O., Reuter, A. & Spengler, N. (Hrsg.). (2020). 1,5° CSellsius. Energiewende zellulär - partizipativ - vielfältig umgesetzt. C/sells Buch. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://csells.net/media/com\\_form2content/documents/c12/a357/f122/CSells\\_Buch\\_15GradCSellsius\\_WEB\\_20201209\\_compressed.pdf](https://csells.net/media/com_form2content/documents/c12/a357/f122/CSells_Buch_15GradCSellsius_WEB_20201209_compressed.pdf)

Heilmann, E., Ißler, R., Hoffner, L., Wetzel, H. & Fait, L. (2020). Dokumentation der Haushaltsbefragung im Rahmen des „ReFlex“-Feldtests.

Heitkoetter, W., Schyska, B. U., Schmidt, D., Medjroubi, W., Vogt, T. & Agert, C. (2021). Assessment of the regionalised demand response potential in Germany using an open source tool and dataset. *Advances in Applied Energy*, 1, 100001. Zusatzmaterial unter <https://doi.org/10.5281/zenodo.3988921>. <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2020.100001>

Hoffmann, C. & Meyer, T. (2018). Abschlussbericht - Befragung (SWN). Deskriptive Auswertung der zweiten Befragungswelle. Stadtwerke Norderstedt. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.stadtwerke-norderstedt.de/fileadmin/user\\_upload/Dokumente/NEW\\_4.0/e-fect\\_-\\_Abschlussbericht\\_-\\_Bericht\\_Abschlussbefragung.pdf](https://www.stadtwerke-norderstedt.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/NEW_4.0/e-fect_-_Abschlussbericht_-_Bericht_Abschlussbefragung.pdf)

Innogy SE (2021). SmartQuart: Energiewende im Quartiersmaßstab. Reallabor der Energiewende. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.energiwendebauen.de/projekt/smartquart-energiewende-im-quartiersmassstab/>

Kühne, J. (2019). PtH in der Fernwärme (HT/NT-Netze). Vortrag bei der 5. Dialogplattform Power-to-Heat. [https://www.vde.com/de/veranstaltungen/veranstaltungsuebersicht/veranstaltung-detailseite?id=16218&type=vde|vdb:AGFW\\_e.V](https://www.vde.com/de/veranstaltungen/veranstaltungsuebersicht/veranstaltung-detailseite?id=16218&type=vde|vdb:AGFW_e.V). Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.vde.com/resource/blob/1909198/04869c6852c43bf436a42ee3ebfaod9/5--dialog-plattform-pt-h-vortraege-1--tag-data.zip>

Local Energy Consulting (2020). Akzeptanz und lokale Teilhabe in der Energiewende. Handlungsempfehlungen für eine umfassende Akzeptanzpolitik. Im Auftrag von Agora Energiewende. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020\\_07\\_EE-Akzeptanz/182\\_A-EW\\_Akzeptanz-Energiewende\\_WEB.pdf](https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_07_EE-Akzeptanz/182_A-EW_Akzeptanz-Energiewende_WEB.pdf)

Mueller, M., Reinhard, J., Ostermann, A., Estermann, T. & Köppl, S. (2019). Regionales Flexibilitäts-Potenzial dezentraler Anlagen. Modellierung und Bewertung des regionalen Flexibilitäts-Potenzials von dezentralen Flexibilitäts-Typen im Verteilnetz. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/344541144\\_Regionales\\_Flexibilitats-Potenzial\\_dezentraler\\_Anlagen\\_Modellierung\\_und\\_Bewertung\\_des\\_regionalen\\_Flexibilitats-Potenzials\\_von\\_dezentralen\\_Flexibilitats-Typen\\_im\\_Verteilnetz](https://www.researchgate.net/publication/344541144_Regionales_Flexibilitats-Potenzial_dezentraler_Anlagen_Modellierung_und_Bewertung_des_regionalen_Flexibilitats-Potenzials_von_dezentralen_Flexibilitats-Typen_im_Verteilnetz)

Navigant (2020). Energiewende in der Industrie Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor. Identifikation neuer Anforderungen aus zukünftigem Strommarktdesign – Flexibilität und Eigenerzeugung. Im Auftrag vom BMWi. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiewende-in-der-industrie-ap2b-executive-summary.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiewende-in-der-industrie-ap2b-executive-summary.pdf?__blob=publicationFile&v=4)



NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende (2021). Abschlussbericht zum SINTEG-Schaufenster. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT:1769528636/New-4-0-Norddeutsche-Energiewende-4-0-Abschlussbericht?cHash=69920fce4c89d6565fc23893a960e1b7>

Prognos & Boos, Hummel & Wegerich (2017). Schlussbericht Mieterstrom. Rechtliche Einordnung, Organisationsformen, Potenziale und Wirtschaftlichkeit von Mieterstrommodellen (MSM). Im Auftrag vom BMWi. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-01/20170124\\_prognos\\_schlussbericht\\_mieterstrom.pdf](https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-01/20170124_prognos_schlussbericht_mieterstrom.pdf)

R2b energy consulting GmbH (2015). Strommarktdesign der Zukunft. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate\\_change\\_20\\_2015\\_strommarktdesign\\_der\\_zukunft\\_o.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_20_2015_strommarktdesign_der_zukunft_o.pdf)

Sauer, A., Abele, E. & Buhl, H. U. (Hrsg.). (2019). Energieflexibilität in der deutschen Industrie. Ergebnisse aus dem Kopernikus-Projekt - Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung (SynErgie). Stuttgart: Fraunhofer Verlag. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://synergie-projekt.de/wp-content/uploads/2020/08/urn\\_nbn\\_de\\_0011-n-5659211.pdf](https://synergie-projekt.de/wp-content/uploads/2020/08/urn_nbn_de_0011-n-5659211.pdf)

Schulze, Y., Müller, M., Faller, S., Duschl, W. & Wirtz, F. (2021). Was ist Netzdienlichkeit. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 71 (3).

SMARD (2021). Das Jahr 2020 - Stromerzeugung und Stromhandel im Überblick. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.smard.de/page/home/topic-article/444/202398>

SPD, Die Grünen & FDP (2021). Mehr Fortschritt wagen; Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag\\_2021-2025.pdf](https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf)

Springmann, E., Köppl, S. & Estermann, T. (2020). KOF und ALF – Wie passen Flexibilitätsplattformen mit der Koordinierungsfunktion des FNN zusammen? (FfE Discussion Paper). Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.ffe.de/publikationen/veroeffentlichungen/1000-ffe-discussion-paper-kof-und-alf-%E2%80%93-wie-passen-flexibilit%C3%A4tsplattformen-mit-der-koordinierungsfunktion-des-fnn-zusammen>

Stadt Oldenburg (2021). Vom Fliegerhorst zum Wohnquartier mit innovativem Versorgungskonzept. Klimaneutrales Quartier. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.energiewendebauen.de/forschung-im-dialog/neuigkeiten-aus-der-forschung/detailansicht/vom-fliegerhorst-zum-wohnquartier-mit-innovativem-versorgungskonzept/>

Statistisches Bundesamt (2019). Einkommensspezifische Energieverbräuche privater Haushalte. Eine Berechnung auf Basis der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Methoden/WISTA-Wirtschafts->



[und-Statistik/2019/02/einkommensspezifische-energieverbraeuche-022019.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](#)

Steinbeis-Innovationszentrum EGS (2021). In Esslingen funktioniert Elektrolyse effizienter. Klimaneutrales Quartier. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.energiwendebauen.de/forschung-im-dialog/neuigkeiten-aus-der-forschung/detailansicht/esslinger-quartier-bereitet-eigene-wasserstoffproduktion-vor/>

TenneT & Bayernwerk (2020). Intelligente Steuerung von Wärmepumpen kann Netzengpässe reduzieren. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.tennet.eu/fileadmin/user\\_upload/Company/News/German/Hoerchens/2020/Pressemeldung\\_Flexibilit%C3%A4ten\\_im\\_Stromnetz\\_07072020.pdf](https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/News/German/Hoerchens/2020/Pressemeldung_Flexibilit%C3%A4ten_im_Stromnetz_07072020.pdf)

TH Ingolstadt - ZAF & Forschungszentrum Jülich GmbH (2020). Verbundvorhaben: EnEff: Wärme - NATAR: Netze mit abgesenkter Temperatur als Anbieter von Regelleistung, Teilvorhaben: Simulation und Optimierung. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/?op=enargus.eps2&q=Technische%20Hochschule%20Ingolstadt%20-%20Zentrum%20f%C3%BCr%20Angewandte%20Forschung%20\(ZAF\)&v=10&s=8&id=373038](https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/?op=enargus.eps2&q=Technische%20Hochschule%20Ingolstadt%20-%20Zentrum%20f%C3%BCr%20Angewandte%20Forschung%20(ZAF)&v=10&s=8&id=373038)

Thema, M., Bauer, F. & Sterner, M. (2019). Power-to-Gas. Electrolysis and methanation status review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 112 (7), 775–787. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.030>

Umweltbundesamt (2020a). Anteile der Anwendungsbereiche am Endenergieverbrauch der privaten Haushalte 2008 und 2018. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/3\\_abb\\_anteile-anwendungsbereiche-am-eev-ph\\_2020-07-01.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/3_abb_anteile-anwendungsbereiche-am-eev-ph_2020-07-01.pdf)

Umweltbundesamt (2020b). Energiemanagementsysteme in der Praxis. Vom Energieaudit zum Managementsystem nach ISO 50001: Leitfaden für Unternehmen und Organisationen. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020\\_04\\_07\\_energiemanagementsysteme\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020_04_07_energiemanagementsysteme_bf.pdf)

Umweltbundesamt (2021). Erneuerbare Energien in Zahlen. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick>

UmweltPartnerschaft Hamburg (2017). Wohnquartier „Heidrehmen“ wird energieflexibel. Zugriff m 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.hamburg.de/energieflexibilisierung/9827586/projekt-heidrehmen/>

VDE & ETG (2015). Potenziale für Strom im Wärmemarkt bis 2050. Wärmeversorgung in flexiblen Energieversorgungssystemen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [http://www.energielog2050.de/BASE/DOWNLOADS/VDE\\_ST\\_ETG\\_Warmemarkt\\_RZ-web.pdf](http://www.energielog2050.de/BASE/DOWNLOADS/VDE_ST_ETG_Warmemarkt_RZ-web.pdf)

Weigand, A., Rogg, K., Köppl, S. & Springmann, E. (2021). Digitaler Netzanschluss - Schnittstelle zwischen Gebäude und Stromnetz neu gedacht. *BWK - Das Energie-*

Fachmagazin, 73 (5-6). Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/352439510\\_Digitaler\\_Netzanschluss\\_-\\_Schnittstelle\\_zwischen\\_Gebäude\\_und\\_Stromnetz\\_neu\\_gedacht](https://www.researchgate.net/publication/352439510_Digitaler_Netzanschluss_-_Schnittstelle_zwischen_Gebäude_und_Stromnetz_neu_gedacht)

Weygoldt, L. & Hoffrichter, A. (2018). Einordnung des Potentials von Demand Response in privaten Haushalten. Technische Universität Berlin. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.wip.tu-berlin.de/file\\_admin/fg280/forschung/publikationen/2018/weygoldt\\_hoffrichter\\_2018-Potential\\_demand\\_desponse\\_private\\_haushalte.pdf](https://www.wip.tu-berlin.de/file_admin/fg280/forschung/publikationen/2018/weygoldt_hoffrichter_2018-Potential_demand_desponse_private_haushalte.pdf)

WindNODE (2018). Jahrbuch 2018. Das Schaufenster für intelligente Energie aus dem Nordosten Deutschlands. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.windnode.de/fileadmin/Daten/Downloads/Jahrbuch/WindNODE\\_Jahrbuch\\_2018\\_Web.pdf](https://www.windnode.de/fileadmin/Daten/Downloads/Jahrbuch/WindNODE_Jahrbuch_2018_Web.pdf)

WindNODE (2020a). Flexibilität, Markt und Regulierung. Synthesebericht. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.windnode.de/file\\_admin/Daten/Downloads/FMR\\_ES.pdf](https://www.windnode.de/file_admin/Daten/Downloads/FMR_ES.pdf)

WindNODE (2020b). Jahrbuch 2020. Das Schaufenster für intelligente Energie aus dem Nordosten Deutschlands 2017 - 2020. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.windnode.de/file\\_admin/Daten/Downloads/Jahrbuch/WindNODE\\_Jahrbuch\\_2020\\_Web\\_150dpi.pdf](https://www.windnode.de/file_admin/Daten/Downloads/Jahrbuch/WindNODE_Jahrbuch_2020_Web_150dpi.pdf)

WindNODE (2020c). Smart-Building und Power-to-Heat im konventionellen Gebäude-Gewand. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter <https://www.windnode.de/ergebnisse/windnode-konkret/smart-building/>

Wulf, C., Linßen, J. & Zapp, P. (2018). Review of Power-to-Gas Projects in Europe. 11th International Renewable Energy Storage Conference, Ires 2017, 155 (12), 367–378. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.041>

Zimmermann, T., Tödter, H., Schülting, O. & Kather, A. (2020). Auswirkungen verschiedener Sektorenkopplungspfade auf die elektrische Residuallast in Systemen mit hoher fluktuierender Einspeisung, Technische Universität Hamburg-Harburg. Zugriff am 11.02.2022. Verfügbar unter [https://www.tugraz.at/file\\_admin/user\\_upload/tugrazExternal/4778f047-2e50-4e9e-b72d-e5af373f95a4/file\\_s/lf/Session\\_F2/623\\_LF\\_Zimmermann.pdf](https://www.tugraz.at/file_admin/user_upload/tugrazExternal/4778f047-2e50-4e9e-b72d-e5af373f95a4/file_s/lf/Session_F2/623_LF_Zimmermann.pdf)

# ANHANG

## Übersicht SINTEG-Aktivitäten

- (H) Haushaltssektor
- (G) Gewerbe, Handel und Dienstleistungssektor
- (I) Industriesektor
- (E) Energiesektor
- (F) Flexibilisierung (klassischer) elektrischer Lasten
- (S) Sektorkopplung
- (E/S) Stromerzeugung und/oder Stromspeicherung

Die Quellen sind in der Online-Version der Berichte abrufbar. Zu finden sind diese auf [www.sinteg.de](http://www.sinteg.de)

Aktivität	Kurztitel	Sektor(en)	Technologie(n)	Blaupause(n)	Quellen
<b>C/sells</b>					
<b>Demonstrationszellen „Intelligente und vernetzte Gebäude“</b>					
Zelle 8: Smart-Building-Muster und Automatisiertes Smart-Home Karlsruhe	Living Labs	(H), (G)	(F) Haushaltsgeräte, (E/S) Einspeiseregulung, Dezentrale Batteriespeicher	BP 2 - Hebung Flex in Haushalten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">C/sells Buch (144)</a></li> <li>■ <a href="#">Evaluationsbericht</a></li> </ul>
Zelle 11: Nachbarschaft und Elektromobilität Fellbach	E-Mobilität Fellbach	(H) 1-2-Familienhäuser	(S) Gesteuertes Laden		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">C/sells Buch (150)</a></li> <li>■ <a href="#">Webartikel</a></li> </ul>
BUC 11: Geräte- und Anlagenintegration inkl. Mobilität	Autonomie-Lab Leimen	(H) 1-2-Familienhäuser	Gesteuertes Laden, Smart Grid	BP 2 - Hebung Flex in Haushalten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">C/sells Buch (142)</a></li> </ul>
<b>Demonstrationszellen „Quartiere und urbane Verbünde“</b>					
Zelle 5: Innovationsquartier Franklin	Franklin Quartier	(H) Quartier	(S) Pth, Gesteuertes Laden, (E/S) Virtuelles Kraftwerk/Smart Grid	BP 1 - A kquise von Flexpotenzialen in Haushalten, BP 2 - Hebung Flex in Haushalten, BP 3 - Flex im Quartier	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">C/sells Buch (160)</a></li> <li>■ <a href="#">Ergebnisdokument Energie (17, 24)</a></li> <li>■ <a href="#">Ergebnisdokument E-Mobilität</a></li> <li>■ <a href="#">Poster</a></li> <li>■ <a href="#">Artikel</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a></li> </ul>
Zelle 19: Energiesiedlung Hohentengen	Energiesiedlung Hohentengen	(H) Quartier	(S) Wärmepumpen, (E/S) BHKW, Dezentrale Batteriespeicher		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">C/sells Buch (160)</a></li> </ul>
Zelle 22: Intelligente Wärme München	Intelligente Wärme München	(H) Wohnungen	(F) Querschnittstechnologien, (S) Wärmepumpen, Pth	BP 1 - A kquise von Flex in Haushalten, BP 2 - Hebung Flex in Haushalten, BP 3 - Flex im Quartier	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">C/sells Buch (156)</a></li> <li>■ <a href="#">Interview</a></li> <li>■ <a href="#">Webartikel 1</a></li> <li>■ <a href="#">Webartikel 2</a></li> <li>■ <a href="#">Paper</a></li> <li>■ <a href="#">Stadtwerke</a></li> <li>■ <a href="#">Synthesetreffen 3</a></li> </ul>

Aktivität	Kurztitel	Sektor(en)	Technologie(n)	Blaupause(n)	Quellen
<b>Demonstrationszellen „Gewerbeareale, Microgrids und Anlagenverbünde“</b>					
Zelle 2: Biomassezentrum Stausebach	Biomasse-BHKW Stausebach	(E) KWK	(E/S) BHKW	BP 11 - Flexibilisierung KWK-Anlagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">C/sells Buch (170)</a></li> <li>■ <a href="#">Ergebnisdokument (27)</a></li> </ul>
Zelle 12: Energiewende am Flughafen Stuttgart	Flughafen Stuttgart	(G) Verkehrsbetriebe	(F) Querschnittstechnologien, (S) Gesteuertes Laden	BP 5 - Querschnittstechnologien, BP 9 - Elektrische Fahrzeugflotten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">C/sells Buch (168)</a></li> <li>■ <a href="#">Ergebnisdokument (21)</a></li> <li>■ <a href="#">Ergebnisdokument</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a></li> </ul>
<b>Demonstrationszellen „Lösungen für Verteilnetze“</b>					
Zelle 3: Dillenburg	Dillenburg	(H) 1-2-Familienhäuser	(E/S) Dezentrale Batteriespeicher, Smart Grid		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">C/sells Buch (194)</a></li> <li>■ <a href="#">Webartikel</a></li> <li>■ <a href="#">Präsentation</a></li> <li>■ <a href="#">Synthesetreffen 1</a></li> </ul>
Zelle 15/21: Prosumer-Feldtest-Ulm	Prosumer Ulm	(H) Quartier	(S) PtH, (E/S) Einspeiseregulierung, Dezentrale Batteriespeicher, Smart Grid	BP 2 - Hebung Flex in Haushalten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">C/sells Buch (200)</a></li> </ul>
Zelle 24: Altdorfer Flexmarkt	ALF	(H)	(E/S) Einspeiseregulierung, Großbatteriespeicher, Virtuelles Kraftwerk/Smart Grid	BP 1 - A kquise von Flex in Haushalten, BP 2 - Hebung Flex in Haushalten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">C/sells Buch (184)</a></li> <li>■ <a href="#">Webartikel</a></li> <li>■ <a href="#">Konzept</a></li> <li>■ <a href="#">Use Case</a></li> <li>■ <a href="#">Synthesetreffen 2</a></li> </ul>
Zelle 25: Flexibilität in der Wasserversorgung Cham	Wasser-Flex Cham	(G) Versorgungsbetriebe	(F) Querschnittstechnologien	BP 5 Querschnittstechnologien	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">C/sells Buch (190)</a></li> <li>■ <a href="#">AbschlusskonferenzPoster</a></li> </ul>
Zelle 26: Quartierspeicher Arzberg	Speicher Arzberg	(H) Quartier	(E/S) Großbatteriespeicher		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">C/sells Buch (188)</a></li> </ul>
<b>DESIGNETZ</b>					
<b>Blaupausen „Netz“</b>					
Smart Grid E-Mobility	Smart E-Mobility	(H) Quartier	(S) Gesteuertes Laden	BP 2 - Hebung Flex in Haushalten, BP 3 - Flex im Quartier	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> <li>■ <a href="#">Ergebnisdokument</a></li> </ul>
<b>Blaupausen „Sektorkopplung“</b>					
Elektrodenkessel	E-Kessel Völklingen	(E) Wärmeversorgung	(S) PtH	BP 10 - Elektrifizierung der Fernwärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Ergebnisdokument</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a></li> </ul>
Energiewende in der Stadt	PtX Mainz	(E) Stromversorgung	(S) PtH, PtG	BP 12 - Power-to-Gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Ergebnisdokument</a></li> </ul>

Aktivität	Kurztitel	Sektor(en)	Technologie(n)	Blaupause(n)	Quellen
Power-to-Heat Werne	PtH Werne	(H) 1-2-Familienhäuser, (G) Sonstige	(S) PtH	BP 1 - A kquise von Flex in Haushalten, BP 2 - Hebung Flex in Haushalten	■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a> ■ <a href="#">Ergebnisdokument</a>
MEFCO2	Methanol	(E) Brennstoffe	(S) PtG	BP 12 - Power-to-Gas	■ <a href="#">Ergebnisdokument</a>
Power-to-Gas Ibbenbüren	PtG Ibbenbüren	(E) Stromversorgung, Brennstoffe, KWK	(S) PtG, (E/S) BHKW	BP 12 - Power-to-Gas	■ <a href="#">Ergebnisdokument</a>
<b>Blaupausen „Speicher“</b>					
Energiewabe Rhein-Hunsrück-Kreis	Energiewabe Rhein-Hunsrück	(E) Stromversorgung, (H) 1-2-Familienhäuser	(S) PtH, (E/S) Dezentrale Batteriespeicher, Großbatteriespeicher	BP 2 - Hebung Flex in Haushalten	■ <a href="#">Ergebnisdokument</a>
Fernwärmespeicher Dillingen	Fernwärmespeicher	(E) Wärmeversorgung, KWK	(S) PtH, (E/S) HKW	BP 10 - Elektrifizierung der Fernwärmeversorgung	■ <a href="#">Ergebnisdokument</a>
Dynamische Netzstabilisierung	Dyn. Netzstabilisierung	(E) Stromversorgung	(E/S) Großbatteriespeicher		■ <a href="#">Ergebnisdokument</a> ■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a>
Elche Wettringen	PV-Großbatterie Elche Wettringen	(E) Stromversorgung	(E/S) Großbatteriespeicher		■ <a href="#">Ergebnisdokument</a>
<b>Blaupausen „Demand Side Management“</b>					
SESAM-Farm	SESAM-Farm	(G) Sonstige	(E/S) Dezentrale Batteriespeicher, (S) Gesteuertes Laden	BP 9 - Elektrische Fahrzeugflotten	■ <a href="#">Ergebnisdokument</a> ■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a>
Netzentlastung durch flexible Aluminiumelektrolyse	Flex-Aluminium	(I) NE-Metall	(F) Produktionsprozess	BP 6 - Flexibilisierung Produktionsprozesse	■ <a href="#">Ergebnisdokument</a> ■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a>
Energiestudio Rheinhessen (Galerie Markt/Kunde)	Energiestudio Markt/Kunde	(H) Quartier	(E/S) Dezentrale Batteriespeicher, (S) Wärmepumpen	BP 2 - Hebung Flex in Haushalten, BP 3 - Flex im Quartier	■ <a href="#">Ergebnisdokument</a>
Energiewabe Innovationcity: Mikro-KWK-Anlagen stabilisieren das Stromnetz	Mikro-KWK	(H) 1-2-Familienhäuser	(E/S) BHKW	BP 1 - A kquise von Flex in Haushalten, BP 2 - Hebung Flex in Haushalten	■ <a href="#">Ergebnisdokument</a> ■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a>
Energienetze mit Innovativen Lösungen	EMIL	(H) 1-2-Familienhäuser		BP 2 - Hebung Flex in Haushalten	■ <a href="#">Ergebnisdokument</a>

Aktivität	Kurztitel	Sektor(en)	Technologie(n)	Blaupause(n)	Quellen
-----------	-----------	------------	----------------	--------------	---------

enera

#### AP 5: „Technische Flexibilisierung von Erzeugern, Verbrauchern und Speichern“

TAP 5.1 Dezentrale Erzeugungsanlagen	Biogas-BHKW	(E) KWK	(E/S) BHKW	BP 11 - Flexibilisierung von KWK	■ <a href="#">Webartikel</a>
TAP 5.2 Speicher	Hybridgroßspeicher Varel	(E) Stromversorgung	(E/S) Großbatteriespeicher		■ <a href="#">Webartikel</a>
	Hauspeicher	(H) 1-2-Familienhäuser	(E/S) Dezentrale Batteriespeicher	BP 1 - A kquise von Flex in Haushalten, BP 2 - Hebung Flex in Haushalten	■ <a href="#">Webartikel</a>
TAP 5.4 Andere Verbraucher	Gas-Hybrid-Heizungen	(H) 1-2-Familienhäuser	(S) PtH	BP 1 - A kquise von Flex in Haushalten, BP 2 - Hebung Flex in Haushalten	■ <a href="#">Webartikel 1</a> ■ <a href="#">Webartikel 2</a>
TAP 5.6 E-Verdichter	E-Verdichter	(E) Brennstoffe	(F) Querschnittstechnologien	BP 5 - Querschnittstechnologien	■ <a href="#">Webartikel</a> ■ <a href="#">Synthesetreffen 3</a> ■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a>
TAP 5.7 Industrielle Prozesse	Papierfabrik PtH	(I) Papier	(S) PtH	BP 8 - Integration flexibler PtH-Module	■ <a href="#">Webartikel</a>

#### NEW 4.0

#### AP 2: „Lastmanagement und Speicher“

Demo 3: PtH in Fernwärme	PtH Fernwärme Tarp	(E) Wärmeversorgung	(S) PtH	BP 10 - Elektrifizierung der Fernwärmeversorgung	■ <a href="#">Beschreibung</a> ■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a>
Demo 6: Flexibilisierung KWK-Gasturbinen	KWK-Flex Brunsbüttel	(I) Chemie	(E/S) BHKW, (S) PtH	BP 8 - Integration flexibler PtH-Module	■ <a href="#">Beschreibung</a>
Demo 8 Lastverschiebung Haushaltsbereich	Dynamische Tarife	(H) 1-2-Familienhäuser	(F) Haushaltsgeräte	BP 1 - A kquise von Flex in Haushalten, BP 2 - Hebung Flex in Haushalten	■ <a href="#">Beschreibung</a> ■ <a href="#">Abschlussbericht</a> ■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a>
Demo 10: PtH im Fernwärmenetz	PtH Fernwärme Karoline	(E) Wärmeversorgung	(S) PtH	BP 10 - Elektrifizierung der Fernwärmeversorgung	■ <a href="#">Beschreibung</a> ■ <a href="#">Abschlussbericht</a> ■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a>

Aktivität	Kurztitel	Sektor(en)	Technologie(n)	Blaupause(n)	Quellen
Demo 12: Dynamisierung Aluminiumelektrolyse	Power-to-Aluminium	(I) NE-Metall	(F) Produktionsprozesse	BP 6 - Flexibilisierung Produktionsprozesse	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> <li>■ <a href="#">Synthesetreffen 1+3</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlussbericht</a></li> </ul>
Demo 13: Power-to-Steel	Power-to-Steel	(I) Metall	(S) PtH		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlussbericht</a></li> </ul>
Demo 14: Time-Shift	Elektrolight-bogenofen	(I) Metall	(F) Produktionsprozesse	BP 6 - Flexibilisierung Produktionsprozesse	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlussbericht</a></li> </ul>
Demo 17: Power-to-Steam	Power-to-Steam	(I) NE-Metall	(S) PtH	BP 8 - Integration flexibler PtH-Module	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a></li> </ul>
Demo 18: Strömungserhitzer (PtH)	Strömungserhitzer	(E) Wärmeversorgung	(S) PtH	BP 10 - Elektrifizierung der Fernwärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a></li> </ul>
Demo 20: Power-to-Heat	PtH BHKW Schwarzenbeck	(E) KWK	(S) PtH	BP 10 - Elektrifizierung der Fernwärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> <li>■ <a href="#">Synthesetreffen 2</a></li> </ul>
Eisspeicher Reeseberg	Eisspeicher Reeseberg	(H) Wohnungen	(S) Wärmepumpen, PtH	BP 5 - Querschnittstechnologien	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> </ul>
PtH-Anwendungen	Sasol PtH	(I) Chemie	(S) PtH	Integration flexibler PtH-Module	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> </ul>
Last-Dynamisierung	Worlée PtH	(I) Chemie	(S) PtH	Integration flexibler PtH-Module	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> </ul>

### AP 3: „Erzeugung und Systemdienstleistung“

Demo 2: Elektrolyseur	Elektrolyseur Haurup	(E) Brennstoffe	(S) PtG	BP 12 - Power-to-Gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> <li>■ <a href="#">Windgas-Haurup.de</a></li> <li>■ <a href="#">Webartikel</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a></li> </ul>
Demo 4: EE-Kraftwerk	Erneuerbare Energien Kraftwerk	(E) Stromversorgung	(E/S) Einspeiseregulierung		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> </ul>
Demo 5: Elektrolyseur	Elektrolyseur Brunsbüttel	(E) Brennstoffe	(S) PtG	BP 12 - Power-to-Gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> <li>■ <a href="#">Webartikel</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlussbericht</a></li> </ul>
Demo 7: Batteriespeicher	Batteriespeicher Brunsbüttel	(E) Stromversorgung	(E/S) Großbatteriespeicher		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> </ul>

Aktivität	Kurztitel	Sektor(en)	Technologie(n)	Blaupause(n)	Quellen
Demo 19: Integration Batteriespeicher in WEA	Speicherregelkraftwerk Curslack	(E) Stromversorgung	(E/S) Großbatteriespeicher		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> <li>■ <a href="#">Faktenblatt</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlussbericht</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a></li> </ul>
Weiterentwicklung EEKW (Demo 4)	Erneuerbare Energien Kraftwerk	(E) Stromversorgung	(E/S) Virtuelles Kraftwerk/ Smart Grid		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> </ul>

#### AP 4: „IKT“

Demo 11: PTH mit Nachtspeicherheizungen	DSM Nachtspeicher	(H)	(S) PTH	BP 2 - Hebung Flex in Haushalten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Beschreibung</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlusskonferenz</a></li> </ul>
---	-------------------	-----	---------	----------------------------------	--

### WindNODE

#### AP 2: „Flexible Erzeugung und Regionalkraftwerk“

TAP 2.1 Zukunftsspeicher Energiewende – Systemdienstleistungen der Energiewende	Zukunftsspeicher Energiewende	(E) Stromversorgung	(E/S) Großbatteriespeicher		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018 (48)</a></li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020 (74)</a></li> </ul>
TAP 2.2 Regionalkraftwerk Uckermark	Regionalkraftwerk Uckermark	(E) Stromversorgung, Wärmeversorgung	(E/S) Virtuelles Kraftwerk/ Smart Grid, (S) PTH	BP 10 - Elektrifizierung der Fernwärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Webartikel</a></li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018 (50)</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlusskonferenz/Jahrbuch 2020 (76)</a></li> </ul>
TAP 2.3 Grenzüberschreitende Systemintegration	KWK-Flex in Fernwärme	(E) KWK	(E/S) BHKW	BP 11 - Flexibilisierung von KWK	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018 (52)</a></li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020 (80)</a></li> </ul>
TAP 2.4 Kommunales Energiemanagementsystem (KEMS) in Cottbus	KEMS Cottbus	(E) Stromversorgung	(E/S) Virtuelles Kraftwerk/ Smart Grid		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018 (54)</a></li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020 (82)</a></li> </ul>

#### AP 3: „Effiziente Betriebskonzepte für Stromnetze“

TAP 3.2 SMART Capital Region: optimierte Prognose- und Laststeuerverfahren im Smart Grid	Smart Capital Region	(E) Stromversorgung	(E/S) Virtuelles Kraftwerk/ Smart Grid		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018 (60)</a></li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020 (88)</a></li> </ul>
--	----------------------	---------------------	---	--	--



Aktivität	Kurztitel	Sektor(en)	Technologie(n)	Blaupause(n)	Quellen
TAP 3.3b Dynamische Blindleistung, 110-kV-Ebene	Dynamische Blindleistung	(E) Stromversorgung	(E/S) Einspeiseregulierung		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (62)</li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (90)</li> </ul>
TAP 3.3e Online-Messtechnik für Ortsnetzstationen	Online ONS	(E) Stromversorgung	(E/S) Virtuelles Kraftwerk/ Smart Grid		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (68)</li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (98)</li> </ul>
<b>AP 4: „Vernetzter Endkunde“</b>					
TAP 4.1 Orchestrierung von Flexibilitäten am Markt und als neue Dienstleistung	VK-Geschäftsmodelle	(H) Wohnungen, (E) Stromversorgung	(E/S) Virtuelles Kraftwerk/ Smart Grid	BP 2 - Hebung Flex in Haushalten, BP 5 - Querschnittstechnologien	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (73)</li> <li>■ <a href="#">Synthesetreffen 2</a></li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (10 2)</li> </ul>
TAP 4.2 Steuerung und Vermarktung von Flexibilität in einer Unternehmensgruppe mit Einzelhandel und Produktion	Flex im Einzelhandel	(G) Sonstige	(S) Gesteuertes Laden, (E/S) Dezentrale Batteriespeicher	BP 5 - Querschnittstechnologien, BP 9 - Elektrische Fahrzeugflotten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (75)</li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (10 4)</li> </ul>
TAP 4.3 Anwendungsszenarien intelligenter Messsysteme (iMSys) bei SLP-Kunden	iMSys bei SLP-Kunden	(H) Quartiere	(E/S) Virtuelles Kraftwerk/ Smart Grid	BP 2 - Hebung Flex in Haushalten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (77)</li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (10 6)</li> </ul>
TAP 4.5 Steuerbare Lasten in Haushalten und Smart-Home-Anbindung	Erzeugungsprognosen mit SM Echtzeitdaten	(H) 1-2-Familienhäuser	(E/S) Virtuelles Kraftwerk/ Smart Grid		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (81)</li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (11 2)</li> </ul>
<b>AP 6: „Neue Flexibilitätsoptionen: Sektorkopplung“</b>					
TAP 6.1a Gesteuertes Laden bei einer batteriegetriebenen Nutzfahrzeugflotte	E-Nutzfahrzeugflotte	(G) Versorgungsbetriebe	(S) Gesteuertes Laden, (F) Querschnittstechnologien	BP 9 - Elektrische Fahrzeugflotten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Webartikel</a></li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (93)</li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (130)</li> </ul>
TAP 6.1b Netz- und systemdienliche Ladestrategien für batteriebetriebene Busse im ÖPNV	E-Busse	(G) Verkehrsbetriebe	(S) Gesteuertes Laden	BP 9 - Elektrische Fahrzeugflotten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (95)</li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (134)</li> </ul>
TAP 6.2 PTC-Anwendungen (Power-to-Cold) im Industriemaßstab	Flüssigeispeicher	(I) Sonstige	(F) Querschnittstechnologien	BP 5 - Querschnittstechnologien	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (97)</li> <li>■ <a href="#">Paper</a></li> <li>■ <a href="#">Artikel</a> (23)</li> <li>■ <a href="#">AbschlusskonferenzJahrbuch 2020</a> (136)</li> </ul>

Aktivität	Kurztitel	Sektor(en)	Technologie(n)	Blaupause(n)	Quellen
TAP 6.3a Dezentrale Kleinanlagen – Windspeicher statt Nachtspeicher	Netzdienstliche WP	(H) 1-2-Familienhäuser	(S) Wärmepumpen	BP 2 - Hebung Flex in Haushalten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Webartikel</a></li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (99)</li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (140)</li> </ul>
TAP 6.3c Versorgung des EUREF-Areals mit kombinierter PtH/PtC	EUREF PtH/PtC	(G) Sonstige	(S) PtH	BP 8 - Integration flexibler PtH-Module	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Webartikel</a></li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (101)</li> <li>■ <a href="#">Abschlusskonferenzjahrbuch 2020</a> (144)</li> </ul>
TAP 6.3d Großmaßstäbliche Systemintegration von Power-to-Fernwärme in Berlin	Power-to-Fernwärme	(E) Wärmeversorgung	(S) PtH	BP 10 - Elektrifizierung der Fernwärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (102)</li> <li>■ <a href="#">Abschlusskonferenzjahrbuch 2020</a> (148)</li> </ul>
TAP 6.3e Industrieabwärme und PtH in der Fernwärmeversorgung zur Lastflexibilisierung im Stromnetz	PtH + Wärmespeicher	(E) Wärmeversorgung	(S) PtH, (E/S) BHKW	BP 10 - Elektrifizierung der Fernwärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (104)</li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (152)</li> </ul>

#### AP 7: „Industrielle Lastverschiebepotenziale“

TAP 7.1 »ZIEL« – Algorithmen und Methoden für ein zukunfts-fähiges intelligentes Energie- und Lastmanagement	ZIEL-System	(I) Sonstige	(F) Produktionsplanung	BP 7 - EMS & Produktionsmanagement	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (109)</li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (156)</li> </ul>
TAP 7.2 Intelligentes industrielles Lastmanagement in Berlin	Intelligente Industrie Berlin	(I) Sonstige	(F) Produktionsplanung	BP 7 - EMS & Produktionsmanagement	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Webartikel</a></li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (110)</li> <li>■ <a href="#">Synthesetreffen 3</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlusskonferenzjahrbuch 2020</a> (158)</li> </ul>
TAP 7.3 Lastverschiebepotenziale in der energieintensiven Industrie	Flex-Werkzeugkasten	(I) Sonstige	(F) Querschnittstechnologien, Produktionsprozesse, Produktionsplanung	BP 6 - Flexibilisierung Produktionsprozesse	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (112)</li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (160)</li> </ul>
TAP 7.4 Marktintegration industrieller Flexibilitäten per Schnittstelle zwischen Energiecontrolling und Vermarktungsplattformen	Flex-Vermarktung	(G) Sonstige	(F) Produktionsplanung, (S) Gesteuertes Laden	BP 7 - EMS & Produktionsmanagement, BP 9 - Elektrische Fahrzeugflotte	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (115)</li> <li>■ <a href="#">Synthesetreffen 2</a></li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (164)</li> </ul>

Aktivität	Kurztitel	Sektor(en)	Technologie(n)	Blaupause(n)	Quellen
TAP 7.5 Lastverschiebepotenziale in der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung	Lastmanagement Kläranlage	(G) Versorgungsbetrieb	(F) Produktionsplanung	BP 5 - Querschnittstechnologien, BP 7 - EMS & Produktionsmanagement	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (116)</li> <li>■ <a href="#">Abschlusskonferenzjahrbuch 2020</a> (166)</li> </ul>
TAP 7.6 Kombinierte Anwendung einer Batteriefarm für Netzdienstleistungen und intelligente energetische Steuerung eines großindustriellen Fertigungsstandortes	Batteriefarm	(I) Sonstige	(E/S) Großbatteriespeicher		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (118)</li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (168)</li> </ul>
TAP 7.7 Innovatives Energiedrehkreuz Lausitz	BigBatt	(E) Stromversorgung	(E/S) Großbatteriespeicher		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (120)</li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (172)</li> </ul>
<b>AP 8: „Quartierskonzepte und Smart City“</b>					
TAP 8.1 a Modellregion Zwickau/ Quartier Marienthal	Quartier Marienthal	(H) Quartiere	(F) Haushaltsgeräte, (S) Gesteuertes Laden, (E/S) Einspeiseregulierung, Dezentrale Batteriespeicher, Virtuelles Kraftwerk/ Smart Grid		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (125)</li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (176)</li> </ul>
TAP 8.2 Modellregion Berlin/ Quartier Prenzlauer Berg	Quartier Prenzlauer Berg	(H) 1-2-Familienhäuser	(S) PtH, (E/S) BHKW	BP 1 - A kquise von Flex in Haushalten, BP 2 - Hebung Flex in Haushalten, BP 3 - Flex im Quartier	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Webartikel</a></li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (127)</li> <li>■ <a href="#">Synthesetreffen 1+2</a></li> <li>■ <a href="#">Abschlusskonferenzjahrbuch 2020</a> (180)</li> </ul>
TAP 8.3 Modellregion Dresden/ kommunale Lastverschiebepotenziale	Kommunale Lastverschiebung	(G) Sonstige	(F) Querschnittstechnologien		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (129)</li> <li>■ <a href="#">Begleitstudie</a></li> <li>■ <a href="#">Zeitschriftenartikel</a></li> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2020</a> (184)</li> </ul>
TAP 8.4 Vergleich und Transfer von Quartierskonzepten	Transfer Quartierskonzepte	(H) Quartiere	(E/S) BHKW		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <a href="#">Jahrbuch 2018</a> (131)</li> <li>■ <a href="#">Abschlusskonferenzjahrbuch 2020</a> (188)</li> </ul>

