

LEITFADEN

für die Konzeption von Regionalen Energiewaben

STAND 08.05.2017

Fördergeber:	Europäische Union – Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
Projekttitel:	Energiewaben - Regionale Energieversorgung der Großregion Cellules énergétiques - Approvisionnement énergétique régional de la Grande Région
Akronym:	EnergiewabenGR (IP 2 05 059)
Federführender Begünstigter:	IZES gGmbH - Institut für ZukunftsEnergieSysteme
Projektkonsortium:	Stadtwerke Trier AöR, Usine d'électricité de Metz, Ministerium der Deutschsprachige Gemeinschaft, Courant d'Air, COCITER - Comptoir Citoyen des Energies, Ville de Remich, Eida
Strategische Partner:	Hochschule Trier, REScoop.eu, Stadtwerke Saarbrücken Consulting GmbH, VSE Verteilnetz GmbH, Université de Liège, Westnetz GmbH, URM, Alternative Energy Consulting & Technologies, Cluster TWEED, Luxinnovation, Sudstrom
Projektdauer:	01.11.2016 - 31.10.2018

Dokumentation des Leitfadens

Version	Änderungshistorie	Datum
1.0	Theoretischer Leitfaden	08.05.2017

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	III
1. Einleitung.....	1
2. Definition Energiewabe.....	2
3. Abgrenzung der Energiewabe	5
4. Komponenten einer Energiewabe	9
4.1 Leitstelle	9
4.2 Infrastruktur	10
4.3 Online-Regler.....	11
4.4 Energieerzeuger	13
4.5 Energieverbraucher und Demand-Side-Management	14
4.6 Stromhandel.....	16
4.7 Energiespeicher	16
5. Interaktion der einzelnen Energiewabenkomponenten am Beispiel der Wabe Trier	19
6. Der Energiewabenverbund	24
7. Abstimmungsbedarf	25
Abbildungsverzeichnis.....	26
Tabellenverzeichnis	27
Glossar.....	28
Quellenverzeichnis.....	31

1. Einleitung

Aufgrund des stetigen Ausbaus der erneuerbaren Energien (EE) in Europa und explizit in der Großregion, muss das aktuelle Elektrizitätsversorgungssystem um- und ausgebaut werden. Diese Situation wird sich mit steigendem Anteil der fluktuierend einspeisenden EE (fEE) an der Elektrizitätsversorgung noch verschärfen. Schon heute ist klar, dass das Elektrizitätsversorgungssystem dynamischer und flexibler werden muss, um auch in Zukunft eine hohe Versorgungssicherheit zu gewährleisten und weiter steigende Anteile an fEE aufzunehmen. Das Energiewabenkonzept ist ein Ansatz, um dieses Vorhaben umzusetzen und dabei in das vorhandene System optimal zu integrieren.

Mit dem Leitfaden wird die Grundidee der Konzeptionierung einer „Regionalen Energiewabe“ verständlich gemacht. Das Konzept gibt die theoretische Grundstruktur für den Aufbau der Regionalen Energiewaben und des Energiewabenverbundes vor. Der Leitfaden wird kontinuierlich angepasst und weiterentwickelt.

2. Definition Energiewabe

Die Grundidee der Regionalen Energiewabe zielt darauf ab, eine Elektrizitätsversorgung aus regionalen EE zu gewährleisten und diese nach Möglichkeit bereits auf Verteilnetzebene auszuregeln. Dabei handelt es sich um ein räumlich abgegrenztes Gebiet, das alle Komponenten der Elektrizitätsversorgung (Erzeugung, Übertragung, Speicherung und Verbrauch) enthält. Diese sind so flexibel aufeinander abzustimmen, dass keine Versorgungsengpässe entstehen, die volatile Einspeisung von EE planbarer gemacht und damit ihre Abregelung weitgehend verhindert wird. Die Konzeptionierung als Wabenform (abgeleitet von der Bienenwabe) soll die Möglichkeit bieten, auch im Verbund mit Nachbarwaben zu agieren und elektrische Energie auszutauschen.

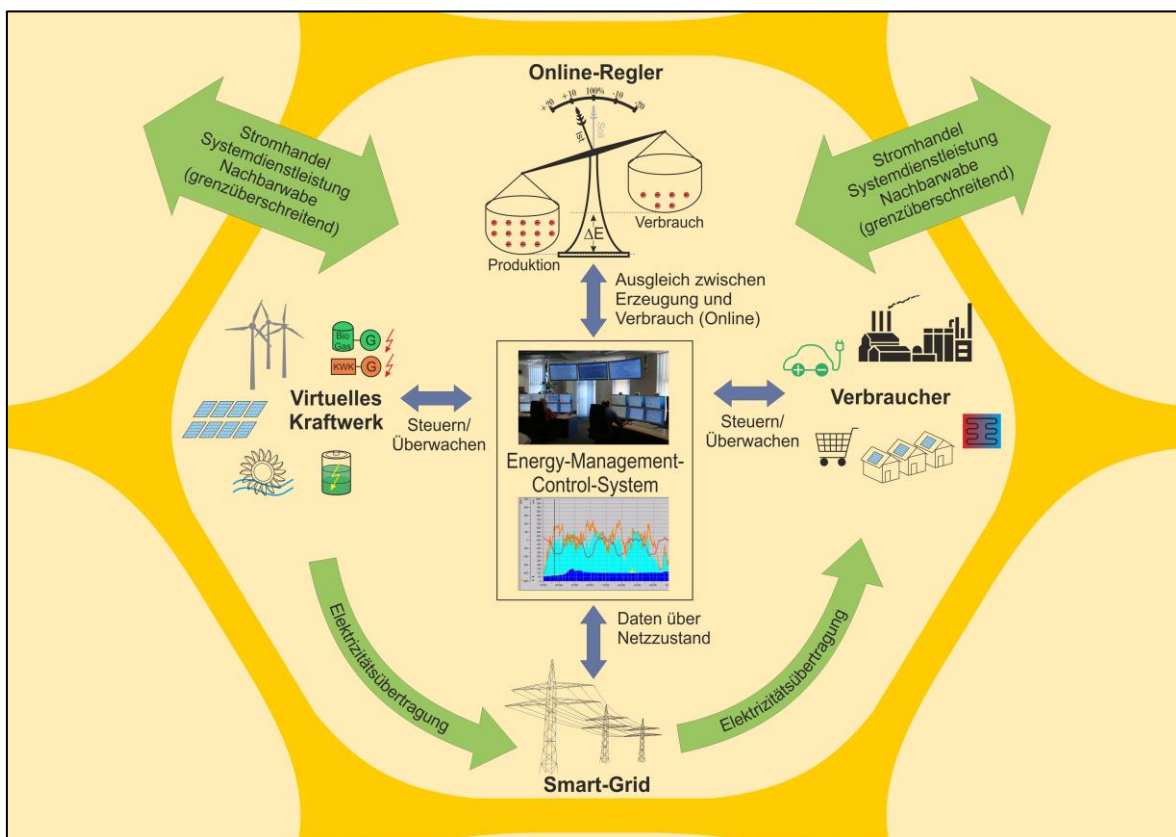


Abbildung 1: Beispiel einer Regionalen Energiewabe [1]

Ziel des Energiewabenkonzepts ist es, durch die Ausregelung der Energie innerhalb der Wabe und im Energiewabenverbund einen höheren Anteil an EE regional zu nutzen und die Energiemengen an definierten Knotenpunkten bzw. Schnittstellen zum Übertragungsnetz plan- und prognostizierbar zu machen sowie den Austausch mit dem Übertragungsnetz möglichst gering zu halten bzw. zu optimieren.

Somit besteht die Herausforderung, den Elektrizitätsverbrauch und die Elektrizitätserzeugung immer und zu jedem Zeitpunkt im Gleichgewicht zu halten, da vor allem die Erzeugung aus fEE ständig variiert.

Beispiel: In der Modellenergiewabe Trier ist eines der Zielszenarien, das von der Politik beschlossene Ziel, die EE in RLP bis 2030 so auszubauen, dass deren Erzeugung den Elektrizitätsverbrauch von RLP bilanziell zu 100 % abdeckt [2]. Abbildung 2 zeigt die deutlich fluktuierende Erzeugungskurve (ca. 3 GWh/a) im Vergleich zum konstant verlaufenden Verbrauchsprofil (ca. 3 GWh/a).

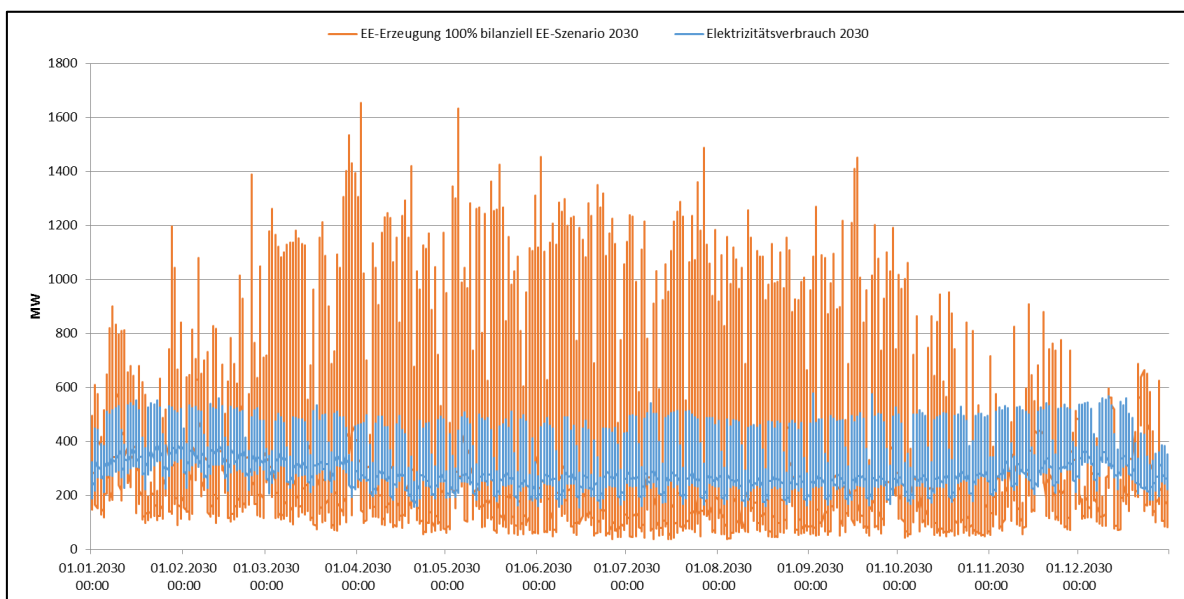


Abbildung 2: Szenario 100% EE-Erzeugung am Elektrizitätsbedarf 2030 der Energiewabe Trier [2]

In Abbildung 2 ist zu erkennen, dass eine 100%-bilanzielle EE-Abdeckung enorme Herausforderungen an einen Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch stellt. In der Abbildung ist dargestellt, wie die Stromerzeugung aus EE und der Verbrauch im Beispieljahr 2030 in der Energiewabe Trier aussehen könnten, wenn keine Ausgleichsoptionen ergriffen werden. In dem nachfolgendem Auszug eines Beispieltages im Jahr 2030 (Abbildung 3) mit einer sehr hohen Erzeugung aus EE ist zu erkennen, dass an diesem Tag die Erzeugung aus EE den Verbrauch teilweise deutlich übersteigt und gegen Ende des Tages wieder unterschreitet. Die hohe installierte Leistung ist allerdings für einen 100%igen bilanziellen Ausgleich über das gesamte Jahr notwendig. An dem Beispieltag ist zu erkennen, dass trotz eines bilanziellen Anteils von EE von mehr als 100 % ohne entsprechende Maßnahmen zum realen Ausgleich in den Mittagsstunden bis zu ca. 1.200 MW Überkapazität entstehen und gegen Abend eine Differenzleistung von zeitweise bis zu 200 MW fehlt. Diese Mengen müssen im zeitlichen Verlauf mit geeigneten Maßnahmen ausgeglichen werden.

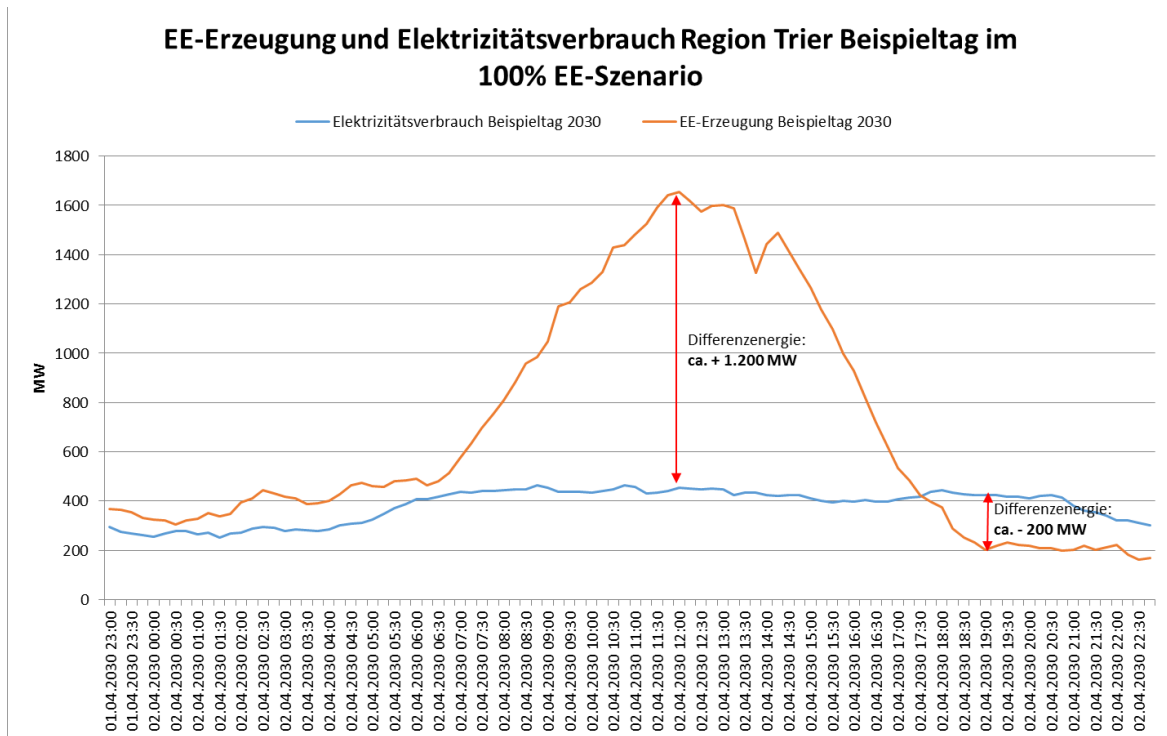


Abbildung 3: Beispieltag aus 100%-bilanziell EE Szenario [2]

Übersicht der allgemeinen Ziele des Energiewabenkonzepts:

- Regional erzeugten Strom aus fEE auf Verteilnetzebene ausregeln und in das Versorgungssystem integrieren,
- Regional nutzbaren EE –Anteil erhöhen,
- CO₂-Belastung in der Großregion reduzieren,
- Entwicklung der EE, des Stromverbrauchs und der Sektorkopplung (Strom, Wärme, Verkehr) berücksichtigen,
- Grenzüberschreitender Energieausgleich,
- Grundlastfähigkeit der volatilen Einspeisung aus fEE,
- Planbarkeit der Energiewaben-Bilanzkreise,
- Komponenten der Elektrizitätsversorgung flexibel aufeinander abstimmen,
- Systemstabilität und Versorgungssicherheit gewährleisten.

3. Abgrenzung der Energiewabe

Als Regionale Energiewabe kann bzw. soll beispielsweise eine Region, Stadt, ein Netzgebiet oder ein Bilanzkreis betrachtet werden, welche im Zuständigkeitsgebiet oder Versorgungsgebiet von Energieversorgern, Verteilnetzbetreibern, Energiegenossenschaften, Stromhändlern oder sonstigen lokalen bzw. regionalen Bilanzkreisverantwortlichen (BKV) liegen.

Die Energiewabe wird als **räumlich begrenzter energetischer Bilanzkreis** definiert, der alle unterschiedlichen Akteure und Komponenten, die bei der Energieversorgung relevant sind, berücksichtigt. Dabei ist zu beachten, dass es nicht darum geht, dass alle Elektrizitätsverbraucher, Speicher und Erzeugungsanlagen in den im Projekt betrachteten Waben zwangsläufig im Eigentum der BetreiberInnen der Energiewabe stehen. Es geht in erster Linie darum, verschiedene Regionen, Orte oder Netzabschnitte als eine Wabe zu betrachten, deren geografischen oder infrastrukturellen Voraussetzungen den jeweiligen Verantwortlichen der Energiewaben für dieses Konzept als geeignet und relevant erscheinen. Hierbei sollen auch zukünftige Anwendungen eingebunden und betrachtet werden. Da die Grundkonzeptionierung der Energiewabe sich wie ein Bilanzkreis zusammensetzt, steht es den BetreiberInnen der Energiewabe frei zu entscheiden, welche unterschiedlichen Akteure und Komponenten in der Energiewabe berücksichtigt werden.

Die folgenden Leitfragen sollen dabei unterstützen, die räumlichen Grenzen zur Konzipierung einer Energiewabe abzustecken:

Schritt 1: Abgrenzung der Energiewabe

Wie soll eine Regionale Energiewabe räumlich definiert werden, um die allgemeinen Energiewabenziele zu erreichen?

- ➔ Welche Systemgrenzen helfen das gesteckte Ziel erreichen?
 - Regionen
 - Netzgebiete
 - Aktionsradius
 -
- ➔ Wird ein entsprechend großes Umland benötigt, um bestehende EE bzw. EE-Ausbaupotenziale im benötigten Umfang einbinden zu können?
- ➔ Welche Profile und Energiemengen ergeben sich aus den gewählten Systemgrenzen?
 - Installierte Leistung
 - Jahreserzeugung

- Jahresverbrauch
- bilanzieller und realer Abdeckungsgrad
-

➔ Bewertung und Abschätzung der geeigneten Systemgrenzen

Schritt 2: künftige Entwicklung der Stromnachfrage innerhalb der Energiewabe

Bei der Konzeptionierung der Energiewabe gilt es, auch die zukünftige Entwicklung innerhalb der Systemgrenze zu berücksichtigen.

- ➔ Wie wird sich der Anteil erneuerbarer Energien innerhalb der definierten Energiewabe in den nächsten Jahren/Jahrzehnten voraussichtlich entwickeln (z. B. EU-Ziel: 27% EE bis 2030 am Gesamtenergieverbrauch)?
- ➔ Wie wirkt sich dies auf die Stromnachfrage generell und das spezifische Stromnachfrageverhalten aus?
 - Wie wird die **demografische Entwicklung** innerhalb der Energiewabe aussehen?
 - Wie werden sich die **Effizienzmaßnahmen** innerhalb der Energiewabe entwickeln?
 - Wie wird sich der Elektrizitätsverbrauch innerhalb der Wabe hinsichtlich einer **Sektorkopplung** entwickeln (Elektromobilität, Power to Gas (PtG), Power to Heat (PtH), Power to Liquid (PtL))?
- ➔ Können die allgemeinen Energiewabenziele auch bei zukünftiger Entwicklung noch erreicht werden?
- ➔ Muss die Wabengrenze erneut angepasst werden?

Schritt 3: künftige Entwicklung der Flexibilitätsoptionen innerhalb der Energiewabe

Die Abschätzung der weiteren Ausbauentwicklung insbesondere der fluktuierend einspeisenden erneuerbaren Energien kann auf regionale oder nationale Ausbauziele ausgelegt werden. Die Abschätzung ist notwendig, damit der zukünftige Bedarf an Flexibilisierungsmaßnahmen auf Erzeuger- und Verbraucherseite sowie der zukünftige Bedarf hinsichtlich der Dimension von Speichern und des Online-Reglers berücksichtigt werden kann.

- ➔ Bestehen innerhalb der Wabengrenze ausreichend Flexibilitätsoptionen?
 - Flexible Verbraucher
 - Flexible Erzeuger
 - Speicher
- ➔ Welche sind dies und zu welchen ökonomischen und ökologischen Bedingungen?
 - Demand-Side-Management (DSM): Bspw. Power to Heat (z. B. Wärmepumpen), E-Mobility (Individual/ÖPNV)
 - Gasturbine
 - Batteriespeicher
 - ...
- ➔ Mit welchen technischen Einheiten soll ein Online-Regler konzipiert werden (vgl. Kapitel 4.3)?

Schritt 4: Fragen der Akzeptanz

- ➔ Gibt es Interessenskonflikte mit anderen Akteuren innerhalb der Wabengrenze (vgl. Kapitel 7)?
- ➔ Wie können die Konflikte gelöst werden?

Schritt 5: Konzeptprüfung – Basis-Informationen für die Simulation

Um zu überprüfen, ob das Konzept die gewünschten Ziele erreichen kann, können Simulationen der Wabe eine wesentliche Unterstützung bieten. Hierfür sind folgende Informationen innerhalb der Wabe notwendig:

- ➔ Besteht innerhalb der ausgewählten Wabengrenze Zugriff auf (historische) Werte der **Gesamtelektrizitätserzeugung**?
- ➔ Besteht innerhalb der ausgewählten Wabengrenze, Zugriff auf (historische) Werte des **Gesamtelektrizitätsverbrauchs**?

Schritt 6: Konzeptprüfung – Details-Informationen für die Simulation

- ➔ Besteht innerhalb der ausgewählten Wabengrenze Kenntnis über die **installierte Leistung der verschiedenen Energieerzeugungsanlagen** (sowohl erneuerbare

Energien als auch ggf. fossile Energieträger), die in der Wabe berücksichtigt werden sollen und deren jeweilige **Gesamtjahreserzeugung** bzw. können die Erzeugungswerte mit Hilfe von Werten einzelner Referenzanlagen jeder Anlagenart auf die gesamte Wabe hochskaliert bzw. abgeschätzt werden?

- ➔ Besteht innerhalb der ausgewählten Wabengrenze Kenntnis über **den Elektrizitätsverbrauch verschiedener Kundengruppen** (bspw. Haushalt, Industrie, WP-Kunden etc.) **und Komponenten** (Speicher etc.), die in der jeweiligen Wabe beispielsweise als Flexibilitätsoptionen einbezogen werden sollen, bzw. kann der Verbrauch und die Anzahl mit Hilfe von Werten einzelner Referenzgruppen bzw. -komponenten auf die gesamte Wabe hochskaliert bzw. abgeschätzt werden?

Schritt 7: Konzeptprüfung – Vertiefungs-Informationen für die Simulation

- ➔ Besteht Zugriff auf **Lastprofile von Referenzanlagen** (bspw. Wasser, Wind, Solar, Biogas....) **zur Elektrizitätserzeugung** (15-Minuten Lastprofile oder kleinere Zeitintervalle)?
- ➔ Besteht Zugriff auf **Lastprofile des Gesamtelektrizitätsverbrauchs** (15-Minuten Lastprofile oder kleinere Zeitintervalle)?
- ➔ Besteht Zugriff auf **Lastprofile des Elektrizitätsverbrauchs verschiedener Kundengruppen** (bspw. Haushalt, Industrie, WP-Kunden etc.) als 15-Minuten Lastprofile oder kleinere Zeitintervalle?

Schritt 8: Online-Regler

Um Auswirkungen und Einsatz des Online-Reglers ermitteln zu können ist es sinnvoll, dass Lastprofile der Erzeugung und des Verbrauchs deutlich kleiner als 15-Minuten-Intervalle existieren.

- ➔ Besteht Zugriff auf **Lastprofile von Referenzanlagen zur Elektrizitätserzeugung** (ca. 1 Minuten-Messwerte)?
- ➔ Besteht Zugriff auf **Lastprofile des Elektrizitätsverbrauchs** (ca. 1 Minuten-Messwerte)?

4. Komponenten einer Energiewabe

Um die Elektrizitätserzeugung aus fEE und den Elektrizitätsverbrauch ins Gleichgewicht bringen zu können, bedarf es eines intelligenten Zusammenspiels verschiedener Komponenten zur Energieerzeugung, Energiespeicherung, Energieübertragung und des Energieverbrauchs. Dabei müssen flexible Komponenten so aufeinander abgestimmt werden, dass sich im zeitlichen Verlauf ein Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch einstellt. Der Gesamtprozess muss in Echtzeit überwacht und gesteuert werden.

Die folgenden Komponenten sind wesentliche Bestandteile des Energiewabenkonzepts:

- Leitstelle
- Infrastruktur
- Online-Regler
- Energieerzeuger
- Energieverbraucher und Demand-Side-Management
- Energiehandel
- Speicher

4.1 Leitstelle

In der Leitstelle fließen alle relevanten Erzeugungs- und Verbrauchsdaten der Energiewabe zusammen (Siehe Abbildung 1). Dazu zählen sowohl die Prognosewerte bzw. Fahrpläne aller Erzeuger, Verbraucher, Speicher und Prosumer innerhalb der Wabe als auch deren tatsächliche Elektrizitätserzeugung sowie deren Elektrizitätsverbrauch.

Die Leitstelle muss über ein Energy-Management-Control-System (EMCS) verfügen, welches online alle Energiedaten innerhalb der Energiewabe analysiert, zugunsten eines maximalen Anteils an EE ausgleicht und den Bilanzkreis der Energiewabe planbar macht. Zudem benötigt das EMCS alle notwendigen Informationen bzw. Rahmenbedingungen innerhalb der die verschiedenen Komponenten gesteuert werden können. Dazu zählen beispielsweise die minimale und maximale Laufzeit, der Zustand oder der maximale steuerbare Anteil verschiedener Komponenten (vgl. Kapitel 4.5, Tabelle 3).

Mit dem EMCS sind die verschiedenen Komponenten innerhalb der jeweiligen Energiewabe so anzusteuern, dass der Bilanzkreis der Wabe viertelstundengenau ausgeglichen ist und Regelenenergie vermieden wird. Die Reihenfolge der Ansteuerung der verschiedenen relevanten Wabenkomponenten kann energiewabenspezifisch variieren und muss dem EMCS von dem jeweiligen Wabenverantwortlichen mitgeteilt werden.

Zur Entwicklung der eigenen Wabe sollten verschiedene Ansteuerungs-Reihenfolgen simuliert werden, um so Rückschlüsse über eine optimierte Reihenfolge zu erhalten.

Beispiel: In der Leitstelle der SWT wird als EMCS ein System zur dreistufigen Bilanzkreisoptimierung verwendet. In jeder Stufe besteht die Möglichkeit unterschiedliche Komponenten anzusteuern. In Tabelle 1 ist die dreistufige Bilanzkreisoptimierung dargestellt.

	1. Regelungsstufe Day-Ahead-Optimierung	2. Regelungsstufe Intraday-Optimierung	3. Regelungsstufe Intra-Periode Optimierung
Input	Prognosen bzw. Fahrpläne von Erzeugern, Verbrauchern, Speichern und Prosumern	Aktualisierte Prognosen bzw. Fahrpläne von Erzeugern, Verbrauchern, Speichern und Prosumern	Ist-Werte von Erzeugern, Verbrauchern, Speichern und Prosumern
	Rahmenbedingungen bzw. Parameter (Status, Min. und Max. Leistung, Ladezustände...)		
Aktion	Bilanzkreisabgleich mit Nachbarwabe und Strommarkt, um die Differenz zwischen Bedarf und Erzeugung abzugleichen	Bilanzkreisabgleich durch Anpassung der Fahrpläne von steuerbaren Erzeugern und Speichern, Bilanzkreisabgleich durch DSM etc.	Bilanzkreisabgleich zwischen Prognose- und Ist-Werten durch Online-Regler (Einhaltung der Day-Ahead Bilanzkreisprognose)
Zeithorizont	Bis 12:00 Uhr für den Folgetag bzw. Freitag für Samstag bis Montag	Prognosen für die nächsten 12 Stunden	< ¼ Stunde (Fast-)Echtzeit

Tabelle 1: Beispiel der dreistufigen Bilanzkreisoptimierung [1]

4.2 Infrastruktur

Für den realen Aufbau von Energiewaben sind eine geeignete Infrastruktur und der Aufbau und die Umsetzung eines Smart Grids hilfreich.

In Abbildung 4 ist beispielhaft die Struktur des Verteilnetzes in der Modellenergiewabe Region Trier dargestellt. SWT ist in der Wabe als Verteilnetzbetreiber für die Stadt Trier zuständig, die Westnetz GmbH für das gesamte Umland.

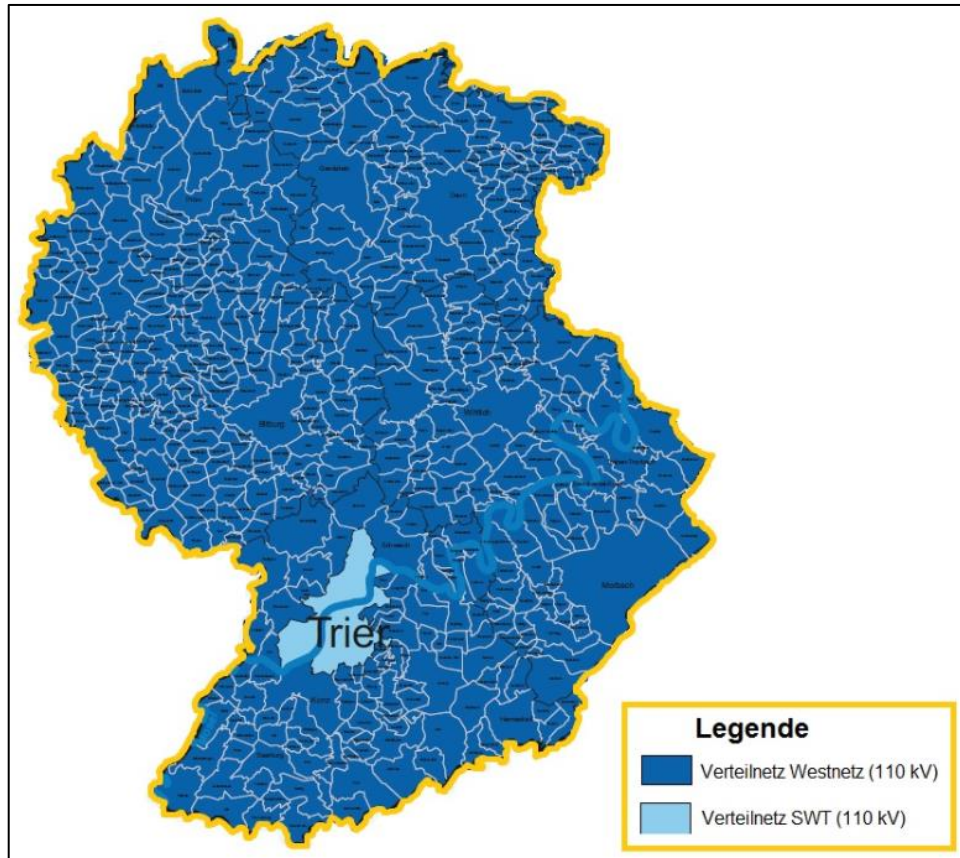


Abbildung 4: Verteilnetzstruktur in der Energiewabe Region Trier [Darstellung nach [4]]

Für eine reale Umsetzung des Konzepts müssen bestimmte technische und rechtliche Rahmenbedingungen erfüllt sein. Hierzu zählt beispielsweise die Gestaltung des Informationsaustauschs zwischen den Verteilnetzbetreibern untereinander sowie mit den verschiedenen Bilanzkreisverantwortlichen (BKV) und Energielieferanten.

4.3 Online-Regler

Als Online-Regler wird in einer Energiewabe ein Speichermedium (z.B. Pumpspeicherkraftwerk, Batterie etc.), eine Kombination aus Speichermedium und Erzeugungseinheit (z.B. Laufwasserkraftwerk mit Staubecken, Elektrolyseur mit Brennstoffzelle oder Gasturbine etc.) oder eine Kombination aus unterschiedlichen Speichermedien (z.B. Batterie und Schwungradspeicher etc.) verstanden. Der Unterschied zu anderen Stromspeichern ist beim Online-Regler die Anwendung bzw. die Aufgabe. Während die Großspeicher üblicherweise auf die Märkte reagieren, dient der Online-Regler der regionalen Ausregelung der Prognosedifferenzen zwischen Erzeugung und Verbrauch. Der Online-Regler stellt innerhalb einer Viertelstunde Erzeugung und Verbrauch bilanziell glatt und agiert damit ähnlich der Regelleistung, mit dem Ziel, dass Bilanzkreisabweichungen nahezu vollständig vermieden werden.

Beispiel: In der folgenden Abbildung 5 ist anhand von 3-Sekunden-Messungen zu erkennen, wie sich das Erzeugungsprofil aus Solar- und Windkraftanlagen und das Lastprofil des Stromverbrauchs innerhalb einer Viertelstunde verhalten. In den acht Viertelstunden von 10:00 bis 12:00 Uhr des Beispieltages ist zu sehen, dass diese innerhalb der jeweiligen Viertelstunden deutlich schwanken.

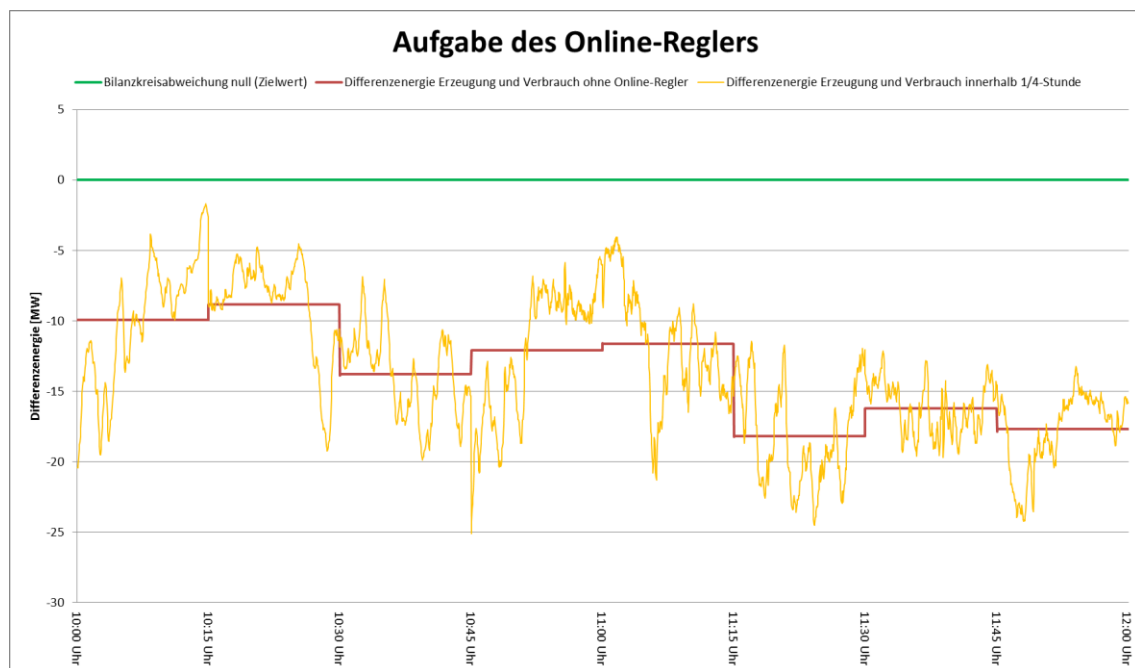


Abbildung 5: Beispieldarstellung der Aufgabe des Online-Reglers [2]

Ziel ist es, die für die Viertelstunde geplante Bilanzkreisabweichung von null an deren Ende tatsächlich zu erreichen und deshalb mit Hilfe des Online-Reglers Erzeugung und Verbrauch innerhalb dieser Viertelstunde schon auszugleichen.

Mit dieser Einsatzstrategie des Online-Reglers soll gewährleistet werden, dass die Bilanzkreisabweichungen so gering wie möglich ausfallen.

Der jeweilige Online-Regler muss demzufolge aufgrund der Größe der Energiewabe, der geplanten künftigen Entwicklung der fEE sowie des Elektrizitätsverbrauchs ausgewählt werden. Dabei muss gewährleistet sein, dass der Online-Regler geografisch und infrastrukturell in der jeweiligen Energiewabe realisierbar ist.

Damit der Online-Regler bei einem realen Aufbau von Energiewaben den Prognosefehler innerhalb einer Viertelstunde eliminieren kann, ist die Online-Erfassung von Elektrizitätserzeugung und Elektrizitätsverbrauch in Echtzeit sowie die Steuerung und Überwachung des Online-Reglers in einer zentralen Leitstelle (siehe Abbildung 1 und Kapitel 4.1) notwendig.

4.4 Energieerzeuger

In der jeweiligen Energiewabe bildet ein virtuelles Kraftwerk die Grundlage zur Erfassung der Elektrizitätserzeugung. Das virtuelle Kraftwerk ist die Zusammenschaltung aller dezentralen Elektrizitätserzeugungseinheiten innerhalb der jeweiligen Energiewabe, um so im Verbund elektrische Leistung verlässlich bereitstellen zu können. Hierzu zählen alle Erzeugungseinheiten, die sich innerhalb des räumlich begrenzten, energetischen Bilanzkreises der konzeptionierten Energiewabe befinden.



Abbildung 6: Beispiel virtuelles Kraftwerk Energiewabe Region Trier [1]

In Abbildung 6 ist beispielhaft das virtuelle Kraftwerk der Energiewabe Region Trier dargestellt. Hier fließen alle relevanten Erzeugerdaten von eigenen und fremden Anlagen innerhalb der Wabe zusammen. Mit Kenntnis der technischen Besonderheiten von Anlagen (Leistung, Mindesterzeugung, Lastgradienten, Wetterprognosen, usw.) und deren Betriebsstatus erfolgt die Steuerung gemäß des prognostizierten Bedarfs. Das virtuelle Kraftwerk erfasst sowohl die Prognosen der fluktuierend einspeisenden und die geplanten Fahrpläne der steuerbaren Elektrizitätserzeuger als auch deren Ist-Werte.

Tabelle 2 zeigt beispielhaft, welche Daten innerhalb der betrachteten Energiewabe erfasst werden müssen (vgl. hierzu auch Kapitel 3). Es soll jeweils die gesamte installierte Leistung und der Gesamtverbrauch innerhalb der Wabe erfasst werden. Dazu zählen auch ggf. fossile Erzeugungsanlagen, die ins Verteilnetz einspeisen, mit dem Ziel, diese Stück für Stück durch EE zu verdrängen.

Erzeugungsanlagen innerhalb der Energiewabe	Installierte Leistung jeweilige Erzeugungsanlagen	Gesamtelektrizitäts-erzeugung jeweilige Erzeugungsanlagen	Lastprofile und Prognosen vorhanden
	kW	kWh/a	
Windkraftwerke			
Solkraftwerke			
Wasserkraftwerke			
Blockheizkraftwerke			
sonstige EE-Anlagen			
fossile Erzeugungsanlagen			
...			
Gesamtelektrizitäts-erzeugung Energiewabe			

Tabelle 2: Beispieltabelle Gesamtelektrizitätserfassung einer Energiewabe (Darstellung nach [3])

4.5 Energieverbraucher und Demand-Side-Management

In den Energiewaben wird neben Informationen zur Gesamtelektrizitätserzeugung innerhalb einer Wabe (siehe Kapitel 3 und Kapitel 4.4) auch Informationen zum Gesamtelektrizitätsverbrauch sowie zu Verbrauchergruppen benötigt.

Mit Erfassung der Daten der Gesamtelektrizitätserzeugung und des Gesamtelektrizitätsverbrauchs ist es theoretisch möglich, eine Energiewabe zu modellieren und das Konzept zu überprüfen. Damit die Ausregelungsmöglichkeiten innerhalb der Wabe und im Energiewabenverbund detailliert überprüft und die Energiemengen an definierten Knotenpunkten bzw. Schnittstellen zum Übertragungsnetz genauer plan- und prognostizierbar gemacht werden können, müssen jedoch weitere Flexibilisierungsoptionen innerhalb der Wabe in Betracht gezogen werden. Beispielsweise kann ein Demand-Side-Management (DSM) in den Energiewaben dafür genutzt werden, den Elektrizitätsverbrauch der Elektrizitätserzeugung anzupassen.

Dafür muss innerhalb der Waben Kenntnis über den Elektrizitätsverbrauch verschiedener Kundengruppen, die in der jeweiligen Wabe als Flexibilitätsoptionen einbezogen werden sollen, bestehen. Hierfür können statistische Verbrauchswerte der Kundengruppen auf die Gesamtanzahl in der Energiewabe hochskaliert bzw. abgeschätzt werden.

Bei einem realen Aufbau bietet es sich an, diese Kundengruppen in verschiedenen Gebieten der betrachteten Energiewabe zu Clustern zusammenzufassen, um eine sinnvolle Gesamtgröße für

ein DSM zu erhalten. Zudem ist dann zu ermitteln, welches tatsächliche DSM-Potential in den verschiedenen Clustern und Kundengruppen besteht bzw. welche Anzahl jeweils flexibel steuerbar ist.

Tabelle 3 zeigt beispielhaft, wie die Aufnahme und Untergliederung des Gesamtelektrizitätsverbrauchs aussehen kann. Für den tatsächlichen steuerbaren Anteil der jeweiligen Komponente müssen neben der Ermittlung des Potentials in den jeweiligen Clustern zudem Rahmenbedingungen für die Steuerbarkeit definiert werden. Diese beinhalten unter anderem die zeitliche Häufigkeit und gleichzeitige Ansteuerung der verschiedenen Komponenten in den verschiedenen Clustern.

Betrachtete DSM-Komponenten	Gesamtelektrizitätsverbrauch Energiewaben-Komponenten	steuerbar		nicht steuerbar		Rahmenbedingungen
		%	kWh	%	kWh	
Haushalt						
Gewerbe						
Industrie						
Wärmepumpen inkl. Heizstäbe						
E-Mobilität						
Produktionsanlagen						
Kälteerzeugungsanlagen						
Power to X Anlagen						
Wärmeerzeugungsanlagen						
...						
Gesamtelektrizitätsverbrauch Energiewabe						

Tabelle 3: Beispieltabelle Komponenten Elektrizitätsverbrauch Energiewabe [Darstellung nach[3]]

So muss beispielsweise der Einsatz von Wärmepumpen (WP) als DSM-Maßnahme den Wärmebedarf der jeweiligen Kunden oder Cluster berücksichtigen. Es ist somit festzulegen bis zu welcher Temperatur die Heizungspufferspeicher durch die WP oder auch durch Heizstäbe geladen werden können. Ebenso muss definiert werden, wie weit die Temperaturen in den Speichern absinken dürfen. Dadurch kann es möglich sein, WP und Heizstäbe von Kunden, deren Speicher ausreichend gefüllt ist, kurzfristig auszuschalten. Zugleich besteht darüber Kenntnis, wann die Wärmepumpe zur Einhaltung der Wärmebedarfsdeckung wieder aktiv werden muss.

Als Ausgangssituation zur Modellierung einer Energiewabe reichen für die Rahmenbedingungen Einschätzungen aus. Diese sollten jedoch berücksichtigen, dass bspw. die Versorgungssicherheit der Kunden sichergestellt ist und gesetzliche und regionale Gegebenheiten beachtet werden.

4.6 Stromhandel

Mit dem Aufbau von Energiewaben wird keine Versorgungsautarkie angestrebt. Daher wird der Stromhandel über die Handelsplätze auch für die bestehende Energiewabenstruktur weiterhin notwendig und erwünscht sein.

Nachdem die gesamte Elektrizitätserzeugung und der Verbrauch innerhalb der Energiewaben am Vortag für den Folgetag prognostiziert wurden bzw. die Fahrpläne der Erzeuger bekannt sind (vgl. hierfür auch Punkt 4.1), erfolgt ein Abgleich mit den unmittelbaren Nachbarenergiewaben (siehe Punkt 6). Darüber hinaus bestehende Strommengendifferenzen werden über die Spotmärkte für Strom ausgeglichen. Um eine Abregelung der fEE zu vermeiden und eine maximale Nutzung dieser nahezu grenzkostenfreien und CO₂-armen Energieerzeuger zu gewährleisten, werden Energiemengen, die nicht in der eigenen Wabe oder in Nachbarwaben genutzt werden können, über den Strommarkt veräußert.

4.7 Energiespeicher

Neben den vorher genannten Komponenten und dem Online-Regler ist es sinnvoll, dass weitere Energiespeicher zur optimalen Gestaltung der Energiewabe eingesetzt werden. Dies können beispielsweise verschiedene Speicher zur kurz-, mittel- oder langfristigen Speicherung eines erhöhten Anteils von Elektrizität aus fEE sein.

Bezüglich der Auswahl der Stromspeicher und deren Implementierung sind vorab bestimmte Kriterien zu berücksichtigen:

- Ist-Situation in der jeweiligen Energiewabe bzgl. des Einsatzgebiets und der Art der aktuell eingesetzten Stromspeicher
- Aktueller und zukünftiger Elektrizitätsverbrauch sowie die aktuelle und zukünftige Elektrizitätserzeugung aus EE
- Infrastrukturelle und geografische Gegebenheiten in den Energiewaben für den zukünftigen Einsatz von Speichern
- Speichertyp:
 - Kurzzeitspeicher (Netzaufrechterhaltung, Netzstabilisierung)
 - Langzeitspeicher (Spitzenbedarfsabdeckung, Ausgleich von unerwarteten Schwankungen im Elektrizitätsverbrauch)
 - Elektrochemische Speicher (Primärregelleistung, Photovoltaik-Speicher, Reservespeicher, Elektromobilität)

- Chemische Speicher („Power-to-Gas“) Langzeitspeicher für eine spätere Rückverstromung, Kraftstoff im Verkehrssektor)
 - Elektrische Speicher (Super-Kondensatoren, Spulen)
 - Mechanische Speicher (Pumpspeicher, Druckluftspeicher, Lageenergiespeicher, Schwungmassen)
 - Wärmespeicher (Puffer für Wärmebereitstellung)
- Speicherkapazität
 - Wirkungsgrade
 - Lebensdauer.

In Tabelle 4 sind zur Orientierung und Zusammenfassung verschiedene Arten von Stromspeichern und deren technische Eigenschaften dargestellt.

Speichereinsatz	Stromspeicher	Entladezeit	Wirkungsgrad	Leistung	Speicherkapazität	Lebensdauer
Kurzzeitspeicher	Schwungmassespeicher	bis Minuten	< 95 %	1 kW - 100 MW	gering	ca. 15 Jahre
	Kondensatoren/Supercaps		ca. 95 %	1 kW - 100 MW		ca. 15 Jahre
	Supraleitende Spulen		ca. 90 %	1 kW - 100 MW		ca. 15-30 Jahre
Langzeitspeicher	Pumpspeicherkraftwerk	bis Woche	70-80 %	100 - 1.000 MW	groß	40-80 Jahre
	Druckluftspeicherkraftwerk		42-54 %	100 - 1.000 MW		ca. 25-40 Jahre
Elektro-chemische Speicher	Lithium-Ionen-Akkus	bis Tage	80-95 %	1 kW - 100 MW	gering	5-30 Jahre (2030)
	Redox-Flox-Batterien		75-85 %	1 kW - 100 MW		10-25 Jahre (2030)
	Blei-Säure-Akkus		80-95 %	1 kW - 100 MW		15-20 Jahre (2030)
Chemische Speicher	Wasserstoff	bis ein Jahr	ca. 40 %	100 - 1.000 MW	groß	20-30 Jahre
	synthetisches Methan		ca. 20 - 36 %	100 - 1.000 MW		ca. 30 Jahre

Tabelle 4: Unterschiedliche Stromspeicherarten [Darstellung nach [5]]

Neben dem Einsatz von Stromspeichern, ist auch der Einsatz von Wärme- und Gasspeichern innerhalb der Sektorkopplung möglich. Der Einsatz der Speicher und die Prioritätenreihenfolge muss wabenspezifisch ermittelt werden, da die Nutzung der unterschiedlichen Speicherarten für jede Wabe individuell ist.

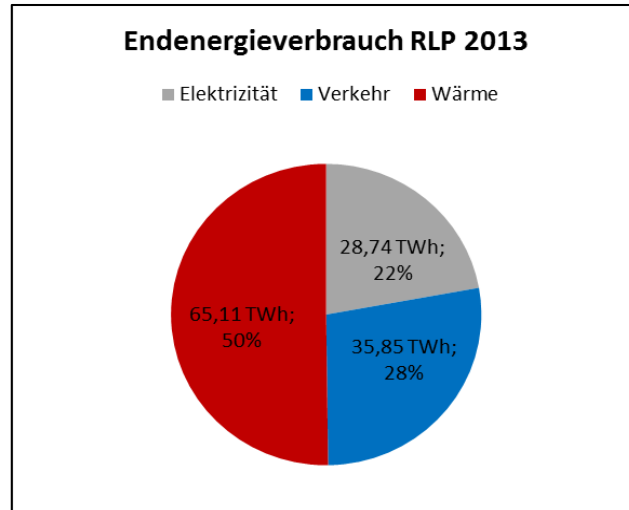


Abbildung 7: Beispieldarstellung der Energiesektoren [Darstellung nach [6] u. [7]]

In Abbildung 7 ist exemplarisch für das deutsche Bundesland Rheinland-Pfalz zu erkennen, dass zudem in den Sektoren Wärme und Verkehr ein hoher Endenergieverbrauch existiert. Angesichts der begrenzten Ressourcen bei Biomasse und den bestehenden Klimaschutzziele wird EE-Strom auch in diesen Sektoren zum Mittel der Wahl. Mittels EE-Strom werden im Sektor Verkehr die Fahrzeuge direkt oder mittels PtL angetrieben. Im Sektor Wärme wird langfristig zunehmend Stromwärme (Power to Heat) eine große Rolle spielen.

In der nachfolgenden Tabelle 5 ist zur Orientierung eine beispielhafte Übersicht verschiedener Möglichkeiten der Sektorkopplung dargestellt. Diese verdeutlicht schon, dass zur Nutzung der einzelnen Speicherarten deren Einsatzgebiet detailliert zu berücksichtigen ist. Für die Nutzung der Speicher als Flexibilisierungsoption in der Wabe, gilt es ein Konzept zu entwickeln.

Sektorkopplungs-technologie	Einsatzgebiet	Speicher
Power to Heat	Wärmepumpen	Pufferspeicher
	Prozesswärme	
	...	
Power to Gas	BHKW	Pufferspeicher, Gasnetz, Gasspeicher
	Verbrennungsmotor	
	Brennstoffzelle	
	Gaskraftwerk	
Power to Liquid	...	Flüssiggasspeicher, Öltanks
	BHKW	
	Verbrennungsmotor	
	...	

Tabelle 5: Beispiel Sektorkopplungsmöglichkeiten [Darstellung nach [8]]

5. Interaktion der einzelnen Energiewabenkomponenten am Beispiel der Wabe Trier

Die Funktionsweise der Energiewaben ist von der Kombination der in Kapitel 4 erläuterten Komponenten geprägt.

Wie in Kapitel 4.1 erläutert, fließen in der Leitstelle alle relevanten Erzeugungs- und Verbrauchsdaten der Energiewabe zusammen. Das erwähnte EMCS kombiniert alle Komponenten einer Energiewabe und steuert diese so, dass ein möglichst hoher Anteil regionaler EE innerhalb der Wabe genutzt werden kann und das deren Versorgungssicherheit gewährleistet ist. Außerdem ist die Aufgabe des EMCS, die verschiedenen Komponenten und den Online-Regler innerhalb der jeweiligen Energiewabe so anzusteuern, dass der Bilanzkreis der Wabe viertelstundengenau ausgeglichen ist, somit Regelernergie vermieden und der Austausch mit dem Übertragungsnetz planbar gemacht wird. Die Reihenfolge der Ansteuerung der verschiedenen Wabenkomponenten kann, wie in Kapitel 4.1 erwähnt, energiewabenspezifisch variieren und muss dem EMCS von dem jeweiligen Wabenverantwortlichen mitgeteilt werden. Im Folgenden wird dieser Regelungs- und Ausgleichsprozess am Beispiel der Wabe Trier erläutert.

In der Energiewabe Trier, deren Erzeugungsanlagen in Abbildung 6, Kapitel 4.4 zu sehen sind, erfolgt der Abgleich der Erzeugung und des Verbrauchs mithilfe einer dreistufigen Bilanzkreisoptimierung. In der ersten Regelungsstufe (Day-Ahead Optimierung) der Modellenergiewabe Region Trier erfolgt ein Abgleich der Prognosen der EE-Erzeugung und des Elektrizitätsverbrauchs für den Folgetag. Damit ein ausreichender Puffer bei einem Ausfall der Datenübermittlung besteht, wird der prognostizierte Elektrizitätsverbrauch sowie die prognostizierte EE-Erzeugung in regelmäßigen Zyklen (geeignete Zyklen und Zeithorizonte) an das EMCS in der Leitstelle übermittelt. Zudem erhält das EMCS die geplanten Fahrpläne der steuerbaren Erzeuger, Speicher und Prosumer innerhalb der Wabengrenze sowie deren Rahmenbedingungen (siehe Tabelle 1). Das EMCS gleicht die prognostizierte Erzeugung und den prognostizierten Verbrauch miteinander ab und versucht, Überschüsse und Defizite mit benachbarten Energiewaben auf Verteilnetzebene auszutauschen. Dazu muss von den EMCS der Nachbarwaben ebenfalls übermittelt werden, wann dort nach Abgleich von prognostiziertem Verbrauch und prognostizierter Erzeugung Überschüsse oder Defizite zu erwarten sind. Nach diesem Austausch weiterhin bestehende Differenzen werden durch Handel an den Strombörsen ausgeglichen. Die Bilanzkreisabweichung ist damit null. In den weiteren Regelungsstufen gilt es die Bilanzkreisabweichung auf null zu halten (Bilanzkreis der Energiewabe planbar machen).

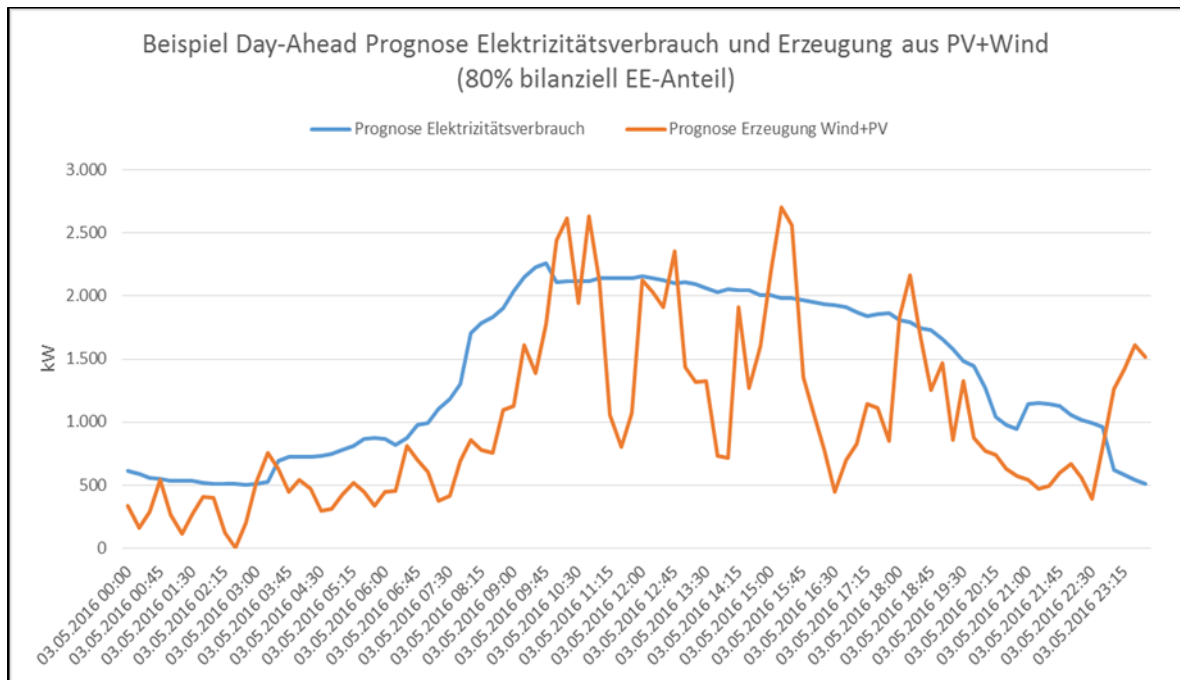


Abbildung 8: Beispiel Day-Ahead Prognose Elektrizitätsverbrauch und EE-Erzeugung [2]

In Abbildung 8 ist die Day-Ahead Prognose des Elektrizitätsverbrauchs und der fEE-Erzeugung aus PV und Wind beispielhaft dargestellt. Der bilanzielle Anteil von PV und Wind an der Elektrizitätserzeugung beträgt in diesem Beispiel 80 %.

EE-Überschüsse werden an eine Nachbarwabe mit geringer EE-Erzeugung oder an eine Strombörse veräußert und Fehlmengen von anderen Waben mit EE-Überschuss oder an der Strombörse besorgt. Entsprechend der Abbildung 8 muss für den betrachteten Zeitabschnitt mehr Strom importiert als exportiert werden. Nach diesem Austausch ist die prognostizierte Bilanzkreisabweichung der Energiewabe null und der Bilanzkreis ausgeglichen. Das weitere Ziel der Optimierungsstufen 2 und 3 ist es, die Prognoseabweichung auszugleichen und schlussendlich einen ausgeglichenen Bilanzkreis zu erhalten.

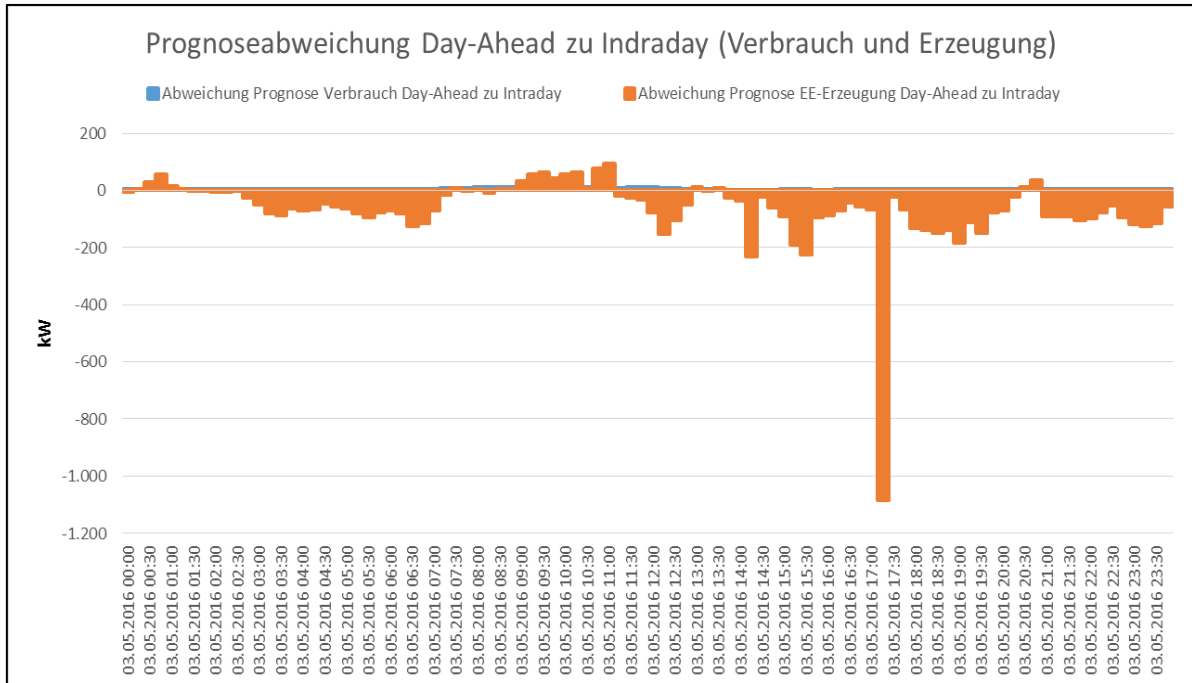


Abbildung 9: Prognosen Day-Ahead gegenüber Intraday [2]

In Abbildung 9 sind die Day-Ahead Prognosen den aktuelleren Intraday Prognosen gegenübergestellt.

In dem vereinfachten Beispiel der Modellenergiewabe Trier ist zu erkennen, dass der Prognosefehler bei der EE-Erzeugung größer ist, als der des Elektrizitätsverbrauchs. Der Prognosefehler der EE-Erzeugung ist größtenteils abhängig vom Anteil der EE-Erzeugung innerhalb der Energiewabe, und es ist zu erwarten, dass dieser trotz genauer werdender Prognosen mit steigendem Anteil an fluktuierenden EE steigt.

Damit der ausgeglichene Bilanzkreis aus der Day-Ahead Prognose eingehalten werden kann, werden die Prognoseabweichungen ausgeglichen, indem in der zweiten Regelungsstufe (Intraday-Prognose) die Fahrpläne von regelbaren Erzeugern und Speichern angepasst sowie flexible Verbraucher eingesetzt werden.

Nach dem Intraday Abgleich in der zweiten Regelungsstufe, erfolgt in Regelungsstufe 3 der Abgleich zwischen der Intraday-Prognose und den tatsächlichen Ist-Werten der EE-Erzeugung und des Elektrizitätsverbrauchs innerhalb der ¼-Stunde mithilfe eines Online Reglers (siehe Kapitel 4.3).

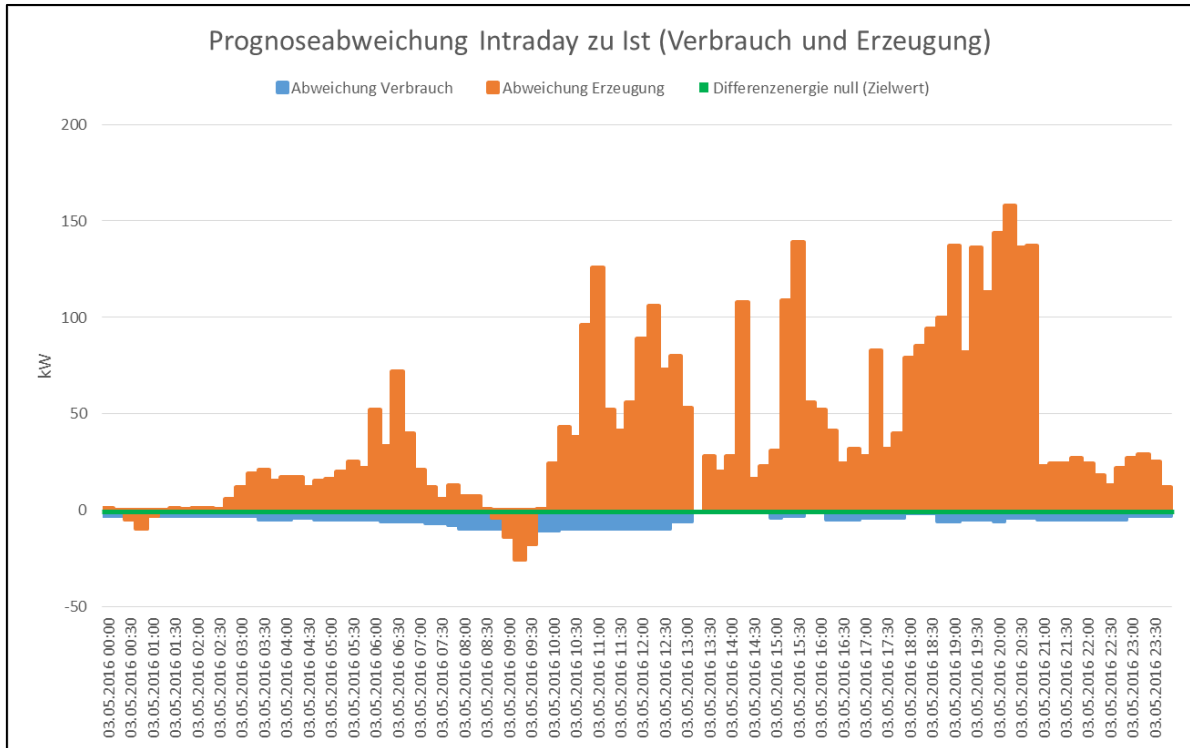


Abbildung 10: Abweichung Intraday-Prognose zu realer Erzeugung und Verbrauch [2]

In Abbildung 10 ist anhand der tatsächlichen Erzeugung eines SWT-Windparks, eines SWT-Solarparks und der Verbrauchsmessungen in einem Umspannwerk in der Stadt Trier zu erkennen, wie umfangreich Bilanzkreisabweichungen gegenüber der letzten Bilanzkreisrekturen sein können. Damit die in Regelungsstufe 1 prognostizierte Bilanzkreisabweichung von null eingehalten werden kann, ist die Aufgabe des Online-Reglers in Regelungsstufe 3, den Zielwert am Ende der Viertelstunde schon innerhalb dieser durch korrigierende Maßnahmen zu erreichen (vgl. Kapitel 4.3). In Abbildung 11 ist zudem die viertelstündliche Gesamtdifferenzenergie (Erzeugung – Verbrauch) dargestellt, die es in diesem Fall durch die Intra-Period-Optimierung zu vermeiden gilt.

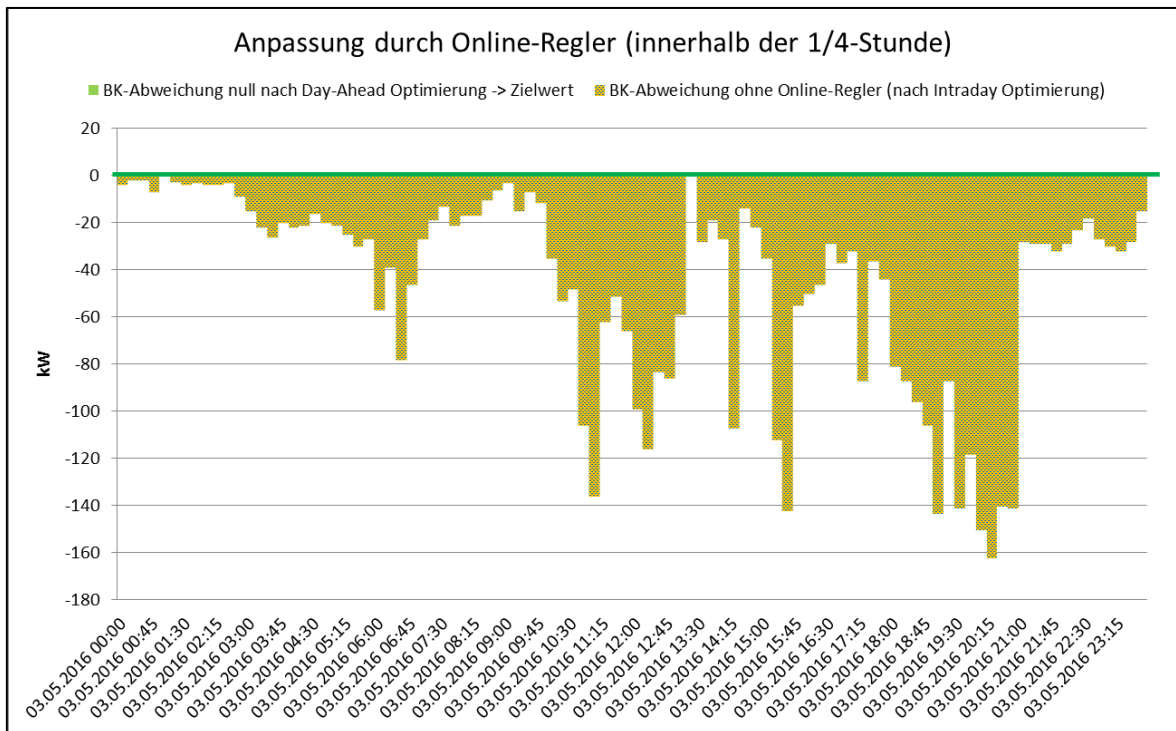


Abbildung 11: Viertelstündliche Anpassung des Online-Reglers [2]

Da in diesem Beispiel die Erzeugung aus EE meist zu niedrig und der Verbrauch meist zu hoch prognostiziert wurden, führt dies zu einer höheren Gesamtdifferenzenergie. In dem Fall, dass beispielsweise die EE-Erzeugung und der Verbrauch beide zu hoch prognostiziert wurden, würde dies zu einer gleichbleibenden oder geringeren Gesamtdifferenzenergie führen.

6. Der Energiewabenverbund

a) Definition

Unter dem Begriff Energiewabenverbund wird der (grenzüberschreitende) Austausch von Energie zwischen verschiedenen Energiewaben verstanden.

Aufgrund regionaler Gegebenheiten stehen EE nicht immer ausreichend zur Verfügung. Daher werden höhere Erzeugungsleistungen aufgebaut, als tatsächlich zum Zeitpunkt der maximalen Last benötigt werden. So entstehen lokale Stromüberschüsse. Um diese optimal zu verwerten, kann ein Austausch zwischen Regionen mit unterschiedlicher EE-Erzeugung erfolgen. Das gilt im Großen (europäische Energie-Union bzw. ENTSO-E-Netzgebiet), wie im Kleinen (Energiewabe). Daher darf auch eine Vermaschung der Waben nicht an nationalen Grenzen enden, sondern muss ebenso darüber hinausgehen.

b) Ziel und Notwendigkeit

Der Energiewabenverbund verfolgt einen dezentralen Ansatz, dessen Ziel es ist, die Versorgung aus fluktuierend einspeisenden EE zu maximieren und deren Abregelung möglichst zu vermeiden. Das Ziel des Energiewabenverbunds ist es, Überschüsse und Defizite an grünem-EE-Strom mit benachbarten Energiewaben grenzübergreifend auszutauschen.

c) Infrastruktur

Ein grenzüberschreitender Stromaustausch in Form von Im- und Exporten mittels der Übertragungsnetze existiert bereits. Daher ist ein logischer weiterer Schritt, diesen gezielt auf grünen Strom auszudehnen. Dabei wäre zu untersuchen inwiefern die Verlagerung auf die Verteilnetzebene die Übertragungsnetze entlasten kann.

Durch einen bidirektionalen Stromleitungsverbund zwischen den Waben werden einerseits neue Netzkapazitäten geschaffen und andererseits Netzverluste verringert. Hierzu muss von benachbarten lokalen Netzbetreibern die Netzinfrastruktur verbunden werden. Damit soll das Übertragungsnetz etwas entlastet und Abschaltungen von EE verringert oder gar vermieden werden.

d) Grenzüberschreitender Informations- und Energieaustausch

Ein Austausch über die bestehenden Leitungen ist mit dem OTC-Geschäft bereits möglich und üblich und könnte für die Energiewaben eine Möglichkeit zum überregionalen Stromhandel darstellen. Es wäre aber auch zu prüfen, ob eine physische Anbindung auf Verteilnetzebene Sinn macht.

7. Abstimmungsbedarf

Da beispielsweise in Deutschland der Strommarkt liberalisiert ist, was u.a. dem Kunden eine freie Wahl des Energieversorgers oder auch den Anlagenbesitzern eine freie Vermarktungsform ermöglicht, ist für die Konzeptionierung und den Aufbau einer Energiewabe eine Abstimmung mit Kunden und anderen Marktteilnehmern zwingend notwendig.

a) Netzbetreiber

Da es sich bei einer Energiewabe um einen räumlich begrenzten energetischen Bilanzkreis handelt, besteht beim realen Aufbau von Energiewaben ein gewisser Abstimmungsbedarf mit Netzbetreibern, die innerhalb der Wabe als Verteilnetzbetreiber agieren. Dabei handelt es sich bspw. um technische, rechtliche und regulatorische Regelungen, die eine sinnvolle und wirtschaftliche Nutzung des Verteilnetzes innerhalb der Wabe ermöglichen. Des Weiteren gilt es den Bedarf an Informationen aus dem Verteilnetz zum Betrieb der Energiewabe abzustimmen.

b) Erzeuger

Es besteht Abstimmungsbedarf mit Besitzern oder Betreibern von Erzeugungsanlagen, die sich innerhalb der Wabe befinden. Dabei handelt es sich bspw. um technische, rechtliche und regulatorische Regelungen, die eine sinnvolle und wirtschaftliche Einbindung der Erzeugungsanlagen und deren Energiemengen sowie die rechtliche Nutzung der Erzeugungsdaten innerhalb der Wabe ermöglichen.

c) Verbraucher

Es besteht ein gewisser Abstimmungsbedarf mit Besitzern oder Betreibern von Verbrauchsanlagen sowie ggf. einzelnen Verbrauchern, die sich innerhalb der Wabe befinden. Dabei handelt es sich bspw. um technische, rechtliche und regulatorische Regelungen, die eine sinnvolle und wirtschaftliche Einbindung der Verbrauchsanlagen und Verbraucher, sowie die rechtliche Nutzung der Verbrauchsdaten innerhalb der Wabe ermöglichen. Dies gilt es für eine reale Umsetzung der Energiewabe z. B. über Stromlieferverträge abzudecken.

d) Genehmigungen

Da es sich bei einer Energiewabe um einen räumlich begrenzten energetischen Bilanzkreis handelt, besteht zum realen Aufbau von Energiewaben ggf. ein gewisser Abstimmungsbedarf mit verschiedenen Gemeinden, Landkreisen oder Behörden, die sich in dem energetischen Bilanzkreis des Wabenbetrachters befinden. Dabei handelt es sich bspw. um Abstimmungen und rechtliche und regulatorische Regelungen, die zu berücksichtigen sind und welche Genehmigungen jeweils erforderlich sind. Empfehlungen hierfür werden im Rahmen des Projektes erarbeitet.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel einer Regionalen Energiewabe [1]	2
Abbildung 2: Szenario 100% EE-Erzeugung am Elektrizitätsbedarf 2030 der Energiewabe Trier [3]	3
Abbildung 3: Beispieltag aus 100%-bilanziell EE Szenario [3]	4
Abbildung 4: Verteilnetzstruktur in der Energiewabe Region Trier [Darstellung nach [4]]	11
Abbildung 5: Beispieldarstellung der Aufgabe des Online-Reglers [3]	12
Abbildung 6: Beispiel virtuelles Kraftwerk Energiewabe Region Trier [1]	13
Abbildung 7: Beispieldarstellung der Energiesektoren [Darstellung nach [6] u. [7]]	18
Abbildung 8: Beispiel Day-Ahead Prognose Elektrizitätsverbrauch und EE-Erzeugung [3]	20
Abbildung 9: Prognosen Day-Ahead gegenüber Intraday [3]	21
Abbildung 10: Abweichung Intraday-Prognose zu realer Erzeugung und Verbrauch [3]	22
Abbildung 11: Viertelstündliche Anpassung des Online-Reglers [3]	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiel der dreistufigen Bilanzkreisoptimierung [1]	10
Tabelle 2: Beispieltabelle Gesamtelektrizitätserfassung einer Energiewabe (Darstellung nach [3])	14
Tabelle 3: Beispieltabelle Komponenten Elektrizitätsverbrauch Energiewabe [Darstellung nach[3]]	15
Tabelle 4: Unterschiedliche Stromspeicherarten [Darstellung nach [5]].....	17
Tabelle 5: Beispiel Sektorkopplungsmöglichkeiten [Darstellung nach[8]].....	18

Glossar

B

Bidirektionaler Stromleitungsverbund

Grenzüberschreitender Austausch innerhalb der Energiewabe, wobei der Austausch von Daten, Energiemengen etc. in beide Richtungen stattfindet.

Bilanzkreis

Virtuelles Energiemengenkonto für Strom, mit dem die Möglichkeit gegeben wird, die Entnahmen durch Verbraucher mit den Einspeisungen ausgeglichen zu halten.

D

Day-Ahead-Optimierung

Abgleich der Day-Ahead Prognosen (einen Tag vorher) zwischen prognostizierter Erzeugung und Verbrauch mit dem Markt und Nachbarwaben, um einen ausgeglichenen Bilanzkreis zu erhalten.

DSM

Demand-Side-Management ist eine Flexibilisierungsoption innerhalb der Energiewabe welche dafür genutzt wird, den Elektrizitätsverbrauch, der Elektrizitätserzeugung anzupassen.

E

EE

Erneuerbare Energien wie Sonnenenergie, Wasserkraft, Windenergie, Biomasse oder Geothermie.

EMCS

Energy-Management-Control-System innerhalb der Leitstelle, welches online alle Energiedaten innerhalb der Energiewabe analysiert und ausgleicht und alle relevanten Komponenten einer Energiewabe kombiniert und steuert.

F

fEE

Fluktuierende erneuerbare Energien. Hierunter werden Sonnen- und Windenergie sowie Wasserkraft zusammengefasst, da deren Energieerzeugung je nach Wetterlage stark schwanken kann.

I

Intraday-Optimierung

Abgleich der ¼-Stunden-Prognosen für 12h-Horizont mit den Day-Ahead Prognosen für Erzeugung und Verbrauch.

Intra-period-Optimierung

Regelungsstufe 3, der Abgleich der Ist-Erzeugung und des Ist-Verbrauchs mit den Intraday Prognosen innerhalb einer ¼-Stunde.

L

Leitstelle

In der Leitstelle fließen alle relevanten Erzeugungs- und Verbrauchsdaten zusammen. Dazu zählen sowohl Prognosewerte bzw. Fahrpläne aller Komponenten als auch deren tatsächliche Erzeugung sowie der Verbrauch.

M

Modellenergiewabe

räumlich begrenzter, energetischer Bilanzkreis, in dem alle unterschiedlichen Akteure und Komponenten die bei der Energieversorgung relevant sind berücksichtigt werden können.

O

Online-Regler

flexibles Speichermedium o.ä. welches die Ausregelung zwischen Prognose der Erzeugung und des Verbrauchs zu tatsächlicher Erzeugung und Verbrauch in (Fast-)Echtzeit innerhalb der ¼-Stunde übernimmt.

OTC-Handel

Over-the-Counter-Geschäft, welches einen bilateralen Stromhandel darstellt, bei dem beide Teilnehmer direkt untereinander handeln und individuell Preis, Laufzeit und Basiswert für die Kontrakte vereinbaren.

P

Power to Heat

Direkte Umwandlung von Strom in Wärme, welche innerhalb der Energiewabe, in der Regel in Kombination mit Wärmespeichers zur Flexibilität des Energiesystems beigetragen.

Power to Liquid

Bezeichnet innerhalb der Energiewabe die Erzeugung eines flüssigen Gases mit Strom aus EE.

Prognosefehler

Unumgänglich fehlerhafte Vorhersage der Einspeisung von fluktuierenden erneuerbaren Energien gegenüber der tatsächlichen, realen Einspeisung derer.

Prosumer

Komponenten oder Kunden die sowohl Energie erzeugen, als auch verbrauchen.

R

Regionale Energiewabe

Konzept zur regionalen Ausregelung der Energie innerhalb eines Bilanzkreises, um Energiemengen aus EE an definierten Knotenpunkten bzw. Schnittstellen plan- und prognostizierbar zu machen.

S

Sektorkopplung

Bezeichnet das Zusammenführen der Sektoren Elektrizitätsversorgung, Wärmeversorgung und Verkehr. Langfristig wird ein hoher Anteil Strom aus EE in allen Sektoren angestrebt, um die Klimaschutzziele zu erreichen.

Smart Grid

intelligentes Stromnetz, welches durch Kommunikations-, Mess-, Steuer-, Regel- und Automatisierungstechnik, Netzzustände in Echtzeit erfasst und durch intelligente Steuerung Netzkapazitäten optimal ausnutzt.

SWT

Infrastrukturdienstleister in Trier und Region Trier in Rheinland-Pfalz in den Bereichen Strom, Gas, Trinkwasser, Wärme, Abwasserreinigung, ÖPNV, Parken, Hallenbad, Saunaanlage und Telekommunikation.

V

Virtuelles Kraftwerk

Zusammenschaltung aller dezentralen Elektrizitätserzeugungseinheiten innerhalb der jeweiligen Energiewabe, um so im Verbund elektrische Leistung verlässlich bereitstellen zu können.

Quellenverzeichnis

- [1] Stadtwerke Trier Versorgungs-GmbH, Strategie Erzeugung/Projektentwicklung, Forschung & Entwicklung
- [2] https://mueef.rlp.de/fileadmin/mulewf/Publikationen/Energiewende_RLP_deutsch.pdf, S.9, gefunden am 02.05.17
- [3] Stadtwerke Trier Versorgungs-GmbH, Masterthesis „Erstentwurf für den Leitfaden des Energiewabenkonzepts und die Modellierung der Energiewabe Region Trier im Rahmen des Interreg VA-Projekts „EnergiewabenGR““
- [4] <https://www.westnetz.de/web/cms/de/1607572/westnetz/netz-strom/netzgebiet/>, Verteilnetzkarte (PDF 2,4 MB)
- [5] https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/382.75_Renews_Spezial_Strom_speichern_Dez2014_online.pdf, Kapitel 5, Seite 21-42, Funktion und Perspektiven unterschiedlicher Speichertechnologien, gefunden am 17.02.17
- [6] https://mueef.rlp.de/fileadmin/mulewf/Themen/Energie_und_Strahlenschutz/Energie/11._Energiebericht_.pdf, gefunden am 13.03.17
- [7] https://www.statistik.rlp.de/fileadmin/dokumente/jahrbuch/Jahrbuch_2016_Kapitel_19_-_Energie.pdf, gefunden am 13.03.17
- [8] http://www.governance-platform.org/wp-content/uploads/2017/03/HVGP_Trialog-Bericht-Sektorkopplung.pdf, gefunden am 13.03.17