

EIGENSTROMVERSORGUNG IM VERBUND MIT UNTERSTÜTZUNG VON BATTERIEN

Lokale virtuelle Kraftwerke für Kommunen

Prof. Dr. Ralf Simon



ralf.simon@simon-pe.de



Technische Hochschule Bingen



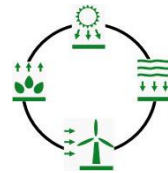
Transferstelle für rationelle und regenerative
Energienutzung Bingen



Simon Process Engineering GmbH



Energiebeirat des Landes Rheinland – Pfalz
zur Beratung der Landesregierung in energie-
politischen Fragen



Aufsichtsratsvorsitzender der Bürgergenos-
senschaft Rheinhessen eG

Notwendigkeit der Eigenstromversorgung

- **Versorgungssicherheit**
Unabhängigkeit von Ressourcen unsicherer Länder
 - **Klimaschutz**
Stromerzeugung ohne CO₂-, NO_x oder Feinstaubemissionen
 - **Kostenvorteil**
langfristig stabile Strompreise
- **Notwendig: Fläche**



Beispiel: Faltdach der Kläranlage ARA Chur

Quelle: Sonnenseite vom 10.09.2017



Beispiel: solares Faltdach für die Kläranlage Davos

Quelle: Photovoltaik vom 10.12.2020



PV Freiflächenanlage als kostengünstige Erzeugungsmöglichkeit



Großbatterie als Containerlösung bei der Westerwälder Holzpellets GmbH

Notwendigkeit der Eigenstromversorgung

Beispiele für die Eigenstromversorgung:

PV-Freiflächenanlagen können im Bereich
4,44 – 5,47 ct/kWh Strom erzeugen¹
PV-Aufdachanlagen (groß) können im Bereich
6,90 bis 9,48 ct/kWh Strom erzeugen²

¹: siehe [BNetzA – Ausschreibungsergebnisse](#): dort Mittelwert für die Ausschreibung Dezember 2023: **5,17 ct/kWh**
dies ist der Mittelwert aus 124 Geboten

²: siehe [BNetzA – Ausschreibungsergebnisse](#): dort Mittelwert für die Ausschreibung Oktober 2023: **8,92 ct/kWh**
dies ist der Mittelwert aus 125 Geboten

plus Flexibilisierung um

- kostengünstigen CO₂-freien Strom selbst nutzen zu können
- Wertschöpfungspotenziale an den Börsen bzw. im Bereich der Systemdienstleistungen zu erzielen

→ Langfristig stabile Strompreise, die nach der Abschreibung auf einen sehr kleinen Wert sinken werden

→ auch als Beitrag zum Klimaschutz und als Vorbild für andere

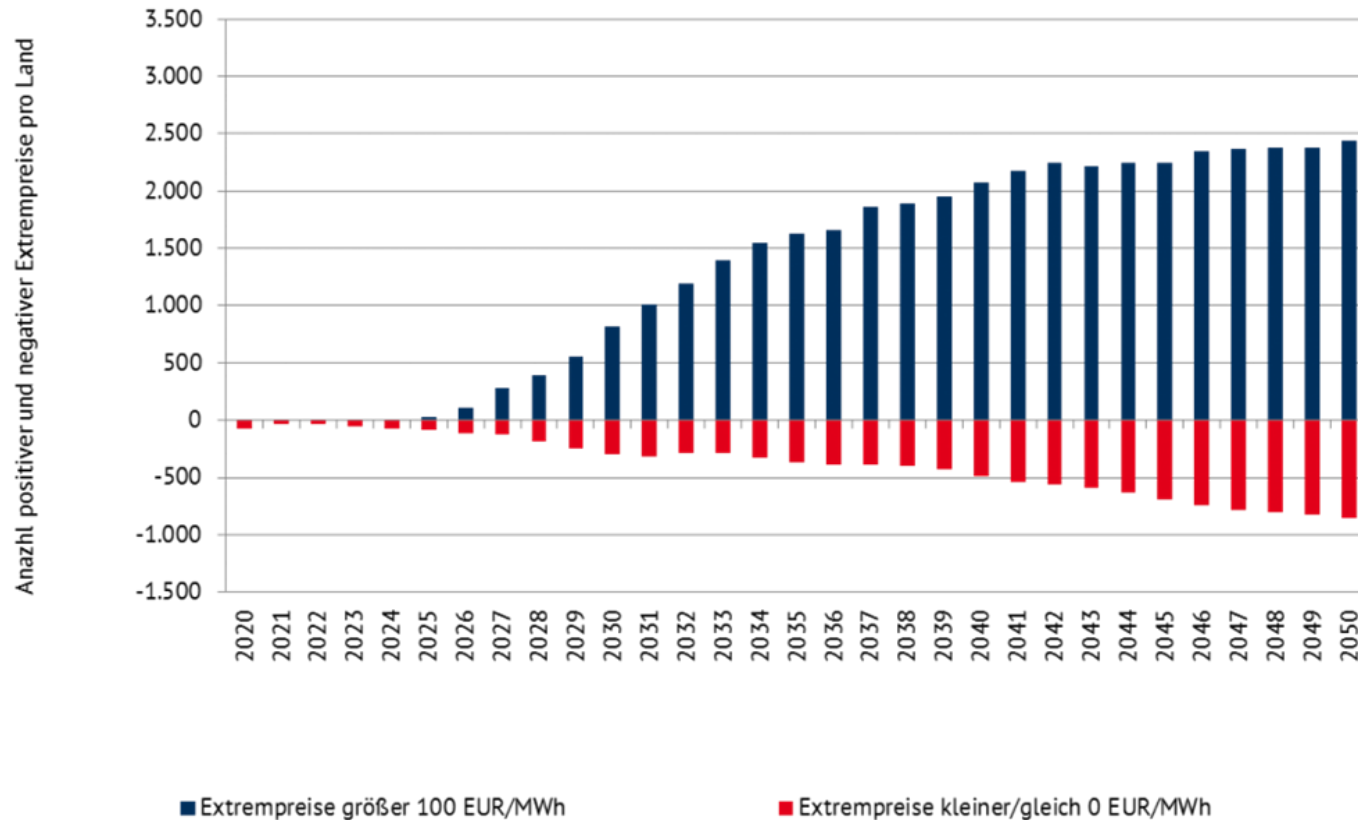
Stromprodukt: EEX Phelix DE Peak Year



Kurs am 03.06.2024: 10,96 ct/kWh

Quelle: <https://www.finanzen.net/rohstoffe/eex-strompreis>, Abruf vom 03.06.2024

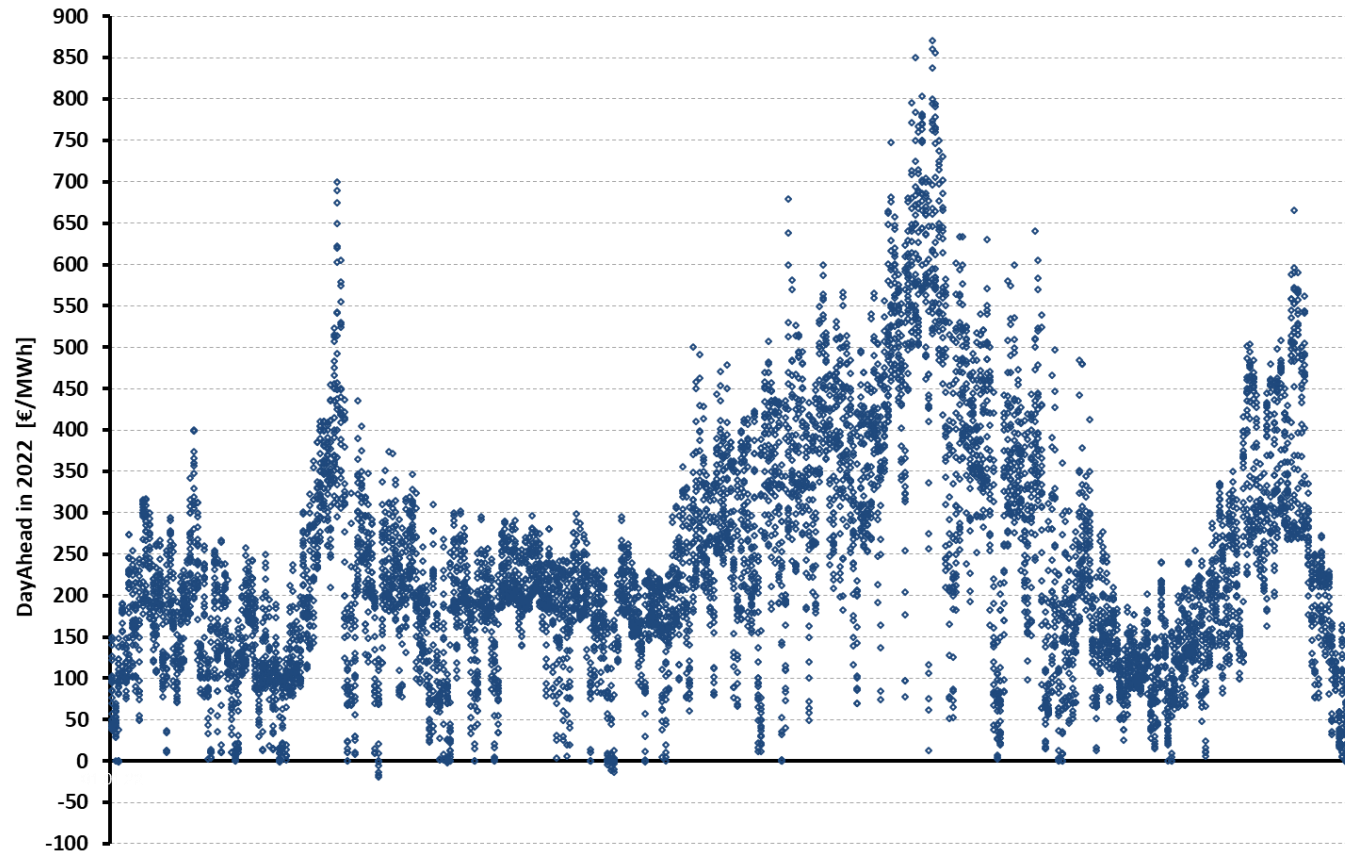
Entwicklung der Spotmärkte (Day-Ahead)



Quelle: Energy Brainpool, 2017

Bedingt durch den Merit Order Effekt der fluktuierenden Stromerzeuger und der Prognostizierbarkeit der Einspeisung durch die fluktuierenden Stromerzeuger wird der Anteil der Extrempreise im Spotmarkt zunehmen.

Spotmarktpreise (DayAhead) in 2022



Manche Versorger hatten ab 2022 begonnen Lieferverträge nur noch auf 100% Spotmarktbasis anzubieten

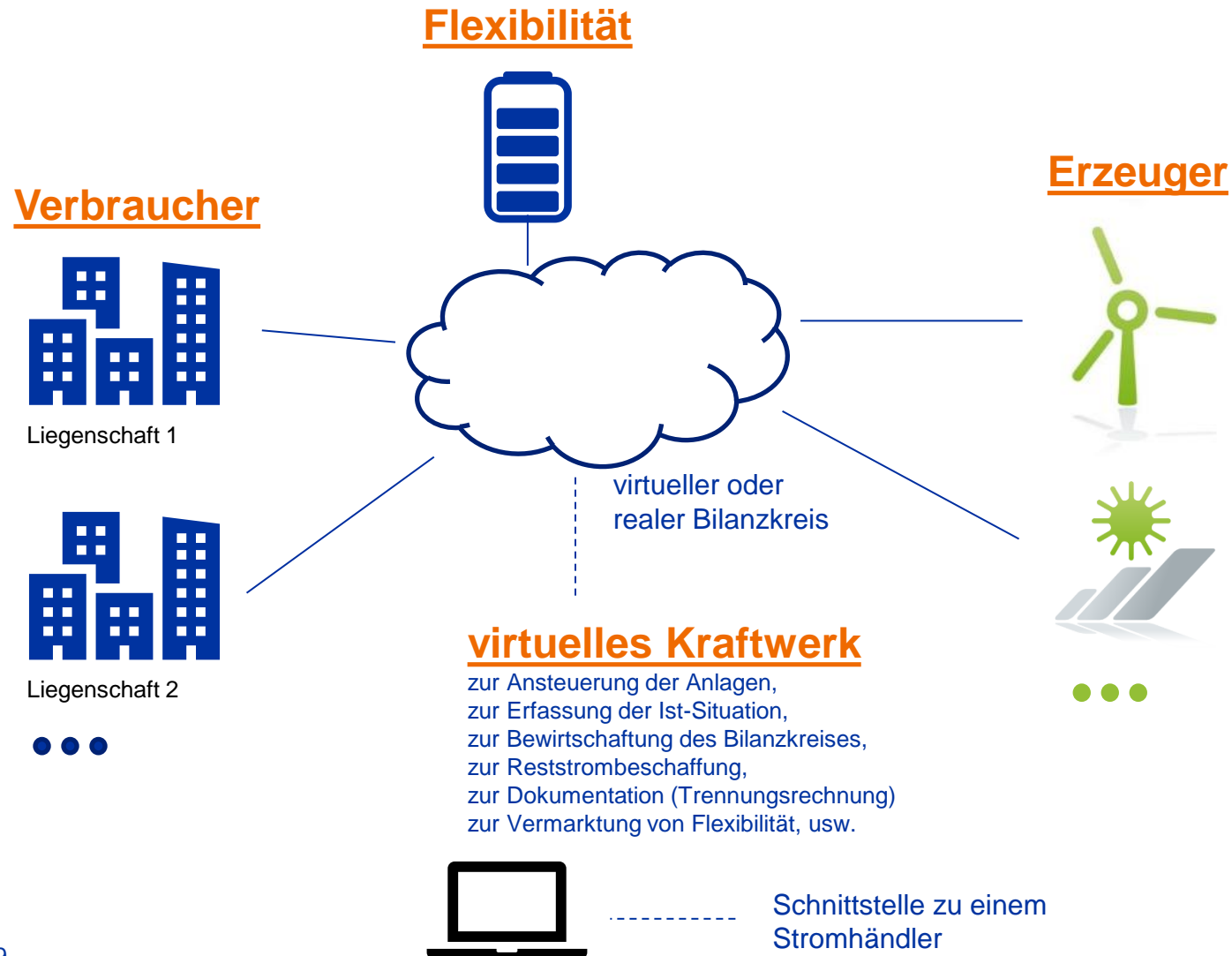
Konsequenz:

- Ausbau der regenerativen Eigenstromversorgung
- Ausbau der Flexibilität so weit wie möglich

um:

- kostengünstigen, selbst erzeugten Strom aufnehmen zu können,
- Preisphasen mit niedrigen Spotmarktpreisen ausnutzen zu können,
- Preisphasen mit sehr hohen Spotmarktpreisen nicht nutzen zu müssen.

Prinzip einer Energieregion



Energieregion hat das Ziel einen möglichst energieautarken regionalen Verbund zu schaffen, dessen Bilanzkreis sich erneuerbar und hocheffizient über die Verbrauchssektoren mengenmäßig und zeitlich ausgleicht¹

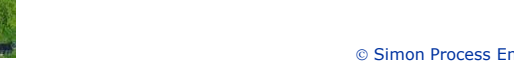
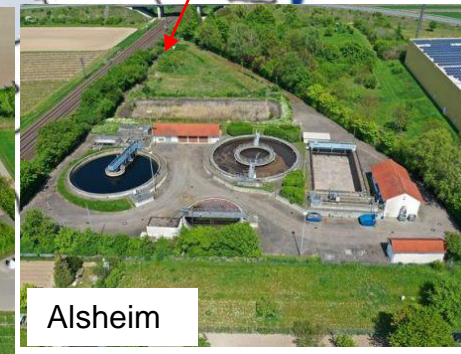
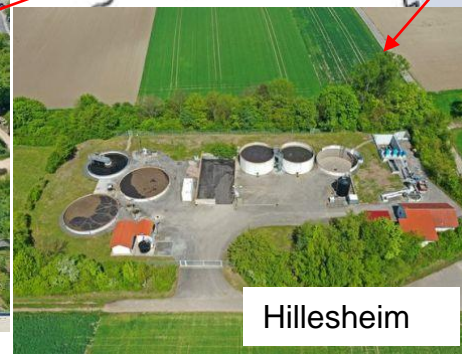
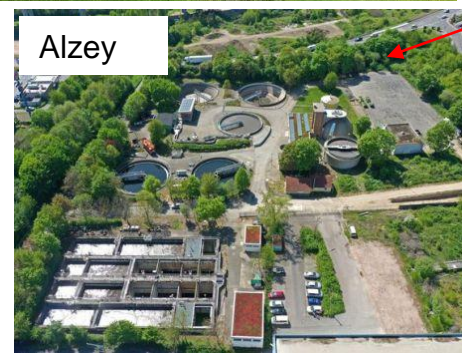
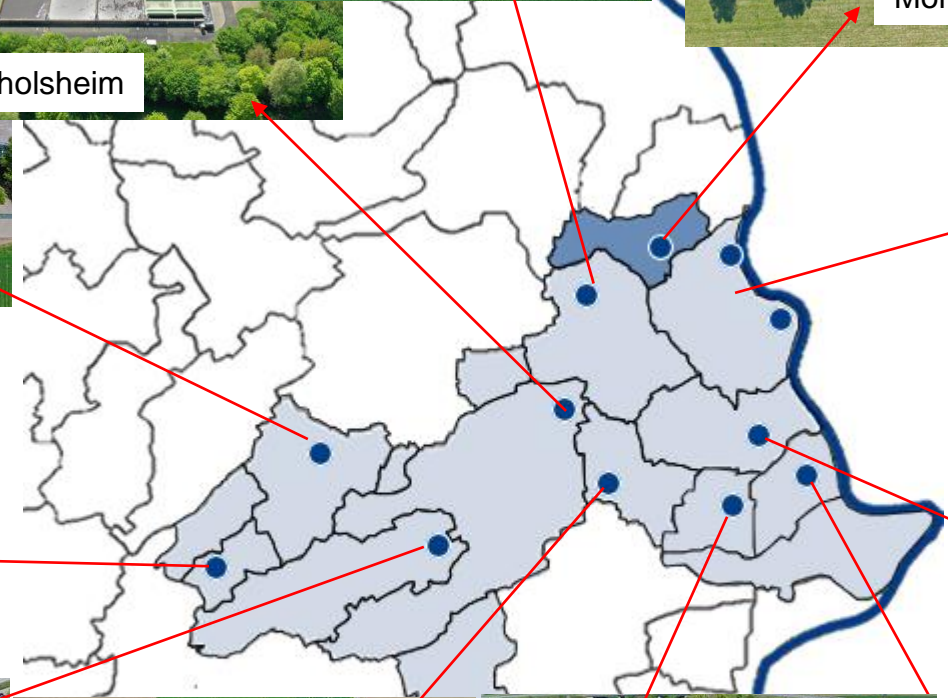
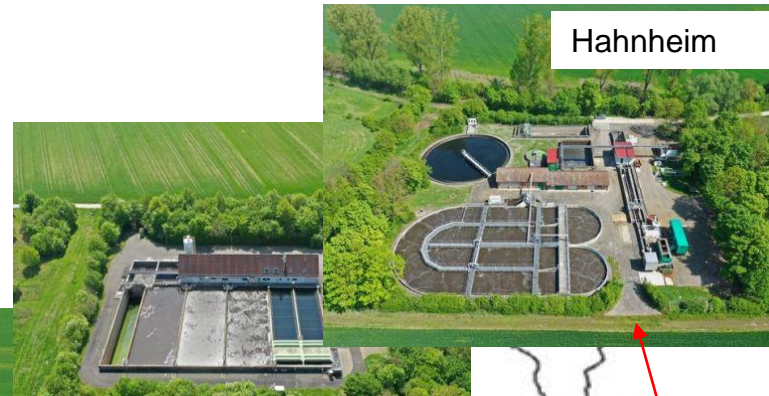
→ regenerative Eigenstromversorgung für sich selbst und andere

¹Quelle: Zukunftsvertrag Rheinland-Pfalz 2021 bis 2026, Kapitel 2 Konsequenter Schutz von Klima und Umwelt, Seite 29 ff

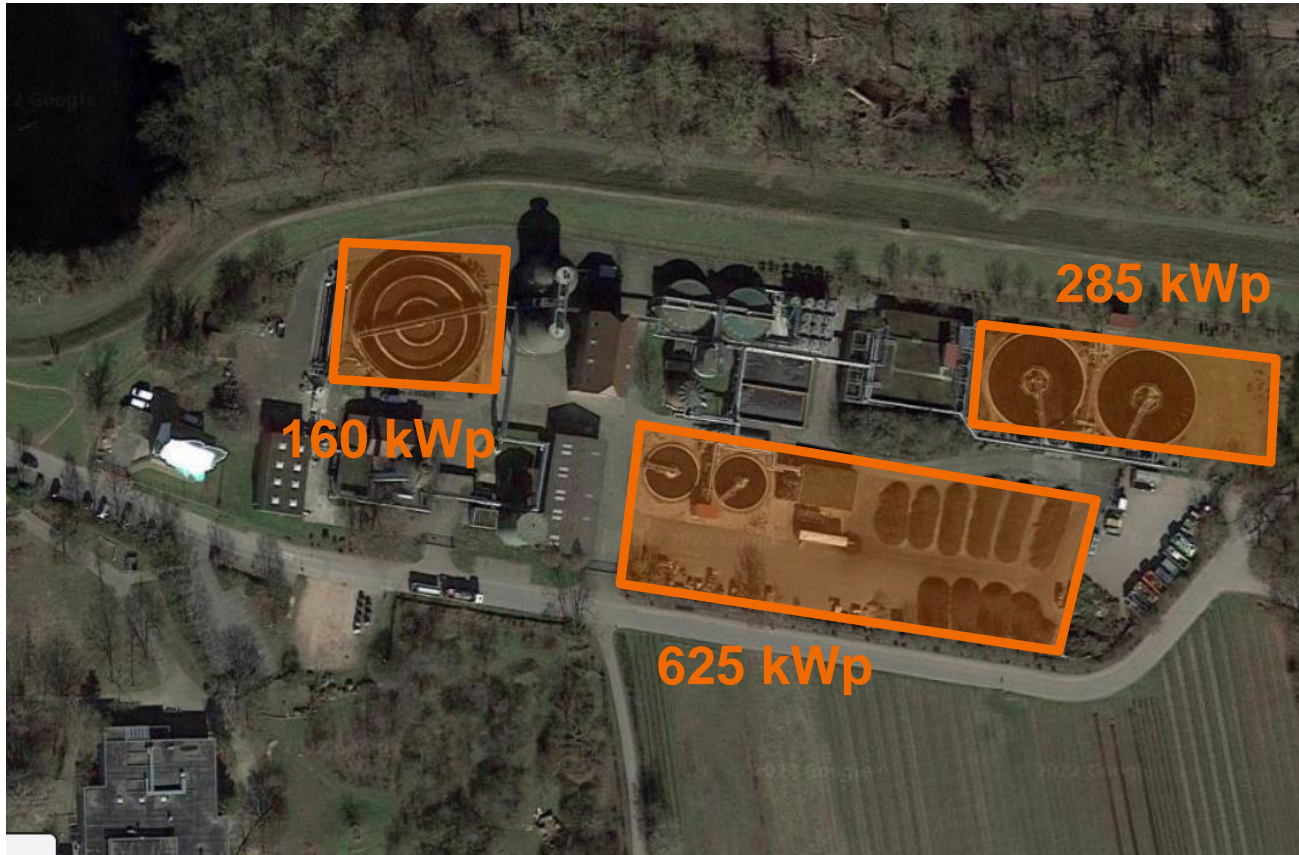
Beispielprojekt

Bei einzelnen Anlagen existiert ausreichend Fläche für größere PV-Anlagen.

Ziel: Erhöhung der Eigenstromversorgung durch fluktuierende CO₂-freie Stromquellen für den Zweckverband



Beispielprojekt: Potenzialanalyse an einem Beispielstandort



Potenzial für PV-Ausbau:

- Freiflächenanlage: 0 kWp
- Dach- / Aufbauanlage: 1.070 kWp

Bemerkung

keine

Beispielprojekt: Potenzialanalyse – Zusammenfassung

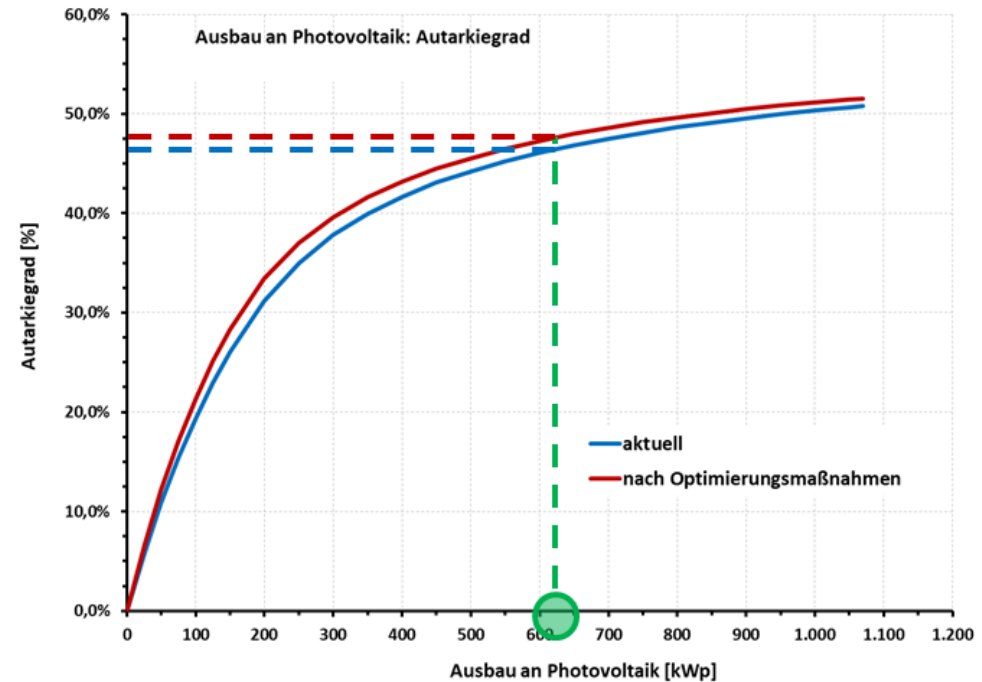
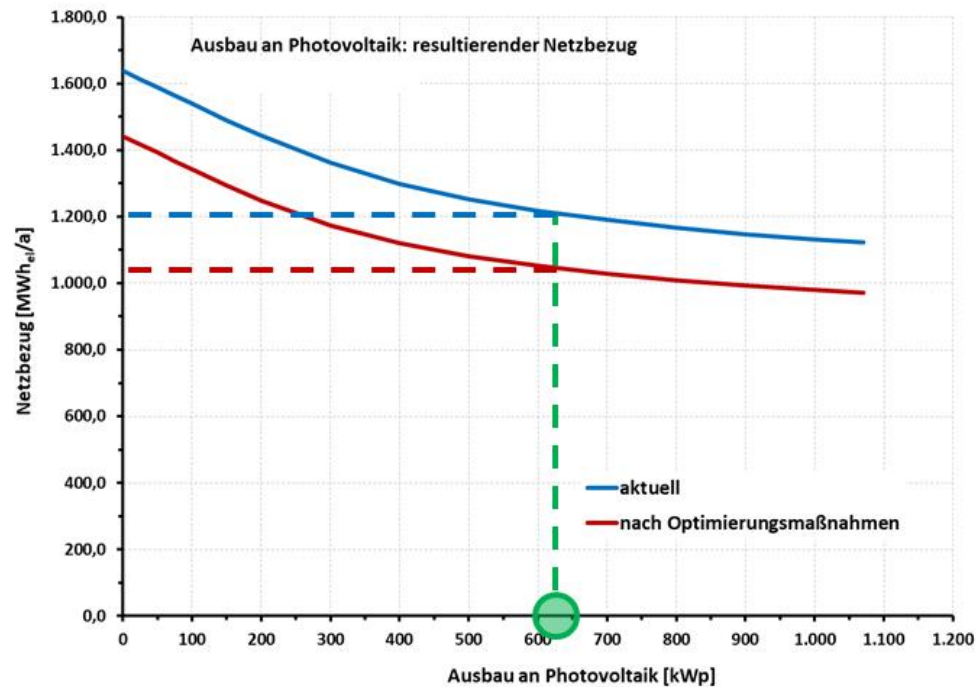
Freiflächenanlagen

Standort	PV-Potenzial	aufsummiertes Potenzial
	[kWp]	[kWp]
4	1.580,00	1.580,00
5	965,00	2.545,00
13	640,00	3.185,00
2	360,00	3.545,00
3	300,00	3.845,00
12	250,00	4.095,00
10	230,00	4.325,00
6	130,00	4.455,00
8	90,00	4.545,00

Dach- und Aufbauanlagen

Standort	PV-Potenzial	aufsummiertes Potenzial
	[kWp]	[kWp]
7	1.070,00	1.070,00
6	610,00	1.680,00
9	575,00	2.255,00
1	385,00	2.640,00
3	175,00	2.815,00
8	40,00	2.855,00

Beispielprojekt: PV-Sensitivitätsanalyse am Beispiel



Auslegung der
PV-Anlage: 625,0 kWp

(Überdachung Klärschlammplatz)

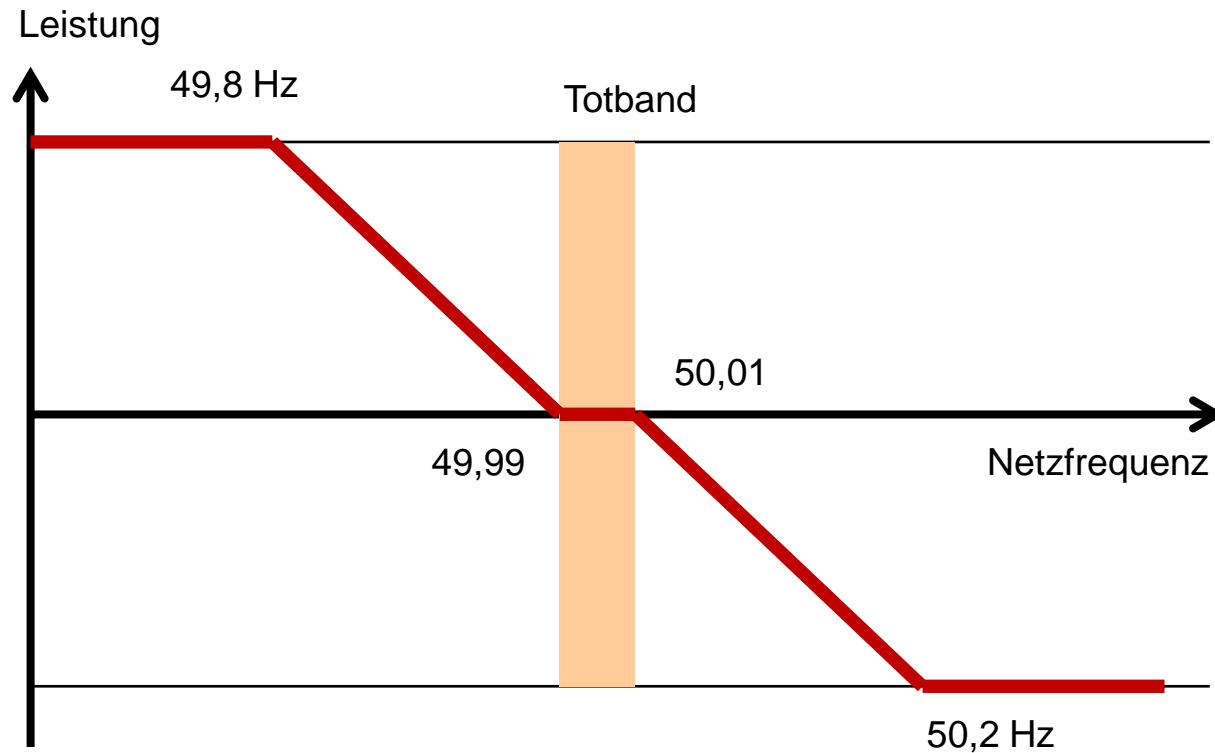
Einsatzmöglichkeiten von Großbatterien

	Primärregel- leistung	Spotmarkt	Netzentgelte ¹	Erhöhung der Eigenstrom- versorgung	USV- oder NEA-Funktion
Versorger	X	X			
Gewerbe und Industrie	X	X	X	X	X
Quartier in der Kundenanlage	X	X	X	X	
Straßenbe- leuchtung	X	X	X	X	

¹Spitzenlastkappung zur Reduktion des Leistungspreises und eventuell auch die atypische Netznutzung nach §19 StromNEV Abs. 2 S1 oder §19 StromNEV Abs. 2 S2

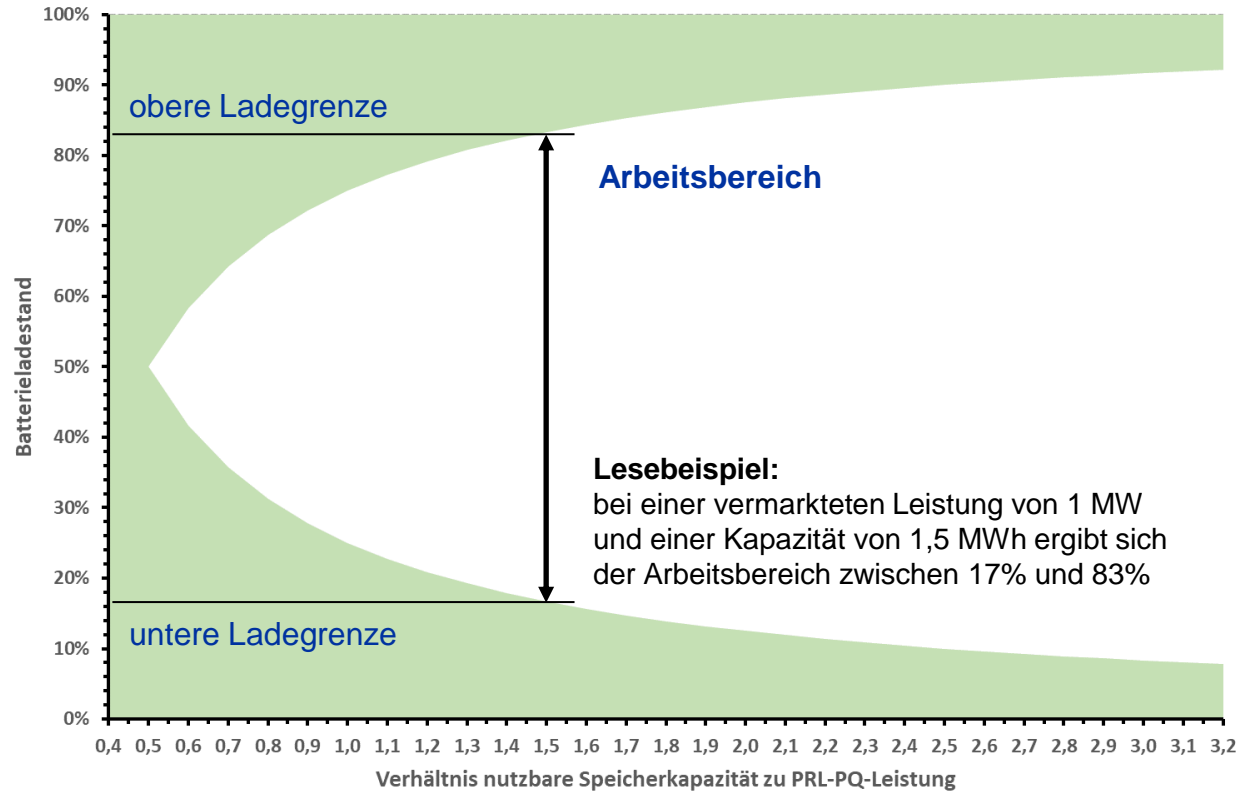
zusätzliche Einsatzmöglichkeiten vorhanden wie Blindleistungsbereitstellung, Spannungs- bzw. Frequenzregelung im Inselbetrieb

Primärregelleistung - Abrufe



- Die Anlage muss bei einer Netzfrequenz von 49,8 Hertz ihre für die Primärreserve angebotene Leistung in Sekundenschnelle komplett hochfahren.
- Bei einer Netzfrequenz von 50,2 Hertz muss sie ihre angebotene Leistung vollständig runterfahren.
- Innerhalb dieses Frequenzbandes sinkt die zu erbringende Leistung proportional zur Netzfrequenz.

Primärregelleistung: Anforderung der ÜNB an die Batterie

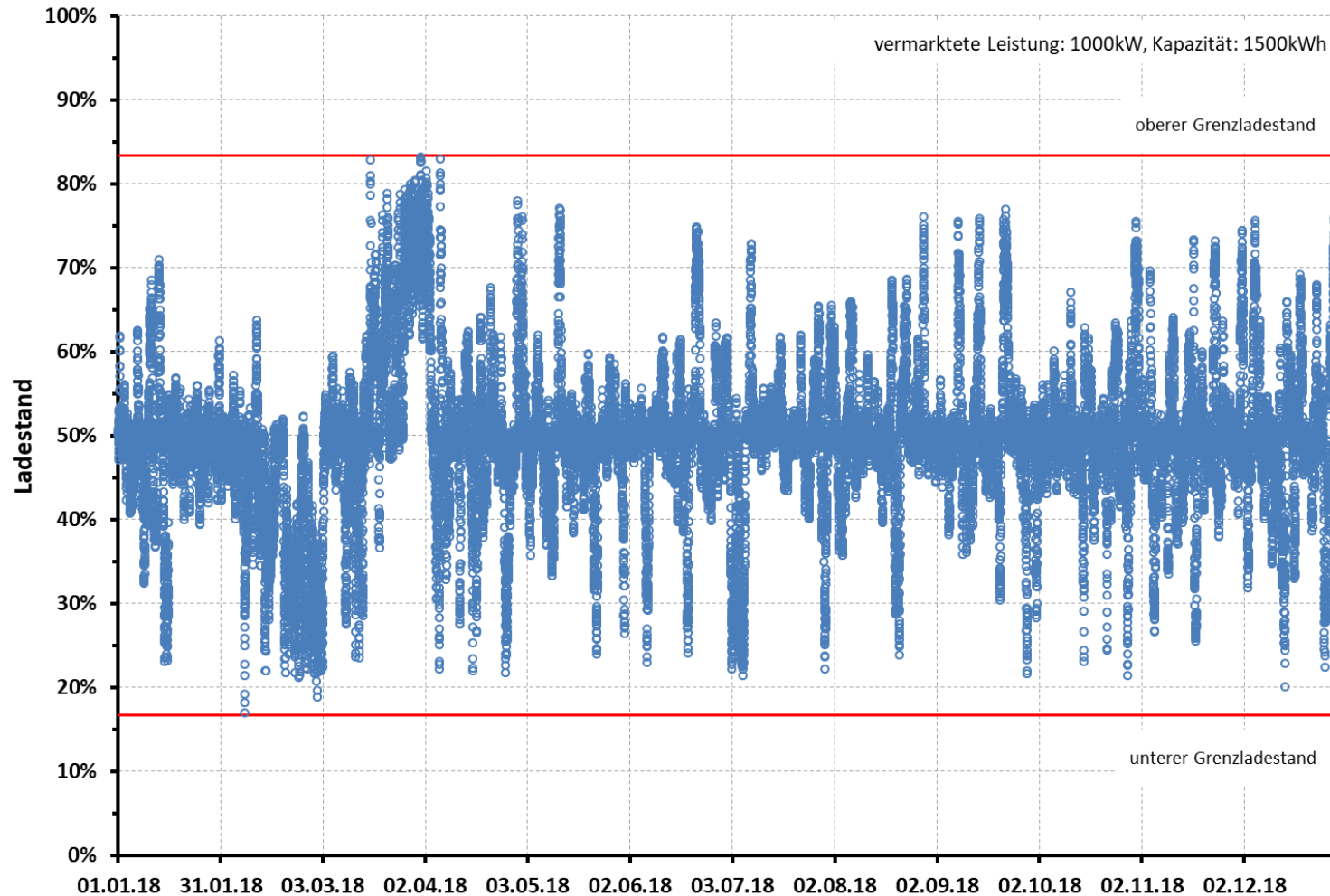


seit Mai 2019

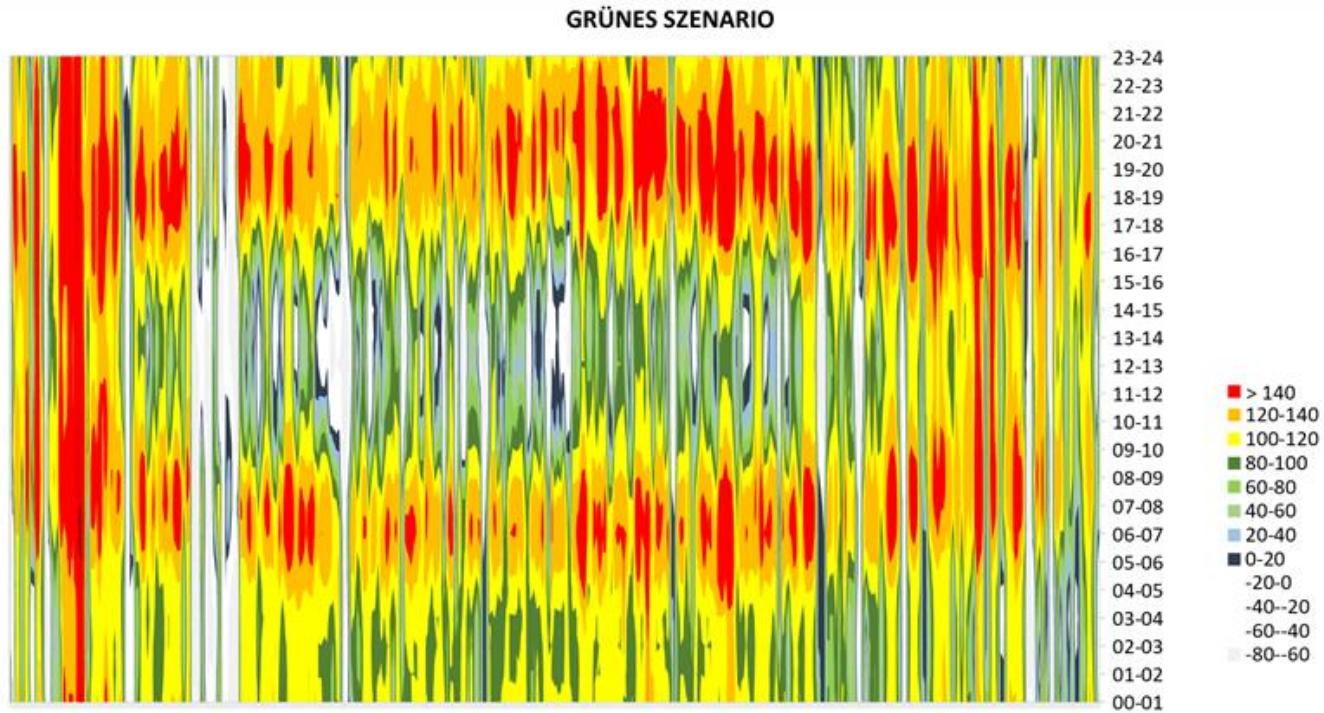
zu jedem Zeitpunkt muss die Batterie ihre vermarktete Leistung für **15 min** zur Verfügung stellen können.

Quelle: Präqualifikationsverfahren für Regelreserveanbieter (FCR, aFRR, mFRR) in Deutschland ("PQ-Bedingungen"), Mai 2019

Beispiel einer Batteriesimulation



Prognose des Day-Ahead-Spotmarktes in 2035



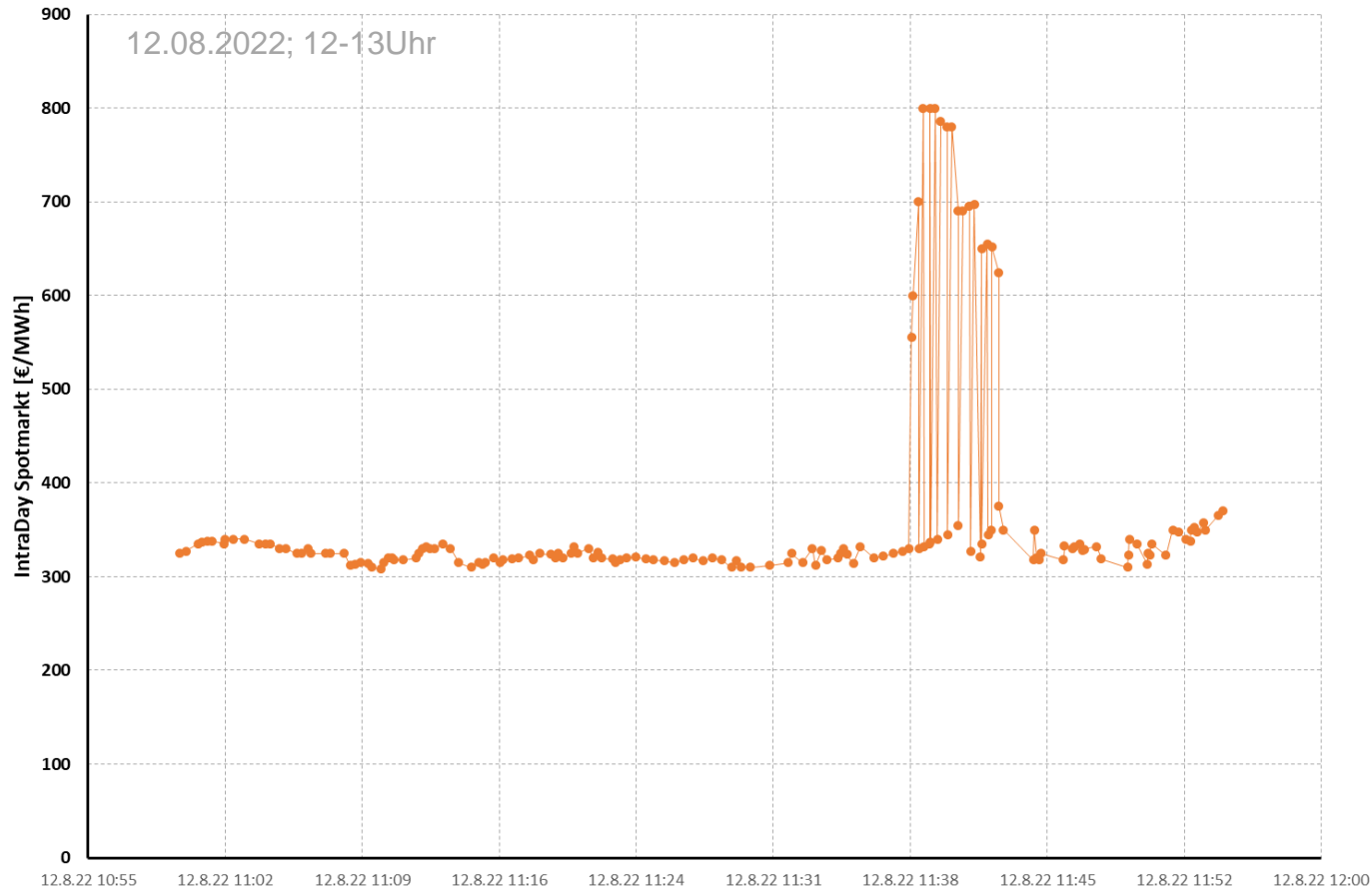
- Der Strompreis wird deutlich stärker vom Wetter abhängen.
- Hierdurch wird der Strompreis volatiler.

Empfehlung:

Kauf in der Mittagszeit, Verkauf in den Sonnenrandstunden

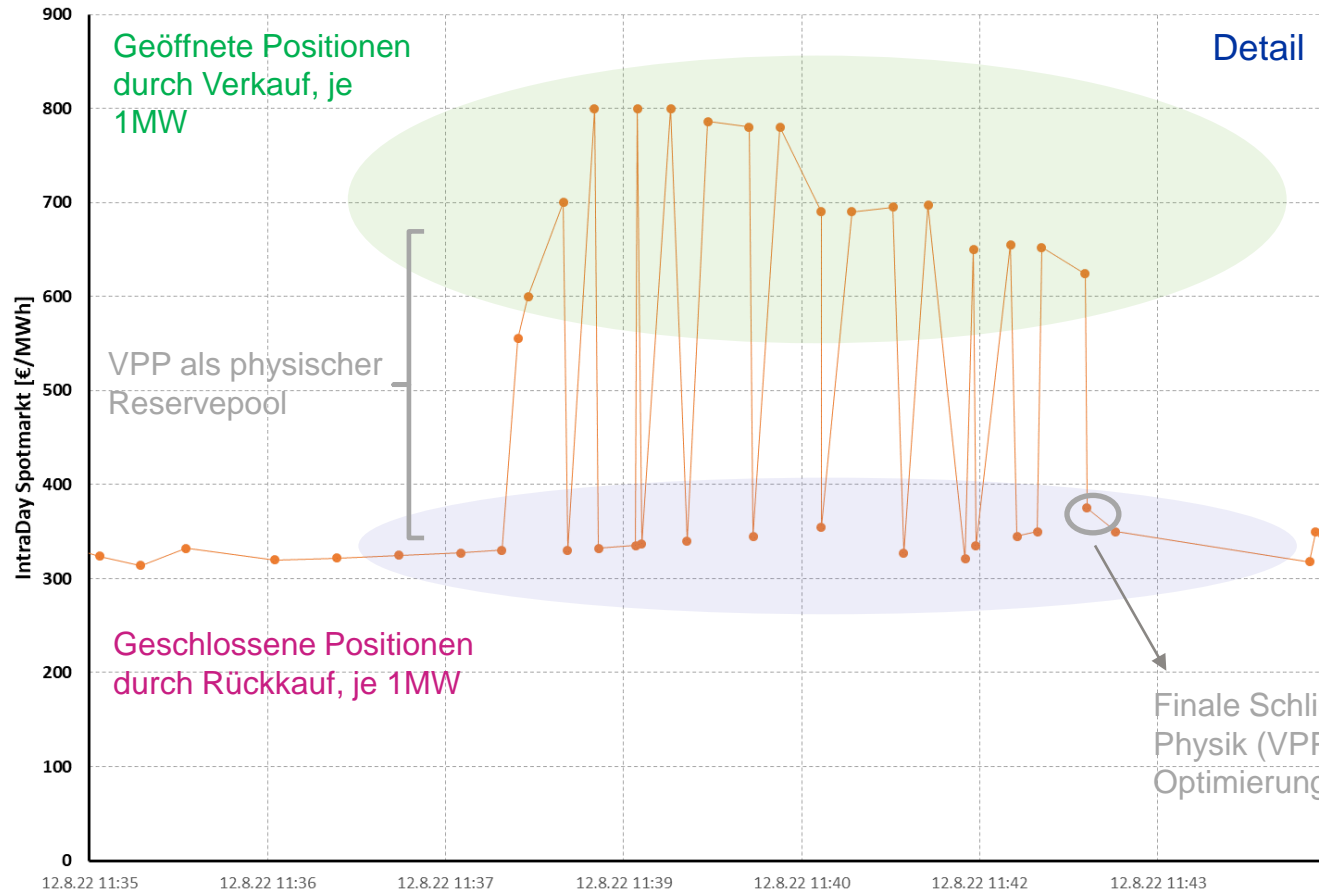
Quelle: EEB Enerko, Sep. 2020

Stromwirtschaft: Wertschöpfung durch Optionsgeschäft während des Handels



- Durch Kauf und Verkauf während des Handels kann ein leistungsbezogenes Ergebnis erreicht werden.
 - Das Risiko eines Stromhändlers liegt hierbei bei den Kosten der Ausgleichsenergie (*offene Position nach letztem Geschäft*)
- Risikoreduktion auf die Grenzkosten flexibler Anlagen möglich.

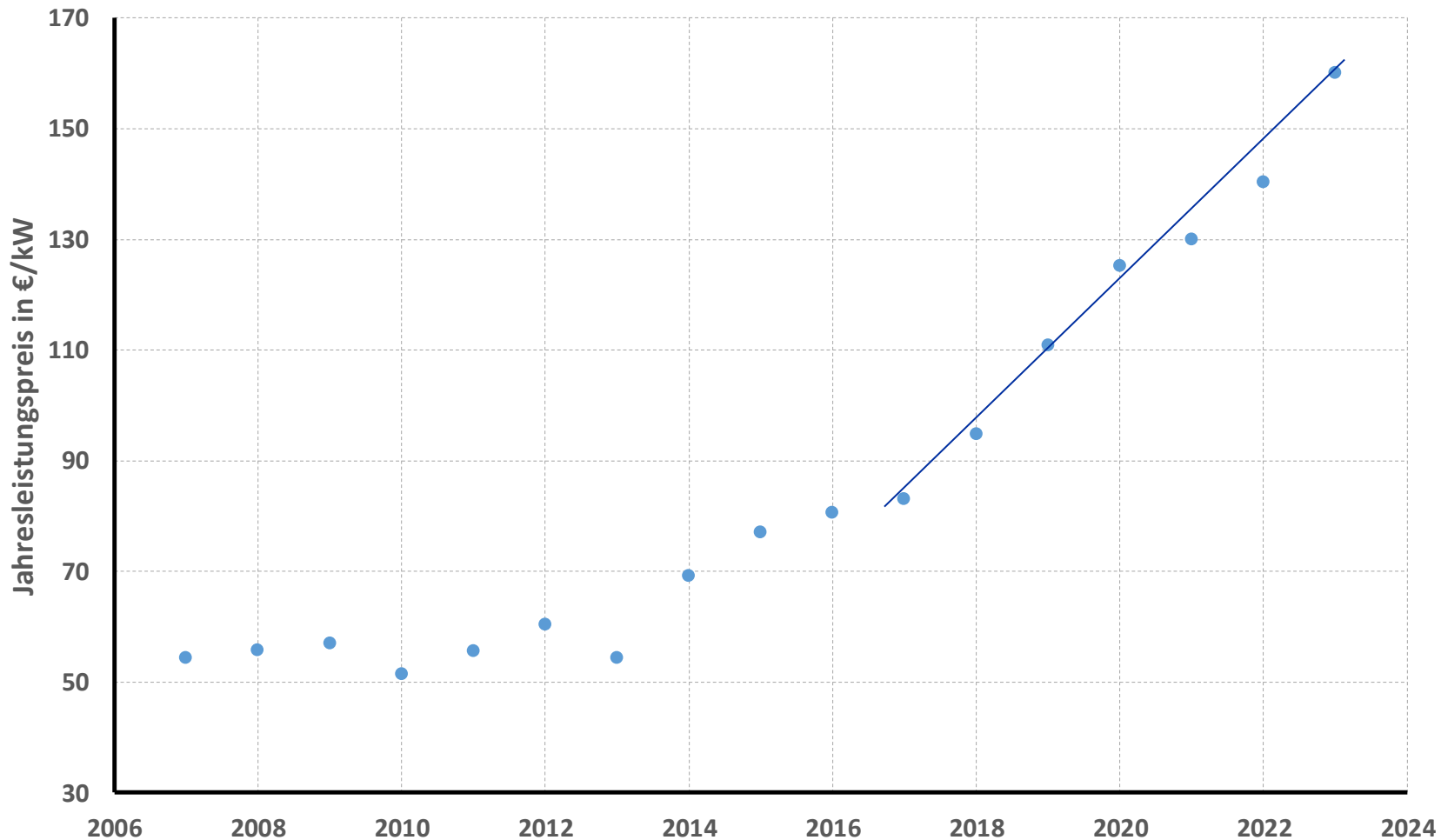
Stromwirtschaft: Wertschöpfung durch Optionsgeschäft während des Handels



- Durch Kauf und Verkauf während des Handels kann ein leistungsbezogenes Ergebnis erreicht werden.
- Das Risiko eines Stromhändlers liegt hierbei bei den Kosten der Ausgleichsenergie. (*offene Position nach letztem Geschäft*)

→ Risikoreduktion auf die Grenzkosten flexibler Anlagen möglich.

Preisentwicklung für Netzanschluss 20kV oberhalb 2.500 h/a



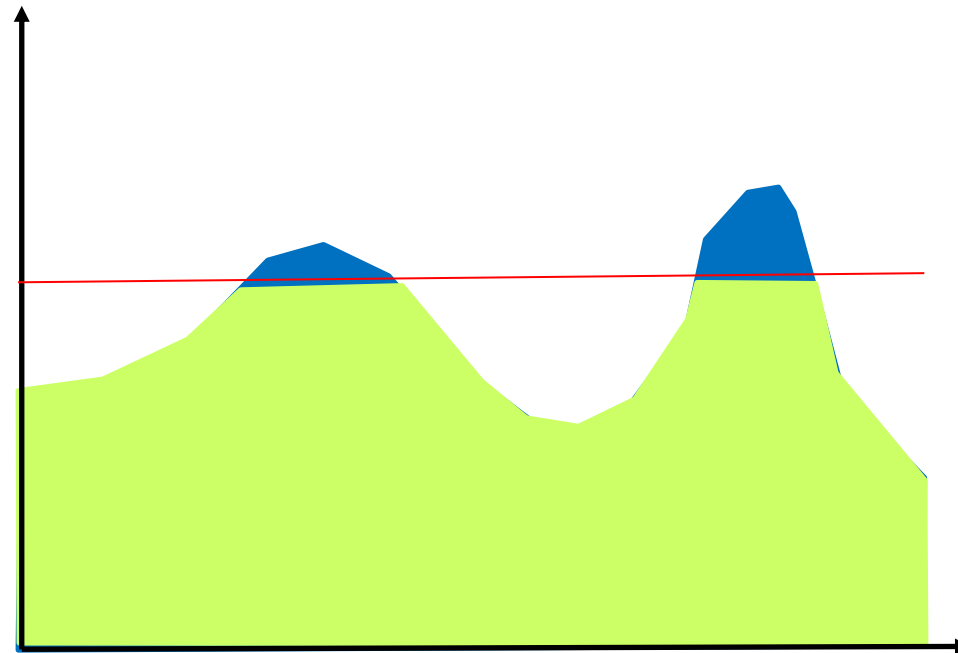
seit 2017 nahezu linearer Anstieg mit im Mittel ca. 10 % pro Jahr

Beispiel Netzgebiet in RLP

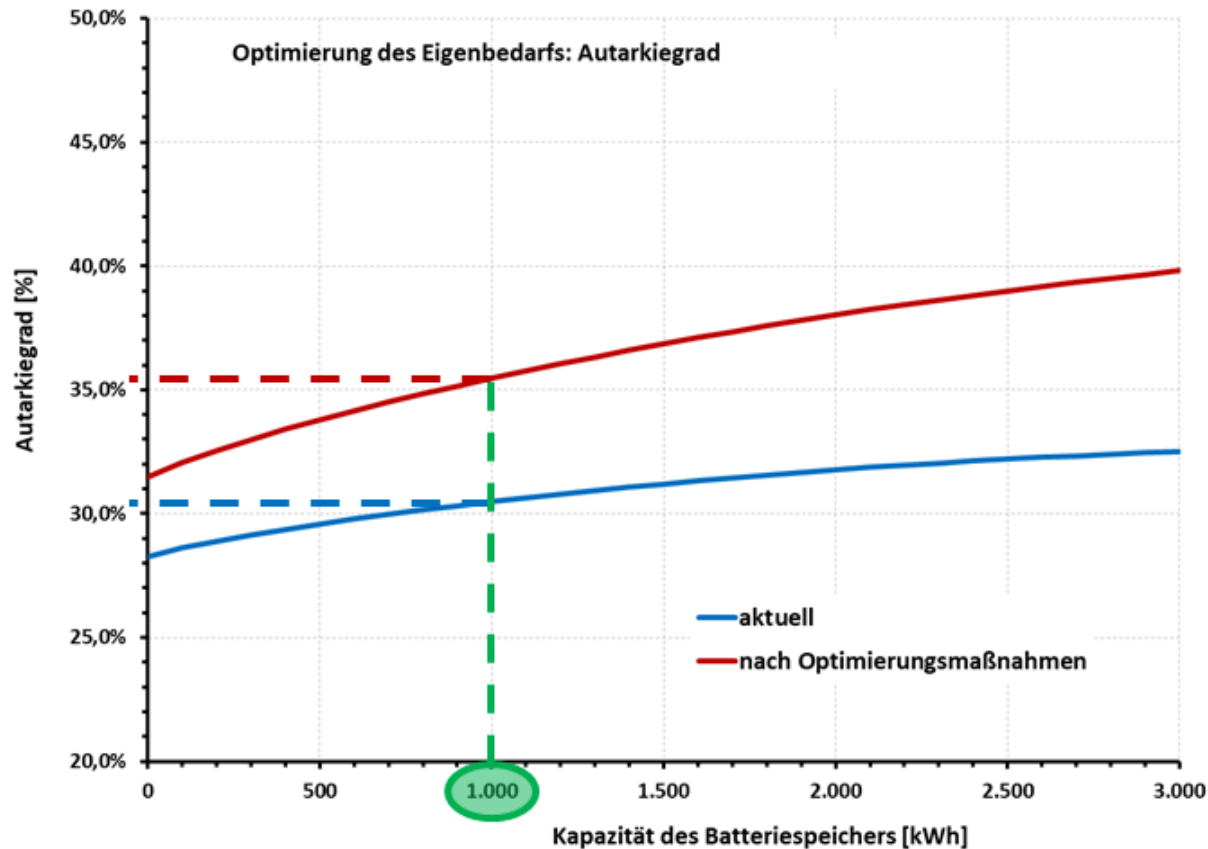
Reduzierung der max. Jahreslast (Peak Shaving)

- Das Jahresleistungsentgelt ist das Produkt aus dem jeweiligen Jahresleistungspreis und der Jahreshöchstleistung im Abrechnungsjahr ([StromNEV §17](#))

→ Ansatz für Peak Shaving



Beispielprojekt: Batteriesimulation zur Eigenbedarfsoptimierung

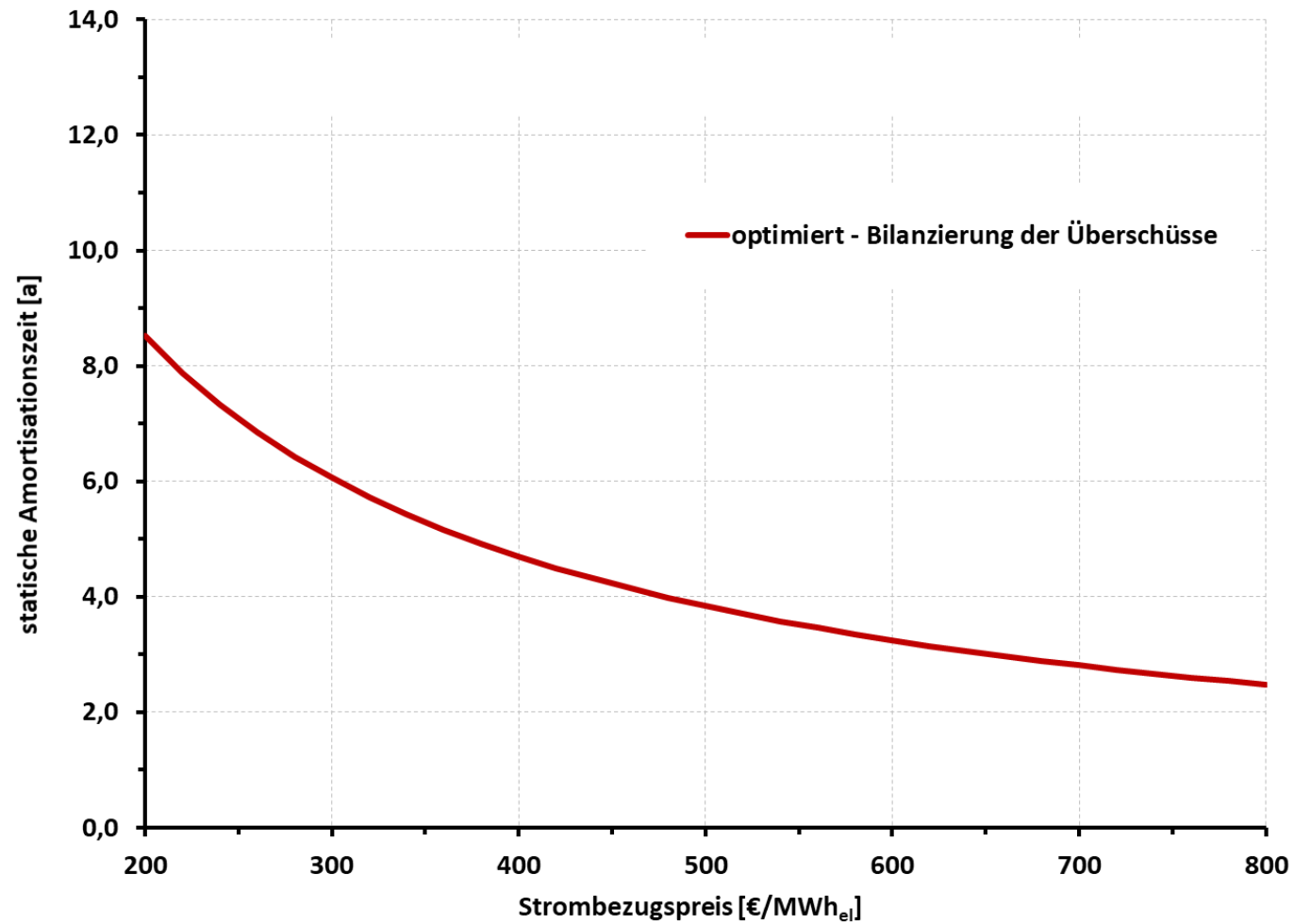


Die Simulationen zeigen, dass ein Batterieeinsatz die **PV-Überschussmenge weiter reduzieren** kann und somit gleichzeitig den **Autarkiegrad des gesamten Systems erhöht**.

Zur Bestimmung der Strombilanzen und der späteren Wirtschaftlichkeit muss das Batteriespeichersystem hinsichtlich seiner Kapazität ausgelegt werden.

Da mit steigender Kapazität immer geringere Wertschöpfungspotenziale gehoben werden, ist es hier sinnvoll, den Batteriespeicher bei einer **Kapazität von 1.000 kWh_{el}** auszulegen.

Beispielprojekt: Wirtschaftlichkeit (statische Amortisationsrechnung)



Unser Angebot für die Phase 1 - Keimzelle

Potenzialstudie

- Erfassung der Ausgangssituation von Erzeugern und Verbrauchern im Lastgang
- Erfassung und Bewertung von Ausbaupotenzialen an regenerativen Stromerzeugern
- Erfassung und Bewertung von Flexibilitätsoptionen, Batterieauslegung in den verschiedenen Strommärkten
- Wirtschaftlichkeitsberechnung, Umweltauswirkungen, Umsetzungsstrategie

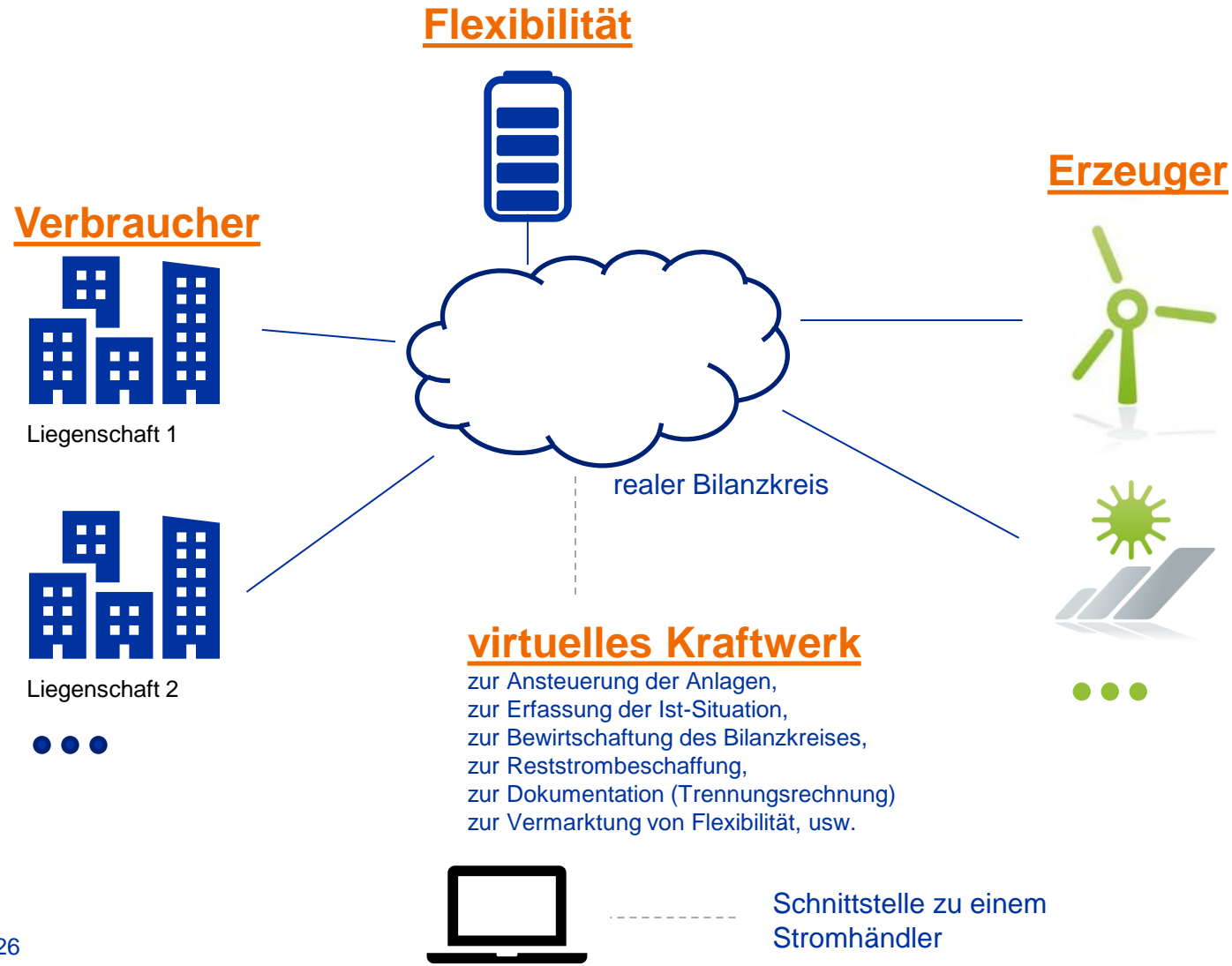
Umsetzungsplanung

- Erstellen eines Einkaufszettels (Photovoltaik, Batteriespeicher, evtl. Trafo, Software)
- Abstimmung mit Partnern (Wirtschaftsprüfer, Stromhändler, Verteilnetzbetreiber, Messstellenbetreiber)
- Digitalisierungskonzept

Betriebs- und Optimierungsphase

- Software für das virtuelle Kraftwerk
- Anpassung der Konzeption der Energieregion durch die Erweiterung von Erzeugern bzw. Verbrauchern
→ Ausbaustufe bzw. Zielstufe

Prinzip einer Energieregion – Phase 2



Ausbaustufe

Erweiterung der Energieregion um andere juristische Personen mit kleinerer Leistung, wie **private Personen**

Wenn ausreichend CO₂-freie Strommengen in der Region verfügbar sind: Erweiterung der Energieregion um **andere juristische Personen mit größerer Leistung.**

Referenzprojekt: Landkreis Cochem-Zell

■ Virtuelles Kraftwerk

Virtuelles Kraftwerk bündelt Sonne, Wind, Wasser und Biomasse im Landkreis Cochem-Zell

Im Landkreis Cochem-Zell wird beabsichtigt, mehr des vor Ort produzierten Ökostroms vor Ort zu verbrauchen und weniger Graustrom aus den vorgelagerten Netzen importieren zu müssen. Das trägt zum Gelingen einer Vollversorgung mit Erneuerbaren Energien bei, steigert die Wertschöpfung vor Ort und reduziert den notwendigen Netzausbau. Hierzu wurde im Landkreis ein virtuelles Kraftwerk aufgebaut, welches stetig weiter wächst. Vorangegangen war eine staatlich geförderte Studie, welche den Ist-Zustand zum Anteil Erneuerbarer Energien auch zeitsynchron darstellt und Wege zum Aufbau eines virtuellen Kraftwerks und zur Steigerung der Flexibilitäten bei Stromverbrauch und -nachfrage im Landkreis skizziert (**Mit Innovation zum Erfolg – Schwarmspeicher und Virtuelles Kraftwerk sollen Schwung in die Energiewende im Landkreis Cochem-Zell bringen | Unser Klima Cochem Zell e.V. (unser-klima-cochem-zell.de)**). Im Anschluss wurde mit finanzieller Unterstützung durch das Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz (MUEEF) das virtuelle Kraftwerk konkretisiert und umgesetzt. Dies soll im Folgenden näher erläutert werden.

Seit September 2019 befindet sich das „Virtuelle Kraftwerk Cochem-Zell“ im Aufbau. Die offizielle Inbetriebnahme hat im Juli 2021 stattgefunden. Bis zum Herbst 2022 konnten insgesamt sieben Ökostrom-Kraftwerke für das Virtuelle Kraftwerk gewonnen werden. In Summe kann eine Jahresproduktion von ca. 34.830.000 kWh vermarktet werden, welche den Strombedarf von etwa 8.000 Haushalten decken kann. Hinzu kommen Anteile der zwei Wasserkraftwerke. Folgende Kraftwerke konnten gewonnen werden:

Anlage	Standort	Leistung (el.)	Jahresproduktion
Biogasanlage Gebrüder Kesseler	Schmitt	700 kWp	3.100 MWh

Anlage	Standort	Leistung (el.)	Jahresproduktion
Biogasanlage Gebrüder Kesseler	Schmitt	700 kWp	3.100 MWh
PV-Freiflächenanlage der Ortsgemeinde Büchel	Büchel	13,5 MWp	13.500 MWh
PV-Freiflächenanlage der Bürgerenergiegenossenschaft Sonnenland Illerich eG	Illerich	630 kWp	630 MWh
2 Wasserkraftwerke von RWE Power & Trading GmbH	Fankel und Neef	je 16,4 MWp (Anteile)	5.000 MWh (Anteile)
Windkraftanlage der BBG Illerich Windkraftanlagen GmbH & Co. KG	Illerich	2,3 MWp	3.100 MWh
Windkraftanlage der BRE Bost Regenerative Energien GmbH & Co. KG	Eulgem	800 kWp	1.400 MWh
PV-Freiflächenanlage der Ortsgemeinde Blankenrath	Blankenrath	2 MWp	2.000 MWh

Referenzprojekt: Landkreis Cochem-Zell

Landstrom aus und für Cochem-Zell

Startschuss für eine neue, nachhaltige Stromversorgung – Deutschlandweites Alleinstellungsmerkmal

Von Annika Wilhelm

■ **Cochem-Zell.** Regionaler Strom aus erneuerbaren Energien – und nicht nur das, in Cochem-Zell kommt dieser Strom nun auch aus dem eigenen Landkreis direkt in die hier lebenden Haushalte. Dieses Konzept steckt hinter der neuen Form der Energieversorgung, Landstrom, die am Donnerstag an den Start gegangen ist und damit von der Idee zur Realität wurde. An insgesamt neun Anlagen innerhalb von Cochem-Zell wird grüner Strom erzeugt: eine nachhaltige Stromversorgung, die deutschlandweit einzigartig ist.

Biogas, Fotovoltaik, Windkraft, Wasserkraft – neun dieser Anlagen gehören zu einem virtuellen Kraftwerk, in dem sie zu einer Versorgungseinheit gebündelt werden. Von ihnen aus gelangt der Strom schlussendlich in die Häuser der Cochem-Zeller, die sich für den Landstrom entscheiden. Seit 2019 baut der Landkreis Cochem-Zell gemeinsam mit seinem Partner VSE, einem saarländischen Energieversorger, dieses virtuelle Kraftwerk auf. Mit dieser erneuerbaren Energie sei der Landkreis gut aufgestellt, so Landrat Schnur: 8000 Haushalte können mit dem grünen Strom versorgt werden – das ist umgerechnet ein Drittel des Landkreises. „Das ist einmalig in dieser Form“, betont der Landrat, „und wird deutschlandweit beobachtet.“ Eine starke Resonanz für ein Projekt, das anfangs viel Skepsis er-

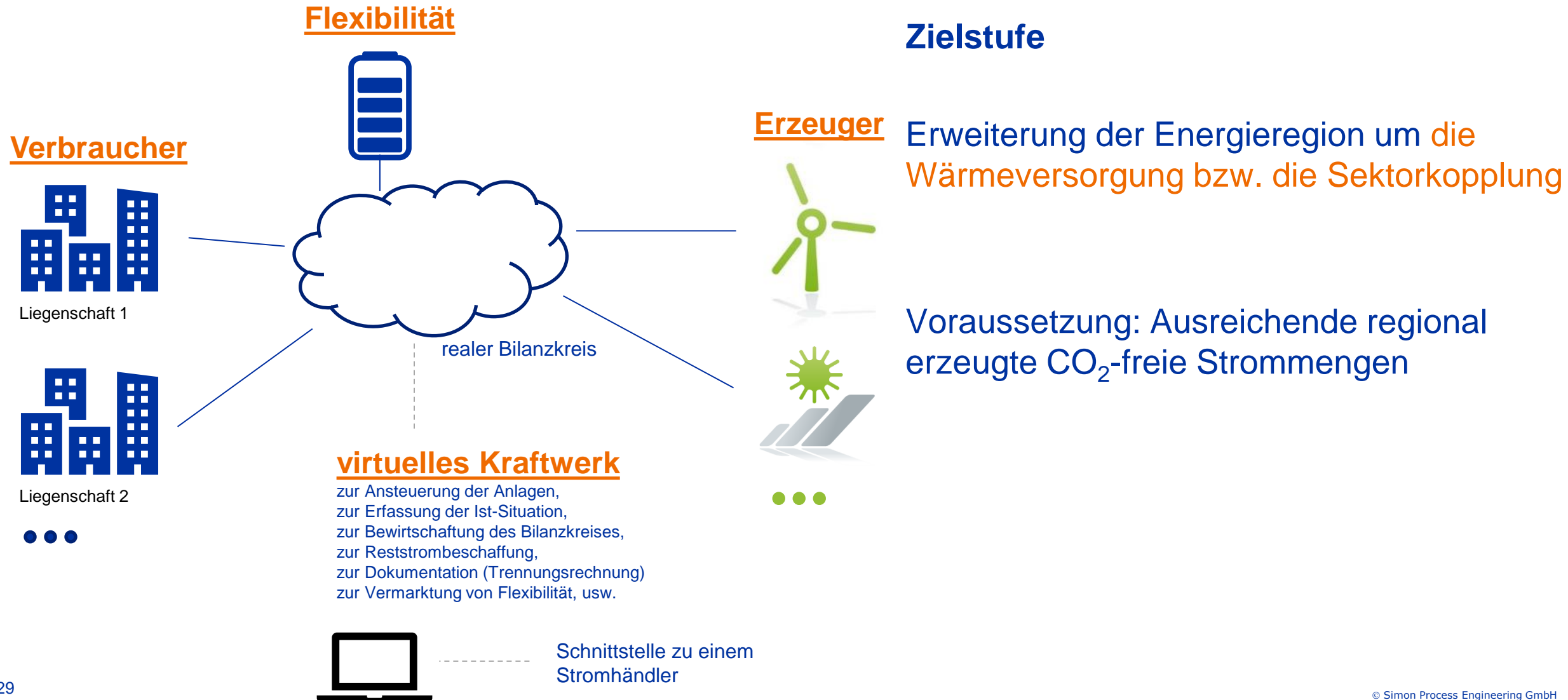


Manuel Klingler von der VSE, Landrat Manfred Schnur und Professor Ralf Simon von der Technischen Hochschule Bingen geben den Startschuss für den Landstrom in Cochem-Zell: Ab sofort können Cochem-Zeller regionalen Strom, der im virtuellen Kraftwerk innerhalb des Landkreises erzeugt wird, in ihrem Haushalt verbrauchen.

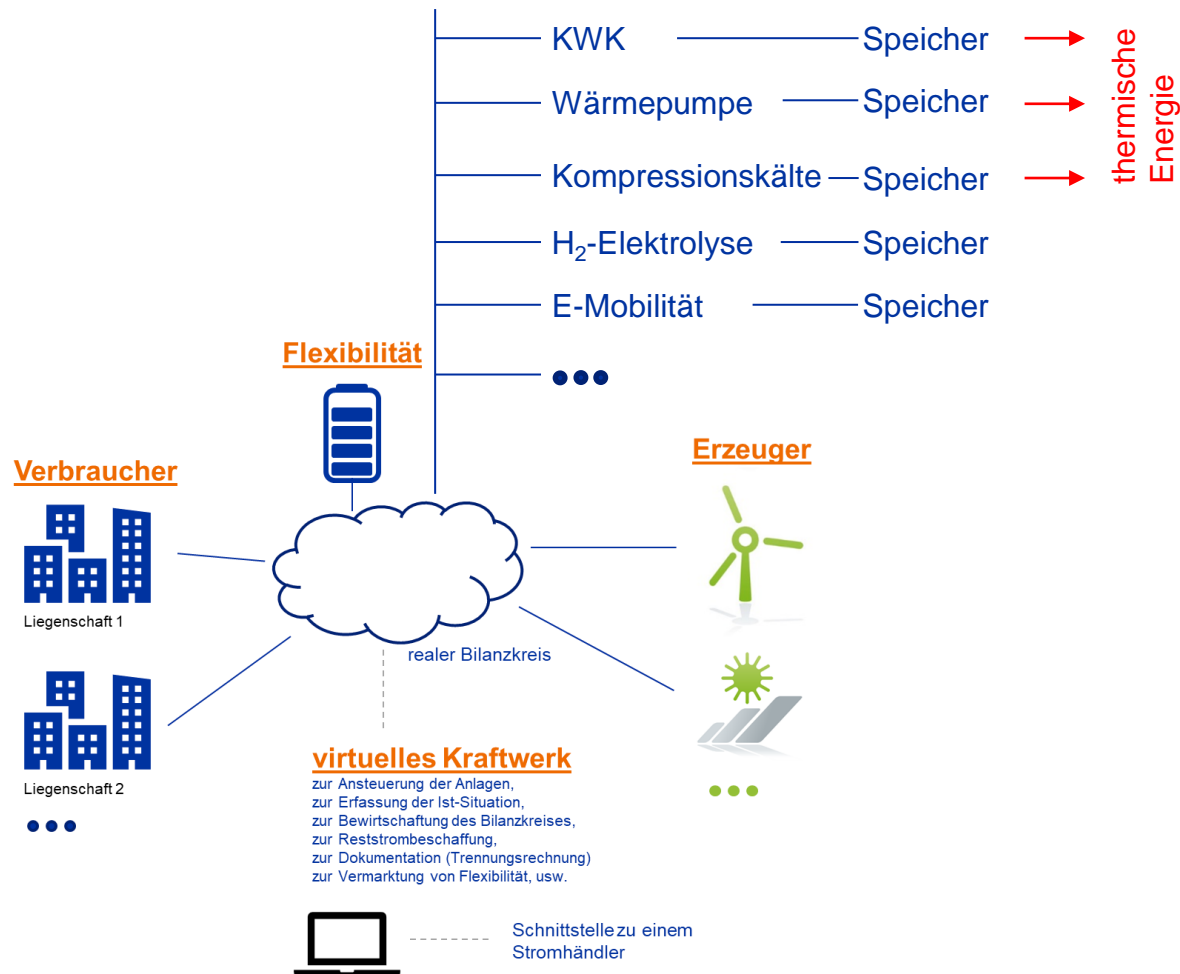
Fotos: Annika Wilhelm

- Start der Vermarktung an bis zu 8000 Haushalte aus dem Landkreis
- weitere Infos unter: www.land-strom.de

Prinzip einer Energieregion – Phase 3



Prinzip einer Energieregion – Phase 3

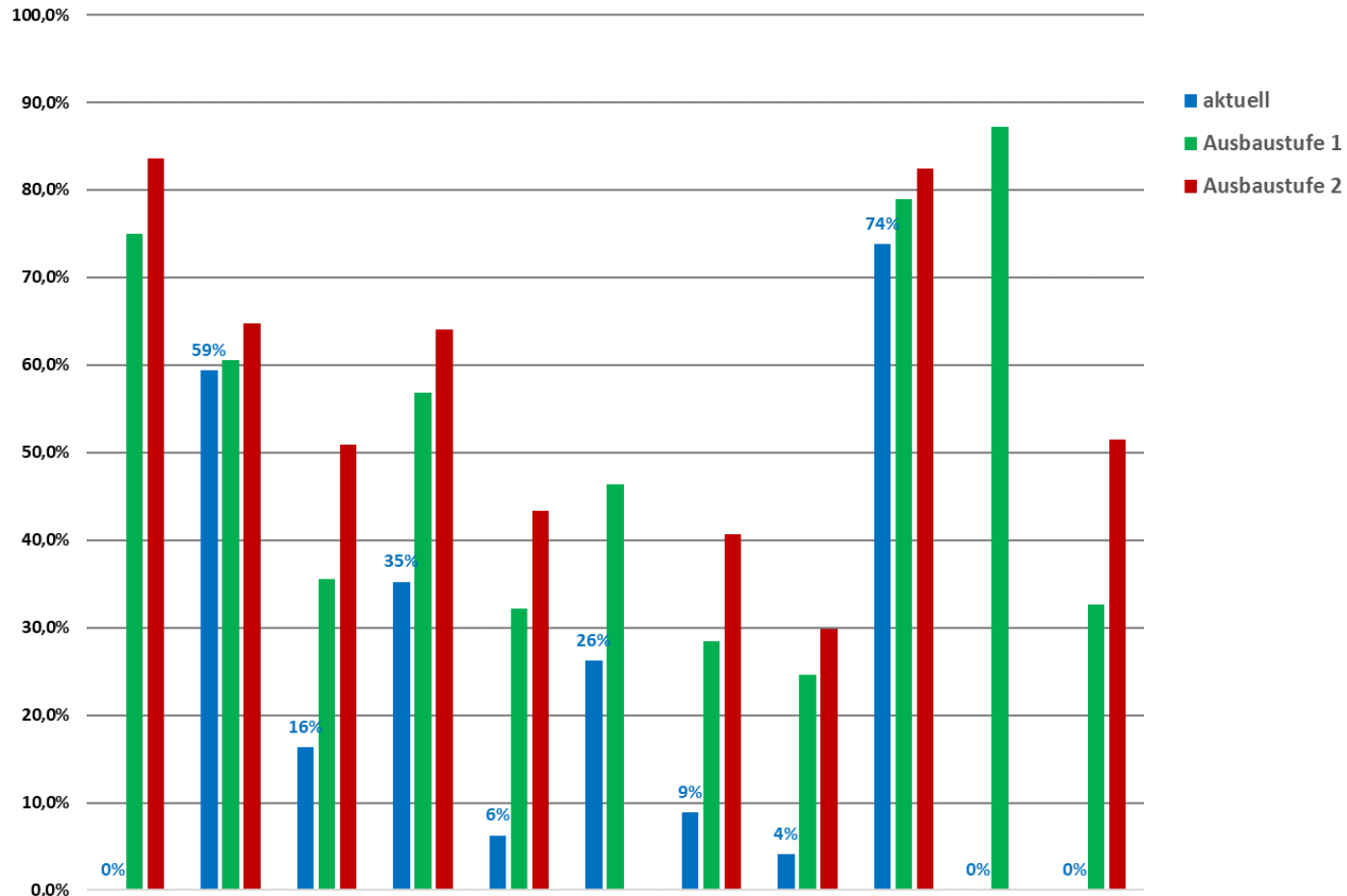


Zielstufe

Erweiterung der Energieregion um die **Wärmeversorgung bzw. die Sektorkopplung**

Voraussetzung: Ausreichende regional erzeugte CO₂-freie Strommengen

Prinzip einer Energieregion: Autarkiegrade konzeptionierter Keimzellen



Die Autarkiegrade sind auf das energiewirtschaftlich relevante Zeitintervall von 15min bezogen.

Im Rahmen diverser Projekte wurde der Autarkiegrad für die Entwicklung einer Energieregion in verschiedenen Ausbaustufen ermittelt.

Durch den Ausbau regenerativer Energieerzeugung unter Nutzung von teils vorhandenen Flexibilitäten und einer intelligenten übergeordneten Steuerung mit Hilfe eines virtuellen Kraftwerks wurde der **Autarkiegrad auf Werte zwischen 29,9% und 87,2% gesteigert.**

Alle diese Projekte zeichnen sich durch eine **sehr gute Wirtschaftlichkeit** aus.

Beispielprojekt: Grenzüberschreitende Energieregion zwischen Deutschland und Luxemburg

Eine Gemeinsame Reise

Prof. Dr. Ralf Simon begleitet die „Grenzenlose Energieregion“ fachlich. Er verfügt über viel Erfahrung bei der Umsetzung von regionalen Energieprojekten und vereint verschiedene Blickwinkel. Er ist Professor für Energie-, Klima- und Kältetechnik sowie Thermodynamik an der TH Bingen sowie Energiebeirat des Landes Rheinland-Pfalz. Ein Gespräch.



„Über die Grenze der Sauer hinweg zusammenzuarbeiten ist für uns ganz natürlich. In vielen Bereichen haben wir bereits einen engen Austausch; wir teilen die gleichen Werte. Nun auch das Thema Energie gemeinsam in den Blick zu nehmen ist der nächste, konsequente Schritt. Wir nehmen unsere Zukunft in die Hand!“

Stéphanie Weydert und Alfred Wirtz,
Bürgermeister von Rosport-Mompach und Ralingen



Herr Prof. Dr. Simon, was begeistert Sie an dem Projekt?

Erneuerbare Energien sowie regionale Lösungen faszinieren mich. Drei Aspekte sind zentral. Zum einen die Garantie von günstigen Strompreisen für die Menschen vor Ort. Hinzu kommt: Versorgungssicherheit. Die Sonne schießt uns keine Rechnung und unterliegt keiner Inflation. Niemand kann sie abdrehen; sie steht uns immer zur Verfügung. Unabhängigkeit wird in diesen Zeiten immer wichtiger. Zum anderen liegt mir der Einsatz für den Klimaschutz und saubere Luft am Herzen. Durch den Verzicht auf fossile Energieträger lösen wir uns von einem kurzsichtigen Denken – und engagieren uns für zukünftige Generationen. Was dieses Projekt außergewöhnlich macht, ist die grenzüberschreitende Perspektive. Als ich meine ersten Kontakte mit den Bürgermeistern hatte, haben sie gesagt: „Wir sind durch den Fluss getrennt, aber es gibt eine Brücke.“ Auch die Energieregion baut Brücken. Und das bei einer zentralen Zukunftsfrage!

Wie kann die Energieregion gestaltet werden?

Photovoltaik wird eine große Rolle spielen. Hier sind konkrete Schritte geplant. Da nachts keine Sonne scheint, ist ein Mix verschiedener Energieformen

wichtig. Dann müssen andere Lösungen und leistungsfähige Speicher greifen. Ich könnte mir vorstellen, dass z. B. die Wasserkraft an der Sauer eine Rolle spielen kann. Unser Ziel ist ein Virtuelles Kraftwerk.

Was ist das genau?

Dahinter verbirgt sich ein intelligentes Strommanagement – mit IT-Lösungen. Ein Virtuelles Kraftwerk bündelt mehrere, dezentrale Stromerzeuger. Zusammen bilden sie quasi ein Kraftwerk. Die Anlagen werden über leistungsfähige Kommunikationstechnologien miteinander verbunden. Eine Steuerungseinheit nutzt Echtzeitdaten und Prognosen zur Analyse des aktuellen Strombedarfs. Sie kann die Anlagen so miteinander vernetzen, dass sie ihn stets effizient und flexibel decken können. Auch der perfekte, kostengünstigste Zeitpunkt wird kalkuliert.

Sie haben bereits ähnliche Initiativen begleitet. Was ist beim Aufbau besonders wichtig?

Zum Start der Energieregion müssen wir eine kritische Masse an größeren Stromerzeugern erreichen. Später können auch kleine, private Anlagen eingebunden werden. Hier ergeben sich sicher interessante Möglichkeiten! Wichtig ist: Wir sind auf einer gemeinsamen Reise. Es ist eine komplett neue Art Energie zu denken. Und Neues braucht seine Zeit. Aber was könnte spannender sein, als so einen Umbruch aktiv mitzugestalten? Ich habe mich sehr über den großen Zuspruch der Bevölkerung bei der Auftaktveranstaltung gefreut. Ein starkes Signal! Eine Energieregion braucht diesen Rückhalt. Er ist die Basis dafür, dass das Projekt bei Investoren und staatlichen Akteuren als bedeutend wahrgenommen wird. Umso mehr lässt sich erreichen – und desto mehr Türen öffnen sich. •

Aufgaben eines virtuellen Kraftwerks

- Automatisierte Umsetzung von Fahrweisen zur energiewirtschaftlichen Optimierung durch Erzeugungs- und Lastprognosen
 - Batterieansteuerung zur optimierten Eigenstromversorgung im Verbund
 - Ansteuerung von KWK oder anderen Stromerzeugern im Sinne des Optimums
 - Schnittstelle für Reststrombeschaffung
 - Peak Shaving zur Kappung der Lastspitzen
 - Adhoc-Signale zur Lieferung von Regelenergie bzw. anderer Flexibilitätsmärkte
- Transparenz und Nachweis (kurzfristig und langfristig) zur Unterstützung des Energiemanagements und zur Dokumentation im Sinne einer Trennungsrechnung zur Erlangung von Fördermitteln
- Überwachung bzw. Alarmierung im Falle einer Störung



Intelligente Batterien können mehr!

Seit mehr als 15 Jahren wird in Bingen am virtuellen Kraftwerk geforscht – und das direkt in der Praxis. Davon profitieren auch die Studierenden des Master-Studiengangs Energie-Betriebsmanagement. Die Transferstelle Bingen – ein Aninstitut der Hochschule – bindet das **Virtuelle Kraftwerk** bereits in konkrete Anwendungen ein. Teil des Systems ist ein intelligenter Energiespeicher. Was der kann, erklärt Studiengangleiter Prof. Ralf Simon in diesem Video.

<https://www.th-bingen.de/studiengaenge/energie-betriebsmanagement/ueberblick/>

Kontakt

Prof. Dr. Ralf Simon
Simon Process Engineering GmbH

ralf.simon@simon-pe.de