

Universität Stuttgart
Institut für Energieeffizienz
in der Produktion EEP



Fraunhofer
IPA

Entwicklung eines Konzepts zur residuallast- angepassten Druckluft- bereitstellung

Aufbau eines Labordemonstrators
für die experimentelle Validierung

**Jan-Niklas
Gerdes**

Autoren: Jan-Niklas Gerdes, Ekrem Köse, Christian Dierolf, Prof. Alexander Sauer

Agenda

- 1 Motivation**
- 2 Zielsetzung und Vorgehen**
- 3 Grundlagen**
- 4 Versuchsplanung und Validierung**
- 5 Fazit und Ausblick**

Agenda

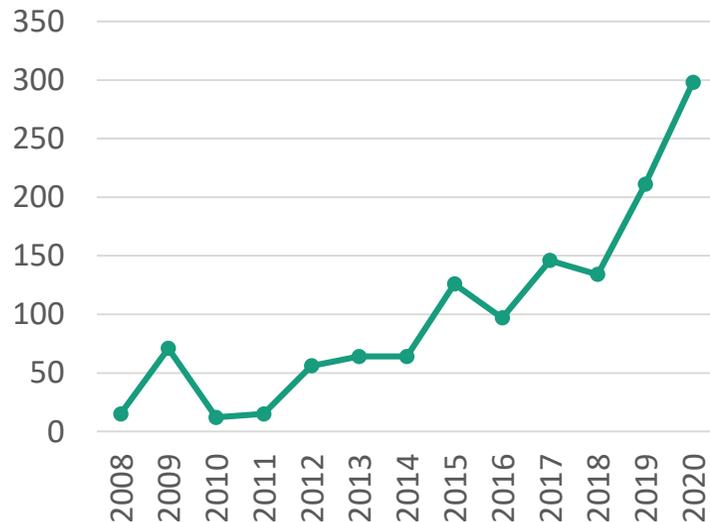
- 1 Motivation**
- 2 Zielsetzung und Vorgehen**
- 3 Grundlagen**
- 4 Versuchsplanung und Validierung**
- 5 Fazit und Ausblick**

Energieflexibilität

Volatilität der Stromversorgung und Beitrag zur Klimaneutralität

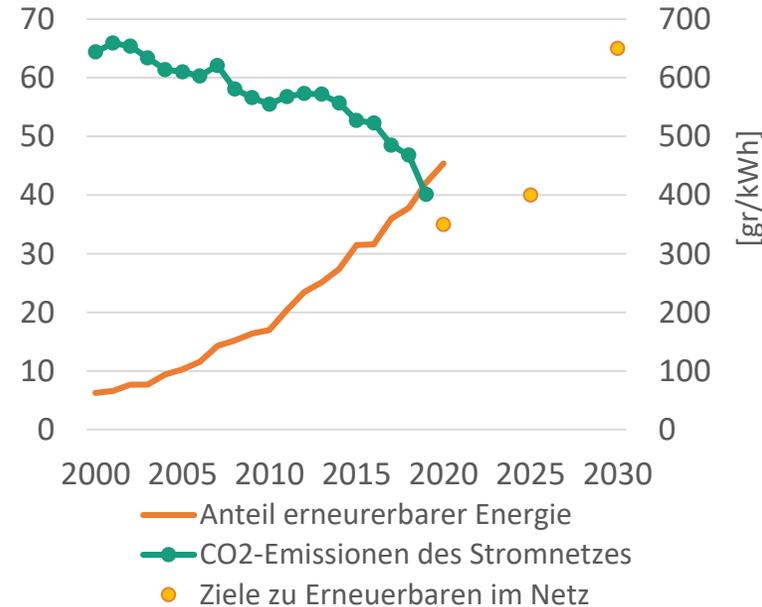
Steigender Bedarf an Energieflexibilität

[n] Stunden mit negativen Strompreisen



Ökologischer Fußabdruck

[%] Anteil erneuerbarer im Netz



- Der Bedarf an Energieflexibilität steigt stetig
 - Chancen zur ökonomischen und ökologischen Optimierung
 - Unabhängigkeit von Stromnetz
- Elektrifizierung und Klimaneutralität geht Hand in Hand – allerdings ist Strom aktuell zu teuer
- Mit hybriden Anlagen (möglicher Betrieb mit Strom und anderen Energieträgern) zukunftssicher und wirtschaftlich aufgestellt

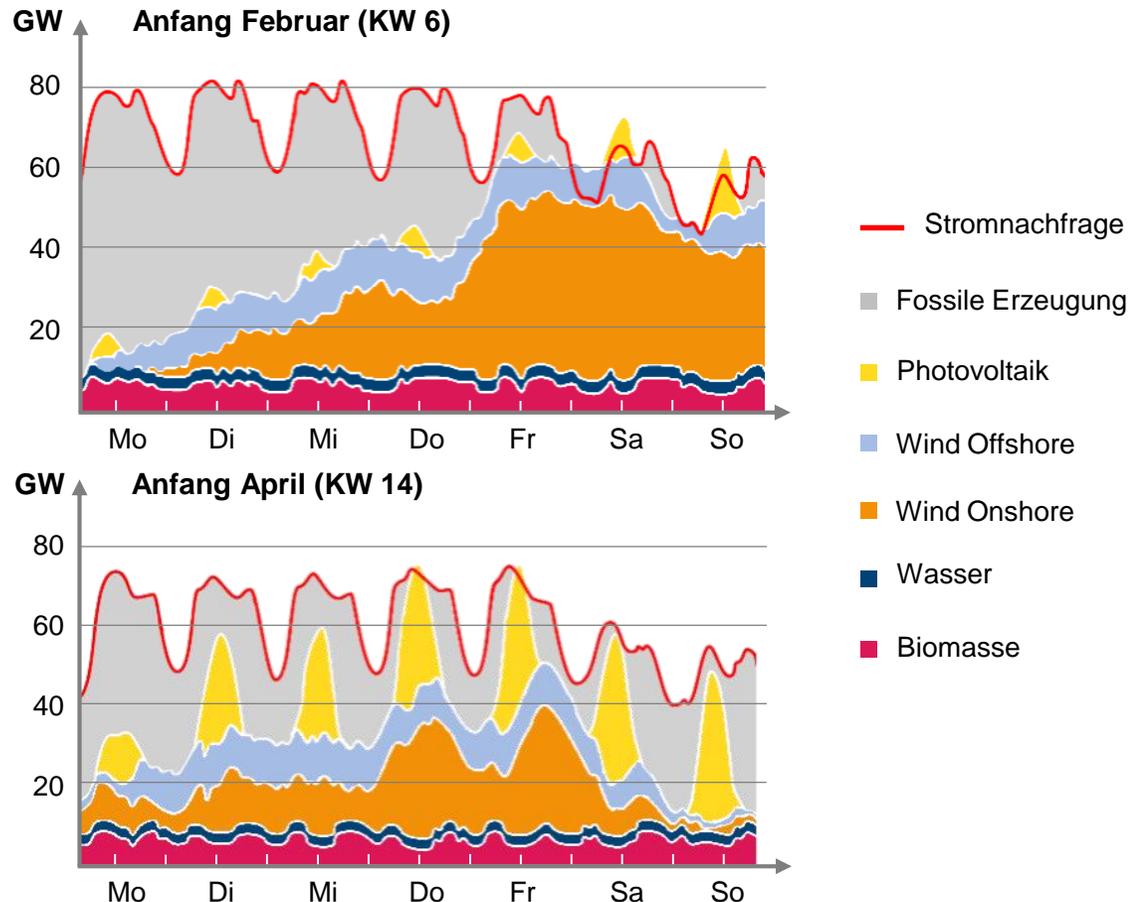
Quellen: Klein, C.; Gailfuß, M.: Negative Strompreise - Fakten und Statistiken.; Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2020) BDEW Strompreisanalyse Januar 2020; Umweltbundesamt. Bilanz 2019: : CO2-Emissionen pro Kilowattstunde Strom sinken weiter

© Institut für Energieeffizienz in der Produktion EEP / Fraunhofer IPA

Entwicklung eines Konzepts zur residuallast-angepassten Druckluftherzeugung

Der Mehrwert der Energieflexibilität

Stabilisierung des Stromsystems



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Agora Energiewende

© Institut für Energieeffizienz in der Produktion EEP / Fraunhofer IPA

Entwicklung eines Konzepts zur residuallast-angepassten Druckluftherzeugung

- Tages- und Jahreszeitabhängige Variation der Stromversorgung
 - Volatilität nimmt langfristig durch geplanten Ausbau der erneuerbaren Energien zu
 - Fossile Erzeugung als Ausgleich fällt weg
- Energieflexibilität (Demand-Side Management)
 - Anpassen der Stromnachfrage an Erzeugung
 - Flexibilitätsmöglichkeiten in Fabriken müssen ausgebaut werden

Projekt „SynErgie“

Die energetische Flexibilisierung wird branchenübergreifend untersucht



- Das Kopernikus-Projekt SynErgie hat zum Ziel, innerhalb von zehn Jahren alle **technischen** und **marktseitigen Voraussetzungen in Einklang mit rechtlichen** und **sozialen Aspekten** zu schaffen, um den **Energiebedarf der deutschen Industrie** effektiv mit dem volatilen **Energieangebot zu synchronisieren**.

- **Ausarbeitung** von Anlagenkonzepten
- **Identifikation** von Flexibilitätspotenzial
- **Unterstützung** bei der Einbindung

KOPERNIKUS
SynErgie >>> **PROJEKTE**
Die Zukunft unserer Energie

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Geplante Einbindung in **Unternehmen der Metallverarbeitung**

Quelle: <https://synergie-projekt.de/wp-content/uploads/2020/08/Logo-Kopernikus-BMBF.svg>

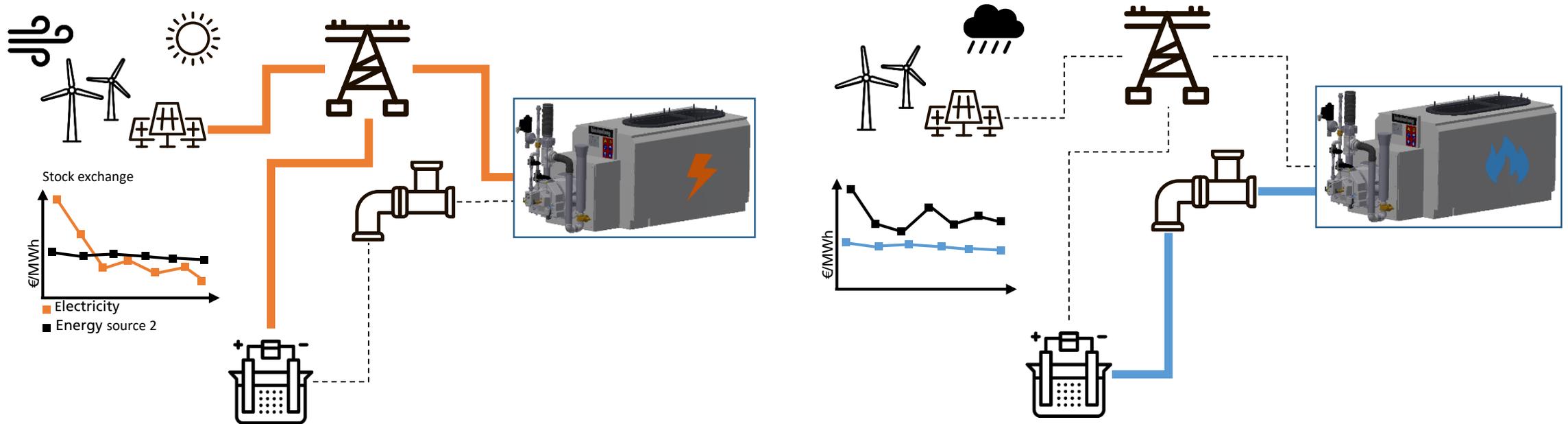
Quelle: Synergie Webseite

© Institut für Energieeffizienz in der Produktion EEP / Fraunhofer IPA

Entwicklung eines Konzepts zur residuallast-angepassten Druckluftherzeugung

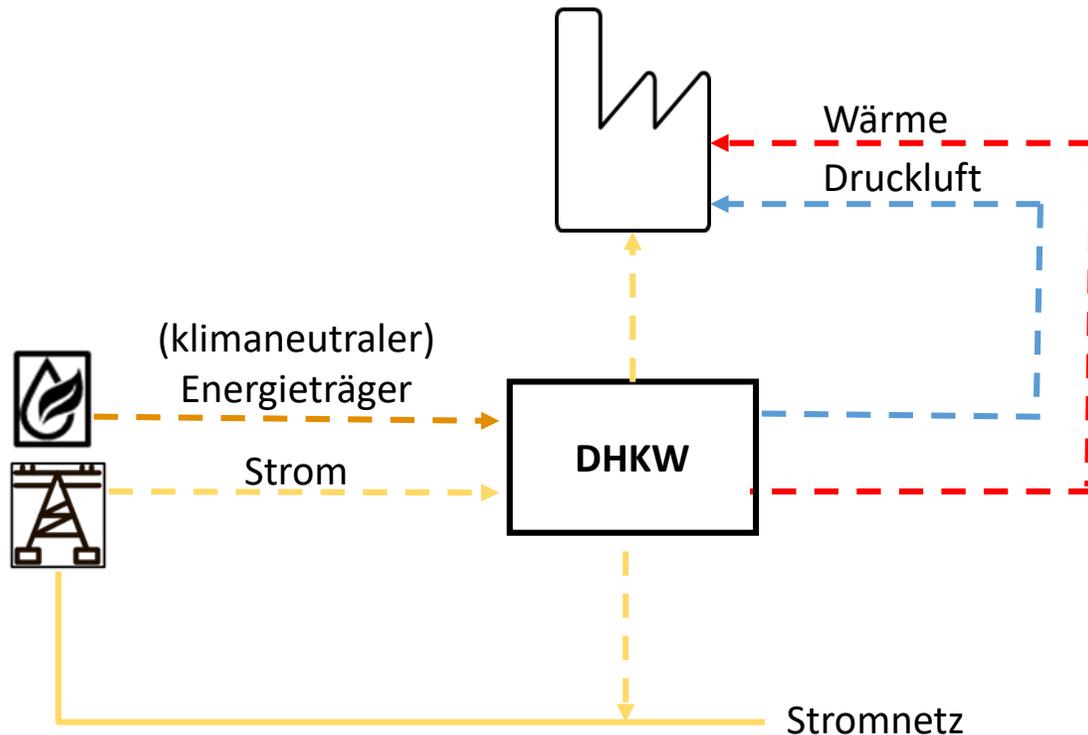
Was sind hybride und bivalente Produktionsanlagen?

Bereitstellung von kurz- und langzeitiger Flexibilität



Bivalente Anlagen

Potenziale einer hybriden Druckluftversorgung



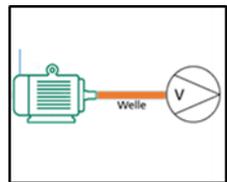
- Volatilität der erneuerbaren Energien benötigen Regulationsmaßnahmen zu Kompensierung
 - Stabilisierung des Netzes → Energieflexibilität
 - Teilnahme am Flexibilitätsmarkt
- Druckluftanwendungen machen 7% des industriellen Stromverbrauchs aus
- Hybride Druckluftversorgung
 - Hohe Effizienz durch Kopplung der mechanischen und thermischen Verwertung
 - Möglichkeit der CO₂-neutralen Betriebsweise → bspw. Wasserstoff, Holzgas
 - Nutzung von Strom, wenn günstig oder CO₂-neutral

Agenda

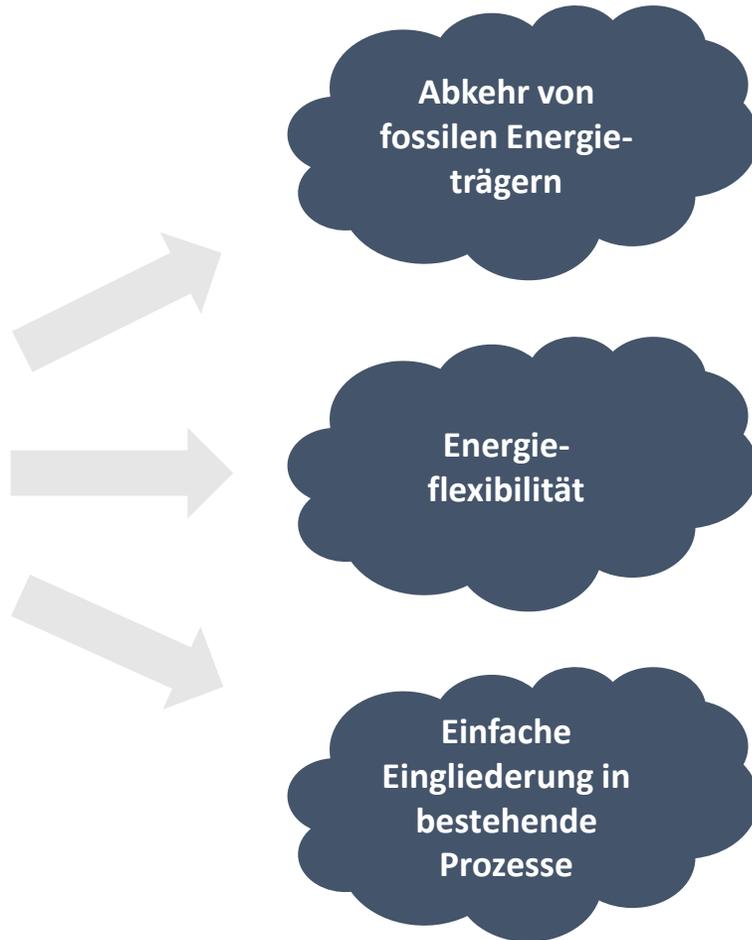
- 1 Motivation
- 2 Zielsetzung und Vorgehen
- 3 Grundlagen
- 4 Versuchsplanung und Validierung
- 5 Fazit und Ausblick

Zielsetzung

Ökologische und ökonomische Chancen



Hybride
DHW-Anlage



■ Ökologische Vorteile

- Hohe Effizienz
- Möglichkeit eines CO₂-neutralen Betriebs (Holzgas und Ökostrom)
- Energieflexibilität

■ Ökonomische Vorteile

- Parallele Bereitstellung von Druckluft, Strom und Nutzwärme
- Maximierung der Betriebszeit
- Teilnahme am Flexibilitätsmarkt
- Entlastung des Stromnetzes

■ Einfache Anbindung

- Ready-To-Use Lösung
- Autonome Steuerung

Vorgehen

Vorteile einer hybriden Druckluftherzeugung aufzeigen



Demonstration des Anlagenkonzepts

- Möglichkeiten der Einbindung darstellen
- Abbildung realer Dynamiken

Energieflexible Betriebsstrategien

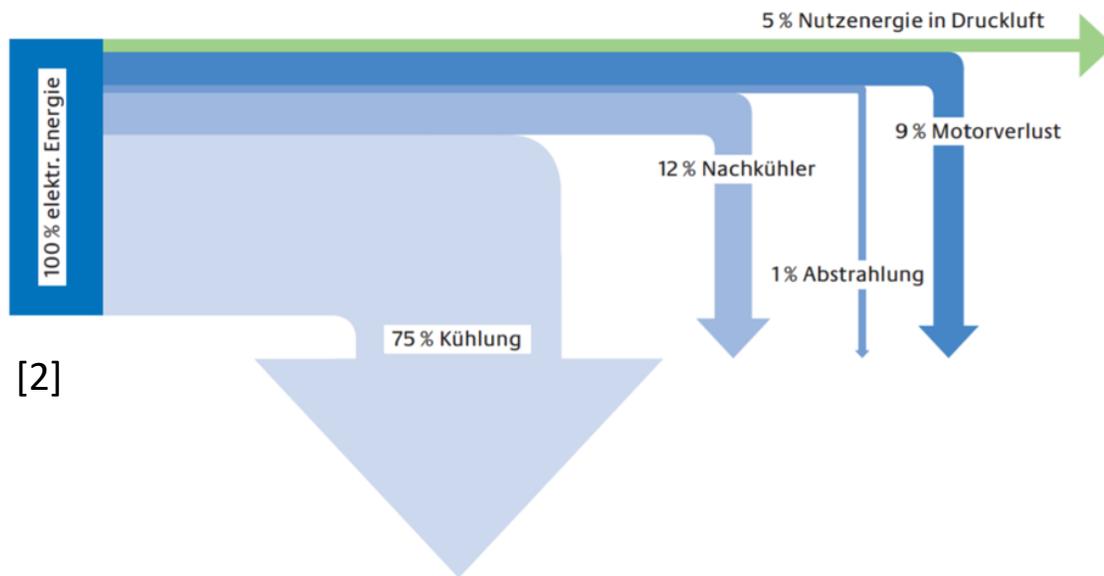
- Definition von realistischen Betriebsszenarien
- Nutzen in der realen Anwendung aufzeigen

Agenda

- 1 Motivation**
- 2 Zielsetzung und Vorgehen**
- 3 Grundlagen**
- 4 Versuchsplanung und Validierung**
- 5 Fazit und Ausblick**

Druckluft in der Industrie

Effizienz und Wirtschaftlichkeit



- Druckluft macht 7% des industriellen Stromverbrauchs aus
→ Entspricht 16 TWh Elektrizität [1]
- Luftverdichtung über isotherme Verdichtung
→ Realisierung: Mehrstufige adiabate Verdichtung mit Zwischenkühlung
- 90-96% der Energie werden in Form von Wärme an die Umgebung weitergegeben
→ Nur geringer Anteil Nutzenergie in Druckluft [2]
- Energiekosten betragen 70-90% der Lebenszykluskosten einer Druckluftanlage [1]



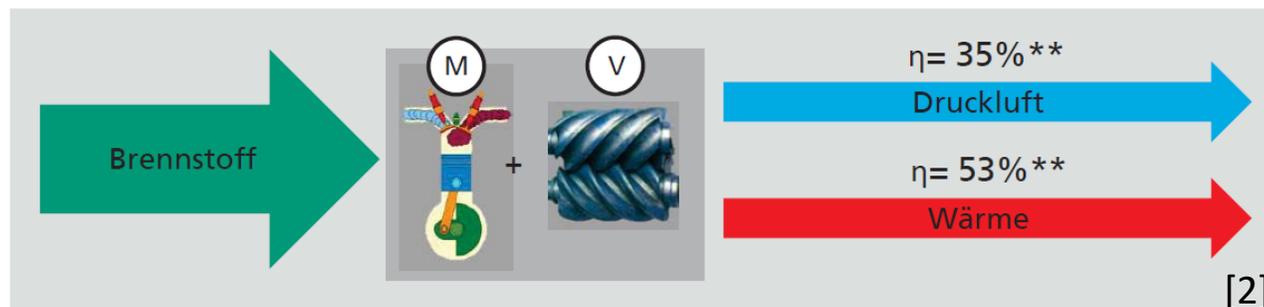
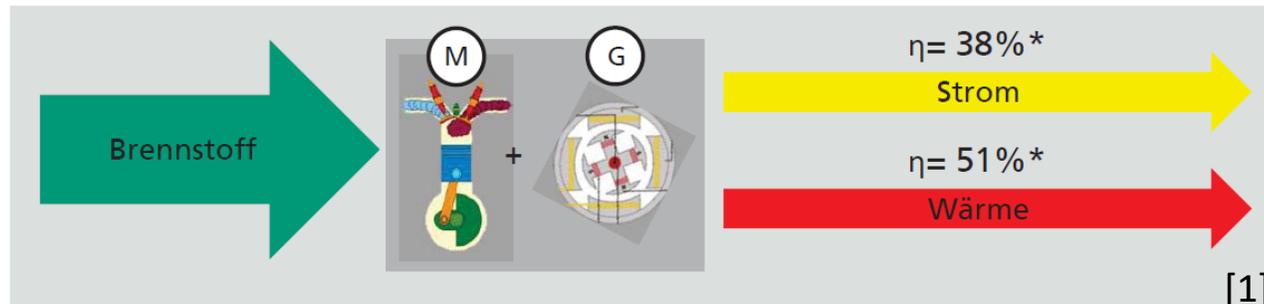
Investment < Energiekosten

[1] Quelle: dena (2015): Energieeffizienz in kleinen und mittleren Unternehmen. Energiekosten senken. Wettbewerbsvorteile sichern. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).

[2] Quelle: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (Hg.) (2006): Druckluftsysteme - Mehr Energieeffizienz, weniger Kosten. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/8942175-Druckluftsysteme-mehr-energieeffizienz-weniger-kosten.html>, zuletzt geprüft am 14.07.2021.

Druckluftheizkraftwerk

Maßnahme zur Steigerung der Effizienz



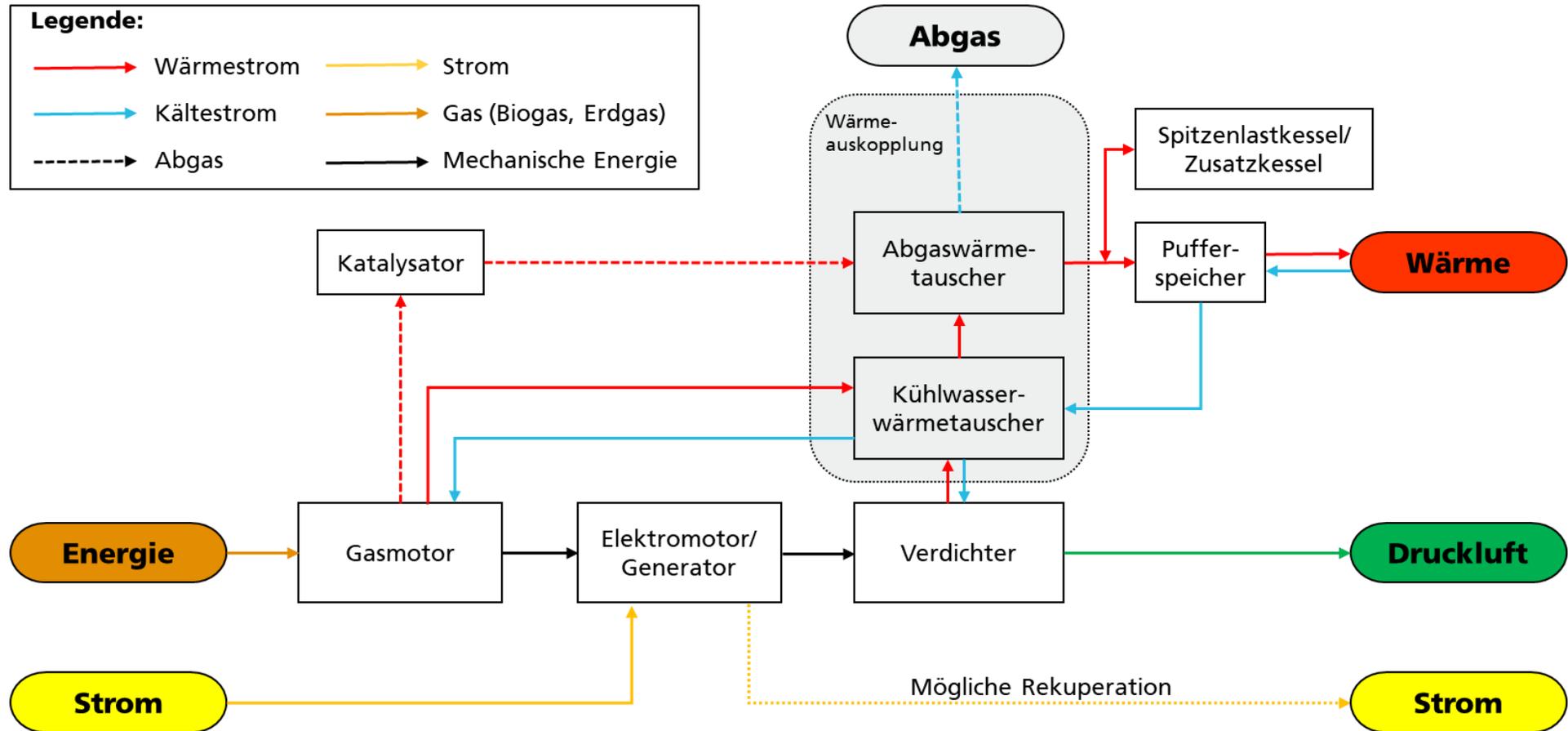
- Kraft-Wärme-Kopplung nutzen die im Brennstoff enthaltene Exergie
- Bei Druckluft-/Stromgewinnung entstandene Abwärme wird bei nutzbarem Temperaturniveau ausgekoppelt
- Nutzung der Wärme muss sichergestellt werden
- DHKW's können >80% der im Brennstoff enthaltenen Energie nutzen

[1] Zahoransky, Richard; Allelein, Hans-Josef; Bollin, Elmar; Schelling, Udo; Schwarz, Harald; Wörsdörfer, Dominik (2019): Energietechnik. Systeme zur konventionellen und erneuerbaren Energieumwandlung : Kompaktwissen für Studium und Beruf. 8., überarbeitete und ergänzte Auflage. Hg. v. Richard Zahoransky. Wiesbaden: Springer Vieweg.

[2] Dehli, Martin (2020): Energieeffiziente Drucklufttechnik. In: Martin Dehli (Hg.): Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe. Energietechnische Optimierungskonzepte für Unternehmen. 1st ed. 2020. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Vieweg, S. 387–432.

Hybrides Drucklufttheizkraftwerk

Konzeptskizze



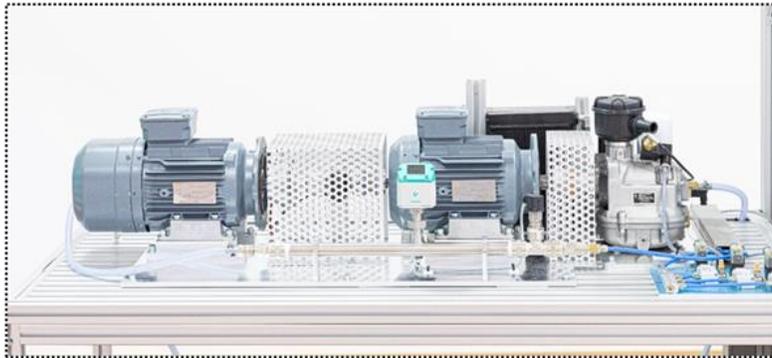
Agenda

- 1 Motivation**
- 2 Zielsetzung und Vorgehen**
- 3 Grundlagen**
- 4 Versuchsplanung und Validierung**
- 5 Fazit und Ausblick**

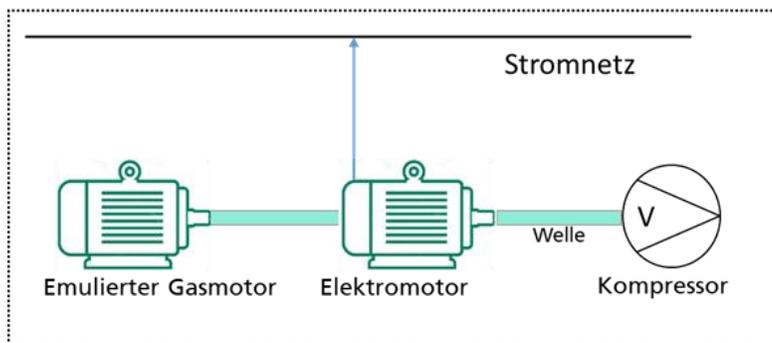
Hybrides Drucklufttheizkraftwerk

Demonstration der Funktionalität

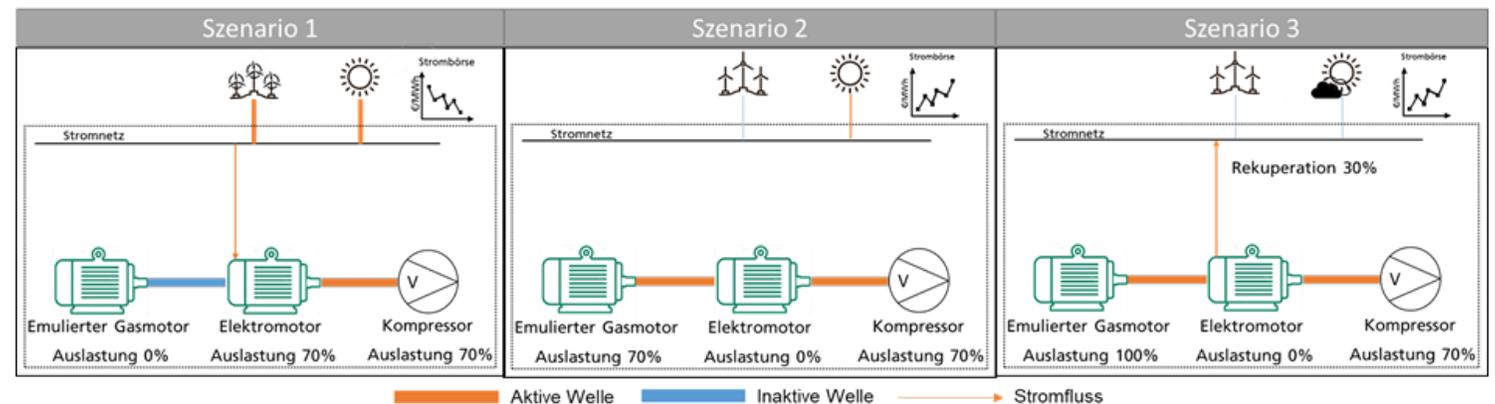
Realer Aufbau



Regelungsschema

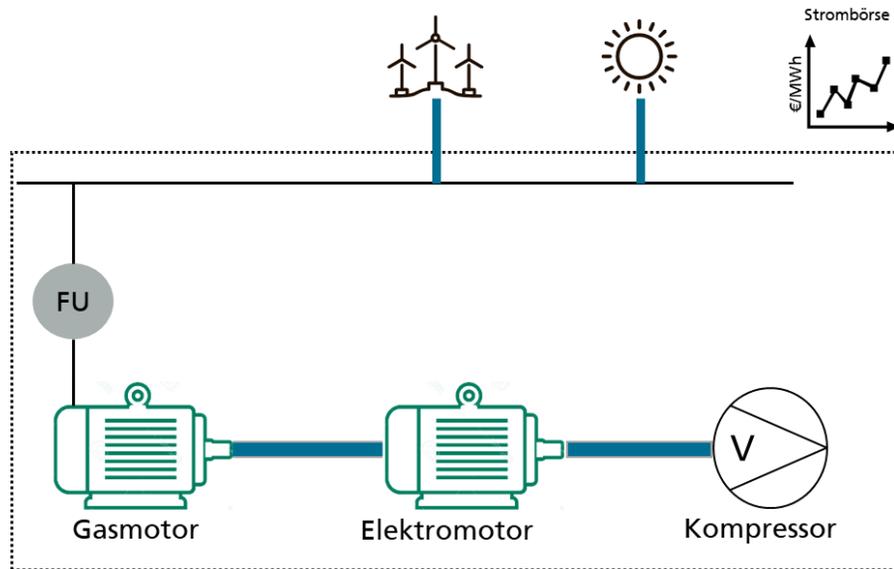


- Demonstrator soll Energieflexibilitätpotenzial der hybriden Druckluftherzeugung zeigen
- Definition von 3 Szenarien
 - Szenario 1: Normaler Tag → Betrieb über Gasmotor
 - Szenario 2: Windiger Sommertag → Betrieb über Elektromotor
 - Szenario 3: Dunkelflaute → Betrieb über Gasmotor mit Rekuperation



Demonstration der Funktionalität

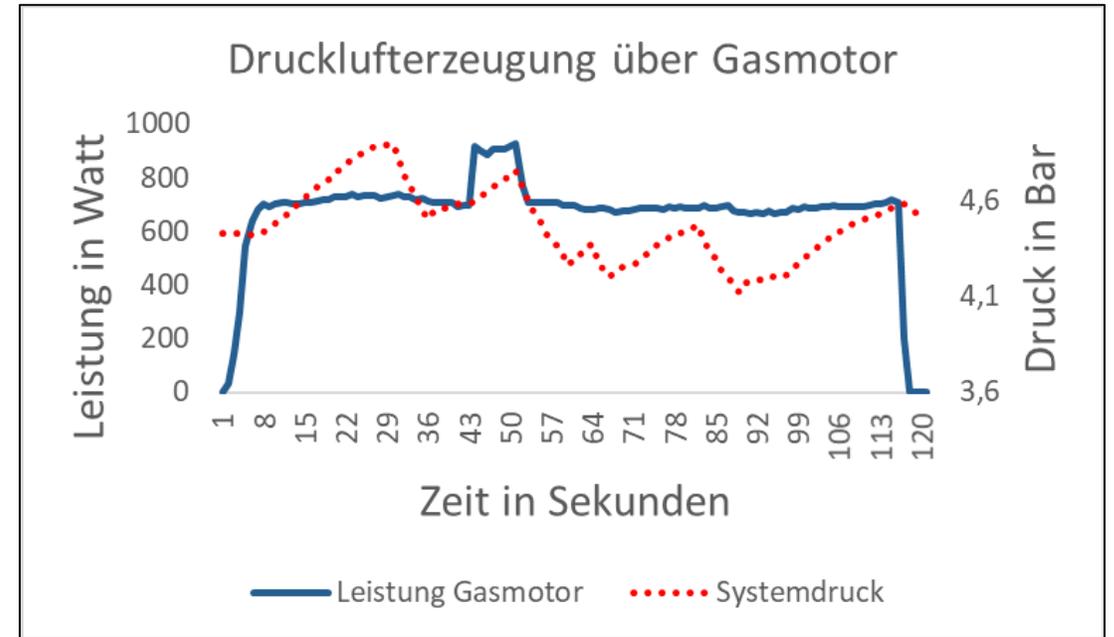
Szenario 1: Normaler Tag



- Normaler Anteil regenerative Energien an der Stromerzeugung
- Strompreis ist hoch
- CO₂-armer Strombezug aus Netz nicht möglich

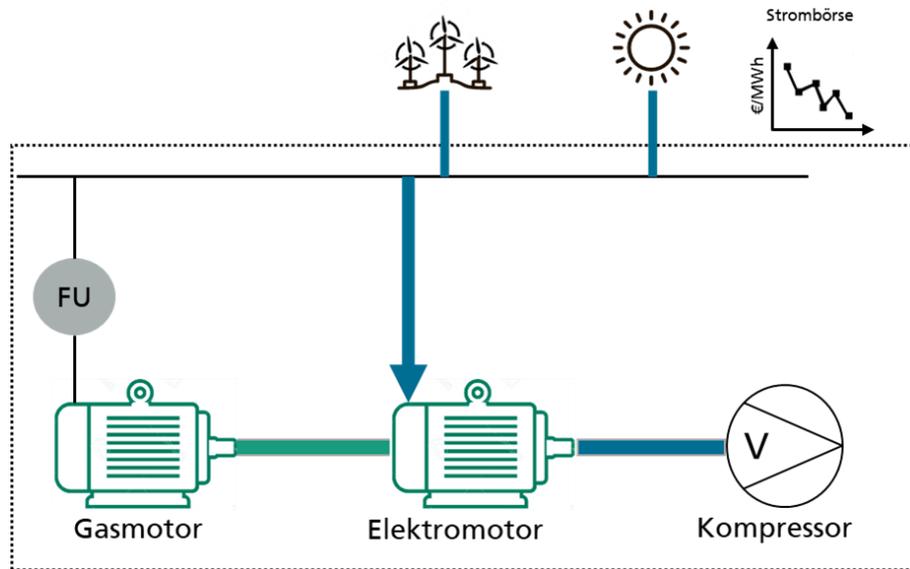


Druckluftherzeugung über Gasmotor



Demonstration der Funktionalität

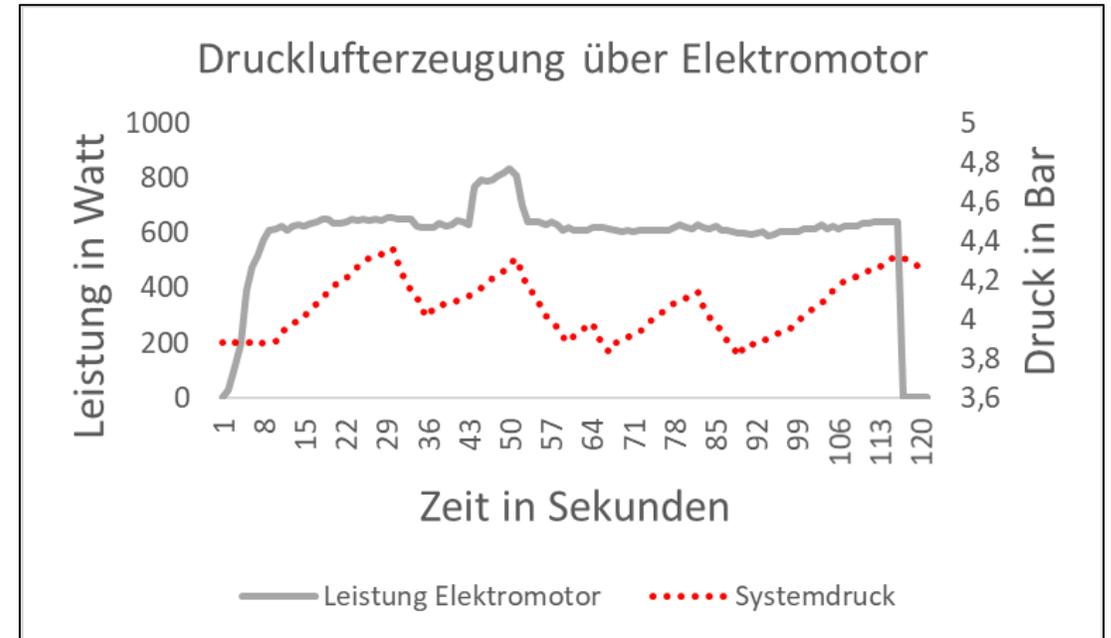
Szenario 2: Windiger Sommertag



- Hoher Anteil regenerative Energien an der Stromerzeugung
- Strompreis niedrig – Teilweise sogar negativ
- CO₂-armer Strombezug aus Netz möglich

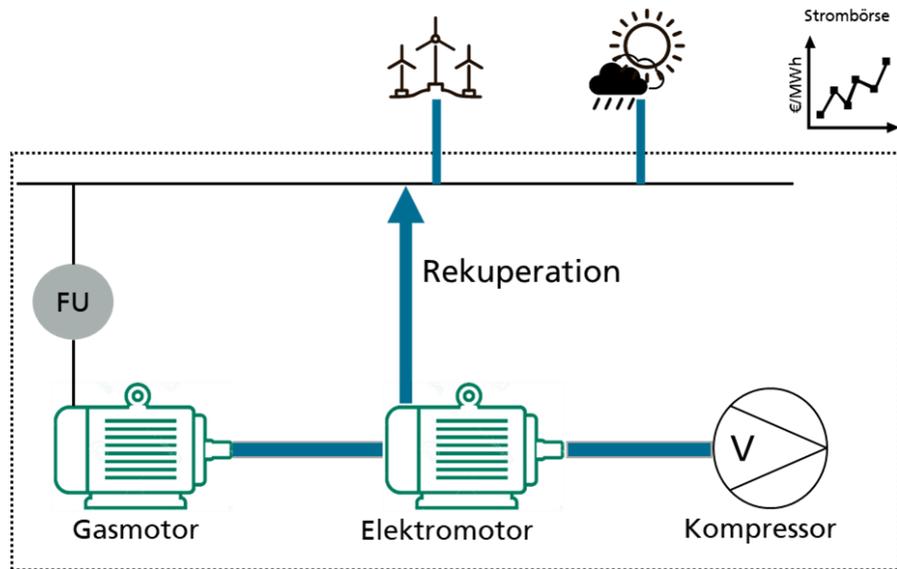


Druckluftherzeugung über Elektromotor

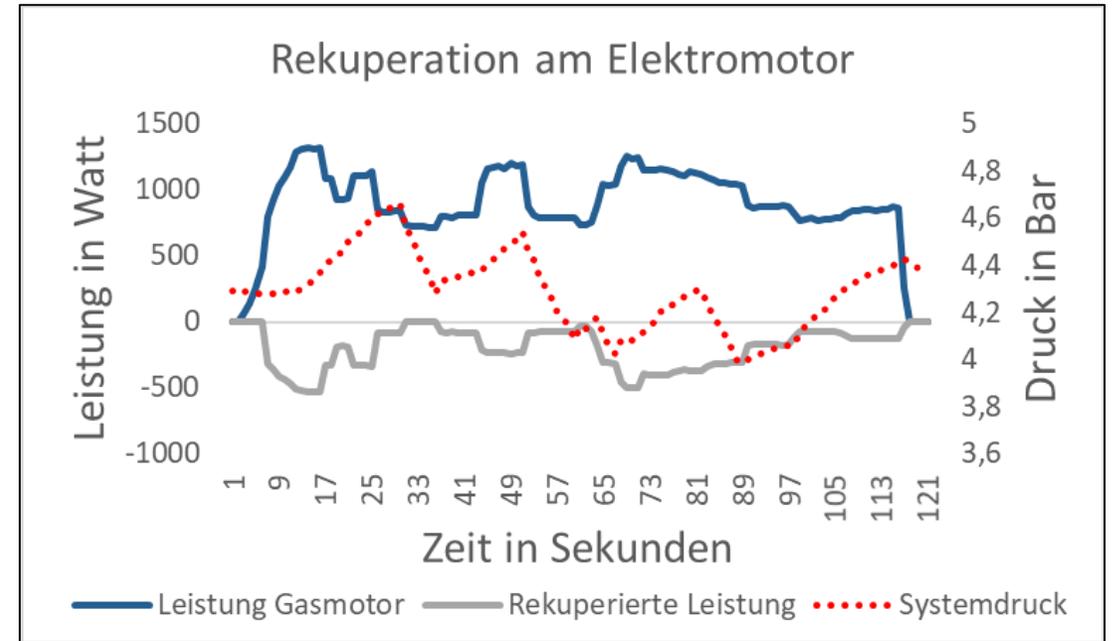


Demonstration der Funktionalität

Szenario 3: Dunkelflaute



- Niedriger Anteil regenerative Energien an der Stromerzeugung
- Strompreis sehr hoch
- CO₂-armer Strombezug aus Netz nicht möglich
- Erlöse durch Stromverkauf möglich



Druckluftherzeugung über Gasmotor mit Rekuperation

Agenda

- 1 Motivation**
- 2 Zielsetzung und Vorgehen**
- 3 Grundlagen**
- 4 Versuchsplanung und Validierung**
- 5 Fazit und Ausblick**

Fazit und Ausblick

Hybride Druckluftherzeugung



Erfolgreiche Demonstration des Anlagenkonzeptes

- Rückschlüsse auf Anwendbarkeit in der Industrie



Hybride Anlagenlösung hat hohes Flexibilitätspotenzial

- 3,5 TWh/a Flexibilität möglich
- 213 tCO₂/a Einsparung pro Anlage



Druckluft-Wärmekopplung erhöht Energieeffizienz



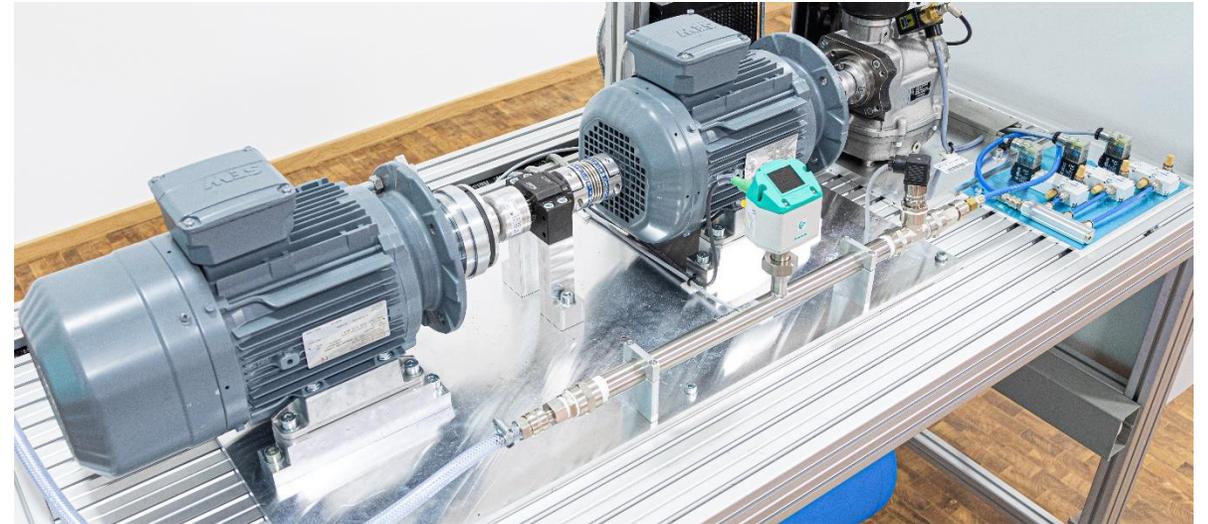
Geplanter Bau von Demonstrationsanlagen bei Unternehmen der Metallverarbeitung und Lebensmittelindustrie



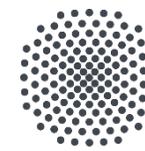
Parallele Bereitstellung von Druckluft, Wärme und Strom



Sinnvoll für Grundlast → Wärme muss sinnvoll verwertet werden!



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Universität Stuttgart
Institut für Energieeffizienz
in der Produktion EEP



M.Sc.

Jan-Niklas Gerdes

*Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Energieeffizienz in der
Produktion (EEP), Uni Stuttgart
Fraunhofer IPA*

E-Mail Jan-niklas.gerdes@eep.uni-stuttgart.de

Telefon +49 (0) 711 970 - 1675

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm.

Alexander Sauer

Institutsleiter

E-Mail alexander.sauer@ipa.fraunhofer.de

Telefon +49 (0) 711 970 - 3600

 www.eep.uni-stuttgart.de

 www.ipa.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/effizienzsysteme

