NEKOM

Nachhaltige Speicher- und Energieverteilungssysteme in kleineren und mittleren Kommunen unter Berücksichtigung gesellschaftlicher Akzeptanz der Energiewende (01.04.2024 – 31.03.2027)

Dustin Frings
Chair for Wind Power Drives (RWTH Aachen University)

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN
Offen im Denken

RWTH AACHEN UNIVERSITY

Beteiligte Institute

Chair for Wind Power Drives
Leitung: Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs

24 Mitarbeiter*innen, 35 studentische Hilfskräfte

Forschungsschwerpunkte:
- Windenergieanlagentechnologie der nächsten Generation
- Design Methoden für Windparks und -turbinen
- Netzintegration und Energiesysteme
- Offshore Wind

Institut für Städtebau und Europäische Urbanistik
Leitung: Prof. Dipl.-Ing. Christa Reicher

24 Mitarbeiter*innen, 13 studentische Hilfskräfte

Forschungsschwerpunkte:
- Baukultur und Stadtgestaltung
- Städtebauliche Integration technischer Infrastruktursysteme
- Gestaltende Regionalentwicklung

Lehrstuhl Energietechnik
Leitung: Prof. Dr.-Ing. Harry E. Hoster

22 Mitarbeiter*innen, 9 studentische Hilfskräfte

Forschungsschwerpunkte:
- Brennstoffzellen, Batterien und Wasserstoff
- Moderne Energiesysteme und Wärmenetze
- Energie- und Verfahrenstechnik
- Elektrochemische Prozesse und Messtechnik

Praxisbeirat und Fördermittelgeber

Heinsberg zieht an!

alliander

VEOLIA

Gemeinde Roetgen
Tor zur Eifel

westenergie

Stadt Bedburg

STADTWERKE ERFT

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

ptj Projektträger Jülich Forschungszentrum Jülich

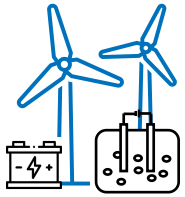
Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen

STRUKTURWANDEL RHEINISCHES REVIER

Gliederung

Motivation & Ziel

Arbeitspakete



Exkurs: Auslegung und Betrieb hybrider Windparks

Gliederung

Herausforderung: Versorgungssicherheit trotz Dargebotsabhängigkeit von Wind und Sonne
- Ansatz1: Netzausbau
- Ansatz2: Nachfragesteuerung
- **Ansatz3: Speicherintegration**

Gesellschaftliche Akzeptanz als wesentliche **Gelingbedingung** zum Erreichen der Ausbau- und Klimaziele

Zentraler Baustein: **räumlich-gestalterische Integration systemischer Lösungen**
- neben technischen und wirtschaftlichen Anforderungen

Ermächtigung kommunaler Handlungsträger zur unabhängigen Entscheidungsfindung
- Städtebauliche Integrationsfähigkeit
- Erhöhung der Lebensqualität
- Innovation
- …

NEKOM
Arbeitspakete

AP1: Status Quo

Sektoren

Überschuss

Akzeptanz

Potenzial

Praxisbeirat
- Datenaufbereitung und -bereitstellung

AP2: Bedarfsanalyse

- ✓ Szenariodefinition
- ✓ Raumbedarf
- ✓ Systemanforderung

Nutzungspfad	Zielstellung
Elektrifizierung	Effizienz
Grüne Gase	Autarkie
Technologiemix	Wirtschaftlichkeit

AP3: Entwicklung von Infrastrukturkonzepten

- Verortung & Darstellung
- Konzeptentwicklung
- Akzeptanzüberprüfung
- Ableitung archetypischer Integrationsbausteine

AP4: Ergebnisanalyse

Bewertungsmethodik

Stakeholder-einbindung

Iterative Modell-verbesserung

Praxisbeirat
- Workshops
- Bilateraler Austausch

AP5: Transferkonzept

Ableitung eines Leitfadens

Handlungs-empfehlungen

Iterative Methoden-verbesserung

Praxisbeirat
- Workshops
- Bilateraler Austausch

AP 1 – Status Quo (1/4)
Erzeugungs- & Verbrauchscharakteristika Strom & Wärme

Fragebögen zur Datenverfügbarkeit

#	Datenkategorie	Datenverfügbarkeit
A	**Netzdaten (Strom, Gas, Wärme)**	
	Bitte kreuzen Sie unter A separat alle Energieformen an, für welche die folgenden Daten vorliegen. Kreuzen Sie n.v. bzw. Nein an, falls keine Daten vorhanden sind.	
A1	Netzschemaplan der Transport- und Verteilnetze inklusive Anschlusspunkte der Energieerzeugungsanlagen (Papier)	☐ Ja ☐ Nein
	A1.1 In Papierform	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
	A1.2 Elektronisch/ digital	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
A2	Netzplan, mit Längenangaben und Betriebsmitteltypen (Belastbarkeit, Querschnitt, Nennleistung, Isolierung etc.) inklusive Anschlusspunkte der Energieerzeugungsanlagen (elektronisch/digital)	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
	A2.1 Wie A2 zusätzlich georeferenziert (GIS, Shapedateien)	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
A3	Strom-, Gas-, Fernwärme-Netzrechenmodell (Neplan, PowerFacory, Integral, STANET, ROKA…)	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
A4	Netzausbauplanung / Absehbare Erweiterungsmaßnahmen inklusive Anschlusspunkte der geplanten Energieerzeugungsanlagen	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
A5	Verortung Bestand und Planung EE-Anlagen als Geodaten (GIS, .shp)	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
A6	Spezifische Netzverluste	☐ Ja ☐ Nein
	A6.1 Netzverluste pro Strecke	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
	A6.2 Netzverluste pro UW[1], GDRA[2], o.ä.	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.

B	Lastdaten (Strom, Gas, Wärme)	
	Bitte kreuzen Sie unter B separat alle Energieformen an, für welche die folgenden Daten vorliegen. Kreuzen Sie n.v. bzw. Nein an, falls keine Daten vorhanden sind.	
B1	Jahresbedarf der gesamten Gemeinde/Stadt	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
B2	Jahresmengen an UW[1], GDRA[2], o.ä.	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
B3	Jahreshöchstlast und -mindestlast (falls Lastgang nicht verfügbar)	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
B4	Lastgänge an den UWs[1], ONT[3], GDRA[2] o.ä. (1h, besser ¼h) => Aussage über Netz-Teilgebiete	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
B5	Lastgänge der SVK[4] mit Verortung im Netz-/Versorgungsgebiet (1h, besser 1/4h) oder hilfsweise Modellierung der Kundentypen für Lastflussrechnung (Energie, Höchstlast, Gleichzeitigkeit)	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.

Legende:
[1] UW: Umspannwerk
[2] GDRA: Gas-Druck-Regelanlage
[3] ONT: Ortsnetztransformator
[4] SVK: Sondervertragskunde

C	Erzeugungsdaten (Strom, Gas, Wärme)	
	Bitte kreuzen Sie unter C separat alle Energieformen an, für welche die folgenden Daten vorliegen. Kreuzen Sie n.v. bzw. Nein an, falls keine Daten vorhanden sind. Tragen Sie ggf. weitere Informationen / Links in die Freifelder ein.	
C1	Netzanschlusspunkte der Energieerzeugungsanlagen (Papier)	☐ Ja ☐ Nein
	C1.1 In Papierform	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
	C1.2 Elektronisch/ digital	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
	C1.3 Standorte Erzeugungsanlagen georeferenziert (GIS-Dateien)	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
	C1.4 Netzanschlusspunkte georeferenziert (GIS-Dateien)	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
C2	Technische Betriebsparameter der Erzeugungseinheiten: Nennleistung, Jahresenergieertrag, Volllaststunden, Anlagenverfügbarkeit, Anlagentyp, Energieträger, Inbetriebnahme (Jahr)	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.
C3	Einspeiseprofil in zeitlicher Auflösung (1h, besser 1/4h)	☐ Strom ☐ Gas ☐ Wärme ☐ n.v.

D	Flexibilität	
	Da die steuerbaren Flexibilitäten in den meisten Verteilnetzen nicht oder zumindest nicht als gehäuftes Phänomen vorkommen, schlagen wir zu diesem Thema ein abweichendes Vorgehen vor. Bitte benennen Sie – sofern vorhanden – lokale Flexibilitäten und deren technische Parameter (Leistung, Gradient, Speichervermögen,…). Insbesondere wäre von Interesse, wo diese Flexibilitäten netztechnisch verortet sind und ob Sie Zugriff auf die Steuerung der Flexibilität haben oder erlangen können. Kreuzen Sie hier bitte pro Kategorie Zutreffendes an.	
D1	Flexible Erzeuger wie Biogasanlagen etc.:	
	D1.1 Netztechnische Verortung ist verfügbar	☐ Ja ☐ Nein
	D1.2 Zugriff auf Steuerung besteht	☐ Ja ☐ Nein
D2	Flexible Lasten:	
	D2.1 Netztechnische Verortung ist verfügbar	☐ Ja ☐ Nein
	D2.2 Zugriff auf Steuerung besteht	☐ Ja ☐ Nein
D3	Speicher:	
	D3.1 Netztechnische Verortung ist verfügbar	☐ Ja ☐ Nein
	D3.2 Zugriff auf Steuerung besteht	☐ Ja ☐ Nein
D4	Regelenergie / Sektorenkopplung (z. B. Power-to-Heat mit Wärmespeicher):	
	D4.1 Netztechnische Verortung ist verfügbar	☐ Ja ☐ Nein
	D4.2 Zugriff auf Steuerung besteht	☐ Ja ☐ Nein
D5	Tragen Sie hier ggf. weitere Informationen zu Flexibilitäten ein:	

➢ Gute Datengrundlage

LANUK
Kompetenz für ein lebenswertes Land

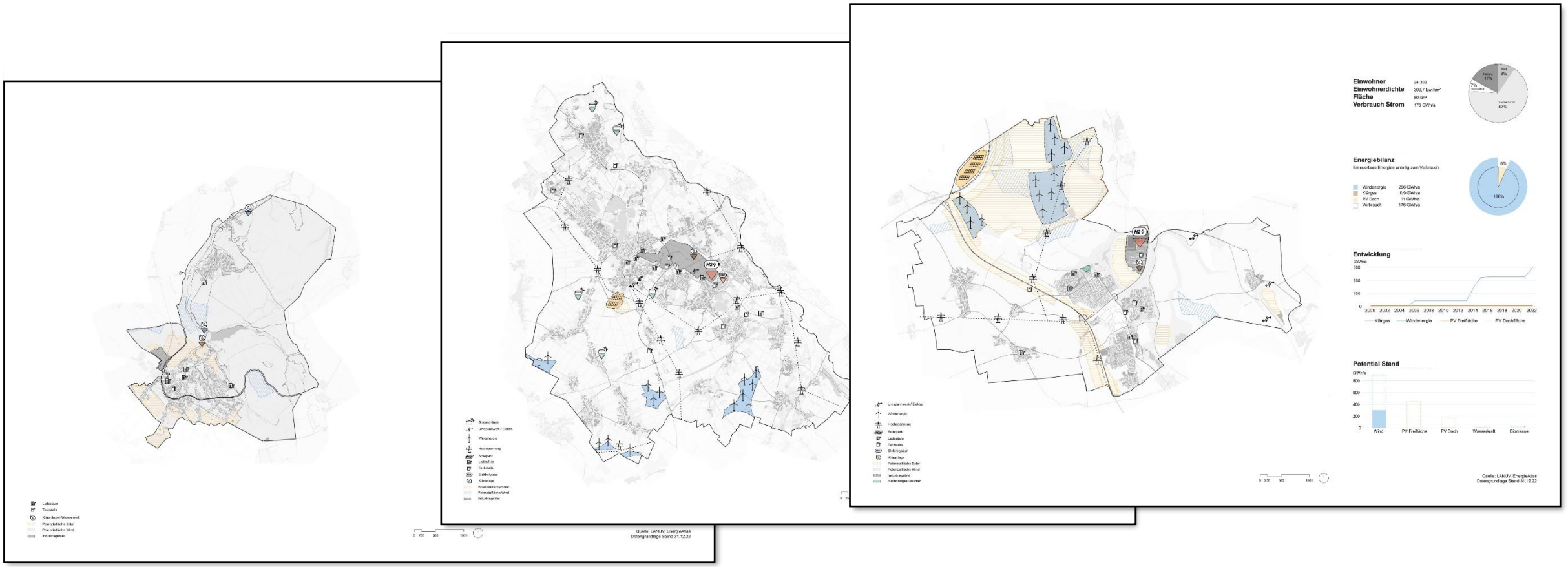
MaStR
Marktstammdatenregister

Erzeugungs-stand	Potenzial-daten			Netzdaten	Flexibilität
Nennleistung	Windmessdaten	Einwohnerzahl	Geplante Nutzung / Umfunktionierung bestehender Infrastruktur für den Ausbau des Energiesystems Sektorenkopplung	Netzschemaplan (Strom & Gas)	Jahresbedarf (Strom & Gas)	Flexible Anlagen zB Biogasanlagen
Jahresenergieertrag - Bundesland				Netzrechen-modell Strom	Jahresmengen an	Flexible Lasten
NAP & Stand (Strom)	Nutztier: Rind	Gebäuden-/Sterber		Netzrechen-modell Gas		Speicher
Anlagenverfügbarkeit			Geplanter Ausbau bestehender Ladeinfrastruktur	Netzrechen-modell Wärme	Lastgänge an UW, ONT, GDRA (Strom)	Regelenergie & Sektorenkopplung
Anlagentyp	Nutztier: Huhn - Über Schlüssel	Beschäftigungs-struktur		Netzplan (GIS) (Strom & Gas)	Lastgänge SVK (Gas & Strom)	
Inbetriebnahmejahr	Ackerfläche	Lokaler Haushaltspreis	Förderprogramme für bestimmte Technologien	Netzausbauplan		
Investitionskosten	Strahlungs-simulation	Entsorgungs-kosten				
Betriebskosten	Wasserschutz-gebiete	ISEK	Weitere Informationen: *Neuaufstellung des Flächennutzungs-plans →laufend?*			
Netzanschluss-punkte (elektr.)	Ausbaupotenzial-daten	Geplante Quartiersentw.				
Einspeiseprofile	Ausbaustrategie Energiesystem	Fahrzeugbestand				

- *Datenverfügbarkeit durch Netzbetreiber*
- *Datenverfügbarkeit durch Kommune*
- *Datenverfügbarkeit durch öffentliche Datenbanken (Referenz)*
- *Bedingte Datenverfügbarkeit durch öffentliche Datenbanken (Referenz)*
- *Keine Datenverfügbarkeit → Modellierung ggf. nicht validiert*

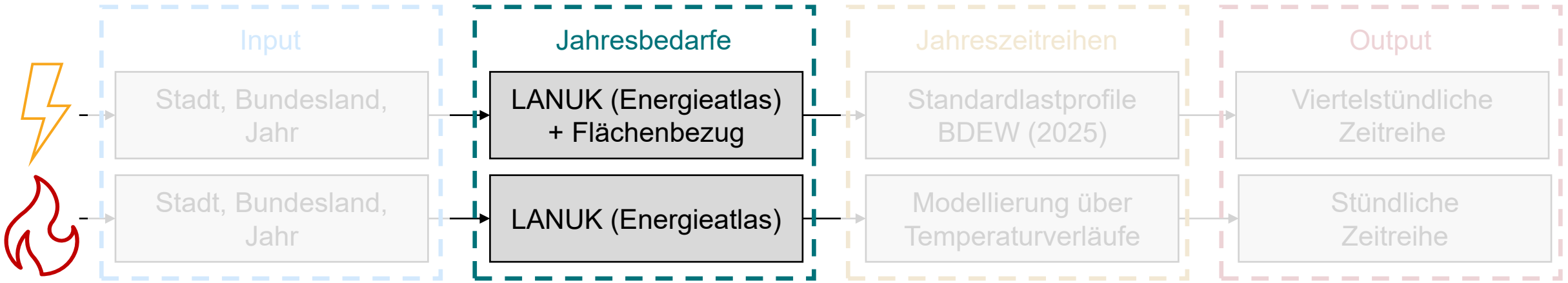
- Vollständige Datensätze
- Bedarfsmengen und Lastniveaus (Strom & Wärme)

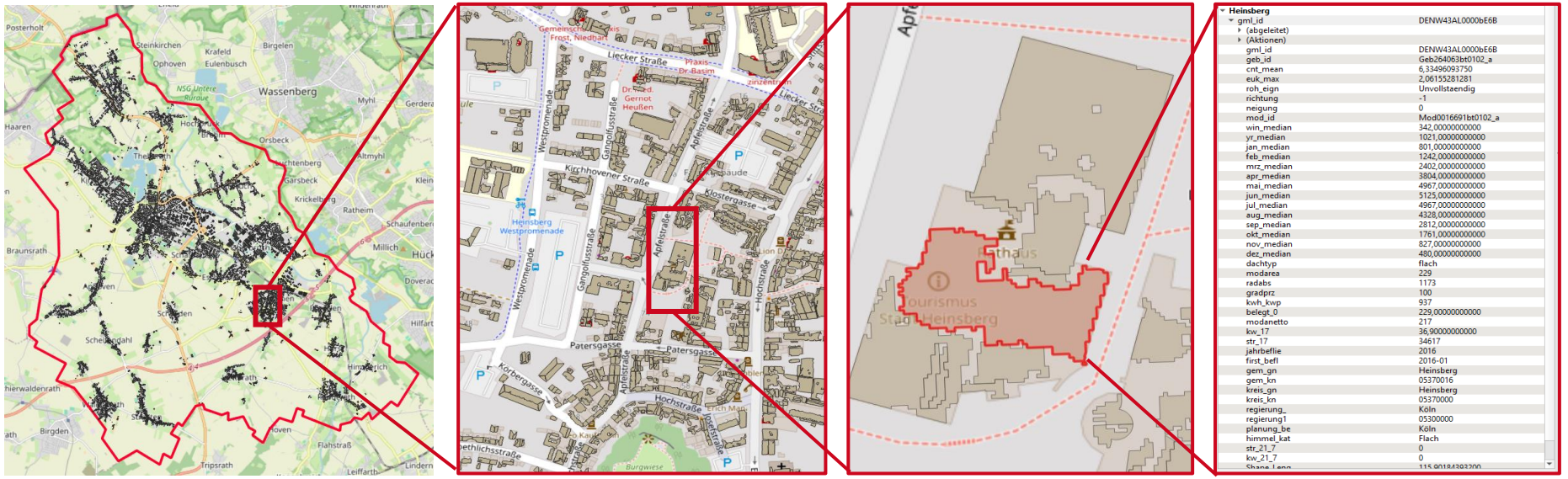
AP 1 – Status Quo (2/4)
Aufnahme bestehender energierelevanter Infrastrukturen



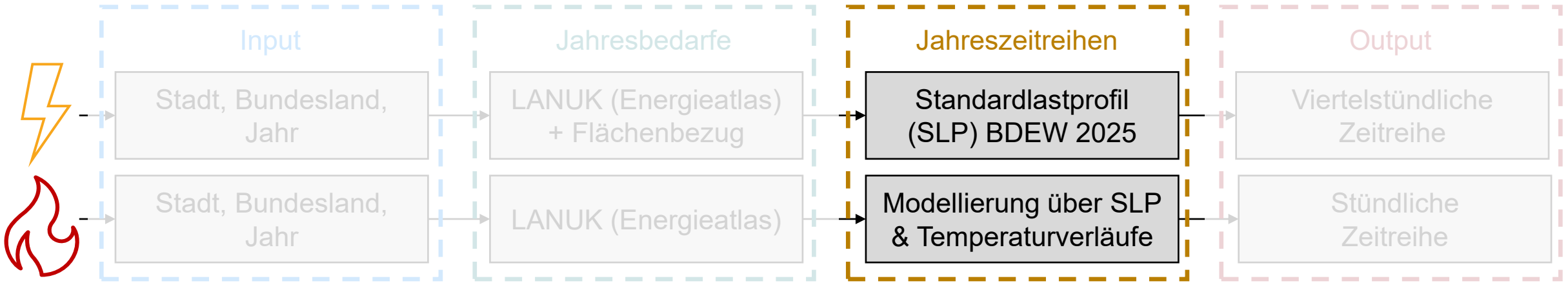
Vollständige Auflistung energierelevanter Infrastrukturen

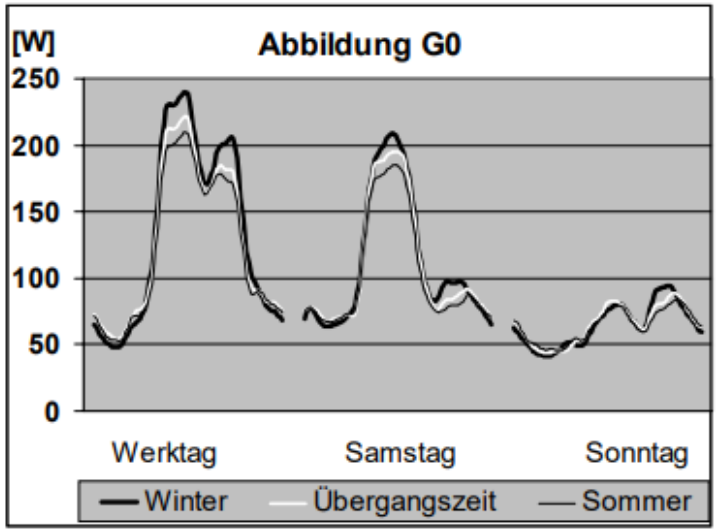
AP 1 – Status Quo (3/4)
Jahreswerten und Zeitreihen für Erzeugung & Bedarf

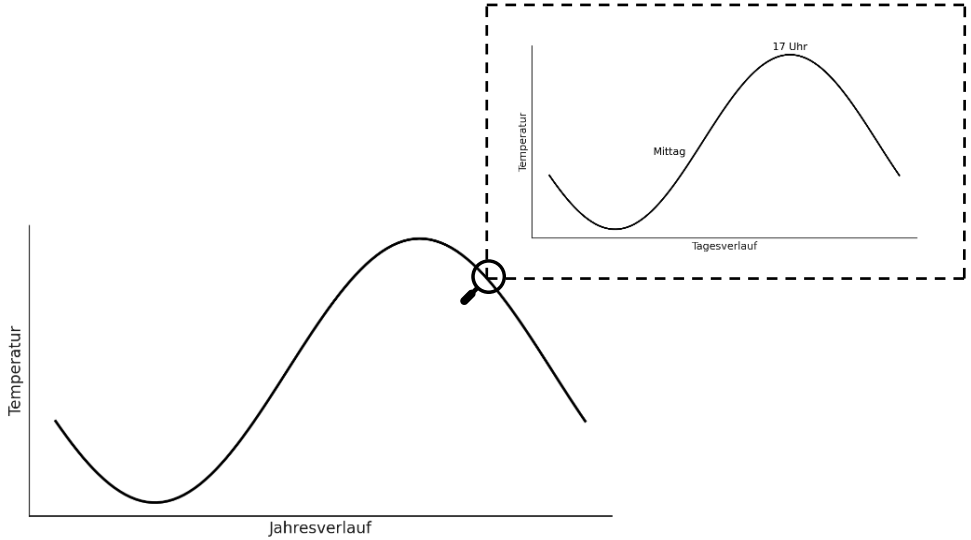




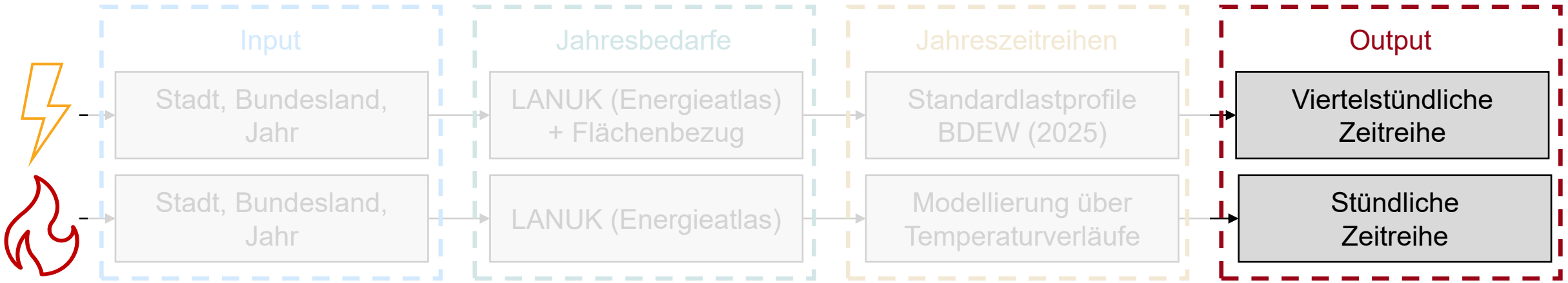
AP 1 – Status Quo (3/4)
Jahreswerten und Zeitreihen für Erzeugung & Bedarf



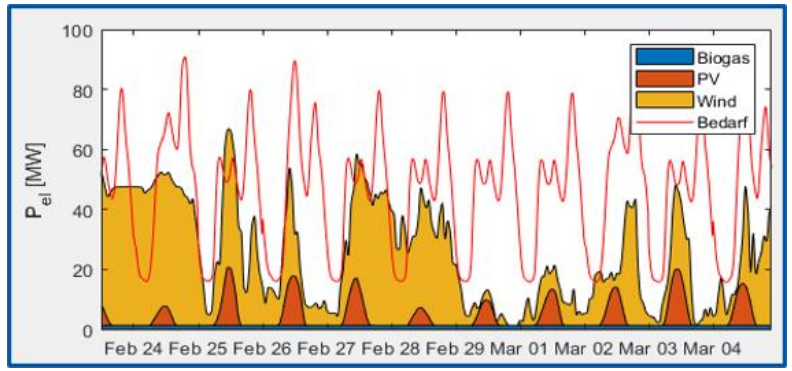




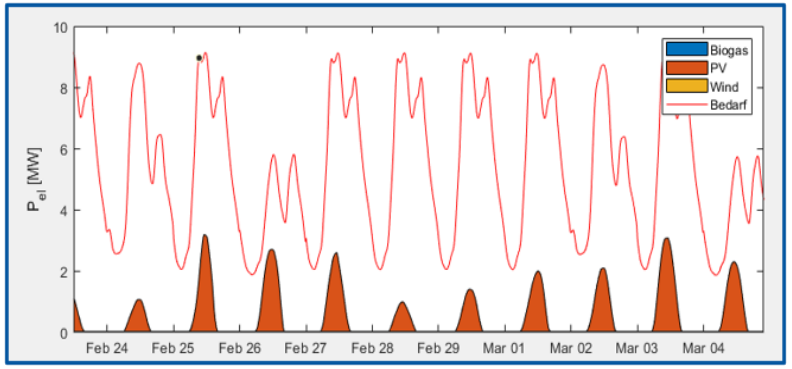
AP 1 – Status Quo (3/4)
Jahreswerten und Zeitreihen für Erzeugung & Bedarf



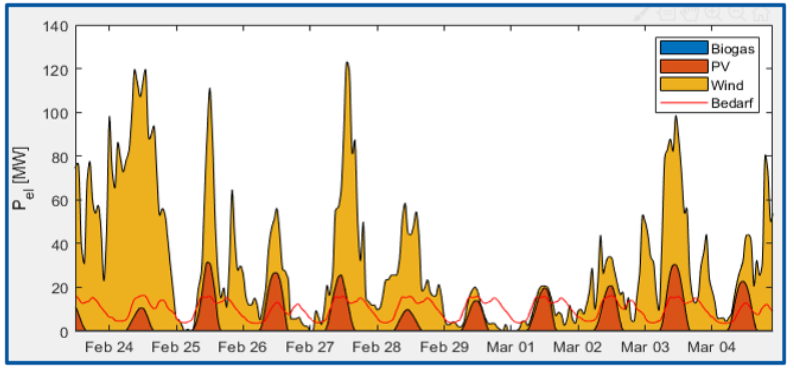
Heinsberg



Roetgen

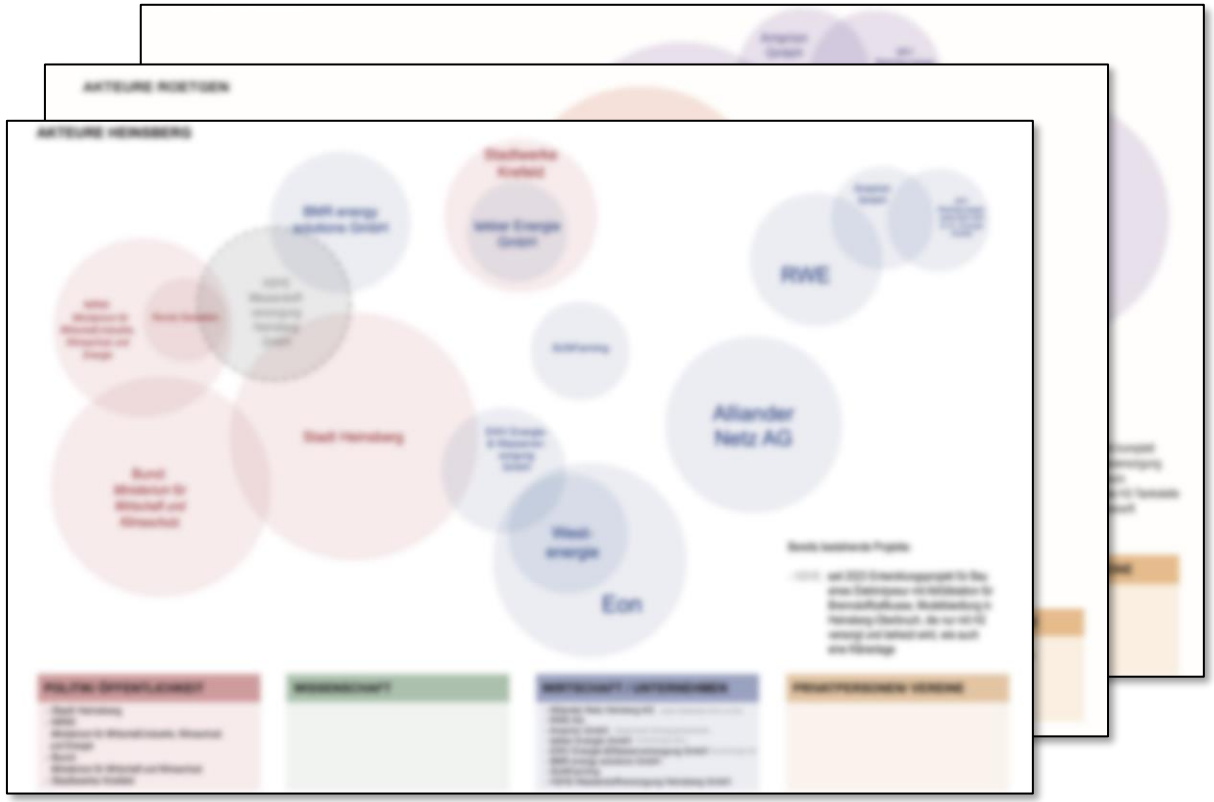


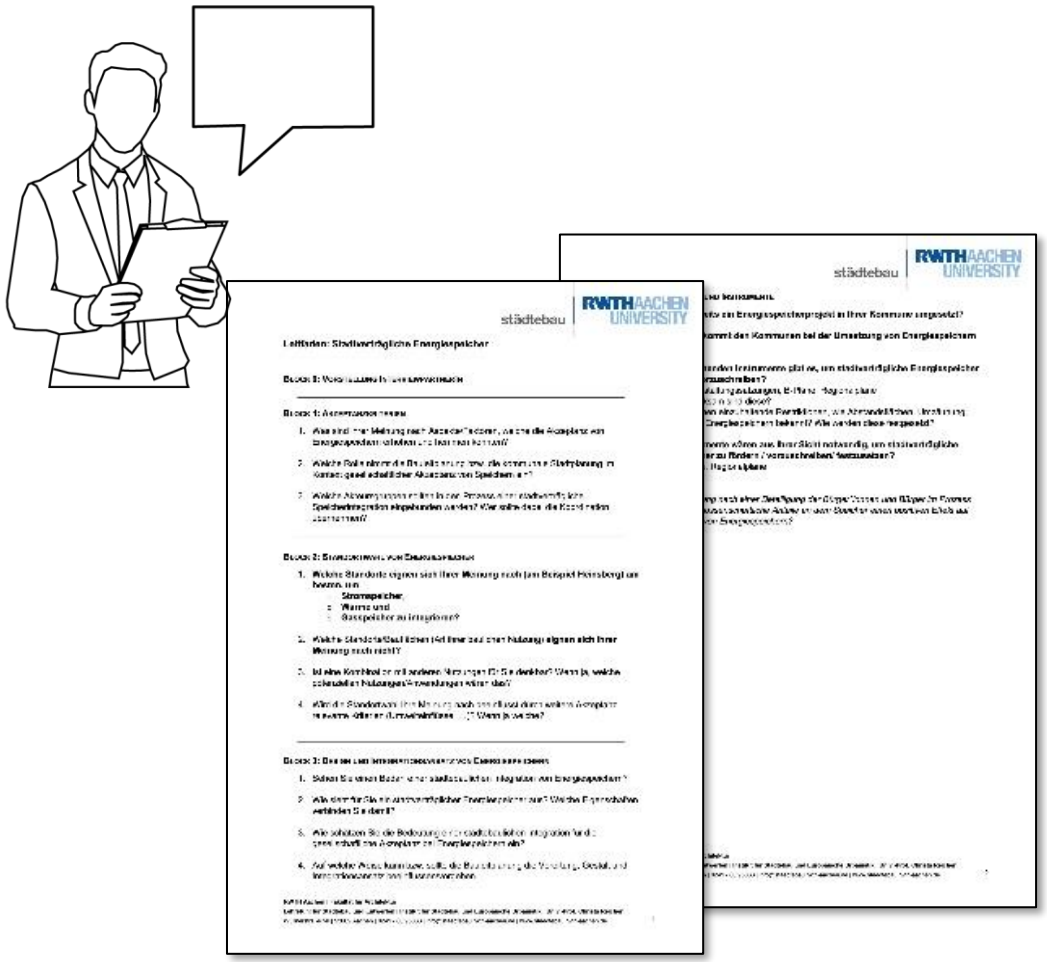
Bedburg



Zeitreihen in möglichst hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung

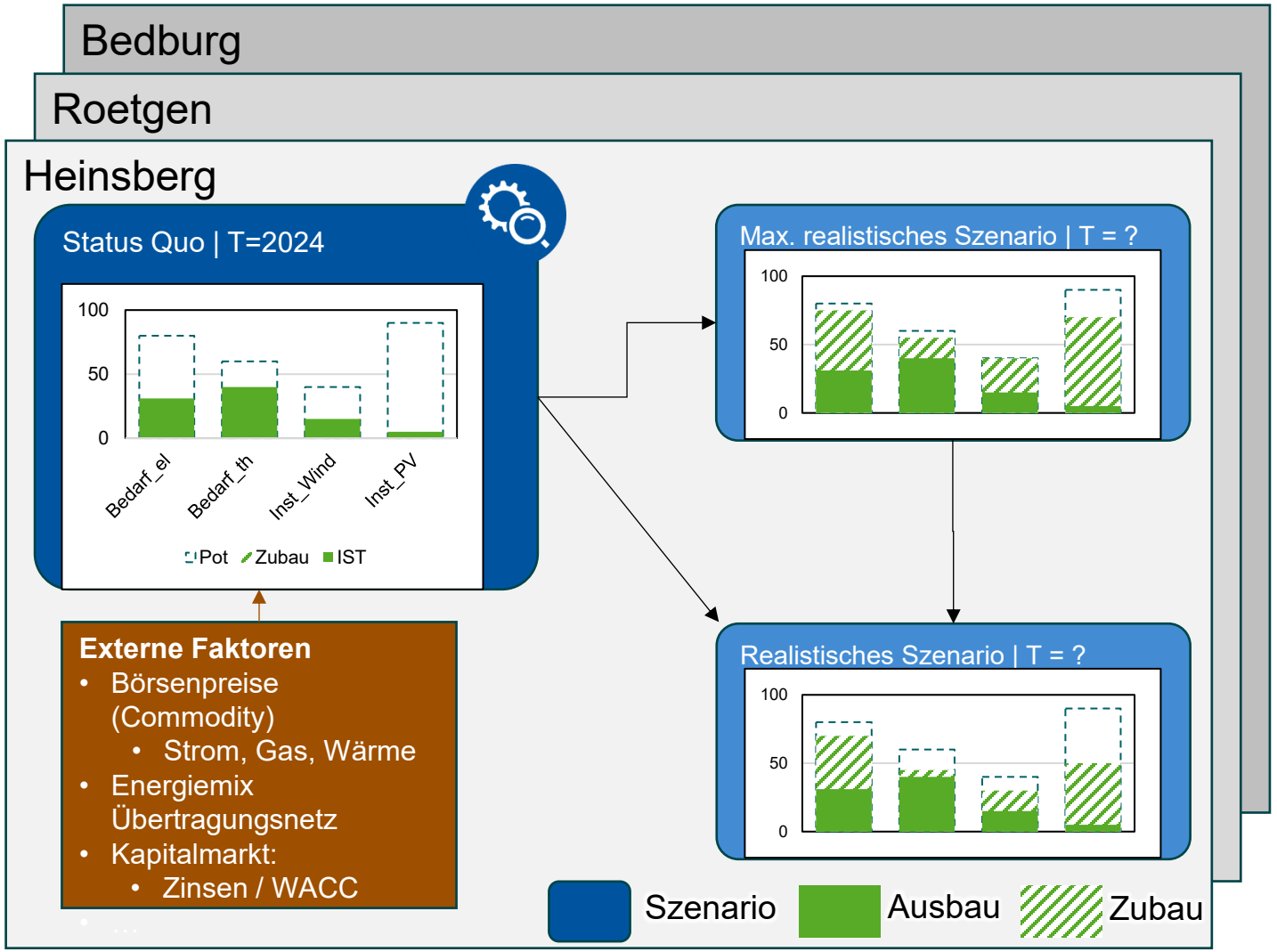
AP 1 – Status Quo (4/4)
Bewertung von Nutzung und Akzeptanz der Infrastrukturen





- Verständnis zu lokalen Stakeholderstrukturen
- Kriterienkatalog zur Bewertung von Akzeptanz der identifizierten Infrastrukturen

AP 2 – Bedarfsanalyse
Szenarienentwicklung

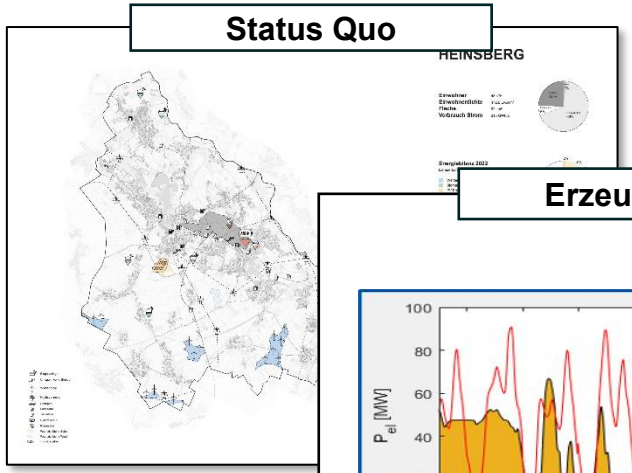


Szenarioabhängige Rahmenbedingungen:
Je nach Szenario können unterschiedliche Speichertechnologien empfehlenswert sein.

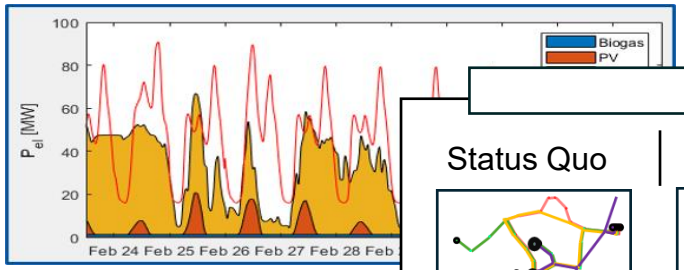
AP 3 – Entwicklung von Infrastrukturkonzepten

Technische Speicherintegration

Status Quo



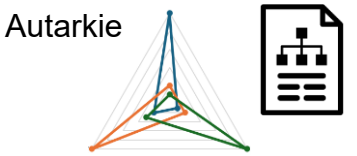
Erzeugung und Bedarf



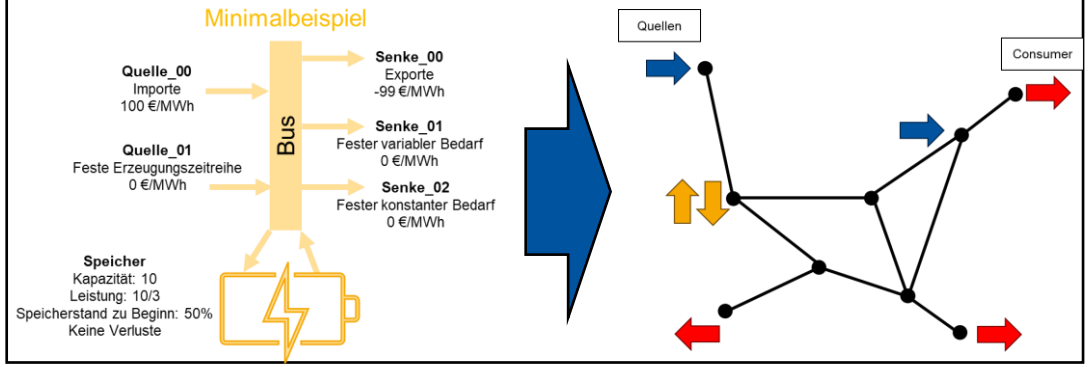
Szenarien

Status Quo | 15 Jahre | 50 Jahre

Bewertung



Optimierungs- / Simulations-Modelle



- Modelle zusammenführen
- Grundlage zur Entwicklung neuer städtebaulicher Infrastrukturkonzepte

Arbeitspakete

AP1: Status Quo

Sektoren

Überschuss

Akzeptanz

Potenzial

Praxisbeirat

- Datenaufbereitung und -bereitstellung

AP2: Bedarfsanalyse

- ✓ Szenariodefinition
- ✓ Raumbedarf
- ✓ Systemanforderung

Nutzungspfad	Zielstellung
Elektrifizierung	Effizienz
Grüne Gase	Autarkie
Technologiemix	Vermarktung

AP3: Entwicklung von Infrastrukturkonzepten

- Verortung & Darstellung
- Konzeptentwicklung
- Akzeptanzüberprüfung
- Ableitung archetypischer Integrationsbausteine

AP4: Ergebnisanalyse

Bewertungsmethodik

Stakeholder-einbindung

Praxisbeirat

- Workshops
- Bilateraler Austausch

Iterative Modell-verbesserung

AP5: Transferkonzept

Ableitung eines Leitfadens

Handlungs-empfehlungen

Praxisbeirat

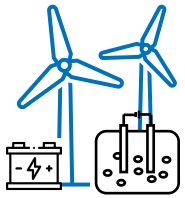
- Workshops
- Bilateraler Austausch

Iterative Methoden-verbesserung

Gliederung

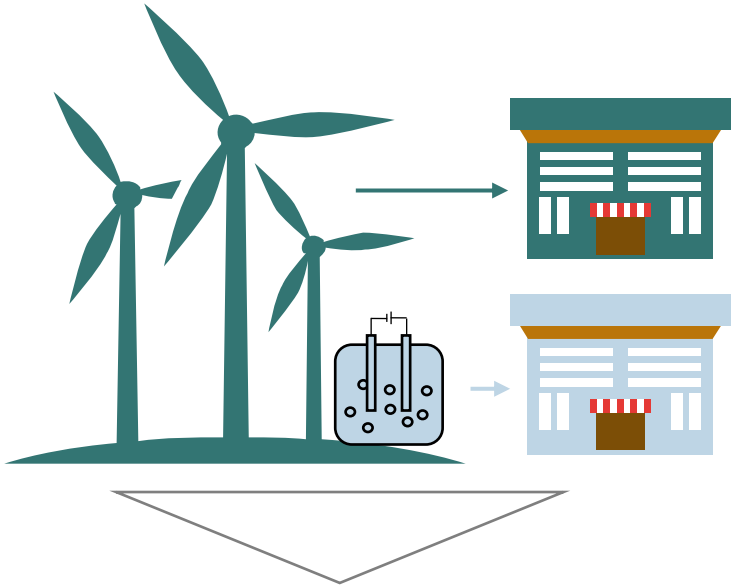
Motivation und Ziel

Arbeitspakete



Exkurs: Auslegung und Betrieb hybrider Windparks

Exkurs
Windpark + Elektrolyse + Batterie

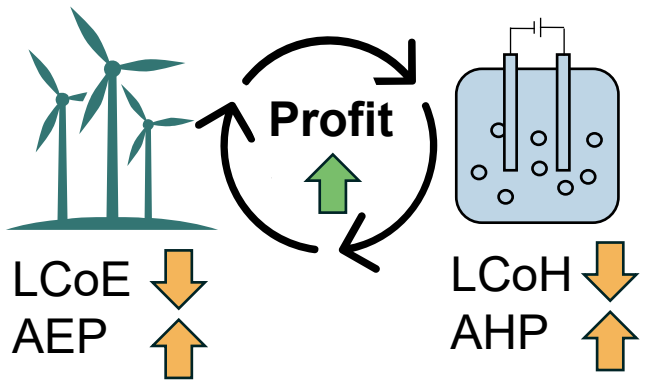


	DE in 2024	Mittelfristig
Abregelung von onshore Windparks	3% [1]	↑ [2]
Stunden mit negativen Strompreisen	457 h/a [3]	↑ [4]

[1] BNetzA, Netzengpassmanagement 2024, https://www.smard.de/page/home/topic-article/211784/216636
[2] Bundesverband WindEnergie e.V., Weiterentwicklung des Einspeise-Managements, https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technik-und-netze/01-netze/studie_weiterentwicklung_einspeisemanagement.pdf
[3] BNetzA, Der Strommarkt im Jahr 2024, https://www.smard.de/page/home/topic-article/444/215556
[4] E-Bridge, https://e-bridge.de/portfolio-items/330-stunden-mit-negativen-strompreisen-in-diesem-jahr-bisher/

- Diversifikation von Erlösen (H_2-Verkauf)
- Volllaststunden ↑
- Investitionskosten ↑

Standort, Marktbedingungen und **Technik**

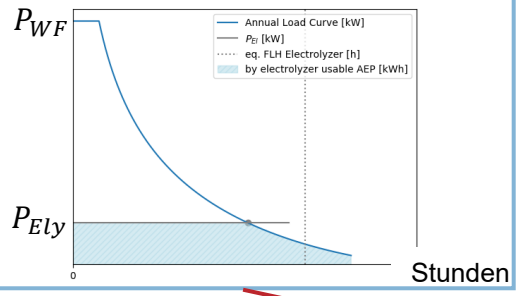


LCoE: Levelized Cost of Electricity; AEP: Annual Electricity Production; LCoH: Levelized Cost of Hydrogen; AHP: Annual Hydrogen Production

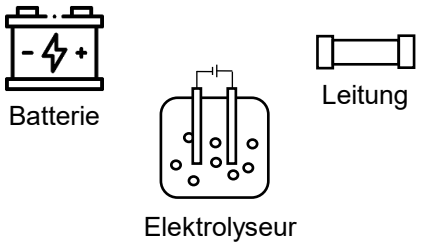
Auslegung & Betriebsoptimierung eines Windpark-Elektrolyseur-Batterie Systems

1. Auslegung

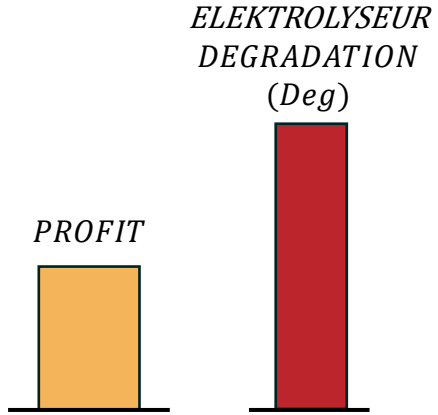
Fixiert
- **Betriebsstrategie** jeder Komponente



Variabel
- **Auslegung** jeder Komponente



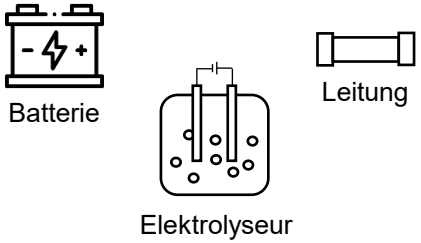
Zielfunktion
- **Maximiere Profit** des Gesamtsystems



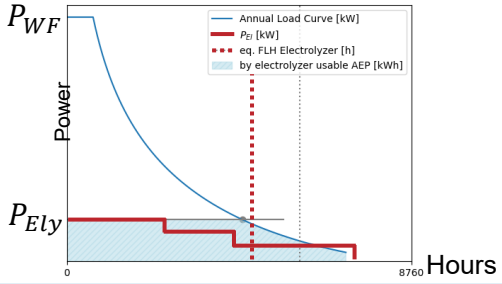
[5] Reichartz et al. 2024, Optimal position and distribution mode for on-site hydrogen electrolyzers in onshore wind farms for a minimal levelized cost of hydrogen
[6] Reichartz et al. 2024, Co-Design of a Wind–Hydrogen System: The Effect of Varying Wind Turbine Types on Techno-Economic Parameters

2. Betrieb

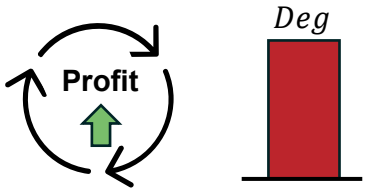
Fixiert
- **Auslegung** jeder Komponente



Variabel
- **Betriebsstrategie** jeder Komponente



Zielfunktion
- **Maximiere Profit** des Gesamtsystems
- **Minimiere Degradation** des Elektrolyseurs



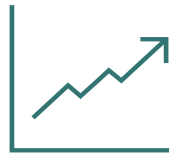
Wie stark wird der **Profit** und die **Degradation über-** oder **unterschätzt** mit der gegebenen Auslegungsmethodik?

NEKOM - Nachhaltige Speicher- und Energieverteilungssysteme in kleineren und mittleren Kommunen unter Berücksichtigung gesellschaftlicher Akzeptanz der Energiewende

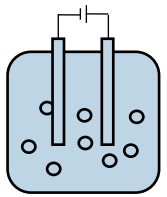
SH: Sold Hydrogen; SE: Sold Electricity; WF: Wind Farm; Ely: Electrolyzer; Bat: Battery

Zielfunktion der Betriebsoptimierung
Maximiere jährlichen Profit (AP)

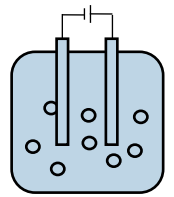
$$\max(AP) = \max\left(\frac{1}{Y}\sum_{y=1}^{Y}\left(\sum_{t=1}^{8760}\underbrace{\left(SE_y(t) * p_{Electricity,y}(t)\right)}_{ANNUAL\ REVENUE_{Elec.}} + \underbrace{SH_y(t) * p_{H_2,y}}_{ANNUAL\ REVENUE_{H_2}}\right) - \underbrace{LCOE}_{ANNUAL\ COST_{Elec.}} * \frac{1}{Y}\sum_{y=1}^{Y} AEP_y - \underbrace{LCoH}_{ANNUAL\ COST_{H_2}} * \frac{1}{Y}\sum_{y=1}^{Y} AHP_y\right)$$



Day-Ahead-Preis



€ konst.



Maximiere Profit

Minimiere die Degradation des Elektrolyseurs

Degradation sorgt für Nichtlinearitäten:
1. Max (AP)
2. Min (Deg)

Gleichungen

aritäten

AP: Annual Profit SE: Sold Electricity SH: Sold Hydrogen ECHS: Electricity Charged into Hydrogen System

Organisatorisches
Feedback & Projektneuigkeiten

Feedback und Rückfragen zum Projekt per Mail an das Projektteam:

RWTH Aachen University | Chair for Wind Power Drives:	
Lucas Blickwedel, M.Sc. (Projektleitung) Tel.: +49 241 80-90894 lucas.blickwedel@cwd.rwth-aachen.de	Dustin Frings, M.Sc. Tel.: +49 241 80 90883 dustin.frings@cwd.rwth-aachen.de
RWTH Aachen University | Institut für Städtebau:	
Sarah Hermens, M.Sc. hermens@staedtebau.rwth-aachen.de	Dr.-Ing. Jannik Wendorff wendorff@staedtebau.rwth-aachen.de
Universität Duisburg – Essen | Lehrstuhl für Energietechnik:	
Dominik Schojda, M.Sc. dominik.schojda@uni-due.de	Christian Thommessen, M.Sc. christian.thommessen@uni-due.de

Allgemeine Infos zum Projekt auf der Projekthomepage:
- https://www.cwd.rwth-aachen.de/cms/cwd/forschung/projekte/~bhsdge/nekom1/

Aktuelle Informationen und Ereignisse via Social Media:
- https://www.linkedin.com/company/center-for-wind-power-drives

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dustin Frings, M. Sc.
Tel.: +49 241 80-90883
dustin.frings@cwd.rwth-aachen.de

Lucas Blickwedel, M. Sc.
Tel.: +49 241 80-90894
lucas.blickwedel@cwd.rwth-aachen.de

Connect with us on LinkedIn

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN
Offen im Denken

RWTH AACHEN UNIVERSITY