



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Lehrstuhl für Elektrische
Energieversorgungstechnik

Mitveranstalter:

neue/effizienz

Mit freundlicher Unterstützung unseres Hauptsponsors

Megger[®]

und der weiteren Veranstaltungssponsoren

B E T

Energie. Weiter denken



BMU

Energy Consulting

BAUR

ensuring the flow

bofest consult

PSI



envelio



HORSTMANN
GERMANY

**PHOENIX
CONTACT**

WSW.



8. Wuppertaler Energie-Forum

19. Februar 2026

Neue Energie aus Wuppertal
Band 77

8. Wuppertaler Energie-Forum 19.02.2026

77



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

8. Wuppertaler Energie-Forum

Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik

Bergische Universität Wuppertal

Neue Effizienz gemeinnützige GmbH

19. Februar 2026

Campus Freudenberg

Rainer-Gruenter-Straße

42119 Wuppertal



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Lehrstuhl für Elektrische
Energieversorgungstechnik

Mitveranstalter:

neue/effizienz

Mit freundlicher Unterstützung unseres Hauptsponsors

Megger ^R

und der weiteren Veranstaltungssponsoren

B E T

Energie. Weiter denken



BMU

Energy Consulting

BAUR

ensuring the flow

bofest consult

PSI



envelio



HORSTMANN
GERMANY

**PHOENIX
CONTACT**

WSW.



Energiewende – Made in Wuppertal
Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek

Sehr geehrte Damen und Herren,
liebe Freunde des Lehrstuhls für Elektrische Energieversorgungstechnik,

ich freue mich sehr Sie heute zu unserem 8. Wuppertaler Energie-Forum begrüßen zu können.

Quo vadis Energiewende?

Diese Frage stellen sich zurzeit viele interessierte Bürger aber auch viele der heute hier versammelten Fachleute. Einerseits scheint in Zeiten zunehmender geopolitischer Unsicherheit die drohende globale Krise des Klimawandels und damit auch die Energiewende in Deutschland mehr und mehr aus der öffentlichen Wahrnehmung zu verschwinden. Andererseits geht der Zubau von regenerativen Erzeugungsanlagen aber auch von Wärmepumpen, Ladesäulen und – seit einiger Zeit in enormer Anzahl – Großbatteriespeichern in unverändertem Tempo weiter und stellt die Stromnetze vor große Herausforderungen. Zudem zeigt sich mehr und mehr der enorme Investitionsbedarf in die Energieinfrastruktur – nicht nur in Strom- sondern auch in Wärme- oder Wasserstoffnetze.

In diesem Spannungsfeld haben wir erneut ein interessantes Programm mit hochkarätigen Vortragenden aus der Energieversorgungsbranche für Sie zusammengestellt. Die Themen reichen von der automatisierten Energienetzplanung über klimaresiliente Verteilnetze bis zur realitätsgerechten Zustandsbewertung von Umspannwerken.

Herzlichst, Ihr

Inhalt

Grußwort 9

Prof. Dr. Peter Gust, Prorektor für Third Mission und Internationales, Bergische Universität Wuppertal

Automatisierte und optimierte Energienetzplanung auf der grünen Wiese ("NeuPlan")11

Dr. Nils Neusel-Lange, Geschäftsführer Netze und Infrastruktur,
Bielefelder Netz GmbH

Kopernikus-Projekt ENSURE: Wesentliche Ergebnisse und Erkenntnisse.....45

Dr. Holger Müller, Head of Research Group for Multimodal Grid Operation,
Siemens AG Technology

Gefährdungsanalyse von Betriebsmitteln elektrischer Verteilnetze während Extremwetterereignissen 61

Frank Aschenbroich, Geschäftsbereichsleiter Netze,
EWR GmbH Stadtwerke Remscheid Verbund

Innovativer Ansatz zur Zielnetzplanung am Beispiel der Stromnetze der Stadtwerke Hilden GmbH87

Dr. Daniel Heuberger, Centerleiter Netz, Stadtwerke Hilden GmbH

Optimierung von Planung, Bau und Betrieb der Strom- und Rohrnetze der NEW Netz GmbH..... 115

Peter Vent, Prokurist und Hauptabteilungsleiter "Netzbau und Netzbetrieb",
NEW Netz GmbH

**Vom Alterungsmodell zur Wertorientierung – KI-basierte Optimierung im
Asset Management von Verteilnetzbetreibern..... 133**

Arkadius Mateja, Leiter Kompetenzfeld Erzeugung & Infrastruktur,
Energieforen Leipzig GmbH

Zustandsbewertung von Leistungsschaltern in freiluftisolierten Anlagen 169

Korbinian Maurer, Project Manager Service Solutions,
Maschinenfabrik Reinhausen GmbH
Thomas Brock, Strategische Planung, Netze Duisburg GmbH

Impressum..... 194

Grußwort

Prof. Dr. Peter Gust

Prorektor für Third Mission und Internationales
Bergische Universität Wuppertal

Automatisierte und optimierte Energienetzplanung auf der grünen Wiese ("NeuPlan")

Dr. Nils Neusel-Lange

Geschäftsführer Netze und Infrastruktur

Bielefelder Netz GmbH



Automatisierte und optimierte Energienetzplanung auf der grünen Wiese („NeuPlan“)

8. Energieforum

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

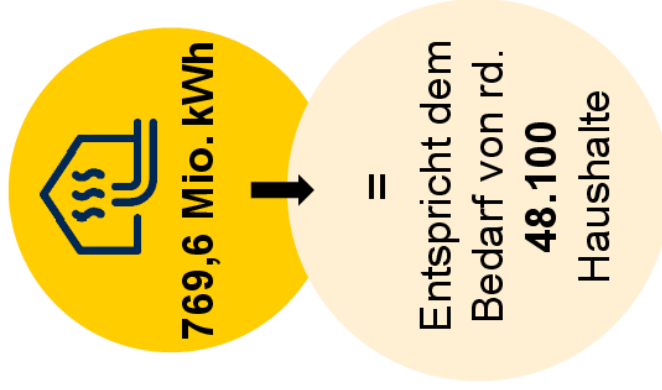
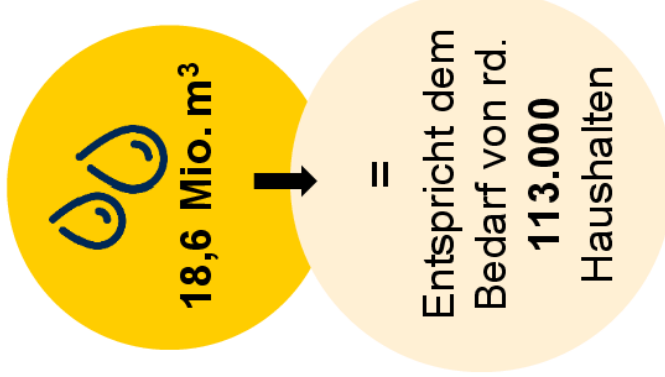
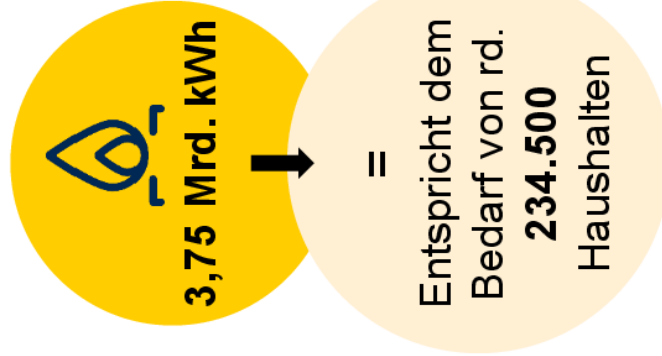
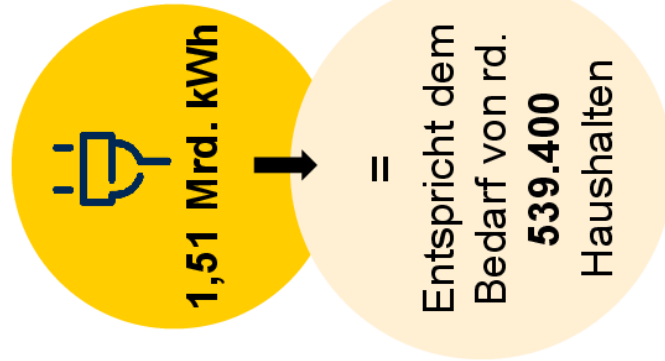


Wuppertal, 19.02.2026

Einleitung

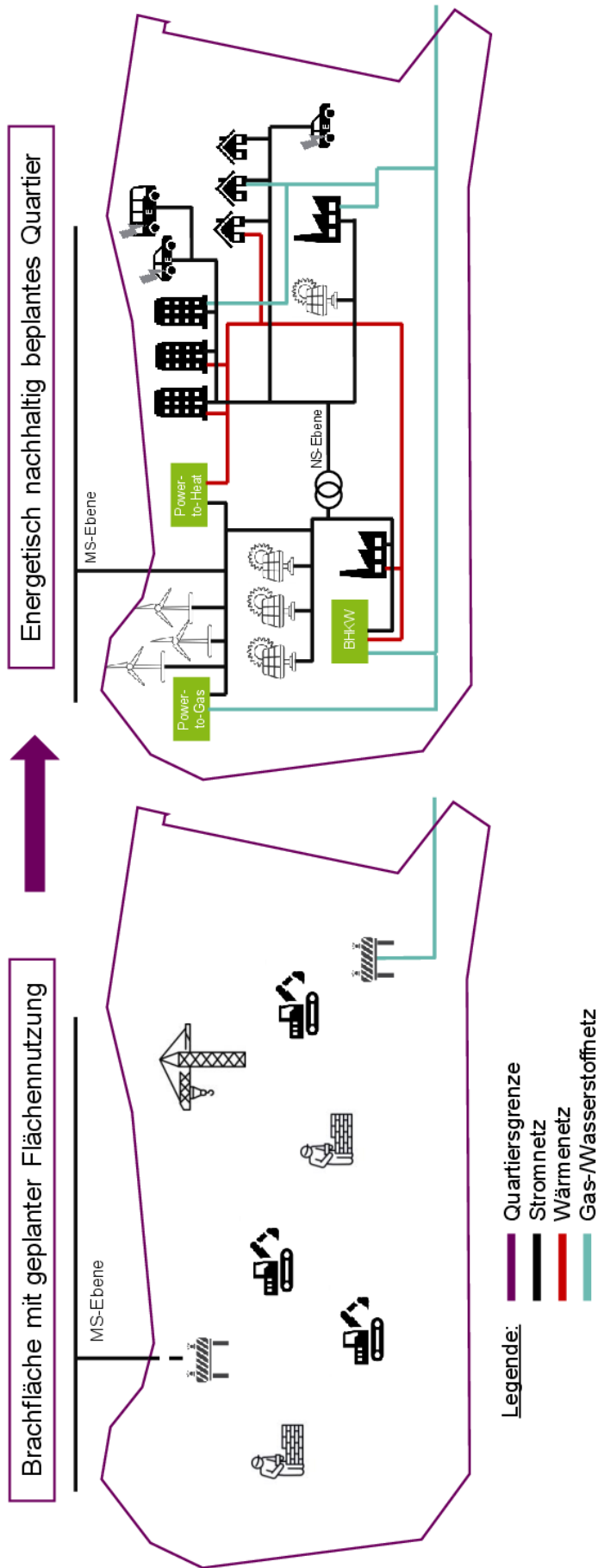
Eine starke Versorgung für Bielefeld

Einleitung



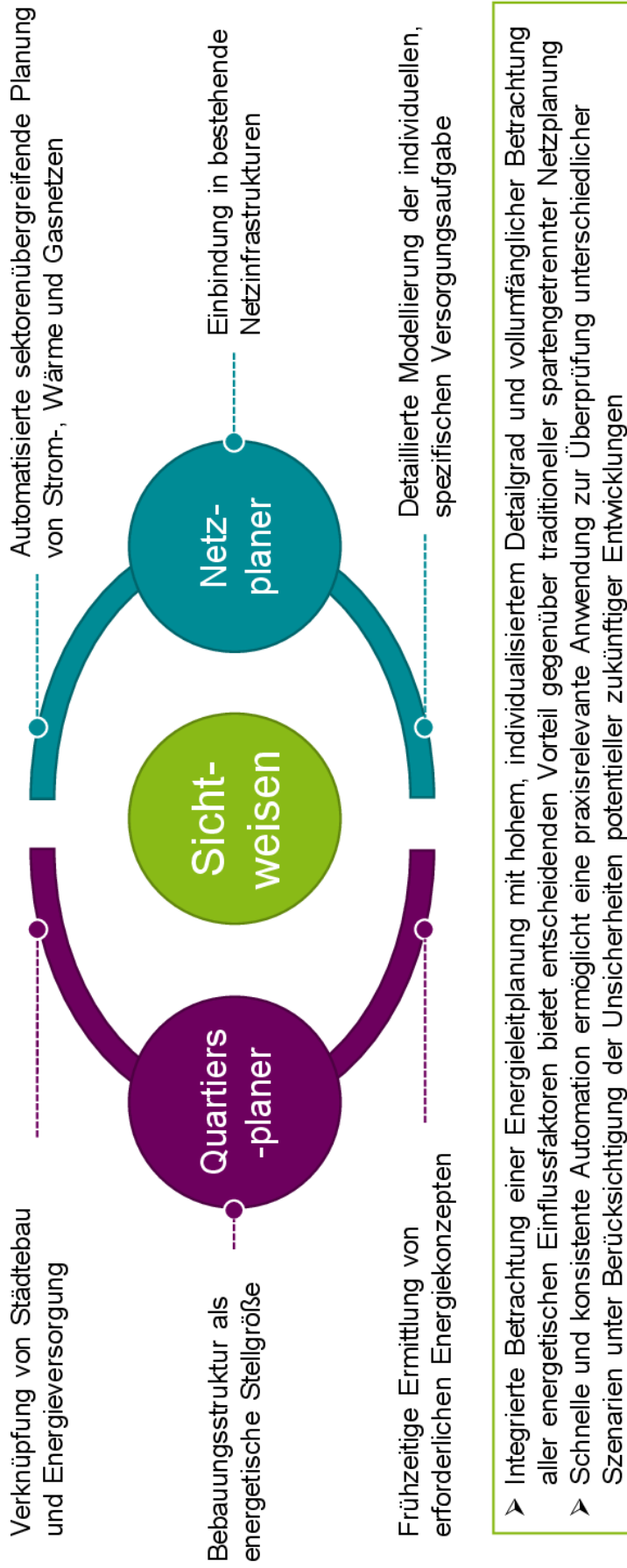
Vorstellung Forschungsprojekt „NeuPlan“

Einleitung



Für wen ist die Energieleitplanung in Neubauquartiere gedacht?

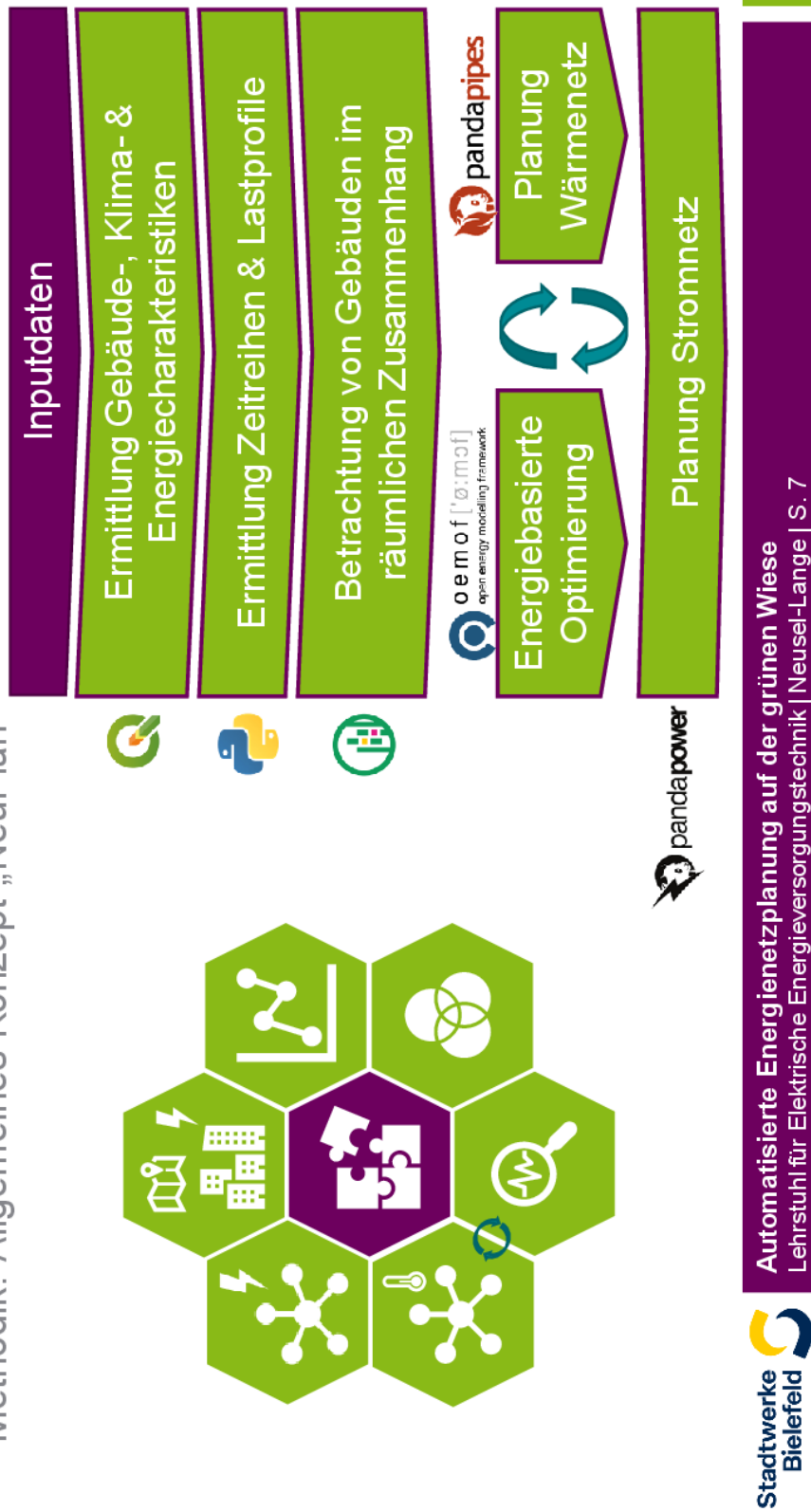
Einleitung



Methodik

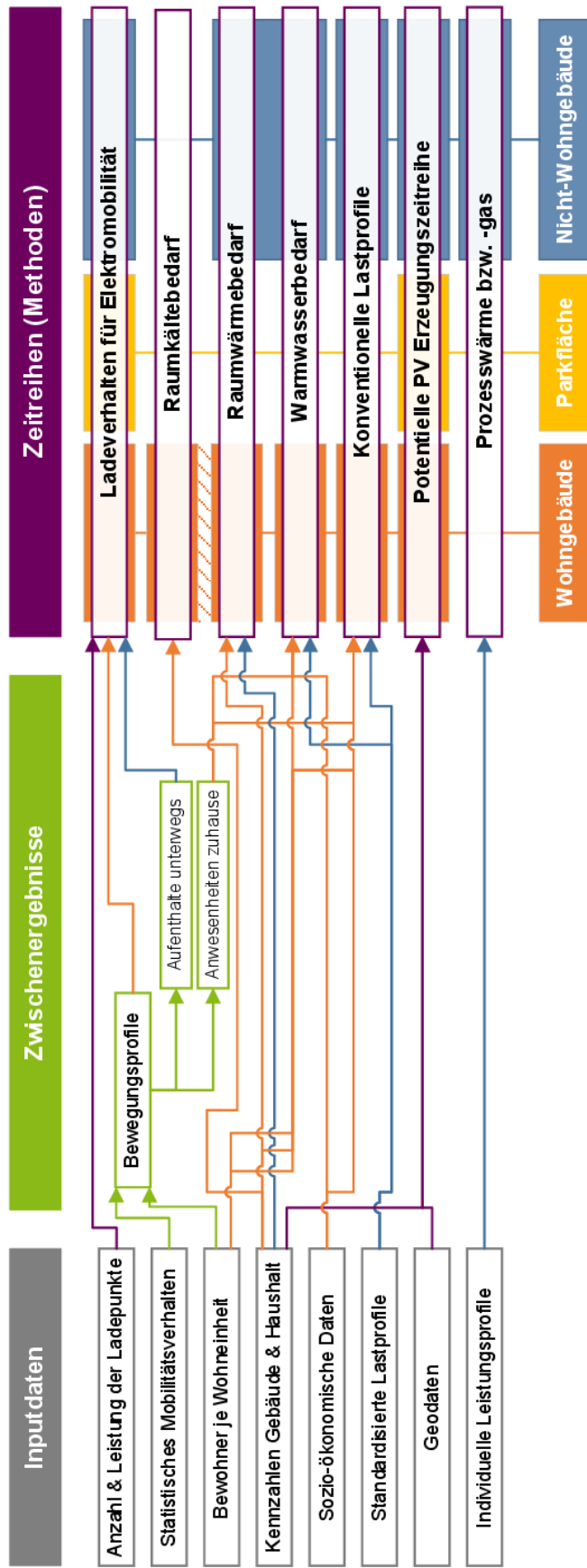
Ablauf der automatisierten Energienetzplanung

Methodik: Allgemeines Konzept „NeuPlan“



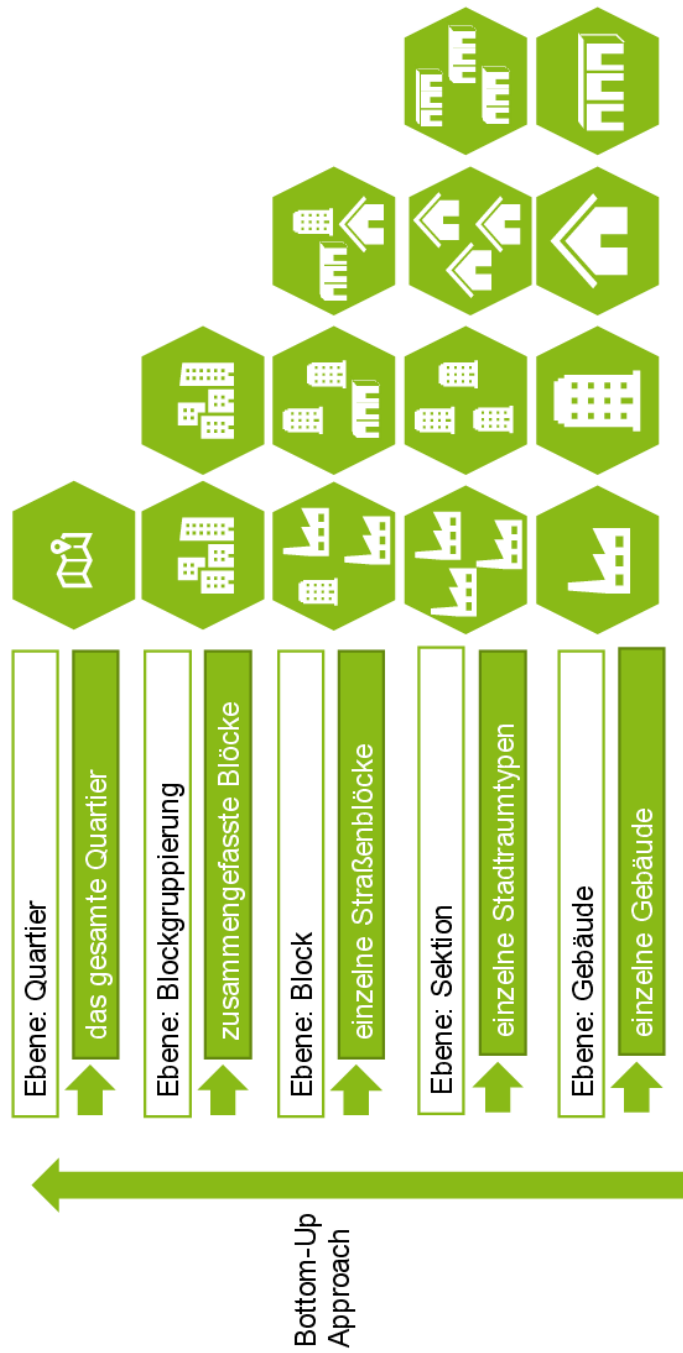
Aufbau einer individuellen Versorgungsaufgabe

Methodik: Ermittlung interdependenter Last- & Erzeugungszeitreihen



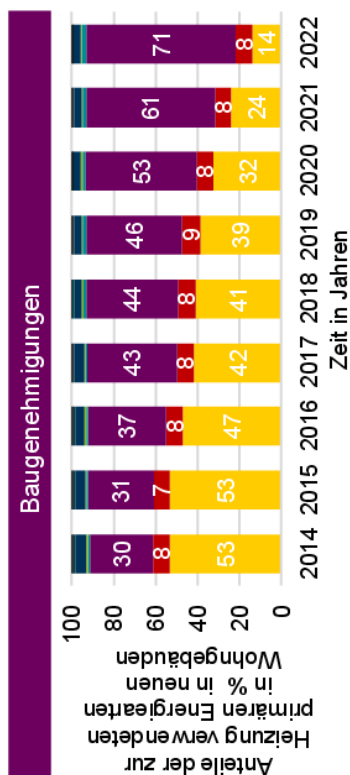
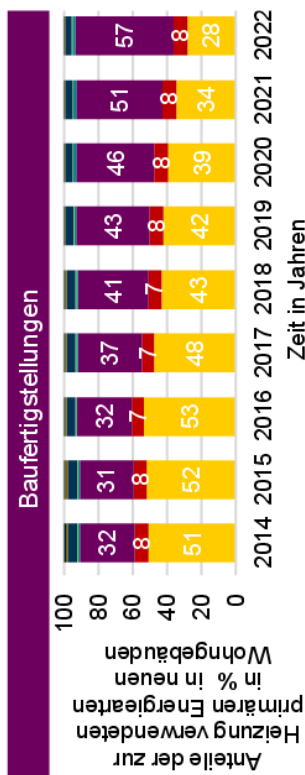
Differenzierung anhand von Optimierungsebenen

Methodik: Betrachtung von Gebäuden im räumlichen Zusammenhang



Wärmeversorgung als fundamentale Grundsatzentscheidung

Methodik: Energiebasierte Optimierung der Anlagenkonfiguration



Gebäudeenergiegesetz (GEG)

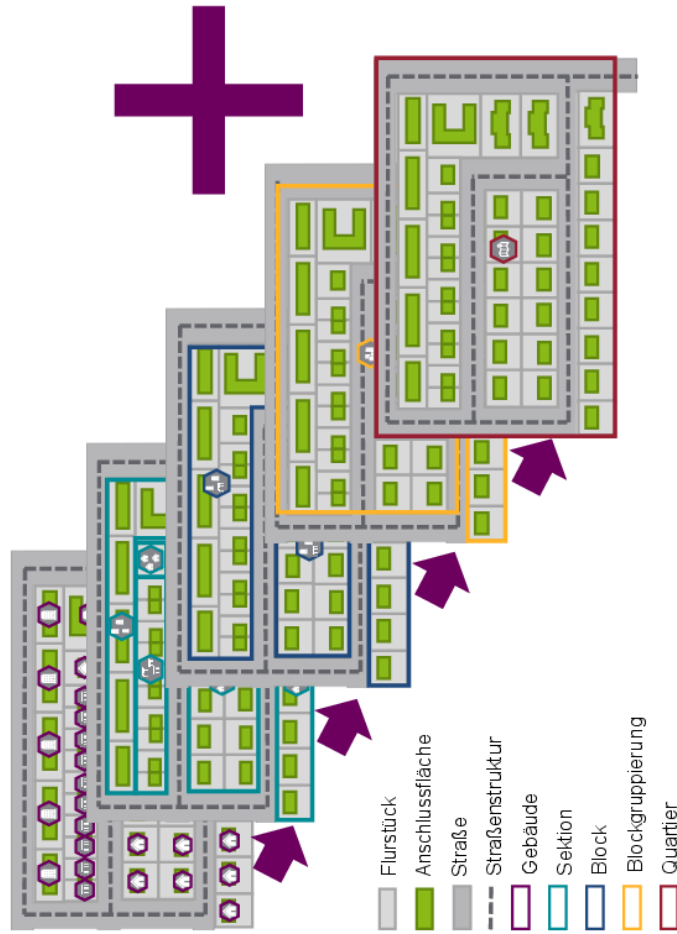
Die 65%-Regel für den Einsatz von erneuerbaren Energien beim Heizen und bei der Warmwasserbereitung gilt seit dem 01.01.2024 zunächst nur für Neubauten in Neubaugebieten.



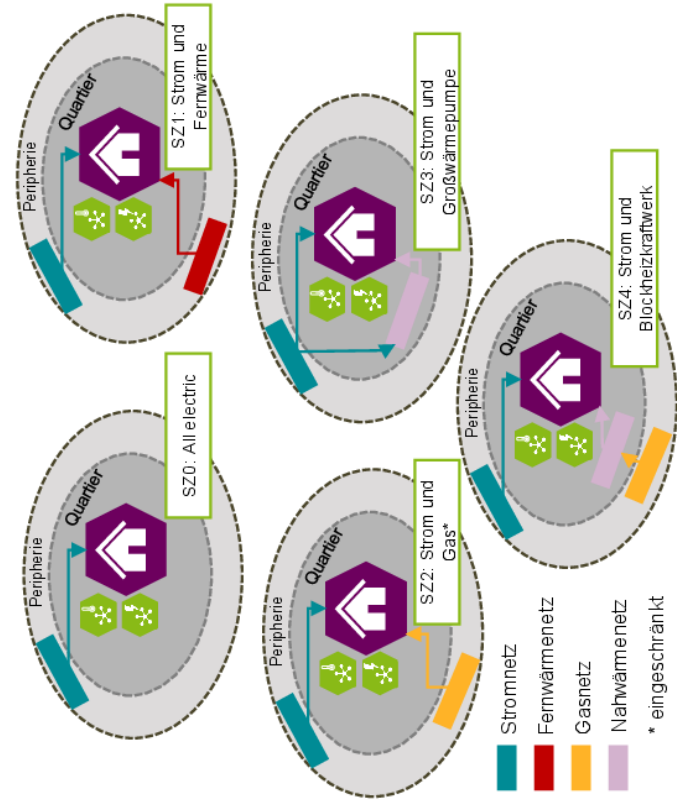
Energiebasierte Optimierung

Methodik: Energiebasierte Optimierung der Anlagenkonfiguration

Optimierungsebenen



Technologieszenarien



Stadtwerke Bielefeld **Automatisierte Energienetzplanung auf der grünen Wiese**
Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik | Neusel-Lange | S. 11

Abkürzung: SZ = Technologieszenario

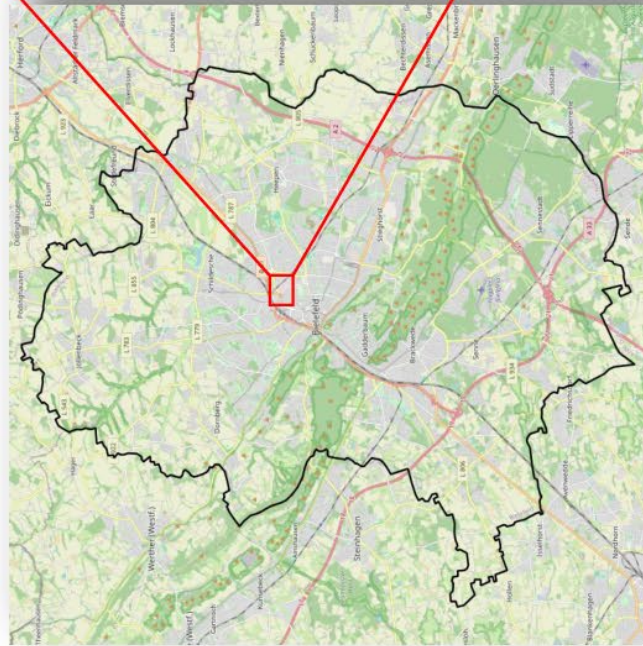
Allgemeine Planung von leitungsgebundenen Energieträgern

Methodik: Strategische Planung des Wärme- und Stromnetzes



Projektgebiet „alter Güterbahnhof“

Vorstellung Ergebnisquartier im Herzen Bielefelds Projektgebiet „alter Güterbahnhof“

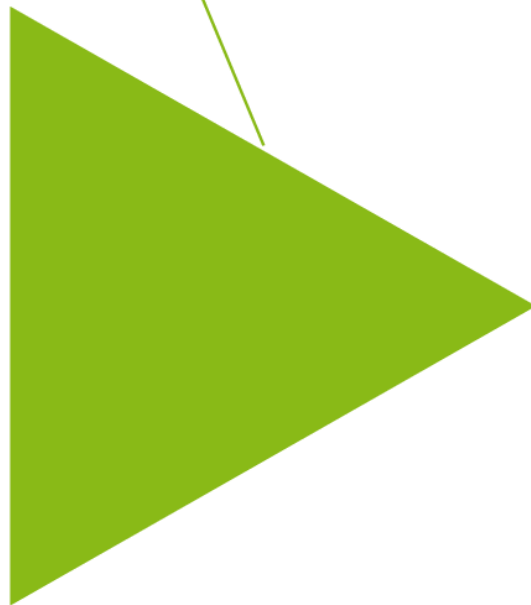


Strategische Vorteile durch die Auswahl dieses Untersuchungsquartiers:

- Gute Kenntnis der Peripherie, da mitten im Netzgebiet der SWB
- Geeignete Quartiersgröße zur Modellierung und Untersuchung von unterschiedlichen Bebauungsstrukturen

Erstellung von repräsentativen Neubauquartiere Projektgebiet „alter Güterbahnhof“

Analyse neuer Quartiere



Quartierszenarien für das
Quartier „Alter Güterbahnhof“

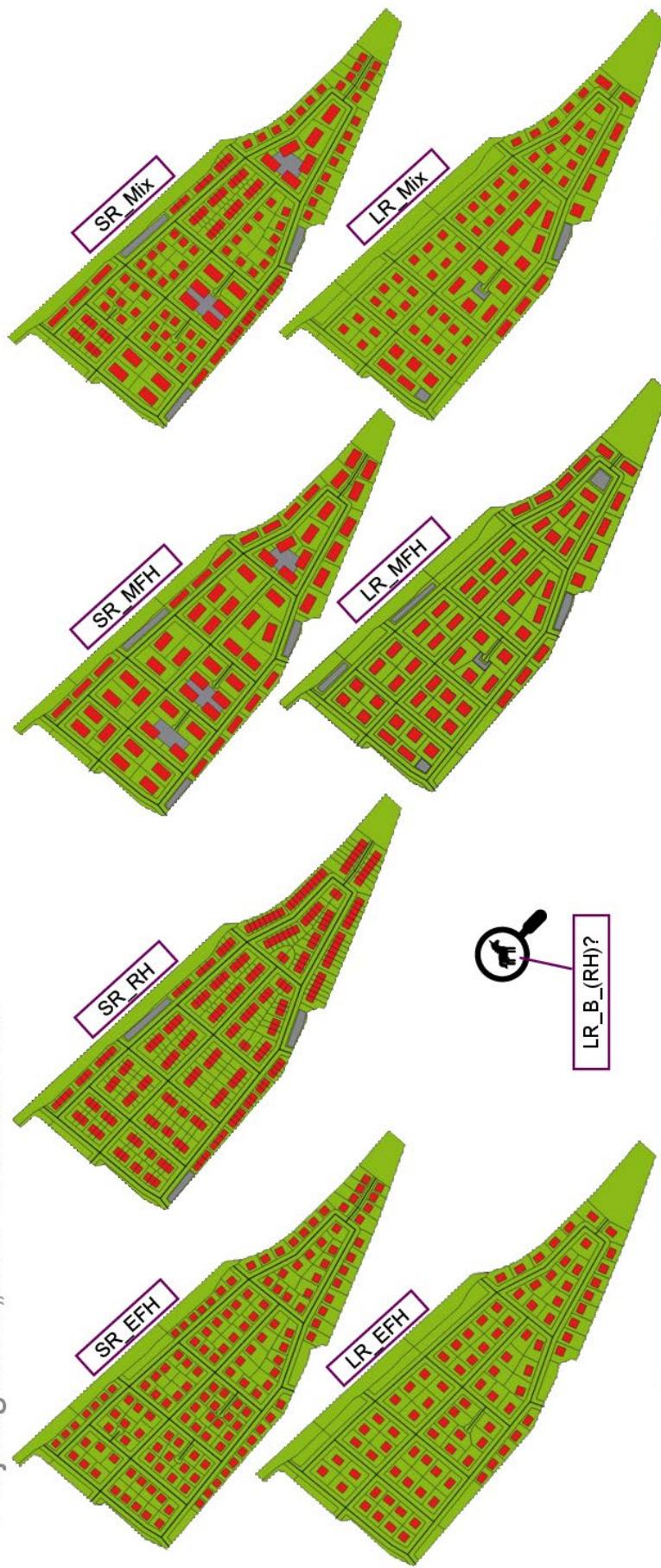
Auswahl neuer Quartiere basierend auf der
Analyse von 1 km Rasterdaten zur
Baualtersklasse des Zensus 2022



Es liegt kein
Bebauungsplan vor !

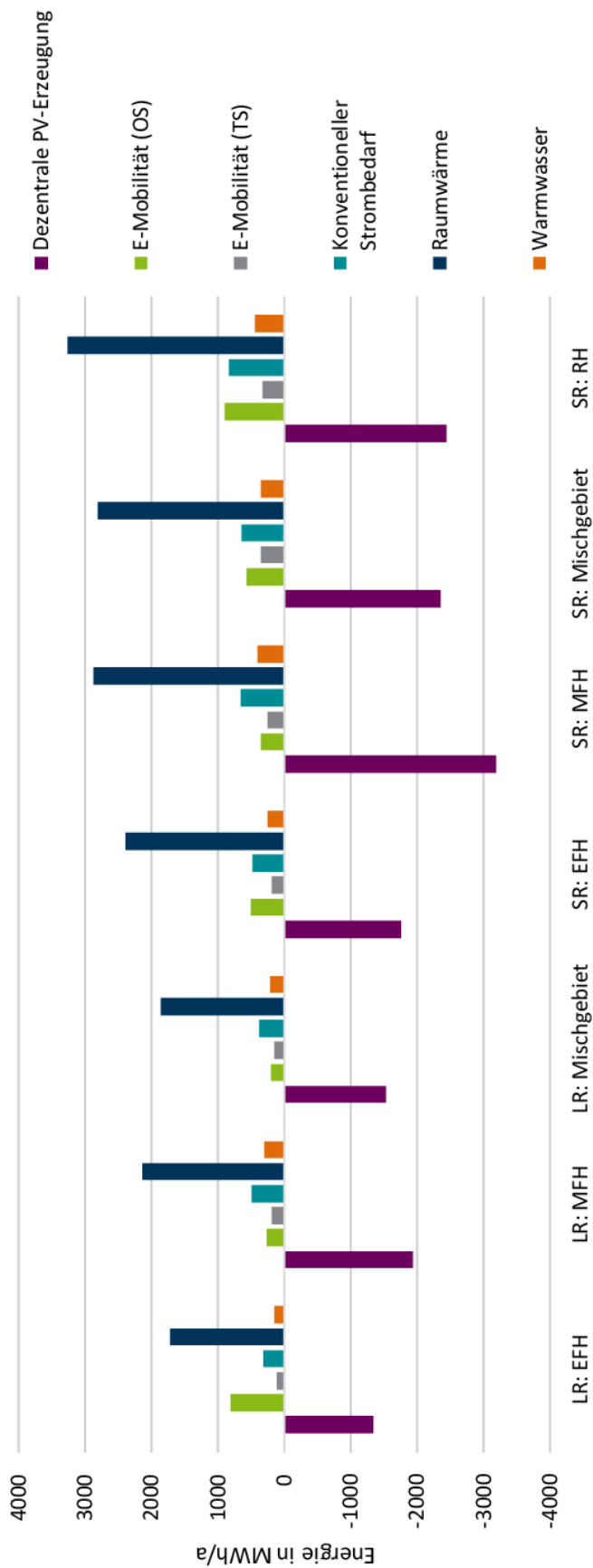
Übersicht der repräsentativen Quartierszenarien

Projektgebiet „alter Güterbahnhof“



Kumulierter Wärme- & Strombedarf der Quartiersszenarien

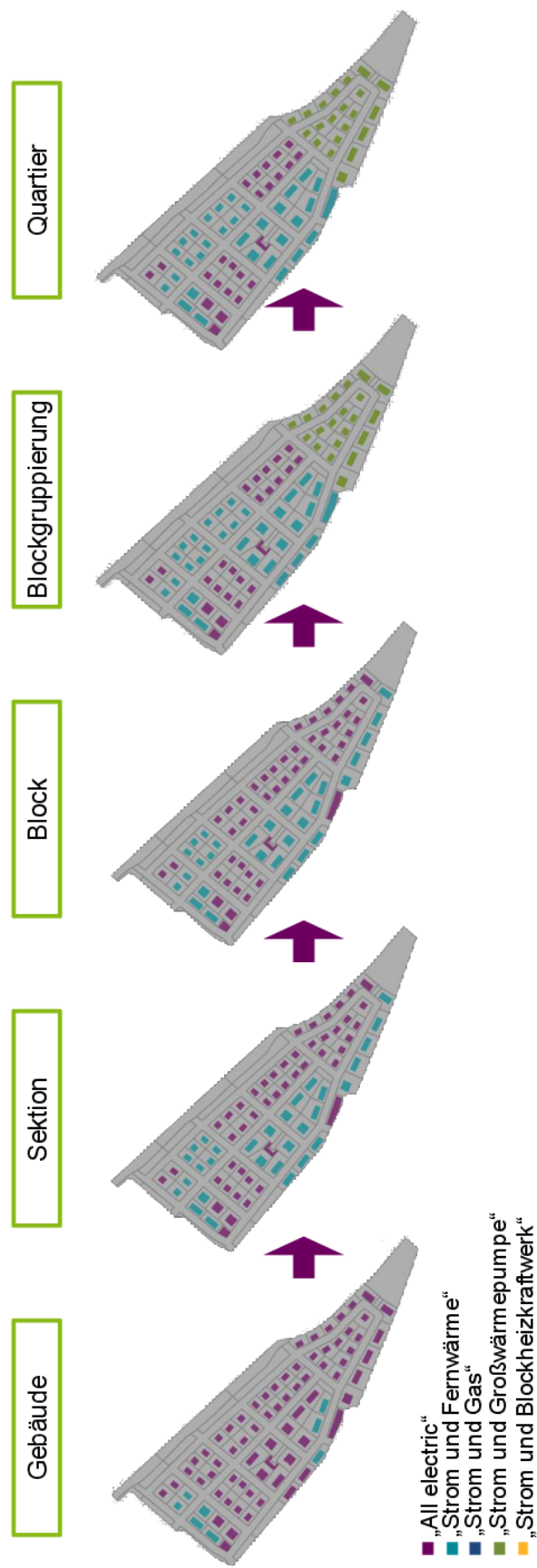
Projektgebiet „alter Güterbahnhof“



Ergebnisse

Kostenoptimale Technologieszenarien über alle Optimierungsebene

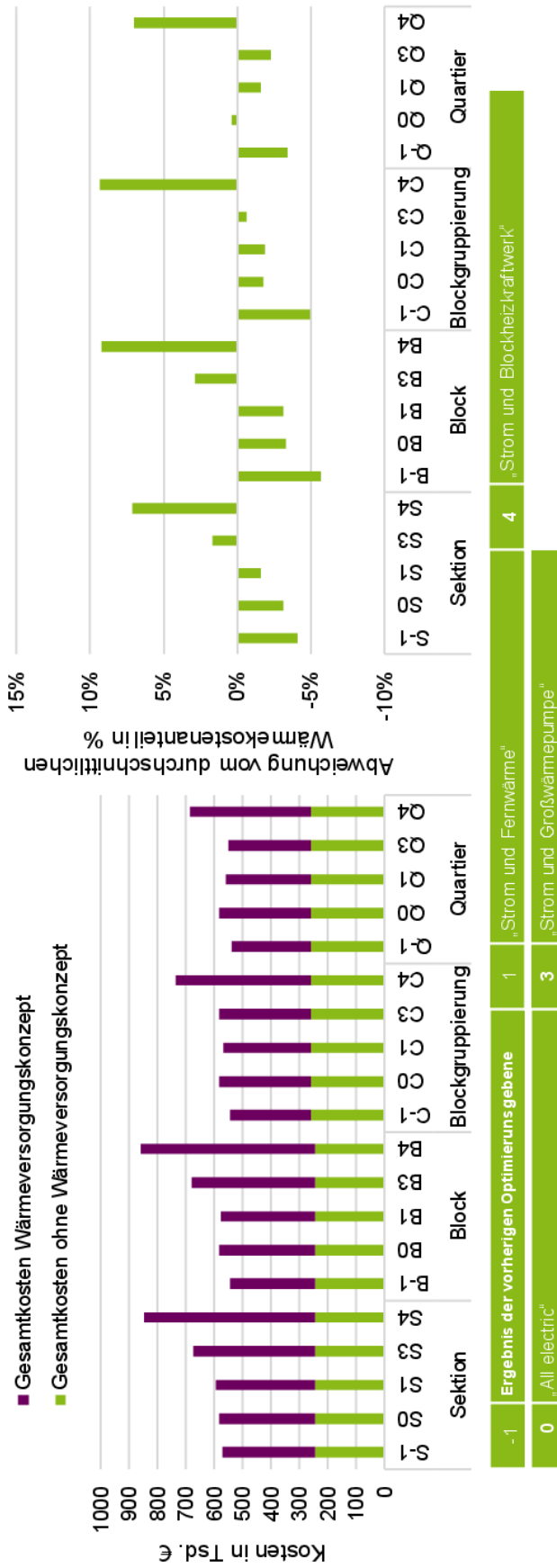
Exemplarische Ergebnisse für LR_Mischgebiet_TS



➤ Auf Gebäudeebene dominieren dezentrale Lösungen; mit zunehmender räumlicher Aggregation gewinnen zentrale Technologieszenarien an Bedeutung.

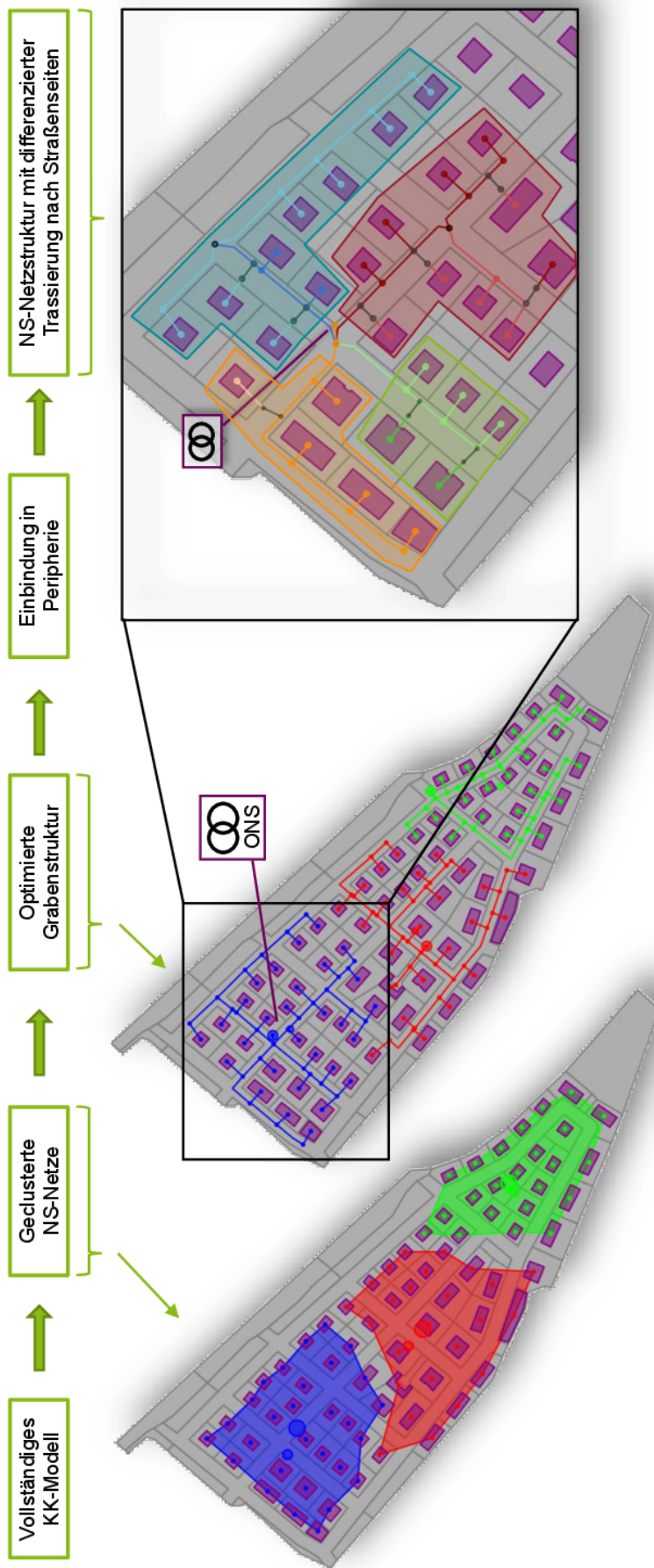
Gegenüberstellung der Kosten aller Wärmeversorgungskonzepte

Exemplarische Ergebnisse für LR_Mischgebiet_TS



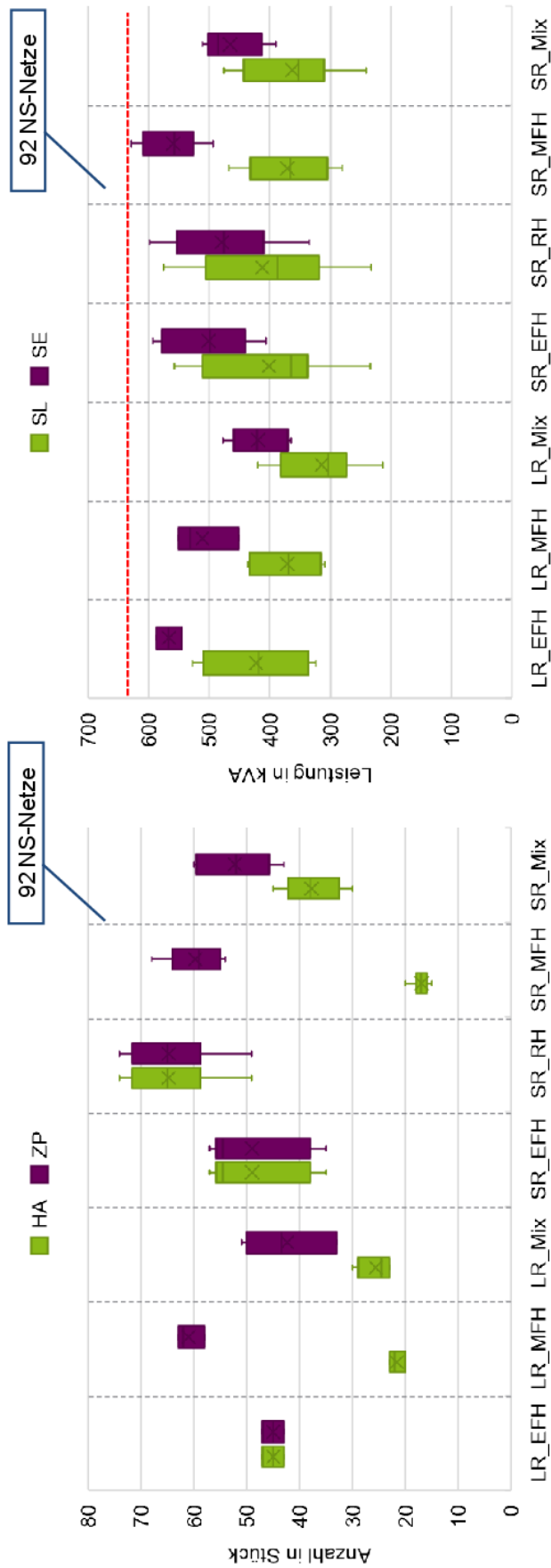
Automatisierter Prozess der Stromnetzplanung im Überblick

Exemplarische Ergebnisse für LR_Mischgebiet_TS



Auslegung und Aufbau von optimierten NS-Netzen

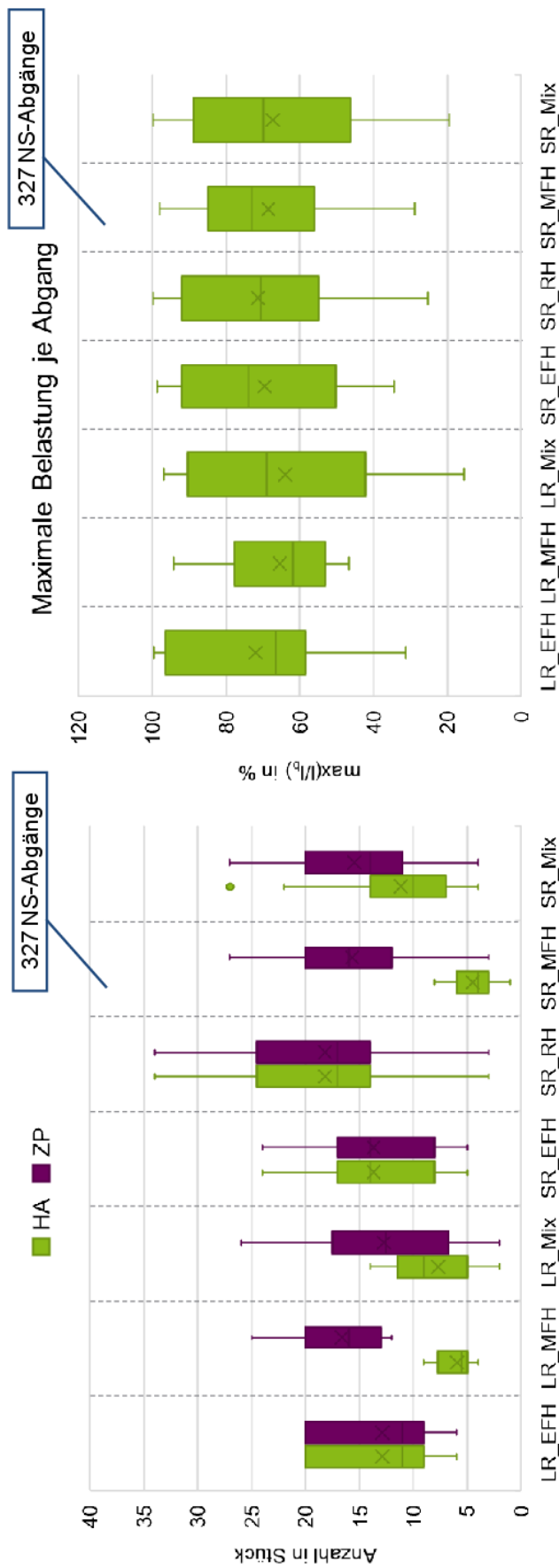
Allgemeine Ergebnisse der Stromnetzplanung



- Auslegungsrelevant für die NS-Versorgungsbereiche ist im Neubau der Betriebspunkt SE (hohe Gleichzeitigkeit).
- Für typische Neubauquartiere können so ca. 45 EFH, 65 RH oder 20 MFH über einen 630 kVA ONT versorgt werden.

Auslegung und Aufbau von optimierten NS-Abgängen

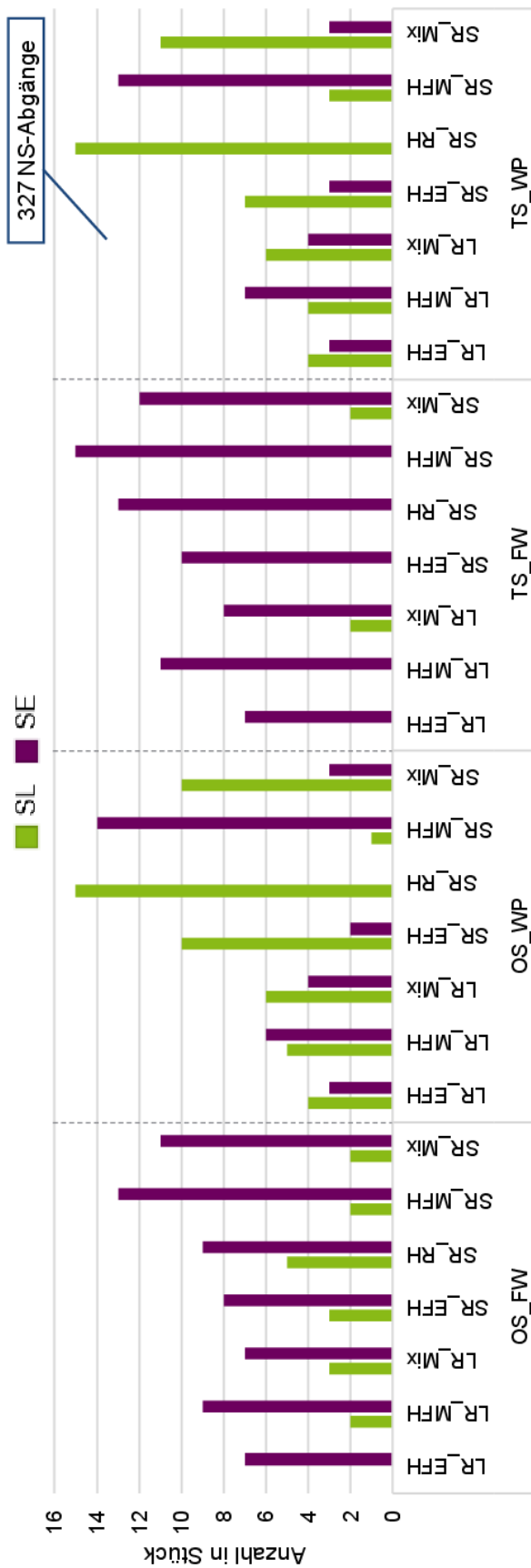
Allgemeine Ergebnisse der Stromnetzplanung



- Ein Großteil der NS-Abgänge wird nicht durch die Belastungskennzahlen, sondern die räumlichen Strukturen begrenzt.
- NS-Abgänge in typischen Neubauquartiere können je nach Versorgungsaufgabe bis zu 20 EFH, 30 RH, 8 MFH versorgen.

Betriebspunktdifferenzierung aus Abgangssicht

Allgemeine Ergebnisse der Stromnetzplanung



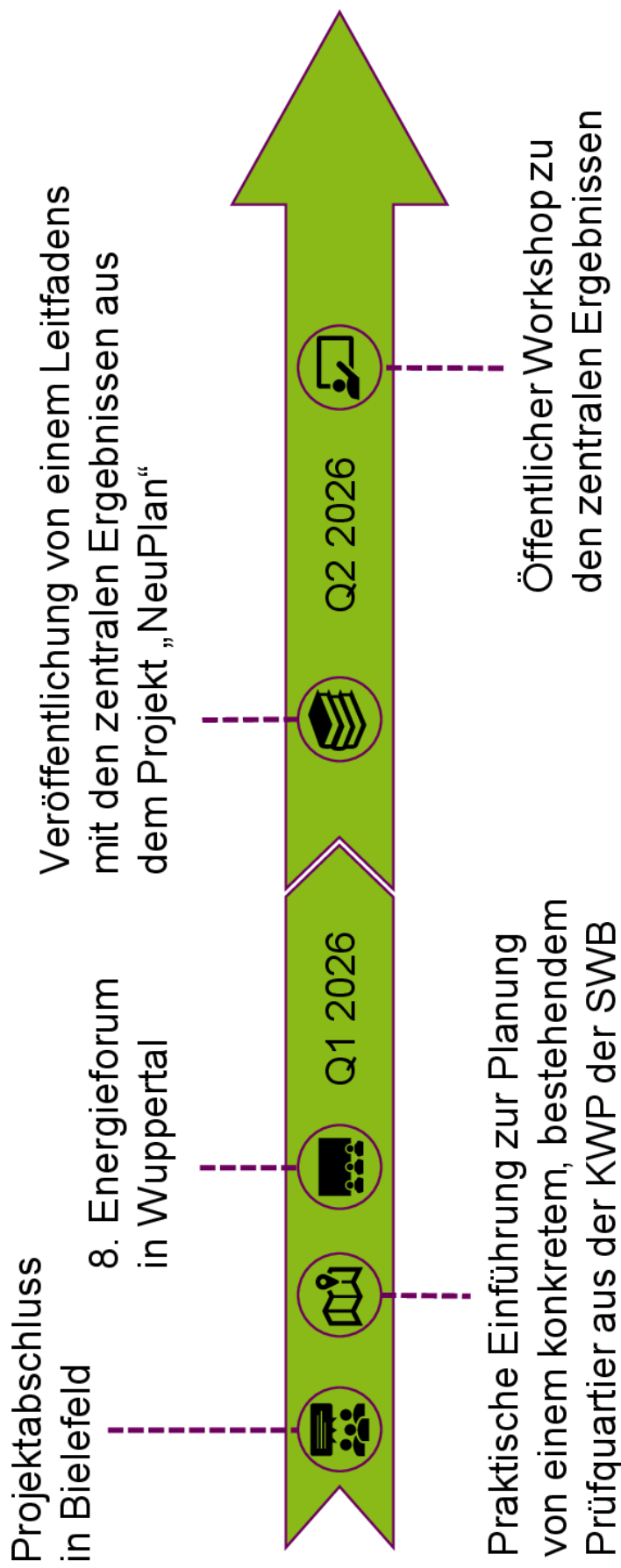
- Die Versorgungsaufgabe und die räumlichen Strukturen definieren den auslegungsrelevante Betriebspunkt je NS-Abgang.
- Die Wahl einer zentralen oder dezentralen Wärmeversorgung haben einen größeren Einfluss als die Durchdringung an LP.
- Unabhängig von den lastseitigen Belastungsszenarien dominieren die größeren Dachflächen von MFH für der SE.

Fazit

Fazit

- Das entwickelte Tool vergleicht vollautomatisiert unterschiedliche Technologieszenarien anhand wirtschaftlicher Kriterien und leitet daraus die jeweils optimale Energieinfrastruktur für Neubauquartiere ab.
- Bei der Betrachtung unterschiedlicher Quartiersszenarien zeigt sich, dass die resultierenden Wärmeversorgungskonzepte häufig sehr nah beieinanderliegen. Vor diesem Hintergrund ist eine automatisierte Bewertung der Technologieszenarien und Energieinfrastrukturen sinnvoll.
- Die finale Stromnetzstruktur ergibt sich aus der Kombination der folgenden drei Einflussfaktorengruppen, die sich allesamt konsistent über das Tool abbilden und untersuchen lassen:
 1. Räumliche & bauliche Strukturen
 2. Spezifische & individuelle Versorgungsaufgabe
 3. Konkrete Planungsannahmen & -kriterien

Ausblick



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

➤ Kontakt

Dr. Nils Neusel-Lange | Geschäftsführer Bielefelder Netze GmbH
E. Schulze Berge, M. Sc. | Forschungsgruppe Netzstrukturen und Netzplanung
W. Gerth, M. Sc. | Forschungsgruppe Netzstrukturen und Netzplanung
M. Güths, M. Sc. | Stadtwerke Bielefeld

📍 Bielefelder Netz GmbH
Schildescher Str. 16, 33611 Bielefeld

📍 Bergische Universität Wuppertal
Rainer-Gruenter-Str. 21, 42119 Wuppertal
Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik

✉ nils.neusel-lange@bielefelder-netz.de
✉ eschulze@uni-wuppertal.de
✉ gerth@uni-wuppertal.de
✉ marius.gueths@stadtwerke-bielefeld.de





Kopernikus-Projekt ENSURE: Wesentliche Ergebnisse und Erkenntnisse

Dr. Holger Müller

Head of Research Group for Multimodal Grid Operation
Siemens AG Technology

Kopernikus ENSURE

Schlaue Netze - der Hebel für die Energiewende
Übersicht über die wesentlichen Ergebnisse

Dr. Holger Müller, Siemens AG
8. Wuppertaler Energie-Forum

ENSURE

New EnergyNetworkStructURes for the Energy Turnaround

Gefördert durch:



ENSURE

Partner



Szenarien

Wie könnte das
Energiesystem 2045
aussehen?



Herausforderungen

Wofür müssen die
elektrischen Netze
gewappnet sein?



Lösungen

Neue Netzbetriebs-
mittel, neue Betriebs-
weisen, neue
Rahmenbedingungen



30
Partner

- 12** Netzbetreiber
- 10** aus der Wissenschaft
- 5** aus der Industrie
- 3** im Bereich Gesellschaft



mehr Infos hier



oder auf

kopernikus-projekte.de/ensure



Gefördert durch:



Kopernikus ENSURE 3 | Holger Müller | 8. Wuppertaler Energie-Forum | 19.02.2026

ENSURE liefert klare Handlungsempfehlungen für zentrale Zielgruppen in der Gesellschaft

Politische Ziele

Wirtschaftlichkeit



Zuverlässigkeit

Nachhaltigkeit



Gesellschaftliche Akzeptanz

Haupttreiber



Dekarbonisierung durch Millionen verteilte Einspeiser und Verbraucher



Beherrschung einer erhöhten **Komplexität** bei steigendem Fachkräftemangel



Weiterentwicklung von **Marktdesign** und Regulierung

Das elektrische Netz ist die wichtigste Infrastruktur für eine erfolgreiche Energiewende!

Hauptziele von ENSURE



Modularer und hochflexibler Ansatz für **zukünftige Netzstrukturen**



Technologien für die zukünftige Netzentwicklung

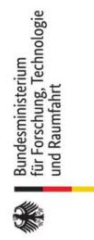


Klare **Handlungsempfehlungen** für Industrie, Politik und Gesellschaft



Gesellschaftliche Akzeptanz für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende

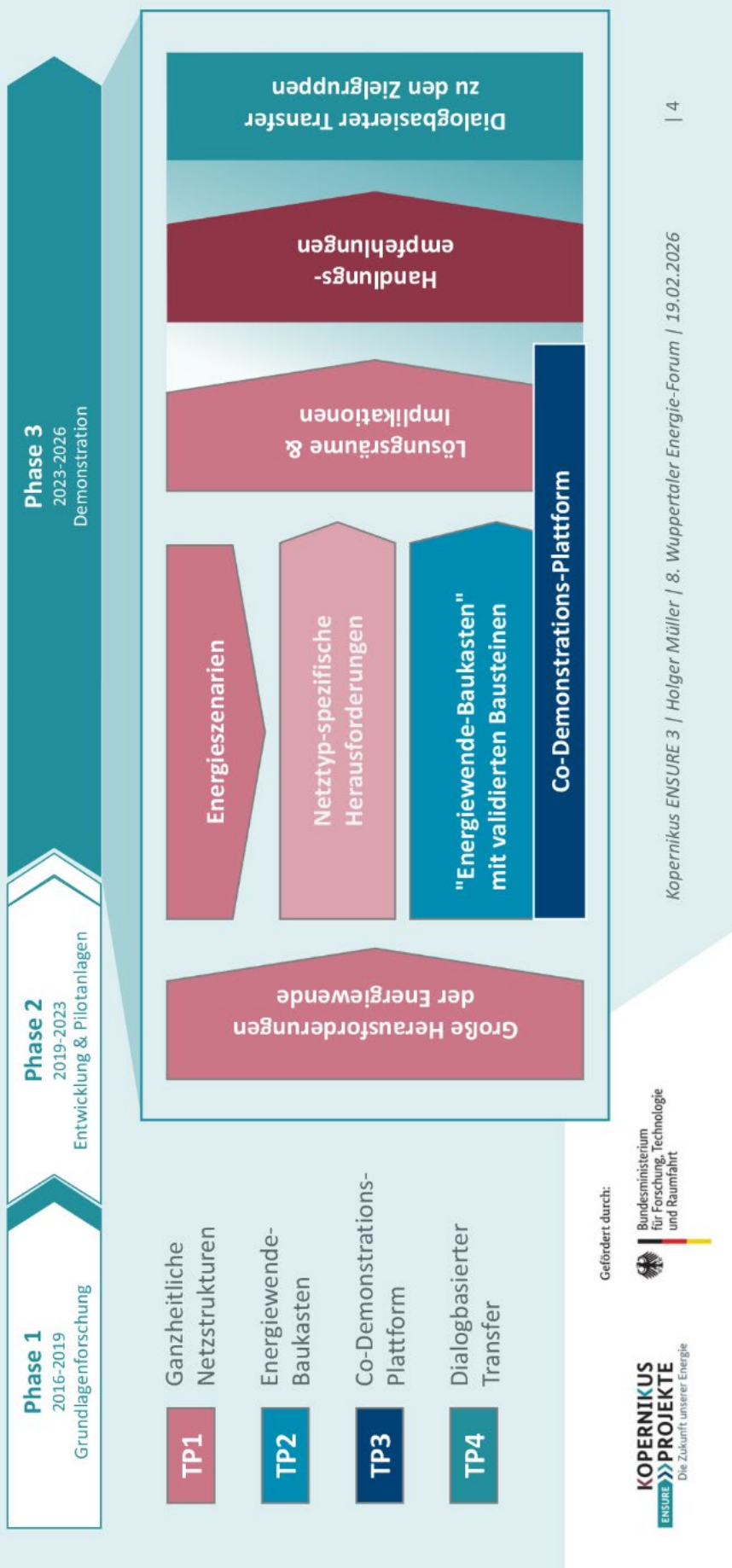
Gefördert durch:



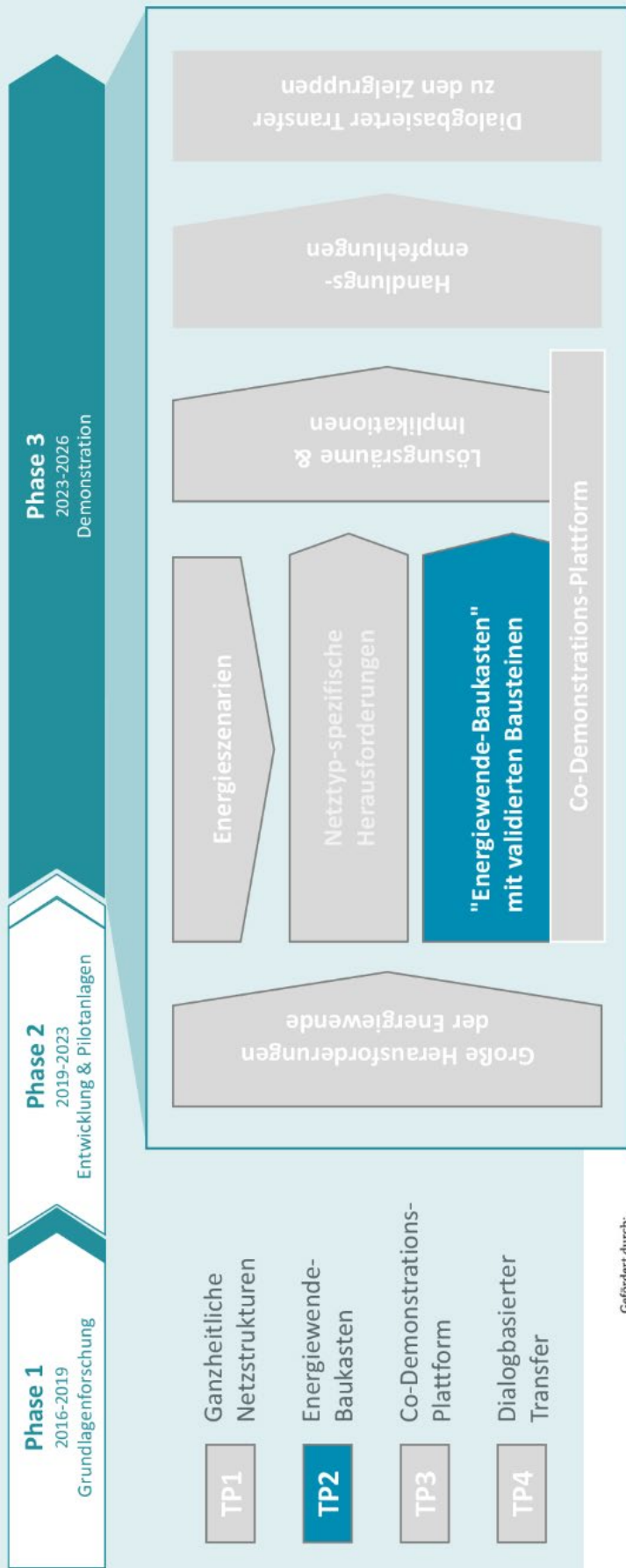
Kopernikus ENSURE 3 | Holger Müller | 8. Wuppertaler Energie-Forum | 19.02.2026

| 3

Kopernikus ENSURE besteht aus 3 Phasen mit einer Projektsumme von 130 Mio EUR und einer Laufzeit von 10 Jahren



Vier miteinander verzahnte Teilprojekte – Der Energiewende-Baukasten



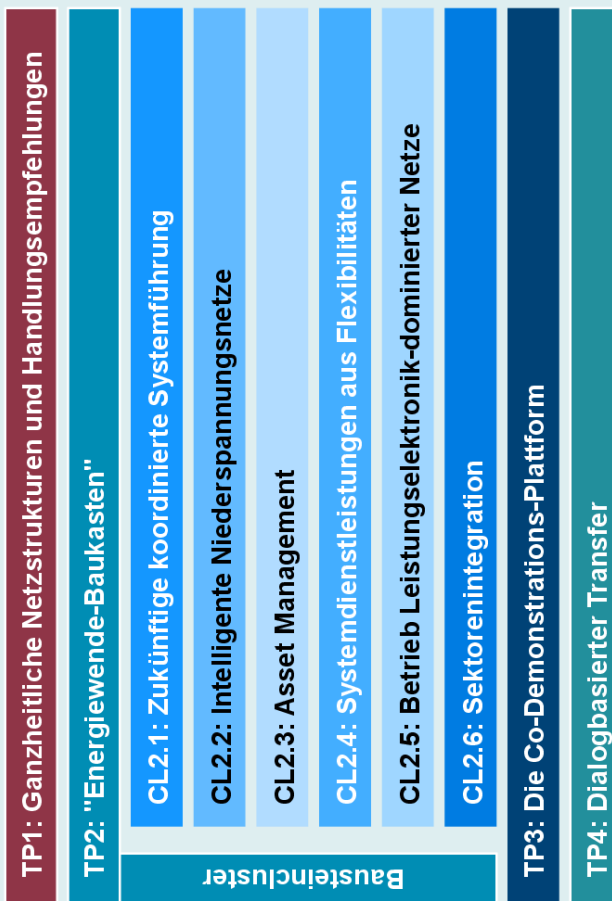
Gefördert durch:



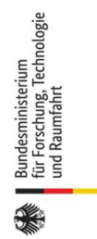
Kopernikus ENSURE 3 | Holger Müller | 8. Wuppertaler Energie-Forum | 19.02.2026

| 5

Überblick der Teilprojekte und Cluster



Gefördert durch:



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

Kopernikus ENSURE 3 | Holger Müller | 8. Wuppertaler Energie-Forum | 19.02.2026

Deep Dive: Datenbasierte Zustands- und Systemerfassung im NS-Netz

Zielstellung

- Entwicklung von Tools zur Zustands- und Systemerfassung für effizientes Engpassmanagement, optimierte Netzanschlussprüfung und effizienten Netzausbau

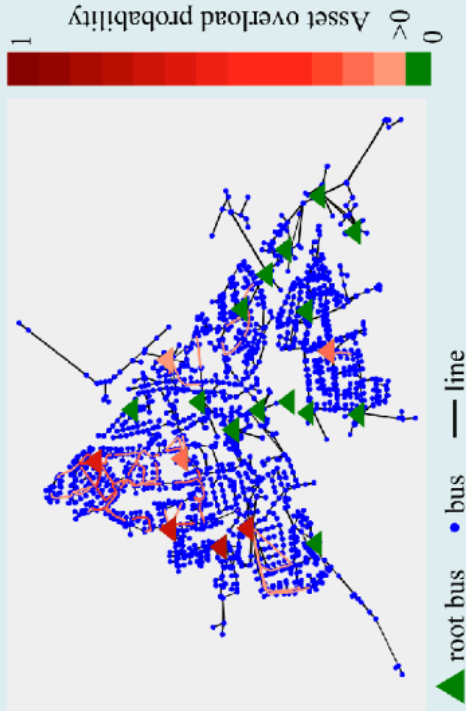
Probabilistische Topologieschätzung

- Erzeugung wahrscheinlicher Topologie Konfigurationen
- Bewertung der Kandidaten anhand von Last- und Spannungsmessungen

Engpasserkennung über mehrere Topologien

- Rekonfiguration-Optionen
→ Untersuchung, ob Engpässe durch Rekonfiguration gelöst werden können
- Bewertung der Überlastwahrscheinlichkeit von Betriebsmitteln anhand verschiedener Topologien

Überlastwahrscheinlichkeit von Betriebsmitteln über verschiedene Topologien



SIEMENS



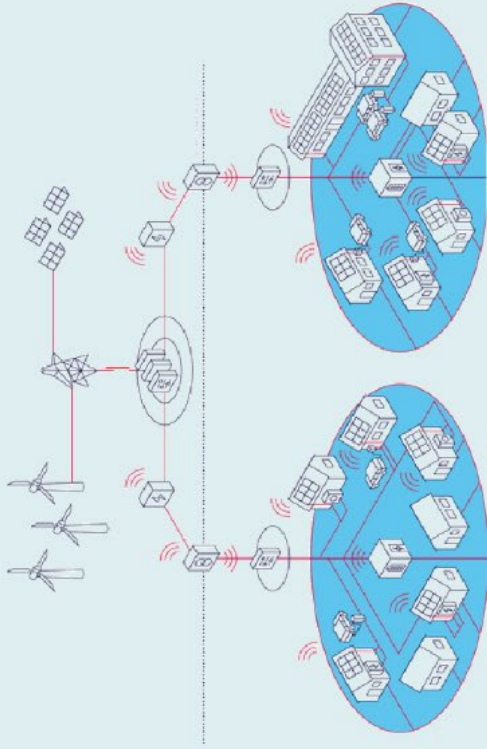
Kopernikus ENSURE 3 | Holger Müller | 8. Wuppertaler Energie-Forum | 19.02.2026

| 7

Deep Dive: Energieplattform Twistring – Automatisierte, dezentrale Energiemanagementsysteme im Verteilnetz

Zielstellung

- Effizientere Integration von Erneuerbaren Energien im bestehenden Netz durch Steuerungslogiken für Flexibilitäten
- Visualisierung von Messdaten für die Steigerung der Netztransparenz

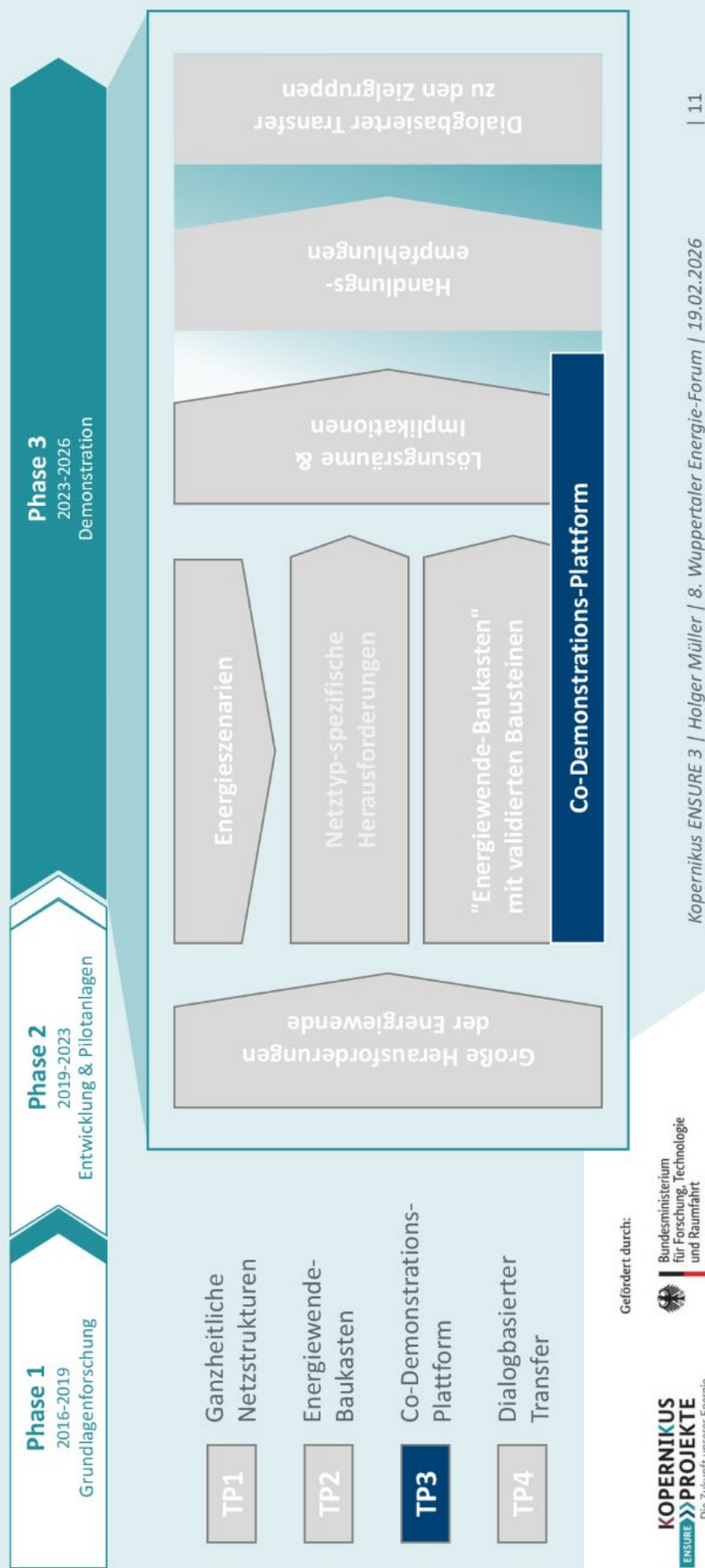


Ergebnisse

- Implementierung von Flexibilitäten im Feldtestgebiet
- Entwicklung eines Prototypens für ein lokales Energiemanagementsystem (LEMS) für Ortsnetze in der Niederspannung
- Entwicklung eines Prototypens für ein regionales Energiemanagementsystem (REMS) für die Mittelspannung
- Entwicklung von automatisierten Steuerungsalgorithmen für die Synchronisation von Erzeugung und Verbrauch in der Niederspannung
- Erstellung von Lastprofilprognosen
- Visualisierung der Messdaten im Feldtestgebiet



Vier miteinander verzahnte Teilprojekte – die CoDemo-Plattform



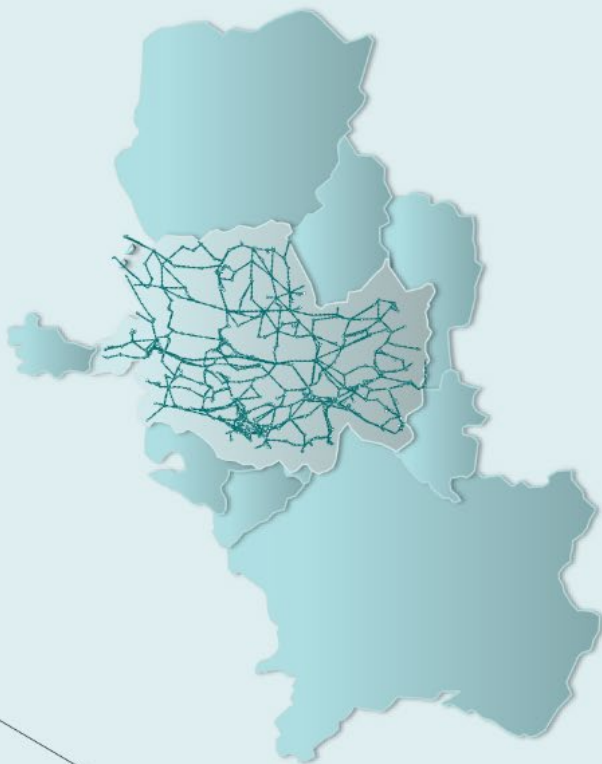
Demonstration als wesentliches Ziel von Kopernikus ENSURE

Kopernikus ENSURE ist 2016 angetreten, um neu entwickelte Technologien in Groß-Demonstratoren umzusetzen.

Wie demonstriere ich

- Systemstabilität,
- Interoperabilität,
- Ausbauszenarien,
- zusammen mit Partnern

... und dies unter möglichst realistischen Bedingungen?

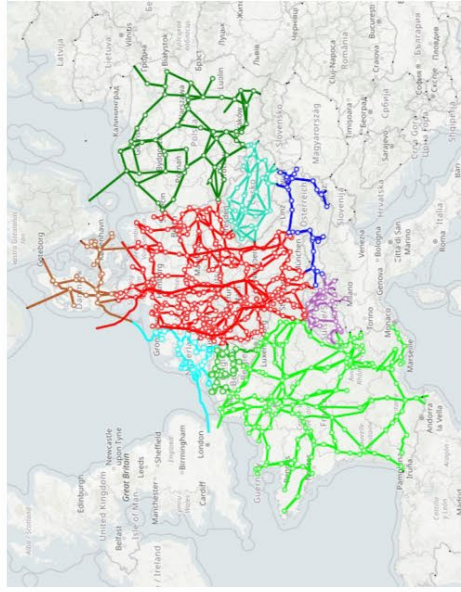
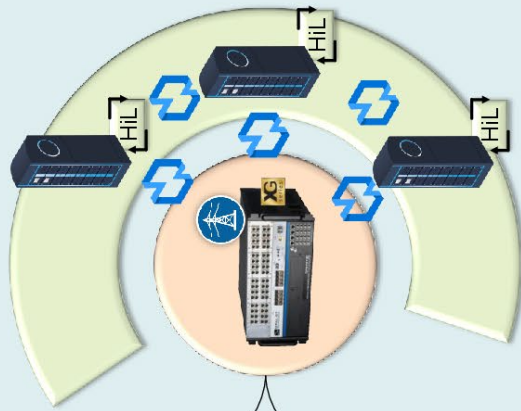


- Co-Demonstrationsplattform zur Einbindung realer Hardware (Regelung, Schutz) in simulierte „Real-life“ Netzmodelle
- Möglichkeit der Anknüpfung von Laboren an die Netzmodelle

Der Aufbau der Co-Demonstrationsplattform



**Echtzeitfähiges RMS
Übertragungsnetzmodell und Real-Time
Dynamic Power System Toolbox**



**Real-Time Dynamic Toolbox ermöglicht automatisierte Überführung
stationärer offline Netzmodelle in RMS Echtzeitmodelle**

Kopernikus ENSURE 3 | Holger Müller | 8. Wuppertaler Energie-Forum | 19.02.2026

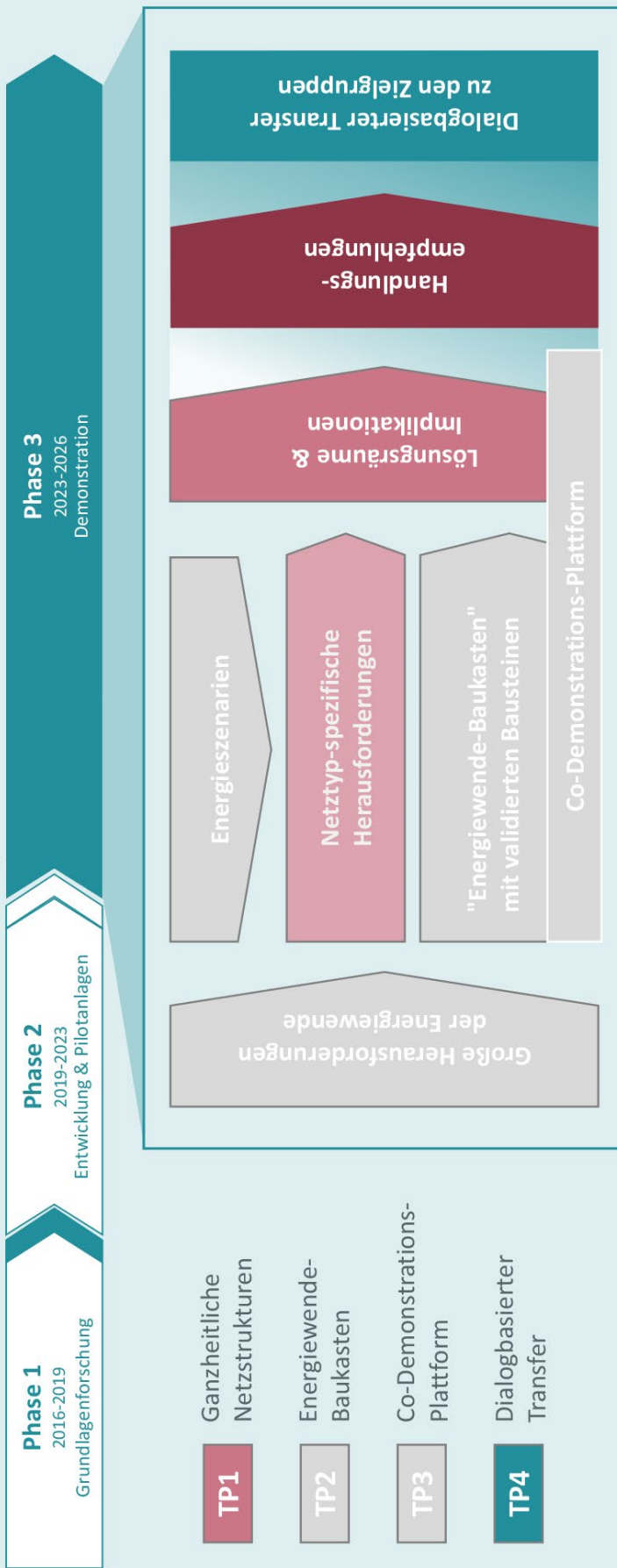
13

GEFÖRDEBT VOM

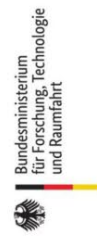


**KOPERNIKUS
ENSURE >>> PROJEKTE**
Die Zukunft unserer Energie

Vier miteinander verzahnte Teilprojekte



Gefördert durch:



Kopernikus ENSURE 3 | Holger Müller | 8. Wuppertaler Energie-Forum | 19.02.2026

| 14

WIR SIND ENSURE



ENSURE
Film



ENSURE auf
LinkedIn

Gefördert durch:



Kopernikus ENSURE 3 | Foliensatz 14.7.2025 | 8

Gefährdungsanalyse von Betriebsmitteln elektrischer Verteilnetze während Extremwetterereignissen

Frank Aschenbroich

Geschäftsbereichsleiter Netze

EWR GmbH Stadtwerke Remscheid Verbund



Gefährdungsanalyse von Betriebsmitteln
elektrischer Verteilnetze während
Extremwetterereignissen



8. ENERGIEFORUM

FLUTKATASTROPHE AHR TAL, 15.07.2021

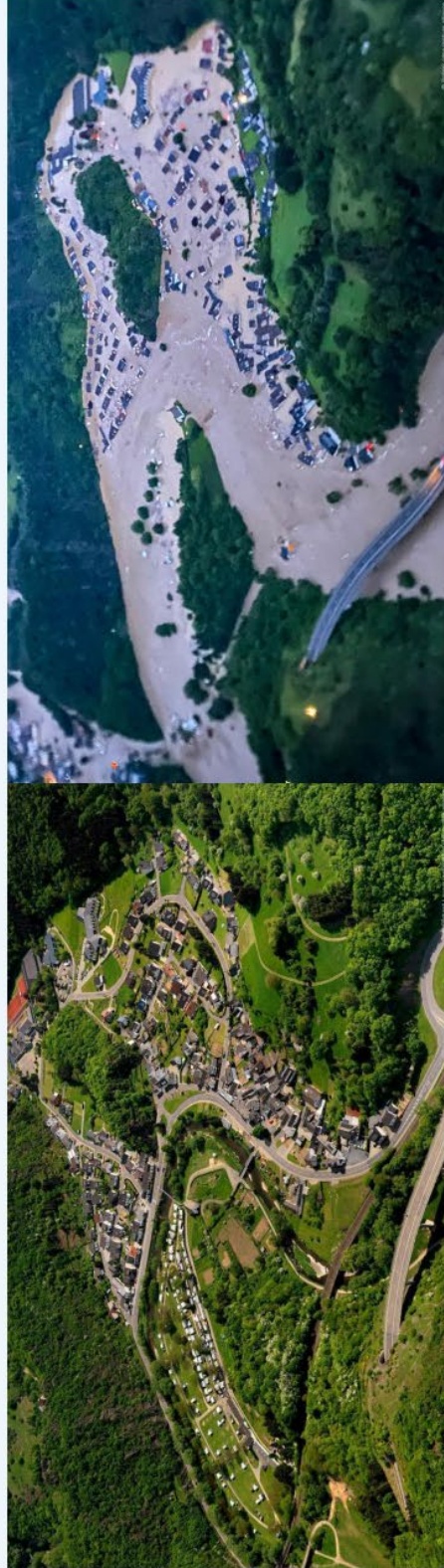


Abbildung: Die Stadt Altenahr im Ahrtal vor (links) und während der Hochwasserkatastrophe (rechts)

19.02.26

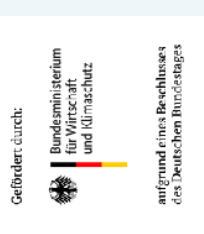
Gefährdungsanalyse von Betriebsmitteln elektrischer Verteilnetze während Extremwetterereignissen | F. Aschenbroich

Folie 2

Bildquellen: J. Wagner, 2021 "Vorher-Nachher-Bilder der Flutkatastrophe", dw.com

FORSCHUNGSPROJEKT KLIMANETZ

Projektpartner



Problemstellung:

- Der Klimawandel führt zu einer zunehmenden Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen wie Starkregen, Stürmen, Gewittern sowie Hitze- und Kältewellen
- Verteilnetze sind stark betroffen und anfällig, ohne geeignete Gegenmaßnahmen ist die Versorgungssicherheit gefährdet

Lösungsansatz:

- Analyse klimatischer Veränderungen und Risiken mit Klimarisikokarten
- Standortspezifische Gefährdungsbewertung und Maßnahmen Bewertung
- Allgemeingültige Handlungsempfehlungen zur Anpassung von Planung und Betrieb
- Leitfaden für klimaresiliente Verteilnetze erstellen

19.02.26

Gefährdungsanalyse von Betriebsmitteln elektrischer Verteilnetze während Extremwetterereignissen | F. Aschenbroich

Folie 3



Methodik Gefährdungsbewertung

Wie lassen sich Standorte von Betriebsmittel ermitteln, die einem Extremwetterereignis ausgesetzt sind?



8. ENERGIEFORUM

METHODIK DER GEFÄHRDUNGSBEWERTUNG

Auswirkungen des
Extremwetterereignisses
ermitteln

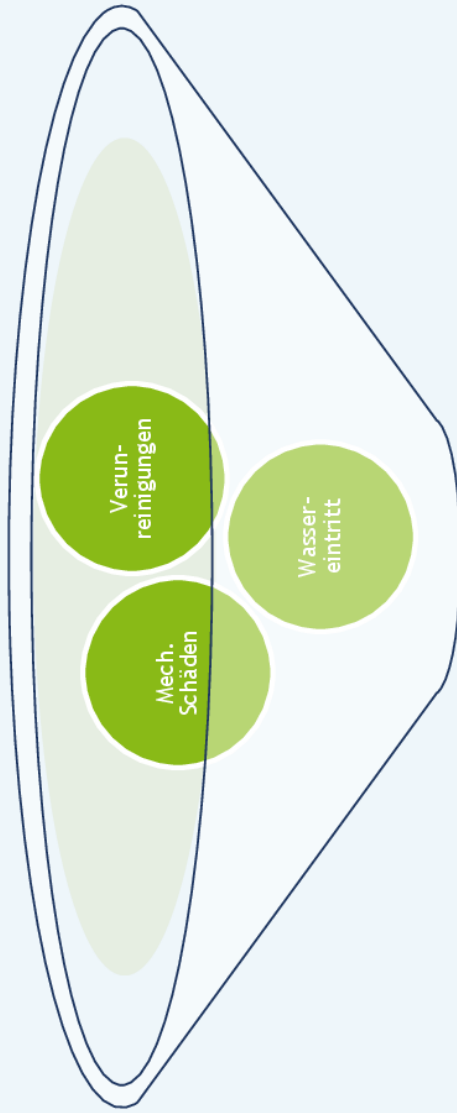
Identifizierung von
Einflussfaktoren die eine
Gefährdung begünstigen

Bewertung der
Einflussfaktoren je
Betriebsmittel

Klassifizierung der
Ergebnisse

AUSWIRKUNGEN DES EXTREMWETTEREREIGNISSES ERMITTELN - BEISPIEL STARKREGEN

Auswirkungen des
Extremwetterereignisses
ermitteln



Auswirkungen von Starkregenereignissen
auf Betriebsmittel der Verteilnetze

19.02.26

Gefährdungsanalyse von Betriebsmitteln elektrischer Verteilnetze während Extremwetterereignissen | F. Aschenbroich

Folie 6

EINFLUSSFAKTOREN DIE EINE GEFÄHRDUNG BEGÜNSTIGEN - BEISPIEL STARKREGEN

Identifizierung von
Einflussfaktoren die eine
Gefährdung begünstigen

* Oberflächenabfluss

- Wo fließt der Oberflächenabfluss lang?
- Wassermenge bzw. Größe des Oberflächenabflusses

* Senken

- Natürliche Sammelbecken in denen sich das Wasser ansammelt

* Gewässernähe

- Wo existieren Überschwemmungsgebiete?
- Fließgeschwindigkeiten im Überschwemmungsgebiet
- Wie hoch liegt der Überschwemmungspegel?

EINFLUSSFAKTOREN DIE EINE GEFÄHRDUNG BEGÜNSTIGEN - BEISPIEL STARKREGEN

Identifizierung von
Einflussfaktoren die eine
Gefährdung begünstigen

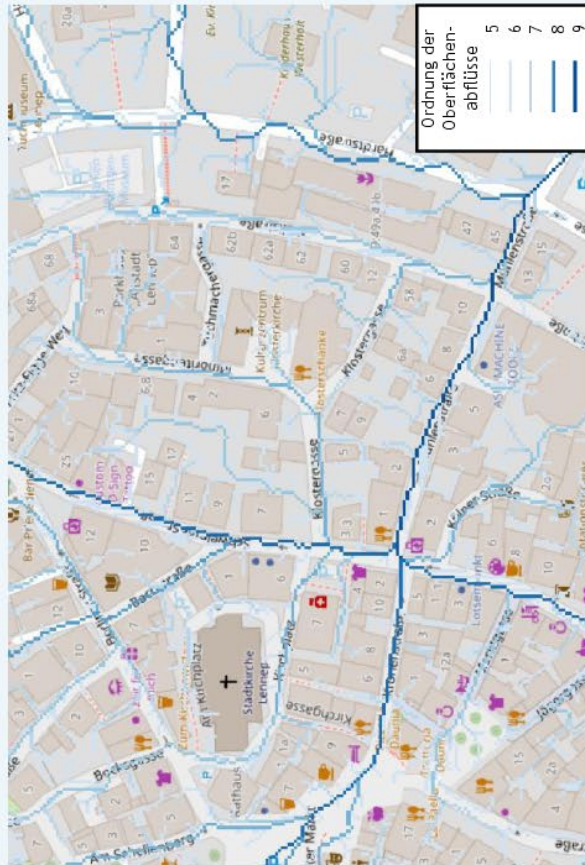


Abbildung: Generierte Oberflächenabflüsse aus dem Untersuchungsgebiet

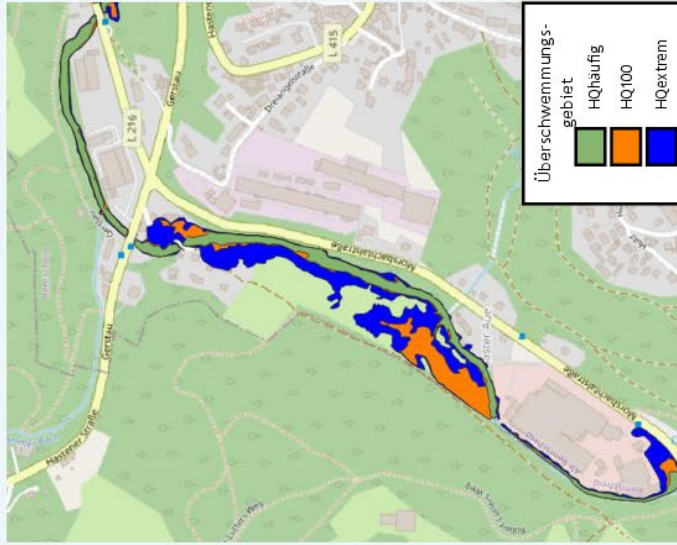


Abbildung: Überschwemmungsgebiete der Szenarien
HQhäufig, HQ100 und HQextrem

19.02.26

Gefährdungsanalyse von Betriebsmitteln elektrischer Verteilnetze während Extremwetterereignissen | F. Aschenbroich

Folie 8

BEWERTUNG DER EINFLUSSFAKTOREN JE BETRIEBSMITTEL

Bewertung der Einflussfaktoren je Betriebsmittel

- * Jeder Einflussfaktor (E_i) weist eine Wahrscheinlichkeit für die Gefährdung eines Betriebsmittels auf.
- * Durch logische Verknüpfungen wird eine Gesamtwahrscheinlichkeit für die Gefährdung des Betriebsmittels je Extremwetter errechnet.
- * Beispiel:

3 Einflussfaktoren für eine Erhöhung der Gefährdung des Betriebsmittels:

$$\bar{Z}_{BM} = E_1 \wedge (E_2 \vee E_3)$$

Der Zustand der erhöhten Gefährdung des Betriebsmittels entsteht durch E_1 in Kombination mit E_2 oder E_3 .

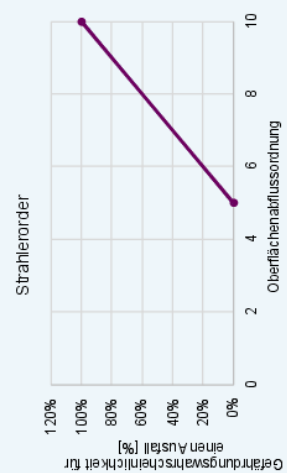
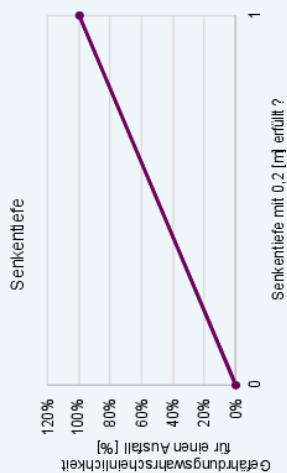
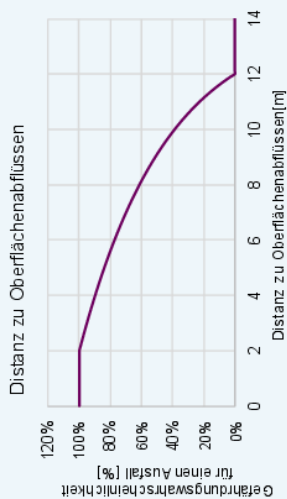
$\bar{Z}_{BM}$	E_1	E_2	E_3
1	1	1	d
1	1	0	1
0	1	0	0
0	0	d	d

BEWERTUNG DER EINFLUSSFAKTOREN JE BETRIEBSMITTEL

Bewertung der Einflussfaktoren je Betriebsmittel

* Beispiel:

Ausfallwahrscheinlichkeitsfunktionen je Einflussfaktor:

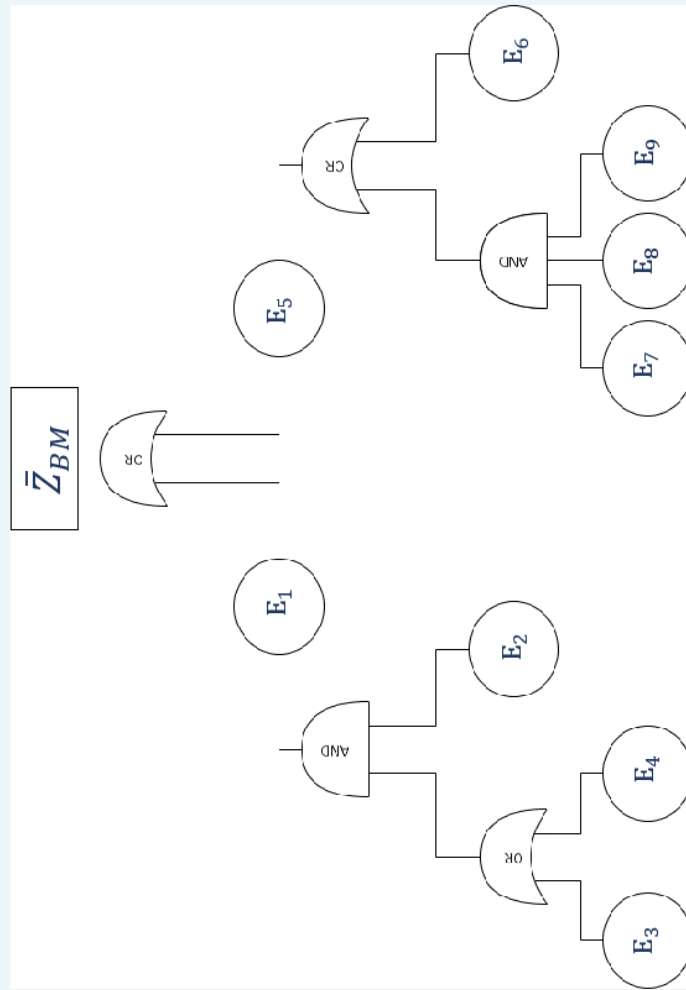


→ Wie viel gefährdeter ist das Betriebsmittel?

BEWERTUNG DER EINFLUSSFAKTOREN JE BETRIEBSMITTEL - BEISPIEL STARKREGEN ORTSNETZSTATION

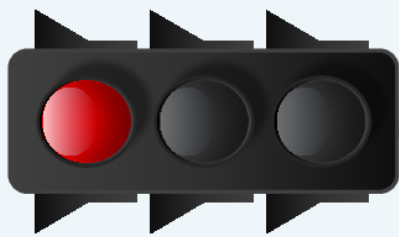
Bewertung der
Einflussfaktoren je
Betriebsmittel

- * E₁ Gewässerhöhe
- * E₂ Überschwemmungsgebiet
- * E₃ Überschwemmungstiefe
- * E₄ Fließgeschwindigkeit
- * E₅ Oberflächenabfluss
- * E₇ Distanz Oberflächenabfluss
- * E₈ Oberflächenabflussordnung
- * E₉ Fläche Einzugsgebiet



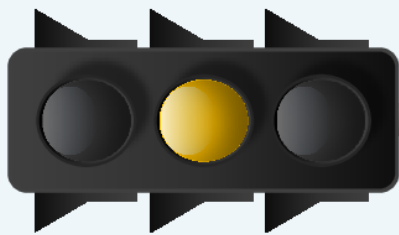
KLASSIFIZIERUNG DER ERGEBNISSE

Klassifizierung der
Ergebnisse



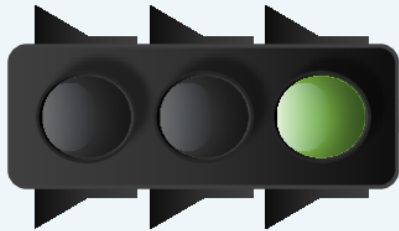
Stark gefährdet

Eine Beeinträchtigung ist
wahrscheinlich



Gefährdet

Eine Beeinträchtigung ist
nicht auszuschließen



Nicht gefährdet

Eine Beeinträchtigung ist
nicht wahrscheinlich

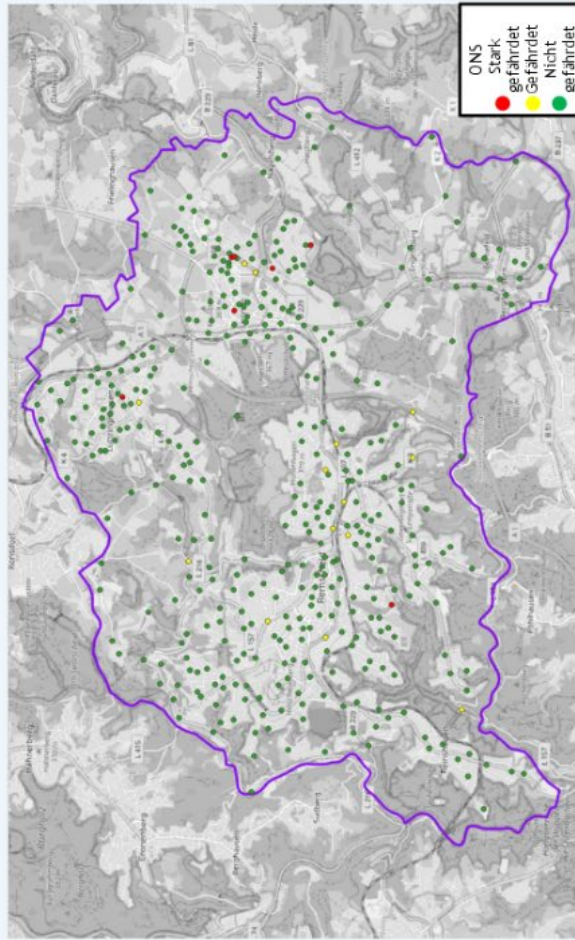
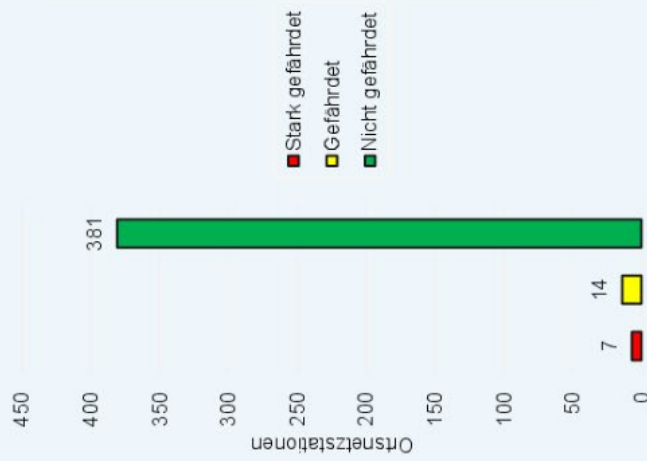


Ergebnisse der Gefährdungsbewertung für Starkregen



8. ENERGIEFORUM

STARKREGEN - ORTSNETZSTATIONEN



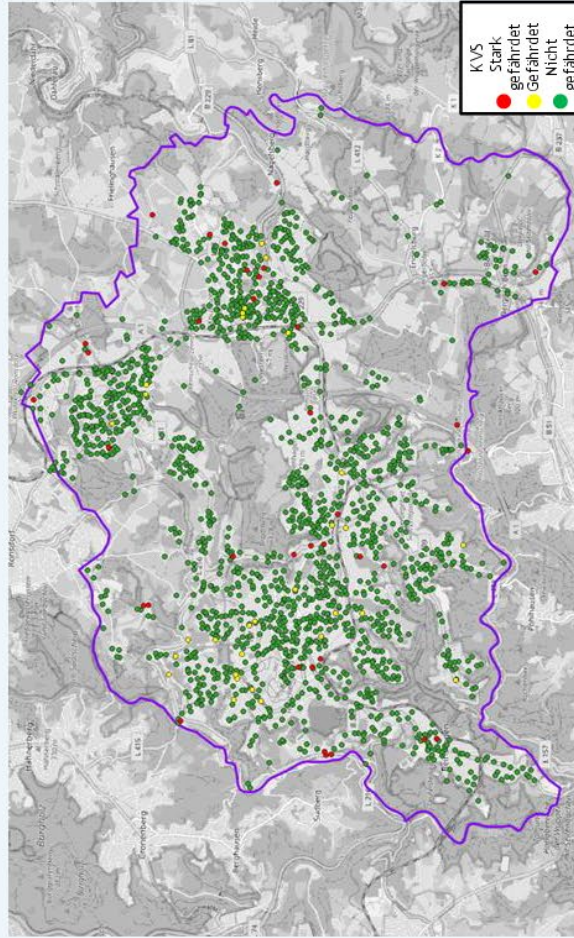
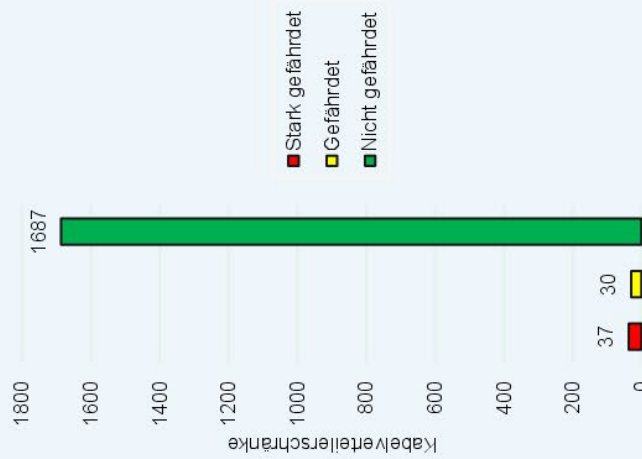
19.02.26

Gefährdungsanalyse von Betriebsmitteln elektrischer Verteilnetze während Extremwetterereignissen | F. Aschenbroich

ONS: Ortsnetzstation

Folie 14

STARKREGEN - KABELVERTEILERSCHRÄNKE



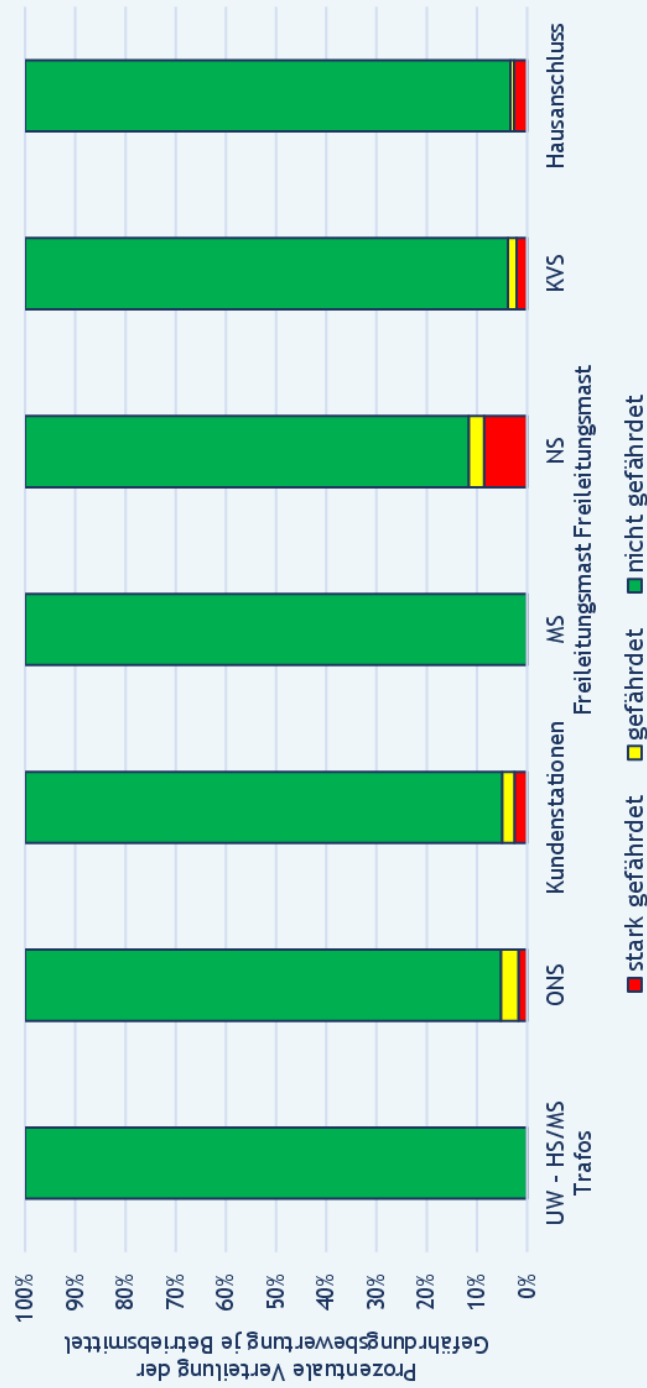
19.02.26

Gefährdungsanalyse von Betriebsmitteln elektrischer Verteilnetze während Extremwetterereignissen | F. Aschenbroich

Folie 15

KVS: Kabelverteilerschrank

STARKREGEN - ÜBERSICHT BETRIEBSMITTEL



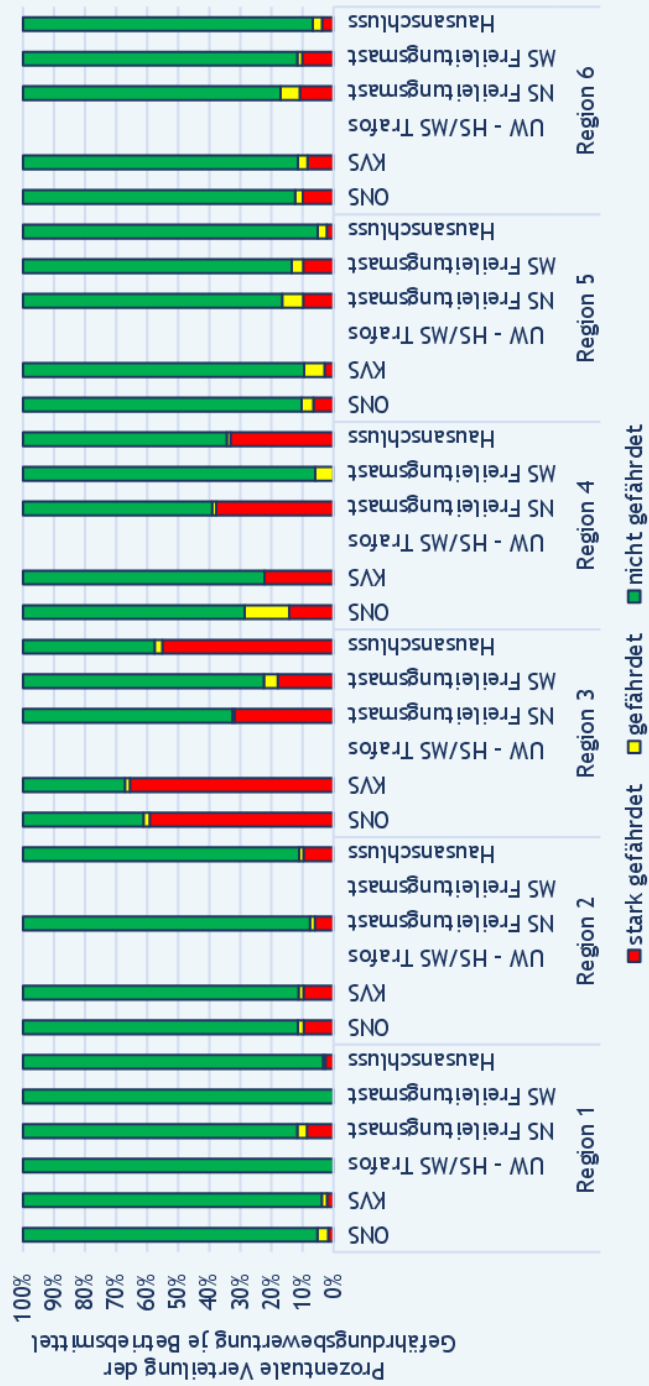
19.02.26

Gefährdungsanalyse von Betriebsmitteln elektrischer Verteilnetze während Extremwetterereignissen | F. Aschenbroich

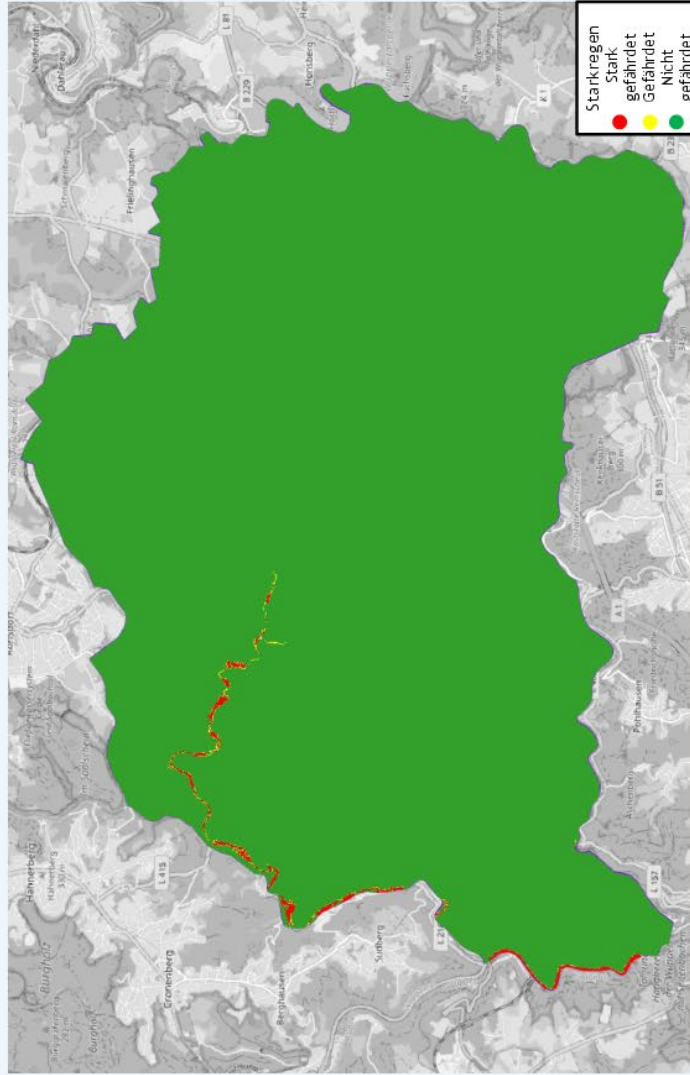
Folie 16

UW: Umspannwerk, HS: Hochspannung, MS: Mittelspannung, ONS: Ortsnetzstation, NS: Niederspannung, KVS: Kabelverteilerschrank

STARKREGEN - ÜBERSICHT BETRIEBSMITTEL



STARKREGEN - GEFÄHRDUNGSHKMAP - GEWÄSSERNÄHE

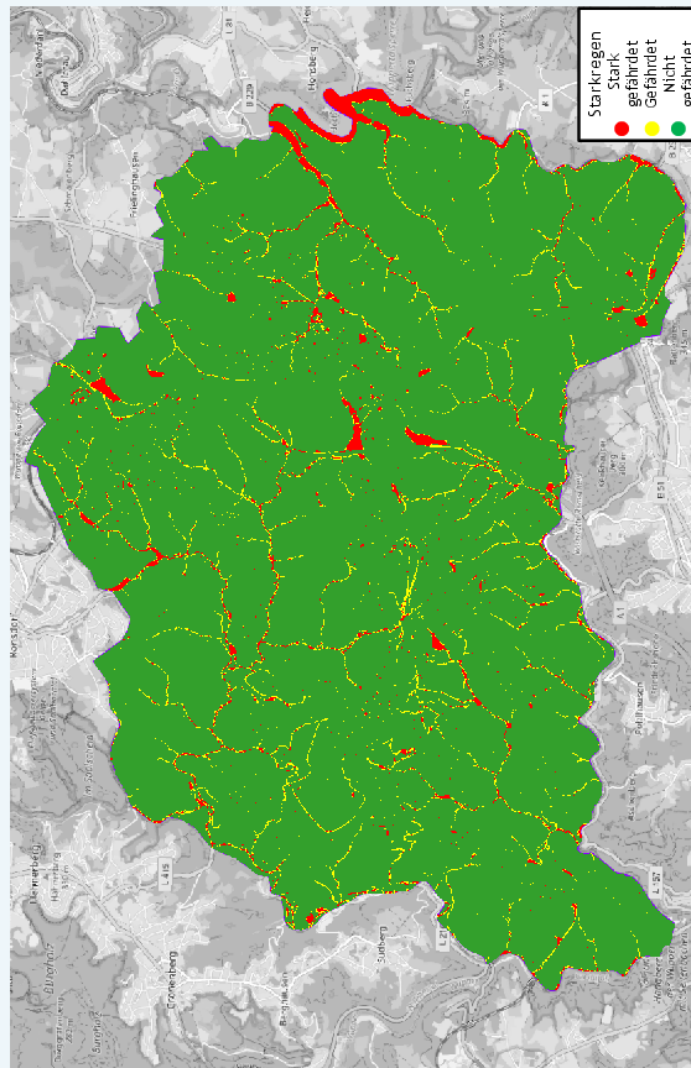


19.02.26

Gefährdungsanalyse von Betriebsmitteln elektrischer Verteilnetze während Extremwetterereignissen | F. Aschenbroich

Folie 18

STARKREGEN - GEFÄHRDUNGSHIETMAP - OBERFLÄCHENABFLUSS

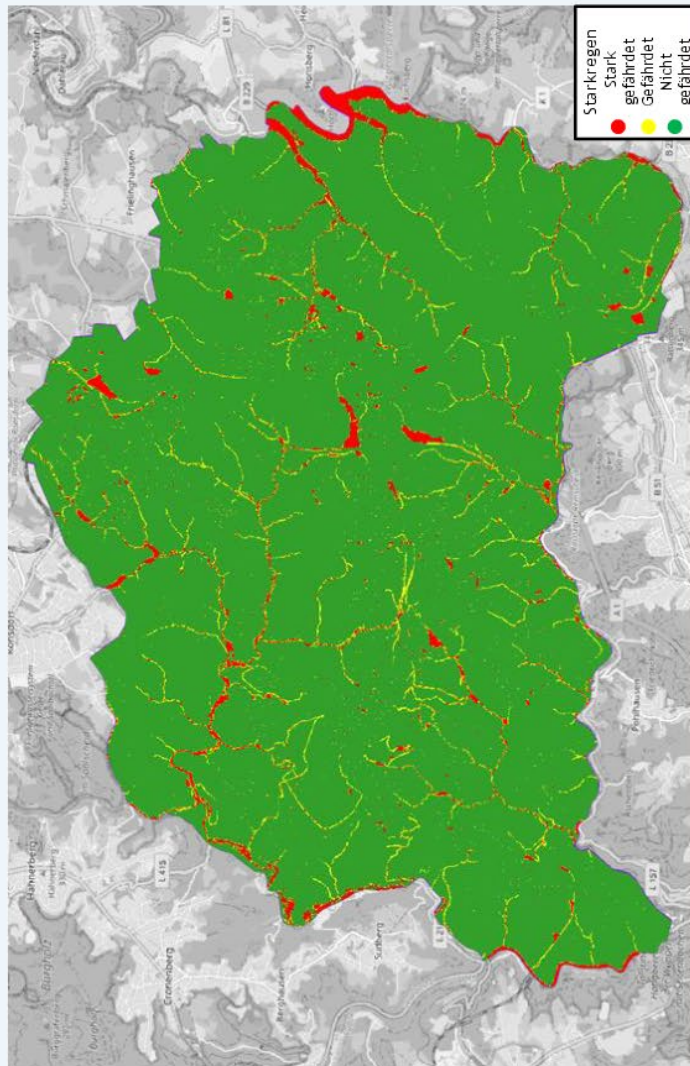


19.02.26

Gefährdungsanalyse von Betriebsmitteln elektrischer Verteilnetze während Extremwetterereignissen | F. Aschenbroich

Folie 19

STARKREGEN - GEFÄHRDUNGSHITMAP



19.02.26

Gefährdungsanalyse von Betriebsmitteln elektrischer Verteilnetze während Extremwetterereignissen | F. Aschenbroich

Folie 20



- * Ermöglichung einer Gefährdungsanalyse des Einflusses von Starkregen auf Betriebsmittelebene
- * Eine Begutachtung des Standortes wird dadurch aber nicht ersetzt und ist erforderlich
- * Anwendung der Gefährdungsanalyse für weitere Betriebsmittel und Extremwetterereignisse mit anderen Einflussfaktoren möglich
- * Erlaubt gezielte Einbringung von Gegenmaßnahmen für gefährdete Betriebsmittel und Ableitung von allgemein gültigen Handlungsempfehlung



Vielen Dank.

Innovativer Ansatz zur Zielnetzplanung am Beispiel der Stromnetze der Stadtwerke Hilden GmbH

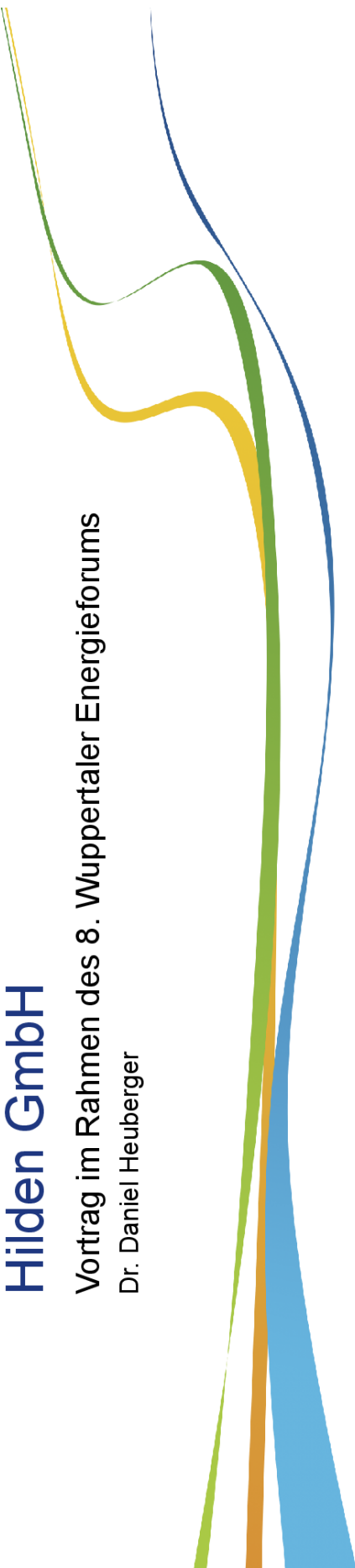
Dr. Daniel Heuberger

Centerleiter Netz

Stadtwerke Hilden GmbH

Innovativer Ansatz zur Zielnetzplanung am Beispiel der Stromnetze der Stadtwerke Hilden GmbH

Vortrag im Rahmen des 8. Wuppertaler Energieforums
Dr. Daniel Heuberger



Agenda

- Kennzahlen und Netzgebiet der Stadtwerke Hilden
- Konzept der spannungsebenenübergreifenden automatisierten Zielnetzplanung
- Randbedingungen und Kostenansatz aller Planungen
- Ergebnisse der automatisierten Zielnetzplanung
- Platzierung neuer Stationen
- Fazit

Kennzahlen und Netzgebiet der Stadtwerke Hilden

Unternehmensvorstellung



- Wir sind zu 100 % eine Tochter der Stadt Hilden
- Insgesamt beschäftigen wir ca. 180 Mitarbeitende
- Jahresumsatz 2022: 70 Mio. EUR

Stadtwerke Hilden GmbH

- Stadt Hilden: ca. 56.000 Bürgerinnen und Bürger, Fläche ca. 26 km²
- Sehr hohe Lastdichte mit Wohn-, Gewerbe- und Industriegebieten
- Großer Ladepark am Autobahnkreuz A3/A46
- Steigende Anzahl an Netzanschlüssen für neue Verbraucher (Ladestationen, Wärmepumpen, Rechenzentren) und Photovoltaikanlagen

Versorgungsgebiet

Informationen zu unseren Versorgungsnetzen

			
▪ Mittelspannung 10 kV mit zwei Umspannwerken ▪ 220 Ortsnetzstationen + 100 Kundenanlagen ▪ Gesamtleitungslänge: 566 km	▪ Versorgung über Wasserwerk Baumberg ▪ Notreserve: Hochbehälter & Brunnen ▪ Gesamtleitungslänge: 287 km	▪ Aufbau eines Glasfasernetzes in Hilden ▪ Gesamtleitungslänge: 400 km	
▪ Hoch-, Mittel- und Niederdrucknetz (HD: 3 bar, MD: 0,8 bar und ND: 0,05 bar) ▪ Gesamtleitungslänge: 262 km			

Unser Ziel

- **Sichere, umweltfreundliche und kostengünstige Versorgung unserer** Haushalt-, Gewerbe- und Großkunden in Hilden
- **Klimaneutrales Stadtwerk bis 2035**

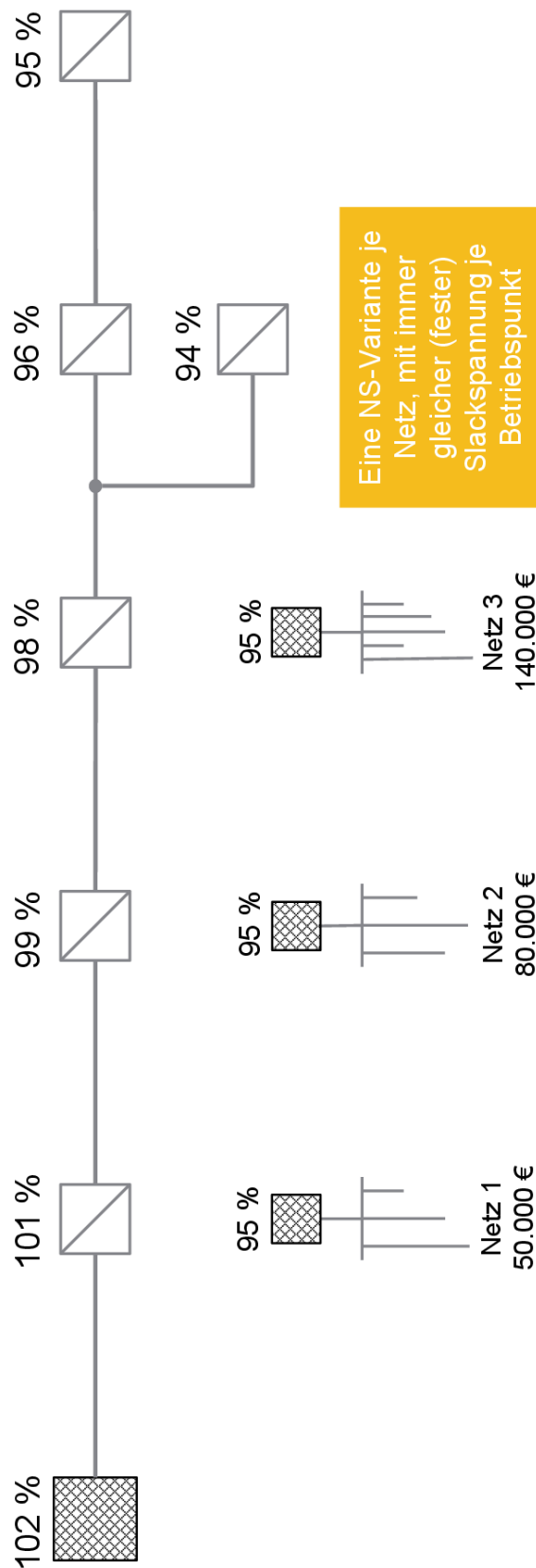
Daten des Netzgebietes Strom

- Anzahl Umspannwerke: 2 Stück
- Länge Mittelspannungsnetz: 192 km
- Anzahl Ortsnetzstationen: 219 Stück
- Anzahl Kundenstationen: 107 Stück
- Länge Niederspannungsnetz: 378 km

Netzgrafik im Drucksatz nicht enthalten

Konzept der spannungsebenenübergreifenden automatisierten Zielnetzplanung

Konzept spannungsebenenseparate Zielnetzplanung

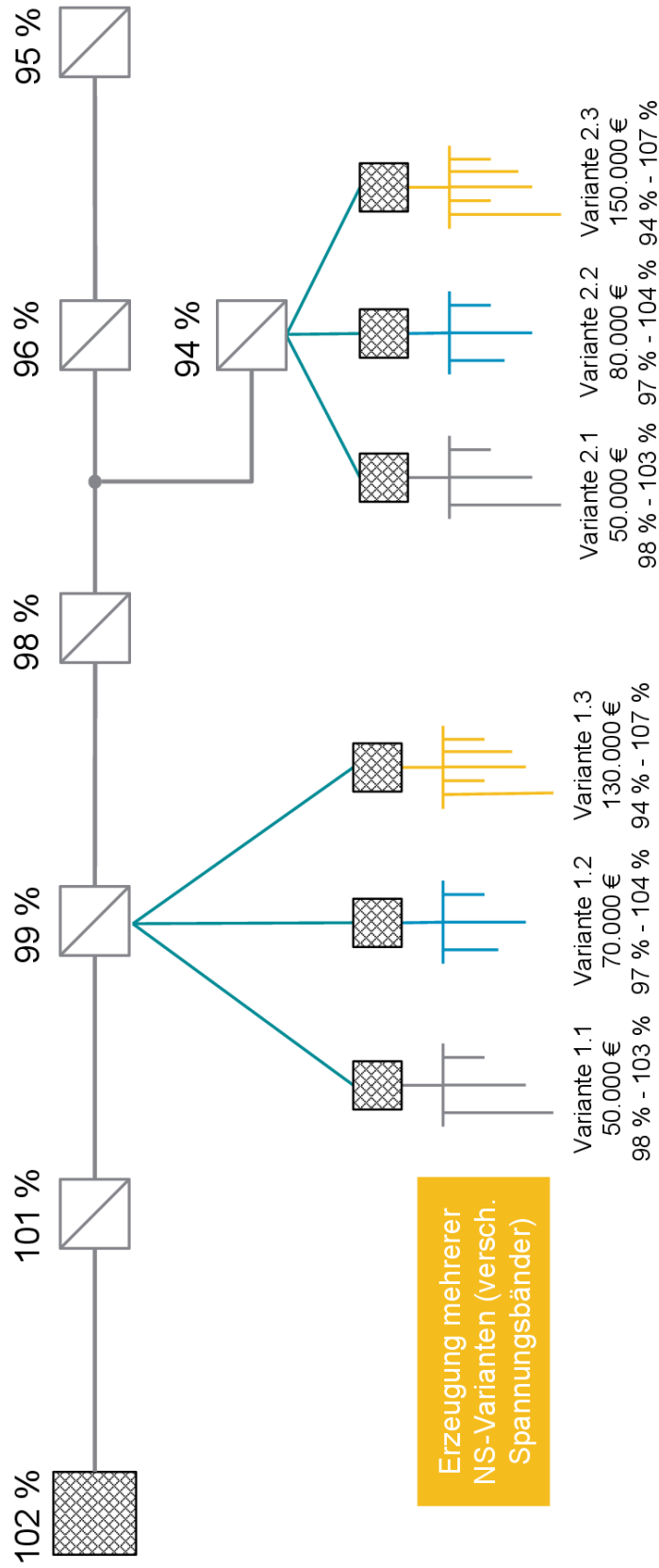


NS: Niederspannung

Einsparpotenzial durch übergreifende Zielnetzplanung am Beispiel der Stadtwerke Hilden

Wuppertal, 19. Februar 2026 – Seite 7

Konzept spannungsebenenübergreifende Zielnetzplanung

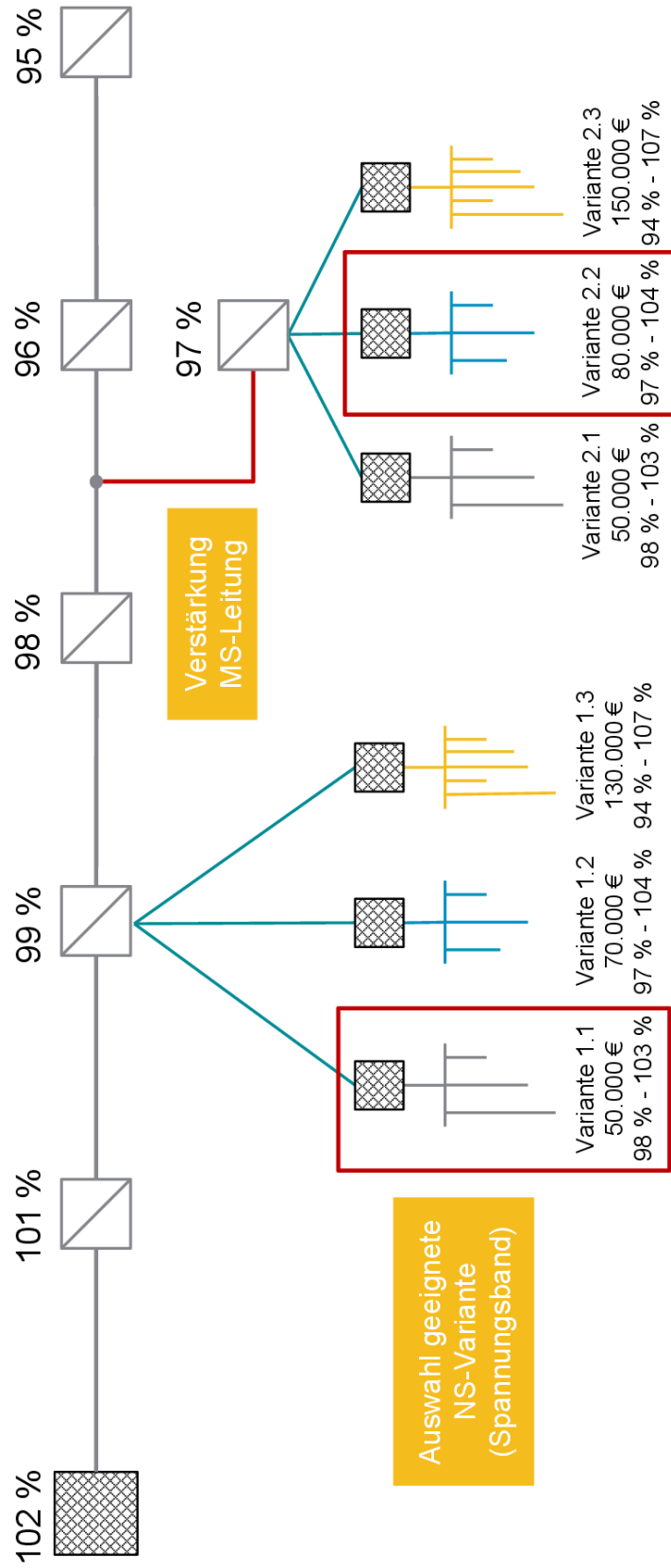


ZNP: Zielnetzplanung, NS: Niederspannung

Einsparpotenzial durch übergreifende Zielnetzplanung am Beispiel der Stadtwerke Hilden

Wuppertal, 19. Februar 2026 – Seite 8

Konzept spannungsebenenübergreifende Zielnetzplanung

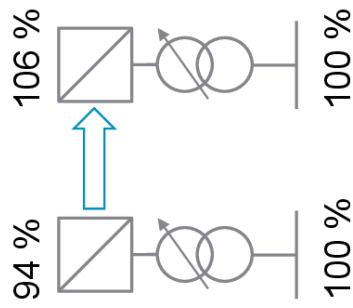
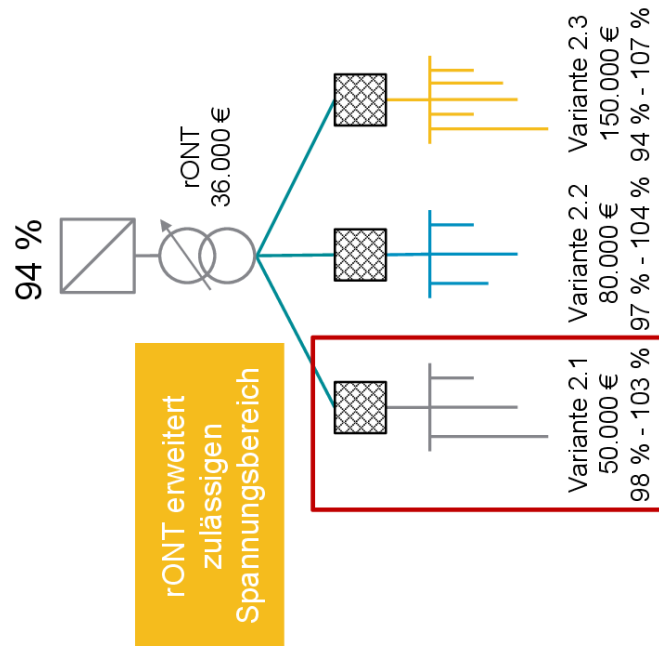


ZNP: Zielnetzplanung, NS: Niederspannung, MS: Mittelspannung

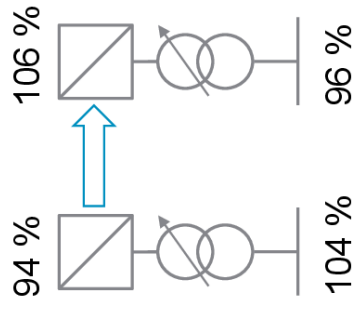
Einsparpotenzial durch übergreifende Zielnetzplanung am Beispiel der Stadtwerke Hilden

Wuppertal, 19. Februar 2026 – Seite 9

Konzept spannungsebenenübergreifende Zielnetzplanung



Statischer rONT setzt Spannung an NS-SS unabhängig von MS fest
(Festwert-Spannungsregelung)



Dynamischer rONT überhöht Spannung im Starklastfall und senkt Spannung im Starkeinspeisefall
(leistungsflussabhängige Spannungsregelung)

ZNP: Zielnetzplanung, MS: Mittelspannung, NS: Niederspannung, SS: Sammelschiene

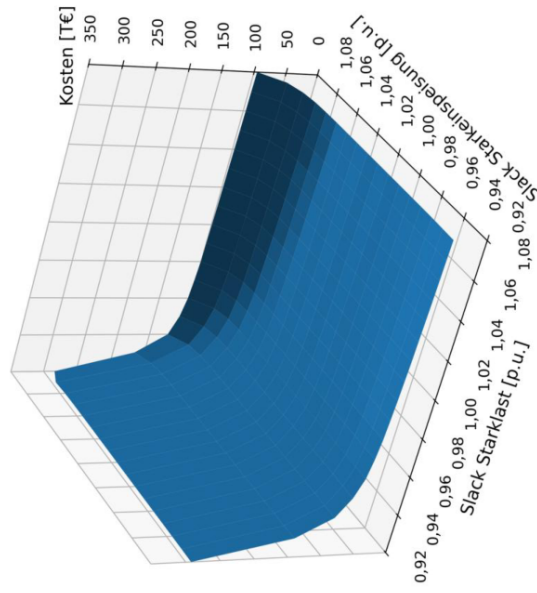
Einsparpotenzial durch übergreifende Zielnetzplanung am Beispiel der Stadtwerke Hilden

Wuppertal, 19. Februar 2026 – Seite 10

Einfluss der verfügbaren Spannungsänderung auf den Netzausbaubedarf

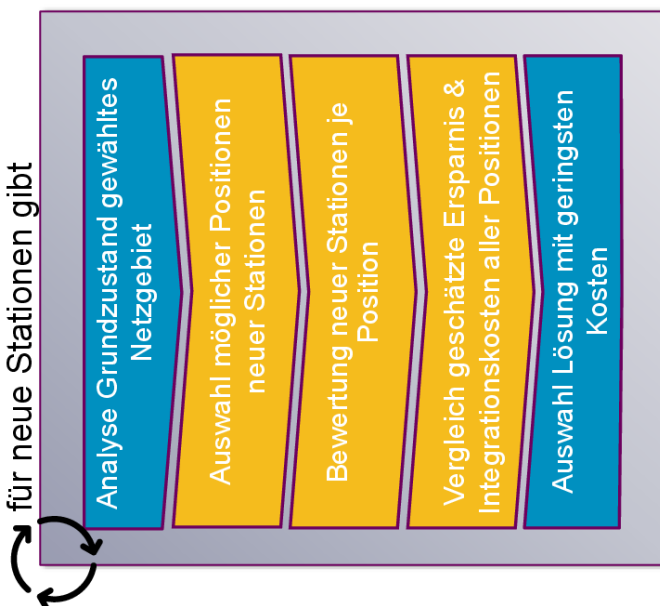
- Darstellung aller Slackspannungskombinationen zeigt, dass bei betrachteten Netzen Starklastbetriebsfall auslegungsrelevant ist
- Für Kombinationen hohe Starklast-Slackspannung / niedrige Starkeinspeisung-Slackspannung zeigt sich „Ebene“ bei Ausbaukosten
- Durch übergreifende Planung können für viele Netze Betriebspunktkombinationen erreicht werden, die im Bereich der Ebene liegen

Mittelwert
über 203
Netze

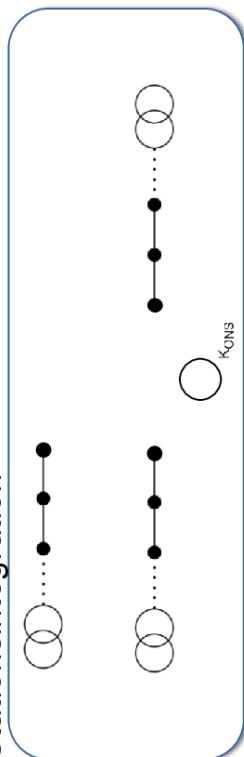


Positionierung neuer Stationen

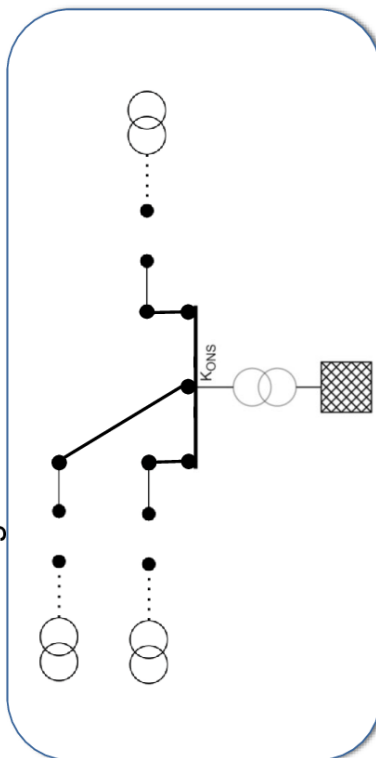
So lange es weitere
lohnenswerte Positionen
für neue Stationen gibt



Vor Stationsintegration



Nach Stationsintegration



Randbedingungen und Kostenansatz aller Planungen

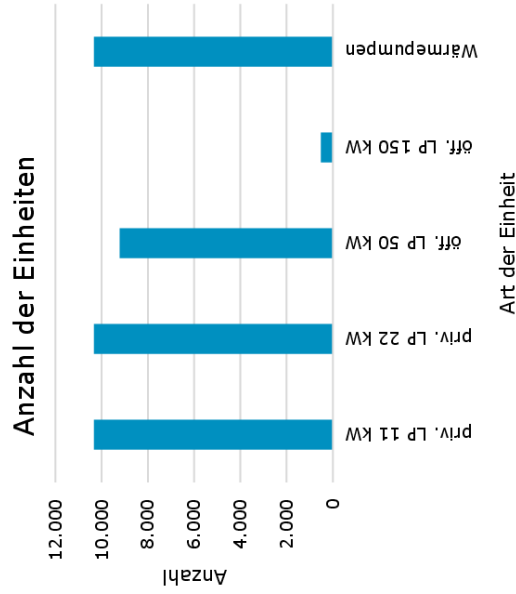
Szenarien und Kostenansatz

Szenarien

- Es wurde eine zukünftige Entwicklung von Last und Einspeisung modelliert
- Für Hilden ergeben sich im letzten Stützjahr 20.680 private Ladepunkte, 9.487 öffentliche Ladepunkte, 10.340 Wärmepumpen, 10,297 MW PV-Leistung

Kosten

- In nachfolgenden Ergebnissen wurden generische Kosten angesetzt
- Tiefbaukosten sind unabhängig von Oberfläche
- Bei mehreren Leitungen in einem Graben fallen Tiefbaukosten nur einmal an
- Stationserneuerung wird berücksichtigt, wenn mindestens ein zusätzlicher Transformator errichtet werden muss



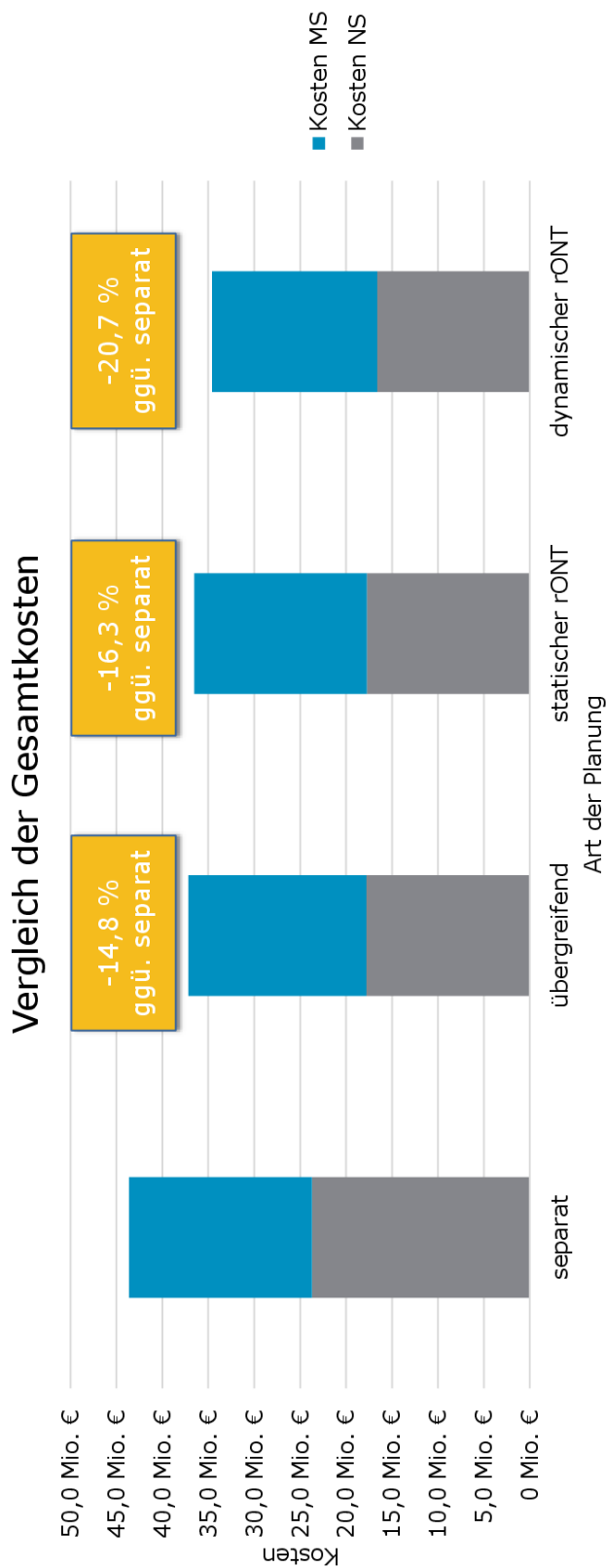
priv.: privat, öff.: öffentlich, LP: Ladepunkte

Einsparpotenzial durch übergreifende Zielnetzplanung am Beispiel der Stadtwerke Hilden

Wuppertal, 19. Februar 2026 – Seite 14

Ergebnisse der automatisierten Zielnetzplanung

Übersicht über Ergebnisse der automatisierten Zielnetzplanung

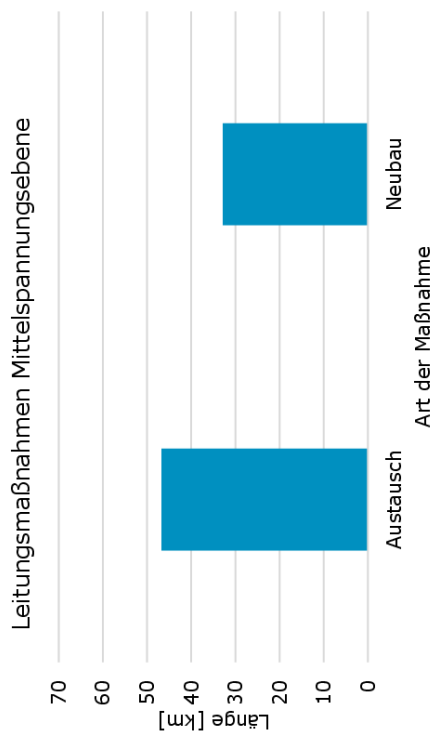
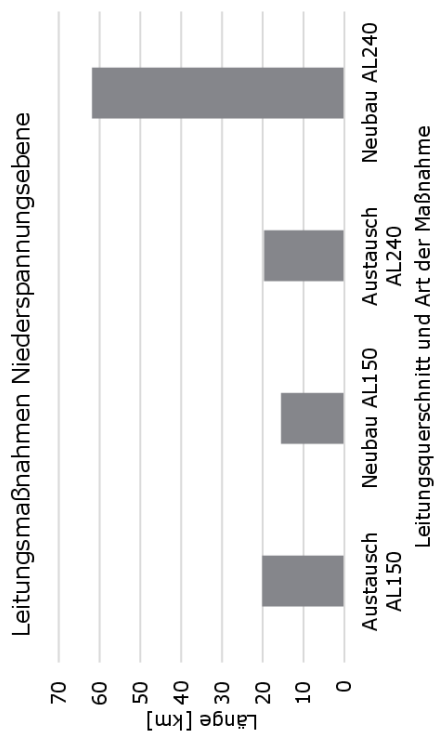


Einsparpotenzial durch übergreifende Zielnetzplanung am Beispiel der Stadtwerke Hilden

Wuppertal, 19. Februar 2026 – Seite 16

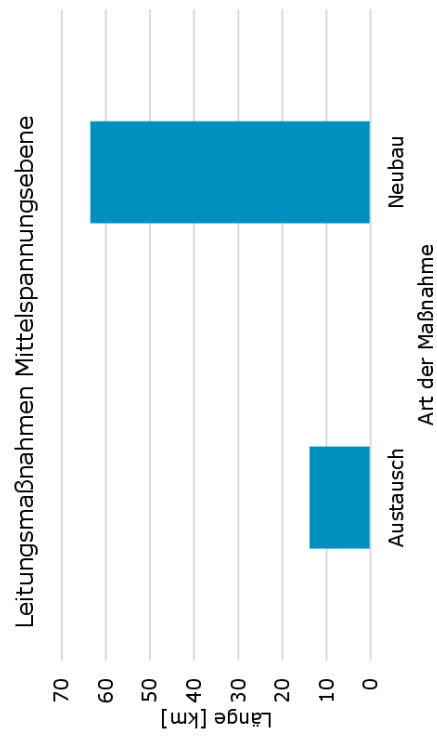
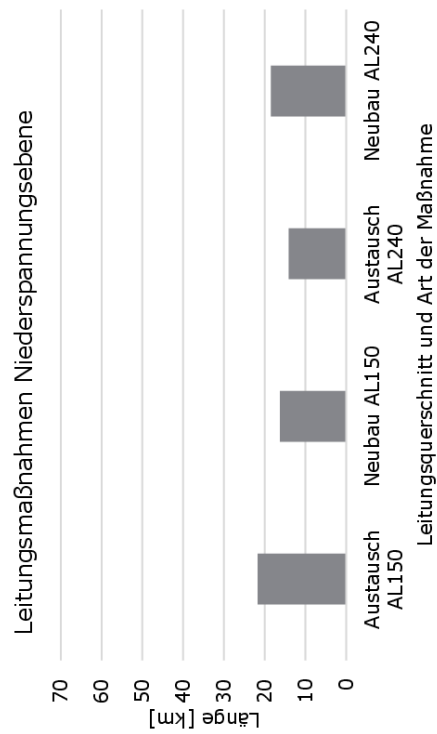
Ergebnisse der spannungsebenen separaten Zielnetzplanung

- Kosten in der NS-Ebene: 23.716.455 €
- Kosten in der MS-Ebene: 19.915.160 €

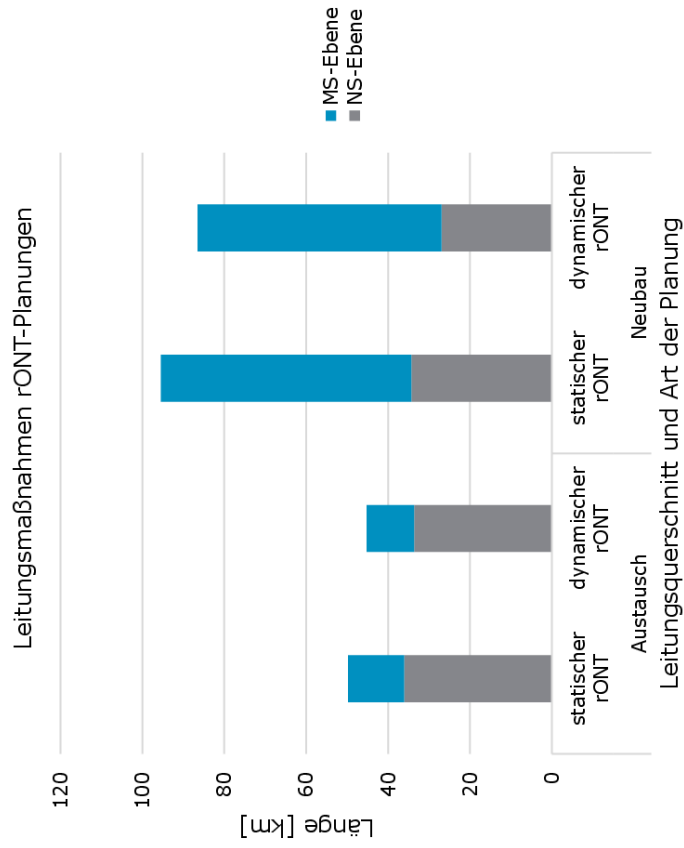


Ergebnisse der spannungsebenenübergreifenden Zielnetzplanung

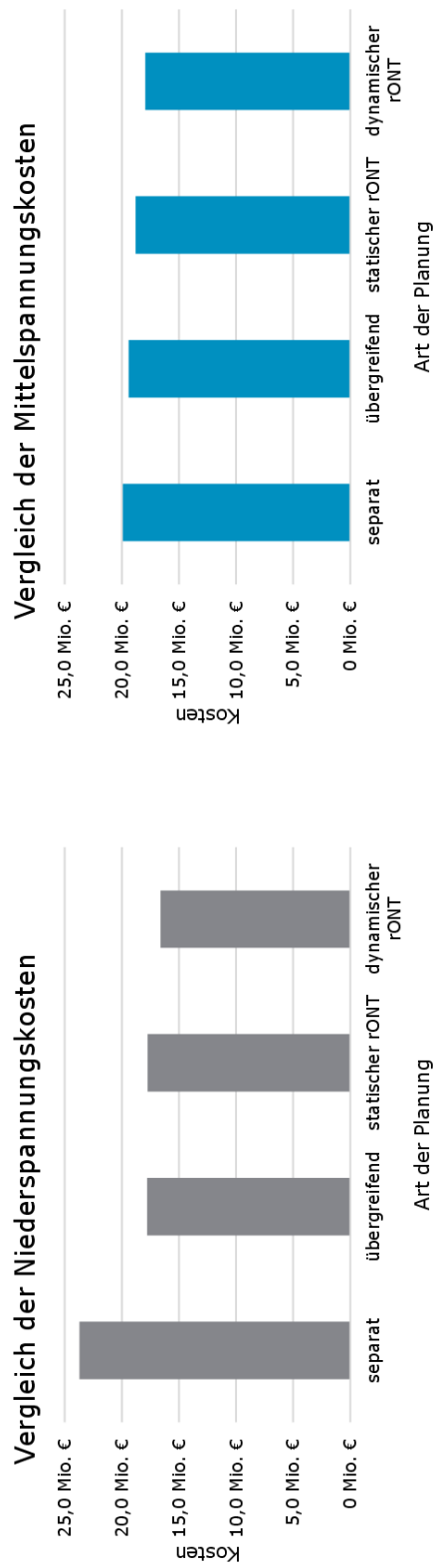
- Kosten in der NS-Ebene: 17.782.610 €
- Kosten in der MS-Ebene: 19.399.200 €



- **statischer rONT:**
 - 11 rONT eingesetzt
 - Kosten in der NS-Ebene: 17.741.120 €
 - Kosten in der MS-Ebene: 18.792.300 €
- **dynamischer rONT:**
 - 80 rONT eingesetzt
 - Kosten in der NS-Ebene: 16.622.260 €
 - Kosten in der MS-Ebene: 17.960.320 €



Ergebnisse der spannungsebenenübergreifenden Zielnetzplanung Vergleich der sich ergebenden Einsparungen



- Einsatz generischer, aber realitätsnaher Kostenansätze
- Einsparungen maßgeblich auf Niederspannungsebene: Reduzierung um bis zu 30 % (separat zu dynamischer rONT)
- Geringere Einsparungen auf Mittelspannungsebene: Reduzierung um maximal 10 % (separat zu dynamischer rONT)
- Größte Einsparung ergibt sich aus der Niederspannungsebene im Übergang separat zu übergreifend: 25 %

Platzierung neuer Stationen

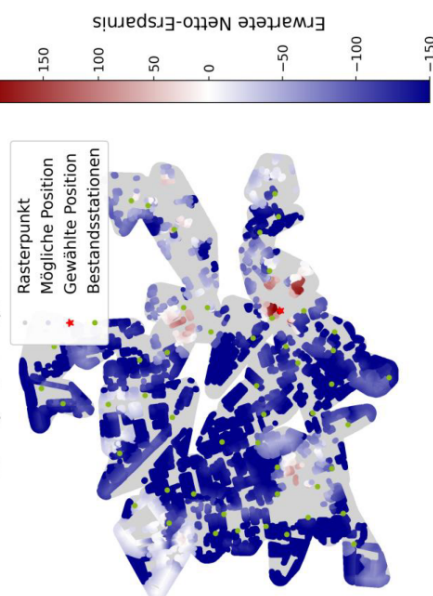
Einsparpotenzial durch übergreifende Zielnetzplanung am Beispiel der Stadtwerke Hilden

Wuppertal, 19. Februar 2026 – Seite 21

Ergebnisse der spannungsebenenübergreifenden Zielnetzplanung Vergleich der sich ergebenden Einsparungen

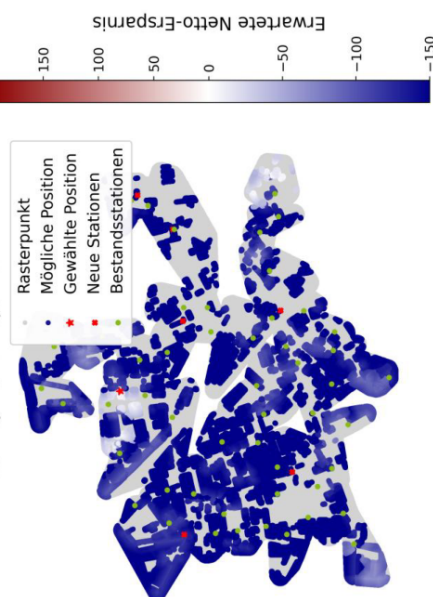
Erste Iteration

Heatmap Netto-Ersparnis

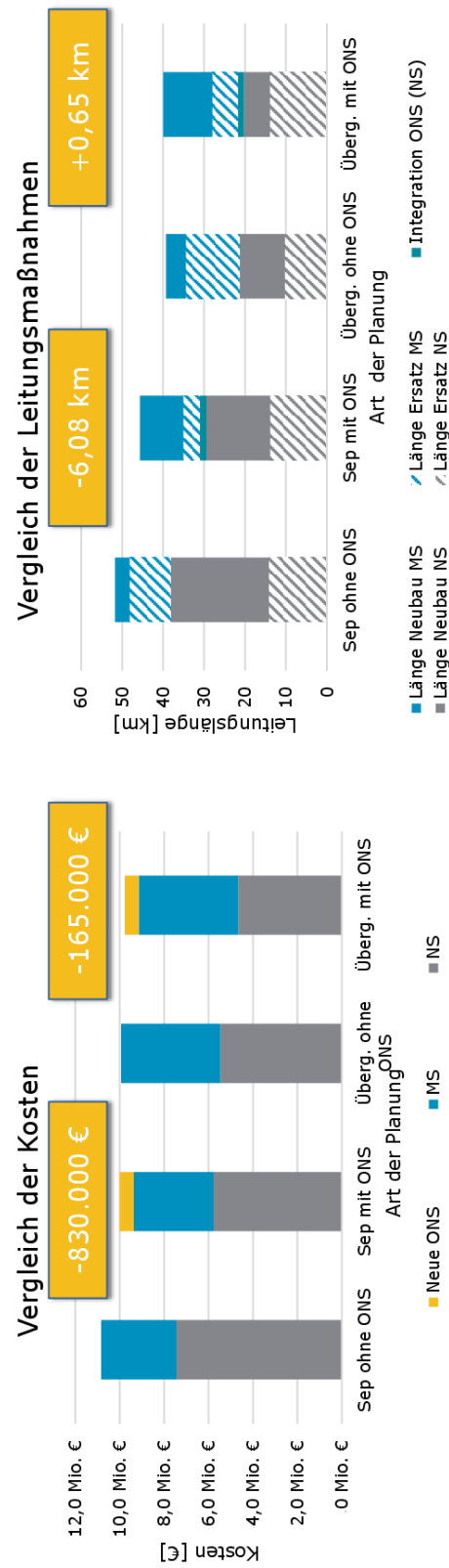


Letzte Iteration

Heatmap Netto-Ersparnis



- Eine Methodik zur Platzierung neuer ONS wurde in einem Teil des Netzgebietes angewendet
- 7 Positionen für neue Stationen identifiziert und optimal in bestehende NS-Netzstruktur eingebunden (Trennstellenoptimierung)
- Separate & Übergreifende Planung des zugehörigen UW-Gebietes zum Vergleich mit/ohne neue Stationen durchgeführt



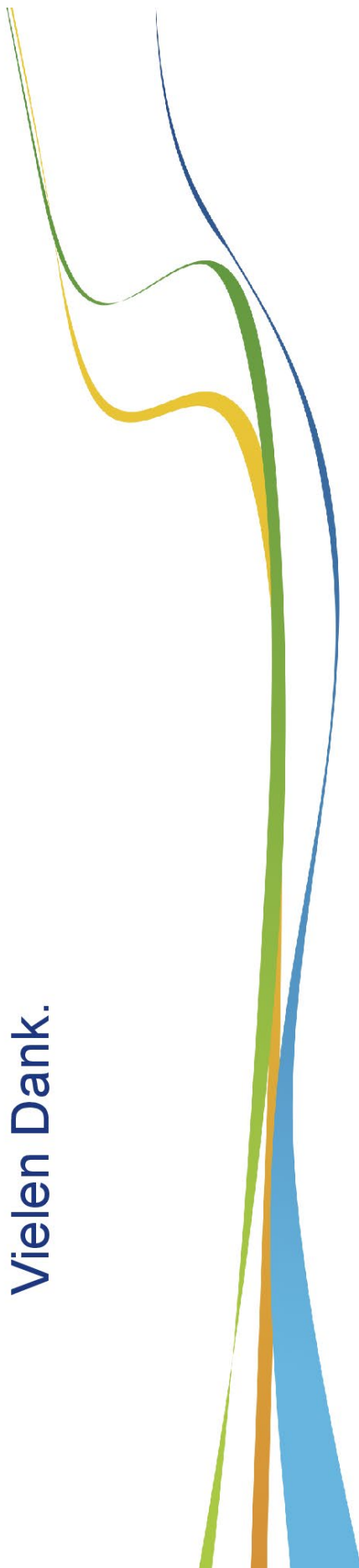
- Deutliche Einsparungen trotz weniger neuer Stationen und generischen Planungsannahmen
- Deutlich mehr Ersparnis in separater Planung (Günstigere Varianten verringern Vorteil durch neue ONS)
- In Übergreifender Planung nicht weniger Materialeinsatz, nur geringere Grabenlänge (-0,5 km)
Grund: Einbindung neuer ONS benötigt ebenfalls Leitungsmaßnahmen, in NS als Doppelleitung

Fazit

Fazit

- Durch spannungsebenenübergreifende Planung können zwischen 14,8 % und 20,7 % der Gesamtkosten im Vergleich zur ebenenseparaten Planung eingespart werden
- Die größte Einsparung ergibt sich aus dem Übergang von der separaten zur übergreifenden Planung
- Das Einsparpotenzial durch die Nutzung statischer rONT ist eher gering
- Dynamische rONTs erlauben signifikante Kostenersparnis, allerdings fehlen praktische Erfahrungen
- Die optimierte Platzierung und Einbindung neuer Stationen kann weitere Kosten sparen (Wurde hier aber nicht flächendeckend auf das komplette Netzgebiet der SW Hilden durchgeführt)

Vielen Dank.



Optimierung von Planung, Bau und Betrieb der Strom- und Rohrnetze der NEW Netz GmbH

Peter Vent

Prokurist und Hauptabteilungsleiter "Netzbau und Netzbetrieb"

NEW Netz GmbH

NEW'NETZ



Schön



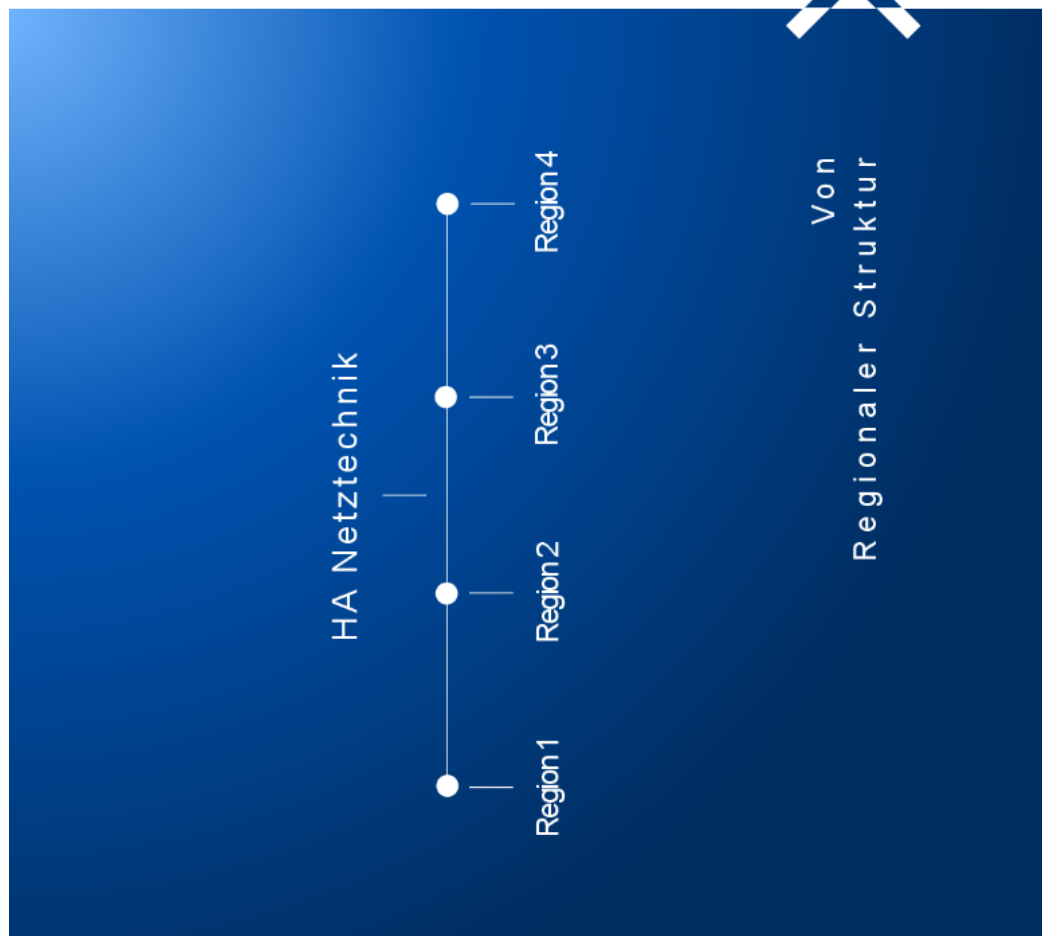
EUCH ZU SEHEN

Zukunftsorientierte Optimierung von
Planung, Errichtung und Betriebsführung
der Strom- und Rohrnetze

✦ ✦ ✦
NEW'NETZ

NEW'NETZ
PETER VENT
Hauptabteilungsleiter Netztechnik





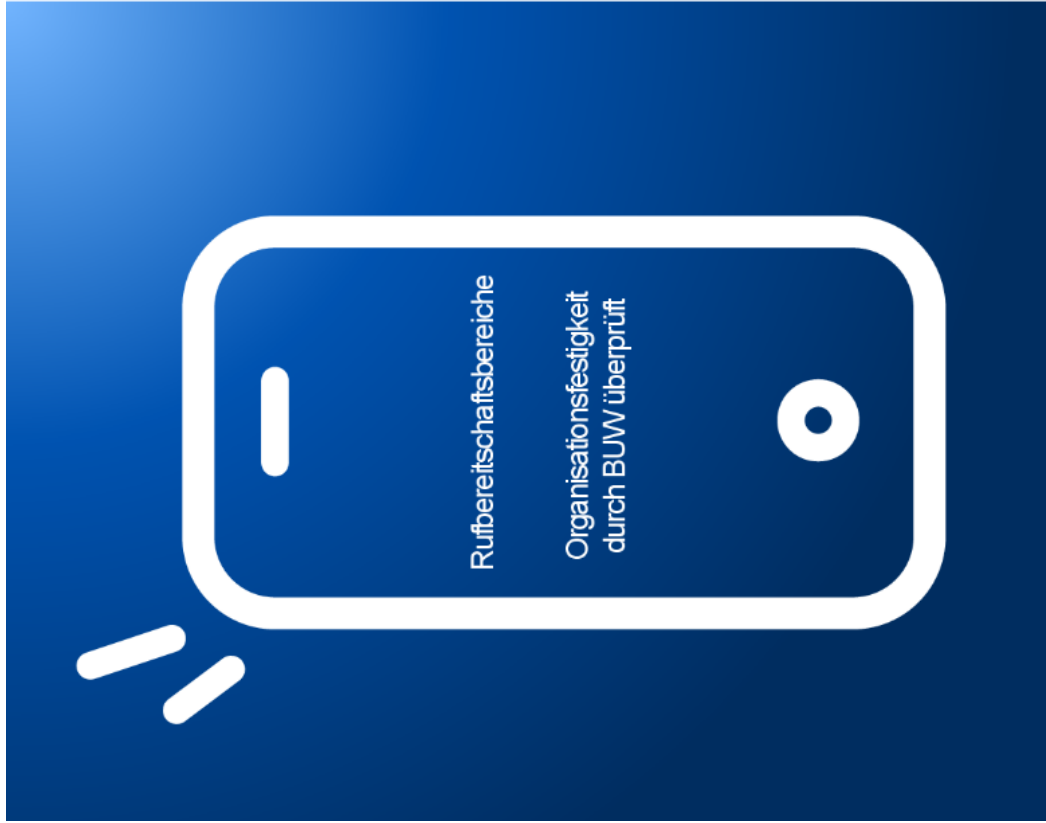
NEW'NETZ



Weg zum Erfolg

- 4** Möglichmacher für die beste Energieinfrastruktur in Deutschland
- 3** Dimensionierung Netzbetriebe (planbares Geschäft) – in Umsetzung
- 2** Dimensionierung Netzplanung und –bau
- 1** Aufbau einer organisationsfesten Rufbereitschaftsstruktur für die Sparten Strom und Gas, Wasser & Wärme

NEW'NETZ



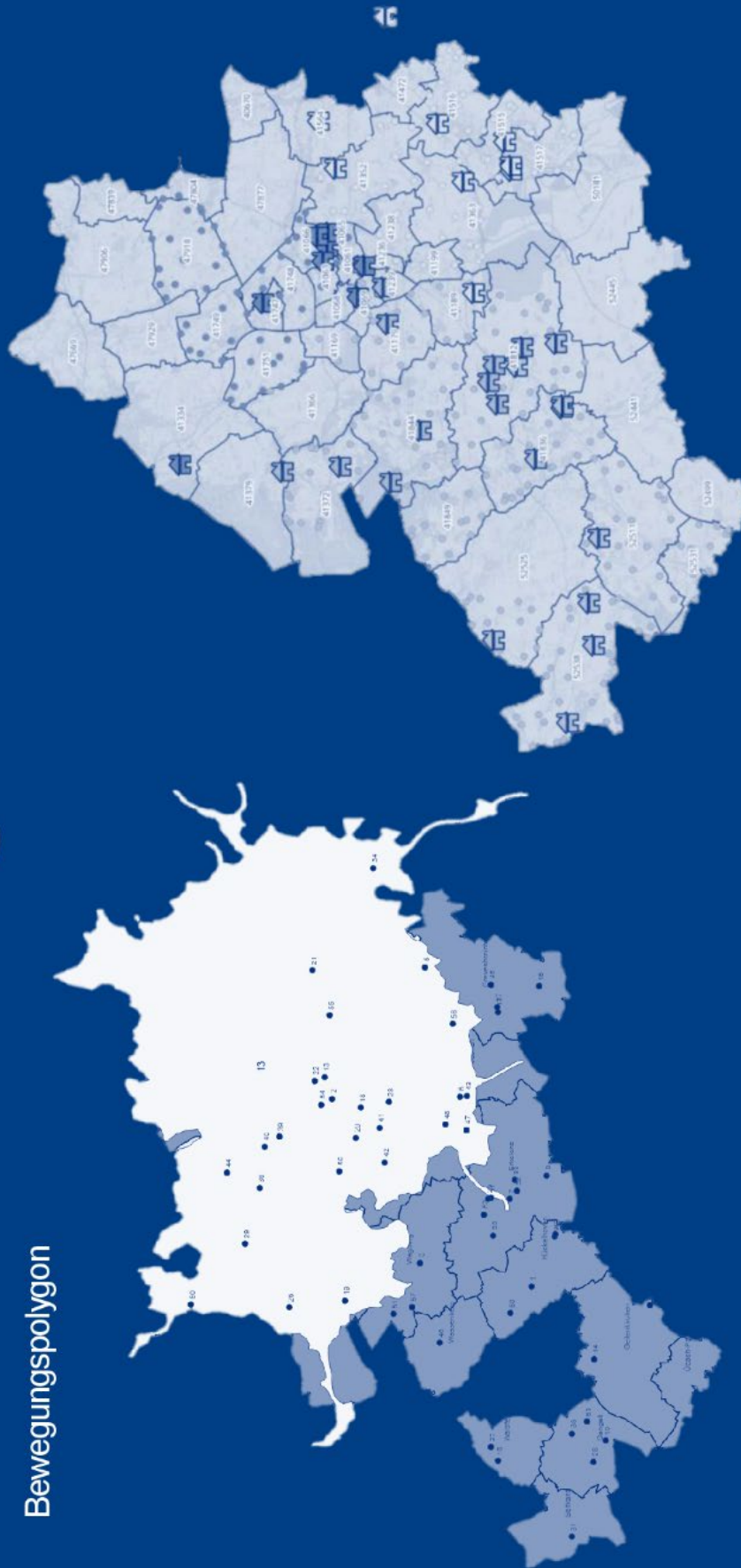
Organisation der Rufbereitschaft

- Ansatz BUW
- Bewegungspolygone
- Zuschnitte Assetmengen und Störungsmengen

NEW'NETZ

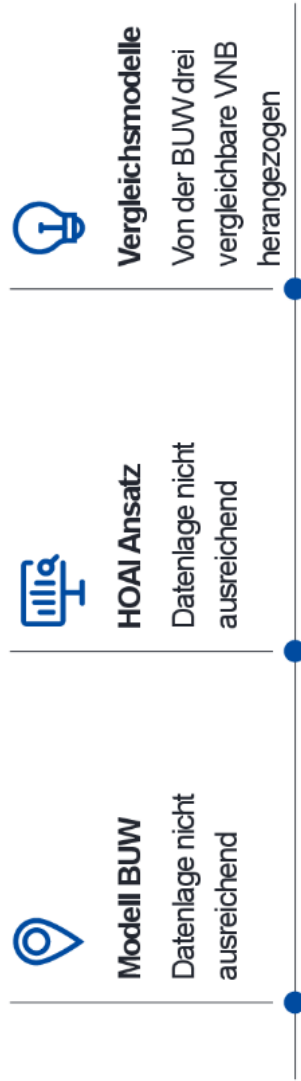
Rufbereitschaftsorganisation

Bewegungspolygon





Dimensionierung Netzplanung und -bau



NEW'NETZ

Modell BUW – Daten zum Prozessablauf

Einführung: Optimierungsmodell Netzplanung

Prozessschritt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423	1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	1456	1457	1458	1459	1460	1461	1462	1463	1464	1465	1466	1467	1468	1469	1470	1471	1472	1473	1474	1475	1476	1477	1478	1479	1480	1481	1482	1483	1484</
----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--------

HOAI-Ansatz

Vereinfachte Modellvariante

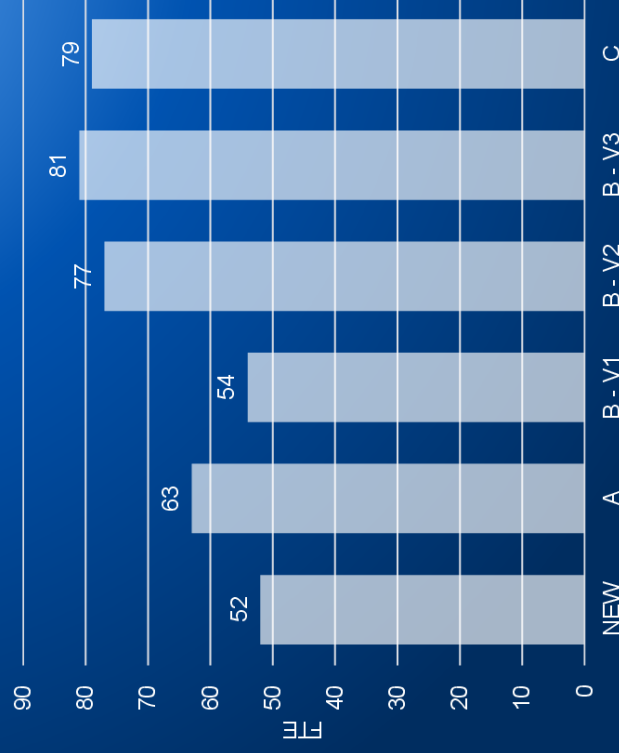
HOAI-Leistungsphase	Grundlagen- ermittlung	Vorplanung	Entwurfsplanung	Genehmigungs- planung	Ausführungs- planung	Vorbereitung der Vergabe	Mitwirkung bei der Vergabe	Objekt- überwachung	Objektbetreuung
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Anteil Phase an Gesamtarbeitszeit in %	2%	20%	25%	8%	15%	10%	4%	15%	1%
Grundsatzplaner in %	100%	60%	40%	30%	20%	20%			
Ausführungsplaner in %		40%	60%	60%	70%	70%	80%	20%	
Baubeauftraggeber in %				10%	10%	10%	20%	80%	100%
Zuschlagsfaktor Projektklasse 2	1	1	2	1	2	2	1	1	1
Zuschlagsfaktor Projektklasse 3	1	1	3	1	3	3	1	1	1
Phasendurchlaufzeit absolut in h	10	100	125	40	75	50	20	75	5
Grundsatzplaner PK1 in h	10	60	50	12	15	10	0	0	0
Ausführungsplaner PK1 in h	0	40	75	24	52,5	35	16	15	0
Baubeauftraggeber PK1 in h	0	0	0	4	7,5	5	4	60	5
Grundsatzplaner PK2 in h	10	60	100	12	30	20	0	0	0
Ausführungsplaner PK2 in h	0	40	150	24	105	70	16	15	0
Baubeauftraggeber PK2 in h	0	0	0	4	15	10	4	60	5
Grundsatzplaner PK3 in h	10	60	150	12	45	30	0	0	0
Ausführungsplaner PK3 in h	0	40	225	24	157,5	105	16	15	0
Baubeauftraggeber PK3 in h	0	0	0	4	22,5	15	4	60	5

Vergleichsmodelle

Hilft zur Ableitung einer möglichen Dimensionierung

Netzbetreiber und Vergleichsvarianten

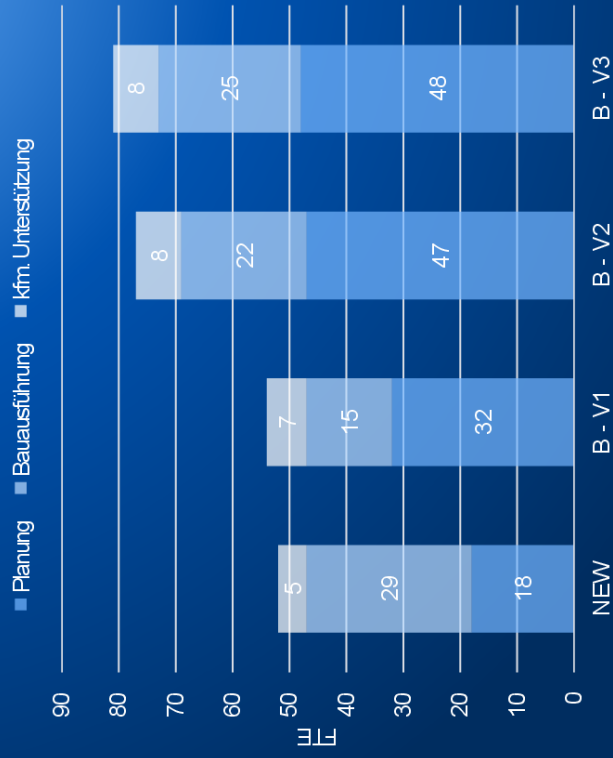
- **NB A: etwas größerer städtischer Anteil im Versorgungsgebiet**
 - Skalierung via Netzbasisdaten. Modellstand: 2023 (nach Personalaufbau gem. BUW-Empfehlung)
- **NB B: etwas größerer ländlicher Anteil im Versorgungsgebiet**
 - V1: Skalierung via Netzbasisdaten. Modellstand: 2022 (ursprüngliche Dimerisierung)
 - V2: Skalierung via Ausbaumengen. Modellstand: 2022 (Update Dimerisierung)
 - V3: Skalierung via Ausbaumengen. Modellstand: 2024 (angepasste Dimerisierung)
- **NB C: städtischer Betreiber mit sehr kleinem vorstädtischem Anteil**
 - Skalierung via Ausbaumengen. Modellstand: 2021 (angepasste Dimensionierung)



Vergleichsmodelle

Auswertungsergebnisse zum Anteil einzelner Funktionen

- Aufteilung einzelner Funktionen um Bereich Planung und Bau ist im Modell von NB B auswertbar.
- Organisatorisch ist die Funktion „Bauausführung vor Ort“ bei NB B in einer eigenständigen Einheit angesiedelt.
- Die kfm. Projektleitung skaliert nicht proportional zwischen V1 und V2/V3 auf Basis der gewonnenen Erfahrungswerte zum tatsächlichen Arbeitsanfall





Erfolgs-Story

- 1** Sicherstellung der Daten (z.B. Prozessdurchlaufzeiten), um zukünftig das Modell der BUW zu füttern und regelmäßig einen Abgleich zu machen
- 2** Aufbau der Prozesse (Prozessmanagement)
- 3** Anpassung der Personalplanung auf Grundlagen der Ergebnisse
- 4** Nachjustierung der der Abteilung Netzplanung und -bau auf Grundlage der Vergleichsmodelle

NEW'NETZ

FREUDEN-ECHO

NEW NETZ & Bergische Universität Wuppertal

Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit mit der Bergischen Universität Wuppertal hat uns wertvolle Impulse gegeben, um unsere Organisation kritisch zu reflektieren und gezielt weiterzuentwickeln.

In allen drei Phasen – von der Rufbereitschaft über das planbare Tagesgeschäft bis hin zur Dimensionierung von Planung und Bau – sind wir bewusst neue Wege gegangen, haben Methoden erprobt, weitergeschafft oder auch verworfen.

Erkenntnis

Dabei wurde deutlich: Standardmodelle liefern nur dann belastbare Ergebnisse, wenn die Datenlage stimmt und unsere spezifischen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden.

Genau deshalb war es für uns zentral, die Ansätze der Bergischen Universität Wuppertal mit unserem Erfahrungswissen, unseren realen Prozessen sowie branchenüblichen Vergleichswerten zu verknüpfen.

Ergebnis

Das Ergebnis ist eine robuste, fachlich fundierte Grundlage für unsere zukünftige Organisationsstruktur.

Die gewonnenen Erkenntnisse stärken unsere Ausrichtung – regelwerkskonform, praxisnah und mit einem klaren Fokus auf eine effiziente und zukunftsfähige Aufstellung.

NEW'NETZ



Fazit

- Zusammenarbeit mit BUW wertvoll und wichtig, um die Organisation auf den Prüfstand zu stellen und weiterzuentwickeln
- Offenes Mindset: Ansätze geprüft, verworfen und weiterentwickelt
- Mach es einfach & Mach es einfach
- Bewährte Modelle funktionieren, wenn die Datenlage vorhanden ist
- Entscheidend: BUW -Ansätze mit unserem Erfahrungswissen und realen Prozessen verknüpfen
- Gewonnene Erkenntnisse haben maßgeblich dazu beigetragen, die zukünftige Aufstellung fachlich fundiert und praxisnah auszurichten
- Hohe Akzeptanz bei allen Mitarbeiter:innen

NEW'NETZ

Vom Alterungsmodell zur Wertorientierung – KI-basierte Optimierung im Asset Management von Verteilnetzbetreibern

Arkadius Mateja

Leiter Kompetenzfeld Erzeugung & Infrastruktur

Energieforen Leipzig GmbH



KI-basierte Optimierung im Asset Management von Verteilnetzbetreibern

Vom Alterungsmodell zur Wertorientierung

Wuppertal, 19.02.2026

A G E N D A

1 Motivation und generelle Idee

2 Ergebnisse

3 Stabilität der Ergebnisse

4 Vergleich mit klassischen Strategien

5 Zusammenfassung

Problemstellung und Lösungsansatz im Projekt „PAM“

Problemstellung

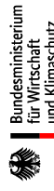
- Hohe Altersstruktur der Betriebsmittel
- Begrenzte Ressourcen → Optimierung von Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategien notwendig
- Große Menge an Daten und hohe Komplexität der zahlreichen Einflussfaktoren auf die Asset-Strategien

Lösungsansatz

- Vereinheitlichung von Zustands- und Stammdaten sowie der Historien der Ortsnetzstationen
- Verwendung der Daten als Input für KI-Modelle, Berücksichtigung der Zielgrößen und Rahmenbedingungen, Evaluation und Vergleich mit konventionellen Methoden
- Entwicklung eines Optimierungsmodells unter Berücksichtigung der Unternehmenswerte

Die hohe Komplexität durch die zahlreichen Einflussfaktoren erfordert für die Strategieoptimierung den Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz

Gefördert durch:

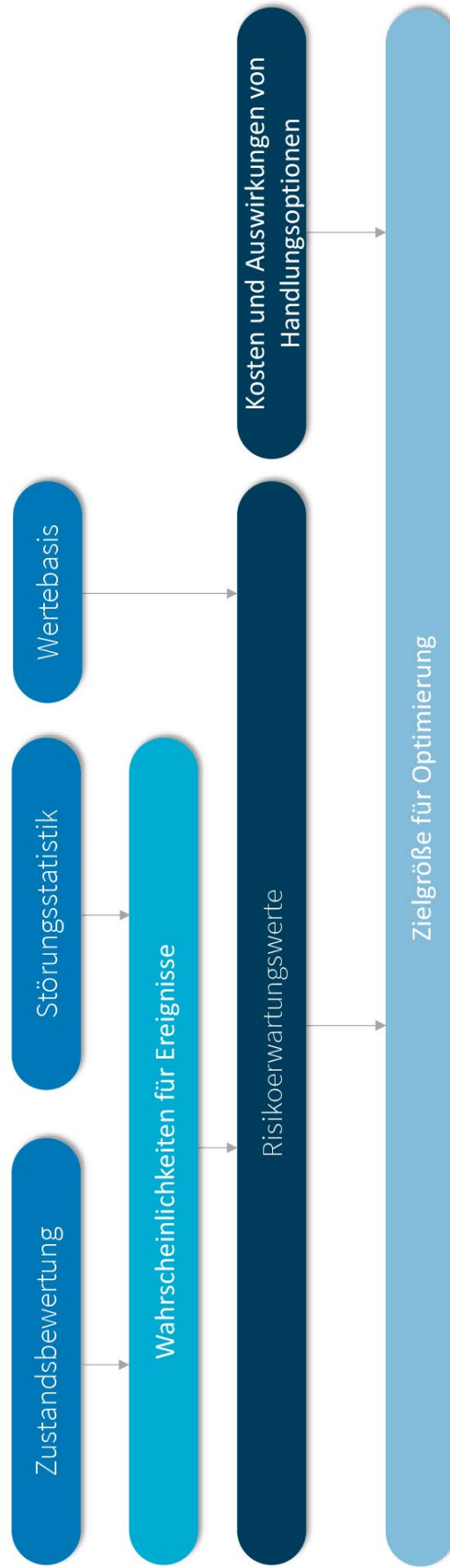


aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

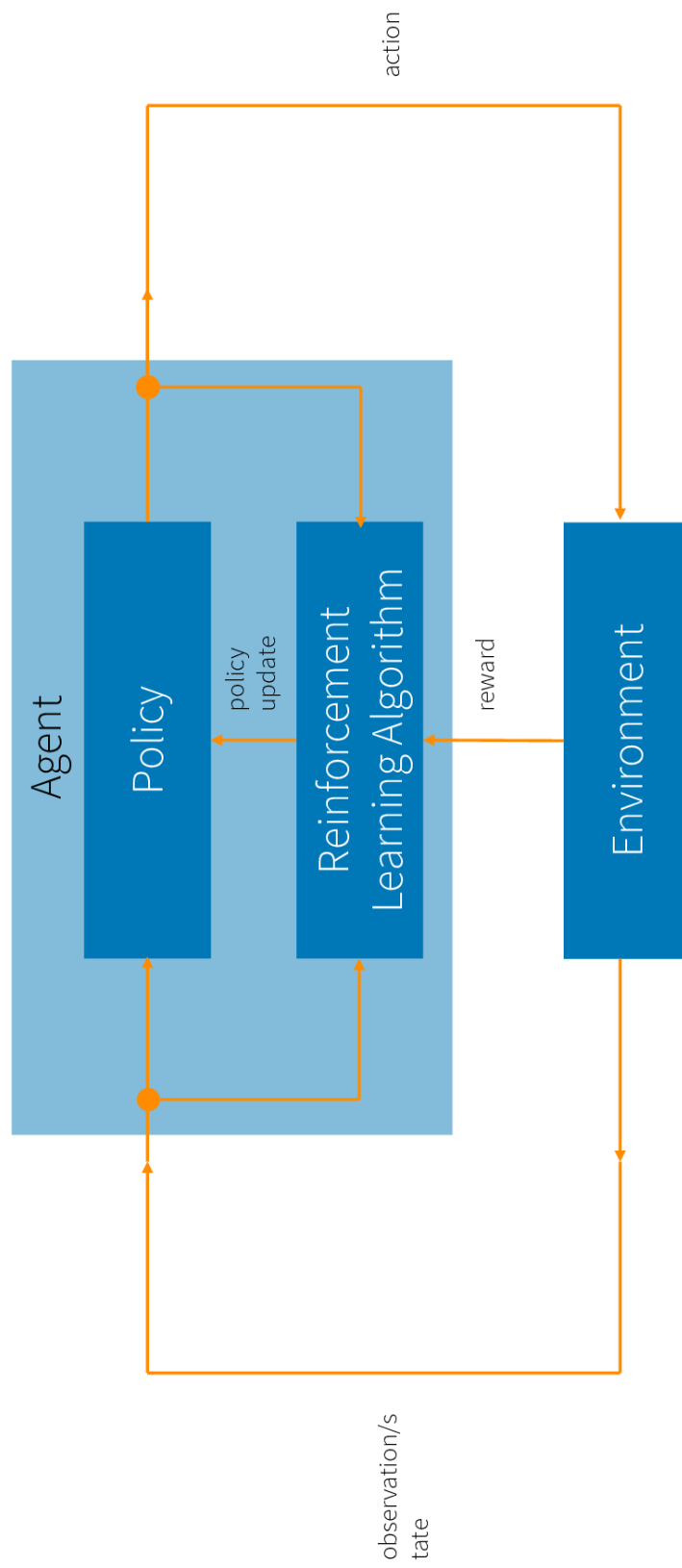


i Konsortium: 5 Verbundpartner, 6 assoziierte Partner
Projektlaufzeit über 3 Jahre von April 2021 bis Ende März 2024

Generelles Vorgehen



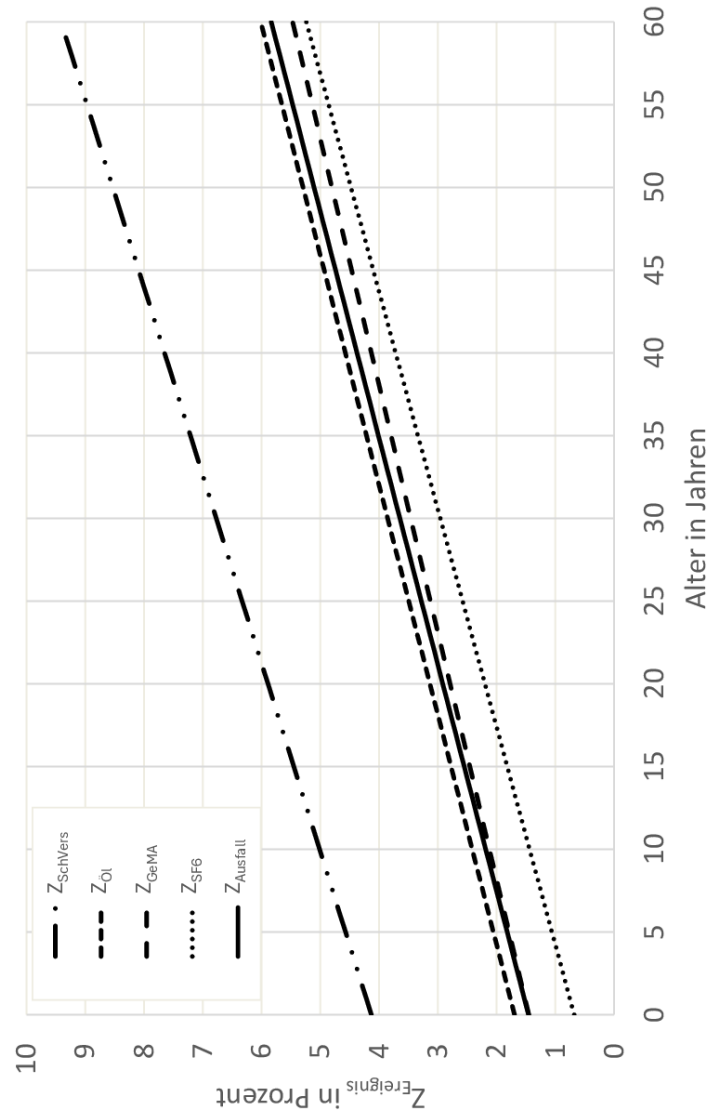
Reinforcement Learning



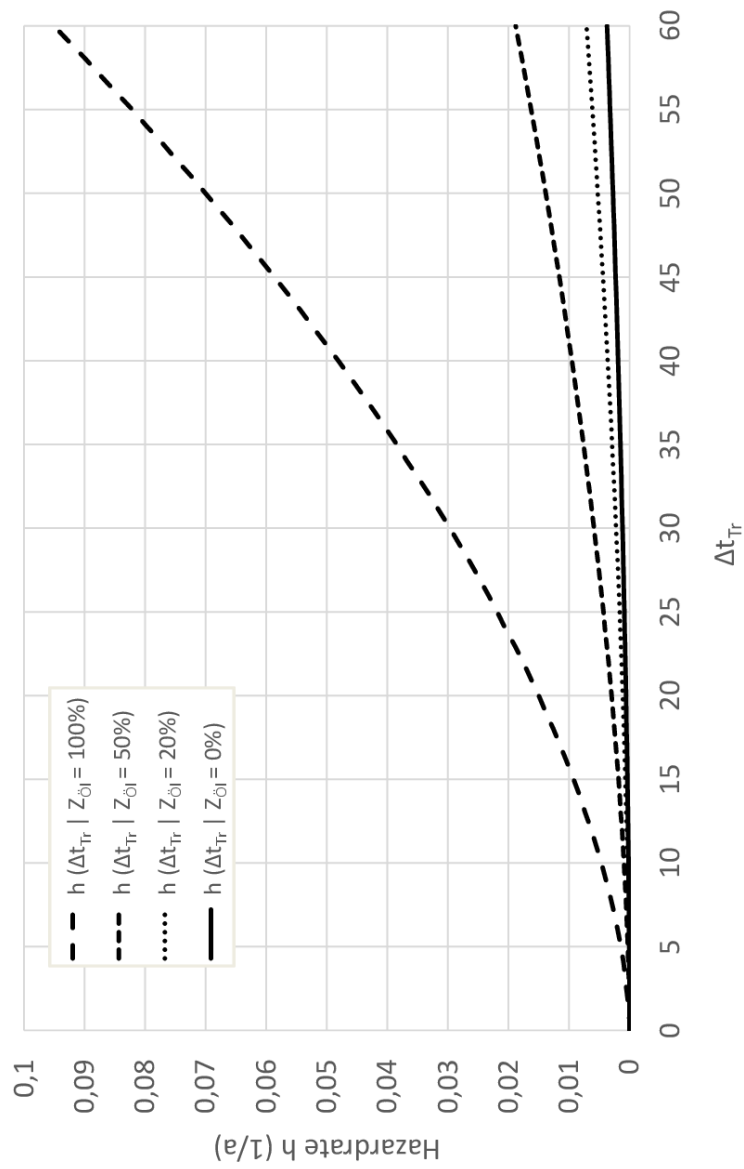
Ereignisse und ihre Auswirkungen auf die Wertebasis

Ereignis	Klassifizierung	Wirtschaftlichkeit	Mitarbeiterkultur	Produkt- attraktivität	Umwelt- und Sozialverträglichkeit	P
Ölaustritt	klein					
Ölaustritt	ab 100 l					
SF ₆ -Austritt	nur Druckverlust					
SF ₆ -Austritt	mit Anlagenausfall					
Gefährdung Mitarbeiter bei Instandhaltung	mit mehrtägigem Ausfall					
Gefährdung Mitarbeiter bei Instandhaltung	mit Berufs- unfähigkeit					
Gefährdung Mitarbeiter bei Instandhaltung	mit Todesfolge					
Stationsausfall	reversibel					
Stationsausfall	Totalschaden					
Mechanisches Versagen von MS-	offene Anlage					
Mechanisches Versagen von MS-	isolierte Anlagen					

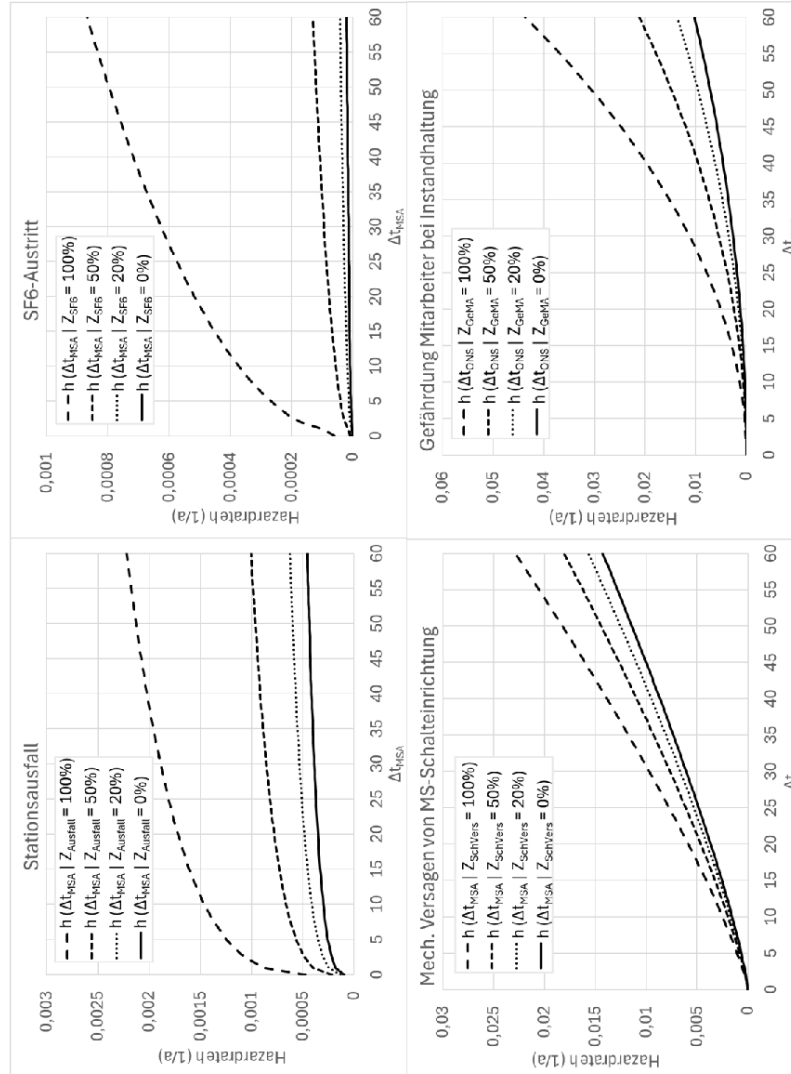
Ereignisorientierte Zustandsindizes



Hazardrate für den Ölaustritt



Hazardrates



A G E N D A

1 Motivation und generelle Idee

2 **Ergebnisse**

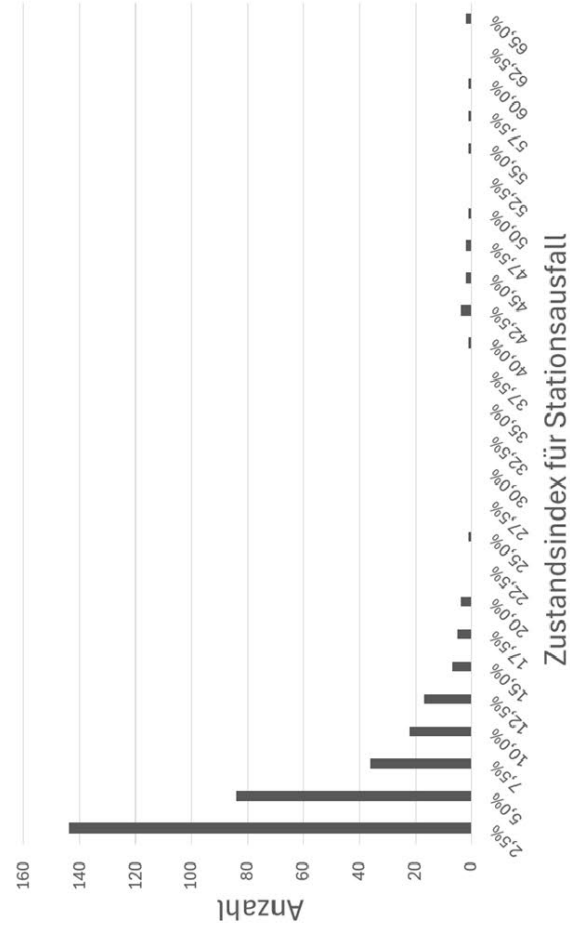
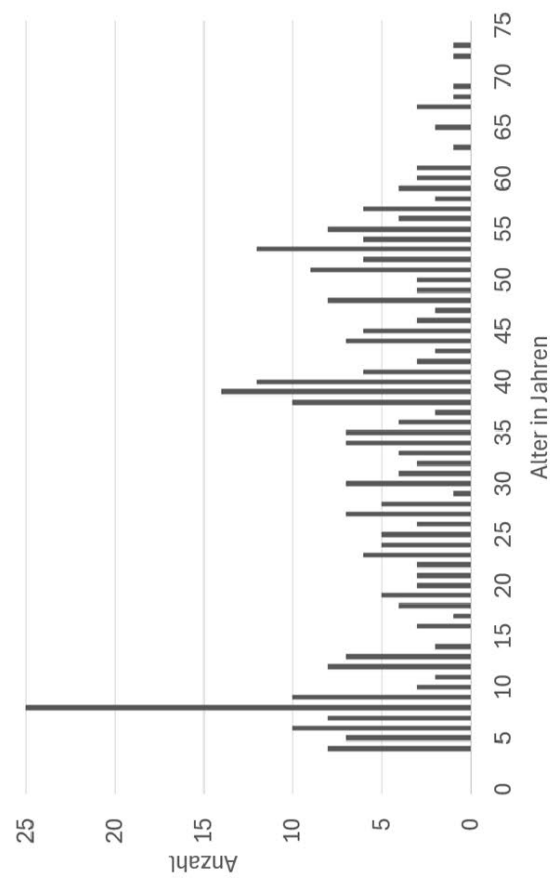
3 Stabilität der Ergebnisse

4 Vergleich mit klassischen Strategien

5 Zusammenfassung

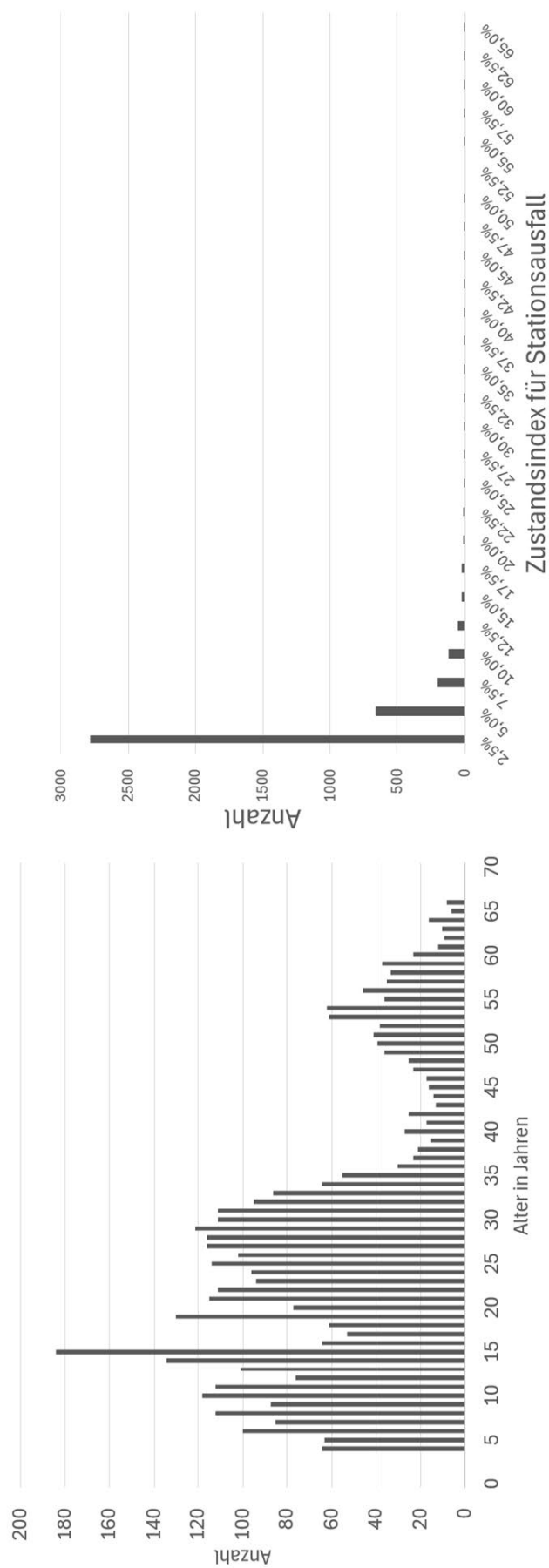
Beispielnetz 1: Ausgangszustand für Simulation

ca. 330 Stationen (links Altersverteilung; rechts Zustandsverteilung)



Beispielnetz 2: Ausgangszustand für Simulation

ca. 4000 Stationen (links Altersverteilung; rechts Zustandsverteilung)



Optimale Strategie aus Sicht der RL-Agenten (Beispielnetz 1)

Positive Auswirkung auf die Erlösobergrenze

- Maximal zugestandenen Erlöse aus Netzentgelten

OPEX

- Betriebskosten im weiteren Sinne (bspw. Wartung)

CAPEX

- Abschreibungen sowie Finanzierungskosten, über die Anreizregulierung verzinst (Sicherung der langfristigen Finanzierung des Unternehmens)

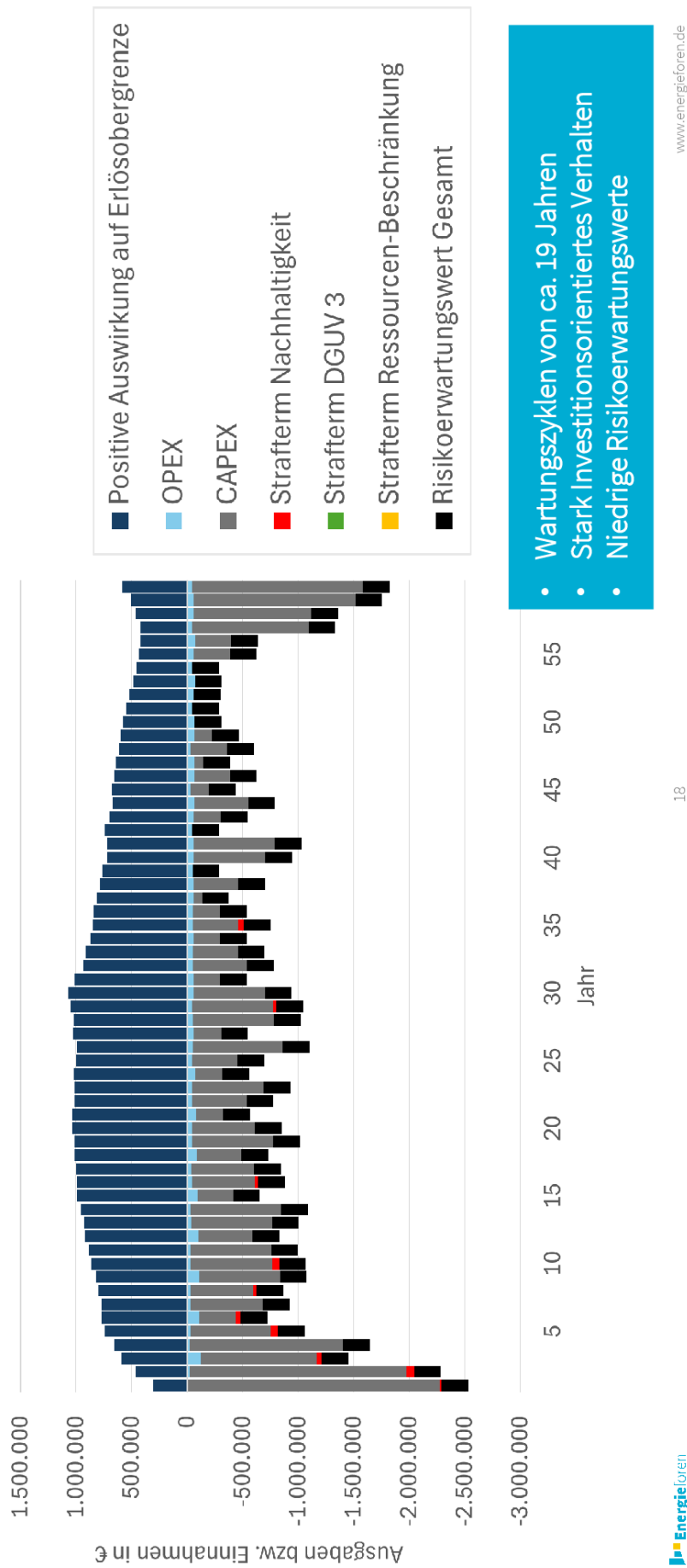
Risikoerwartungswerte (über alle Ereignisse kumuliert)

Strafterme

- Um das Verhalten des Agenten besser auszusteuern

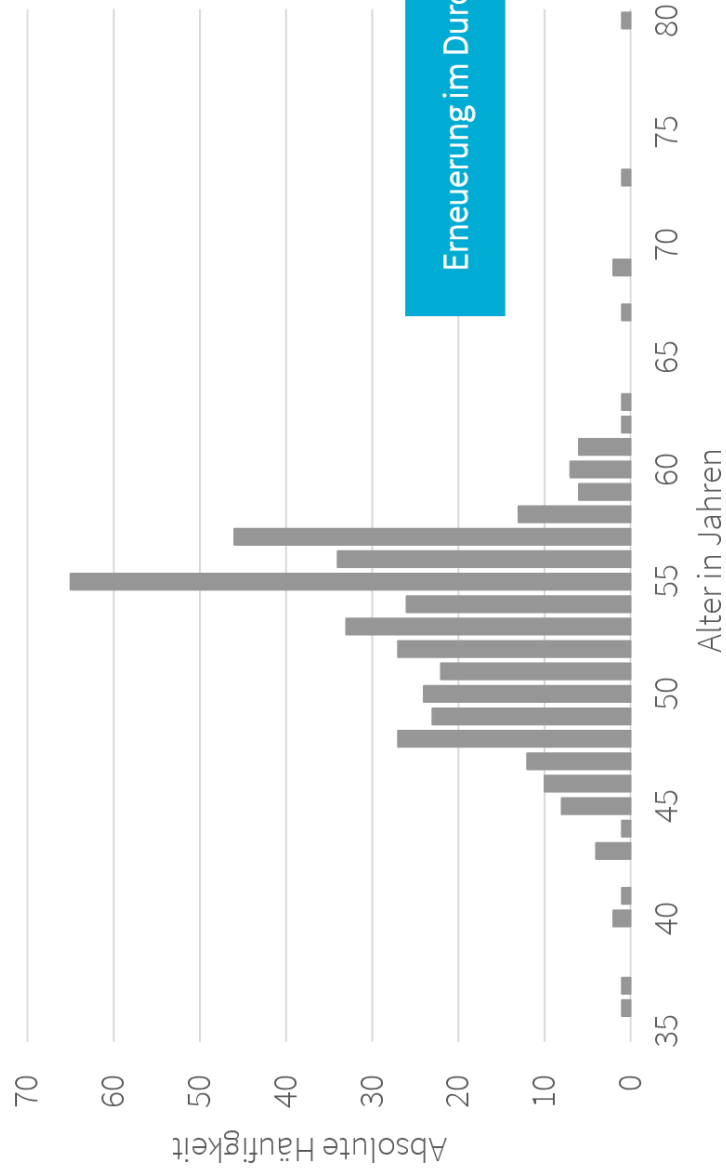


Optimale Strategie aus Sicht der RL-Agenten (Beispielnetz 1)

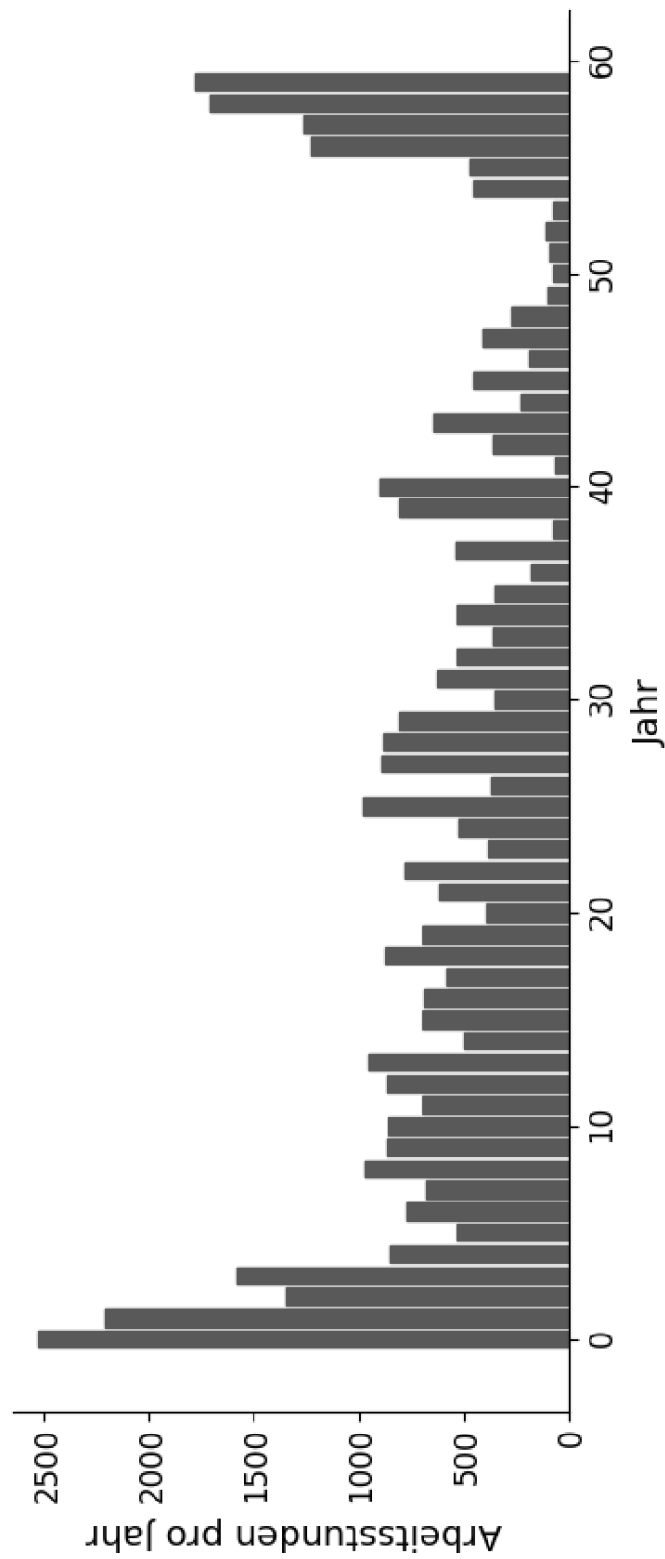


Optimale Strategie aus Sicht der RL-Agenten

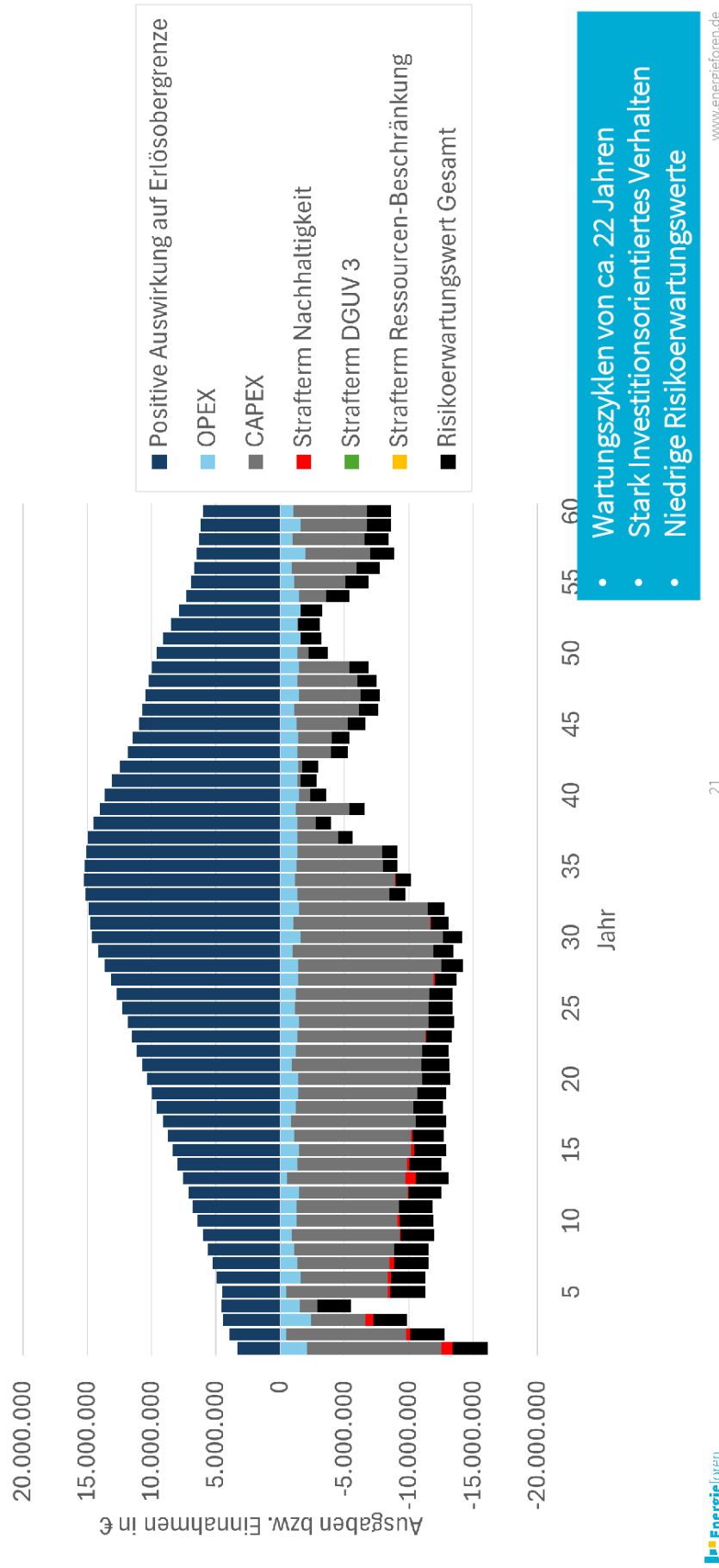
Wie alt ist eine Anlage wenn Sie erneuert wird?



Arbeitsstundenverteilung

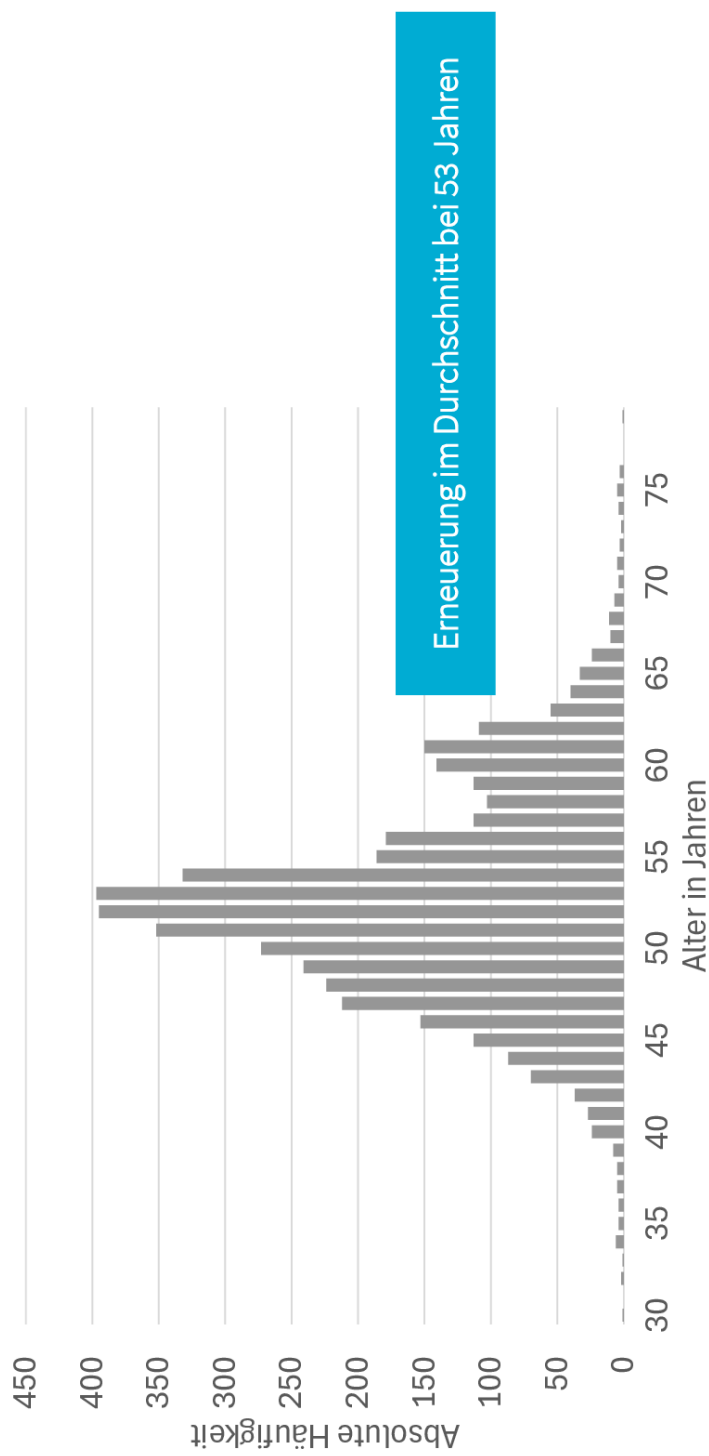


Optimale Strategie aus Sicht des RL-Agenten (Beispielnetz 2)



Durchschnittliches Alter bei Erneuerung

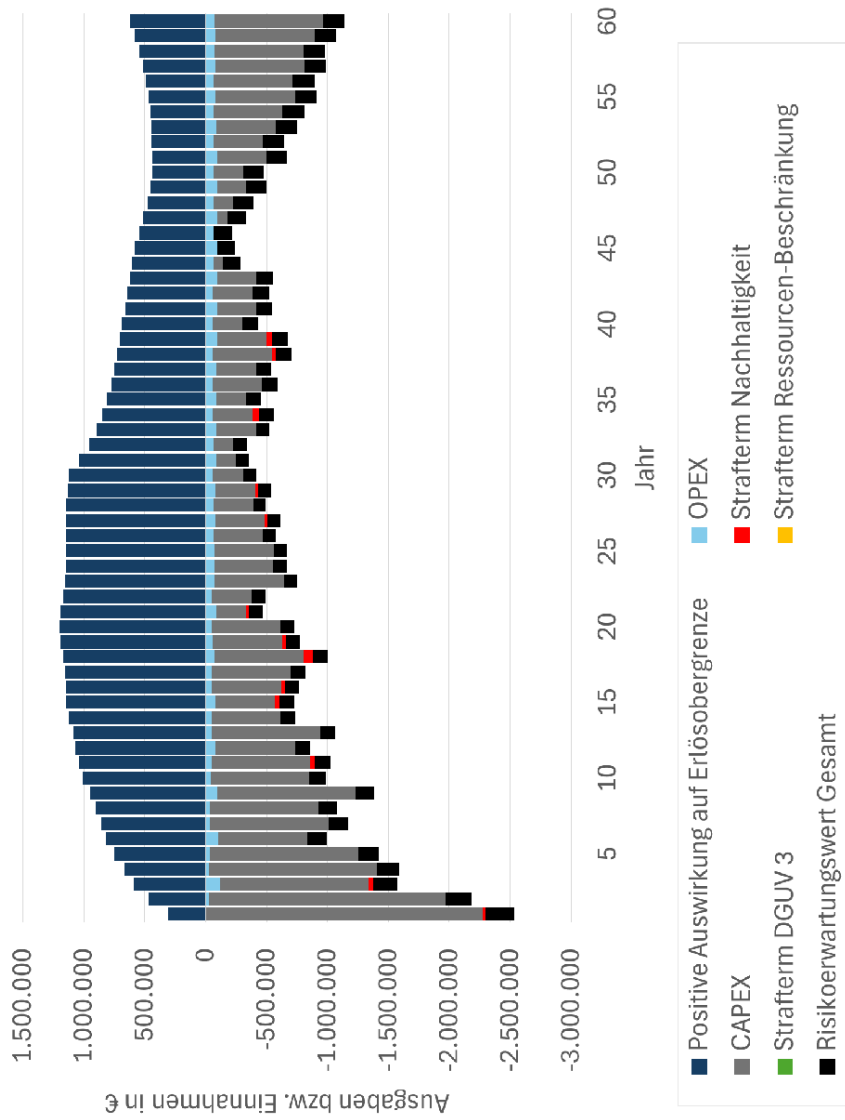
Wie alt ist eine Anlage wenn Sie erneuert wird?



A G E N D A

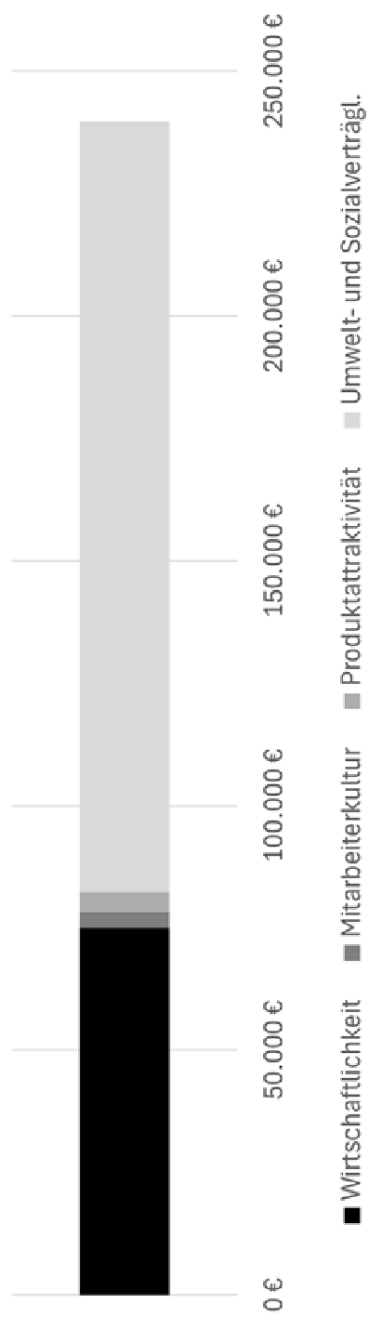
- 1 Motivation und generelle Idee
- 2 Ergebnisse
- 3 Stabilität der Ergebnisse**
- 4 Vergleich mit klassischen Strategien
- 5 Zusammenfassung

Simulationsergebnisse für Beispielnetz 1 bei 10x Alterung

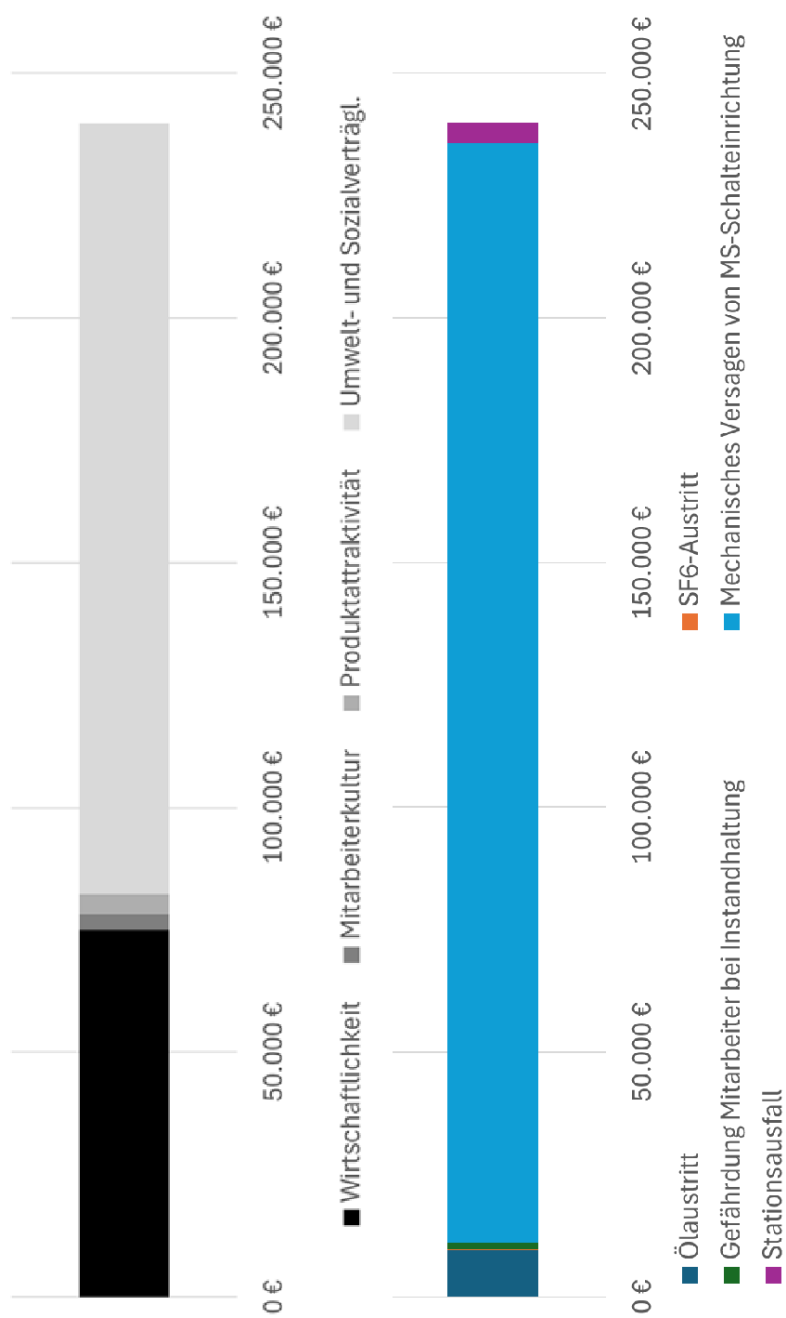


- Risikoerwartungswerte von 10,6 Mio. € auf 8,5 Mio. € gesunken
- OPEX (von 3,3 Mio. € auf 4,1 Mio. €) erheblich erhöht und CAPEX minimal gestiegen (von 32,8 Mio. € auf 34 Mio. €)

Risikowertungswert im 1. Jahr für Beispielnetz 1 für alle ONS

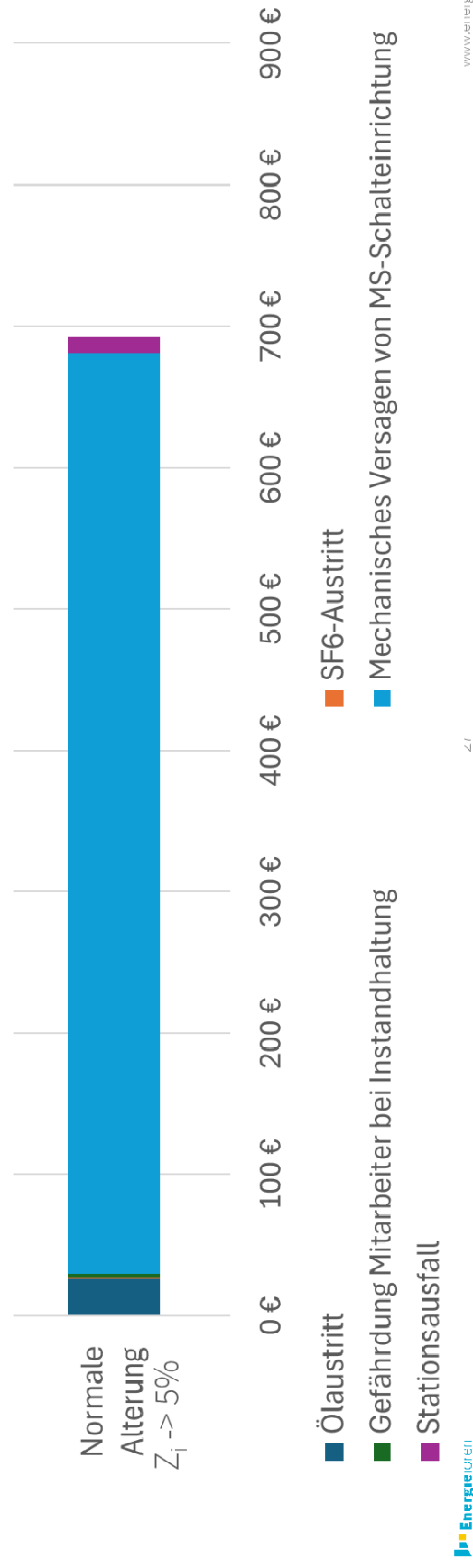


Risikowertungswert im 1. Jahr für Beispielnetz 1 für alle ONS



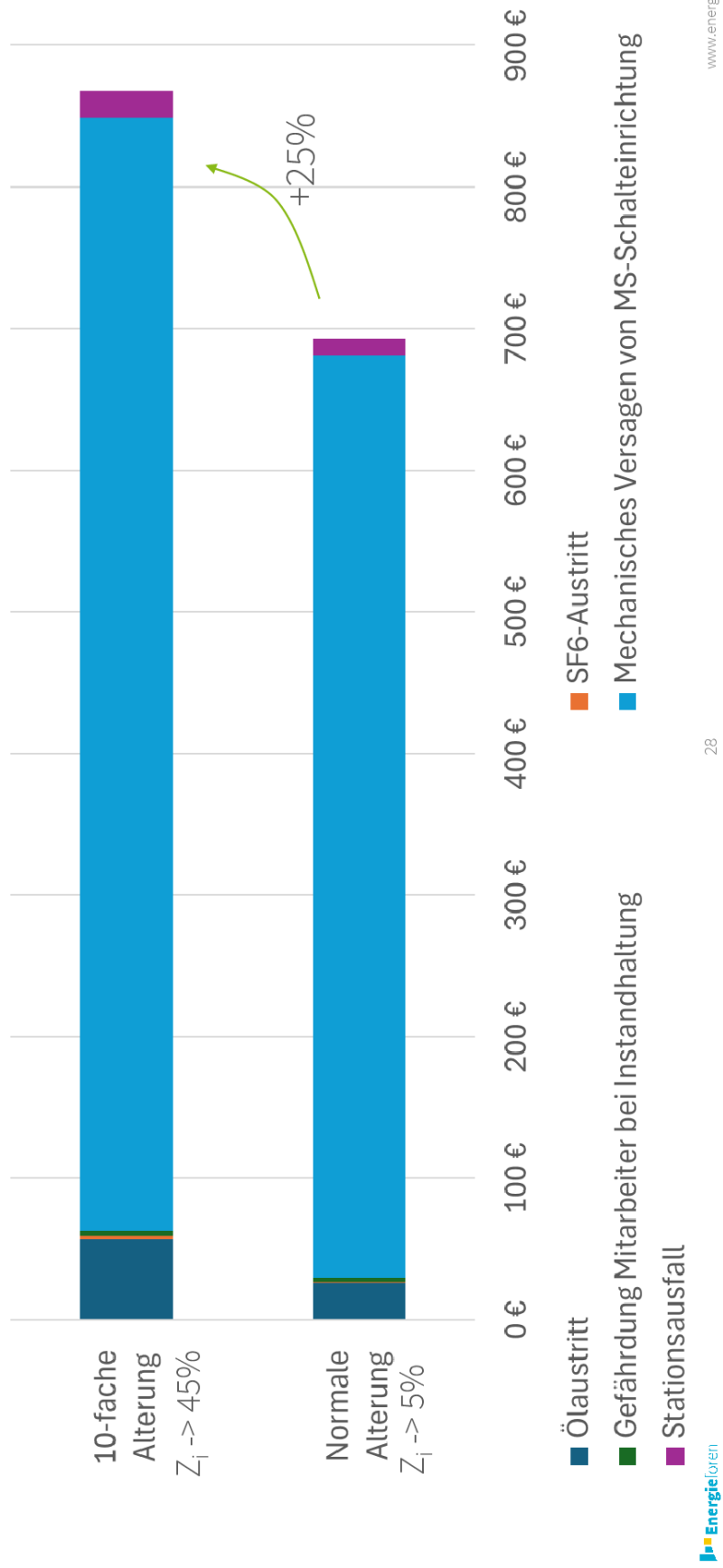
Risikoerwartungswert

ONS im Alter von 45 Jahren für das 45. Jahr

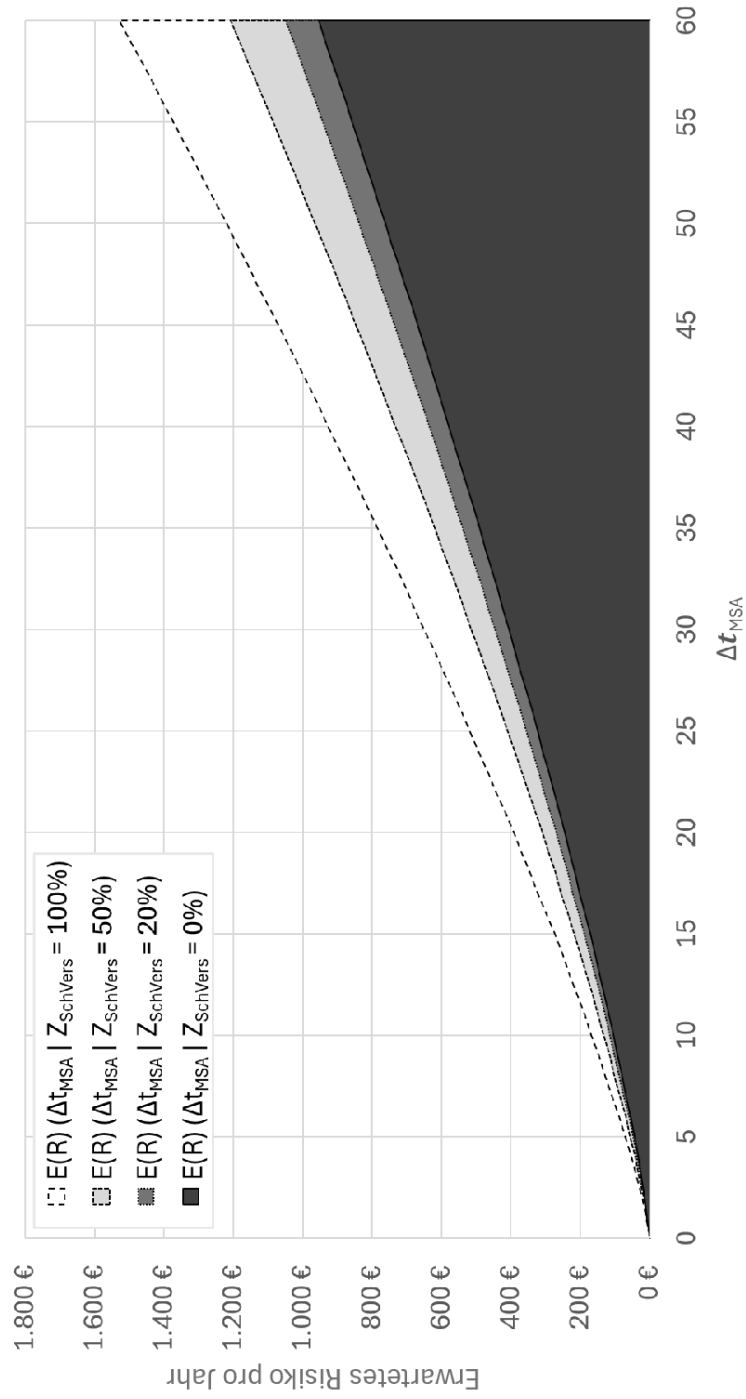


Risikoerwartungswert

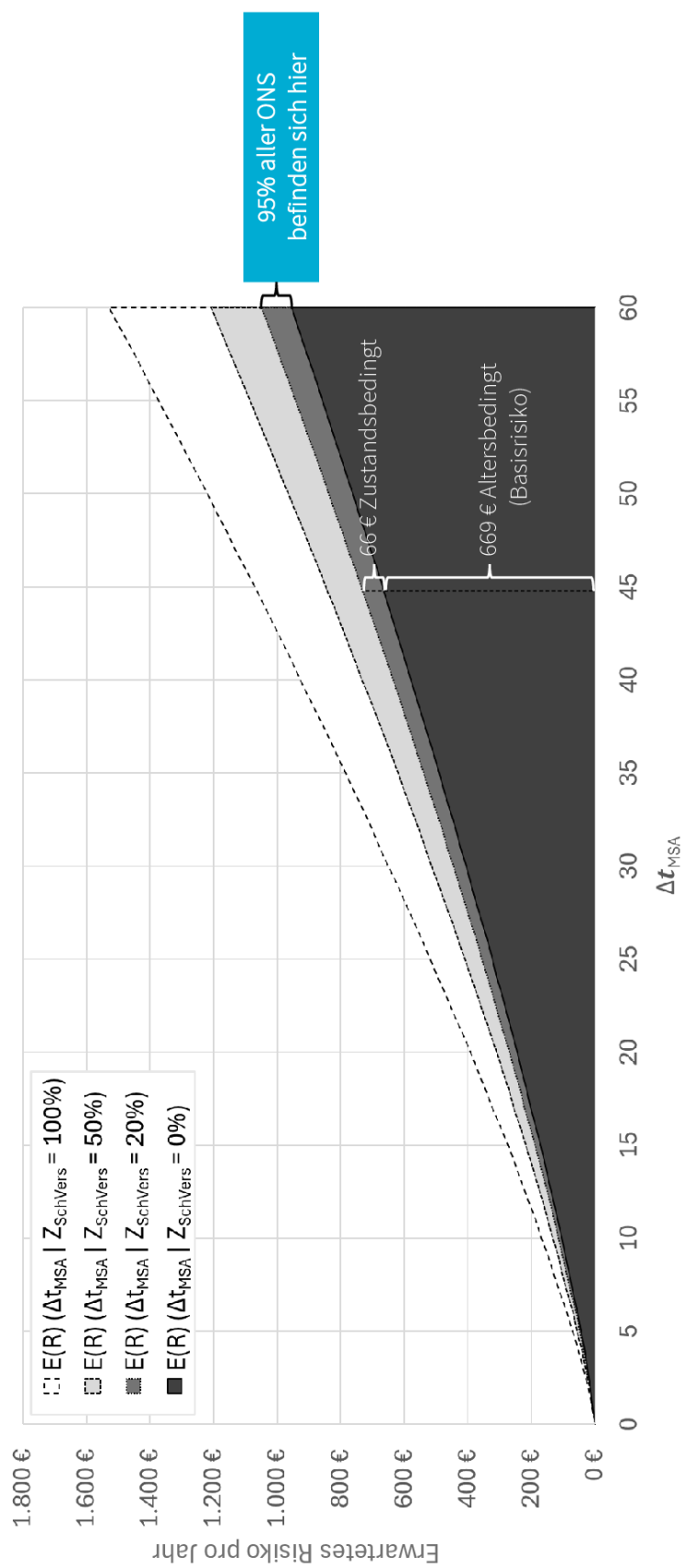
ONS im Alter von 45 Jahren für das 45. Jahr



Hazardrate interpretiert als „Eurorate“

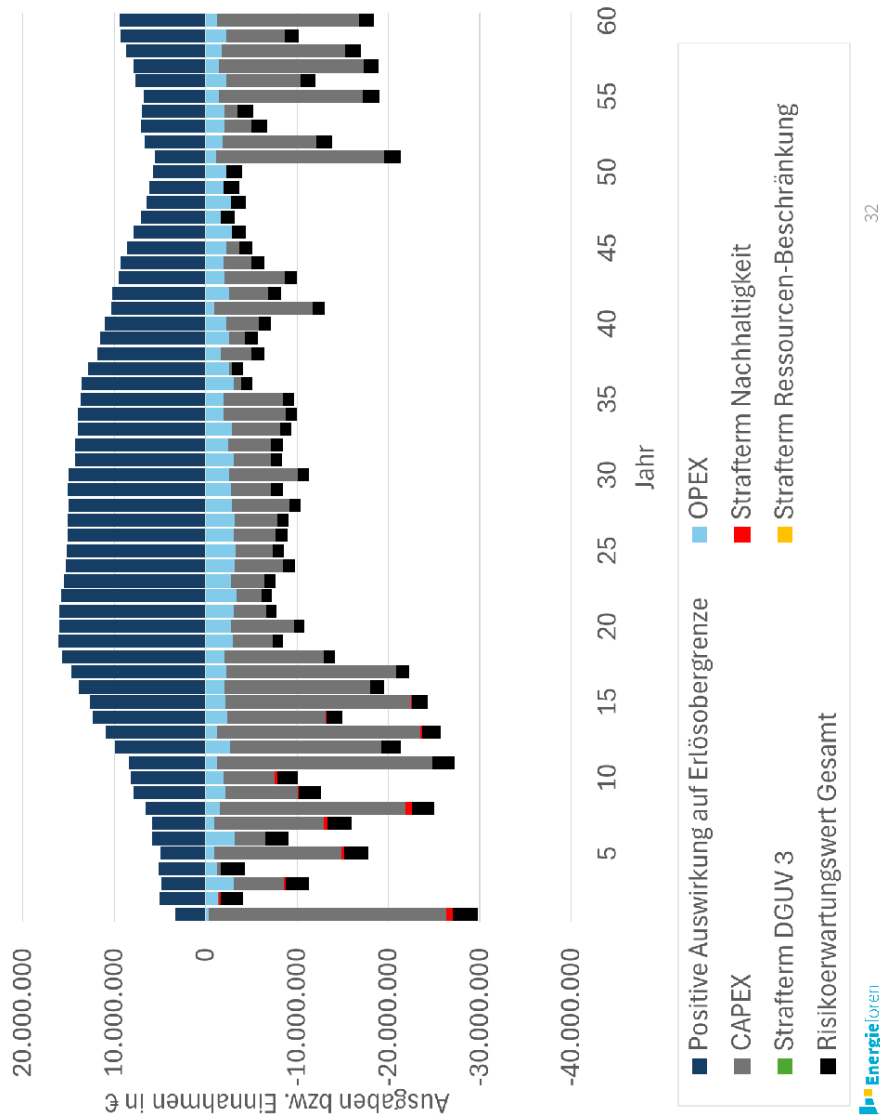


Hazardrate interpretiert als „Euro rate“



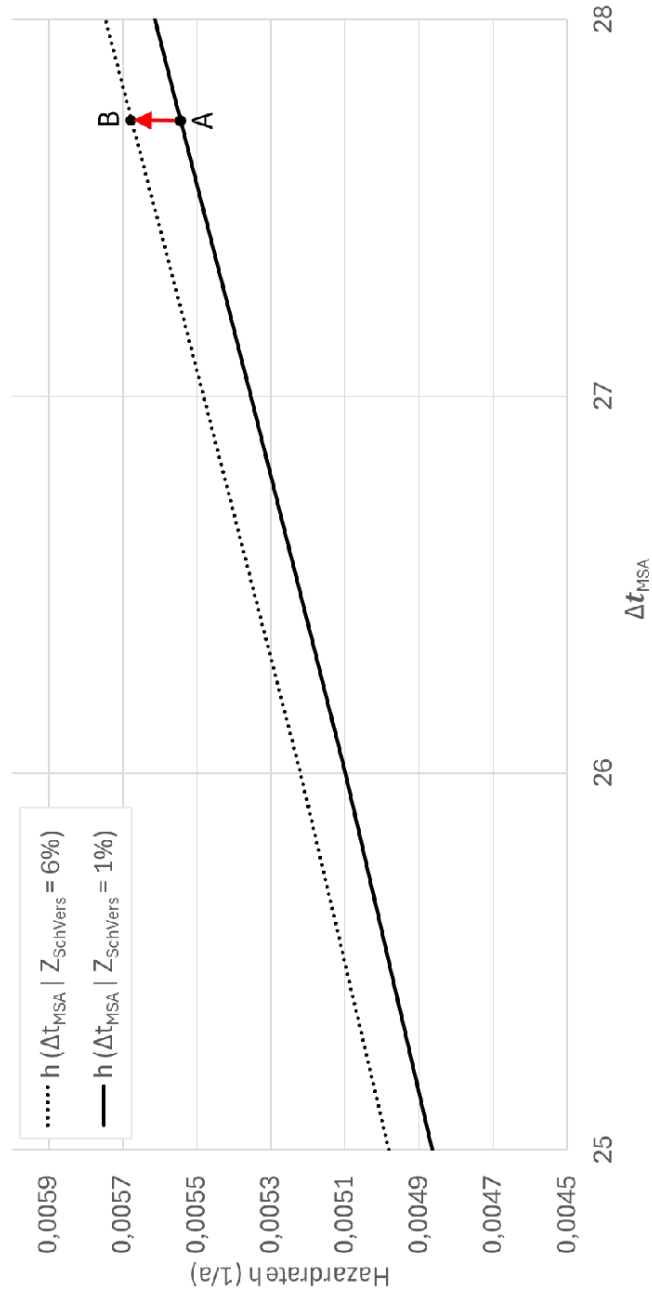
Stabilität der Ergebnisse anhand von Beispielnetz 2

Simulationsergebnisse für Beispielnetz 2 bei 10x Alterung

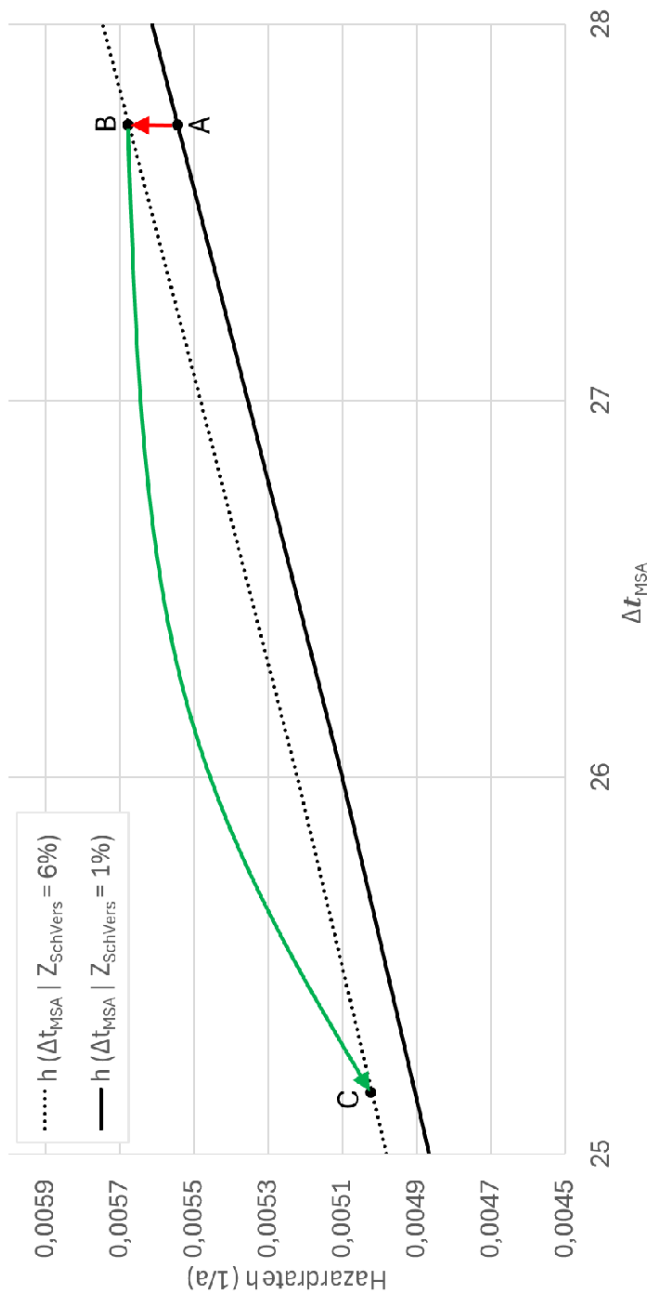


- ereignisbasierte Zustandsindizes im Durchschnitt von ca. 1% auf ca. 6% gestiegen
- Risikoerwartungswerte von 112,8 Mio.€ auf 98,5 Mio. € gesunken
- OPEX (von 78,5 Mio.€ auf 131 Mio.€) und auch CAPEX (von 385 Mio.€ auf 463,2 Mio.€) erheblich erhöht

Wirkung von Zustandsverschlechterung für das Ereignis „mechanisches Versagen von MS-Schaltleinrichtung“



Wirkung von Altersverjüngung für das Ereignis „mechanisches Versagen von MS-Schaltleinrichtung“



A G E N D A

- 1 Motivation und generelle Idee
- 2 Ergebnisse
- 3 Stabilität der Ergebnisse
- 4 Vergleich mit klassischen Strategien
- 5 **Zusammenfassung**

Wesentliche Erkenntnisse dieser Arbeit

- Entscheidungen im AM durch Kenntnisse des Zustands des Anlagen-Kollektivs mit Hilfe von KI-Methoden **zu unterstützen** ist grundsätzlich möglich, aber eine **Abbildung der Entwicklung und Einfluss auf Asset-Strategien** in Abhängigkeit des Zustands **ist komplex und benötigt eine solide Datenbasis (Zustandsdatenbank sowie Störungsstatistik)**
- Die **erwarteten Risiken** für Ortsnetzstationen sind erwartungsgemäß **gering**
- Die **positive Wirkung** von **Wartungen** in Bezug auf Ereignisse **ist gering**
- Die Asset-Strategie wird **maßgeblich** durch Erneuerungen aufgrund des Effektes des KKA aus der Regulierung beeinflusst
- **Alter und Zustand** sind zentrale Faktoren – in Teilen überwiegt der Einfluss des Alters für die REW
- Gegenüber klassischen Strategien bestehen **weiterhin Potenziale**, die gehoben werden können

Ansprechpartner



Arkadius Mateja

Leiter Kompetenzfeld Erzeugung & Infrastruktur
Energieforen Leipzig GmbH

T: +49 341 98988-521

E: arkadius.mateja@energieforen.de



Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek

Professor für Elektrische Energieversorgungstechnik
Bergische Universität Wuppertal

T: +49 202 439 1976

E: zdrallek@uni-wuppertal.de



Dr. Daniel Merk

Data Analyst Kompetenzfeld Analytik & IT
Energieforen Leipzig GmbH

T: +49 341 98988-546

E: Daniel.merk@energieforen.de



Dirk Gromoll, M. Sc.

**Forschungsgruppe
Zustandsbewertung und Asset Management**
Bergische Universität Wuppertal

T: +49 202 439 3001

E: gromoll@uni-wuppertal.de



Patrick Horn

Abteilungsleiter Technik Netze Strom
Stadtwerke Troisdorf

T: +49 2241 888 215

E: hornp@stadtwerke-troisdorf.de



Lukas Lenz

Technischer Asset Manager
Energieetze Hamburg

T: +49 40 49202 8633

E: Lukas.lenz@hamburger-energienetze.de

Zustandsbewertung von Leistungsschaltern in freiluftisolierten Anlagen

Korbinian Maurer

Project Manager Service Solutions
Maschinenfabrik Reinhausen GmbH

Thomas Brock

Strategische Planung
Netze Duisburg GmbH

Wuppertaler Energie-Forum Zustandsbewertung von Leistungsschaltern in freiluftisolierten Anlagen

Korbinian Maurer (Maschinenfabrik Reinhausen)
Thomas Brock (Netze Duisburg)



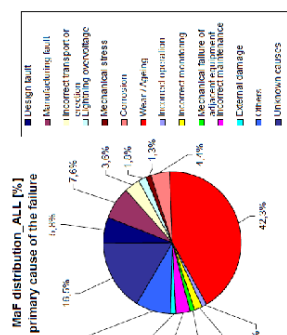
6-Feb-26 | 1



Notwendigkeit einer Zustandsbewertung von Betriebsmitteln

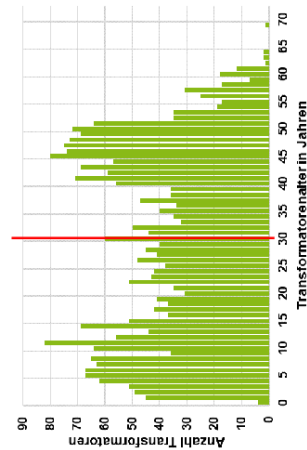
Versorgungszuverlässigkeit

- + **Zuverlässige & sichere** Energieversorgung nach § 11 EnWG
- + **Leistungsschalter** spielen zentrale Rolle in der **Netzsicherheit**
- + **Zustandsbewertung** erhöht die **Betriebssicherheit**, da potenzielle **Ausfälle** frühzeitig erkannt werden



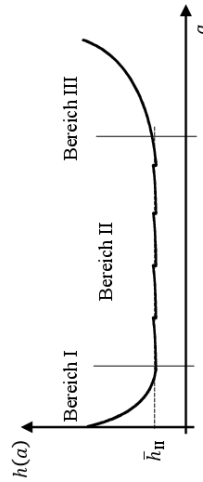
Altersstruktur

- + **Alternde** Infrastruktur und steigender Energiebedarf erhöhen den Druck
- + Kenntnis über das **Alterungsverhalten** und damit Einführung **optimierter Asset-Strategien**



Wirtschaftlichkeit

- + Betrieb der Anlagen bis zum Erreichen ihrer **tatsächlichen technischen** Lebensdauer (Investitionsverschiebung)
- + Bewertung zur Ableitung **optimierter Instandhaltungs- & Erneuerungsstrategien**
- + **Verhinderung** von **verfrühten** und **ungerechtfertigten** Erneuerungsmaßnahmen

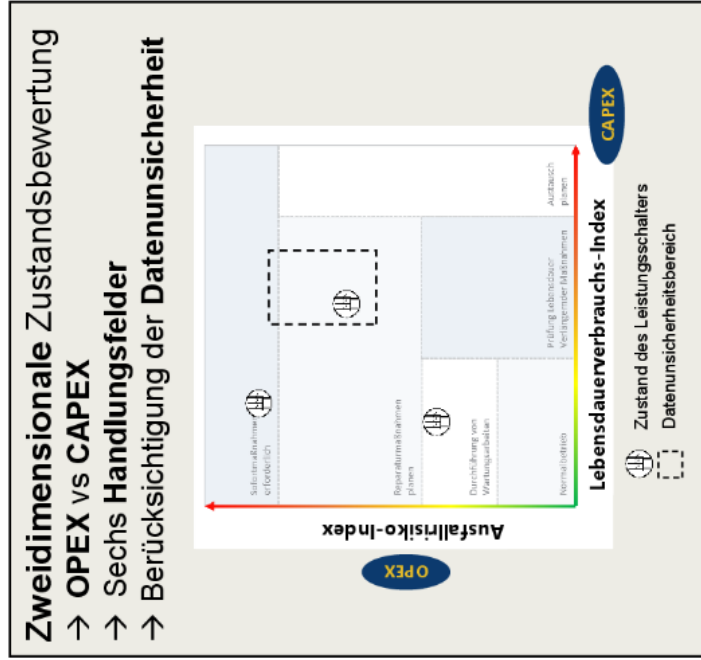
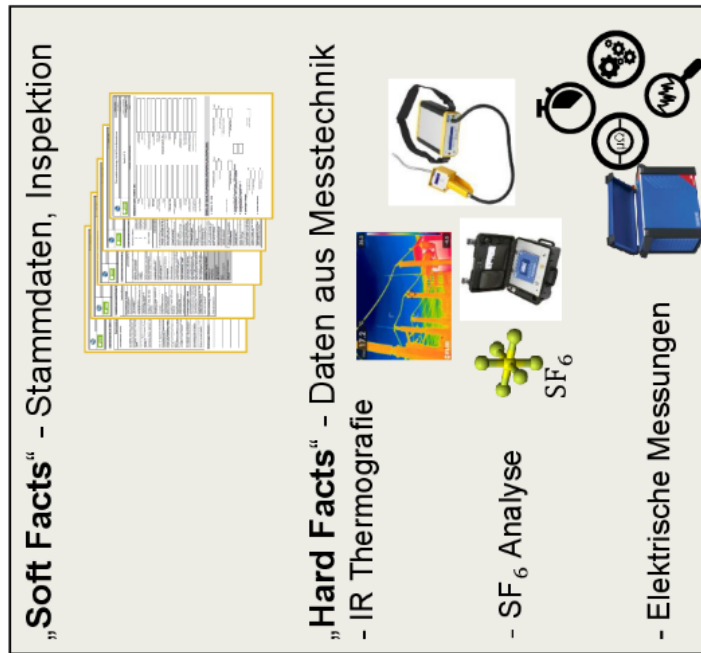


CIGRE TB 510: Final Report of the 2004 – 2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment Part 2, 2012

6-Feb-26 | 2



Zweidimensionaler Ansatz der Maschinenfabrik Reinhausen

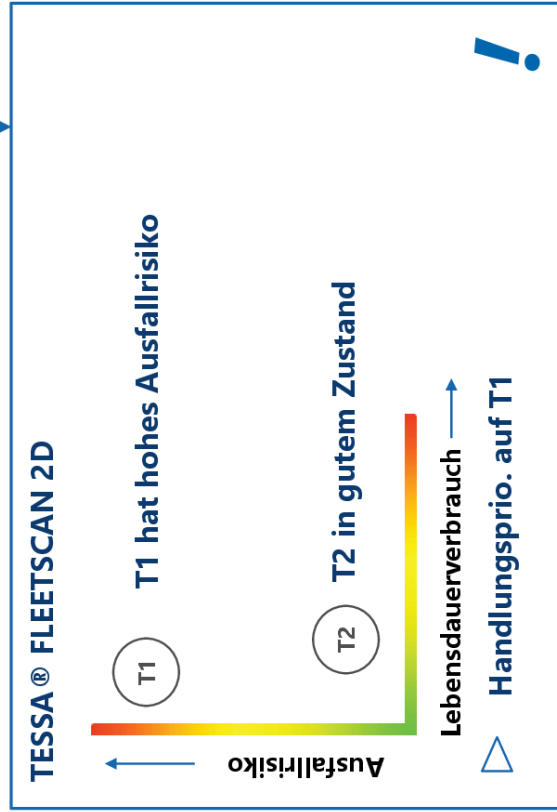
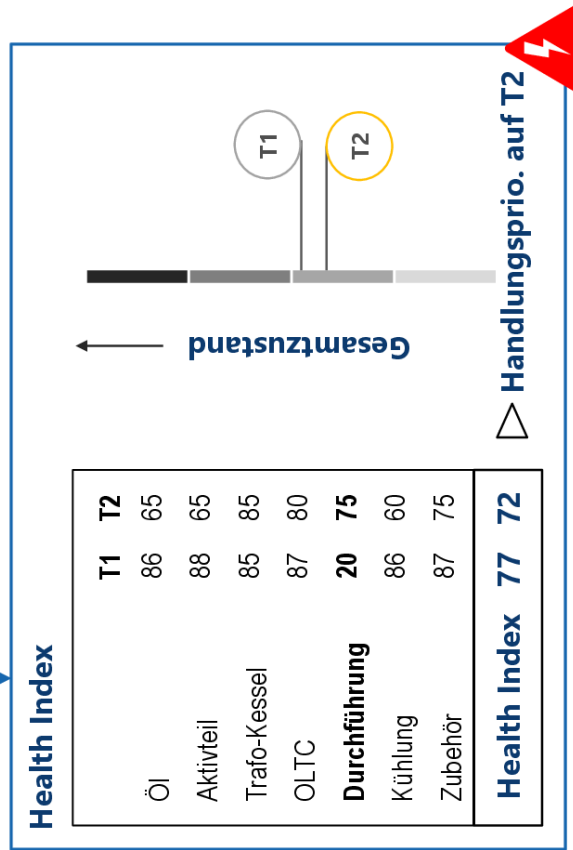


6-Feb-26 | 3

Zweidimensionaler Ansatz der Maschinenfabrik Reinhausen

TESSA® FLEETSCAN 2D vs. herkömmliche Methoden

Bewertung zweier Transformatoren: T1 = neu, beschädigte Durchführung, T2 = alt, guter Zustand



Zweidimensionaler Ansatz der Maschinenfabrik Reinhausen

Zwei Kerndimensionen

1

Ausfallrisiko-Index:
Zuverlässigkeit

- + Misst die Wahrscheinlichkeit eines Funktionsausfalls: Zuverlässigkeit
- + Primärer Nutzer: Service Manager
- + Primäres Ziel: Kurzfristige Wartungsentscheidungen, um die Zuverlässigkeit zu erhöhen

OPEX

2

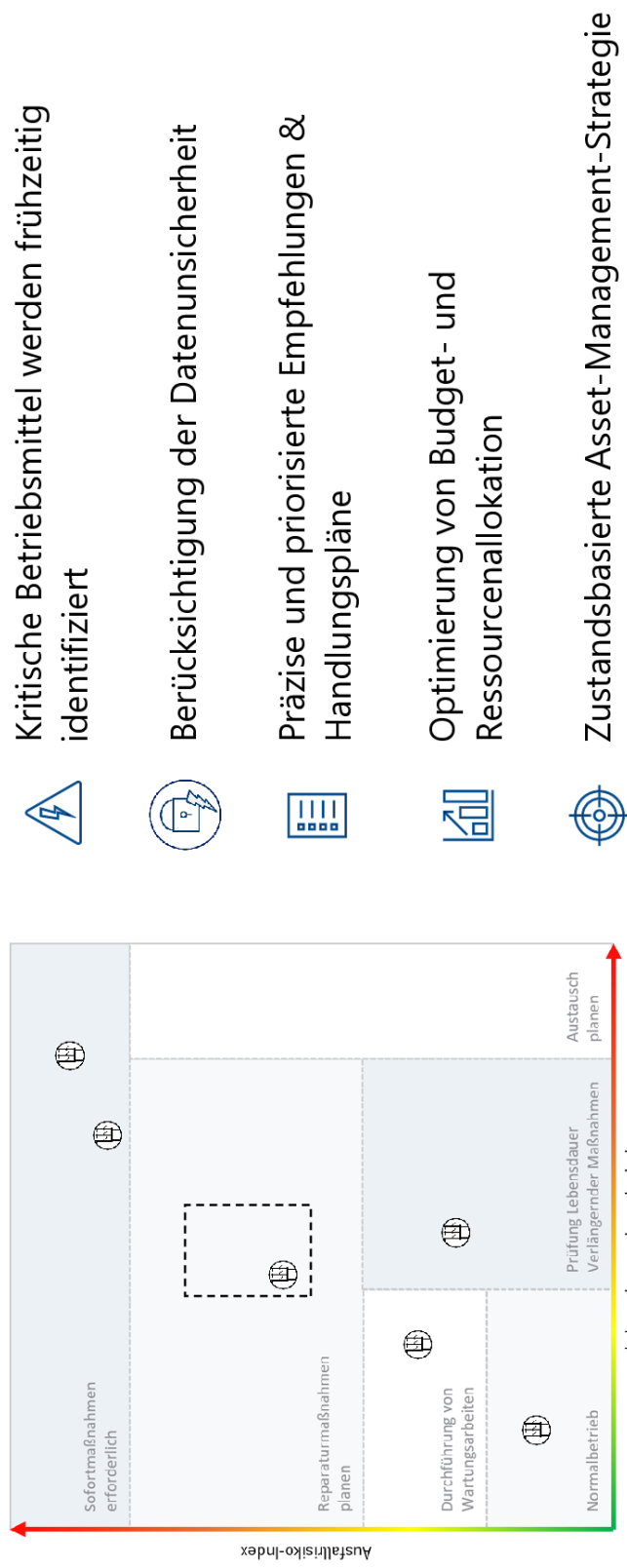
Lebensdauerverbrauchs-Index:
Nachhaltigkeit

- + Misst die Restlebensdauer der Anlagen: Nachhaltigkeit
- + Primärer Nutzer: Asset Manager
- + Primäres Ziel: Langfristige Investitionsentscheidungen, um die Lebensdauer der Flotte zu verlängern

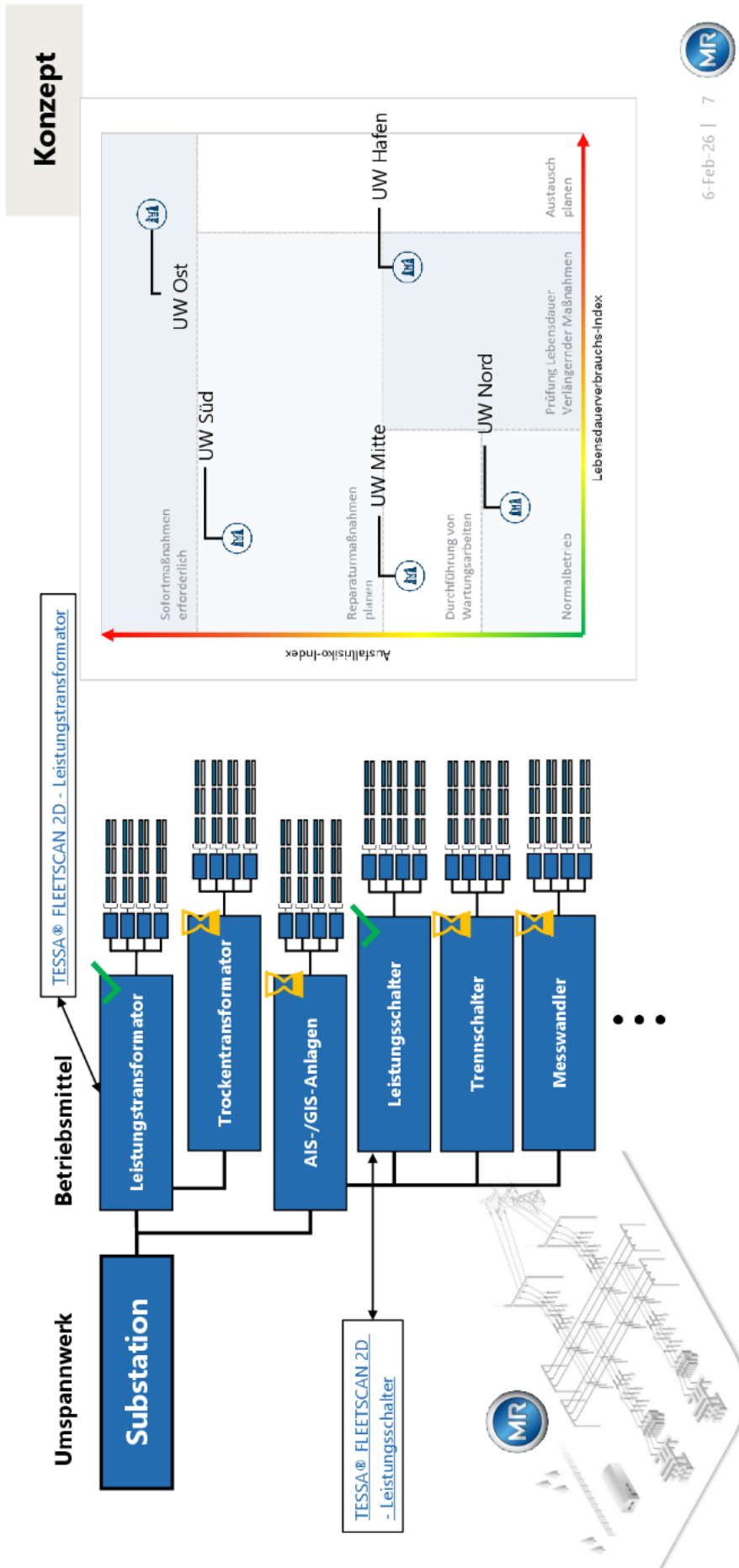
CAPEX



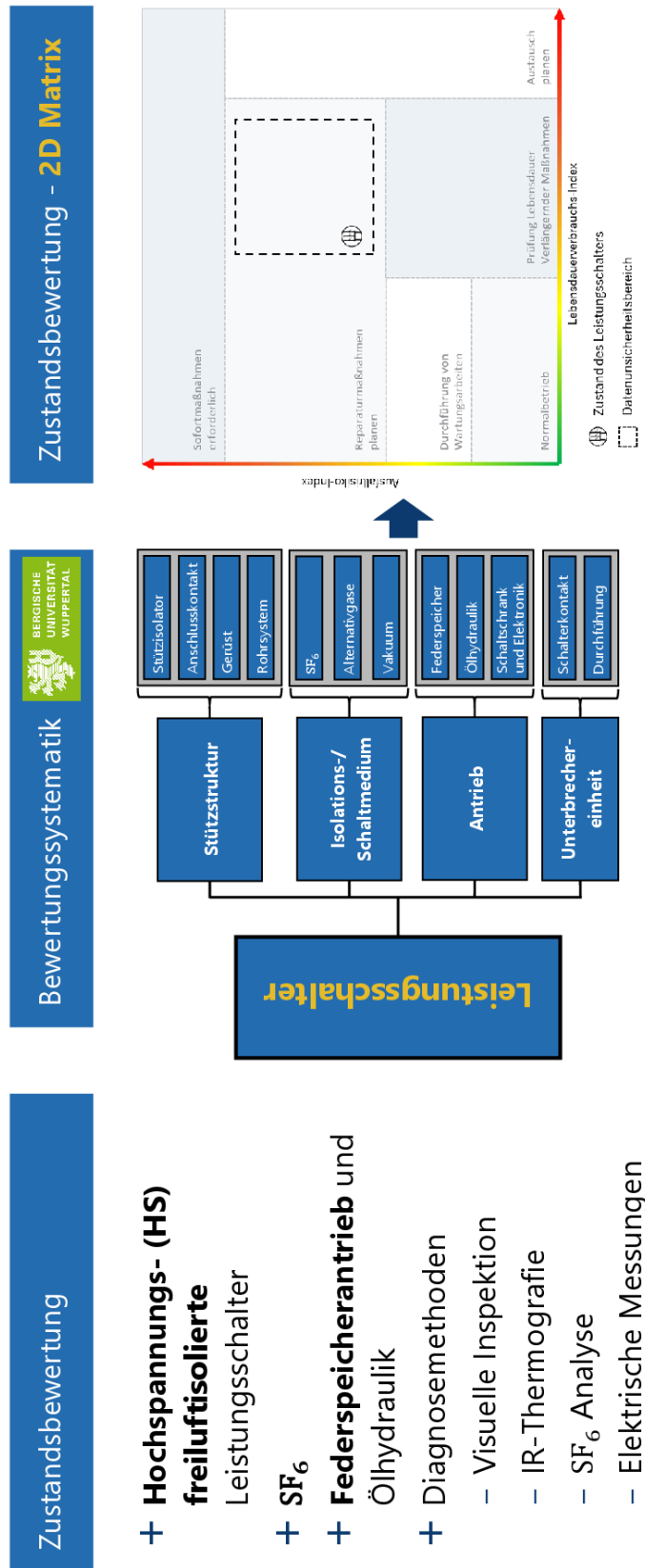
Zweidimensionaler Ansatz der Maschinenfabrik Reinhausen



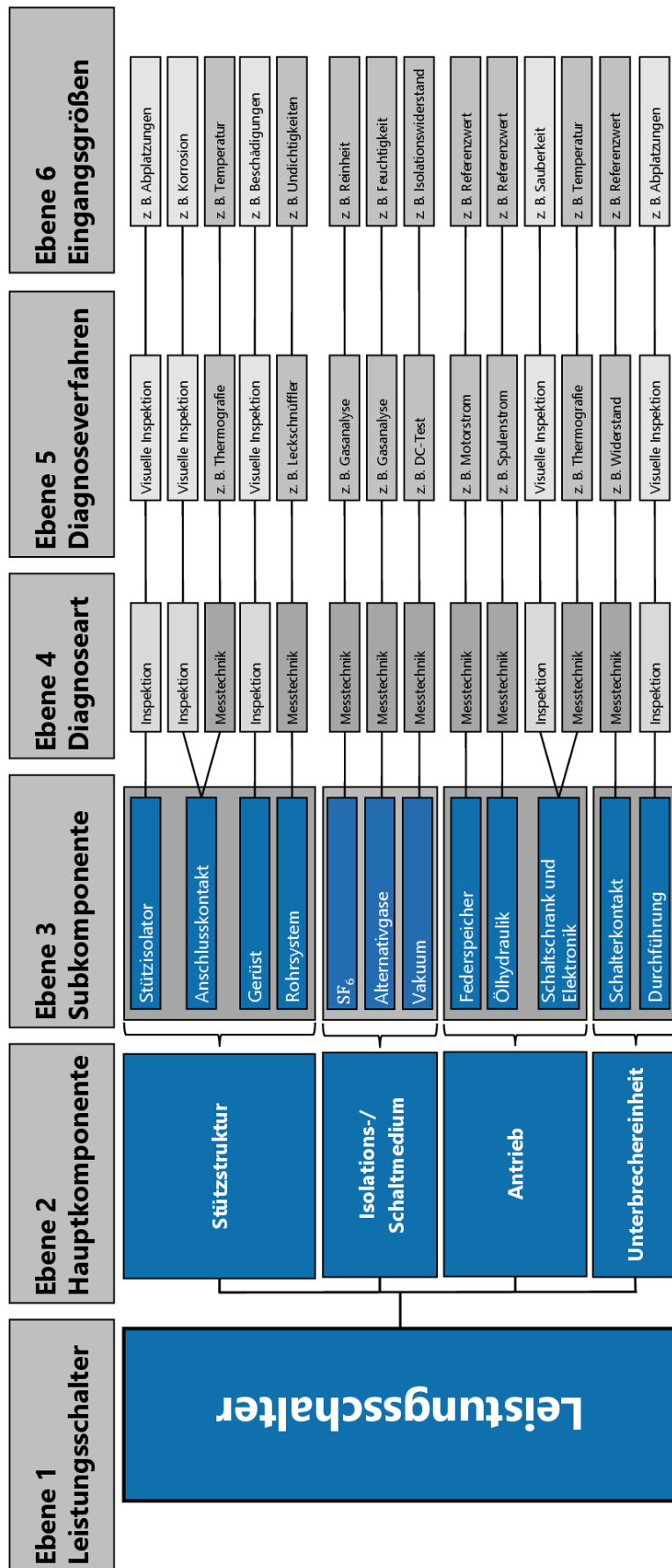
Vision: Ganzheitliche Zustandsbewertung im Umspannwerk



Zustandsbewertung von freiluftisolierten HS-Leistungsschaltern



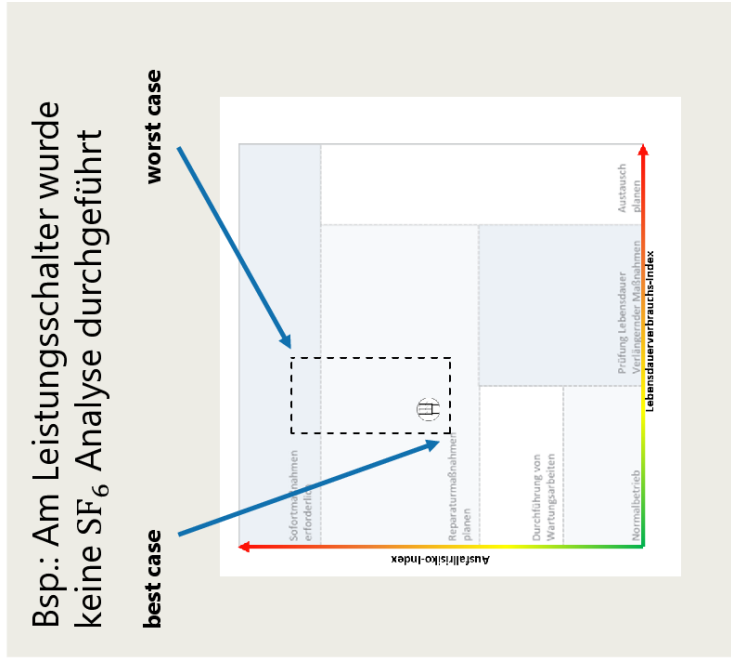
Aggregationssystematik und Eingangsgrößen



6-Feb-26 | 9

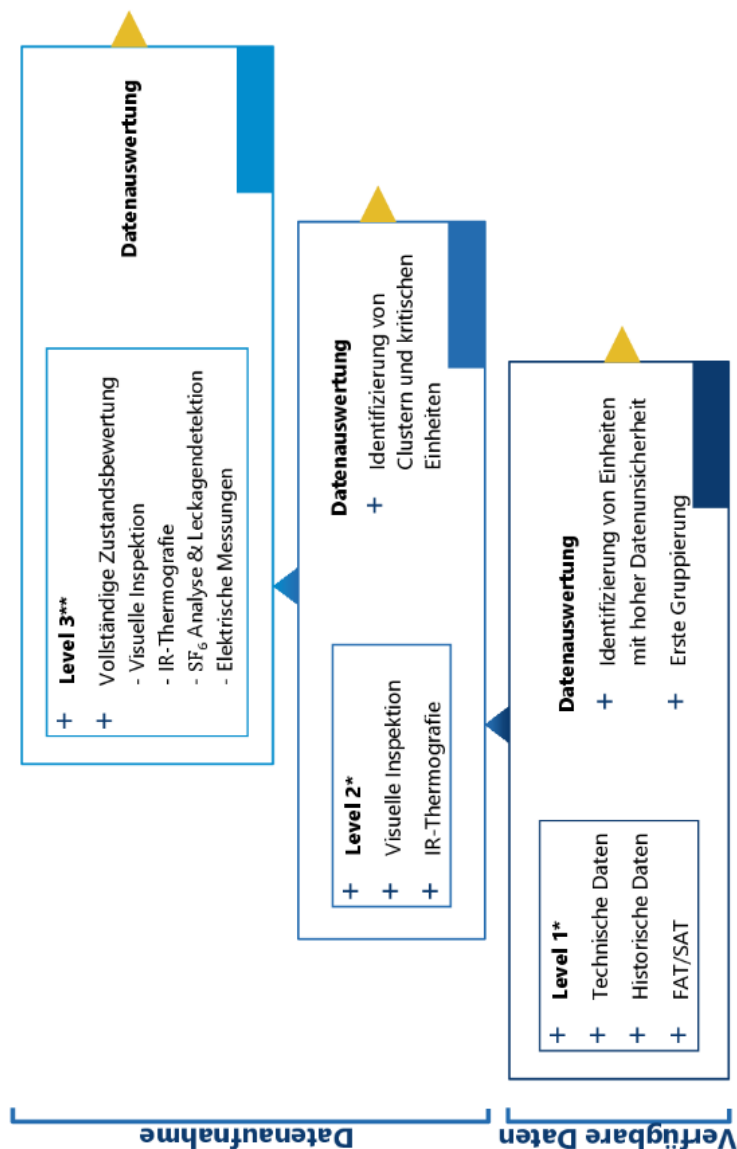
Berücksichtigung der Datenunsicherheit

- + **Soft-Facts** sind zwar realitätsgerecht, aber nicht zwangsläufig objektiv genug
- + **Wirksame objektive Gegenmaßnahmen:**
 - Vereinheitlichung der Bewertungsgrundsätze durch detaillierte Checklisten und Bewertungsleitfaden/Schadenskatalog
 - Einsatz von Messtechnik
 - **Kombination der Soft-Facts mit Hard-Facts**
- **Subjektivität wird minimiert und Aussagekraft der Zustandsbewertung wird wesentlich erhöht**



TESSA® FLEETSCAN 2D – Leistungsschalter

3 Level Ansatz



Ergebnisse:

- + Einordnung in der **2D-Matrix** anhand
 - **Lebensdauerverbrauchs-Index**
 - **Ausfallrisiko-Index**
- + Berücksichtigung der Datenunsicherheit
- + Priorisierte **Handlungsempfehlungen** für einzelne Betriebsmittel, aber auch über das gesamte Kollektiv



Einheit	Lebensdauerverbrauchs-Index	Ausfallrisiko-Index	Handlungsempfehlung
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10

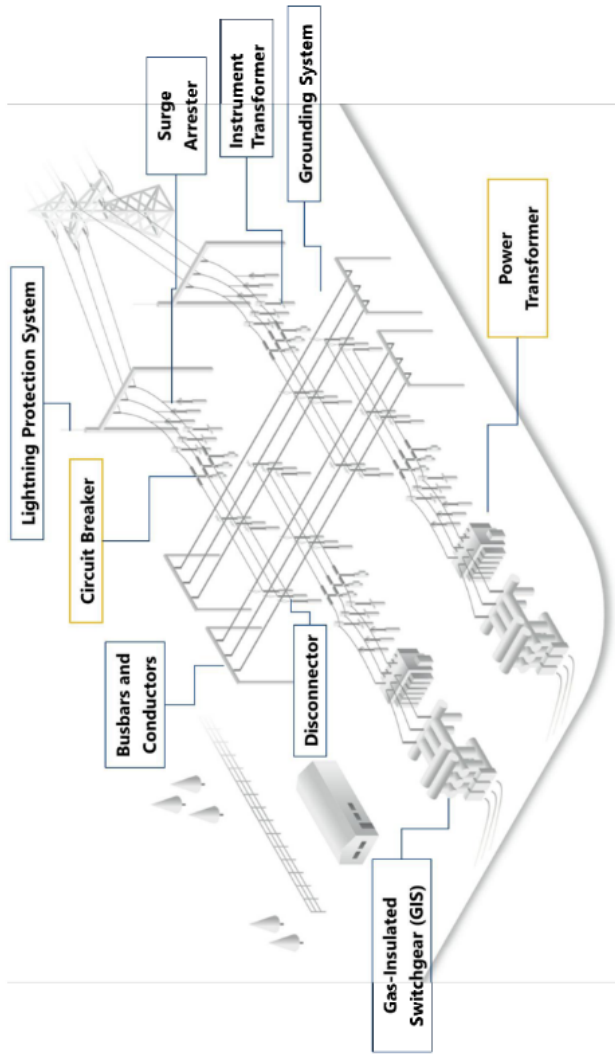


6-Feb-26 | 11

*in Betrieb, **außer Betrieb ▲ Hohe Datenunsicherheit ▼ Datenunsicherheit ausreichend minimiert

Erweiterung der Zustandsbewertungssystematik

- + Trenn- & Erdungsschalter
- + Messwandler
- + Überspannungsableiter
- + Isolatoren
- + Sammelschiene
- + AIS-Schaltanlage
- + GIS-Schaltanlage
- + Kabel / Freileitungen

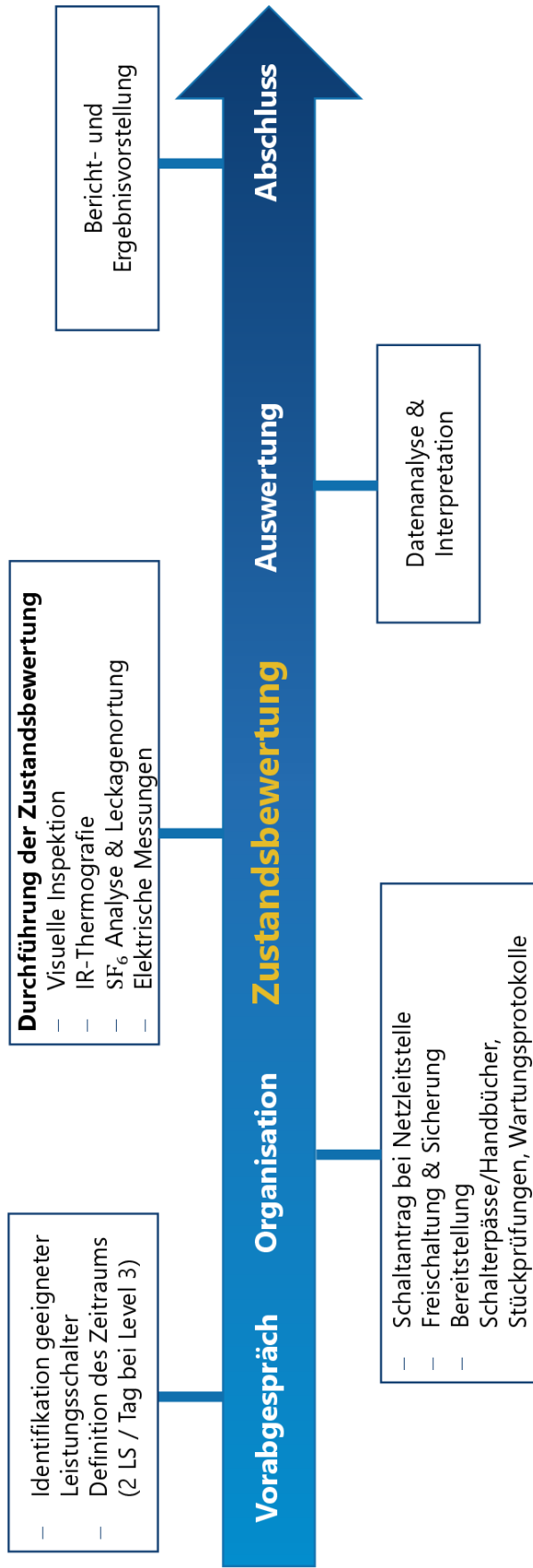


- + **Ganzheitliche Zustandsbewertung** der elektrischen Betriebsmittel im Umspannwerk

Erfahrungen aus der Praxis

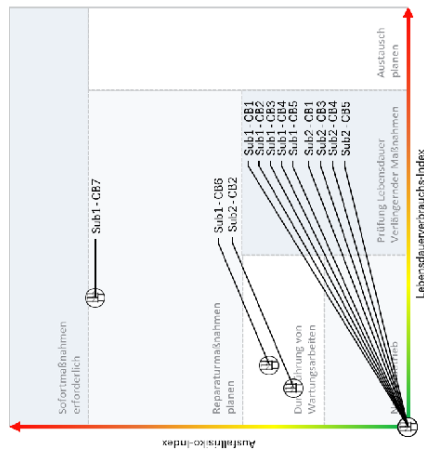


| 13



+ Ein Schaltfeld durch geplante MR-Transformatorenpflege außer Betrieb
 → keine zusätzliche Abschaltzeit für die Zustandsbewertung des Leistungsschalters nötig

Zustandsbewertung: Netze Duisburg – Beispiel 1

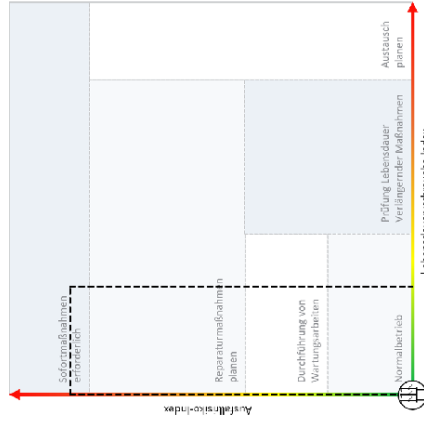


+ Zwölf 110 kV AIS Leistungsschalter (SF₆, Federspeicher)

- 9 x Visuelle Inspektion
- 3 x Schaltfelder außer Betrieb genommen
- 2 x vollständige Zustandsbewertung (Visuelle Inspektion, IR-Thermografie, elektr. Messungen und SF₆-Analyse)
- 1 x ohne SF₆-Analyse



Zustand des Leistungsschalters
Datenunsicherheitsbereich



+ Ergebnisse:

- Keine Auffälligkeiten, hohe Datenunsicherheit
- + Normalbetrieb
- Keine Erkenntnisse über die Qualität des Isoliermediums und den elektrischen Zustand

→ **Weitere Messungen empfohlen**

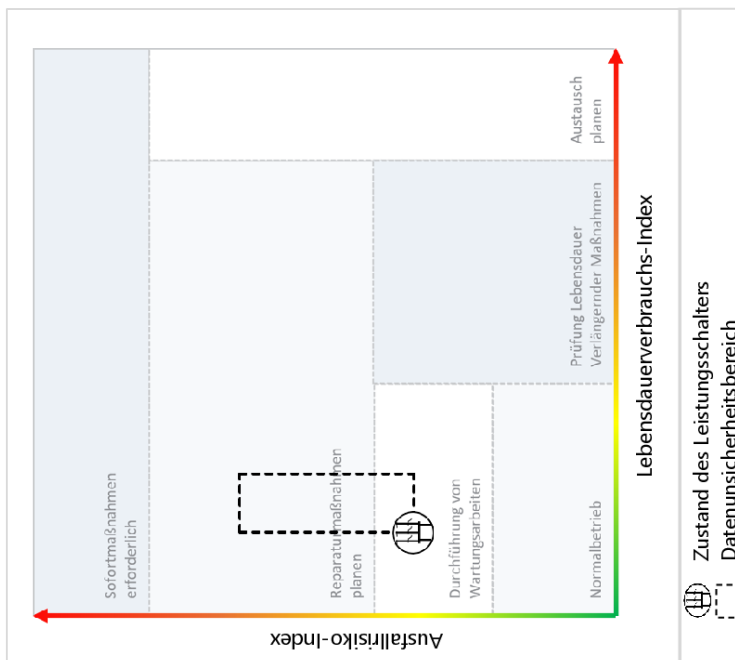


6-Feb-26 | 15

Zustandsbewertung: Netze Duisburg – Beispiel 2

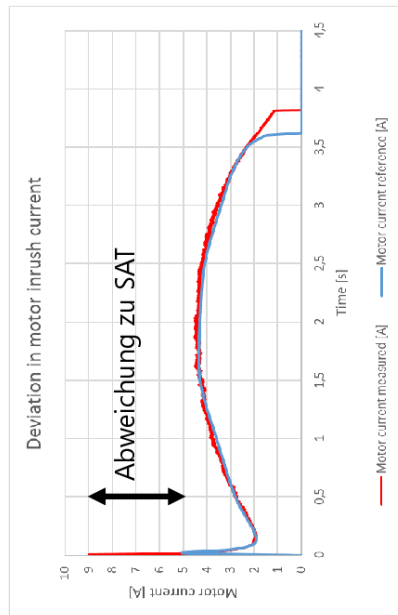


☹️ **Datenunsicherheit
aufgrund fehlender SF₆
Analyse**



+ Ergebnisse:

- Motoranlaufstrom erhöht
- Abweichung bzgl. Ausschaltzeit



→ **Durchführung von Wartungsarbeiten**
→ Durchführung der SF₆ Analyse empfohlen



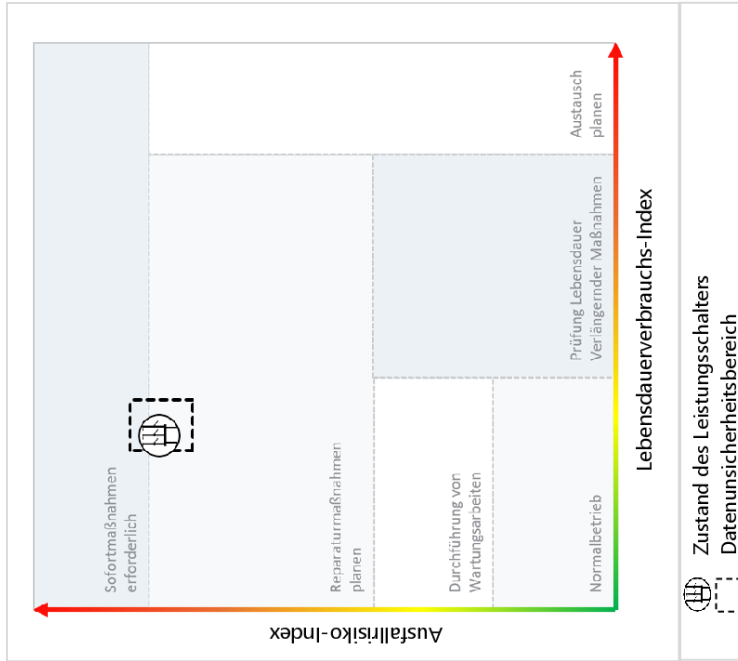
6-Feb-26 | 16

Zustandsbewertung: Netze Duisburg – Beispiel 3

- ✓ Visuelle Inspektion
- ✓ IR Thermografie
- ✓ SF₆ Analyse
- ✓ Elektrische Messungen

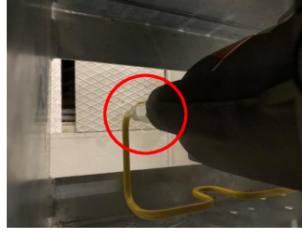


😊 **Datenunsicherheit sehr gering**



+ Ergebnisse:

- Motoranlaufstrom erhöht
- Hohe Abweichung bzgl. Ausschaltzeit (+ 35 %)
- SF₆ Zersetzungserzeugnisse (SO₂, CO)
- SF₆ Leckagen



→ **Reparaturmaßnahmen planen**



6-Feb-26 | 17

Schlussfolgerung

Umsetzung der Handlungsempfehlungen:

- + Erhöhter Motoranlaufstrom wird bei nächster Wartung genauer betrachtet
- + Schaltzeitabweichung liegt bei Reserve-Schalter vor und wird vor Inbetriebnahme im Zuge einer Revision behoben
- + SF₆ Leckagen wurden bereits repariert, Fülldruck wieder auf Nominalwert
- + Gas-Qualität wird in regelmäßigen Abständen überprüft
- + Vollständige Zustandsbewertung (Level 3) weiterer zehn Leistungsschalter

Schlussfolgerung

- + Erfolgreiche **realitätsgerechte** und **objektive Zustandsbewertung** zur Ableitung **optimierter IH- und Erneuerungsstrategie**
- + **Ziel:** Zustandsbewertung des gesamten Leistungsschalter-Kollektivs
 - Zustandsbasierter Überblick
 - Priorisierung
 - Normalbetrieb
 - Wartung / Reparatur
 - Austausch
- + **Perspektivisch:**
 - Kombination der Zustandsbewertungen mit TESSA® FLEETSCAN 2D am Transformator & Leistungsschalter zur Minimierung des Aufwands und der Abschaltzeiten
 - Zustandsbewertung gesamter **Schaltanlage** (AIS+GIS)

Vielen Dank für Ihr Interesse.

Korbinian Maurer

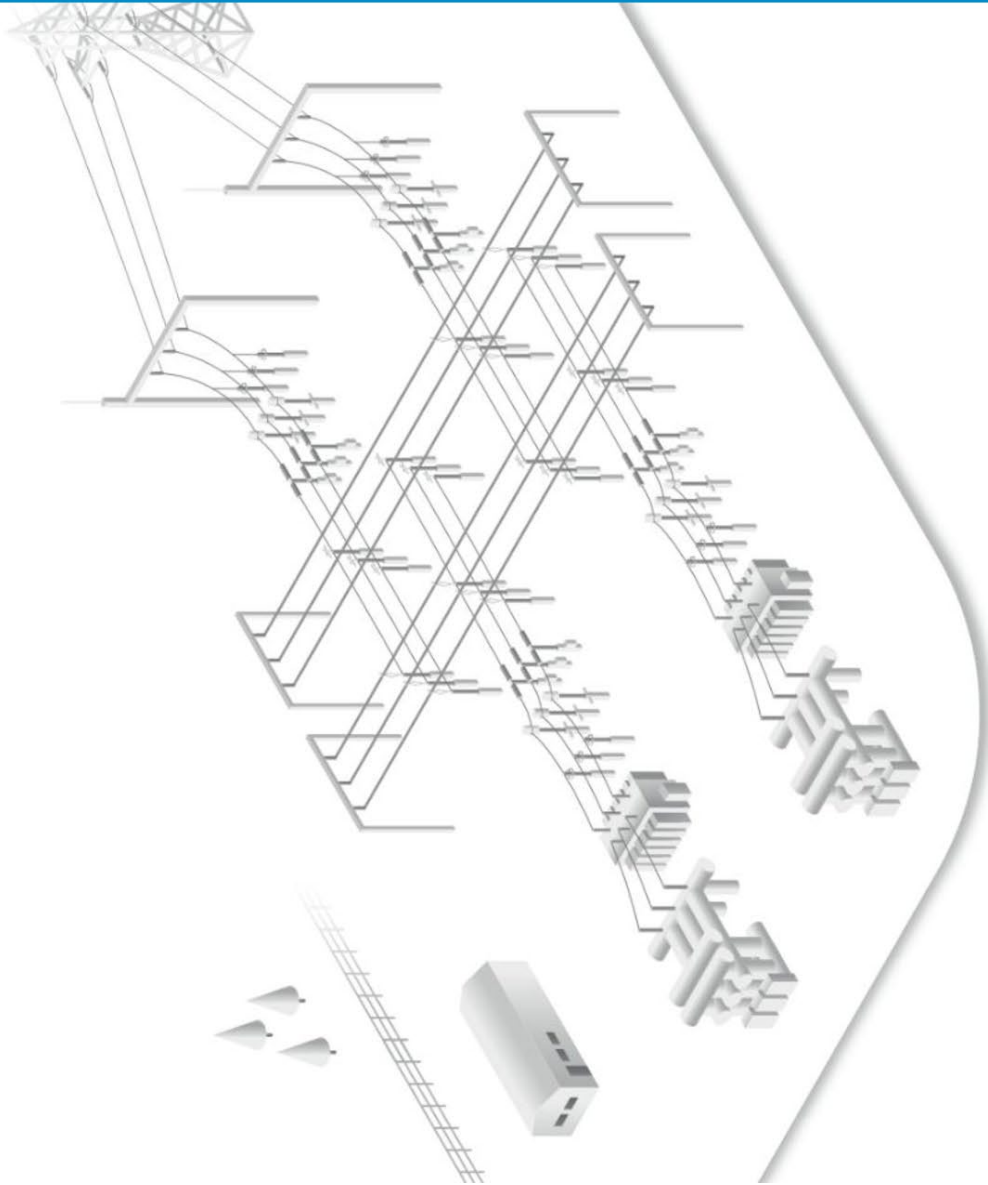
Maschinenfabrik Reinhausen GmbH
Project Manager - Service Solutions
+49 941 4090-2618
k.maurer@reinhausen.com

Thomas Brock

Netze Duisburg GmbH
Strategische Planung
+49 203 604 3419
Thomas.Brock@Netze-Duisburg.de



6-Feb-26 | 20



Impressum

Neue Energie aus Wuppertal

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Elektrische Energieversorgungstechnik
der Bergischen Universität Wuppertal

Herausgeber

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek
Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik
Bergische Universität Wuppertal

Rainer-Gruenter-Straße 21
42119 Wuppertal
Tel.: 0202/439-1976
Fax: 0202/439-1977
zdrallek@uni-wuppertal.de
www.evt.uni-wuppertal.de

Redaktion und Gestaltung

Dr.-Ing. Michael Popp
Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik
Bergische Universität Wuppertal

Druck

Hans Hitzegrad GmbH & Co. KG, Wuppertal
Auflage: 300 Stück

© Alle Rechte vorbehalten

Der Nachdruck von Beiträgen ist nur mit Genehmigung
der Bergischen Universität gestattet.

Wuppertal, Februar 2026

NEUE ENERGIE AUS WUPPERTAL

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Elektrische Energieversorgungstechnik der Bergischen Universität Wuppertal (Herausgeber: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek)

Band 1

Neusel-Lange, N.:

Dezentrale Zustandsüberwachung für intelligente Niederspannungsnetze

1. Auflage 2013, ISBN 978-3-8442-7401-1

Band 2

Stötzel, M.:

Strategische Ressourcendimensionierung von Netzleitstellen in Verteilungsnetzen

1. Auflage 2014, ISBN 978-3-8442-7826-2

Band 3

Zdrallek, M. (Hrsg.):

Tagungsband zum 2. Wuppertaler Energie-Forum

1. Auflage 2014

Band 4

Oerter, C.:

Autarke, koordinierte Spannungs- und Leistungsregelung in Niederspannungsnetzen

1. Auflage 2014, ISBN 978-3-7375-1758-4

Band 5

Athamna, I.:

Zuverlässigkeitsberechnung von Offshore-Windparks

1. Auflage 2015, ISBN 978-3-7375-5678-1

Band 6

Thies, H. H.:

Ein übergreifendes Modell zur Optimierung von Netz und Netzbetrieb

1. Auflage 2015, ISBN 978-3-7375-7465-5

Band 7

Zdrallek, M. (Hrsg.):

Tagungsband zum 3. Wuppertaler Energie-Forum

1. Auflage 2016

Band 8

Harnisch, S.; Steffens, P.; Thies, H.; Monscheid, J.; Münch, L.; Böse, C.; Gernsmeier, B.:

Planungs- und Betriebsgrundsätze für ländliche Verteilungsnetze – Leitfaden zur Ausrichtung der Netze an ihren zukünftigen Anforderungen

1. Auflage 2016

Band 9

Pawlowski, E.:

Realitätsgerechte Zustandsbewertung gasisolierter Hochspannungsschaltanlagen

1. Auflage 2016, ISBN: 978-3-7418-1983-4

Band 10

Zdrallek, M. (Hrsg.):

Tagungsband BUW Seminar "Smart Grids" - Aufbau und Betrieb von intelligenten Verteilnetzen

2. aktualisierte Auflage 2017

Band 11

Beerboom, D.:

Objektive Zustandsbewertung von Mittelspannungsnetzen als Grundlage der Asset-Optimierung

1. Auflage 2017, ISBN: 978-3-7418-9539-5

Band 12

Tabke, T.:

Entwicklung und Anwendung eines typunabhängigen, minimalinvasiven Zustandsbewertungsverfahrens für SF₆-Hochspannungsschaltanlagen

1. Auflage 2017, ISBN: 978-3-7450-0240-9

Band 13

Uhlig, R.:

Nutzung der Ladeflexibilität zur optimalen Systemintegration von Elektrofahrzeugen

1. Auflage 2017, ISBN: 978-3-7450-5959-5

Band 14

Zdrallek, M. (Hrsg.):

Tagungsband zum 4. Wuppertaler Energie-Forum

1. Auflage 2018

Band 15

Zdrallek, M. (Hrsg.):

Portrait des Lehrstuhls für Elektrische Energieversorgungstechnik

1. Auflage 2017

Band 16

Steffens, P.:

Innovative Planungsgrundsätze für ländliche Mittelspannungsnetze

1. Auflage 2018, ISBN: 978-3-7450-9538-8

Band 17

Johae, C.:

Realitätsgerechte Zustandsbewertung von Mittelspannungsanlagen durch Einsatz geeigneter Messverfahren

1. Auflage 2018, ISBN 978-3-7467-4381-3

Band 18

Meese, J.:

Dynamische Stromtarife zur Erschließung von Flexibilität in Industrieunternehmen

1. Auflage 2018, ISBN 978-3-7467-7558-6

Band 19

Dorsemag, F.:

Zustandsidentifikation von Mittelspannungsnetzen für eine übergreifende Automatisierung der Mittel- und Niederspannungsebene

1. Auflage 2018, ISBN 978-3-7467-7488-6

Band 20

Harnisch, S.:

Planung von ländlichen Niederspannungsnetzen mit innovativen Lösungsoptionen

1. Auflage 2019, ISBN 978-3-7485-2122-8

Band 21

Nebel, A.:

Auswirkung einer übergeordneten Steuerung dezentraler elektrischer Anlagen auf die Höhe des konventionellen positiven Redispatcheinsatzes in Deutschland

1. Auflage 2019, ISBN 978-3-7485-1948-5

Band 22

Kornrumpf, T.:

Bewertung von Flexibilitätsoptionen in Mittelspannungsnetzen

1. Auflage 2019, ISBN 978-3-7485-1394-0

Band 23

Zdrallek, M. (Hrsg.):

Tagungsband BUW Seminar „Smart Grid Systeme 2019“ – Aufbau und Betrieb von intelligenten Verteilnetzen

1. Auflage 2019

Band 24

Wolter, D.:

Neue Topologiekonzepte für moderne Mittelspannungsnetze

1. Auflage 2019, ISBN 978-3-7485-8662-3

Band 25

Hopfer, N.:

Nutzen der Breitband-Powerline-Kommunikation zur Erfassung kritischer Kabelzustände in Mittel- und Niederspannungsnetzen

1. Auflage 2020, ISBN 978-3-7502-7734-0

Band 26

Zdrallek, M. (Hrsg.):

Tagungsband zum 5. Wuppertaler Energie-Forum

1. Auflage 2020

Band 27

Schäfer, K. F.:

Netzberechnung - Übungsaufgaben mit Lösungen

1. Auflage 2020, ISBN 978-3-7502-7910-0

Band 28

Dahlmann, B.:

Aktivierung und Vermarktung industrieller Flexibilitätsoptionen mittels eines dynamischen Stromtarifs

1. Auflage 2020, ISBN 978-3-7529-6673-2

Band 29

Ludwig, M.:

Automatisierung von Niederspannungsnetzen auf Basis von Multiagentensystemen

1. Auflage 2020, ISBN 978-3-7529-8649-5

Band 30

Zdrallek, M. (Hrsg.):

Tagungsband BUW Web-Seminar „Elektromobilität in der Netzplanung“ – Strategien für Ladeinfrastruktur, Anwendungsfälle und Praxisbeispiele

1. Auflage 2020

Band 31

Korotkiewicz, K.:

Koordinierte, teillautarke Regelung von Mittelspannungsnetzen unter Einsatz dezentraler Automatisierungslösungen

1. Auflage 2020, ISBN 978-3-7541-5783-1

Band 32

Steinbusch, P.:

Adaptive, aufwandsminimale und fehlerrobuste Automatisierung von Niederspannungsnetzen

1. Auflage 2021, ISBN 978-3-7541-1625-8

Band 33

Möhrke, F.:

Auswirkungen der Energiewende auf die Zuverlässigkeit von Nieder- und Mittelspannungsnetzen

1. Auflage 2021, ISBN 978-3-7541-6565-2

Band 34

Wruk, J.:

An Optimisation Approach to Automated Strategic Network Planning at Low-Voltage Level

1. Auflage 2021, ISBN 978-3-7541-5679-7

Band 35

Wintzek, P.; Ali, S. A.; Monscheidt, J.; Gemsjäger, B.; Slupinski, A.; Zdrallek, M. (Hrsg.):

Planungs- und Betriebsgrundsätze für städtische Verteilnetze – Leitfaden zur Ausrichtung der Netze an ihren zukünftigen Anforderungen

1. Auflage 2021, <https://d-nb.info/1252809050/34>

Band 36

Kamps, K.:

Auswirkungen von Smart-Grid-Technologien auf die Zuverlässigkeit von Mittel- und Niederspannungsnetzen

1. Auflage 2021, ISBN 978-3-7549-3464-7

Band 37

Cibis, K.:

Automatisierte Zielnetzplanung zur Entwicklung von innovativen Planungsgrundsätzen für ländliche Niederspannungsnetze in Europa

1. Auflage 2022, ISBN 978-3-7549-3846-1

Band 38

Stephan, J.:

Modulare Netzzustandsprognosen für Mittel- und Niederspannungsnetze

1. Auflage 2021, ISBN 978-3-7549-3272-8

Band 39

Schmidt, R.:

Gewinnoptimale Vermarktung lastseitiger Flexibilitätsoptionen in Virtuellen Kraftwerken

1. Auflage 2021, ISBN 978-3-7549-3274-2

Band 40

Paulat, F.:

Lokale Flexibilitätsmärkte für das präventive Engpassmanagement von Mittelspannungsnetzen

1. Auflage 2022, ISBN 978-3-7549-4406-6

Band 41

Zdrallek, M. (Hrsg.):

Tagungsband zum 6. Wuppertaler Energie-Forum

1. Auflage 2022

Band 42

Kotthaus, K.:

Marktbasierter Flexibilitätseinsatz zur präventiven Netzengpassbewirtschaftung in Mittel- und Niederspannungsnetzen

1. Auflage 2022, ISBN 978-3-7549-5610-6

Band 43

Dalamaras, P.:

Realitätsgerechte Alterungsmodelle von Mittelspannungs-Netzstationen als Basis optimierter Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategien

1. Auflage 2022, ISBN 978-3-7565-1604-9

Band 44

Garzón Real, J.:

Ein Netzautomatisierungskonzept für gekoppelte Strom- und Gasverteilnetze

1. Auflage 2022, ISBN 978-3-7565-0908-9

Band 45

Uhlemeyer, B.:

Optimale Eigenversorgung in zellularen Energiesystemen auf Mittel- und Niederspannungsebene

1. Auflage 2022, ISBN 978-3-7565-1956-9

Band 46

Hobert, A.:

Analyse der Flexibilitätsoptionen zur Optimierung des elektrischen Energiesystems von urbanen Quartieren

1. Auflage 2022, ISBN 978-3-7575-1805-9

Band 47

Zdrallek, M. (Hrsg.):

Tagungsband zur Eröffnung des Kompetenzzentrums Zustandsbewertung

1. Auflage 2023

Band 48

Azad, S.:

Optimierte Netzzustandsschätzung von Niederspannungsnetzen durch Integration von Smart Meter Daten in Automatisierungssysteme

1. Auflage 2023, ISBN 978-3-7575-1542-3

Band 49

Zdrallek, M. (Hrsg.):

Tagungsband BUW Workshop „Sektorenübergreifende Planungs- und Betriebsgrundsätze für Energienetze“

1. Auflage 2023

Band 50

Baumeister, D.:

Betrieb und Planung von Oberleitungsbussystemen

1. Auflage 2023, ISBN 978-3-7575-3977-1

Band 51

Wazifehdust, M.:

Prädiktive Regelung und Optimierung eines Oberleitungsbussystems

1. Auflage 2023, ISBN 978-3-7575-3974-0

Band 52

Modemann, M.:

Adaptive Netzzustandsidentifikation zur Automatisierung von Mittel- und Niederspannungsnetzen

1. Auflage 2023, ISBN 978-3-7575-6626-5

Band 53

Abohat, M.:

Real-World Simulation Model for Advanced Analyses and Developments of Trolleybus Systems

1. Auflage 2023, ISBN 978-3-7575-5022-6

Band 54

Wintzek, P.:

Innovative Grundsätze für die strategische Planung von städtischen Niederspannungsnetzen im Kontext der Sektorenkopplung

1. Auflage 2023, ISBN 978-3-7575-5891-8

Band 55

Weber, J.:

Analyse des Blindleistungspotentials von zukünftigen Verteilnetzen

1. Auflage 2023, ISBN: 978-3-7575-6603-6

Band 56

Kerzel, M.:

Dynamische Vermaschung von Mittelspannungsnetzen zur Erhöhung der Stromnetzkapazität

1. Auflage 2023, ISBN: 978-3-7575-7112-2

Band 57

Reske, T.:

Alterungsverhalten von Mittelspannungskabelanlagen

1. Auflage 2023, ISBN 978-3-7575-7618-9

Band 58

Ali, S.:

New Strategic Planning Guidelines for Urban Medium-Voltage Grids

1. Auflage 2023, ISBN: 978-3-7584-2429-8

Band 59

Koralewicz, M.:

Integrierte Simulation gekoppelter Strom-, Gas- und Wärmesysteme

1. Auflage 2023, ISBN 978-3-7584-3804-2

Band 60

Koch, M.:

Verbesserte Netzzustandsidentifikation in der Niederspannung durch Breitband Powerline Technik

1. Auflage 2023, ISBN 978-3-7584-3758-8

Band 61

Pack, S.:

Realisierung eines regionalen Flexibilitätsmarktes auf Basis des BDEW-Ampelkonzeptes

1. Auflage 2023, ISBN 978-3-7584-4109-7

Band 62

Möller, C.:

Marktorientierter, systemdienlicher und netzdienlicher Einsatz der Ladeflexibilität von Elektrofahrzeugen

1. Auflage 2024, ISBN 978-3-7584-7368-5

Band 63

Zdrallek, M. (Hrsg.):
Tagungsband zum 7. Wuppertaler Energie-Forum
1. Auflage 2024

Band 64

Schnittmann, E.:
Dimensionierung und erlösoptimierter Betrieb von Ladeparks für Elektrofahrzeuge
1. Auflage 2024, ISBN 978-3-7584-4972-8

Band 65

Müller, T.:
Charakterisierung und Bewertung von netzdienlichen Flexibilitätsoptionen in urbanen Niederspannungsnetzen
1. Auflage 2024, ISBN 978-3-7598-4271-8

Band 66

Bondorf, M.:
Zustandsbewertung von Mittel- und Niederspannungskabelnetzen mittels Breitband-Powerline-Kommunikation
1. Auflage 2024, ISBN 978-3-7598-3918-3

Band 67

Jakob, J.:
Integrierte Planung und koordinierter Betrieb von Strom- und Gasverteilnetzen
1. Auflage 2025, ISBN 978-3-8187-4225-6

Band 68

Zipperling, E.:
Identifikation, Aktivierung und Einsatz industrieller Flexibilitätsoptionen
1. Auflage 2025, ISBN 978-3-8190-2987-5

Band 69

Babizki, A.:
Objektive Zustandsbewertung von Leistungstransformatoren als Grundlage eines optimierten Asset-Managements
1. Auflage 2025, ISBN 978-3-8190-3891-4

Band 70

Zdrallek, M. (Hrsg.):
Tagungsband BUW Workshop Krisenfallvorsorge Blackout
1. Auflage 2025

Band 71

Becker, M.:
Integration von Sektorenkopplungsanlagen in städtischen Quartieren am Beispiel von Wärmepumpen
1. Auflage 2025, ISBN 978-3-8190-4522-6

Band 72

Wierzba, B. B.:

Innovative Planungsgrundsätze von Mittel- und Niederspannungsnetzen durch automatisierte Erneuerungs- und Zielnetzplanung unter Berücksichtigung der Sektorenkopplung

1. Auflage 2025, ISBN 978-3-8197-8210-7

Band 73

Forchheim, M.:

Prognose und Regelung von Flexibilitäten in Nichtwohngebäuden auf Basis des maschinellen Lernens

1. Auflage 2025, ISBN 978-3-565-01352-4

Band 74

Zdrallek, M. (Hrsg.):

Tagungsband BUW Workshop SpaZiel

1. Auflage 2025

Band 75

Bäcker, N.:

Alterungsverhalten von Leistungstransformatoren auf Basis einer ganzheitlichen, realitätsgerechten Zustandsbewertung

1. Auflage 2025, ISBN 978-3-565-1186-70

Band 76

Schubert, F.:

Ganzheitliche Bewertung von Mittelspannungskabelnetzen mittels Archetypen

1. Auflage 2025, ISBN 978-3-565-14320-7
