

Eröffnung des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung

Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik
Bergische Universität Wuppertal

24. Februar 2023

Hörsaal 32 (Gebäude K)

Campus Griffenberg

Gaußstraße 20

42119 Wuppertal





KomZu(r) Eröffnung nach Wuppertal
Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek

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

in den letzten Jahren haben wir an meinem Lehrstuhl an der Bergischen
Universität Wuppertal – mit Unterstützung des Landes Nordrhein-Westfalen –
ein Kompetenzzentrum zur Zustandsbewertung aufgebaut, welches mit seinen
innovativen Forschungsarbeiten die Stromnetzbetreiber bei der erfolgreichen
Umsetzung der Energiewende maßgeblich unterstützt.

Den Fokus bildet dabei die realitätsgerechte Zustandsbewertung der
Betriebsmittel, um so ein optimales Asset-Management zu ermöglichen. Dazu
stehen – neben einem vielfältigen und umfassenden Know-how – auch
zahlreiche konkrete Mess- und Prüfmöglichkeiten zur Verfügung. Unsere
praxisnahe Forschung in Wuppertal gemeinsam mit zahlreichen Netzbetreibern
erhält damit ein weiteres Highlight.

Ich freue mich sehr, Sie zur feierlichen Eröffnung des NRW Kompetenzzentrums
Zustandsbewertung im Rahmen einer Fachtagung zu interessanten Vorträgen
und Diskussionen in Wuppertal begrüßen zu dürfen.

Ihr

Inhalt

Grußwort	7
Prof. Dr. Birgitta Wolff, Rektorin der Bergischen Universität Wuppertal	
Forschungsinfrastruktur des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung	9
Prof. Dr. Markus Zdrallek, Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik, Bergische Universität Wuppertal	
Zustandsbasiertes Alterungsverhalten von Hochspannungstransformatoren	27
René Hellberg, Spezialservice Strom, Westnetz GmbH	
Bewertung von Mittelspannungskabelnetzen anhand vorhandener Alterungsverhalten	54
Dietmar Eisemann, Asset Konzeption, Stromnetz Berlin GmbH	
Strategieoptimierung im Asset-Management von Ortsnetzstationen gestützt durch künstliche Intelligenz	74
Bernhard Baur, Leiter Assetsteuerung, Stromnetz Hamburg GmbH	
Feierliche Eröffnung des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung.....	103
Ministerin Mona Neubaur, Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen	
Impressum	105

Grußwort

Prof. Dr. Birgitta Wolff

Rektorin, Bergische Universität Wuppertal

Forschungsinfrastruktur des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung

Prof. Dr. Markus Zdrallek

Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik,
Bergische Universität Wuppertal

Forschungsinfrastruktur des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung

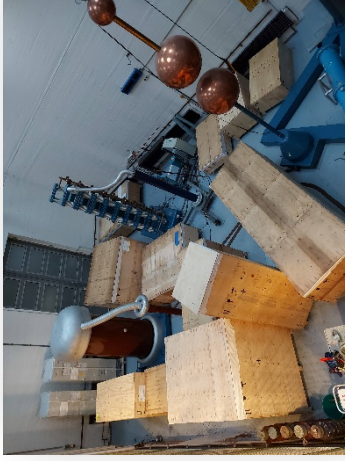
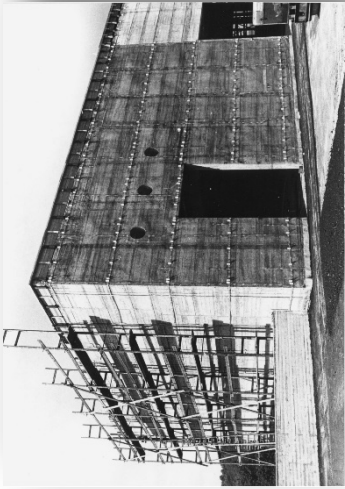
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek



Wuppertal, 24.02.2023



Zeitstrahl wichtiger historischer Ereignisse



2000er- & 2010er-Jahre

- **Modernisierung** der Steuerung im Hochspannungslabor.
- **Kernsanierung** des Gebäudekomplexes.

1970er-Jahre

- Bau des **Hochspannungslabors** der **Staatlichen Ingenieurschule**.
- Zusammenschließung bereits existierender **Ingenieurschulen** (u. a. **Elektrotechnik**).
- Gründung der Bergischen Universität Wuppertal als **Gesamthochschule**.



2020er-Jahre

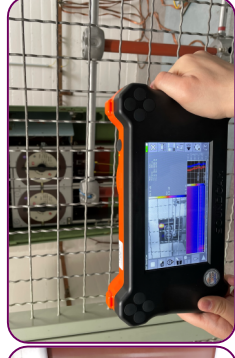
- Bewilligung einer Fördersumme i. H. v. ca. **2,1 Mio. €** aus dem **Europäischen Fonds** für regionale Entwicklung und durch das **Land NRW**.
- Umbau des Hochspannungslabors zum **NRW Kompetenzzentrum Zustandsbewertung**.

Forschungsinfrastruktur des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung
Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik | Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek | S. 2

NRW Kompetenzzentrum Zustandsbewertung

KomZu

- Aufbau eines zukunftsorientierten Kompetenzzentrums als **Forschungsinfrastruktur** zur **Zustandsbewertung** und zum **Alterungsverhalten** von elektrischen Betriebsmitteln
 - Aufbau von **Spezialprüfplätzen** im „Hochspannungslabor“ der Bergischen Universität Wuppertal
 - Erweiterung des **mobilen Labors**
 - Einsatz etablierter und neuer **Messverfahren**
 - Aufbau einer **Wissensdatenbank**
 - Erweiterung des **Schulungskonzeptes**



Hochspannungslabor

Mess- und Prüfverfahren in den Hochspannungsprüffeldern

- Hochspannungsprüfungen
- Hochstromprüfungen
- Teilentladungsmessungen
- Erwärmungsprüfungen
- Kabelmantelprüfungen
- Thermografische Analysen
- und vieles mehr



Vor-Ort-Messungen durch portable Geräte möglich!

Forschungsinfrastruktur des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung
Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik | Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek | S. 4

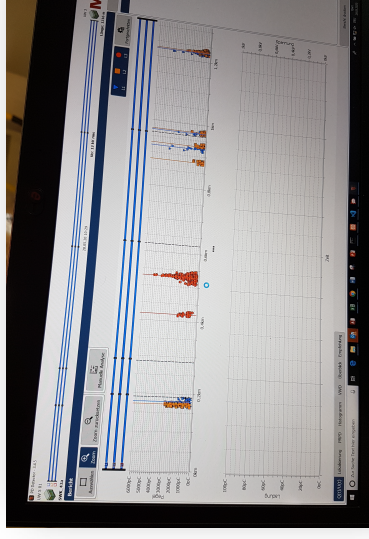
MESSWAGEN



Messwagen

Diagnostische Messtechnik

- Mit dem Messwagen sind alle gängigen diagnostischen Messverfahren für **Mittelspannungskabelanlagen** möglich:
 - **Verlustfaktormessung** mit VLF Sinus (0,1 Hz)
 - **Spannungsprüfung** mit VLF, CR und DC
 - **Teilentladungsmessung** mit CR (50 Hz Slope)
 - **Teilentladungsmessung** mit DAC
 - **Teilentladungsmessung** mit VLF Sinus (mit mobiler Messtechnik)



Forschungsinfrastruktur des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung
Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik | Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek | S. 6

Messwagen

Diagnostische Messtechnik

- Der Messwagen kann zusätzlich, je nach Betriebsmittel, mit mobiler Messtechnik für eine **realitätsgerechte** und **objektive Zustandsbewertung** erweitert werden.



Gasisolierte
Hochspannungsschaltanlagen



Ortsnetzstationen &
Mittelspannungsschaltanlagen



Mittel- &
Niederspannungskabelnetze

Forschungsinfrastruktur des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung
Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik | Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek | S. 7

Kompetenzen

Dem Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik liegen bereits **zahlreiche Kenntnisse** über verschiedene Betriebsmittel aus diversen Projekten vor und eine valide Auswertung der Mess- und Prüfergebnisse sowie eine objektive und realitätsgerechte Zustandsbewertung ist schnell und unkompliziert möglich.

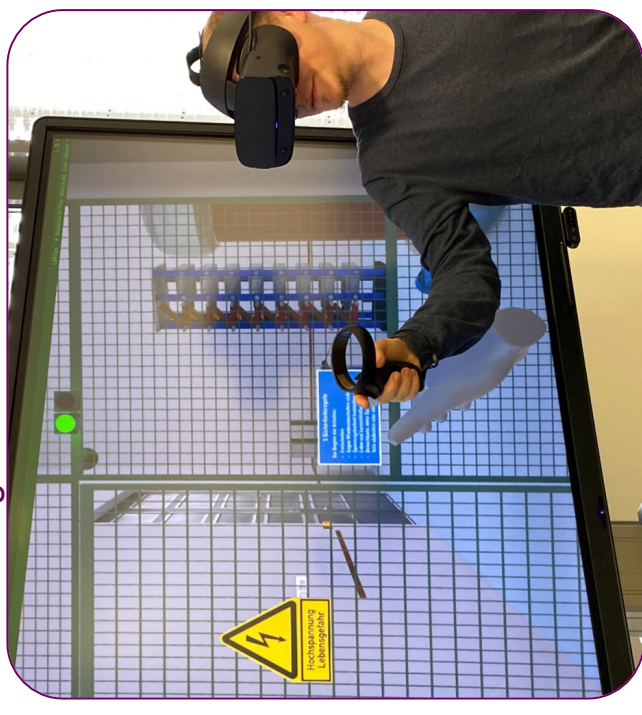
Ihre Vorteile

- Einsatz **moderner** Messgeräte führender Hersteller
- Langjährige **Erfahrung** und **Expertise** mit Zustandsbewertung/-systematiken
- **Kompetente** Beratung und gezielte **Handlungsempfehlungen**

Virtual Reality als digitales Schulungsmedium

- Stärkere Sensibilisierung für Themen der **Arbeitssicherheit** mit dem Fokus auf **die fünf Sicherheitsregeln** (DIN VDE 0105)
- Stärkere **Theorie-Praxis-Verzahnung** durch eine realitätsnahe Simulation von Prüfabläufen **ohne eine elektrische Gefährdung**
- Realitätsnahe Simulation von möglichen **Fehlern in der Prüfanlage**, um die **Achtsamkeit** zu erhöhen und Unfälle zu vermeiden
- Eigenständiges und **exploratives Lernen** wird ermöglicht, welches an realen Prüfplätzen **nicht** möglich ist
- **Geringere Orts- und Zeitabhängigkeit**, durch mobile Virtual Reality Systeme

Exemplarische Verwendung eines **Head-Mounted-Displays** mit paralleler Wiedergabe auf einem Bildschirm



Forschungsinfrastruktur des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung
Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik | Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek | S. 9

Technische VR/AR-Expertise

- Das NRW Kompetenzzentrum weist neben der **wissenschaftlichen** ebenso die **technische Expertise** auf, um sich in der Erforschung und Entwicklung eines **virtuellen Netzbetriebs** weiterzuentwickeln.
- Das Equipment ist mobil, um den Testpersonen die Vorteile einer **simulierten Realität** vor Ort aufzuzeigen.
- Virtual Reality ermöglicht die **sichere** Durchführung der **fünf Sicherheitsregeln** sowie das **eigensichere** Verhalten bei verschiedenen relevanten **Fehlerszenarien**
- **Prüfabläufe** mit einer stationären sowie einer nichtstationären Prüfanlage können **gefahrenfrei** erprobt werden

AHtra

Alterungsverhalten von Hochspannungstransformatoren

Problemstellung:

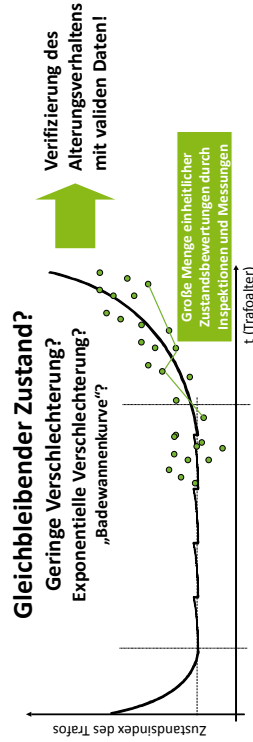
- Präzise Zustandsbewertungen sowie die Bestimmung des Alterungsverhaltens (max. Lebensdauer, Ausfallverhalten etc.) bewirken maßgeblich die (Kosten-)Effizienz von IH- und Asset-Strategien
- Bisher existieren keine validen Kenntnisse zum Alterungsverhalten von Hochspannungs(HS-)transformatoren!
- Aktuell genutzte Alterungsmodelle von HS-Transformatoren basieren auf heuristischen Annahmen!
- Weitverbreitete „Theorie der Badewannenkurve“ ist statistisch nicht belegt
- Ergebnisse der Forschungsprojekte zum Alterungsverhalten von MS-Netzstationen sowie von MS-Kabeln zeigen fundamentale Erkenntnisse

Lösungsansatz:

- Einheitliche Analyse der Inspektions- und Messergebnisse von mehr als 3.000 HS-Transformatoren zur fundierten Zustandsbewertung
- Vereinheitlichung unterschiedlicher Bewertungsmethoden mit Hilfe einer Systematik
- Ableitung des Alterungsverhaltens auf Basis zahlreicher Zustandsbewertungen

Ansprechpartner:

N. Schmidt, M. Sc.
nschmidt@uni-wuppertal.de



AHtra – Alterungsverhalten von Hochspannungstransformatoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek | Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik



BMika

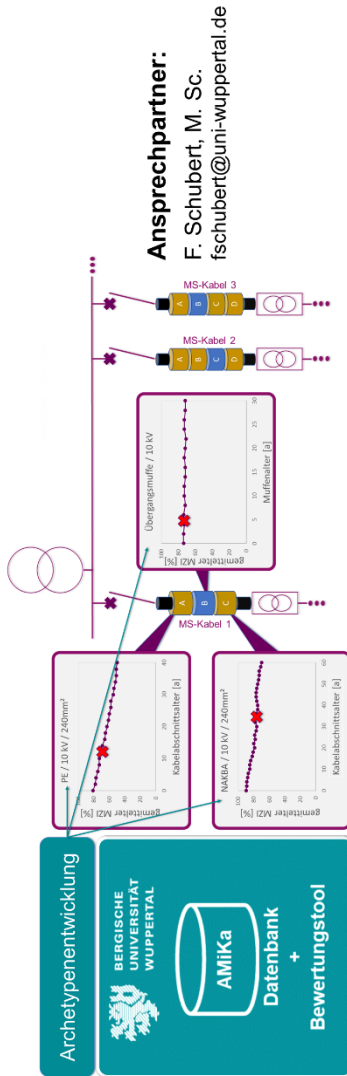
Bewertung von Mittelspannungskabelnetzen

Ziele:

- „Härtung“ und Optimierung der Alterungsverhalten aus dem Vorgänger Projekt „AMika“ (Alterungsverhalten von Mittelspannungskabeln)
- Übertragung der gewonnenen „AMika“-Ergebnisse auf das Gesamtkollektiv nicht gemessener Kabel
- Ableitung von Archetypen für gängige Mittelspannungskabelkomponenten
- Kabelstreckennetzbewertung auf Basis ermittelter Archetypen
- Identifikation kritischer Netzkomponenten im Bestand auf Basis der Archetypen

Lösungsansatz:

- Aufnahme von Mess- und aktuellen Stammdaten in die vorhandene Datenbank des „AMika“-Projekts
- Wiederholungsmessungen bereits gemessener Kabel und Fortführung von eigenen Kabelmessungen aus dem „AMika“-Projekt zur Trendanalyse
- Erarbeitung einer Systematik / eines Tools zur automatisierten Bewertung von nicht gemessenen Kabelstrecken und somit ganzer Kabelnetze (Gesamtkollektiv) auf Basis von entwickelter Archetypen



BMika

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek | Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik



PAM – Predictive Asset Management

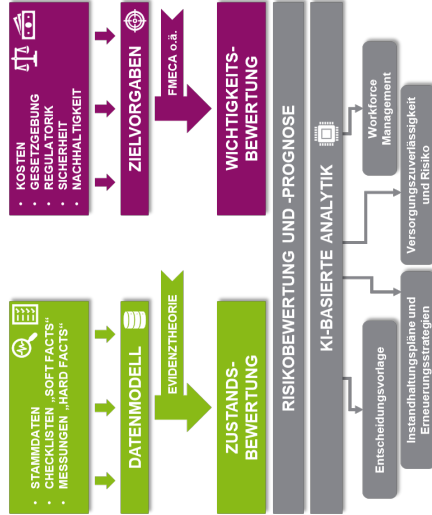
Datenbasierte Optimierung bei der Instandhaltung und Erneuerung von Verteilnetzen mittels Methoden der Künstlichen Intelligenz im Asset Management

Ziele:

- Entwicklung eines auf Künstlicher Intelligenz (KI) basierten Expertensystems zur Ermittlung optimaler Entscheidungen und Strategien für das Asset-Management in Verteilnetzen
- Automatisierte Erstellung optimierter Strategien zur prädiagnostischen Instandhaltung und Erneuerung von Assets unter Einbeziehung von Parametern wie Kosten, Versorgungszuverlässigkeit und weiterer Risikoaspekte
- Vergleich der resultierenden Ergebnisse der KI-Analytik mit denen aus konventionellen Methoden zur Demonstration des Mehrwerts gegenüber den bestehenden Asset-Management-Tools

Lösungsansatz:

- Generierung einheitlicher Zustandsdaten von Ortsnetzstationen (ONS) aus exemplarischen Netzen
- Netzanalyse für zuverlässigkeits- und risikoorientierte Bewertung der jeweiligen ONS
- Verwendung der Daten als Input für das KI-Modell
- KI-basierte Analyse mit Berücksichtigung technischer und kaufmännischer Zielgrößen, des Rechtsrahmens, der Sicherheit sowie der Nachhaltigkeit
- Evaluation mehrerer KI-Modelle und Methoden



Ansprechpartner:

D. Gromoll, M. Sc.
gromoll@uni-wuppertal.de

Projektpartner



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



PAM – Predictive Asset Management
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek | Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik

SektIM

Sektorenkopplung Integritätsmanagementsysteme – Entwicklung eines Verfahrens zur sektorengkoppelten Zustandsbewertung von Strom- und Gasnetzen

Ziele:

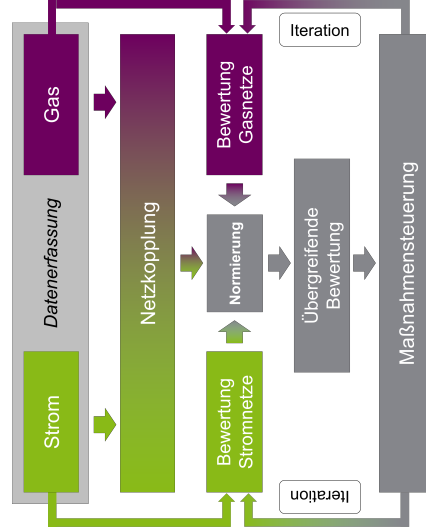
- Entwicklung einer sektorengkoppelten Bewertungssystematik, welche übergreifende Zustandsaussagen zwischen den beiden Sektoren ermöglicht.
- Ermitteln einer Vorgehensweise zur Allokation von Erneuerungsbudgets mit dem Ziel der Optimierung von Asset-Strategien im Rahmen der Sektorenkopplung von Strom- und Gasnetzen.
- Erstellen eines Managementsystems für den sektorenübergreifenden Einsatz der technisch erforderlichen Instandhaltungs-Maßnahmen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit.

Lösungsansatz:

- Normierung von etablierten, betriebsmittelspezifischen Zustandsaussagen.
- Definition von geeigneten Schnittstellen für eine einheitliche sektorengkoppelte Zustandsbewertung.
- Erarbeiten eines sektorengkoppelten, übergreifenden Integritätsmanagementsystems (SG-IMS).
- Netzinteraktionsanalyse hinsichtlich der Auswirkungen auf die Integrität und den Zustand der Energienetze.

Ansprechpartner:

F. Göbelsmann, M. Sc.
goebelsmann@uni-wuppertal.de



Projektpartner

veenker
Ingenieure

**RNG Rheinische
NETZGesellschaft**

EWEnetz

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

PTU
Prof. Dr.-Ing. J. J. J. J.
Forschungszentrum Jülich



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

SektIM – Sektorenkopplung Integritätsmanagementsysteme

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdravlek | Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik

Fühler im Netz 2.0

Einsatz von Big Data und KI bei der Nutzung des FiN-Ansatzes zur Zustandserfassung von Netzen und Anlagen im Verteilnetz

Ziele:

- Qualität der Zustandserfassung von Netz- und Anlagenzustände mittels Kanaleigenschaften der Breitband-Powerline-Kommunikation (BPL) verbessern
- Konzeption von einfachen und kostengünstigen Verfahren für die Online-Zustandserfassung und vorausschauende Instandhaltung von Erdkabeln für Verteilnetzbetreiber (VNB)
- Integration der BPL-Sensorik in eine Dezentrale Netzautomatisierung (DNA / INES)

Lösungsansatz:

- Großflächige Installation von über 3.500 BPL-Sensormodems
- Einsatz von Big Data Analyse und Künstlicher Intelligenz (KI)
- Ermittlung von Fingerprints für die KI aus aufgenommenen Messdaten und Laborversuchen
- Automatisierte Detektion und Behebung von Netz- und Anlagenzuständen durch KI und DNA

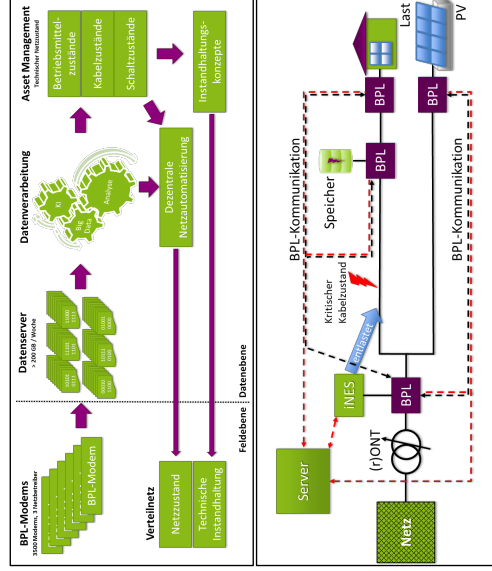
Ansprechpartner:

M. Bondorf, M. Sc.
bondorf@uni-wuppertal.de
M. Koch, M. Sc.
mkoch@uni-wuppertal.de



Fühler im Netz 2.0

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdraleik | Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik



Projektpartner



GEFÖRDEBT VOM



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

➔ Kontakt

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek
Leiter des Lehrstuhls

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

✉ zdrallek@uni-wuppertal.de
☎ +49 202 439 1976



Zustandsbasiertes Alterungsverhalten von Hochspannungstransformatoren

René Hellberg

Spezialservice Strom,

Westnetz GmbH

Wir sind das Netz der
westenergie

westnetz

Zustandsbasiertes Alterungsverhalten von Hochspannungstransformatoren

Westnetz GmbH • René Hellberg • Februar 2023



- 1 Wir stellen uns vor
- 2 Herausforderungen und Trends im Asset-Management
- 3 Vorstellung des Forschungsprojektes AHtra
- 4 Präsentation erster Forschungsergebnisse

1

Wir stellen uns vor

Unsere Vision

Wir sind für unsere Kunden
die Lösung für das intelligente
Energiesystem der Zukunft.

Westnetz

Kurz & knapp

Wir ...

... sind der größte Verteilnetzbetreiber in Deutschland und versorgen ca. 6,6 Millionen Menschen mit Strom und Gas.

... investieren kontinuierlich in Aus- und Umbau von Netzen für die intelligente technische Infrastruktur von morgen.

... sind stolz auf unsere 5.800 Mitarbeiter*innen, die mit hoher technischer Kompetenz für eine zuverlässige Versorgung sorgen – 24 Stunden am Tag, 365 Tage im Jahr.

westnetz

... optimieren unsere Prozesse stetig für noch bessere Ergebnisse.

... betreiben und bewirtschaften Netze für unterschiedliche Eigentümer.

... erfüllen Erwartungen und Ansprüche auf allen Ebenen – von Netznutzern, Netzeigentümern und Kommunen.

... sind aktiver Gestalter der Energiewende.

... sehen die Kunden im Mittelpunkt und sind regional verwurzelt.

Wir sind regional verwurzelt – im Westen von Deutschland und darüber hinaus

Kennzahlen

Versorgte Fläche	rd. 51.000 km ²
Netzlänge Strom	rd. 175.000 km
Netzlänge Gas	rd. 24.000 km
Kundenanschlüsse Strom	rd. 4.700.000
Kundenanschlüsse Gas	rd. 448.000
Umsatz	5 Mrd. EUR
Mitarbeiter*innen	rd. 5.800



Westnetz

westnetz

Spezialservice Strom

Wir verantworten...

... die Netzbetreiberrolle für Hochspannungsnetze und Hoch-/Mittelspannungsanlagen.

... die Entwicklung des Digitalisierungsgrades, des Innovationsmanagements und neuer Technologien in der Westnetz.

... Arbeitssicherheit, Umwelt- und Gesundheitsschutz.

... Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung dieser Netze und Anlagen.

... die Rolle der Technikentwicklers für die Westnetz.

Spezialtechnik - Primärtechnik – Wir sind Ihr Ansprechpartner rund um Technik für Umspannanlagen



5 Standorte – ein Team

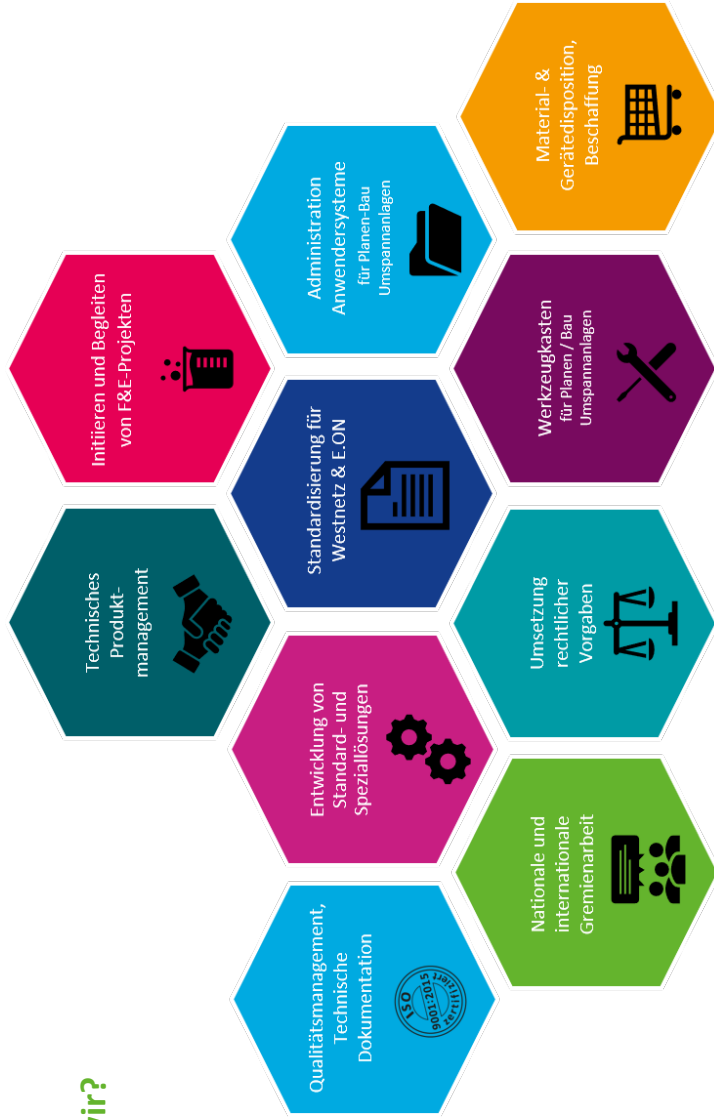
- Anlagen- und Betriebsmitteltechnik
- Technik Center Transformatoren
- Service- und Schulungs-Center Transformatoren
- Technik Center Schaltgeräte
- Service- und Schulungs-Center Schaltgeräte

Westnetz

westnetz

Anlagen- und Betriebsmitteltechnik

Was machen wir?



Westnetz GmbH - René Hellberg - Zustandsbasiertes Alterungsverhalten von Hochspannungstransformatoren - Februar 2023

Wir sind das Netz der **Westenergie**

2 Herausforderungen und Trends im Asset-Management



Herausforderungen und Trends im Asset-Management

westnetz

Globale, regionale und unternehmensspezifische Herausforderungen



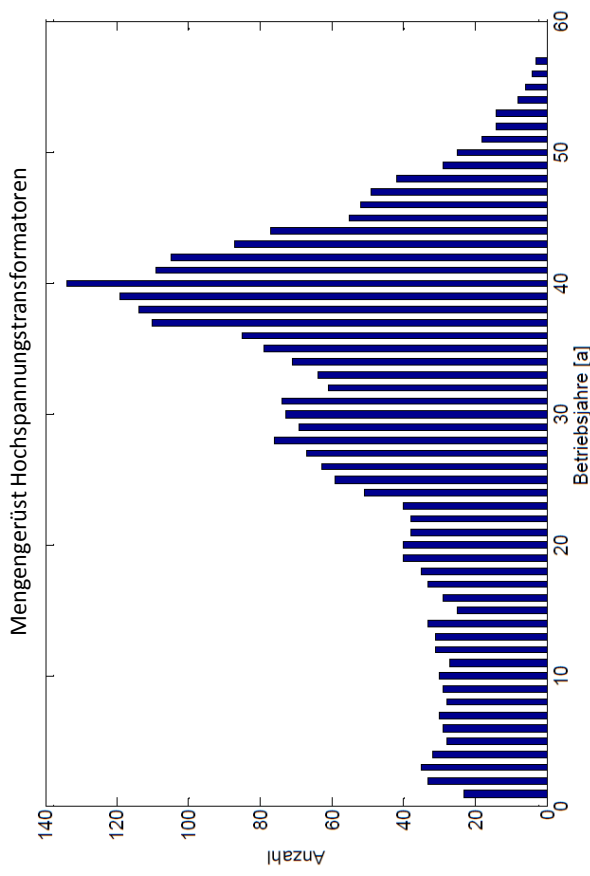
Weltweites Durchschnittsalter der Transformatoren liegt bei ca. **40 Jahren** → Tendenz steigend



Erhöhte Belastung durch Einspeisung erneuerbarer Energien



Veränderung der **gesetzlichen Auflagen**



FGH: AIF/IGF-Vorhaben 16391N - Schlussbericht: Entwicklungstypenspezifischer Prognosemodelle zur Beschreibung der Zuverlässigkeit von Betriebsmitteln im Rahmen des Asset Managements in elektrischen Verteilungsnetzen FGH-Verlag, Mammheim Rheinau, Deutschland, 2013

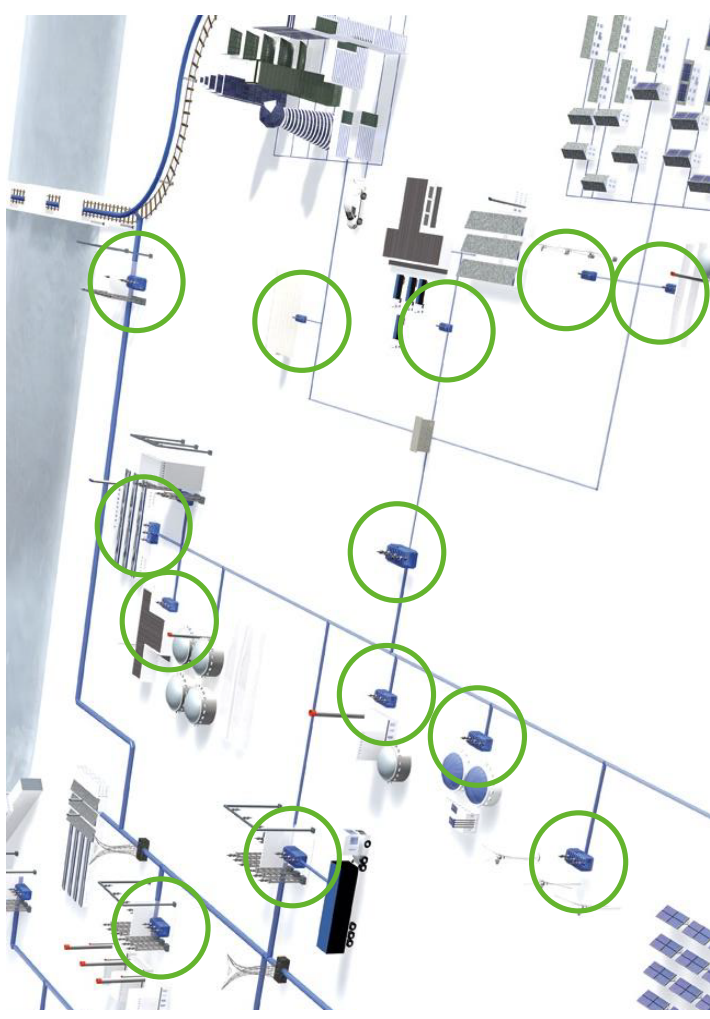
Globale, regionale und unternehmensspezifische Herausforderungen



Zuverlässige & sichere Energieversorgung nach § 11 EnWG



Transformatoren sind die **wertwichtigsten** Einzelbetriebsmittel der Netze



Globale, regionale und unternehmensspezifische Herausforderungen



Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit des Netzbetriebs



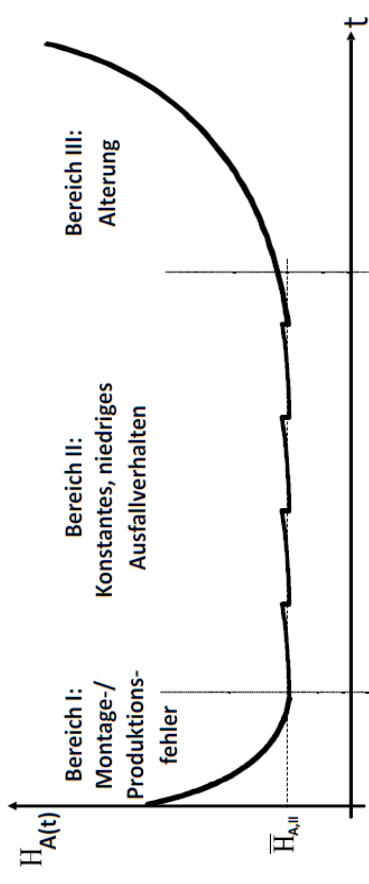
Betrieb der Anlagen bis zum Erreichen ihrer **tatsächlichen technischen Lebensdauer**



Verschiedene Datenquellen (Datenbank, PDF, Papierform) und Verwendung von verschiedenen **nicht miteinander verbundenen Systemen**



Ableitung **optimaler Instandhaltungs- & Erneuerungsstrategien**

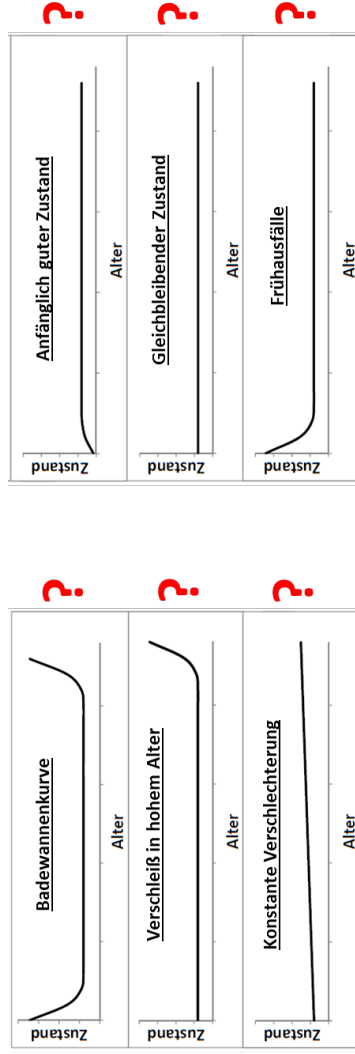


Globale, regionale und unternehmensspezifische Herausforderungen

Die Kenntnis über den tatsächlichen Netzstatus und das Alterungsverhalten der Netze sind wichtige Bestandteile eines wertebasierten Asset-Managements (gemäß ISO 55000) und dienen als fundamentale Basis für zentrale Asset-Entscheidungen!

Welches Alterungsverhalten weisen Hochspannungstransformatoren auf?

- Ist die Beantwortung der Frage möglich, kann das Asset-Management optimiert werden!



3

Vorstellung des Forschungs- projektes AHtra



Projektpartner



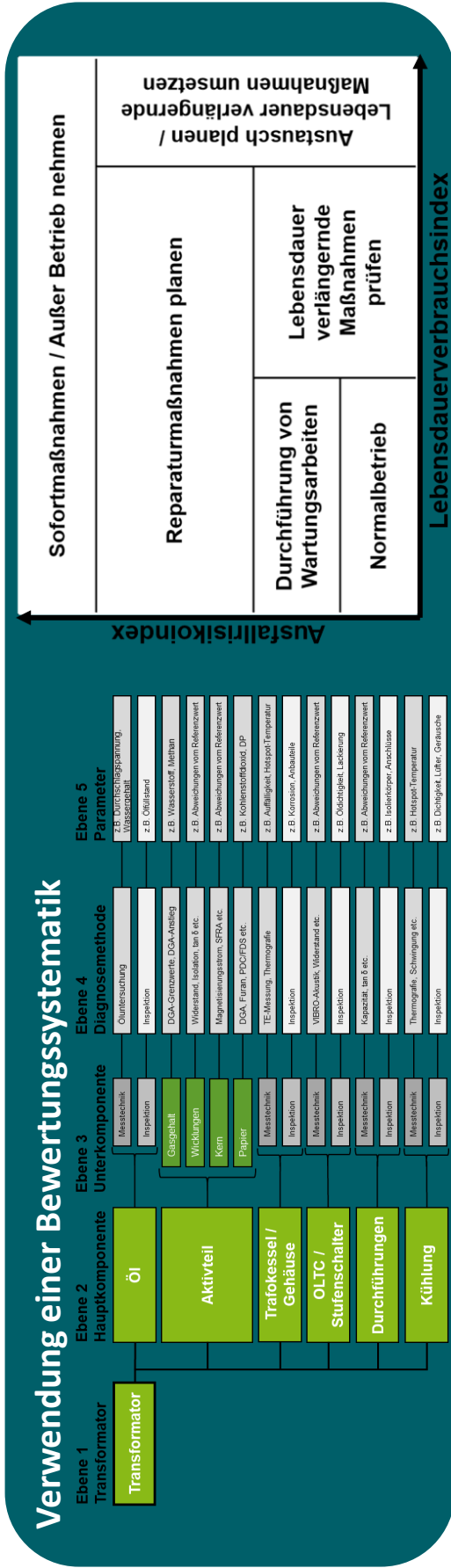
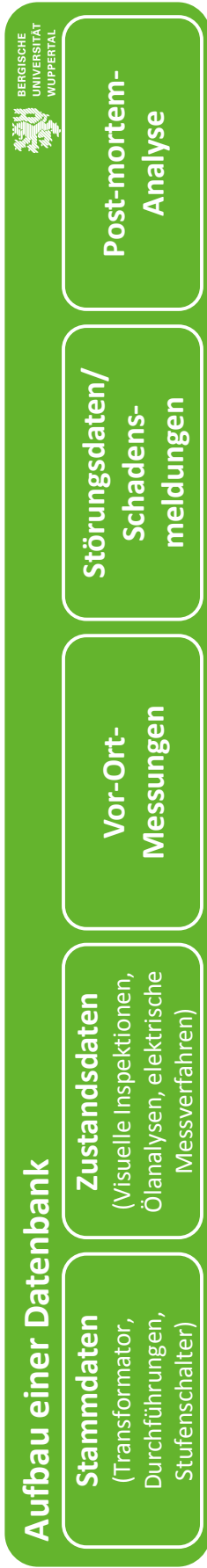
westnetz



Westnetz GmbH - René Heilberg - Zustandsbasiertes Alterungsverhalten von Hochspannungstransformatoren - Februar 2023

Vorstellung des Forschungsprojektes AHtra

Projektziel



Wir sind das Netz der Westenergie

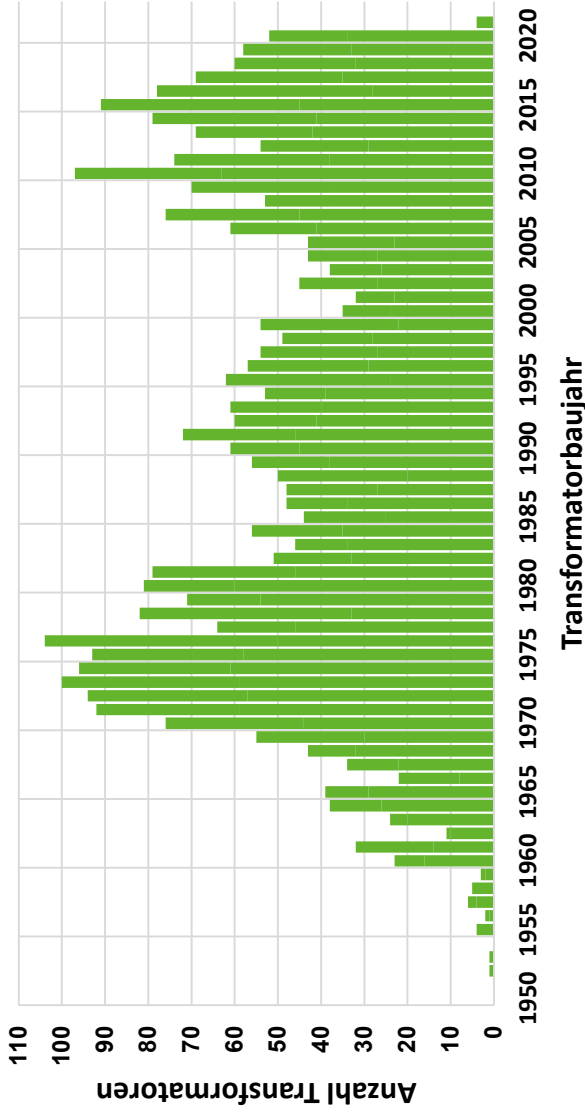
4 Präsentation erster Forschungs- ergebnisse



Präsentation erster Forschungsergebnisse

westnetz

Analyse der zur Verfügung stehenden Daten



3.638 Transformatoren in Datenbank integriert
 Mittleres Alter: 32 Jahre (HS) und 29 Jahre (Hös)

Westnetz GmbH - René Hellberg - Zustandsbasiertes Alterungsverhalten von Hochspannungstransformatoren - Februar 2023

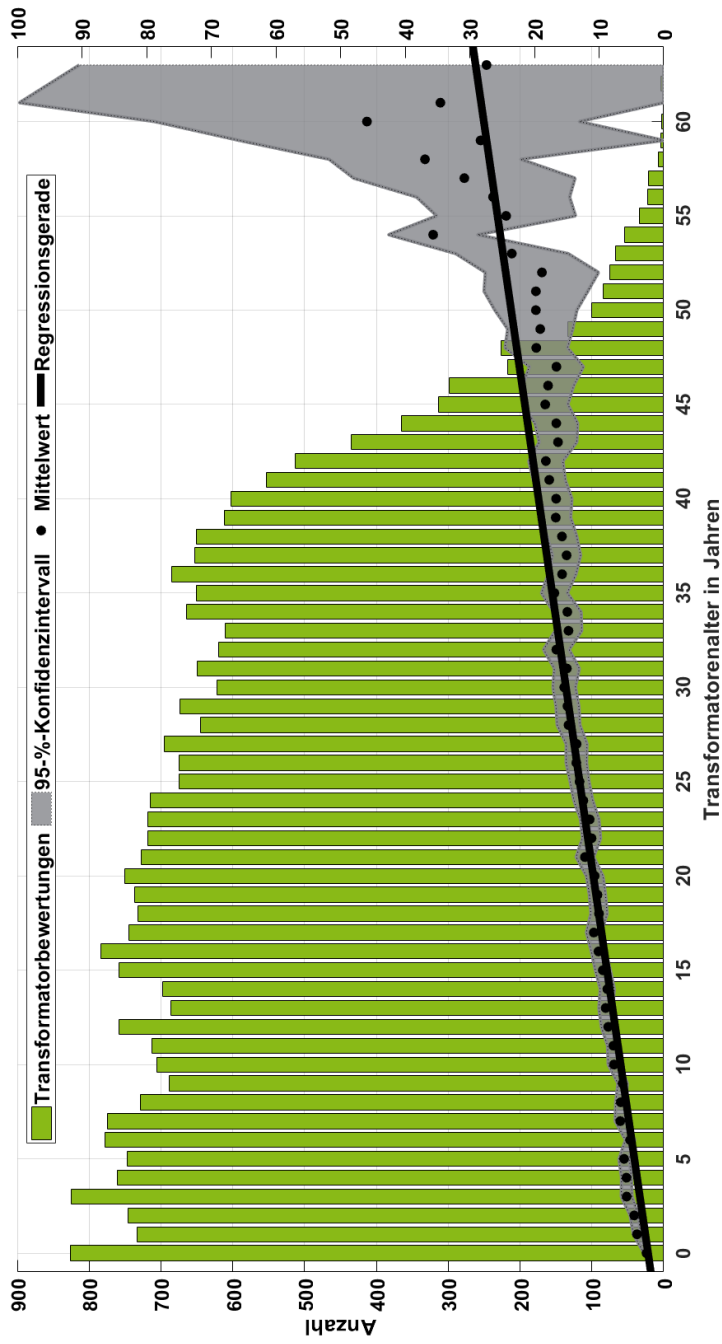
Wir sind das Netz der
 westenergie

Analyse der zur Verfügung stehenden Daten

Bei Kombination aller zur Verfügung stehenden Zustandshinweise ergeben sich ca. 38.000 vollumfängliche Zustandsbewertungen

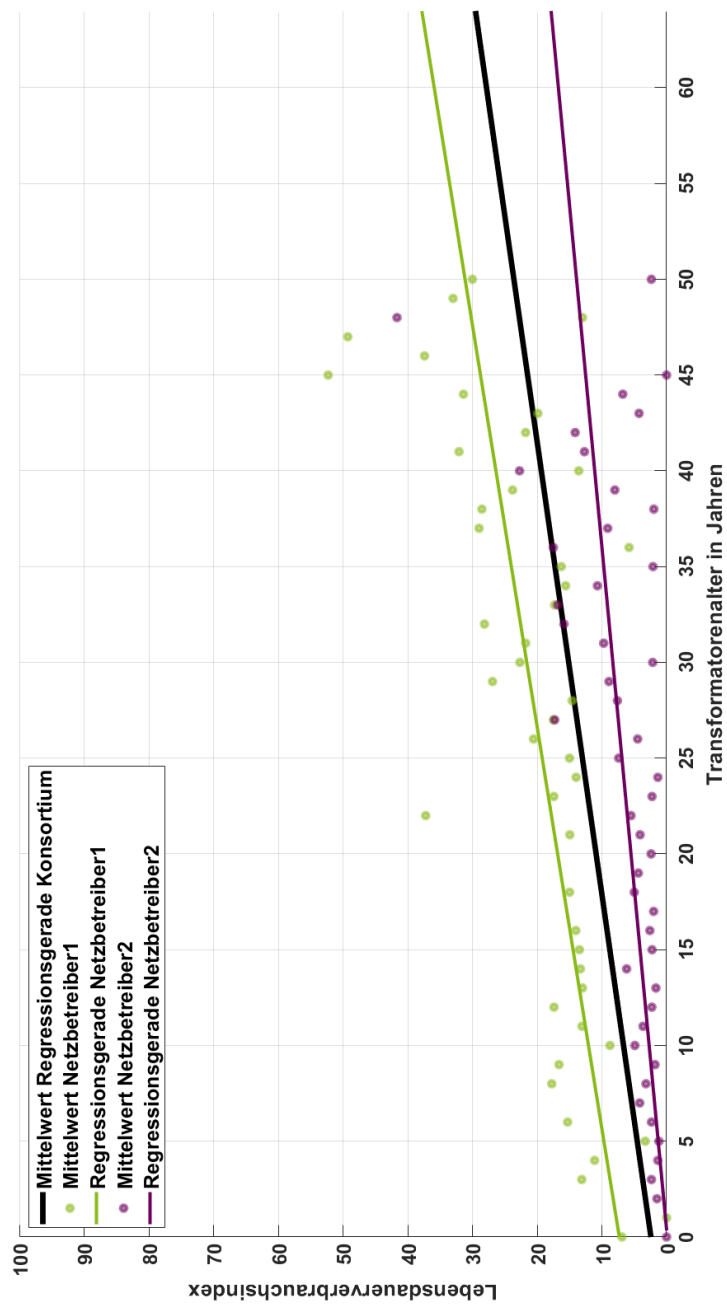
Chemisch-physikalische Ölanalyse Stoffeigenschaften Ca. 28.000 Berichte von über 3.300 Tx	Gas-in-Öl-Analyse (DGA) Fehlgase Ca. 29.000 Berichte von über 3.200 Tx	Furan-/Methanol-Analyse Zellulosezustand Ca. 6.000 Berichte von über 1.800 Tx	Elektrische Messverfahren Vielseitige Detailanalysen Ca. 3.500 Berichte von über 1.300 Tx
--	---	--	--

Alterungsverhalten von Hochspannungstransformatoren



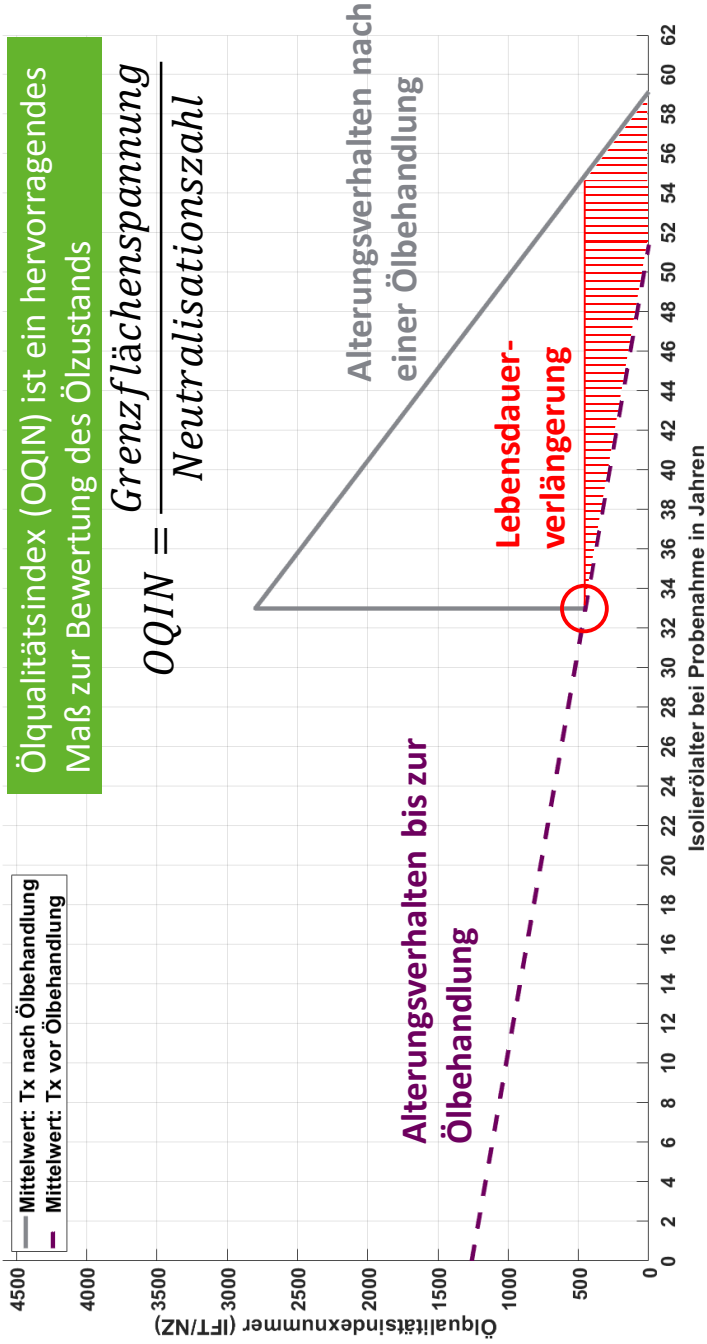
- Linearer Anstieg, kontinuierliche Verschlechterung und Alterung
- Konfidenzintervall besitzt große Aussagekraft bis ins hohe Alter (< 55 Jahre)

Alterungsverhalten von Hochspannungstransformatoren



- Vorläufiges Alterungsverhalten des Konsortiums bekannt
- Gezielte Schwachstellenanalyse einzelner Netzbetreiber möglich (Benchmarking)

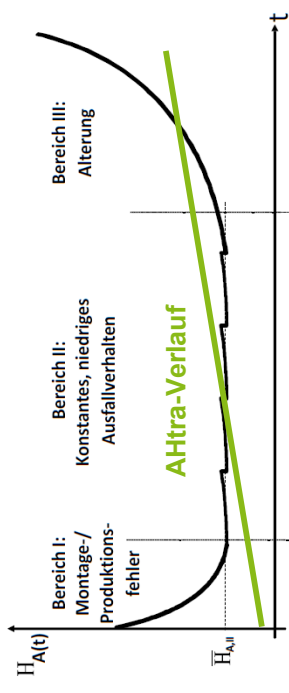
Durchschnittliche Auswirkungen einer Ölbehandlung



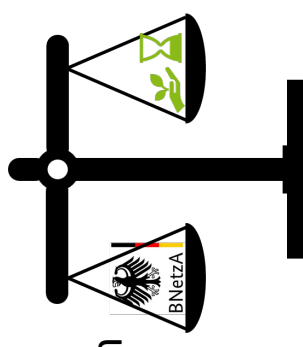
- Mittleres Alter bei Ölbehandlung: 33 Jahre
- Mittlere Ölqualität bei Ölbehandlung: OQIN = 450,5
- Kombination der Trendverläufe

Fazit

- Erkenntnisse des zustandsbasierten Alterungsverhaltens:
 - **Linearer** Anstieg und kontinuierliche Verschlechterung und Alterung
 - **Keine Hinweise auf eine Badewannenkurve!**



- Durch die verbesserte Kenntnis des Alterungsverhaltens lässt sich das Budget realitätsgerechter verteilen
 - Vermeidung von Mehrkosten durch fehlerhafte Asset-Entscheidungen
 - Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Erneuerung
 - **Überdenken angenommener Nutzungsdauern**
 - Nachhaltiger und verantwortungsbewusster Umgang mit Ressourcen
 - Vorgabe BNetzA vs. tatsächliche technische Lebensdauer



Wir sind das Netz der
westenergie



René Hellberg
Technischer Produktmanager für Leistungs- und
Spezialtransformatoren
T +49 231 438 4612
rene.hellberg@westnetz.de

westnetz



Wir sind das Netz der
westenergie

westnetz

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

Bewertung von Mittelspannungskabelnetzen anhand vorhandener Alterungsverhalten

Dietmar Eisemann

Asset Konzeption,
Stromnetz Berlin GmbH

Bewertung von Mittelspannungskabelnetzen

Vortrag zur Eröffnung des Kompetenzzentrums
Zustandsbewertung, Wuppertal, 24.02.2023

Dipl.-Ing. Diefmar Eisemann, Stromnetz Berlin GmbH
Uni.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zörarek, Bergische Universität Wuppertal
M. Sc. Thorsten Reske, Bergische Universität Wuppertal
M. Sc. Felix Schubert, Bergische Universität Wuppertal

Inhaltsverzeichnis

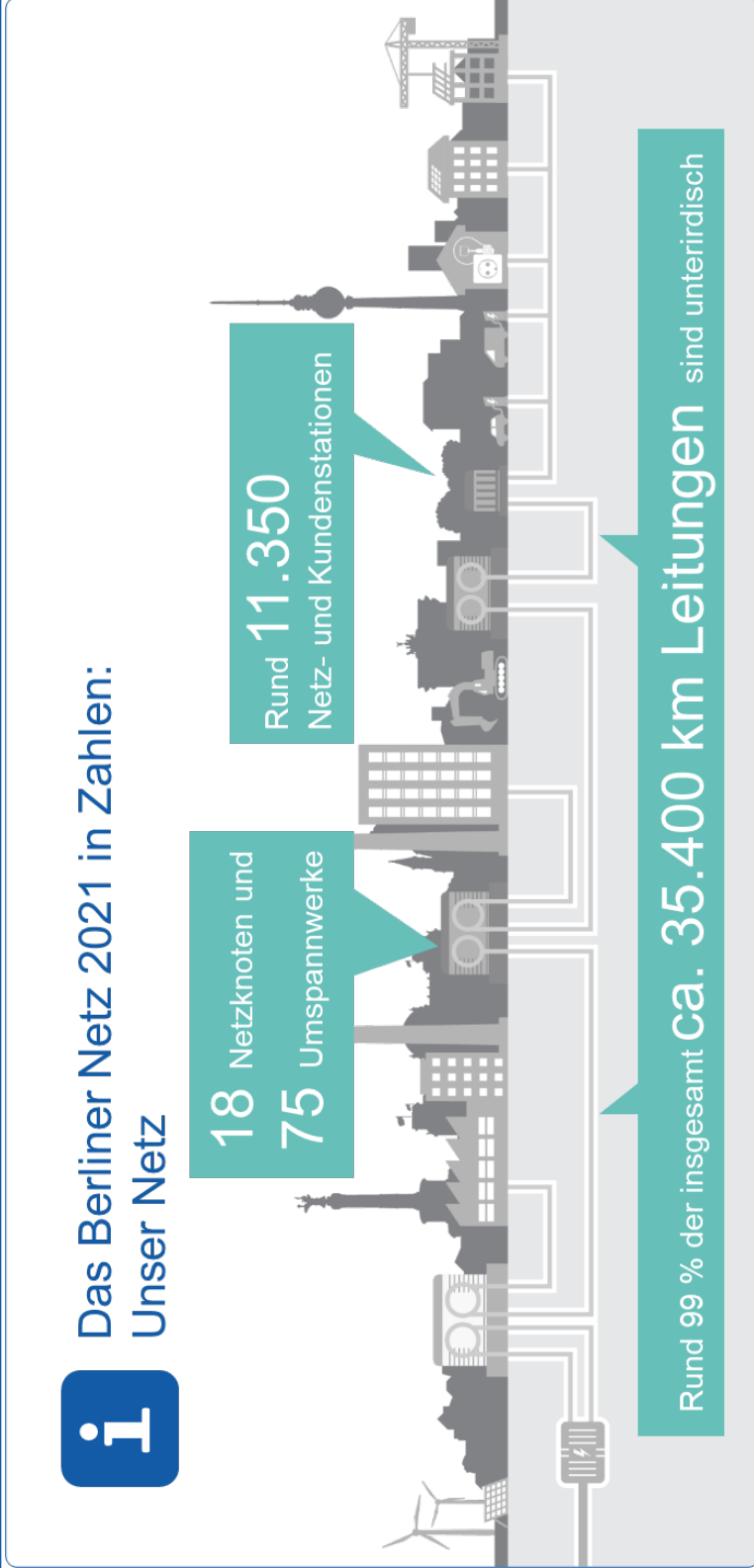
1	Stromnetz Berlin GmbH
2	AMika – Alterung von Mittelspannungskabeln
3	BMika – Bewertung von Mittelspannungskabelnetzen

1 Stromnetz Berlin GmbH



1 Stromnetz Berlin GmbH

1/2

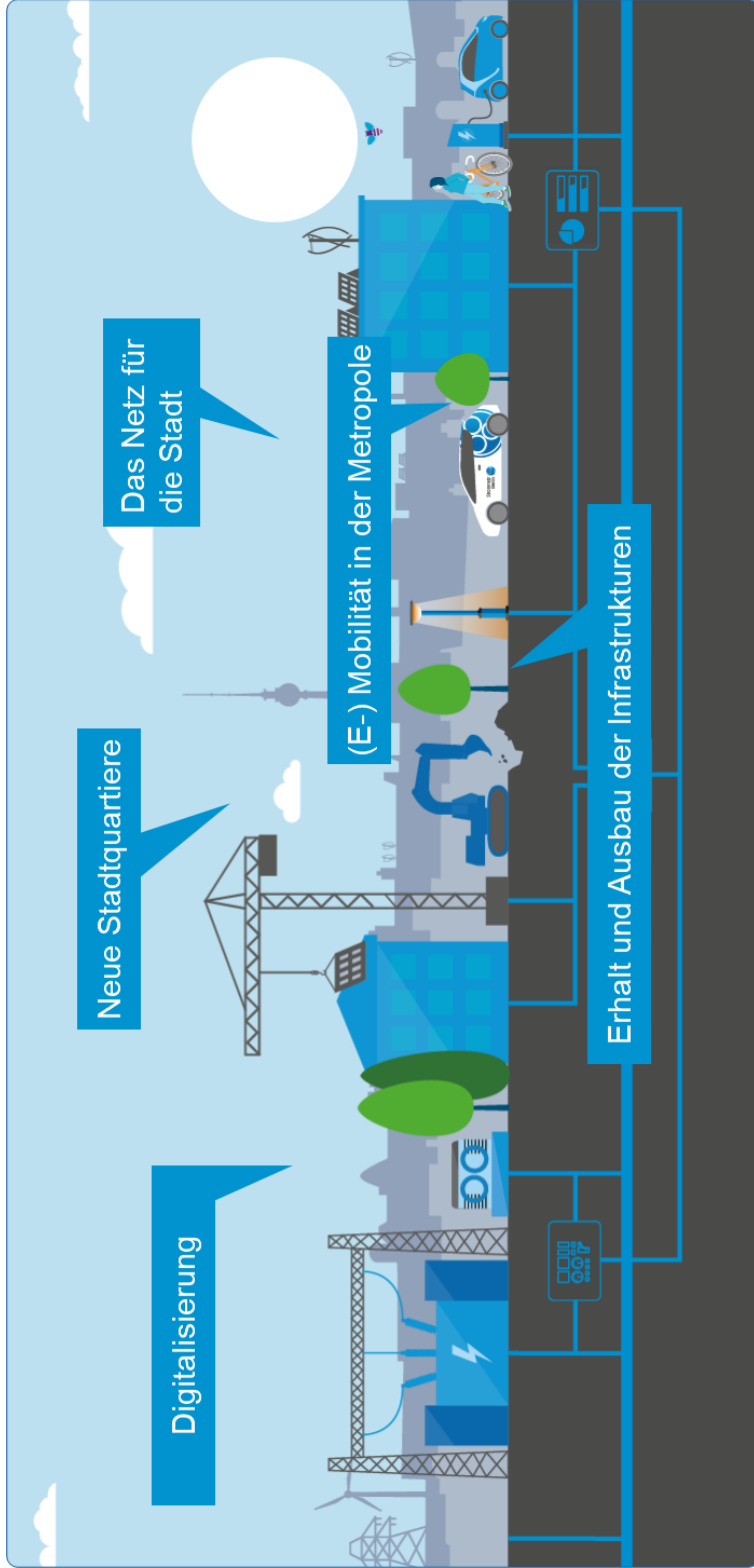


4 Bewertung von Mittelspannungskabelnetzen | D. Eisemann, Z-TTA-KM | 24.02.2023

Confidentiality: C1 - Public

1 Stromnetz Berlin GmbH

2/2



5 Bewertung von Mittelspannungskabelnetzen | D. Eisemann, Z-TTA-KM | 24.02.2023

Confidentiality: C1 - Public



2 AMika – Alterung von Mittelspannungskabeln



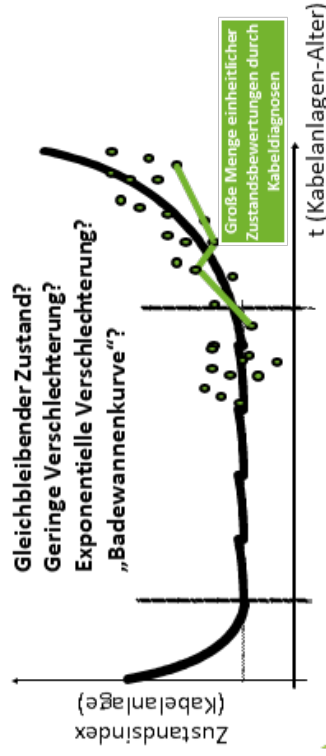
2 AMika – Alterung von Mittelspannungskabeln

Problemstellung:

- Präzise Zustandsbewertungen sowie die **Bestimmung des Alterungsverhaltens** (max. Lebensdauer, Ausfallverhalten etc.) bewirken maßgeblich die (Kosten-)Effizienz von IH- und Asset-Strategien
- Bislang existieren **keine validen Kenntnisse zum Alterungsverhalten** von Mittelspannungskabeln!
- Aktuell genutzte Alterungsmodelle von Mittelspannungskabeln basieren auf **heuristischen Annahmen!**
- Weitverbreitete „Theorie der **Badewannenkurve**“ ist statistisch nicht belegt
- Ergebnisse des Forschungsprojektes zum Alterungsverhalten von Mittelspannungs-Ortsnetzstationen zeigen fundamentale Erkenntnisse

Lösungsansatz:

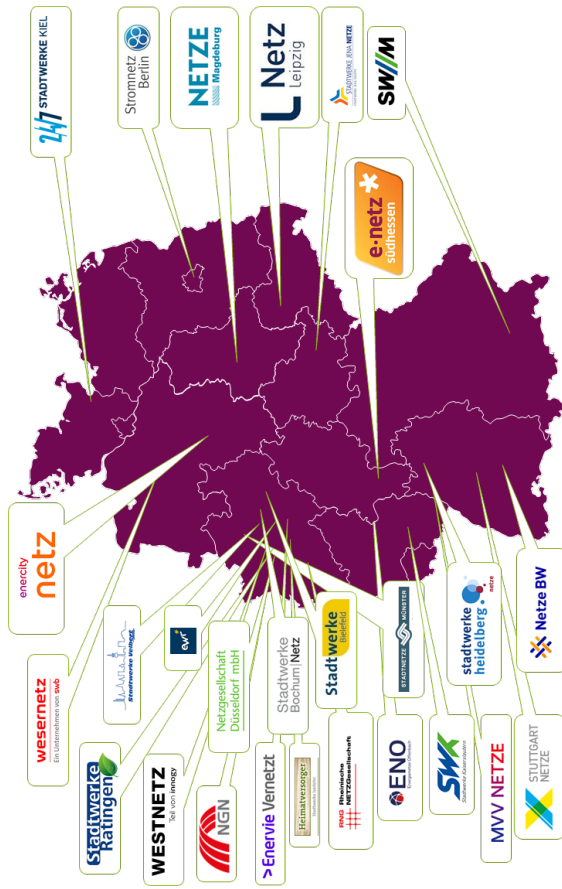
1. Einheitliche Analyse der **Messergebnisse** von Kabelstrecken
2. Vereinheitlichung unterschiedlicher Messmethoden
3. Ableitung des **Alterungsverhaltens**
4. Validierung der Erkenntnisse mit umfangreichen **Laboruntersuchungen** an einer Vielzahl von Mittelspannungskabeln



7 Bewertung von Mittelspannungskabelnetzen | D. Eisemann, Z-TTA-KM | 24.02.2023

Confidentiality: C1 - Public

2 AMika – Projektpartner und Datenbasis



➤ Stammdaten:

- 45.000 km Kabel | 288.000 Muffen
- 82.000 Strecken | 362.000 Abschnitte
- > 100 Kabeltypen
- 10 % des deutschen Kabeinetzes abgebildet

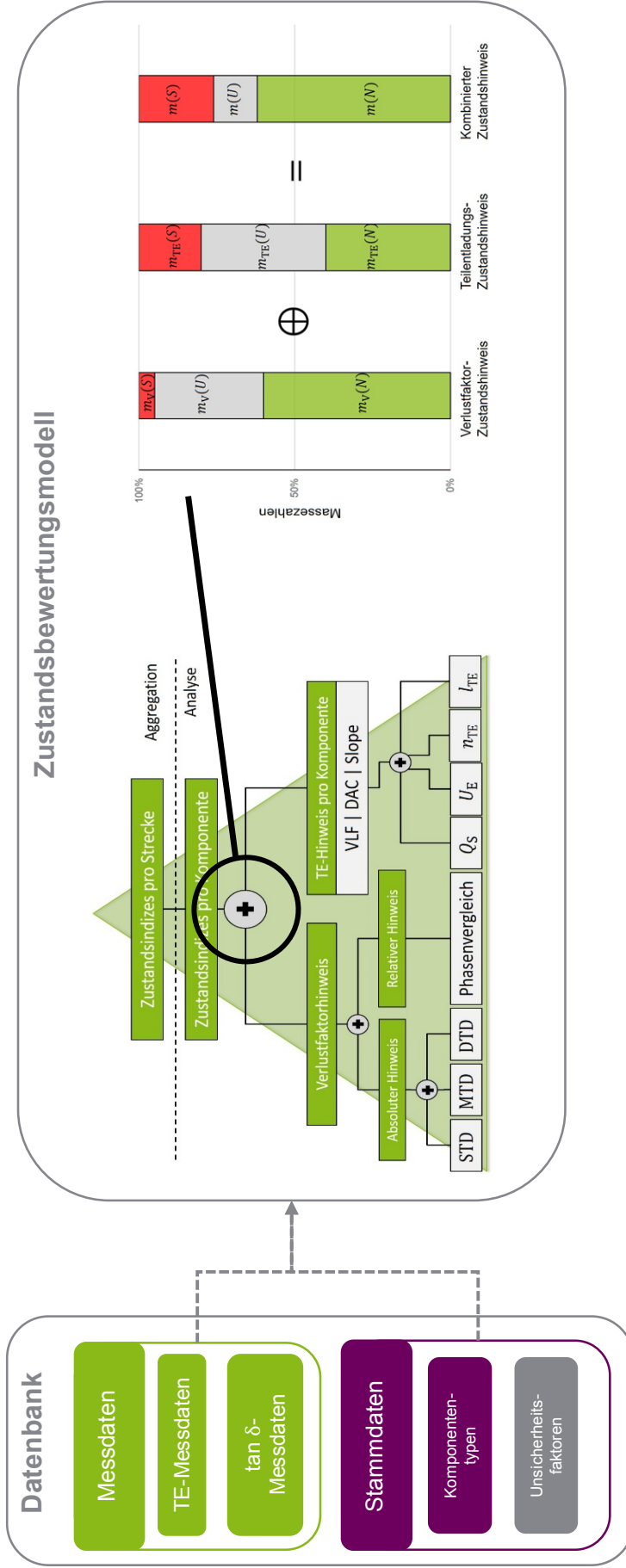
➤ Messdaten:

- 4.000 km Kabel
- 5.000 Strecken | 32.000 Abschnitte | 27.000 Muffen
- 50 Kabeltypen

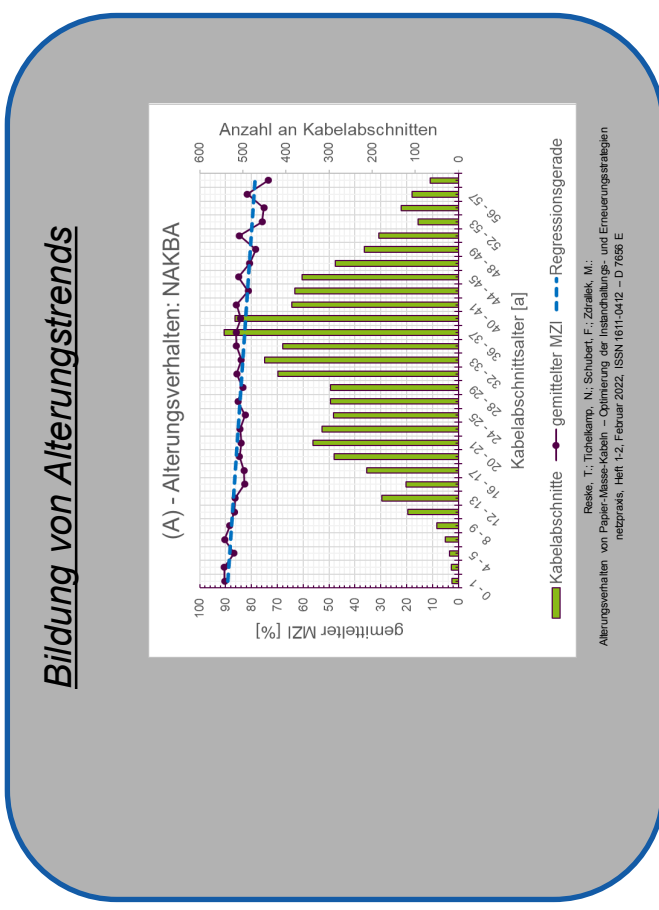
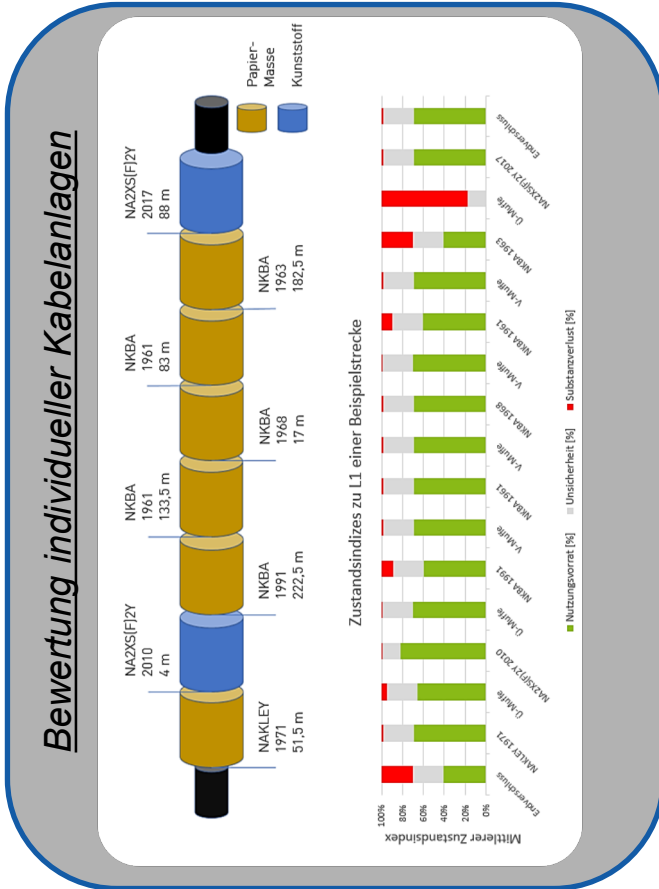
➤ 27 Netzbetreiber aus ganz Deutschland lieferten Stamm- und Messdaten sowie weitreichende Erfahrungen zur Zustandsbewertung und Alterung von Mittelspannungskabeln

8 Bewertung von Mittelspannungskabelnetzen | D. Eisemann, Z-TTA-KM | 24.02.2023

2 AMiKa – Systematik zur einheitlichen Zustandsbewertung



2 AMika – Bewertungsmöglichkeiten



➤ Einsatzmöglichkeit 1

10 Bewertung von Mittelspannungskabelnetzen | D. Eisemann, Z-TTA-KM | 24.02.2023

Confidentiality: C1 - Public

➤ Einsatzmöglichkeit 2



3 BMika – Bewertung von Mittelspannungskabelnetzen



3 BMika – Ziele und Ansätze

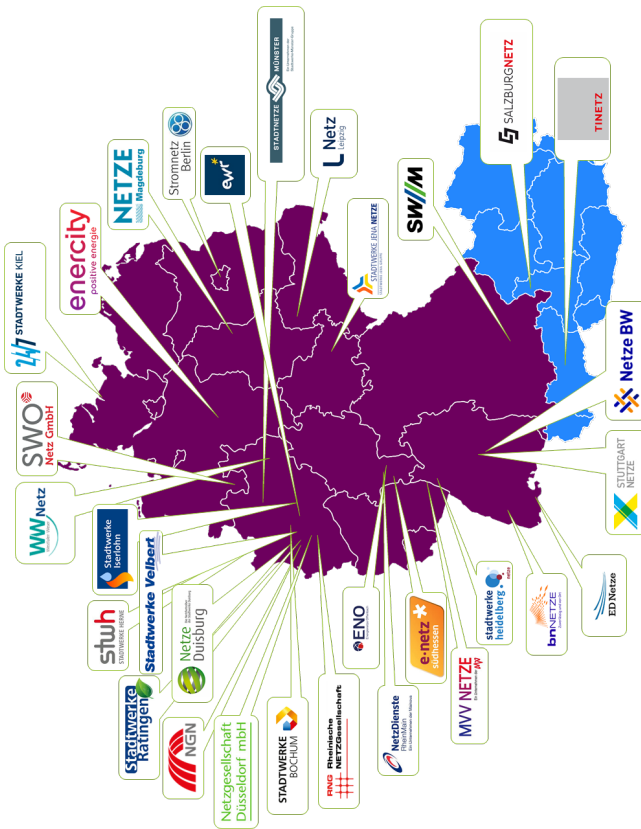
Ziele:

- „Härtung“ und Optimierung der Alterungsverhalten aus dem Vorgänger Projekt „AMika“ (Alterungsverhalten von Mittelspannungskabeln)
- Übertragung der gewonnenen „AMika“-Ergebnisse auf das Gesamtkollektiv nicht gemessener Kabel
 - Ableitung von Archetypen für gängige Mittelspannungskabelkomponenten
 - Kabelstreckennetzbewertung auf Basis ermittelter Archetypen
 - Identifikation kritischer Netzkomponenten im Bestand auf Basis der Archetypen

Lösungsansatz:

- Aufnahme von Mess- und aktuellen Stammdaten in die vorhandene Datenbank des „AMika“-Projekts
- Wiederholungsmessungen bereits gemessener Kabel und Fortführung von eigenen Kabelmessungen aus dem „AMika“-Projekt zur Trendanalyse
- Erarbeitung einer Systematik / eines Tools zur automatisierten Bewertung von nicht gemessenen Kabelstrecken und somit ganzer Kabelnetze (Gesamtkollektiv) auf Basis von entwickelter Archetypen

3 BMika – Projektpartner und Datenbasis



- 31 Projektpartner bestehend aus:
 - 22 „alte“ AMika-Projektpartner
 - 9 „neue“ Projektpartner

- Erweiterung der bestehenden Datenbank um neue Mess- und Stammdaten
 - 7.000 Strecken (+2.000)
 - 32.000 Abschnitte (+10.000)
 - 27.000 Muffen (+8.000)

➤ **31 Netzbetreiber aus ganz Deutschland und Österreich liefern Stamm- und weitere Messdaten von Mittelspannungskabeln.**

13 Bewertung von Mittelspannungskabelnetzen | D. Eisemann, Z-TTA-KM | 24.02.2023

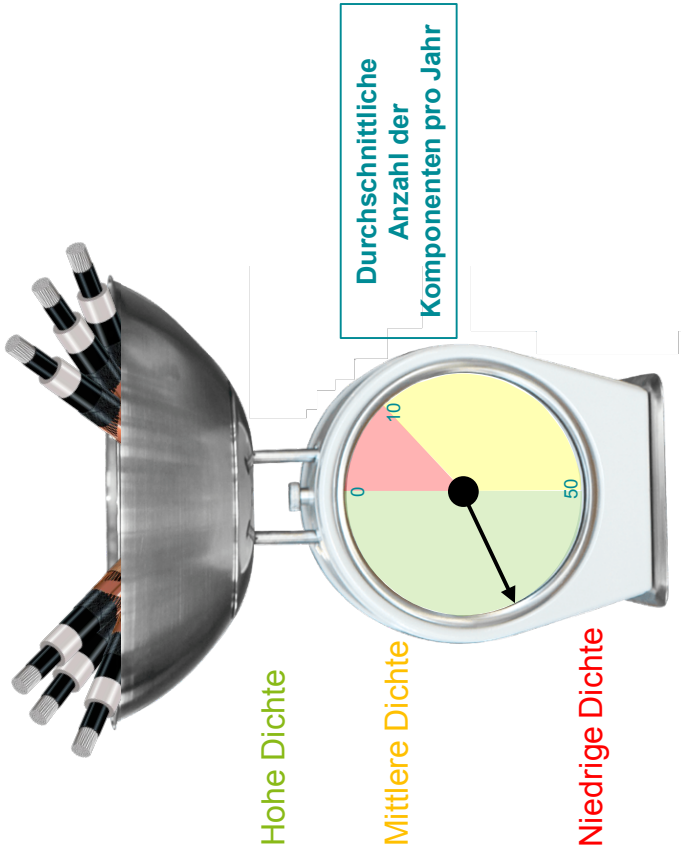
Confidentiality: C1 - Public

3 BMika – Identifikation von Archetypen

BMika - Definition Archetyp:

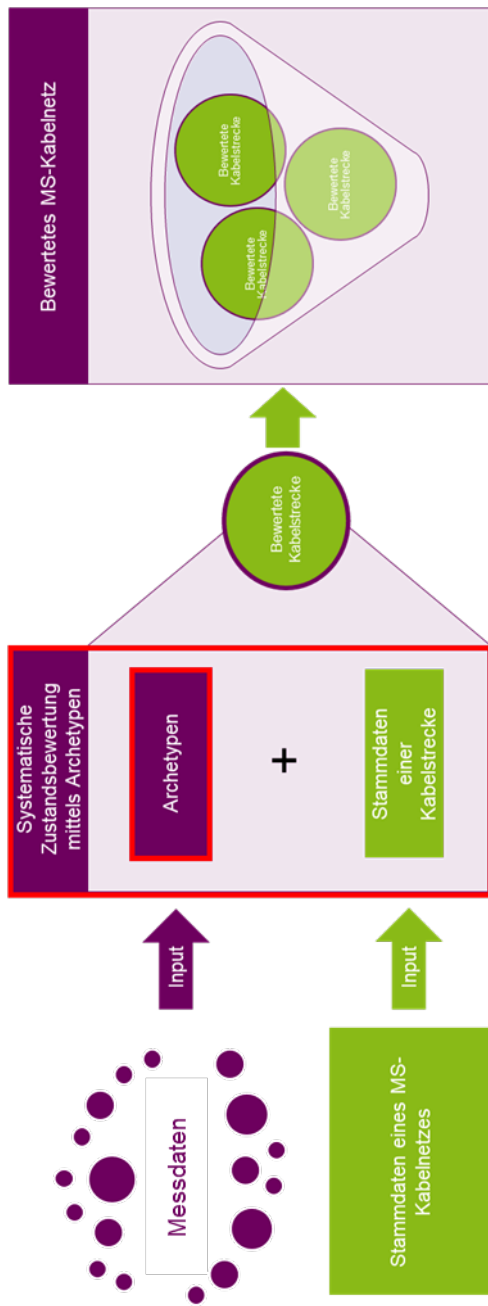
Kabelkomponenten, welche durch Ihre Anzahl in den Netzen der VNB häufig vertreten sind → Bsp. Kabeltyp

Kabeltyp	Messdaten	Zeithorizont	Messdaten / Jahr
NAKBA	7.304	0 – 60 (60 Jahre)	122
NA2XS(F)2Y	4.486	0 – 28 (28 Jahre)	160
NA2YHCaY	4.229	18 – 40 (22 Jahre)	192
NA2XS2Y	3.979	0 – 25 (25 Jahre)	159
NKBA	1.500	0 – 75 (75 Jahre)	20
NA2XS(FL)2Y	1.223	0 – 25 (25 Jahre)	49
NAKLEY	346	19 – 59 (40 Jahre)	9
NAEKYBA	223	16 – 43 (27 Jahre)	8
NA2XSY	213	17 – 40 (23 Jahre)	9
N2XS2Y	194	0 – 23 (23 Jahre)	8
NAEKEBA	181	19 – 81 (62 Jahre)	3
N2XS(F)2Y	174	4 – 31 (27 Jahre)	6



3 BMika – Übertragung von Archetypen auf MS-Kabelnetze

- Bewertung von gesamten Kabelnetzen mit Hilfe der Archetypen
- **Identifikation von kritischen** Kabelstrecken
- Problemorientiertes, punktuelltes Messen führt zu **Kostensparnis**

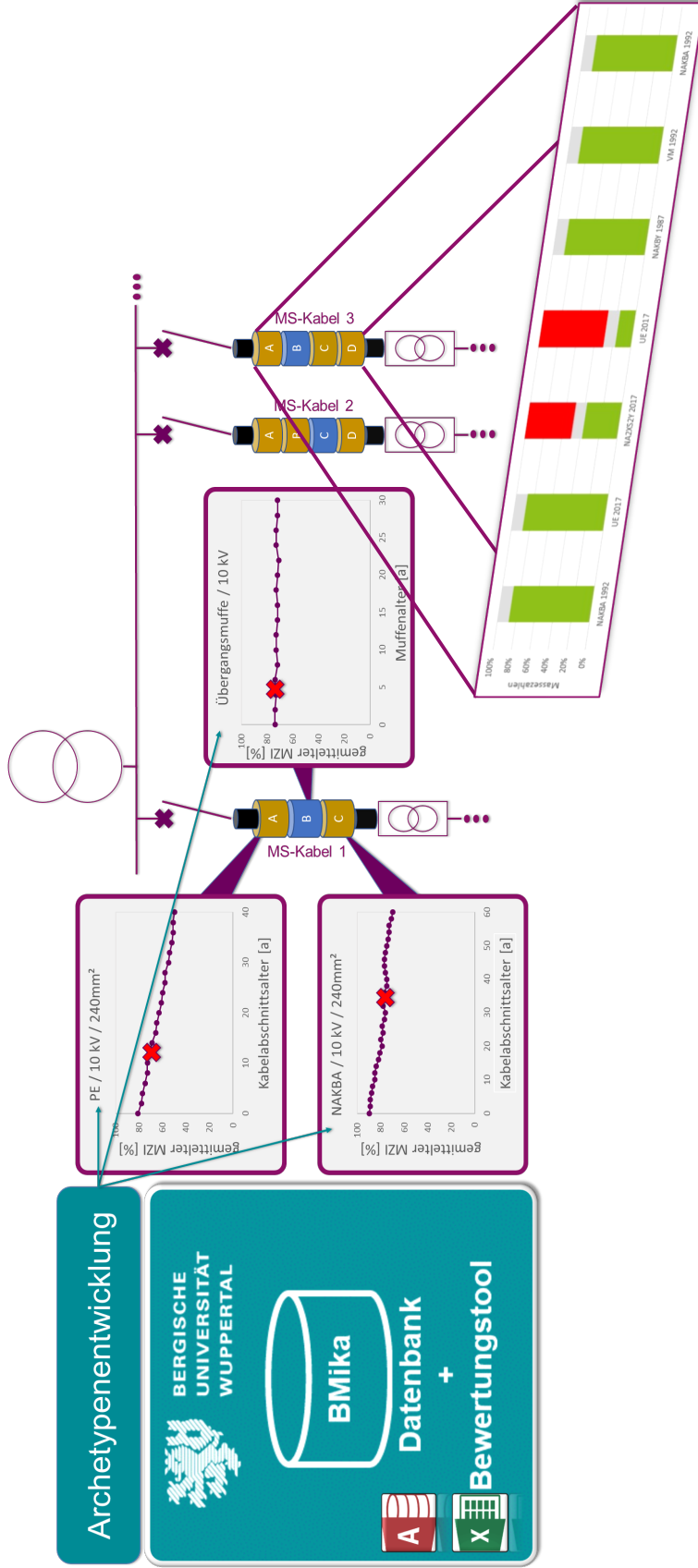


Umsetzung:

- Anwendung der ermittelten Archetypen auf das Verteilnetz der Projektpartner
→ Stammdaten essentiell für komplett bewertetes Kabelnetz
- Erstellung einer Prioritätenliste nach parametrierbarer Einteilung der Kabelstrecken



3 BMika – Praktische Umsetzung



Archypententwicklung

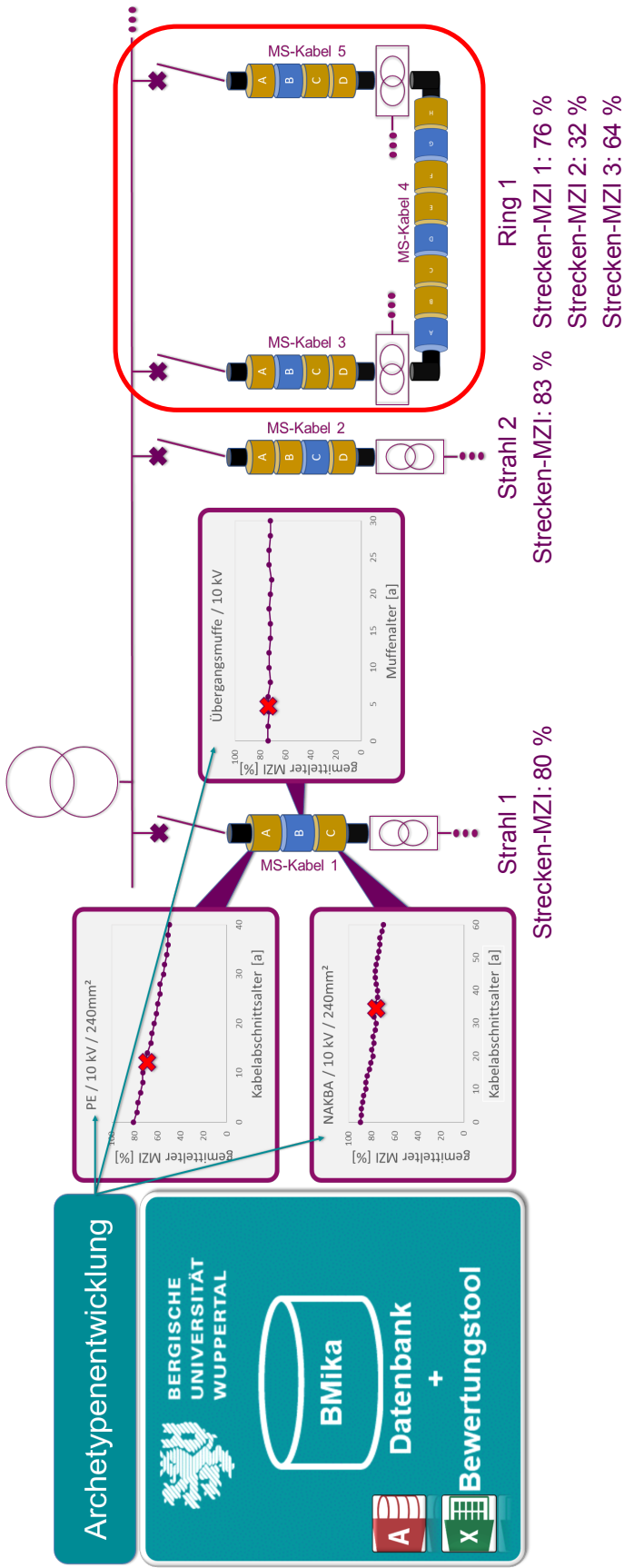
BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

BMika

Datenbank + Bewertungstool

A X

3 BMika – Praktische Umsetzung



➤ Netztopologische Betrachtung als Zielbild

17 Bewertung von Mittelspannungskabelnetzen | D. Eisemann, Z-TTA-KM | 24.02.2023

Confidentiality: C1 - Public



**Gelebte Vielfalt- gemeinsam
sind wir Stromnetz Berlin.**



Strategieoptimierung im Asset-Management von Ortsnetzstationen gestützt durch künstliche Intelligenz

Bernhard Baur

Leiter Assetsteuerung,
Stromnetz Hamburg GmbH



Strategieoptimierung im Asset-Management von Ortsnetzstationen gestützt durch künstliche Intelligenz

Projektpräsentation im Rahmen der Eröffnung des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung an der Bergischen Universität Wuppertal

Bernhard Baur, Stromnetz Hamburg GmbH



Wir machen Hamburg möglich.

© Mediaserver Hamburg / Jörg Modrow

Diese Präsentation enthält vertrauliche Informationen der Stromnetz Hamburg GmbH i. S. d. § 6a ERWG. Diese Informationen dürfen nicht an Wettbewerberliche Bereiche oder Dritte weitergegeben werden.

Agenda



- 01** Unternehmensvorstellung
- 02** Motivation für die Projektteilnahme der SNH
- 03** Das PAM-Zielbild
- 04** Bisherige Ergebnisse
- 05** Zusammenfassung und Ausblick

01 Unternehmensvorstellung

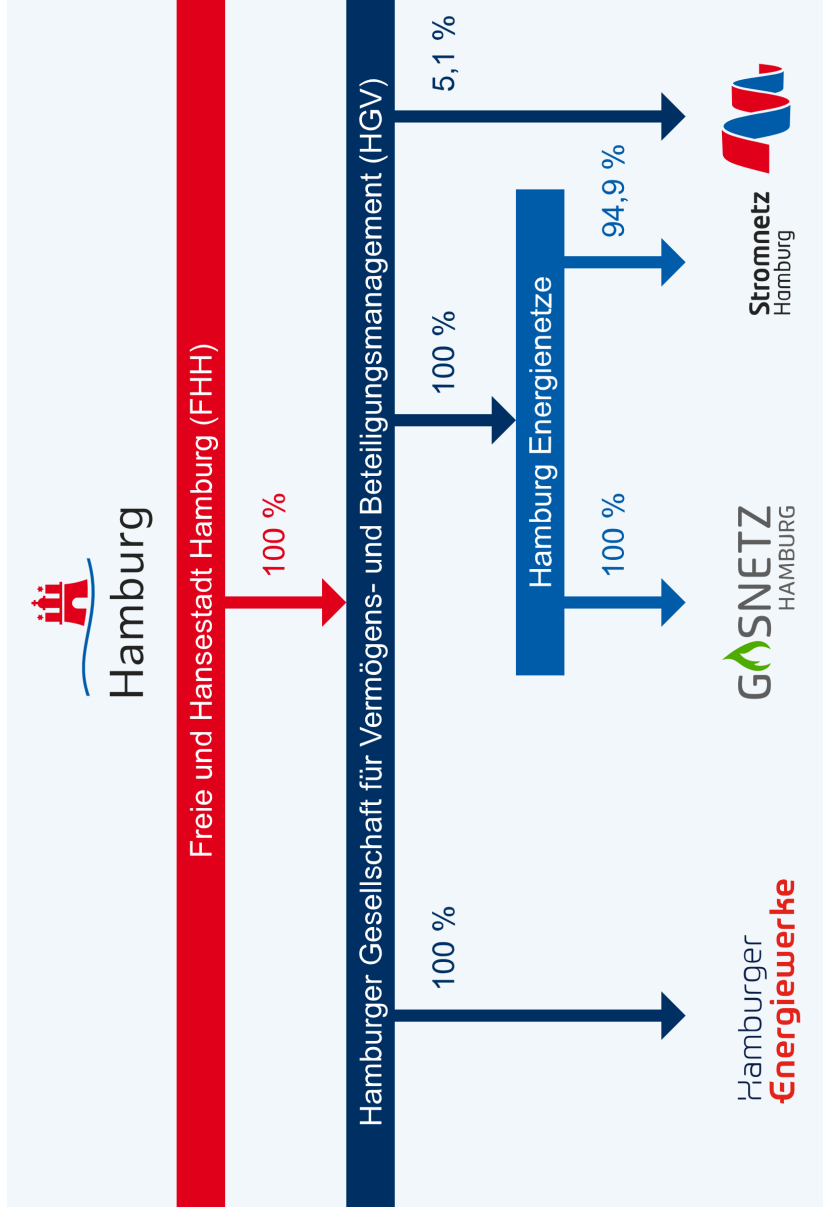
Unsere Gesellschafterstruktur

100 % Hamburg

Die Stromnetz Hamburg GmbH befindet sich zu 100 Prozent im Besitz der Freien und Hansestadt Hamburg.

Die Konzernholding

In der HGV ist ein Großteil der hamburgischen öffentlichen Unternehmen und Beteiligungen gebündelt.

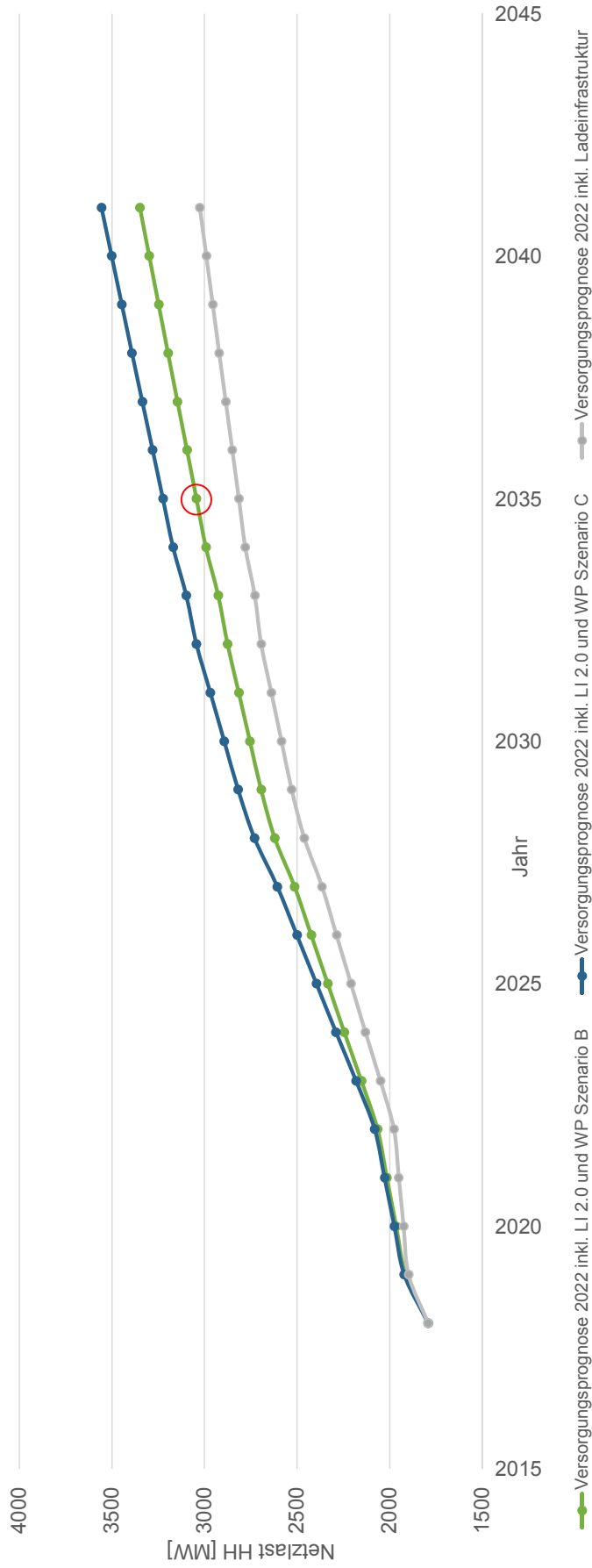






02 Motivation für die Projektteilnahme der SNH

Ein Blick in die Glaskugel: Die Versorgungsprognose bis 2040 zeigt eine erhebliche Veränderung der Versorgungsaufgabe



Die Jahreshöchstlast in der HS-Ebene wird bis 2035 von 1.664 MW auf über 3.000 MW ansteigen. Damit verbunden ist eine Verdoppelung der Jahreshöchstlast in der Umspannung MS/NS von rund 750 MW auf rund 1.500 MW.

Stromnetz Hamburg

24.02.2023 | Bernhard Baur | Predictive Asset-Management – Vorstellung des Forschungsprojekts zur Eröffnung des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung

Diese Präsentation enthält vertrauliche Informationen der Stromnetz Hamburg GmbH i.S.d.§ 6a EnWG. Diese Informationen dürfen nicht an wettbewerbliche Bereiche oder Dritte weitergegeben werden.

Abschätzung der resultierenden technischen Maßnahmen für das Energiewendenetz bis ca. 2035



Stromnetz
Hamburg

Ca. 1.500 – 2.000
Netzstationen

Bis zu 6.000 km
MS-Kabel

3 neue 110-kV-
Sammelschienen

Ca. 300 km HS-
Kabel

Ca. 20 zusätzliche
110-/10-kV-Trafos

Ca. 60 neue 10-
kV-Sammel-
schienen

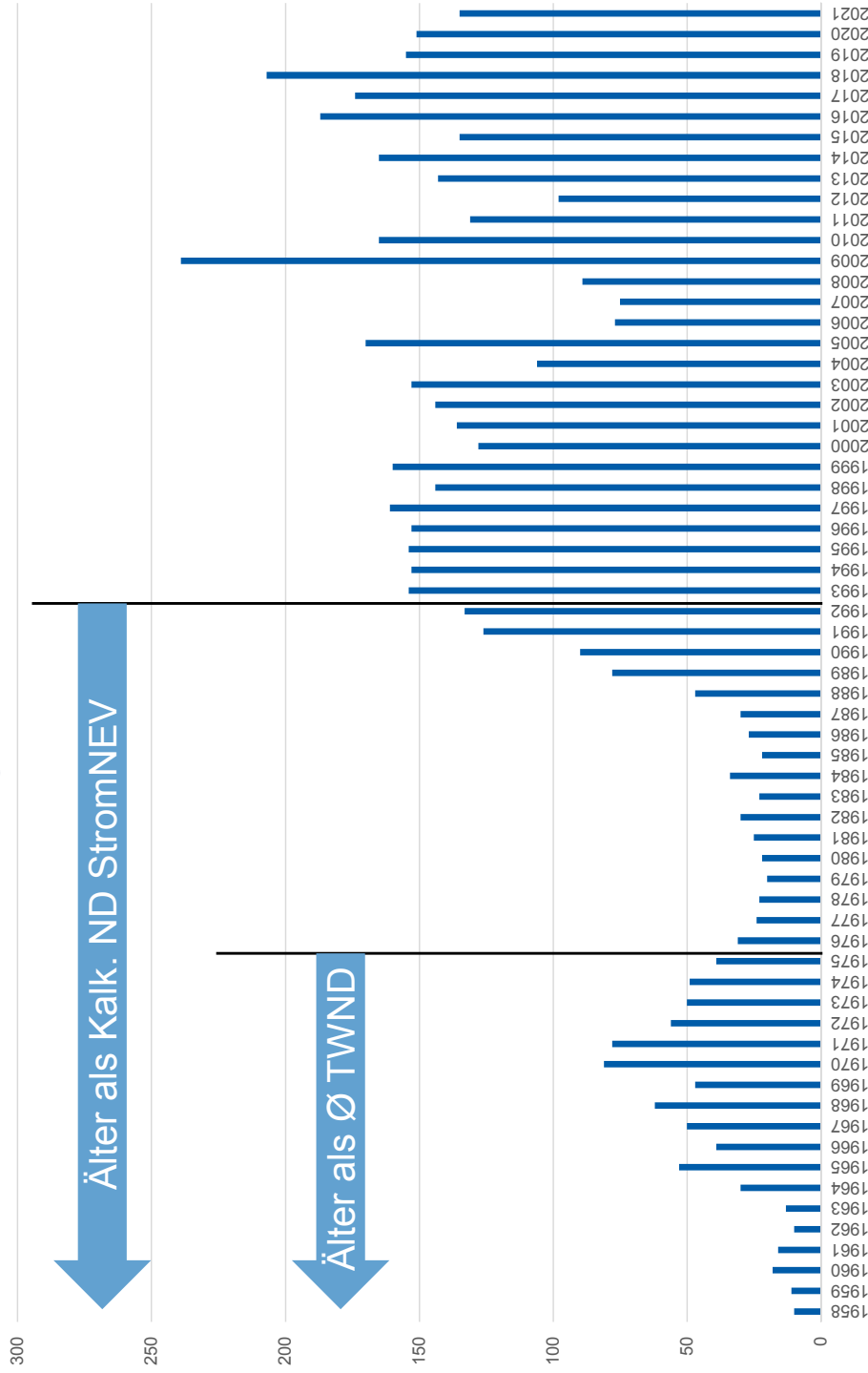
Stromnetz Hamburg

24.02.2023 | Bernhard Baur | Predictive Asset-Management – Vorstellung des Forschungsprojekts zur Eröffnung des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung

9

Diese Präsentation enthält vertrauliche Informationen der Stromnetz Hamburg GmbH | S. 4, § 6a E-WVG. Diese Informationen dürfen nicht an Wettbewerberliche Bereiche oder Dritte weitergegeben werden.

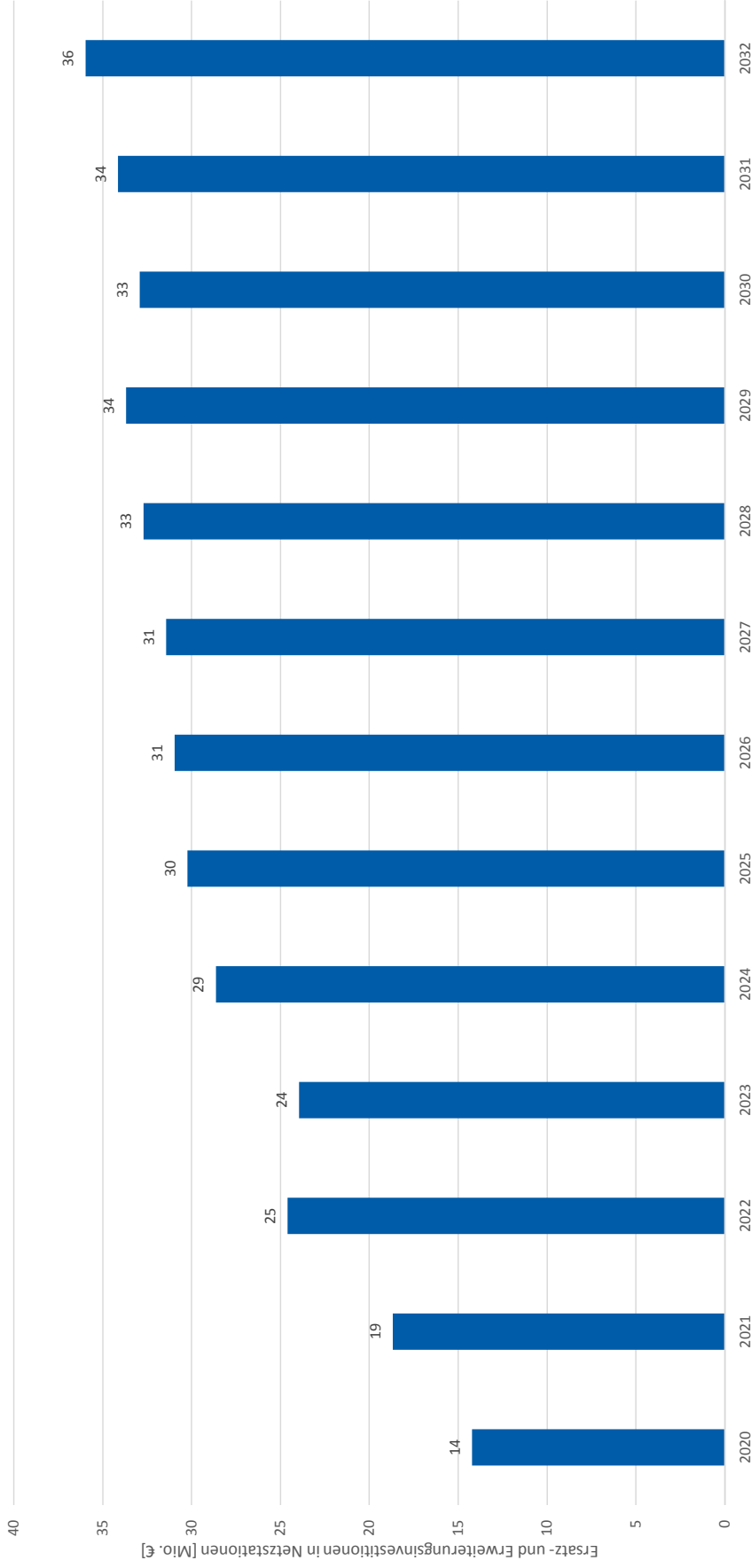
Altersstruktur der MS-Schaltanlagen in Netzstationen



Stromnetz Hamburg | 24.02.2023 | Bernhard Baur | Predictive Asset-Management – Vorstellung des Forschungsprojekts zur Eröffnung des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung

Diese Präsentation enthält vertrauliche Informationen der Stromnetz Hamburg GmbH i.S.d.§ 6a EStG. Diese Informationen dürfen nicht an Wettbewerber weitergegeben werden.

Die Investitionen für Netzstationen steigen in den nächsten 10 Jahren erheblich an – diese müssen zielgerichtet gesteuert werden



Stromnetz Hamburg

24.02.2023 | Bernhard Baur | Predictive Asset-Management – Vorstellung des Forschungsprojekts zur Eröffnung des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung

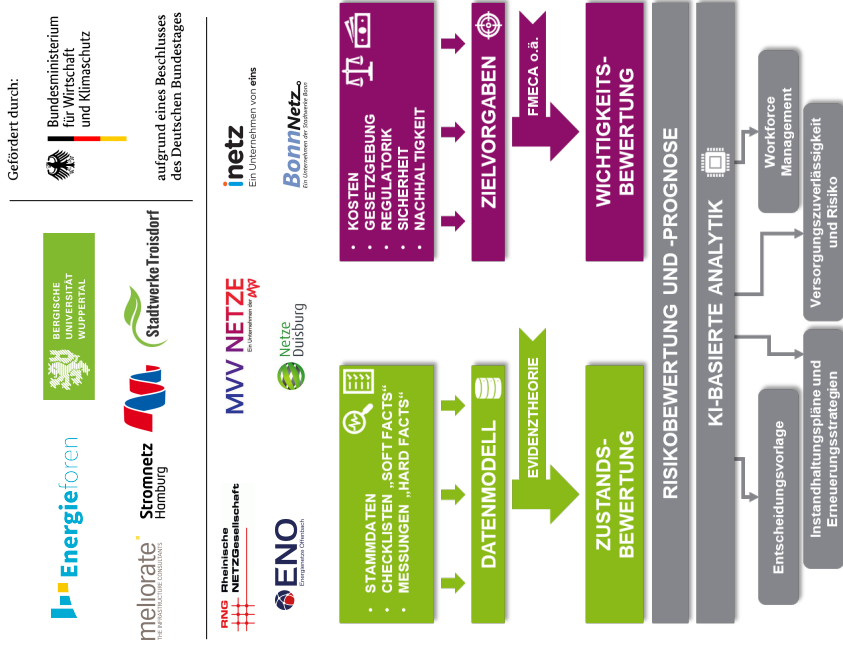
Diese Präsentation enthält vertrauliche Informationen der Stromnetz Hamburg GmbH | S. 4, § 6a E-WG. Diese Informationen dürfen nicht an Wettbewerber oder Dritte weitergegeben werden.

03

Das Projekt Predictive Asset-Management

Motivation | PAM – Predictive Asset-Management

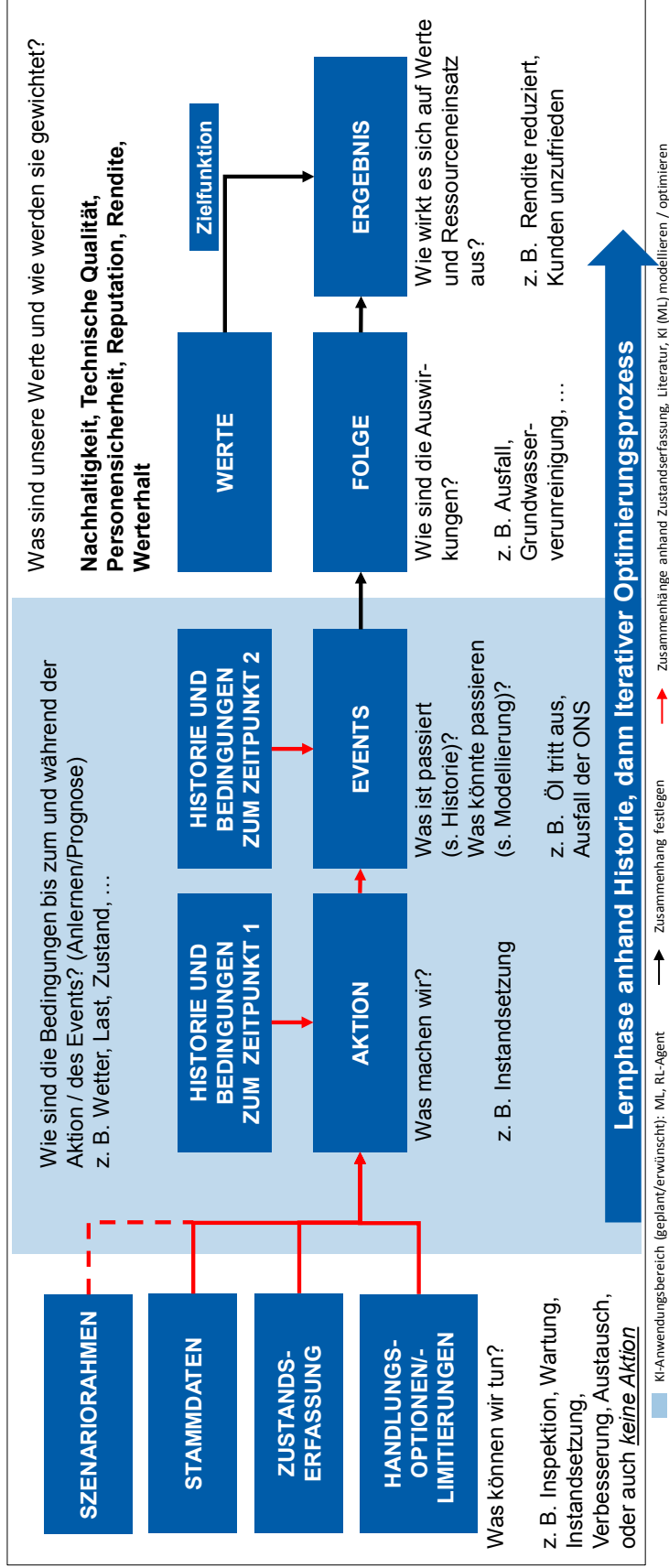
- **Problemstellung**
 - **Hohe Altersstruktur** der Betriebsmittel in den Verteilnetzen
 - **Optimierung von Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategien** zur Kostenreduktion notwendig
 - **Große Menge an Einflussfaktoren** auf die Asset-Strategien
- ### Lösungsansatz
- **Vereinheitlichung** von Zustands- und Stammdaten sowie der **Historien** der Ortsnetzstationen inklusive Störungs- und Wartungsdaten
 - **Verwendung** der Daten als **Input für KI-Modelle** mit Berücksichtigung der Zielgrößen und Rahmenbedingungen, Evaluation und Vergleich mit **konventionellen Methoden**
 - **Entwicklung eines Optimierungsmodells** unter Berücksichtigung der **Unternehmenswerte** der Netzbetreiber



Das PAM-Zielbild | Die Entscheidungslogik



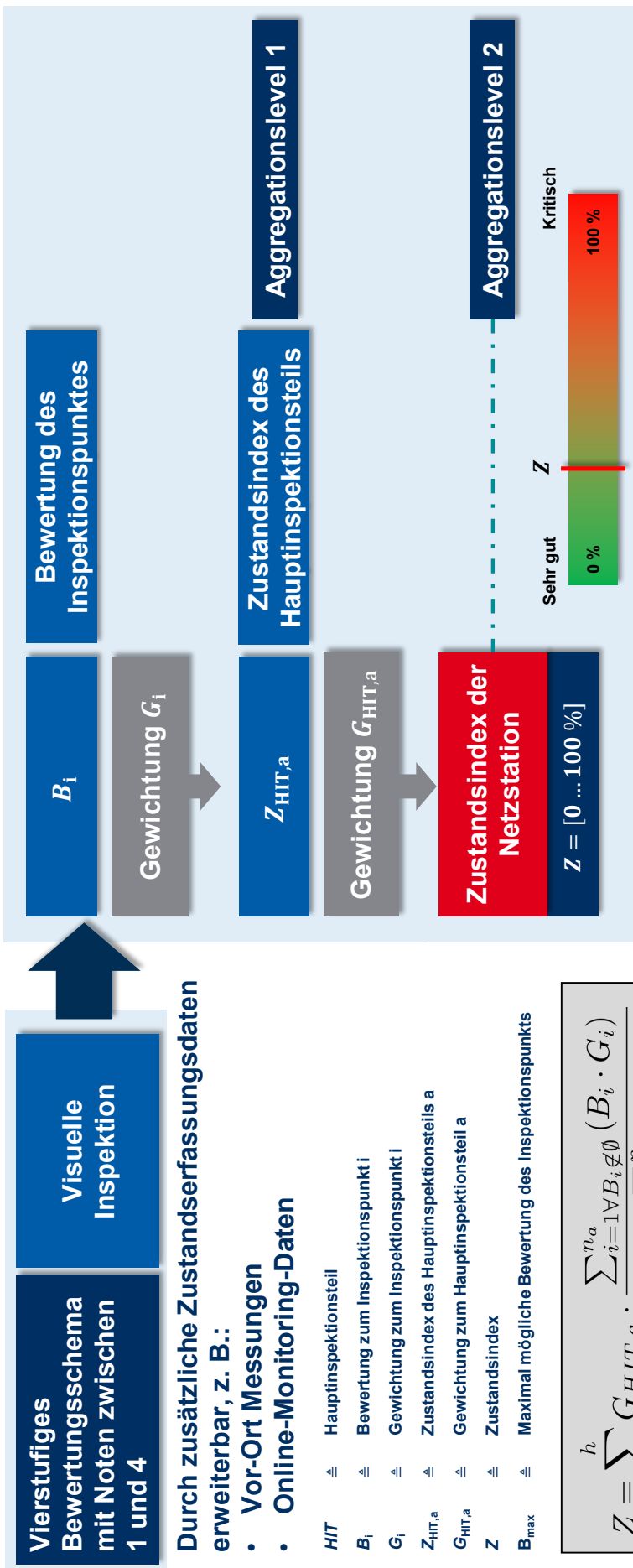
Die Entscheidungslogik bildet den **iterativ** durchlaufenen Prozess ab - insbesondere für die Bewertung der **Wirkzusammenhänge von Aktion, Events und Szenarien** kann der Einsatz von KI nützlich sein



04

Bisherige Ergebnisse

Zustandsbewertung | Gewichtete Aggregation der Bewertungen



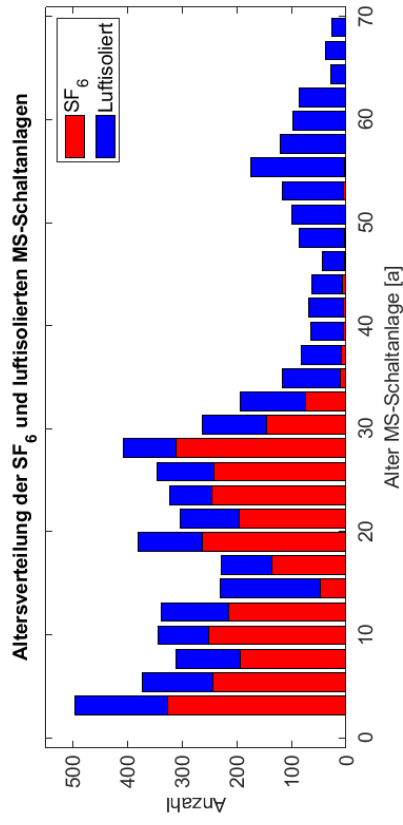
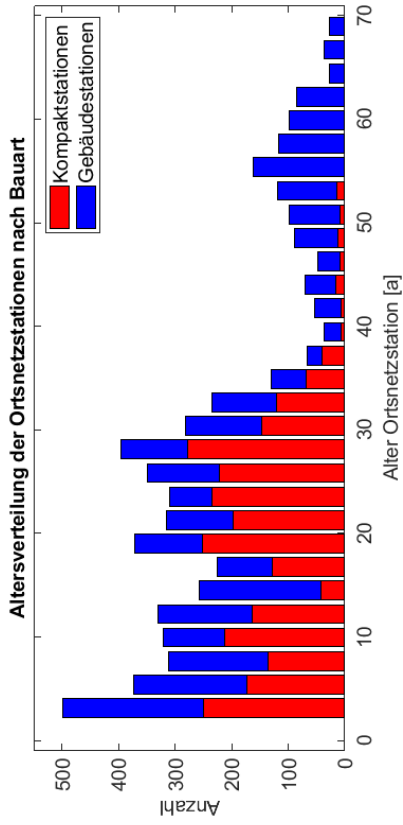
Altersverteilung Ortsnetzstationen und MS-Schaltanlagen

Stationstypen

- > 40 Jahre überwiegend Gebäudestationen
- Weniger Stationsneubau zwischen 1975 und 1985
- Zubau von **Kompaktstationen ab 1985**
- In den letzten 10-15 Jahren ausgeglichen

MS-Schaltanlagen

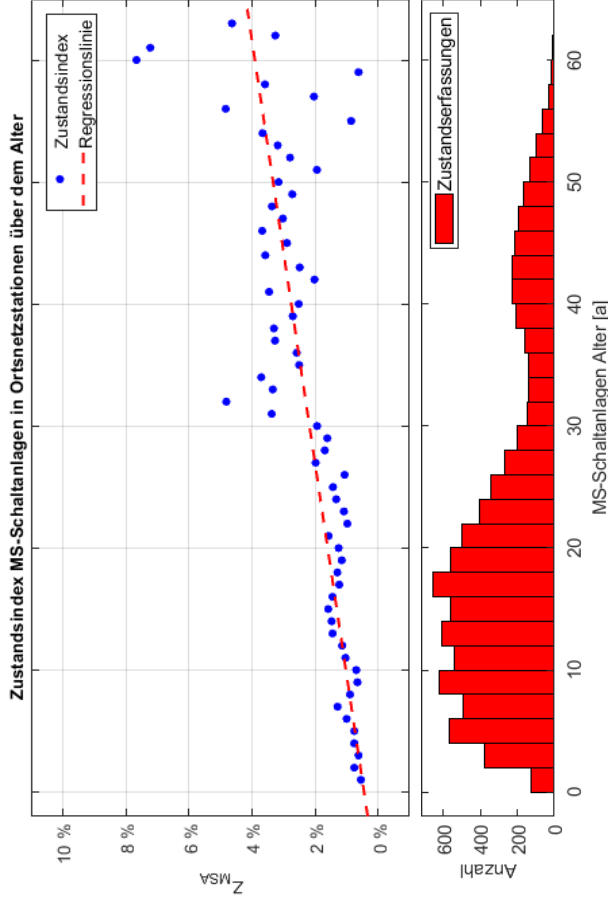
- Zunahme von **SF₆-Anlagen ab 1985**
- Noch deutlicher Anteil an luftisolierten MS-Schaltanlagen verbaut - **35 bis 65 Jahre in Betrieb**
- In den letzten 10 Jahren Verhältnis von SF₆ zu luftisoliert ca. bei 2:1



Ergebnisse zum Zustandsindex der MS-Schaltanlagen über dem Alter

- Normierter Z_{MSA} liegt zwischen **0,5 %** und **7,9 %**
- Geringere Datenlage ab 35 Jahren verstärkt die Streuung der gemittelten Bewertungen
- Lineare Regression zur Zustandsentwicklung
 - Im Bereich 0 bis 30 Jahre **sehr valide** durch hohen Anlagen- und Datenbestand
 - Insgesamt **deutlicher Anstieg über dem Alter** erkennbar
- Gutes **Basismodell** mit dem **Betriebsmittelalter** als Eingangsparameter für spätere Vergleiche mit **Machine Learning** Modellen

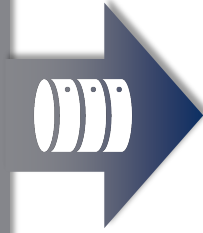
- Einschränkung des Wertebereichs für den Zustandsindex ist sinnvoll (z. B. 0 – 30 %)



- Datengrundlage
 - ✓ **6.000 ONS** mit ca. **29.000 Bewertungen**
 - ✓ Inspektionszeitraum **2008 - 2021**

Ansatz Machine Learning zur Zustandsprognose

- **Bisher: Zustandsbewertung anhand vorhandener Inspektionsdaten**
 - Konventionelle Zustandsbewertungssystematik
 - Zustandsentwicklung anhand des Alters



- **ML-Ansatz: Einbeziehen weiterer Daten und Training eines ML-Modells auf die Zielgröße Zustandsindex:**
 - Weitere Stammdaten neben dem Alter: Schaltanlagentyp, Hersteller, Standort etc.
 - Einbezug der gesamten ONS-Historie: Wartungen, Inspektionen, Störungen, Erneuerungen



Machine Learning Modell zur Zustandsprognose auf Basis von Stammdaten und der ONS Historie



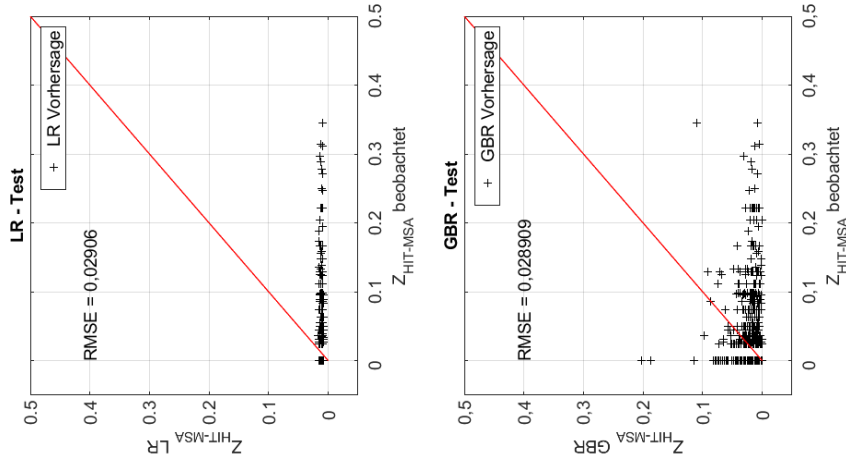
i Analoges Vorgehen zur ML-Prognose von Events (z. B. Öläustritt am Transformator einer ONS)

ML = Machine Learning
 MSA = Mittelspannungs-Schaltanlage
 ONS = Ortsnetzstation

Erste Ergebnisse zur Zustandsprognose mittels ML-Ansatz

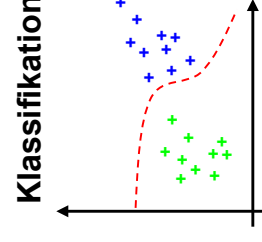
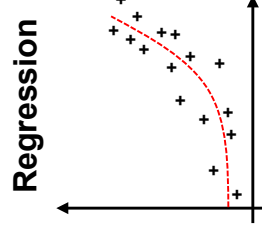
- Darstellung der Vorhersageergebnisse in Streudiagrammen
- Vorhergesagte Zustandsindices aufgetragen über den „wahren“ Zustandsindices (beobachtete Werte)
- Bewertung mittels Metriken für den Vorhersagefehler, hier **RMSE** (Root Mean Square Error)
- **Einordnung der Ergebnisse:**
 - RMSE liegen bei den unterschiedlichen Regressoren nah beieinander
 - Im Vergleich mit dem rein linearen Regressionsmodell ein leicht **niedrigerer Fehler**
 - Insgesamt sind mehr Daten zur **Optimierung des Modells** erforderlich

LR = Linear Regression
GBR = Gradient Boosting Regressor



Ansätze zur Optimierung des bisher aufgestellten Machine Learning Modells zur Zustandsprognose von MS-Schaltanlagen

- Hinzufügen **weiterer Features** (Merkmale) als Eingangsparameter für das Modell (u. a. Störungsdaten der ONS bzw. MS-Schaltanlagen)
- **Vergrößerung der Datenbasis** durch Daten weiterer VNB
 - **Historisierte Daten** bzw. Mehrfachbewertungen von ONS über einen längeren Zeitraum
 - **ONS-Historie** inklusive Wartungsdaten, Störungsdaten etc.
- Begrenzung der **Trainingsdaten** und der Prognose auf einen Zeitraum, in dem eine bessere Datenlage vorliegt, wie z. B. der **Altersbereich von 0 bis 30 Jahre**
- Begrenzung des **Wertebereichs für den Zustandsindex**
- Aussortieren von qualitativ schlechten Daten mit vielen Datenlücken
- Weiterer Ansatz: **Klassifikation** statt **Regression** (Einteilung der ONS bzw. MS-Anlagen z. B. in „gute“ und „schlechte“ oder evtl. in 3 Klassen)



05

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

Konventionelle Zustandsbewertung

- MS-Schaltanlagen der betrachteten VNB insgesamt in **gutem bis sehr gutem Zustand** (auch > 40 Jahre)
- **Einschränkung des Wertebereichs** des Zustandsindices sinnvoll

Lineare Zustandsverschlechterung mit dem Alter

- Lineare Regression ist ein **gutes Basismodell** zur Approximation der Zustandsentwicklung

Machine Learning Ansatz zeigt Potential für ein umfangreiches Prognosemodell für die Zustandsentwicklung von MS-Schaltanlagen in ONS

Ausblick

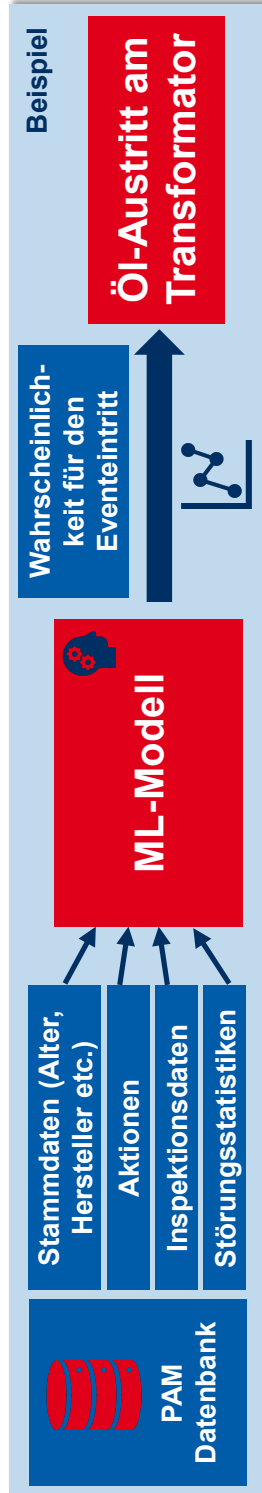
Einbezug der Daten weiterer teilnehmenden VNB zur **Vergrößerung der Gesamtdatenbasis**

Optimierung des **ML-Modells zur Zustandsprognose**

- **Variation** der Datengrundlage
- Hinzufügen **weiterer Features**
- Verbesserung der **Datenqualität**

Entwicklung eines **ML-Modells zur Prognose von ONS-Events** (insbes. Störungsents))

- Zuordnung von Einflussfaktoren auf die **Eventwahrscheinlichkeit**
- Analyse von **ONS-Störungsdaten** für die datenbasierte Modellierung



Fazit



„Das Problem zu erkennen ist wichtiger als die Lösung zu erkennen, denn die genaue Darstellung des Problems führt zur Lösung.“

Albert Einstein
Physiker



Bernhard Baur
Leiter Assetsteuerung

bernhard.baur@stromnetz-hamburg.de

+49 40 49202 8528

+49 152 5462 7074

Feierliche Eröffnung des NRW Kompetenzzentrums Zustandsbewertung

Ministerin Mona Neubaur

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

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

D-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

Offsetdruckerei Figge GmbH, Wuppertal

Auflage: 300 Stück

© Alle Rechte vorbehalten

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

Wuppertal, Februar 2023

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, Nils: Dezentrale Zustandsüberwachung für intelligente Niederspannungsnetze 2013

Band 2: Stötzel, Marcus: Strategische Ressourcendimensionierung von Netzleitstellen in Verteilungsnetzen

Band 3: Zdrallek, Markus (Hrsg.): Tagungsband zum 2. Wuppertaler Energie-Forum, 2014

Band 4: Oerter, Christian: Autarke, koordinierte Spannungs- und Leistungsregelung in Niederspannungsnetzen, 2014

Band 5: Athamna, Issam: Zuverlässigkeitsberechnung von Offshore-Windparks, 2015

Band 6: Thies, Hans Henning: Ein übergreifendes Modell zur Optimierung von Netz und Netzbetrieb 2015

Band 7: Zdrallek, Markus (Hrsg.): Tagungsband zum 3. Wuppertaler Energie-Forum, 2016

Band 8: Harnisch, S.; Steffens, P.; Thies, H.; Monscheid, J.; Münch, L.; Böse, C.; Gemsjäger, B.: Planungs- und Betriebsgrundsätze für ländliche Verteilungsnetze – Leitfaden zur Ausrichtung der Netze an ihren zukünftigen Anforderungen, 2016

Band 9: Pawlowski, Erik: Realitätsgerechte Zustandsbewertung gasisolierter Hochspannungsschaltanlagen, 2016

Band 10: Zdrallek, Markus (Hrsg.): Seminar "Smart Grids" – Aufbau und Betrieb von intelligenten Verteilnetzen, 2. Auflage 2016

Band 11: Beerboom, Dominik: Objektive Zustandsbewertung von Mittelspannungsnetzen als Grundlage der Asset-Optimierung, 2017

Band 12: Tabke, Thorsten: Entwicklung und Anwendung eines typunabhängigen, minimalinvasiven Zustandsbewertungsverfahrens für SF₆-Hochspannungsschaltanlagen, 2017

Band 13: Uhlig, Roman: Nutzung der Ladeflexibilität zur optimalen Systemintegration von Elektrofahrzeugen, 2017

Band 14: Zdrallek, Markus (Hrsg.): Tagungsband zum 4. Wuppertaler Energie-Forum, 2018

Band 15: Zdrallek, Markus (Hrsg.): Portrait des Lehrstuhls für Elektrische Energieversorgungstechnik, 2017

Band 16: Steffens, Philipp: Innovative Planungsgrundsätze für ländliche Mittelspannungsnetze, 2018

Band 17: Johae, Christopher: Realitätsgerechte Zustandsbewertung von Mittelspannungsanlagen durch Einsatz geeigneter Messverfahren, 2018

Band 18: Meese, Jan: Dynamische Stromtarife zur Erschließung von Flexibilität in Industrieunternehmen, 2018

Band 19: Dorsemagen, Felix: Zustandsidentifikation von Mittelspannungsnetzen für eine übergreifende Automatisierung der Mittel- und Niederspannungsebene, 2018

Band 20: Harnisch, Sebastian: Planung von ländlichen Niederspannungsnetzen mit innovativen Lösungsoptionen, 2019

Band 21: Nebel, Arjuna: Auswirkung einer übergeordneten Steuerung dezentraler elektrischer Anlagen auf die Höhe des konventionellen positiven Redispatcheinsatzes in Deutschland, 2019

Band 22: Kornrumpf, Tobias: Bewertung von Flexibilitätsoptionen in Mittelspannungsnetzen, 2019

Band 23: Zdrallek, Markus (Hrsg.): Seminar "Smart Grids" – Aufbau und Betrieb von intelligenten Verteilnetzen, 2019

Band 24: Wolter, Daniel: Neue Topologiekonzepte für moderne Mittelspannungsnetze, 2019

Band 25: Hopfer, Nikolai: Nutzen der Breitband-Powerline-Kommunikation zur Erfassung kritischer Kabelzustände in Verteilungsnetzen, 2019

- Band 26:** Zdrallek, Markus (Hrsg.): Tagungsband zum 5. Wuppertaler Energie-Forum, 2020
- Band 27:** Schäfer, Karl Friedrich: Netzberechnung - Übungsaufgaben mit Lösungen, 2020
- Band 28:** Dahlmann, Benedikt: Aktivierung und Vermarktung industrieller Flexibilitätsoptionen mittels eines dynamischen Stromtarifs, 2020
- Band 29:** Ludwig, Marcel: Aktivierung und Vermarktung industrieller Flexibilitätsoptionen mittels eines dynamischen Stromtarifs, 2020
- Band 30:** Zdrallek, Markus (Hrsg.): Seminar "Elektromobilität in der Netzplanung" - Strategien für Ladeinfrastruktur, Anwendungsfälle und Praxisbeispiele, 2020
- Band 31:** Korotkiewicz, Kamil: Koordinierte, teilautarke Regelung von Mittelspannungsnetzen unter Einsatz dezentraler Automatisierungslösungen, 2021
- Band 32:** Steinbusch, Philippe: Adaptive, aufwandsminimale und fehlerrobuste Automatisierung von Niederspannungsnetzen, 2021
- Band 33:** Möhrke, Fabian: Auswirkungen der Energiewende auf die Zuverlässigkeit von Nieder- und Mittelspannungsnetzen, 2021
- Band 34:** Wruk, Julian: An Optimisation Approach to Automated Strategic Network Planning at Low-Voltage Level, 2021
- Band 35:** Zdrallek, Markus (Hrsg.): Planungs- und Betriebsgrundsätze für städtische Verteilnetze, 2021
- Band 36:** Kamps, Kristof: Auswirkungen von Smart-Grid-Technologien auf die Zuverlässigkeit von Mittel- und Niederspannungsnetzen, 2021
- Band 37:** Cibus, Kevin: Automatisierte Zielnetzplanung zur Entwicklung von innovativen Planungsgrundsätzen für ländliche Niederspannungsnetze in Europa, 2022
- Band 38:** Stephan, Jessica: Modulare Netzzustandsprognosen für Mittel- und Niederspannungsnetze, 2022
- Band 39:** Schmidt, Robert: Gewinnoptimale Vermarktung lastseitiger Flexibilitätsoptionen in Virtuellen Kraftwerken, 2022
- Band 40:** Paulat, Frederik: Lokale Flexibilitätsmärkte für das präventive Engpassmanagement von Mittelspannungsnetzen, 2022
- Band 41:** Zdrallek, Markus (Hrsg.): Tagungsband zum 6. Wuppertaler Energie-Forum, 2022
- Band 42:** Kotthaus, Kevin: Marktbasierter Flexibilitätseinsatz zur präventiven Netzengpassbewirtschaftung in Mittel- und Niederspannungsnetzen, 2022
- Band 43:** Dalamaras, Petros: Realitätsgerechte Alterungsmodelle von Mittelspannungs-Netzstationen als Basis optimierter Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategien, 2022
- Band 44:** Garzón Real, James Leonardo: Ein Netzautomatisierungskonzept für gekoppelte Strom- und Gasverteilnetze, 2022
- Band 45:** Uhlemeyer, Björn: Optimale Eigenversorgung in zellularen Energiesystemen auf Mittel- und Niederspannungsebene, 2022
- Band 46:** Hobert, Alexander: Analyse der Flexibilitätsoptionen zur Optimierung des elektrischen Energiesystems von urbanen Quartieren, 2023