

## Hochauflöste Planung, klare Prioritäten

# Netzstrategie für die Energiewende in Solingen

Die Elektrifizierung von Wärme und Verkehr stellt die Verteilnetze vor enorme Herausforderungen – auch in Solingen. Eine aktuelle Zielnetzplanung zeigt, wie sich durch räumlich hochauflöste Analysen Engpässe präzise identifizieren und Maßnahmen gezielt planen lassen. Das Ergebnis: ein klar umrissener Handlungsbedarf, priorisierte Ausbaustrategien und eine realistische Einschätzung des künftigen Ressourcenbedarfs. Die dargestellten Erkenntnisse und Ergebnisse bieten auch für andere Netzbetreiber wertvolle Impulse.

Die Energiewende verändert die Anforderungen an die Stromnetze grundlegend. Neben der Umstellung auf eine klimaneutrale Stromerzeugung ist es vor allem die Elektrifizierung des Verkehrs und der Wärmeversorgung, die den Ausbaubedarf der Verteilnetze in den kommenden Jahrzehnten massiv ansteigen lässt. Elektrofahrzeuge, Wärmepumpen, Photovoltaikanlagen und Speicher sollen in einer Größenordnung zunehmen, die heutige Netzstrukturen in weiten Teilen überfordern würde, wenn keine gezielten Anpassungen erfolgen.

Für die SWS Netze Solingen GmbH heißt das, ihre Verantwortung als moderner und zukunftsorientierter Verteilnetzbetreiber auch unter den besonderen örtlichen Gegebenheiten konsequent wahrzunehmen. Die bergische Großstadt verfügt über eine Mischung aus dichter städtischer Bebauung, randstädtischen Gebieten und einer besonderen elektrischen Infrastruktur durch das Oberleitungsbussystem (OBUS). Bereits 2023 wurden im Rahmen einer Meta-Studie erste Einschätzungen zu den künftigen Anforderungen an die

Netze gewonnen. Diese groben Trendanalysen machten jedoch deutlich, dass für eine präzise Ressourcenplanung detailliertere Untersuchungen notwendig sind, die bis auf die Betriebsmittel-ebene reichen.

Vor diesem Hintergrund beauftragten die SWS Netze Solingen GmbH die Consentec GmbH mit einer umfassenden Zielnetzplanung. Ziel der Studie war es, die künftige Versorgungsaufgabe für unterschiedliche Entwicklungsszenarien zu bestimmen, den daraus resultierenden Handlungsbedarf für die Mittel- und Niederspannungsnetze abzuleiten sowie den dafür notwendigen Investitions- und Personalbedarf bis 2045 zu quantifizieren.

### Grundlage für die strategische Zielnetzplanung

#### Vorgehensweise und Datenbasis

Die Studie folgte einem klar strukturierten, mehrstufigen Prozess (Bild 1). Zunächst wurden sämtliche relevanten Daten zusammengetragen und aufbereitet. Dazu gehörten neben den inter-

nen Netz- und Betriebsdaten der SWS Netze Solingen GmbH auch Geoinformationen aus dem GIS-System, detaillierte Gebäudedaten, bundesweite Szenarien zur Entwicklung von Elektromobilität, Wärmepumpen und Photovoltaik sowie spezifische Projektdaten, beispielsweise zu den geplanten Erweiterungen des OBUS-Netzes ([1 – 3]).

Auf dieser Grundlage wurden zwei Entwicklungsszenarien für das Versorgungsgebiet definiert – ein Minimal-Szenario (Min-Szenario) mit einem moderaten Hochlauf, in dem bis 2045 noch ein nennenswerter Anteil der Gebäude mit (Grün-)Gas versorgt wird, und ein Maximal-Szenario (Max-Szenario) mit ambitionierter Elektrifizierung, in dem eine vollständige Umstellung von Verkehr und Wärme auf elektrische Energie bis 2045 unterstellt ist. Die Betrachtung erstreckte sich über mehrere Stützjahre bis 2045 und diente der Abbildung einer Unsicherheitsbandbreite. Der Verlauf, der sich daraus ergebenden Höchstlast beziehungsweise Höchsteinspeisung ist in Bild 2, bezogen auf den heutigen Wert, grafisch dargestellt.



Bild 1. Wesentliche Schritte der strategischen Zielnetzplanung

Diese Szenarien wurden mit detaillierteren Gebäudeeigenschaften kombiniert, um räumlich hochauflöste Prognosen für die Entwicklung der Versorgungsaufgabe zu erstellen. Darauf aufbauend wurden die gebäudescharfen Leistungsbeiträge ermittelt, wobei technische Annahmen wie Leistungsansätze und Gleichzeitigkeitsfaktoren einflossen. Diese Daten bildeten die Grundlage für die Netzberechnung, mit der die Auslastung einzelner Betriebsmittel analysiert und Engpässe identifiziert wurden. Aus den Ergebnissen leiteten sich schließlich konkrete Ausbau- und Verstärkungsmaßnahmen sowie der entsprechende Ressourcenbedarf ab, aus denen Handlungsempfehlungen für die langfristige Netzstrategie entwickelt wurden.

#### Räumlich hochauflöste Szenarien

Ein wesentliches methodisches Element war die räumliche Auflösung. Um die Belastungssituation betriebsmittel-scharf analysieren zu können, wurden die Szenarien auf Gebäude- und Netzanschlussebene heruntergebrochen. Dies geschah mit Orientierung an verschiedenen Gebäudemerkmalen, zum Beispiel Gebäudetyp, Wärmebedarf des Gebäudes, Grundfläche (unter anderem zur Abschätzung der Dachfläche). So ließ sich eine räumlich hochauflöste Beschreibung der Versorgungsaufgabe erstellen, die als Grundlage dafür diente, genau bestimmen zu können, welche Netzabschnitte in welcher Form und zu welchem Zeitpunkt an ihre Grenzen stoßen könnten.

Um die Belastungssituation richtig zu erfassen, ist die Berücksichtigung von Gleichzeitigkeitsfaktoren entscheidend,

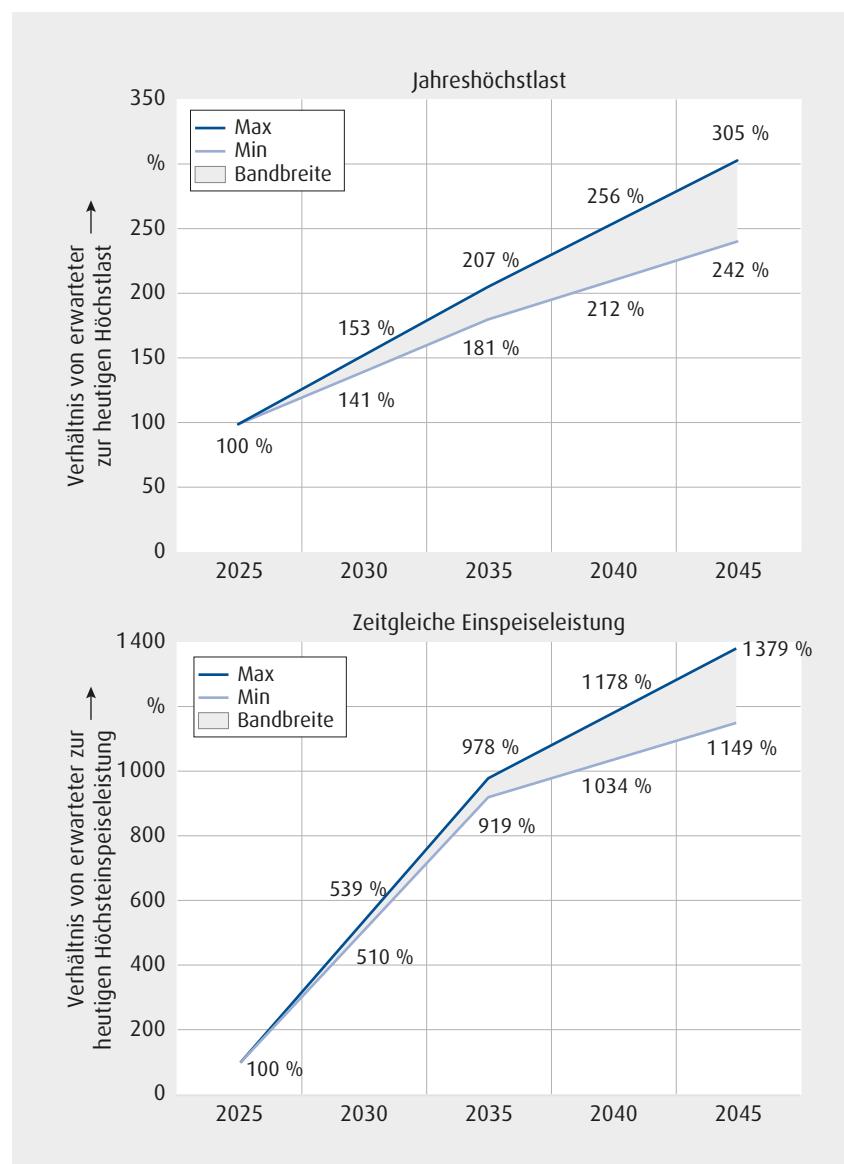


Bild 2. Entwicklung der erwarteten Höchstlast/Höchsteinspeisung in Solingen in den betrachteten Szenarien bezogen auf den heutigen Wert

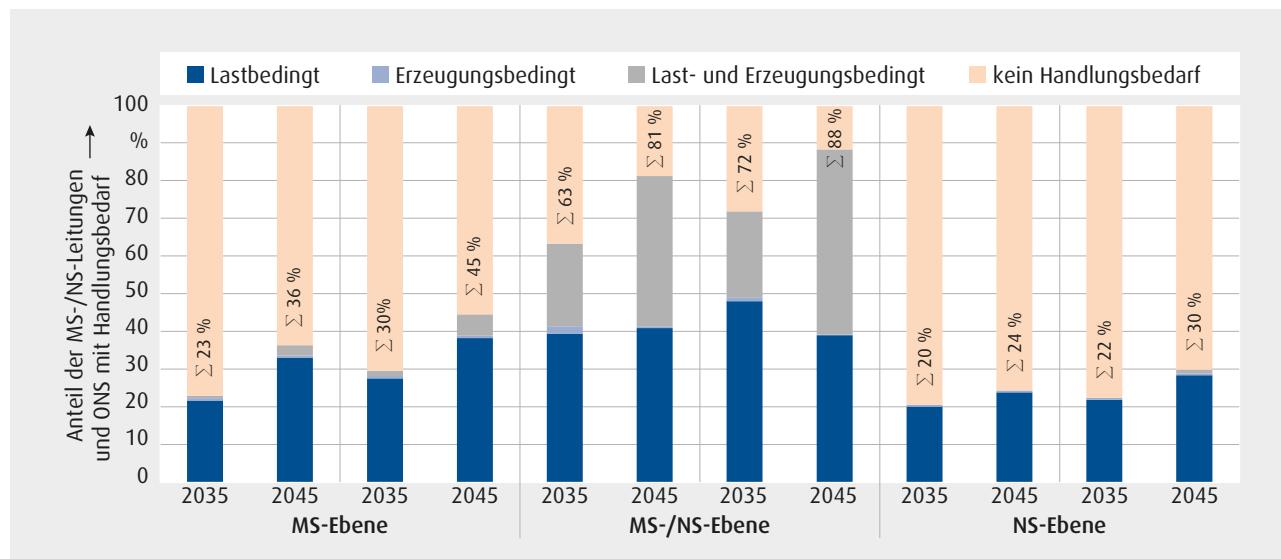


Bild 3. Handlungsbedarf in der MS-, MS-/NS- und NS-Ebene differenziert nach dem dimensionierungsrelevanten Belastungsfall

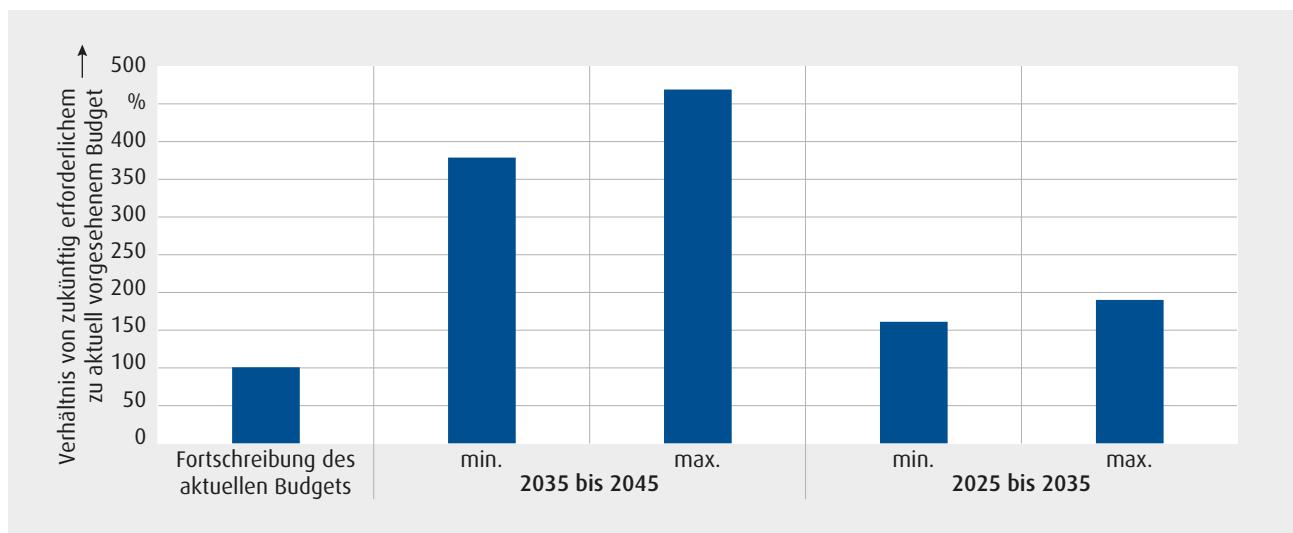


Bild 4. Entwicklung des erforderlichen Investitionsvolumens in den betrachteten Szenarien bezogen auf die Fortschreibung des aktuellen Erneuerungsbudgets

also der Umstand, dass nicht alle Verbraucher oder Erzeuger zur gleichen Zeit mit voller Leistung auf das Netz wirken ([4 – 5]). Für jede Netzebene wurden daher spezifische Faktoren herangezogen (unter anderem aus selbst entwickelten stochastischen Modellen von Consentec), um realistische Last- und Einspeisewerte zu berechnen. Dabei wurde zwischen Starklast- und Starkeinspeisefall unterschieden. Auch wenn die Einspeisung durch Photovoltaik langfristig stark zunimmt, bleibt in den städtisch geprägten Solinger Netzen die Last der auslegungstreibende Belastungsfall – mit Ausnahme einzelner Randgebiete, in denen die Einspeisung dominanter wirkt.

#### Ermittlung des Handlungsbedarfs

Die ermittelten räumlich hochaufgelösten Last- und Einspeisewerte wurden anschließend in die übermittelten Netzmodelle in der Netzberechnungssoftware überführt. Für jedes einzelne Mittelspannungskabel (MS-Kabel) und jede Ortsnetzstation wurde geprüft, ob Grenzwerte für Belastung oder Spannungsband eingehalten werden. Dabei kamen umfassende Betriebsmitteldaten zum Einsatz, von Kabeltypen und Querschnitten über die Leistungsgrößen der Transformatoren bis hin zu netztechnischen Rahmenbedingungen für Redundanzanforderungen ( $n = 1$ ).

Für die Niederspannung (NS) erfolgte ein Clusteransatz. Anstatt jedes einzelne Netzmodell separat zu berechnen, wurden Netze mit ähnlichen Struktureigenschaften zu Gruppen zusammengefasst. Kriterien waren unter anderem Kabellängen, die Leistung der Ortsnetztransformatoren, die Anzahl der Abgänge und

Hausanschlüsse sowie die erwarteten Einspeise- und Lastbeiträge. Mithilfe einer Hauptkomponentenanalyse und eines Clustering-Algorithmus konnten repräsentative Referenznetze identifiziert werden, deren Berechnungsergebnisse anschließend auf das gesamte Netzgebiet hochskaliert wurden.

Die in Bild 3 dargestellten Auswertungen zeigen, dass langfristig rund 45 % der Mittelspannungskabel und rund 30 % der Niederspannungskabel verstärkt werden müssen. Zudem wird bei bis zu 90 % der bestehenden Ortsnetzstationen ein Handlungsbedarf erwartet. Auch an den Umspannanlagen sind Erweiterungen notwendig, die sich aus der Erweiterung der Mittelspannungsschaltfelder ergeben. Der Ausbaubedarf im Bereich der Hochspannungs-/Mittelspannungstransformatoren und der Hochspannungsschaltanlagen wurde hier nicht weiter betrachtet, da diese Betriebsmittel im Verantwortungsbereich des vorgelagerten 110-kV-Netzbetreibers liegen. Bild 3 führt zudem auf, zu welchen Anteilen die Handlungsbedarfe aus welchem Belastungsfall resultieren. Wie bereits erwähnt, ist künftig weiterhin der Lastfall der dimensionierungsrelevante Belastungsfall.

#### Abschätzung des Ausbau- und Ressourcenbedarfs

**Resultierende Netzausbaumaßnahmen**  
 Die Analyse zeigt, dass die künftigen Belastungen des Stromnetzes in Solingen nur durch ein Bündel gezielter Netzausbaumaßnahmen bewältigt werden können. Dazu gehören vor allem Verstärkungen bestehender Kabel, die je nach örtlicher Situation durch den Austausch

gegen Kabel mit größeren Querschnitten oder durch das Verlegen zusätzlicher Parallelkabel realisiert werden können. Der parallele Einzug zusätzlicher Kabel ist besonders dort sinnvoll, wo vorhandene Kabel die Kapazitätsgrenze erreicht haben, technisch aber weiterhin einsetzbar sind.

Ein weiterer zentraler Ansatzpunkt ist die Erweiterung der Ortsnetzstationen, sei es durch den Einsatz leistungsstärkerer Transformatoren oder durch den Bau zusätzlicher Stationen, um lokale Belastungsschwerpunkte zu entlasten. In Gebieten mit hoher Leistungsdichte kann auch die Neuaufteilung von Netzabgängen sinnvoll sein, um die Last/Erzeugung im Netz besser zu verteilen.

Darüber hinaus wird es erforderlich sein, an zentralen Knotenpunkten wie Umspannanlagen zusätzliche Schaltfelder zu schaffen, um die gestiegene Zahl an Mittelspannungsabgängen aufnehmen und flexibel betreiben zu können. Ergänzende strukturelle Anpassungen, beispielsweise durch die Optimierung der Netztopologie, bei der die Ausbau- und Verstärkungsmaßnahmen im Bereich der Umspannanlagen und der Anbindung an das 110-kV-Netz berücksichtigt werden, können die Effizienz und Betriebssicherheit weiter erhöhen.

Die konkrete Auswahl und Umsetzung dieser Maßnahmen hängt dabei von zahlreichen Faktoren ab, unter anderem von der lokalen Netztopologie, dem zu erwartenden Leistungszuwachs, städtebaulichen Rahmenbedingungen sowie der Verfügbarkeit geeigneter Standorte für Erweiterungen im Bereich der Umspannanlagen. Ein koordiniertes

Vorgehen, bei dem technische, wirtschaftliche und genehmigungsrechtliche Aspekte von Anfang an berücksichtigt werden, ist entscheidend, um den Netzausbau effizient und zukunftssicher zu gestalten.

#### Ressourcenbedarf

Die Umsetzung der notwendigen Maßnahmen erfordert erhebliche finanzielle und personelle Ressourcen. Eine vorausschauende Priorisierung und zeitliche Staffelung der Maßnahmen ist dabei entscheidend, um Investitionsspitzen zu vermeiden und den Personalaufbau nachhaltig zu gestalten.

Ein Abgleich der erforderlichen Ausbaumaßnahmen mit der zustandsorientierten Erneuerungsplanung zeigt, dass sich durch die Bündelung von zuwachsbedingtem Netzausbau und zustandsbedingter Erneuerung zwar Einsparungen erzielen lassen, diese im Verhältnis zum gesamten Investitionsbedarf jedoch begrenzt sind. Ohne Berücksichtigung der altersbedingten Erneuerung würde der erforderliche Investitionsbedarf um rund 10 % höher ausfallen. Durch die Einplanung der ohnehin anstehenden Erneuerungsmaßnahmen lässt sich dieser Bedarf entsprechend reduzieren. Der Effekt liegt damit zwar in einer relevanten Größenordnung, verändert jedoch nicht wesentlich die grundsätzliche Höhe der notwendigen Investitionen.

Diese Betrachtung unterstreicht, dass Synergien aus der Zusammenführung von Ausbau- und Erneuerungsmaßnahmen zwar sinnvoll sind und punktuell Kosten reduzieren, die Gesamtaufgabe des Netzausbau in Solingen aber nur in begrenztem Umfang entlasten. In anderen Netzen mit anderer Betriebsmittelaltersstruktur kann dies deutlich anders sein.

Bis 2035 steigt der nach Zusammenführung von Ausbau- und Erneuerungsmaßnahmen erforderliche Investitionsbedarf im Max-Szenario um bis zu rund 365 % im Vergleich zur Fortschreibung des aktuellen Erneuerungsbudgets an. Da ein Großteil der erforderlichen Maßnahmen bis 2035 anfällt, würde der Budgetanstieg bis 2045 im Vergleich zum Zeitraum bis 2035 deutlich darunter liegen, die Fortschreibung des aktuellen Erneuerungsbudgets jedoch weiterhin um bis zu etwa 90 % überschreiten. Dies wird in Bild 4 veranschaulicht.

Auch die personelle Kapazität muss deutlich erweitert werden. Der zusätzliche Bedarf entspricht in etwa einer Verdoppelung bis zu einer Steigerung um

rund 120 % des heutigen Personalbestands in den relevanten Bereichen. Die Ermittlung dieser Größen erfolgte auf Basis der in der Studie angenommenen Planungs- und Umsetzungszeiträume für die einzelnen Netzausbaumaßnahmen. Dabei wurde abgeschätzt, welcher Anteil des Gesamtumfangs pro Jahr umgesetzt werden muss und wie viele Vollzeitäquivalente in den relevanten Bereichen erforderlich sind, um den Ausbaubedarf fristgerecht zu realisieren.

#### Zusammenfassung

Die Höchstlast im Solinger Stromnetz kann sich bis 2035 verdoppeln und bis 2045 entsprechend dem Max-Szenario verdreifachen. Auch wenn die Einspeisung aus Photovoltaik deutlich zunimmt, bleibt die Last in den meisten Bereichen der entscheidende Treiber für die Netzauslegung.

Um dieser Entwicklung zu begegnen, sind in den kommenden zwei Jahrzehnten umfangreiche Verstärkungen im Mittel- und Niederspannungsnetz notwendig. Ein Teil des Ausbaubedarfs kann mit der regulären Erneuerung gebündelt werden, was punktuell Effizienzgewinne ermöglicht. Dennoch bleibt der Ressourcenbedarf sowohl finanziell als auch personell hoch.

Räumlich hochauflöste Analysen wie in dieser Untersuchung ermöglichen es, Engpässe punktgenau zu identifizieren, Investitionen gezielt zu steuern und Maßnahmen dort zu priorisieren, wo sie den größten Nutzen erzielen. Die betriebsmittelscharfen Ergebnisse können damit in den Netzplanungsprozess eingebunden werden. Hierbei sollten aber nicht die einzelnen Zahlenwerte je Betriebsmittel im Fokus stehen, sondern eher etwas übergeordnete Tendenzen, zum Beispiel die Frage, in welchen Bereichen im Versorgungsgebiet sich Handlungsbedarfe konzentrieren. Das erhöht nicht nur die Wirtschaftlichkeit des Netzausbau, sondern auch die Versorgungssicherheit und die Akzeptanz der Projekte vor Ort.

Die Studie zeigt eine Methodik auf, die auch auf andere Netzgebiete übertragbar ist und verdeutlicht, dass sich die Netze mit einer solchen frühzeitigen und räumlich präzisen Planung so entwickeln lassen, dass sie den Herausforderungen der Energiewende zuverlässig gewachsen sind.

Mithilfe räumlich hochauflöster Prognosen können ebenso weitere Analysen durchgeführt werden. Beispielsweise

kann auch die Wirkung netzorientierter Flexibilitätsmaßnahmen (aktuell zum Beispiel gemäß den Regelungen nach § 14a EnWG) untersucht werden, um die Potenziale einer stärker digitalisierten Betriebsführung zu bewerten.

#### Literatur

- [1] Consentec, Fraunhofer ISI, ifeu, TU-Berlin: Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3, 2021. <https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-de>
- [2] Agora Energiewende: Klimaneutrales Deutschland 2045, 2021.
- [3] Amprion, 50Hertz, Tennet, TransnetBW: Netzentwicklungsplan 2037/2045 (2023), 2023. [www.netzentwicklungsplan.de/nep-aktuell/netzentwicklungsplan-20372045-2023](http://www.netzentwicklungsplan.de/nep-aktuell/netzentwicklungsplan-20372045-2023)
- [4] Ladermann, A. (Consentec); Regnery, F. (VDE-FNN): Gleichzeitigkeitsfaktoren richtig berechnen und Leistungsbeitrag berücksichtigen. [www.netzentwicklungsplan.de/nep-aktuell/netzentwicklungsplan-20372045-2023](http://www.netzentwicklungsplan.de/nep-aktuell/netzentwicklungsplan-20372045-2023)
- [5] VDE-FNN: Ermittlung von Gleichzeitigkeitsfaktoren für Ladevorgänge an privaten Ladepunkten, 2021. [www.vde.com/resource/blob/2093290/f88d9a470a0ac56f8dbba7e7a-8136b8a/01-download-studie-gleichzeitigkeitsfaktoren-data.pdf](http://www.vde.com/resource/blob/2093290/f88d9a470a0ac56f8dbba7e7a-8136b8a/01-download-studie-gleichzeitigkeitsfaktoren-data.pdf)

» Friederike Howe,  
Asset Managerin,  
SWS Netze Solingen GmbH

Christian von Kalben,  
Gruppenleiter (Asset Management),  
SWS Netze Solingen GmbH

Rachid Benaouich,  
Abteilungsleiter (Asset Management),  
SWS Netze Solingen GmbH

Mustafa Akgül,  
Senior Consultant,  
Consentec GmbH

Christian Linke,  
Senior Consultant,  
Consentec GmbH

Alexander Hobert,  
Consultant,  
zurzeit der Bearbeitung der Studie bei der  
Consentec GmbH beschäftigt

- » C.vonKalben@netze-solingen.de  
akguel@consentec.de
- » www.netze-solingen.de  
www.consentec.de