Metastudie

Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren in MS- und NS-Netzen

Künftige Anforderungen an Mittel- und Niederspannungsnetze ergeben sich neben dem Ausbau von Photovoltaikanlagen auch zunehmend aus der Integration von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge und elektrischen Wärmepumpen. Die daraus resultierenden Verletzungen des Spannungsbands innerhalb der Verteilnetze gemäß DIN EN 50160 lassen sich in weiten Teilen durch den Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren beherrschen. Sie stellen somit einen wesentlichen Bestandteil der strategischen Netzplanung dar.

Der aktuelle Trend zum Ausbau von Photovoltaikanlagen, Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität sowie elektrischen Wärmepumpen wird kontinuierlich fortgesetzt. Dies resultiert in einer erhöhten Belastung der Mittel- und Niederspannungsnetze (MS- und NS-Netze). Sofern im Rahmen der strategischen Netzplanung mittels Analysen verschiedener Szenarien Grenzwertverletzungen identifiziert werden, sind diese mit geeigneten Maßnahmen zu beheben. Im Fall von Spannungsbandverletzungen stellt der regelbare Ortsnetztransformator (rONT) ein geeignetes und innovatives Betriebsmittel zur Behebung dieser Grenzwertverletzungen dar. Hierzu gibt es bereits Studien, die vereinzelt explizit den Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren empfehlen (**Tabelle 1**).

Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, anhand einer durchgeführten Metastudie zu 56 Verteilnetzen, unterteilt in 10 MS- und 46 NS-Netze, mit insgesamt 244 Netzplanungen die Datenbasis für allgemeine Handlungsempfehlungen erheblich zu vergrößern und darauf aufbauend weitergehende Aussagen zum Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren zu treffen.

Methodische Vorgehensweise

Die analysierten Verteilnetze werden zunächst anhand ihrer Ausprägung in die Gebietstypen »Land« und »Stadt« unterteilt und dann zusätzlich in die Netzstrukturen »ländlich«, »vorstädtisch«, »städtisch« und »innerstädtisch« kategorisiert. Dies bietet den Vorteil, dass genauere Aussagen zu Verteilnetzen in Abhängigkeit ihrer Lage innerhalb eines Netzgebiets beziehungsweise Versorgungsgebiets getroffen werden können. Für die Analysen werden zusätzlich Netzstrukturparameter wie

- Netzleitungslänge
- Transformatorbemessungsscheinleistung
- Anzahl der Hausanschlüsse beziehungsweise Zählpunkte
- Anzahl beziehungsweise Leistung von Ladepunkten/Wärmepumpen/Photovoltaikanlagen
- Grundlast

erhoben und in einer statistischen Analyse ausgewertet. Des Weiteren werden die Kosten sowohl von einer konventionellen als auch von einer innovativen Netzplanung mit regelbaren Ortsnetztransformatoren miteinander verglichen, um das Kosteneinsparpotenzial ermitteln zu können. Die konventionelle Netzplanung stellt hierbei die Referenzvariante dar. Für Verteilnetze des Gebietstyps Stadt wird ergänzend ein alternatives Bewertungsmodell ausgewertet, das zeigt, wie die innovative Netzplanung mit regelbaren Ortsnetztransformatoren über eine reine Kostenbetrachtung hinaus anhand weiterer Kriterien bewertet werden kann. Auf Basis der durchgeführten Analysen und Ergebnisse werden anschließend allgemeine Erkenntnisse auf Basis der Metastudie abgeleitet.

Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren

Grundsatz/Handlungsempfehlung	Quelle
In ländlichen Verteilnetzen ist der Einsatz von innovativen Betriebsmitteln (vor allem von regelbaren Ortznetztransformatoren) als wirtschaftliche Option zu prüfen.	[1]
Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren nach wirtschaftlicher Prüfung.	[2]
Treten trotz Blindleistungsmanagement oder statischem Einspeisemanagement Spannungsbandverletzungen auf, sollte der Einsatz von Spannungsreglern (rONT oder NS-ESR[1]) geprüft werden.	[3]
Als Gesamtstrategie ist eine bedarfsgerechte Kombination von statischem Einspeisemanagement mit einem regelbaren Ortsnetztransformator empfehlenswert.	[3]
Der Einsatz von Spannungsreglern (rONT, MS-ESR[2]) ist vor allem in MS-Netzen ohne Leitungsüberlastungen häufig die kostengünstigste Lösung. Sind dabei ausschließlich spannungssenkende Maßnahmen sowohl in der MS-Ebene als auch in der NS-Ebene erforderlich, sollte der regelbare Ortsnetztransformator präferiert werden.	[3]

[1] NS-ESR: Niederspannungseinzelstrangregler; [2] MS-ESR: Mittelspannungseinzelstrangregler

Tabelle 1. Beispiele zu bereits bestehenden Grundsätzen beziehungsweise Handlungsempfehlungen zum Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren

Ergebnisse zum grundsätzlichen Einsatzpotenzial

Zunächst wird unabhängig von der Versorgungsaufgabe betrachtet, wann ein regelbarer Ortsnetztransformator generell wirtschaftlicher ist als der konventionelle Netzausbau mit Leitungs-

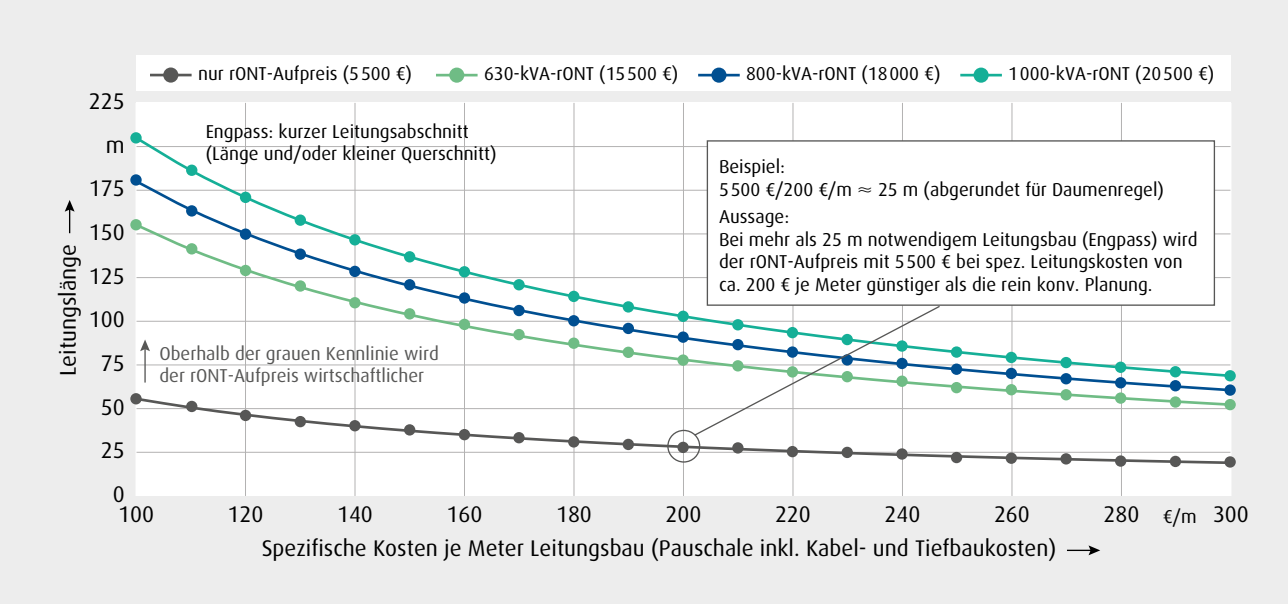

Bild 1. Einsatzpotenzial in Abhängigkeit der Kabelkosten (Engpass)

maßnahmen. In **Bild 1** wird für vier verschiedene Kostenannahmen analysiert, ab welcher Leitungslänge bei unterschiedlichen spezifischen Leitungskosten der Einsatz eines regelbaren Ortsnetztransformators kostengünstiger ist. Die graue Kennlinie (nur rONT-Aufpreis) berücksichtigt nur die Kostendifferenz einer Erweiterung eines bestehenden Transformators um eine Regeleinheit zu einem regelbaren Ortsnetztransformator, wenn bereits im Vorfeld ein Austausch des Transformators geplant war. Die Differenz von 5 500 € entspricht dabei der Summe aus dem Listenpreis des Stufenstellers zum Zeitpunkt der Metastudie in Höhe von 3 950 € und einem angenommenen Mehraufwand bezüglich der Konstruktion und der Montage des Transformators gegenüber einem konventionellen, ungeregelten Transformator. Im Gegensatz dazu wird bei den anderen Kennlinien ein nicht im Vorfeld geplanter kompletter Transformatoraustausch mit einem neuen regelbaren Ortsnetztransformator in verschiedenen Leistungsklassen berücksichtigt. Es ist erkennbar, dass bei mehr als 25 m notwendigem Leitungsbau von beispielsweise einer Stammstrecke (Leitung von einer Ortsnetzstation bis zum ersten Letztverbraucher) die rONT-Erweiterung bei spezifischen Leitungskosten von rund 200 €/m wirtschaftlicher ist als der rein konventionelle Netzausbau. Werden die Kosten eines kompletten rONT angesetzt, beispielsweise beim ereignisgetriebenen Einsatz eines rONT, wird für das Beispiel mit 200 € Leitungs-

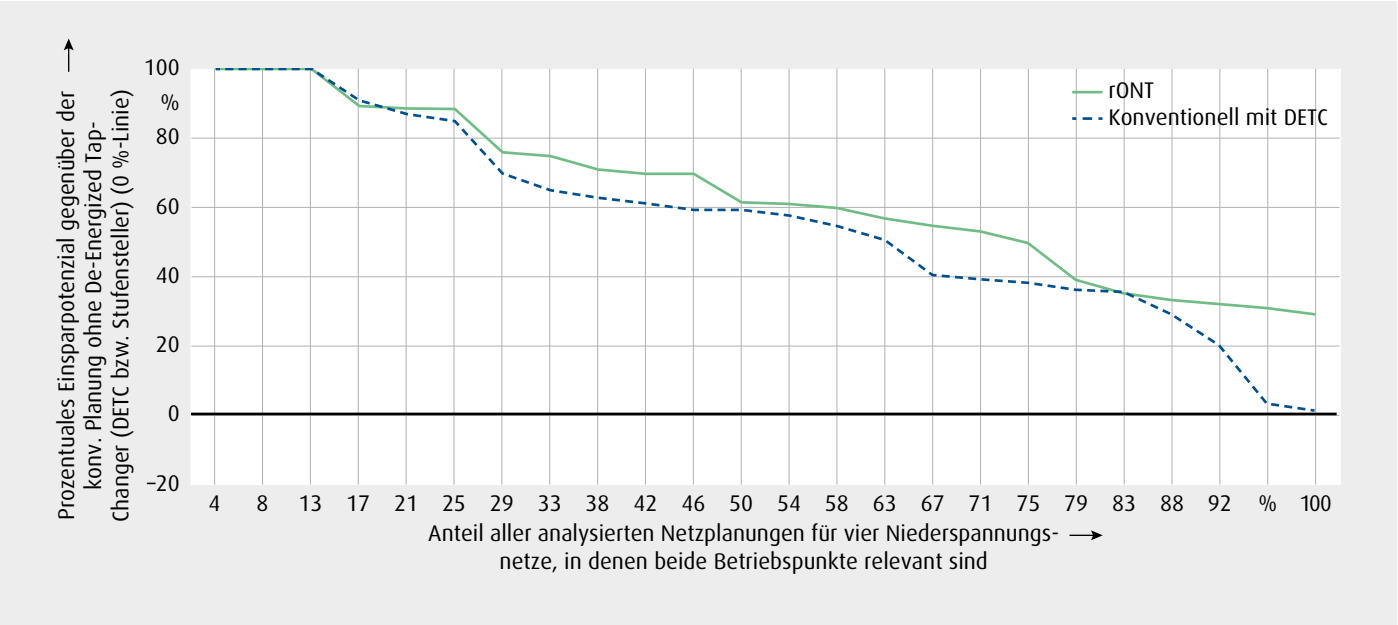

Bild 2. Einsatzpotenzial in Abhängigkeit der Betriebspunkte »Starklast« und »Starkeinspeisung« für vier Niederspannungsnetze mit insgesamt 24 Netzplanungen [4]

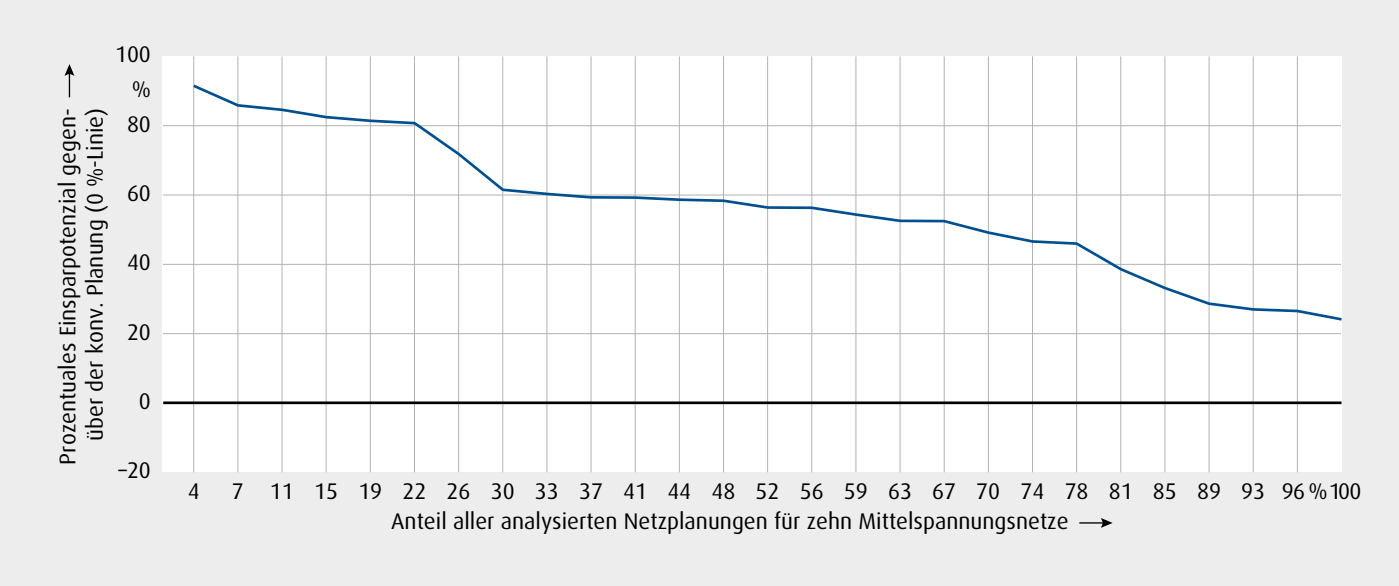

Bild 3. Kostenseitiges Einsparpotenzial für zehn Mittelspannungsnetze mit insgesamt 27 Netzplanungen

ausbaukosten der regelbare Ortsnetztransformator erst bei mehr als 75 m Leitungsausbau günstiger. Den folgenden Betrachtungen liegen immer komplette rONT-Kosten zugrunde.

Ebenfalls betrachtet wird in **Bild 2** das grundsätzliche Einsatzpotenzial für vier NS-Netze mit insgesamt 24 Netzplanungen, in denen die Betriebspunkte »Starklast« (maximale Last bei minimaler Einspeisung) und »Starkeinspeisung« (maximale Einspeisung bei minimaler Last) gleichermaßen auslegungsrelevant sind [4]. Dargestellt ist hierbei das relative Einsparpotenzial von regelbaren Ortsnetztransformatoren (grüne Linie) gegenüber der Referenzvariante ohne Stufensteller am Transformator. Zusätzlich ausgewertet wird der Einsatz eines konventionellen Stufenstellers (blau gestrichelte Linie), der immer dann von Vorteil ist, wenn nur ein Extrembetriebspunkt in der strategischen Netzplanung berücksichtigt werden muss. Die 0 %-Linie in **Bild 2** stellt die Referenzvariante dar. Oberhalb dieser Grenze ist das Einsparpotenzial positiv und die innovative Netzplanung mit regelbarem Ortsnetztransformator kostengünstiger. Unterhalb dieser Grenze wird der Einsatz von rONT teurer. Es zeigt sich, dass in allen Fällen die Netzplanung mit regelbaren Ortsnetztransformatoren kostengünstiger ist als die Referenzvariante. Über diese vier analysierten NS-Netze ohne Nutzung des Stufenstellers hinaus wird in [5] ebenfalls beschrieben, dass der regelbare Ortsnetztransformator bei Netzplanungen vorteilhafter ist, bei denen beide Extrembetriebspunkte berücksichtigt werden müssen. Vor allem in NS-Netzen mit Ladeinfrastruktur und Wärmepumpen sowie einem sehr hohen Anteil von Photovoltaikanlagen ist die Nutzung des Stufenstellers in aller Regel nicht zielführend, weil gegenläufige Betriebspunkte zu berücksichtigen sind.

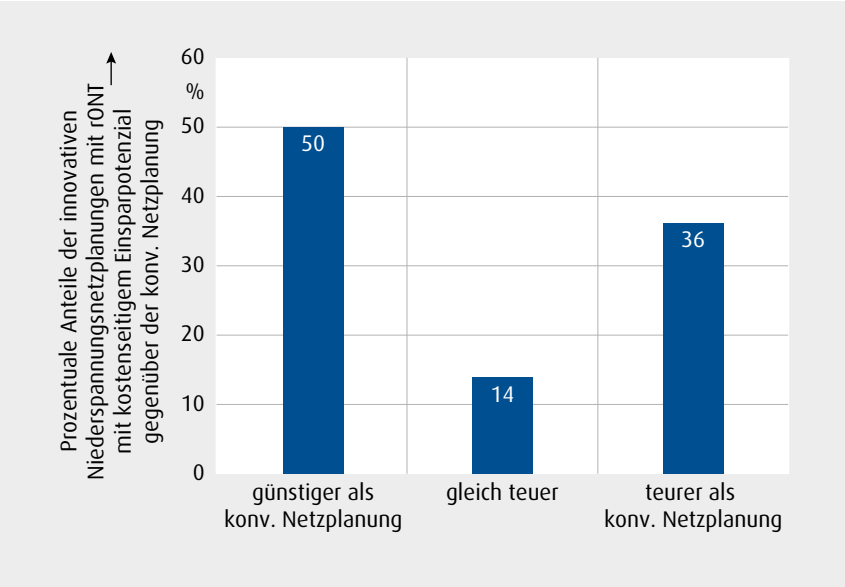

Bild 4. Kostenseitiges und relatives Einsparpotenzial für 46 Niederspannungsnetze mit insgesamt 166 Netzplanungen

Ergebnisse zum Einsparpotenzial

In **Bild 3** und **4** werden die konsolidierten Ergebnisse der Metastudie von insgesamt 56 Verteilnetzen sowie den zugrunde liegenden Netzplanungen gezeigt. In 51 von 244 Netzplanungen waren dabei keine Maßnahmen notwendig, sodass die entsprechenden Auswertungen zur MS-Ebene 27 Netzplanungen und zur NS-Ebene 166 Netzplanungen enthalten.

Bild 3 kann mit der gleichen Darstellungssystematik wie in **Bild 2** entnommen werden, dass der regelbare Ortsnetztransformator in allen MS-Planungen kostengünstiger ist als der rein konventionelle Netzausbau und dabei in 50 % aller Netzplanungen deutlich mehr als 50 % Einsparpotenzial aufweist. In **Bild 4** ist dagegen eine Auswertung für die Netzplanungen der NS-Netze dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass der regelbare Ortsnetztransformator in

50 % der Netzplanungen kostengünstiger ist als die Referenzvariante. In 14 % ist er dagegen genauso teuer. Der Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren ist demnach nicht immer zielführend, zum Beispiel wenn ausschließlich Betriebsmittelüberlastungen vorliegen und stattdessen andere Maßnahmen durchzuführen sind. In 36 % der Netzplanungen ist der regelbare Ortsnetztransformator die teurere Maßnahme, wenn zum Beispiel neben der Integration eines rONT weiterhin zusätzlich Leitungsmaßnahmen zur Behebung von Leitungsüberlastungen notwendig sind, was vor allem in städtischen Gebietstypen mit einem hohen Anteil von Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität und Wärmepumpen der Fall ist [5].

Die Ergebnisse aus **Bild 4** werden in **Bild 5** noch differenzierter dargestellt. Es wird deutlich, dass in ländlichen NS-Netzen das Potenzial für regelbare Ortsnetztransformatoren in Summe sehr viel größer ist als in städtischen Gebieten. Des Weiteren wird deutlich, dass vor allem in städtischen und innerstädtischen NS-Netzen der Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren wenig Einsparpotenzial bietet, da Leitungsüberlastungen der dimensionierende Faktor für Ausbaumaßnahmen sind. Über alle vorstädtischen NS-Netze hinweg ist der regelbare Ortsnetztransformator in rund 42 % aller Netzplanungen kostengünstiger.

Anzeige

Unser Klient ist in der Energiewirtschaft seit langem einer der wichtigsten und bekanntesten Anbieter in Nordbayern. Das Unternehmen hat einen sehr guten Ruf, ist erfolgreich und ist bestens etabliert. Dabei steht jedoch nicht nur das bloße Wachstum im Vordergrund, sondern die Versorgungssicherheit und die Zufriedenheit der Kunden. Gerade in diesen schwierigen und auch von Unsicherheiten geprägten Zeiten ist es von überragender Bedeutung, den Kunden (= Privathaushalte, Unternehmen und vor allem auch Kommunen) ein seriöser und stets verlässlicher Partner zu sein.-
Über sehr viele Jahre hinweg lag dies in den Händen des hochengagierten und angesehenen Vertriebsleiters, der nun aber in absehbarer Zeit in den Ruhestand gehen wird. Schon heute wird für die erforderliche „Weichenstellung" gesorgt und die Nachfolge geregelt. Dabei sind grundsätzlich zwei Varianten denkbar, eine relativ zügige Übergabe in bereits sehr erfahrene Hände oder eine länger andauernde Einarbeitung der/des Neuen durch den jetzigen Stelleninhaber. Wir suchen - gleichgültig für welche Variante - die geeignete Persönlichkeit (w/m/d) für die

Jörg Herrmann
Die Personalberater eK
HUMAN RESOURCES MANAGEMENT
... seit 1988!

Leiter/in (w/m/d)
Gasvertrieb und Wärmeversorgung

Die Position: Der Aufgaben- und Verantwortungsbereich ist breit und anspruchsvoll. Die Vertriebsleitung umfasst dabei die Führung von derzeit 10 Mitarbeiter/-innen und ist auch noch für zwei kleinere Tochtergesellschaften tätig. Schwerpunkte sind naturgemäß: Kundengewinnung und -betreuung; Preiskalkulationen; Marktbeobachtungen; sehr enge Zusammenarbeit mit der eigenen Beschaffung und vielen externen Marktpartnern; Vertragswesen; Produktentwicklung; strategische Netzentwicklung; Wirtschaftlichkeitsprüfungen; Deckungsbeitragsverantwortung; diverse Marketing-Arbeiten; Mitwirkung in Fachgremien und Arbeitsgruppen sowie Austausch und Abstimmung mit der Geschäftsführung, der Sie direkt unterstehen. Eine besonders wichtige und interessante Aufgabe besteht zudem darin, den Vertrieb von Wärme strategisch und operativ zu gestalten, weiter auszubauen und erfolgreich fortzuführen.

Die Kandidatin, der Kandidat: Sie kommen unbedingt aus der Energiewirtschaft, idealerweise aus dem Vertrieb eines größeren Versorgers, haben mehrjährige Führungspraxis und wollen sich langfristig erfolgreich engagieren. Ihre fachlich-theoretische Qualifikation muss zu dieser Aufgabe passen, Ihre Berufspraxis sollte Sie dafür prädestinieren und Ihre Persönlichkeit muss überzeugen – dann sind Sie für diese hochinteressante Nachfolge genau richtig.

Die Ansprechpartner: Interessiert? Dann richten Sie bitte Ihre kompletten Bewerbungsunterlagen inklusive Angabe Ihres Ist-Gehalts und Ihrer Kündigungsfrist unter der Kennziffer 2022-1089-P5.2 an Herrn Jörg Herrmann. Er steht Ihnen auch vorab für Ihre Fragen gerne zur Verfügung. Eine absolute Diskretion und selbstverständlich auch die Berücksichtigung Ihrer eventuellen Sperrvermerke sind garantiert.

Jörg Herrmann • Die Personalberater eK
Human Resources Management
Anschrift: Wirthstraße 2 • 95445 Bayreuth • Telefon +49 921 1508 798 0
Fax +49 921 1508 798 1 • E-Mail info@jh-dp.com • Internet www.jh-dp.com

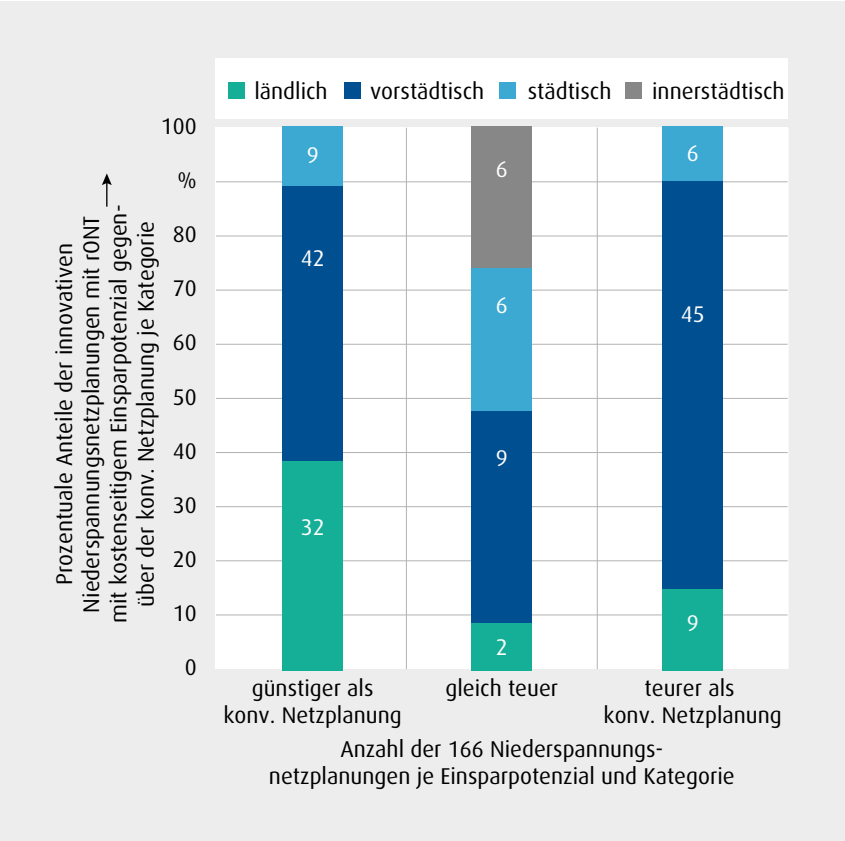

Bild 5. Einsatzpotenzial regelbarer Ortsnetztransformatoren in Abhängigkeit der Netzstruktur

Ergebnisse zum alternativen Bewertungsmodell

Über eine reine Kostenbetrachtung hinaus werden perspektivisch weitere Kriterien für die strategische Netzplanung immer wichtiger. Daher wird in [5–6] ein alternatives Bewertungsmodell genutzt, dessen Ergebnisse von der Metastudie losgelöst und reduziert zusätzlich in **Bild 6** für 17 NS-Netze des Gebietstyps Stadt dargestellt sind. Diese alternative Bewertung enthält ein Punktemodell, das die Kriterien »Investitions- und Betriebskosten«, »Netzverluste«, »Störungshäufigkeit«, »Spannungsstabilität« und »Ressourcenaufwendung« für sechs verschiedene Gewichtungen ins Verhältnis setzt. Gemäß der Ampelfarben wird die beste Bewertung, also der höchste Rang mit entsprechend hoher Punktzahl in Grün dargestellt, wohingegen unvorteilhafte Netzplanungen mit dem Bewertungsmodell in Rot dargestellt werden. Auf den ersten Blick wird somit unmittelbar ersichtlich, dass die strategische Netzplanung mit regelbaren Ortsnetztransformatoren gegenüber der Referenzvariante in allen Gewichtungen jenseits der kostenorientierten Gewichtung einen deutlichen Vorteil bietet. Vor allem im Kriterium »Spannungsstabilität« kann der regelbare Ortsnetztransformator eine deutli-

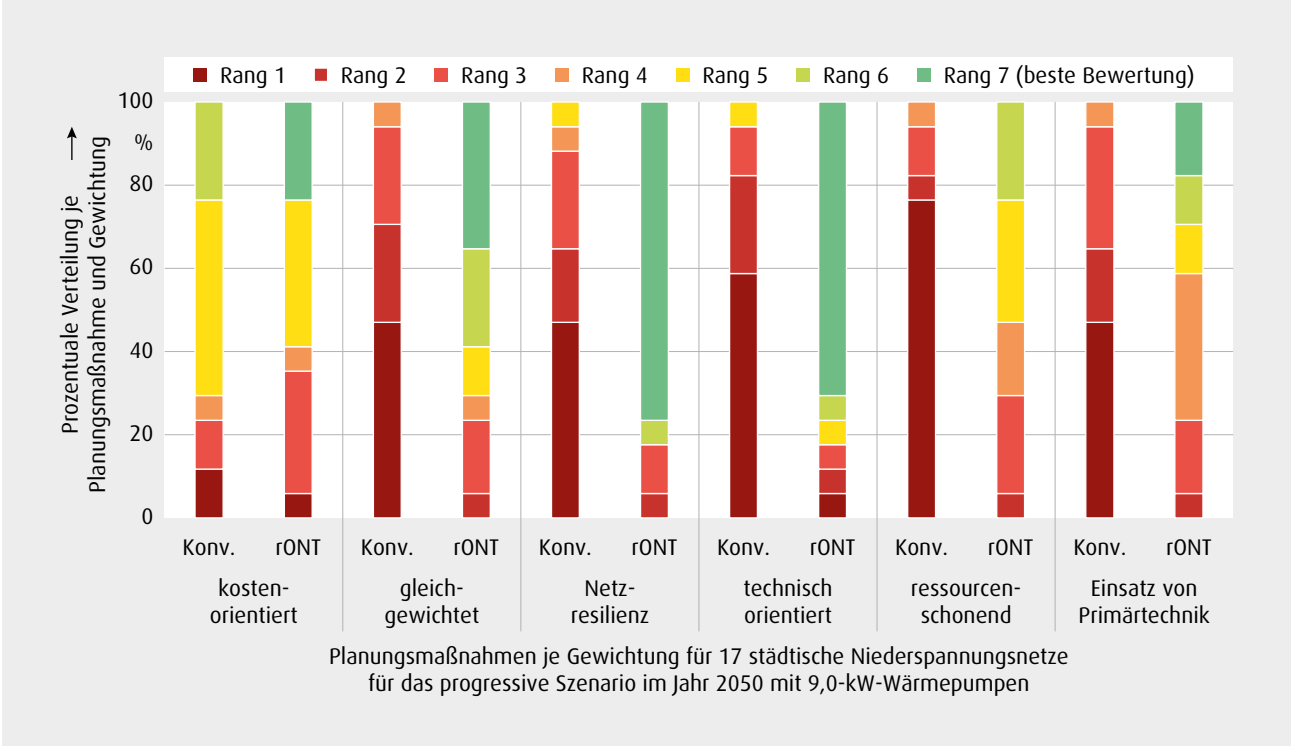

Bild 6. Ergebnisse zum alternativen Bewertungsmodell für fünf verschiedene Gewichtungen unter Berücksichtigung der Kriterien Investitions- und Betriebskosten, Netzverluste, Störungshäufigkeit, Spannungsstabilität und Ressourcenaufwendung für 17 städtische Niederspannungsnetze [6]

che Spannungsreserve im Gegensatz zu konventionellen Maßnahmen vorhalten. Die detaillierte Beschreibung der Methode und ein Vergleich mit weiteren innovativen Planungsmaßnahmen, zum Beispiel Lastmanagement und Energiespeicher, kann [5–6] entnommen werden.

Fazit

Der Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren wird im Rahmen der durchgeführten Metastudie auf Basis einer umfangreichen Datengrundlage tiefergehend spezifiziert und dient Netzbetreibern somit als weiterführende Entscheidungsgrundlage für die strategische Netzplanung, um unter anderem Anforderungen der DIN EN 50160 [7] an die zulässigen Spannungswerte zu erfüllen. Zusammenfassend lassen sich daher nachfolgende allgemeine Aussagen und Erkenntnisse ableiten:

1. Bei (sehr) kurzen Leitungsabschnitten (Engpass) ist der Einsatz eines regelbaren Ortsnetztransformators unwirtschaftlich im Vergleich zu konventionellen Leitungsmaßnahmen.
2. Der Einsatz von regelbaren Ortsnetztransformatoren bietet sich überall dort an, wo entweder beide Betriebspunkte Starklast und Starkeinspeisung auslegungsrelevant werden (zum Beispiel vorstädtische Gebiete mit viel Photovoltaikanlagen) oder für einen der Betriebspunkte der Nutzen für die MS- und NS-Ebene gegeben ist.
3. Wenn kein Stufensteller am MS/NS-Transformator genutzt werden kann oder die Stufungen nicht ausreichend sind, ist in nahezu jedem Fall ein regelbarer Ortsnetztransformator kostengünstiger als rein konventioneller Netzausbau.
4. In allen MS-Planungen, unabhängig vom ausgewählten Szenario, ist der regelbare Ortsnetztransformator kostengünstiger als die rein konventionelle Planung.
5. In ländlichen NS-Netzen ist das Potenzial, dass ein regelbarer Ortsnetztransformator kostengünstiger ist als die konventionelle Planung, sehr viel größer als in städtischen Netzgebieten.
6. Wenn neben dem wirtschaftlichen Kriterium der Investitions- und Betriebskosten weitere technische Kriterien relevant werden, hat der Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren einen erheblichen Vorteil gegenüber der rein konventionellen Planung.

Ausblick

Die dargestellten Ergebnisse beruhen auf der Grundlage von Zielnetzplanungen unter Berücksichtigung einer Integration von Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität, Wärmepumpen und Photovoltaikanlagen ohne Kenntnis der Altersstruktur und Restwerte der vorhandenen Betriebsmittel innerhalb der Netze. Das heißt, dass beim Vergleich der notwendigen Maßnahmen die Kosten eines kompletten regelbaren Ortsnetztransformators angesetzt werden. **Bild 1** zeigt jedoch, dass der Einsatz eines regelbaren Ortsnetztransformators im Rahmen eines Altersersatzes weitaus wirtschaftlicher sein kann, da in diesem Fall nur der Aufpreis zwischen rONT und ungeregeltem Ortsnetztransformator anzusetzen ist. Ein proaktiver rONT-Einsatz für die im Fazit genannten Anwendungsfälle könnte den Anteil an Netzplanungen vor allem mit Spannungsbandverletzungen, in denen regelbare Ortsnetztransformatoren günstiger sind als konventioneller Netzausbau, noch weiter erhöhen. Andererseits könnte er jedoch ein Investitionsrisiko (im genannten Beispiel in Höhe von 5 500 € je Netz) bei flächendeckendem Einsatz bergen, da mit dieser Maßnahme regelbare Ortsnetztransformatoren auch in Netzen zum Einsatz kommen könnten, in denen retrospektiv keine notwendig gewesen wären. Dies betrifft vor allem Netze mit Leitungsüberlastungen. Inwieweit sich eine solche proaktive rONT-Strategie auf das diskutierte Kosteneinsparpotenzial auswirkt und wie sich das Investitionsrisiko eines bevorzugten rONT-Einsatzes zu dem eines bevorzugt konventionellen Netzausbaus verhält, soll in weiterführenden Arbeiten und Forschungsprojekten betrachtet werden.

Literatur

[1] Frings, R.; Zimmer, P.; Rahmen, T.; Herten, A.: Netzplanung von intelligenten Verteilnetzen – Szenarien und Netzplanungskriterien. Abschlussbericht zum Verbundvorhaben Smart Area Aachen im Verbundprojekt. Aachen, 16. Dezember 2016.

[2] Braun, M.; Krybus, I.; Becker, H.; Bolgaryn, R.; Dasenbrock, J.; Gauglitz, P.; Horst, D.; Pape, C.; Scheidler, A.; Ulffers, J.: Verteilnetzstudie Hessen 2024–2034. BearingPoint GmbH, Frankfurt/Main, 16. April 2018.

[3] Harnisch, S.; Steffens, P.; Thies, H. H.; Monscheidt, J.; Münch, L.; Böse, C.; Gemsjäger, B.; Zdrallek, M.: Planungs- und Betriebsgrundsätze für ländliche Verteilungsnetze – Leitfaden zur Ausrichtung der Netze an ihren zukünftigen Anforderungen. In: Zdrallek, M. (Hrsg.), Neue Energie aus Wuppertal, Band 8, Wuppertal, 2016.

[4] Göbelsmann, F.; Wintzek, P.; Ali, S. A.; Zdrallek, M.; Monscheidt, J.; Gemsjäger, B.; Slupinski, A.: Potentials of a Cost-Optimized Application of Regulated Distribution Transformers in Urban Low-Voltage Grid Planning with a High Share of Charging Infrastructure, Heat Pumps and Photovoltaic Systems. IEEE Power and Energy Student Summit (PESS), Kassel, 25.-26. November 2021.

[5] Wintzek, P.; Ali, S. A.; Monscheidt, J.; Gemsjäger, B.; Slupinski, A.; Zdrallek, M.: Planungs- und Betriebsgrundsätze für städtische Verteilnetze – Leitfaden zur Ausrichtung der Netze an ihren zukünftigen Anforderungen. In: Zdrallek, M. (Hrsg.), Neue Energie aus Wuppertal, Band 35, Wuppertal, 2021.

[6] Wintzek, P.; Ali, S. A.; Zdrallek, M.; Monscheidt, J.; Gemsjäger, B.; Slupinski, A.: Development of Planning and Operation Guidelines for Strategic Grid Planning of Urban Low-Voltage Grids with a New Supply Task. Electricity 2021, Volume 2, Issue 4, S. 614–652.

[7] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 50160:2020-11 Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen; Deutsche Fassung EN 50160:2010 + Cor.:2010 + A1:2015 + A2:2019 + A3:2019. Beuth Verlag GmbH, Berlin, November 2020.

Patrick Wintzek,
Stv. Leiter der Forschungsgruppe »Netzstrukturen und Netzplanung«,
Bergische Universität Wuppertal

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Markus Zdrallek,
Leiter des Lehrstuhls für Elektrische Energieversorgungstechnik,
Bergische Universität Wuppertal

Armin Vielhauer,
Head of Business Development Exploration,
Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, Regensburg

Franco Pizzutto,
Business Development Manager,
Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, Regensburg

>> patrick.wintzek@uni-wuppertal.de
zdrallek@uni-wuppertal.de
a.vielhauer@reinhausen.com
f.pizzutto@reinhausen.com

>> www.evt.uni-wuppertal.de
www.reinhausen.com/de