

# Auswirkungen von Wärmepumpen und E-Mobilität auf die E.ON Verteilnetze

Stefan Dorendorf, Uwe Ventzke, Bianca Renner, Johannes Schmiesing, Michael Kölbl, Frank Wirtz, Matthias Dau, Matthias Köhler, Lisa Hebenstreit, Markus Obergünner, David Kemnitz und Christian Linke

In der et-Ausgabe 9|19 wurde über den E-Mobility Stresstest für die E.ON-Netze berichtet. In der dazugehörigen Studie wurde der Netzausbaubedarf ermittelt, der durch den Hochlauf der Elektromobilität in den Verteilungsnetzen der vier E.ON Verteilnetzbetreiber (VNB) Avacon Netz, E.DIS Netz, Bayernwerk Netz und Schleswig-Holstein Netz erwartet wird. Neben der Elektrifizierung des PKW-Verkehrs wird zur Erreichung der Klimaschutzziele zusätzlich ein verstärkter Einsatz von Strom-Wärmepumpen zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser erwartet. Als Erweiterung der Elektromobilitätsstudie haben sich die vier genannten E.ON VNB zusammen mit dem Aachener Beratungsunternehmen Consentec der Frage gewidmet, welcher Netzausbaubedarf durch den gemeinsamen Hochlauf von Elektromobilität und Wärmepumpen verursacht wird.

## Wärmepumpen als Baustein zum Erreichen der Klimaziele

Bis zum Jahr 2050 soll der CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Deutschland im Vergleich zu 1990 um 80 bis 95 % gesenkt werden. Der Anteil der Raumwärme und Warmwasserbereitstellung am gesamten Endenergieverbrauch Deutschlands betrug gemäß Angaben des Umweltbundesamts im Jahr 2017 32 %. Eine weitgehend klimaneutrale Bereitstellung der Wärmeversorgung stellt somit einen wirksamen Hebel in der Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes dar.

Beim Einsatz von strombetriebenen Wärmepumpen entstehen, im Gegensatz zu Gas- oder Ölheizungen, lokal keine Verbrennungsgase und somit auch keine CO<sub>2</sub>-Emissionen, da zum Betrieb einer Wärmepumpe ausschließlich elektrischer Strom als Antriebsenergie benötigt wird. Im Zusammenspiel mit regenerativ erzeugtem Strom ist die Wärmepumpe ein geeigneter Baustein auf dem Weg zur Erreichung der Klimaschutzziele.

## Hochlauf der Wärmepumpen

Um den elektrischen Leistungsbedarf der Wärmepumpen zu ermitteln, ist eine Prognose zur Entwicklung der zukünftigen Anzahlen von Wärmepumpen erforderlich. Wie auch in der Studie zur Elektromobilität wurde im Rahmen dieser Studie keine neue Prognose erarbeitet, sondern auf bereits vorhandene Prognosen zurückgegriffen, und zwar auf die Prognosen der „dena-Leitstudie Integrierte Energiewende“ und hieraus vorrangig das 80 %-Technologiemix-Szenario (TM80). In diesem Szenario wird von einer 80-prozentigen Reduktion der jährlichen

Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 ausgegangen. Für diese Reduzierung wird ein Mix aus unterschiedlichen Maßnahmen und Technologien unterstellt. Die angenommenen Kennzahlen zum Hochlauf der Wärmepumpen sind in der Tab. dargestellt.

Die im Zeitverlauf sinkende durchschnittliche Leistung der Wärmepumpen ist u. a. mit der Annahme einer Verbesserung der Gebäudedämmung zu erklären. Bezogen auf ca. 19 Mio. Wohngebäude beträgt der Anteil der Wohngebäude, die mit einer Wärmepumpe ausgestattet werden, im Jahr 2050 ca. ein Drittel.

Bereits im TM80-Szenario sind Sanierungsraten für Gebäudehüllen und Heizungsanlagen erforderlich, die deutlich über dem heutigen Niveau liegen. So werden im TM80-Szenario Sanierungsraten für Gebäudehüllen von ca. 1,4 %/a und für Heizungsanlagen von mehr 3,5 %/a unterstellt. Im Referenzszenario, welches den Status Quo abbildet, werden für die Sanierungsrate von Gebäudehüllen 1,0 %/a und für die Sanierung von Anlagen weniger als 3,5 %/a angenommen. Insofern kann das TM80-Szenario aus heutiger Sicht eher als obere Abschätzung des möglichen Wärmepumpen-Hochlaufs angesehen werden. Ein noch schnellerer Zubau von Wärmepumpen würde erhebliche Ände-

rungen des rechtlich-regulatorischen Rahmens erfordern; diese sind allerdings derzeit nicht absehbar.

## Gebäudemodell

Zur Bestimmung des Netzausbaubedarfs in den E.ON-Konzessionsgebieten war es zunächst erforderlich, die Leistungsbedarfe für Wärmepumpen in den jeweiligen Versorgungsgebieten der betrachteten VNB zu ermitteln. Hierbei wurde als räumliche Auflösung die Gemeinde-Ebene herangezogen. Die Leistungsbedarfe der Wärmepumpen werden bestimmt durch die Wärmebedarfe der in den Gemeinden vorhandenen Bestandsgebäude und der zu erwartenden Neubauten. Für die Bestandsgebäude wurde für jede Gemeinde die Bebauungsstruktur von [www.regionalstatistik.de](http://www.regionalstatistik.de) abgerufen. Hierbei wurden die Anzahlen der Gebäude nach Baujahr, Heizungsart und Zahl der Wohnungen berücksichtigt. Davon ausgehend, dass nicht alle Wohngebäude für die Installation einer Wärmepumpe in Frage kommen, wurden als wärmepumpenfähige Gebäude ausschließlich diejenigen berücksichtigt, die nach 1947 errichtet wurden und die heute nicht über einen Fernwärmeanschluss oder eine Blockheizung verfügen. In Bezug auf das Baujahr wurde angenommen, dass bau- oder

**Tab.: Kennzahlen zum angenommenen Wärmepumpen-Hochlauf in Deutschland**

	2015	2030	2050
Thermische Leistung je Wärmepumpe	11,4 kW	9,7 kW	7,8 kW
Anzahl Wärmepumpen	0,5 Mio.	3,4 Mio.	6,5 Mio.
In Summe installierte thermische Leistung	5,7 GW	32,8 GW	50,4 GW

denkmalschutztechnische Gründe bei sehr alten Gebäuden oftmals den Einbau einer Wärmepumpe verhindern. Für Gebäude mit Fernwärme oder Blockheizung wurde davon ausgegangen, dass die jeweilige Heizungsart langfristig im Gebäude bestehen bleibt.

Die Anzahl der zu erwartenden Neubauten wurde mit Hilfe einer empirisch bestimmten Funktion in Abhängigkeit von der Bevölkerungsentwicklung ermittelt. Die Zahlenwerte zur Bevölkerungsprognose wurden den Veröffentlichungen der statistischen Landesämter der hier betrachteten Bundesländer entnommen.

Analog zu den vorangegangenen Untersuchungen zur Elektromobilität wurde auch hier das Jahr 2044 als Zieljahr angesetzt, für das im Sinne des Netz-Stresstests eine Vollerlektrifizierung des PKW-Verkehrs in Deutschland angenommen wurde. Für dieses Zieljahr ergab sich eine Anzahl von ca. 1 Mio. Wärmepumpen und 6,5 Mio. Elektro-PKW in den Konzessionsgebieten der hier betrachteten vier E.ON VNB (Abb. 1).

Zur Bestimmung des Wärmebedarfs der Gebäude wurden zusätzlich die Daten der Studie „Deutsche Wohngebäudetypologie“ des Instituts für Wohnen und Umwelt der TU Darmstadt verwendet. In dieser Studie wird für unterschiedliche Gebäudetypen wie Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser und Reihenhäuser der Heizbedarf für sogenannte Beispielgebäude dargestellt. Zur Bestimmung der Heizbedarfe werden dabei für das jeweilige Baujahr typische Gebäudegrößen und Baumaterialien unterstellt, welche im Wesentlichen den Heizbedarf der Gebäude bestimmen.

### Lastzuwächse

Zur Bestimmung der gemeinscharfen Lastzuwächse durch Wärmepumpen wurde die Anzahl der wärmepumpenfähigen Gebäude in ihren jeweiligen Baualters- und Größenklassen mit den gebäudespezifischen Charakteristika der Gebäudetypologie verknüpft. Unter Annahme einer jährlichen Heizungserneuerungsquote und einer Verteilung auf Luftwärmepumpen (60 % Anteil) und Erdwärmepumpen (40 % Anteil) und den damit verbundenen Leistungsfaktoren wurden schließlich die Lastzuwächse bestimmt.

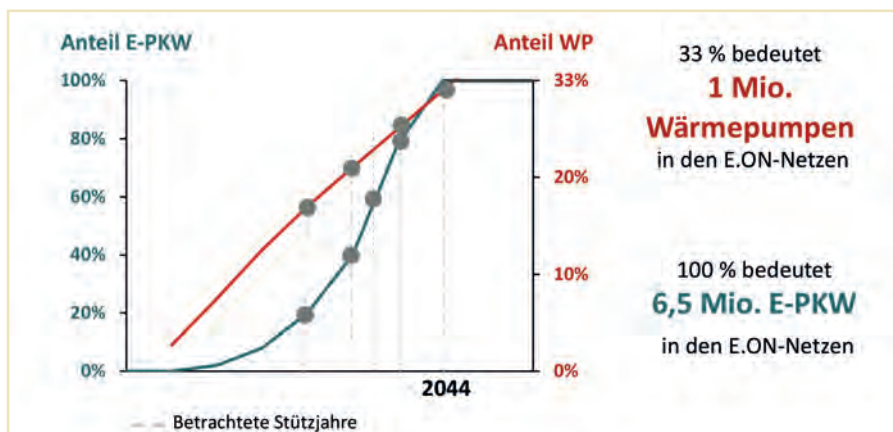


Abb. 1 Hochlauf von Wärmepumpen und Elektro-PKW als Szenario für den Netz-Stresstest

Im Gegensatz zur Ladecharakteristik von Elektro-PKW ist die Einsatzcharakteristik von Wärmepumpen vergleichsweise einfach zu bestimmen. Der für die Netzberechnungen zugrunde gelegte Netznutzungsfall ist der Starklastfall an einem sehr kalten Wintertag. Es ist davon auszugehen, dass zu einem solchen Zeitpunkt mit wenigen Ausnahmen alle angeschlossenen Wärmepumpen mit Nennleistung in Betrieb sind. Somit beträgt der Gleichzeitigkeitsfaktor für Wärmepumpen in der NS-Ebene (NS = Niederspannung) 1. In den übergeordneten Netzebenen ist jedoch davon auszugehen, dass ein geringer Prozentsatz der Wärmepumpen auch an einem kalten Wintertag ausgeschaltet ist, z.B. weil manche Bewohner im Urlaub sind oder die Gebäude aus anderen Gründen nicht (vollständig) beheizt werden oder einzelne Anlagen defekt sind. Um diese Ausnahmen zu berücksichtigen, werden für die MS/NS-Umspannebene ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,95 und für

die MS-Ebene (MS = Mittelspannung) ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,9 angenommen.

Wie bereits in der Vorgängerstudie wurden die Analysen zur Bestimmung des Netzausbaubedarfs anhand von Typnetzen vorgenommen. Zu deren Parametrierung wurden die für die Integration der Ladepunkte für Elektro-PKW und Wärmepumpen wesentlichen Eigenschaften der Bestandsnetze wie Abgangslängen, Leitungstypen, Zahl der Netzanschlüsse je Abgang, installierte Transformatorleistung sowie Vorbelastung differenziert für jede Konzessions-Gemeinde im Versorgungsgebiet der betrachteten vier E.ON Netze erfasst.

### Netzausbaubedarf

Für jedes Nieder- und Mittelspannungsnetz wurde ermittelt, ob und ab welcher Durchdringung die Integration von E-PKW-Ladepunkten und Wärmepumpen Überschreitun-

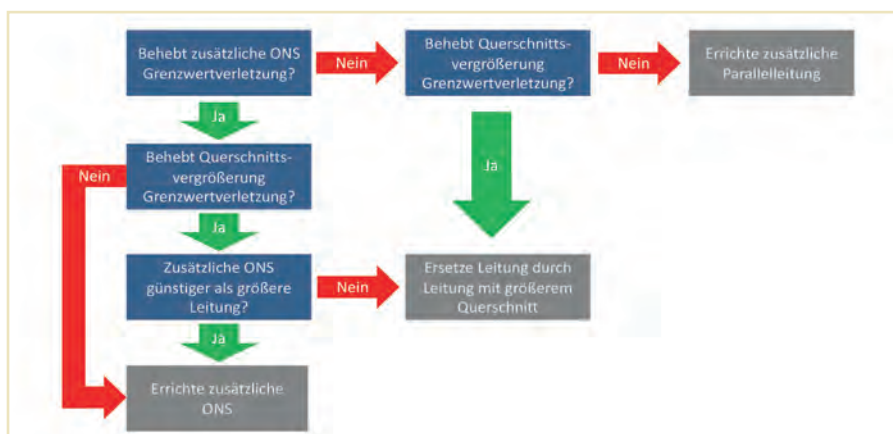


Abb. 2 Vorgehensweise bei der Ermittlung erforderlicher Netzausbaumaßnahmen im Falle von Grenzwertverletzungen auf Niederspannungsleitungen (ONS = Ortsnetzstation)

gen der jeweils zulässigen Spannungs- und/oder Stromgrenzen verursacht. Als Abhilfemaßnahme im Falle von Verletzungen des zulässigen Spannungsbands in der Niederspannungsebene wurde im Rahmen dieser Studie generell davon ausgegangen, dass die betroffene Ortsnetzstation mit einem regelbaren Ortsnetztransformator ausgestattet wird.

Im Falle von Verletzungen der zulässigen Stromgrenzen von Leitungen in der Niederspannungsebene wurde zunächst geprüft, ob die Grenzwertverletzung mit Hilfe des Zubaus einer zusätzlichen Ortsnetzstation und damit einer Verkleinerung der Speisebereiche und Abgangslängen im Niederspannungsnetz behoben werden kann. Zusätzlich wurde überprüft, ob die Grenzwertverletzung durch den Ersatz der vorhandenen Leitung durch eine Leitung mit größerem Querschnitt behoben werden kann. Von diesen beiden Möglichkeiten wurde die jeweils kostengünstigere Alternative ausgewählt. Wenn diese Maßnahmen nicht ausreichen, um die Grenzwertverletzung zu beheben, wurde der Zubau von Parallelleitungen unterstellt. Diese Vorgehensweise ist in Abb. 2 am Beispiel einer Grenzwertverletzung auf einer Niederspannungsleitung dargestellt. Bei Stromgrenzwertverletzungen an Ortsnetztransformatoren wurden diese durch solche mit höherer Nennleistung ersetzt.

Wichtig ist, bei der Bewertung des resultierenden Investitionsbedarfs zwei Strategien zu unterscheiden: Bei der klassischen Vorgehensweise werden die Netzbetriebsmittel bei Erreichen des Endes ihrer Nutzungsdauer ersetzt. Ausbau- und Verstärkungsmaßnahmen erfolgen anlassbezogen. Eine solche Vorgehensweise wird nachfolgend als reaktive Ersatzstrategie bezeichnet.

Demgegenüber wird bei der proaktiven Ersatzstrategie davon ausgegangen, dass im Zuge des ohnehin erforderlichen altersbedingten Ersatzes in vorausschauender Weise an den Stellen im Netz, an denen künftig gemäß den durchgeführten Analysen voraussichtlich entsprechender Bedarf besteht, der Ersatz vorhandener durch leistungsstärkere Betriebsmittel erfolgt. Hiermit wird erreicht, dass dann nur die Mehrinvestitionen für die größer dimensionierten Betriebsmittel der Integration der E-Mobilität und der Wärmepumpen zuzuschreiben sind.

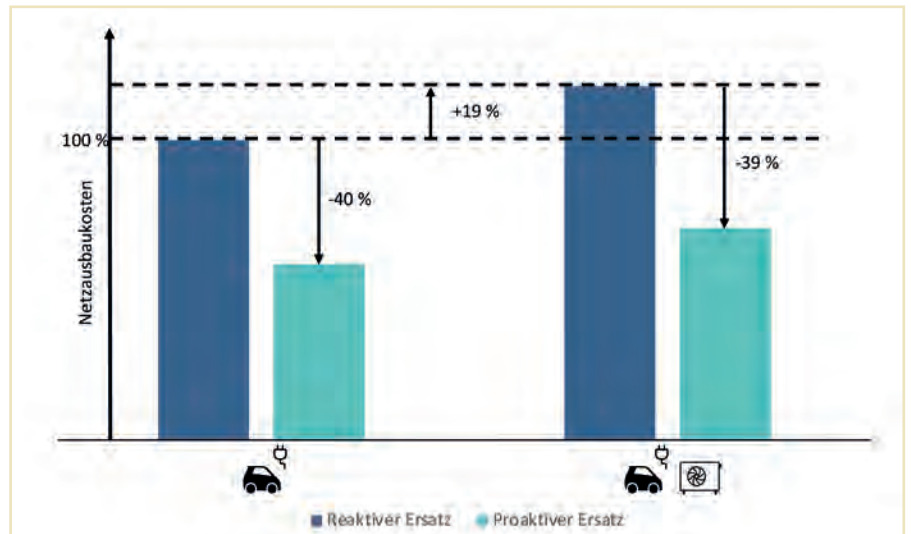


Abb. 3 Vergleich der Netzausbaukosten bis 2044 für isolierten Hochlauf der Elektromobilität (Vorgängerstudie) und für den gemeinsamen Hochlauf von Elektromobilität und Wärmepumpen bei reaktiver und proaktiver Ersatzstrategie

### Ergebnisse

Handlungsbedarf entsteht in den NS-Netzen weitaus überwiegend aufgrund von Überschreitungen des zulässigen Spannungsbands, in den MS-Netzen hingegen aufgrund von Überschreitungen der zulässigen Stromgrenzen. Der Umfang des Netzausbaubedarfs ist im Leitungsbereich der NS- und auch der MS-Netze selbst bei hohen Durchdringungen mit E-PKW und Wärmepumpen eher gering.

Der überwiegende Anteil der Maßnahmen, die erforderlich werden, um die Lastzuwächse durch den Hochlauf von Wärmepumpen und E-PKW zu beherrschen, betrifft die Ebene der Ortsnetzstationen. Hier werden sowohl regelbare als auch zum Teil leistungsfähigere Transformatoren erforderlich.

Zudem werden auch Neubauten von zusätzlichen Ortsnetzstationen notwendig. Bei der Neuerrichtung von Ortsnetzstationen werden bestehende Niederspannungsnetze umstrukturiert, was bei geschickter Platzierung der Ortsnetzstationen wiederum eine Minimierung der erforderlichen Leitungsmaßnahmen mit sich bringt.

Der durch den kombinierten Hochlauf von E-PKW und Wärmepumpen entstehende Investitionsbedarf für erforderliche Netzausbaumaßnahmen liegt zwar erwartungsgemäß höher als bei alleinigem Hochlauf der Elektromobilität (Abb. 3). Allerdings ist der Unterschied vergleichsweise gering. Der Investitionsmehrbedarf beträgt lediglich ca. 19 %. Deutlich wird auch, dass der bereits bei alleiniger Betrachtung der E-PKW-Integration erkannte Kostenvorteil

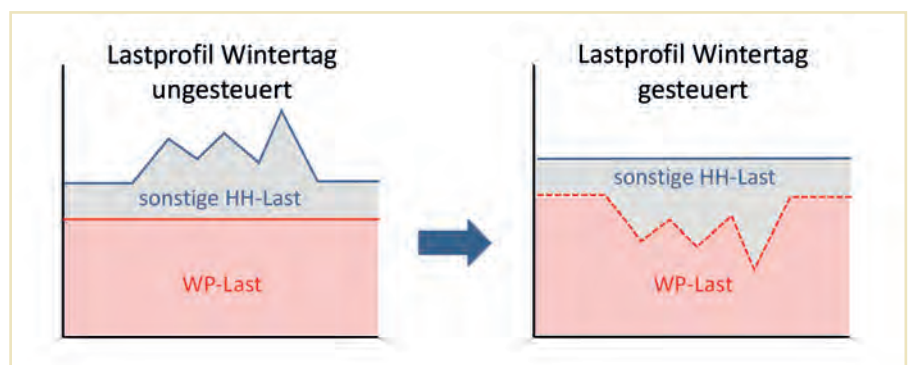


Abb. 4 Vergleichmäßigung der Haushaltslast durch Steuerung von Wärmepumpen mit zusätzlichen Wärmespeichern



der proaktiven gegenüber der reaktiven Ersatzstrategie auch bei zusätzlicher Betrachtung des Wärmepumpen-Hochlaufs bestehen bleibt. Dieser Kostenvorteil ist im Fall des kombinierten Hochlaufs mit ca. 39 % praktisch genauso hoch wie bei alleiniger Betrachtung der Elektromobilität (dort ca. 40 %).

### Steuerungsansätze

Es wurden zwei mögliche Steuerungsansätze für Wärmepumpen analysiert. Bei beiden handelt es sich um rein lokale Steuerungsansätze, und nicht etwa um Steuerungseingriffe durch Dritte, wie Verteilnetzbetreiber oder Aggregatoren. Der erste Ansatz verfolgt das Ziel, mit Hilfe von zusätzlichen oder größer dimensionierten Wärmespeichern und intelligenten Steuerungsmechanismen die Summe aus (sonstiger) volatiler Haushaltslast und der in kalten Perioden nahezu konstanten Last der Wärmepumpen in eine möglichst gleichmäßige Gesamtlast zu transformieren. Die Gesamtlast (je Haushalt) würde dann einen geringeren Spitzenwert aufweisen als bei Verzicht auf eine Steuerung (Abb. 4).

Diesem aufwändigen Steuerungsmechanismus wurde eine vergleichsweise einfache Vorrangsteuerung gegenübergestellt. Hierbei wird unterstellt, dass in den Haushalten, in denen sowohl eine Wärmepumpe als auch ein Elektro-PKW vorhanden ist, der gleichzeitige Betrieb von Wärmepumpe

und Ladeeinrichtung verhindert und dem lasthöheren Verbraucher dabei der Vorrang gewährt wird. Ausgehend von einer Ladeleistung von 11 kW wird die Wallbox in aller Regel der lasthöhere Verbraucher sein, so dass diese Steuerungsvariante auf die Regel „Wärmepumpe aus wenn Auto geladen wird“ hinausläuft.

Die durchschnittliche Dauer von Ladevorgängen beträgt ca. 45 min. Da Wärmepumpen nicht zuletzt aufgrund der heute üblichen Sperrzeiten in der Regel mit einem Wärmespeicher ausgestattet werden, der in der Lage ist, ein Zeitfenster von bis zu drei Stunden zu überbrücken, entstehen bei einer solchen Steuerungsvariante anders als bei der erstgenannten Variante keine zusätzlichen Kosten für die Installation größer dimensionierter Wärmespeicher und Wärmepumpen.

Im Ergebnis erscheinen einfache Sperrzeitregelungen wie die Abschaltung von Wärmepumpen in den Zeitfenstern, in denen Elektrofahrzeuge geladen werden, als vorteilhaft. Dahingegen sind aufwändigere Steuerungen im Sinne des erstgenannten Ansatzes, die den Aufbau zusätzlicher Wärmespeicherkapazitäten und den Einsatz leistungsstärkerer Wärmepumpen erfordern, mit kundenseitigen Mehrkosten und geringerem netzseitigem Nutzen verbunden, so dass sie aus volkswirtschaftlicher Perspektive keine sinnvolle Alternative darstellen.

### Fazit

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Netze der Avacon Netz GmbH, der Bayernwerk Netz GmbH, der E.DIS Netz GmbH und der Schleswig-Holstein Netz AG bereits heute gut auf einen Hochlauf der E-Mobilität und Wärmepumpen vorbereitet sind. Zwar steigt der Investitionsbedarf im Netz bei zusätzlicher Betrachtung der Wärmepumpen im Vergleich zum alleinigen Hochlauf der Elektromobilität erwartungsgemäß an, aber auch die damit verbundenen Herausforderungen sind sowohl technisch gut umsetzbar als auch finanziell weiterhin in einem beherrschbaren Rahmen.

Der bereits aus der Vorgängerstudie gefasste Entschluss, eine proaktive Erneuerungsstrategie zu verfolgen, wird in seiner Richtigkeit hierin noch bestärkt. So können die Netze auch bei einem gleichzeitigen schnellen Hochlauf der Elektromobilität und des Wärmepumpenzubaus weiterhin sicher und effizient betrieben werden.

---

*S. Dorendorf und U. Ventzke, E.DIS Netz GmbH, Fürstenwalde/Spree; B. Renner und Dr. J. Schmiesing, Avacon Netz GmbH, Helmstedt; M. Kölbl und Dr. F. Wirtz, Bayernwerk Netz GmbH, Regensburg; M. Dau und M. Köhler, Schleswig-Holstein Netz AG, Quickborn; L. Hebenstreit und Dr. M. Obergünner, E.ON SE, Essen; D. Kemnitz und C. Linke, Consentec GmbH, Aachen linke@consentec.de*