

Zukunftsbild der Energielandschaft in Bayern

Flower.Power: Einbindung der Elektromobilität in das Energiesystem

Welchen Einfluss hat die Integration der Elektromobilität und ein bidirektionales Laden auf die Netzinfrastruktur und welche Möglichkeiten ergeben sich daraus zur Verbesserung der regionalen Energieversorgung und Versorgungssicherheit. Dies haben das Bayernwerk und E-Bridge Consulting untersucht. Ein Ergebnis: Dem Verteilernetzbetreiber kommt eine Schlüsselrolle in der Integration der E-Mobilität zu, da dieser die Nutzung von Flexibilitätspotenzialen aus E-Pkw für Markt, System und das regionale Energienetz ermöglichen muss.

Die Verkehrswende gewinnt in Bayern an Fahrt. Im Jahr 2020 wurden in Bayern mehr als 60 000 E-Pkw zugelassen, dreimal so viel wie im Jahr 2019. Das Bayernwerk hat sich daher gemeinsam mit E-Bridge Consulting der Frage gewidmet, welche Herausforderungen und Lösungen die Integration von Elektro-

autos und PV-Heimspeichern in der Zukunft dieser Energielandschaft darstellen. Dabei stellt sich heraus, dass vor allem bidirektionales Laden von E-Pkw das Stromnetz entlasten kann, denn dafür sind hohe Leistungen für kurze Zeit zur Glättung von Last- und Erzeugungsspitzen notwendig. Zudem kann bidirektio-

nales Laden einen Beitrag zur Erhöhung der regionalen Versorgungssicherheit leisten. Hierbei lässt sich der Mehrwert des bidirektionalen Ladens erschließen, ohne die Lebensdauer der Batterie deutlich zu beeinträchtigen. Eine lokale Synchronisierung von Einspeisungen und Lasten in Bayern ist unabdingbar, um die lokale Nutzung der Energie zu erhöhen, eine bessere Ausnutzung der Netzinfrastruktur zu erreichen und einen regionalen Beitrag zur Versorgungssicherheit zu leisten. Um dies zu bewerkstelligen, ist auch eine intelligente Integration der Elektromobilität in die Energieversorgung von morgen erforderlich.

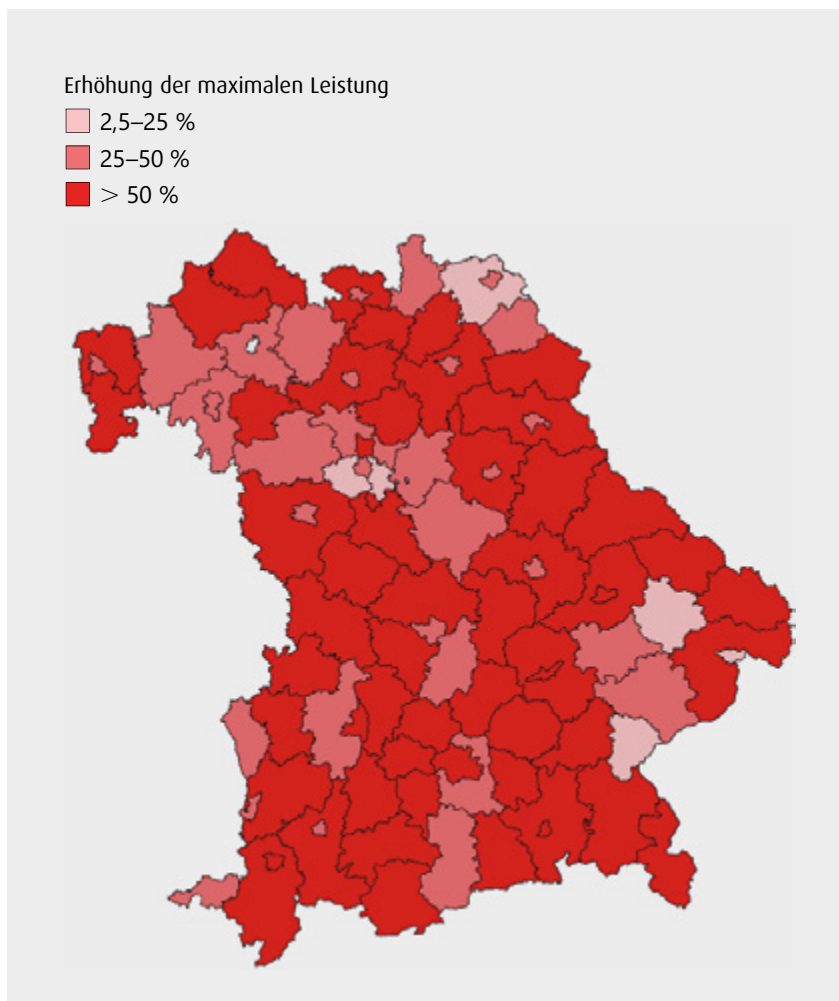


Bild 1. Veränderung der auslegungsrelevanten Leistung (2019 im Vergleich zu 2030) je Landkreis

Kennzeichen der Transformation der Energielandschaft in Bayern

Die Transformation der Energielandschaft in Bayern beschleunigt sich. Sie führt hin zu einem dezentralen und von Flexumern geprägten Energiesystem. Die laufende Transformation des Energiesystems in Bayern wird von vier aktuellen Entwicklungen getrieben:

1. Die Einspeisung regionaler, erneuerbarer Energie steigt stark an, vor allem durch einen neuen PV-Boom.
2. Die Elektrifizierung von Mobilität und Wärmeanwendungen fördert eine sektorenübergreifende Zusammenarbeit.
3. In Bayern werden immer mehr Speicher installiert.
4. Die Vernetzung und Digitalisierung gewinnt dank Sensorik, Smart Metern und intelligenten Energiemanagementsystemen an Bedeutung.

Charakteristisch für die Energiewende ist eine zunehmend dezentrale Verteilung von Erzeugungs- und Speicherkapazitäten. Früher stellten einige Groß-

kraftwerke mit Anschluss an das Höchstspannungsnetz die Energieversorgung sicher. Heute befindet sich ein großer Teil der Erzeugungs- und Speicherkapazitäten auf den Dächern und in den Garagen von Privatpersonen. Sie gestalten aktiv die Energielandschaft der Zukunft mit der Erzeugung, Speicherung sowie des Verbrauchs von Energie. Einstige Konsumenten (Consumer) werden durch die Nutzung von Flexibilitäten (Flexibility) immer mehr zu »Flexumern« [1]. Die zunehmende Flexibilität der Kundenanlagen – wie E-Pkw, PV-Anlagen, Kleinspeicher und Wärmepumpen – bietet Möglichkeiten zur besseren Synchronisierung von lokaler Stromerzeugung und lokalem Stromverbrauch. Voraussetzung ist eine zunehmende Digitalisierung der Energieinfrastruktur. Grundlage dieser Überlegungen sind Analysen von Bayernwerk und E-Bridge Consulting zur »Zukunft der bayerischen Energielandschaft«, dem Flower.Power-Energiekonzept. Dabei ist ein Lastzentrum in der Mitte (Blütenkelch) von einer ländlichen Struktur mit Erzeugungsüberschuss (Blütenblätter) umgeben [2].

Hohe Anforderungen an das Stromnetz von morgen

Wie in **Bild 1** zu erkennen ist, birgt dieser strukturelle Umbruch in der Energieversorgung neue Herausforderungen für das Netz. Ohne aktive Koordinierung der vorhandenen Flexibilitäten steigt die auslegungsrelevante Leistung (erzeugungs- oder lastgetrieben) bis 2030 in vielen Landkreisen Bayerns um über 50 % gegenüber dem Wert im Jahr 2019.

Der deutliche Anstieg der auslegungsrelevanten Leistung ist allem voran auf den Anstieg der installierten PV-Leistung mit einem Erzeugungspeak am Mittag zurückzuführen. Künftig können auch die Vielzahl der E-Pkw deutliche Lastspitzen verursachen und – sofern nicht intelligent in das Energieversorgungssystem integriert – das Netz weiter belasten. In den Flower.Power-Modellannahmen wurde von 2 Mio. Elektroautos im Jahr 2030 ausgegangen – mit einer maximalen gleichzeitigen Lade- und Entladeleistung von 22 GW und einer Speicherkapazität von 100 GWh. Zum Vergleich: Das Defizit an gesicherter Leistung in Bayern lag 2019 bei gerade einmal 6,9 GW. Die Speicherkapazität aller Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland betrug 2019 lediglich 40 GWh. Diese Größenordnungen machen deutlich, dass Elektromobilität ein entscheidendes Element in der Stromver-

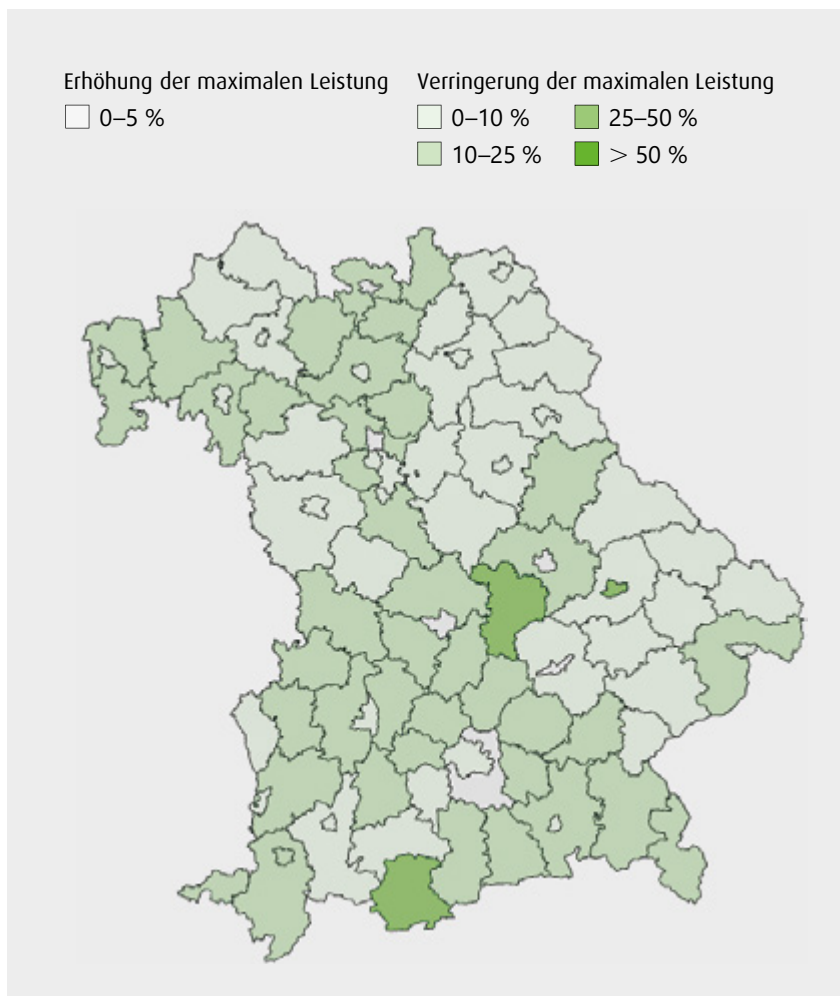


Bild 2. Veränderung der auslegungsrelevanten Leistung je Landkreis durch optimiertes bidirektionales Laden von E-Pkw und optimierter Betriebsweise von PV-Kleinspeichern im Jahr 2030

sorgung von morgen ist. Das Flexibilitätspotenzial der Elektroautos kann für eine Synchronisierung von Stromerzeugung und Stromverbrauch genutzt werden.

Mögliche Anwendungen für eine Nutzung der Flexibilität der Elektromobilität (durch Lastverschiebung oder durch bidirektionales Laden) auf regionaler Ebene sind:

1. Beitrag zur Netzentlastung
2. Beitrag zur Versorgungssicherheit
3. Beitrag zur regionalen Eigenversorgung.

Beitrag zur Netzentlastung

Es gibt grundsätzlich zwei Optionen, um das Flexibilitätspotenzial von Elektroautos zu nutzen und die maximale Leistung im Netz zu reduzieren:

1. **Verlagerung des Ladevorgangs:** Durch eine Verlagerung des Ladevorgangs können E-Pkw bei Erzeugungsspitzen gezielt ihre Batterien laden. Gleichzeitig können E-Pkw auf

eine Ladung zu den Zeiten von Lastspitzen verzichten.

2. **Bidirektionales Laden:** Die E-Pkw können freie Speicherkapazität nutzen, um zu Zeiten hoher Einspeisung in das Netz zusätzliche Energie zu laden. Zu Zeiten von hoher Last kann diese ins Netz zurückgespeist werden.

Beim Einsatz beider Maßnahmen ist zu berücksichtigen, dass das Mobilitätsbedürfnis der E-Pkw-Besitzer zu keiner Zeit beschränkt werden darf. Die Mobilität bleibt die primäre Funktion des E-Pkw und der E-Pkw-Besitzer darf im Alltag nichts von einer sekundären Anwendung merken. Trotz Einhaltung dieser strengen Bedingung ist das Potenzial der E-Mobilität zur Reduktion der regionalen maximalen Leistung enorm.

Durch bidirektionales Laden und einer optimierten Betriebsweise von PV-Kleinspeichern kann die auslegungsrelevante Leistung in den bayerischen Landkreisen im Jahr 2030 um durchschnittlich 10 %

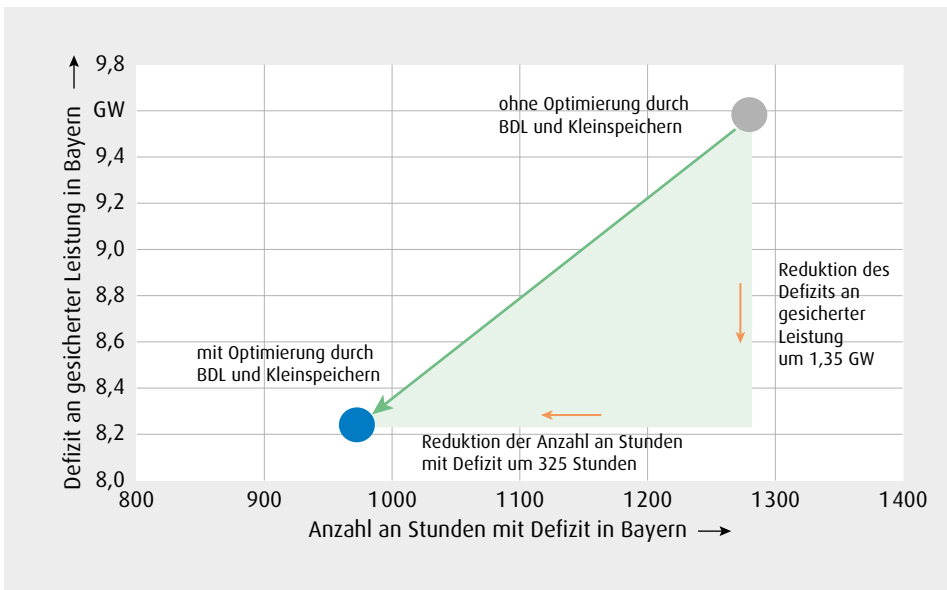


Bild 3. Reduktion des Defizits an gesicherter Leistung und der Anzahl an Stunden mit Defizit durch optimierten Einsatz von bidirektionalem Laden (BDL) und Kleinspeicher

reduziert werden. Lokal lässt sich sogar eine Reduktion um bis zu 50 % beobachten (Bild 2). In Situationen von starker Einspeisung kann es vorteilhaft sein, mehrere E-Pkw gleichzeitig zu laden. So genügt es in kritischen Netzsituationen, rund 15 % zusätzliche E-Pkw gleichzeitig laden zu lassen, um einen durch Erzeugung verursachten Engpass von 3,5 GW zu beseitigen. Damit können höhere Spannungsebenen entlastet werden, ohne dass die Niederspannungsebene zu sehr belastet wird.

Beitrag zur Versorgungssicherheit

Die Energielandschaft in Bayern verändert sich grundlegend. Das wirft die Frage auf, inwieweit bidirektionales Laden zur Gewährleistung der regionalen Versorgungssicherheit beitragen kann [3]. Die Untersuchungen haben ergeben, dass allein durch bidirektionales Laden und einer optimierten Betriebsweise von PV-Kleinspeichern das Defizit an gesicherter Leistung in Bayern von 9,6 GW um 1,35 GW auf 8,25 GW verringert werden kann. Auch in der zeitlichen Dimension ist eine Verbesserung der Versorgungssicherheit feststellbar: Die Anzahl an Stunden mit Defizit verringert sich von 1315 Stunden um 325 auf 990 Stunden (Bild 3).

Diese Reduktion des Defizits an gesicherter Leistung in Bayern kann ohne Zubau von neuen Erzeugungsanlagen realisiert werden.

Ergänzend zur Verbesserung der Versorgungssicherheit auf regionaler und lokaler Ebene können E-Pkw auch »als

Notstromaggregat« die Versorgung einzelner Haushalte sicherstellen. Die durchschnittliche Länge der Versorgungsunterbrechung je Stromverbraucher lag in Deutschland 2019 bei 12,2 min. Autobatterien verfügen meist über genügend Kapazität, um den Stromverbrauch eines einzelnen Haushaltes über mehrere Tage sicherzustellen und sind – sofern Technik und Gesetze es erlauben – somit in der Lage, die Stromversorgung einzelner Haushalte gegen netzbedingte Stromausfälle abzusichern und so eine unterbrechungsfreie Stromversorgung im ganzen Jahr zu ermöglichen.

Beitrag zur regionalen Eigenversorgung

Die E-Pkw in Bayern verfügen im Jahr 2030 über eine Gesamtspeicherkapazität von rund 100 GWh. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, inwieweit diese Speicherkapazität einen Beitrag zur Erhöhung der regionalen Eigenversorgung leisten kann. Der Grad der Eigenversorgung im Jahr ergibt sich aus dem Verhältnis von lokaler Erzeugung zu lokalem Verbrauch in jeder Stunde des Jahres. Als Rahmenbedingung bei der Verwendung der Autobatterie für netz- und systemdienliche Zwecke gilt, dass die Mobilität des E-Pkw-Besitzers nicht eingeschränkt werden darf (Mobilitätsbedingung). Als Annahme zur Modellierung wurde daher festgelegt, dass der Fahrzeugbesitzer bei jedem Fahrtantritt vom Arbeitsplatz oder von zu Hause eine vollgeladene Autobatterie vorfinden muss. Eine Verschiebung großer Energiemengen durch bidirektionales

Laden über mehrere Tage hinweg ist somit nur sehr bedingt möglich. Zusätzlich müssen Round-Trip-Verluste¹ von rund 15 % berücksichtigt werden. Der Eigenversorgungsgrad kann daher auf regionaler Ebene im Durchschnitt nur um 1,7 % erhöht werden. Diese Gründe beschränken zwar den durch bidirektionales Laden erzielbaren Mehrwert auf regionaler Ebene. Allerdings kann das Potenzial zur Erhöhung der Eigenversorgung von Privathaushalten sehr hoch ausfallen. Der Effekt von Kleinspeichern zur zeitlichen Verschiebung überschüssiger Energie auf regionaler Ebene fällt geringer aus, als für bidirektionales Laden mit E-Pkw. Hintergrund ist, dass Kleinspeicher bayernweit nur rund 3 % der Speicherkapazität der E-Pkw zur Verfügung stellen.

Somit lässt sich feststellen, dass bidirektionales Laden für solche netzdienliche Anwendungen geeignet ist, bei denen hohe Leistungen für kurze Zeit erforderlich sind. Eine typische Anwendung ist die Glättung von Last- und Erzeugungsspitzen, um Netzausbau oder Netzengpassmaßnahmen vorzubeugen. Für energetische Anwendungen wie der Erhöhung des Eigenversorgungsgrads auf regionaler Ebene ist bidirektionales Laden aufgrund der hohen Round-Trip-Verluste und einzuhaltender Mobilitätsbedingungen dagegen nur bedingt geeignet.

Auswirkung von bidirektionalem Laden auf die Lebensdauer der Batterie

Die Verwendung des Stromspeichers aus E-Pkw für netzdienliche Zwecke geht mit einer Mehrbelastung aufgrund einer erhöhten Anzahl der Ladezyklen der Autobatterie einher. Eine Reduktion der Batterielebensdauer durch bidirektionales Laden würde zu Akzeptanzproblemen bei E-Pkw-Besitzern führen. Die durchschnittliche Zahl der Vollzyklen der Batterien wurde zur Untersuchung der Mehrbelastung der Autobatterie für den Fall einer Maximierung der Eigenversorgung auf regionaler Ebene berechnet. Mit diesem Anwendungsfall geht die höchste energetische Mehrbelastung für die Batterie einher. Tatsächlich steigt die Zahl der Vollzyklen bei bidirektionalem Laden um 65 % von 55 auf 92

¹ Round-Trip-Verluste sind die Differenz der aus dem Netz entnommenen, in die Batterie geladene Energie und derjenigen Energie, die unter Berücksichtigung der Verluste im Lade- und Entladevorgang aus der Batterie wieder in das Netz zurückgespeist wird.

Vollzyklen im Jahr gegenüber einer Verwendung der Autobatterie allein für Mobilitätszwecke. Die absolute Zahl der Vollzyklen bleibt jedoch sehr gering. Auch mit bidirektionalem Laden werden erst nach 10 Jahren 1000 Vollzyklen erreicht. Der kritische Wert für Li-Ionen-Batterien liegt typischerweise bei 3000 bis 5000 Vollzyklen. Grund hierfür ist, dass einer großen Kapazität der Autobatterien typischerweise eine geringe Lade-/Entladeleistung gegenübersteht. Die geladenen Energiemengen werden daher durch geringe Ladeleistungen begrenzt. Da die Batterie jeden Morgen wieder vollgeladen sein muss, wird der energetische Durchsatz weiter begrenzt. Die zusätzliche Beanspruchung der Autobatterie und somit auch potenzielle Lebensdauereinbußen durch bidirektionales Laden halten sich in Grenzen, sodass einer Akzeptanz für bidirektionales Laden für netzdienliche Zwecke auf Seiten der Fahrzeugbesitzer nichts im Wege steht.

Schlussfolgerungen

Die Energiewende geht in Bayern in eine neue Phase und wird zum selbsttragenden Prozess. Ein Baustein im Energiesystem von morgen sind E-Pkw. Das Bayernwerk hat gemeinsam mit E-Bridge Consulting einen Blick in die Zukunft dieser Energielandschaft gewagt und bidirektionales Laden von E-Pkw sowie PV-Heimspeicher darin integriert. Eine lokale und zeitliche Synchronisierung von Erzeugung und Verbrauch mithilfe von bidirektionalem Laden kann die lokale Nutzung der Energie erhöhen, die Auslastung der Netzinfrastruktur optimieren und einen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten. Im Rahmen der Analysen wurde festgestellt, dass bidirektionales Laden für netzdienliche Anwendungen besonders geeignet ist, die hohe Leistungen für kurze Zeit erfordern. Eine typische Anwendung ist die Glättung von Last- und Erzeugungsspitzen. Für energetische Anwendungen wie der Erhöhung des Eigenversorgungsgrads auf regionaler Ebene ist bidirektionales Laden aufgrund der hohen Round-Trip-Verluste und einzuhaltender Mobilitätsbedingungen nur bedingt geeignet. Bidirektionales Laden kann ebenfalls einen bedeutenden Beitrag zur Erhöhung der Versorgungssicherheit in Bayern liefern. Der Mehrwert des bidirektionalen Ladens lässt sich dabei erschließen, ohne Einbußen in der Lebensdauer der Autobatterien in Kauf nehmen zu müssen. Dem Verteilnetzbetreiber kommt eine Schlüsselrolle bei der Integration der E-Mobilität zu, da dieser

die Nutzung von Flexibilitätpotenzialen aus E-Pkw für Markt, System und das regionale Energienetz ermöglichen muss. Bereits heute investiert das Bayernwerk in das intelligente Stromnetz von morgen, denn die Nutzung von Flexibilität und Speichern sind ein Schlüssel zum Gelingen der Energiewende.

Literatur

- [1] Westphal, E., et al.: Flexumer als Gestalter der digitalen Energiezukunft – Eine Begriffseinordnung. et – Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Ausgabe 7-8, 2019.
- [2] Westphal, E., et al.: Zukunft der bayerischen Energielandschaft. emw, Ausgabe 1-20, 2020.
- [3] Schuster, H., et al.: Wandel der Energielandschaft in Bayern und dessen Einfluss auf die regionale Versorgungssicherheit. ew – Magazin für die Energiewirtschaft Ausgabe, 9-2020, 2020.

>> Dr.-Ing. **Egon Leo Westphal**,
Vorsitzender des Vorstands,
Bayernwerk AG, Regensburg

Dr.-Ing. **Frank Wirtz**,
Leiter Grundsatzaufgabe im
Assetmanagement,
Bayernwerk Netz GmbH, Regensburg

Dr. **Andreas Kießling**,
Leiter Vorstandsbüro & Political Affairs,
Bayernwerk AG, Regensburg

Alexander Jäger,
Referent für strategische Sonderprojekte
und Grundsatzfragen,
Bayernwerk AG, Regensburg

Dr.-Ing. **Henning Schuster**,
Geschäftsführer,
E-Bridge Consulting GmbH, Bonn

Kilian Bienert,
Consultant,
E-Bridge Consulting GmbH, Bonn

Philipp Laschet,
Consultant,
E-Bridge Consulting GmbH, Bonn

>> hschuster@e-bridge.com

>> www.bayernwerk.de
www.e-bridge.com

Anzeige

Messtechnik der Zukunft **MOLLINÉ**

ZUKUNFT

INTELLIGENT

VERNETZT.

**Wir passen Messtechnik auf
Ihre Bedürfnisse an.**

Individuell, herstellerunabhängig,
aus Stuttgart.



0711 35 16 95-20 www.molline.de