

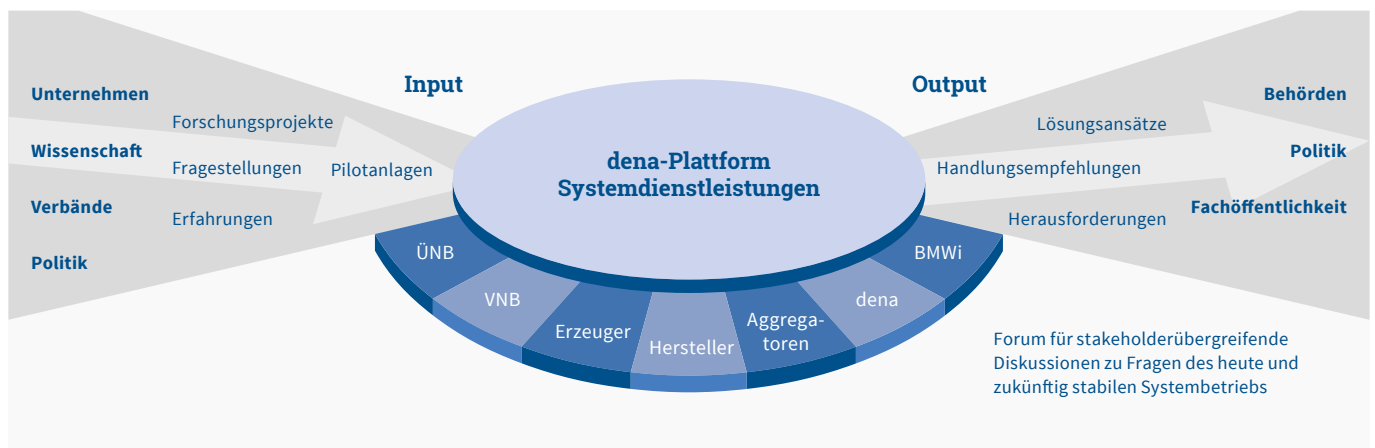


## Definitionen und Abgrenzung

# Elemente der Versorgungssicherheit und -zuverlässigkeit

Steigende Anteile dezentraler, umrichterbasierter Anlagen sowie die voranschreitende Digitalisierung und der Einsatz innovativer Technologien verändern das Stromsystem und den Betrieb der Netze. Mit dem Voranschreiten der Energiewende werden sich auch die Ursachen für Störungen im Stromsystem sowie die Art und Weise, wie das System auf Störfälle reagiert, wandeln. Über einige Elemente der Sicherheit und Zuverlässigkeit der Stromversorgung, wie z. B. die Erbringung von **Systemdienstleistungen** (SDL), wird daher bereits seit Jahren in Deutschland diskutiert.

Durch die dynamische Weiterentwicklung des Energiesystems richtet sich der Diskurs zunehmend auch auf weiter reichende Themen, wie die zum Teil komplexen Aspekte der **Systemstabilität**. Der Austausch wird jedoch dadurch erschwert, dass vorhandene Begrifflichkeiten uneinheitlich verwendet werden. Im Folgenden soll daher durch die Beschreibung und Abgrenzung der Elemente der **Versorgungssicherheit und -zuverlässigkeit** eine Grundlage für zukünftige Diskussionen zur Ausgestaltung des Stromsystems bereitgestellt werden.



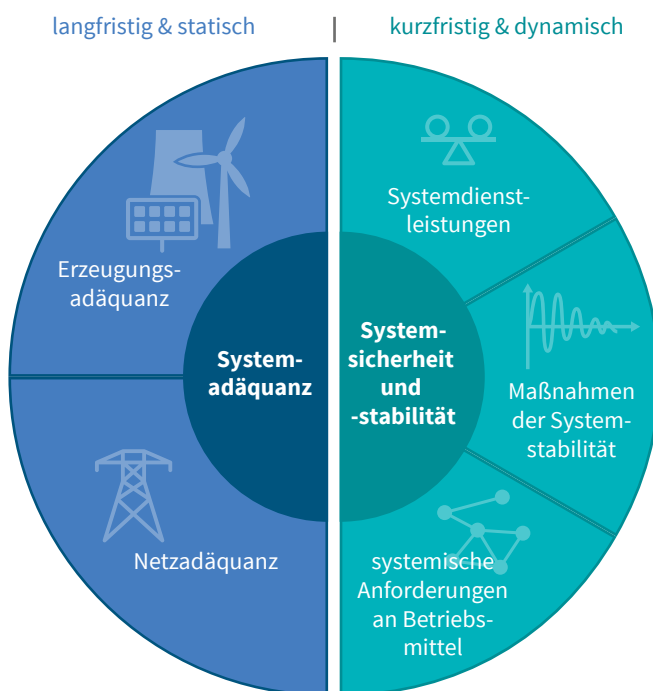
Diese Publikation wurde im Rahmen der dena-Plattform Systemdienstleistungen mit besonderer Unterstützung der deutschen Übertragungsnetzbetreiber erstellt. Partner: 50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, Bayernwerk Netz GmbH, BayWa r.e. renewable energy GmbH, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, E.DIS Netz GmbH, E.ON Energie Deutschland GmbH, ENERCON GmbH, Energiequelle GmbH, EWE NETZ GmbH, innogy SE, MDN Main-Donau Netzgesellschaft mbH, Mitteldutsche Netzgesellschaft Strom mbH, RWE Generation SE, Siemens Gamesa Renewable Energy S.A., SMA Solar Technology AG, TenneT TSO GmbH, TEN Thüringer Energienetze GmbH & Co. KG, TransnetBW GmbH, Westnetz GmbH

## Planung und Betrieb – Voraussetzungen für eine sichere und zuverlässige Versorgung

Die Gewährleistung der **Versorgungssicherheit und -zuverlässigkeit** ist eine zentrale Anforderung an das Stromsystem. Darüber hinaus gilt es, erneuerbare Energien in das System zu integrieren und die notwendigen Voraussetzungen für den nationalen und europäischen Stromhandel zu schaffen.

Für eine unterbrechungsfreie Stromversorgung muss das Stromsystem in der Lage sein, Störungen im **Systembetrieb** zu vermeiden und dynamisch auf eintretende Fehler zu reagieren. **Systemsicherheit** fasst diese im kurzfristigen Zeitbereich notwendigen Fähigkeiten und Eigenschaften zusammen – gleichbedeutend wird häufig der Begriff **Systemstabilität** gebraucht. Neben dem zuverlässigen Betrieb der Stromnetze ist es für eine dauerhaft gewährleistete Energieversorgung erforderlich, langfristig sicherzustellen, dass die Nachfrage nach elektrischer Energie gedeckt werden kann. Dieser **planerische Aspekt** der Versorgungssicherheit und -zuverlässigkeit wird als **Systemadäquanz** bezeichnet.<sup>1</sup> Durch den zunehmenden Einfluss der Energiewende und die Entwicklung des europäischen Strombinnenmarktes befinden sich die Ausgestaltung und Bereitstellung der klassischen Elemente der Versorgungssicherheit und -zuverlässigkeit (vgl. Abbildung 1) im Wandel.

**Abb. 1: Klassische Elemente der Versorgungssicherheit und -zuverlässigkeit**



### Veränderungen im Stromsystem

- Liberalisierung des Strommarkts
- Erneuerbare Energien
- Dezentralisierung
- Digitalisierung
- Sektorkopplung

<sup>1</sup> Cigre (1987): Power System Reliability Analysis Application Guide

## Systemadäquanz – langfristige Perspektive der Versorgungssicherheit und -zuverlässigkeit



### Erzeugungsadäquanz – Sicherstellen der Stromproduktion

Grundlage für die **Systemadäquanz** ist das Vorhandensein einer ausreichenden **gesicherten Leistung**, um die Nachfrage nach elektrischer Energie jederzeit decken zu können. Diese **Erzeugungsadäquanz** wird zunehmend als länderübergreifende Aufgabe angesehen. Dabei spielen auch Fragen wie die kalte Dunkelflaute<sup>2</sup> eine wichtige Rolle.



### Netzadäquanz – Vorhalten erforderlicher Transportkapazität

Die zweite Voraussetzung dafür, dass der Bedarf der Verbraucher zuverlässig gedeckt werden kann, ist die sogenannte Netzadäquanz – das Vorhandensein der **erforderlichen Transportkapazität** zwischen der gesicherten Erzeugung und den Verbrauchern. Die **Netzadäquanz** ist ein wichtiger Aspekt der Planung von Stromnetzen. Durch den Anspruch an das System, erneuerbare Energien zu integrieren und die technischen Voraussetzungen für den europäischen Stromhandel zu schaffen, gehen die Anforderungen an die Netzplanung allerdings über die Netzadäquanz hinaus.<sup>3</sup>

## Systemsicherheit – Vermeidung und Beherrschung von Störungen im Betrieb

Das vorrangige Ziel des Betriebs von Stromnetzen ist es, den **Normalzustand** – den Betrieb unter Einhaltung aller technischen und betrieblichen Grenzwerte bei gleichzeitiger Vorhaltung eines Sicherheitspuffers – aufrechtzuerhalten bzw. bei Störungen so schnell wie möglich in den Normalzustand zurückkehren zu können. Diese Widerstandsfähigkeit des Systems wird als **Systemsicherheit oder -stabilität** bezeichnet. Vorkehrungen und Maßnahmen der **Systemsicherheit** lassen sich in die Bereiche **Systemdienstleistungen**, **Maßnahmen der Systemstabilität** und die **systemischen Anforderungen an Betriebsmittel** unterteilen. Da sich die Elemente in ihrem Beitrag zur Systemsicherheit und in ihren technischen Anforderungen unterscheiden, ist bei gesetzlichen Regelungen und Vorgaben, wie sie beispielsweise aus dem EU-Legislativpaket „Saubere Energie für alle Europäer“ (Clean Energy Package) für Systemdienstleistungen hervorgehen werden, die eindeutige Abgrenzung von Begrifflichkeiten entscheidend.



### Systemdienstleistungen – Beherrschung betriebsüblicher Vorgänge

Im **Systembetrieb** sorgen **Systemdienstleistungen** für die Einhaltung technischer Grenzwerte und tragen dadurch unter anderem dazu bei, dass das Handlungsergebnis der Strommärkte mit den physikalischen Notwendigkeiten der Stromversorgung in Einklang gebracht wird. Darüber hinaus sind Systemdienstleistungen auf **betriebsübliche Vorgänge**, wie Schwankungen der Last und der Einspeisung, den Ausfall eines Betriebsmittels und vordefinierte Erzeugungsausfälle ausgelegt. Erbracht werden Systemdienstleistungen von den Netzbetreibern. Im Rahmen der voranschreitenden Energiewende werden Märkte und Anschlussrichtlinien für Systemdienstleistungen so weiterentwickelt, dass die benötigten Vorleistungen zunehmend durch erneuerbare Energien und flexible Akteure zur Verfügung gestellt werden können. Neben der **Betriebsführung**, **Frequenz- und Spannungshaltung**, die im laufenden Betrieb

Anwendung finden, zählt auch der **Netzwiederaufbau**, der eine schnelle Wiederherstellung der Stromversorgung nach einem Störsereignis zum Ziel hat, zu den Systemdienstleistungen.



### Maßnahmen der Systemstabilität – Aufrechterhaltung des Systembetriebs

Damit flächendeckende Stromausfälle vermieden werden können, muss das System nach einem Störfall oder einem betrieblichen Ereignis stabilisiert werden und sich in einem sicheren Arbeitspunkt fangen. Die **Maßnahmen der Systemstabilität** zielen daher darauf ab, den teilweisen **Ausfall**, die **Verbreitung von Störungen** oder sogar den vollständigen **Blackout** des Systems abzuwenden. Dafür müssen unter anderem Übergänge zwischen stationären Zuständen beherrscht und das Schwingungsverhalten in stationären Vor- und Nachfehlerzuständen gedämpft werden. Ein weiteres zentrales Instrument der Systemstabilität ist der **Systemschutzplan** (vgl. Abbildung 2), in dem Letztmaßnahmen zur Vermeidung eines durch sehr hohe oder sehr niedrige Frequenzen, sehr niedrige Spannung und zu hohe Frequenzgradienten bedingten Systemzusammenbruchs festgelegt sind.



### Systemische Anforderungen an die technischen Fähigkeiten und Robustheit von Betriebsmitteln

Die Funktionsfähigkeit des Stromnetzes und seiner Komponenten muss auch nach unvorhersehbaren und schwerwiegenden Störungen gewährleistet bleiben. Dafür müssen Betriebsmittel widerstandsfähig gegenüber Extremereignissen sein und vor Überbeanspruchung geschützt werden. Darüber hinaus ist die **systemische Wirkung von Betriebsmitteln** wesentlich für den Erhalt der Systemsicherheit. Zum einen müssen Betriebsmittel im Rahmen ihrer technischen Möglichkeiten **systemstützende Funktionen** erbringen. Zum anderen hat beispielsweise die **50,2-Hertz-Problematik** verdeutlicht, dass vorgeschriebene Verhaltensweisen für einzelne Betriebsmittel systemrelevant werden können. So hätten bis 2011 die technischen Anschlussbedingungen von PV-Anlagen dazu geführt, dass sich diese ab einer Überfrequenz von 50,2 Hz gleichzeitig vom Netz trennen. Im Extremfall hätte das einer sprunghaften Leistungsreduktion von 9 GW<sup>4</sup> entsprochen und die vorhandenen Reserven deutlich überschritten.

## Auswirkungen von Störungen auf den Systembetrieb

Stromsysteme werden so geplant, gebaut und betrieben, dass **vordefinierte Störungen** beherrscht werden können. Führt eine Störung dazu, dass das System in einen kritischen Zustand gerät, gilt es, diesen zu beherrschen und den Normalzustand wiederherzustellen. Vorhandene Maßnahmen und Vorkehrungen unterscheiden sich dabei je nachdem wie schwerwiegend die Störung und wie kritisch der resultierende Systemzustand sind.

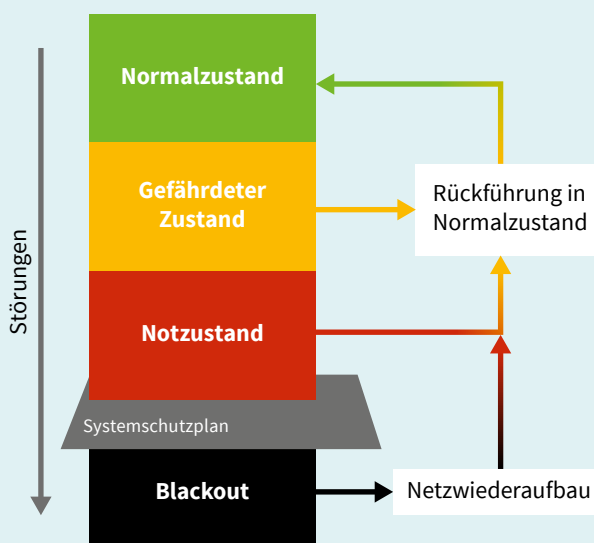
Im **Normalzustand** werden alle technischen **Grenzwerte** des Systems **eingehalten**. Gleichzeitig besteht im Normalzustand durch die Einhaltung des sogenannten **n-1-Kriteriums** eine **Sicherheitsmarge** für mögliche Störfälle. Das n-1-Kriterium besagt, dass ein beliebiges Betriebsmittel, wie z. B. eine Leitung oder ein Transformator, ausfallen kann, ohne dass die Funktion des Stromsystems dadurch unzulässig beeinträchtigt wird.

Wird die n-1-Sicherheit nicht mehr eingehalten, weil z. B. ein Betriebsmittel ausgefallen ist, geht das System in den **gefährdeten Zustand** über. Wie im Normalzustand liegen im gefährdeten Zustand **keine Grenzwertverletzungen** vor. Mit dem Ziel, das ursprüngliche Sicherheitsniveau wieder zu erreichen, müssen dennoch unverzüglich Maßnahmen ergriffen werden, um das System in den **Normalzustand zurückzuführen**.

Wetterkatastrophen, menschliches Versagen, aber auch ungewöhnliche technische Fehler können unvorhersehbare und **extreme Störungen** zur Folge haben, auf die das Stromsystem nicht ausgelegt ist. Solche äußerst selten auftretenden Ereignisse können dazu führen, dass das System

in den **Notzustand** gerät. In dieser Situation treten technische **Grenzwertverletzungen** wie z. B. Überlastungen von Betriebsmitteln auf und es besteht die Gefahr unkontrollierter, kaskadierender Ereignisse. Diese sollen durch automatische Letztmaßnahmen im Rahmen des Systemchutzplans möglichst vermieden werden. Wenn der **Blackout** dennoch nicht abgewendet werden kann, gilt es, das Netz und die Versorgung entsprechend existierender Pläne wiederaufzubauen.<sup>5</sup>

Abb. 2: Abgrenzung von Systemzuständen<sup>5</sup>



<sup>2</sup> Unter dem Begriff „kalte Dunkelflaute“ wird eine längere Zeit mit geringer Stromerzeugung fluktuierender erneuerbarer Energien durch Photovoltaik- und Windkraftanlagen bei gleichzeitig erhöhtem Strombedarf für elektrische Beheizungstechnologien aufgrund niedriger Außentemperaturen verstanden.

<sup>3</sup> **European Commission (2016):** Identification of Appropriate Generation and System Adequacy Standards for the Internal Electricity Market.

<sup>4</sup> **Ecofys, IFK (2011):** Auswirkungen eines hohen Anteils dezentraler Erzeugungsanlagen auf die Netzstabilität bei Überfrequenz und Entwicklung von Lösungsvorschlägen zu deren Überwindung.

<sup>5</sup> **ENTSO-E (2010):** Technical background and recommendations for defence plans in the continental Europe synchronous area.

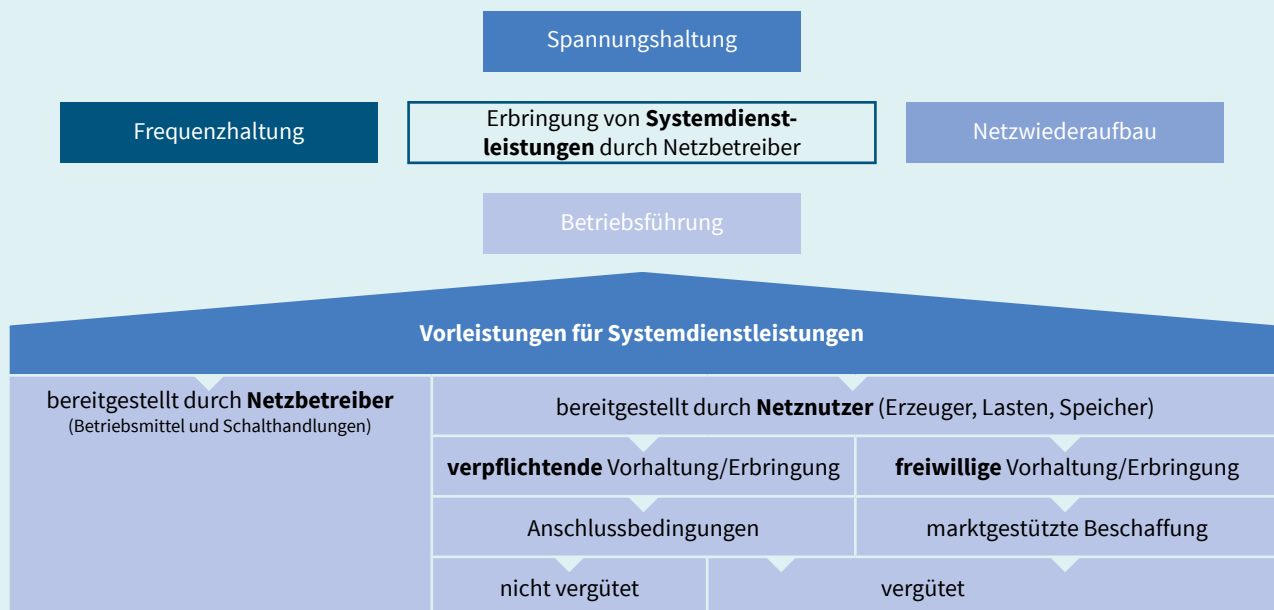
## Systemdienstleistungen, Vorleistungen und theoretische Möglichkeiten der Vergütung

Die **Systemdienstleistungen Frequenzhaltung, Spannungshaltung, Betriebsführung** und **Netzwiederaufbau** werden durch die Netzbetreiber erbracht. Hierbei greifen sie auf **Vorleistungen für Systemdienstleistungen** zurück, die entweder durch den **Netzbetreiber** selbst oder durch **Netznutzer** (Erzeuger, Lasten und Speicher) bereitgestellt werden. Um die Frequenzhaltung durch den Netzbetreiber zu ermöglichen, ist z. B. die Bereitstellung der Vorleistung Sekundärregelung zur Sekundärregelung erforderlich. Das Einspeisemanagement, d. h. die Anpassung der Einspeisung bzw. der Bezug von Wirkleistung durch Netznutzer in Engpassituationen, ist hingegen eine Vorleistung für die Systemdienstleistung Betriebsführung.

Bei der Bereitstellung von Vorleistungen durch Netznutzer wird in die **Vorhaltung** (z. B. Vorhalten von Sekundärregelung) und die **Erbringung** der Vorleistung (z. B. Erbringung von Regelleistung) unterschieden. Die Vorhaltung technischer Fähigkeiten durch die Netznutzer ist eine wichtige Grundlage für den Systembetrieb und wird daher häufig im Rahmen von **Anschlussbedingungen**, die gemeinsam von Netzbetreibern und -nutzern erarbeitet werden, **verpflichtend** festgeschrieben. Mit derselben Begründung sind Netznutzer in vielen Fällen auch zur Erbringung der Vorleistung **verpflichtet**.

Demgegenüber kann sowohl die Vorhaltung als auch die Erbringung **marktgestützt** und damit auf Basis einer **freiwilligen** Bereitstellung durch die Netznutzer organisiert werden. Für die marktgestützte Beschaffung kommen z. B. **bilaterale Vereinbarungen** und **Marktplattformen** in Verbindung mit **SDL-Produkten** infrage – beispielsweise die derzeitigen Regelleistungsmärkte und -produkte. Während bei dem freiwilligen Vorhalten und Erbringen einer Vorleistung eine **Vergütung** als Anreiz zwangsläufig erforderlich ist, müssen bei verpflichtend vorgeschriebenen Vorleistungen die Vor- und Nachteile einer Vergütung abgewogen werden. In den heutigen Regelungen gibt es daher beide Fälle, verpflichtende Vorleistungen, die vergütet werden, und solche, für die keine Vergütung gezahlt wird. Unter anderem am Beispiel des Einspeisemanagements zeigt sich, dass sich die Ausgestaltung der Vergütung für die Vorhaltung und die Erbringung von Vorleistungen unterscheiden kann. So ist die Vorhaltung der technischen Fähigkeiten für das Einspeisemanagement verpflichtend und wird nicht vergütet. Für die ebenfalls verpflichtende Erbringung ist hingegen eine Entschädigung der Kosten, die dem Anlagenbetreiber entstehen, vorgesehen. In der nachfolgenden Abbildung werden die beschriebenen Möglichkeiten für die Bereitstellung und Vergütung von Vorleistungen für Systemdienstleistungen vereinfacht dargestellt.

**Abb. 3: Zusammenhang zwischen Systemdienstleistungen und Vorleistungen für Systemdienstleistungen**



Welche Vorleistungen vergütet werden, ist historisch gewachsen und entwickelt sich mit der Dynamik der Energiewende weiter. Mit der voranschreitenden Systemtransformation wird sich zeigen, ob einzelne Vorleistungen in dem oben dargestellten Schema neu eingeordnet werden müssen. Einen konkreten Anlass hierzu bietet derzeit das **EU-Legislativpaket „Saubere Energie für alle Europäer“ (Clean Energy Package)** für den Elektrizitätsbinnenmarkt, das für eine Vielzahl von Vor-

leistungen eine marktliche, transparente und diskriminierungsfreie Beschaffung fordert. Die Umsetzung in Deutschland ist bis zum Ende 2020 vorgeschrieben und wird unter Beteiligung aller Marktakteure erarbeitet. Für die Ausgestaltung der Beschaffung sollte dabei vor allem die Frage im Vordergrund stehen, wie die technischen Anforderungen des Netzbetriebs zu den geringsten volkswirtschaftlichen Kosten erfüllt werden können.

### Impressum

**Herausgeber:** Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Chausseestraße 128 a, 10115 Berlin, Tel.: +49 (0)30 66 777-0, Fax: +49 (0)30 66 777-699, E-Mail: info@dena.de Internet: www.dena.de **Gestaltung:** Heimrich & Hannot GmbH **Bildnachweis:** Titelbild – istockphoto.com/SergBob  
Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena. Diese Publikation wurde im Rahmen der dena-Plattform Systemdienstleistungen mit besonderer Unterstützung der deutschen Übertragungsnetzbetreiber erstellt. Gedruckt auf BalancePure, mit dem Umweltzeichen Blauer Engel für Papier und Karton ausgezeichnet, da unter anderem energie- und wassersparend und aus 100 % Recyclingfasern hergestellt.