



# 50Hertz-Stromkreuzungen

So funktionieren Umspannwerke



# Sichere Stromversorgung

## Grundlage der modernen Gesellschaft

Die moderne Gesellschaft ist ohne Strom unvorstellbar. Die zuverlässige Stromversorgung rund um die Uhr ist für unzählige Dinge des täglichen Lebens unerlässlich. Damit der Strom ununterbrochen fließt, muss er transportiert werden – von dort, wo er erzeugt wird, dahin, wo er verbraucht wird, immer im Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch.

Bevor der elektrische Strom die Steckdose erreicht, hat er einen langen Weg vor sich. Erneuerbare und konventionelle Anlagen, in denen Strom produziert wird, befinden sich verteilt in ganz Deutschland, jedoch nicht immer dort, wo die Verbrauchszentren liegen. Im Netzgebiet von 50Hertz im Norden und Osten Deutschlands stehen über 40 % der deutschen Windkraftanlagen, da im Norden gute Windbedingungen herrschen. Der Anteil am deutschen Stromverbrauch liegt aber bei unter 20 % Prozent. Damit der hier

produzierte, in diesem Augenblick nicht in der Region verbrauchte, Strom zu anderen Nutzern in Deutschland und Europa kommt, wird er im Stromnetz transportiert. Dies geschieht auf verschiedenen Spannungsebenen.

Die wichtigen Punkte im Stromnetz, an denen die Stromleitungen zusammentreffen, sind die Umspannwerke. Während die Überland-Stromleitungen als „Stromautobahnen“ den Transport sicherstellen, übernehmen die Umspannwerke die Funktion der „Stromkreuzungen“ sowie der „Auf- und Abfahrten“.

Dabei wird gleichzeitig die für den Stromtransport effiziente Höchstspannung (380 kV) in die für das Verteilnetz benötigte Hochspannung (110 kV) transformiert.

Doch wie funktioniert die Spannungsumwandlung in Umspannwerken und welche verschiedenen Arten von Umspannwerken gibt es? Diese Broschüre liefert die Antworten.



### 50Hertz

Eine sichere und zuverlässige Stromversorgung, die Integration der erneuerbaren Energien und die Förderung des Strommarktes sind die Kernaufgaben von 50Hertz. Unser rund 10.000 Kilometer langes Übertragungsnetz im Norden und Osten von Deutschland bildet das Rückgrat für die sichere Stromversorgung von mehr als 18 Millionen Menschen – 24 Stunden am Tag, sieben Tage die Woche, 365 Tage im Jahr.



### Legende

- 50Hertz-Leitungsnetz —————
- in Planung / Bau - - - - -
- andere Unternehmen ———
- HGÜ/Gleichstromverbindung  
Konverterstation 
- konventionelles Kraftwerk  
(Braunkohle-, Steinkohle-  
oder Gasturbinenkraftwerk),  
Pumpspeicherwerk,  
Windpark Onshore / Offshore 
- in Planung / Bau 
- Schaltanlagen / Umspannwerke 
- Schaltanlagen / Umspannwerke  
in Planung / Bau 
- MSCDN Anlage  
in Planung / Bau 
- Phasenschieber  
in Planung / Bau 
- gasolierte Schaltanlagen 
- andere Unternehmen 

Stand: August 2014

# Das elektrische System

## Vier Ebenen der Stromversorgung

Die Stromversorgung von großen Stahlwerken bis hin zu den privaten Haushalten erfolgt in Deutschland auf vier Spannungsebenen.

Um weite Strecken vom Erzeuger zum Verbraucher zurückzulegen, wird der produzierte Strom entweder direkt in das Höchstspannungsnetz eingespeist oder auf das Spannungsniveau von 220 Kilovolt oder 380 Kilovolt erhöht. So wird die elektrische Energie über weite Distanzen im deutschland- und europaweiten Übertragungsnetz transportiert. Vom Höchstspannungsnetz gelangt der Strom auf der zweiten Ebene zumeist in das Verteilnetz der regionalen Stromversorgungsunternehmen für Städte und Industriekunden. Die Spannung wird dabei auf 110 kV reduziert. Um weitere Industrieanlagen, Gewerbe und kleinere Städte mit Strom zu versorgen, muss dieser in ein Mittelspannungsverteilnetz mit 10 kV bis 35 kV eingespeist werden. Die unterste Spannungsebene benötigt eine Spannung von 230 Volt oder 400 Volt, um private Haushalte und kleinere Betriebe zu versorgen.

Umspannwerke bilden die Verbindungen zwischen allen vier Ebenen.

### Stromerzeugung ---->



#### Großkraftwerke

Erneuerbare-Energie-Anlagen (z. B. Onshore- und Offshore-Windparks), große Wasser- und Pumpspeicherkraftwerke, große konventionelle Kraftwerke (Kohle, Gas)



#### Mittlere Kraftwerke

Mittlere Erneuerbare-Energie-Anlagen, Onshore-Windparks, Photovoltaik-Großanlagen



#### Kleinere Kraftwerke

Kleinere Erneuerbare-Energie-Anlagen, Onshore-Windparks, Photovoltaik-Freiflächenanlagen und -Dachanlagen, Biomasse, kleinere Wasser- und Pumpspeicherkraftwerke, kleine konventionelle Kraftwerke (Gas)

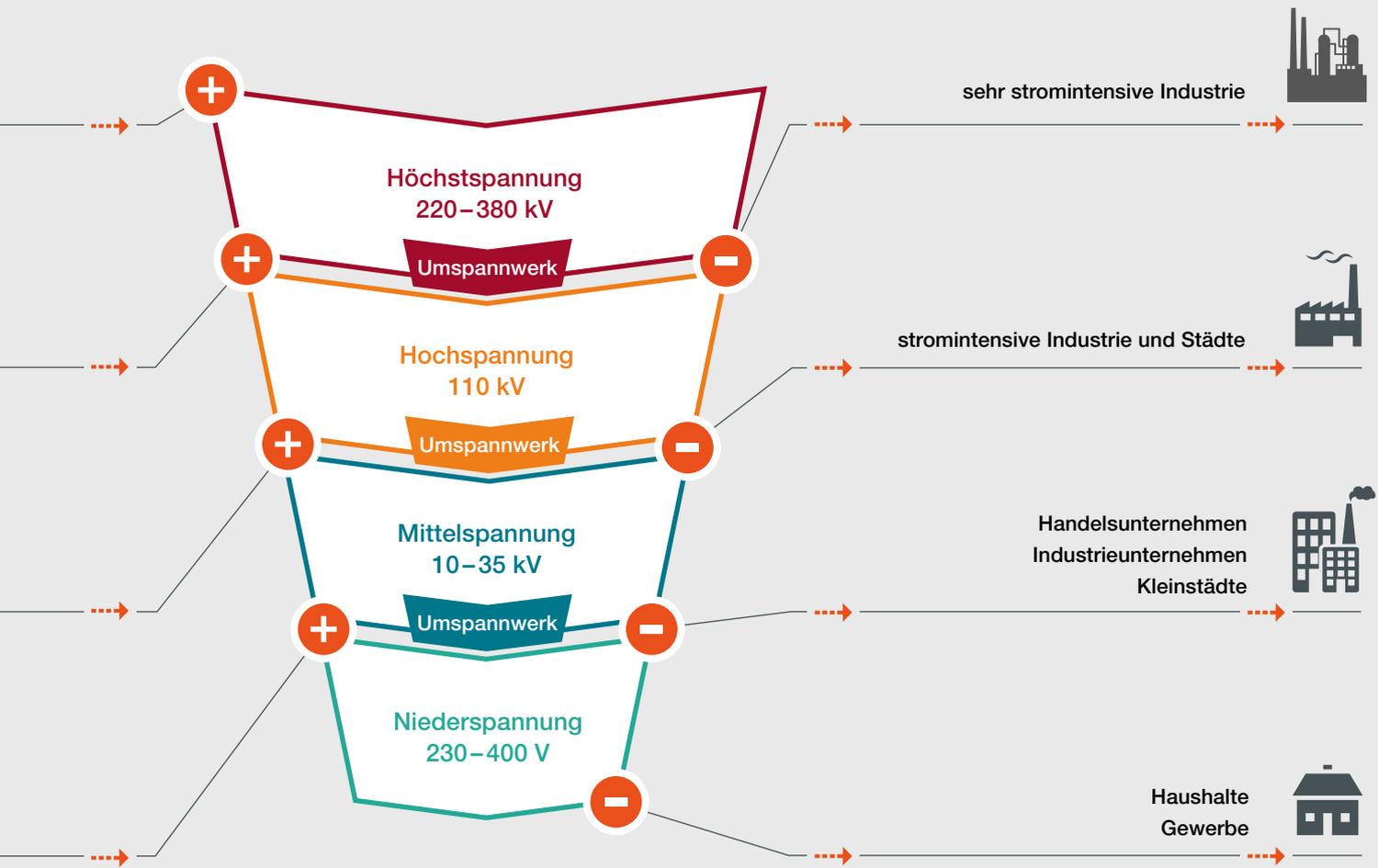


#### Kleine Kraftwerke

Kleine Erneuerbare-Energie-Anlagen, Onshore-Windparks, Photovoltaik-Hausdachanlagen, kleine dezentrale Kraftwerke (z. B. Blockheizkraftwerke)

----> Stromnetz ---->

----> Stromverbrauch ---->



# Physikalische Grundlagen

## Strom und Spannung

### Strom

Der elektrische Strom ähnelt einem Fluss. Negativ geladene Elektronen übertragen ihren Impuls in eine bestimmte Richtung. Der Strom fließt. In einem Fluss bewegt sich das Wasser in einem Flussbett – der elektrische Strom fließt in einem „Leiter“ aus leitfähigem Material. Verschiedene Elemente können unterschiedlich gut Strom leiten. Besonders geeignet sind Metalle wie Aluminium oder Kupfer. Das Wasser in einem Fluss wird durch die Höhenunterschiede von der Quelle und der Mündung in Bewegung gesetzt – der elektrische Strom hingegen braucht dafür einen Spannungsunterschied. Strom wird in Ampere gemessen.

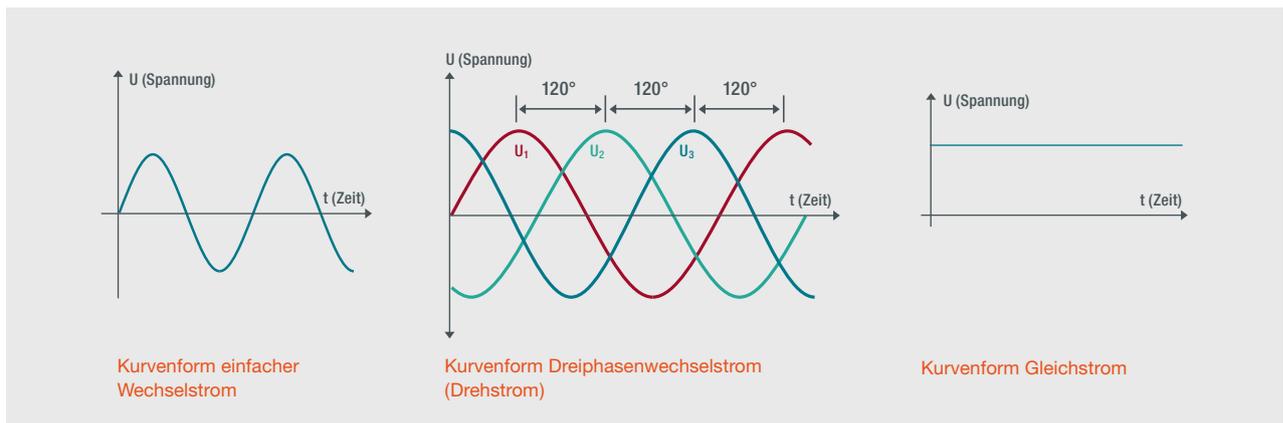
### Stromtransport bei 50Hertz

Durch die 50Hertz-Stromautobahnen fließt der elektrische Strom mit einer Spannung von 220.000 Volt und 380.000 Volt. Diese hohe Spannung ermöglicht den Transport von großen Strommengen über weite Entfernungen im In- und Ausland mit geringen Energieverlusten.

### Spannung

Die Spannung ist der Druckunterschied, der die freien Elektronen in Bewegung setzt. Sie entsteht dadurch, dass sich die Ladung an beiden Enden des Leiters unterscheidet. Die Elektronen versuchen, diesen Unterschied auszugleichen. Dadurch entsteht die Bewegung innerhalb des Leiters vom Minus- zum Pluspol. Auf diesem Prinzip basiert die gesamte Stromversorgung. Elektrische Spannung wird in Volt gemessen.

# Wechsel- und Gleichstrom



## Wechselstrom

Wechselstrom verdankt seinen Namen einer wichtigen Eigenschaft: Er wechselt seine Richtung 100 Mal pro Sekunde. Die Frequenz beträgt somit 50 Hertz. In unserem Stromnetz fließt der Dreiphasenwechselstrom, auch Drehstrom genannt. Der elektrische Strom wird in einem Generator durch die Drehung eines Elektromagneten erzeugt. Dabei entsteht eine sinusförmige Wechselspannung. Da der Elektromagnet sich an drei um 120 Grad räumlich versetzten Spulen vorbeibewegt, entstehen bei einer kompletten Umdrehung drei um 120 Grad zeitlich versetzte Spannungen (Phasen). Diese Art von Strom lässt sich auf beliebige Spannungsebenen transformieren und ist aus diesem Grund für die Stromversorgung gut geeignet.

## Gleichstrom

Gleichstrom ändert seine Richtung im Gegensatz zu Wechselstrom nicht. Er wird von fast allen elektronischen Geräten gebraucht. Für die Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom befinden sich deswegen in den Geräten eigene kleine Transformatoren mit angeschlossenem Gleichrichter.

## Was ist ein Umspannwerk?

Der elektrische Strom fließt auf seinem Weg vom Erzeuger zum Verbraucher über viele Stationen. Dies erfolgt mit unterschiedlich hohen Spannungen: hohe Spannung für den weiträumigen Transport, niedrige Spannungen für kürzere Distanzen. Die Veränderung der Spannung, das so genannte „Umspannen“, erfolgt in Umspannwerken mittels Transformatoren. Sie sind also wie Stromkreuzungen, bei denen unterschiedliche Straßen aufeinandertreffen.

Ein Umspannwerk wirkt auf den ersten Blick komplex und sehr groß – die zumeist unter freiem Himmel stehenden Anlagen benötigen viel Raum auf einer offenen Fläche. Aber auch eingehäuste Anlagen, die deutlich kleiner und oft in den Städten zu finden sind, wirken beeindruckend. Schaut man sich die Bestandteile im Detail an, lässt sich eine klare Struktur erkennen. Ein Umspannwerk muss gut erreichbar sein, denn der Transport eines mehrere Tonnen schweren Transformators erfordert eine gute Anbindung an Straße, Wasser oder Schiene. Daher werden die Anlagen in unmittelbarer Nähe der Verkehrsinfrastruktur gebaut.

Der elektrische Strom kommt über die Leitung an der „Stromkreuzung“ an und fließt durch ein Schaltfeld weiter zu einem Transformator. Dort erfolgt die eigentliche Umspannung auf eine andere Spannungsebene. Auf der neuen Spannungsebene kann der elektrische Strom durch eine vom Umspannwerk abgehende Leitung weiter bis zum nächsten Umspannwerk oder direkt zu einem Verbraucher transportiert werden.

Zu einem Umspannwerk gehören neben den aktiv an der Stromleitung und Spannungsumwandlung beteiligten Geräten, den sogenannten Betriebsmitteln, auch Gebäude. Die wichtigsten sind das Betriebsgebäude und Relais Häuser, in denen die Technik für die Steuerung und Überwachung der Betriebsmittel untergebracht ist.



### Schaltanlage und Umspannwerk

Eine Schaltanlage wird dann als Umspannwerk bezeichnet, wenn sie mindestens einen Transformator enthält.



**Platz für die sichere Stromversorgung**

Umspanwerke bei 50Hertz haben eine Größe von bis zu 240.000 m<sup>2</sup>, das entspricht in etwa 24 Fußballfeldern.

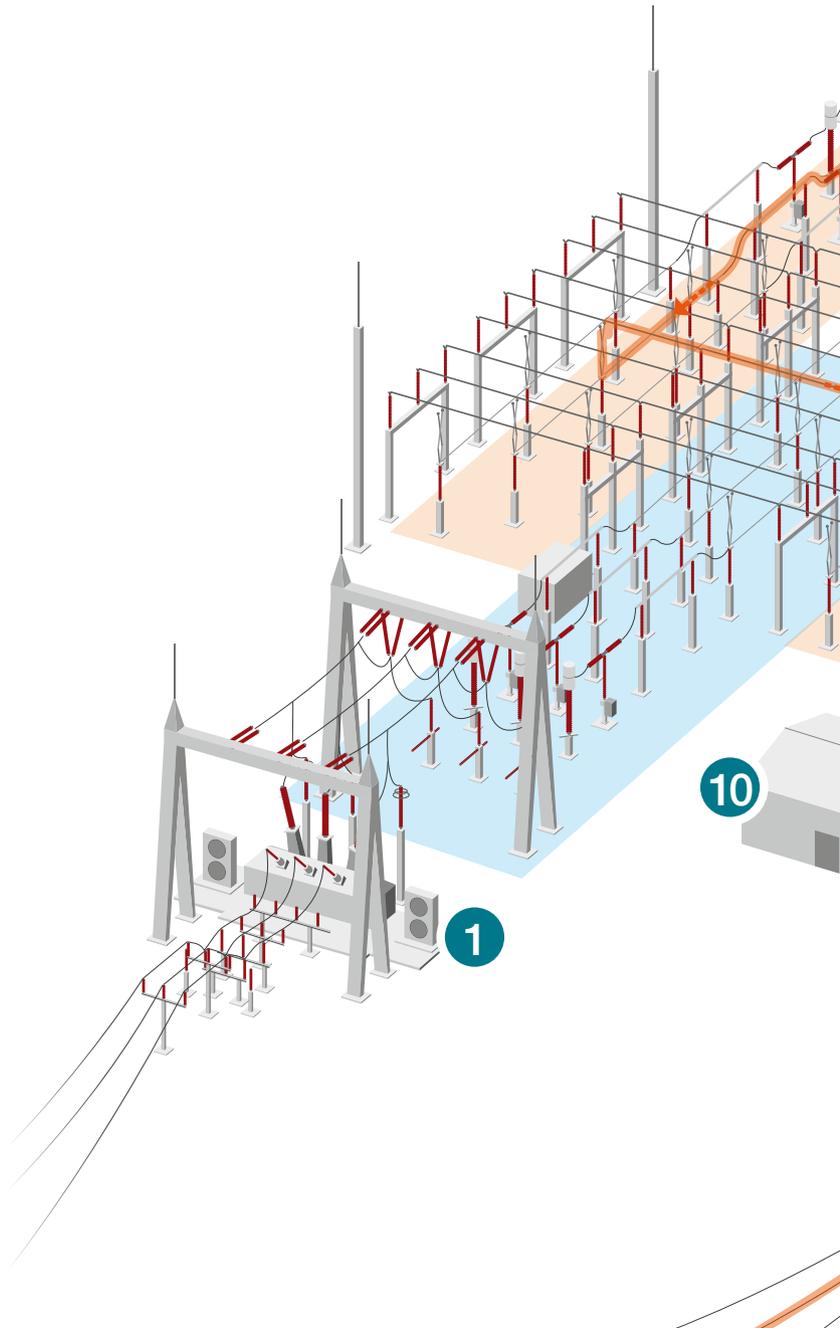
# Weg des Stroms im Umspannwerk

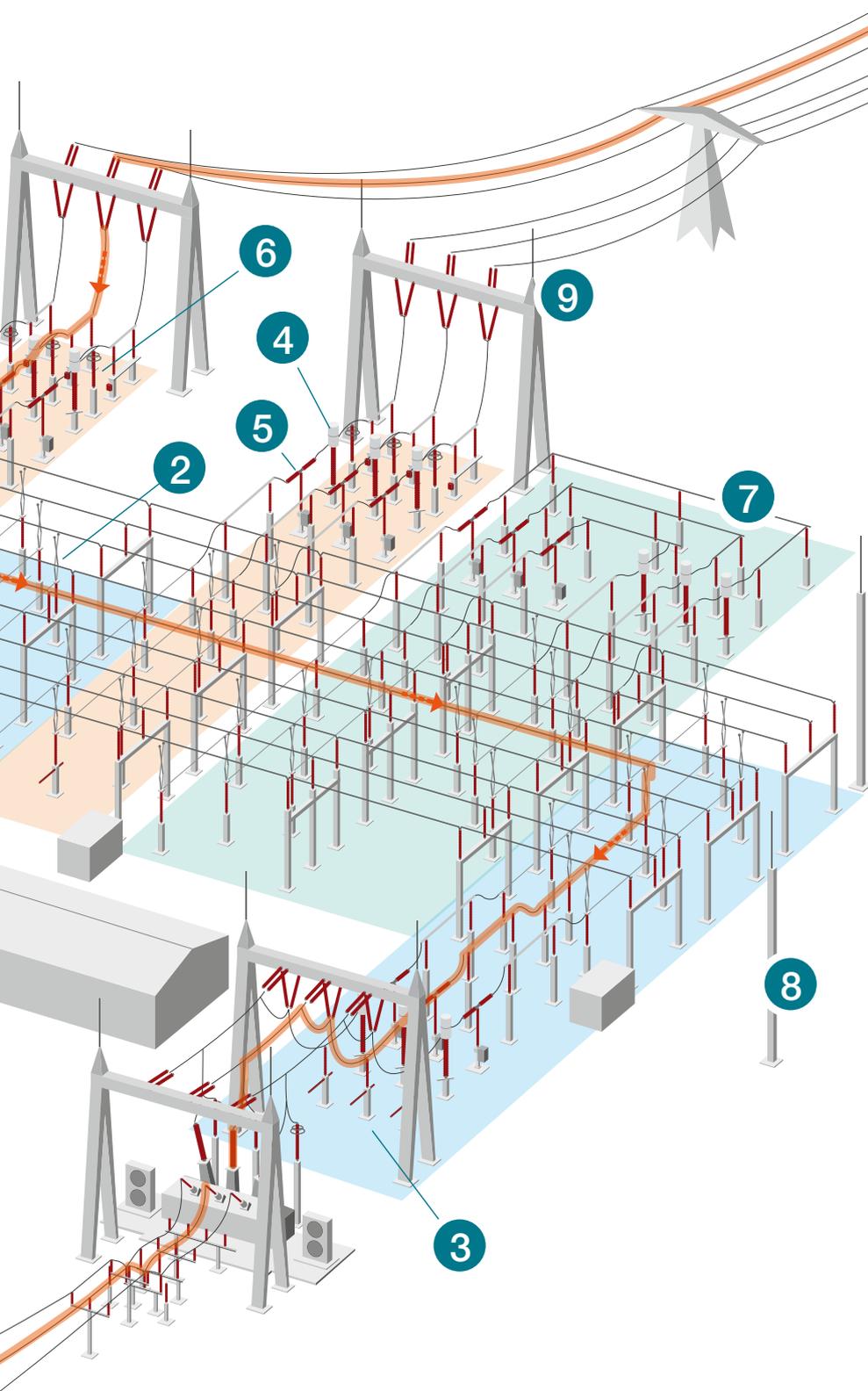
Der elektrische Strom erreicht das Umspannwerk über eine ankommende Leitung, die zum Leitungstrennschalter mit Erdungsschalter führt. Er bildet die Verbindung zwischen Leitung und Schaltanlage. Als Nächstes folgt der Strom- und Spannungswandler in einem Gerät für Überwachung und Schutz. Der Leistungsschalter ist das zentrale Element eines Schaltfeldes. Er schaltet den Strom ein und aus, sowohl unter normalen Bedingungen, als auch im Fehlerfall. Das Schaltfeld ist über die Sammelschientrennschalter an alle Sammelschienen angeschlossen.

Die unterschiedlichen Sammelschienen können über ein Kupplungsschaltfeld miteinander verbunden werden. An den Sammelschienen sind die Trafoschaltfelder angeschlossen. Der Transformator verbindet die unterschiedlichen Spannungsebenen. An seiner Unterspannungsseite folgt ein weiteres Transformatorschaltfeld, die abgehende Leitung geht von dort zum nächsten Umspannwerk.

## Legende

Leitungsschaltfeld		Kupplungsschaltfeld	
Transformatorschaltfeld		Beispiel-Stromfluss	





1  
Transformator



6  
Überspannungs-  
ableiter



2  
Trennschalter



7  
Sammelschiene



3  
Erdungsschalter



8  
Blitzschutzmast



4  
Strom- und  
Spannungswandler



9  
Portal



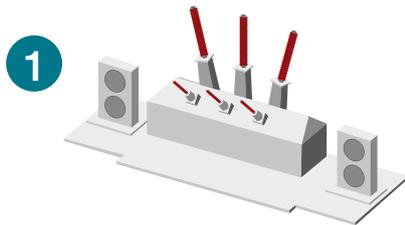
5  
Leistungsschalter



10  
Relais- und  
Betriebsgebäude

# Herzstück eines Umspannwerks

## Der Transformator



Im europäischen Übertragungsnetz wird der elektrische Strom bei einer Spannung von bis zu 380.000 Volt – 380 kV – transportiert, um die Verluste beim Energietransport möglichst gering zu halten.

Wie wird aus 380.000 Volt nun die im Haushalt übliche Spannung? Die Veränderung der Spannung erfolgt in Transformatoren. Der große Sprung von Höchstspannung (380.000 Volt) zu Haushaltsspannung (220 Volt) passiert jedoch nicht auf einmal, sondern in mehreren Schritten auf verschiedenen Spannungsebenen. Die Netze der unterschiedlichen Spannungsebenen sind dabei jeweils durch Umspannwerke verbunden. Je näher diese Umspannwerke am Endverbraucher stehen, desto niedriger werden die Spannungen und desto kleiner die Ausmaße. Das Umspannen auf die übliche Anschlussspannung von Wohngebäuden erfolgt erst in unmittelbarer Nachbarschaft.

Transformatoren, die von 380 kV auf 110 kV transformieren – von der Spannungsebene des Übertragungsnetzes auf die des Verteilnetzes – sind ungefähr so groß wie PKW-Garagen. Sie bestehen außen und innen zu großen Teilen aus Metall. Bei einem Transformator wird zwischen Primär- und Sekundärseite unterschieden. Der Strom auf der Höchstspannungsseite fließt auf der Primärseite durch eine große Spule. Diese Spule ist auf einen großen Eisenkern gewickelt. Das im Inneren des Transformators entstehende Magnetfeld erzeugt in der Wicklung auf der Sekundärseite einen Stromfluss. Auf Grund des Verhältnisses der Wicklungen ist die entstehende Spannung dabei niedriger – etwa 110 kV.

Im Inneren des Transformators wird Öl zur Isolation und zum Wärmeabtransport eingesetzt. Um den Transformator in jedem Betriebszustand ausreichend kühlen zu können, wird die Temperatur des Öls in großen Wärmetauschern neben dem Transformator verringert.



**Schergewichte der Energieversorgung**  
Trafos können mehrere hundert Tonnen wiegen. Ein im 50Hertz-Netz häufig eingesetzter Transformator wiegt beispielsweise so viel wie 75 Autos.

## Bestandteile eines Umspannwerks

Jedes Betriebsmittel innerhalb eines Umspannwerks erfüllt eine wichtige Funktion. Je nach Einsatzort und Aufgabe unterscheiden sich ihre Form und Größe. Sie sorgen dafür, dass die gesamte Anlage sicher und zuverlässig betrieben werden kann.

Die Ansammlung von Geräten rund um einen Leistungsschalter wird Schaltfeld genannt. Im Zentrum eines Schaltfeldes steht immer der Leistungsschalter, der den Stromfluss unter normalen Betriebsbedingungen sowie im Fehlerfall sicher unterbrechen kann. Das Schaltfeld wird über Trennschalter mit integriertem Erdungsschalter mit den weiteren Betriebsmitteln verbunden. Der Kombiwandler gibt Informationen zu Stromfluss und Spannung an die Schutz- und Leittechnik weiter. Je nach Funktion unterscheidet man zwischen:

- **Leitungsschaltfeld** – es verbindet die Hochspannungseileitung mit den Sammelschienen.
- **Transformator Schaltfeld** – dieses Schaltfeld verbindet den Transformator mit der Sammelschiene. Als Besonderheit wird der Transformator direkt und nicht über einen Trennschalter angeschlossen.
- **Kupplungsschaltfeld** – dieses Schaltfeld dient der flexiblen Verschaltung von drei Sammelschienen.



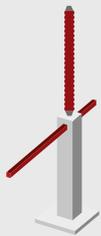
### Wie wird ein Erdkabel angeschlossen?

Wird ein Umspannwerk nicht per Freileitung, sondern über Hochspannungskabel angeschlossen, ersetzt ein Kabelportal das hohe Freileitungsportal und kabelspezifische Betriebsmittel werden eingebaut: Kompensationsdrosseln, die die vom Kabel benötigte Blindleistung regeln, sowie Überspannungsableiter.



## Trennschalter

Trennschalter sind an vielen Stellen innerhalb eines Umspannwerks zu finden. Je nach Einsatzort handelt es sich um Leitungs- oder Sammelschienen-trennschalter. Ihre Aufgabe ist es, den Stromkreis zu öffnen, um bestimmte Anlagenteile von der restlichen Anlage zu trennen. Sie schalten keinen Strom. Im Haushalt wäre das Öffnen eines Trennschalters als zieht man den Stecker eines ausgeschalteten Gerätes aus der Steckdose.



## Erdungsschalter

Ein Erdungsschalter erdet einen abgeschalteten und damit spannungsfreien Anlagenteil. Er verhindert, dass es durch Aufladung der ausgeschalteten Teile zu Gefährdungen kommen kann. In Kombination mit Trennschaltern lässt sich dadurch eine sichere Arbeitsumgebung im Umspannwerk schaffen.





4

## Strom- und Spannungswandler

Zum sicheren Betrieb eines Umspannwerks ist es notwendig, jederzeit den Betriebszustand zu kennen. Die Daten hierzu liefern Strom- und Spannungswandler. Zusätzlich werden diese Daten durch die Schutz- und Leittechnik verarbeitet, um im Fehlerfall automatisch zu reagieren.



5

## Leistungsschalter

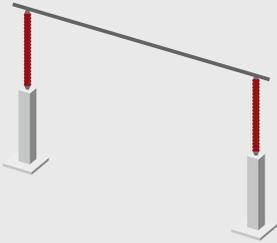
Der Leistungsschalter stellt die Kombination von Lichtschalter und Sicherungsautomat in der Hochspannungstechnik dar. Er schaltet Leitungen und Anlagenteile ein und aus, unabhängig davon, ob ein normaler Betriebsstrom fließt oder ein Fehlerfall vorliegt. Er ist neben dem Transformator das wichtigste Hochspannungsgerät eines Umspannwerks.





## Überspannungsableiter

Überspannungsableiter sind häufig am Ende einer Freileitung oder eines Kabels zu finden. Sie begrenzen Überspannungen. Das sind kurzzeitige Spannungen (z. B. bei einem Blitzschlag), die deutlich höher sind als die normale Spannung. Durch die Begrenzung auf das normale Spannungsniveau können die Geräte im Umspannwerk geschützt werden, ohne die Versorgung zu unterbrechen.



## Sammelschiene

Die Sammelschiene ist das Rückgrat eines Umspannwerks. Sie verbindet die unterschiedlichen Schaltfelder und sorgen für den Stromtransport innerhalb des Umspannwerks. Zur Steigerung der Ausfallsicherheit und um den Stromtransport flexibler steuern zu können, existieren häufig mehrere Sammelschienen. Diese können in verschiedenster Weise zusammenschaltet werden.





8

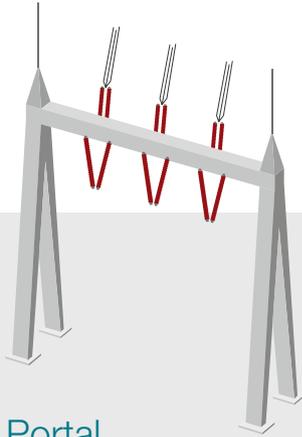
## Blitzschutzmast

Der Blitzschutzmast gehört nicht zu den Betriebsmitteln eines Umspannwerks. Trotzdem ist er von grundlegender Bedeutung. Aufgrund der häufig exponierten Lage und der vielen hohen Geräte aus Metall ist ein Blitzschlag in einem Umspannwerk nicht unwahrscheinlich. Um die Geräte zu schützen und die Stromversorgung zu sichern, sind Umspannwerke mit mehreren hohen Blitzschutzmasten ausgestattet. Wie bei einem Blitzableiter am Haus soll hierdurch der Blitzschlag kontrolliert und ohne Gefährdung von Personen und Betriebsmitteln in den Boden abgeleitet werden.

i

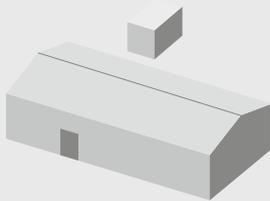
### Schutz vor Blitzeinschlägen

Die Spannung bei einem Blitzeinschlag kann bis zu 100 Millionen Volt hoch sein, dieser muss sicher abgeleitet werden, um keine Schäden im Umspannwerk anzurichten.



## Portal

Neben Betriebsmitteln und Blitzschutzmasten existiert in einem Umspannwerk eine weitere auffällige Konstruktion – das Portal. Freileitungen, Sammelschienen und Transformatoranbindungen können nicht in der Luft hängen, sondern müssen mechanisch stabil abgefangen werden. Hierzu dienen die Portale, welche im Fall eines Leitungs- bzw. Transformatorportals wie ein großer Rahmen aussehen, in dem die Leitungen isoliert hängen. Im Gegensatz hierzu dienen Sammelschienenportale als Stütze, auf der die Rohrsammelschienen isoliert montiert sind.



## Relais- und Betriebsgebäude

Im Umspannwerk befinden sich auch Relais- und Betriebsgebäude. Relaisgebäude beinhalten hauptsächlich Komponenten der Schutztechnik sowie Bestandteile der Leittechnik. Um die Entfernung zu den überwachten Geräten nicht zu groß werden zu lassen, können verteilt mehrere Relaisgebäude existieren. Das Betriebsgebäude umfasst die restlichen Komponenten der Leittechnik, Kommunikationstechnik sowie Lager-, Aufenthalts- und Sanitärräume.

9



10



### Netzsicherheit 24/7

Im Transmission Control Centre sorgen die 50Hertz-Mitarbeiter rund um die Uhr für einen sicheren Netzbetrieb. Von hier schalten sie die Leitungen im ganzen Netz.



# Schutz- und Leittechnik

## Überwachung und Schutz der Umspannwerke

Die Schutz- und Leittechnik umfasst alle Einrichtungen, die indirekt am Prozess der Energieübertragung beteiligt sind.

In Umspannwerken stellen Spannungs- und Stromwandler die Informationen über den Zustand des Netzes zur Verfügung.

Die Leittechnik dient der Überwachung und der Steuerung des Netzes sowie der Darstellung der Netzsituation. Sie erfasst alle notwendigen Daten und leitet die Informationen über Kommunikationsnetze an zentrale Stellen. Die Informationen über den Zustand des gesamten Höchstspannungsnetzes von 50Hertz werden rund um die Uhr im Transmission Control Center (TCC) in Neuenhagen bei Berlin gesammelt und von Experten in Echtzeit analysiert.

Die Schutztechnik sorgt für die Sicherheit von Personen und Betriebsmitteln. Im Fehlerfall, wie zum Beispiel bei einem Kurzschluss, fließen sehr hohe Ströme. Diese gefährden Leitungen, Transformatoren und andere Betriebsmittel. Um Schäden zu vermeiden, müssen diese Ströme in kürzester Zeit unterbrochen werden. Wird ein Fehler über die Schutztechnik gemeldet, kann so zum Beispiel die betroffene Leitung sehr schnell abgeschaltet werden. Das passiert automatisch und der Endverbraucher registriert diese Unterbrechung im Normalfall nicht, da der Strom in diesem Fall über eine andere Leitung fließt.



# Bau eines Umspannwerks

Neue oder leistungsfähigere Umspannwerke werden benötigt, weil sich die Belastung des Netzes regional verändert und zunehmend mehr Strom aus erneuerbaren Energiequellen eingespeist wird. Bei der Suche nach einem geeigneten Standort müssen zahlreiche Kriterien berücksichtigt werden. Das Umspannwerk sollte vorzugsweise an einer geplanten oder bestehenden Leitung gebaut werden um keine zusätzlichen Leitungen zu errichten. Eine verkehrsgünstige Lage sowie die Möglichkeit eines Bahnanschlusses sind von großer Bedeutung, denn insbesondere der Transport des bis zu 300 Tonnen schweren Transformators ist zu berücksichtigen. Umwelttechnische Aspekte spielen eine besondere Rolle: So kommen Naturschutzgebiete generell nicht als Bauland in Frage. Der Abstand von bewohnten Gebieten sollte möglichst groß sein.

Der Bau eines Umspannwerks ist ein aufwändiger Prozess, der abhängig vom Umfang der Anlage eineinhalb bis vier Jahre in Anspruch nehmen kann.

Sobald in einem detaillierten Planungs- und Genehmigungsprozess ein geeigneter Standort für ein neues Umspannwerk gefunden wurde, erteilt die zuständige Behörde nach Prüfung eine Genehmigung für den Bau des Umspannwerks. Diese Genehmigung schließt neben einer Baugenehmigung und anderen baurelevanten Unterlagen ein Schallgutachten und ein Gutachten zu magnetischen und elektrischen Feldern ein. Sogar schon vor dem Bau werden Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen zur Kom-



## Stromkreuzungen für die Energiewende

Übertragungsnetzbetreiber übernehmen die Optimierung, Verstärkung und den Ausbau der Stromautobahnen, um ihr Netz an die neuen Herausforderungen der Energiewende anzupassen. Dafür werden auch mehr leistungsfähigere Stromkreuzungen benötigt.

pensation des Natur- und Umwelteingriffs geplant und durchgeführt.

Die eigentlichen Baumaßnahmen beginnen, sobald die Genehmigung vorliegt. Zunächst wird die Fläche vorbereitet und Zufahrtstraßen errichtet. Nachdem das Grundstück für den Bau vorbereitet wurde, werden Fundamente für Portale und Betriebsmittel gesetzt. Relais Häuser und Betriebshäuser werden errichtet. Für die Fundamente der Transformatoren gelten besondere Bedingungen: Sie müssen Entwässerungsleitungen und Großabscheider beinhalten, die im Falle einer Havarie des Trafos das Eindringen von Öl in die Erde oder das Wasser verhindern.

Anlagenstraßen innerhalb des Umspannwerks entstehen. Sie sind für spätere Wartungsarbeiten notwendig. Im nächsten Schritt erfolgt die Montage von Stahlkonstruktionen, die Aufstellung der Betriebsmittel und die Installation der Sammelschienen.

Vor der Inbetriebnahme des fertig errichteten Umspannwerkes werden alle Geräte auf ihr fehlerfreies Funktionieren überprüft. Verläuft alles fehlerfrei, kann das Umspannwerk in Betrieb genommen werden. Ab diesem Zeitpunkt wird das Umspannwerk direkt über das „Transmission Control Centre“ (TCC) in Neuenhagen bei Berlin gesteuert.



### Sicherheit zählt

Dieser Abstandspannungsprüfer wurde auf Initiative von 50Hertz entwickelt und wird in Umspannwerken und Schaltanlagen eingesetzt. Dieses Gerät ermöglicht eine zuverlässige und sichere Prüfung der Spannung.



## Freiluft- und gasisolierte Schaltanlagen

Strom braucht Spannung, um zu fließen. Die unter Spannung stehenden Leitungen treffen sich in den Umspannwerken. Viele Teile im Umspannwerk müssen jedoch spannungsfrei sein, um zu funktionieren. Deswegen müssen diese Elemente von den spannungsführenden Teilen der Anlage isoliert werden. Die normale Luft ist das wirtschaftliche Isoliermedium. Sie wird am häufigsten innerhalb von Umspannwerken und Schaltanlagen genutzt.

Die Schaltanlagen, in denen Luft als Isolierungsmedium benutzt wird, nennen sich freiluftisolierte Schaltanlagen. Sie benötigen ausreichend Platz, um genug Abstand und somit genug Isolierung zwischen den zahlreichen Elementen zu gewährleisten. Dies spiegelt sich auf der Baugröße von freiluftisolierten Schaltanlagen wider. Sie sind mehrere tausend Quadratmeter groß und meistens außerhalb von Orten zu finden.

Innerhalb von Städten und in ihrem Umkreis benötigen Haushalte und Industrieanlagen Strom. Da die Höchstspannung für den Stromtransport auf Grund der geringen Verluste optimal ist, wird der Strom so nah wie möglich auf höherer Spannungsebene zum Verbraucher transportiert und muss vor der Stromversorgung der Verbraucher schrittweise in Niederspannung (meist 230 Volt oder 400 Volt) gewandelt werden. Das bedeutet, dass auch innerhalb der Städte ein Bedarf an Schaltanlagen und Umspannwerken besteht. Für Umspannwerke in Städten werden gasisolierte Schaltanlagen bevorzugt. In diesen Anlagen dient das Gas Schwefel-

hexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) als Isoliermedium. Im Vergleich zur Luft besitzt das Gas bessere Isoliereigenschaften. Dies ermöglicht, den Abstand zwischen einzelnen Elementen zu verkleinern. Die Anlage kann somit kompakter als eine freiluftisolierte Schaltanlage angefertigt werden.



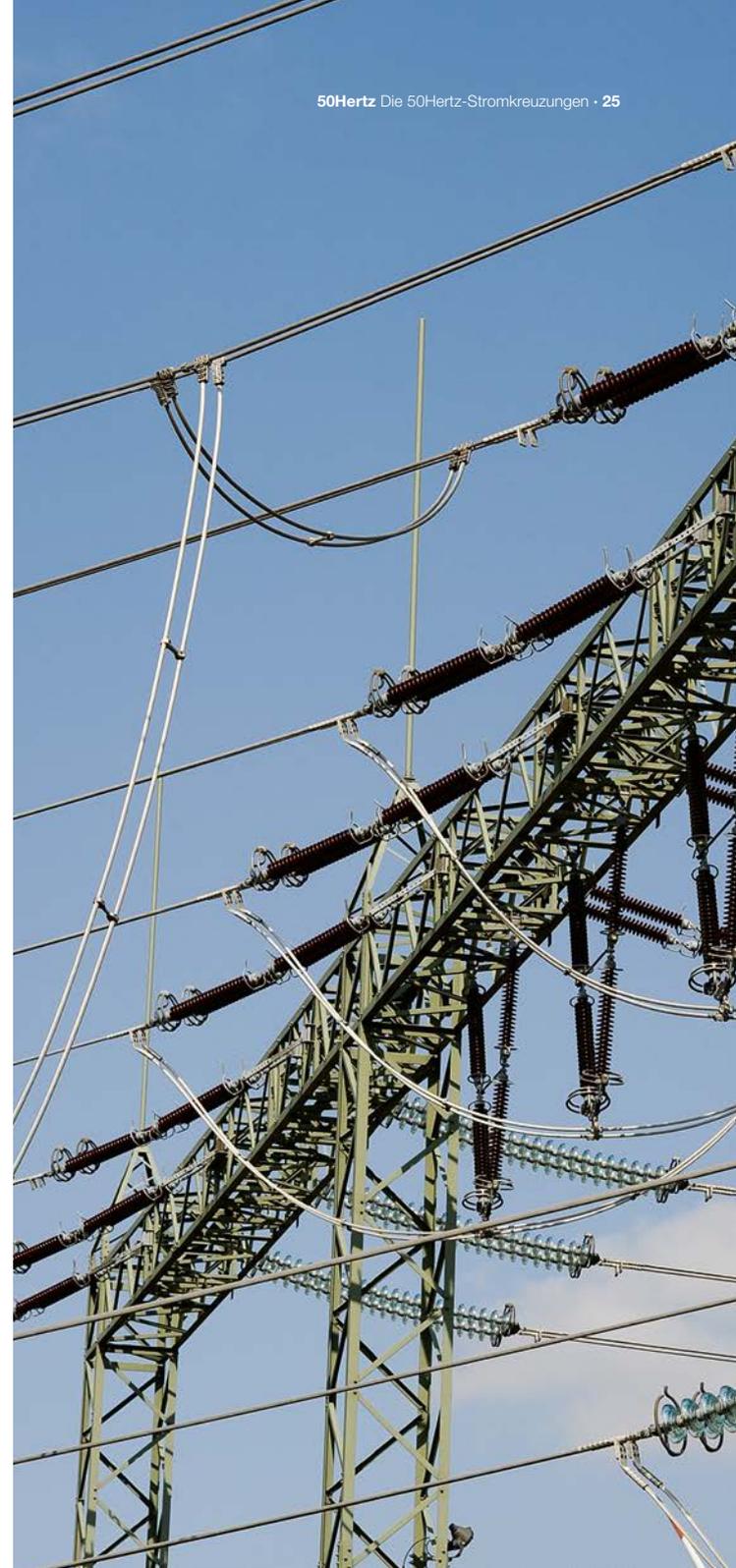
### Was sind Isolierstoffe?

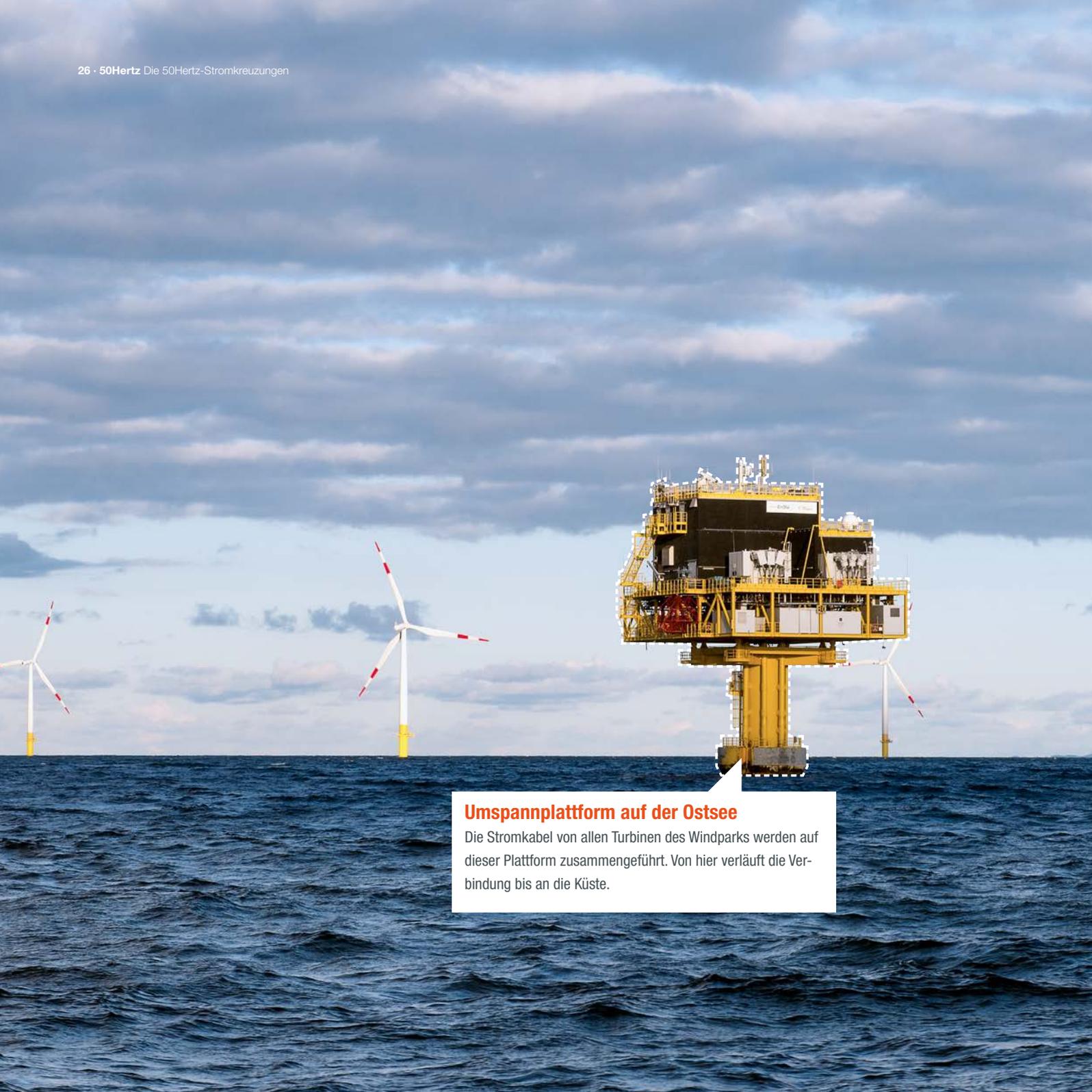
Elektrische Isolierstoffe haben eine geringe elektrische Leitfähigkeit. Sie verfügen über einen hohen elektrischen Widerstand, sind robust und zeichnen sich außerdem durch ein geringeres Wasseraufnahmevermögen aus. Zu den Isolierstoffen zählen unter anderem Porzellan, Glas und verschiedene Kunststoffe.



In einer gasisolierten Schaltanlage steht nur der Leiter innerhalb des Gehäuses unter Spannung. Zwischen dem Leiter und den Wänden eines Gehäuses befindet sich das isolierende Gas. Das Gehäuse selbst ist geerdet und kann sogar problemlos berührt werden. Aufgrund der Vollisolierung ist der Raum außerhalb der Schaltanlage frei von elektrischen und magnetischen Feldern.

Mit dem Treibhausgas  $\text{SF}_6$  und den gasisolierten Schaltanlagen ist ein besonders sorgfältiger und verantwortungsvoller Umgang sicherzustellen. Hierfür gelten besondere Sicherheitsbestimmungen. Häufige Wartungen werden durchgeführt, um Auswirkungen auf die Umwelt zu vermeiden. 50Hertz ist seit 2005 der „Freiwilligen Selbstverpflichtung der  $\text{SF}_6$ -Hersteller und -Nutzer“ beigetreten, und überwacht jährlich seinen  $\text{SF}_6$ -Verbrauch in Betrieb und Wartung der gasisolierten Anlagen.





### **Umspannplattform auf der Ostsee**

Die Stromkabel von allen Turbinen des Windparks werden auf dieser Plattform zusammengeführt. Von hier verläuft die Verbindung bis an die Küste.

## Umspannwerke auf See

Große Offshore-Windparks erzeugen große Mengen an Strom, der zum Land übertragen werden muss, um von dort seinen Weg zum Endverbraucher fortzusetzen. Auch auf hoher See benötigt man Umspannwerke, diese befinden sich auf Umspannplattformen. Hier werden die Kabel von allen Windkraftanlagen eines Windparks zusammengeführt. Die Spannung wird zum effizienten Weitertransport von 33 kV auf 150 kV oder 220 kV transformiert.

Eine Umspannplattform auf See zu betreiben ist sehr aufwendig. Da die Meeresluft sehr feucht ist, muss die Halle der Umspannplattform besonders gut klimatisiert und entfeuchtet werden. Dies schafft fast dieselben klimatischen Bedingungen wie an Land. Offshore-Umspannplattformen sind ähnlich wie gasisolierte Schaltanlagen an Land aufgebaut. Auch hier kommt das Gas SF<sub>6</sub> als Isolierungsmedium zum Einsatz. Die Umspannplattform wird zusätzlich verstärkt, damit sie gut für die rauen Witterungsbedingungen auf dem Meer gewappnet ist.



# Konverterstationen für Gleichstromverbindungen

Wechselstrom hat sich historisch gegen Gleichstrom durchgesetzt. Er lässt sich einfacher über vernetzte Leitungen verteilen, ist einfacher zu schalten und lässt sich leicht auf andere Spannungsebenen umwandeln. Die Vorteile von Gleichstrom bringen ihn wieder ins Spiel.

Gleichstrom erlebt in den letzten Jahren einen Aufschwung, auch in Deutschland. Die Bedeutung der Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) wächst, da sich damit noch größere Energiemengen verlustärmer über weite Strecken transportieren lassen und man damit Stromflüsse gezielter beeinflussen kann. Mehrere neue Gleichstromverbindungen werden in Zukunft in Deutschland gebraucht, um die großen Windenergiegebiete im Norden mit den Verbrauchszentren im Süden zu verbinden.

Zur Einbindung in die bestehenden Wechselstromnetze werden für den Gleichstromtransport komplexe Konverterstationen benötigt. Diese sind die „Ein- und Ausstiegsstellen der Hochgeschwindigkeitsverbindungen“ für den weiträumigen Stromtransport. Sie wandeln den Strom zwischen Wechsel- und Gleichstrom um und steuern die Übertragung des Stroms durch die Gleichstromleitungen. Die Investition in Gleichstromübertragung ist besonders dann sinnvoll, wenn große Mengen Strom über weite Strecken (mehrere hundert Kilometer) transportiert werden sollen. Zudem ermöglicht eine Gleichstromverbindung eine gezielte Steuerung der Stromflüsse. Das ist gut für die Stabilität des elektrischen Systems.



## HGÜ-Stromübertragung bei 50Hertz

Gemeinsam mit dem dänischen Netzbetreiber Energinet.dk betreibt 50Hertz seit mehr als zehn Jahren eine 170 Kilometer lange HGÜ-Verbindung. Das „Kontek“-Kabel in der Ostsee verbindet die Netze von Deutschland und Dänemark. Das Kabel landet in Bentwisch an.

### Wechselstrom wird zu Gleichstrom

So sieht es im Inneren der 50Hertz-Konverterstation in Bentwisch aus. Diese auffällige Konstruktion nennt sich Konverterturm und ist für die Umwandlung von Gleichstroms in Wechselstrom und umgekehrt notwendig.

# Blindleistungskompensation durch **mechanisch geschaltete Kondensatoranlagen**

(MSCDN)

Die meisten drehenden Maschinen – vom Staubsaugermotor zur Zeitungs-Druckmaschine – benötigen nicht nur sogenannte Wirkleistung, sondern auch Blindleistung.

Unter Wirkleistung versteht man den Anteil der Energie, der Arbeit verrichtet. Im Fall des Staubsaugers der Anteil, der dafür sorgt, dass er saugt. Die Blindleistung hingegen wird für den Betrieb – das Drehen des Motors – benötigt. Blindleistung sorgt dafür, dass genug Spannung herrscht,

damit der Strom fließt – wie in einer Wasserleitung mit genug Druck, damit Wasser fließt. Eine effiziente Lösung, um die nötige Blindleistung zu erzeugen, ist der Einsatz mechanisch geschalteter Kondensatoranlagen.



## Phasenschieber-Transformatoren

Zur besseren Regelung von Stromflüssen werden auch Phasenschieber-Transformatoren (PST) im Osten und Süden des 50Hertz-Netzgebietes installiert. Diese werden sich an Schnittstellen von Leitungen zum benachbarten Ausland befinden. Indem die drei Phasen des Drehstroms durch Phasenschieber-Transformatoren zueinander verschoben werden, kann der Widerstand einer Leitung erhöht werden. Damit sucht sich der Strom, der immer den Weg des geringsten Widerstands findet, andere Wege. Ähnlich wie Ventile von Wasserleitungen ermöglichen Phasenschieber eine gezieltere Steuerung des Lastflusses innerhalb des Drehstromnetzes. Damit werden Überlastungen von einzelnen Netzelementen vermieden bzw. Transportmöglichkeiten einzelner Leitungen in stark belasteten Regionen besser planbar und somit für Stromhandel nutzbar. Und das ist gut für den sicheren Netzbetrieb und für Stromverbraucher, denn mehr Handel bedeutet mehr Wettbewerb auf dem europäischen Strommarkt und damit tendenziell niedrigere Preise.



### Was ist Blindleistung?

Nicht die gesamte elektrische Energie ist für Verbraucher nutzbar. Die Blindleistung ist aber dennoch notwendig, um das elektrische Feld für den Stromfluss aufzubauen und somit Spannung zu erzeugen. Die Blindleistung wird in Var gemessen.





# Umspannwerk und Umwelt

## Elektrische und magnetische Felder

Elektrische und magnetische Felder umgeben uns zu Hause und in der Natur. Unsere Haushaltsgeräte benötigen Strom und erzeugen damit elektrische und magnetische Felder. Der Erdmantel besitzt ein eigenes Magnetfeld. Auch Freileitungen und die Betriebsmittel eines Umspannwerks erzeugen elektrische und magnetische Felder.

Jedes Umspannwerk im Netzgebiet von 50Hertz unterliegt der strengen Prüfung der Auswirkungen auf seine Umwelt. Für den Bau neuer und die Erweiterung bestehender Anlagen werden die Auswirkungen durch elektrische und magnetische Felder genau ermittelt und die nach der 26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) geltenden Grenzwerte müssen in jedem Falle eingehalten werden:

- Für elektrische Felder 5 Kilovolt pro Meter (kV/m)
- Für magnetische Felder 100 Mikrottesla ( $\mu\text{T}$ )

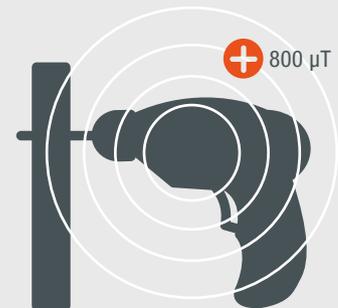
Diese Maximal-Grenzwerte sind bei der Betriebsspannung von 1000 Volt und der Betriebsfrequenz von 50 Hz stets zu unterschreiten. Die Berechnung der Feldstärken und magnetischer Flüsse erfolgt nach der DIN VDE 0848. Die Einhaltung der gesetzlich vorgegebenen Grenzwerte wird streng kontrolliert.

In der Praxis liegen die tatsächlichen Immissionswerte innerhalb eines Umspannwerks bis zu 60 % unter den gesetzlichen Grenzwerten. Die Auswirkung außerhalb des Umspannwerks bleibt dementsprechend ebenfalls deutlich darunter.

i

### Alltäglich

Eine haushaltsübliche Bohrmaschine kann bei 3 cm Abstand zum Körper eine magnetische Flussdichte von bis zu 800 Mikrottesla erzeugen.



## Geräusche

Wie klingt Strom? Aufgrund der Funktionsweise eines Umspannwerks ist ein konstanter, tiefer, summender Ton mit der Frequenz von 100Hz innerhalb der Anlage zu hören. Für die Geräusche an einem Umspannwerk sind zum Teil die auf- und abgehenden Freileitungen verantwortlich, die durch kleine Entladungen knistern, speziell bei feuchtem Wetter. Am prägnantesten im Umspannwerk ist der summende Ton des Transformators. Die gesetzlich vorgegebenen Immissionswerte, die im § 48 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes festgelegt sind, gelten auch für Transformatoren und andere Betriebsmittel:

	Tag	Nacht
Reine Wohngebiete	50 dB (A)	35 dB (A)
Allgemeine Wohngebiete	55 dB (A)	40 dB (A)
Dorfgebiete und Mischgebiete	60 dB (A)	45 dB (A)

50Hertz hält diese Grenzwerte selbstverständlich ein und sorgt dafür, dass sie im Betrieb möglichst deutlich unter diesen Grenzwerten liegen. Vor dem Bau eines neuen Umspannwerks werden Immissionswerte und Immissionsorte von einer zuständigen Behörde genehmigt und ein schalltechnisches Gutachten erstellt.



### Brummende Trafos

Der Eisenkern und auch die Wicklungen des Transformators sind fest gespannt. Die Kräfte des Magnetfeldes sind jedoch so groß, dass die Teile trotzdem zum Schwingen angeregt werden. Der Wechselstrom hat eine Frequenz von 50 Hz. Bei jeder Schwingung wechselt die Stromrichtung zweimal. Dies führt zu einer Veränderung des Magnetfeldes und damit zum Schwingen der Metalteile bei einer Frequenz von 100 Hz, so entsteht das „Brummen“.

Im Haushalt erreichen die leisesten Waschmaschinen eine Lautstärke von ca. 70 dB (A) und ein gewöhnlicher Kühlschrank „brummt“ mit ca. 35 dB (A). Somit kann die Lautstärke innerhalb eines Umspannwerks durchaus geringer sein als bei eingeschalteten Haushaltsgeräten. Außerhalb von Umspannwerken, also hinter der Begrenzung, sinkt die Lautstärke weiter. Ein Umspannwerk ist ein „leiser Nachbar“.

## Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen

50Hertz achtet mit großer Sorgfalt auf den sicheren Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und technischen Gasen sowie die ordnungsgemäße Entsorgung von Abfällen. Jegliche Grenzwerte von Immissions- und Naturschutz in den technischen Anlagen werden selbstverständlich eingehalten und oft deutlich unterschritten. Schon bei den Planungen, aber auch bei Bau und Betrieb werden sehr hohe Anforderungen an Anlagen gestellt und berücksichtigt. Regelmäßig erfolgen Kontrollen über die umwelttechnischen Einrichtungen in Umspannwerken und sie werden bei Bedarf erneuert. Darüber hinaus werden Lärmschutzmaßnahmen realisiert. Ein aktives Umweltmanagement und stetige Weiterbildung und Sensibilisierung der Mitarbeiter sichern ein hohes Niveau im Umweltschutz.

50Hertz plant und realisiert zahlreiche Natur schützende Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen als Kompensation für den Umwelteingriff durch seine Anlagen. In enger Abstimmung mit lokalen Partnern werden beispielsweise Pflanzungen, Gewässerrenaturierungen, Schutzmaßnahmen für bedrohte Tierarten sowie Rückbau- und Pflegemaßnahmen von Gebäuden durchgeführt.



### Ein neues Zuhause

Für die Erweiterung des Umspannwerks Hamburg-Nord wurden unter anderem neue Waldflächen von über 120.000 m<sup>2</sup> geschaffen, doppelt so groß wie die für den Bau genutzte Fläche. Darüber hinaus wurden die Auswirkungen auf die Tierwelt minimiert. So wurden beispielsweise Moorfrösche und Kreuzkröten schon vor dem Bau des Umspannwerks in ein extra dafür neu angelegtes, geeignetes Gewässer umgesiedelt.

[www.50hertz.com](http://www.50hertz.com)

#### Kontakt

50Hertz Transmission GmbH  
Eichenstraße 3A · 12435 Berlin  
T +49 (0) 30 5150-0  
F +49 (0) 30 5150-4477  
[info@50hertz.com](mailto:info@50hertz.com)

#### Impressum

Herausgeber: 50Hertz Transmission GmbH  
Bildnachweis: Jan Pauls, Archiv 50Hertz, Alstom  
Konzept und Gestaltung:  
Heimrich & Hannot GmbH  
Druck: DBM Druckhaus Berlin-Mitte GmbH

ClimatePartner<sup>o</sup>  
klimateutral

Druck | ID: 53160-1411-1004



Energie für eine Welt in Bewegung