



Energiewende im Strommarkt – Versorgungsqualität

BIHK-Studie, November 2017



IHK
Industrie- und Handelskammern
in Bayern

Inhalt

Vorwort und Danksagung	3
Zusammenfassung	5
1. Welche Auswirkungen hat die Energiewende auf die Stromversorgung?	8
1.1 Politische Ziele für die Stromerzeugung	8
1.2 Zunehmende Netzeingriffe durch Einspeisemanagement	9
1.3 Erheblicher Netzausbaubedarf	10
2. Welche Qualitätsmerkmale kennzeichnen die Stromversorgung?	12
2.1 Bedarf, Erzeugung und Regelung elektrischer Energie	12
2.2 Qualitätsmerkmale der Stromversorgung	13
2.3 Überwachung und Vergleich der Versorgungsqualität	15
2.4 Monitoring der Energiewende	17
3. Welche Erfahrungen machen die bayerischen Unternehmen?	19
3.1 Systematik und Vorgehen der Befragung	19
3.2 Unternehmen des produzierenden Gewerbes	19
3.3 Unternehmen der Energiewirtschaft und weitere Akteure	24
4. Welche Risiken gilt es zu vermeiden?	27
4.1 Eingeschränkte Versorgungsqualität und Kurzunterbrechungen	27
4.2 Versorgungsunterbrechungen mit einer Dauer größer als eine Sekunde	31
4.3 Aufbau und Pflege eines Risikomanagements	35
4.4 Versicherbarkeit von Schäden	36
5. Appendix	38
5.1 Hintergrundinformationen	38
5.2 Glossar	42
5.3 Checkliste	44
6. Literaturverzeichnis	45
Ansprechpartner	46
Impressum	46
IHK-Standorte in Bayern	47

Vorwort

Welche Auswirkungen hat die Energiewende auf die bayerischen Unternehmen? Welche Chancen bietet der neue Strommarkt den Betrieben, um einen optimalen Strombezug zu gewährleisten? Wie können sie mit möglichen Risiken umgehen?

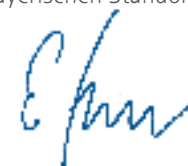
Die Industrie- und Handelskammern in Bayern sind diesen Fragen erstmals 2012 im Rahmen einer umfangreichen Studie zu der Versorgungssicherheit und den Herausforderungen im Strommarkt nachgegangen. Mit der aktualisierten Studie „Energiewende im Strommarkt“ stellen wir unseren Mitgliedsunternehmen die Entwicklungen der letzten Jahre dar und geben ihnen einen umfassenden technischen und marktwirtschaftlichen Überblick über die bestehenden Herausforderungen.

Die Untersuchung wurde nun in zwei Teilstudien aufgeteilt. Beide basieren auf bayernweit geführten Interviews mit Vertretern energieintensiver Unternehmen sowie Akteuren aus der Energiewirtschaft. Den an der Studie beteiligten Unternehmen gilt unser herzlicher Dank. Ihre Bereitschaft zur Teilnahme ermöglichte uns die nötigen Einblicke, welche aktuellen Problemlagen in der Energieversorgung derzeit bestehen und welche Maßnahmen sinnvoll umsetzbar sind.

Im Rahmen der aktuellen Untersuchung konnte wiederum bestätigt werden, dass die Zuverlässigkeit der Stromversorgung unabhängig von dem Ausbau der erneuerbaren Energien in vollem Umfang erhalten blieb. Das ist beruhigend und zugleich ein gutes Zeichen für den Standort Bayern und die hier ansässigen Unternehmen. Es darf aber auch nicht als Entwarnung missverstanden werden. Im Gegenteil: Die Zahl der netzseitigen Eingriffe in das Erzeugungsmanagement nimmt sowohl im Übertragungs- als auch im Verteilnetzbereich weiter deutlich zu.

Die Gespräche mit den Unternehmen haben gezeigt, dass ein Anstieg der Energiekosten bei fast allen der beteiligten Unternehmen des produzierenden Gewerbes als Bedrohung für die eigene Wettbewerbsfähigkeit wahrgenommen und in einigen Fällen als Gefährdung des Industriestandorts Deutschland angesehen wird. Laut aktuellem IHK-Energiewendebarmometer arbeiteten 2017 bereits rund 15 Prozent der bayerischen Industrieunternehmen an der Verlagerung ihrer Produktion ins Ausland. Diese alarmierend hohe Zahl ist auf die stetig steigenden Strompreise in Deutschland zurückzuführen. Alleine die EEG-Umlage von 6,79 Cent/kWh belastet die bayerischen Unternehmen im Jahr 2018 mit Kosten in Höhe von rund drei Milliarden Euro.

Die bayerische Wirtschaft spricht sich daher deutlich für eine Strompreisbremse aus, um die zunehmenden Standortnachteile zu begrenzen. Zudem müssen die Chancen am Energiemarkt weiter ausgebaut und für die Unternehmen zugänglich gemacht werden. Nur so können die Unternehmen auch in Zukunft wettbewerbsfähig an bayerischen Standorten produzieren.



Dr. Eberhard Sasse



Peter Driessen



Dr. Eberhard Sasse, Präsident,
Bayerischer Industrie- und
Handelskammertag e. V.



Peter Driessen, Hauptgeschäftsführer,
Bayerischer Industrie- und
Handelskammertag e. V.

Danksagung

An dieser Stelle bedanken sich die Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (FfE) und die IHKs in Bayern bei den an der vorliegenden Studie beteiligten Interviewpartnern. Die Unternehmen werden mit Branchenzugehörigkeit und Firmensitz aufgeführt.



Unternehmen	Branche	Ort
■ Agfa-Gevaert HealthCare GmbH	Gesundheitswesen	Peißenberg
■ Bayernwerk	Verteilnetzbetreiber	Regensburg
■ Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG	Automobil-Zulieferer	Coburg, Werk Würzburg
■ Brunnenverwaltung HöllenSprudel	Getränkproduktion und -abfüllung	Hölle
■ Continental Automotive GmbH	Automotive	Regensburg
■ Diehl Metall Stiftung & Co. KG	Metallverarbeitung	Röthenbach a. d. Pegnitz
■ Fr. Ant. Niedermayr	Druck	Regensburg
■ HEINZ Glas GmbH	Glasverarbeitung	Tettau
■ Mainsite GmbH & Co. KG	Industriedienstleister	Obernburg
■ Stadtwerke Bad Tölz GmbH	Verteilnetzbetreiber	Bad Tölz
■ TVU Textilveredelungsunion GmbH & Co. KG	Textil	Leutershausen

Zusammenfassung

Die Entscheidung zur Abschaltung aller deutschen Kernkraftwerke bis zum Jahr 2022 und zum gleichzeitigen massiven Ausbau der Erneuerbaren Energien – die sogenannte Energiewende im Strommarkt – stellt die Energiewirtschaft und die Wirtschaft insgesamt vor große Herausforderungen. Vor allem im produzierenden Gewerbe und in der Industrie wächst die Befürchtung, dass der steigende Anteil der volatilen Energiequellen Windkraft und Photovoltaik die Zuverlässigkeit der Stromerzeugung beeinträchtigen und dadurch die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe in Bayern gefährden könnte.

An diesem Punkt setzt die vorliegende Ausarbeitung an. Primäres Ziel ist es, die Auswirkungen der Energiewende auf die Zuverlässigkeit der Stromversorgung und die damit verbundenen Herausforderungen für das produzierende Gewerbe in der Praxis aufzuzeigen. Dabei wird primär die Problematik im Rahmen schwankender Qualitäten der Versorgung diskutiert, wie dem vorgebeugt und wie damit umgegangen werden kann.

Der vorliegende Leitfaden stellt eine Aktualisierung der Publikation „Energiewende im Strommarkt – Chancen nutzen und Risiken vermeiden“ aus dem Jahr 2012 dar. Es wird untersucht, inwiefern sich die Gegebenheiten seit damals verändert haben. In einer zweiten Ausarbeitung „Energiewende im Strommarkt – Chancen für Unternehmen“ werden bewährte Lösungsansätze für den Umgang mit Störungen bei der Stromversorgung sowie neue geschäftliche Chancen, die sich für die Betriebe im sich wandelnden energiewirtschaftlichen Umfeld ergeben, dargestellt. Dazu gehören z. B. mögliche Erlöse durch Anbieten von Systemdienstleistungen, durch Börsenhandel und durch Ersparnisse durch reduzierte Bezugskosten durch Ermäßigungen bei verschiedenen Strompreisbestandteilen.

Die von der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (FfE) durchgeführte Studie basiert auf Befragungen von Unternehmen des produzierenden Gewerbes, der Industrie und weiterer Akteure der Energiewirtschaft in Bayern. Die Ergebnisse aus den Gesprächen wurden durch Erfahrungen aus Betriebsbegehungen im Rahmen der „Lernenden Energieeffizienznetzwerke“ sowie durch Literaturrecherchen und wissenschaftliche Untersuchungen ergänzt.



Struktur des Leitfadens

In Kapitel 1 werden zunächst die Energiewende im Strommarkt sowie einige Ergebnisse vorliegender Untersuchungen als Ausgangssituation beschrieben. Im darauffolgenden Kapitel 2 erfolgt eine Erörterung der Qualitätsmerkmale bei der Stromversorgung. Dabei ist eine gewisse technische Tiefe unverzichtbar, wenn man sich dem komplexen Feld der Stromversorgung und dessen Störungen nähern will.

In Kapitel 3 werden die im Rahmen der Studie durchgeführten Interviews und deren Auswertungen beleuchtet. Nach einer kurzen Darstellung der Systematik werden die wichtigsten Aussagen der Befragungen, getrennt nach Interviewpartnern aus dem produzierenden Gewerbe und den weiteren Akteuren, zusammengefasst. Bei den Gesprächen stand die tiefgehende Erfassung technischer Aspekte im Vordergrund, wofür in den Unternehmen verschiedene Spezialisten als Ansprechpartner zur Verfügung standen. Durch diesen Ansatz konnten der Umgang und die Erfahrungen mit der Stromversorgung bei kleinen und großen Energieverbrauchern unterschiedlicher Branchen qualitativ ermittelt werden. Für eine Befragung einer großen statistischen Gesamtheit wäre die vorliegende Fragentiefe dagegen nicht geeignet. Aus den Gesprächen ergaben sich eine Fülle praxiserprobter Ansätze für den Umgang mit Problemen bei der Versorgungsqualität.

Kapitel 4 widmet sich dem Umgang mit Stromversorgungsstörungen durch technische Maßnahmen, Eigenerzeugung, Risikomanagement und Versicherungen. Für die Betriebe ist es wichtig, geeignete Maßnahmen für solche Störfälle zu ergreifen. Auch unabhängig von möglichen Einflüssen der Energiewende kommt es bei der Stromversorgung aus verschiedenen Gründen zu unregelmäßigen Störungen. Beispiele sind Blitzschlag, Vögel oder sonstige Tiere an und auf Leitungen, Fehler in Kraftwerken oder Transformatoren, Fehlfunktionen bei Stromverbrauchern oder Netzüberlastung.

Um der Arbeit einen hohen Praxiswert zu geben, wurden konkrete und übersichtliche Checklisten und Handlungsempfehlungen entwickelt und in den Kapiteln 4 und 5 in den Leitfaden eingearbeitet. Sie helfen den Unternehmen, unter Berücksichtigung der individuellen Situation zu entscheiden, welche Maßnahmen möglich und sinnvoll sind.

Generelle Ergebnisse

Die Gespräche haben gezeigt, dass ein Anstieg der Energiekosten in fast allen der beteiligten Unternehmen des produzierenden Gewerbes als Bedrohung für die eigene Wettbewerbsfähigkeit wahrgenommen und in einigen Fällen als Gefährdung des Industriestandorts Deutschland angesehen wird. Generell erlaubt das derzeitige Kostenregime den Unternehmen jedoch dank möglicher Verminderungen in einzelnen Bestandteilen des Strompreises auch international konkurrenzfähig zu bleiben.

Einige der befragten Unternehmen beklagen kurze Versorgungsunterbrechungen sowie Einbrüche und Überhöhungen der Versorgungsspannung. Oft wurde eine Zunahme der Störungen geschildert. Allerdings gab es auch Gesprächspartner, die von einer Verbesserung der Versorgungsqualität über die vergangenen Jahre berichtet haben. Die Zunahme der Störungen konnte meist auf die zunehmende Präsenz von empfindlicher Steuerungselektronik und Anlagen zurückgeführt werden. Der steigende Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung wurde dagegen nicht als Grund für Störungen gesehen, jedoch wird zukünftig ein negativer Einfluss erwartet.

Im Rahmen dieser Untersuchung konnte in Bayern bisher keine Verschlechterung bei der Zuverlässigkeit der Stromversorgung festgestellt werden. Das ist beruhigend und zugleich ein gutes Zeichen für den Standort sowie die hier ansässigen Unternehmen. Es darf aber auch nicht als Entwarnung missverstanden werden. Im Gegenteil: Die Zahl der netzseitigen Eingriffe in das Erzeugungsmanagement nimmt sowohl im Übertragungs- als auch im Verteilnetzbereich weiter deutlich zu. Auch für die Zukunft sehen die befragten Netzbetreiber eine Zunahme kritischer Netzzustände als große Herausforderung an. Das erschwert das Netzmanagement und erhöht das Risiko von Störungen immer weiter. Laut Aussage der Netzbetreiber in Bayern, steigt die Wahrscheinlichkeit von Blackouts im Verteilnetzbereich aufgrund zunehmender Eingriffe in das Übertragungsnetz.

Das Bewusstsein der Unternehmen gegenüber der Problematik der Versorgungsqualität ist in der Vergangenheit gestiegen. Viele Unternehmen verwenden mittlerweile an verschiedenen Stellen Messgeräte, um die Versorgungsqualität aufzeichnen zu können. Auch die Netzbetreiber sind sich der Probleme bewusst, die beispielsweise durch Kurzunterbrechungen bei Unternehmen entstehen können. In vielen Fällen wird versucht, gemeinsam eine Lösung der Probleme zu finden. Aktuell lassen sich jedoch unterschiedliche Entwicklungen beobachten, die eine generelle Lösung der Problematik erschweren. Die Komplexität der Anlagen und somit deren Empfindlichkeit gegenüber Störungen steigt. Dementsprechend nehmen die von ihnen ausgesandten Störsignale zu. Zudem stehen im Netz immer weniger Schwungmassen von konventionellen Anlagen bereit, die Störungen im Netz ausgleichen können. Technische Lösungen, die diese Problematik entschärfen können, bestehen zwar. Es stellt sich jedoch die Frage, an welcher Stelle diese ins Netz integriert werden können und mit welchen Kosten dies verbunden ist.



1. Welche Auswirkungen hat die Energiewende auf die Stromversorgung?

In der einschlägigen Literatur bezeichnet der Begriff „Energiewende“ den „Ersatz der Nutzung von fossilen und atomaren Energiequellen durch eine ökologische, nachhaltige Energieversorgung“ [1]. Die Energiewende in Deutschland basiert im Wesentlichen auf der Umsetzung der Beschlüsse zum Atomausstieg, zur Minderung von Emissionen, zum Ausbau der Erneuerbaren Energien sowie zur Einsparung von Energie beziehungsweise zur Verbesserung der Energieeffizienz. Während es in der vorliegenden Ausarbeitung um die Energiewende im Strommarkt geht, umfasst die Energiewende insgesamt mehr Bereiche, zum Beispiel auch den Wärme- und den Kraftstoffsektor. Gerade die Auswirkungen der Energiewende im Strommarkt sind jedoch von größter Bedeutung für die bayerische Wirtschaft.

1.1 Politische Ziele für die Stromerzeugung

Im November 2016 wurde mit dem „Klimaschutzplan 2050“ eine Konkretisierung der Ergebnisse der Klimaschutzkonferenz von Paris erarbeitet und ein Maßnahmenpaket zur Erreichung der Ziele vorgelegt. Der Klimaschutzplan beinhaltet eine Vielzahl von Maßnahmen in den Bereichen Energieeffizienz, Erneuerbare Energien (Strom und Wärme), Biokraftstoffen, Emission von Treibhausgasen und Verkehr. [2]

Das grundlegende Ziel, das auf der Weltklimakonferenz in Paris 2015 beschlossen wurde, ist die Begrenzung der Erderwärmung auf deutlich unter 2 Grad gegenüber vorindustriellen Werten. Das Übereinkommen ist am 4. November 2016 in Kraft getreten und besitzt völkerrechtliche Verbindlichkeit. Damit einher geht die Forderung, dass zur Mitte des 21. Jahrhunderts keine weiteren Treibhausgasemissionen aus fossilen Brennstoffen erfolgen. Bis 2020 sind von allen Staaten nationale Klimaziele einzureichen, beziehungsweise bereits vorhandene Ziele auf die Übereinkunft von Paris anzupassen.

Die Bundesregierung und die bayerische Staatsregierung haben diese Ziele für ihren jeweiligen Zuständigkeitsbereich konkretisiert und streben zum Teil noch ambitioniertere Ziele an. Die energiepolitische Ausrichtung Deutschlands bis zum Jahr 2050 wird im Klimaschutzplan der Bundesregierung dargestellt. In der Energiewirtschaft sollen bis 2030 die CO₂-Emissionen gegenüber dem Referenzjahr 1990 um 61 bis 62 Prozent gesenkt werden [3]. Der Plan enthält keine konkreten Ausbauziele zum Anteil Erneuerbarer Energien. Im Koalitionsvertrag von 2013 ist jedoch ein Anteil Erneuerbarer Energien von 40 bis 45 Prozent der Stromerzeugung im Jahr 2025 und 55 bis 60 Prozent im Jahr 2035 veranschlagt [4]. Im Jahr 2016 betrug der EE-Anteil 29 Prozent an der Bruttostromerzeugung in Deutschland [5]. Ziel der bayerischen Staatsregierung ist es hingegen, dass bis zum Jahr 2025 70 Prozent der bayerischen Stromerzeugung regenerativ erfolgen und die Treibhausgasemissionen auf 5,5 Tonnen CO₂ pro Kopf und Jahr gesenkt werden [6] (Tabelle 1.1).

Tabelle 1.1: Ziele für den Ausbau Erneuerbarer Energien [4], [6]

Bundesregierung		
Zeitraum	Anteil Erneuerbare Energien	Senkung
bis 2025	40–45 %	2030:
bis 2035	55–60 %	61–62 % (im Energiesektor)
Bayerische Staatsregierung		
Zeitraum	Anteil Erneuerbare Energien	Senkung
bis 2025	70 %	auf 5,5 Tonnen pro Einwohner

Eine der gravierendsten politischen Maßnahmen für die Stromversorgung in Bayern ist der Atomausstieg, der im Juli 2011 in das Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren, kurz Atomgesetz, aufgenommen wurde. Hiernach müssen die verbleibenden drei Kernkraftwerke mit einer Erzeugungsleistung von insgesamt knapp über 4 GW (Gigawatt), und damit etwa einem Drittel der gesicherten Stromerzeugungskapazität in Bayern, gemäß Tabelle 1.2 jeweils spätestens zum 31. Dezember 2022 abgeschaltet werden. [7] [8]

Tabelle 1.2: Leistung und Abschaltdatum bayerischer Kernkraftwerke [8]

Kernkraftwerk	Elektrische Leistung (brutto [MW])	Abschaltung gemäß Atomgesetz
Grafenrheinfeld	1.345	2015
Gundremmingen B	1.344	2017
Gundremmingen C	1.344	2021
Isar II	1.485	2022

Da Wind und Sonne nicht rund um die Uhr Energie liefern, fordert das Bayerische Energieprogramm eine Regelung, die bis „2021 ausreichend gesicherte Reservekapazitäten“ vorsieht (6). Darüber hinaus sollen Speichertechnologien und der Netzausbau helfen, die in Bayern entstehende Kapazitätslücke auszugleichen.

Die durch das Strommarktgesetz vorgesehenen Gaskraftwerke zur Sicherung der Versorgungssicherheit nach Abschaltung der letzten Kernkraftwerke dürfen von den Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) gebaut werden. Die Bundesnetzagentur hat dafür grünes Licht gegeben und die Notwendigkeit der Anlagen bestätigt. Allerdings hat sie den Umfang von 2 auf 1,2 GW gekürzt. Die Regelung steht noch unter dem Genehmigungsvorbehalt der EU.

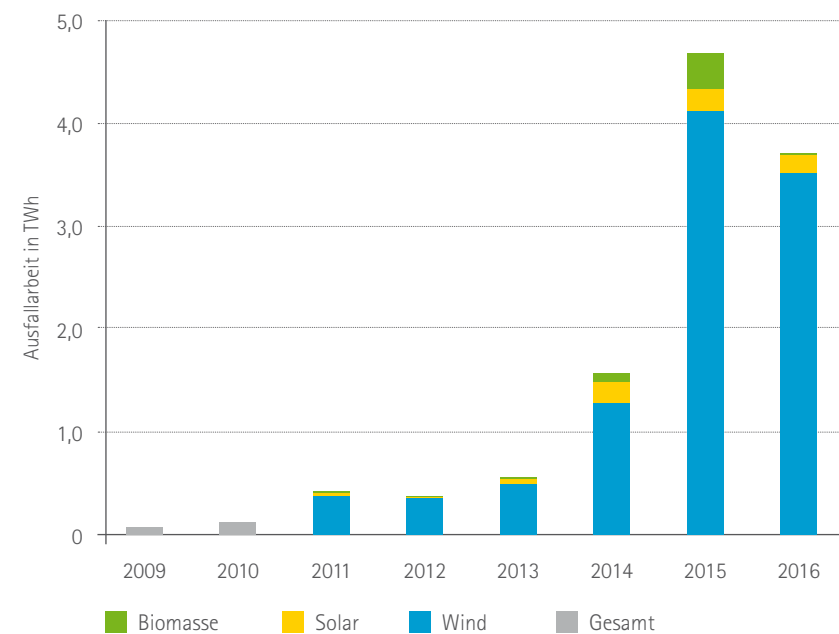
Hintergrund ist, dass bis Ende 2022 etwa 4 GW Leistung aus Kernkraft in Süddeutschland wegfallen und die HGÜ-Leitungen erst bis 2025 fertiggestellt sein werden. Daher sieht die Behörde Bedarf für zusätzliche Sicherungsmaßnahmen im Übergangszeitraum. Die Anlagen sollen auf mehrere Standorte verteilt werden. Die Kraftwerke dürfen nur außerhalb der Strommärkte zur Netzstabilisierung eingesetzt werden.

1.2 Zunehmende Netzeingriffe durch Einspeisemanagement

Nach § 14 EEG sind Netzbetreiber unter bestimmten Umständen berechtigt, die Einspeisung von regenerativen Erzeugungsanlagen sowie KWK-Anlagen durch sogenanntes Einspeisemanagement (EinsMan) herunterzuregulieren. Dies ist der Fall, wenn durch weitere Stromeinspeisung ohne den Eingriff der Netzbetreiber ein Netzproblem entstehen würde – also zum Beispiel Überlastung der Netze zu Starkwindzeiten. Durch den Eingriff der Netzbetreiber können die Netzstabilität gewahrt und Betriebsmittel, wie etwa Transformatoren oder Freileitungen, vor Schäden geschützt werden. Aufgrund der Vorgaben des § 12 EEG sind die Anlagenbetreiber, deren Einspeiseleistung heruntergeregelt wurde, für die entgangenen Gewinne zu entschädigen. Die Bundesnetzagentur hat hierzu einen Leitfaden veröffentlicht. [9]

Abbildung 1.1 zeigt für den Zeitraum von 2009 bis 2016 die Entwicklung der jährlichen Ausfallarbeit durch EinsMan-Maßnahmen in Deutschland. Analog zum starken Ausbau regenerativer Erzeugungsanlagen in Deutschland ist über die letzten Jahre eine deutliche Zunahme der abgeregelten Stromerzeugung zu verzeichnen. Die Bundesnetzagentur veröffentlicht jährlich einen Monitoringbericht, der eine detaillierte Untersuchung von EinsMan-Maßnahmen erlaubt [10]. Es fällt auf, dass 2015 mit 87,3 Prozent der Ausfallarbeit ein Großteil der Ausfallarbeit auf Windenergieanlagen zurückzuführen ist. Aus dem Monitoringbericht gehen ebenfalls deutliche regionale Unterschiede hervor. 2015 entfielen mehr als 97 Prozent der Ausfallarbeit auf die Bundesländer Schleswig Holstein (65 Prozent), Brandenburg (15 Prozent) Niedersachsen (10 Prozent), Mecklenburg-Vorpommern (5 Prozent) und Sachsen-Anhalt (3 Prozent). Die starke regionale Konzentration von EinsMan-Maßnahmen spiegelt sich auch bei den Netzebenen wider. So sind 89 Prozent der Ausfallarbeit durch Maßnahmen aufgrund von Engpässen im Übertragungsnetz zustande gekommen und 11 Prozent durch Engpässe in Verteilnetzen. Es konnten jedoch lediglich für 7 Prozent der Ausfallarbeit Maßnahmen von Übertragungsnetzbetreibern erfolgen. Der Großteil der Maßnahmen mit 93 Prozent wurde durch die Verteilnetzbetreiber durchgeführt.

Abb. 1.1: Ausfallarbeit durch Einspeisemanagement in Deutschland 2009 bis 2016 nach den Monitoringberichten der Bundesnetzagentur [10]



Der stetig steigende Bedarf an Einspeisemanagement verdeutlicht, dass es zunehmend problematisch ist, den wachsenden Anteil Erneuerbarer Energien vollständig in die bestehenden Netze einzuspeisen. Dies untermauert einerseits die dringende Notwendigkeit des Netzausbaus auf regionaler und überregionaler Ebene. Andererseits zeigt das Ausmaß der netzseitigen Eingriffe auch die zunehmende Komplexität des Netzmanagements zwischen Übertragungsnetz- und Verteilnetzbetreibern, die notwendig ist, um die Stromnetze stabil zu halten.

1.3 Erheblicher Netzausbaubedarf

Die heutigen Netze sind darauf ausgelegt, elektrische Energie von Großkraftwerken über das Übertragungsnetz und das Verteilnetz an die Endverbraucher weiterzuleiten. Die Stromerzeugung findet zukünftig jedoch zunehmend verbrauchsfern statt, zum Beispiel in Offshore-Windparks. Zudem kommt es im Zuge der vermehrten Einspeisung dezentraler Erzeugungsanlagen vermehrt zu einer Lastflussumkehr in den Verteilnetzen. Für das über 1,7 Millionen Kilometer lange deutsche Stromnetz besteht im Rahmen der Energiewende daher auf allen Ebenen ein erheblicher Aus- und Umbaubedarf.

Um den Ausbaubedarf der Übertragungsnetze bundesweit steuern zu können, werden seit 2012 kontinuierlich Netzentwicklungspläne erstellt. Die Übertragungsnetzbetreiber sind nach § 12 a Energiewirtschaftsgesetz dazu verpflichtet, alle zwei Jahre einen gemeinsamen Entwicklungsplan für den Ausbau der Übertragungsnetze an die Bundesnetzagentur zu übergeben. Der Netzentwicklungsplan basiert auf Prognosen für den zukünftig erforderlichen Netzausbau in den nächsten zehn Jahren. Die ersten Entwürfe der neuesten Netzentwicklungspläne wurden am 31.01.2017 veröffentlicht und standen bis zum 28.02.2017 zur Konsultation durch die Öffentlichkeit, die Übertragungsnetzbetreiber und die Bundesnetzagentur. Auf der Internetseite netzentwicklungsplan.de stehen alle aktuellen Netzentwicklungspläne zur Verfügung. Die Seite bietet auch die Möglichkeit, am Prozess der Erstellung des Bundesbedarfsplans auf Basis der Netzentwicklungspläne mitzuwirken. Der aktuelle Entwurf des NEP 2030 enthält drei verschiedene Szenarien bis zum Jahr 2030 und eines bis zum Jahr 2035. Das mittlere Szenario B, das Vorgaben zum maximalen CO₂-Ausstoß des Kraftwerkssektors enthält, beinhaltet fünf Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungskorridore mit einer Übertragungskapazität von 8 GW in Nord-Süd-Richtung und einer Trassenlänge von 2.600 km. Zusätzlich weist das Szenario einen Neubaubedarf von Stromtrassen auf einer Länge von 1.200 km aus. Auf bestehenden Trassen wird eine

Verstärkung auf einer Länge von 8.300 km ausgewiesen. Die Informationen zur Netzausbauplanung und den geplanten Projekten werden von der Bundesnetzagentur auf der Internetseite netzausbau.de veröffentlicht.

Auf Basis des Netzentwicklungsplans stellt die Bundesregierung in einem mindestens vierjährigen Turnus den Bundesbedarfsplan auf. Der Bundesbedarfsplan enthält nach § 12 e Energiewirtschaftsgesetz beispielsweise die länder- und grenzüberschreitenden Höchstspannungsleitungen. Nachdem der Bundesbedarfsplan vom Gesetzgeber erlassen worden ist, sind die darin enthaltenen Vorhaben für die Übertragungsnetzbetreiber als verbindlich anzusehen. [11] Die gesetzliche Grundlage hierfür stellt das Gesetz über den Bundesbedarfsplan (BBPIG) dar, das im Juli 2013 in Kraft getreten ist.

Im Vorfeld des ersten Netzentwicklungsplans hatte die Deutsche Energie-Agentur (dena) im Auftrag von Bundesministerien und Industriepartnern die Netzstudien I und II erarbeitet und dort bereits einen erheblichen Netzausbaubedarf festgestellt. Auf der Grundlage der dena Netzstudie I und den Leitlinien für die transeuropäischen Energienetze erließ die Bundesregierung 2009 das Gesetz zum Ausbau von Energieleitungen (EnLAG). In der aktuellen Fassung vom 22.12.2016 werden 22 vordringlich zu realisierende Projekte im Bereich des Stromnetzausbaus benannt. In einem Bericht der Bundesnetzagentur zum Monitoring des BBPIG vom Februar 2017 wird die Gesamtlänge der notwendigen Leitungen auf 6.100 km beziffert, wobei 3.050 km als Netzverstärkungen eingeordnet werden. Davon sind bisher 400 km genehmigt und etwa 100 km realisiert worden. [12]

Der rasante Zubau dezentraler Erzeugungsanlagen erfordert zudem einen umfassenden Umbau der Verteilnetze. Die 2014 im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) publizierte Studie „Moderne Verteilernetze für Deutschland“ identifiziert notwendige Investitionen zwischen 23 und 49 Mrd. Euro bis 2032 auf Verteilnetzebene. Je nach Szenario bedeutet das einen Neubau von 130.000 km bis 280.000 km. Die derzeitige Länge der Verteilernetze beträgt etwa 1,7 Mio. km. 70 Prozent dieser Maßnahmen müssen laut der Studie bis 2022 abgeschlossen werden, um die steigende Erzeugung aus Erneuerbaren Energien in das System integrieren zu können. [13]



2. Welche Qualitätsmerkmale kennzeichnen die Stromversorgung?

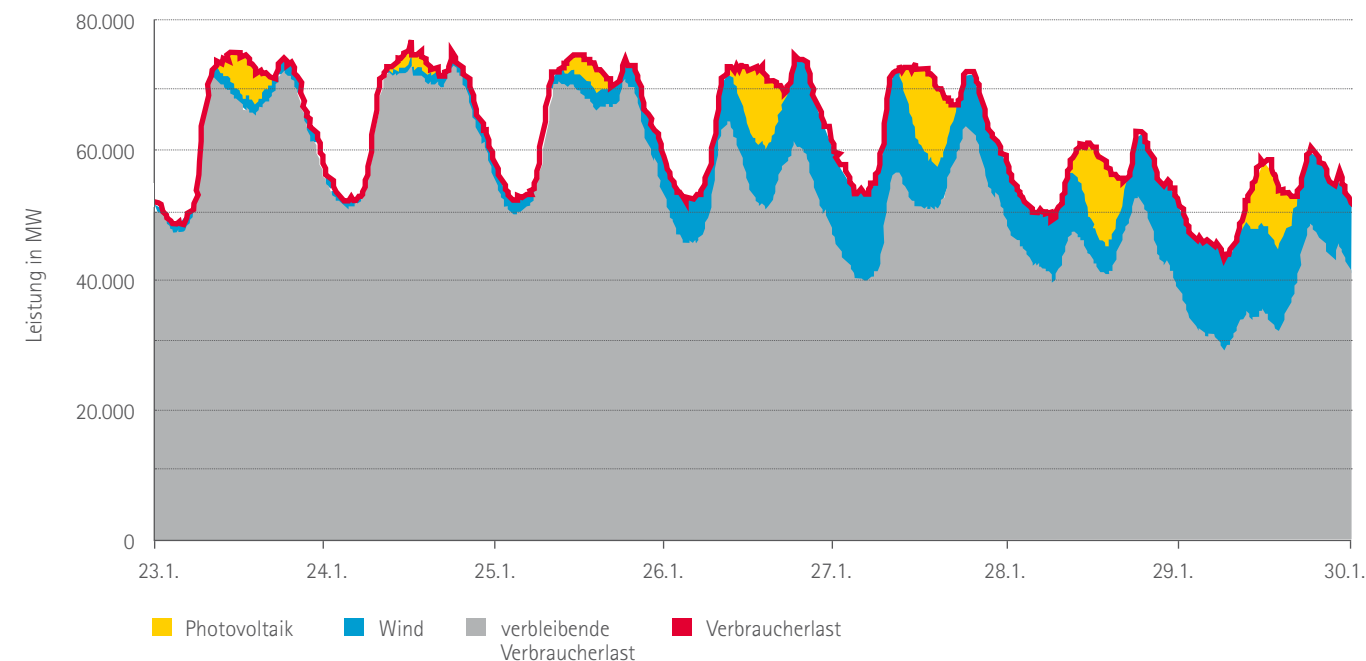
Für das produzierende Gewerbe in Bayern können bereits kleine Stromausfälle oder Abweichungen von den Normbedingungen zu einem erheblichen Risiko werden. Steuergeräte von Maschinen können zeitweise funktionsuntüchtig werden und infolgedessen zum Stillstand ganzer Produktionslinien führen. Auch Blitzeinschläge können zu plötzlich auftretenden hohen Spannungen und Strömen führen, die nicht selten elektronische Geräte beschädigen. Die Fehlerbilder bei der Stromversorgung sind sehr vielfältig und werden in diesem Kapitel näher beleuchtet.

2.1 Bedarf, Erzeugung und Regelung elektrischer Energie

Im Jahr 2015 betrug der gesamte deutsche Bruttostromverbrauch rund 600 TWh (Terrawattstunden). Es wird von einem bayrischen Bruttostromverbrauch für 2015 von 94 TWh ausgegangen und würde somit ca. 16 Prozent des gesamten deutschen Verbrauchs betragen. Gleichzeitig wurden in Bayern 34 TWh Strom regenerativ erzeugt.

Der Stromverbrauch (Last) zu einem bestimmten Zeitpunkt im Gesamtnetz ergibt sich aus der Summe aller angeschlossenen Verbraucher. In Summe ergibt sich dadurch ein Lastgang, der die Charakteristika der einzelnen Lastgänge nur mehr vermindert abbildet. Der Stromverbrauch aller Verbraucher unterliegt dennoch einer Reihe von regelmäßigen Schwankungen, die im Wesentlichen von Jahreszeit, Wochentag und Uhrzeit – sowie unregelmäßigen Schwankungen, die von Großereignissen oder auch vom Wetter, abhängig sind. Im Winter wird unter anderem wegen der geringeren Tageslichteinstrahlung mehr Strom für Beleuchtung verbraucht. Die Jahreshöchstlast in Deutschland tritt daher tagsüber im Dezember auf und die minimale Last üblicherweise nachts im Juni [14]. In den Lastverläufen (Lastprofilen) der verschiedenen Wochentage spiegeln sich die Gewohnheiten der Gesellschaft wider. Lastprofile an Werktagen unterscheiden sich von Sonntagen nicht nur in der Höhe des Verbrauchs, sondern auch durch die Verbrauchsverteilung über den Tag. Im Tagesverlauf steigt der Verbrauch morgens rasch an, erreicht gegen Mittag ein Maximum, und fällt in den Abendstunden wieder ab. (siehe Abbildung 2.1).

Abb. 2.1: Einspeisecharakteristik Photovoltaik und Windenergie in der Woche vom 23.01. bis 30.01.2017, eigene Darstellung nach [15] und [16]



Die Stabilität und Zuverlässigkeit der Stromversorgung zu gewährleisten, ist die Aufgabe des Netzbetreibers und dessen Netzmanagements. Hierzu müssen Erzeugung und Verbrauch, –beziehungsweise Last und Leistung – in jedem Stromnetz zu jedem Zeitpunkt in ein Gleichgewicht gebracht werden. Die Kraftwerke werden dabei im Lastfolgebetrieb anhand eines Einsatzplans gefahren, der sich aus den Lastprognosen ergibt. Kurzfristige Abweichungen von der erwarteten Nachfrage oder Erzeugung (zum Beispiel bei unerwartet hoher Strombereitstellung aus Photovoltaik oder Windkraft oder bei Ausfall eines großen Verbrauchers) können in gewissem Umfang durch vorgehaltene „Regelleistung“ ausgeglichen werden. Hierzu werden zum Beispiel Pumpspeicherkraftwerke – in Abhängigkeit des Bedarfs – entweder als Erzeuger oder als Abnehmer elektrischer Energie eingesetzt [17]. Zudem werden konventionelle Kraftwerke zur Bereitstellung von Regelenergie eingesetzt. Konventionelle Kraftwerke mit fossiler Feuerung (Gas, Kohle etc.) sind grundlastfähig und können kurzfristige Schwankungen im Stromnetz ausgleichen. Um kostenintensive Nachsteuerungen im Rahmen des Netzmanagements zu vermeiden, wird zunehmend versucht, die Lasten flexibel anzupassen (siehe Kapitel 4.1).

2.2 Qualitätsmerkmale der Stromversorgung

Eine ideale Stromversorgung ist durch eine perfekt sinusförmig verlaufende Versorgungsspannung mit konstanter Frequenz gekennzeichnet. Im Idealfall ergänzen sich die drei Phasen zu einer konstanten Spannung.

In der Realität weicht der Spannungsverlauf allerdings mehr oder weniger permanent hiervon ab. Die sich tatsächlich einstellende Frequenz und die Versorgungsspannung sind das Resultat aus dem Zusammenwirken aller Komponenten eines Netzes.

Im Folgenden sollen die wichtigsten Merkmale der Versorgungsspannung an der Übergabestelle zum Netznutzer in öffentlichen Wechselstrom-Versorgungsnetzen beschrieben werden. Dies geschieht in Anlehnung an die DIN EN 50160 für den Spannungsbereich von 1 kV bis 36 kV. In dieser Norm wird zwischen kontinuierlichen Erscheinungen und plötzlichen Spannungsereignissen unterschieden: Kontinuierliche Erscheinungen sind dauerhafte, aber moderate Abweichungen; plötzliche Spannungsereignisse sind kurzzeitige Änderungen von erheblichem Ausmaß. [18]

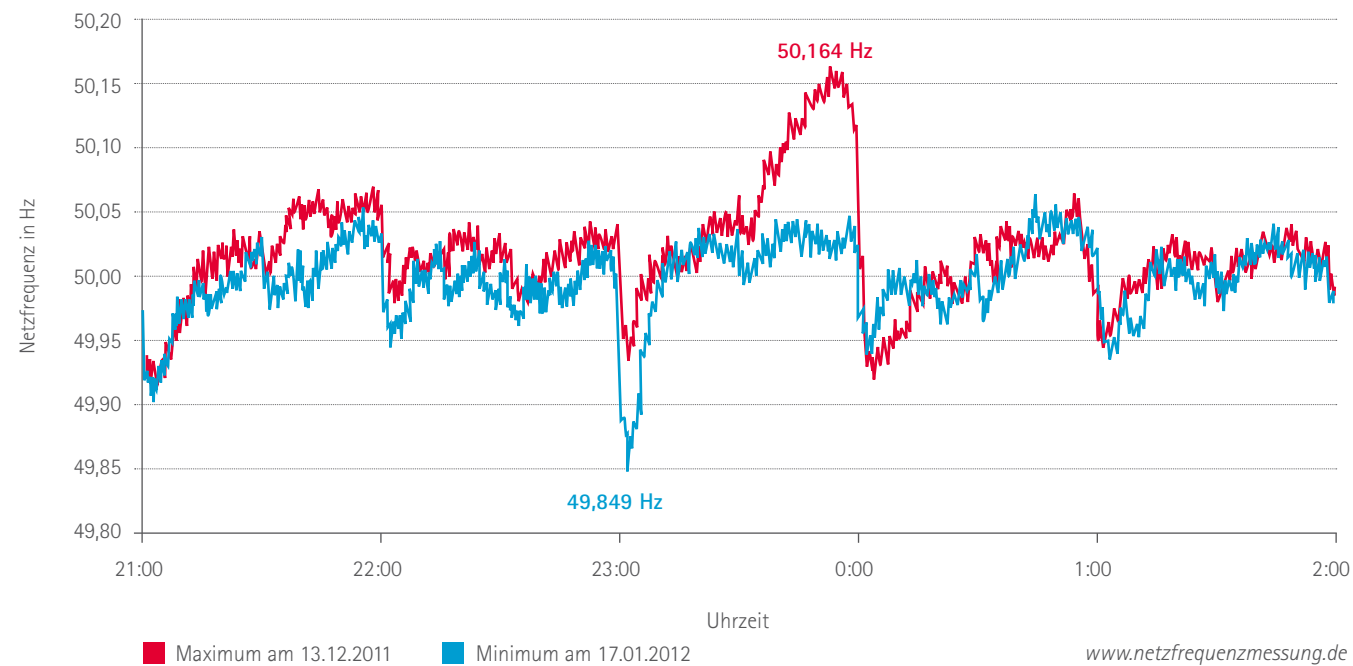
In der Norm DIN EN 50160 sind die Qualitätsmerkmale der Spannung im Netz geregelt. Genaue Grenzen für Anlagen finden sich im FNN*-Hinweis zur Störfestigkeit im Zusammenspiel von Kundenanlagen und Elektrizitätsnetzen [20].

* FNN: Forum Netztechnik/Netzbetrieb des Verband der Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik (VDE)

Die laufende Abweichung der Netzfrequenz von der Nennfrequenz fällt unter die kontinuierlichen Erscheinungen. Abweichungen bei der Frequenz ergeben sich bei Unterschieden zwischen der Erzeugungsleistung und der Last im Netz, also dem Strombedarf aller Netznutzer. Da die Leistung im Netz stets der Last folgt, ergibt sich permanent ein leicht unausgeglichenes Verhältnis und damit auch eine leicht schwankende Frequenz. Dabei sind große Verbundnetze in der Regel frequenzstabiler als kleine Inselnetze.

Die Netzfrequenz wird durch Regelenergiekraftwerke im normalen Betrieb auf 50 +/- 0,2 Hz ausgeglichen. In dem Zeitraum von Januar 2015 bis März 2016 lagen der Maximalwert der Sekundenmittelwerte bei 50,13 Hz, der Minimalwert bei 49,85 Hz. In Abbildung 2.2 sind ähnliche Extrema im Zeitraum Dezember 2011 bis Januar 2012 dargestellt. Die auffälligen Sprünge zur vollen Stunde erklären sich durch eine Änderung der Einspeiseleistung der Kraftwerke aufgrund der stündlichen Handelsintervalle an der Strombörse EPEX.

Abb. 2.2: Netzfrequenz mit Maximum und Minimum [19]



Auch der Spannungsverlauf zeigt kontinuierliche Erscheinungen. Die wichtigsten im Überblick:

Spannungsänderungen sind langsame Änderungen der Bezugsspannung, von der unter normalen Bedingungen nicht um mehr als 10 Prozent abgewichen werden soll. Eine Erhöhung oder Abnahme der Spannung wird üblicherweise durch Laständerungen hervorgerufen.

Flicker sind kurzzeitige Spannungsschwankungen. Der Name rührt daher, dass das menschliche Auge diese Schwankungen als Flackern von Lampen wahrnehmen kann.

Oberschwingungen definieren sich über ihre Frequenzen, die jeweils einem ganzzahligen Vielfachen der Grundschwingungsfrequenz der Versorgungsspannung entsprechen. Sie werden überwiegend durch nichtlineare Lasten der Verbraucher, deren Stromaufnahme nicht proportional zur Spannung ist, hervorgerufen. Verursacher sind zum Beispiel Lichtbogenöfen, Schweißgeräte oder Netzteile. Oberschwingungen können Kondensatoren, Stromrichter oder Messtechnik beeinflussen.

Spannungsereignisse, die zweite Kategorie von Störungen der Stromversorgung, sind schnelle Abweichungen von der Nennspannung von mehr als 10 Prozent. Gründe sind typischerweise unvorhersehbare Ereignisse oder die Einwirkung von äußeren Ursachen, wie zum Beispiel Wetterbedingungen oder Einwirkungen durch Dritte. Bei diesen Spannungsereignissen wird unterschieden in:

- Unterbrechung der Versorgungsspannung,
- Spannungseinbrüche und -überhöhungen und
- transiente Überspannungen.

Unterbrechungen der Versorgungsspannung sind weitgehend unvorhersehbar und variieren hinsichtlich Ort und Dauer. Repräsentative statistische Daten der Häufigkeit und Dauer von Kurzunterbrechungen der Versorgungsspannung liegen nicht vor. Die Dauer der überwiegenden Mehrzahl von kurzen Unterbrechungen liegt der Erfahrung nach im Sekundenbereich oder darunter.

Plötzliche Abweichungen der Versorgungsspannung um mehr als 10 Prozent von der Bezugsspannung werden als Spannungseinbrüche beziehungsweise Spannungsüberhöhungen bezeichnet. Sie werden meistens durch Laständerungen, eine bedeutende Änderung der Leistungsaufnahme in Anlagen der Netznutzer, Schalthandlungen oder durch Fehler im Netz verursacht. Die Ursache für Spannungseinbrüche ist typischerweise ein Kurzschluss und dessen Beendigung im Versorgungsnetz oder in den Anlagen der Netznutzer. Die Auslöser von Spannungsüberhöhungen sind ebenfalls oft Schalthandlungen oder Lastabtrennungen.

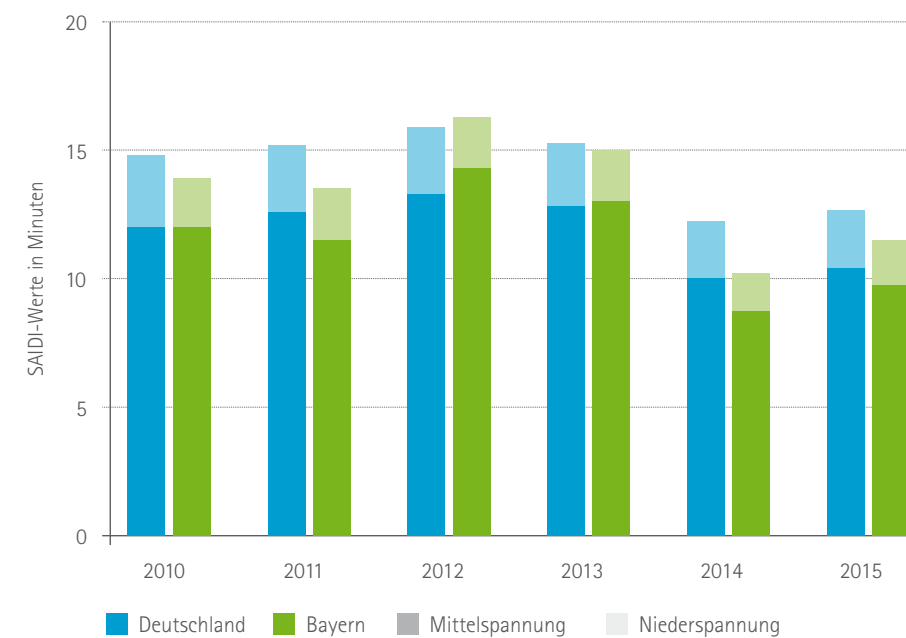
Transiente Überspannungen bezeichnen kurzzeitige Überspannungen mit einer Dauer von einigen Millisekunden. Sie entstehen in der Regel in Folge von Schalthandlungen, dem Auslösen von Sicherungen oder durch Blitzeinschläge.

2.3 Überwachung und Vergleich der Versorgungsqualität

Um die Versorgungsqualität in elektrischen Netzen vollständig beurteilen zu können, müssten letztlich die Häufigkeit und örtliche Verteilung aller oben beschriebenen Fehlerbilder in der Stromversorgung flächendeckend gemessen und ausgewertet werden. Bei der Komplexität des realen Stromnetzes ist dies jedoch nicht möglich. In der Praxis werden stattdessen einfache Kennzahlen für die Häufigkeit und Dauer der Versorgungsunterbrechungen erfasst. Die in Deutschland und international gebräuchlichste Kennzahl ist der „System Average Interruption Duration Index“ (SAIDI). Er bezeichnet die über das Berichtsjahr aufsummierte Unterbrechungsdauer je Stromabnehmer in Minuten und wird auch als „Nichtverfügbarkeit“ bezeichnet. [21]

Die prominenteste Überwachung der deutschen Stromnetze führt die Bundesnetzagentur (BNetzA) durch. Diese beruht auf Daten der Netzbetreiber, die gemäß § 52 Energiewirtschaftsgesetz jährlich Zeitpunkte, Dauer, Ausmaß und Ursachen der Versorgungsunterbrechungen an die BNetzA melden müssen. Hieraus ermittelt die BNetzA den SAIDI und veröffentlicht ihn in einem jährlichen Monitoringbericht.

Abb. 2.3: Entwicklung des SAIDI von 2010 bis 2015 in Mittel- und Niederspannung in Deutschland und Bayern, eigene Darstellung nach [10] und [6]



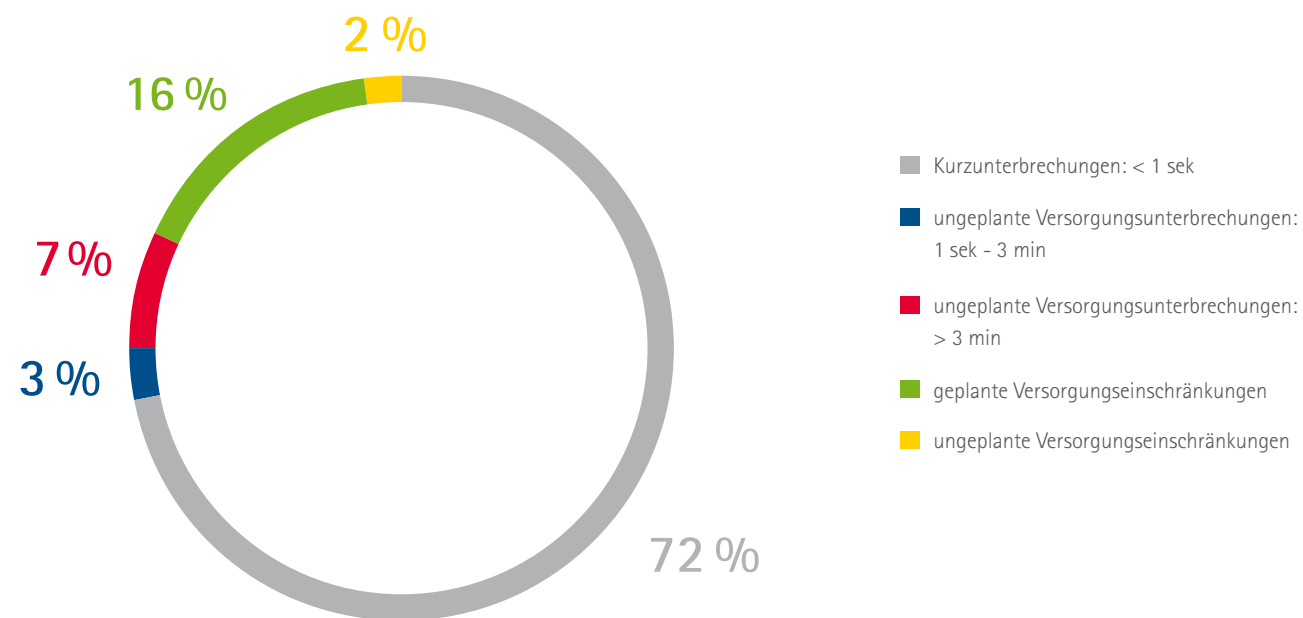
Die SAIDI-Werte der letzten Jahre sind in Abbildung 2.3 – aufgeteilt nach Mittel- und Niederspannung – dargestellt. Störungen des Mittelspannungsnetzes wirken sich auch im Niederspannungsbereich aus. Ein Ausfall des Niederspannungsnetzes führt umgekehrt aber nicht zu einem Ausfall des Mittelspannungsnetzes, da es unabhängig vom Niederspannungsnetz betrieben werden

kann. Deswegen ergibt sich im Mittelspannungsnetz eine bessere Netzverfügbarkeit als im Niederspannungsnetz. Demnach hat sich die Nichtverfügbarkeit seit 2010 leicht verbessert und liegt 2015 mit 12,7 Minuten in Deutschland etwa 15 Prozent unter dem Wert von 2010. Die bayerischen Werte liegen in fast allen Jahren knapp unter den deutschen Werten, wobei die Daten von 2015 noch nicht vorliegen. Der von der BNetzA ermittelte SAIDI umfasst nur ungeplante Unterbrechungen, die länger als drei Minuten andauern. Unterbrechungen aufgrund höherer Gewalt gehen ebenfalls nicht ein. Die tatsächliche Nichtverfügbarkeit in den Betrieben kann daher höher sein, als der SAIDI-Wert angibt.

Ein Monitoring, das sich auch kürzeren Versorgungsunterbrechungen (mit einer Dauer von über einer Sekunde) widmet, wird vom Forum Netztechnik/Netzbetrieb (FNN) vom Verband der Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik VDE als Fortsetzung der VDEW-Störungsstatistik (Verband der Elektrizitätswirtschaft) betrieben. Im FNN-Monitoring werden 80 Prozent der deutschen Stromnetze repräsentativ erfasst. [22]

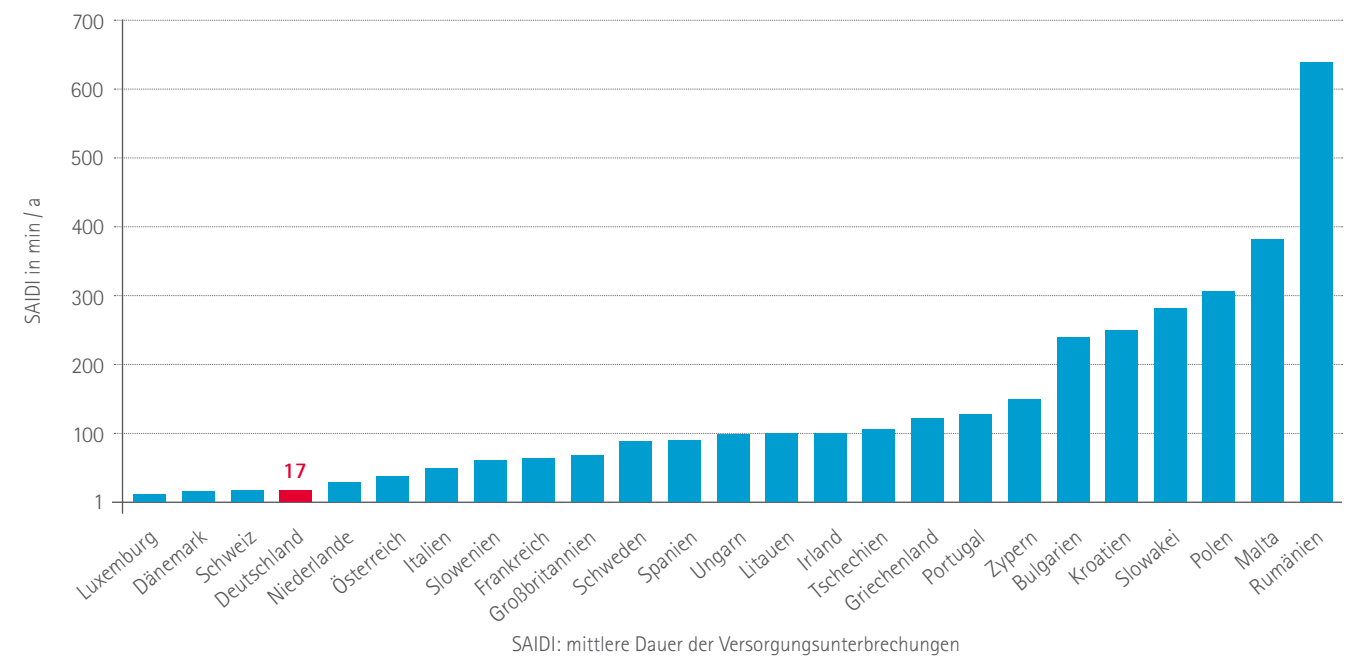
Ein weiteres Netzmonitoring, das auch die Kurzunterbrechungen erfasst, wurde von 2009 bis 2012 vom Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e. V. (VIK) im Rahmen einer nicht repräsentativen Mitgliederbefragung durchgeführt. Hierbei wurden Daten zu Versorgungsunterbrechungen sowie zur grundsätzlichen Einschätzung des Ist-Zustands und der Entwicklung der Versorgungsqualität von 45 Unternehmen an 62 Standorten der Branchen Papier, Chemie, Zement und Nahrung in ganz Deutschland erhoben.

Abb. 2.4: Aufteilung der Versorgungsstörungen nach Vorfalldtyp, eigene Darstellung nach [23]



Von den ausgewerteten Versorgungsstörungen sind 72 Prozent Kurzunterbrechungen. Lediglich 7 Prozent entfallen auf ungeplante Unterbrechungen über 3 Minuten (Abbildung 2.4). Demnach ist die Gesamtzahl der Versorgungsstörungen deutlich größer als diejenigen, die von der BNetzA erfasst werden. Der VIK regt daher an, das Monitoring der Bundesnetzagentur auf Versorgungsstörungen mit einer Zeitdauer kleiner als drei Minuten auszuweiten. [23] Die Bundesnetzagentur kommt in ihrem Evaluierungsbericht vom Januar 2015 zu selbiger Empfehlung, sieht jedoch in der Durchführung einen „erheblichen Mehraufwand“. Nach ARegV §33 Absatz 6 legt die BNetzA dem BMWi im Laufe der dritten Regulierungsperiode (Start 2018) einen Bericht zum Monitoring von kurzen Versorgungsunterbrechungen kleiner drei Minuten vor [24].

Abb. 2.5: Mittlere SAIDI-Werte 2006-2014 im europäischen Vergleich, eigene Darstellung nach [25] und [40]



Im Vergleich zu den anderen europäischen Staaten (Abbildung 2.5) weist das deutsche Netz mit einem SAIDI von rund 15 Minuten eine hervorragende Verfügbarkeit auf. Das Schlusslicht bilden dagegen Malta und Rumänien mit rund 400 beziehungsweise sogar 600 Minuten Nichtverfügbarkeit im Jahr 2009. Dieser Vergleich wird vom Rat der europäischen Energieregulierungsbehörden (Council of European Energy Regulators/ CEER) regelmäßig durchgeführt. [25].

2.4 Monitoring der Energiewende

Ein umfassender Monitoringbedarf ergibt sich aus Sicht der Politik aktuell im Rahmen der Umsetzung der Energiewende. Hier stehen die als Ziele festgeschriebenen Anteile Erneuerbarer Energien wie Windkraft, Photovoltaik und Biomasse oder die Einsparziele im Vordergrund, und weniger die Versorgungsqualität beim Stromverbraucher. Ende 2011 hat die Bundesregierung einen Monitoring-Prozess beschlossen, der von einer Expertenkommission aus Vertretern der Energiebranche begleitet wird. So wird jeweils am 15. Dezember jedes Jahres ein Monitoring-Bericht des Monitoring-Prozesses „Energie der Zukunft“ veröffentlicht. Jedes dritte Jahr wird anstelle des Monitoring-Berichts ein ausführlicherer Fortschrittsbericht zur Energiewende veröffentlicht. Der letzte Bericht stammt aus dem Jahr 2014, sodass dieses Jahr im Dezember wieder ein längerer Bericht erwartet werden kann.

Der aktuelle Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“ des BMWi kann bezogen werden über bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fuenfter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.html

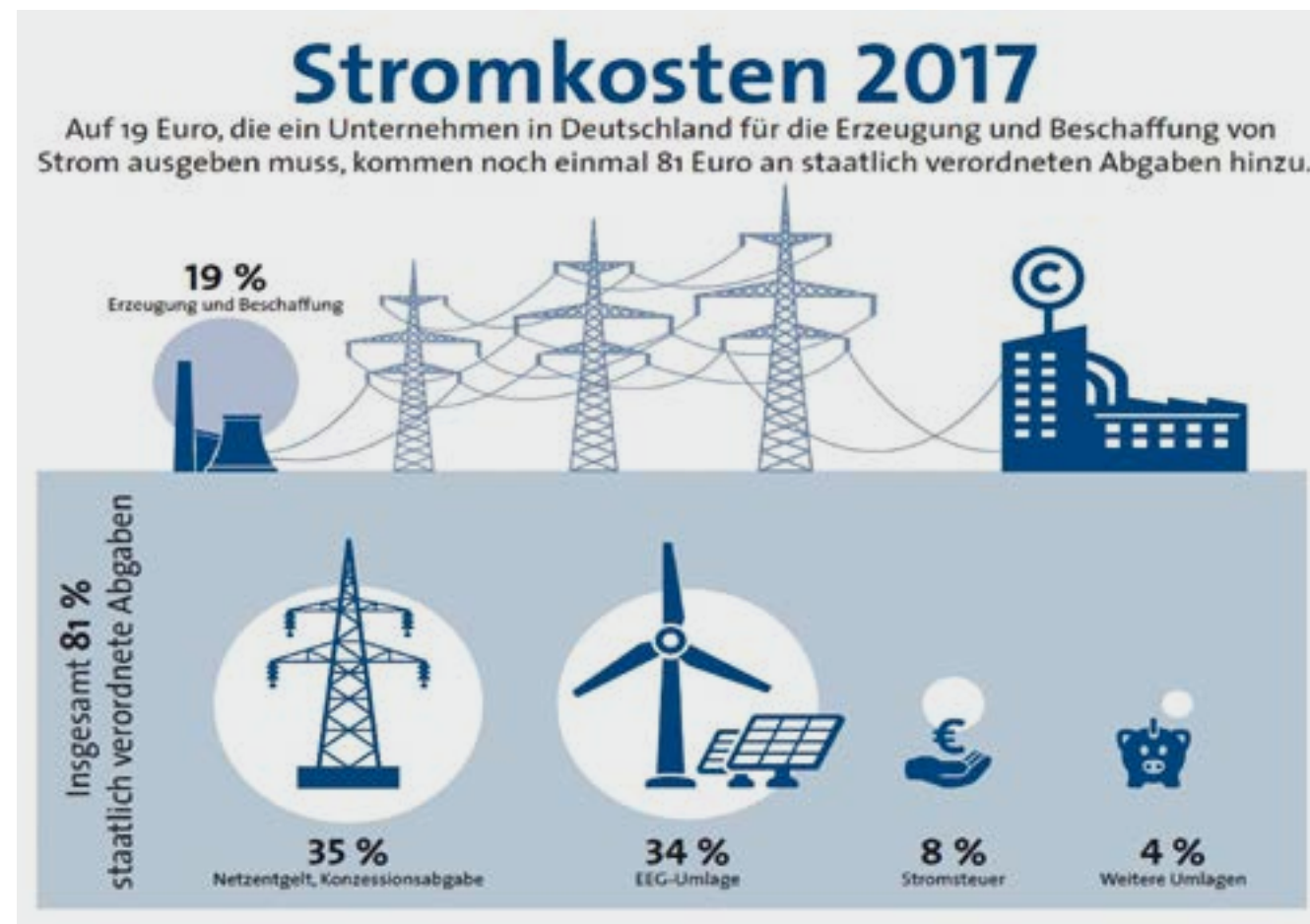
Die deutsche Energieagentur GmbH (dena) veröffentlicht seit Mai 2012 in Kooperation mit der Ernst & Young GmbH den Deutschen Energiewende-Index (DEX). Dieser spiegelt die Stimmung von Vorständen und Geschäftsführern in Bezug auf die Entwicklungen der Energiewende wider. Aktuell haben sich zwei Drittel der Kennzahlen seit der Erhebung im Herbst 2016 verschlechtert und lediglich eine hat sich verbessert. Das Erreichen von 8 aus 15 Zielen wird als unrealistisch eingeschätzt. Die Ziele CO₂-Ausstoß, Primärenergieverbrauch, Stromverbrauch, Kosten Netzeingriffe, Ausbau Transportnetze, Haushalts- und Industriestrompreise sowie EEG-Umlage werden in der Zielerreichungseinschätzung nicht erreicht.

Auch die Industrie- und Handelskammern, beziehungsweise deren Mitglieder, sehen einen hohen Informationsbedarf bezüglich des Fortschritts und der Auswirkungen der Energiewende. Die vorliegende Studie ist eine der Aktivitäten, mit der sich die IHKn dem Thema nähern. Bereits im Mai 2012 hat die IHK Schwaben mit einem vierteljährlichen Monitoring der Strom-Energiewende bei einer ausgewählten Gruppe von produzierenden Unternehmen begonnen, um die Auswirkungen der Energiewende auf die Aspekte Versorgungssicherheit und Strompreis zu verfolgen. Wie der VIK kommt auch die IHK-Umfrage zu dem Ergebnis, dass ein überwiegender Anteil der Stromausfälle kürzer als drei Minuten andauert und somit von der BNetzA im SAIDI nicht erfasst wird. In Summe stellt die Umfrage aber auch fest, dass die Kurzzeitunterbrechungen seit einem hohen Anstieg im Jahr 2015 im ersten Halbjahr 2016 wieder rückläufig sind und sich unter dem Niveau der Jahre 2012-2014 befinden. Für die häufigen Unterbrechungen im Jahr 2015 werden dabei zahlreiche Unwetter in der Region als Ursache genannt. [26]

Die IHK-Organisation hat deutschlandweit in ihrem IHK-Energiewende-Barometer ein umfassendes Monitoring bei ihren Mitgliedern durchgeführt, um die Auswirkungen der Energiewende auf die Betriebe genauer zu erfassen. Hier liegt der Fokus jedoch deutlich stärker auf der Entwicklung von Preisen und Abgaben sowie auf den Auswirkungen der Energiewende auf die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe.

Das IHK-Energiewende-Barometer kann abgerufen werden unter ihk-muenchen.de/Projekte/

Unterm Strich ist festzuhalten, dass die Versorgungsstörungen im Stromnetz sehr komplexe Formen annehmen können und derzeit sowohl qualitativ als auch quantitativ nur lückenhaft erfasst und ausgewertet werden. Klar ist aber auch, dass der Aufwand für eine vollständige Überwachung der Netze sehr hoch wäre, sodass bei der Auslegung der Netzüberwachung Aufwand und Nutzen gegeneinander abzuwägen sind.



3. Welche Erfahrungen machen die bayerischen Unternehmen?

Der Fokus des vorliegenden Leitfadens liegt auf den konkreten Herausforderungen, denen Unternehmen des produzierenden Gewerbes gegenüberstehen. Die bestehenden Problemlagen in der Versorgungsqualität wurden dementsprechend umfassend mit den Unternehmensvertretern diskutiert. Um ein umfangreiches Gesamtbild zu erhalten, wurden auch die Erfahrungen von Vertretern und Akteuren der Energiewirtschaft bei der Erstellung des Leitfadens berücksichtigt. Kernfragen waren vor allem, wie sich die Situation bei den Unternehmen nach 2012 verändert hat.

3.1 Systematik und Vorgehen der Befragung

Insgesamt konnten neun bayerische Unternehmen des produzierenden Gewerbes mit einem Jahresstromverbrauch zwischen einer GWh und mehreren hundert GWh für die Umfrage gewonnen werden. Der Median des Jahresstromverbrauchs lag bei den Teilnehmern bei 60 GWh. Die Auswahl der Unternehmen erfolgte in Zusammenarbeit mit den Bayerischen Industrie- und Handelskammern. Während sieben der befragten Unternehmen bereits an der Vorgängerstudie 2012 teilgenommen hatten, kamen zwei neue Unternehmen hinzu. Um die Thematik der Spannungsqualität auch von zweiter Seite zu beleuchten, wurden zusätzlich zwei Verteilnetzbetreiber befragt.

Für die Gespräche mit den Vertretern des produzierenden Gewerbes wurde der Fragebogen der Vorgängerstudie weiterentwickelt. Er dient aufgrund seiner Komplexität nicht für ein regelmäßiges Monitoring, sondern der einmaligen, tiefergehenden und qualitativen Erfassung im persönlichen Gespräch. Die detaillierte Datenerhebung wurde gewählt, um eine tiefgründige Ermittlung von Ursachen für mögliche Probleme zu ermöglichen. In Einzelfällen konnten Fragen aufgrund des notwendigen Detailwissens nicht oder nur unvollständig beantwortet werden. Da die Fragestellungen sowohl technische als auch wirtschaftliche Themen unterschiedlicher Verantwortungsbereiche umfassen, wurden Informationen von Personen verschiedener Funktionen im Unternehmen abgefragt.

Mit den Gesprächspartnern der Energiewirtschaft wurden auf die jeweiligen Verantwortungsbereiche abgestimmte Themen besprochen, Herausforderungen erfasst und Ideen zu Lösungsansätzen diskutiert.

Durch die offenen Gespräche konnte individuell auf die Situation in den Unternehmen reagiert werden. So war es möglich, ausgewählte Themen bei Bedarf zu vertiefen. Zum Ende der Gespräche wurden die Gesprächspartner nach ihren Wünschen an die Politik zum Thema Stromversorgung und Energiewende befragt.

Durch die Auswahl der Interviewpartner wurde die vertikale Betrachtung von Erzeugung über Vertrieb, Verteilung bis Verbrauch ermöglicht. Zusätzlich wurde die horizontale Ebene ergänzt, wodurch eine umfassende Betrachtung und eine hohe Praxisnähe sichergestellt sind. Die praktischen Einblicke wurden durch Erfahrungen erweitert, die bei Betriebsbegehungen im Rahmen von Lernenden Energieeffizienznetzwerken der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft (fE GmbH) gemacht wurden.

Durch die Auswahl der Kontakte ist gewährleistet, dass möglichst viele Beteiligte zu Wort gekommen sind und unterschiedliche Stimmen und Stimmungen gehört wurden. In dem Leitfaden sind Zitate der Gesprächspartner thematisch eingebunden, um einen unverfälschten Blick auf die Meinungen und die Situation in den Unternehmen zu geben.

3.2 Unternehmen des produzierenden Gewerbes

Insgesamt wurden neun bayerische Unternehmen des produzierenden Gewerbes befragt, um eine Gestaltung des Leitfadens mit Fokus auf die Bedürfnisse der Praxis zu gewährleisten. Mit den Unternehmensvertretern wurde jeweils ein Fragebogen bearbeitet, der als Leitfaden für ein offenes Gespräch diente. Mit dem Fragebogen wurde die Situation im Hinblick auf folgende Punkte erfasst:

- Vorsorge und ergriffene Vorkehrungen,
- Umgang mit Versorgungsstörungen,
- Daten zur Stromversorgung und zum Auftreten von Versorgungsstörungen.

Konkret wurden Zahlen und Fakten, wie der Jahresstromverbrauch oder die Häufigkeit von Versorgungsunterbrechungen, erhoben. Die Folgen von Versorgungsstörungen und mögliche Schäden wurden diskutiert und es wurde erfragt, ob die Versorgungsspannung mit einem Messsystem überwacht oder mit einem unterbrechungsfreien Stromversorgungssystem abgesichert wird. Darüber hinaus wurde zum Thema Oberschwingungen ermittelt, ob empfindliche Anlagen verwendet werden, ob Anlagen betrieben werden, die Oberschwingungen verursachen und ob Vorkehrungen zur Reduzierung von Oberschwingungen installiert sind.

Der erste Fragenblock des Fragebogens bezieht sich auf „Allgemeine Daten zur Stromversorgung“, wodurch ein Eindruck von der individuellen Ausgangslage ermittelt wurde. Der zweite und dritte Fragenblock umfasst die Vorsorge und die ergriffenen Vorkehrungen. Eine Auswahl dieser Themengebiete wird in Kapitel 4 des Leitfadens erläutert. Im vierten Fragenblock werden konkrete Mängel der Versorgungsqualität oder Versorgungsunterbrechungen betrachtet. Aus diesen Erkenntnissen wurde deutlich, worin die Herausforderungen für die Unternehmen liegen. Eine Checkliste zur Erfassung der Risiken und Handlungsempfehlungen mit Lösungsansätzen zu dieser Thematik sind in Kapitel 4 und 5 enthalten.

Aus den Gesprächen ergibt sich ein Einblick in die Situation und die Stimmung der Unternehmen, der nicht nur auf einer Einzelmeinung basiert. Dennoch ist die Umfrage aufgrund der geringen Stichprobe als nicht repräsentativ anzusehen. Wegen der Anzahl der Teilnehmer wird auf eine quantifizierende Darstellung der Ergebnisse verzichtet. Stattdessen werden Grundstimmungen und Tendenzen beschrieben.

Grundsätzlich hat sich gezeigt, dass das Thema zuverlässige Stromversorgung im Kontext der Energiewende eine große Relevanz in den Unternehmen hat und im Hinblick auf die Zukunft Sorgen bestehen.

„ Die Möglichkeit einer Dunkelflaute ohne ausreichend konventionelle Erzeugung im Hintergrund hat uns dazu bewegt, dass wir uns doppelt durch Notstromaggregate absichern.
Johannes Bock, HEINZ Glas GmbH

Die Erfahrungen einer eingeschränkten Versorgungssicherheit in der Vergangenheit konnten allerdings in keinem Fall konkret auf Zusammenhänge mit der Energiewende zurückgeführt werden.

„ Wir sehen keinen Einfluss der Energiewende auf die Versorgungszuverlässigkeit und -qualität.
Johannes Brantl, Bayernwerk AG

Die Befragung hat auch gezeigt, dass die Spannungsqualität in den unterschiedlichen Unternehmen stark variieren. In der Abfrage wurden die verschiedenen Aspekte Stromausfall (>3min), Kurzunterbrechungen (<3min), Oberschwingungen und Frequenzschwankungen abgefragt.

Während ein Unternehmen angab, dass Stromausfälle zugenommen haben, gab ein anderes an, dass die Stromausfälle abgenommen haben. Die verbleibenden Unternehmen beschreiben den Zustand als unverändert.

Hinsichtlich der Kurzunterbrechungen verschiebt sich das Bild in Richtung einer Zunahme kurzzeitiger Spannungseinbrüche, wobei der Mehrzahl der befragten Unternehmen den Zustand weiterhin als unverändert ansieht. Gleiches gilt auch für die Aspekte Oberschwingungen und Frequenzschwankungen.

„ Gemessene Unterspannungen nehmen an unserem Standort in den letzten Jahren in der Häufigkeit dramatisch zu.
Markus Fuchshuber, Franz Anton Niedermayr Graphische Kunstanstalt GmbH & Co. KG

„ Die Versorgungssicherheit und -qualität an unserem Standort ist unverändert gut.
Dr. Claus Heubeck, Diehl Metall Stiftung & Co. KG

„ Die Güte der Versorgungsqualität wird von uns regelmäßig kontrolliert. Über die letzten Jahre war diese stets deutlich innerhalb der Normen und auf einem guten Niveau.
Johannes Brantl, Bayernwerk AG

In fast allen Unternehmen gibt es kleine, dezentrale unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) zur Absicherung der essenziellen Geräte, die teilweise gesetzlich vorgeschrieben sind. Dazu zählen Telefonsysteme, Notbeleuchtung, Brandschutzanlagen, Zugangskontrollen, Server und Rechenzentren. Die meisten dieser Systeme können eine Versorgungsunterbrechung von mindestens 15 Minuten bis zu einer Stunde überbrücken. Teilweise werden zusätzlich Prozessleitsysteme und die Steuerungselektronik von Anlagen abgesichert. Zentrale Systeme werden nur selten verwendet.

„ Eine gute Lösung zur Vermeidung von Problemen ist die Pufferung von Steuerungen, Kommunikations- und IT-Systemen. Empfindliche Anlagen mit hohen Leistungen können jedoch nur mit hohem Aufwand gepuffert werden, weshalb eine Absicherung dieser Anlagen gegen kurzzeitige Spannungseinbrüche kaum Anwendung findet.
Johannes Brantl, Bayernwerk AG

„ Eine USV, basierend auf Bleiakkus, die nur eine unsere Druckmaschinen absichern kann, erzeugt Stromverluste, die Mehrkosten in der Strombeschaffung von über 50.000 Euro/Jahr bedingen.
Markus Fuchshuber, Franz Anton Niedermayr Graphische Kunstanstalt GmbH & Co. KG

Gegenüber der Umfrage aus dem Jahr 2012 fällt auf, dass fast alle Unternehmen in der Zwischenzeit ein System zur laufenden Überwachung der Versorgungsqualität nutzen. Dies war zuvor bei einigen wenigen Unternehmen der Fall. Die Geräte ermöglichen es auch, Probleme in der Versorgungsqualität durch Oberschwingungen und Spannungsschwankungen zu erkennen. Die Messungen reichen jedoch nicht aus, um die Herkunft mangelhafter Spannungsqualität zu registrieren oder um eindeutig festzustellen, ob die Probleme aus dem eigenen Netz oder dem Netz der allgemeinen Versorgung stammen.

„ Wir können keine Aussage darüber treffen, wie gut die Spannungsqualität am Netzübergangspunkt ist, da die hierfür benötigten Messeinrichtungen fehlen.
Johannes Bock, HEINZ Glas GmbH

Die überwiegende Mehrheit der beteiligten Unternehmen besitzen sowohl Anlagen, die empfindlich auf Oberschwingungen reagieren als auch solche, die Oberschwingungen verursachen. In allen Unternehmen werden Filter zur Reduzierung von Oberschwingungen verwendet. Auswirkungen von Oberschwingungen werden nur in den seltensten Fällen wahrgenommen.

„ Wir verwenden an unseren Standorten Drosseln und Kondensatoren. Dies bewirkt einerseits, dass wir die Grenzen des $\cos(\Phi)$ am Übergangspunkt zum Netzbetreiber einhalten können und andererseits, dass Oberschwingungen aus dem Signal gefiltert werden.
Johannes Bock, HEINZ Glas GmbH

Die Mehrheit der Teilnehmer betreibt bereits Lastmanagement zur Reduzierung der Spitzenlast, um Netzentgelte zu reduzieren. Teilweise werden hohe Lasten in Niedriglastbereiche geschoben. In einem Fall wird sogar die vorübergehende Unterbrechung von Prozessen genutzt, um neue Lastspitzen zu vermeiden. Eine Verschiebung der Produktion zur Nutzung niedriger Strompreise wird in einem Fall beim Auftreten entsprechender Preise in Erwägung gezogen.

In den Gesprächen wurde deutlich, in welchen Bereichen sich Herausforderungen darstellen und an welcher Stelle Veränderungen gewünscht werden. Die folgenden Herausforderungen und mögliche Lösungsansätze wurden aus den Erkenntnissen der Gespräche gewonnen. Entweder wurden die Aspekte direkt durch die beteiligten Akteure ausgesprochen oder sie konnten aus den Herausforderungen und Wünschen abgeleitet werden.

Eingeschränkte Versorgungssicherheit

Die Mehrzahl der beteiligten Unternehmen berichtete, dass die größten Störfaktoren der Stromversorgung Kurzunterbrechungen und Spannungseinbrüche seien. Als vermutete Ursachen dafür wurden oft Wetterextrema – wie Sturm oder Blitzeinschläge – genannt. Es ist anzumerken, dass die Ursachen für Störungen nicht von allen Unternehmen angegeben werden können, da die Messung der Versorgungsqualität keine Rückschlüsse auf die tatsächliche Ursache zulassen.

„ In den Jahren 2013/14 hatten wir über 14 Monate mehr als 10 identifizierte Ausfälle, die wir auf mangelnde Versorgungsqualität zurückführen. Seitdem hat sich die Situation jedoch verbessert.
Herbert Klein, Agfa-Gevaert HealthCare GmbH

„ Im Jahr 2016 verzeichneten wir eine höhere Anzahl kurzzeitiger Spannungseinbrüche in den 110 kV-Netzen als in anderen Jahren. Wir vermuten, dass eine Vielzahl der Spannungsschwankungen auf Großvogelkot zurückzuführen ist, jedoch kann auch eine Anhäufung von Blitzeinschlägen einen großen Einfluss auf Spannungsschwankungen haben. Daraus ergeben sich regional teilweise große Unterschiede bei den Spannungseinbrüchen.
Johannes Brantl, Bayernwerk AG

Die Versorgungsstörungen führen teilweise zum Ausfall von Anlagen, wobei die Prozesse in einigen Fällen umgehend wieder neu gestartet werden können. In anderen Fällen kann die Wieder-Inbetriebnahme jedoch bis zu mehreren Stunden dauern. Selten wurde berichtet, dass es in Folge einer Kurzunterbrechung zu einem Defekt von Bauteilen gekommen ist, sodass Ersatzteile beschafft werden mussten. Hierdurch kann es zu länger andauernden Stillständen kommen.

„ Im Jahr 2016 hatten wir aufgrund von Unterspannungen fünf Maschinenstillstände, die jeweils einen Betriebsausfall in der Länge von 2 bis 15 Stunden bedingt haben.
Markus Fuchshuber, Franz Anton Niedermayr Graphische Kunstanstalt GmbH & Co. KG

„ Selbst ein Stillstand von 1 Minute bewirkt bei uns einen Produktionsausfall von etwa einer Stunde.
Johannes Bock, HEINZ Glas GmbH

„ Die Dauer für eine Wiederaufnahme des Betriebs nach einer Kurzunterbrechung reicht in unserem Betrieb von wenigen Minuten bis zu längeren Zeiträumen.
Thomas Kufner, Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG

„ Aufgrund der Beeinflussung der Produktion durch Probleme der Versorgungsqualität haben wir in ein intensiveres Monitoring nach den verschiedenen Prozessschritten investiert. In unseren vollautomatischen Prozessen können wir nur so verhindern, dass schadhafte Produkte weiterverarbeitet werden.
Herbert Klein, Agfa-Gevaert HealthCare GmbH

Neben den Stillstandszeiten der Anlagen, die durch kurze Unterbrechungen verursacht werden, können in automatisierten Prozessen Schäden an den Produkten auftreten. Falls einzelne Prozesse der Reihenfolge nicht korrekt durchgeführt werden und diese nicht erkannt werden, können neben schadhafte Endprodukten mit niedrigen Toleranzen, ebenfalls Schäden an Maschinen im nachfolgenden Produktionsprozess entstehen.

Längere Unterbrechungen der Versorgungsspannung treten selten auf und sind auf außerordentliche Ereignisse zurückzuführen. Zu solchen Begebenheiten zählen zum Beispiel ein Transformatorenbrand oder die Beschädigung einer Hochspannungsleitung durch einen Blitzeinschlag. Bei besonders sensiblen Prozessen führen jedoch bereits Spannungsschwankungen innerhalb der eingeräumten Toleranzen zu Problemen.

Im Kapitel „Welche Risiken gilt es zu vermeiden?“ werden dazu Lösungsansätze erläutert.

Monitoring der Versorgungssicherheit und der Energiewende

Es hat sich gezeigt, dass diejenigen Störungen, von denen die Unternehmen am stärksten betroffen sind, im Monitoring der Bundesnetzagentur nicht erfasst werden. Die Versorgungsunterbrechungen größer drei Minuten, die im Rahmen des Monitorings der Bundesnetzagentur Berücksichtigung finden, treten bei den befragten Unternehmen nur so selten auf, dass diese aktuell noch keinen Handlungsbedarf auslösen.

Von einigen Gesprächspartnern wurde angeregt, das Monitoring auszuweiten, um die tatsächliche Situation detailliert zu erfassen, damit zukünftige Entwicklungen deutlich und transparent dargestellt werden.

Störanfälligkeit der Steuerungselektronik von Anlagen

Einige Unternehmen berichteten von einer Zunahme der Störungen des Betriebsablaufes und führten dies ursprünglich auf eine Zunahme von Versorgungsstörungen zurück. Bei genauerer Betrachtung zeigte sich, dass neue Anlagen tendenziell häufiger betroffen sind als ältere und die Ursache wohl eher in der zunehmenden Empfindlichkeit der Steuerungselektronik von Anlagen liegt.

„ Wir sehen momentan zwei Entwicklungen, die sich konträr gegenüberstehen. Einerseits wird die Spannungsqualität schlechter, bedingt durch nichtlineare Verbraucher, wie beispielsweise Umrichter. Auf der anderen Seite werden neue Geräte immer sensibler gegenüber Abweichungen von der perfekten Sinuswelle.
Walter Huber, Stadtwerke Bad Tölz GmbH

Bereits in den Umfragen 2012 erklärten viele beteiligte Unternehmen, dass die Anlagen früher robuster waren und sehen eine steigende Sensibilität gegenüber einer mangelhaften Versorgungsqualität. Die höhere Sensibilität wird durch den größeren Leistungsumfang und die höhere Komplexität begründet. Dadurch würden die Ansprüche an die Versorgungsqualität erhöht.

„ Wir stellen fest, dass Anlagen bei Kunden immer empfindlicher gegenüber kurzzeitigen Spannungseinbrüchen werden. Verbaute Anlagen halten die Empfehlungen des FNN zur Störfestigkeit oftmals nicht ein. Seitens Netzbetreiber wird dringend empfohlen, dass von den Anlagen Spannungseinbrüche bis zu einer Dauer von mindestens 100 Millisekunden beherrscht werden können. In Realität erfolgt dies jedoch nur bei wesentlich kürzeren Zeiten.
Johannes Brantl, Bayernwerk

Zur Vermeidung dieser Störungen könne darauf geachtet werden, dass robuste Anlagen verwendet werden und dass die Anlagen nicht über den Anforderungen der Produktion liegen. So könne vermieden werden, dass nichtgenutzte Funktionen zu Störungen führen.

„ Unsere Anlagen sind mittlerweile nicht mehr so anfällig für Kurzunterbrechungen wie vor fünf Jahren. Wir haben von einem Spezialisten Untersuchungen der Herkunft von Kurzunterbrechungen durchführen lassen. Im Anschluss haben wir empfindliche Steuerungen mit USV abgesichert und die Verkabelung im Werk verändert, um interne Fehlerquellen ausschließen zu können. Hierbei wurde der PEN-Leiter, der gleichermaßen als Erd- und Neutralleiter verwendet wird, durch zwei getrennte Erd- und Neutralleiter ersetzt.

[Gerhard Bauer, TVU Textilveredlungsunion GmbH & Co.](#)

„ Kunden sollten sich bereits bei der Beschaffung von Anlagen absichern, dass diese den FNN-Richtlinien zur Störfestigkeit entsprechen. Ein Gespräch mit den Herstellern ist hierbei auf jeden Fall empfehlenswert.

[Johannes Brantl, Bayernwerk](#)

Im Kapitel „Welche Risiken gilt es zu vermeiden?“ werden hierzu Lösungsansätze erläutert.

3.3 Unternehmen der Energiewirtschaft und weitere Akteure

Neben der Darstellung der Problematik und möglichen Gegenmaßnahmen ist es auch wichtig, einen möglichen Ursprung und die Entwicklung in der Zukunft zu betrachten. Dazu wurden Gespräche mit Vertretern von einem Verteilnetzbetreiber, einem Stadtwerk und einem Industriedienstleister mit Eigenerzeugung geführt. In den Gesprächen wurden grundsätzliche Fragen zur erwarteten Entwicklung der Versorgungssicherheit und mögliche Beiträge der Unternehmen des produzierenden Gewerbes zur Gewährleistung eines erfolgreichen Gelingens der Energiewende diskutiert. Außerdem wurden sinnvolle Maßnahmen zur Absicherung gegen Versorgungsstörungen des produzierenden Gewerbes besprochen. Weitere Fragen orientierten sich am Geschäftsbereich der Unternehmen und deren Herausforderungen. Von Unternehmen des produzierenden Gewerbes hervorgebrachte Themen wurden besprochen und von einem anderen Blickwinkel betrachtet. Die Gesprächspartner wurden ebenfalls nach den aus ihrer Sicht dringendsten Handlungsfeldern und ihren Wünschen an die Politik befragt.

Aus den Gesprächen mit den Unternehmen der Energiewirtschaft und den weiteren Akteuren ergibt sich ein ergänzender Einblick in die Situation und die Herausforderungen der unterschiedlichen Tätigkeitsbereiche. Teilweise basieren die gewonnenen Erkenntnisse auf Einzelmeinungen. Aufgrund der Anzahl der Teilnehmer wird erneut auf eine quantifizierende Darstellung der Ergebnisse verzichtet. Stattdessen werden wie zuvor Grundstimmungen und Tendenzen beschrieben.

Es wurde deutlich, in welchen Themen sich Herausforderungen darstellen und an welcher Stelle Veränderungen gewünscht werden. Die folgenden Herausforderungen und mögliche Lösungsansätze wurden aus den Erkenntnissen der Gespräche gewonnen. Sie wurden entweder direkt durch die beteiligten Akteure ausgesprochen oder konnten aus deren Herausforderungen und Wünschen abgeleitet werden.

Gewährleistung der Versorgungsqualität und -sicherheit

Die größte Herausforderung durch die Umgestaltung des Energiesystems sehen die befragten Teilnehmer bei der Entwicklung des Blindleistungsbedarfs in den Netzen. Die zusätzliche Verkabelung führt zu einem wachsenden Blindleistungsbedarf auch in den Verteilnetzen.

„ Die zunehmende Erdverkabelung führt in Verteilnetzen zu einem erhöhten Blindleistungsbedarf. Der Blindleistungsbedarf, der durch erdverkabelte Leitungen hervorgerufen wird, ist in etwa doppelt so groß wie der von Freileitungen.

[Walter Huber, Stadtwerke Bad Tölz GmbH](#)

Bisher konnten die Verteilnetze stets mit einem konstanten Phasenwinkel betrieben werden, die Blindleistungsregelung wurde fast ausschließlich auf Übertragungsnetzebene gesteuert. Hier haben Großkraftwerke die Bereitstellung übernommen. Durch deren Wegfall und durch die Anbindung der meisten dezentralen Erzeuger im Mittel- und Niederspannungsnetz ergibt sich einerseits eine veränderte Betriebsweise in den unteren Netzebenen und die Möglichkeit der ÜNB, den Bedarf zu decken.

„ Aktuell stellt vor allem das Blindleistungsmanagement eine wichtige Aufgabe dar, die auch zukünftig in Verteilnetzen eine zunehmende Rolle spielt. Vor allem die zunehmende Erdverkabelung und der Wegfall von Großkraftwerken erfordern zusätzliche Kompensationsmöglichkeiten.

[Johannes Brantl, Bayernwerk AG](#)

Es wird davon ausgegangen, dass Blindleistung auch in Zukunft von den Verteilnetzen angefordert wird. Hierbei könnten auch Unternehmen eine Rolle spielen, wenn sie die Möglichkeit haben, ihren Blindleistungsbedarf flexibel zu regeln. Durch die Bereitstellung von Blindleistung aus den Verteilnetzen ergibt sich jedoch für diese eine kompliziertere Netzsteuerung, da eine Veränderung im Blindleistungsbezug oder der Bereitstellung, wie für die Wirkleistung eine Veränderung der Netzspannung mit sich bringt. Neben der Blindleistung ist auch noch die Qualität des Sinus-Signals der Spannung ein wichtiger Punkt, der bereits erwähnt wurde. Aktive Elemente wie Umrichter können nur mit großem Aufwand eine reine Sinuskurve liefern. Man wird sich in Zukunft die Frage stellen müssen, wie diese Störsignale gefiltert werden können und welche Auswirkungen sie auf den Betrieb von Netzen und Anlagen haben werden.

Blindleistung

Blindleistung ist ein Bestandteil der Scheinleistung und tritt in Drehstromsystemen auf. Sie kann nicht in mechanische Arbeit umgewandelt werden und wird zum Aufbau der magnetischen Felder eines induktiven Verbrauchers oder der elektrischen Felder eines kapazitiven Verbrauchers benötigt. Blindleistung belegt Übertragungskapazitäten im Stromnetz und ist deshalb im Regelfall seitens der Verbraucher möglichst gering zu halten.

Eine weitere wichtige Frage ist, wie in Zukunft die Leistungsfähigkeit der Netze nach einem Blackout wiederhergestellt werden kann. Derzeit würde ein Schwarzstart der Netze entweder durch eine schrittweise Wiederherstellung durch noch unter Spannung stehende Nachbarnetze gewährleistet, oder durch einen kompletten Neustart, bei dem einzelne Inselnetze autark betrieben und nacheinander wieder zusammengeschaltet werden.

„ Die Frage nach einem möglichen Netzwiederaufbau auch aus den Verteilnetzen stellt eine Herausforderung dar, die in Zukunft eine wichtige Rolle spielen wird. Die zunehmende Anzahl von Eingriffen im Netz des ÜNB kann eine steigende Wahrscheinlichkeit für einen Blackout bedeuten. Wenn sich einzelne Regionen, wie beispielsweise Regensburg, durch den Einsatz verschiedenster Erzeugungsanlagen im Inselbetrieb befinden, kann dies in Zukunft helfen, den Netzbetrieb wiederherstellen zu können.

[Johannes Brantl, Bayernwerk AG](#)

„ Wir erwarten in Zukunft ein häufigeres Eingreifen der Übertragungsnetzbetreiber auf der Höchstspannungsebene aufgrund kritischer Netzzustände.

[Walter Huber, Stadtwerke Bad Tölz GmbH](#)

In beiden Fällen stellt sich die Frage, wie dezentrale Erzeugungsanlagen geregelt werden können, um eine schrittweise Wiederherstellung zu garantieren. Möglichkeiten wären beispielsweise die Ausregelung durch Speicher an verschiedenen Stellen im Netz oder die komplette Steuerung der dezentralen Erzeuger auf eine bestimmte Leistung. In der Forschungsinitiative Stromnetze der Bundesregierung nimmt sich beispielsweise das Projekt „LINDA- Netzwiederaufbau mit Erneuerbaren Energien“ dieser Problematik an.

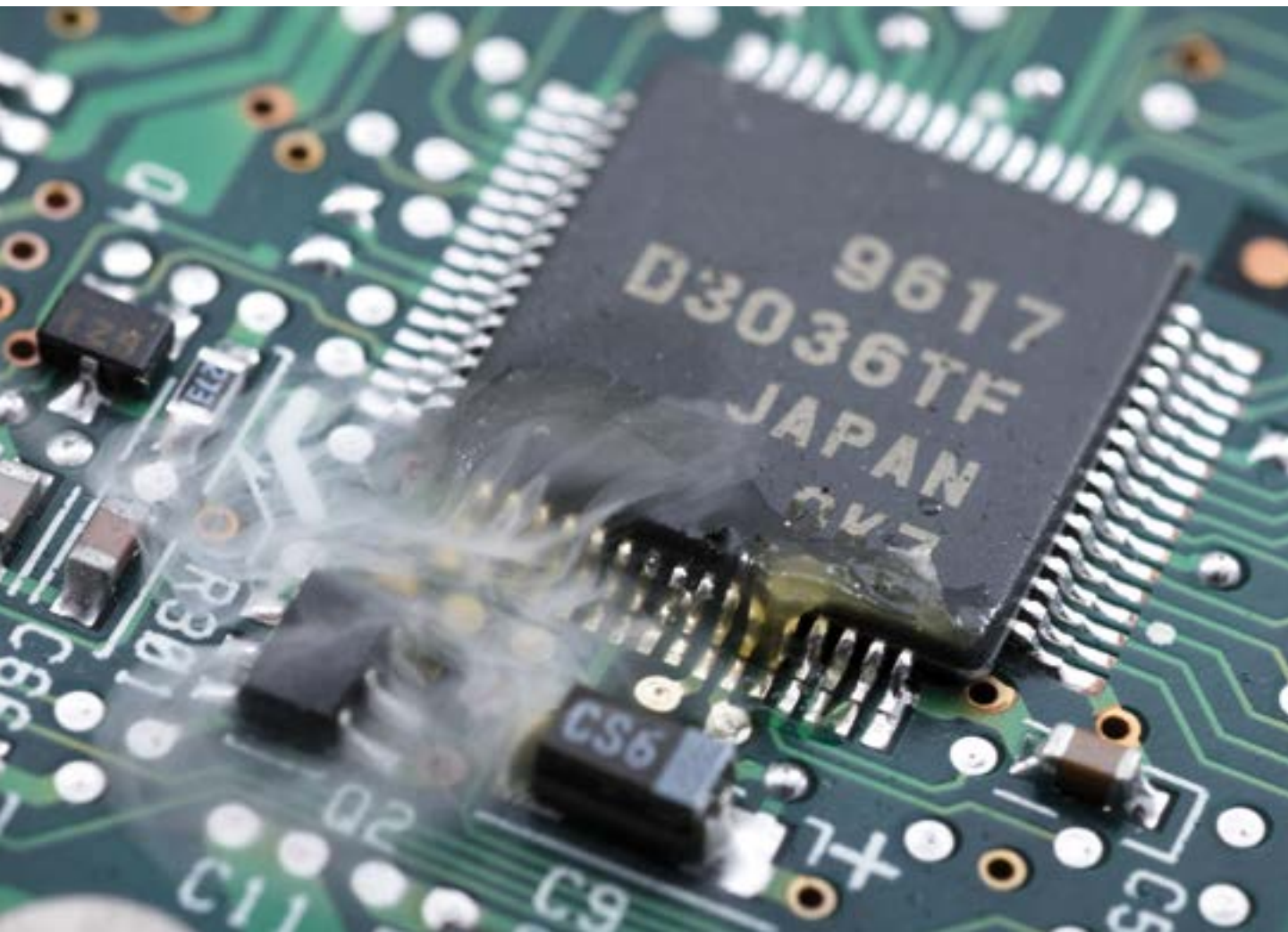
„ Eine Frage, die uns beschäftigt ist, welche Rolle Speicher im zukünftigen Energiesystem spielen. Was sind die Anforderungen aus Systemsicht, und wie können Speicher im Planungskontext geeignet berücksichtigt werden? Falls beispielsweise eine große Anzahl von Speichern zentral durch Dritte gesteuert wird und eine zeitgleiche Schaltung der Speicher geschieht, können sich dadurch im Verteilnetz Probleme ergeben.

Johannes Brantl, Bayernwerk AG

Beim Aspekt Versorgungssicherheit spielt außerdem die Frage nach dem Umgang mit neuen Verbrauchern wie Hausspeichersystemen oder Elektrofahrzeugen eine wichtige Rolle. Wie können diese Akteure in Zukunft in das System integriert werden, ohne dass deren Regelung eine unvorhersehbare Belastung der Netze darstellt? Problematisch ist hierbei vor allem ein gleichzeitiges Schalten, das einen nur schwer prognostizierbaren Leistungsbedarf bedeuten kann. Eine ähnliche Problematik ergibt sich, wenn netzdienliche Maßnahmen für das Übertragungsnetz im Verteilnetz angefordert werden. Hierbei kann es zu Problemen in den Verteilnetzen kommen. Eine sich ändernde Lastsituation, die zuvor vom Verteilnetzbetreiber nicht antizipiert werden konnte, hat immer einen Auswirkung auf dessen Netzbetrieb. In Fällen, die den Verteilnetzbetreiber vor Probleme stellt, ist deshalb eine enge Abstimmungskaskade zwischen den Netzebenen sinnvoll.

Volatilität der gesetzlichen Maßnahmen und gesteigerter Verwaltungsaufwand

Die Netzbetreiber und Stadtwerke sehen vor allem Probleme durch sich unvorhersehbar ändernde Gesetzgebungen und einen erhöhten Verwaltungsaufwand durch politische Maßnahmen. Als Beispiel für sich schnell ändernde Rahmenbedingungen wurde die Entwicklung der Windenergie in Bayern genannt. Durch Unsicherheiten für die Entwicklung in der Zukunft entsteht ein erhöhter Planungsbedarf für die Auslegung der Netze für die zukünftigen Herausforderungen.



4. Welche Risiken gilt es zu vermeiden?

Erfahrungen der an dieser Studie beteiligten Unternehmen zeigen, dass kurze Versorgungsunterbrechungen oder Spannungseinbrüche bereits zu Ausfällen von Anlagen führen können und zum Teil Stillstände verursachen. Die Wiederherstellungszeit des normalen Betriebsablaufes reicht von wenigen Minuten bis zu einigen Tagen. Teilweise werden Steuerungseinrichtungen von Maschinen beschädigt und müssen ersetzt werden, sodass sich durch die Wiederbeschaffungszeit ein Stillstand einzelner Anlagen von mehreren Tagen ergeben kann. Auch Schäden an Werkstücken können auftreten, wenn Prozesse unterbrochen oder gestört werden.

„ Kurzunterbrechungen haben dazu geführt, dass Komponenten unserer Druckmaschinen zerstört wurden.

Markus Fuchshuber, Franz Anton Niedermayr Graphische Kunstanstalt GmbH & Co. KG

Praxisbeispiel

Bei einem beteiligten Unternehmen sind während des Produktionsprozesses die Ventilatoren zur Kühlung eines Substratbehälters ausgefallen. Durch das austretende erhitzte Substrat ist an Anlage und Gebäude ein erheblicher Schaden im sechsstelligen Bereich entstanden.

Abhängig von der Betriebsweise des Stromnetzes kann es häufiger zu kurzen Versorgungsunterbrechungen oder Spannungseinbrüchen kommen. In diesem Kapitel werden Maßnahmen zur Vermeidung von Störungen beschrieben. In Anbetracht der Kosten zur Sicherstellung einer perfekten Stromversorgung ist für jeden Anwendungsfall getrennt eine Risikoanalyse durchzuführen. Je höher ein möglicher Schaden und je häufiger ein Schadensereignis auftritt, desto mehr Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden sind sinnvoll. Je umfassender ein Schutz ausgeführt wird, desto teurer wird er. So ist häufig nur der Schutz von kritischen Prozessen oder einzelnen Anlagensteuerungen wirtschaftlich sinnvoll.

Welche Versorgungsmängel zu welchen Störungen führen und welche Maßnahmen zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit ergriffen werden können, wird im Folgenden beschrieben.

4.1 Eingeschränkte Versorgungsqualität und Kurzunterbrechungen

Am häufigsten treten in Stromnetzen kurzfristige Abweichungen von den Normalbedingungen – mit einer Dauer von unter einer Sekunde – auf, welche als eingeschränkte Versorgungsqualität bezeichnet werden. Diese Art der Störungen wurde auch von einer Mehrzahl der befragten Unternehmen als häufigste Ursache für Mängel genannt. Viele Verbraucher, wie zum Beispiel Motoren oder Leuchtstofflampen, tolerieren eine eingeschränkte Versorgungsqualität, wobei die auftretenden Schwankungen in Drehmoment oder Helligkeit mitunter die Produktionsqualität beeinflussen können. Bei empfindlichen Anlagen können bereits diese kurzfristigen Abweichungen zu einem Stillstand führen. Die kurzfristigen Abweichungen beinhalten transiente Überspannungen, Spannungsüberhöhungen, Spannungseinbrüche, das Fehlen von Halbwellen und Netzfrequenzabweichungen.

Die individuelle Empfindlichkeit der Anlagen sollte bestimmt werden, da möglicherweise auch bei Störungen durch eingeschränkte Versorgungsqualität die Installation von USV-Systemen Abhilfe schaffen kann. Eine Absicherung der Steuerungselektronik findet in den meisten Fällen statt. Jedoch ist eine Absicherung des kompletten Produktionsprozess meist mit sehr hohen Kosten verbunden und nicht immer notwendig.

„ Wir verwenden an einem unserer Standorte eine dynamische USV, die aus einer Schwungmasse und einem Dieselgenerator besteht. Sie erlaubt uns sowohl kurzzeitige, als auch lang andauernde Spannungseinbrüche zu überbrücken.

Johannes Bock, HEINZ Glas GmbH

Folgen und Schäden

Aus Blitzschlägen resultierende transiente Überspannungen können zur Zerstörung von Betriebsmitteln (Transformatoren, Kabel, Produktionsanlagen) durch die überhöhte Spannung, den dadurch getriebenen Strom oder die dabei entstehenden Kräfte führen.

Spannungsüberhöhungen und Spannungseinbrüche sowie fehlende Halbwellen führen zu kurzfristigen Leistungsschwankungen der Anlagen. Da die Leistung bei unregelmäßigem Verbrauchern (ohne Frequenzumrichter) quadratisch zur Spannung variiert, kann die Produktqualität verändert oder die Lebensdauer der Anlagen verkürzt werden. Periodisch auftretende Spannungsschwankungen können zu Leistungspendelungen und Schwingungen in Anlagen führen. Ebenso kann ein Versagen der Steuerungselektronik auftreten, was unter Umständen zu Fehlfunktionen oder Ausfällen von Anlagen führt. So kann zum Beispiel die Steuerung auf definierte Ausgangswerte zurückgesetzt werden (Reset) und ein erneutes Anfahren der Anlage zu Problemen führen.



Durch Kurzunterbrechungen sind die Steuerungen von Anlagen ausgefallen. Je nach Fall kann dies auch den Speicher der Anlage betreffen, sodass die Software neu eingespielt werden muss.
Thomas Küfner, Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG

Netzfrequenzabweichungen führen nur bei Anlagen, welche die Netzfrequenz als Zeitgeber nutzen (zum Beispiel netzgeführte Photovoltaik-Umrichter, alte Synchronuhren, alte Funksender), zu merklichen Abweichungen. Bei Asynchron- und Synchronmotoren ändert sich die Drehzahl ebenfalls mit der Netzfrequenz. Da nur sehr geringe Abweichungen auftreten können und keine schnellen Änderungen stattfinden, sind in der deutschen Industrie jedoch keine Schäden oder Probleme durch Frequenzabweichungen bekannt.

Maßnahmen gegen eingeschränkte Versorgungsqualität

Zunächst sollte überprüft werden, ob die Anlagen auf die Normalbedingungen der eingehenden Versorgungsqualität ausgelegt sind und Spannungseinbrüche beherrschen (DIN EN 50 160 und DIN EN 61 000 4). In den Richtlinien des FNN zur Störfestigkeit [20] sind Kenngrößen beschrieben, die einen weitgehend störungsfreien Betrieb der Anlagen zulassen. Auch durch die Optimierung der Steuerungseinrichtungen können Erfolge im Hinblick auf die Störanfälligkeit der Anlagen erzielt werden. Um die Ursachen von Störungen aufzudecken, kann es sinnvoll sein, eine Messung der Versorgungsqualität vorzunehmen. Darauf aufbauend können dann geeignete Maßnahmen bestimmt werden. Der zuständige Netzbetreiber kann grundsätzlich bei der Ursachenfindung helfen und Lösungsvorschläge unterbreiten.



Wir empfehlen Unternehmen, ihr hausinternes Netz gegen mögliche Störungen abzusichern. Möglich ist das durch unabhängige Stromversorgungen beispielsweise für Computer- und Telefonanlagen oder für die Steuerungselektronik. Regelmäßige Wartungen auf Funktionalität können Probleme schon im Vorfeld identifizieren. Zudem ist es wichtig, auf die Maschinenverkabelung zu achten. Empfindliche Verbraucher und Anlagen, die ihrerseits Störungen verursachen können, sollten auf jeden Fall auf unterschiedlichen Stromkreisen liegen.
Walter Huber, Stadtwerke Bad Tölz GmbH

Bei neuen Anlagen sollte in der Ausschreibung die Forderung nach sicherem Abfahren bei Spannungsabfall enthalten sein; die Steuerung sollte eine Sekunde Stromausfall ohne Ausfall überstehen. Transiente Überspannungen und starke Spannungsüberhöhungen können durch Überspannungsableiter unschädlich gemacht werden. Diese bestehen häufig aus mehreren Komponenten, um sowohl kleine Überspannungen schnell und präzise aufnehmen als auch energiereiche Spannungsspitzen zerstörungsfrei ableiten zu können.

Hilfreiche Maßnahmen gegen Überspannungen sind:

- Hornableiter am Transformator, an welchen sich bei sehr hohen Spannungen ein Lichtbogen bildet, der die Energie gegen Erde ableitet. Dieser Kurzschluss führt jedoch zu einer Spannungsunterbrechung während der Ableitung.
- Varistoren, spannungsabhängige Widerstände, die bei Überschreiten einer definierten Spannung stark leitend werden und damit den Spannungsanstieg begrenzen. Sie sind deutlich schneller und reduzieren die Spannung nur auf einen maximalen Wert, dafür sind sie aber auch teurer und empfindlicher.
- Suppressordioden oder Gasableiter an elektrischen Schaltungen. Sie können jedoch nur geringe Energiemengen aufnehmen und müssen gegebenenfalls nach einem Einsatz ausgetauscht werden.
- Staffelschutz. Am Werkstransformator werden die größten Überspannungen aufgenommen, in Unterverteilungen mit empfindlichen Anlagen werden kleinere Störungen präziser abgefangen und in empfindlichen Schaltkreisen die restlichen kleinen Störungen unterbunden.

Der Schutz gegen transiente Überspannungen ist nicht mit einem Blitzschutz zu verwechseln. Blitzschutzanlagen leiten direkte Blitzentladungen ab und reduzieren damit die direkt auftretenden Schäden. Dennoch können transiente Überspannungen in Strom- oder Datenleitungen bei einem von einer Blitzschutzanlage abgeleiteten Blitzeinschlag auftreten.

Frequenzumrichter

Zum Schutz gegen geringe Spannungsüberhöhungen und kurzfristige Spannungseinbrüche können Frequenzumrichter (FU) genutzt werden. Frequenzumrichter erzeugen eine in Amplitude und Frequenz veränderbare Wechselspannung, die aus einem Gleichstromzwischenkreis gespeist wird. Der Gleichstromzwischenkreis wird mit geregelter Leistungselektronik vom Stromnetz gespeist, wodurch höhere Netzspannungen keinen Einfluss haben. Kurze Spannungseinbrüche oder fehlende Halbwellen können über den Gleichstromzwischenkreis gepuffert werden.

Netzfrequenzabweichungen können außerdem durch Umrichter – zum Beispiel für Zentrifugen – ausgeglichen werden. Frequenzumrichter ermöglichen auch einen Sanftanlauf von Motoren. Dadurch verringern sich die Einschaltströme und damit auch die Spannungseinbrüche/Flicker beim Einschalten großer Verbraucher auf dem Werksgelände. Zudem haben sie den Vorteil, dass durch die einstellbare Frequenz eine Drehzahl- und damit eine Leistungsänderung von Pumpen oder Gebläsen möglich ist. Dies ermöglicht eine Anpassung an das tatsächlich benötigte Fördervolumen und trägt damit zur Energieeinsparung bei.

Drosseln und Kondensatoren

Die Induktivitäts- und Kapazitätsbeläge von Stromleitungen sowie Induktivitäten im Betrieb (Asynchronmotoren, konventionelle Vorschaltgeräte) generieren Blindleistung, die zu Spannungserhöhungen führen kann. Eine Messgröße für das Verhältnis von Wirk- und Blindleistung ist $\cos(\Phi)$. Durch Kompensation (zum Beispiel Einsatz von Kondensatoren bei Induktivitäten) kann die Spannungserhöhung reduziert werden. In manchen Fällen ist auch eine Spannungserhöhung erwünscht. In Industriebetrieben sind häufig dreistufig schaltbare Blindstromkompensationen mit Kondensatoren anzutreffen. Bei Energieübertragungsnetzen gibt es auch feiner dosierbare Kompensationsanlagen, bei denen Spulen beziehungsweise Kondensatoren mit Leistungselektronik gesteuert stufenlos zuschaltbar sind (Flexible-AC-Transmission, Static Synchronous Compensator).

$\cos(\Phi)$

Die Messgröße $\cos(\Phi)$ resultiert aus der Phasenverschiebung von Strom und Spannung. Im Regelfall wird von einem Energieversorgungsunternehmen ein $\cos(\Phi)$ von mindestens 0,9 gefordert. Unterschreitet der $\cos(\Phi)$ diesen Wert, ist zusätzlich ein Entgelt für die bezogene Blindleistung zu entrichten.

Für Verteilnetze wird diskutiert, inwiefern es wirtschaftlich ist, wenn zum Beispiel Photovoltaik-Umrichter durch zusätzliche Generierung von Blindleistung die von ihnen generierte Spannungserhöhung kompensieren können.

Filter

Mit dem verstärkten Aufkommen von Leistungselektronik (zum Beispiel Frequenzumrichter) mit aktiven und passiven Bauteilen kommt es zu Störsignalen am Anlagenausgang, die keiner reinen Sinusform entsprechen. Die dadurch bedingten Oberschwellen im Sinussignale stören beispielsweise Motoren oder Generatoren durch ungewünschte Spannungshübe und Spannungsfälle.

Oberwellen

Als Oberwellen bezeichnet man im Allgemeinen Schwingungen, deren Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Grundschwingungsfrequenz ist. Oberwellen entstehen in nichtlinearen, elektrischen Verbrauchern, wie zum Beispiel in Umrichter-gekoppelten Maschinen oder Umrichter-gekoppelten Energie-Erzeugungsanlagen. Oberwellen können beispielsweise die Verlustleistung von Maschinen erhöhen oder durch Nullpunktverschiebung Messtechnik ausfallen lassen.

Handlungsempfehlung: Vermeidung von Störfällen

Vor der Installation von technischen Einrichtungen zur Sicherstellung der Versorgungsqualität sollten zunächst Maßnahmen durchgeführt werden, die mit wenig Aufwand und geringen Investitionen zu realisieren sind. Möglicherweise lassen sich hierdurch bereits zufriedenstellende Erfolge erzielen, durch die hohe Investitionen vermieden werden können. Zusätzlich können die folgenden Empfehlungen Klarheit über die Ursachen der Störungen liefern, aus denen sich zweckgebundene Maßnahmen ableiten lassen.

Es wird empfohlen, vor der Entscheidung über Schutzmaßnahmen folgende Schritte durchzugehen:

- Überprüfung, ob Anlagen auf die Normalbedingungen der eingehenden Versorgungsqualität ausgelegt sind und sie übliche Spannungseinbrüche beherrschen (DIN EN 50 160 und DIN EN 61 000 4).
- Klärung der individuellen Robustheit der Anlagen nach FNN-Hinweis zur Störfestigkeit im Zusammenspiel von Kundenanlagen und Elektrizitätsnetzen.
- Überprüfung, ob Anlagen im gleichen Stromkreis angeschlossen sind, die ihrerseits Probleme verursachen können und auf die betroffene Anlage übertragen.
- Optimierung der Steuerungseinrichtungen (Asynchronmotoren/Generatorerregung).
- Kontaktaufnahme zum zuständigen Netzbetreiber, der grundsätzlich bei der Ursachenfindung helfen und Lösungsvorschläge unterbreiten kann.
- Messung der Versorgungsqualität, damit Klarheit über die Art und den Umfang der Störungen gewonnen wird, um zweckgebundene Maßnahmen ableiten zu können.
- Absicherung sensibler Anlagen durch unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme.
- Bei neuen Anlagen sollte auf ein sicheres Abfahren bei Spannungsabfall geachtet werden; die Steuerung sollte eine Sekunde Stromausfall ohne Ausfall überstehen.

Stellt sich nach der Beachtung der genannten Punkte heraus, dass größere Schutzmaßnahmen nötig sind, sollte bei der Investitionsentscheidung berücksichtigt werden, dass für Schutzmaßnahmen möglicherweise andere Investitionskriterien gerechtfertigt sind als für übliche Investitionen.

4.2 Versorgungsunterbrechungen mit einer Dauer größer als eine Sekunde

In diesem Kapitel werden Unterbrechungen der Versorgung über einer Sekunde behandelt [27]. Systeme ohne Energiespeicher liefern während der Unterbrechung keine Leistung, was häufig zu einer Produktionsunterbrechung führt. Versorgungsunterbrechungen über einer Sekunde treten bei den befragten Unternehmen deutlich seltener auf als Einschränkungen der Versorgungsqualität. Der Fall einer langen Versorgungsunterbrechung kann jedoch zu einer längeren Beeinträchtigung des Betriebsablaufes führen und somit andere Maßnahmen erfordern als die Auswirkungen durch eingeschränkte Versorgungsqualität. Vorkehrungen zur Überbrückung von Versorgungsunterbrechungen sind aufwändiger und teurer als solche zur Behebung von Einflüssen durch eingeschränkte Versorgungsqualität.

Folgen und Schäden

Bei Versorgungsunterbrechungen können auf mehreren Wegen Kosten für das Unternehmen entstehen:

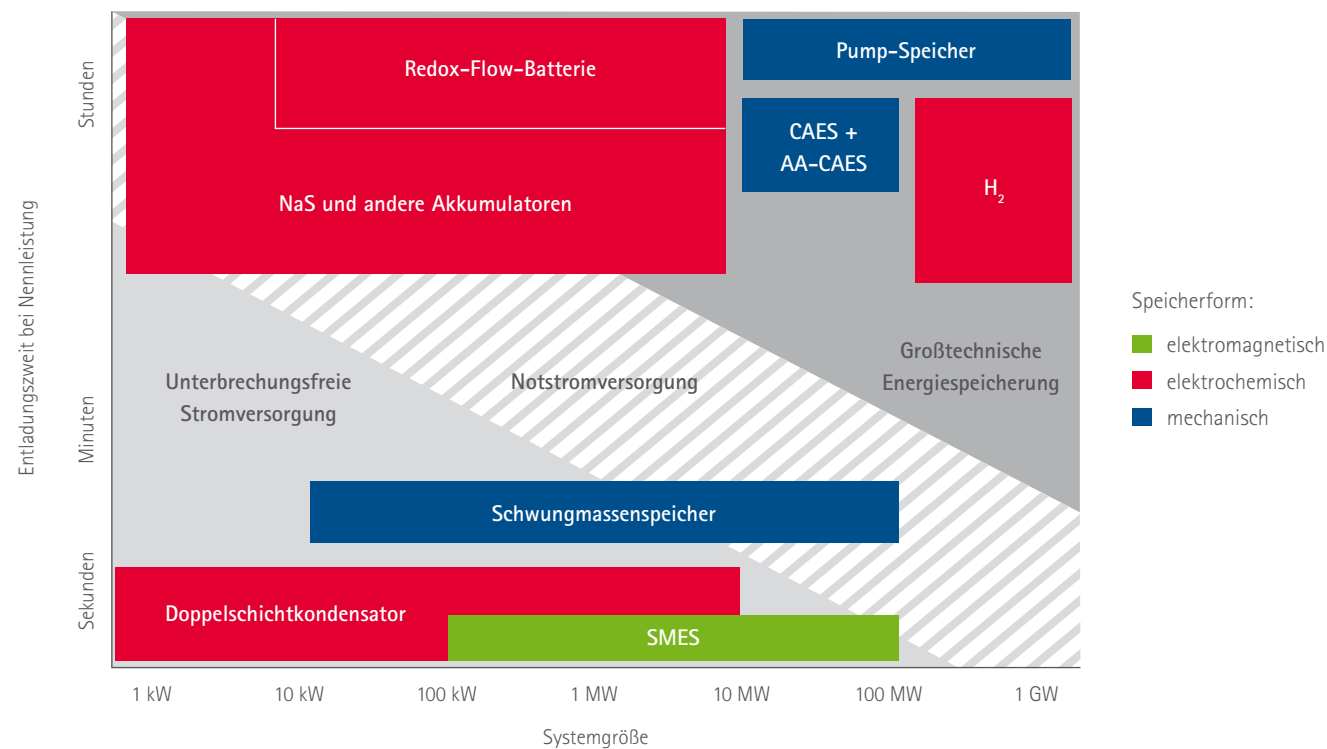
- **Mangelhafte Produkte:** Werden Be- oder Verarbeitung unterbrochen, so kann zum Beispiel bei CNC-Fräsmaschinen das Werkstück unbrauchbar werden. Außerdem ist es möglich, dass Prozessparameter nicht mehr eingehalten werden können, wodurch der gesamte Reaktorinhalt verworfen werden muss. Neben den Kosten der vorgelagerten Produktionskette treten auch Entsorgungskosten auf.
- **Schäden an Maschinen:** Bei kurzen Versorgungsunterbrechungen oder eingeschränkter Versorgungsqualität können Steuerungen von Anlagen Schaden nehmen, was zu einem Stillstand der Maschine führen kann. Bei längeren Versorgungsunterbrechungen kann zum Beispiel bei Aluminiumschmelzen die Schmelze erstarren, wodurch der gesamte Schmelzofen unbrauchbar wird.
- **Entgangener Gewinn und fixe Kosten:** Bei länger andauernden Versorgungsunterbrechungen steht die Produktion still, während die Kosten für Arbeiter und Maschinen weiter zu zahlen sind (kein Deckungsbeitrag). Auch wenn keine laufenden Kosten anfallen, sind die entgangenen Gewinne als Opportunitätskosten zu berücksichtigen.
- **Folgekosten:** Mit einem Produktionsausfall können sich Lieferverzögerungen und damit zu zahlende Konventionalstrafen ergeben. Besonders bedeutend ist dies bei der Just-in-time-Produktion. Bei einer Nachholung der Produktion können sich zum Beispiel Zuschläge für Nacharbeit ergeben.

Maßnahmen gegen Versorgungsunterbrechungen

Bei einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) steht die kontinuierliche Stromversorgung zum Beispiel von Computern im Fokus. Meist ist eine USV nur auf eine kurze Betriebsdauer ausgelegt, um zum Beispiel Anlagen kontrolliert herunterzufahren (Fail-Safe) oder die Zeit des Hochfahrens einer Notstromversorgung zu überbrücken. In Abbildung 4.1 ist eine Übersicht verschiedener Speichertechnologien dargestellt, aufgeteilt nach Systemgröße und Entladungszeit bei Nennleistung. Die Abkürzung SMES steht für Supraleitender Magnetischer Energiespeicher, AA-CAES für Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage, was auf Deutsch ein adiabatisches Druckluftspeicher-Kraftwerk bezeichnet.



Abb. 4.1: Speichersysteme für elektrische Energie [28]



Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme

Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) dienen der Sicherstellung einer Versorgungsqualität, die durch die öffentliche Stromversorgung nicht gewährleistet werden kann. Eine USV-Anlage ist zunächst dafür ausgelegt, die ständige Wechselstromversorgung sicherzustellen. Darüber hinaus kann sie zur Verbesserung der Qualität der Wechselstromversorgung dienen und zur Spannungs- und/oder Frequenzumwandlung genutzt werden. Abhängig von der Art der Energiespeicherung können USV einige Sekunden bis zu rund einer Stunde überbrücken. Da 97 Prozent aller Störungen im Stromnetz weniger als drei Sekunden dauern [29], stellen USV-Anlagen für viele Zwecke eine hinreichende Absicherung gegen Versorgungsunterbrechungen dar. Für die Absicherung eines längeren Zeitraums ist die Zuschaltung eines Notstromaggregates üblich.

Es wird zwischen drei Klassen von unterbrechungsfreien Stromversorgungssystemen unterschieden, die in Abhängigkeit der Bedürfnisse zum Einsatz kommen. Sie unterteilen sich gemäß der Produktnormen IEC 62040 3 des International Engineering Consortium und DIN EN 50091 3 der Europäischen Union in die folgenden Klassen.

In den Hintergrundinformationen in Kapitel 4.5 finden sich Schaltbilder der verschiedenen USV-Systeme. Sie zeigen, an welchen Stellen die Systeme in der Regel integriert werden.

Standby- oder Offline-Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme sind die einfachsten und günstigsten USV. Sie verfügen über einen Batteriespeicher, der im Normalfall geladen wird. Bei einem Netzausfall schalten sie den Verbraucher von Netzbetrieb auf den eigenen Umrichter um. Sie werden nach IEC 62040 3.2.20 als USV-Klasse 3 bezeichnet (VFD – Voltage and Frequency Dependent from mains supply). Es werden nur Netzausfälle und kurzzeitige Ereignisse kompensiert. Robuste Verbraucher wie Telefonanlagen lassen sich mit dieser USV-Klasse absichern.

Bei **Netzinteraktiven Unterbrechungsfreien Stromversorgungssystemen** ist der Batterie-Umrichter fortwährend aktiv und kann damit auch im Netzbetrieb die Verbraucherspannung beeinflussen. So können auch Spannungsschwankungen ausgeglichen werden. Beim Auftreten eines Netzfehlers wird eine Netztrennung durchgeführt. Sie werden als USV-Klasse 2 bezeichnet (VI – Voltage Independent).

Online- Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme nutzen die Batterie als Gleichstromzwischenkreis. Aus dem Netz wird Strom zur Speisung der Batterie entnommen, gleichzeitig ist ein Umrichter in Betrieb, welcher aus der Batterie die Verbraucher versorgt. Dadurch ist die Stromversorgung von Spannung und Frequenz des Netzes unabhängig. Wegen der fortwährenden Belastung der Komponenten ist dieser USV-Typ der teuerste, er wird als USV-Klasse 1 bezeichnet (VFI – Voltage and Frequency Independent).

In Tabelle 4.1 sind die von den USV-Klassen kompensierten Störungen zusammengefasst. Dabei kann eine kleinere Klasse alle Störungen der höheren Klassen ausgleichen.

Tabelle 4.1: Netzstörungen und USV-Lösungen, eigene Darstellung nach EN 62040 3 [30]

Netzstörung	Zeit	USV-Lösung
1. Netzausfälle	> 10 ms	Klassifizierung 3 Passiver Standby-Betrieb
2. Spannungsschwankungen	< 16 ms	
3. Spannungsspitzen	4 ... 16 ms	
4. Unterspannungen	kontinuierlich	Klassifizierung 2 Line-Interactive-Betrieb
5. Überspannungen	kontinuierlich	
6. Spannungstöße (Surge)	< 4 ms	Klassifizierung 1 Double-Conversion-Betrieb (Online)
7. Blitzeinwirkungen	sporadisch	
8. Spannungsverzerrungen (Burst)	periodisch	
9. Spannungsüberschwingungen	kontinuierlich	
10. Frequenzschwankungen	sporadisch	

Konkrete Technologien, die als USV dienen können sind:

- Kondensatoren/Doppelschichtkondensatoren
- Schwungmassenspeicher
- Batteriespeicher

Zudem wird beispielsweise für besonders kritische Prozesse häufig eine eigene Notstromversorgung eingerichtet. Eine technische Beschreibung der verschiedenen Technologien findet sich in Kapitel 4.5.

Eigenerzeugung

Die Versorgungssicherheit kann durch die Eigenerzeugung von Strom durch beispielsweise Blockheizkraftwerke oder Wasserkraftanlagen erhöht werden. Das Thema Eigenversorgung wird unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ebenfalls in dem Leitfaden „Energiewende im Strommarkt – Chancen und Risiken“ behandelt. Eine weitere Möglichkeit ist die Erzeugung mit einem Gaskraftwerk wie im Industrie Center Obernburg der Mainsite GmbH & Co. KG. Durch die verbrauchsnahe Eigenerzeugung direkt am Standort des Betriebs werden die Übertragungswege minimiert und somit die Anzahl möglicher Störquellen reduziert.

„Die Kapazitäten des Kraftwerks reichen aus, um das Netz unseres Industrieparks auch im Inselbetrieb zu fahren. Unser Netz ist durch das Gaskraftwerk derart gestützt, dass wir Kurzunterbrechungen oder Spannungsschwankungen aus dem vorgelagerten Netz ausgleichen können.“
 Udo Hammer, Mainsite GmbH

Mit der Eigenerzeugung kann ein Inselbetrieb gewährleistet werden, mit dem Unternehmen sich von dem allgemeinen Versorgungsnetz entkoppeln können. Somit kann die Stromversorgung an dem Standort selbst bei einem Ausfall der allgemeinen Stromversorgung aufrechterhalten werden. Auf der anderen Seite kann bei einer Unterbrechung der Eigenversorgung auf das allgemeine Versorgungsnetz zurückgegriffen werden, wodurch die Stromversorgung gesichert ist.

Ein weiterer Vorteil ist, dass durch die Eigenerzeugung weitere Bestandteile des Strompreises entfallen. Dazu zählen Teile der EEG-Umlage, die Netznutzungsentgelte oder bei kleinen Anlagen die Stromsteuer. Auf den dann zu zahlenden Strompreis für die bezogene Reststrommenge kann die Eigenerzeugung einen preismindernden Effekt haben. Da der Leistungspreis abhängig von der maximal bezogenen Leistung ist, kann dieser durch die Eigenerzeugung reduziert werden. Eigenerzeugung kann zur Gestaltung des Bezugsprofils verwendet werden, um zum Beispiel die Volllaststunden zu erhöhen und somit die Netzentgelte zu reduzieren.

Ein Nachteil der Eigenerzeugung ist die geringere verbleibende Reststrommenge. Es ist davon auszugehen, dass bei geringerer Abnahmemenge ein höherer Arbeitspreis an das Energieversorgungsunternehmen zu entrichten sein wird. Die Vermarktung möglicher Überschüsse selbst erzeugten Stroms bedingt im Regelfall einen zusätzlichen Aufwand und damit Kosten, die gegen die Erlöse aufgerechnet werden müssen.

„Für unseren Industriepark betreiben wir ein Gaskraftwerk mit Wärmeauskopplung. Das Hauptprodukt für unsere Kunden ist Wärme, die Stromerzeugung reicht jedoch aus, dass wir den gesamten Industriepark mit Elektrizität versorgen. Überschussmengen aus der Stromerzeugung können wir am Day-Ahead-Markt verkaufen.“
 Udo Hammer, Mainsite GmbH

Bei der dezentralen Stromerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) kann die freiwerdende Wärmeenergie nutzbar gemacht werden. Dies hat – für den Fall eines geeigneten Wärmeabnehmers – einen deutlich positiven Effekt auf den Gesamtwirkungsgrad einer solchen Anlage. Als Betreiber einer KWK-Anlage können Förderungen wahrgenommen werden. So ist es bis zu einer elektrischen Leistung von 20 kW möglich, einen einmaligen Investitionszuschuss zu erhalten (Stand 2017). Für die Erzeugung kann man über einen gewissen Zeitraum einen Bonus im Rahmen des KWK-Gesetzes erhalten.

Ist eine Eigenversorgungsanlage vorhanden, so können eventuell zusätzliche Erlöse durch eine Teilnahme am Regelenergiemarkt erzielt werden. Die Entscheidung für eine Eigenerzeugung birgt allerdings auch Risiken. Das Investitionsrisiko wird bei der Eigenerzeugung internalisiert – es wird nun nicht mehr vom Energieversorgungsunternehmen getragen, sondern vom jeweiligen Betrieb selbst. Zudem muss das Unternehmen beim Betrieb eines BHKW beispielsweise das Preisrisiko für den Brennstoff selbst tragen. Im schlimmsten Fall kann eine ungünstige Entwicklung in diesem Bereich den Betrieb der Anlage unwirtschaftlich machen.

4.3 Aufbau und Pflege eines Risikomanagements

Für jeden Betrieb empfiehlt sich der Aufbau eines Risikomanagements, um die Risiken durch Versorgungsunterbrechungen realistisch einschätzen und bei zu hohem Risiko Schutzmaßnahmen ergreifen zu können. Um eine regelmäßige Überprüfung durch Audits sicherzustellen, sollte ein Risikomanagement zum Beispiel im Qualitätsmanagement verankert werden.

Dabei sollte für jede Anlage einmalig geprüft werden, wie sie auf eine kurze Netzunterbrechung reagiert und welchen Zustand sie bei Wiederkehr der Versorgung einnimmt. Daraus lässt sich ableiten, ob die Anlage problematische Reaktionen zeigt (zum Beispiel Rücksetzung eines berechneten Füllstands, Fahren des Fräskopfes durch das Werkstück). Gegebenenfalls kann eine Notfall-Checkliste mithilfe der „Handlungsempfehlung zur Erstellung eines Notfallmanagements für Stromausfälle“ erstellt werden. Diese unterstützt bei der Entwicklung der (nach einer Spannungsunterbrechung) notwendigen Schritte, um Gefahren abzuwenden und zum normalen Betrieb zurückzukehren. Dabei ist zu beachten, dass die Arbeitsschritte auch nachts oder am Wochenende durchgeführt werden können, wenn nur ein kleiner Teil der Belegschaft anwesend ist (Zugang zu Schalträumen, zum Automationssystem).

„Damit wir im Fall eines Stromausfalls oder bei Problemen mit der Versorgungsqualität angemessen reagieren können, existieren bei uns Notfallpläne, die auch in regelmäßigen Übungen durchgespielt werden.“
 Dr. Claus Heubeck, Diehl Metall Stiftung & Co. KG

Bei jährlich stattfindenden Audits sollte geprüft werden, ob das Risikomanagement aktuell ist oder durch Änderungen an bestehenden Anlagen oder neue Anlagen angepasst werden muss. Ebenso sollte geprüft werden, ob bei allen Neuanschaffungen bereits bei der Ausschreibung die Robustheit gegen schwankende Versorgungsqualität festgelegt wurde. So sollte zumindest die Steuerung jeder neuen Anlage einen Stromausfall von einer Sekunde ohne Störungen abfangen können – und bei längerem Stromausfall Parameter (wie zum Beispiel einen berechneten Füllstand) speichern.



Handlungsempfehlung zur Erstellung eines Risikomanagements für Stromausfälle

Es hat sich gezeigt, dass die erforderlichen und möglichen Maßnahmen stark von den spezifischen Voraussetzungen im jeweiligen Unternehmen abhängen. Bei vorhandenen, unterbrechungsfreien Stromversorgungssystemen und Notstromversorgung läuft der Betrieb möglicherweise ungestört weiter, während im Extremfall bei ungesicherten Prozessen chemische Verfahren außer Kontrolle geraten und die Gesundheit von Menschen gefährden können. Bei dem Ausfall der Erwärmung von Schmelzprozessen kann zum Beispiel die Schmelze erstarren und die gesamte Anlage zerstören oder hohen Reparaturaufwand verursachen.

In den befragten Unternehmen zeigte sich, dass hierzu oft keine schriftlich ausgearbeiteten Handlungsabläufe bekannt sind. Dennoch berichteten die Akteure von einem geordneten Ablauf bei bereits aufgetretenen Störungen, da jeder Mitarbeiter wisse, „was zu unternehmen sei“.

Es wird empfohlen, einen Verantwortlichen für das Notfallmanagement zu benennen und folgende Aspekte zu beachten, um für den Ernstfall vorbereitet zu sein:

- Identifikation kritischer Prozesse und Anlagen, von denen eine Gefahr für die Gesundheit von Menschen ausgeht und Entwicklung von entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen;
- Identifikation von kritischen Prozessen und Anlagen, die durch einen Stillstand Schaden nehmen können und Entwicklung von entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen;
- Finanzielle Schäden quantifizieren und Wirtschaftlichkeitsberechnungen möglicher Sicherheitsmaßnahmen durchführen;
- Maßnahmen ergreifen, deren Wirtschaftlichkeit bereits bei einem einzigen Stromausfall gegeben ist;
- Identifikation der notwendigen Mitarbeiter für ein geordnetes Herunter- und Wiederanfahren und Benennung eines Verantwortlichen;
- Erreichbarkeit dieser Mitarbeiter sichern;
- Kontaktdaten des Ansprechpartners beim Netzbetreiber verfügbar haben;
- in jährlich stattfindenden Audits mit den betroffenen Akteuren den Ablauf eines Stromausfalls durchsprechen.

4.4 Versicherbarkeit von Schäden

Haftung

In Anbetracht der dargestellten Beispiele stellt sich die Frage nach der Haftung im Falle eines Schadens, der in Folge einer Versorgungsunterbrechung eintritt. Im Regelfall verweisen Energieversorgungsunternehmen in ihren AGB darauf, dass etwaige Schäden gegenüber dem Netzbetreiber geltend zu machen sind und das Energieversorgungsunternehmen demzufolge nicht haftet. [31] [32]

Geregelt ist die Haftungssituation in § 18 der Niederspannungsanschlussverordnung (NAV). Diese besagt, dass der Netzbetreiber gegenüber dem Anschlussnehmer für Sach- und Vermögensschäden, die wegen einer Versorgungsstörung eingetreten sind, haftet. Die Haftung setzt allerdings schuldhaftes Verhalten des Netzbetreibers voraus. Geht dem Schaden schuldhaftes Verhalten voraus, wird vermutet, dass seitens des Netzbetreibers Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit vorliegt. Folglich hat der Netzbetreiber im Sinne einer Beweislastumkehr das Gegenteil zu beweisen, um die Vermutung zu widerlegen.

Für den Fall, dass der Schaden weder vorsätzlich noch grob fahrlässig herbeigeführt wurde, wird die Haftung des Netzbetreibers gegenüber den Anschlussnutzern auf jeweils 5.000 Euro begrenzt. Für nicht vorsätzlich verursachte Sachschäden erfolgt eine Haftungsbegrenzung in Abhängigkeit der Anzahl der angeschlossenen Anschlussnehmer auf insgesamt 2,5 Millionen Euro für 25.000 Anschlussnutzer und bis 40 Millionen Euro für mehr als eine Million Anschlussnutzer. [33] An dieser Stelle jedoch sei auf das Urteil Az: VI ZR 144/13 des Bundesgerichtshofs (BGH) vom 25. Februar 2014 verwiesen, in dem das BGH Elektrizität als Produkt bezeichnet und so – in dem Fall eines Nullleiterdurchbruchs – der Netzbetreiber verpflichtet wurde, dem Verbraucher Schadensersatz zu leisten, obwohl keine fahrlässige Handlung vorlag.

Versicherung

Für Betriebe besteht die Möglichkeit, sich gegen Ereignisse im Bereich der allgemeinen Stromversorgung, die zu einer Versorgungsunterbrechung führen, abzusichern. Die aus der Unterbrechung resultierenden Schäden können von einer Betriebsunterbrechungsversicherung getragen werden. [34]

Grundlegend sind bei der Betriebsunterbrechungsversicherung zwei Modelle zu unterscheiden. Zum einen ist es möglich, einen direkten Vertrag zwischen Versicherung und Betrieb abzuschließen. Zum anderen ist eine Versicherung über das zuständige Energieversorgungsunternehmen möglich. Das Energieversorgungsunternehmen bietet dem Betrieb auf Grundlage dieses Vertrages einen Stromtarif mit Betriebsunterbrechungsversicherung an.

Typischerweise ersetzt der Versicherer den entstandenen Unterbrechungsschaden direkt. Dieser setzt sich aus dem entgangenen Gewinn und dem Aufwand an fortlaufenden Geschäftskosten zusammen. Bedeutend ist hierbei die Tatsache, dass der Schaden nur getragen wird, falls die Unterbrechung der Stromversorgung eine vereinbarte Mindestzeit überschreitet. Eine Haftung wird ausgeschlossen, wenn der Versicherte grob fahrlässig handelt, die Abschaltung der Energieversorgung seitens des Energieversorgungsunternehmens angemeldet wurde oder höhere Gewalt (Krieg, behördliche Verfügung etc.) die Unterbrechung herbeiführt. Naturereignisse – wie zum Beispiel Blitzschläge – zählen hierbei oftmals nicht zu höherer Gewalt und können somit in der Betriebsunterbrechungsversicherung Berücksichtigung finden. „Indirekte“ Betriebsunterbrechungen in Folge eines Sachschadens, der durch die Unterbrechung der Stromversorgung innerhalb des Betriebes herbeigeführt wurde, sind ebenfalls von der Haftung ausgenommen. [35]

Eine Maschinenversicherung bietet darüber hinaus die Möglichkeit, einzelne Maschinen gegen Sachschäden zu versichern. Die Versicherung tritt für unvorhergesehene Beschädigungen der versicherten Sache ein. Unter anderem umfasst der Schutz Sachschäden, welche durch Kurzschluss, Überstrom und Überspannung oder durch das Versagen von Mess-, Regel- oder Sicherheitseinrichtungen herbeigeführt wurden. Nicht versichert sind vielen Schäden, die in Folge eines Brandes entstehen sowie Schäden durch höhere Gewalt. [36]

Es ist festzustellen, dass sich eine zunehmende Anzahl von Unternehmensvertretern mit dem Thema beschäftigt. Oft schrecken die betroffenen Unternehmen aber vor den Versicherungsprämien zurück, oder vereinbaren hohe Selbstbeteiligungen, die eine Inanspruchnahme der Versicherung nur in Extremfällen rechtfertigt. Eine stärkere Absicherung der Prozesse kann das Risiko und somit die Versicherungsprämie reduzieren.

5. Appendix

5.1 Hintergrundinformationen

Stromnetze und deren Betriebsweise

Der erzeugte Strom wird von den Großkraftwerken über Netze mit unterschiedlichen Spannungen zum Verbraucher geleitet. Die Erhöhung der Spannung ist der wirksamste Faktor zur Kleinhaltung der Verluste beim Transport elektrischer Energie. [14] Die folgende Tabelle 5.1 gibt einen Überblick über die üblichen Spannungsebenen in Deutschland. Außerdem sind den jeweiligen Spannungsebenen die Leitungslängen zugeordnet. Insgesamt beläuft sich die Länge des deutschen Stromnetzes auf ungefähr 1,82 Millionen Kilometer, der Großteil hiervon entfällt auf das Niederspannungs- und Mittelspannungsnetz.

Tabelle 5.1: Spannungsebenen in Deutschland, nach [37] und [10]

Bezeichnung	Kurzform	Nennspannung	Länge des Netzes (in km)
Höchstspannung	HS	380 kV	36.000
Hochspannung		110 kV	97.000
Mittelspannung	MS	20 kV	511.000
		10 kV	
Niederspannung	NS	400 V	1.173.000
		230 V	

gerundet auf 1.000er-Stellen

Summe: 1,8 Mio. Kilometer

Im Folgenden werden zwei verschiedene Arten des Netzbetriebs vorgestellt.

Netze mit geerdeten Sternpunkten

Netze, in denen mindestens ein Sternpunkt der Transformatoren widerstandslos oder niederohmig geerdet ist, werden als geerdet bezeichnet.

Die unmittelbare beziehungsweise niederohmige Sternpunkterdung wird in den Höchstspannungsnetzen und größeren 110 kV-Netzen mit hohem Kabelanteil beziehungsweise in reinen Kabelnetzen verwendet. [14] Im Verbreitungsgebiet der Bayernwerk AG wird das 110 kV-Freileitungsnetz ebenfalls geerdet betrieben. Dieses Gebiet umfasst Bayern mit Ausnahme des Regierungsbezirks Schwaben.

Der Vorteil von geerdeten Netzen ist, dass Sternpunktverlagerungen oder betriebliche Überspannungen nicht auftreten. Allerdings führten Isolationsversagen bei dieser Betriebsweise unmittelbar zu einem einpoligen Kurzschluss beziehungsweise Erdkurzschluss. Zur Begrenzung der mechanischen und thermischen Wirkung des Kurzschlussstroms muss dieser in Echtzeit durch Sicherungen oder Leistungsschalter unterbrochen werden. Das Ansprechen der Leistungsschalter führt zu einer Versorgungsunterbrechung. Normalerweise kann bereits nach etwa 0,4 Sekunden wieder zugeschaltet werden. Ein solches Auftreten und Beenden eines Kurzschlusses wird als Automatische Wiedereinschaltung (AWE) beziehungsweise Kurzunterbrechung (KU) bezeichnet. [14]

Erdschläge werden in der Regel durch Blitzschlag oder Wind ausgelöst und erlöschen unmittelbar nach der Abschaltung [14]. Wind kann Baumberührungen hervorrufen oder dazu führen, dass sich Leitungen so nah annähern, dass ein Lichtbogen entsteht. In einem Beispiel wurde davon berichtet, dass während der Spargelernte sich Folien gelöst haben, durch Wind an die Freileitung geweht wurden und so einen Erdschluss verursacht haben. Eine weitere Ursache für Erdschlüsse sind Vögel, die in Gebieten mit wenig Bäumen oft auf den Freileitungen sitzen und mit ihren Ausscheidungen Isolatoren überbrücken – und so ein Isolationsversagen gegen Erde verursachen. Die Häufung von automatischen Wiedereinschaltungen in den Frühjahrs- und Sommermonaten korreliert mit der Vogelpopulation. Erfahrungen lassen darauf schließen, dass eine Häufung in den frühen Morgenstunden ebenfalls auf die Aktivität von Vögeln zurückzuführen ist.

Netze mit Erdschlusskompensation

Netze mit Erdschlusskompensation werden als gelöschte Netze bezeichnet. Die gelöschte Betriebsweise ist überwiegend in 110 kV-Freileitungsnetzen verbreitet. Der Vorteil von Netzen mit Erdschlusskompensation ist, dass sie auch bei Fehlerströmen bis zur Beseitigung des Erdschlusses im Minutenbereich weiterbetrieben werden können. [14]

Bei dieser Betriebsweise wird der kapazitive Erdschlussfehlerstrom durch Drosselspulen (Petersenspulen), die an die Sternpunkte angeschlossen sind, mit einem induktiven Strom kompensiert. Der verbleibende Reststrom wird so weit reduziert, dass er unter der Löschgrenze liegt und Erdschlusslichtbögen von selbst erlöschen. [38]

In gelöschten Netzen lassen sich einpolige Lichtbogenfehler in Freileitungen perfekt beherrschen, ohne dass eine Versorgungsunterbrechung auftritt. Lichtbögen in Kabelnetzen haben eine niedrigere Brennspannung, wodurch der Fehlerstrom begrenzt ist, es aber nicht zum Selbstlöschen kommt [14]. Fehler, die nicht selbst erlöschen, werden durch Schalthandlungen behoben. Nachteile gelöschter Netze bestehen in der aufwändigen Fehlerortung und der höheren Ansprechspannung eventuell vorhandener Überspannungsableiter. Sternpunktverlagerungen während der Fehlerzeit führen zu einer betriebsfrequenten und einer transienten Überspannung der beiden nicht betroffenen Phasen, wodurch Schäden bei angeschlossenen Anlagen entstehen können. [14]

Freileitungen und Kabel

Zusätzlich zu der Betriebsweise kann die Art des Netzes hinsichtlich Freileitung oder Kabel (Erdverkabelung) ein Indikator für die Versorgungssicherheit und -qualität sein. Da Freileitungen der Witterung und Umwelteinflüssen stärker ausgesetzt sind als Kabel, kommt es hier öfter zu Erdschlüssen beziehungsweise Erdkurzschlüssen oder zur Berührung von Leitern untereinander. Diese sind in der Regel jedoch schnell wieder behoben. Bei Kabeln kann es zum Beispiel durch den Bruch der Kabelisolierung oder durch Bagger zu Schäden kommen. Die Lokalisierung und Behebung von Schäden nimmt mehr Zeit in Anspruch als bei Freileitungen und führt zu längeren Unterbrechungen. Somit lässt sich feststellen, dass es in Freileitungen typischerweise häufiger (dafür zu kürzeren) und in Kabeln seltener (dafür zu längeren) Störungen kommt. Der Verkabelungsgrad in dicht besiedelten Gebieten ist in der Regel höher als in ländlichen Regionen. Freileitungen haben mit 80 Jahren eine doppelt so lange Haltbarkeit wie Kabel. Die Verlegung von Erdkabeln erhöht die Baukosten um das Vier- bis Zehnfache. Die Verlegung von Kabeln in Tunneln ist 30 bis 40 mal so teuer wie der Bau einer Freileitung [39]. Es ist zu berücksichtigen, dass diese höheren Investitionen durch geringere Unterhaltskosten (und evtl. weniger Schäden) teilweise kompensiert werden.

Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme

Abb. 5.1: Standby- oder Offline-USV (Klasse 3)

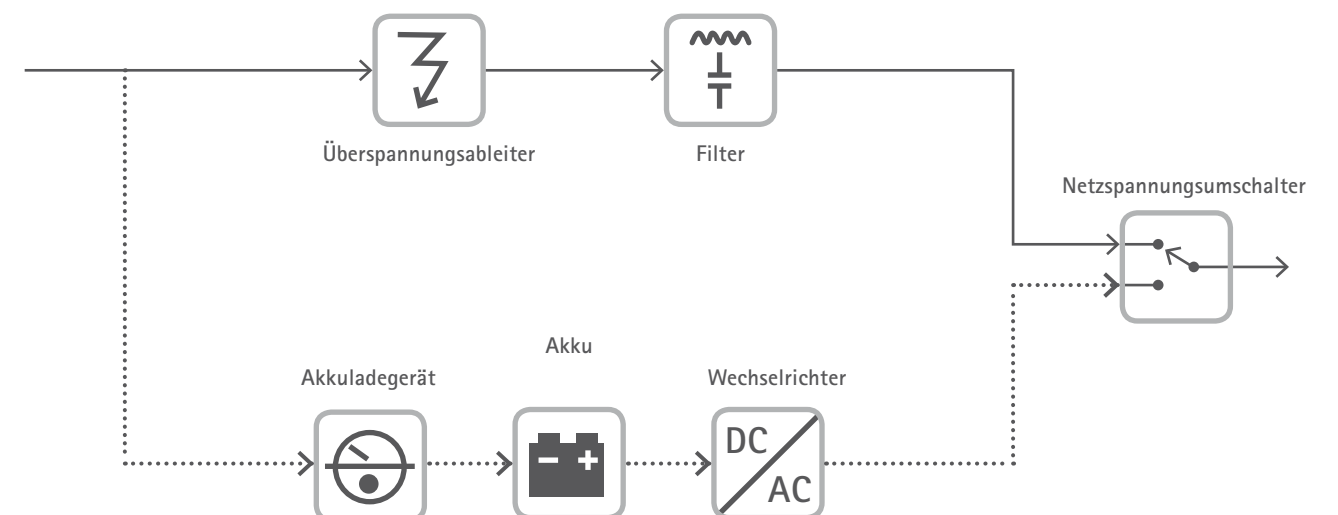


Abb. 5.2: Netzinteraktive-USV (Klasse 2)

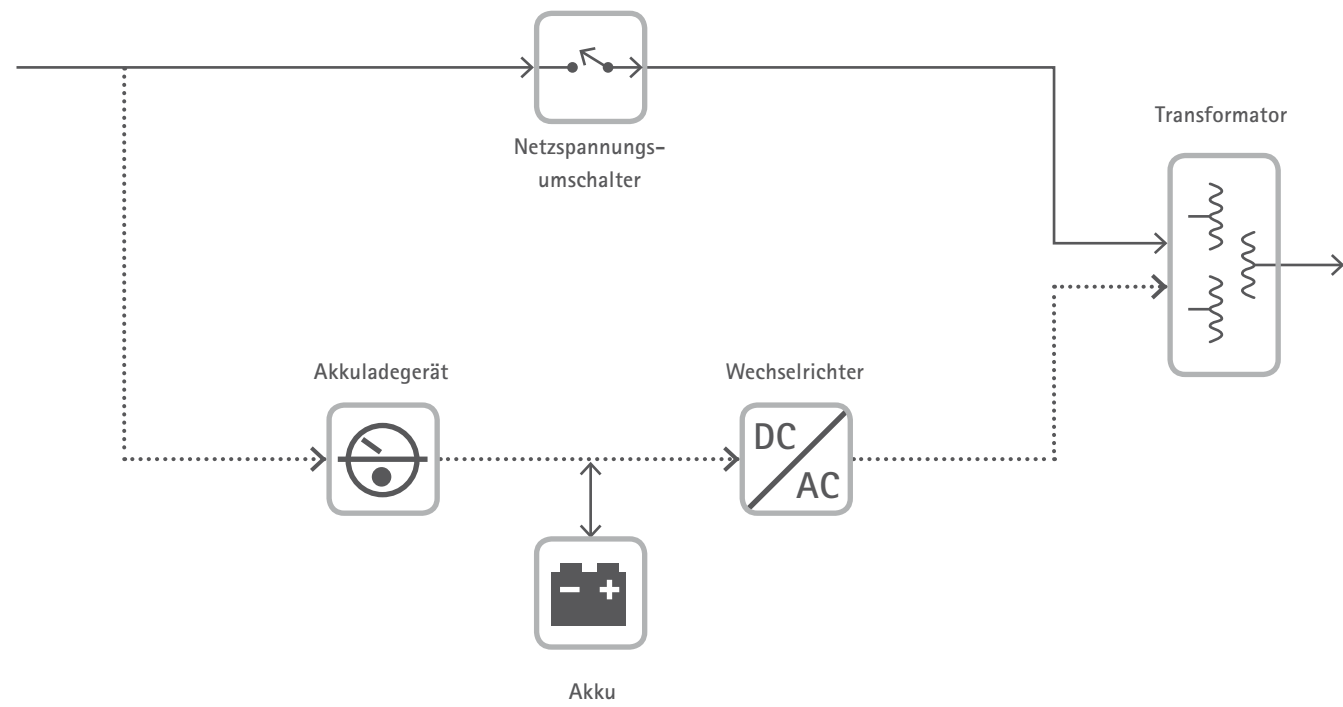


Abb. 5.3: Online-USV (Klasse 1)

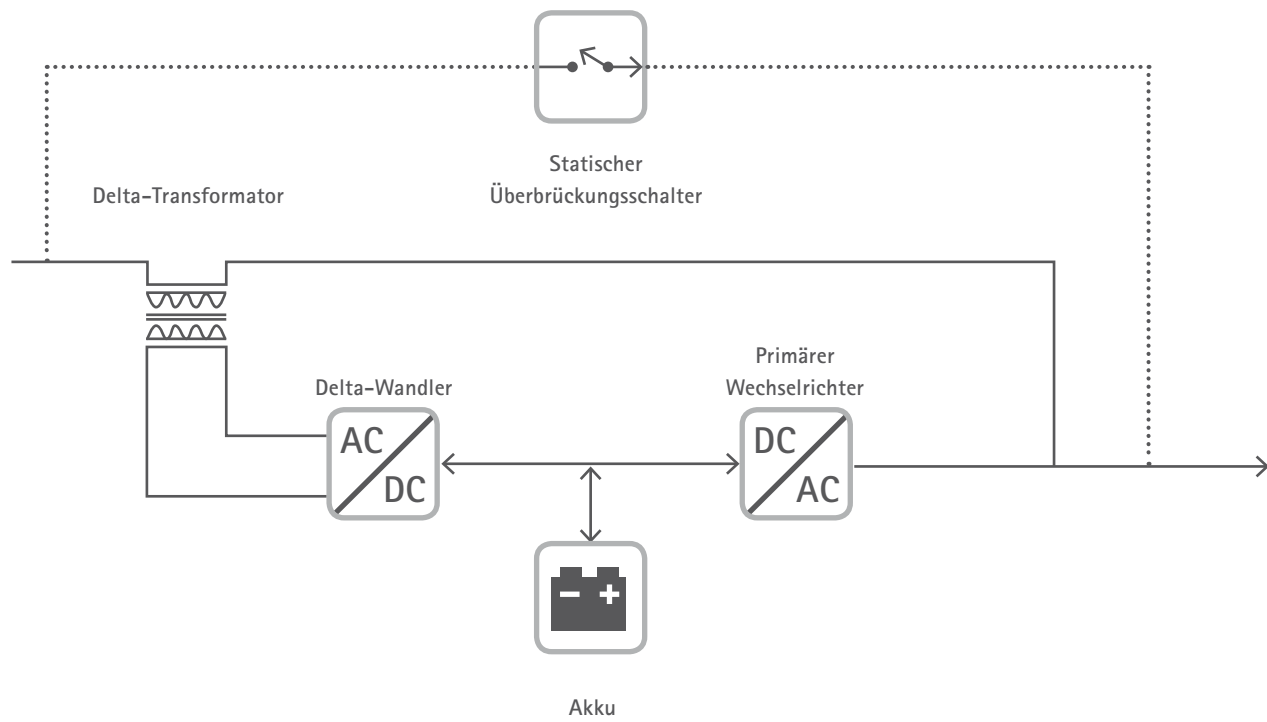


Abb. 5.4: Prinzipieller Aufbau einer dynamischen USV-Anlage

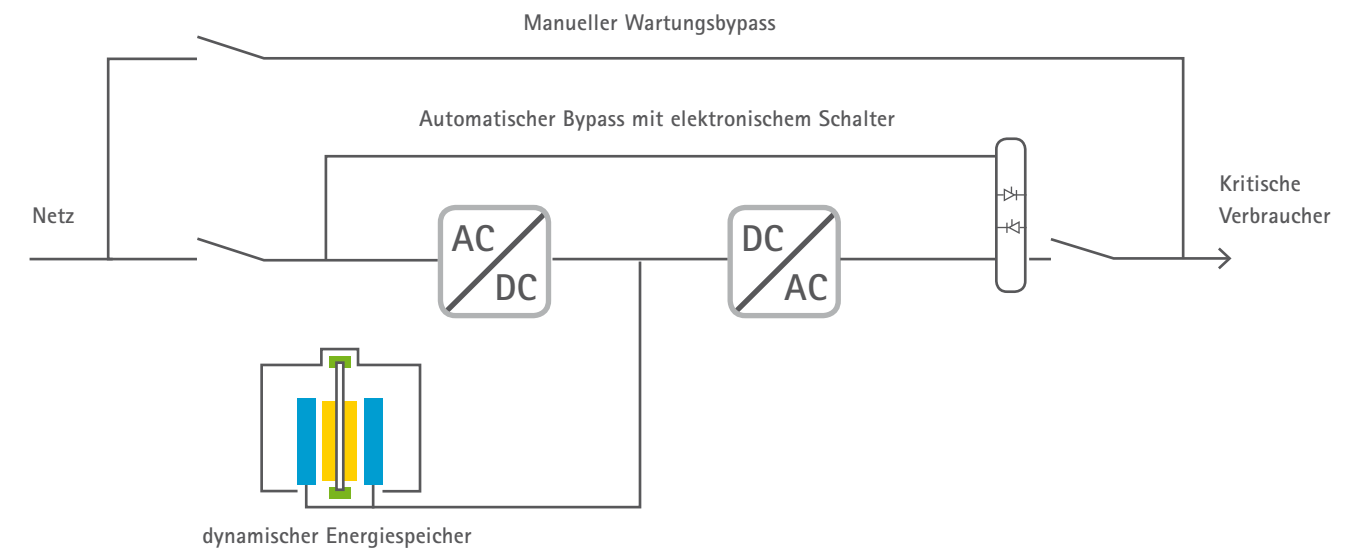
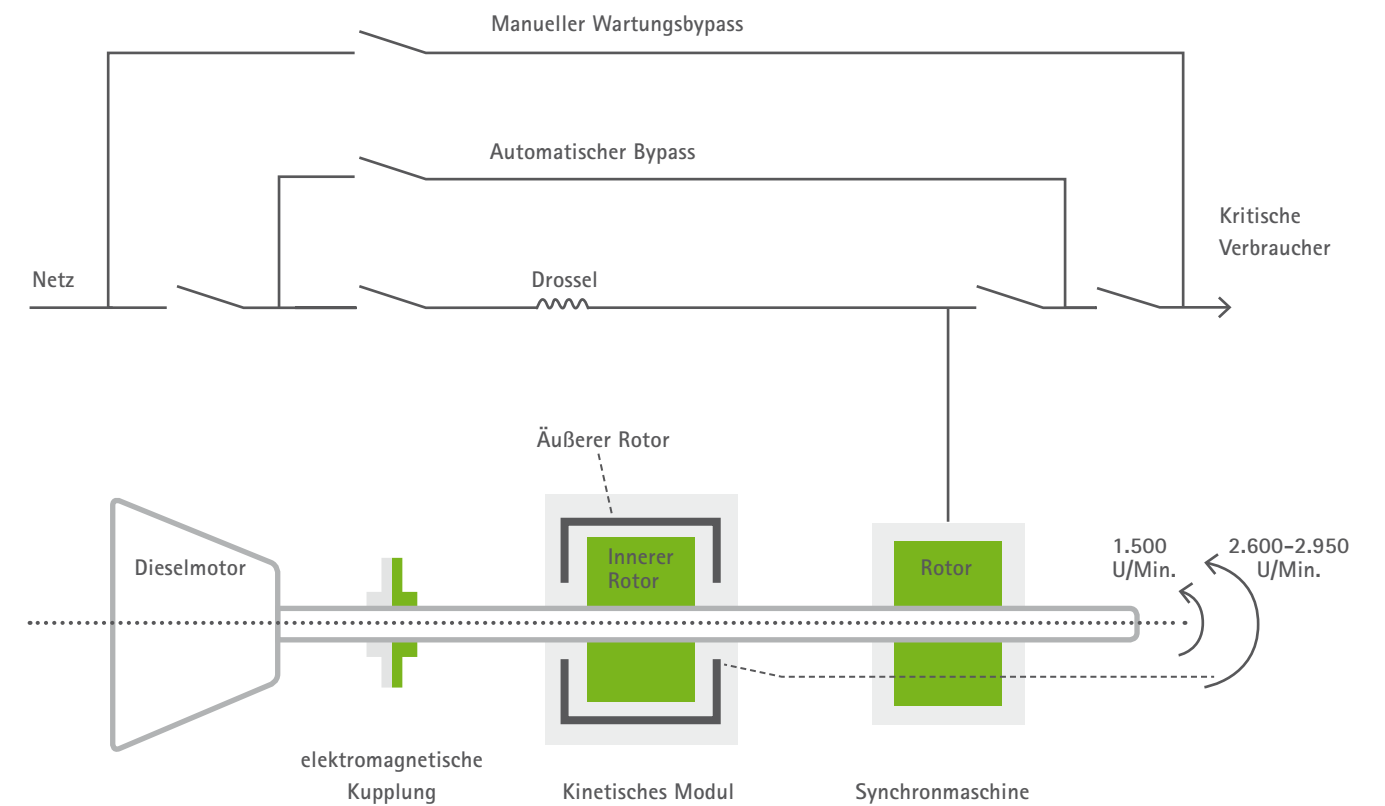


Abb. 5.5: Prinzipielle Darstellung eines dieseldynamischen USV-Systems



Kondensatoren/ Doppelschichtkondensatoren

Kondensatoren und Doppelschichtkondensatoren (SuperCaps) zeichnen sich durch hohe Entladeströme aus; die Energiedichte ist deutlich geringer als bei Batterien. Sie werden nur für kurzfristige Energiespeicherung eingesetzt.

Schwungmassespeicher

Dieser Speichertyp nutzt die Rotationsenergie als Speicher, weshalb er auch als dynamischer Speicher bezeichnet wird. Wegen der bewegten Elemente sind die Speicherverluste höher als bei anderen Speichern, dafür ist die Energie sehr schnell verfügbar. Schwungspeicher werden als USV eingesetzt, indem sie fortwährend von einem Motor angetrieben werden. Bei Netzverlust wird der Elektromotor als Generator verwendet und versorgt die Verbraucher.

Bei dieseldynamischen USV-Systemen wird ein vorgewärmter Dieselmotor an die Welle angekoppelt und mit deren Schwung angeworfen. Sobald der Dieselmotor Leistung bringt, werden Schwungrad und Stromgenerator von dem Dieselmotor angetrieben. Diese Art der USV hat den Vorteil, dass bei Netzstörungen eine komplett unterbrechungsfreie Spannungsversorgung sichergestellt werden kann.

Batteriespeicher

Die meisten USV speichern die Energie in Batterien. Häufig werden Bleibatterien verwendet, welche wartungsintensiver als zum Beispiel Lithium-Ionen-Akkus, – in der Anschaffung aber deutlich günstiger sind.

Notstromversorgung

Eine Notstromversorgung ist auf die längerfristige Versorgung von Verbrauchern ausgelegt. Nur bei Bedarf wird sie mit USV gekoppelt. Häufig werden ausschließlich sensible Verbraucher mit USV ausgerüstet, während die Notstromversorgung einen Großteil oder alle Verbraucher versorgen kann.

Die meisten Notstromversorgungen bestehen aus Dieselmotor und Generator. Aus kaltem Zustand dauert es ca. 10 bis 15 Minuten vom Start bis zum Erreichen der Nennleistung. Brennstoffzellen werden wegen des höheren Preises sehr selten verwendet; ihre Vorteile liegen in der geringeren Wartung gegenüber Dieselaggregaten.

5.2 Glossar

Blindleistung

Blindleistung ist ein Bestandteil der Scheinleistung und tritt in Drehstromsystemen auf. Sie kann nicht in mechanische Arbeit umgewandelt werden und wird zum Aufbau der magnetischen Felder eines induktiven Verbrauchers oder der elektrischen Felder eines kapazitiven Verbrauchers benötigt. Blindleistung belegt Übertragungskapazitäten im Stromnetz und ist deshalb im Regelfall seitens der Verbraucher möglichst gering zu halten.

Bundesnetzagentur

Die Bundesnetzagentur ist eine deutsche Regulierungsbehörde, deren Aufgabe die Förderung und Aufrechterhaltung des Wettbewerbs in Netzmärkten ist. Unter anderem fällt die Regulierung der Strom- und Gasmärkte in ihren Aufgabenbereich. Die Behörde genehmigt außerdem die Netzentgelte der Strom- und Gasnetzbetreiber.

$\cos(\Phi)$

Die Messgröße $\cos(\Phi)$ resultiert aus der Phasenverschiebung von Strom und Spannung. Im Regelfall wird von einem Energieversorgungsunternehmen ein $\cos(\Phi)$ von mindestens 0,9 gefordert. Unterschreitet der $\cos(\Phi)$ diesen Wert, ist zusätzlich ein Entgelt für die bezogene Blindleistung zu entrichten.

Drossel

Eine Drossel ist ein passives, induktives Bauelement, das zur Dämpfung von hochfrequenten Wechselströmen (Oberwellen) in Energieversorgungssystemen eingesetzt wird. In Kombination mit Kondensatoren entstehen Filter.

Entgelt für Blindarbeit

Ist Bestandteil des Netznutzungsentgeltes und wird in Euro pro Kilo-Volt-Ampère-réactif-Stunde (kvarh) angegeben. Es ist, je nach Stromliefervertrag, für bezogene Blindarbeit zu entrichten.

Filter

Ein Filter reduziert die Oberwellenbelastung in Stromversorgungssystemen durch das Ableiten der Oberwellenströme.

Flicker

Zeitliche Schwankungen in der Spannungshöhe können bei Leuchtmitteln zu einer Änderung der Leuchtdichte führen. Dieses Ereignis bezeichnet man als Flicker; es wird umgangssprachlich auch als Flackern oder Flimmern bezeichnet. Es gibt Langzeit- und Kurzzeit-Flicker, deren Höhe über einen Betrachtungszeitraum von zwei Stunden beziehungsweise zehn Minuten bestimmt wird.

Frequenz

Die Sollfrequenz im europäischen Stromversorgungssystem beträgt 50 Hertz. In Nordamerika liegt die Sollfrequenz dagegen bei 60 Hertz.

Leistungsfaktor

Als Leistungsfaktor oder auch Wirkfaktor wird das Verhältnis der Wirkleistung P zur Scheinleistung S bezeichnet. Der Leistungsfaktor kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Wird nur Wirkleistung benötigt, nimmt der Leistungsfaktor den Wert 1 an.

Oberwellen

Als Oberwellen bezeichnet man im Allgemeinen Schwingungen, deren Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Grundschwingungsfrequenz ist. Oberwellen entstehen in nichtlinearen, elektrischen Verbrauchern, wie zum Beispiel in Umrichter-gekoppelten Maschinen oder Umrichter-gekoppelten Energie-Erzeugungsanlagen. Oberwellen können beispielsweise die Verlustleistung von Maschinen erhöhen oder durch Nullpunktverschiebung Messtechnik ausfallen lassen.

Regelenergie

Regelenergie oder auch Regelleistung wird eingesetzt, um die Netzfrequenz auf dem Sollwert von 50 Hertz zu halten. Nach Reaktionszeit und Abrufprinzip wird zwischen drei Arten von Regelleistung unterschieden: Primär- und Sekundärregelleistung sowie Minutenreserve. Man differenziert außerdem zwischen positiver und negativer Regelleistung und -energie. Positive Regelenergie kommt zum Einsatz, wenn kurzfristig eine Unterdeckung der Stromnachfrage vorliegt, zum Beispiel durch einen Kraftwerksausfall. Negative Regelenergie wird im Falle eines Leistungsüberschusses benötigt.

Scheinleistung

Die in einem Stromnetz übertragene Leistung untergliedert sich in Blind- und Wirkleistung. Aus diesen beiden Komponenten lässt sich die Scheinleistung errechnen. Diese ist die Gesamtmenge der im Stromnetz zu übertragenden Leistung. Wirkleistung wird in Nutzenergie umgewandelt, Blindleistung nicht. Blindleistung wird zum Aufbau der magnetischen Felder eines induktiven Verbrauchers oder der elektrischen Felder eines kapazitiven Verbrauchers benötigt. Blindleistung belegt Übertragungskapazitäten im Stromnetz und ist deshalb im Regelfall seitens der Verbraucher möglichst gering zu halten. Die Einheit der Blindleistung ist var (Volt-Ampère-réactif), wobei ein var einem Watt entspricht.

Spannungseinbruch

Ein Absinken der Versorgungsspannung wird als Spannungseinbruch bezeichnet. In der Regel tritt dieses Ereignis in Folge einer Überlastung des Stromnetzes durch zu hohe Ströme auf. Eine solche Überlastung kann beispielsweise durch hohe Einschaltströme von Maschinen hervorgerufen werden.

Total Harmonic Distortion

Total Harmonic Distortion (THD) ist definiert als die geometrische Summe der ersten vierzig Oberwellenströme im Verhältnis zum Strom der Grundschwingung. Es quantifiziert die nichtlinearen Verzerrungen im Stromverlauf.

5.3 Checkliste

Checkliste: Ermittlung des wirtschaftlichen Risikos durch Betriebsunterbrechungen

Das vorliegende Schema soll bei der Ermittlung von Schäden unterstützen, die durch eine Stromversorgungsstörung verursacht werden. Hierbei ist nicht nur die Dauer der netzseitigen Störung, sondern die Dauer der hieraus resultierenden Betriebsunterbrechung zu berücksichtigen. So kann der Betriebsablauf bereits nach einer Kurzunterbrechung gestoppt werden und eine Betriebsunterbrechung von mehreren Stunden bedingen.

Die ermittelte Schadenssumme kann Hinweise für die Notwendigkeit von Sicherungsmaßnahmen geben. Für den Fall, dass keine bedeutenden Schäden auftreten, kann möglicherweise auf Maßnahmen zur Sicherung des Betriebsablaufes verzichtet werden. Wenn das Ausmaß der Schäden erst nach einer längeren Dauer bedeutend wird, sollte der Einsatz einer Notstromversorgung zur Wiederherstellung des Betriebes geprüft werden. Für den Fall, dass bereits bei Kurzunterbrechungen relevante Schäden auftreten, kann die Installation eines unterbrechungsfreien Stromversorgungssystems Abhilfe schaffen.

Das Berechnungsschema kann auch für einzelne Prozesse oder Anlagen verwendet werden, um Hinweise auf die Absicherung einzelner Einheiten des Unternehmens zu geben.

Dauer der Versorgungsunterbrechung:	< 1 Sekunde	3 Minuten	1 Stunde	24 Stunden
Schäden an Anlagen z. B. Steuerungselektronik, oder komplette Anlage bei z. B. erstarrten Schmelzprozessen				
Mangelhafte Produkte z. B. Ausschuss oder Wertminderung durch B-Ware				
Opportunitätskosten bei nicht nachholbarer Produktion Deckungsbeitrag, der nicht realisiert werden kann, weil Produkte nicht erzeugt und verkauft werden				
Folgekosten bei nachholbarer Produktion Kosten, die zusätzlich entstehen, wenn die Produktion nachgeholt wird, z. B. Nachtarbeitszuschläge				
Außerordentliche Kosten z. B. Vertragsstrafen				
Summe				

6. Literaturverzeichnis

- [1] Definition Energiewende in: [duden.de/rechtschreibung/Energiewende](https://www.duden.de/rechtschreibung/Energiewende). Mannheim: Bibliographisches Institut GmbH, 2012
- [2] Das Integrierte Energie- und Klimaschutzprogramm der Bundesregierung in: [bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_meseberg.pdf](https://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_meseberg.pdf). Berlin: BMU, 2007
- [3] Klimaschutzplan 2050 (Entwurf) – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), 2016
- [4] Deutschlands Zukunft gestalten – Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD. Berlin: Bundesregierung Deutschland, 2013
- [5] Bruttostromerzeugung in Deutschland ab 1990 nach Energieträgern. Berlin: AG Energiebilanzen e. V., 2017
- [6] Bayerisches Energieprogramm – für eine sichere, bezahlbare und umweltverträgliche Energieversorgung. München: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, 2015
- [7] Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) – in der Fassung vom 15.07.1985, zuletzt geändert am 31.07.2011. Bonn: Bundesrepublik Deutschland, 1959
- [8] Kernkraftwerke in Deutschland – Meldepflichtige Ereignisse seit Inbetriebnahme. Salzgitter: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), 2012
- [9] Leitfaden zum EEG-Einspeisemanagement – Abschaltfolge, Berechnung von Entschädigungszahlungen und Auswirkungen auf die Netzentgelte, Version 2.1. Bonn: Bundesnetzagentur (BNetzA), 2014
- [10] Monitoringbericht 2016 – Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB. Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA), 2016
- [11] Rippel, Kerstin Maria; Wiede, Thomas; Meinecke, Mario; König, Regina: Netzentwicklungsplan Strom 2030, Version 2017 – Erster Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber. Übertragungsnetzbetreiber, 2017
- [12] BBPIG-Monitoring – Stand der Vorhaben aus dem Bundesbedarfsplangesetz (BBPIG) nach dem vierten Quartal 2016. Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2017
- [13] Büchner, Dr.-Ing. Jens; Katzfey, Dr.-Ing. Jörg; Flörcken, Ole; Moser, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Albert; Schuster, Dr.-Ing. Henning; Dierkes, Sebastian; van Leeuwen, Tobias; Verheggen, Lukas; Uslar, Dr.-Ing. Mathias; van Amelsvoort, Marie: Moderne Verteilernetze für Deutschland – Verteilernetzstudie. Bonn: E-Bridge Consulting GmbH, 2014
- [14] Schwab, Adolf J.: Elektroenergiesysteme – Erzeugung, Transport, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie. Berlin: Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 2006
- [16] Transparency Plattform. Brüssel: ENTSO-E, 2015
transparency.entsoe.eu (Aufgerufen am 20.03.2016)
- [17] Mahnke, Eva; Mühlhoff, Jörg: Strom speichern in: Renewables Spezial, Ausgabe 29, April 2010. Berlin: Agentur für Erneuerbare Energien e. V., 2010
- [18] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen – DIN EN 50160. Berlin: Beuth-Verlag GmbH, 2011
- [19] Gobmaier, Thomas: Netzfrequenzmessung – Messung der Netzfrequenz und Berechnung der aktuellen Primärregelleistung in: [netzfrequenzmessung.de](https://www.netzfrequenzmessung.de). München, 2011
- [20] Störfestigkeit im Zusammenspiel von Kundenanlagen und Elektrizitätsnetzen, VDE – FNN, August, 2016
- [21] Haber, Alfons; Rodgarkia-Dara, Aria: Qualitätsregulierung – Theorie und internationale Erfahrungen in: [e-control.at/portal/page/portal/mediensbibliothek/strom/dokumente/pdfs/WP16_20051212.pdf](https://www.e-control.at/portal/page/portal/mediensbibliothek/strom/dokumente/pdfs/WP16_20051212.pdf). Wien: E-CONTROL, 2012
- [22] Quadflieg, Dieter: Infoblatt FNN-Störungsstatistik 2015 – FNN-Statistik belegt hohe Versorgungszuverlässigkeit des deutschen Stromnetzes. Berlin: VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V., 2016
- [23] Bier, Dr. Christoph: Die Qualität der Stromversorgung für Industriekunden – die Entwicklung in den Jahren 2009 bis 2011 in: [vik.de/pressemitteilung/items/aktuelle-vik-untersuchung-zeigt-stromversorgungsqualitaet-unter-hohem-druck-mehr-als-90-prozent-der-stromunterbrechungen-werden-.html](https://www.vik.de/pressemitteilung/items/aktuelle-vik-untersuchung-zeigt-stromversorgungsqualitaet-unter-hohem-druck-mehr-als-90-prozent-der-stromunterbrechungen-werden-.html). Essen: VIK Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e. V., 2012
- [24] Verordnung über die Anreizregulierung der Energieversorgungsnetze (Anreizregulierungsverordnung – ARegV). Berlin: Bundesregierung, 2016
- [25] Council of European Energy Regulators: [bundesnetzagentur.de/DE/Service-Funktionen/Beschlusskammern/Beschlusskammer4/BK4_71_Individuelle_Netzentgelte_Strom/Leitfaeden/Leitfaeden_indiv_Netzentgelte_2011/Leitfaeden_neu_2011_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Service-Funktionen/Beschlusskammern/Beschlusskammer4/BK4_71_Individuelle_Netzentgelte_Strom/Leitfaeden/Leitfaeden_indiv_Netzentgelte_2011/Leitfaeden_neu_2011_node.html). Brussels: Council of European Energy Regulators, 2015, abgerufen am: 29.06.2015.
- [26] Köppel, Matthias; Reitsam, Nina: Monitoring – Zusammenfassender Bericht der externen Stromnetzausfälle von 2012 bis 2016. Augsburg: IHK Schwaben, 2016
- [27] FfN: Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik – Anleitung – Systematische Erfassung von Störungen und Versorgungsunterbrechungen in elektrischen Energieversorgungsnetzen und deren statistische Auswertung in: [vde.com/resource/blob/968942/9ca62cc428a69a71834b7316fd192c96/erfassungsschema-a-und-b-data.pdf](https://www.vde.com/resource/blob/968942/9ca62cc428a69a71834b7316fd192c96/erfassungsschema-a-und-b-data.pdf). Berlin: Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN), 2011
- [28] Staudacher, Thomas; von Roon, Serafin; Vogler, G.: Energiespeicher – Stand, Perspektiven und Wirtschaftlichkeit. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FFE), 2009
- [29] Renewables Spezial – Strom speichern. Berlin: Agentur für Erneuerbare Energien e. V., 2011
- [30] Innovative Energieverteilung für Rechenzentren – Konzept für eine wirtschaftliche und sichere elektrische Energieverteilung. Regensburg: Sektor Infrastructure & Cities – Low and Medium Voltage Division, 2012
- [31] Keil, Dr. Reinhard: Haftungsverschärfung für Netzbetreiber – Das Verhältnis zwischen der Haftung der Netzbetreiber für Vermögensschäden und dem entstandenen Ertragsausfall von Letztverbrauchern nach Versorgungsstörungen in: Organisation und Management. Berlin: Gayen & Berns Homann GmbH, 2007
- [32] Allgemeine Energielieferbedingungen Sondervertrag LEW (AGB) – Stand: 12.2017 in: [lew.de/media/5930/formular_lewstrom24max_pg2.pdf](https://www.lew.de/media/5930/formular_lewstrom24max_pg2.pdf), 2017. Augsburg: Lechwerke AG (LEW), 2009
- [33] Verordnung über Allgemeine Bedingungen für den Netzanschluss und dessen Nutzung für die Elektrizitätsversorgung in Niederspannung (Niederspannungsanschlussverordnung – NAV). Berlin: Bundesrepublik Deutschland, 2006
- [34] Wagner, Fred: Gabler Versicherungslexikon. Wiesbaden: Springer, 2011
- [35] Allgemeine Bedingungen für die Versicherung gegen Schaden durch Betriebsunterbrechung infolge des Ausfalls der öffentlichen Elektrizitätsversorgung (ABUB [E]) – Fassung Dezember 1986. Gröbenzell: Technische Versicherungen, 1986
- [36] Allgemeine Maschinen-Versicherungsbedingungen (AMB 2008) in: [versicherung-kronberg.de/files/avb_maschinen_stationaer_amb_80610_01_2015.pdf](https://www.versicherung-kronberg.de/files/avb_maschinen_stationaer_amb_80610_01_2015.pdf). Kronberg, Schröder & Schröder KG, Versicherungs-Fachbüro, abgerufen 12.2017
- [37] Heuck, Klaus; Dettmann, Klaus-Dieter; Schulz, Detlef: Elektrische Energieversorgung – Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie für Studium und Praxis. Wiesbaden: Vierweg+Teubner Verlag, 2010
- [38] Oswald, B. R.: Vorlesung Elektrische Energieversorgung II – Skript Sternpunktterdung. Hannover: Leibniz Universität Hannover, 2005
- [39] Ausbau des Stromtransportnetzes – Technische Varianten im Vergleich. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2006
- [40] Versorgungsqualität – SAIDI-Werte 2006-2014 – Die Bundesnetzagentur veröffentlicht Daten zur Versorgungsqualität im Strombereich. Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA), 2015
- [41] Interview mit Joseph Schnitzler in [elektro.net/35585/netzbetreiber-haftet-verschuldensabhaengig/](https://www.elektro.net/35585/netzbetreiber-haftet-verschuldensabhaengig/), abgerufen am 27.07.2017

Ansprechpartner

IHK Aschaffenburg

Geschäftsbereich Innovation | Umwelt
 Andreas Elsner
 Kerschensteinerstraße 9
 63741 Aschaffenburg
 ☎ 06021 880-132
 @ elsner@aschaffenburg.ihk.de
 🌐 aschaffenburg.ihk.de

IHK zu Coburg

Geschäftsbereich Innovation | Umwelt
 Rico Seyd
 Schloßplatz 5
 96450 Coburg
 ☎ 09561 7426-46
 @ seyd@coburg.ihk.de
 🌐 coburg.ihk.de

IHK für München und Oberbayern

Geschäftsbereich Innovation | Mobilität | Umwelt
 Björn Athmer
 Balanstraße 55-59
 81541 München
 ☎ 089 5116-1548
 @ athmer@muenchen.ihk.de
 🌐 ihk-muenchen.de

IHK für Niederbayern in Passau

Geschäftsbereich Innovation | Umwelt
 Erich Doblinger
 Nibelungenstraße 15
 94032 Passau
 ☎ 0851 507-234
 @ doblinger@passau.ihk.de
 🌐 ihk-niederbayern.de

IHK Nürnberg für Mittelfranken

Geschäftsbereich Innovation | Umwelt
 Dr.-Ing. Robert Schmidt
 @ robert.schmidt@nuernberg.ihk.de
 Dr. Ronald Künneth
 @ ronaldkuenneth@nuernberg.ihk.de
 Ulmenstraße 52
 90443 Nürnberg
 ☎ 0911 1335-431
 🌐 ihk-nuernberg.de

IHK für Oberfranken Bayreuth

Bereich Innovation | Unternehmensförderung
 Frank Lechner
 Bahnhofstraße 25
 95444 Bayreuth
 ☎ 0921 886-112
 @ lechner@bayreuth.ihk.de
 🌐 bayreuth.ihk.de

IHK Regensburg für Oberpfalz / Kelheim

Geschäftsbereich Innovation | Umwelt
 Christine Götz
 D.-Martin-Luther-Straße 12
 93047 Regensburg
 ☎ 0941 5694-245
 @ goetz@regensburg.ihk.de
 🌐 ihk-regensburg.de

IHK Schwaben

Geschäftsbereich Innovation | Umwelt
 Nina Reitsam
 Stettenstraße 1+3
 86150 Augsburg
 ☎ 0821 3162-410
 @ nina.reitsam@schwaben.ihk.de
 🌐 schwaben.ihk.de

IHK Würzburg-Schweinfurt

Geschäftsbereich Innovation | Umwelt
 Oliver Freitag
 ☎ 0931 4194-321
 @ oliver.freitag@wuerzburg.ihk.de
 Jacqueline Escher
 ☎ 0931 4194-352
 @ jacqueline.escher@wuerzburg.ihk.de
 Mainaustraße 33 - 35
 97082 Würzburg
 🌐 wuerzburg.ihk.de

Impressum

Verleger und Herausgeber:

Bayerischer Industrie- und Handelskammertag (BIHK) e. V.
 Vorstand Dr. Eberhard Sasse und Peter Driessen
 Balanstraße 55-59, 81541 München
 ☎ +49 89-5116-0
 @ info@bihk.de
 🌐 bihk.de

Verantwortlich:

Björn Athmer, IHK für München und Oberbayern

Verfasser:

Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH
 Dr. Serafin von Roon, Benedikt Eberl
 Am Blütenanger 71
 80995 München
 🌐 ffgmbh.de

Gestaltung:

Busch Branding, München

Bildnachweis:

Titel: www.istockphoto.com: ©S_Bachstroem;
 Innenseiten: www.istockphoto.com: ©brizmaker, ©Markus Hofmann, ©vitranc, www.shutterstock.com: ©gyn9037, ©only_kim, ©Ziga Cetrlic

Druck:

Oberländer GmbH & Co. KG, München

Alle Rechte liegen beim Herausgeber. Ein Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit ausdrücklicher schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Stand: November 2017

IHK-Standorte in Bayern

Wir sind für Sie da





Industrie- und Handelskammern
in Bayern

Die IHKs in Bayern

Der Bayerische Industrie- und Handelskammertag e. V. (BIHK) ist die Dachorganisation der neun IHKs in Bayern. Alle bayerischen Unternehmen – ausgenommen Handwerksbetriebe, freie Berufe und landwirtschaftliche Betriebe – sind per Gesetz Mitglied einer IHK. Folglich spricht der BIHK für über 990.000 Unternehmen aller Größen und Branchen: vom global operierenden Konzern bis zum inhabergeführten mittelständischen Unternehmen. Der BIHK ist nicht abhängig von einer bestimmten Gruppe von Unternehmern, sondern repräsentiert das Gesamtinteresse der gewerblichen Wirtschaft in Bayern. Seit seiner Gründung im Jahr 1909 ist er die größte Wirtschaftsorganisation im Freistaat Bayern.