

Smart Grid LAB Hessen

WHITE PAPER

Smart-Grid Komponenten: Funktionalitäten und Nutzen

12. JULI 2022

TRACTEBEL ENGINEERING GMBH
BRANDI GUNN, HASSAN ABOUELGHEIT,
ASHWINI DANABAL



EUROPEAN UNION
Investing in Your Future
European Regional
Development Fund

HESSEN



Ministry for Economic Affairs,
Energy, Transport and Housing
State of Hessen

SMART
GRID LAB

1 Einleitung

Die Forderung nach zuverlässigen und effizienten Stromübertragungs- und -verteilungssystemen ist von größter Bedeutung. Herkömmliche Stromnetze sind in der Regel zentralisiert und bestehen aus einem unidirektionalen Netz, das Strom von zentralen Erzeugungsanlagen über ein Hochspannungsnetz durch die Übertragungs- und Verteilungssysteme bis zum Kunden auf Mittel- oder Niederspannungsebene überträgt, wobei nur sehr wenig Überwachung und nur eine grundlegende Steuerung auf dem Weg erfolgt.

Die Energieversorgungsunternehmen sind jedoch weltweit auf dem Weg zum Netz der nächsten Generation, das eine dezentrale Erzeugung, die Einführung von Prosumern, die sowohl Strom erzeugen als auch verbrauchen, veränderte traditionelle Lastmuster und fortschrittliche Steuersysteme umfasst, die Flexibilitätsoptionen wie das Demand Side Management ermöglichen, um Nachfragespitzen zu reduzieren und Netzüberlastungen zu verringern. Um die erforderliche Funktionalität des Netzes der Zukunft zu ermöglichen, muss es systemweite Überwachung, automatische Steuerung und Zweiwege-Kommunikationstechnologien umfassen.

Die Stromnetze bewegen sich von einem "Angebot folgt der Last" zu einem "Last folgt dem Angebot".

Zum besseren Verständnis wird das zentralisierte und das dezentralisierte Energiesystem in der folgenden Abbildung 1 dargestellt.

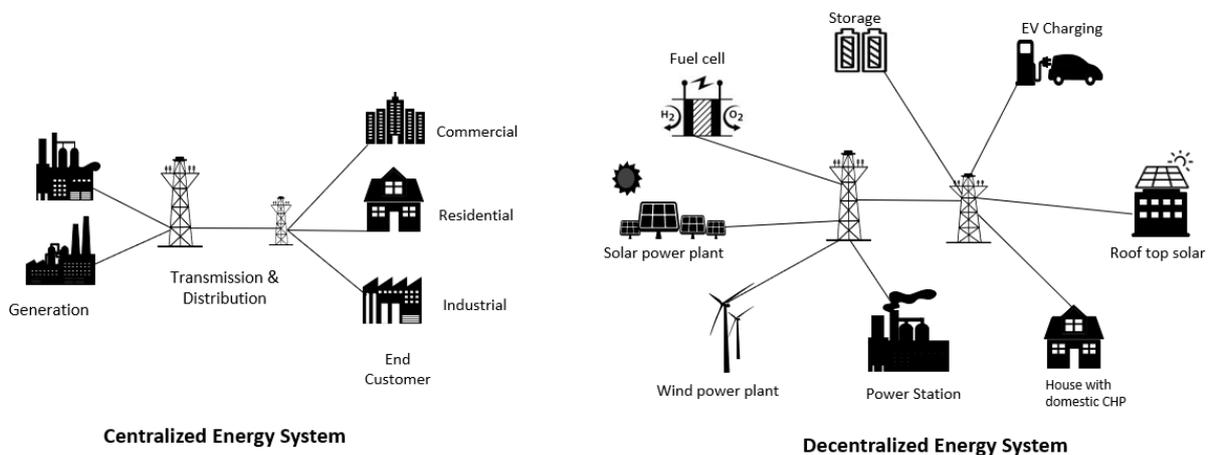


Abbildung 1: Zentralisiertes und dezentralisiertes Energiesystem

Intelligente Netze sind eine Schlüsselkomponente der zunehmend komplexen dezentralen Energiesysteme und der Energiesysteme der Zukunft.

Dies ist das erste von drei (3) White Papers, die Energieversorgungsunternehmen, Finanzierungsinstitutionen und regionalen Entscheidungsträgern helfen sollen, die verschiedenen Smart-Grid-Technologien zu verstehen, den aktuellen Reifegrad der Automatisierung ihres lokalen Netzes zu ermitteln und die wichtigsten Geschäftsfaktoren für Smart-Grid-Investitionen zu identifizieren.

- 1) White Paper 1: Smart.-Grid Komponenten - Funktionalitäten und Vorteile.
- 2) White Paper 2: Rahmen für die Bewertung des Reifegrads der Netzautomatisierung.
- 3) White Paper 3: Fallstudien für den nächsten Schritt der Smart-Grid-Investitions-Roadmap.

Dieses Whitepaper „Smart-Grid Components - Functionalities and Benefits“ beschreibt die innovativen Technologiekomponenten, aus denen sich das zusammensetzen könnte, was lose als "Smart-Grid" bezeichnet wird, und ordnet die einzelnen Komponenten ihren Funktionalitäten/Anwendungen zu. In einem zweiten Schritt werden diese Funktionalitäten den daraus resultierenden Vorteilen zugeordnet. Dies hilft bei der Identifizierung der Technologie, die als nächster Investitionsschritt in Betracht gezogen werden sollte, wenn die lokalen Netzbedingungen und der Geschäftsfall, der die Investition motiviert, gegeben sind.

Smart-Grid kann sowohl in Industrie- als auch in Entwicklungsländern eine wichtige Rolle spielen, indem es eine verbesserte Überwachung, Steuerung und Kommunikation bietet, um die Systemeffizienz, Zuverlässigkeit, Transparenz und Energienutzung zu verbessern und die Kosten zu minimieren. [1] Im Allgemeinen ist ein Smart-Grid eine innovative Infrastruktur, die Erzeugungs-, Übertragungs- und Verteilungssysteme mit integrierten Informations- und Kommunikationssystemen verbessert.

Das vorliegende Whitepaper ist wie folgt aufgebaut:

- Kapitel 2 gibt eine allgemeine Definition und Motivation für die Implementierung von Smart-Grid
- Kapitel 3 stellt die verschiedenen Komponenten mit ihren Funktionalitäten und deren Nutzen dar
- Kapitel 4 enthält einen Anhang mit Schlüsselwörtern, Abkürzungen und Referenzen

2 Smart-Grid

2.1 Allgemeine Definition

Das Hauptziel der Einführung intelligenter Netze ist eine nachhaltige, sichere und wettbewerbsfähige Energieversorgung bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung eines sicheren, stabilen und effizienten Systems in Bezug auf Kosten und Energie. Es gibt keine allgemeingültige Definition eines intelligenten Netzes, sondern zahlreiche Definitionen verschiedener Organisationen, z. B. der Internationalen Energieagentur (IEA), des Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC), der Europäischen Kommission (EC) usw.

Organisation	Definition
SmartGrid.gov [2]	Smart-Grid ist eine digitale Technologie, die eine bidirektionale Kommunikation zwischen Versorger und Verbraucher ermöglicht. Sie bietet eine noch nie dagewesene Chance, die Energiewirtschaft in eine neue Ära der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Effizienz zu führen, die zu unserer wirtschaftlichen und ökologischen Gesundheit beitragen wird.
IEEE [3]	Ein intelligentes Stromnetz ist ein revolutionäres Unterfangen, das neue Kommunikations- und Steuerungsmöglichkeiten, Energiequellen, Erzeugungsmodelle und die Einhaltung von rechtsübergreifenden Regulierungsstrukturen erfordert.
IEA [4]	Ein intelligentes Stromnetz ist ein Stromnetzsystem, das digitale Technologien nutzt, um den Transport von Strom aus allen Erzeugungsquellen zu überwachen und zu steuern, um den unterschiedlichen Strombedarf der Endverbraucher zu decken.
EC [5]	Ein intelligentes Netz wird in der TEN-E-Verordnung als ein Stromnetz definiert, das auf kosteneffiziente Weise das Verhalten und die Handlungen aller angeschlossenen Nutzer, einschließlich der Erzeuger, Verbraucher und derjenigen, die sowohl erzeugen als auch verbrauchen, integrieren kann, um ein wirtschaftlich effizientes und nachhaltiges Stromsystem mit geringen Verlusten und einem hohen Maß an Qualität, Versorgungssicherheit und Sicherheit zu gewährleisten.
IEC [6]	Ein intelligentes Stromnetz ist ein Stromnetzsystem, das digitale Technologien nutzt, um den Transport von Strom aus allen Erzeugungsquellen zu überwachen und zu steuern, um den unterschiedlichen Strombedarf der Endverbraucher zu decken.

Tabelle 1: Allgemeine Definition des Smart-Grid

Im Allgemeinen ist ein Smart-Grid ein Elektrizitäts- und Kommunikationsnetz, das durch die Integration von Informations- und (intelligenten) Kommunikationstechnologien der nächsten Generation einen Daten- und Stromfluss in beide Richtungen ermöglicht, was die Beobachtbarkeit und Steuerbarkeit eines komplexen Stromsystems verbessert und so eine effiziente, zuverlässige und nachhaltige Stromversorgung gewährleistet. Die folgende Abbildung 2 „Smart-Grid - Intelligentes Stromnetz“ zeigt das Konzept des intelligenten Stromnetzes.

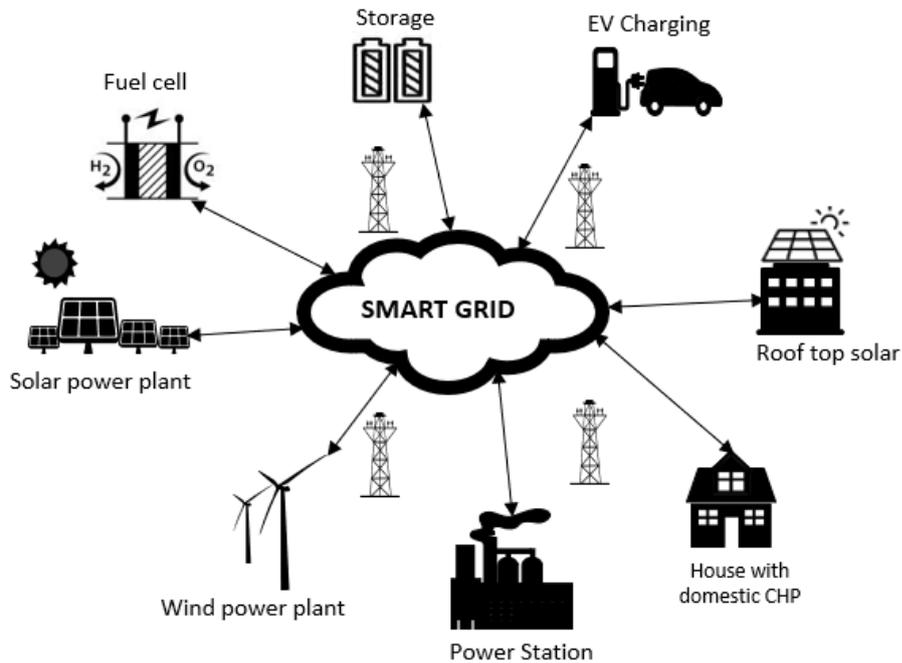
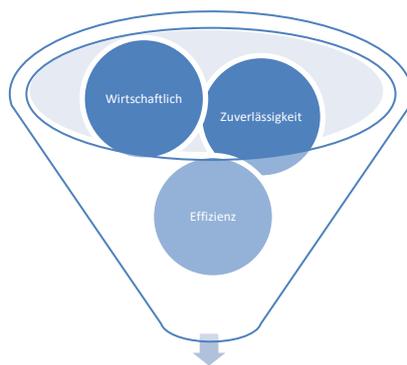


Abbildung 2: Smart-Grid - Intelligentes Stromnetz

2.2 Warum Smart-Grids? – Motivation

Ein intelligentes Stromnetz (Smart-Grid) ist ein System, das sich aus verschiedenen Teilsystemen zusammensetzt und verschiedene Kommunikations- und Informationstechnologien mit Steuerungen und Sensoren verbindet, um sowohl den Versorgungsunternehmen als auch den Verbrauchern eine breite Palette von Vorteilen zu bieten. Es gibt zahlreiche Gründe für die Einführung eines intelligenten Stromnetzes, die für eine Vielzahl von Akteuren gelten, darunter Versorgungsunternehmen, Energiedienstleister, Regulierungsbehörden, Verbraucher, Prosumenten und Regierungen.



Smart Grid Nutzen

Sicherheit / Verlässlichkeit

Stromversorgungssicherheit bezieht sich auf die Fähigkeit des Stromnetzes, seine Funktion unter Berücksichtigung möglicher widriger Umstände (technisch-wirtschaftlicher, geopolitischer usw. Art) kontinuierlich zu erfüllen. Die Zuverlässigkeit des Netzes bezieht sich auf seine Fähigkeit, die benötigte Strommenge zu liefern, wann und wo sie benötigt wird.

Die Integration intelligenter Netztechnologien wie fortschrittliche Zählerinfrastruktur, fortschrittliche Verteilungsmanagementsysteme und automatische Fehlerlokalisierung, -isolierung und -wiederherstellung verbessern die Zuverlässigkeit des Netzes durch automatische Reaktion.

Wirtschaftlich

Die wirtschaftliche Machbarkeit des Netzes hängt von den Kosten für die Einführung und den Betrieb des Netzes ab. Funktionen wie Nachfragesteuerung, Automatisierung von Umspannwerken und intelligente Zähler ermöglichen einen effizienteren Betrieb des Netzes und können den Investitionsbedarf verhindern oder hinauszögern, so dass ein wirtschaftlicher Nutzen entsteht.

Effizienz

Die Effizienz des Netzes hängt mit der Fähigkeit zusammen, die Last auf die effizienteste und optimalste Weise zu versorgen. Eine verbesserte Effizienz senkt die Kosten der Stromerzeugung und -versorgung. Fortgeschrittene Überwachungs- und Kontrollsysteme in den Verteilerzentren und auf der Ebene der Umspannwerke, kombiniert mit moderner Telekommunikationsinfrastruktur, werden eingesetzt, um die Beobachtbarkeit und die Effizienz des Stromnetzes zu erhöhen. SCADA- und ADMS-Systeme, Fehlererkennungsgeräte, RTU werden eingesetzt, um die Effizienz durch ein höheres Maß an Überwachung und Kontrolle zu steigern.

Umwelt

Umweltaspekte sind solche, die sich auf die Umwelt auswirken, insbesondere in Bezug auf Treibhausgasemissionen. Die Verringerung von Verlusten, die Integration variabler erneuerbarer Energien (VRE) und intelligente Anwendungen führen zu Umweltvorteilen, da sie die Nutzung von weniger treibhausgasintensiver Energie ermöglichen.

Abbildung 1: Arten von Smart-Grid-Nutzen

Der Nutzen von intelligenten Netzen ergibt sich aus den Hauptfunktionen der Komponenten. Diese Vorteile können in die Kategorien Wirtschaft, Zuverlässigkeit, Effizienz und Umwelt eingeteilt werden und sind in Tabelle 2 aus der Perspektive der einzelnen Nutznießer (Stakeholder) aufgeführt (siehe Abbildung 4: Stakeholder des Elektrizitätssystems).

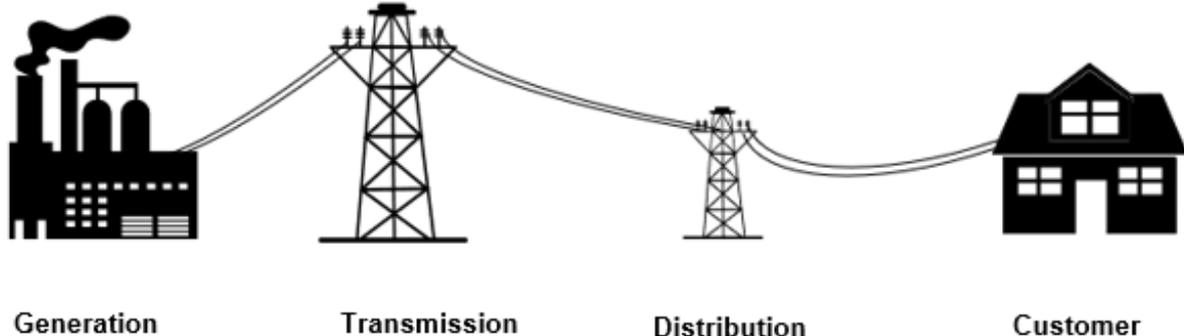


Abbildung 4: Interessengruppen des Elektrizitätssystems

Interessenvertreter	Motivation Smart-Grid Implementierung
KUNDEN	<p>ZUVERLÄSSIGKEIT:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verbessertes Dienstleistungsniveau. • Management von Nachfragespitzen (oder Nachfragesteuerung) führt zu zuverlässigeren Diensten. <p>WIRTSCHAFTLICH:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verbesserte Nutzungstransparenz, die zu einem geringeren Verbrauch und damit zu niedrigeren Stromrechnungen führt. • Fähigkeit zur Teilnahme an Flexibilitätsmärkten durch virtuelle Kraftwerke - Aggregation von DERs und Monetarisierung dieser Anlagen. <p>EFFIZIENZ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verbesserte Abrechnungsgenauigkeit und Zuverlässigkeit. <p>UMWELT:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bessere Möglichkeiten zur Beschaffung von Energie aus dezentralen Energiequellen. • Ermöglicht das Aufladen von Elektrofahrzeugen und damit eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Verkehr.
VERTEILUNG	<p>ZUVERLÄSSIGKEIT:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verringerung von Stromausfällen durch verbesserte Überwachungs- und Spitzenverschiebungsmöglichkeiten • Verkürzung der Störungsdauer (z. B. durch automatische Störungslokalisierung und -behebung). • Höhere Kundenzufriedenheit und verbesserte Kundenbeziehungen. • Aktives Energiemanagement der dezentralen Stromerzeugung zur Verringerung der Nachfragespitzen und damit zur Entlastung des Netzes und zur Entschärfung von Störungen. <p>WIRTSCHAFTLICH:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Höhere Einnahmen durch geringere Stromverteilungsverluste. • Geringere Betriebskosten durch verbessertes Abrechnungs- und Ertragsmanagement. • Chance auf zusätzliche Einnahmequellen durch neue Märkte wie Flexibilität, Einsatz und Betrieb von Microgrids und neue Geschäftsmodelle wie Tageszeittarife. • Geringere Betriebskosten durch verstärkte Automatisierung. • Verringerung oder Verzögerung von Investitionen in die Netzverstärkung. • Einführung fortschrittlicher Asset-Management-Modelle, die die Nutzung der Anlagenressourcen maximieren und die Zuverlässigkeit erhöhen.

	<p>EFFIZIENZ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geringere kommerzielle und technische Verluste. • Erhöhte Effizienz und Beobachtbarkeit durch verbesserte Automatisierungs- und Überwachungstechnologien. • Verbesserte Betriebsmanagementsysteme verlängern die Lebensdauer der Systemanlagen. <p>UMWELT:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ermöglicht die verstärkte Integration von intermittierenden erneuerbaren Ressourcen. • Geringere Emissionen durch geringere Verluste. • Ermöglichung der Elektrifizierung neuer Lasten (z. B. E-Mobilität, hocheffiziente Heizsysteme wie elektrische Wärmepumpen).
<p>ÜBERTRAGUNG</p>	<p>ZUVERLÄSSIGKEIT:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wide-Area-Monitoring (z.B. Phasor-Measurement-Unit) verbessert die Stabilität des Systems. • Höhere Genauigkeit bei der Planung von Investitionen aufgrund detaillierterer Systemdaten. • Selbstheilung durch Automatisierung ermöglicht es dem Netz, sich dynamisch zu rekonfigurieren, um sich von Ausfällen von Netzkomponenten, Naturkatastrophen, Fehlern usw. zu erholen. • Echtzeit-Steuerung und -Überwachung auf der Grundlage eines schnellen und genauen Datenaustauschs über das Netz werden die Zuverlässigkeit und Sicherheit des Systems verbessern und gleichzeitig die Übertragungsanlagen optimieren. <p>WIRTSCHAFTLICH:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geringere Betriebskosten durch verstärkte Automatisierung. • Die Verlagerung von Spitzenlasten reduziert und/oder verschiebt Investitionskosten. • Verteilte Erzeugung und Speicherung schaffen neue Marktchancen (z. B. Flexibilitätsmarkt). • Die Abflachung des Lastprofils minimiert die Betriebs- und Wartungskosten (O&M). <p>EFFIZIENZ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geringere Überlastungen bei der Übertragung verbessern die Systemeffizienz und verringern den Re-Dispatch. • Ermöglicht EMS- und Netzanwendungsfunktionen höherer Ordnung wie AGC, wirtschaftlicher Einsatz, optimaler Leistungsfluss usw. <p>UMWELT:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ermöglicht die verstärkte Integration von intermittierenden erneuerbaren Ressourcen und reduziert dadurch die Treibhausgasemissionen.

Tabelle 2: Smart-Grid Motivation – aus Sicht der Interessenvertreter

2.3 Smart-Grid Technologien

Smart-Grid integriert mehrere Technologien, die die Effizienz und Sicherheit des Stromnetzes erhöhen.

Gemeinsam sorgen diese Technologien für den bidirektionalen Energiefluss und die Kommunikation, die Überwachungs- und Steuerungsmöglichkeiten ermöglichen, was neue Funktionalitäten schafft. Gleichzeitig führt dies aber auch zu immer komplexeren Systemen. Vereinfacht ausgedrückt besteht ein intelligentes Stromnetz aus drei primären Schichten: der Energiesystemebene, der Kommunikationsebene und der Informationstechnologieebene. Jede Schicht erfüllt eine andere Funktion, um unterschiedliche Ziele zu erreichen. Die vereinfachte Version der Schichten ist in der folgenden Abbildung 5 Smart-Grid Technologie Ebenen dargestellt.

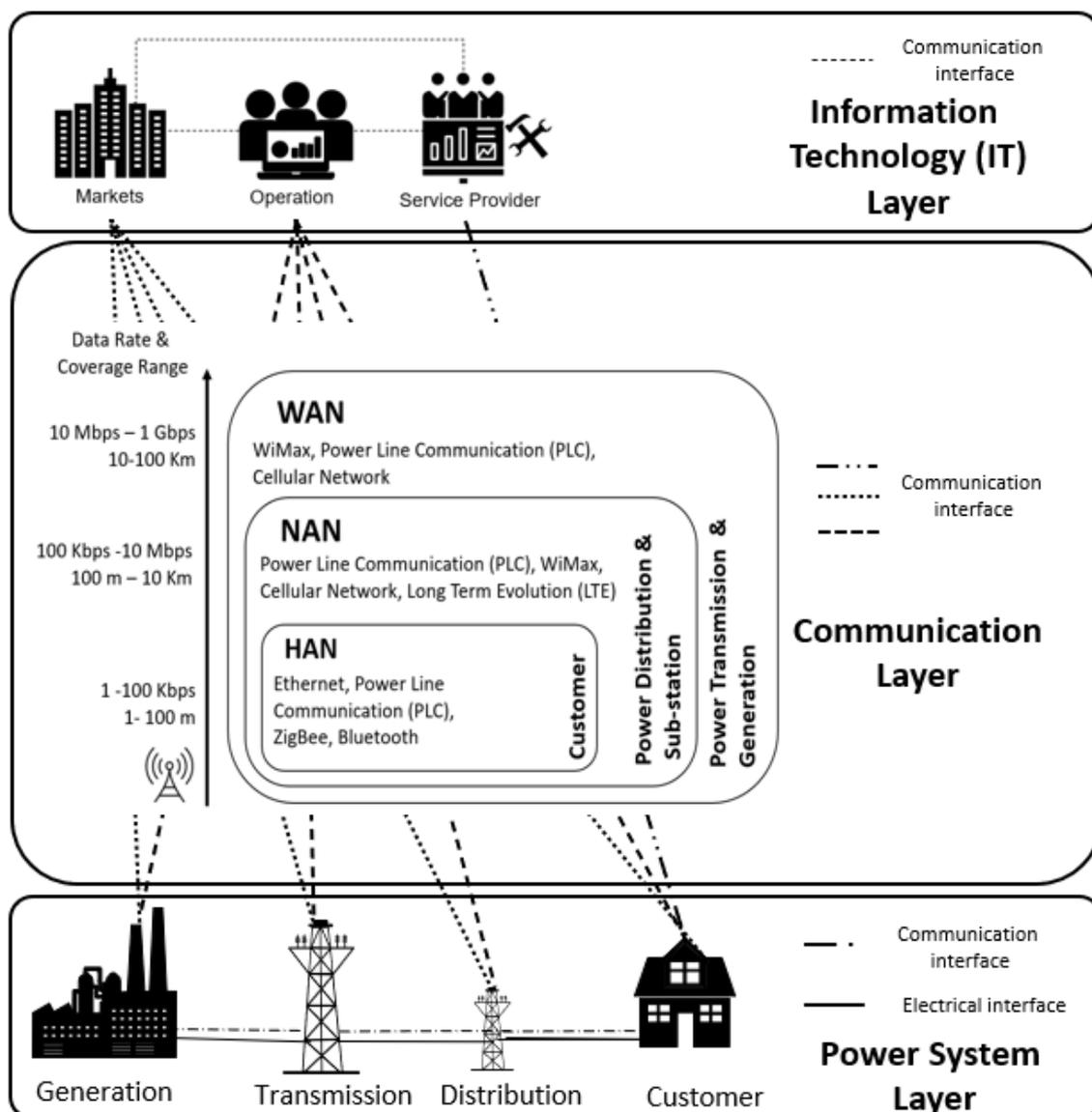


Abbildung 2: Ebenen der Smart-Grid Technologie

2.3.1 Ebene des Stromversorgungssystems

Die physischen Komponenten des Netzsystems, d. h. die (zentrale und dezentrale) Erzeugung, die Übertragung, die Umspannwerke, die Verteilung, die intelligenten Haushaltsgeräte und die Speicherung, bilden sozusagen die Stromnetzebene.

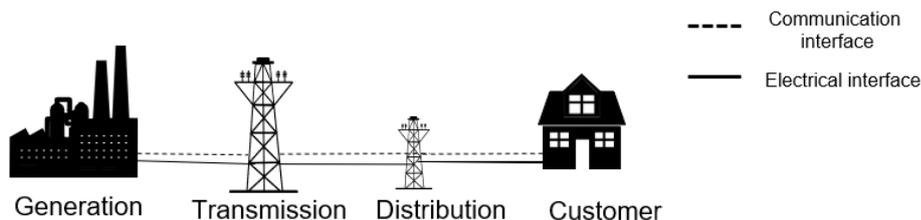


Abbildung 3: Smart-Grid – Ebenen des Stromversorgungssystems

Übertragungsnetz: Das effiziente Übertragungsnetz wird den Strom von der Großerzeugung auf Hoch- und Mittelspannungsebene zum Stromverteilungssystem transportieren. Dieses Netz wird in Echtzeit überwacht und gegen mögliche Störungen geschützt, um die Stabilität und den sicheren Betrieb des Systems zu gewährleisten. Hier besteht die Kommunikationsschnittstelle zwischen den Erzeugungsanlagen, dem Verteilernetz, dem Strommarkt und dem Netzbetrieb.

Verteilernetz: Die Verteilungsnetze verteilen den vom Übertragungsnetz empfangenen Strom auf Mittel- und Niederspannungsebene an private, industrielle und gewerbliche Endkunden und fungieren als Einspeisepunkt für kleine dezentrale (erneuerbare) Energien. Auf dieser Ebene findet die Kommunikation zwischen dem Übertragungsnetzbetreiber, den Endverbrauchern, dem Strommarkt und dem Netzbetrieb statt, um einen möglichst effizienten Betrieb des Netzes zu gewährleisten. In einem intelligenten Netzsystem sind die Automatisierung von Umspannwerken und die Automatisierung der Verteilung die wichtigsten Voraussetzungen für eine effiziente und zuverlässige Energieverteilung. Die Integration dezentraler Energieressourcen (DER) kommt dem Netz zugute, indem sie die Übertragungswege verkürzt und damit Systemüberlastungen und -verluste verringert sowie die Zuverlässigkeit und die Stromqualität verbessert.

Kunden: Die Kunden/Endverbraucher werden in private, industrielle und gewerbliche Nutzer unterteilt. Die Verbraucher können durch die Teilnahme an Demand-Response-Mechanismen eine aktive Rolle für einen effizienteren Betrieb des Verteilungssystems spielen. Die in Gebäuden und Haushalten installierten intelligenten Anwendungen, wie z. B. intelligentes Licht, intelligente Schalter usw., können die Nachfrage überwachen und steuern und so den Energieverbrauch und die Stromkosten minimieren. Auf dieser Ebene befindet sich die Kommunikationsschnittstelle zwischen Verteilungssystem, Strommarkt und Systembetrieb.

2.3.2 Kommunikationsebene

Ein robustes Kommunikationsnetz ist eine Voraussetzung für den Betrieb eines intelligenten Stromnetzes. In Smart-Grid-Systemen werden verschiedene Kommunikationstechnologien mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, Funktionen, Stärken und Schwächen eingesetzt. Die jüngsten Fortschritte bei den Kommunikationstechnologien spielen eine wichtige Rolle bei der Verwaltung eines optimalen Smart-Grid-Betriebs und ermöglichen die Koordinierung zwischen verschiedenen

Komponenten im Stromnetz. Der Austausch von Prozessdaten zwischen mehreren in der Smart-Grid-Umgebung verteilten Steuerungssystemen und IEDs stellt hohe Anforderungen an das Telekommunikationssystem in Bezug auf die Datenübertragungskapazität. Es ist zu erwarten, dass die Anzahl der Prozessparameter sowie die Abstraten der Datenerfassungsgeräte (RTU / PMU) in Zukunft weiter zunehmen werden, insbesondere angesichts der zu erwartenden Zunahme dezentraler Erzeugungsanlagen und eines höheren Grades der Netzautomatisierung.

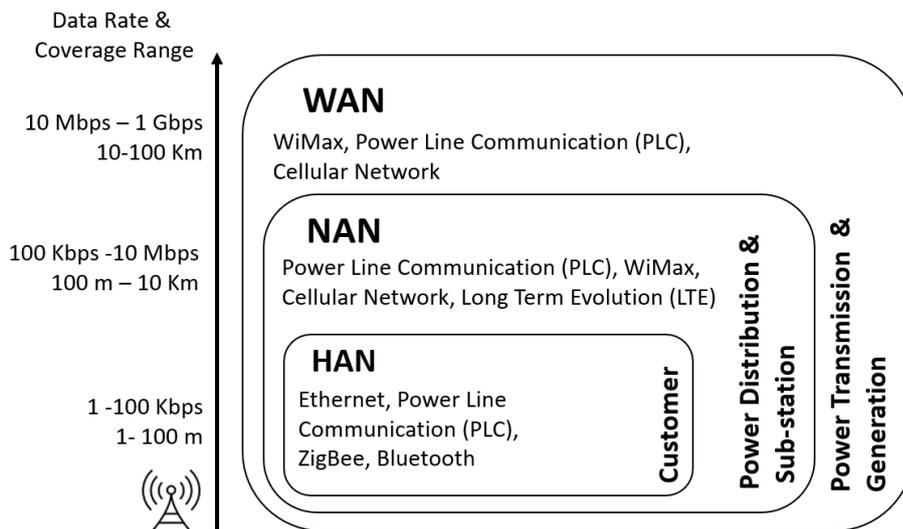


Abbildung 4: Smart-Grid – Kommunikationsebene und Technologien

Die Kommunikationsinfrastruktur des intelligenten Stromnetzes ist im Wesentlichen in drei Netze unterteilt: Home Area Network (HAN), Neighborhood-Area-Network (NAN) und Wide-Area-Network (WAN). Jedes dieser Kommunikationsnetze hat seinen eigenen Standard für Datenrate, Reichweite und Technologien und wird auf der Grundlage der Anforderungen des intelligenten Stromnetzes ausgewählt, um eine zuverlässige und sichere Kommunikation durch das System zu gewährleisten. Die Netzwerke nutzen sowohl drahtgebundene als auch drahtlose Kommunikationstechnologien für eine effiziente Datenkommunikation.

Das HAN-Netz befindet sich in der Nähe des Endnutzers und sorgt für den Kommunikationsfluss zwischen Computern, Mobiltelefonen und anderen Netzverbindungen im Haus oder in einem kleinen Bereich, z. B. für Smart-Home-Anwendungen. Die Daten von Smart-Home-Geräten werden über das HAN erfasst und an intelligente Zähler übertragen. Mehrere HANs sind an ein einziges NAN-Netz angeschlossen, das Informationen sammelt und die Kommunikation mit dem WAN ermöglicht. Das WAN verfügt über mehrere NANs und ermöglicht eine leistungsfähige Kommunikation zwischen verschiedenen Komponenten des intelligenten Stromnetzes, vom Endverbraucher bis zu den Versorgungsunternehmen. Eine visuelle Darstellung der Smart-Grid-Kommunikationsinfrastruktur und ihrer Technologien ist in Abbildung 7 Smart-Grid - Kommunikationsebene und Technologien zu sehen.

2.3.3 Informationstechnische Ebene

Die informationstechnische Ebene des intelligenten Netzes spielt eine wichtige Rolle bei der Umwandlung des herkömmlichen Netzes in ein intelligentes Netz. Diese Schicht besteht aus

verschiedenen Computerplattformen, Betriebssystemen, Systembetrieb, Strommarkt, Geschäftsanwendungen und -diensten sowie Datenwerkzeugen.

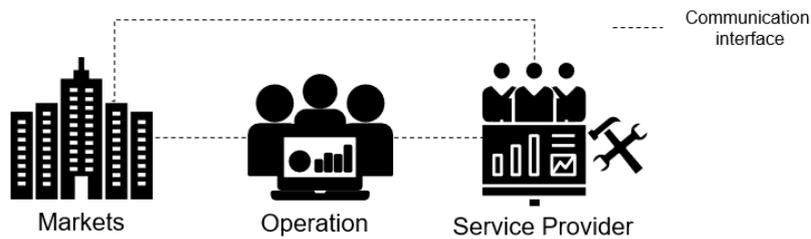


Abbildung 5: Smart-Grid – Informationstechnische Ebene

Der Betrieb eines intelligenten Netzes erfordert eine Kommunikationsschnittstelle mit den Großerzeugungsanlagen, dem Übertragungssystem, dem Verteilungssystem (Automatisierung der Umspannwerke und der Verteilung), den dezentralen Managementsystemen (DMS), den Kunden und den Energiemärkten. Die Stromnetzbetreiber müssen mit den verschiedenen Dienstleistern interagieren, um das Funktionieren des intelligenten Stromnetzes zu gewährleisten. Zählung, Aufzeichnung, Betriebssteuerung und Lastüberwachung in Echtzeit durch den Austausch von Informationen mit dem Energiemarkt werden ebenfalls im Rahmen des Betriebs implementiert. Mit Hilfe der Smart-Grid-Technologie verfügen die Strommarktbetreiber über Kommunikationsschnittstellen mit den Erzeugungs-, Übertragungs- und Verteilungssystemen, den Energiedienstleistungsunternehmen sowie den Verbrauchern, die als Prosumer agieren oder an DMS-Programmen teilnehmen, indem sie die Preisinformationen für kürzere Zeiträume bereitstellen.

Die großen Datenmengen, die innerhalb und zwischen den einzelnen Ebenen des intelligenten Stromnetzes fließen, stellen die Versorgungsunternehmen vor große Herausforderungen bei der Verarbeitung. Daher müssen Datenverwaltungstechniken, die Smart-Grid-Anwendungen die Verwaltung großer Datenmengen erleichtern, durch den Einsatz fortschrittlicher Analyselösungen sichergestellt werden. Advanced Distribution Management Systems (ADMS) integriert das Outage Management System (OMS), das Customer Information System (CIS), die Advanced Metering Infrastructure (AMI) und das Geographic Information System (GIS), um die große Menge an Daten zu verwalten, zu verarbeiten und zu nutzen. Das Demand Response Management System (DRMS) ist aufgrund seiner aktiven Interaktion mit vielen anderen Systemen/Komponenten im Netz ebenfalls stark auf eine schnelle und genaue Datenverwaltung angewiesen.

3 Funktionalität und Nutzen von Smart-Grid

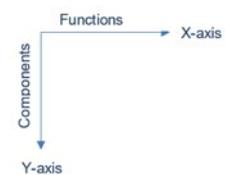
Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Energieversorgungs-, Kommunikations- und Informationstechnologieebenen jeweils ihre eigenen Funktionen haben, die wiederum mit den anderen Ebenen interagieren und zusammenarbeiten, um die übergreifenden Systemvorteile zu

ermöglichen, wie z. B. ein erhöhtes Maß an Integration erneuerbarer Energien, verbesserte Zuverlässigkeit, reduzierter Energieverbrauch und minimierte nicht bediente Last.

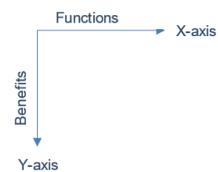
In einem Verteilernetz wird die Funktionalität des Echtzeit-Lastmanagements durch eine Kombination aus Advanced Distribution Operation (Advanced Distributed Management System + Advanced Distribution Automation), auf Feldebene installierten IED und einem dazwischen liegenden hochzuverlässigen Telekommunikationssystem erreicht. Die Überwachung und Steuerung in Echtzeit erfordert eine schnelle Übertragung von Prozessdaten in beide Richtungen und geringe Latenzzeiten der installierten Netzautomatisierungskomponenten.

Die Funktionalität der automatischen Spannungs-/VAR-Regelung in Übertragungs- und Verteilungsnetzen (T&D) basiert auf der Kombination fortschrittlicher Messgeräte und entsprechender Installationen wie Generatoren, Advanced Distribution Operation, Steuer-/Leistungswechselrichtern, Phasenwinkelregelungs-Transformatoren, FACTS und bidirektionalen Kommunikationskomponenten, die zusammenarbeiten.

In Tabelle 3 Komponenten und ihre Funktionen sind die Komponenten auf der Y-Achse und die Funktionen der Komponenten auf der X-Achse aufgeführt. Die Funktionen werden entlang der gleichen X-Achse weiter unterteilt in Übertragung, Übertragung und Verteilung, Unterstationen und Verbraucher. ■ bezeichnet die zugeordnete Funktion der Komponente.



In Tabelle 4 Funktionalitäten zu Nutzen sind die Nutzen auf der Y-Achse und die Funktionen der Komponenten auf der X-Achse aufgeführt. Die Vorteile sind auf der Y-Achse in folgende Kategorien eingeteilt: Wirtschaft, Sicherheit/Zuverlässigkeit, Effizienz und Umwelt. Die Funktionen hingegen werden auf der X-Achse in die Kategorien Übertragung, Übertragung und Verteilung, Unterstationen und Verbraucher unterteilt. ■ bezeichnet den zugeordneten Nutzen der Funktion.



Anmerkung: Die Definitionen der Funktionen und Abkürzungen sind im Anhang aufgeführt.

KOMponenten	Funktionen																		
	Übertragung		Übertragung & Verteilung								Verteilung		Schaltanlage		Kunden				
	Steuerung des Energieflusses	Weiträumige Überwachung	Automatisierte Volt/VAR-Kontrolle	Management von Stromausfällen	Systemisolierung und -wiederherstellung	Adaptiver Schutz	Reduzierung des Kurzschlussstroms	Reduzierung des Spannungsflickerns	Lastüberwachung in Echtzeit	Automatisierte Zubringerschaltung	Bewertung dynamischer Leistungsfähigkeit	Fehlererkennung und Schutz	Wartung und Verwaltung von Netzen	Identifizierung des Systemzustands	Fehlerstrombegrenzung	Angaben zum Stromverbrauch	Lastmanagement in Echtzeit	Einführung intelligenter Technologien für Zuhause	Systemsicherheit (Datenschutz)
Intelligente Zähler (AMI/AMR)			■									■			■	■	■	■	
Erweiterter Verteilungsbetrieb (ADMS + ADA)			■		■	■			■	■	■	■	■				■		
Phasor-Messeinheit (PMU)		■		■															
Fehlererkennung, -lokalisierung, -isolierung + Dienstwiederherstellung (FLISR)				■	■				■	■		■	■	■					
System zur Überwachung des Gerätezustands (EHM)										■		■	■						

Wechselrichter			■		■														
Fernbedienungseinheit (RTU)									■	■		■		■					
SCADA / EMS				■	■				■	■		■		■					
Phasenanschnitt-Regeltransformator	■		■				■												
Fault current Indicators							■								■				
Intelligent Electronic Devices (IED)				■		■			■			■	■						
Remote Intelligent Switch (reclosers)				■			■								■				
2-Wege Kommunikation		■	■		■	■				■			■	■			■	■	
Intelligente Geräte																	■	■	
Lösungen zur Energiespeicherung	■			■	■														
FACTS-Geräte (STATCOM)	■		■					■											
System zur Verwaltung verteilter Energieressourcen (DERMS)					■				■				■			■	■		■

Tabelle 3: Funktionen zu Komponenten

NUTZEN		FUNKTIONEN																	
		ÜBERTRAGUNG		ÜBERTRAGUNG & VERTEILUNG								VERTEILUNG		SUB-STATION		KUNDEN			
		Steuerung des Energieflusses	Weiträumige Überwachung	Automatisierte Volt/VAR-Kontrolle	Management von Stromausfällen	Systemisolierung und -wiederherstellung	Adaptiver Schutz	Reduzierung des Kurzschlussstroms	Reduzierung des Spannungflackerns	Lastüberwachung in Echtzeit	Automatisierte Zubringerschaltung	Bewertung der dynamischen Leistungsfähigkeit	Fehlererkennung und Schutz	Wartung & Verwaltung von Netzen	Identifizierung des Systemzustands	Fehlerstrombegrenzung	Angaben zum Stromverbrauch	Lastmanagement in Echtzeit	Einführung intelligenter Technologien für Zuhause
SICHERHEIT/ ZUVERLÄSSIGKEIT	Reduzierte dauerhafte Ausfälle		■		■	■	■		■	■		■	■	■			■		
	Geringere Systemtransienten			■	■			■				■							
	Geringere Häufigkeit größerer Ausfälle		■		■	■							■				■		■
	Verkürzte Wiederherstellungszeit	■	■		■		■					■							
	Reduzierte großflächige Stromausfälle	■	■		■					■	■			■					

NUTZEN		FUNKTIONEN																		
		ÜBERTRAGUNG		ÜBERTRAGUNG & VERTEILUNG								VERTEILUNG		SUB-STATION		KUNDEN				
		Steuerung des Energieflusses	Weiträumige Überwachung	Automatisierte Volt/VAR-Kontrolle	Management von Stromausfällen	Systemisolierung und -wiederherstellung	Adaptiver Schutz	Reduzierung des Kurzschlussstroms	Reduzierung des Spannungsfleckerns	Lastüberwachung in Echtzeit	Automatisierte Zubringerschaltung	Bewertung der dynamischen Leistungsfähigkeit	Fehlererkennung und Schutz	Wartung & Verwaltung von Netzen	Identifizierung des Systemzustands	Fehlerstrombegrenzung	Angaben zum Stromverbrauch	Lastmanagement in Echtzeit	Einführung intelligenter Technologien für Zuhause	Systemsicherheit (Datenschutz)
	Selbstheilungsfähigkeit					■				■	■			■						
	Mehr Datenschutz																	■		■
EFFIZIENZ	Geringere Leitungsverluste	■		■	■			■	■					■						
	Verbesserte Nachfragesteuerung										■		■					■	■	
	Geringere Überlastung	■	■												■					
UM-WELT	Geringere Treibhausgasemissionen	■		■					■								■	■	■	

NUTZEN		FUNKTIONEN																	
		ÜBERTRAGUNG		ÜBERTRAGUNG & VERTEILUNG								VERTEILUNG		SUB-STATION		KUNDEN			
		Steuerung des Energieflusses	Weiträumige Überwachung	Automatisierte Volt/VAR-Kontrolle	Management von Stromausfällen	Systemisolierung und -wiederherstellung	Adaptiver Schutz	Reduzierung des Kurzschlussstroms	Reduzierung des Spannungsflackerns	Lastüberwachung in Echtzeit	Automatisierte Zubringerschaltung	Bewertung der dynamischen Leistungsfähigkeit	Fehlererkennung und Schutz	Wartung & Verwaltung von Netzen	Identifizierung des Systemzustands	Fehlerstrombegrenzung	Angaben zum Stromverbrauch	Lastmanagement in Echtzeit	Einführung intelligenter Technologien für Zuhause
Effiziente Verwaltung der Einnahmen									■							■	■	■	
Geringere Betriebskosten			■								■	■							
Geringere Wartungskosten				■				■	■		■								
Geringere Kosten für Nebendienstleistungen		■																	
Geringere Überlastungskosten	■	■								■							■		

NUTZEN		FUNKTIONEN																						
		ÜBERTRAGUNG		ÜBERTRAGUNG & VERTEILUNG								VERTEILUNG		SUB-STATION		KUNDEN								
		Steuerung des Energieflusses	Weiträumige Überwachung	Automatisierte Volt/VAR-Kontrolle	Management von Stromausfällen	Systemisolierung und -wiederherstellung	Adaptiver Schutz	Reduzierung des Kurzschlussstroms	Reduzierung des Spannungsflickerns	Lastüberwachung in Echtzeit	Automatisierte Zubringerschaltung	Bewertung der dynamischen Leistungsfähigkeit	Fehlererkennung und Schutz	Wartung & Verwaltung von Netzen	Identifizierung des Systemzustands	Fehlerstrombegrenzung	Angaben zum Stromverbrauch	Lastmanagement in Echtzeit	Einführung intelligenter Technologien für Zuhause	Systemsicherheit (Datenschutz)				
	Geringere kommerzielle Verluste															■					■	■		

Tabelle 4 Funktionen zu Nutzen

4 ANNEX

4.1 Glossar

2-Wege-Kommunikation: Die 2-Wege-Kommunikation zwischen den Komponenten verbessert die Überwachung und Steuerung des Netzes durch den Austausch von Netzzustands- und Energieverbrauchsdaten.

Adaptiver Schutz: Der adaptive Schutz verwendet einstellbare Schutzrelaissysteme wie Strom und Spannung in Echtzeit. Er wird durch die Überwachung des Status der Schutzgeräte implementiert und wendet dann die Änderungen auf der Grundlage der Betriebsart an.

Erweiterter Verteilungsbetrieb (ADMS + ADA): Advanced Distribution Operation ist das Softwareplattform-Steuerungssystem, das aus Advanced Distribution Management System und Advanced Distribution Automation besteht und die Leistung des Verteilungsmanagements und der Netzoptimierung unterstützt.

Fortschrittlicher Unterbrechungsschalter: Der fortschrittliche Unterbrechungsschalter unterbricht die Fehler schnell und isoliert den fehlerhaften Teil, indem er ihn vollständig vom Netz trennt, um Ausfälle zu vermeiden.

Bluetooth: Hierbei handelt es sich um eine drahtlose LAN-Technologie, die auf dem IEEE 802.15.1-Standard basiert und für die Verbindung von mobilen und anderen stationären Geräten über eine Funkübertragung mit geringem Stromverbrauch entwickelt wurde.

Zellulares Netzwerk: Aufgrund der hohen Datenübertragungsrate von bis zu 100 Mbit/s, der gut ausgebauten Infrastruktur und der verfügbaren Sicherheitsalgorithmen wird es in vielen Ländern eingesetzt. Es wird für die Kommunikation verschiedener Komponenten und Geräte im intelligenten Stromnetz unter Verwendung verschiedener bestehender Mobilfunktechnologien wie GSM, GPRS, 2G, 3G, 4G, LTE und WiMAX verwendet.

System zur Überwachung des Anlagenzustands (EHM): Systeme zur Überwachung des Gerätezustands sind so konzipiert, dass sie den Status der Geräte in Echtzeit überwachen und einen Alarm auslösen, wenn das System von den normalen oder vordefinierten Einstellungen abweicht, um das Netz vor Ausfällen zu schützen.

Ethernet: Ethernet ist eine rahmenbasierte Kommunikationstechnologie nach dem IEEE 802.3-Standard, die für kabelgebundene LANs verwendet wird. Es handelt sich um eine einfache Netzwerktechnologie, die den Vorteil hat, dass sie neue Technologien und Zuverlässigkeit zu niedrigen Kosten integriert.

FACTS: FACTS - Flexible AC Transmission System sind schnell wirkende Regelungsstrategien, die sich aus statischen Geräten zusammensetzen und die Zuverlässigkeit des Netzes durch Verbesserung der Stromübertragungsfähigkeit und verbesserte Regelbarkeit erhöhen.

Fehlerstrombegrenzer: Fehlerstrombegrenzer oder -regler sind Geräte, die den Fehlerstrom im Netz minimieren, ohne es während des Fehlerzustands zu unterbrechen.

Fehlererkennungsgeräte: Fehlererkennungsgeräte sind Geräte, die Fehler schnell und automatisch erkennen, bevor das System beeinträchtigt wird.

Faseroptische Kommunikation: In Stromnetzen eignet sie sich gut für Steuerungs- und Überwachungszwecke, z. B. für die Verbindung von Umspannwerken mit den Kontrollzentren der Versorgungsunternehmen. Sie hat eine große Reichweite und eine hohe Datenrate, ist aber teurer als andere alternative Technologien.

Flusskontrolle: Bei der Übertragung beeinflusst die Flusststeuerung den Weg der Wirk- oder Blindleistung.

Phasenwinkeltransformator: "Diese Transformatoren regeln den Phasenwinkel der Spannung durch Steuerung des Wirkleistungsflusses im Übertragungsnetz und verbessern die Stabilität des Übertragungsnetzes.

Phasennessgeräte (Phasor Measurement Units PMU): PMUs sind Geräte, die die Phasenwinkel sowie Strom und Spannung an einer bestimmten oder ausgewählten Station des Stromnetzes messen können. PMUs werden auch zur Überwachung des Stromnetzes eingesetzt, was die Zuverlässigkeit der Stabilität des Stromnetzes erhöht.

Power Line Communication: Bei der Powerline-Kommunikation (PLC) werden die Daten über elektrische Stromleitungen ausgetauscht, wobei ein modulierte Trägersignal verwendet wird. Es handelt sich um eine ausgereifte und zuverlässige Technologie, die verschiedene Frequenzbänder mit einer Datenrate von bis zu 10 Mbit/s abdeckt. Daher wird sie in verschiedenen Smart-Grid-Umgebungen eingesetzt, insbesondere bei der Kommunikation in Nachbarschaftsnetzwerken (Neighborhood Area Network).

Kommunikation über Stromleitungen: Bei der Power Line Communication (PLC)-Technologie werden die Daten über elektrische Stromleitungen ausgetauscht, wobei ein modulierte Trägersignal verwendet wird. Es handelt sich um eine ausgereifte und zuverlässige Technologie, die verschiedene Frequenzbänder mit einer Datenrate von bis zu 10 Mbps abdeckt. Daher wird sie in verschiedenen Smart-Grid-Umgebungen eingesetzt, insbesondere bei der Kommunikation im Neighborhood Area Network.

Leistungs- oder Smart-Wechselrichter: Leistungs- oder intelligente Wechselrichter sind in der Lage, den Wirk- und Blindleistungsfluss zu steuern, Fehler zu erkennen usw. Außerdem fungieren diese Wechselrichter als Schnittstelle zwischen den Verteilungsenergiequellen (DER) und dem Netz.

Fernbedienungseinheit (RTU): Die RTU sammelt Echtzeitdaten von den physischen Geräten und überträgt sie an die Station.

Intelligente Geräte: Intelligente Geräte sind Geräte, die mit Kommunikationstechnologien ausgestattet sind, um eine automatische Fernsteuerung zum Zwecke des Demand Side Management (DSM) zu ermöglichen.

Intelligente Zähler - AMI & AMR: AMR steht für Automated Meter Reading (automatische Zählerablesung), während AMI (Advanced Metering System) Zähler sind, die über 2-Wege-Kommunikation gesteuert werden können, anstatt nur die Daten abzulesen.

STATCOM: Der statische Synchronkompensator ist ein im Nebenschluss geschalteter FACTS, der hauptsächlich zur Blindleistungsregelung und zur Reduzierung von Spannungsschwankungen eingesetzt wird.

Überwachungssteuerung und Datenerfassung (SCADA): SCADA-Systeme ermöglichen die Fernüberwachung und -steuerung der Stromversorgungssysteme und damit den Fernbetrieb.

Anhaltende und größere Ausfälle: Ein dauerhafter Ausfall ist ein stromloser Zustand der Stromübertragungsleitung, der weniger als 5 Minuten dauert. Größere Ausfälle hingegen dauern länger als 5 Minuten und sind oft auf einen Geräteausfall oder eine Überlastung des Systems zurückzuführen.

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) ist eine drahtlose Technologie auf der Grundlage der Norm IEEE 802.16. Sie nutzt die Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)-Technik, um sowohl feste als auch mobile Konnektivität zu ermöglichen. Sie wird für die Kommunikation in Neighborhood Area Networks (NAN) und Wide Area Networks (WAN) im Smart-Grid eingesetzt. Die Datenraten betragen bis zu 75 Mbit/s für feste Verbindungen und 15 Mbit/s für mobile Verbindungen mit einer Reichweite von bis zu 50 km.

WLAN: Ein drahtloses lokales Netzwerk (Wireless Local Area Network, WLAN) verbindet zwei oder mehr Geräte im Netz unter Verwendung des Spreizspektrums und basiert auf dem Standard IEEE 802.11. Es handelt sich um eine kostengünstige und weltweit weit verbreitete Technologie mit einem Arbeitsfrequenzbereich von 2,4 GHz bis 3,5 GHz.

ZigBee: Zigbee basiert auf dem IEEE 802.15.4-Standard. Es handelt sich um ein offenes drahtloses Netzwerk mit kurzer Reichweite, langer Batterielebensdauer, niedrigen Kosten und Datenrate. Dabei handelt es sich um eine energieeffiziente Technologie, die auf vier verschiedenen Frequenzbändern arbeitet und Reichweiten bis zu 100 Metern abdeckt. Mit dieser Technologie können bis zu 60.000 Geräte an das Netzwerk angeschlossen werden. Sie unterstützt verschiedene Anwendungen wie intelligente Zähler, Home-Displays, intelligente Leuchten und Schalter, die eine drahtlose Übertragungsrate über kurze Entfernungen erfordern.

4.2 Abkürzungen

ADA – Advanced Distribution Automation	Erweiterte Vertriebsautomatisierung
ADMS - Advanced Distribution Management Systems	Fortgeschrittene Verteilungsmanagementsysteme
AMI - Advanced Metering Infrastructure	Fortgeschrittene Zählerinfrastruktur
DA – Distribution Automation	Verteilungsautomatisierung
DER - Distribution energy resource	Verteilungsenergiequelle
EC - European Commission	Europäische Kommission
EV – Electric Vehicle	Elektrofahrzeug
FACTS - Flexible AC Transmission System	Flexibles AC-Übertragungssystem
HAN - Home Area Network	Heimnetzwerk
ICT – Information & Communication Technologies	Informations- und Kommunikationstechnologien
IEA – International Energy Agency	Internationale Energieagentur
IEC - International Electrotechnical Commission	Internationale Elektrotechnische Kommission
IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut der Elektro- und Elektronikingenieure
LTE - Long Term Evolution	Langfristige Entwicklung
NAN - Neighborhood Area Network	Neighborhood Area Network (Nachbarschaftsnetzwerk)
PLC - Power Line Communication	Power Line Kommunikation
PLC - Programmable Logic Controller	Speicherprogrammierbare Steuerung
PMU – Phasor Measurement Unit	Phasor Measurement Unit (Phasenmessgerät)
RTU - Remote Terminal Unit	Fernbedienungseinheit
SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition	Überwachungssteuerung und Datenerfassung
STATCOM - Static Synchronous Compensator	Statischer Synchronkompensator
VAR - Volt-Amp Reactive	Volt-Ampere Blindleistung
VPP - Virtual Power Plant	Virtuelles Kraftwerk
WAN – Wide Area Network	Großraumnetz
WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access	Weltweite Interoperabilität für Mikrowellenzugang Neighborhood Area Network
WLAN - A Wireless Local Area Network (WLAN)	Ein drahtloses lokales Netzwerk (WLAN)

4.3 Referenzen

[1] Gregory Sachs, "A principle-based system architecture framework applied for defining, modelling & designing next generation smart grid systems," Massachusetts Institute of Technology, May 2010.

<http://hdl.handle.net/1721.1/62773>

[2] The Department of Energy's Office of Electricity (OE): Smart Grid.

https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html

[3] IEEE smart Grid: <https://smartgrid.ieee.org/about-ieee-smart-grid>

[4] ERIA: Economic Research Institute for ASEAN and East Asia

https://www.eria.org/RPR_FY2015_No.20_Chapter_4.pdf

[5] European Commission-Energy: https://ec.europa.eu/energy/home_en

[6] International Electrotechnical Commission: <https://www.iec.ch/energies/smart-energy>

Referenzen der Tabelleninhalte:

[1] Guidebook for Cost/Benefit Analysis of Smart Grid, Demonstration Projects, Revision 1, Measuring Impacts and Monetizing Benefits, ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE Guidebook-Cost-Benefit-Analysis-Smart-Grid-Demonstration-Projects

[2] Smart grid cost-benefit analysis, <https://ses.jrc.ec.europa.eu/smart-grid-cost-benefit-analysis>

[3] Smart grid: technology and applications / Janaka Ekanayake ... [et al.]