

# QUO VADIS SMART ENERGY – ENTWICKLUNGSPFADE SMARTER TECHNOLOGIEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

Tobias Rehm<sup>\*1,2</sup>, Sascha Birk<sup>\*1,2</sup>, Thorsten Schneiders<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Virtuelles Institut Smart Energy (VISE) - Entwicklung digitaler Geschäftsmodelle im energiewirtschaftlichen Innovationssystem, [www.smart-energy.nrw](http://www.smart-energy.nrw)

<sup>2</sup> Technische Hochschule Köln, Cologne Institute for Renewable Energy (CIRE),  
Betzdorfer Str. 2, D-50679 Köln, 0221 8275 2417,  
{[tobias.rehm](mailto:tobias.rehm)|[sascha.birk](mailto:sascha.birk)|[thorsten.schneiders](mailto:thorsten.schneiders)}@th-koeln.de, [www.th-koeln.de](http://www.th-koeln.de)

**Kurzfassung:** Im Zuge des Megatrends der Digitalisierung sind vor allem digitale Veränderungen und Erweiterungen des traditionellen Energiesystems durch neu aufkommende Schlüsseltechnologien aus dem Informations- und Kommunikations-Bereich erkennbar. Viele neue Akteure (Start-ups) aus der Softwarebranche agieren selbstständig oder mit etablierten Energie-Unternehmen zusammen, um neue datengetriebene Mehrwertdienste in der Energiewirtschaft anzubieten [1]. Diese Digitalisierung von klassischen Energie-Technologien bietet ebenfalls Potenziale für neue Geschäftsmodelle, um beispielsweise volatile Erneuerbare Energien in die Netze zu integrieren sowie die zunehmende Elektrifizierung von Wärmebereitstellung und Verkehr zu decken.

Im Rahmen der Förderung des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) wird in einem Forschungsprojekt des „Virtuellen Instituts Smart Energy“ die „Entwicklung digitaler Geschäftsmodelle im energiewirtschaftlichen Innovationssystem“ untersucht [2]. Zuvor wurde in einer Vorstudie zum Thema „Smart Energy“ ein großes Potential für Smarte Technologien entlang der Wertschöpfungskette der Energiewirtschaft identifiziert [3]. Um diese Potentiale besser zu verstehen, wird im Folgenden eine Systematik entwickelt, mit der die Entwicklungspfade Smarter Technologien entlang der energiewirtschaftlichen Wertschöpfungskette analysiert werden können. Zukünftig soll die Systematik dazu dienen, etwaige Lücken im Technikangebot aufzuzeigen sowie Empfehlungen für mögliche Mehrwertdienste und Geschäftsmodelle zu liefern.

**Keywords:** Digitalisierung, Energiewirtschaft, Smarte Technologien, Mehrwertdienste, Entwicklungspfade

## 1 Einleitung

Die erste Informationstechnik-Welle in den 60er und 70er Jahren automatisierte einzelne Arbeitsabläufe in industriellen Wertschöpfungsketten. Die zweite IT-Welle stellte in den 80er und 90er Jahren mit dem Internet eine kostengünstige Kommunikationsinfrastruktur zur Verfügung. In der derzeitigen, dritten IT-Welle, wird nicht mehr nur die Wertschöpfungskette selbst digitalisiert, sondern auch das Produkt. [4] Diese zunehmende Digitalisierung wird auch in der Energiewirtschaft sehr rege diskutiert. Durch die Fortschritte in der Digitalisierung lassen sich Mehrwerte generieren die noch vor einigen Jahren nicht denkbar waren. Insbesondere die Auswertung großer Datenmengen beschleunigt den Erkenntnisgewinn. [5] Dabei ist die Energiewirtschaft in weiten Teilen noch nicht darauf vorbereitet diese Daten überhaupt zu

erheben. Insbesondere bei der Energieverteilung und der Energienutzung durch private Endkunden werden nur wenige Daten erhoben und großflächig ausgewertet. Anders sieht dies im industriellen Umfeld aus, wo sogenannte „Cyber Physische Systeme“ (CPS) bereits zum Einsatz kommen. Hier werden die Funktionen der Technologien nicht mehr durch einfache, manuelle Befehle aufgerufen. In den Anlagensteuerungen von modernen Systemen spiegeln sich die Erfahrungen von Entwicklern und Anlagenbetreibern, sowie die Auswertung von Messdaten wieder, auf die entsprechend reagiert werden kann. [5]

Im Folgenden wird untersucht, wie sich die aus der Industrie bekannten CPS zusammensetzen und wie die Entwicklungspfade im Bereich der Energiewirtschaft sich derzeit gestalten. Durch einen Vergleich der Entwicklungen im industriellen Umfeld sowie derer in der Energiewirtschaft werden Komponenten und Fähigkeiten Smarter Technologien abgeleitet und Entwicklungspfade beschrieben.

## 2 Methodik

Zur Festlegung der Komponenten und Fähigkeiten von Smarten Technologien werden zahlreiche klassische Technologie-Entwicklungen entlang der Wertschöpfungskette der Energiewirtschaft nach [6] recherchiert und analysiert, siehe Abbildung 1:



Abbildung 1: Wertschöpfungskette der Energiewirtschaft (eigene Darstellung nach [6])

Zudem werden bereits als „smart“ vermarktete Produkte sowie Technologien aus dem Informations- und Kommunikationsbereich (IKT), die Potentiale für die Energiewirtschaft bieten, analysiert. Der Einsatz von IKT ermöglicht beispielsweise die Auswertung und gezielte Steuerung der Verbraucherseite im Sinne der Netzdienlichkeit. Weitere Aspekte die sich aus der Datenauswertung von Energiedaten ergeben, um sinnvolle Services und Mehrwertdienste zu generieren, wurden ebenfalls betrachtet und finden Einzug in die erstellte Bewertung der Komponenten von Smarten Technologien.

Der Entwicklungspfad einer klassischen, hin zu einer Smarten Technologie definiert sich über die zusätzlich eingebrachten Komponenten und deren Fähigkeiten, die sowohl hard- als auch softwarebasiert sein können. Aus dieser Einordnung ergibt sich eine Bewertungssystematik für Smarte Technologien. Je mehr dieser Komponenten eine Technologie oder ein System umfasst, desto mehr Potentiale bietet diese Technologie für neue Mehrwertdienste und Geschäftsmodelle.

Des Weiteren wird eine Analyse von im Land Nordrhein-Westfalen (Deutschland) ansässigen Start-Ups aus dem Smart Energy Bereich und deren technologischen Fokus durchgeführt. Aus der Summe der Erkenntnisse werden dann Entwicklungspfade für Smarte Technologien abgeleitet.

Als Referenz für die Entwicklungspfade von Technologien aus der Energiebranche, werden Cyber Physische Systeme (CPS), wie sie in der Industrie bereits zum Einsatz kommen, hinsichtlich ihrer Eigenschaften analysiert. Diese Analysen werden mit den bisherigen Ergebnissen zu Smart Energy Technologien verglichen, um Rückschlüsse auf deren

Entwicklungspfade schließen zu können. Grundlage dafür bieten Arbeiten der Vorstudie „Smart Energy NRW“ [3].

### **3 Entwicklung Cyber Physischer Systeme und digitaler Energietechnologien**

In diesem Kapitel wird der aktuelle Forschungsstand für die Entwicklung von sogenannten „Cyber Physischen Systemen“ (CPS) sowie deren übertragbaren Eigenschaften auf die Energiewelt vorgestellt. Es erfolgt ein Vergleich zwischen den Erkenntnissen aus den CPS-Veröffentlichungen von Porter et al. [4] und Neugebauer et al. [5] sowie den Ergebnissen aus der Vorstudie „Smart Energy NRW“ [3]. Die Resultate der Gegenüberstellung bieten die Grundlage für die Herleitung der Entwicklungspfade von Smarten Technologien, in den nachfolgenden Ergebniskapiteln.

#### **3.1 Vom System zum Cyber Physischen System**

Ein CPS umfasst nach Porter et al. [4] neben den physischen Komponenten, die oftmals das eigentliche Produkt sind, noch smarte und Kommunikationskomponenten, siehe Kapitel 4.2. Smarte Komponenten umfassen Sensoren, Aktoren, Prozessoren, Datenspeicher und Software für den Betrieb dieser Komponenten. Die Kommunikationskomponenten sorgen für eine Verstärkung des Mehrwertes der smarten Komponenten für das Gesamtsystem und ermöglichen es, außerhalb des eigentlichen Produktes eine Wertschöpfung zu betreiben [4]. Internettechnologien vernetzen Geschäftspartner, aber auch physische (Internet of Things, kurz IoT) und virtuelle Systeme untereinander. Durch die digitale Transformation werden die physischen Produkte bzw. persönlichen Dienstleistungen durch digitale Leistungen überlagert (hybride Wertschöpfung) oder ersetzt [5].

CPS sind die Grundlage für differenziertere Perspektiven von vernetzten Systemen. So lassen sich diese in autonome, dynamisch vernetzte, interaktiv soziotechnische und Produkt-Service-Systeme unterscheiden [5].

*Autonome Systeme* lösen ohne menschliches Zutun komplexe Aufgaben in ihrem jeweiligen Anwendungsgebiet. Sie sind in der Lage, innerhalb ihres Umfelds neue Aktionen zu lernen und mit neuen Ereignissen zurecht zu kommen. Durch die Vernetzung einzelner Systeme entstehen *dynamisch vernetzte Systeme*, die sich gegenüber isolierten Einzelsystemen durch ein gesteigertes Maß an Funktionalität und Leistungsfähigkeit auszeichnen. Hierbei kann es nötig werden, dass die einzelnen Systeme, aufgrund der Komplexität des Gesamtsystems, auch autarke Entscheidungen treffen können, die für die Erreichung eines übergeordneten Ziels förderlich sind.

Durch die Entwicklung interaktiver Schnittstellen wird dem System ermöglicht, sich an die Bedürfnisse der Nutzer flexibel anzupassen. Die dadurch entstehenden *interaktiv soziotechnischen Systeme* zeichnen sich dadurch aus, dem Nutzer verschiedene Handlungsmöglichkeiten zu geben und ihre Entscheidungen auch zu begründen. Geht das System über die ursprünglich zu erbringende Sachleistung hinaus entstehen neue *Produkt-Service-Systeme*. Diese basieren zumeist auf Dienstleistungen die aus den entstandenen Daten der Systeme entspringen [5].

### 3.2 Digitalisierung energierelevanter Technologien und Systeme

Im Rahmen der Vorstudie „Smart Energy NRW“ [3] wurde eine erste Marktanalyse zu Smarten Technologien in der Energiewirtschaft durchgeführt. Die dabei erarbeitete Definition für Smarte Technologien ist in Abbildung 2 zu sehen.

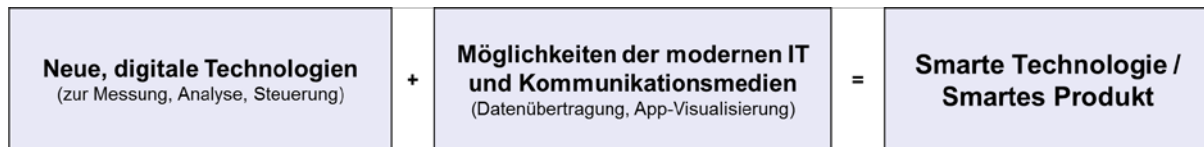


Abbildung 2: Definition Smarte Technologien und Smarte Produkte für die Energiewirtschaft [3]

Unter Smarten Produkten werden digitale Technologien zur Messung, Analyse und Steuerung von klassischen Technologien sowie Möglichkeiten der modernen IT- und Kommunikationstechnik (z.B. Datenübertragung, App-Visualisierung) verstanden. In der Informationstechnik (IT) beinhaltet der Begriff „Smarte Technologie“ zusätzlich die Integration einer „Künstlichen Intelligenz“ (KI), die die Steuerung übernimmt und dabei eigenständig dazu lernt und optimiert [3]. Diese Definition gilt es im Rahmen dieser Arbeit weiter zu konkretisieren.

## 4 Ergebnisse

Im Folgenden wird die überarbeitete Definition von Smarten Technologien und Gesamtsystemen vorgestellt. Weiterhin die daraus resultierenden Komponenten und Fähigkeiten, die Bestandstechnologien erweitern, um diese für neue Mehrwertdienste im Rahmen der Digitalisierung der Energiewirtschaft auszustatten. Abschließend wird eine Systematik aufgezeigt, um Entwicklungspfade der aufgestellten Komponenten zu skizzieren.

### 4.1 Definition Smarte Technologien und Gesamtsysteme

Die Analyse der Smarten Technologien im energiewirtschaftlichen Kontext können zwei Entwicklungen beobachtet werden. Zum einen rüsten etablierte Hersteller ihre Hardware Lösungen mit Komponenten aus der Informations- und Kommunikationstechnik aus. Diese Weiterentwicklung der Kommunikationsfähigkeit klassischer Technologien ermöglicht es, dass die Geräte Sensorwerte abspeichern, auswerten und darauf reagieren können. In diesem Fall sprechen wir von „Smarten Technologien“. In Abbildung 3 ist ein schematischer Ablauf des zuvor beschriebenen Prozesses von klassischen Hardwarelösungen bis hin zur Smarten Technologie mit jeweiligen Stufen dargestellt.

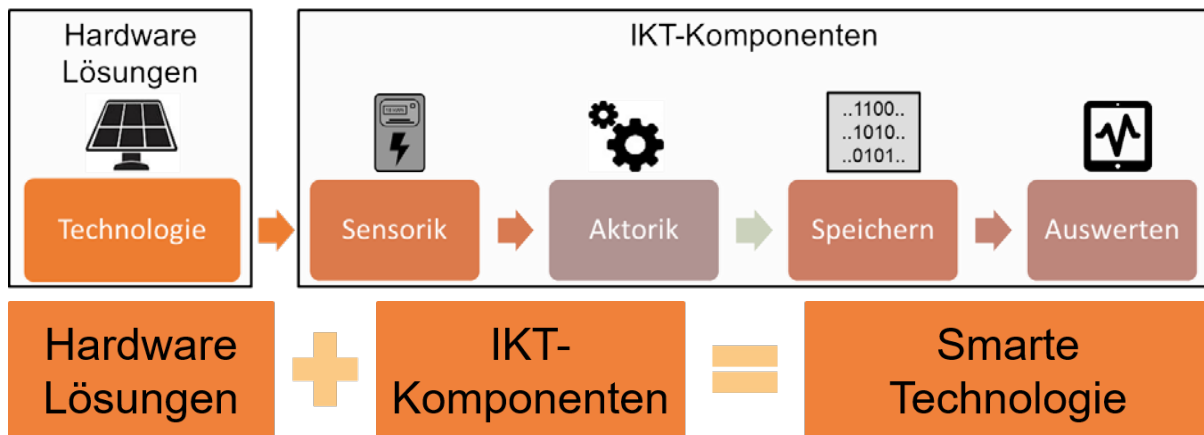


Abbildung 3: Von der klassischen zur Smarten Technologie

Die zweite Entwicklung beschäftigt sich mit Smarten Technologien die auf der Existenz der erstgenannten Technologien aufbauen. Diese Technologien werden maßgeblich durch neue Akteure im Bereich der Energiewirtschaft (vornehmlich Start-ups) vorangetrieben. Sie entspringen keiner klassischerweise in der Energiewirtschaft vorhandenen Technologie, sondern beschäftigen sich mit Mehrwertdiensten die auf Grundlage der von Hardware-Lösungen bereitgestellten Daten. Dementsprechend sind diese Technologien softwarebasierte Lösungen, die in den meisten Fällen in einer zusätzlichen Hardware Komponente untergebracht werden. Diese stellt der Software eine Schnittstelle zur Verfügung, über die sie mit den entsprechenden Smarten Technologien, zur Auswertung der Daten und zur Übermittlung von Anweisungen kommunizieren kann. Durch die Ergänzung der Smarten Technologie um eine Software Lösung, entsteht ein Smartes Gesamtsystem, das es ermöglicht, Mehrwertdienste durch die Kombination von Datenströmen aus mehreren Quellen zu erzeugen. Dieser zusätzliche Entwicklungsschritt ist in Abbildung 4 dargestellt und zeigt die Integration von Softwarelösungen durch die Datenauswertung.

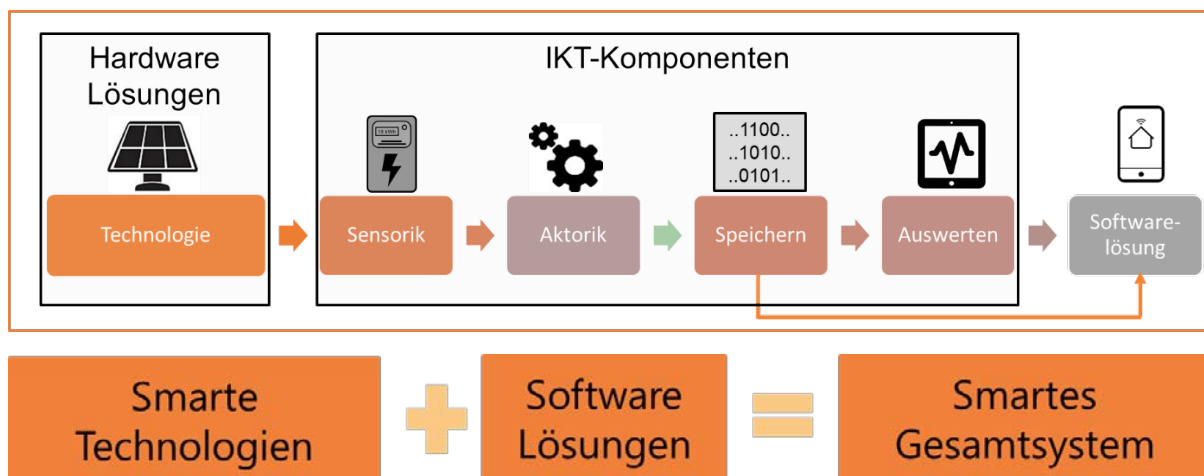


Abbildung 4: Von der Technologie zum Smarten Gesamtsystem

## 4.2 Vergleich von Cyber Physischen Systemen und Smarten Technologien

Der Vergleich von CPS aus Kapitel 3.1 und der Definition von Smarten Technologien sowie Gesamtsystemen aus Kapitel 4.1 wird in diesem Unterkapitel näher betrachtet. Dabei werden Unterschiede sowie Ähnlichkeiten untersucht, die im Nachfolgenden die Grundlage für die Systematik zur Beschreibung von Entwicklungspfaden liefern.

Die erste in Kapitel 4.1 erläuterte Entwicklung entspricht in vielerlei Hinsicht der Entwicklung, wie sie in Kapitel 3.1 bei CPS zu beobachten ist. Eine elektrische oder mechatronische Technologie wird mittels informationstechnischer Komponenten erweitert um Mehrwertdienste zu generieren. Im Gegensatz zu Porter et al. [4] wird an dieser Stelle jedoch nicht zwischen smarten und Kommunikationskomponenten unterschieden, sondern einheitlich von IKT-Komponenten gesprochen. Die Entwicklung von der Technologie zur smarten Technologie gliedert sich in verschiedene Ausbaustufen in denen die Technologie um Komponenten erweitert wird. Diese Komponenten werden in Kapitel 4.3 erläutert. Im Einzelnen können diese Komponenten für sich noch nicht als smart klassifiziert werden. Beispielsweise findet sich auch in älteren Energietechnologien Sensorik und Aktorik wieder, ohne dass diese Eigenschaften einer Smarten Technologie aufweisen.

Die zweite in Kapitel 4.1 beschriebene Entwicklung zielt darauf ab, die smarten Einzeltechnologien untereinander zu vernetzen. Dies ist der Grundstein für die Entwicklungen die Neugebauer et al. [5] als *dynamisch vernetzte, interaktiv soziotechnische* und *Produkt-Service Systeme* bezeichnet. Mit dieser Entwicklung treten neue Akteure in die Energiewirtschaft ein. Neben den oben genannten Start-Ups bietet das Feld der Mehrwertgenerierung auf Basis von Energie- und Anlagendaten ebenfalls etablierten Unternehmen aus der IT-Landschaft Möglichkeiten für neue Geschäftsfelder. Unabhängig von der Herkunft der Daten entlang der Wertschöpfungskette der Energiewirtschaft, lassen sich mittels einer Datenbasis für mehrere Bereiche der Wertschöpfungskette Mehrwerte generieren. Dieser Multi-Use-Ansatz der Daten bietet ein hohes wirtschaftliches Potential und ist daher ein Kristallisationskeim für Start-Ups und IT-Unternehmen, die neue Geschäftsfelder erschließen wollen.

Durch diese zwei Entwicklungsstränge kommt es in der Energiewirtschaft seit einigen Jahren vermehrt zu Kooperationen zwischen etablierten Unternehmen, die den ersten Entwicklungsstrang bedienen, mit Start-Ups und IT-Unternehmen, die den zweiten Entwicklungsstrang für sich entdeckt haben. Etablierte Anlagenhersteller und Energieunternehmen stoßen mit ihren bisherigen Geschäftsmodellen aufgrund von regulatorischen Änderungen und einem wachsenden Interesse der Öffentlichkeit an neuen, digitalen Technologien an ihre Grenzen. Akteure aus der IT verfügen zwar über kraftvolle Werkzeuge der Datenanalyse, Aufbereitung und Nutzbarmachung für den Endkunden, haben jedoch oftmals weder die Expertise im jeweiligen Technologiefeld noch den Zugang zu den Anlagen und deren Daten. Die Kooperationen sind daher erforderlich um sich in diesem digitalen Energiemarkt gewinnbringend platzieren zu können.

Für die Evaluierung des zukünftigen Potentials, werden im Folgenden Komponenten vorgestellt, die es ermöglichen, den Digitalisierungsgrad sowie Fähigkeiten der jeweiligen Technologie zu bestimmen. Darauf aufbauend kann eine fundierte Entscheidung über die digitale Weiterentwicklung der Technologie, sowie der hierzu nötigen unternehmerischen Kooperationen getroffen werden.

### 4.3 Komponenten und Fähigkeiten von Smarten Technologien und Systemen

Das Ergebnis der im Vorfeld beschriebenen Analysemethodik sind sieben Komponenten mit unterschiedlichen Fähigkeiten, die sowohl hardware- als auch softwarebasiert sind. In Anlehnung an die Definition von Smarten Technologien und Gesamtsystemen aus Abbildung 3 und Abbildung 4 steht im Zentrum die klassische Technologie, an denen sich die Komponenten angliedern. In Abbildung 5 sind die sieben Komponenten schematisch um die Bestandstechnologie dargestellt. Der betrachtete Bereich der Bestandstechnologien bezieht sich in dieser Arbeit auf Technologien zur Erzeugung, Speicherung sowie dem Verbrauch.

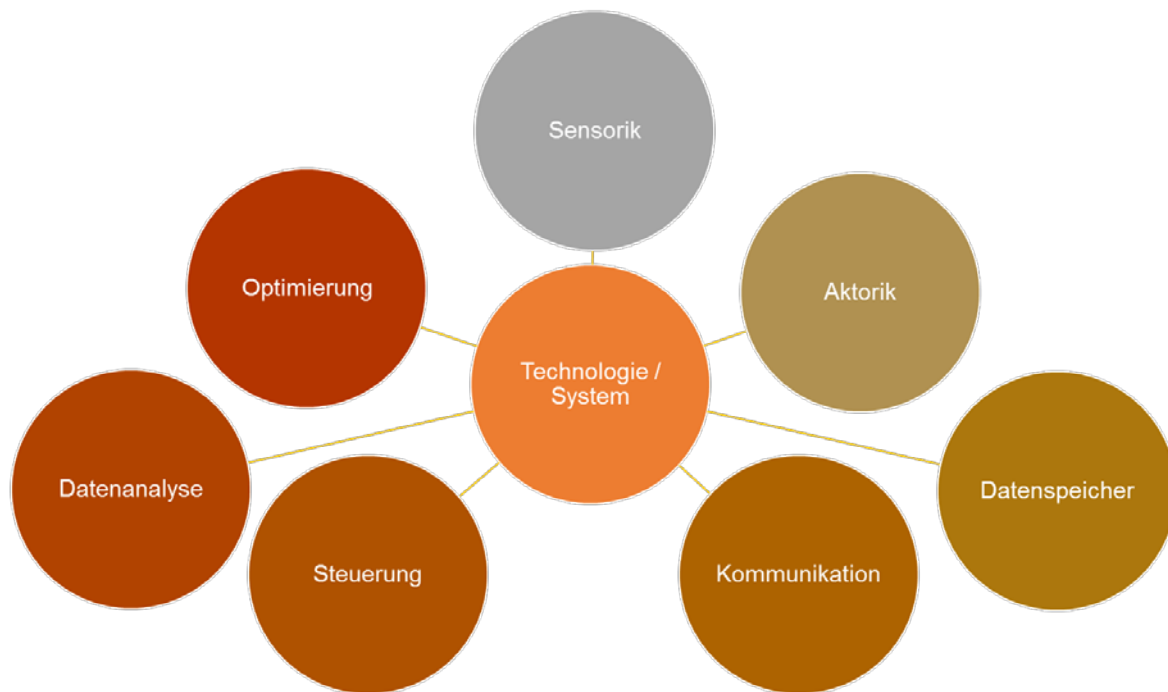


Abbildung 5: Komponenten Smarter Technologien und Systeme

Das Ergebnis der Analyse von Bestandstechnologien in Kombination mit Informations- und Kommunikation Technologien (IKT) ergibt folgende Aufteilung in Komponenten, welche neben den Eigenschaften auch die Voraussetzungen beschreiben, die beispielsweise notwendig sind für etwaige Mehrwertdienste, die auf die Energiedaten zurückgreifen.

#### 4.3.1 Ausgangstechnologie

Im Zentrum befindet sich die eigentliche Technologie, siehe Abbildung 5. Bei dieser handelt es sich in dieser Arbeit um Technologien mit Fokus auf die Energiewirtschaft, konkret geht es um Technologien zur Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie (Erneuerbare Energie oder konventionelle Kraftwerkstechnik). Weiterhin ein Schwerpunkt sind Technologien zur Speicherung von elektrischer oder thermischer Energie (Batteriespeicher oder Wärmespeicher) sowie Technologien zur Laststeuerung (Wärmepumpen etc.). Diese drei Hauptfokusgruppen (Erzeugung, Speicherung und Verbrauch) untergliedern dabei die wichtigsten Technologien, die eine Rolle in der zukünftigen Energielandschaft spielen.

#### **4.3.2 Sensorik**

Das Einbringen von Sensorik in ein Produkt, befähigt dieses dazu, den eigenen Zustand oder den der Umgebung detaillierter zu erfassen. Als Sensor werden Anwendungen wie beispielsweise Messfühler, Messaufnehmer [7] und weitere Messverfahren zum Einsatz kommen. Als ein zentrales Merkmal ist hier die zeitliche Auflösung der Messungen zu nennen. Je höher die Auflösung ist, umso höher ist der potentielle Mehrwert, der später aus den Messwerten generiert werden kann. Die Erfassung von Daten ist eine der grundlegenden Fähigkeiten einer Smarten Technologie, um zu einem Smarten Gesamtsystem zu wachsen. Ohne Datengrundlage kann keine Datenauswertung (siehe Kapitel 4.3.7) erfolgen.

#### **4.3.3 Aktorik**

Durch Aktorik lässt sich das Produkt und die damit verbundenen Prozesse beeinflussen. Mithilfe von steuerungs- und regelungstechnischen Funktionsprinzipien Bewegungen zu erzeugen, Kräfte auszuüben oder mechanische Arbeit zu leisten [8]. Diese Beeinflussung kann zunächst manuell, aber auch über Regelungen oder Algorithmen erfolgen. Je nachdem welche Schnittstellen die Aktorik für eine Einflussnahme bereitstellt, steigen oder sinken die Fähigkeiten der smarten Komponente oder des Gesamtsystems. Ein ebenso wichtiger Faktor der Aktorik ist die Feingliedrigkeit (Einstellbarkeit) der möglichen Aktionen. Je einfacher die Ansteuerung erfolgt, wie beispielsweise bei einem An-/Aus-Aktor, desto geringer ist die Flexibilität gegenüber einem stufenlosen Aktor, der über eine Vielzahl an Einstellmöglichkeiten verfügt.

#### **4.3.4 Datenspeicher**

Die Speicherung von Zustandsgrößen über die Zeit ermöglicht es, Daten im Nachhinein zu analysieren und diese für die Generierung von Mehrwerten zu nutzen. Hierdurch lässt sich das Produkt längerfristig überwachen. Die Herausforderung ist dabei eine effiziente Speicherung der Daten. Dabei spielen Big Data-Aspekte, wie Speicherkapazität, Geschwindigkeit, Vielfalt, Variabilität sowie Komplexität der Daten eine große Rolle [9]. Ein weiterer entscheidender Faktor der Komponente Datenspeicher ist der Standort. Dieser kann beispielsweise lokal auf dem Gerät oder extern in der Cloud auf Servern liegen. Hierbei ist die Datensicherheit (Ausfallssicherheit, Zugriffsschutz) ebenfalls von entscheidender Bedeutung. Bei externen Datenspeichern gibt es in der Regel eine Querverbindung zu der Kommunikation, wobei dort wieder die Geschwindigkeit des Datentransfers für eine Echtzeit-Auswertung eine wichtige Rolle spielt.

#### **4.3.5 Kommunikation**

Technologische Grundlage für diese Komponente sind die Informations- und Kommunikationstechnik (kurz IKT). Definiert wird diese als „die Gesamtheit der zur Speicherung, Verarbeitung und Kommunikation zur Verfügung stehenden Ressourcen sowie die Art und Weise, wie diese Ressourcen organisiert sind“. [10]

Die Ergänzung einer Technologie um die Möglichkeit, mit seiner Umgebung oder auch entlegenen Teilnehmern zu kommunizieren, erlaubt die Teilnahme an einem (technischen) System. Dadurch bietet sich die Gelegenheit zur Übermittlung von Daten und Befehlen. Zudem macht dies den Weg frei zu einer Entscheidungsfindung in einer größeren Gruppe an Teilnehmern und damit, auf einer größeren Datenbasis. Die Fähigkeiten der Komponente



Kommunikation unterscheiden sich hinsichtlich der Übertragungsrate der jeweiligen Kommunikationstechnologie. Weitere Faktoren sind zum Beispiel die Frequenz und Sendeintervalle. Die Kommunikationsschnittstelle bietet beispielsweise die Grundlage für eine Vielzahl an „Software as a Service“ (SaaS) Mehrwertdiensten. SaaS sind Software-Applikationen, die der Anwender über das Internet nutzt [11]. Dies kann zum Beispiel ein Service zur Visualisierung von Energieverbräuchen eines Haushaltes sein.

#### **4.3.6 Steuerung**

Auf Grundlage einer hinterlegten Logik können Steuerungsaktionen durchgeführt werden. Hierdurch wird aus der reinen Überwachung der Technologie oder des Systems ein interaktionsfähiges Zusammenspiel. Voraussetzung hierfür ist das Vorhandensein einer dem Zweck angemessenen Aktorik neben entsprechender Kommunikation. Steuerung kann auch Regelungen beinhalten (zum Beispiel durch direkte Querverbindung zur Sensorik).

#### **4.3.7 Datenanalyse**

Durch die Auswertung von Daten können diese nutzbar gemacht werden. Geschieht dies innerhalb einer Technologie können hieraus lokale Aktionen resultieren. Ist die Technologie ein Teil eines Gesamtsystems, kann die Auswertung zunächst lokal, für eine erste Evaluierung erfolgen („Big Data to Smart Data“) [12]. Alternativ lässt sich die Auswertung auch in Gänze an das Gesamtsystem übergeben, wobei es Querverbindungen zu der Komponente Kommunikation gibt.

Eine wichtige Voraussetzung für die Analyse der Daten ist eine einheitliche Softwareinfrastruktur, die es ermöglicht die ggf. unterschiedlichen Datenformate zu lesen und auswerten zu können. Dabei spielt die Interoperabilität der Daten eine wichtige Rolle. Zur Analyse können die aufgenommenen Daten der Sensorik sowie Umweltdaten (z.B. Wetter), durch die Komponente Kommunikation herangezogen und ausgewertet werden.

Das Ziel der Datenanalyse ist es die erhobenen Daten zu visualisieren und damit gegebenenfalls auf Fehler oder andere Auffälligkeiten aufmerksam zu machen. Ebenfalls können zum Beispiel Energiekennzahlen zur Produktion, Speicherung oder andere sinnvolle Kennwerte berechnet werden. Diese Kennzahlen können beispielsweise im Anschluss zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Anlage oder des Systems dienen.

#### **4.3.8 Optimierung**

Die Optimierung beschreibt eine höhere oder nachgelagerte Stufe der Datenanalyse, diese Komponente optimiert ein Produkt, sodass Effizienzpotentiale gehoben werden. Dabei dient, das aus den Daten gewonnene Wissen bessere Einblicke in das Verhalten zu erlangen und den Betrieb hinsichtlich individueller Ziele auszurichten. Die Komponente der Optimierung reicht von einfachen mathematischen Optimierungen bis hin zu selbstlernenden Systemen, zum Beispiel durch erzeugen eines Digitalen Zwillinges (engl. Digital Twin) [5]. Ein weiterer Einflussfaktor ist die Menge an verfügbaren Datenquellen. Je mehr Informationen zur Verfügung stehen, umso genauer können die Auswirkungen von Aktionen sowie die Optimierungen berechnet und ausgestaltet werden.

#### 4.4 Entwicklungspfade Smarter Systeme / Produkte

Mithilfe der definierten Komponenten und Fähigkeiten für Smarte Technologien aus den vorherigen Kapiteln können im Folgenden für unterschiedliche Smarte Technologien oder Gesamtsysteme die Entwicklungspfade abgebildet werden. Eine beispielhafte Visualisierung für unterschiedliche Entwicklungspfade Smarter Technologien können in der nachfolgenden Abbildung 6 entnommen werden.

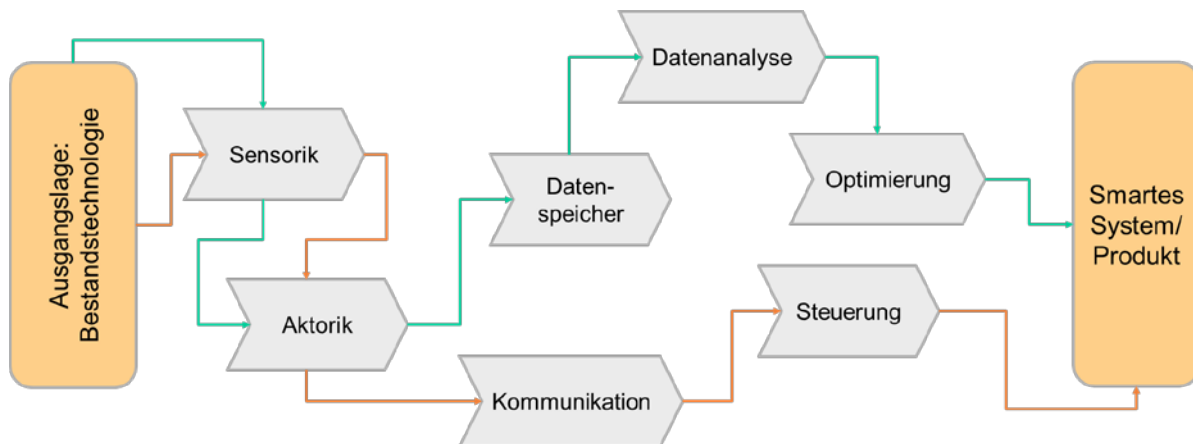


Abbildung 6: Entwicklungspfade beispielhafter Smarter Technologien/Systeme

Die in Abbildung 6 dargestellte Reihenfolge der unterschiedlichen Komponenten (graue Felder) spielen keine gesonderte Rolle und kann je nach Technologie oder Gesamtsystem abweichen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass sich die Komponenten in den Fähigkeiten bzw. Parametern unterscheiden können. Ein Beispiel wäre die Auflösung der Daten die mittels Sensorik aufgenommen werden und im weiteren Verlauf (Datenspeicher, Datenanalyse) verarbeitet werden können.

Je nach Fall können mit dieser Darstellung Lücken im Technologieangebot und im Vergleich mit anderen Entwicklungspfaden etwaige Ähnlichkeiten von Technologien oder Gesamtsystemen identifiziert werden. Durch Spill-Over-Effekte besteht Potenzial, Komponenten und deren Fähigkeiten zu übertragen, die beispielsweise für neue Mehrwertdienste genutzt werden können.

Aus der Kombination von klassischen Technologien und Smarten Komponenten ergeben sich neue hybride Wertschöpfungen, die im Rahmen der Digitalisierung neue Möglichkeiten bieten, wie bereits in Kapitel 3.1 beschrieben wurde.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Komponenten für Smarte Technologien definiert, die im energiewirtschaftlichen Bereich Einsatz finden. Dazu zählen Technologien zur Erzeugung, Speicherung und der Laststeuerung von beispielsweise elektrischer Energie die durch zusätzliche Nutzung der definierten „smarten“ Komponenten neue Fähigkeiten nutzen können.

In der nachfolgenden Tabelle 1 ist eine Zusammenfassung der aus Kapitel 4 aufgestellten Komponenten für Smarte Technologien. Neben der Funktion sind dort ebenfalls die Fähigkeiten stichpunktartig gelistet.

Tabelle 1: Zusammenfassung Komponenten und deren Fähigkeiten/Eigenschaften von Smarten Technologien

Komponenten für Smarte Technologien	Funktion und Fähigkeiten (Eigenschaften)
<b>Sensorik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datenerfassung</li> <li>• Auflösung / Frequenz der Daten</li> <li>• Größe der Messdaten</li> </ul>
<b>Aktorik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Art der Ansteuerung (An-/Aus, Stufenweise, Stufenlos)</li> <li>• Manuell, Automatisiert</li> <li>• Reaktionszeiten</li> </ul>
<b>Datenspeicher</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Speicherung von Sensordaten</li> <li>• Lokal, dezentral (Server/Cloud)</li> <li>• Ausfallsicherheit (Redundanz der Daten)</li> <li>• Zugriffsschutz</li> <li>• Geschwindigkeit (Zugriff zum Auswerten für z.B. Regelungen)</li> <li>• Speichergröße</li> </ul>
<b>Kommunikation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übermittlung relevanter Daten zur Speicherung und weiteren Verarbeitung</li> <li>• Übertragungsrate, Bandbreite und Sendeintervalle</li> </ul>
<b>Steuerung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfache Logik oder Regelkreis</li> </ul>
<b>Datenanalyse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daten nutzbar machen und visualisieren</li> <li>• Konsistenzprüfung der Daten (Big Data to Smart Data)</li> <li>• einheitliche Datenformate</li> <li>• Lokal, dezentral (Server/Cloud)</li> <li>• Bilden von Energiekennzahlen (kWh/ pro Einheit)</li> <li>• Geschwindigkeit der Analyse</li> </ul>
<b>Optimierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung von Betriebsstrategien</li> <li>• Verwendung von weiteren Datenquellen (Umwelt etc.)</li> <li>• Verwendung von KI-Ansätzen (Machine Learning, Deep Learning, Digital Twin)</li> <li>• Mehrwertgenerierung</li> </ul>

Die definierten Komponenten dienen dazu Rückschlüsse zum Digitalisierungsstand der Technologie zu liefern. Daraus können Entwicklungspfade der jeweils betrachteten Technologie oder des gebildeten Gesamtsystems aufgezeigt werden. Damit ist eine Grundlage für die Beschreibung von Smarten Technologien für die Energiewirtschaft geschaffen. Diese kann des Weiteren zur Analyse von Spill-Over-Effekten bereits vorhandener „Smarter“ Geschäftsmodelle genutzt werden.

### Danksagung

Wir bedanken uns beim Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie (MWIDE) des Landes Nordrhein-Westfalen (DE) sowie bei der Europäischen Union (EFRE-Mittel: 0600036) für die Förderung dieses Projektes.

## 6 Referenzen

- [1] Oliver D. Doleski; Daniel R.A. Schallmo; Volker Herbort (2017): RoadmapUtility 4.0. Strukturiertes Vorgehen für die digitale Transformation in der Energiewirtschaft
- [2] Löschel, Schneiders, „Virtuelles Institut Smart Energy“, <https://www.smart-energy.nrw/>, aufgerufen am 22.11.2019
- [3] Thorsten Schneiders; Andreas Löschel (2017): Wie steht es um Smart Energy? Ergebnispräsentation zur Arbeit „Vorstudie Smart Energy“. Hg. v. Forschungsgruppe Smart Energy.NRW
- [4] Michael E. Porter; James E. Heppelmann (2014): How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. In: Harvard Business Review.
- [5] Raimund Neugebauer (2018): Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wissenschaft und Gesellschaft: Springer Vieweg (Fraunhofer-Forschungsfokus).
- [6] Quelle: Khan, A. (2016), Innovationsmanagement in der Energiewirtschaft – Entwicklung eines Reifegradmodells, Wiesbaden 2016
- [7] Schaumburg, Hanno (1992): Sensoren. Überblick über die Sensorik. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag (Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-99927-6>
- [8] Aktorik (2008). In: Horst Czichos (Hg.): Mechatronik. Grundlagen und Anwendungen technischer Systeme; mit 12 Tabellen. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, S. 119–144.
- [9] Linnhoff-Popien, Claudia; Zaddach, Michael; Grahl, Andreas (Hg.) (2015): Marktplätze im Umbruch. Digitale Strategien für Services im Mobilen Internet. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg
- [10] Krcmar, Helmut (2015): Informationsmanagement. 6., überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler
- [11] Beimborn, Daniel; Miletzki, Thomas; Wenzel, Stefan (2011): Platform as a Service (PaaS)
- [12] Gadatsch, Andreas; Landrock, Holm (2017): Big Data für Entscheider. Entwicklung und Umsetzung datengetriebener Geschäftsmodelle. Wiesbaden (essentials). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-17340-1>