

*Fraunhofer-Institut für Windenergie  
und Energiesystemtechnik | v3 vom 13. April 2018*

# **Technologiebericht**

## **7.3 Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK)**

### **innerhalb des Forschungsprojekts TF\_Energiewende**

---

Reinhard Mackensen

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



**Disclaimer:**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03ET4036A-C durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts liegt bei den Autoren und Autorinnen.

**Bitte den Bericht folgendermaßen zitieren:**

Mackensen, R. (2018): Technologiebericht 7.3 Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK). In: Wuppertal Institut, ISI, IZES (Hrsg.): Technologien für die Energiewende. Teilbericht 2 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken.

**Hinweis:**

Die multi-kriterielle Bewertung und generell die Erstellung dieses Berichts basiert auf den Vorgaben, die in Teilbericht 1 beschrieben sind:

Viebahn, P.; Kobiela, G.; Soukup, O.; Wietschel, M.; Hirzel, S.; Horst, J.; Hildebrand, J. (2017): Technologien für die Energiewende. Teilbericht 1 (Kriterienraster zur Bewertung der Technologien innerhalb des Forschungsprojekts TF\_Energiewende) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wuppertal Institut, Fraunhofer ISI, IZES: Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken.

**Kontakt:**

Dr.-Ing. Reinhard Mackensen  
Tel.: +49 561 / 7294 – 245  
Fax: +49 561 / 7294 – 260  
E-Mail: reinhard.mackensen@iwes.fraunhofer.de

Fraunhofer IWES  
Königstor 59  
34119, Kassel

**Review durch:**

Christof Wittwer (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme)

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen</b>	<b>4</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>Zusammenfassung (Steckbrief)</b>	<b>6</b>
<b>1 Beschreibung des Technologiefeldes</b>	<b>8</b>
<b>2 Stand F&amp;E in Deutschland</b>	<b>10</b>
2.1 Forschungsebenen	10
2.2 Forschungsprogramme	10
2.3 Forschungsfelder/Technologiefelder	10
2.4 Genereller Stand der Forschung	11
<b>3 Relevanz öffentlicher Förderung</b>	<b>12</b>
3.1 Kriterium 1: Vorlaufzeiten	12
3.2 Kriterium 2: Forschungs- und Entwicklungsrisiken (technisch, wirtschaftlich, rohstoffseitig)	14
<b>4 Detaillierte Bewertung des Technologiefeldes</b>	<b>15</b>
<b>5 F&amp;E-Empfehlungen für die öffentliche Hand</b>	<b>18</b>
5.1 Regulatorische Rahmenbedingungen und Experimentierklauseln	18
5.2 Anwendungsfelder	18
5.3 Interne Weiterentwicklung der IKT	19
5.3.1 <i>Metering und Dataprocessing</i>	19
5.3.2 <i>Zustandsbestimmung und Prognosen - Abschätzung des Systemzustands</i>	19
5.3.3 <i>Anbindung und Aggregation</i>	19
5.4 Externe Weiterentwicklung	19
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>21</b>

## Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen

### Abkürzungen

VK	Virtuelles Kraftwerk
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie(n)


## Tabellenverzeichnis

Tab. 3-1 Vorlaufzeiten Technologiefeld Zustandsbestimmung und Prognosen -----	12
Tab. 3-2 Vorlaufzeiten Technologiefeld Anbindung und Aggregation-----	13
Tab. 3-3 Vorlaufzeiten Technologiefeld Metering -----	13

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 4.1 Definition des Begriffs Energieinformatik -----	15
--	----

## Zusammenfassung (Steckbrief)

<b>Technologiefeld Nr. 7.3 Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK)</b>	
<b>A) Beschreibung des Technologiefeldes und F&amp;E-Bedarf</b>	
<b>Beschreibung des Technologiefeldes</b>	
<p>„Technologiefeld“ bestehend aus 4 Bereichen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– A: Zustandsbestimmung und Prognosen (Last, Erzeugung, Zustandsprognosen wie Preise, Netzzustände)</li> <li>– B: Architektur, Anbindung und Aggregation (Prosumer, Aggregatoren, Virtuelle Kraftwerke, Protokolle, Schnittstellen, Prozesse, Systemarchitekturen)</li> <li>– C: Metering (Sensorik und Metering, Betriebsführung und Abrechnungsmechanismen)</li> <li>– D: Dataprocessing (Big Data, Datenschutz, Resilienz, IT-Safety&amp;Security)</li> </ul>	
<p>Technologische Reife: Umfassende Durchdringung des Energiesystems, IuK ist an eine Vielzahl von Prozessen und Produkten gebunden. Technologien weisen unterschiedliche TRL auf.</p>	
<p>Kritische Komponenten: IuK bildet Schlüssel zu kritischen Infrastrukturen.</p>	
<b>Entwicklungsziele</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– A: Kontinuierliche Steigerung der Prognosen, bei weiterem Ausbau erneuerbarer Energien nimmt die Wichtigkeit der Prognostizierbarkeit von Extremereignissen zu. Risikoabschätzung durch verbesserte probabilistische Prognosen</li> <li>– B: Erstellung von System-, Prozess- und Datenverarbeitungsstrukturen, Weiterentwicklung von Aggregatoren (Virtuelle Kraftwerke) zur direkten Integration in Beschaffungsportfolien, automatisierte Aggregations- und Überwachungsprozesse, Effizienz und Redundanzuntersuchungen</li> <li>– C: Standardisierung von Metering- und Kommunikationsmechanismen zur Datenanbindung und Steuerung von Einzelanlagen und Prosumern über Smart Meter</li> <li>– D: Effiziente Verarbeitung großer Datenmengen inkl. Kommunikationsstrecken, Sicherstellung der Datensicherheit</li> </ul>	
<b>Technologie-Entwicklung</b>	
<p>Konkrete Roadmap der Technologien schwer definierbar, da Weiterentwicklungen meist prozessgetrieben sind und damit teilweise von der Regulatorik und Entwicklungen in anderen Bereichen abhängen.</p>	
<b>F&amp;E-Bedarf</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erhöhung der Realitätsnähe der Zustandsschätzungen des Energiesystems (aktuell und Prognose)</li> <li>– Standardisierung von Anbindungen für automatisierte Aggregationen und Steuerungszugriff</li> <li>– Definition eines Energy-Data-Spaces, Energieinformationsnetze, Datenverarbeitungs- oder Aggregationskonzepte (Edge-, Fog und Cloudverarbeitung)</li> <li>– Mechanismen zur Sicherstellung von Datenschutz, -sicherheit, -eigentum, Sicherheit vor Angriffen</li> </ul>	

<b>B) Multikriterielle Bewertung</b>
<b>Beitrag zu Klimazielen und weiteren Emissionsminderungszielen</b>
– Leistet keinen eigenen Beitrag, ist aber Grundvoraussetzung für Aggregatoren und damit für die fortschreitende Integration von erneuerbaren Energien in das Stromsystem
<b>Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz</b>
– Analog zum vorherigen Punkt
<b>Kosteneffizienz</b>
– Kosteneffizienz ist vom Einzelfall abhängig, jedoch der Haupttreiber bzw. die Grundvoraussetzung für die Integration von IKT-Systemen. Somit ist das Kriterium auf IuK nicht anwendbar bzw. irrelevant.
<b>Inländische Wertschöpfung</b>
– Die reale Wertschöpfung im IKT-Bereich des Energiesektors ist aufgrund der Heterogenität der Komponenten von IuK mit Studien nicht umfassend zu belegen.
<b>Stand und Trends von F&amp;E im internationalen Vergleich</b>
– Hoher Entwicklungsstand bei Anlagenentwicklung (Scada-Systemen) und Netzleitsystemen, Standardisierung der Kommunikation (z. B. VHPready)
– Innovationen aus anderen Bereichen müssen auf die Forschung im Kontext des Energiesystems übertragen werden
<b>Gesellschaftliche Akzeptanz</b>
– Im Prinzip hoch (Homeautomation mit Fokus Sicherheit) oder wenig sichtbar (Scada und Leitsysteme)
– Teilweise kontrovers diskutiert (Smart Meter)
<b>Unternehmerisch-technische Pfadabhängigkeit und Reaktionsfähigkeit</b>
– Eröffnung neuer Möglichkeiten durch Dynamisierung von Prozessen (Peer2Peer Handel, schneller Intradayhandel, Aktivierung von Flexibilitäten)
<b>Abhängigkeit von Infrastrukturen</b>
– Abhängigkeit von der allgemeinen Kommunikationsinfrastruktur und vom Energiesystem selbst (Eigenverbrauch der IuK-Komponenten)
<b>Systemkompatibilität</b>
– Essentieller Bestandteil des Energiesystems, Kompatibilität ist gegeben

## 1 Beschreibung des Technologiefeldes

Die Transformation des Energiesystems von einer zentral geprägten, unidirektional orientierten und in unterschiedliche Sektoren separierten Struktur hin zu einer umfassenden, multimodalen, dezentralen und flexiblen Erzeuger- und Verbraucherlandschaft findet auf verschiedenen Ebenen statt. Randbedingung bei dieser Umwälzung ist immer die Einhaltung der Teilziele Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Effizienz respektive Nachhaltigkeit. Im Einzelnen schlägt sich diese Transformation in einer Diversifizierung der Akteurslandschaft durch die Mechanismen des Unbundling nieder. Weiterhin findet eine Dezentralisierung der Erzeugerlandschaft und damit eine Substitution von mehrheitlich fossil betriebener Großkraftwerkstechnologie durch eine Vielzahl dezentraler Erzeuger mit zumeist regenerativem Charakter statt. Dieser Wandel hat im Wesentlichen zwei Hauptkonsequenzen. Zum einen ergeben sich durch dezentrale, flächige Verteilung der Erzeuger neue Anforderungen an den Energieaustausch, bspw. aus der Erweiterung der Energienetze für einen bidirektionalen Energieaustausch, zum anderen werden Abstimmungsmechanismen erforderlich, welche die fluktuierende Einspeisung derart mit dem Verbrauch in Waage hält, dass sowohl elektrische Netzrestriktionen, Qualität der Versorgung und Aspekte der Energieeffizienz und damit der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt werden. Mögliche Antworten auf die mit dieser Betrachtung einhergehenden Fragen liegen in der Konzeption eines multimodalen Energiesystems, also in der Gesamtbetrachtung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr.

Eine Grundvoraussetzung verteilter, dezentraler Systeme - seien sie zentral oder dezentral organisiert - ist die Verbindung von Energie und Information. So werden erst durch eine hohe Durchdringung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) steuerbare Systeme mit einer Vielzahl von Erzeugungs- oder Verbrauchskomponenten möglich. Damit ist die zunehmende Nutzung digitaler Medien und Komponenten, welche ein feineres Bild der einzelnen Erzeuger und Verbraucher bis hin zum sog. Prosumer entstehen lassen und welche damit in der Aggregation ein realistischeres Bild des Gesamtsystemzustands ermöglicht, gemeint. Waren Mechanismen der IKT in der Vergangenheit als Ergänzung bzw. Erweiterung der herkömmlichen Strukturen und Vorgehensweisen zu sehen, so stellen diese nach heutigem Stand eine Grundvoraussetzung dar, das System beherrschbar zu halten. Die Durchdringung des Energiesystems mit IKT oder dessen Digitalisierung ermöglicht Synergien, welche vorher nicht denkbar waren. Resultierend aus den Möglichkeiten, welche sich durch die Erhebung einer riesigen Menge an Operativdaten ergibt, entstehen Freiheitsgrade und Regelungsmöglichkeiten, die einerseits neue Nutzungsoptionen eröffnen, andererseits aber auch für den sicheren, wirtschaftlichen Betrieb des Gesamtenergiesystems zwingend notwendig sind. Dies wirkt sich stark auf die Gesamtarchitektur des Energiesystems und in der Konsequenz auf Werkzeuge, Geschäftsmodelle und Nutzungsverhalten aus.

Architektonisch können IKT-Systeme grob in zwei Klassen eingeteilt werden. Dies sind einerseits zentral organisierte Systeme wie Plattformen, auf denen Messdaten gesammelt werden, Abrechnungsprozesse stattfinden oder auch im Fall von virtuellen Kraftwerken, Einsatzplanungen vorgenommen werden. Auf der anderen Seite stehen dezentral aufgebaute Systeme, welche auf Signale beispielsweise aus dem

Netzbetrieb oder von Energiemärkten reagieren können, hierfür aber über eigene, interne Logik und Betriebsstrategien verfügen. Gerade im letzteren Fall besteht noch Forschungsbedarf, beispielsweise bei den Auswirkungen der Durchdringung des Energiesystems mit dezentralen, haushaltsgebundenen Speicherlösungen, deren lokalen Optimierungsstrategien und die Auswirkungen bzw. die notwendigen Anreize auf bzw. aus dem Energiesystem.

In beiden Fällen besteht ein ausgeprägter Bedarf nach effizienter Datenübertragung, Speicherung und Verarbeitung, jedoch ergeben sich durch die differierenden Architekturansätze unterschiedliche Anforderungen an zum Beispiel Art, Geschwindigkeit und Effizienz von Optimierungsalgorithmen.

## 2 Stand F&E in Deutschland

### 2.1 Forschungsebenen

Die Digitalisierung bildet einen wichtigen Baustein bei der Integration verteilter Erzeugung und der Kopplung mit Verbrauchsstrukturen. Die Weiterentwicklung der IKT-Strukturen mit diesem Fokus ist dementsprechend ein wichtiger Themenkomplex, der im Rahmen der Förderung von Energiethemen mitgedacht werden muss (und wird).

Die F&E-Projekte lassen sich grob in verschiedene Klassen einteilen:

- 1 | Grundlagenorientierte Fragestellungen
- 2 | Anwendungsorientierte Themen und
- 3 | Direkte Weiterentwicklung von Produkten oder Produktportfolien

Entsprechend zur Anwendungsnähe sind unterschiedliche Player in der Forschungslandschaft beteiligt.

Zu Themen der Digitalisierung in der Energiewende oder anders bezeichnet in der Energieinformatik finden sich deutschlandweit verschiedene Lehrstühle, beispielsweise an den Universitäten Oldenburg und München. Neben diesen werden Forschungsvorhaben durch an Hochschulen angegliederten Instituten wie dem Offis, zu Forschungsverbänden gehörenden Instituten wie verschiedenen Instituten der Fraunhofer Gesellschaft und weiteren sowie freien, oft gemeinnützig organisierten Institutionen wie der Stiftung Neue Verantwortung e. V. bis hin zu spezialisierten Beratungsfirmen wie der Energynautics GmbH durchgeführt. Diese Liste hat selbstredend keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit.

Fokus dieser Einrichtungen ist bei ersteren die grundlagenorientierte Forschung, bei Vertretern wie der Fraunhofer Gesellschaft stehen anwendungsorientierte Aspekte im Vordergrund.

### 2.2 Forschungsprogramme

Die Forschung bezüglich IKT im Kontext der Energiewende spannt ein Feld auf, das von der Übertragung von bereits in anderen Bereichen entwickelten Technologien bis hin zu völlig neuartigen Konzepten reicht. Im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung werden verschiedenste Fragestellungen adressiert und teils in Sonderausschreibungen wie den Smart Services thematisch gebündelt. Größer angelegte Initiativen zur Demonstration technischer Herangehensweisen wie E-Energy oder den Schaufenstern intelligente Energien (SINTEG) setzen die beforschten Felder zueinander in Kontext. Ergänzend wendet sich die Kopernikus-Initiative, im Rahmen derer ebenfalls Themen der IKT behandelt werden, direkt an die Politik. Neben der nationalen Förderung existieren entsprechende Programme auf Ebene der Bundesländer sowie auf EU-Ebene.

### 2.3 Forschungsfelder/Technologiefelder

Als Forschungs- und Technologiefelder wurden im Vorfeld verschiedene Bereiche identifiziert.

- *Technologiefeld Zustandsbestimmung und Prognosen*: Methodiken wie Machine Learning und Prognosemethodiken für Zustandsbestimmung und risikobasierte Planung des Betriebs von Energiesystemen, Prognosen für den Verbrauch aus Lasten, Erzeugung und Zustandsprognosen wie Preise oder Netzzustände.
- *Technologiefeld Anbindung und Aggregation*: Mechanismen und technische Spezifikationen zur Integration/Anbindung von Energiewandlern wie Protokolle, Schnittstellen und Betriebsführungsprozesse bis hin zu Fragestellungen Prosumer, Agentensysteme, Aggregatoren und Virtuelle Kraftwerke (VK) betreffend
- *Technologiefeld Metering*: Metering, Abrechnung und die dafür notwendigen Prozesse sowie Fragen zum Umgehen mit großen Datenmengen, IoT.
- *Technologiefeld Dataprocessing*: Hinzu kommen Querschnittsfragestellungen wie Resilienz, IT-Safety&Security, Datenhoheit und -Schutz.

## 2.4 Genereller Stand der Forschung

Insgesamt hat sich der Charakter der Forschungsprojekte in den letzten Jahren zu komplexeren Strukturen ausgebildet. Gerade im Bereich der angewandten Forschung gilt es, neben den Bedürfnissen der Forschungspartner auch und vor allem aus der Industrie marktwirtschaftliche und regulatorische Rahmenbedingungen in die Überlegungen einzubeziehen. Je komplexer die Fragestellung, desto umfangreicher ist der notwendige Integrationsgrad. Die Beantwortung der Fragen hinsichtlich der Kriterien (siehe das Kriterienraster in *Teilbericht 1*) gestaltet sich durch die Tatsache, dass die Technologie und die einzelnen genannten Felder sehr unterschiedlich entwickelt sind und verschiedene Wege gewählt werden können, um IKT zu integrieren, schwierig. Auf ein Eingehen auf die Szenarien hinsichtlich der 80- oder 95-Reduktion oder auf bestimmte Limitierungen des Temperaturanstiegs muss ebenfalls verzichtet werden, da die IKT nur mittelbar zu diesen Zielen beiträgt. Es wird vielmehr der Ansatz gewählt, dass für die einzelnen Technologiefelder als solche Vorlaufzeiten etc. gewählt werden. Die Belegung mit Studien entfällt ebenso, die angegebenen Zeitpunkte und Ähnliches entsprechen der Einschätzung der Verfasser.

### 3 Relevanz öffentlicher Förderung

#### 3.1 Kriterium 1: Vorlaufzeiten

Das Kriterium Vorlaufzeit ist auf das Technologiefeld IKT aufgrund seiner Heterogenität schwer anwendbar. Grund dafür ist die sich verändernde Energielandschaft einerseits, andererseits die fortschreitenden Anteile erneuerbarer Erzeugung an der Deckung des Gesamtenergiebedarfs. Resultierend daraus wurden in der Vergangenheit bereits große Fortschritte erzielt, es stellen sich aber in der Zukunft weitere Herausforderungen, die es zu beantworten gilt. Somit ändert sich der Forschungsgegenstand an sich über die Zeit.

#### Technologiefeld Zustandsbestimmung und Prognosen

Am Beispiel der Prognose der Einspeisung fluktuierender Erzeuger und beim Aufbau dementsprechender Prognosesysteme beispielsweise werden dank einer Reihe von Forschungsvorhaben bereits heute gute Ergebnisse erzielt. Bei fortschreitendem Ausbau fluktuierender Erzeugung wird die Verbesserung der Ergebnisse aber eine kontinuierliche Aufgabe der Forschung bleiben. Darüber hinaus werden künftig mehr und mehr Situationen auftreten, die der letzten Sonnenfinsternis hinsichtlich Einspeisegradien nahe kommen. Somit hat die Entwicklung von Verfahren zur genauen Bestimmung fluktuierender Einspeisung, von Auswirkungen von Extremereignissen und von Prozessen, diese so zu steuern, dass ein Höchstmaß an Verträglichkeit für den Netzbetrieb erreicht wird, eine längere Vorlaufzeit.

Tab. 3-1 Vorlaufzeiten Technologiefeld Zustandsbestimmung und Prognosen

Teilfeld	Ziel/Anwendungszweck	Vorlaufzeit
Deterministische Erzeugungsprognosen	Verbesserung der Abschätzung der Einspeisung	kontinuierlich
Probabilistische Erzeugungsprognosen	Unterstützung Netzbetrieb, Optimierung Energiehandel	3-5 Jahre
Machine Learning im Prognosekontext	Unterstützung Netzbetrieb, Optimierung Energiehandel	3-5 Jahre
Automatisierte Verbrauchsprognosen	Erschließung der Möglichkeiten zur Verbrauchssteuerung	3-5 Jahre
Netzzustandsbestimmungen und Prognosen	Nutzung weiterer Datenquellen für sichern Netzbetrieb	Jahre

#### Technologiefeld Architektur, Anbindung und Aggregation

Auch im Bereich der Integration und den dafür benötigten technischen Entwicklungen wie Systemarchitekturen, Protokolle, Schnittstellen und Betriebsführungsprozesse, Servicemodelle bis hin zu technischen Vorgehensweisen wie Redundanzmodellen setzen sich die Forschungstätigkeiten kontinuierlich fort.

**Tab. 3-2 Vorlaufzeiten Technologiefeld Anbindung und Aggregation**

Teilfeld	Ziel/Anwendungszweck	Vorlaufzeit
Systemarchitekturen	Architekturmodelle (analog zum Smart Grid Architecture Model) mit Bezug auf das sektorübergreifende Gesamtenergiesystem sowie deren Ausdifferenzierung in praxistauglichen Funktionsmustern	kontinuierlich
Energy Data Space	Erweiterung der Datenmodelle in der Energiewirtschaft um Beschreibungslogiken und Funktionalitäten	3-10 Jahre
Servicemodelle	Erstellung von Servicemodellen unter Berücksichtigung von Datenschutz, Datenhoheit und Integrität	3-10 Jahre
Protokolle und Datenaustauschformate	Effizienz im Rahmen der Anlagenintegration	kontinuierlich
Interfacestandardisierung	Effizienz im Rahmen der Anlagenintegration	kontinuierlich
Aggregationsmethodiken (VK, Plattformen)	Verarbeitung von Anforderung aus dem Netzbetrieb	3-5 Jahre
Integrierte Konzepte (Prosumer)	Mit Bezug auf das Gesamtenergiesystem	3-10 Jahre
Agentenbasierte Steuerungsmechanismen	Methoden verteilter Entscheidungsfindung	3-10 Jahre
Automatisierte Aggregationen (Plattformen, Plug and play)	Integration beliebiger Erzeuger/Verbraucher im Kontext digitaler Plattformen	5-10 Jahre
Effizienz-/Redundanz-/Sicherheitskonzepte	Effizienzuntersuchungen von IKT und Erstellung von Sicherheitskonzepten gegen Angriffe und Datenverlust	3-10 Jahre

### Technologiefeld Metering

Metering zum Zweck der Netzzustandsbestimmung, der Abrechnung und die nachfolgenden Prozesse

**Tab. 3-3 Vorlaufzeiten Technologiefeld Metering**

Teilfeld	Ziel/Anwendungszweck	Vorlaufzeit
Meteringtechnologien	Datenerfassung, Steuerung mittels Smart Meter	kontinuierlich
Nutzung von Massendaten	Differenzierte Betrachtungen des Netzbetriebs	3-5 Jahre
Peer2Peer Handel (Blockchain)	Direkter Austausch Prosumer zu Prosumer	3-10 Jahre
Messung und Aufbereitung von Daten hinsichtlich Frequenz, Spannungshaltung	Erweiterung von Lastflussberechnung, Identifikation und Vermeidung von Gradienten, Lastfluss in DC/AC Teilnetzen	

## **Technologiefeld Dataprocessing**

Querschnittsfragestellungen wie Resilienz, IT-Safety&Security, Datenhoheit und -Schutz stellen sich kontinuierlich und werden mit den jeweiligen Einzelfragestellungen zusammen betrachtet.

### **3.2 Kriterium 2: Forschungs- und Entwicklungsrisiken (technisch, wirtschaftlich, rohstoffseitig)**

Den Takt der Entwicklung im IKT-Kontext geben zwei Faktoren an: die Entwicklungen in den Bereichen der Informatik und der Energiewirtschaft. Die Integration von IKT und die damit verbundenen Umstrukturierungen benötigen eine gewisse Innovationshöhe, andererseits muss durch die wirtschaftlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen die Integration auch möglich sein. Damit sind technische Risiken geringer zu werten als wirtschaftliche, da die Integration an den Prozesskosten (Einsparungen und Kosten für die Neueinführung) zu messen sind. Hierüber kann keine generelle Aussage getroffen werden. Eine rohstoffseitige Abhängigkeit ist zu vernachlässigen.

## 4 Detaillierte Bewertung des Technologiefeldes

Wie bereits in der Darstellung der ersten beiden Kriterien erwähnt, ist das Kriterienraster, welches für die Technologiefelder angelegt wird, auf den Begriff IKT schwer anwendbar. Grund hierfür ist, dass Informations- und Kommunikationstechnologien, deren Hauptaufgaben die Informationsgewinnung, Verarbeitung, Darstellung und Handlungsunterstützung sind, in unterschiedlicher Ausprägung in verschiedenen Technologiefeldern enthalten sind. Deutlich wird dies bei der Betrachtung des Begriffs „Energieinformatik“, der sich über verschiedene Elemente definieren lässt:

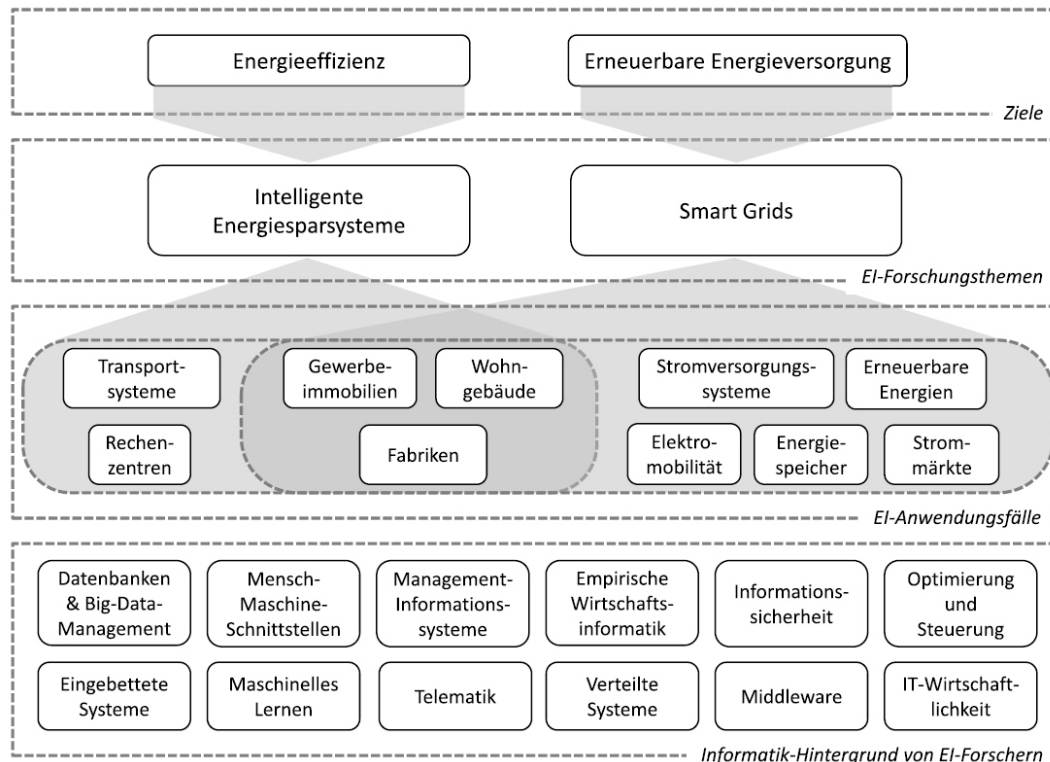


Abb. 4.1 Definition des Begriffs Energieinformatik

Quelle: Goebel et al. (2014)

IKT leistet keinen direkten Beitrag zu den Klimazielen. Vielmehr sind IKT-Strukturen eine Voraussetzung für die Integration dezentraler Erzeugung, sei es auf Anlagenseite mit dezentralen Kontrollmechanismen oder in Form von Portfolien mit flächiger Ausdehnung und entsprechendem Anschluss an zentrale Kontrollsysteme. In beiden Fällen ist IKT eine Voraussetzung für das Erreichen von Klimazielen. Die in dem Schaubild auf oberer Ebene genannten Ziele Energieeffizienz und Versorgung mit erneuerbaren Energien korrespondieren mit den *Kriterien 4-6 (Beitrag zu Klimazielen und weiteren Emissionszielen, Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz, Kosteneffizienz)*. Diese stellen die Treiber für die Integration von IKT ins Energiesystem dar, wohingegen die Beantwortung nach *Kriterien 3 und 7 (Marktpotenziale, inländische Wertschöpfung)* stark vom Kontext (Use Case) abhängt bzw. an diesen gebunden ist. Beispiele hierfür sind einerseits Leitsysteme im Bereich der Netzführung, denen sich Hersteller, Kundengruppen, Anwendungsfälle und Marktpotenziale zuordnen lassen, andererseits die Entwicklung von Kommunikationsstandards,

beispielsweise im Kontext der Gebäudeautomation und -Leittechnik, bei der eine Weiterentwicklung über das Produkt erfolgt. Ein Gesamtpotenzial darzustellen, gestaltet sich aus diesem Grund schwierig.

Hinsichtlich der *Kriterien 11 und 12 (Abhängigkeit von Infrastrukturen, Systemkompatibilität)* ist anzumerken, dass IKT Elemente in der Vergangenheit eher stützende Funktionen ausübten, sich mit steigendem Integrationsgrad die von der energetischen Seite aus betrachteten Energieinfrastrukturen nicht mehr gedanklich von IKT-Infrastrukturen trennen lassen. Waren Mechanismen der IKT in der Vergangenheit als Ergänzung bzw. Erweiterung der herkömmlichen Strukturen und Vorgehensweisen zu sehen, so stellen diese nach heutigem Stand - aufgrund der Vielzahl von Komponenten wie Erzeugungsanlagen - eine Grundvoraussetzung dar, das Energiesystem beherrschbar zu halten. Die Durchdringung des Energiesystems mit IKT oder dessen Digitalisierung ermöglicht andererseits Synergien, welche vorher nicht denkbar waren. So resultiert aus den Möglichkeiten, welche sich durch die Erhebung einer riesigen Menge an Operativdaten ergeben, die Entstehung von Freiheitsgraden und Regelungsmöglichkeiten, die einerseits neue Nutzungsoptionen eröffnen, andererseits aber auch für den sicheren, wirtschaftlichen Betrieb des Gesamtennergiesystems zwingend notwendig sind.

Das Energiesystem in Gänze ist somit sehr stark mit dem IKT-System verwoben. Dies wirkt sich stark auf die Gesamtarchitektur des Energiesystems und in der Konsequenz auf Werkzeuge, Geschäftsmodelle und Nutzungsverhalten aus. Oder anders gesagt, aus den sich aus der Digitalisierung ergebenden Möglichkeiten resultieren perspektivisch Chancen für unternehmerisches Handeln nach Kriterium 10 (Unternehmerisch-technische Pfadabhängigkeit und Reaktionsfähigkeit). Hier werden durch den Aufbau von IT-Abteilungen etablierter Player im Energiebereich, durch Erweiterung der Portfolien von informatisch geprägten Firmen wie Herstellern von Leitsystemen oder auch energiesystemfremde Player wie Provider von Datenbanklösungen oder Optimierungssoftware sowie Startups, die durch die gezielte Verbindung von Energiesystem und der Nutzung moderner IKT Strukturen neue Betätigungsfelder finden und neue Marktsegmente erschließen. So eröffnen künftig IKT-Mechanismen wie Blockchain weitere Möglichkeiten beispielsweise für einen kleinteiligeren Peer-to-Peer-Energiehandel. Je nach Fortschritt der regulatorischen Rahmenbedingungen können sich neue Wege für unternehmerisches Handeln ergeben (PWC 2016).

Diese Umbrüche, die aus der Weiterentwicklung der IKT im Energiesystem resultieren, sind aus Sicht des *Kriteriums 9 (Gesellschaftliche Akzeptanz)* aus gesellschaftlicher Sicht teils verortbar - wie am Beispiel der Smart-Meter-Einführung, des Homeautomation-Systems zu sehen - teils werden Diskussionen über Teilaspekte wie die Frage des Datenschutzes und der Datensicherheit in Expertenkreisen geführt. Die Akzeptanz, was neue Techniken angeht, kann als eher hoch eingeschätzt werden.

Gleiches gilt für die Initiativen, die im Bereich der F&E verortbar sind (*Kriterium 8: Stand und Trends von F&E im internationalen Vergleich*).

Deutschland als Exportland von Technologie ist auf Anlagentechnik bezogen in einer Spitzenposition. IKT als Teil dieser EE-Anlagentechnik oder der Leittechnik ist qualitativ hochwertig entwickelt. Auch hat die Entwicklung im Kontext der Energiewende

zu umfassenden Standardisierungsaktivitäten wie dem VHPready Industriestandard (VHP 2016) geführt. Innovationen aus anderen Bereichen der IKT, welche zukünftig für Energiewendethemen relevant werden, wie Edge- oder Cloudtechnologien oder Mechanismen zur Verarbeitung großer Datenmengen werden langsam im Bereich des Energiesystems und zur Integration erneuerbarer Energien adaptiert.

## 5 F&E-Empfehlungen für die öffentliche Hand

Wie in Kapitel 4 dargestellt, bildet die IKT ein sehr heterogenes F&E-Feld und damit einen Bereich, dem eine Querschnittsaufgabe zukommt. Dazu kommt der Umstand, dass teils Weiterentwicklungen durch schrittweise Verbesserungen und die Nutzung von Effizienzen von an Technologien gebundenen IKT-Strukturen möglich sind (interne Weiterentwicklung auf das Energiesystem bezogen). Es zeichnet sich ab, dass neue Entwicklungen in anderen Bereichen für das Energiesystem nutzbar gemacht werden können (externe Weiterentwicklung), was zu teils fundamentalen oder disruptiven Veränderungen führen kann.

### 5.1 Regulatorische Rahmenbedingungen und Experimentierklauseln

IKT stellt in vielen Fällen den Enabler für weitere Veränderungen dar. Anders gesagt ist die Weiterentwicklung der IKT eine notwendige Bedingung für die Weiterentwicklung signifikanter Teile des Energiesystems, jedoch keine hinreichende. Da es sich bei vielen Prozessen, die in Forschungsprojekten durch IKT realisiert werden können, um Prozesse handelt, die sich nach den geltenden regulatorischen Rahmenbedingungen schwer realisieren lassen (Flexibilisierung → Erhöhung des Spitzenlastbezugs → Höhere Netzentgelte → Unwirtschaftlichkeit des energetisch sinnvollen Use-Cases), sind für F&E Zwecke Experimentierklauseln und Ausnahme genehmigungen zu erleichtern. Dies muss jedoch in einer Kombination mit der Absicherung der Bedingungen nach Ende der F&E-Tätigkeiten einhergehen und/oder es müssen in F&E-Projekten anfallende Kosten umlagefähig gestaltet werden, wenn sich die gewünschten Effekte einstellen sollen.

Wie am Beispiel der Projekte im Kontext SINTEG („Schaufenster intelligente Energie - Digitale Agenda für die Energiewende“) zu sehen, liegt hohes Potenzial in der Erstellung von komplexen IKT-Strukturen. Möchte man diese Potenziale jedoch aktivieren, gilt es zudem, regulatorische Rahmenbedingungen anzupassen, die eine Gegenfinanzierung der zu erstellenden Hard- und Softwareumgebungen und Geschäftsmodelle ermöglicht.

*So lautet eine Empfehlung, das Konzept der Experimentierklauseln konsequent zu nutzen. Dies kann durch die Schaffung von Rahmenbedingungen, die es ermöglichen, externalisierte Kosten, welche aus Projektstätigkeit resultieren, umlagefähig zu gestalten, geschehen. Ziel ist es, Investitionssicherheit für neue Konzepte zu schaffen, damit aus Forschungsprojekten und Reallaboren nachhaltige Lösungen entstehen können. Voraussetzung hierfür ist natürlich eine genaue Prüfung der Maßnahmen und Konzepte und eine positive Beurteilung der Zukunftsfähigkeit.*

### 5.2 Anwendungsfelder

Wie eingangs erwähnt, durchzieht die IKT das gesamte Energiesystem als Querschnittstechnologie von der Energieerzeugung durch dezentrale Einheiten über Energiespeicherung, Verteilung und Nutzung, beispielsweise in der Elektromobilität, Smart Cities, Smart Home Anwendungen, und steuerbaren Großverbrauchern. Ein Innovationsschub ist hier besonders durch die Weiterentwicklung der IKT-Strukturen im Kontext der Sektorkopplung Strom/Wärme/Verkehr zu erwarten.

## 5.3 Interne Weiterentwicklung der IKT

Die auf Energiewendemechanismen bezogene Weiterentwicklung von Informations- und Kommunikationstechnologien ist den Zielen untergeordnet, das Energiesystem beherrschbar zu halten, effizienter zu machen und bedienerfreundlich zu gestalten. Diese Aufgabe zerfällt in mehrere unterschiedliche Teilziele. Diese sind in diesem Punkt bewusst abstrakt gehalten, da sie sich in den weiter oben genannten Anwendungsfeldern wieder finden lassen.

### 5.3.1 Metering und Dataprocessing

Konzepte des Metering wie der Smart-Meter-Rollout wurden bereits definiert und befinden sich in der Umsetzung. Darüber hinaus sind die Mechanismen, welche Eigenschaften die Daten transportieren und welchem Zweck sie dienen können, in welcher Form sie aggregiert werden (Energieinformationsnetze) und wie und in welchen Abstraktionsebenen die Datenverarbeitung organisiert ist (Edge-, Fog- und Cloudverarbeitung) zu untersuchen. Daneben sind Mechanismen zur Sicherstellung von Datenschutz, -Sicherheit, -Eigentum und Sicherheit vor Angriffen zu konzipieren.

### 5.3.2 Zustandsbestimmung und Prognosen - Abschätzung des Systemzustands

Zustandsmessungen und Prognosen von Erzeugung und Verbrauch haben einen hohen Einfluss auf die Sicherheit und die Effizienz des Energiesystems. Zum einen ermöglicht eine genaue Kenntnis des aktuellen Zustands und der nahen Zukunft durch Messungen und Prognosen die sichere Betriebsführung der Energienetze durch die Planung von Reserveenergie und Flexibilitäten. Dies kann durch eine kontinuierliche Verbesserung der Prognosegüte durch neue Methoden erreicht werden. Zum anderen gilt es, Extremereignisse realitätsnah abzubilden und dadurch die situative Einschätzbarkeit durch die Weiterentwicklung von risikobasierten Verfahren zu verbessern.

### 5.3.3 Anbindung und Aggregation

Die Aktivierung von Flexibilitäten wird bei weiterem Zubau von fluktuierender Erzeugung eine wichtige Eigenschaft des Energiesystems sein. Dies ist einer der Hauptanwendungsfälle von IKT-Strukturen. Flexibilitäten werden über automatisierte Prozesse angesteuert, die es weiterhin hinsichtlich Aggregationsmechanismen und Steuerungsverfahren zu untersuchen gilt.

*So lautet eine Empfehlung analog des 6. Rahmenprogramms Prognoseverfahren, Datenanalysemethoden bezogen auf die Energiewirtschaft sowie Aggregationskonzepte bezogen auf Energieerzeuger und Lasten insbesondere bezogen auf die sektorale Integration in den Fokus zu nehmen.*

## 5.4 Externe Weiterentwicklung

Im Fall der IKT, die als Querschnittstechnologie nachweislich nicht auf Energiewendethemen beschränkt ist, gilt es, über die interne Sichtweise hinaus zu schauen, welche Methoden und Verfahren in anderen Kontexten entwickelt wurden und erfolgrei-

che Konzepte auf Adaptionfähigkeit für die Energiewirtschaft zu untersuchen (Externe Entwicklungen):

**Digitale Plattformen** – Die Aktivitäten, welche bereits durch die Ausschreibungen der Smart Services angeregt wurden, sollten besonders unter dem Hinblick auf die sektorübergreifenden Mechanismen weiter geführt werden.

**Big Data Analytics** – Korrespondierend zu den eher internen Weiterentwicklungen wie der Datenverarbeitung von Massendaten aus der Energiewirtschaft, wie sie durch Smart Meter zu erwarten sind, gilt es, Datenanalysemethodiken zu adaptieren, die in anderen Bereichen der Informatik entwickelt wurden.

**Industrial Dataspace/Industrie 4.0** – Analog zu den Aktivitäten im Industriekontext weist die Kombination von Daten auch in der Energiewirtschaft das Potenzial zu neuen Produkten (z. B. reale, zeitlich aufgelöste Grünstromtarife) auf. Die Rolle der Daten an sich wandelt sich daher vom Mittel zum Zweck hin zu einer potenziellen Ware, die erweiterte Einsatzzwecke ermöglicht. Die Adaption/Weiterentwicklung der Konzepte hin zu einem Energy Data Space stellt damit ein lohnendes F&E-Feld dar.

**Internet of Things (IoT)** – Auch die Konzepte des IoT können gut auf die Energiewirtschaft übertragen werden. Die Verlagerung von Intelligenz in dezentrale Strukturen bietet durch die Kombination mit der Aufzeichnung und anschließenden Nutzung der in diesen Strukturen aufgenommenen Daten die Chance auf erweiterte Einsatzmöglichkeiten und erheblichen Effizienzgewinn.

**Edge-, Fog-, Cloudlösungen/Software defined infrastructures** – Die Frage, welche Funktionalitäten an welcher Stelle bearbeitet werden, kombiniert mit der Fragestellung von skalierbaren Infrastrukturen, die sich wandelnden Anforderungen anpassen, stellt eine weitere, zentrale Forschungsfragestellung dar. Die unterschiedlichen Ansätze schließen sich dabei nicht gegenseitig aus, eine zentrale Forschungsfrage hierbei ist es unter anderem, wie die unterschiedlichen Konzepte zusammenwirken und welche Funktionalitäten in direktem Zugriff/direkter Nachbarschaft (Edge), konzernweit modularisiert (Fog) oder branchenweit generalisiert (Cloud) zur Verfügung stehen können. Zur Frage der Funktionalität gehören in diesem Kontext Betrachtungen von Sicherheitsaspekten und Fragen der Betriebsführung der Systeme.

**Blockchain** – Das dezentrale Konzept der Blockchain soll hier als Beispiel einer potenziell disruptiven Technologie dienen, die das Potenzial birgt, Energiehandel komplett anders zu organisieren, als dies in der Vergangenheit beim Börsenhandel der Fall war. Die disruptiven Technologien gilt es, einer genauen Analyse hinsichtlich Nutzen und Umsetzbarkeit im Hinblick auf die Energiewirtschaft zu unterziehen.

*Hinsichtlich aller externen Entwicklungen ist damit die Empfehlung, diese zu prüfen und die Realisierungsmöglichkeiten im Kontext des Energiesystems genau zu untersuchen. Gegebenenfalls gehört zu dieser Untersuchung eine Bezugnahme auf die geltenden Rahmenbedingungen und Regulierungsfragen sowie ferner Anregungen zu deren Anpassungen.*

## Literaturverzeichnis

Goebel, Ch.; Jacobsen H.-A.; del Razo, V.; Doblender, Ch.; Rivera, J.; Ilg, J. et al. (2014): Energieinformatik – Aktuelle und zukünftige Forschungsschwerpunkte, *Wirtschaftsinformatik* 56 (1) 31-39, <https://doi.org/10.1007/s11576-013-0396-9>

Industrieforum VHPready e.V.: VHPready 4.0 White Paper. <https://www.vhpready.de/download/vhpready-4-0-white-paper/?wpdmdl=5551>. Letzter Zugriff: 29.03.2016.

PricewaterhouseCoopers GmbH (2016): Blockchain – Chance für Energieverbraucher? <http://www.verbraucherzentrale.nrw/media242404A>. Letzter Zugriff: 29.03.2016.