

# C/Sells AP 2.6 Szenarien zur Analyse der BUC im Gesamtsystemkontext

---

Stand: 28.05.2018

Autor:innen:

Anke Bekk, Matthias Kühnbach  
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung

Felix Guthoff  
Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)

David Ritter  
Öko-Institut e.V.

Felix Boeing  
Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FfE)

Marc Deissenroth, Seyedfarzad Sarfarazi  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)

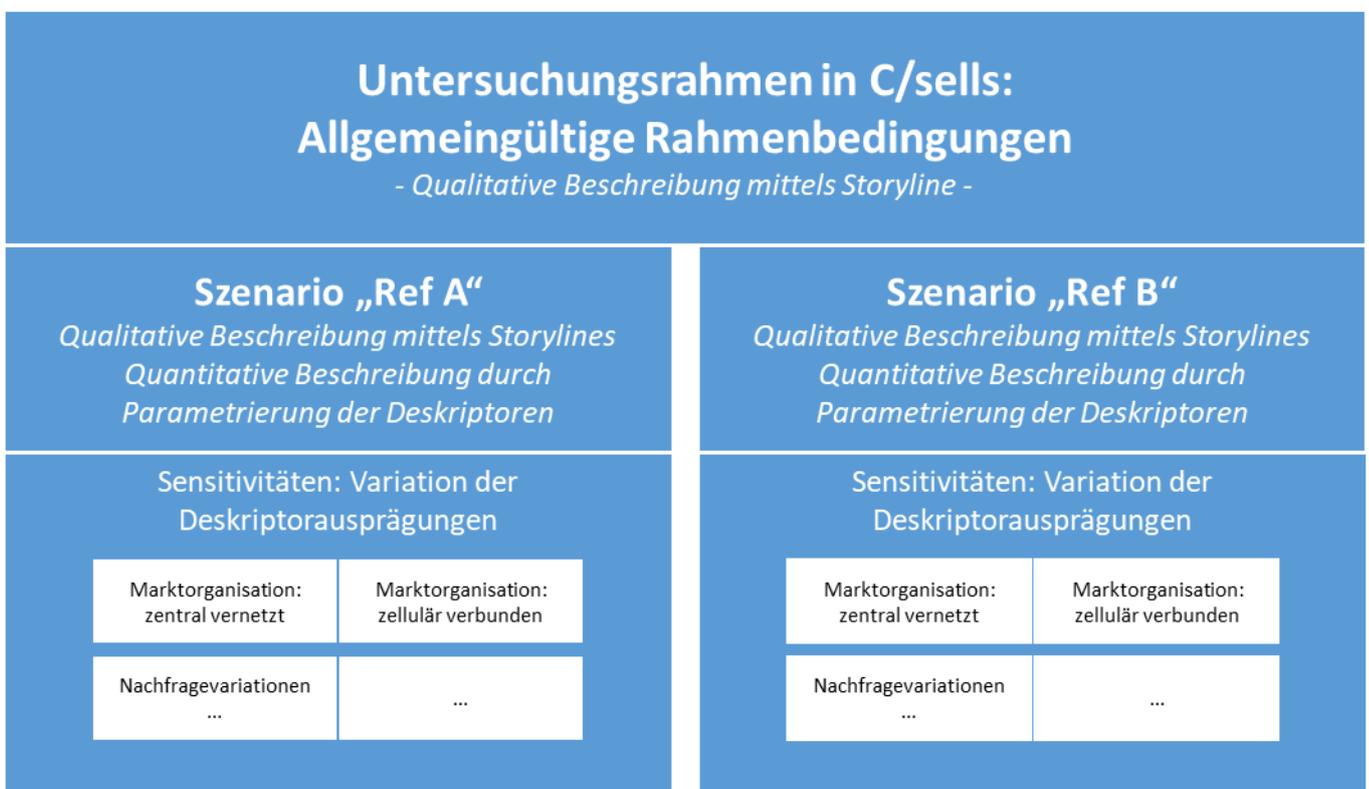
Ramiz Qussous  
INATECH Universität Freiburg

## Inhalt

<b>1.</b>	<b>Einführung</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Beschreibung der gemeinsamen Rahmenbedingungen</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>Qualitative Beschreibung der Szenarien (Storylines)</b>	<b>4</b>
<b>3.1.</b>	<b>Referenzszenario A – „Ref A“</b>	<b>4</b>
<b>3.2.</b>	<b>Referenzszenario B – „Ref B“</b>	<b>5</b>
<b>3.3.</b>	<b>Zusammenfassender Vergleich</b>	<b>7</b>
<b>3.4.</b>	<b>Qualitative Parametrierung der Szenarien</b>	<b>9</b>

## 1. Einführung

In C/sells allgemein sowie in AP 2.6 im Besonderen werden Modelle verwendet, um die in C/sells entwickelten High Level Use Cases (HLUC) bzw. Business Use Cases (BUCs) zu bewerten. Um ein Mindestmaß an Konsistenz und Vergleichbarkeit der Analysen zu gewährleisten, werden in diesem Dokument Szenarien beschrieben, die von allen Projektpartnern in AP 2.6 im Rahmen ihrer quantitativen Analysen als Referenz für weitere Analysen und Sensitivitäten verwendet werden. Abweichungen dazu können unter Umständen umgesetzt werden, sind aber als solche kenntlich zu machen. Die Szenarien werden den anderen C/sells-Projektpartnern über die Fachgruppe Szenarien, Daten, Modelle zur Verfügung gestellt und diskutiert. Bei der Definition des Untersuchungsrahmens wurde wie in Abbildung 1 dargestellt vorgegangen.



**Abbildung 1: Vorgehen bei der Definition des C/sells Untersuchungsrahmens**

Auf der obersten Ebene werden die allgemeingültigen Rahmenbedingungen definiert (siehe Vereinbarung in der Leitidee zur Einbettung der Leitidee) und beschrieben. Unterhalb der allgemeinen Rahmenbedingungen werden zwei energiewirtschaftliche Welten anhand von Storylines und Deskriptoren definiert. Die Storylines beschreiben die beiden Energiewelten sowie deren gemeinsamen Rahmen. Sie erläutern anhand einer qualitativen Spezifikation ausgewählter Deskriptoren, wie das Energiesystem der Gegenwart und Zukunft aussehen könnte. Während dieses Dokument qualitative Deskriptoren zur Beschreibung der Szenarien enthält, werden diese Deskriptoren in einem separaten Dokument, welches den Projektpartnern ebenfalls zur Verfügung gestellt wird, parametrisiert und parametrisiert. So wird gewährleistet, dass alle relevanten thematischen Inhalte definiert werden können sowie Tendenz und Ambitionsniveau qualitativ festgehalten werden. Unterhalb der Szenariowelten werden Sensitivitäten mittels Variationen der Deskriptor-Ausprägungen definiert. Besonders

wichtig sind dabei Variationen, die Konzepte aus dem C/sells-Kontext berücksichtigen: So sind beide Szenariowelten zunächst auf eine Weise definiert, die es ermöglicht, diese zu analysieren, ohne dass diese C/sells-Konzepte enthalten. Dies geschieht, um eine Referenz für weitere Variationen festzulegen. In der Folge sollen jedoch C/sells-Konzepte (insb. BUCs/HLUCs) modelliert und in die Referenzszenarien integriert werden, um anschließend in der Lage zu sein, die Modellergebnisse zu vergleichen. Durch diese Vorgehensweise können Kosten und Nutzen der Konzepte in unterschiedliche Energiewelten abgeschätzt werden.

Für die Modellierung wird durch diesen Szenario-Ansatz zweierlei sichergestellt. Zum einen wird durch den gemeinsamen Szenario-Building Prozess die Konsistenz der Modelle sowie die Vergleichbarkeit der Modellergebnisse gewährleistet. Zum anderen wird für die Projektpartner aber dennoch Spielraum geschaffen um eigene Forschungsfragen zu untersuchen.

Im Folgenden werden zunächst die für beide Szenarien geltenden allgemeingültigen Rahmenbedingungen beschrieben. Daraufhin werden die beiden Szenarien qualitativ (Kapitel 3.1 - 3.3) und quantitativ (Kapital 3.3) dargestellt.

## 2. Beschreibung der gemeinsamen Rahmenbedingungen

Die Ziele der Bundesregierung zur Transformation des Energiesystems bilden den bestimmenden Rahmen der Szenarien. Das heißt: Die Treibhausgasemissionen sollen insgesamt gegenüber 1990 um 80 bis 95 % bis zum Jahr 2050 reduziert werden; das beinhaltet eine Reduktion der Treibhausgasemissionen im Energiesektor gegenüber 1990 um ca. 60 % bis zum Jahr 2030 und eine Erhöhung der Anteil Erneuerbarer Energien (EE) am Bruttostromverbrauch auf 80 % bis zum Jahr 2050. Gleichzeitig ist der Primärenergiebedarf bis 2050 zu halbieren. Insgesamt soll – soweit möglich – die Vereinbarung der UN-Klimakonferenz in Paris, die globale Erderwärmung unter 2 °C gegenüber vorindustriellen Werten zu begrenzen, berücksichtigt werden.

Des Weiteren werden weiterhin die Prinzipien der Marktliberalisierung und des Unbundlings verfolgt. Der Ausbau von EE findet technologieoffen nach ökonomischen Gesichtspunkten statt. Soweit möglich sollte jedoch eine Form des Ausbaus der EE angestrebt werden, der die Zustimmung zur Energiewende in der Bevölkerung nicht gefährdet.

## 3. Qualitative Beschreibung der Szenarien (Storylines)

### 3.1. Referenzszenario A – „Ref A“

Das Szenario „Ref A“ beschreibt eine Entwicklung, die sich bezüglich wesentlicher Rahmenbedingungen am derzeit eingeschlagenen Pfad orientiert. Das Energiesystem wird dominiert von Technologien mit größerer Anlagendimension und den zugehörigen Akteuren in allen Bereichen: Erzeugung, Transport und Verteilung, Verbrauch und Flexibilität.

#### *Technisches System*

Strom wird aufgrund eines primär ertragsgesteuerten Zubaus von EE-Anlagen vor allem in großen Anlagen und Parks erzeugt, wie großen Offshore-Wind- und Photovoltaik-Parks. Zudem werden das Übertragungsnetz und Großspeicher in hohem Maße ausgebaut, um die Idee der Kupferplatte trotz hohem Transportbedarf zu gewährleisten. Haupttreiber des Ausbaus von EE sind wirtschaftliche

Aspekte. Gesteuert wird der Zubau zudem zentral über die Festlegung von Ausschreibungsmengen. Durch Skaleneffekte sinken die Technologiekosten vor allem für große Anlagen und Parks. Die Kopplung von Strom- und Wärmeversorgung wird vorangetrieben.

Für wenige Stunden im Jahr stehen konventionelle Reservekraftwerke zur Verfügung, die bei längerem Ausbleiben von EE-Erzeugung (z.B. bei der sogenannten „Dunkelflaute“) die Stromversorgung absichern. Ergänzend zu großen EE-Parks in Deutschland bietet dieses Szenario ideale Rahmenbedingungen für internationale Großprojekte und Kooperation bspw. im Rahmen der Entso-e (Bsp. eHighway).

Es existieren in dieser Welt auch kleinteilige, dezentrale Erzeugungsanlagen und dezentrale Flexibilitätsoptionen. Jedoch stellen sie nur eine Ergänzung der zentralen Strukturen dar. Eigenverbrauchsmodelle werden nicht explizit gefördert. Monetäre Anreize können sich jedoch aus der Vermeidung von Strombezug aus vorgelagerten Netzebenen, dem gesteuerten Netzbezug und der Teilnahme an anderen systemdienlichen Maßnahmen indirekt ergeben.

Auch die zunehmende Digitalisierung spielt eine wichtige Rolle. Sie wird vor allem in den höheren Netzebenen eingesetzt, bspw. für Freileitungsmonitoring. Aufgrund der untergeordneten Bedeutung von kleinen Akteuren ist auf dieser Ebene der Digitalisierungsgrad in dieser Welt vergleichsweise gering.

### **Marktorganisation**

Zentrale Großhandelsmärkte werden als systemeffiziente Variante betrachtet und Märkten mit regionalem Bezug vorgezogen. Es werden keine zusätzlichen regionalen Komponenten in die Strompreise integriert. Das europäische Stromsystem und die Märkte wachsen weiter zusammen. Beschaffung und Bereitstellung von Regelenergie und Leistung wird durch wenige große Akteure organisiert.

### **Akteure**

Da dieses Szenario die derzeitige Situation in der Energieversorgung fortschreibt, verändert sich auch die Akteursstruktur kaum. Zentrale, einflussreiche Akteure bleiben daher große integrierte Energieversorgungsunternehmen, ergänzt durch größere Stadtwerke und Übertragungsnetzbetreiber. Auf Nachfrageseite partizipieren vor allem große industrielle Verbraucher und Aggregatoren an den Märkten. Die Rahmenbedingungen sind hingegen wenig vorteilhaft für die Partizipation von kleinen Prosumern und Verbrauchern.

Auf politischer Ebene spielen die EU und der Bund sowohl bei der Definition energie- und klimapolitischer Ziele als auch bei deren konkreter Umsetzung die entscheidende Rolle. Zudem gewinnen die europäischen Verbände wie Entso-e weiter an Bedeutung.

## **3.2. Referenzszenario B – „Ref B“**

Das Szenario „Ref B“ beschreibt eine Entwicklung, die sich im Vergleich zum derzeit eingeschlagenen Pfad durch ein hohes Maß an Partizipation und Dezentralität auszeichnet. Dezentrale Technologien und Akteure spielen in allen Bereichen eine wichtige Rolle: Erzeugung, Transport und Verteilung, Verbrauch und Flexibilität.

### **Technisches System**

Strom wird im Gegensatz zum Status quo und zum Szenario „Ref A“ in vergleichsweise kleinen Anlagen und Parks erzeugt, wie PV-Dachanlagen und kleineren Onshore-Windparks. Die lastseitigen Flexibilitäten in den Endenergiesektoren werden verstärkt erschlossen und ausgebaut (z. B. Hausspeichersysteme). Die Kopplung von Strom- und Wärmeversorgung wird vermehrt dezentral vorangetrieben. Hierbei stehen weniger zentrale Lösungen, wie beispielsweise größere, bspw. von städtische Fernwärmenetze, sondern eher kleinteilige Quartierskonzepte im Mittelpunkt. Gig- und Share Economy spielen eine wichtige Rolle. Die Stromerzeugung aus EE findet nicht mehr nur an den ertragsreichsten, teils lastfernen Standorten, sondern vermehrt in Nähe der Last statt. Insgesamt steigen in diesem Szenario die Herausforderungen auf Mittel- und Niederspannungsebene.

Stärkster Treiber des Ausbaus von EE sind weiterhin wirtschaftliche Aspekte. Aufgrund sinkender Technologiekosten vor allem für kleine Anlagen und Parks werden jedoch vor allem lastnahe Kapazitäten zugebaut. Zudem misst die Gesellschaft einer regionalen Bedarfsdeckung einen wichtigen Beitrag zur Gewährleistung von Versorgungssicherheit bei. Daraus entstehen zusätzliche (nicht monetäre) Anreize für einen lastnahen EE-Ausbau.

Für eine längere, sogenannte „Dunkelflaute“ sind viele kleinteilige, brennstoffgebundene Erzeuger in der Lage die Systemsicherheit zu gewährleisten. Durch die stark verbrauchsseitige Flexibilisierung kann die Last jedoch extrem reduziert werden.

Nichtsdestotrotz gibt es im Szenario „Ref B“ auch weiterhin zentrale Erzeugungskapazitäten, wie bspw. Offshore-Windparks. Sie spielen eine untergeordnete Rolle und stellen vielmehr eine Ergänzung zu den dezentralen Strukturen dar. So dient auch das Übertragungsnetz vor allem zur Gewährleistung von Versorgungssicherheit.

Aufgrund der hohen Bedeutung von kleinen, dezentralen Akteuren und der dafür notwendigen IKT ist der Digitalisierungsgrad auf dieser Ebene in dieser Welt hoch.

### **Marktorganisation**

Das Szenario „Ref B“ zeichnet sich in seinen Grundzügen durch ein hohes Maß an Partizipation und Dezentralität aus. Zudem wird die aktive Teilnahme kleinerer Erzeuger, Verbraucher und Prosumenten an marktlichen Aktivitäten ermöglicht und durch entsprechend regionalisierten Handel gefördert. Innerhalb der bestehenden regulatorischen Rahmenbedingungen ist dabei nicht vorgeschrieben, wie Märkte ausgestaltet sind.

Zentrale Großhandelsmärkte existieren weiterhin. Sie organisieren den überregionalen Austausch und stellen eine Verbindung zwischen regionalen Handelsplätzen her. Um ein effizientes System zu gewährleisten, sind regionaler und zentraler Handel miteinander gekoppelt.

### **Akteure**

Aufgrund der Dezentralisierung der Energieversorgung ändert sich auch die Akteursstruktur signifikant. Große, integrierte Energieversorgungsunternehmen sind nicht mehr die wichtigsten Marktakteure. Vielmehr sind viele kleine Prosumenten und kleine wie große flexible Verbraucher wichtige Säulen der Energieversorgung. Zudem spielen Regionalversorger wie Stadtwerke und Verteilnetzbetreiber zunehmend eine wichtige Rolle. Es erfolgt eine verstärkte regionale Einbindung und Kopplung regionaler Marktteilnehmer und Infrastrukturbetreiber.

Auf politischer Ebene gelten weiterhin die energie- und klimapolitischen Ziele von EU und Bund. Die Umsetzung der Ziele liegt jedoch verstärkt in regionaler Hand der Bundesländer und Kommunen.

### **3.3. Zusammenfassender Vergleich**

In Tabelle 3-1 sind die wichtigsten Elemente, die die beiden Szenarien qualitativ beschreiben, nochmals zusammengefasst.

**Tabelle 3-1 Vergleichende Beschreibung der beiden Szenarien**

	„Ref A“	„Ref B“
<b>Vision</b>		
	Große Anlagen (Offshore Wind, Fernwärme, Großspeicher, Übertragungsnetz etc.) in zentral organisierten Strukturen mit kleinteiliger, verteilter Erzeugung und Flexibilität als „Ergänzung“	Kleine Anlagen, primär in prosumergetriebenen dezentralen Entscheidungsstrukturen organisiert, ergänzt durch zentral getriebenen Übertragungsnetzausbau, Offshore-Wind etc.
<b>Technisches System</b>		
Erzeugungstechnologien	Vor allem große Anlagen Technologien wie große Offshore-Wind- und PV-Parks	Vor allem Technologien mit kleiner Anlagen- u. Parkgröße wie PV-Dachanlagen, Onshore-Windparks
Entwicklung von Technologiekosten	Skaleneffekte bei Technologien mit hohen Durchdringungen, hier: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Offshore-Wind</li> <li>• Große PV-Parks</li> <li>• Großspeicher etc.</li> </ul>	Skaleneffekte bei Technologien mit hohen Durchdringungen, hier: <ul style="list-style-type: none"> <li>• PV-Dachanlagen</li> <li>• Kleine Onshore-Windparks</li> <li>• Hausspeichersysteme etc.</li> </ul>
Treiber für EE-Ausbau	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ertragsorientiert</li> <li>• Zentral gesteuert, bspw. über Ausschreibungsmengen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lastnah</li> <li>• Regionale Bedarfsdeckung als zusätzlicher Anreiz</li> </ul>
Internationale Kooperationen	Möglichkeit für Großprojekte wie „eHighway“ eher gegeben	Wenig
Netze	Netzausbau folgt Ausbau von Erzeugungsanlagen, insb. durch verstärkten Übertragungsnetzausbau	Erhöhter Ausbau der Mittel- und Niederspannungsnetze Das Übertragungsnetz dient zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit
Digitalisierung	Digitalisierung vor allem auf höheren Netzebenen	Höherer Digitalisierungsgrad
<b>Marktorganisation und Versorgungssicherheit</b>		
Märkte/ Handel	Zentral	Regionalisiert und zentral
Gewährleistung v. Versorgungssicherheit (hier Regelenergie)	Organisation, Beschaffung und Bereitstellung durch wenige große Akteure	Viele Akteure, Möglichkeit zur dezentralen, kleinskaligen Organisation, Beschaffung und Bereitstellung
<b>Akteure</b>		
Wichtige Akteure	Integrierte Energieversorgungsunternehmen, Übertragungsnetzbetreiber, europäische Verbände (z.B. Entso-e), große (industrielle) Verbraucher	Stadtwerke, Verteilnetzbetreiber, Prosumenten, alle Verbraucher
Gig-/Share Economy	Vor allem auf H/HöS-Ebene	Bedeutende Rolle, auch auf ÜN-, Verbraucher- und Prosumerebene
Politische Entscheidungen	EU, nationale Ebene sowohl für Zielformulierung als auch für Ausdifferenzierung	EU-Ziele vorhanden, Ausdifferenzierung: Bundesland, Stadt, Quartier Ebene

### 3.4. Qualitative Parametrierung der Szenarien

Das Szenario „Ref A“ ist stark an das Klimaschutzszenario 95 (BMUB 2015 Klimaschutzszenario 2050 2. Endbericht) angelehnt. Dieses bietet eine konsistente Darstellung mit ambitionierten Zielen hinsichtlich des Klimaschutzes, welche aufgrund der Ungewissheit bezüglich zukünftiger Entwicklungen im Energiesystem den Anspruch an die Wissenschaft und Forschung hochhält. Für das Szenario „Ref B“ wurde das Klimaschutzszenario 95 variiert.

Eine Übersicht über die wesentlichen Annahmen für die Parametrierung der Deskriptoren in den beiden Szenarien ist in Tabelle 3-2 dargestellt.

**Tabelle 3-2 Deskriptoren und qualitative Parametrierung der beiden Szenarien**

Deskriptoren	„Ref A“	„Ref B“
Installierte Erzeugungskapazitäten	Basierend auf KS95-Szenario	Im Vergleich zum KS95-Szenario weniger Offshore-Wind, mehr Onshore und PV <small>(Kapazitäten werden so angepasst, dass die Stromerzeugung aus Wind und PV identisch bleibt)</small>
Speicher	Mehr große Speicher	Mehr Heimspeicher, Quartierspeicher
KWK	Fernwärme, große BHKW	Nahwärme, Mikro-BHKW
Netzausbau und Stromimport /-export	Keine Unterscheidung zwischen den Szenarien bzgl. NTC Stromimport/-export sind Ergebnis der Modellierung	
Marktgebietszuschnitte	Keine Vorgabe	
Nachfrage	Unelastisch	Preiselastische Anteile
	Generell Effizienzgewinne zu verzeichnen, keine Unterscheidung zwischen Szenarien. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stromverbrauch klassischer und neuer Verbraucher gleich in beiden Szenarien.</li> <li>• Entsprechend gleicher Grad der Elektrifizierung i. S. v. Sektorkopplung</li> </ul>	
Nachfrageseitige Flexibilität	Keine Unterscheidung in der Höhe der aktivierbaren Kapazität zwischen den Szenarien; Flexibilität steht Markt und Netz zur Verfügung	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DSM: Vor allem große Verbraucher, geringer Partizipationsgrad kleinerer Verbraucher</li> <li>• Sektorkopplung: Geringerer Anteil flexibler Verbraucher</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DSM: Hoher Partizipationsgrad kleinerer Verbraucher</li> <li>• Sektorkopplung: Höherer Anteil flexibler Verbraucher</li> </ul>
Regulatorische Rahmenbedingungen	Zunächst keine Unterscheidung zwischen den Szenarien	