



3.3 Blaupause 5: Instanziierung einer Referenzarchitektur

| Blaupause | |
|---|---|
| Zielgruppen | VNB, Übertragungsnetzbetreiber, Stadtwerke |
| Ausgangslage und Problemstellung | Eine Systemlandschaft, in der sich die einzelnen Teilsysteme unabhängig voneinander entwickeln bzw. entwickelt werden und dabei keinen gemeinsamen Regeln unterliegen, resultiert unweigerlich in einer Vielzahl von proprietären Insellösungen mit einem ausgeprägt hohen Maß an Komplexität, welche u. a. nur mittels Adaptern, Bridges oder Enterprise Service Bus (ESB)-Lösungen interoperabel betrieben werden können. In einem hoch verteilten Energiesystem geht dies jedoch aufgrund der fehlenden Interoperabilität mit zunehmend steigenden Integrationskosten, einer starken systemischen Kopplung an proprietäre Lösungen sowie einem Verlust der Reproduzierbarkeit einer Lösung einher – und somit dem Verlust einer „Blaupausenfähigkeit“. |
| Lösungsansatz | Um eine durch proprietäre Lösungen gekennzeichnete Systemlandschaft zu verhindern und die Komplexität auf einem beherrschbaren Niveau zu halten, werden gemeinsame Leitlinien, Prinzipien und Regeln benötigt, auf die sich alle interagierenden Systeme verständigen. Die Entwicklung und Nutzung von Referenzarchitekturen dient ebendiesem Zweck und liefert einen gemeinsamen Standard. Dieser beschreibt die kontextuelle Einordnung und Anforderungen an die unterschiedlichen Anwendungsfälle, Rollen und Verantwortlichkeiten, Interaktionen, Schnittstellen sowie Informationen auf einer syntaktischen, semantischen und pragmatischen Ebene. In SINTEG wurden verschiedene Referenzarchitekturen – sowohl hierarchisch kaskadierend als auch autonom zellulär – erprobt |
| Einordnung der Blaupause | Blaupause in der Kategorie „Modellbasierte Architekturentwicklung“. |
| Technologiereifegrad (Spektrum der Detail-Blaupausen) |  Demonstrationsanlage/-konzept in anwendungsähnlicher Umgebung funktioniert |
| Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten |  <ul style="list-style-type: none"> ■ Zelluläres Systemkonzept ■ Kaskadiertes Systemkonzept |
| Innovationsgehalt | Inkrementelle Verbesserungsinnovation - Das Erarbeiten einer sogenannten Referenzarchitektur sowie das Dokumentieren ebendieser weist einen hohen Innovationsgehalt auf, im engeren Sinne resultieren Innovationen erst dann aus Ideen, wenn diese in neue Produkte, Dienstleistungen oder Verfahren umgesetzt werden, die tatsächlich erfolgreich Anwendung finden und den Markt durchdringen (Diffusion). Da die Architektur durch die Erprobung und Dokumentation marktfähig wird, ist in der erfolgreichen Entwicklung einer fachspezifischen Referenzarchitektur eine Innovation zu sehen. |
| Bedingungen für die Übertragbarkeit und Skalierbarkeit | Erfolgreiche Erprobung und Instanziierung einer Architektur auf TRL 2-4, Kosten-Nutzen-Analysen als Instrument der Planung sowie strategische Innovation als Unternehmenskultur. |

Aufgrund der vielschichtigen Abstraktionsebenen und Perspektiven im Systems Engineering unterliegen die einzelnen Begriffe der Referenzarchitektur einer gewissen kontext-abhängigen Mehrdeutigkeit und führen oftmals zu Missverständnissen. Der Begriff der Referenz suggeriert oftmals „Wahrheit“ und Alleinstellung der präsentierten Lösung. Hier ist jedoch immer zu beachten, dass die Referenz auch den Kontext der Lösung umfasst so wie eine Momentaufnahme für einen Zeitpunkt X ist. So kann bspw. eine Änderung in der Regulierung ebenfalls Änderungen in der Referenzarchitektur erfordern, sodass eine Referenzarchitektur nicht als unveränderlich anzusehen ist und ebenfalls einem evolutionären Veränderungsprozess unterliegt.



Zur Entwicklung, Beschreibung und Analyse von Systemarchitekturen sowie nicht-funktionalen Anforderungen existieren im Systems Engineering bereits aus anderen Domänen unterschiedlichste allgemeingültige und etablierte Methoden, Best Practices und Standards. Referenzarchitekturen dienen als Ordnungsrahmen für ebendiese. Jedoch verhindert der Einsatz etablierter Methoden, Best Practices und Standards aufgrund der hohen Anzahl ebendieser keine Ausuferung der Systemkomplexität. So dienen Referenzarchitekturen im Kern dazu eine idealtypische architektonische Version des respektiven Systems zu beschreiben, welche durch die Key-Stakeholder im Allgemeinen anerkannt und eingehalten wird.

Eine Referenzarchitektur ist im Idealfall so ausgelegt, dass verschiedene im Kontext Smart Grids und SoS auftretende Probleme in ihr angemessen adressiert sind und gelöst werden. Dabei handelt es sich zumeist um den Kontext der Schnittstellenkomplexität und Querschnittsfunktionen wie etwa IT-Sicherheit / Resilienz oder Performanz. In die Referenz ist erprobtes Wissen eingeflossen, welches evaluiert, bewertet und ausgewählt wurde. Dabei umfasst gemäß der Modellbildung die Referenz alle für die entsprechenden Stakeholder relevanten Sichten, nicht jedoch Weitere (Verkürzungsmerkmal).

Referenzarchitekturen können auf verschiedenen Abstraktionsebenen definiert werden. Eine hoch abstrakte Architektur kann verschiedene Komponenten in einem Kommunikationsnetzwerk zeigen, die jeweils unterschiedliche Funktionen bereitstellen. Eine niedrigere Ebene könnte die Interaktionen von Prozeduren (oder Methoden) innerhalb eines Computerprogramms zeigen, das für die Ausführung einer sehr spezifischen Aufgabe definiert ist. So bietet eine Referenzarchitektur eine Vorlage, die oft auf der Verallgemeinerung einer Reihe von Lösungen basiert. Diese Lösungen können für die Darstellung einer oder mehrerer Architekturstrukturen verallgemeinert und strukturiert worden sein, basierend auf dem Sammeln einer Menge von Mustern, die in einer Reihe von erfolgreichen Implementierungen beobachtet wurden. Weiterhin wird gezeigt, wie diese Teile zu einer Lösung zusammengesetzt werden können. Referenzarchitekturen werden für eine bestimmte Domäne oder für bestimmte Projekte instanziiert.

Die Übernahme bzw. Instanziierung einer Referenzarchitektur innerhalb einer Organisation beschleunigt die Bereitstellung durch die Wiederverwendung einer effektiven Lösung und bietet eine Grundlage für eine gemeinsame Governance, um die Konsistenz und Anwendbarkeit der Technologienutzung innerhalb einer Organisation sicherzustellen. Im Bereich der Software-Architektur haben viele empirische Studien die folgenden allgemeinen Vorteile der Einführung einer Software-Referenzarchitektur innerhalb von Organisationen gezeigt: (a) Verbesserung der Interoperabilität der Softwaresysteme durch die Etablierung einer Standardlösung und gemeinsamer Mechanismen für den Informationsaustausch; (b) Senkung der Entwicklungskosten von Softwareprojekten durch die Wiederverwendung gemeinsamer Assets; (c) Verbesserung der Kommunikation innerhalb der Organisation, da die Stakeholder die gleiche architektonische Denkweise teilen; und, (d) Beeinflussung der Lernkurve von Entwicklern aufgrund der Notwendigkeit, die Features zu erlernen.

3.3.1 DETAIL-BLAUPAUSE 5.1: KASKADIERTES ENERGIESYSTEM

| Blaupause | |
|---|--|
| Zielgruppen | ÜNB, VNB, Stadtwerke |
| Ausgangslage und Problemstellung | Die Bewältigung und Verarbeitung großer Datenmengen sowie schnelle und zeitnahe Kommunikation mit vielen, heterogenen sowie geografisch verteilten Anlagen stellt die Integration der Datenquellen, prozessuale Verarbeitung, zielgerichtete Verteilung sowie effiziente Speicherung vor neue Herausforderungen. Um einen Zielkonflikt zwischen einer Beeinträchtigung der Netzverfügbarkeit bzw. einer einfachen Verfügbarkeit aller für den stabilen Netzbetrieb erforderlichen Daten und dem Schutz von vertraulichen Daten zu vermeiden, müssen die Rollen, Verantwortungs- und Schutzbereiche, Prozesse und Daten- bzw. Informationsflüsse auf der architektonischen Ebene unter Berücksichtigung der existierenden Standards ganzheitlich bedacht werden. |
| Lösungsansatz | Die in DESIGNETZ entwickelte Lösung bzw. die der Lösung zugrundeliegende Referenzarchitektur basiert auf einem System von verteilten und hierarchisch strukturierten Datenknoten – der sogenannten Datenkaskade. Die lokalen, regionalen und überregionalen Datenknoten dienen als räumlich getrennte und stufenweise gebündelte Aggregatoren, welche durch ein sogenanntes System Cockpit koordiniert werden. Das System Cockpit (siehe Detail-Blaupause 3.1 „System Cockpit“) dient dabei primär dem aktiven Monitoring, der Prognose und Simulation von Netzengpässen sowie, bei Bedarf, dem aktiven Eingriff (Aktivierung von Flexibilitäten), um Netzengpässen entgegenzuwirken. Um dies in einer gesicherten Infrastruktur zu ermöglichen, dient die in DESIGNETZ entwickelte Schnittstellenbox als eine „Brücke“ zum sogenannten Energy Gateway, welche es den technologisch heterogenen Flexibilitätsanbietern ermöglicht, sich in die DESIGNETZ-Infrastruktur zu integrieren und auf eine syntaktisch, semantisch und pragmatisch standardisierte Art und Weise zu interagieren (Angebot, Reservierung sowie Abruf von Flexibilitätspotenzialen). |
| Einordnung der Blaupause | <ul style="list-style-type: none"> ■ Detail-Blaupause zu Blaupause 5 „Instanziierung einer Referenzarchitektur“ ■ Betrachtet Detail-Blaupause 1.1 „Energy Gateway“ als Komponente ■ Betrachtet Detail-Blaupause 3.1 „System Cockpit“ als Komponente |
| Technologiereifegrad (Spektrum der Detail-Blaupausen) |  <p>Das TRL wurde in DESIGNETZ von 3 auf 6 gehoben. Demonstrationsanlage/-konzept in anwendungsähnlicher Umgebung funktioniert.</p> |
| Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten |  <ul style="list-style-type: none"> ■ Kaskadiertes Systemkonzept |
| Innovationsgehalt | DESIGNETZ konnte erstmals nachweisen, dass es möglich ist, Bereiche mit unterschiedlichen Schutzanforderungen so zu verbinden, dass sie sicher betrieben werden können und erprobte erfolgreich die bereits heute verfügbaren Technologien sowohl im realen Betrieb als auch im simulierten Energiesystem der Zukunft im Jahr 2035. |
| Bedingungen für die Übertragbarkeit und Skalierbarkeit | Verfügbarkeit, Bereitstellung und Betrieb der cyber-physischen Infrastruktur (Datenknoten, Schnittstellenbox und System Cockpit), sowie die IKT-technische Erschließung von Flexibilitäten und deren Integration am Energy Gateway mittels der Demonstratorschnittstellenbox. Die kaskadierte Struktur der Datenknoten ermöglicht dabei (konzeptionell) eine horizontale Skalierung des Gesamtsystems und erlaubt somit prinzipiell den Ausbau eines dezentralen Energiesystems. |

Im Einklang zum Enablerstack (siehe Abbildung 6) adressiert die in DESIGNETZ entwickelte und instanziierte Referenzarchitektur alle Ebenen der Digitalisierung. Die Referenzarchitektur (dargestellt in Abbildung 14) definiert dabei:

- die IKT- und prozesstechnische Integration lokaler Anlagen,
- die Kommunikationsinfrastruktur (siehe Detail-Blaupause 1.1 „Energy Gateway“),
- das Plattformkonzept (siehe Detail-Blaupause 2.2 „Integrierte Daten- und Dienstplattform“),
- die dezentrale Steuerung (siehe Detail-Blaupause 3.1 „System Cockpit“)

sowie das technische, informationelle und organisatorische Zusammenspiel zwischen diesen Komponenten.

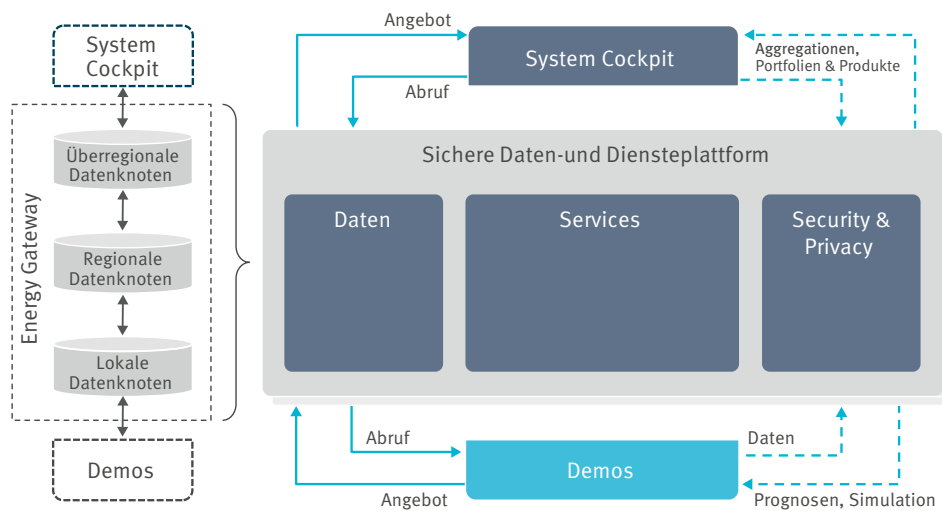


Abbildung 14 High Level-Referenzarchitektur eines kaskadierenden Energiesystems (Vgl. DESIGNETZ, 2021b)

Die Anlagen müssen zur Anbindung zunächst eine sichere Kommunikation zum Energy Gateway aufbauen. Das Energy Gateway dient dabei als zentrales Bindeglied zwischen allen Komponenten. Zu diesem Zweck werden diese über die in DESIGNETZ entwickelte Schnittstellenbox, welche vorrangig auf Basis des IEC 60870-5-104-Standards kommuniziert, sicher und standardisiert angebunden. Bei der Schnittstellenbox handelt es sich um kleine „Schaltschränke“, die ein Kleinfernwirkgerät, einen mobilfunkfähigen M2M-Router sowie die zugehörige Verkabelung und Stromversorgung enthalten (vgl. DESIGNETZ, 2021a). Die Anlage ist bzw. bleibt dabei stets auch außerhalb von DESIGNETZ auch ohne die Schnittstellenbox autark funktionsfähig; jedoch ist die Schnittstellenbox für die Kommunikation in DESIGNETZ notwendig.

Die Referenzarchitektur sieht dabei aufgrund der komplexen Rahmenbedingungen der technologisch heterogenen Anlagen vier unterschiedliche Arten der IKT-technischen Integration vor, sodass die individuellen Anforderungen der vielfältigen Anlagen Berücksichtigung fanden. So wurden bspw. Anlagen, die bereits mit der bestehenden Westnetz IKT-Infrastruktur verbunden waren, gesondert angebunden. Diese Flexibilitätsanbieter wurden innerhalb des Schaufensters mit einer OPC UA-Brigde an das Energy Gateway gekoppelt. Es handelt sich dabei um eine Server-Client-Infrastruktur in OPC UA, einem Industrie 4.0-Kommunikationsstandard.

So lassen sich Anlagen, wie in Abbildung 15 auf Basis des Kommunikationslayers in SGAM (siehe Detail-Blaupause 4.2 „Anwendung des Smart Grid Architecture Models“) dargestellt, über die Schnittstellenbox hinaus mittels OPC UA, IEC 60870-104 Protokoll, ESB oder Kleinfernwerkgerät (KFWG) einbinden.

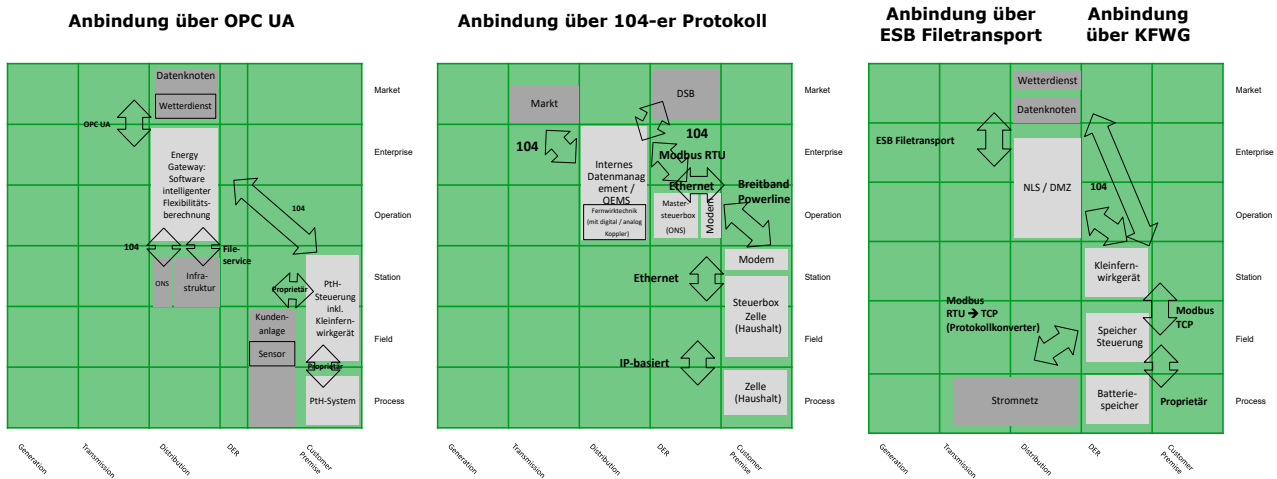




Abbildung 15 Kommunikationsprotokolle (DESIGNETZ) im SGAM (Kommunikationslayer)

Während die Schnittstellenbox für die Sicherstellung der technischen Interoperabilität verantwortlich ist, wurde für den eigentlichen Informationsaustausch in DESIGNETZ der sogenannte „Datenkatalog“ entwickelt. Dieser definiert die syntaktische Datenstruktur sowie die semantische Bedeutung der einzelnen Signalpunkte innerhalb der unterschiedlichen Anwendungsfälle bzw. IT-Services (wie etwa Angebot, Reservierung sowie Abruf von Flexibilitätspotenzialen) innerhalb von DESIGNETZ. So wurden zur Übertragung der Flexibilitätsangebote auf Basis der Schnittstellenbox und des Datenkatalogs wohldefinierte Schnittstellen entworfen, wodurch einerseits den unterschiedlichen Anbietern eine definierte, einheitliche Anforderungsliste für den Anschluss zur Verfügung stand und andererseits eine klare Systemgrenze zwischen den Verantwortungsbereichen der Komponenten gezogen werden konnte.

Das Energy Gateway stellt neben den Schutzbedürfnissen der unterschiedlichen Ebenen sicher, dass die Daten über die verschiedenen Datenebenen und -knoten weitergereicht werden. Die Steuerungs- und Informationskaskade baut sich vom Verteilnetz zum Transportnetz auf. Dieser Aufbau der Datenkaskade ermöglicht die Erfassung der Informations- und Steuerungsbedarfe in Echtzeit zukünftig schon in Verteilnetzzellen und nur ein Überlauf in die nächsthöhere bzw. übergeordnete Netzebene muss wahrgenommen werden. Die lokal entstehenden Datenmengen werden dabei aggregiert und vorverarbeitet (z. B. mittels Plausibilitätsprüfungen) und über die Datenknotenebenen bis hin zum überregionalen Datenknoten transportiert. Dort stehen diese Informationen z. B. dem System Cockpit oder dem Flex-Monitoring zur Verfügung.

Die Daten- und Dienstplattform wurde in DESIGNETZ als integrale Komponente des Energy Gateways (siehe Detail-Blaupause 1.1 „Energy Gateway“) entwickelt. Mittels einer sicheren und kommunikativen Vernetzung von Marktteilnehmern mit diskriminierungsfreiem Zugang sowie transparenter Darstellung der Kommunikationsbeziehungen bildet diese die Basis für darauf aufsetzende Dienste, wie bspw. das Flexibilitätsmonitoring, die Datenknotendatenbank oder auch das System Cockpit.

3.3.2 DETAIL-BLAUPAUSE 5.2: ZELLULÄRES ENERGIESYSTEM

| Detail-Blaupause | |
|---|--|
| Zielgruppen | ÜNB, VNB, VK-Betreiber / Aggregatoren, Prosumer, Flexumer |
| Ausgangslage und Problemstellung | Mittel- bis langfristig treten an die Stelle von wenigen hundert Kraftwerken Millionen von mittleren und kleinen Anlagen. Diese sind jedoch nicht an der Hoch- und Höchstspannung angeschlossen, sondern in den unteren Spannungsebenen. Auf der Verbrauchsseite schreitet die Elektrifizierung der Sektoren Wärme, Kälte sowie Mobilität voran und neue Speicherlösungen werden entwickelt. Das Zusammenwachsen der Sektoren führt zur Notwendigkeit, nicht einzelne Aspekte des Energiesystems separat zu betrachten, sondern in ihrer Gesamtheit. Zur Beherrschung der daraus wachsenden Komplexität im volatilen, dezentralen und auf erneuerbaren Energien basierendem Energiesystem sind neue Architekturmuster nötig. |
| Lösungsansatz | Das im SINTEG-Schaufenster C/sells erprobte zelluläre Energiesystem bzw. der zelluläre Ansatz ist ein neues Organisationsmodell für die Energieversorgung. In diesem interdisziplinären Modell werden technische, wirtschaftliche, juristische und politische (und gesellschaftliche) Belange ganzheitlich berücksichtigt. Im zellulären Energiesystem wird die physikalische Balance zwischen Energieangebot und -nachfrage gemäß dem Subsidiaritätsprinzip soweit wie möglich bereits auf regionaler, lokaler Ebene hergestellt (vgl. VDE, 2019). Obwohl der Fokus einer Energiezelle dabei zunächst auf dem eigenen Objekt (von Interesse) liegt, erlaubt der rekursive Systemcharakter eines zellulären Systems, dass einzelne Zellen auch einzelne Gebäude, aber auch ganze Liegenschaften, Areale, Quartiere, Städte oder Regionen umfassen können (vgl. C/sells 2021). Dies ermöglicht einen schrittweisen Aufbau von sogenannten Multi-Level-Architekturen, bei denen einzelne kleinteiligere Zellen nach und nach zu größeren und übergeordneten Zellen gekoppelt werden; ohne dabei an Autonomie einzubüßen. |
| Einordnung der Blaupause | Detail-Blaupause zu „Instanziierung einer Referenzarchitektur“ |
| Technologiereifegrad (Spektrum der Detail-Blaupausen) |  <p>Das TRL wurde in C/sells von 3 auf 6 gehoben. Demonstrationsanlage/-konzept in anwendungsähnlicher Umgebung funktioniert.</p> |
| Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten |  <ul style="list-style-type: none"> Zelluläres Energiesystem |
| Innovationsgehalt | Der Lösungsansatz des zellulären Energiesystems konnte erstmals realisiert und unter realen Bedingungen erprobt werden. Die kaskadierte Struktur der Zellen ermöglicht dabei (konzeptionell) eine heterarchische Skalierung des Gesamtsystems und erlaubt somit prinzipiell den Ausbau eines dezentralen Energiesystems. |
| Bedingungen für die Übertragbarkeit und Skalierbarkeit | Allgemeine Bedingungen sind die Gestaltung von Interoperabilität (Sprache, Modelle, Methodik), sowie Verlässlichkeit, Informationssicherheit und Datenschutz der Komponenten. |

Mit dem Ziel die zunehmende Komplexität eines volatilen, dezentralen und auf erneuerbaren Energien beruhenden Energiesystems mit **konvergierenden Infrastrukturen (der Sektoren)** beherrschbar zu gestalten, verfolgte C/sells einen ganzheitlich gedachten Ansatz. Das Zusammenwachsen der Sektoren führt zu der Notwendigkeit, nicht einzelne Aspekte des Energiesystems separat zu betrachten, sondern in ihrer Gesamtheit. Das in C/sells erstmals erprobte zelluläre Energiesystem bzw. der zelluläre Ansatz verfolgt ebendiese ganzheitliche Perspektive. Dieser als „Systemdenken“ bekannte Ansatz folgt den Prinzipien der Systemtheorie und umfasst die holistische Betrachtung der inneren und äußeren Sicht der realen Einsatzumgebung,

die verschiedenen Perspektiven (technische, wirtschaftliche, juristische, politische und gesellschaftliche) sowie den rekursiven Charakter eines zellulären Systems (vgl. VDE, 2019).

Obwohl der Fokus einer Energiezelle dabei zunächst auf dem eigenen Objekt (von Interesse) liegt, erlaubt der rekursive Systemcharakter eines zellulären Systems, dass einzelne Zellen auch einzelne Gebäude, aber auch ganze Liegenschaften, Areale, Quartiere, Städte oder Regionen umfassen können (vgl. C/sells 2021). Dies ermöglicht einen schrittweisen Aufbau von sogenannten Multi-Level-Architekturen, bei denen einzelne kleinteiligere Zellen nach und nach zu größeren und übergeordneten Zellen gekoppelt werden; ohne dabei an Autonomie einzubüßen. Auf diese Weise sind die einzelnen, jedoch miteinander gekoppelten, Zellen dazu in der Lage sowohl sich selbst zu optimieren als auch sich über die eigenen Grenzen hinaus, mittels wohldefinierter Schnittstellen, heterarchisch (vertikal) sowie hierarchisch (horizontal) abzustimmen und damit das Energiesystem ganzheitlich zu optimieren – der sogenannte Energieorganismus (vgl. Kießling et al., 2020b).

So wurde in C/sells u. a. erstmals demonstriert wie zwei Nachbarzellen eines Microgrids, die physikalische Balance zwischen Energieangebot und -nachfrage soweit wie möglich bereits (im Sinne des Subsidiaritätsprinzips) lokal ausgleichen können (vgl. C/sells 2021). Hierfür sind die Zellen über das Kommunikationsnetz miteinander verbunden und können über das Strom- und ggf. auch Wärme- und Gasnetz Energie und energienahe Dienstleistungen austauschen (Haller et al., 2020). Das Zusammenspiel der vertikal sowie horizontal gelagerten Energiezellen trägt u. a. zur Erhöhung des Autonomiegrades in Wohngebäuden, in gewerblichen und öffentlichen Objekten, auf Industriearealen, aber auch in Städten und ländlichen Regionen bei, um wirtschaftliche Vorteile zu erzielen, Eigengestaltung zu übernehmen, aber auch einen höheren Grad an Versorgungssicherheit im Falle von externen Stromausfällen zu erreichen (vgl. Kießling et al., 2020b). So umfasst eine Energiezelle, als eine Instanz der zellulären Referenzarchitektur folgende Funktionalitäten (vgl. C/sells, 2020a):

- Sie übernehmen die Verantwortung für das Management von selbst benötigter Energie und Flexibilität. Erzeugung und Verbrauch wird möglichst innerhalb der Zelle ausgeglichen.
- Energie und Flexibilität wird ebenso extern am Energiemarkt sowie zur Unterstützung der Netze und des Gesamtsystems bereitgestellt.
- Regionale Energieprodukte können zwischen den Zellen und zum Austausch zwischen Nachbarn angeboten werden.
- Im Notfall funktionieren Zellen im Inselnetzbetrieb und unterstützen beim Netzwiederaufbau.
- Die Möglichkeit zur Aggregation von Daten für übergelagerte Ebenen unterstützt die Ziele zum Datenschutz und zur Datensparsamkeit. Ebenso hilft sie, Komplexität zu reduzieren.
- Dezentrale Verbraucher, Prosumer, Flexumer oder Betreiber von Gebäuden, Arealen und Quartieren können auf Ebene der Zelle mit begrenzter Verantwortung für das komplexe Gesamtsystem aktiv werden und an der Energiewende partizipieren.

Dieser integrative Ansatz in C/sells verlangt dabei ein hohes Maß an Standardisierung und Interoperabilität aller beteiligten Systemelemente. Zu diesem Zweck beschreibt Abbildung 16 den allgemeinen Aufbau bzw. die Referenzarchitektur einer Energiezelle aus einer hohen Abstraktionsebene heraus.

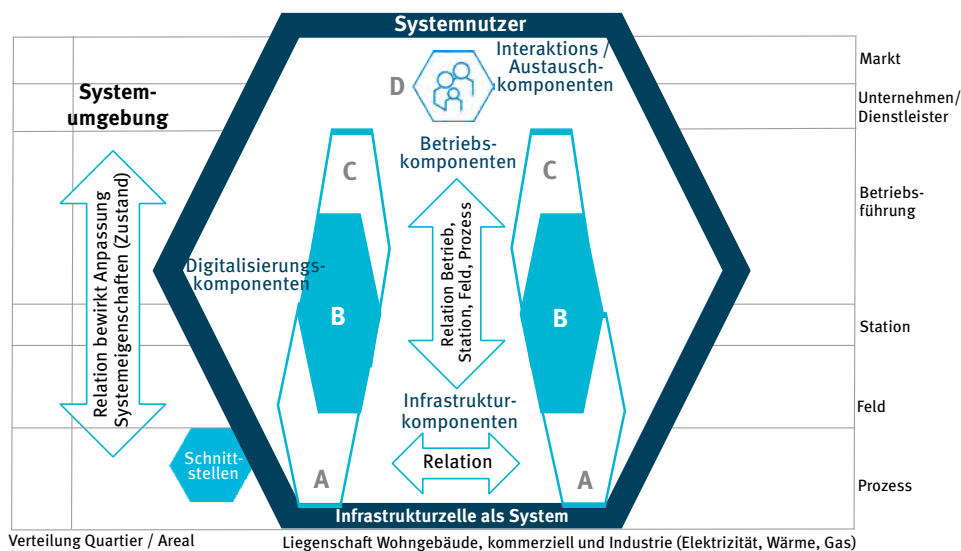


Abbildung 16 High Level-Referenzarchitektur einer Energiezelle (vgl. C/sells, 2021)

So besteht jede Zelle, ungeachtet ihrer konkreten Ausprägungen, aus vier (in SGAM eingeordneten) sogenannten Komponentenschichten, welche die Möglichkeit der Kategorisierung und Gliederung beim Erstellen eines Bauplanes für eine spezielle Energiezelle dienen (vgl. C/sells, 2021):

- A. Infrastrukturkomponenten:** Funktionen und Eigenschaften (Daten) von Infrastrukturkomponenten bzw. physischen Assets einer Zelle zur Generierung und Nutzung von Energie (Elektrizität, Wärme, Gas), wie z. B. Endenergieerzeuger und -wandler.
- B. Digitalisierungskomponenten:** Funktionen und Eigenschaften (Daten) von IIS als Digitalisierungsschale für andere Infrastrukturen (Energie, Logistik, Mobilität), welche wiederum in Basiskomponenten (Plattformen mit informations- und kommunikationstechnischen Unterstützungsfunktionen), Geschützte Kommunikationskomponenten (Umsetzung und Sicherung des Informationstransportes) sowie Geschützte Zugriffskomponenten über Sensorik (Messeinrichtungen) und Aktorik (Steuereinrichtungen) aufgeteilt werden.
- C. Betriebskomponenten:** Leit- und Managementkomponenten für die Beobachtung, Analyse und Steuerung als Zell-Manager.
- D. Interaktionskomponenten:** Anwendungen für (Mensch- und / oder Maschine-) Interaktionen für Marktfunktionen und Austausch von Produkten / Dienstleistungen (inkl. Daten).

Vergleichbar mit dem Konzept der Verwaltungsschule aus dem Industrie 4.0-Kontext, unterstützt die in Abbildung 16 dargestellte Referenzarchitektur einer Energiezelle, die benötigte flexible Ausgestaltung der individuellen Einzelsysteme, bei zeitgleicher Beibehaltung von standardisierten Schnittstellen. Indem die innere Heterogenität der Einzelsysteme zu homogenen und standardisierten Schnittstellen abstrahiert werden, wird auf diese Weise die innere Komplexität einer Zelle von der äußeren Komplexität entkoppelt, sodass die Komplexität im Wesentlichen dort gelöst wird, wo sie entsteht.