

2.1.1 BLAUPAUSE 1: LÖSUNGSDESIGN DURCH VALIDIERUNG MIT SZENARIEN UNTERSTÜTZEN

Blaupause	
Zielgruppen	Netzbetreiber, IT-Systemanbieter, Anlagenhersteller, Forschungseinrichtungen
Ausgangslage und Problemstellung	Lösungen für die Energiewende sollen in SINTEG-Schaufenstern nahe an der praktischen Anwendung entwickelt und validiert werden.
Lösungsansatz	Design- und Validierungsphase sollten von vornherein auf die gemischte Verwendung von Simulation und Reallabor-Kontext bei der Validierung ausgelegt sein. Im Entwicklungsprozess der Lösung sollte ein möglichst durchgehendes Set von Umgebungsszenarien verwendet werden.
Einordnung in Prozessschema der Flexplattformen	<p>Das Diagramm zeigt die Einordnung der SINTEG-Reallabore in das Prozessschema der Flexplattformen. Es ist in zwei Hauptbereiche unterteilt: 'Was hat die SINTEG-Reallabore ausgemacht?' und 'Was konnten die SINTEG-Reallabore im Kontext der Energiewende leisten?'. Der obere Bereich enthält vier Boxen: 'Szenarien und Realität verknüpfen', 'Reale Umgebung', 'Kooperation in großen, heterogenen Konsortien' und 'Regulatorischer Rahmen'. Der untere Bereich enthält drei Boxen: 'Systemische Innovation', 'Regulatorisches Lernen' und 'Skalierbarkeit und Übertragbarkeit'.</p>
Innovationsgehalt	Neu in SINTEG war die Anwendung bereits vorher bekannter methodischer Vorgehensweisen für Design und Evaluierung neuer Technologien auf ein sehr breites Themengebiet (Digitale Lösungen für die Energiewende) und signifikant große Konsortien und Reallaborregionen.
Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit	Übertragbar auf Reallabore im Kontext von Energiesystemen. Übertragbar auf andere cyber-physikalische Systeme. Skalierbar durch Verschiebung der Grenze zwischen Simulation und Realität beim Design des Experiments.
Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten	Die Erarbeitung und Verwendung von Szenarien in allen SINTEG-Schaufenstern wie unten dargestellt.

SZENARIEN IN DER DESIGNPHASE

Die Designphase ist von entscheidender Bedeutung für die Sicherstellung der Übertragbarkeit eines Reallabors. Im Falle der SINTEG-Ergebnisse beruhte dies zu einem signifikanten Teil auf Festlegungen bereits in der Projektentwicklungsphase.

Hat eine Technologie oder eine Lösung erst einmal den Grad erreicht, dass sie in einem realen Kontext im Reallabor getestet werden kann, ist eine erste Konzeptionierung häufig schon abgeschlossen. Jedoch können auch völlig neue Ansätze im Reallabor entwickelt werden, die auch von der realen Umgebung und den vorhandenen Ansätzen für szenarienbasierte Validierung profitieren. Allerdings ist ein Praxistest für Konzepte mit niedrigerem TRL häufig stärker eingeschränkt bzw. benötigt stärkere Ankopplung an Szenarien und Simulation.

Über alle SINTEG-Schaufenster hatte sich daher der robuste Ansatz bewährt, ein im obigen Sinne gut gewähltes Portfolio an digitalen Lösungen für die Energiewende aufzustellen, das dann im Reallabor einer Implementierung und Validierung unterzogen wurde. Wobei es wichtig war, dass die Lösungen auf ein gemeinsames Ziel hinarbeiteten. Die einzelnen Schaufenster

ter unterschieden sich vor allem in der konzeptionellen wie praktischen Verbindung der einzelnen Umsetzungsprojekte, weniger in den Energietechnologien und generellen Ansätzen, wie z.B. Flexibilitätsnutzung, Integration erneuerbarer Energien, Sektorkopplung. Bezüglich der Rolle von Szenarien in den Schaufenstern war der bestehende Handlungszwang in Bezug auf Stromnetzausbau und/oder Smart Grid Lösungen ein starkes Unterscheidungskriterium. Während in einigen Schaufenstern wie WindNODE oder NEW 4.0 vor allem die Integration von Windkraft ins Netz ein aktuelles und akutes Problem war, bearbeiteten andere Schaufenster-Lösungen für eine Situation, die in ihrer Region voraussichtlich erst in der Zukunft eintreten wird. In Abbildung 10 ist dies auch an den unterschiedlich langen Prospektivzeiträumen im Vergleich der Schaufenster erkennbar, in denen WindNODE und NEW 4.0 die kürzesten Zeithorizonte bearbeiteten.

SZENARIEN UND REALKONTEXT IN DER VALIDIERUNGSPHASE

Der sicherlich herausforderndste Schritt bei der Entwicklung von neuen Technologien ist die Validierungsphase, in der die Innovationen des Schaufensters im Reallabor implementiert und getestet werden. Hierfür spielt die Auswahl der Validierungsumgebungen eine große Rolle. Doch selbst das bestgewählte Reallabor kann nicht alle notwendigen Einsatzparameter der innovativen Lösungen in einem Experiment „real“ bieten. Netzauslastung, Einspeiseleistung, Klimabedingungen, Marktpreise oder neue Geschäftsmechanismen müssen mit Hilfe geeigneter Szenarien zusätzlich zum „Realanteil“ eingespielt und ggf. emuliert werden. Die dabei geltende Regulierung bzw. die Art der Regulatory Sandbox spielt eine entscheidende Rolle und kann sich z.B. auf die Marktpreise auswirken (vgl. auch Kapitel 3.2).

Das SINTEG-Programm hat bei der Wahl dieser Annahmen keine Vorgaben gemacht und es gab verschiedene Ansätze, mit dieser Offenheit umzugehen. Diese reichten von bereits unter aktuellen Rahmenbedingungen wirtschaftlich umsetzbaren Lösungen über eine Trennung des technischen Experiments von der wirtschaftlichen Betrachtung bis hin zu einer Vermischung von simulierten Umgebungsbedingungen (technisch, wirtschaftlich) mit dem realen Betrieb („Hardware-in-the-Loop“).

SZENARIEN FÜR TEST IN HARDWARE-IN-THE-LOOP-SETUPS

Die Verwendung von Hardware-in-the-Loop-Methoden ermöglicht es, simulierte Szenarien in Echtzeit mit den Betriebsdaten realer Komponenten zu verbinden, um so eine hybride simuliert/reale Testumgebung zu schaffen.

Die Verwendung von Hardware-in-the-Loop Methoden im Energiekontext ist nicht neu und kommt vor allem bei der Entwicklung und Regelungsalgorithmen und Leistungselektronik-Komponenten zum Einsatz. Dabei werden aber vor allem Einzelsysteme in eine möglichst realistische Testumgebung eingebettet. Neu in SINTEG war die konsequente Anwendung auch auf Systemanalysen inklusive der Untersuchung der gegenseitigen Interaktion der Real-komponenten in einer virtuellen Umgebung. Das wurde in mehreren Schaufenstern umgesetzt. Darüber hinaus war die angewandte Skalierung, wie z.B. die Einbindung vieler räumlich verteilter Real-Demonstratoren in ein virtuelles Gesamtnetz neu und ein beachtliches SINTEG-Ergebnis. Die Schaufenster DESIGNETZ, C/sells und NEW4.0 haben Szenarien eng an die Lösungsentwicklung im Reallabor angekoppelt.

In **DESIGNETZ** wird das Zusammenspiel der Teilprojekte über ein sogenanntes „System-Cockpit“ realisiert. Dabei handelt es sich um eine Management-Oberfläche, in der die Steuer-

möglichkeiten aller Schaufenster-Teilprojekte zusammengeführt werden (siehe DESIGNETZ, 2021a, Seite 73). Es wurde der Ansatz verfolgt, die in den Teilprojekten realisierten realen Anlagen in ein simuliertes Stromnetz einzubetten. Konkret sind drei Szenarien für das Jahr 2035 erarbeitet worden (Vom Stein et al., 2018). Während die im Rahmen des Schaufensters umgesetzten Energieanlagen aus 15 Teilprojekten für das reale Netz heute noch keine kritische Auslastung erreichen, konnten im simulierten Netz diese Anlagen skaliert und noch weitere erneuerbare Einspeiser, Speicher etc. im Netz verteilt werden. Diese Kombination aus realen Anlagen und simuliertem Netz in Echtzeit erlaubte es, praktische Aspekte der Versorgungssicherheit in einem System mit hoher Dichte erneuerbarer Erzeugung und Flexibilität zu analysieren, wie z.B. Engpässe, Ausfälle, Fahrplanabweichungen. Die Anlagen aus den Teilprojekten übermittelten dafür jeweils 6-Stunden-Fahrpläne und konnten vom System-Cockpit mit optimierten Fahrplänen im realen Verhalten verändert werden.

Dieses Beispiel zeigt, wie ein Vorteil aus der Kombination von Szenarien und realem Kontext generiert werden kann. Im konkreten Fall wurde ein Hardware-in-the-Loop-Ansatz verfolgt. Netztopologie, Wetter und Ausbaugrad erneuerbarer Energien sind frei wählbar, damit kann jedes regional spezifische aber auch jedes zeitlich spezifische Szenario mit realen Anlagen im Hintergrund durchgespielt werden.

C/sells hat mit dem Konzept des zellulären Energiesystems einen Ansatz gewählt, der vornehmlich Interaktionsoptionen zwischen den Zellen festlegte. Für die Ausrichtung, Optimierung bzw. Umsetzung einzelner Zellen bestanden darüber hinaus viele Freiheitsgrade. Dies erlaubte ein breites Lösungsspektrum in den einzelnen Zellen. Probleme „vor der Haustür“ waren dabei genauso enthalten wie Perspektiven bis 2050.

C/sells hat das Ziel verfolgt, zu zeigen, dass es kleinteilige Vernetzungsherausforderungen im Energiesystem lösen kann. C/sells gründet auf dem Konzept der Energiezellen – einzelne oder gebündelte Haushalte und Unternehmen, die gemeinsam Energie produzieren und bereitstellen (Zitat aus Haller, 2020, S. 15).

Daraus ergab sich die spezifische Aufgabe, den jeweils betrachteten Regionalraum (die „Zelle“) in ein Gesamtsystem einzubetten. Demnach kamen hier Szenarien und Simulation zum Einsatz, um einerseits Testsysteme herzustellen und andererseits Bewertungen der Lösungen durchführen zu können. Ein wesentlicher dritter Aspekt war, dass innerhalb des Schaufensters zwischen den Akteuren abgeglichen werden musste, wie die Energiewelt aussieht, in welche die C/sells-Lösungen eingebunden werden. Hierbei hat die gemeinsame Definition von Zukunftsszenarien geholfen. Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Schaufensters, die gewohnt waren, vorgeschriebene Rahmenbedingungen als Zukunftsszenario zu übernehmen, haben sich so aktiv in einem bilateralen Prozess mit möglichen Entwicklungen auseinandersetzen müssen. Dafür war hilfreich, dass die komplette Kette an Akteuren von Technik über Politik bis zur Regulierung im Reallabor abgedeckt war, was in klassischen Forschungsprojekten selten der Fall ist (vgl. Abschnitt „Systemische Innovation“). Dies war der Anstoß dafür, dass die C/sells Abstimmungskaskade, ein ÜNB/VNB Interaktionsschema, nach konstruktiver Abstimmung aller Beteiligten in die Praxis umgesetzt werden konnte.

Auch in **NEW4.0** waren Szenarien und Simulation eng mit den Validierungsaktivitäten der sechs Use Cases des Schaufensters verknüpft. In vier Fällen wurden die Entwicklungsschritte Simulation – Labor – Feldtest im Reallabor umgesetzt. Dies waren die Use Cases 1 „Schneller lokaler Intradayhandel“, 2 „Aufbau der Netzampel und der Marktplattform ENKO“, 4 „Regelenergie aus dezentralen Erzeugern und Demand Side Management“ und 5 „Momen-

tanreserve“. Die hierfür notwendige präzise Prognosefähigkeit basiert auf Modellen und Szenarien. Technische Herausforderungen beim Übergang von Simulation zum Feldtest konnten durch Hardware-in-the-Loop-Konzepte abgefedert werden. Lediglich beim Thema schnelle Frequenzmessung kam es in höherem Maße zu unerwarteten Praxisproblemen. Szenarien wurden auch zur Bewertung der entwickelten Lösungen verwendet, speziell wurden die Use Cases 1 und 2 in ein simuliertes Gesamtsystem integriert (alle Demonstratoren und zusätzlich angenommener Rollout weiterer Technologien).

Der Use Case 6 “Aktives Blindleistungsmanagement” ging direkt ins Feld und kam daher ohne Szenarien- und Simulationsansätze aus. Hier kamen analytische Verfahren ex-post bei der Analyse der Messergebnisse zum Einsatz.

NUTZEN DER SCHAUFENSTER-LÖSUNGEN IN SZENARIEN ANALYSIEREN

Zur Einschätzung des zukünftigen Nutzens der SINTEG-Lösung wurden diese oft auch in modellierungstechnisch vereinfachter Form in Simulationen eingebunden. Hier konnte unter verschiedenen Szenario-Annahmen der Nutzen der Lösung evaluiert werden. Dies ist im Prinzip ein lange bewährter Ansatz, neu in SINTEG war jedoch die Entwicklung und Abstimmung der Szenarien in großen, heterogenen Konsortien über verschiedene Fachrichtungen hinweg. enera und WindNODE haben die Bewertung ihrer Lösungen stark über diesen Ansatz verfolgt.

Ein großer Teil der Erkenntnisse des Schaufensters **enera** wurde in der Praxis gewonnen. Im Reallaborexperiment ging es vor allem um das Zusammenbringen von Einzellösungen (wie z.B. innovative Netzbetriebsmittel), die vorher schon im Laborbetrieb getestet worden waren. Die Innovation lag vor allem in der Kopplung, Digitalisierung und intelligenten Steuerung. enera ist eines der Schaufenster, wo Fragen der Energiewende aufgrund des dort weit vorangeschrittenen Ausbaus der Windkraft besonders dringlich zu beantworten waren bzw. teilweise noch sind. Daher konnten neue Lösungen in der Realität getestet werden, ohne allzu weit in die Zukunft gehende Szenarien anzunehmen. In enera wurde die Methode der Modellbildung und Szenarien-Simulation vor allem für Lösungen außerhalb der regulatorischen Möglichkeiten genutzt. Die enera-Szenarien dienen dazu, den Nutzen der Lösungen, die im Schaufenster entwickelt wurden, im Rahmen der prospektiven Entwicklungen der Energiewende zu bewerten. Sie dienen sowohl als Basis für die quantitative Modellierung als auch qualitative Analyse und die Entwicklung der enera Roadmap (Bauknecht & Koch, 2020).

Auch **WindNODE** hat aktuelle und drängende Herausforderungen bearbeitet, neben der Thematik Windenergie und Netzintegration von Erneuerbaren waren das vor allem auch gesellschaftliche Fragen wie die Änderungen der Beschäftigungsstruktur im Energiebereich (Braunkohleausstieg). Dementsprechend stand die Entwicklung von Narrativen für die Energiewende deutlich mehr im Vordergrund als die Entwicklung von Szenarien, in denen sich die entwickelten Lösungen bewähren mussten. Wichtig war die Entwicklung eines positiven „Blick nach vorne“. Dennoch sind auch die in WindNODE entwickelten Lösungen zum Teil erst unter zukünftigen Bedingungen marktfähig. Hierzu wurde eine Untersuchung des potentiellen Nutzens der Lösungen unter regulatorischen und volkswirtschaftlichen Entwicklungsoptionen durchgeführt (Koch et al., 2020), hatte aber keinen stärkeren Rückkopplungspfad zu den technischen Demonstratoren.