

InnoSys 2030 - Innovationen in der Systemführung bis 2030

Kurzfassung Roadmap

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Autorenschaft

Amprion GmbH <i>Robert-Schuman-Straße 7</i> <i>44263 Dortmund</i>	Thomas Schneider
TenneT TSO GmbH <i>Bernecker Straße 70</i> <i>95448 Bayreuth</i>	Andreas Lukaschik Andreas Wasserrab
TransnetBW GmbH <i>Pariser Platz</i> <i>70173 Stuttgart</i>	Dominik Geibel Mihaela Kovacheska Lisa Klesse
Avacon Netz GmbH <i>Watenstedter Weg 75</i> <i>38229 Salzgitter</i>	Julian Vielemeyer
Mitteldeutsche Netzgesellschaft Strom mbH <i>Industriestraße 10</i> <i>06184 Kabelsketal</i>	Marcus Lässig
Netze BW GmbH <i>Schelmenwasenstraße 15</i> <i>70567 Stuttgart</i>	Christian Lakenbrink Julia Schnaars
Westnetz GmbH <i>Reeser Landstraße 41</i> <i>46483 Wesel</i>	Thomas Schmidt
Fraunhofer FKIE <i>Zanderstraße 5</i> <i>53177 Bonn</i>	Martin Henze Martin Serror Sven Zemanek
PSI AG <i>Emil-Figge-Straße 88-90</i> <i>44227 Dortmund</i>	Jan Hachenberger Richard Küsters

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Evolutionsstufen	5
3.	Handlungsfelder	8
3.1	Primärtechnik und Technologien zum kurativen Einsatz	8
3.2	Sekundärtechnik	10
3.3	Prozesse der Systemführung	11
3.4	Tools der Systemführung	13
3.5	Regulatorischer und rechtlicher Rahmen, Normen und Verträge	15
3.6	IKT-Sicherheit	17
3.7	Stakeholder	18
4.	Fazit und Ausblick	20
4.1	Fazit	20
4.2	Ausblick	21
5.	Anhang	23

1. Einleitung

Für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende ist ein Netzausbau über alle Spannungsebenen hinweg unabdingbar. Aufgrund von Akzeptanzproblemen und langwierigen Genehmigungsverfahren wird es zunehmend schwieriger, das Netz rechtzeitig bedarfsgerecht auszubauen. Um den zukünftigen Herausforderungen gewachsen zu sein, sind innovative Konzepte in der Systemführung erforderlich. Im Rahmen des Forschungsprojektes InnoSys 2030 wurden daher ein Systemführungsprozess und entsprechende kurative Technologiekonzepte (HGÜ, Kraftwerke, Netzbooster, PST, Topologieschaltmaßnahmen, Verteilnetzflexibilität) entwickelt, die eine effizientere und höhere Auslastung des Übertragungsnetzes vor allem durch den Einsatz kurativer Maßnahmen ermöglichen sollen [1].

Im Forschungsprojekt stand das Zieljahr 2030 im Fokus. Die Umsetzung der Konzepte kann sukzessiv in verschiedenen Ausprägungen erfolgen. In der in diesem Dokument beschriebenen Roadmap wird dargestellt, wie durch erste Entwicklungsschritte die Anwendung kurativer Maßnahmen bereits vor 2030 möglich ist. Andere Entwicklungen werden aber teilweise auch erst nach 2030 abgeschlossen werden können, weil der erforderliche technologische Reifegrad bis 2030 voraussichtlich noch nicht erreicht sein wird.

Für die Umsetzung der Konzepte sind technische, regulatorische und prozessuale Voraussetzungen zu schaffen, was in den relevanten Bereichen mit teilweise sehr umfangreichen Entwicklungen verbunden ist. Des Weiteren sind verschiedene Stakeholder einzubeziehen, die die notwendigen Voraussetzungen schaffen und die Entwicklungsschritte möglich machen. Ziel dieses Dokuments ist es, die wichtigsten Handlungsfelder im Sinne der Roadmap aufzuzeigen, so dass mit deren Umsetzung die in InnoSys 2030 behandelten kurativen Technologiekonzepte erfolgreich angewendet werden können.

Im Folgenden werden die einzelnen Schwerpunkte der InnoSys-Roadmap behandelt. In Kapitel 2 werden verschiedene Evolutionsstufen aufgeführt, die eine stufenweise Umsetzung der Konzepte aufzeigen. Kapitel 3 beschreibt die wichtigsten Handlungsfelder und Kapitel 4 schließt das Dokument mit einem Fazit und Ausblick ab.

Weitere Konzepte und Ergebnisse aus InnoSys 2030 sind zusätzlichen Dokumenten und im offiziellen Abschlussbericht¹ vorhanden.

¹ Weitere Dokumente auf www.InnoSys2030.de - Projektergebnisse

2. Evolutionsstufen

Aufgrund der Komplexität der entwickelten Konzepte und der einhergehenden Umsetzungsmaßnahmen bietet sich eine stufenweise Umsetzung an. Eine mögliche Umsetzung könnte, wie in Abbildung 2-1 dargestellt, in drei Stufen erfolgen. So lässt sich bereits in der ersten Stufe (Pilotierung & Erprobung) durch die Umsetzung kurativer Maßnahmen in Pilotprojekten ein Nutzen in Bezug auf Höherauslastung erzielen. Mit der zweiten Stufe (Hebung kurativer Potentiale) können durch neue kurative Freiheitsgrade in der Netzbetriebsführung Höherauslastungspotentiale gehoben werden. Die dritte Stufe (Standardisierter Einsatz) kann aufgrund einiger komplexer Funktionen und zeitaufwändiger Entwicklungen frühestens ab 2030 erreicht werden. Voraussetzungen für eine schnelle Umsetzung sind eine zeitnahe Bearbeitung aller Handlungsfelder, die Erreichung des erforderlichen technologischen Reifegrads für die relevanten Systeme und die Unterstützung durch die entsprechenden Stakeholder. Grundsätzlich ist denkbar, dass bestimmte Technologiekonzepte bis 2030 schon vollumfänglich und andere, z. B. aufgrund fehlender Rahmenbedingungen, nur eingeschränkt angewendet werden können. Zu berücksichtigen ist, dass die Handlungsfelder und Entwicklungsschritte teilweise voneinander abhängen, wodurch deren Umsetzung komplexer wird.



Abbildung 2-1: Evolutionsstufen in der InnoSys-Roadmap

Stufe 1: Erprobung & Pilotierung

Stufe 1 ist aufgrund der geringeren technischen Komplexität und des damit verbundenen reduzierten Entwicklungsaufwands kurzfristig umsetzbar (2023-2025). In dieser Stufe können erste kurative Maßnahmen genutzt werden, die sich vor allem durch geringe Einsatzleistungen, eine direkte Steuerbarkeit (regelzonenintern) sowie wenig Koordinationsaufwand beschreiben lassen (z. B.

Netzboosterpilotprojekte). Durch die Inbetriebnahme erster Pilotanlagen werden die dafür relevanten Systeme und Prozesse ertüchtigt. Kurative Maßnahmen können in der Netzsicherheitsrechnung der Betriebsplanung und im Echtzeitbetrieb berücksichtigt werden, so dass der Betriebsplaner bzw. Netzfürer deren Wirksamkeit bewerten kann. Der Einsatz der Maßnahmen wird einmalig in der Auslegung vorgegeben. In den betrieblichen Prozessen ist eine optimierte Bestimmung von Arbeitspunkten zunächst nicht möglich. Die Maßnahmen werden nur für die Entlastung vordefinierter Stromkreise eingesetzt. Eine regelzonenübergreifende Anwendung kurativer Maßnahmen steht nicht im Fokus.

Stufe 2: Hebung kurativer Potentiale

Innerhalb von Stufe 2 werden die Konzepte mittelfristig (2025-2030) weiterentwickelt und neue Funktionen (z. B. betriebliche Dimensionierung kurativer Maßnahmen in der 4-ÜNB-Betriebsplanung, Berücksichtigung in internationalen Betriebsplanungstools, DSA, operative TATL-Berechnung etc.) können genutzt werden. Durch die Inbetriebnahme von leistungsflusssteuernden Betriebsmitteln (PST und HGÜ) stehen weitere Aktoren für den kurativen Einsatz zur Verfügung. Die Einsatzplanung wird zunehmend flexibler. Durch die Berücksichtigung der kurativen Maßnahmen als Freiheitsgrade in der Leistungsflussoptimierung kann der Einsatz an die Netzsituation angepasst werden. Fernparametrierbare Special Protection Schemes (SpPS) erlauben eine auf die Netzsituation abgestimmte Einsatzweise. Die Ertüchtigung von Schaltfeldern, die das Höherauslastungspotential maßgeblich einschränken, ist weiter fortgeschritten. Durch die Einführung von Redundanzkonzepten können höhere Einsatzleistungen der kurativen Maßnahmen zugelassen werden. Das Netzleitsystem nimmt in der Auslösung kurativer Maßnahmen eine wichtigere Rolle ein, da durch eine zentrale Steuerung zusätzliche Aktoren einfacher in die Konzepte eingebunden werden können. Der Ausbau der Leitstellenkopplung erlaubt zudem eine regelzonenübergreifende, systemische Koordination und Auslösung kurativer Maßnahmen innerhalb Deutschlands.

Stufe 3: Standardisierter Einsatz

Stufe 3 kann voraussichtlich erst langfristig erreicht werden (ab 2030). Je nach Priorisierung ist aber auch denkbar, dass einzelne Entwicklungen oder Konzepte früher umgesetzt werden können. Die Rahmenbedingungen sind soweit erfüllt, dass alle InnoSys-Technologiekonzepte regelzonen- und spannungsebenenübergreifend für den kurativen Einsatz genutzt werden können. In dieser Stufe gewinnen die Flexibilität aus dem Verteilnetz und konventionelle Kraftwerke (v. a. Gas-, GuD- und Pumpspeicherkraftwerke) zunehmend an Bedeutung, da der Abschluss entsprechender zeitintensiver Entwicklungen (Datenbedarf, Rahmenverträge, Austauschplattformen, Kommunikation etc.) eine schnellere Integration in die Einsatzkonzepte erlaubt. Die Systeme in den Leitstellen der Netzbetreiber sind soweit ertüchtigt, dass der Einsatz in Echtzeit aktualisiert und ggf. durch Werkzeuge optimiert werden kann. Dazu gehören unter anderem die Weiterentwicklung von Algorithmen (z. B. durch Nutzung von künstlicher Intelligenz) sowie ein hoher Automatisierungsgrad. Durch die vollumfängliche

Berücksichtigung der Konzepte in nationalen sowie europäischen Tools und Prozessen werden kurative Maßnahmen zu Standardmaßnahmen im Engpassmanagement. Zudem wird dadurch die Koordination zwischen den Netzbetreibern erleichtert. Die Einführung neuer und die Weiterentwicklung von bestehenden Wide-Area-Monitoring-Systemen bieten neue Möglichkeiten bei der Fehleridentifikation und der Auslösung kurativer Maßnahmen. Gesetzliche Regelungen und schnellere Genehmigungsprozesse erlauben für den Großteil der relevanten Stromkreise eine temporäre Höherauslastung und somit auch eine kurative Nutzung.

Die Umsetzung des kurativen Engpassmanagements ist mit Erreichen der dritten Stufe noch nicht abgeschlossen. In der Folge werden die etablierten Funktionen sukzessive weiterentwickelt und verbessert. Da die Voraussetzungen für den kurativen Einsatz mit der dritten Stufe technologieübergreifend erfüllt sind, wird die Anzahl kurativer Anwendungen im Zeitraum 2030-2040 deutlich zunehmen.

3. Handlungsfelder

Für die Umsetzung der InnoSys-Systemführungskonzepte sind Entwicklungen in unterschiedlichen Bereichen erforderlich. Die wichtigsten Handlungsfelder sind in Abbildung 3-1 dargestellt.

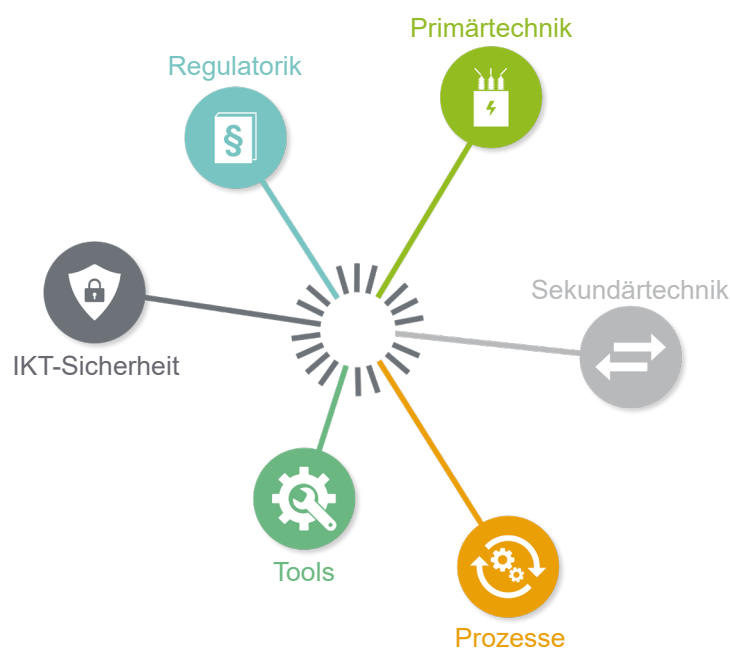


Abbildung 3-1: InnoSys-Handlungsfelder für die Umsetzung des kurativen Engpassmanagements

In den folgenden Unterkapiteln werden die einzelnen Entwicklungsschritte anhand der Evolutionsstufen beschrieben. Hervorzuheben ist, dass die Umsetzung innerhalb der Handlungsfelder mit teilweise hohem Ressourcenaufwand verbunden ist, der in dieser Roadmap nicht explizit quantifiziert werden kann. Dieser sollte in der Umsetzungsplanung entsprechend Berücksichtigung finden. Zudem sind vor der Inbetriebnahme bzw. der Einführung neuer Systeme Schulungen erforderlich, was ebenfalls zu berücksichtigen ist. Dies gilt insbesondere für die Handlungsfelder „Prozesse“ und „Tools der Systemführung“.

3.1 Primärtechnik und Technologien zum kurativen Einsatz

Die Technologien zum kurativen Einsatz stehen bereits heute teilweise zur Verfügung und werden in der ersten Evolutionsstufe in Form von Pilotprojekten erprobt. Dazu gehören bspw. Netzboosteranlagen und ggf. auch vereinzelt Phasenschiebertransformatoren. Mittelfristig werden der Netzentwicklungsplanung entsprechend weitere Aktoren hinzukommen, welche auch kurativ genutzt werden können, wodurch sich das Potential der kurativen Systemführung deutlich steigert (v. a. HGÜ-Systemen und weitere PST). Langfristig werden theoretisch alle in InnoSys 2030 behandelten Aktoren eingesetzt werden können. Auch wenn bspw. Verteilnetzflexibilitäten bereits heute zum präventiven

Engpassmanagement zur Verfügung stehen, müssen in anderen Handlungsfeldern noch die notwendigen Voraussetzungen geschaffen werden, so dass diese auch vollumfänglich kurativ genutzt werden können. Vereinzelt können solche Aktoren aber auch bereits in früheren Stufen – ggf. mit Einschränkungen – erprobt werden. Bei fortschreitenden positiven Erkenntnissen sollte die kurative Systemführung dann explizit in den Prozessen der Netzplanung als Netzoptimierung (im Sinne des NOVA-Prinzips) bestehender oder geplanter Assets geeignet mitberücksichtigt werden.

Weiterhin sollte auch der zusätzliche Bedarf an Blindleistungskompensationsanlagen berücksichtigt werden, welcher mit kurativer Systemführung einhergeht und nicht zu vernachlässigen ist.



Abbildung 3-2: Entwicklung der Primärtechnik und der Technologien zum kurativen Einsatz

Schaltfelder, die die Höherauslastung einschränken, werden in der ersten Evolutionsstufe nur in Einzelfällen *ertüchtigt* werden können, was mit dem zeitlichen Aufwand einer Ertüchtigung zusammenhängt. Der Fokus wird auf Schaltfeldern liegen, die sich im Überwachungsbereich der Pilotprojekte befinden und das kurative Potential durch geringe Schaltfeldengpassströme stark einschränken. Die Ertüchtigung wird kontinuierlich fortgesetzt, so dass mittelfristig deutlich weniger Schaltfelder limitierend sind. Der Fokus wird in der zweiten Stufe auf Stromkreisen liegen, die sich im Entlastungsbereich von HGÜ und PST befinden. Wenn eine Lösung zur temporären Höherauslastung von Schaltfeldern gefunden werden kann, wird sich der Aufwand der Schaltfeldertüchtigung langfristig reduzieren.

3.2 Sekundärtechnik

Im Handlungsfeld „Sekundärtechnik“ stehen die Themen Anbindung von Aktoren, Installation von Sensoren, Weiterentwicklung der Schutzsysteme und Special Protection Schemes entsprechend Abbildung 3-3 im Fokus.



Abbildung 3-3: Entwicklung der Sekundärtechnik

Bei der Anbindung von *Aktoren* geht es in der Roadmap im ersten Schritt um eine Bestandsaufnahme der derzeitigen Anbindung von möglichen Aktoren für das kurative Engpassmanagement. Darauf aufbauend können ggf. erste Aktivitäten zur Ertüchtigung langsamer Kommunikationstrecken initialisiert werden. Mittelfristig werden Schnittstellen und Kommunikationstrecken für eine regelzonenübergreifende Steuerung erweitert. Das trifft sowohl für die Schnittstelle auf Netzleitsystem- als auch auf Stationsleitebene zu. In der letzten Stufe können alle relevanten Aktoren angesteuert werden. Hierfür sind vor allem Lösungen für die schnelle Steuerung von Kraftwerken und Flexibilitäten aus unterlagerten Netzen umzusetzen.

Im Entwicklungsfeld *Sensoren* geht es im ersten Schritt um die Installation weniger Temperatursensoren zu Validierungszwecken von thermischen Betriebsmittel-Modellen. Hierfür eignen sich vor allem Stromkreise im Überwachungsbereich von Pilotanlagen (z. B. Netzbooster). In

einem zweiten Schritt wird die Beobachtbarkeit von Verteilnetzen verbessert, damit der Abruf von Flexibilität aus dem Verteilnetz als Vorbereitung für einen flächendeckenden bzw. standardisierten Einsatz zuverlässig ausgestaltet werden kann. Im letzten Schritt ist das PMU-Netzwerk im Übertragungsnetz soweit ausgebaut, dass es für eine schnelle Zustandserfassung aber auch in sogenannten Special Protection Schemes eingesetzt werden kann.

Im Entwicklungsfeld *Schutztechnik* werden in den ersten Jahren die Schutzgrenzwerte bei ausgewählten Stromkreisen durch eine entsprechende Parametrierung der Schutzgeräte erhöht, so dass diese das kurative Potential ähnlich wie bei der Schaltfeldertüchtigung nicht einschränken. Das Ganze wird in den Folgejahren im Zuge der Weiterentwicklung des Übertragungsnetzes fortgesetzt, so dass in der letzten Entwicklungsstufe im Überwachungsbereich kurativer Maßnahmen der Schutz keine einschränkende Größe darstellt. Begleitend werden innovative Schutzalgorithmen untersucht und evaluiert. Von einer Umsetzung alternativer Verfahren ist aber erst deutlich nach 2030 auszugehen.

Im vierten Entwicklungsfeld, Weiterentwicklung der *Special Protection Schemes*, geht es in der ersten Stufe vor allem um die Flexibilisierung des Systems. Die in den Pilotprojekten eingesetzten Automaten können in dieser Stufe teilweise bereits über das Netzleitsystem in Bezug auf Grenzwerte und Reaktionen angepasst werden. In der zweiten Stufe wird auch ein regelzonenübergreifender Einsatz möglich sein, wodurch der Überwachungsbereich und das Portfolio an kurativ einsetzbaren Akteuren deutlich zunehmen werden. Durch eine engere Verzahnung von Systemen aus dem Netzleitsystem (DSA, WAMS etc.) und dem Special Protection Scheme werden optimal an den Netzbetrieb anpassbare und schnelle Reaktionen möglich sein, die zudem auch dynamisch bewertet werden. Aufgrund der Komplexität eines solchen Systems wird eine Realisierung erst nach 2030 möglich sein.

3.3 Prozesse der Systemführung

Die Prozesse der Systemführung werden insbesondere für den Zeitbereich der Betriebsplanung zukünftig auf europäischer Ebene durchgeführt, um zum einen regulatorischen Anforderungen nachzukommen und zum anderen Synergien zu nutzen und gemeinsam Engpässe zu lösen. Auf europäischer Ebene werden bereits kurative Maßnahmen im Betrieb genutzt (z. B. in Frankreich und Belgien) und werden in zukünftigen internationalen Prozessen Berücksichtigung finden. Dabei müssen die Rahmenbedingungen von der Europäischen Kommission, nationalen Regulierungsbehörden, ACER sowie des Branchenverbands ENTSO-E und weiteren relevanten Stakeholdern gesetzt und durch die Netzbetreiber, Significant Grid Users (SGUs) und RSCs/RCCs² entsprechend umgesetzt werden. Dadurch ergeben sich neue Anforderungen an die Koordinationsprozesse, den Datenaustausch, das Netzleitsystem und die Zuverlässigkeit der Systeme. Die im Folgenden

² RSC - Regionale Sicherheitskoordinatoren; RCC - Regionales Koordinierungszentrum

beschriebenen nationalen Weiterentwicklungen in den Prozessen der Systemführung müssen im Einklang mit diesen europäischen Anforderungen sein.

Die erste Evolutionsstufe in der *Betriebsplanung* sieht eine Erweiterung der Betriebsplanungsprozesse vor, so dass kurative Maßnahmen in den Netzsicherheitsrechnungen berücksichtigt werden können. Dafür muss die sogenannte Ausfallvariantenrechnung in der Lage sein mit vordefinierten TATL-Grenzwerten umzugehen. Die Bestimmung und Anpassung der Einsatzweise kurativer Maßnahmen wird im ersten Schritt nur manuell möglich sein.

Mittelfristig können ausgewählte kurative Maßnahmen in den Engpassmanagementprozessen dimensioniert werden. Die Prozesse arbeiten hierfür mit vordefinierten Stromkreis-Maßnahmen-Paaren. Der Fokus liegt hier auf der Etablierung von einem Pool gängiger festgelegter kurativer Maßnahmen in den Optimierungsprozessen für die Zeitbereiche Day-Ahead und Intraday.

In der letzten Stufe ist eine rollierende gemeinsame Optimierung von präventiven und kurativen Maßnahmen bei einem systemischen Einsatz vorgesehen. Zudem ist ein ÜNB/VNB-Prozess etabliert, der eine koordinierte Abstimmung kurativer Maßnahmen aus dem Verteilnetz erlaubt.



Abbildung 3-4: Entwicklung der Systemführungsprozesse

Im *Echtzeitbetrieb* wird in Stufe 1 die Wirksamkeit kurativer Maßnahmen auf Basis der Netzsicherheitsrechnung durch den Netzfürher bewertet. Eine manuelle Anpassung ist grundsätzlich möglich. Bei Wechselwirkungen mit Nachbarnetzen erfolgt, wenn erforderlich, im Allgemeinen eine telefonische Abstimmung. Der Einsatz (Überwachung, Steuerung) beschränkt sich auf die eigene

Regelzone. In der zweiten Stufe können kurative Maßnahmen auch regelzonenübergreifend ausgelöst werden. Die zunehmende Komplexität wird durch teilautomatisierte Prozesse beherrscht, was vor allem bei der Koordination hilft. In der letzten Stufe wird der Einsatz kurativer Maßnahmen bei veränderter Netzsituation automatisch angepasst. Betroffene Netzbetreiber werden darüber ebenfalls automatisch und augenblicklich informiert. Der Netzfürer kann bei Bedarf Anpassungen manuell vornehmen. Aufgrund der hohen Komplexität in der Umsetzung ist eine Einführung eines vollautomatisierten Prozesses erst nach 2030 denkbar.

In Bezug auf den *Datenaustausch* wird die Wirkungsweise kurativer Maßnahmen in der Betriebsplanung und im Echtzeitbetrieb in existierenden Datenformaten (z. B. UCTE) berücksichtigt. Ggf. werden Prozess- und tool-bezogene Sonderlösungen dafür umgesetzt. Eine Weitergabe von Informationen zu den Reaktionen kurativer Maßnahmen zwischen den Prozessen ist nicht erforderlich, da der Einsatz planerisch bestimmt und vorgegeben wird. In der zweiten Stufe sind existierende und bis dahin neu eingeführte Datenformate für eine Berücksichtigung flexibel einsetzbarer kurativer Maßnahmen etabliert. Relevante Informationen können auch im Echtzeitbetrieb über geeignete Formate über die bestehende Leitstellenkopplung ausgetauscht werden. In der letzten Stufe können in den Datenformaten nun auch Informationen zum kurativen Einsatz von Kraftwerken und Flexibilitäten aus dem Verteilnetz berücksichtigt werden, was die Einsatzplanung erleichtert und den Abruf zuverlässiger gestaltet.

3.4 Tools der Systemführung

Im Handlungsfeld *Tools der Systemführung* werden die notwendigen Entwicklungen vor allem in den Bereichen Systemanalyse und Systemoptimierung, Ansteuerung und Schnittstellen gesehen (siehe Abbildung 3-5).

Die *Netzanalyse- und Überwachungsfunktionen* werden für die erste Stufe in einer Weise ertüchtigt, dass kurative Maßnahmen in ihrer planerisch festgelegten Wirkungsweise abgebildet werden können. Der Fokus wird dabei vor allem auf die stationäre Bewertung des Netzzustands liegen sowie VNB-seitig die Analyse erster geeigneter Anwendungsfälle für kurative Flexibilitätsbereitstellung. Mittelfristig wird in der zweiten Stufe vor allem in der Betriebsplanung eine gemeinsame Dimensionierung präventiver und kurativer Maßnahmen unter Berücksichtigung von Auswirkungen auf das Verteilnetz möglich sein, so dass der Einsatz in Abhängigkeit der Netzsituation flexibel gestaltet werden kann. Zudem werden weitere Werkzeuge wie beispielsweise zur Berechnung von TATL-Grenzwerten oder zur Bewertung der Netz- und Systemstabilität (DSA) zur Verfügung stehen. In der letzten Stufe wird im Echtzeitbetrieb eine Optimierung zur Aktualisierung des kurativen Maßnahmeneinsatzes möglich sein. Darüber hinaus wird durch automatisierte Datenplattformen der Austausch von relevanten Informationen in Echtzeit und netzebenübergreifend vereinfacht. Auch hier ist aufgrund der sehr hohen Komplexität ein vollumfänglicher Einsatz erst nach 2030 realistisch.

Die *Ansteuerung* kurativer Maßnahmen kann in der ersten Stufe bereits zentral über das Netzleitsystem realisiert werden. In den meisten Fällen wird die zentrale Steuerung als Backup dienen, da die kurativen Maßnahmen in der Regel dezentral über Special Protection Schemes gesteuert werden. Der Einsatz der Maßnahmen wird im Zuge der Auslegung einmalig festgelegt. Der Netzfürer hat aber die Möglichkeit manuelle Anpassungen am Steuermodul vorzunehmen. Mittelfristig wird sich diese Funktion im Netzleitsystem als Möglichkeit zur langsamen bis schnellen Auslösung etablieren. Weitere Funktionen, wie die regelzonenübergreifende (indirekte) Steuerung, die automatische Erfolgskontrolle und die Auslösung von Redundanzmaßnahmen, werden in dieser Stufe erprobt. Langfristig wird sich die teilautomatisierte zentrale Steuerung zu einer automatisierten regelzonen- und spannungsebenenübergreifenden weiterentwickeln, als Voraussetzung für einen standardisierten Einsatz. Durch schnellere Verfahren zur Fehlererkennung und Verarbeitung wird die Performance verbessert und die Zuverlässigkeit erhöht.



Abbildung 3-5: Entwicklung von Tools für die Systemführung

In Bezug auf *NLS-Schnittstellen* stehen in der ersten Stufe die Schnittstelle zwischen dem SpPS und dem Netzleitsystem im Vordergrund. Durch eine Erweiterung dieser Schnittstelle ist eine engere Verzahnung (Anpassungen über NLS) der beiden Systeme möglich. In der zweiten Stufe ist die Schnittstelle zwischen dem Netzleitsystem und ausgewählter kurativer Maßnahmen ertüchtigt, die eine schnelle und zuverlässige zentrale Steuerung erlaubt. Darauf aufbauend wird für die Erreichung

der letzten Stufe diese Entwicklung auch an der Schnittstelle zwischen den Leitsystemen der Netzbetreiber (ÜNB/ÜNB, ÜNB/VNB) umgesetzt. Die Schnittstellen zwischen den Netzleitsystemen zur kurativen Steuerung werden teilweise in der vorhergehenden Stufe im Rahmen von Pilotprojekten bereits erprobt. In dieser Stufe wird die Steuerung kurativer Maßnahmen sowohl durch zentrale als auch dezentrale Ansätze erfolgen.

3.5 Regulatorischer und rechtlicher Rahmen, Normen und Verträge

Der *kurative Einsatz* wird sich in der ersten Stufe vor allem auf Technologien beziehen, die keine Anpassung des regulatorischen Rahmens erfordern. Dies gilt vor allem für netzbezogene Maßnahmen aber auch für die Netzboosterpiloten, für die bereits eine Lösung im bestehenden regulatorischen Rahmen gefunden wurde. Ggf. kann dieser Ansatz auch für zukünftige Netzboosteranlagen bei gleichen Voraussetzungen übernommen werden. Neben dem Netzbooster werden die in InnoSys 2030 entwickelten Technologiekonzepte zu konventionellen Kraftwerken und Verteilnetzflexibilität bereits in der ersten Phase bezüglich des regulatorischen Anpassungsbedarfs durch Experten aus Politik und Regulierung überprüft. Neben den Voraussetzungen für den kurativen Einsatz geht es hierbei auch um eine schnelle und beschleunigte Umsetzung der Maßnahmen. Zur zweiten Stufe ist der erforderliche Anpassungsbedarf vollständig erfasst und erste Aktivitäten zur Gesetzesanpassung bzw. -ergänzung wurden bereits initialisiert. Mit dem Erreichen der letzten Stufe sind alle regulatorischen Voraussetzungen für den kurativen Einsatz erfüllt, womit die Rechte des Netzbetreibers aber auch die Pflichten des Anlagenbetreibers klar geregelt sind.



Abbildung 3-6: Entwicklung der Felder regulatorischer Rahmen, Genehmigung, Standards und Verträge

Aufgrund erforderlicher *Genehmigungen* wird kurzfristig der Austausch von Schaltfeldern, die das Höherauslastungspotential einschränken, nicht möglich sein. In der ersten Stufe ist aber denkbar, dass die Schaltfeldertüchtigung bei priorisierten Stromkreisen und der damit verbundene Genehmigungsprozess angestoßen wird. Das Gleiche gilt auch für die Diskussion zur Anpassung des Genehmigungsprozesses in Bezug auf Beschleunigung und Vereinfachung. Durch eine frühe Identifikation der Hürden aber auch der Möglichkeiten kann mittelfristig der Genehmigungsprozess effizienter gestaltet werden, was eine schnellere Umsetzung der Schaltfeldertüchtigung ermöglicht, wodurch das Höherauslastungspotential im erweiterten Überwachungsbereich kurativer Maßnahmen gesteigert werden kann. Langfristig kann bei einer Ausnahmeregelung im Genehmigungsprozess in Bezug auf die temporäre Höherauslastung von Anlagen im Rahmen des kurativen Einsatzes (max. bis zu 15 Minuten), die Anzahl erforderlicher Schaltfeldertüchtigungen deutlich reduziert werden.

In Bezug auf *Standards und Verträge* orientiert sich in Stufe 1 die Konzeptentwicklung kurativer Maßnahmen an den bestehenden Festlegungen in relevanten Richtlinien und Vertragswerken. Aus einer ersten Betrachtung werden Lücken erkannt und darauf aufbauend Anforderungen in Bezug auf Anpassungen definiert. Mittelfristig können auf Basis der Gap-Analyse bereits erste Richtlinien angepasst werden. In neu abzuschließenden Anschlussverträgen wird der kurative Einsatz berücksichtigt. Langfristig wird der kurative Einsatz ein fester Bestandteil in Richtlinien und

Vertragswerken sein, wodurch technologieoffen kurative Einsatzkonzepte ausgestaltet werden können.

3.6 IKT-Sicherheit

Bei der Weiterentwicklung der IKT-Sicherheit ist hervorzuheben, dass die stufenweise Umsetzung der Maßnahmen zur Verbesserung der IKT-Sicherheit nur stellenweise an die Umsetzung des kurativen Engpassmanagements gekoppelt ist.

In der ersten Stufe werden im Rahmen der Pilotprojekte vereinzelt Maßnahmen zur Validierung und Plausibilisierung von *Messwerten und Steuerbefehlen* getestet. Zugleich wird bei der Auswahl neuer Betriebsmittel darauf geachtet, dass Methoden zur Validierung und Plausibilisierung von Messwerten und Steuerbefehlen mit ihnen umgesetzt werden können. Mittelfristig mit der Zunahme kurativer Maßnahmen und der damit verbundenen Fülle an relevanten Größen für die Fehleridentifikation und Steuerung werden derartige „einfachen“ Maßnahmen durchgehend eingesetzt. Zu dieser Stufe stehen teilweise auch schon intelligenter Schutzmaßnahmen zur Verfügung, die in Kombination mit den etablierten Maßnahmen testweise eingesetzt werden. Diese umfassen beispielsweise die zusätzliche Einbeziehung von Wetterdaten und Sensorik um eine präzisere Validierung und Plausibilisierung durchführen zu können. In der letzten Stufe werden zu Validierungs- und Plausibilisierungszwecken flächendeckend sowohl einfache als auch intelligente Schutzmaßnahmen angewendet.

Im Rahmen erster Pilotprojekte werden sogenannte *Intrusion-Detection-Systeme* (IDS) oder direkt umfangreichere *Systeme für Security Information and Event Management* (SIEM) an geeigneten Stellen im Prozessnetzwerk installiert. Die in den Systemen festgelegten Regeln werden mittelfristig und langfristig auf Basis der gesammelten Erfahrungen weiterentwickelt und optimiert. Schließlich können die Erkenntnisse aus dem Monitoring des Prozessnetzwerks mit weiteren Datenquellen zusammengeführt werden, um eine übergreifende Angriffserkennung zu ermöglichen.

Maßnahmen zur *Authentisierung* von Kommunikationspartnern und zur *Integritätssicherung* werden bereits in der Pilotierungsphase kurativer Einsatzkonzepte eingesetzt. Diese beiden Aspekte werden im Rahmen der Einführung neuer Konzepte stets mitgedacht und bedarfsabhängig angepasst. Langfristig ist das Ziel, dass alle Kommunikationspartner in der Regel wechselseitig authentisiert und dass sämtliche ausgetauschte Information durch Integritätssicherheitsmaßnahmen von Manipulation auf dem Übertragungsweg geschützt sind.



Abbildung 3-7: Weiterentwicklung der IKT-Sicherheit

3.7 Stakeholder

Die Entwicklung und Realisierung der Konzepte erfordern die Einbeziehung und Unterstützung einiger Stakeholder. Dazu gehören vor allem die Netzbetreiber, die die Systeme anpassen und die Konzepte umsetzen. Dies gilt sowohl für die Übertragungsnetzbetreiber als auch teilweise für die Verteilnetzbetreiber. Abstimmungen sind dafür nicht nur auf nationaler, sondern auch auf internationaler Ebene erforderlich, da die Konzepte regelzonenübergreifende Auswirkungen haben können.

Aber auch die Hersteller sind gefragt, die die Entwicklungen vorantreiben und dafür sorgen, dass der erforderliche technologische Reifegrad erreicht ist. Dies bezieht sich nicht nur auf die Systeme der

Systemführung, sondern auch auf die Bereiche Sekundärtechnik, Primärtechnik und IKT-Sicherheit. Die Politik, Institutionen und Verbände müssen die notwendigen Rahmenbedingungen schaffen, sodass der kurative Abruf in den Regelprozess für das Engpassmanagement integriert werden kann und die erforderlichen Informationen seitens der Anlagenbetreiber dafür vorliegen.

Abbildung 3-8 zeigt eine Auswahl relevanter Stakeholder, die den sechs Handlungsfeldern zugeordnet sind.

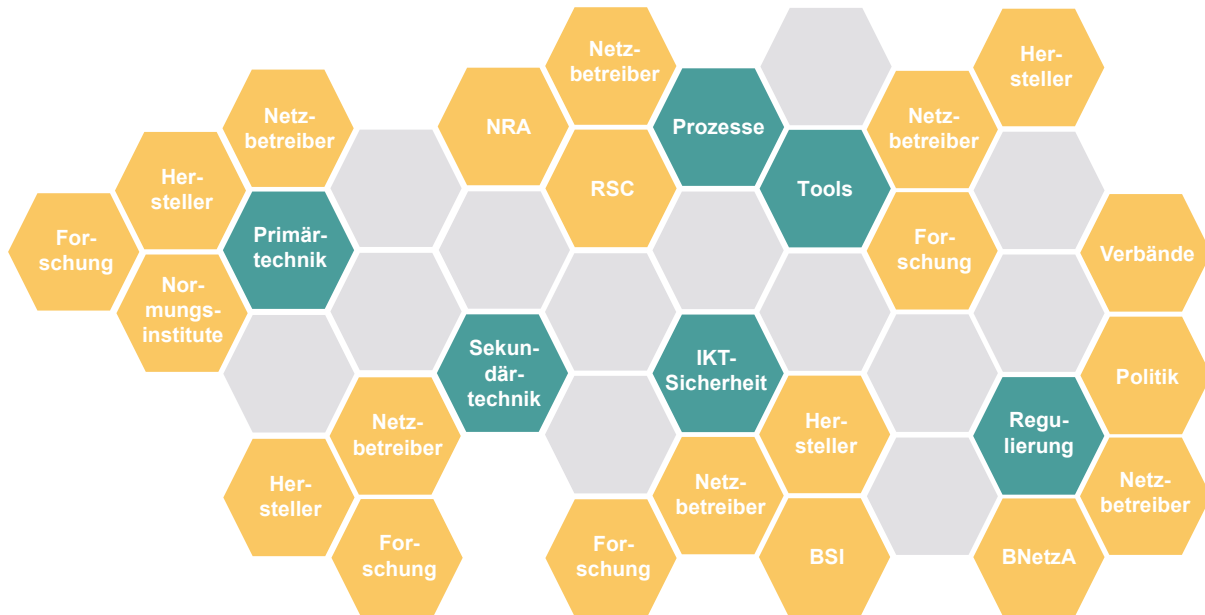


Abbildung 3-8: Relevante Stakeholder (Auswahl) in Bezug auf InnoSys-Handlungsfelder

4. Fazit und Ausblick

4.1 Fazit

Im Forschungsprojekt InnoSys 2030 wurden die wichtigsten Grundlagen für den kurativen Einsatz ausgearbeitet. Es wurde aufgezeigt, wie die verschiedenen Technologiekonzepte in die Prozesse der Systemführung integriert werden können und welche Systeme dafür angepasst bzw. neu entwickelt werden müssen. Anhand von stationären Leistungsflussberechnungen konnte das hohe Reduktionspotential für präventiven Redispatch nachgewiesen werden. Dynamische Untersuchungen haben ergeben, dass die Höherauslastung in Bezug auf Stabilität beherrscht werden kann, wenn genügend stationäre und dynamische Blindleistungsquellen im elektrischen Netz verfügbar sind. Im Rahmen von Demonstratorvorhaben und Feldtests wurden die im Projekt entwickelten Konzepte erprobt, womit unter anderem auch die praktischen Herausforderungen aufgezeigt werden konnten. Abschließend wurde die Umsetzung der Konzepte in Form einer Roadmap beschrieben, die sechs wichtige Handlungsfelder umfasst und eine stufenweise Realisierung in Form von Evolutionsstufen aufzeigt.

Dennoch gibt es über InnoSys 2030 hinaus weitere wichtige Forschungsthemen und offene Fragestellungen im Kontext der Höherauslastung und des kurativen Engpassmanagements, die im Folgenden kurz dargestellt werden:

- Thermische Modellierung von Betriebsmitteln: Die thermische Betrachtung zur Berechnung der TATL-Grenzwerte konzentrierte sich im Projekt auf die Freileitung. Weiterer Forschungsbedarf in Bezug auf thermische Modellierung gibt es für primärtechnische Betriebsmittel wie z. B. Schaltgeräte und Wandler.
- Leistungsflussoptimierung: In der Leistungsflussoptimierung wurden alle Technologiekonzepte bis auf die der Topologieschaltmaßnahmen kombiniert berücksichtigt. Aufgrund der Komplexität in der Topologieoptimierung sind innovative Ansätze zur Lösung solcher Optimierungsprobleme notwendig.
- DSA: In InnoSys 2030 wurden die unterlagerten Netze in aggregierter Form in der dynamischen Simulation berücksichtigt. Für eine genauere Abbildung des Verteilnetzes sind entsprechende dynamische Modelle des Verteilnetzes erforderlich.

Weitere offene Punkte sind unter anderem:

- In InnoSys- 2030 wurden Sensitivitätsanalysen zur Untersuchung der Wirksamkeit von kurativen Maßnahmen durchgeführt. In weiterführenden Untersuchungen sollten betriebliche Aspekte (zulässige Stellbereiche von HGÜ/PST, operative Beherrschbarkeit, Berücksichtigung von Ablöse- und Redundanzmaßnahmen) vertiefend behandelt werden.

- Volkswirtschaftlicher Nutzen: In InnoSys 2030 wurde der Nutzen des kurativen Engpassmanagements anhand der Redispatchreduktion dargestellt. Erste quantitative Schätzungen zu Kosteneinsparungen wurden auf Basis von historischen Daten vorgenommen. Für eine Bewertung des gesamtwirtschaftlichen Nutzens sind weitere Untersuchungen erforderlich.
- Eine detaillierte Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Übertragungs- und Verteilnetz ist im Projekt nicht erfolgt. Dies gilt insbesondere für die mögliche Einschränkung kurativer Maßnahmen und den Einsatz von leistungsflusssteuernden Betriebsmitteln durch technische Restriktionen im Verteilnetz. Im Hinblick auf die Umsetzung einer kurativen Systemführung sind daher weiterführende Einzelfalluntersuchungen durchzuführen.
- Die Analyse einer kurativen Netzführung zur Beherrschung von Engpässen im Verteilnetz war nicht Bestandteil des Projektes. Jedoch haben konzeptionelle Analysen gezeigt, dass die in InnoSys 2030 entwickelten Lösungsansätze sich grundsätzlich auch auf das Hochspannungsnetz übertragen lassen. Weiterführende Untersuchungen sind erforderlich, um einerseits den Weiterentwicklungsbedarf und konkrete Anwendungsfälle zu spezifizieren sowie den technischen und wirtschaftlichen Nutzen zu beurteilen.
- Berücksichtigung kurativer Netzführung in der Netzplanung im Rahmen des NOVA-Prinzips: Für eine Berücksichtigung kurativer Einsatzkonzepte in der Netzplanung sind entsprechende Rahmenbedingungen auszuarbeiten. Darauf aufbauend sollte dargestellt werden, welche Technologien im Planungshorizont zur Verfügung stehen und eingesetzt werden können.

4.2 Ausblick

Im Projekt InnoSys 2030 wurden die theoretischen Grundlagen für das kurative Engpassmanagement beschrieben und ausführlich behandelt. Mit dem Projektende im Dezember 2021 ist es für eine schnelle Umsetzung wichtig, dass an den Ergebnissen direkt angeknüpft und mit ersten Aktivitäten gestartet wird. Fundamental für eine erfolgreiche Umsetzung werden Pilotprojekte sein, die den Übertragungsnetzbetreibern aufbauend auf den ersten Erfahrungen helfen werden, die Konzepte zu verbessern und eine schnellere Realisierung weiterer Konzepte zu ermöglichen. Projekte, wie z. B. die Netzboosterpiloten, befinden sich bereits in der konkreten Planung. Weitere Anwendungen zum kurativen Einsatz werden netzbetreiberintern nach Projektende evaluiert.

Die in der Roadmap beschriebenen Handlungsfelder und Entwicklungsschritte sind zusammen mit den involvierten Stakeholdern zu konkretisieren, sodass darauf aufbauend Aktivitäten initialisiert werden können. Hierzu gibt es bereits erste Überlegungen bei den beteiligten Netzbetreibern. Für eine erfolgreiche Umsetzung ist es wichtig, dass das kurative Engpassmanagement interdisziplinär

weiterentwickelt wird. Verschiedene Plattformen (Konferenzen, Workshops etc.) werden dafür genutzt, um die Konzepte bekannt zu machen und in den Austausch mit den beteiligten Stakeholdern zu gehen. Darüber hinaus sind weitere Forschungsprojekte in der Vorbereitung, die an den Ergebnissen von InnoSys 2030 anknüpfen werden. Um den Diskurs zum kurativen Engpassmanagement mit den bereits involvierten Stakeholdern (InnoSys-Fachbeirat) über InnoSys 2030 hinaus aufrechtzuerhalten, ist bereits ein regelmäßiger Stakeholder-Termin angedacht.

5. Anhang

Referenzen

- [1] InnoSys-Systemführungsprozess, www.InnoSys2030.de, 2022.

Abkürzungsverzeichnis

ACER	Agency for the Cooperation of Energy Regulators
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BP	Betriebsplanung
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
DSA	Dynamic Stability Assessment
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
GuD	Gas und Dampf
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
IDS	Intrusion Detection System
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
KW	Kraftwerk
KWEP	Kraftwerkseinsatzplanung
NLS	Netzeleitsystem
NOVA	Netzoptimierung, vor -Verstärkung, vor -Ausbau
NRA	National Regulatory Authority
PMU	Phasor Measurement Unit
PST	Phasenschiebertransformator
RCC	Regional Coordination Center
RSC	Regional Security Coordinator
RZ	Regelzone
SGU	Significant Grid User

SIEM	Security Information and Event Management
SpPS	Special Protection Scheme
TATL	Temporary Admissible Transmission Loading
ÜN	Übertragungsnetz
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
VN	Verteilnetz
VNB	Verteilnetzbetreiber
WAMS	Wider Area Monitoring System

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

