

Toolbox für die künftige Integration von Erneuerbaren Energien in die Stromnetze und zum Engpassmanagement



Radisson Blu Hotel Berlin

Dienstag, 09.01.2018

Dr. Dipl.-Ing. Thomas Ackermann

Dr.-Ing. Nis Martensen

Energynautics GmbH, Darmstadt, Germany

Vorstellung der Netze-Toolbox – innovative Optimierungsmaßnahmen in Netzplanung und Netzbetrieb

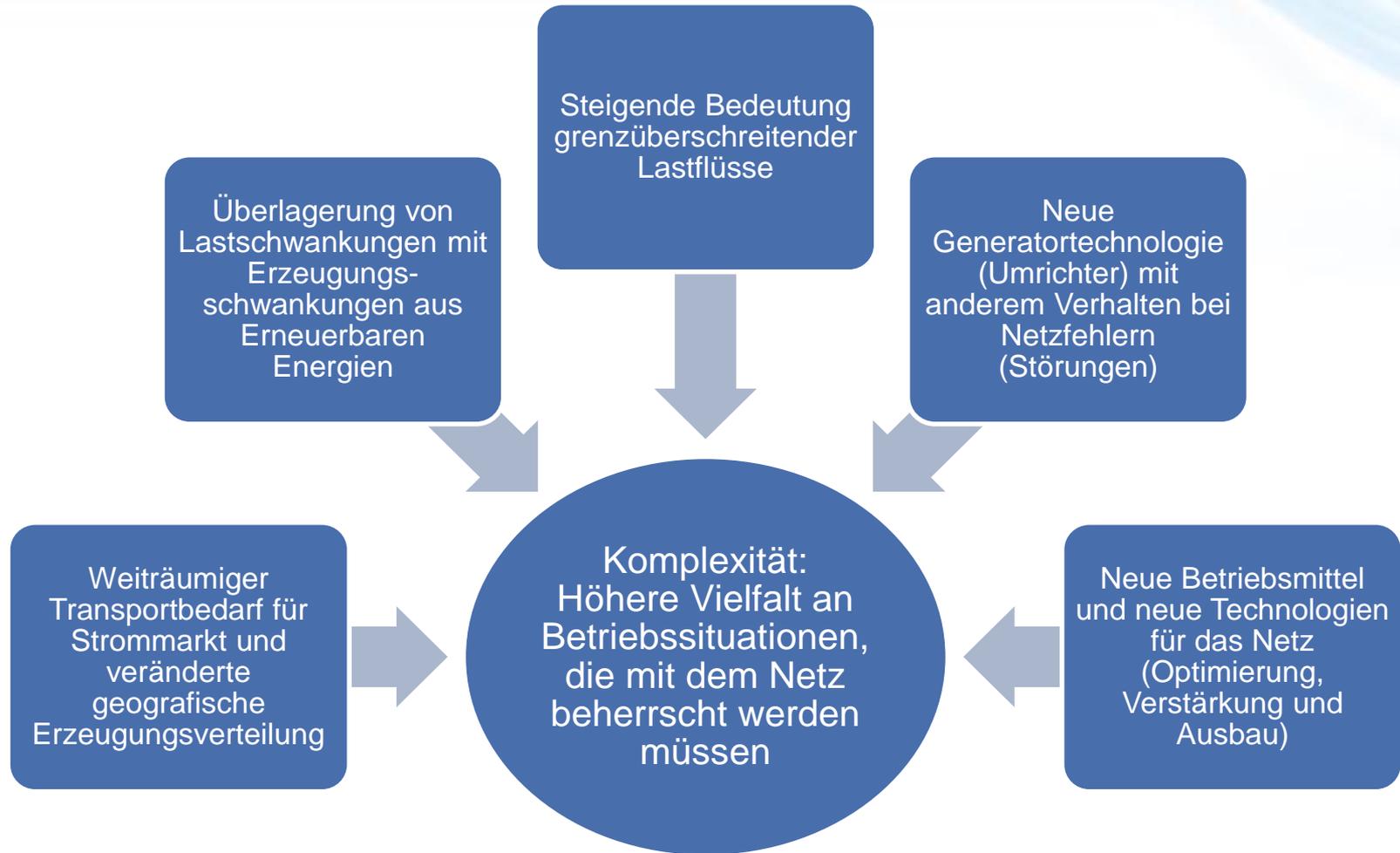
Netzbetrieb in Gegenwart und Zukunft

Netze-Toolbox: Vorstellung der 5 Maßnahmen

- Hochtemperaturleiterseile, Freileitungsmonitoring,
- netzdienlicher Speichereinsatz,
- Lastflussteuerung,
- Online-Assistenzsysteme (Online-DSA),
- Weiterentwicklung des (n-1)-Kriteriums



Netzbetrieb in Gegenwart und Zukunft





Netzbetrieb in Gegenwart und Zukunft

Begrenzte Steuerbarkeit der Lastflüsse

Die Leistungsflüsse (bzw. Stromflüsse) auf Leitungen und Transformatoren stellen sich **automatisch entsprechend der physikalischen Gesetze** und der Verteilung von Last und Erzeugung ein.

In einem „Netz“ mit vielen Verbindungswegen sind die Stromflüsse nur begrenzt steuerbar, ohne wesentlich in Last und Erzeugung einzugreifen.

Fehler sind immer möglich. Ihre Auswirkungen sollen beherrscht werden:

- Kurzschlüsse
- Fehlfunktion technischer Eingriffssysteme (Netzschutz)
- Kraftwerksausfälle

Sicherheitskonzept:

„n-minus-eins“: Reserve zur Vermeidung von Fehlerkaskaden

Schnelle automatische Eingriffe mit Reserveschutz



Netzbetrieb in Gegenwart und Zukunft

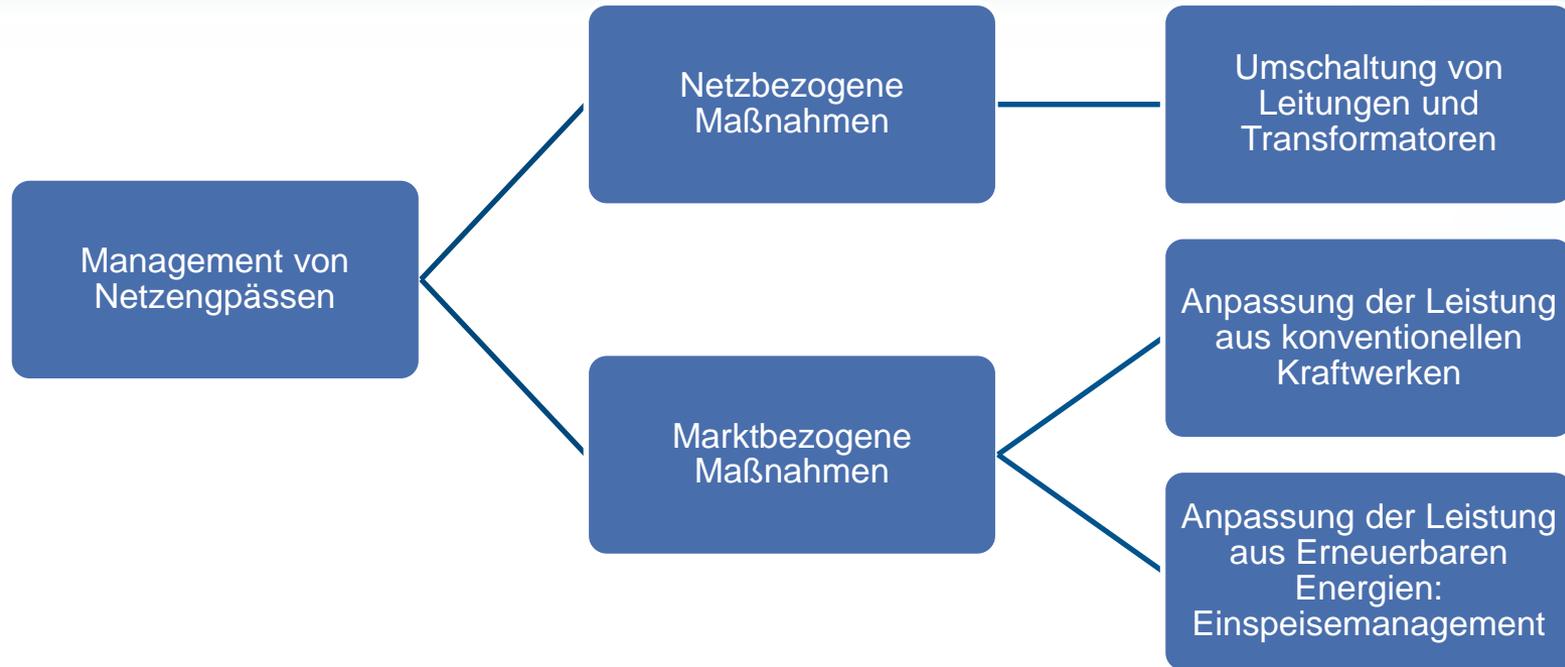
Netzengpässe

Netzengpässe entstehen, wenn ein höherer Übertragungsbedarf vorliegt, als für den sicheren Netzbetrieb zulässig ist.

Thermische Grenzen (Stromtragfähigkeit)	Stabilitätsgrenzen
<p>Leitererwärmung durch Stromfluss muss Temperaturgrenzen einhalten:</p> <ul style="list-style-type: none">• Längenausdehnung (Durchhang) bei Freileitungen• Lebensdauer der Isolation bei Kabeln und Transformatoren	<ul style="list-style-type: none">• Einhaltung von Spannungsgrenzwerten• Schwingungsverhalten von Synchronmaschinen bei Netzfehlern:<ul style="list-style-type: none">– Transiente Stabilität



Netzbetrieb in Gegenwart und Zukunft



Umfang der Eingriffe im Rahmen des Engpassmanagements hat in den letzten Jahren zugenommen, weitere Zunahme wird erwartet.

Durch Netzoptimierung und Verstärkung wird die Bedeutung von Stabilitätsgrenzen steigen. Derzeit sind thermische Grenzen die Hauptursache von Engpässen.

Toolbox – Werkzeug 1

Freileitungsmonitoring und Hochtemperaturleiterseile

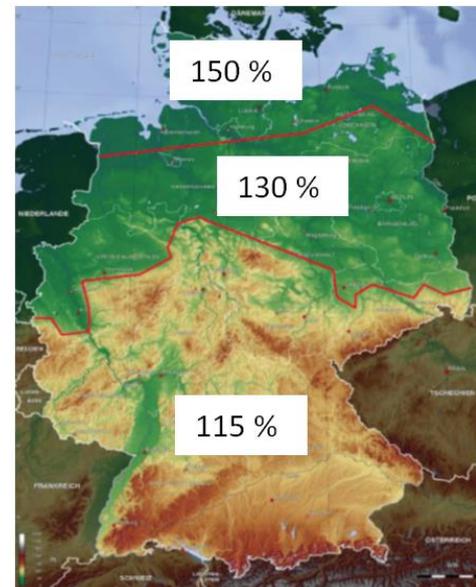


energynautics
solutions for a sustainable development

- **Freileitungsmonitoring (FLM)** ermöglicht die individuelle dynamische Anpassung der Strombelastbarkeit von Freileitungen auf Grundlage der Messung von Temperatur und Wind.
- **Hochtemperaturleiterseile (HTLS)** ermöglichen höhere Leitertemperaturen auf Freileitungen ohne höheren Durchhang – dank innovativer Materialien – und damit höhere Ströme.

Wirkung

- Für beide Maßnahmen gibt es verschiedene Technologien, die sich in Preis und technischem Aufwand unterscheiden. Beispiel FLM:
 - Direkte Methoden mit Messung der Temperatur oder des Durchhangs
 - Indirekte Methoden über Wetterdaten
- Abschätzung der Wirkung oft mit pauschalen Ansätzen, Beispiel Freileitungsmonitoring: →



Mögliche Leitungsbelastung durch FLM bei hohen Windgeschwindigkeiten

Quelle: „Pushing the limits, Innovative tools to combat Transmission Bottlenecks and reduced Inertia“,

Anwendung

- FLM zählt zur Netzoptimierung, Umrüstung bestehender Trassen auf HTLS ist Netzverstärkung
- Beide Maßnahmen müssen nach NOVA-Prinzip vor Netzausbau in Betracht gezogen werden. Im Netzausbauplan (NEP) sind beide Maßnahmen nach Umsetzbarkeit berücksichtigt.

Umsetzung

- **Weltweit: Beide Tools kommen in Ländern auf der ganzen Welt in unterschiedlich großen Maßstäben zum Einsatz**
- **In Deutschland:**
 - Bereits heute **relativ weite Verbreitung von FLM** z.B. 4300 km Freileitungen von TenneT auf FLM umgerüstet (Quelle: BMUB Workshop, 2017)
 - Im Moment **vereinzelter Einsatz von HTLS** in Pilotprojekten, z.B. Maßnahme P49 im NEP: HTLS auf Trasse Daxlanden – Eichstetten im Transnet BW Gebiet, in Zukunft wahrscheinlich mehr

Beide Technologien sind wirksame Mittel zur Anhebung der Übertragungsleistung.

Freileitungsmonitoring ist schnell einsetzbar und effizient.

Wirtschaftlichkeit von HTLS-Einsatz muss fallweise geprüft werden.

Kurzfristige Einsetzbarkeit ermöglicht Einsparung von Redispatch und Einspeisemanagement.

Beide Technologien erhöhen die Stromtragfähigkeit einer Leitung, haben aber kaum Einfluss auf die Stabilitätsgrenze der Leitung. Eignung bestehender Leitungen zur Umrüstung, Stabilitätsgrenzen, Immissionsschutz-Grenzwerte, Wechselwirkungen mit anderen Netzen sind bei der Umsetzung zu beachten.

Toolbox – Werkzeug 2

Netzdienlicher Speichereinsatz

Was bedeutet „netzdienlich“?

Netzdienlich im Sinne dieser Studie bedeutet **einsetzbar durch Netzbetreiber im Rahmen des Netzengpassmanagements** bzw. darüber hinaus auch zur **Reduzierung des Eingriffsumfanges**.

Vermeidung von Netzausbau ist damit ebenfalls als netzdienlich zu verstehen.

Bereitstellung von Regelleistung ist dagegen in diesem Rahmen nicht als „netzdienlich“ im engeren Sinne, sondern als „systemdienlich“ zu sehen.

Aktuelle (marktbezogene) Betreibermodelle für Speicher sind nicht ausreichend zur Sicherstellung eines netzdienlichen Einsatzes.

Speichertechnologien und für deren Anschluss geeignete Netzebenen

Höchstspannung	Hoch- und Mittelspannung	Niederspannung	Speichertechnologie
✓	✓	-	Pumpspeicherkraftwerke
✓	✓	-	Druckluftspeicher
✓	✓	-	Power-to-Gas
-	✓	✓	Batteriespeicher

Einsatz für Eigenverbrauchsmaximierung mit eigener Erzeugung ist ebenfalls nicht notwendig als netzdienlich anzusehen.

Aufgabe des Speichereinsatzes ist der räumliche und zeitliche Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch.

Am **Höchstspannungsnetz** sind heute vor allem **Pumpspeicherkraftwerke** angeschlossen.

- **Diese werden regelmäßig reaktiv im Rahmen des Redispatches genutzt.**
- Aus volks- und betriebswirtschaftlicher Perspektive ist die Errichtung neuer Speicher am Übertragungsnetz für den Ausgleich der variablen EE-Einspeisung derzeit nicht sinnvoll.
- Sinnvoll: Nutzung von bestehenden Speichern für proaktive Vermeidung von Netzengpässen.

Auf **Verteilnetzebene** bestehen ökonomische Anreize für die Installation neuer Speicher, z.B. durch Befreiung von Entgelten und Umlagen (Eigenstromprivileg) und KfW-Förderung.

- Netzdienlicher Einsatz von Kleinspeichern findet bisher nicht statt. Es gibt aber Pilotprojekte.

Ein Zusammenspiel zwischen Verteilnetz und dem Übertragungsnetz ist sinnvoll:

Sofern netzkritische Zeitpunkte für das Verteilnetz nicht mit den kritischen Betriebsituationen des Übertragungsnetzes zusammenfallen, könnte die Flexibilität aus den Verteilnetzen auch in hohem Maße für das Übertragungsnetz nutzbar gemacht werden.

Netzdienliche Speichernutzung ist vor allem eine Frage der Randbedingungen

- Mit einem Speichereinsatz für eine zuverlässige Kappung von Einspeise- und Verbrauchsspitzen in den Verteilnetzen könnten langfristig vermehrt und effizient Erneuerbare Energien in das Stromnetz integriert werden.
- Für Elektrofahrzeuge und Power-to-X-Anwendungen (Sektorenkopplung) sind geeignete Anreize zu deren intelligenter Ansiedlung und Nutzung notwendig, damit keine unerwünschten Wirkungen entstehen.

Mittel- bis langfristige Wirkung

- Aufgrund der unten genannten Hemmnisse sind bis 2020 nur begrenzte Wirkungen im Übertragungs- und Verteilnetz durch netzdienlich betriebene Speicher möglich.
- Bis 2030 lässt sich insbesondere die Effizienz bei der Bewirtschaftung von Netzengpässen im Übertragungsnetz unter der Berücksichtigung der Pumpspeicherkraftwerke erhöhen, und durch die intelligente räumliche Nutzung von Nachfrage, Angebot und Speichern nach 2030 auch Netzausbau einsparen.

Der derzeitige rechtliche und regulatorische Rahmen ist dazu bezüglich der Struktur der Netzentgelte, Abgaben, Umlagen und Steuern in mehrfacher Hinsicht anzupassen.

Für alle Anwendungen von Flexibilität ist die Schaffung von entsprechenden Marktplätzen eine zentrale Herausforderung. Entsprechend ausgestaltete Smart Markets können hierzu genutzt werden.

Hintergrund

Lastflüsse im Übertragungsnetz stellen sich nach den physikalischen Gegebenheiten ein. Es kann passieren, dass eine Leitung überlastet ist, während eine andere parallele Leitung nicht an ihrem thermischen Übertragungslimit betrieben wird. **Umleitung des Stromes von überlasteter Leitung auf nicht überlastete Leitung wäre dann sinnvoll, ist aber mit dem aktuellen Netz oft nicht möglich.**

Betriebsmittel zur Lastflusssteuerung

- **Phasenschiebertransformatoren (PST)**, auch Querregeltransformatoren genannt
- **FACTS** sind leistungselektronische Betriebsmittel zur Lastflusssteuerung, z.B.:
 - TCSC (Thyristor Controlled Series Compensation):
Steuerbarer Kondensator in Reihe zur Leitung → Impedanz und damit Lastfluss kann variiert werden
 - UPFC (Unified Power Flow Controller):
Leistungselektronische Komponenten über Transformatoren an die Leitung gekoppelt → Schnelle Anpassung der Impedanz in beide Richtungen und Blindleistungseinspeisung ist möglich
- **Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)** einschließlich Kurzkupplungen

Toolbox – Werkzeug 3

Lastflusssteuerung im Übertragungsnetz

Anwendung

- **Aktuell:**
 - Bisher geringer Einsatz von Elementen zur Lastflusssteuerung bei Engpässen innerhalb von Deutschland
 - Phasenschiebertransformatoren (PST) an der Grenze zu Polen und an vielen anderen innereuropäischen Grenzen, um die physikalischen Stromflüsse an die gehandelten Stromflüsse anzupassen
- **Geplant (Netzentwicklungsplan Strom 2017–2030):**
 - Sieben innerdeutsche Standorte für PST als Ad-Hoc-Maßnahme (bis 2022) bestätigt
 - FACTS: Serienkompensationsanlage (TCSC) auf der Leitung Krümmel – Wahle in Niedersachsen als Ad-Hoc-Maßnahme, um parallele Leitungen zu entlasten
 - Bedarf für fünf HGÜ-Fernübertragungsmaßnahmen bis 2025 bestätigt:
DC1: Emden/Ost-Osterath, DC2: Osterath-Philippsburg („Ultranet“, bis 2021),
DC3: Brunsbüttel-Großgartach, DC4: Wilster-Bergrheinfeld, DC5: Wolmirstedt-Isar



Lastflusssteuernde Betriebsmittel (PST und FACTS) lassen sich kurz- und mittelfristig an netztechnisch geeigneten Punkten errichten und in Betrieb nehmen.

Mit ihrer koordinierte Steuerung kann Strom von überlasteten auf nicht ausgelastete Leitungen verlagert werden.

Dadurch können Redispatch-Maßnahmen und langfristig auch Netzausbau eingespart werden.

Toolbox – Werkzeug 4

Online-Assistenzsysteme (Online-DSA)

Die verlässliche Beurteilung von Netzzuständen ist für die Wahrung der Versorgungssicherheit von entscheidender Bedeutung.

- **Dynamic Security Assessment (DSA) ist ein Werkzeug aus der Netzplanung** zur Beurteilung der dynamische Netzsicherheit: Bewertung der Systemstabilität und Netzsicherheit im Verlauf einer Störung. Daraus werden **Abschätzungen mit „Sicherheitspuffer“ für die Nutzung in der Systemführung (Leitwarte)** abgeleitet.
- Durch die steigende Volatilität der Betriebssituationen **führen solche Abschätzungen zunehmend zu einem ineffizienten Netzbetrieb**. Dazu kommt, dass durch die Erhöhung der thermischen Grenzen (beispielsweise durch die Einführung von FLM und HTLS) die Stabilitätsgrenzen zunehmend an Relevanz gewinnen.

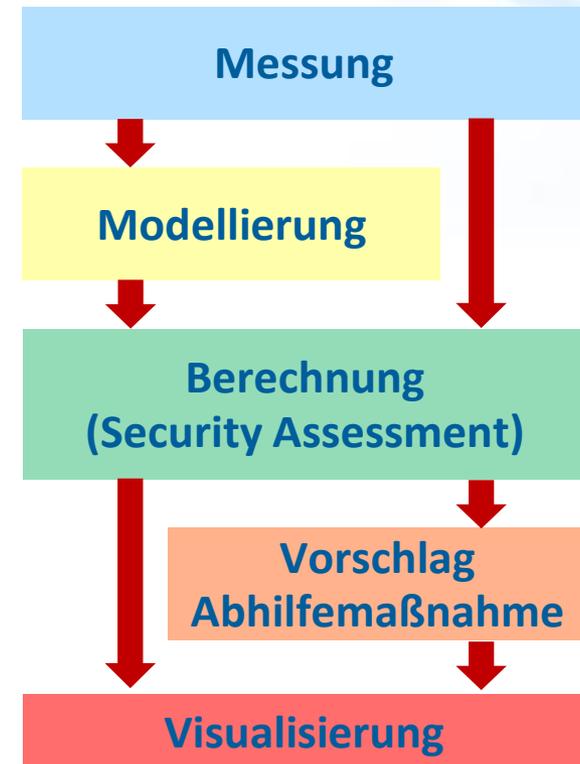
Neue Assistenzsysteme für die Leitwarte wie Online-DSA enthalten einen schnellen Screeningprozess des aktuellen Netzzustandes.

- Dadurch wird eine **Echtzeitanalyse der Netzstabilität und damit eine Visualisierung der Stabilitätsgrenzen in der Leitwarte möglich**, die den aktuellen Zustand berücksichtigt, keine langfristigen Vorhersagen benötigt, und so eine effizientere Netznutzung ermöglichen kann.

Toolbox – Werkzeug 4

Online-Assistenzsysteme (Online-DSA)

- **Kein Eingreifen in den Netzbetrieb**, nur Kontroll- und Entscheidungshilfe
- Wesentlicher Teil von Online DSA ist die Beurteilung von Fragen der Systemstabilität:
 - Transiente Stabilität bei Spannungs- und Frequenzeinbrüchen
 - Spannungsstabilität
 - Analyse der Schwingungen im System (Dämpfung)
- Es gibt sehr unterschiedliche Ausführungen
 - Muss auf das jeweilige System und die Bedürfnisse angepasst werden



Komponenten von Online-DSA

Toolbox – Werkzeug 4

Online-Assistenzsysteme (Online-DSA)



energynautics
solutions for a sustainable development

Da gegenwärtig im Netzbetrieb die thermischen Grenzen maßgeblich sind, kann kurzfristig keine Einsparung von Netzausbau oder Engpassmanagement erreicht werden.

Wenn die Stabilitätsgrenzen mittelfristig im Netzbetrieb bei der Begrenzung der Übertragungsleistung relevanter werden, ist durch den Einsatz von Online-DSA eine effizientere Netznutzung als mit den bisherigen Methoden der Netzplanung und Netzbetriebsführung möglich.

Ob dies aber in einem Maße geschieht, dass sich mit Online-DSA eine signifikante Einsparung bei Engpassmanagementmaßnahmen oder Netzausbau erzielen lässt, ist zum jetzigen Zeitpunkt schwer absehbar.

Toolbox – Werkzeug 5

Weiterentwicklung des (n-1)-Kriteriums

Hintergrund

- Das (n-1)-Kriterium bezeichnet die Vorgabe, dass **das Versorgungsnetz den Ausfall eines beliebigen Betriebsmittels (Leitung/Kabel, Transformator, Kraftwerk) ohne Beeinträchtigung der Versorgungssicherheit überstehen können soll.**
- Dies gelingt durch **Vorhaltung von Reserven (Redundanz)** in Planung und Betrieb.
- Dadurch werden viele Leitungen, Kabel und Transformatoren im Normalbetrieb oft nur gering belastet, deutlich unterhalb ihrer Belastungsgrenzen.

Ziel der Weiterentwicklung

- Effizientere Netznutzung durch **Zulassung höherer Auslastungen, ohne Beeinträchtigung der Versorgungssicherheit.** Dadurch könnten die Kosten für Netzausbau und Engpassmanagementmaßnahmen reduziert werden.
- Umsetzungsmöglichkeiten bestehen durch weitergehende Automatisierung der Systemführung und risikobasierte (probabilistische) Sicherheitsbewertung.



Weitere Automatisierung der Systemführung und reaktiver Redispatch

Anstatt Reserven präventiv durch niedrige Auslastung der Betriebsmittel vorzuhalten, wird durch schnelle Eingriffe im Fehlerfall eine Fehlerkaskade verhindert.

- Ausgenutzt wird, dass in Fehlerfällen eine **kurzzeitige Überlastung der Betriebsmittel ohne Auslösung weiterer Ausfälle zulässig** ist.
- Gegenmaßnahmen bestehen in **schnellen automatischen Umschaltungen** im Netz mit Nutzung lastflusssteuernder Betriebsmittel, und
- ebenso **schnellem reaktivem Redispatch**: bei Überlastung einer Leitung wird Einspeiseleistung vor dem Engpass abgeregelt und hinter dem Engpass möglichst sofort die fehlende Energiemenge aus vorhandenen Speichern ausgespeist .

Probabilistische Bewertung der Versorgungssicherheit

- Verwendung von Risikoabschätzungen für Ausfälle und Schäden und Berücksichtigung von Eintrittswahrscheinlichkeiten für Vorhersagen. Das Risiko beinhaltet sowohl die Wahrscheinlichkeit als auch die Schwere eines möglichen Ausfalls eines Betriebsmittels.
- Optimaler Lastfluss und korrektive Maßnahmen werden basierend auf Risikoabschätzungen bestimmt → Beeinflussung des Lastflusses hin zu Betriebsfällen mit geringeren Risiken.

Toolbox – Werkzeug 5

Weiterentwicklung des (n-1)-Kriteriums

Der Einsatz der probabilistischen Bewertung der Versorgungssicherheit ist kurzfristig realisierbar, ermöglicht jedoch nur eine verhältnismäßig geringe Effizienzerhöhung des Netzbetriebs und **keine signifikante Einsparung an Engpassmanagementmaßnahmen oder Netzausbaubedarf.**

Die **Maßnahmen zur weitere Automatisierung der Betriebsführung** einschließlich des reaktiven Redispatches werden im mittel- bis langfristigen Zeitraum bis 2030 relevant. **Ab 2030 bieten sie ein erhebliches Potenzial bei der Einsparung weiteren Netzausbaubedarfs.**

- Als technische Voraussetzungen müssen Betriebsmittel zur Lastflusssteuerung sowie die zuverlässige Steuerung einer ausreichend großen Anzahl flexibler Erzeuger und Lasten verfügbar sein.
- Dazu kommen Herausforderungen bei der Erstellung detaillierter technischer Spezifikationen, Entwicklungsaufwand für Steuerungsmethoden und geeignete Hardware, Zertifizierung, IT-Sicherheit und Integration in die Arbeitsmittel und Prozesse in den Leitwarten.

Netzbetrieb in Gegenwart und Zukunft

Netze-Toolbox: 5 Maßnahmen

- Hochtemperaturleiterseile, Freileitungsmonitoring, → Schon bis 2020 wirksam einsetzbar
- netzdienlicher Speichereinsatz, → Mittel- bis langfristig wirksam
- Lastflussteuerung, → Schon bis 2020 wirksam einsetzbar
- Online-Assistenzsysteme (Online-DSA), → Mittel- bis langfristige Wirkung mögl.
- Weiterentwicklung des (n-1)-Kriteriums → Langfristig hochwirksam