



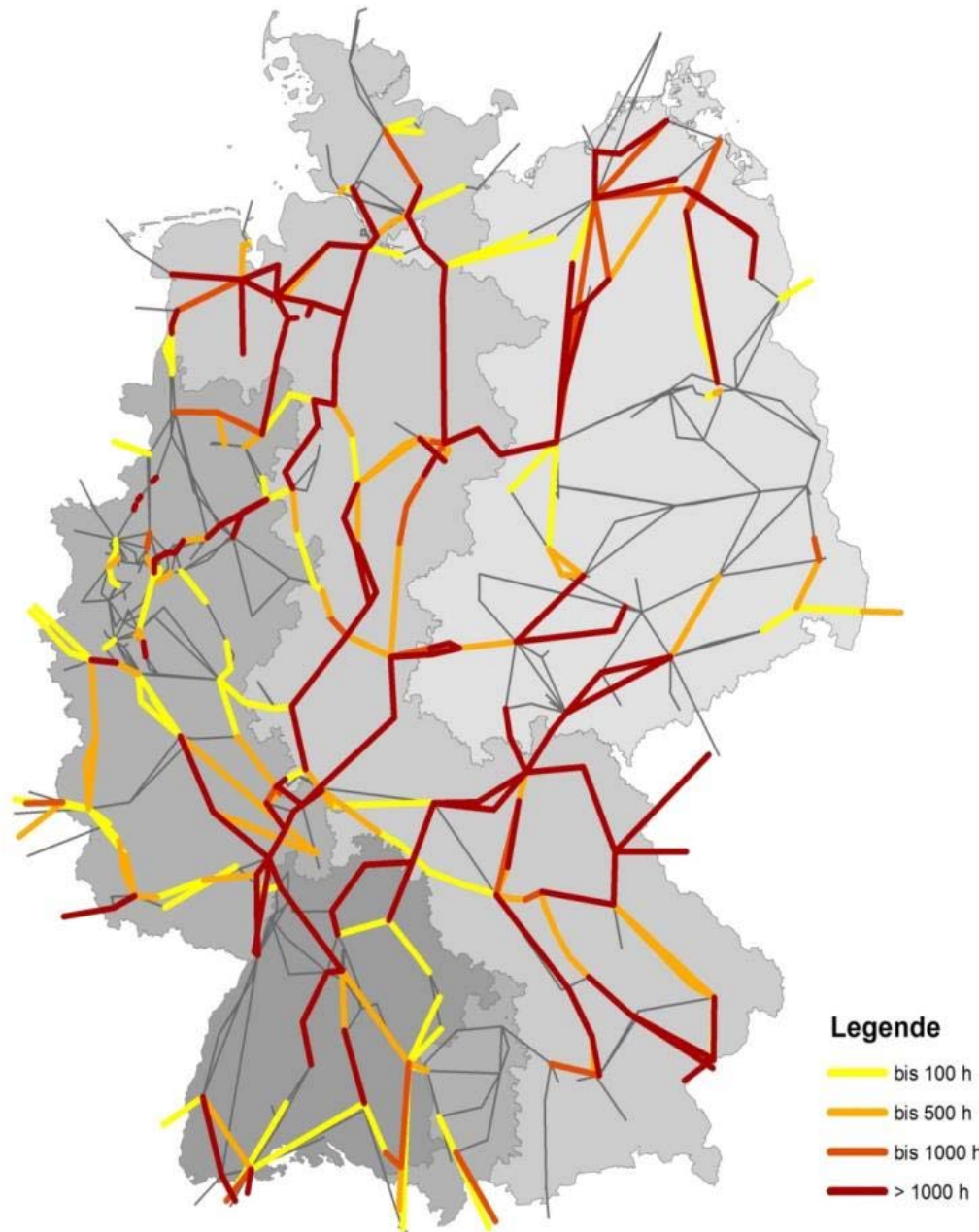
Bundesnetzagentur

Grundlagen der Bedarfsermittlung und Netzberechnung

Informationstage zum Netzentwicklungsplan 2017-2030



www.bundesnetzagentur.de



Direkte Folgen der Energiewende:

- Anstieg des Transportbedarfs
- Überlastung bestehender Infrastruktur
(Bild zeigt Überlastungen des Startnetzes im Jahr 2030)
- NEP: Analyse der Szenarien durch ÜNB und Vorschlag von geeigneten Maßnahmen

Die einzelnen Prozessschritte

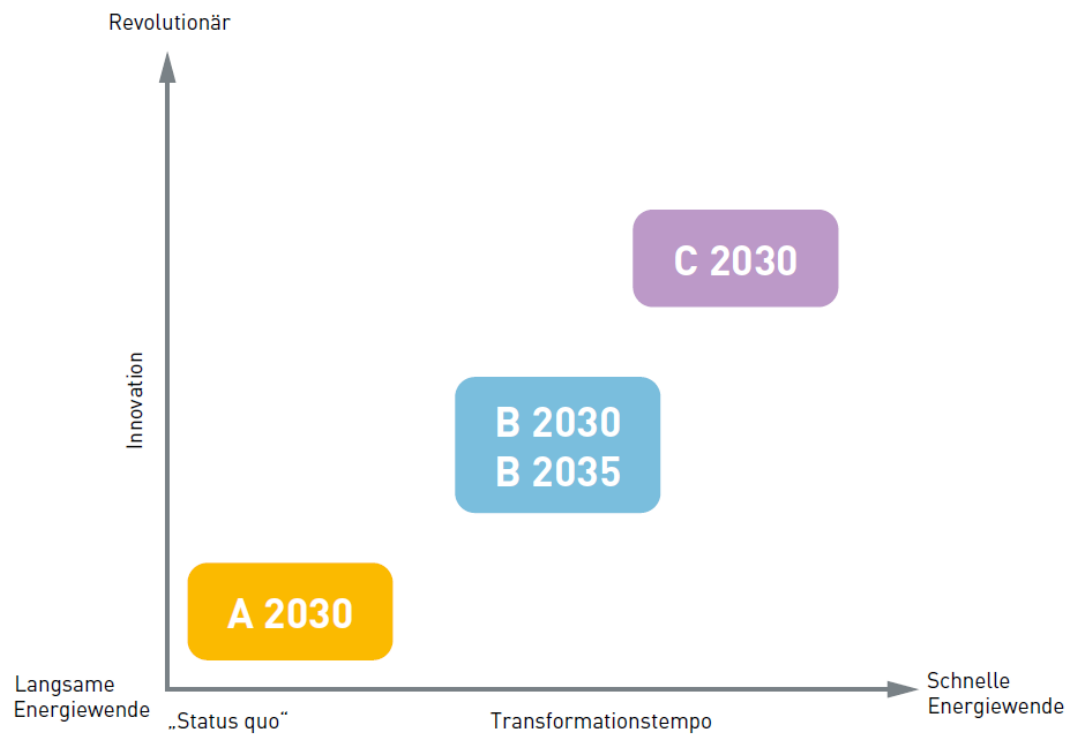
Prozess der Netzentwicklungsplanung



I Szenariorahmen 2017-2030



- Den Entwurf des Szenariorahmens legten die ÜNB am 10.01.2016 vor
- Die Bundesnetzagentur genehmigte den Szenariorahmen am 30.06.2016



Installierte Leistung [GW]	2015	A2030	B2030	C2030
PV	39,3	58,7	66,3	76,8
Wind onshore	41,2	54,2	58,5	62,1
Wind offshore	3,4	14,3	15	15
Biomasse	7,0	5,5	6,2	7,0
Wasserkraft	5,6	4,8	5,6	6,2
Braunkohle	21,1	11,5	9,5	9,3
Steinkohle	28,6	21,7	14,8	10,8
Erdgas	30,3	30,5	37,8	37,8
Höchstlast [GW] *	83,7	84	84	84
Nettostromverbrauch [TWh] *	532	517	547	577

* inkl. VNB Netzverlusten



Regionalisierung:

Verfahren zur räumlichen Verteilung der Stromerzeuger und Stromverbraucher

Die bestehende und zuzubauende Erzeugungsleistung sowie die zu erwartende Last werden den rund 450 Netzknoten in Deutschland zugeordnet

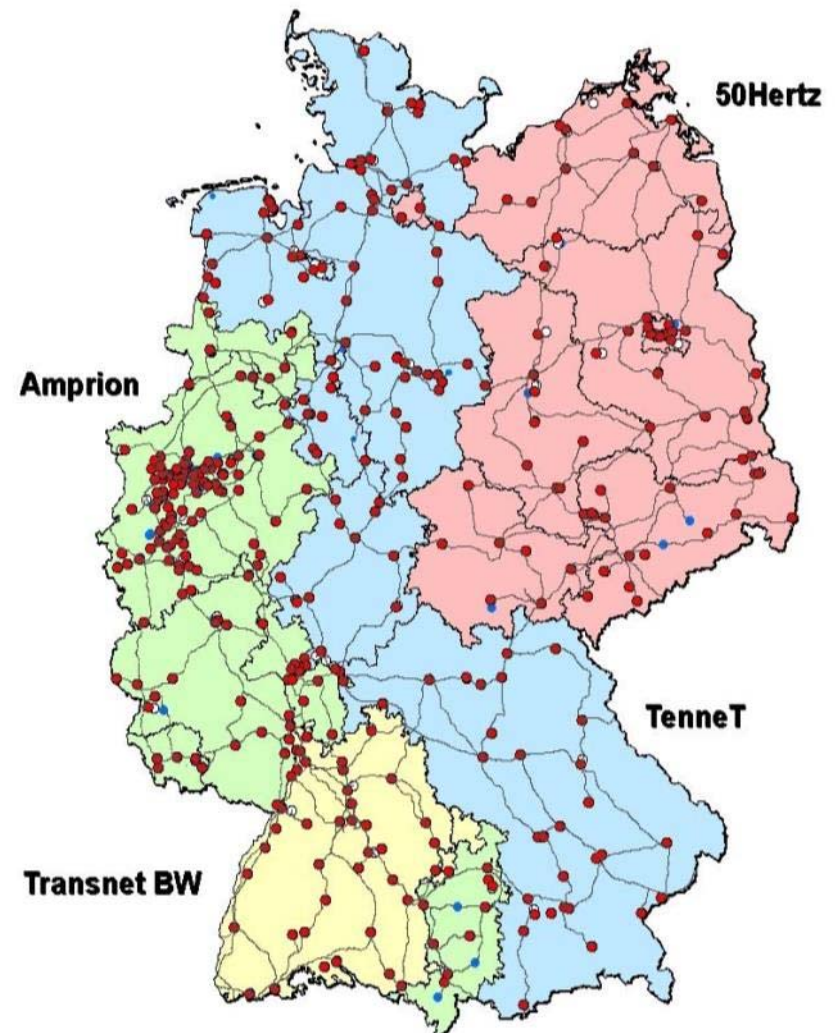
Konventionelle Erzeugung

Entsprechend der genehmigten Kraftwerksliste

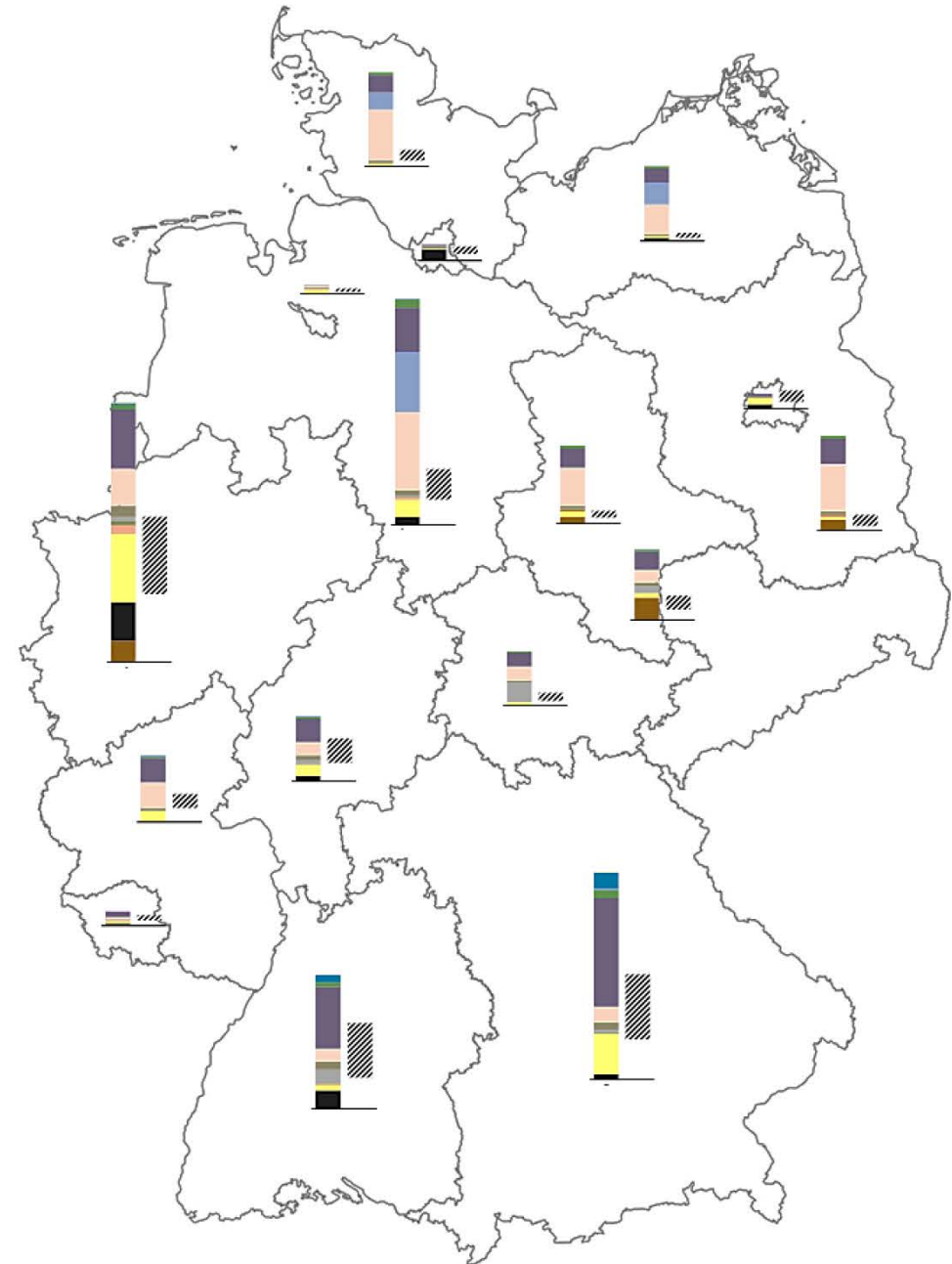
Erneuerbare Energien

Flächenansatz bei Wind-Onshore und PV

Regionalisierung auf Basis von ausgewiesenen Windvorrangs- und Windeignungsflächen bzw. verfügbaren Dach- und EEG geförderten Freiflächen



II Installierte Leistungen





Wesentliche Eingangsparameter:

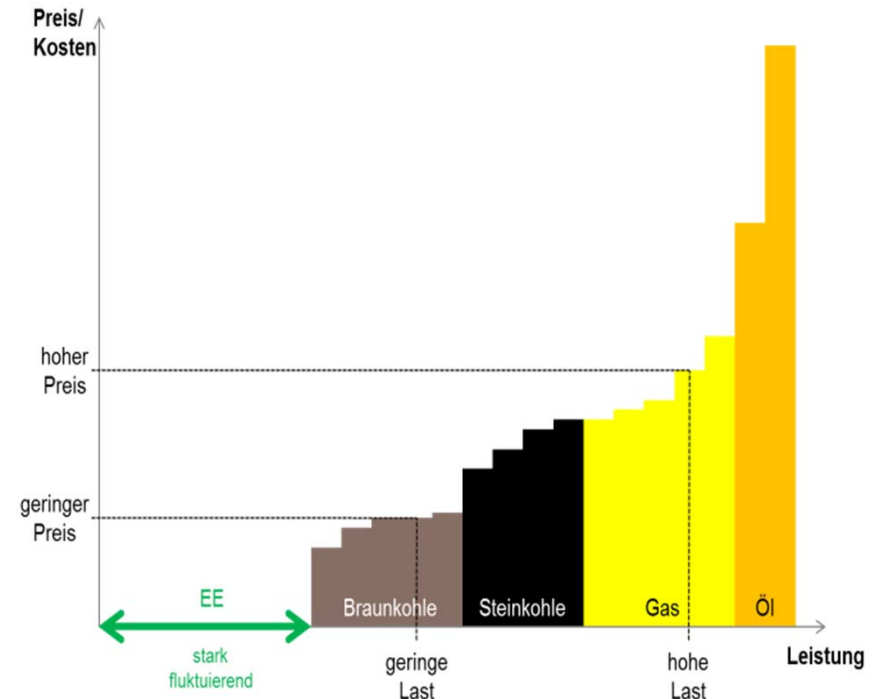
- Deutscher Kraftwerkspark (genehmigter Szenariorahmen)
- Wetter und Lastkurve des Jahres 2012, Lastmodellierung unter Berücksichtigung neuer Stromanwendungen
- Brennstoffpreise
- Berücksichtigung des **europäischen** Auslands: Europäischer Kraftwerkspark, europäische Stromnachfrage, Grenzüberschreitende Kapazitäten

Vorgehen:

- Ökonomischer Vorrang der Erneuerbaren
- Must-run Anlagen (z.B. Wärmeauskopplungen bei KWK)
- Last, die von Erneuerbaren Energien nicht bedient werden kann, wird durch Einsatz konventioneller Kraftwerke gedeckt

Ergebnis:

- Prognose des Kraftwerkseinsatzes **für jede** der 8760 Stunden des Zieljahres
- Einspeise- und Lastsituation **für jede** der 8760 Stunden des Zieljahres



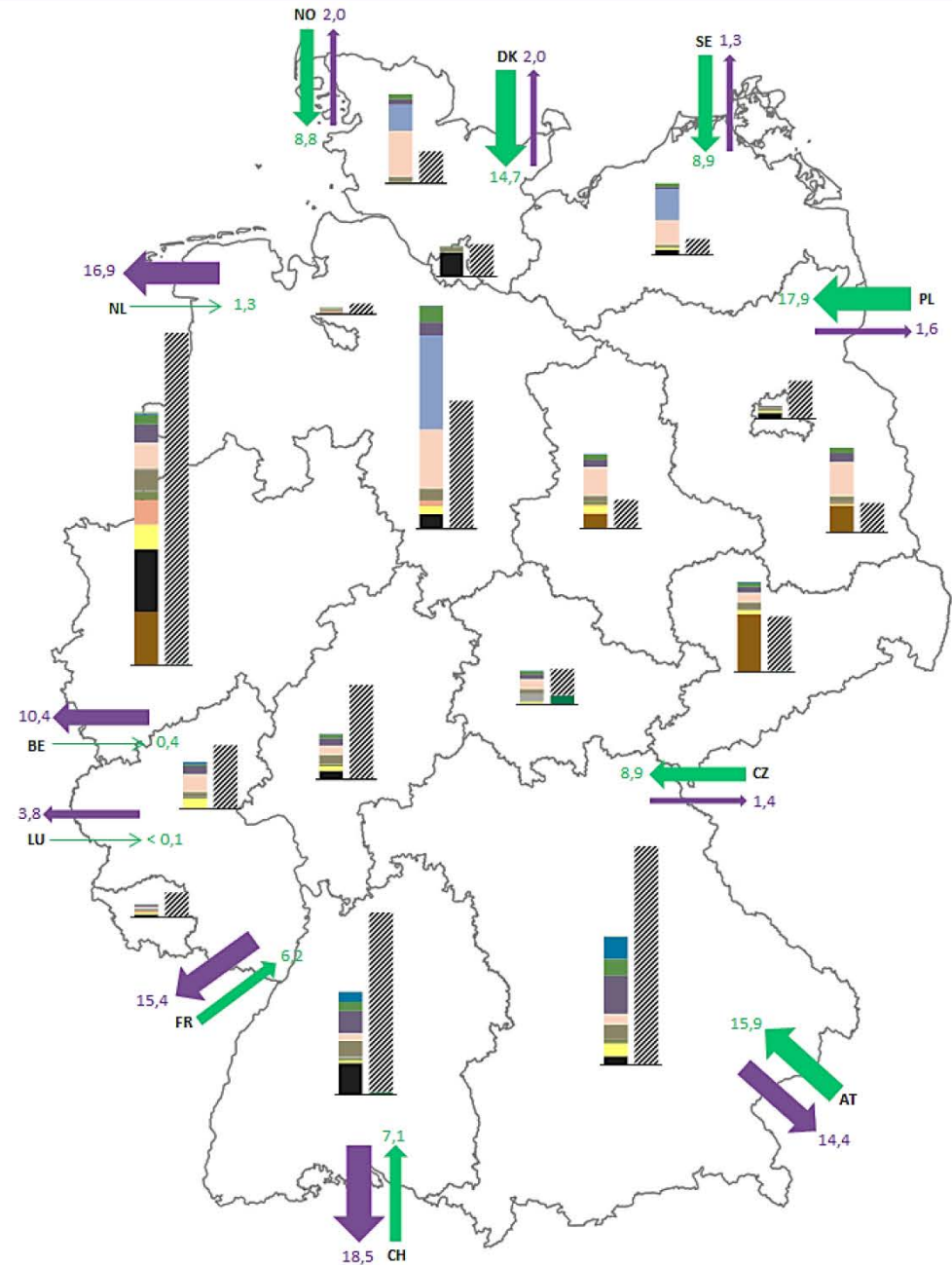
Der Markt bestimmt den Energiemix
das Netz unterscheidet nicht

Das Netz ist auf das Tagesgeschehen (Markt) dimensioniert,
nicht auf Extremsituationen!

III Marktmodellierung - Ergebnisse



- sonstige EE
- Laufwasser
- Speicherwasser
- Biomasse
- Photovoltaik
- Wind offshore
- Wind onshore
- sonstige Konventionelle
- KWK < 10 MW
- Pumpspeichereinspeisung
- Abfall
- Öl
- Kuppelgas
- Erdgas
- Steinkohle
- Braunkohle
- Band der Nachfrage (ungleichzeitig)
- Pumpspeicherentnahme





- Für jedes der vier Szenarien wird die Einspeise- und Lastsituation für jede einzelne Stunde des Jahres (2030/2035) betrachtet
→ **8.760** Netznutzungsfälle je Szenario
- Netznutzungsfälle werden auf ein Modell des Übertragungsnetzes übertragen
 - ca. 6.600 Netzknoten in Europa
 - 5.500 Stromkreise
 - rund 1.850 Transformatoren
 - 35.000 km Netzlänge (Leitungen)
- Daraus ergeben sich für diese einzelnen Netzelemente Betriebs- und Belastungswerte
- Belastungswerte dürfen dabei bestimmte Bandbreiten nicht verlassen, da sonst die Netzstabilität gefährdet würde
- Hohe Auslastungssituationen (z.B. viel Wind, geringe PV, hohe Last) sind bei der Netzberechnung besonders relevant

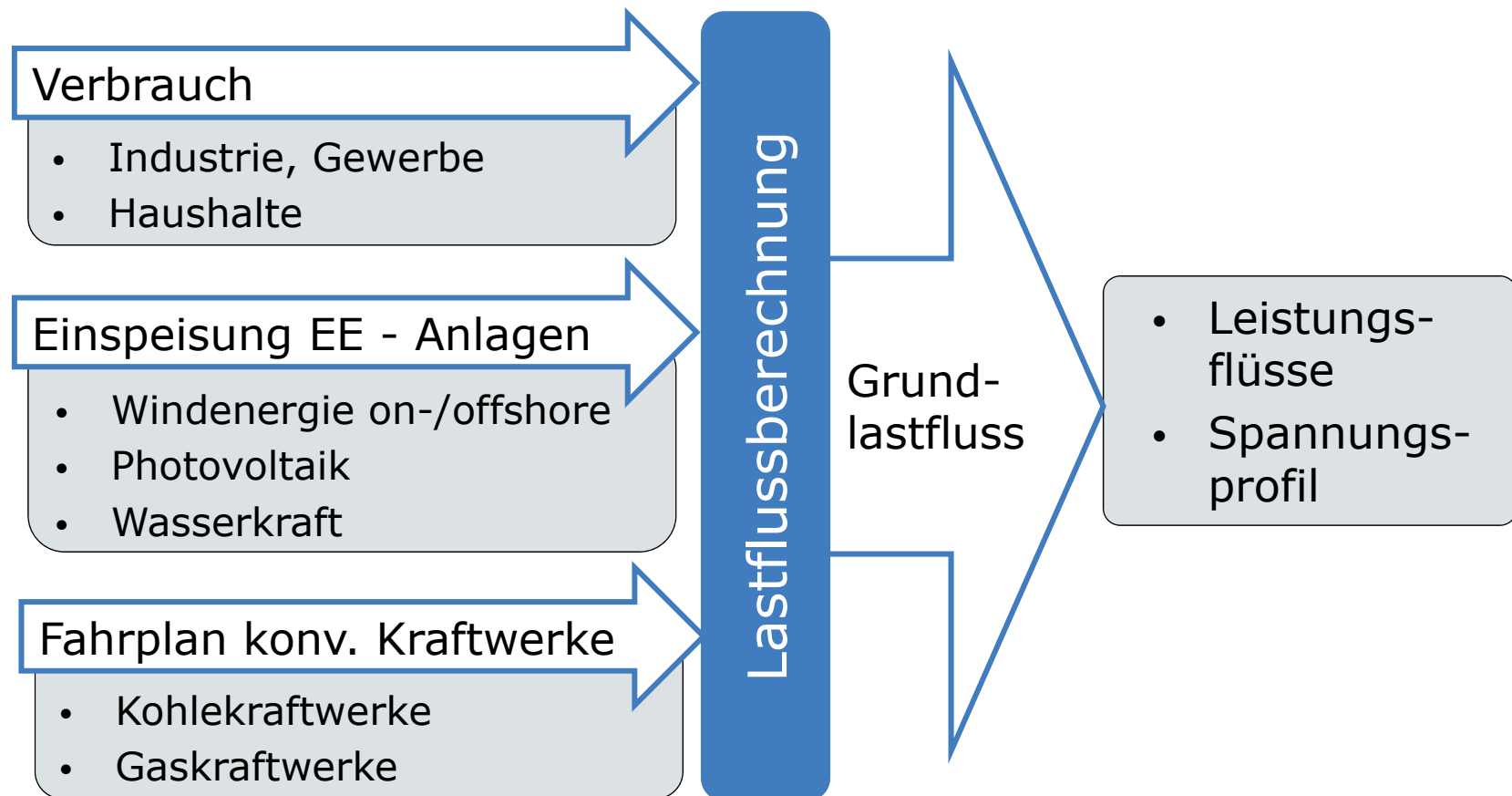
Vorgehensweise der Bundesnetzagentur



1. Lastflussberechnungen Übertragungsnetz
2. Prüfkonzent Einzelmaßnahme
3. Exemplarische Prüfung Einzelmaßnahme

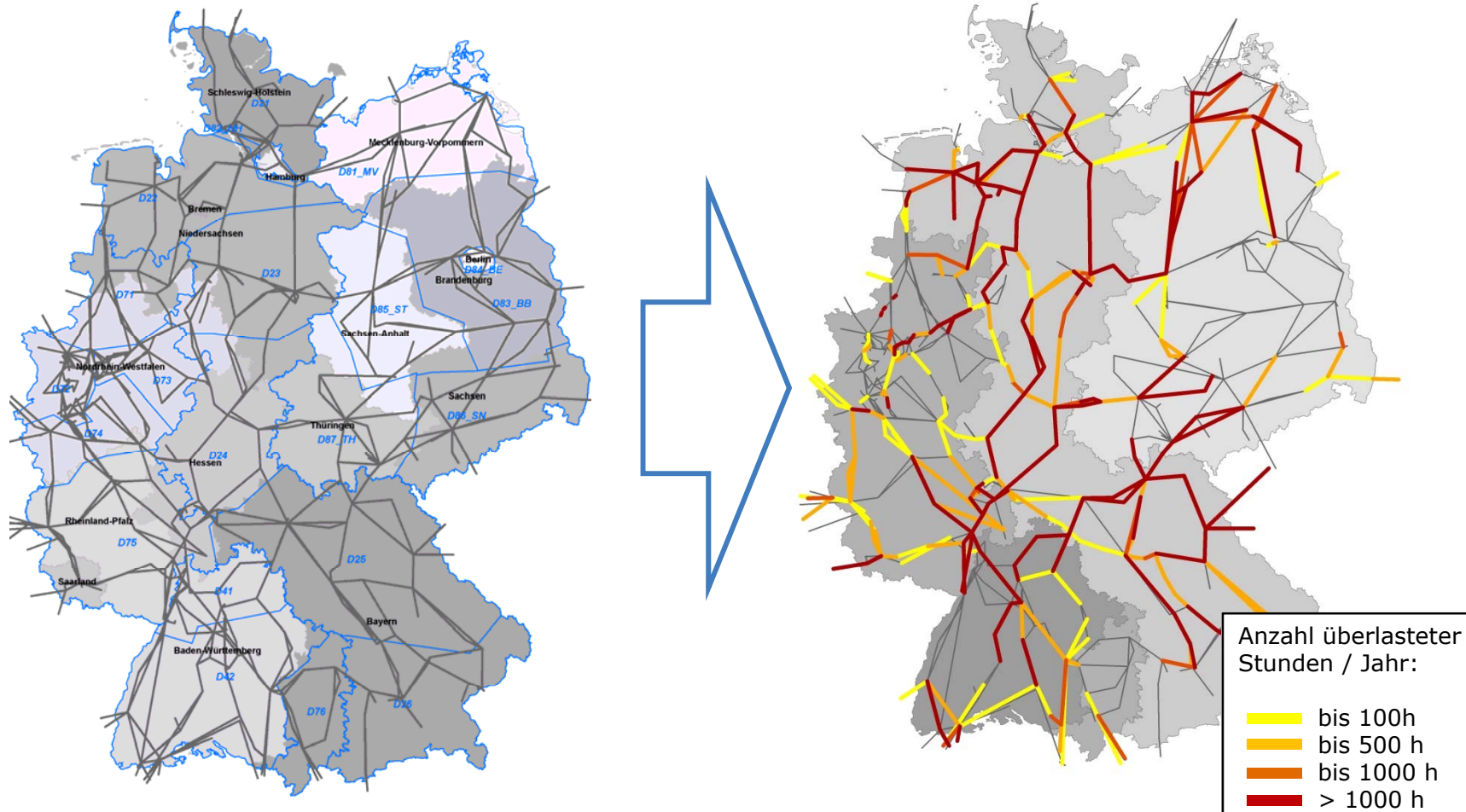


Lastflussberechnungen sind ein grundlegendes Werkzeug für Netzplanung und -betriebsführung.





Ziel der Lastflussberechnungen ist die Analyse der Auslastungen der Netzbetriebsmittel.





Für die Lastflussberechnungen wird die Netztopologie in ein Knoten-Zweig-Modell überführt.

Knoten (K1, K2, K3, K4):

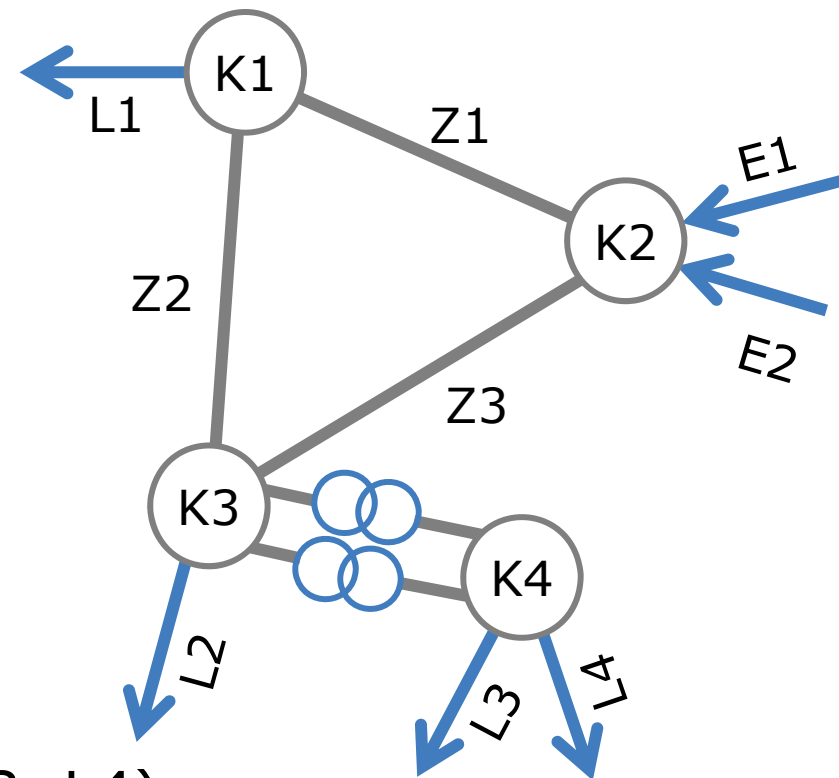
- Schaltanlage
- Abzweig

Zweige (Z1, Z2, Z3):

- Freileitung/Kabel
- (Transformator)

Ein-/Ausspeisung:

- Kraftwerke (E1, E2)
- Verbraucher (L1, L2, L3, L4)





Für jeden Knoten sind 2 der 4 Größen Wirk-/Blindleistung sowie Spannungsamplitude/–phase bekannt.

P = Wirkleistung
Q = Blindleistung

U = Spannungsbetrag
 Θ = Spannungsphase

Knotentypen	P	Q	U	θ	Beispiel
PQ - Knoten	✓	✓	x	x	Verbraucher
PU - Knoten	✓	x	✓	x	Kraftwerke
<i>Bilanzpunkt</i>	x	x	✓	✓	Abbildung Netzverluste u. Leistungsungleichgewichte



Das nicht-lineare Gleichungssystem wird iterativ mit dem Newton-Raphson-Verfahren gelöst.

$$\vec{f}(\vec{x}) = \begin{pmatrix} 3 * Re \left\{ \underline{Y}_{ii}^* U_i^2 + \underline{U}_i * \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (\underline{Y}_{ij}^* * \underline{U}_j^*) \right\} - P_{k,PQ} \\ 3 * Im \left\{ \underline{Y}_{ii}^* U_i^2 + \underline{U}_i * \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (\underline{Y}_{ij}^* * \underline{U}_j^*) \right\} - Q_{k,PQ} \\ \vdots \\ \hline 3 * Re \left\{ \underline{Y}_{ll}^* U_l^2 + \underline{U}_l * \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq l}}^N (\underline{Y}_{lj}^* * \underline{U}_j^*) \right\} - P_{k,PU} \\ \vdots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \end{pmatrix}$$



1. Lastflussberechnungen Übertragungsnetz
2. Prüfkonzent Einzelmaßnahme
3. Exemplarische Prüfung Einzelmaßnahme



Wirksamkeit

Behebt oder lindert die Maßnahme eine Überlastung?

+

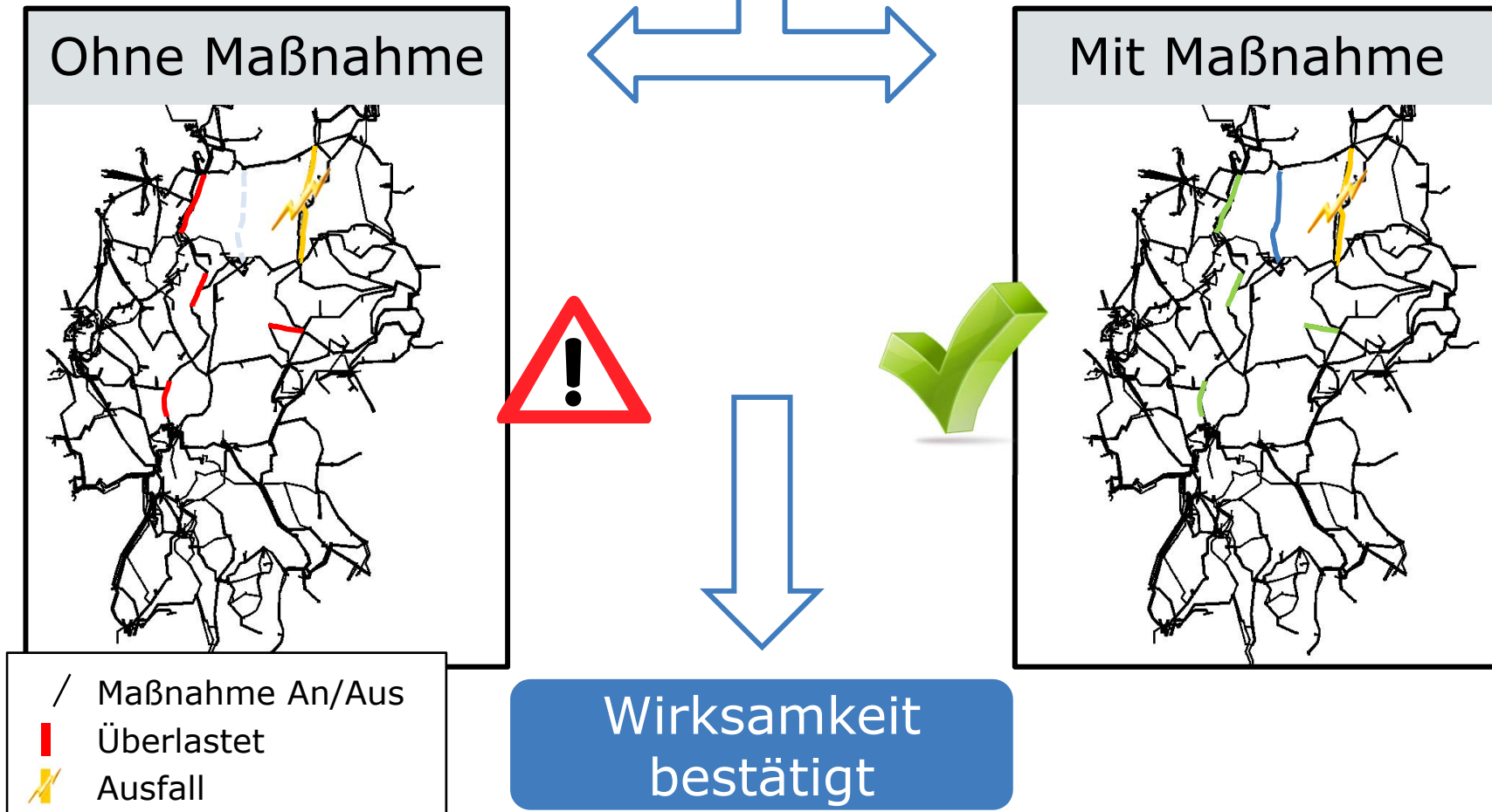
Erforderlichkeit

Ist die Maßnahme mit mindestens 20% ausgelastet?

sonstige Erwägungen

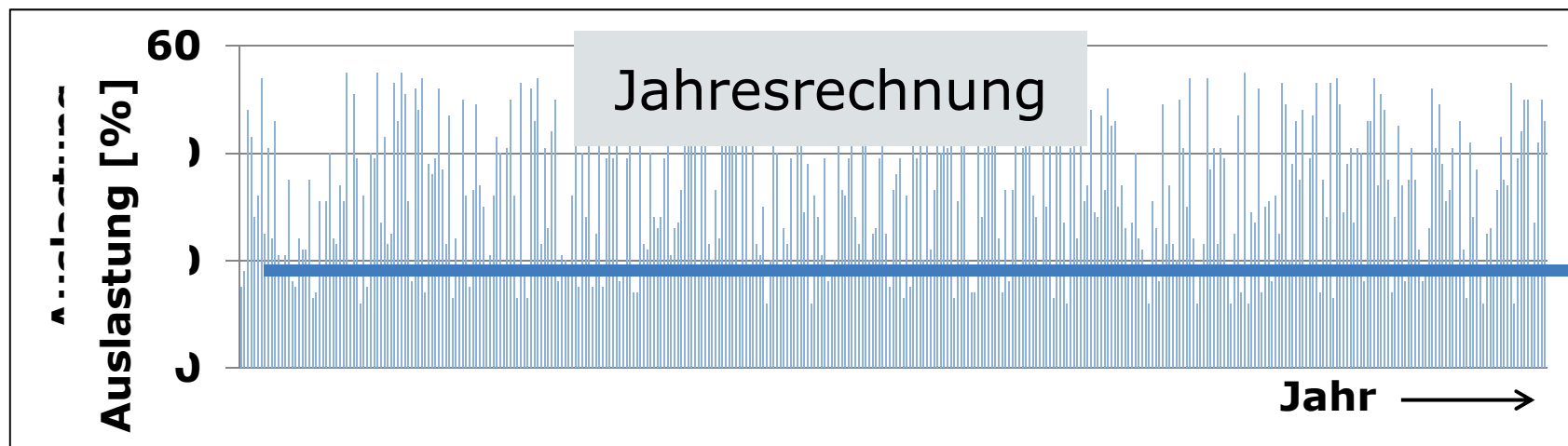
Gibt es darüber hinaus Gründe, die eine Bestätigung **oder** die Ablehnung einer Maßnahme rechtfertigen?

Überprüfung der (n-1)-Sicherheit mittels Ausfallrechnung





Überprüfung der maximalen Auslastung im Jahr



maximale Auslastung $> 20\%$

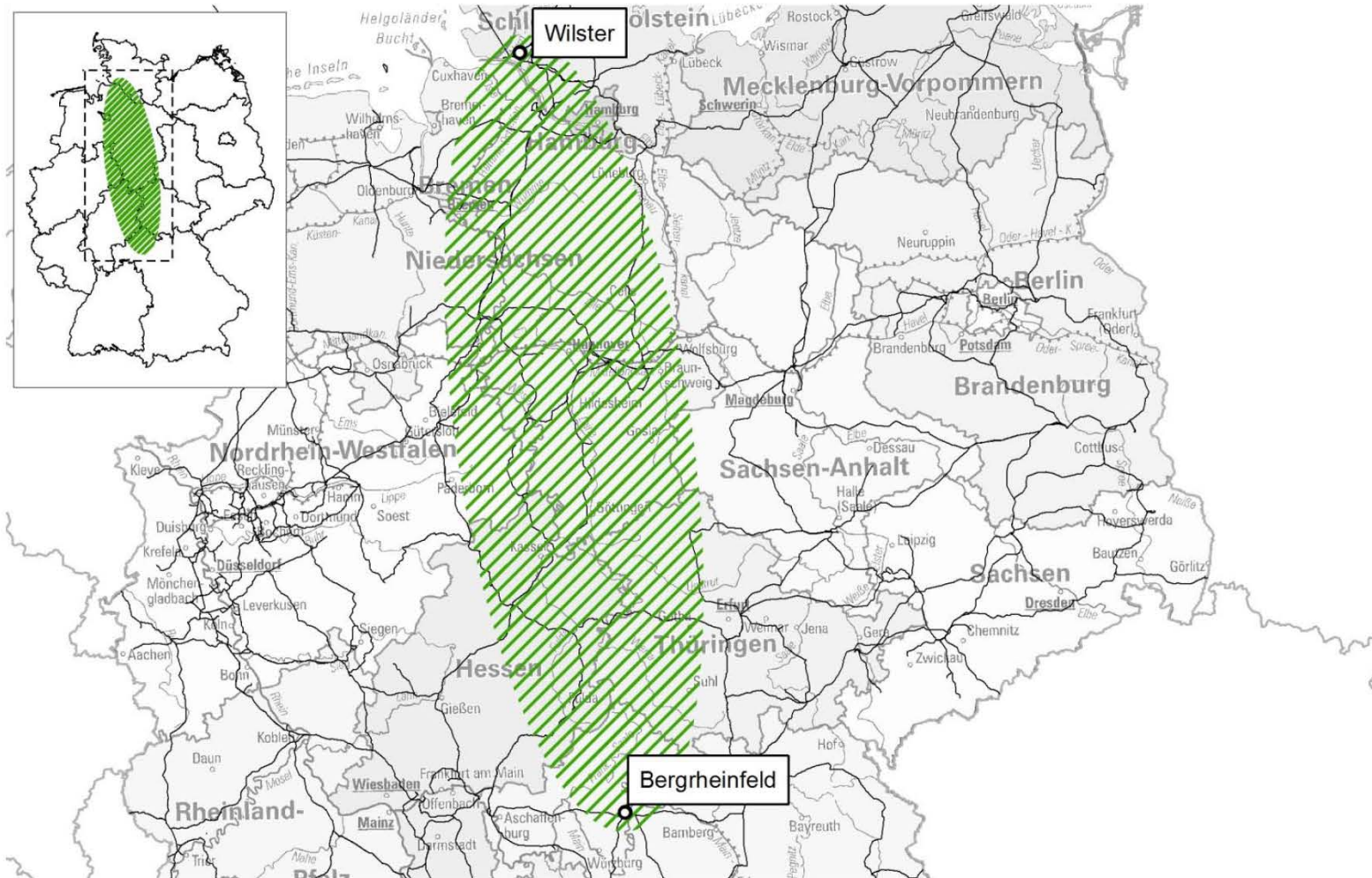


Erforderlichkeit bestätigt



1. Lastflussberechnungen Übertragungsnetz
2. Prüfkonzepit Einzelmaßnahme
3. Exemplarische Prüfung Einzelmaßnahme

DC4 – SuedLink



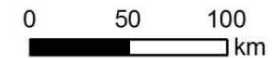
Herausgeber: Bundesnetzagentur
 Quellennachweis: © GeoBasis-DE / BKG 2016
 Datenbasis: Übertragungsnetzbetreiber
 Stand: 03.07.2017

Geprüfte Maßnahme(n)

- Wechselstrom
- Gleichstrom

Nachrichtlich:

- Vorschlag ÜNB für nächste Planungsstufe
- Startnetz





- DC4 sorgt für eine deutliche Entlastung der Stromkreise zwischen Schleswig-Holstein und den südlichen Bundesländern und erweist sich in den Szenarien A2030, B2030, C2030 und B2035 als wirksam
- **Beispiel** Prüfung Wirksamkeit:
 - Ausfall einer der beiden parallelen Leitungen zwischen Bechterdissen und Elsen
 - Berechnung auf dem Modell BBP – Netz, Stunde 605, Szenario B2030
 - Effekt von DC4: Absinken der Überlastung von 108% auf 95% im n-1 Fall
 - Derartige Situationen können für viele Fälle in allen vier Szenarien bestätigt werden (z.B. 4063 Stunden in B2030)