

Blackout Iberische Halbinsel: Weckruf für Europa

Am 28. April 2025 kam es in der Mittagszeit (12:33 Uhr) zu einem großflächigen Stromausfall auf der Iberischen Halbinsel. Dieser Vorfall wurde von einer Expertenkommission (bestehend aus Expert:innen nationaler Übertragungsnetzbetreiber, Regulatoren und ACER) untersucht, deren Zwischenbericht (Factual Report) wurde am 3. Oktober 2025 publiziert (www.entsoe.eu).

Ausgangssituation

Zu Beginn des verhältnismäßig frühen Ausbaus der erneuerbaren Stromerzeugung (v.a. Wind und PV) in Spanien hat man diesen Erzeugungstechnologien vereinfachte Netzanschlussbedingungen eingeräumt. Das führte zu einer sehr begrenzten Möglichkeit dieser Anlagen die Spannung im Netz aktiv zu regeln.

Zeitgleich hat man sich darauf verlassen, dass eine aktive dynamische Spannungsregelung in ausreichendem Umfang durch die konventionellen Kraftwerke bereitgestellt wird. In der Aufarbeitung des Blackouts wurde klar, dass auch die Regelungen für konventionelle Kraftwerke zum Teil veraltet sind und offensichtlich Spielraum für die Kraftwerksbetreiber bieten nicht unmittelbar auf Spannungsschwankungen reagieren zu müssen.

Die grundsätzlich sehr allgemein formulierten Netzanschlussbedingungen bezüglich der Spannungsregelung/-haltung wurden über viele Jahre nicht aktualisiert und sind nicht auf die aktuelle Dynamik bzw. Volatilität des Stromsystems mit hohem Anteil an Erneuerbaren ausgerichtet.

Ein weiteres Spezifikum Spaniens ist die erhöhte erlaubte Betriebsspannung von 435 kV anstelle der sonst in Europa geltenden 420 kV auf der 400 kV-Ebene, was einer reduzierten „Sicherheitsreserve“ in Bezug auf Spannungsschwankungen gleichkommt.

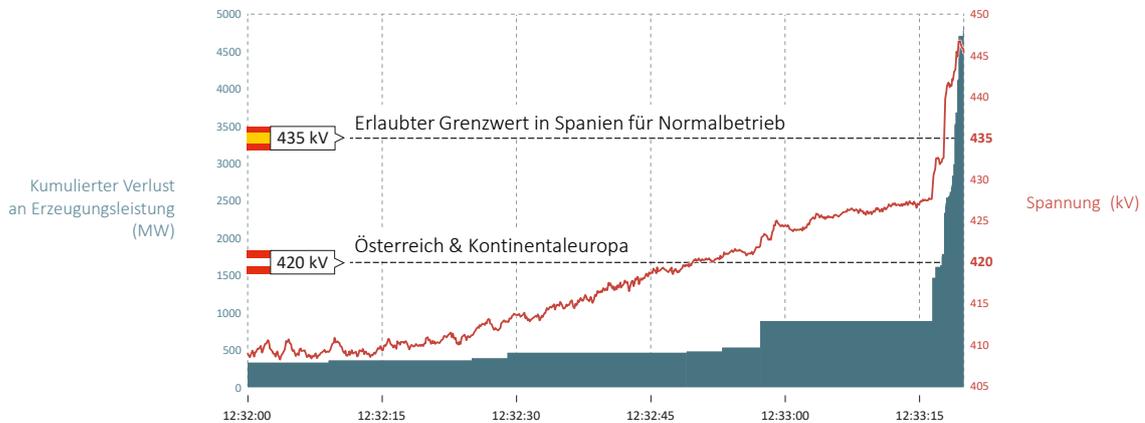
Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor waren Schwingungen im System rd. 30 min vor Blackout, die zur unmittelbaren Aktivierung von Gegenmaßnahmen (u.a. Reduktion des Exports von ES nach FR) geführt haben. Zwar konnten diese Schwingungen erfolgreich gedämpft werden, allerdings musste man dadurch den geplanten Betriebszustand verlassen.

Systemische Hergang des Blackouts

Teils frühzeitige Netztrennungen von Erzeugungsanlagen (noch vor Erreichen der für Spanien maßgebenden Spannungsgrenzen) und eine nicht ausreichende Reaktionsfähigkeit auf Spannungsschwankungen führten am 28. April 2025 letztendlich zu Kaskadenausfällen von zahlreichen Erzeugungsanlagen, was weitere Spannungserhöhungen bewirkte. In Folge gingen innerhalb weniger Sekunden mehrere Gigawatt an Erzeugungsleistung verloren und die Spannung „durchbrach“ die für das spanische Übertragungsnetz maßgebende Betriebsgrenze von 435 kV.

Als Folge kam es zu einer automatischen Trennung der Iberischen Halbinsel vom Synchrongebiet Kontinentaleuropa sowie von Marokko bzw. zu einer Aktivierung der automatischen Systemschutzpläne Spaniens und Portugals – ohne Erfolg: es folgte der Blackout. ~~Diese konnten~~ jedoch den Zusammenbruch nicht verhindern, was zu einem endgültigen Zusammenbruch (Blackout) der Stromnetze von Spanien und Portugal führte.

Entwicklung der Spannung bzw. Verlust der Erzeugungsanlagen am 28.4.2025 zw. 12:32 & 12:33:15 in Spanien



Sonderregelung für Spannungshaltung in Spanien von 435 kV im Normalbetrieb (Österreich & Kontinentaleuropa 420 kV) führten zu unzureichenden Sicherheitsreserven.

Quelle: ENTSO-E 3.10.2025

2025

1

Graphik: Entwicklung der Spannung bzw. Verlust an Erzeugungsleistung am 28.4. in den rd. 90 Sekunden vor dem Blackout.

Der zeitliche Ablauf der Ereignisse im Detail

Ab etwa 10:30 Uhr kam es zu einer höheren Volatilität des Spannungsniveaus in Spanien, allerdings ohne Verletzung der für Spanien (400-kV-Ebene) maßgebenden besonderen Betriebsgrenze von 435 kV. Bis ca. 12:00 Uhr wurden ebenfalls keine signifikanten niederfrequenten Leistungs-, Spannungs- und Frequenzschwankungen (Oszillationen) in der Iberischen Halbinsel festgestellt.

Anschließend gab es zwei Perioden mit niederfrequenten von 12:03 bis 12:08 Uhr, sowie 12:19 und 12:22 Uhr, die von den betroffenen Übertragungsnetzbetreibern (REE in Spanien, RTE in Frankreich und REN in Portugal) erfolgreich durch unterschiedlichste betriebliche Maßnahmen (z.B. Reduktion des Exports von Spanien nach Frankreich) beseitigt wurden.

Ab 12:32:57 Uhr gingen schrittweise mehrere 0,8 GW Erzeugungsleistung in einer Serie von Schutzabschaltungen von Erzeugungsanlagen vom Netz, was zu einer weiteren Spannungserhöhung führte. Innerhalb von nur zwei Sekunden (zwischen 12:33:16 und 12:33:18 Uhr) kam es zu einem signifikanten Erzeugungsausfall von ca. 2,65 GW und damit einem weiteren Spannungsanstieg um 16 kV auf bereits 443 kV.

Als Folge kam es zu einer automatischen Trennung der Iberischen Halbinsel vom Synchrongebiet Kontinentaleuropa sowie von Marokko bzw. zu einer Aktivierung der automatischen Systemschutzpläne Spaniens und Portugals. Diese konnten jedoch den Zusammenbruch nicht verhindern, was zu einem endgültigen Zusammenbruch (Blackout) der Stromnetze von Spanien und Portugal führte.

Ein Ursachenbündel führte zu einem nicht bewältigbaren Risiko im Bereich der Spannungshaltung

Als Ursache kann gemäß der Expertenkommission nicht ein einzelner Grund, sondern eine Vielzahl von Umständen bzw. strukturellen Problemen angeführt werden. Überblicksmäßig, jedoch nicht abschließend und vollständig aufgezählt, können diese wie folgt zusammengefasst werden:

- Unzureichende bzw. teils veraltete Netzanschlussbedingungen bezüglich Spannungsregelung und Blindleistungsmanagement von Erzeugungsanlagen, welche die aktuelle Dynamik im Systembetrieb nicht mehr ausreichend abdecken:
 - Aufgrund des sehr frühen Ausbaus der Erneuerbaren in Spanien galten für diese zum Zeitpunkt der Netzanschlussanfrage bzw. den damals gültigen Netzanschlussbedingungen lediglich sehr einfache technische Vorgaben. Dies führte dazu, dass ein Großteil der aktuell installierten (bzw. noch nicht modernisierten) Erneuerbaren keinen aktiven Beitrag zur Spannungsregelung leistet.
 - Die Vorgaben für konventionelle Kraftwerke beruhen ebenfalls auf veraltete bzw. zu allgemein formulierte Regelwerke
- Unterschiedliche Sichtweise bei der Interpretation regulatorischer Rahmenbedingungen (Erzeuger vs. Netzbetreiber)
- Sonderregelung für Spannungshaltung in Spanien und damit unzureichende Sicherheitsreserven: in Spanien darf der relevante ÜNB das Übertragungsnetz mit einer Spannung bis zu 435 kV im Normalbetrieb betreiben (im übrigen Synchrongebiet Kontinentaleuropa – so auch Österreich – gemäß System Operation Guideline nur bis maximal 420 kV)
- Keine Sanktionsmöglichkeit bei Nichteinhaltung der geforderten Blindleistungsbeiträge von Erzeugungsanlagen zur Spannungshaltung
- Frühzeitige Trennung von Erzeugungsanlagen, noch vor Erreichen der zulässigen Spannungsgrenzen
- Keine genauen Vorgaben bzw. Regeln in Bezug auf den Einsatz von „Must-Run“ konventionellen Kraftwerken zur Spannungshaltung

Kann das in Österreich auch passieren?

Heimisches Übertragungsnetz bestmöglich für ein robustes Management der Spannung gerüstet – klare technische Vorgaben für den Netzanschluss von Erzeugungsanlagen aller Größen:

Mit der Transformation des Energiesystems und der steigenden Komplexität in der Vernetzung unterschiedlichster energiewirtschaftlicher Akteure eröffnen sich für den Netzbetrieb neue Herausforderungen, unter anderem steigende Anforderungen im Management volatiler Spannungsverhältnisse. Das Übertragungsnetz der APG ist jedoch bestens für derartige Herausforderungen gerüstet, nicht zuletzt aufgrund klarer technischer Vorgaben für den Netzanschluss (Netzanschlussbedingungen – Technisch Organisatorische Regeln „TOR“) von

Erzeugungsanlagen (von der kleinen PV Anlage bis zum großen Wasserkraftwerk), projektspezifische Betriebserlaubnis- und Konformitätsverfahren beim Netzanschluss von Erzeugungsanlagen und innovativer betrieblicher Konzepte, wie beispielsweise eine kürzlich vollständig umgesetzte automatische Spannungsregelung (Q/U-Regelung) durch die im Übertragungsnetz angeschlossenen Donaukraftwerke.

Letztendlich ist jedoch hervorzuheben, dass überregionale spannungsbedingte Störungen europäischen Verbundnetz auch Auswirkungen auf Österreich haben können. Das Management volatiler Spannungsverhältnisse hat daher ebenfalls in enger Abstimmung der Übertragungsnetzbetreiber und relevanten Stakeholder zu erfolgen. Entsprechende Empfehlungen diesbezüglich werden auf Basis der gesammelten Erkenntnisse des 28. April im Endbericht (Final Report) vorliegen und erforderlichenfalls auch in neuen Regulativen aufgenommen.

Was braucht es, um das Risiko derartiger Vorfälle bestmöglich zu minimieren

- Versorgungssicherheit muss als Kern des Energiesystems gesehen werden
- Eine energiewirtschaftliche Gesamtsystemplanung- und -umsetzung, damit Interpretationslücken bzw. unterschiedliche Sichtweisen im System gar nicht entstehen (Stichwort: Koordination Netzbetreiber, Erzeuger, Verbraucher, sonstige Marktteilnehmer)
- Klare regulatorische Rahmenbedingungen – eindeutige und v.a. „vorausschauende“ Regelwerke für alle Akteure des Stromsystems
- Zeitgerechter Ausbau der Netzkapazitäten: Ausreichende Systemreserven für den Netzbetrieb sind zur Bewältigung ungeplanter betrieblicher Ereignisse unabdingbar
- Investitionen in den Netzausbau, auch im Bereich der Spannungshaltung bzw. dem Blindleistungsmanagement, v.a. flexible Betriebsmittel zur variablen und raschen Bereitstellung von Blindleistung (z.B. FACTS oder rotierende Phasenschieber)
- Verstärkte Nutzung von bereits oder zukünftig vorhandenen Blindleistungsquellen (v.a. Erzeugungsanlagen, elektrische Energiespeicher oder flexible Verbraucher)



GLOSSAR:

Spannung ist der elektrische Druck (in der Einheit Volt, V), der nötig ist, um Elektronen durch einen Leiter zu bewegen

Blindleistung ist ein Teil der Leistung in einem Wechselstromnetz, der zum Aufbau und Abbau von Magnetfeldern in Geräten wie Motoren und Transformatoren benötigt wird.

Spannungshaltung im Stromnetz bedeutet das Aufrechterhalten der elektrischen Spannung innerhalb enger, gesetzlich vorgeschriebener Grenzen, typischerweise bis 420 kV (Kilovolt) im Höchstspannungsnetz. Dies wird vor allem durch den Einsatz von Blindleistung erreicht, wobei kapazitive Blindleistung die Spannung erhöht und induktive Blindleistung sie senkt, um Schwankungen auszugleichen und Geräte vor Schäden oder einen kompletten Ausfall des Netzes (Blackout) zu schützen.

Netzanschlussbedingungen sind technische Vorschriften, die festlegen, wie elektrische Anlagen mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden werden dürfen, um die Stabilität und Sicherheit des Netzes zu gewährleisten. Sie umfassen technische Anforderungen an die Anlage selbst, den Zählerplatz und den Netzanschlusspunkt, regeln die Pflichten von Netzbetreiber und Anschlussnehmer.

Websites/ weiterführende Informationen:

Austrian Power Grid AG – www.apg.at

ENTSO-E (Dachorganisation der Übertragungsnetzbetreiber Europas - <https://www.entsoe.eu>)

E-Control - <https://www.e-control.at>