

Technische Anforderungen für den Anschluss von Elektrolyseanlagen an das Stromnetz

Der Deutsche Wasserstoff-Verband (DWV) e.V. begrüßt die Initiative der deutschen Übertragungsnetzbetreiber (4ÜNB), eine konsolidierte Position zu den technischen Anforderungen für den Anschluss von Elektrolyseanlagen an das öffentliche Stromnetz abzugeben, ausdrücklich und kommentiert gerne den vorliegenden Entwurf. Die DWV-Mitglieder akzeptieren insbesondere, dass zur Sicherung der Systemstabilität, aber auch zur Steigerung einer effizienten Projektplanung verbindliche Netzanschlussbedingungen einvernehmlich zwischen den Netzbetreibern und der Branche verabschiedet werden.

Die DWV sieht stellvertretend für eine Vielzahl von Elektrolyse-Herstellern und Betreibern an mehreren Stellen der zur Konsultation gestellten Anschlussbedingungen erheblichen Nachbesserungsbedarf. Nur unter Berücksichtigung unserer Einwände zu den technischen Anforderungen zum Netzanschluss der Elektrolyse-Anlagen können diese in Zukunft netzdienlich, sicher und wirtschaftlich betrieben werden.

Der geplante Ausbau der erneuerbaren Energien erhöht den Netzausbaubedarf im Übertragungs- und Verteilnetz erheblich. Die zukünftigen Elektrolysebetreiber zur Erzeugung von grünem Wasserstoff möchten durch eine intelligente Einbindung der Elektrolyseanlagen ihren Beitrag zur Reduzierung der Netzausbau- und der Kosten für die netztechnisch bedingten Abschaltungen von erneuerbaren Energieanlagen leisten. Dafür müssen jetzt die geeigneten technischen Regeln vereinbart und kontinuierlich weiter entwickelt werden.

Die Wasserstofferzeugung mit erneuerbaren Energien muss auch unter Anwendung der Netzanschlussbedingungen weiterhin nachhaltig, versorgungssicher und wirtschaftlich erfolgen können. Nur so kann die sichere Versorgung der Wasserstoffkraftwerke, Industrien und der Haushalte gewährleistet werden. Für dieses Spannungsfeld gilt es, innovative Lösungen zu finden. Die Wasserstoffindustrie ist bereit, dazu ihren Entwicklungsbeitrag hierfür zu leisten.

Der DWV fordert die 4ÜNB auf, die gestellten Anforderungen zum Netzanschluss der Elektrolyseure zu überarbeiten, sodass ein effizienter Anschluss der Elektrolyseure auch zukünftig möglich ist. Durch überzogene Anforderungen entstehen große technische und wirtschaftliche Unsicherheiten für die Unternehmen, überhaupt Elektrolyse ans Netz anschließen zu können. Es gilt, einen angestimmten Hochlauffahrplan zwischen den Akteuren abzustimmen, sodass einerseits der Hochlauf der grünen Wasserstoffproduktion in Deutschland möglich ist und andererseits durch den Betrieb der Elektrolyseure keine unvermeidbaren Risiken für den sicheren Stromnetzbetrieb entstehen.

Damit der Hochlauf der Wasserstofferzeugung zeitlich nicht verzögert wird, schlägt der DWV eine zeitlich gestufte Einführung der Anforderungen vor. Insbesondere zu Beginn des Wasserstoff-Markthochlaufs handelt es sich um nur wenige 100 MW an Elektrolyseleistung, die im Netz zu integrieren sind. Erst mit Zunahme der Installationsleistungen kann sich für das Netz eine relevante Beeinträchtigung für den sicheren Betrieb ergeben. Aus diesem

Grund ist eine leistungsabhängige Stufung der technischen Anschlussbedingungen von Elektrolyseuren einzuführen. Bis zu einer Gesamtkapazität von 1 GW der ins Netz integrierten Elektrolyseure ist nicht von einem für den sicheren Netzbetrieb relevanten Störpotenzial auszugehen.

Eventuell ist regional durch den Netzbetreiber zu ermitteln, wie viel Störleistung das Stromnetz derzeit in den Regionen mit einem hohen Netzanschlussbegehren für Elektrolyseure verträgt. Erst bei Erreichen der entsprechend relevanten Leistungen sollten für die darüber hinausgehenden Anschlussbegehren verschärfte Anschlussbedingungen gelten.

Daraus abgeleitet vertritt der DWV ein Drei-Phasen-Modell für die Einführung der Anschlussbedingungen:

Phase 1: Gegenwärtig noch keine Anwendung der Bedingungen, solange nur kleine Anlagenleistungen am Netz sind.

Phase 2: Mit zunehmendem Erfahrungsgewinn und steigenden Elektrolyseleistungen am Netz eine stufenweise Verschärfung der Anforderungen. Diese müssen transparent und einvernehmlich zwischen den Netzbetreibern und der Branche abgestimmt werden. Nur kann der Prozess planbar für Anlagebetreiber und Hersteller, ohne dass es zu einer Beeinträchtigung des Hochlaufs der grünen Wasserstoff-Marktwirtschaft kommt, umgesetzt werden.

Phase 3: Umsetzung der geforderten Netzanschlussbedingungen für Neuanlagen.

Es muss darum gehen, den Wasserstoffhochlauf einerseits nicht abzuwürgen und andererseits die Netzstabilität aufrecht zu erhalten. Eine, unter Berücksichtigung technischer Innovationen auf Seiten des Netzbetriebes und der Elektrolyseanlagen, nicht gerechtfertigte Definition der Anforderungen beeinträchtigt einerseits die Energiewende und andererseits die Position Deutschlands im internationalen Wettbewerb um den Leitmarkt der Wasserstoffindustrie.

Kernforderungen

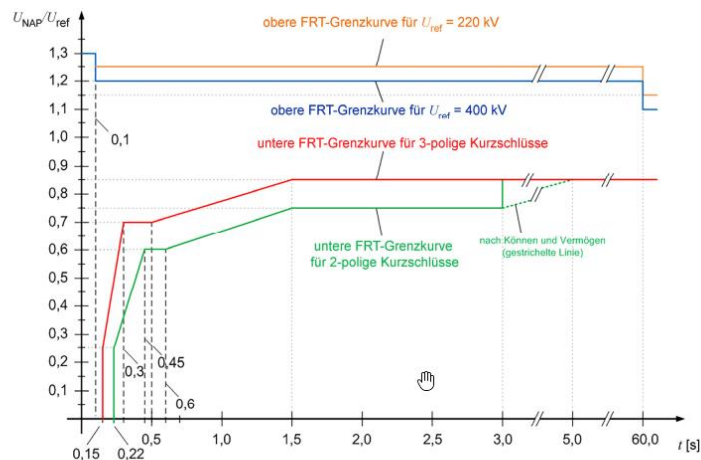
- ✓ **Zu Punkt 2.3. „Robustheit gegenüber temporären Spannungsänderungen“**
 - Die abgebildete Kurve der ACER ist zu steil. Fehlerdauern von bis zu 3 Sekunden bei entsprechend langsamer Spannungsanstiegszeit können dazu führen, dass Offsites und Utilities (z.B. Kompressoren) heruntergefahren und nicht zeitnah wieder hochgefahren werden können. Der DWV fordert deshalb aus verfahrenstechnischer Sicht die Anwendung der Typ 1-Kurve für den Betrieb von Elektrolyseuren.
- ✓ **Zu Punkt 2.4. „Wiederkehr der Wirkleistungsaufnahme nach einem Fehler“**
 - Die angegebene Anschlagzeit von 1 Sekunde ist zu kurz. Die Anschlagzeit für Elektrolyseure sollte 3-6 Sekunden betragen (Typ 1-Anlagen).
- ✓ **Zu Punkt 2.5. „Lastabwurf“**
 - Anlagen, die nicht auf der Kennlinie fahren können, sollten einen gestaffelten Lastabwurf fahren können. Anlagen, die auch dies nicht können, sollen nur den normalen Lastabwurf fahren können. Die aktive Frequenzstützung der Anlage muss optional und vergütet sein.
 - Der Paragraph sollte sich auf die Leistungsaufnahme der Anlage bei „Begin of Life“ beziehen, da sich die Leistungsaufnahme mit der Zeit verändert. Die installierte Leistung kann bei neuen Anlagen nicht angefahren werden.
- ✓ **Zu Punkt 2.8. „Regelgeschwindigkeit der Wirkleistungsanpassung“**
 - Bereich und Steigung der Rampe ist zwischen dem Anlagen- und dem Netzbetreiber abzustimmen, abhängig von der Struktur der Anlage und fluktuierenden erneuerbaren Energien, die die Anlage speisen.
- ✓ **Zu Punkt 2.10. „Blindleistung“**
 - Im Sinne des Markthochlaufs ist die Blindleistung marktlich zu beschaffen. Die selbstverursachte Blindleistung sollte selbst kompensiert werden bis maximal $\cos(\phi)=0,95$.
- ✓ **Zu Punkt 4.2. „Detaillierte Simulationsmodelle“**
 - Die Anforderung eines detaillierten Simulationsmodells inklusive sämtlicher Komponenten, die einen nennenswerten Einfluss auf das Verhalten des Gesamtsystems haben, ist verständlich. Allerdings ist sie sowohl technisch als auch zeitlich zu weitreichend. Die technische Reife der etablierten Simulationstools ist noch nicht gegeben. Elektrotechnische Simulationstools sind bereits vorhanden und müssen stufenweise angepasst werden. RMS- und EMT-Modelle befinden sich in der Entwicklung und Validierung und können erst im zweiten Schritt verfahrenstechnisch erweitert werden.

- Die definierten HIL-Schnittstellen stellen eine zusätzliche Hürde dar, auch wenn sie perspektivisch sinnvoll sind. Das HIL-System ist nicht weiter konkretisiert und somit fehlt die Grundlage für die Entwicklung der Simulationsmodelle.
- ✓ **Zu Punkt 5. „Nachweis (Ausblick)“**
 - Der Prüfstand scheidet zur Prüfung der Anlagen auf Grund der Größe der kleinsten repräsentativen Einheiten aus. Eine Feldtestung kommt in Frage.
 - Die kleinste repräsentative Einheit ist ohne das Konvertersystem zu definieren, da diese ohnehin bereits typgeprüft sind und das Verhalten des verfahrenstechnischen Teils der Anlage nicht bestimmen.

Forderungen im Detail

– **2.3. Robustheit gegenüber temporären Spannungsänderungen (FRT-Fähigkeit)**

- Zweiter Spiegelstrich: Nachweisführung muss konkretisiert werden. Es wird nicht beschrieben, wie diese Energiemenge bestimmt wird.
- Zu ANMERKUNG 2 Bedarf weitere Konkretisierung. Es ist unklar welche Fehlerausgangsbedingungen hier vorausgesetzt wird und welche Gradienten als sprunghafte Spannungsänderung definiert werden. Wie ist der Zustand Fehlereintritt mit dem Ausgleichsvorgang nach Fehlerklärung zu differenzieren?
- Abbildung 2 Seite 7: Bedarf weitere Präzisierung. Es ist unklar, wie Instabilitäten definiert sind. Sind prozesstechnische Instabilitäten ebenfalls relevant?
- Zu ANMERKUNG 4: Bedarf weiterer Klärung und Präzisierung. Wie ist ein erneuter Fehlereintritt während oder direkt nach Fehlerklärung zu bewerten und zu identifizieren?
- Abbildung 2 Seite 8: Bei langen Fehlerzeiten ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass der Prozess bereits abschlossen ist und alle Elektrolyseure abgeschaltet sind und neu hochgefahren werden müssen.
 - Fehlerdauern von bis zu 3 Sekunden bei entsprechende langsamer Spannungsanstiegszeit können dazu führen, dass Offsites und Utilities (z.B. Kompressoren) heruntergefahren sind und nicht zeitnah wieder hochgefahren werden können.



Legende

U_{NAP} Effektivwert der aktuellen Spannung am Netzanschlusspunkt

Bild 11 – Fault-Ride-Through-Grenzkurve (FRT) für den Spannungsverlauf am Netzanschlusspunkt für eine Erzeugungsanlage vom Typ 1

- Aus verfahrenstechnischer Sicht und insbesondere unter Berücksichtigung der offsites und utilities (Kompressoren) ist die Typ1-Kurve anzuwenden und nicht die abgebildete ACER-Kurve.

- **2.4. Wiederkehr der Wirkleistungsaufnahme nach einem Fehler**
 - Anschlagzeit darf maximal der Dynamik für Typ 1 Anlagen entsprechen (3-6 Sec).

- **2.5. Lastabwurf und Wirkleistungsanpassung bei Über- und Unterfrequenz**
 - **Lastabwurf** Forderung: Anlagen, die nicht auf der Kennlinie fahren können sollten einen gestaffelten Lastabwurf fahren können. Anlagen, die auch dies nicht können, sollen nur den normalen Lastabwurf fahren können. Die aktive Frequenzstützung der Anlage muss optional und vergütet sein.
 - **Wirkleistungsanpassung bei Über- und Unterfrequenz**
Forderung: Der Paragraph sollte sich auf die Leistungsaufnahme der Anlage bei „Begin of Life“ beziehen, da sich die Leistungsaufnahme mit der Zeit verändert. Die installierte Leistung kann bei neuen Anlagen nicht angefahren werden.

- **2.7 Netzsicherheitsmanagement**
 - Für den stabilen Betrieb der Elektrolyse dürfen gewisse Leistungsgradienten nicht überschritten werden. Diese Gradienten sind dabei abhängig vom Zustand der Anlage. So kann man eine bereits warme Anlage voraussichtlich in dem genannten Gradientenbereich betreiben, eine kalte Anlage hingegen nicht. Es ist auch nicht festgehalten, ob der Gradient über den kompletten Lastbereich gelten soll. Darüber hinaus sind diese Gradienten auch Technologieabhängig. So können PEM-Elektrolyseure grundsätzlich Leistungsgradienten von deutlich über 20 % P_{inst} pro Minute realisieren, im Gegensatz zur alkalischen Wasserstoffelektrolyse. Daher sollte man diese

- Werte aus Sicht des DWV nicht festschreiben bzw. Vorgeben, ohne auf Technologie, Zustand und Betriebsbereich einzugehen.
- Wir schlagen darüber hinaus vor, das Netzsicherheitsmanagement auf Einheitenebene und nicht auf Anlagenebene zu realisieren.
 - Zu klären ist der Umgang mit zum Zeitpunkt der Anforderung inaktiven Einheiten, die eine deutlich erhöhte Anfahrzeit aufweisen oder zum Beispiel durch laufende Wartungsarbeiten gar nicht angefahren werden können.
- **2.8 Regelgeschwindigkeit der Wirkleistungsanpassung**
- 10% /min ist zu deutlich zu gering, auch wenn der Netzbetreiber die Rampe kennen muss
 - Forderung: Bereich und Steigung der Rampe ist abzustimmen und abhängig von Struktur der Anlage und von fluktuierenden Erneuerbaren Energien, die die Anlage speisen.
 - Erläuterung: Der maximale Gradient für Wirkleistungsanpassungen von 10% P_{inst} pro Minute stellt eine massive Einschränkung für den Betrieb der Elektrolyseure dar.
 - Durch die Limitierung wird die Integration von Elektrolyseanlagen in Netze mit erneuerbarem Erzeugerprofil eingeschränkt. Aus diesem Grund sehen wir die Übernahme der in der derzeitigen Version der VDE-AR-N 4130 Anwendungsregel:2018-11 angeführten Wirkleistungsgradienten als Minimalanforderung. Darüber hinaus können höhere Wirkleistungsgradienten technisch sinnvoll und erforderlich sein, hier sehen wir weiteren Diskussionsbedarf.
 - Die Forderung eines zu niedrigen Wirkleistungsgradienten könnte für Prozesse mit wechselndem Wasserstoffbedarf die Erfordernis von zusätzlichen Wasserstoffspeichern, die zusätzliche Kosten und Komplexität bedeuten. Auf rapide Verfügbarkeitsverluste der Wasserstoff-Bereitstellung könnte nicht mit einem äquivalenten Anstieg der Wasserstoffproduktion reagiert werden. Hier möchten wir eine Diskussion mit den Wasserstoffverbrauchern anregen.
 - Gerade für PEM-Elektrolyseure sieht der DWV daher die Wirkleistungsanpassung von 10% P_{inst} pro Minute als Einschränkung, da die Technologievorteile in Form einer hohen Prozessdynamik zusammen mit dem breiten Betriebsfenster deutlich limitiert würden.
 - Der DWV sieht den Vorschlag der anlageninternen betrieblichen Optimierung von Mischanlagen als minimale Anforderung für einen sinnvollen Hochlauf der deutschen Wasserstoffproduktion. Darüber hinaus sehen wir schnellere Leistungsgradienten als erforderlich an, auch wenn sich erneuerbare Erzeugungseinheiten nicht im Umfang einer Mischanlage befinden.
- **2.9 Dynamische Netznutzung**
- Bedarf weiterer Präzisierung. Welche Anforderungen gelten für die Blindstromeinspeisung je Leiter in Abhängigkeit von P_{inst} oder P_{AV} wenn diese durch FATCS o.ä. gewährleistet wird?
- **2.10. Blindleistung**

- Im Sinne des Markthochlaufs ist die Beschaffung der Blindleistung marktlich zu beschaffen. Die selbstverursachte Blindleistung sollte selbst kompensiert werden bis maximal $\cos(\phi)=0,95$.
 - Zu Anmerkung 1: Bedarf weitere Präzisierung. Welche Anforderungen gelten für die Blindleistungsbereitstellung im STATCOM-Betrieb ($P_{\text{mom}}=0$)?
- **4.2. Detaillierte Simulationsmodelle**
- Erster Satz: *„Die Voraussetzung für eine hinreichend genaue Bewertung der elektrischen Eigenschaften ist ein detailliertes Simulationsmodell inklusive sämtlicher Komponenten, die einen nennenswerten Einfluss auf das Verhalten des Gesamtsystems haben.“*
 - Wir haben Verständnis für die Anforderung, halten sie jedoch sowohl technisch als auch zeitlich für zu weitreichend. Die technische Reife der etablierten Simulationstools ist noch nicht gegeben. Elektrotechnische Simulationstools sind bereits vorhanden und müssen stufenweise angepasst werden. RMS- und EMT-Modelle befinden sich in der Entwicklung und Validierung und können erst im zweiten Schritt verfahrenstechnisch erweitert werden.
 - *„Die definierten Schnittstellen zwischen DLL und Simulationssoftware sollten grundsätzlich mit Hardware-In-the-Loop-(HIL)-Anwendungen kompatibel sein.“*
 - Zusätzliche Hürde und auch perspektivisch sinnvoll. HIL-System ist nicht konkretisiert und somit fehlt die Grundlage für die Entwicklung der Simulationsmodelle.
- **5. Nachweis**
- **Test der Einheit:** Tests mit repräsentativen Einheiten auf dem Prüfstand und Validierung von Simulationsmodellen der Elektrolyseeinheiten auf Basis von Messungen auf dem Prüfstand.
 - Der Prüfstand scheidet auf Grund der Größe der kleinsten repräsentativen Einheiten aus. Eine Feldtestung kommt in Frage.
 - Es ist fraglich, ob einheitliche Prüfungen sinnvoll sind auf Grund von unterschiedlichen Netzbedingungen (z.B. Spannung)
 - One size fits all ist nicht möglich. Durch notwendige Kundenanpassungen unterscheiden sich auch Anlagen eines Types untereinander.
 - Tabelle: 2.9 Dynamische Netzstützung
 - Trifft nur auf IGBT-basierte Systeme zu, die dafür ohnehin typgeprüft sind. Sollte daher nicht als Test für die kleinste repräsentative Einheit gefordert werden.
 - Tabelle: 2.10. Blindleistung(-sverhalten)
 - Trifft nur auf IGBT-basierte Systeme zu, die dafür ohnehin typgeprüft sind. Punkt sollte gestrichen werden, da Anforderung auf Anlagenebene gilt, kann diese nicht vollständig auf Basis der kleinsten Anlage nachgewiesen werden.
 - Tabelle: 2.11 Interaktionen
 - Präzisierung erforderlich

- VDE-AR-4130 Kapitel 5.4 Netzurückwirkungen
 - Punkt streichen. Konverter ist bereits typgeprüft und Netzurückwirkungen müssen ohnehin in Netzstudie betrachtet und ggf. durch Zusatzequipment ausgeglichen werden.
- VDE-AR-4130 Kapitel 5.5 Blindleistungsverhalten
 - Ist ebenfalls typgeprüft

Der DWV fordert die Netzbetreiber auf, die vorgeschlagenen Änderungen in seinen Netzanschlussbedingungen vollumfänglich zu berücksichtigen. Gemessen an Umfang und Komplexität der genannten Forderungen, schlägt der DWV einen zweiten Workshop vor, um die Weiterentwicklung der Netzanschlussbedingungen für Elektrolyseure konstruktiv zu begleiten.

Berlin, 28. März 2024

Kontakt:

Werner Diwald
Vorstandsvorsitzender DWV
Tel. +49 172 3974410
politik@dwv-info.de

Friederike Lassen
Leiterin Politik und Regulierung
Tel. +49 172 790 4992
lassen@dwv-info.de

Der **Deutsche Wasserstoff-Verband e.V. (DWV)** vertritt seit 1996 die Interessen seiner Mitglieder für die Förderung eines schnellen Markthochlaufs des Energieträgers Wasserstoff und der Brennstoffzellentechnologie. Das Ziel ist, die grüne Wasserstoff-Marktwirtschaft als Bestandteil einer nachhaltigen, wirtschaftlichen und versorgungssicheren Energiewirtschaft voranzutreiben. So können die Klimaziele effizient erreicht und gleichzeitig der Erhalt der Versorgungssicherheit und des Industriestandorts Deutschland sowie der EU gewährleistet werden. Wasserstoff, der mit erneuerbaren Energien erzeugt wird, nimmt dabei eine entscheidende zentrale Rolle ein.

Im Mittelpunkt der Verbandsaktivitäten stehen die Implementierung und Optimierung der erforderlichen marktwirtschaftlichen, technologischen und ordnungsrechtlichen Rahmenbedingungen für die Wasserstoffwirtschaft in den Bereichen Anlagenbau, Erzeugung, Transportinfrastruktur und Anwendungstechnologien. Um diese Herausforderungen global zu lösen, setzt sich der DWV auch für eine internationale nachhaltige Zusammenarbeit ein. Unsere 400 persönlichen Mitglieder und über 180 Mitgliedsinstitutionen und -unternehmen stehen für bundesweit mehr als 1,5 Millionen Arbeitsplätze. Der Verband repräsentiert somit einen bedeutenden Teil der deutschen Wirtschaft.