

4.1 Blaupause 8: Bereitstellung von Regelleistung aus einem Pool dezentraler Anlagen

Blaupause	
Zielgruppen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aggregatoren, VKW-Betreiber ■ Betreiber flexibler Anlagen, Anlagenhersteller ■ Übertragungsnetzbetreiber
Ausgangslage und Problemstellung	<p>Ein Großteil der Regelleistung wird derzeit noch aus konventionellen Kraftwerken bereitgestellt. Künftig werden jedoch dezentrale Anlagen eine wichtige Rolle bei der Bereitstellung von Regelleistung spielen müssen. Trotz der in den letzten Jahren vorgenommen Anpassungen der Präqualifikationsbedingungen und des Ausschreibungsdesigns für Regelleistung zu Gunsten von dezentralen Anlagen, stellen die hohen technischen Anforderungen, regulatorische Hürden und fehlende wirtschaftliche Anreize eine Herausforderung für das Erschließen weiterer dezentraler Anlagen und neuer Technologien für die Erbringung von Regelleistung dar.</p>
Lösungsansatz	<p>Die in SINTEG erprobten Lösungen konnten zeigen, dass zukünftig Regelleistung aus dezentralen Anlagen erbracht werden kann (Windenergieanlagen, Anlagenpools), die derzeit noch nicht oder nur in sehr geringem Umfang zur Regelleistungserbringung beitragen.</p>
Einordnung in Prozessschema der Flexplattformen	<div style="text-align: center;"> <p>SDL für den gestörten Betrieb</p> <div style="border: 2px solid #00AEEF; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center; color: #00AEEF;">SDL für den ungestörten Betrieb</p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">Frequenzhaltung</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin: 5px 0;"> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; width: 40%;">Regelleistung</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; width: 40%;">Momentan-reserve</div> </div> </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;">Spannungshaltung</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;">Betriebsführung und Netzengpassmanagement</div> </div> </div>
Technologiereifegrad	<div style="text-align: center;"> </div> <p>TRL 7 – 9: Von z. T. Prototyp mit systemrelevanten Eigenschaften existiert und wird im Betriebsumfeld getestet bis zu z. T. kommerziellem Einsatz.</p>
Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <ul style="list-style-type: none"> ■ PQ-Anforderungen für dezentrale Anlagen </div> <div style="text-align: center;"> <ul style="list-style-type: none"> ■ Energiestudio - Markt/Kunde ■ Dyn. Netzstabilisierung </div> <div style="text-align: center;"> <ul style="list-style-type: none"> ■ Hybridgroßspeicher Varel </div> <div style="text-align: center;"> <ul style="list-style-type: none"> ■ Erneuerbare-Energien-Kraftwerk ■ Speicherregelkraftwerk Curslack </div> <div style="text-align: center;"> </div> </div>
Innovationsgehalt	<ul style="list-style-type: none"> ■ Windkraftanlagen sind bisher nur für negative Minutenreserve präqualifiziert. Durch SINTEG konnten Ergebnisse aus Pilotprojekten bestätigt werden (Erbringung höherer Regelleistungsqualitäten; positive Regelleistung). ■ Verbessertes Pool-Management und neue Erbringungskonzepte wurden erprobt, um das Regelleistungspotenzial weiterer dezentraler Anlagen zu erschließen.



Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit

- Nicht-technologiespezifische Markteintrittsbarrieren für Anlagen im Pool wurden in SINTEG adressiert und sind mittlerweile bzw. werden mit kommenden Anpassungen durch die ÜNB in die gültigen Marktregeln und Präqualifizierungs-Bedingungen (PQ-Bedingungen) überführt.
- Steigende Regelleistungspreise sind aufgrund fehlender Wirtschaftlichkeit Voraussetzung, um Regelleistungsbereitstellung aus dezentralen Anlagen zu skalieren.

PROBLEMSTELLUNG

Frequenzhaltung mittels Bereitstellung von Regelleistung (RL) ist essenziell für einen sicheren und effizienten Systembetrieb. Derzeit erbringen immer noch konventionelle Kraftwerke einen Großteil der RL (dena, 2020a). Lediglich Wasserkraftwerke bzw. Pumpspeicher, sowie Batteriespeicher stellen darüber hinaus einen nennenswerten Anteil an der präqualifizierten Leistung (50Hertz, Amprion, TenneT & TransnetBW, 2020). Bei einem steigenden Anteil fluktuierender Erzeugung und zunehmender Elektrifizierung steigt der Bedarf an Regelleistung bis 2050 an; insbesondere für die Bereitstellung negativer Minutenreserve (mFRR) (dena, 2020a). Gleichzeitig sinkt marktgetrieben künftig die dauerhaft verfügbare Kraftwerksleistung konventioneller Erzeuger gerade für die Bereitstellung von Primär- (Frequency Containment Reserve - FCR) und Sekundärregelleistung (automatic Frequency Restoration Reserve - aFRR). Dies gilt ebenso für Pumpspeicherkraftwerke, so dass bis 2030 Situationen entstehen können, in denen der Regelleistungsbedarf nicht mehr ausschließlich durch die konventionellen Erbringer gedeckt werden kann (dena, 2015).

Daher müssen künftig erneuerbare Energien und dezentrale Anlagen eine Schlüsselrolle in der Erbringung aller Regelleistungsqualitäten spielen. Volatile erneuerbare Energien und stochastische Verbrauchsanlagen zeichnen sich dadurch aus, dass sie keinem definierten Fahrplan folgen oder einen fixen Arbeitspunkt aufweisen. Stattdessen muss das Verhalten derartiger Anlagen prognostiziert werden. Im Regelfall können derartige Anlagen damit erst im Pool die Erbringungssicherheit sowie Mindestangebotsgröße (Megawatt - MW) und Erbringungsdauer bzw. Mindestvolumina (Megawattstunde - MWh) erreichen, die auf dem Regelleistungsmarkt gefordert werden (DESIGNETZ, 2021c, 407ff). Es bestehen also technische Herausforderungen, um die beschränkten Eigenschaften dezentraler Anlagen mit den systemischen Anforderungen an die Regelleistungserbringung in Einklang zu bringen. Neben Flexibilisierung spielt die Koordination der dezentralen Anlagen mittels IKT hierfür eine entscheidende Rolle.

AUSSERHALB VON SINTEG ERREICHTER KENNTNIS- UND ENTWICKLUNGSSTAND

Bereits im Jahr 2014 untersuchte das Fraunhofer IWES ein Nachweisverfahren für die Bereitstellung von Regelleistung aus Windenergieanlagen (Fraunhofer IWES, 2014b). Ein in diesem Rahmen entwickeltes Nachweisverfahren wurde in den PQ-Bedingungen zur Bereitstellung von Minutenreserve aus Windkraftanlagen für die seit 2015 laufende Pilotphase der ÜNB aufgenommen (50Hertz, Amprion, TenneT & TransnetBW, 2018). Die Pilotphase diente dazu die Eignung der Windkraft zur Erbringung von Minutenreserveleistung zu untersuchen und die PQ-Kriterien in einem engen Praxisbezug zu überprüfen. Im Jahr 2020 wurden Bestimmungen für Windenergieanlagen in die offiziellen PQ-Bedingungen überführt. Mittlerweile ist eine geringe Leistung aus Windkraft für die Erbringung negativer Minutenreserve präqualifiziert. Nach BDEW (2019) bieten bereits präqualifizierte Windenergieanlagen jedoch aufgrund anderer Vermarktungsmöglichkeiten derzeit keine Regelleistung an (BDEW, 2019).

Die Bereitstellung aus Regelleistung durch einen Anlagenpool aus Wind- und Photovoltaikparks wurde in Fraunhofer IWES (2017) untersucht, sowie im Zuge des Forschungsprojektes Kombikraftwerke 2 (Fraunhofer IWES, 2014a). Das Pilotprojekt DSM (Demand Side Management/Lastmanagement) Baden-Württemberg beschäftigte sich unter anderem mit Bereitstellung von Regelleistung durch flexible, kleine Lasten und damit verbundene Hemmnisse (dena, 2020b).

Um neuen Anbietern den Zugang zum Regelleistungsmarkt zu ermöglichen und den Wettbewerb zu stärken, wurden bereits weitreichende Anpassungen der Bedingungen zur Erbringung von Regelleistung umgesetzt. Beispielsweise wurde während der SINTEG-Laufzeit mit der Umsetzung der Electricity Balancing Guideline (EU-VO 2017/2195) im Jahr 2020 die Dauer der Produktzeitscheiben für FCR auf 4h verkürzt. Dadurch wurde dieses Regelleistungprodukt für Anlagen attraktiv und möglich, die bisher keine Rolle bei der Bereitstellung gespielt hatten, so wie beispielsweise Lüftungsanlagen, deren Vermarktung in C/sells erforscht wurde (C/sells, 2021, S. 357).

Weiterhin wurden die Präqualifikationskriterien (PQ-Kriterien) im Rahmen der Implementierung der Electricity Balancing Guideline (EB GL) und der System Operation Guideline (SO GL) im Jahr 2019 neugestaltet (BDEW, 2019). Insbesondere wurde die Möglichkeit vorgesehen, einzelne Anlagen zu Reserveeinheiten bzw. -gruppen zusammenzufassen und für die Regelleistungserbringung zu qualifizieren. Darüber hinaus wurde auch die regelzonenübergreifende Besicherung von Anlagen zugelassen, die Ausschreibintervalle und Produktzeitscheiben verkürzt sowie für kleine Anbieter die Möglichkeit eröffnet, Angebote unterhalb der Mindestgröße abzugeben.

Durch die Ermöglichung des Marktzugangs für Anlagenpools, bieten mittlerweile viele in Deutschland aktive Aggregatoren mittels virtueller Kraftwerke die Bereitstellung unterschiedlicher Regelleistungsqualitäten an (FFE, 2019). Heutzutage wird diese Vernetzung zur Bereitstellung von Regelleistung in einem Anlagenpool vor allem von Biomassekraftwerken genutzt (Kraft, Lehmann, Klemp, Kumm et al., 2021). Darüber hinaus werden auch Kraft-Wärme-Kopplungs (KWK)-Anlagen, Batteriespeicher, flexible Verbraucher und Power-to-X-Anlagen für die Bereitstellung von Regelleistung aus virtuellen Kraftwerken herangezogen.³⁵ Einzelne Anbieter haben auch auf der Basis spezieller Messkonzepte Pools aus Hausspeichern für die Primärregelleistung präqualifiziert (sonnen, 2020).

Weiterhin wurden in 2020 mit der Umsetzung der EU-Elektrizitätsbinnenmarktverordnung (EU-VO 2019/943) Regularitätsmärkte für die Beschaffung von aFRR und mFRR eingeführt (BNetzA, 2019a). Über die Regularitätsmärkte ist es möglich, Flexibilität auch kurzfristig vor dem Erbringungszeitraum anzubieten (Abgabe von Geboten bis zu eine Stunde vor Erbringungszeitraum), womit den Anforderungen dezentraler Anlagen Rechnungen getragen wird. Bisher ist der eingeführte Regularitätsmarkt allerdings von geringer Liquidität geprägt und ein entsprechend positiver Effekt noch nicht erkennbar.

IN SINTEG AUFGEZEIGTE WEITERFÜHRENDE LÖSUNGEN BZW. ALTERNATIVE LÖSUNGSANSÄTZE

Die im Rahmen von SINTEG untersuchten Lösungen demonstrieren die mögliche Einbindung unterschiedlicher, dezentraler Anlagentypen in einem Pool zur Erbringung von Regelleistung. Die Erfüllung der anlagentechnischen PQ-Bedingungen konnte im Rahmen von Feldtests für Technologien erprobt werden, die bisher kaum oder gar nicht für die entsprechenden Regelleistungsqualitäten präqualifiziert sind.

³⁵ Siehe beispielsweise Next Kraftwerke

Hierzu gehören die folgenden, in SINTEG aufgezeigten, Lösungen:

- **Bereitstellung von Regelleistung aus einem Pool von Windkraftanlagen:** In NEW 4.0 konnte anhand von Feldtests und Simulationen die technische Umsetzung eines Regelleistungsabrufs durch Windenergieanlagen über das VKW der ARGE Netz erprobt werden. Die Feldtests wurden mit zwei Windparks (2,5 MW und 27 MW) durchgeführt. In einem ersten Feldtest wurde mit einem 2,5 MW Windpark der Doppelhöckertest zur Erfüllung der anlagentechnischen PQ-Bedingungen durchlaufen und die Erbringung von negativer mFRR demonstriert. Darauf aufbauend wurden unter Berücksichtigung von Nachlaufeffekten Windenergieanlagen im VKW gebündelt und bis zu 5 MW negative aFRR erbracht. Damit wurden die Erkenntnisse aus den ersten Feldtests hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf größere Anlagenpools bestätigt. Zusätzlich wurde in dem Feldtest die Erbringung von 2,5 MW positiver aFRR untersucht, in dem die WEA bei reduzierter Leistung in einen Vorhaltebetrieb versetzt wurden. Bei den vorgenommenen Feldtests zeigte sich, dass die Windenergieanlagen im Pool ebenfalls die PQ-Bedingungen hinsichtlich Reaktionszeit und Genauigkeit zur Erbringung von aFRR erfüllen würden (NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende, 2021b). Aufgrund der Kosten für die Erfüllung der hohen IKT-technischen Anforderungen für die Erbringung von Regelleistung und derzeit geringer Erlösmöglichkeiten an den Märkten wurden die Windkraftanlagen letztlich nicht final präqualifiziert (NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende, 2021a, S. 691–698, NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende, 2021a, S. 382–391).
- **Bereitstellung von Regelleistung durch Kombination von Erzeugungsanlagen und Batteriespeichertechnologien in einem Pool:** In mehreren Schaufenstern wurde demonstriert, dass durch geschickte Kombination von Anlagen mit unterschiedlichen Eigenschaften, insbesondere Speichern, in einem Pool die Befähigung erreicht wird, RL unterschiedlicher Qualitäten bereitzustellen.

Im Rahmen von enera wurde der Hybridbatteriespeicher Varel zusätzlich zur FCR-Präqualifikation für die Erbringung positiver und negativer aFRR präqualifiziert – als erstes Speichersystem in Deutschland (Goldkamp et al., 2021, S. 194–197). Besonderheit des Speichers ist die Kombination eines Li-Ionen Batteriespeichers mit einem Batteriespeicher bestehend aus Natrium-Schwefel Batteriemodulen. Im Gegensatz zu den Li-Ionen Speichern mit schneller Ladezeit und geringer Kapazität, weisen Natrium-Schwefel-Speicher ein größeres Arbeitsvermögen auf. Erst die Kombination beider Speichertypen ermöglicht hohe Leistungsgradienten bei gleichzeitig langer Erbringungsdauer der Leistungsänderung. Darüber hinaus wurde ein Pooling-Konzept für Erzeugungsanlagen unter Einbindung des Hybridspeichers entwickelt. Simulativ wurde gezeigt, dass durch die Bündelungen unterschiedlicher technischer Einheiten in einer Reservegruppe mit dem Batteriespeicher diese zur Erbringung einer höherwertigen Systemdienstleistung (FCR) befähigt werden konnten. Dies wurde bestätigt durch die Kombination von Biogas-BHKWs und Batteriespeichern in einer Reservegruppe durch die EWE Vertrieb in enera (Goldkamp et al., 2021).

Einen ähnlichen Ansatz verfolgte auch das Projekt „Dynamische Netzstabilisierung“ in DE-SIGNETZ durch die Ergänzung einer Gasturbine (5 MW) mit einem Batteriespeicher (9,4 MW; 6,5 MWh) zur Erbringung von FCR und aFRR (DESIGNETZ, 2021c, S. 616–632).

Im Schaufenster NEW 4.0 wurde im Speicherregelkraftwerk Curslack ein Batteriespeicher in einen Windpark eingebunden. Unter Berücksichtigung der speziellen Anforderungen der Kombination von EE-Anlagen mit einem Speicher (Graustromsperre) konnte die Erbringung

asymmetrischer FCR demonstriert werden (NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende, 2021a, S. 578–659).

Zusätzlich wurden in SINTEG konzeptionelle Arbeiten durchgeführt, die die Bereitstellung von Regelleistung aus einem Pool dezentraler Anlagen bereits maßgeblich beeinflusst haben oder künftig beeinflussen könnten, weshalb diese hier im Folgenden gelistet werden:

- Im C/sells-Teilvorhaben „Präqualifikationsbedingungen für die Erbringung von Regelreserve aus dezentralen Energieanlagen“ wurden Herausforderungen für die Regelleistungsbereitstellung durch Flexibilitäten auf Haushaltsebene von TransnetBW und Fraunhofer IEE untersucht (TransnetBW, 2021, 58f). Die Befragung von Stakeholdern zeigte informationstechnische, administrative und prozessuale Hürden für die Teilnahme am Regelleistungsmarkt auf. Größter Überarbeitungsbedarf wurde in den Bestätigungserklärungen für jede präqualifizierte Anlage von Anschlussnetzbetreiber, Lieferanten- und BKV gesehen, sowie der hohe Aufwand durch Erbringungs- und IT-Konzepte. Das Verlassen des gesonderten Kommunikationskanals (der sogenannte Medienbruch) zwischen ÜNB und Regelleistungsanbieter war bis dahin nur unmittelbar an der flexiblen Anlage möglich. Ein Vorschlag zur Verlagerung des Medienbruchs floss in die Überarbeitung der PQ-Bedingungen Ende 2019 mit ein. Seither wird ein gesonderter Kommunikationskanal nur noch zwischen Poolsteuerung und ÜNB benötigt (Kraft, Lehmann, Klemp, Huber et al., 2021).
- Ebenfalls im C/sells-Teilvorhaben „Präqualifikationsbedingungen für die Erbringung von Regelreserve aus dezentralen Energieanlagen“ wurde die Abrechnung am Regelleistungsmarkt (für aFRR) als eine entscheidende Hürde für Anbieter von Regelleistung aus Pools identifiziert. Das bisherige Modell sieht vor, dass die erbrachte Regelarbeit über den Viertelstundenzeitraum verteilt und beginnend mit der günstigsten Anlage auf die Anlagen im Pool verteilt wird, unabhängig von der eigentlichen erbrachten Arbeit der Anlagen. Dies benachteiligt Anbieter mit sehr heterogenen Anlagenportfolien und stark unterschiedlichen Abrufkosten. Daher wurde eine Abrechnung entwickelt, die in sekundlicher Auflösung eine Aufteilung der erbrachten Regelarbeit eines Pools auf die einzelnen Anlagen und Verträge vorsieht. Die entsprechenden Änderungen des Abrechnungsmodells wurden noch während der Laufzeit des SINTEG-Programms in einen Branchenprozess überführt und gingen Ende 2021 in die Anwendung über.
- In NEW 4.0 wurde das sogenannte „Smart Balancing“ untersucht. Dieses steht für mitregulierende BKVs, die durch systemdienliche Fahrplanabweichungen die Aktivierung von Regelleistung durch die ÜNB reduzieren. In Belgien und den Niederlanden wird dieses Verhalten im Rahmen des sogenannten „passive balancing“ genutzt. Die BKV erhalten in Echtzeit Daten zu der Gesamtabweichung der Regelzone und den Ausgleichsenergiepreisen, wodurch sie ihre aktuelle Abweichung mit der Regelzonenabweichung vergleichen können. Bei gegenläufigen Abweichungen gleichen sie ihre Bilanzkreise nicht aus, da diese zu dem Zeitpunkt das System stützen. Im Falle einer gleichläufigen Abweichung sorgen sie für Ausgleich, wozu dann künftig auch dezentrale Anlagen aus einem Pool durch die BKV eingesetzt werden könnten. Bestandteil der Arbeiten waren zum einen ein systematischer Vergleich des deutschen und niederländischen Regelmarktdesigns (Röben et al. 2019; Röben/Haan 2019; Röben/Schäfers 2018), zum anderen die Durchführung von Simulationen unter anderem unter Verwendung realer Daten (Franz/Röben 2020; Röben 2020; Röben et al. 2021). Die Untersuchungen unterschiedlicher Smart Balancing Konzepte zeigten, dass deren Einführung die Aktivierung von Regelleistung und die damit verbundenen Kosten reduzieren kann. Ein Proof-of-Concept wurde damit erbracht (TRL 3) (NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende, 2021b).

INNOVATIONSGEHALT

In SINTEG konnten zuvor noch nicht weitreichend etablierte Technologien zur Erbringung von Regelleistung durch einen Anlagenpool in unterschiedlichen Reservequalitäten erprobt werden. Dies umfasst nicht nur die Qualifikation von Einzeltechnologien für neue Regelleistungsarten, sondern auch die gemeinsame Qualifikation verschiedener Technologien als Pool für die Regelleistungsbereitstellung. Zusätzlich konnten Verbesserungsvorschläge zu den PQ-Bedingungen für dezentrale Energieanlagen direkt in parallel stattfindende Branchenprozesse eingebracht werden.

Die Bereitstellung von verschiedenen Regelleistungsarten durch WEA reiht sich in vorhergegangene Forschungsprojekte mit ein.³⁶ Damit bestätigen die im Rahmen von NEW 4.0 durchgeführten Tests vorangehende zum Teil theoretische Forschungsergebnisse, dass Windkraftanlagen zu weitaus mehr in der Lage sind als nur zur Erbringung von negativer mFRR. Trotz bereits bestehender Forschung bedeuten die Ergebnisse von SINTEG einen Wissensgewinn hinsichtlich der praktischen Umsetzung für die beteiligten Unternehmen. Die konzeptionellen Arbeiten der SINTEG-Schaufenster flossen in parallele Marktentwicklungen und Anpassungen der Präqualifikationsbedingungen mit ein. Durch die Kombination von Batteriespeichern und Erzeugungsanlagen, sowie die Verbesserung des Poolmanagements und der Erbringungskonzepte wurde etablierten Technologien die Erbringung neuer Regelleistungsarten eröffnet. Damit unterstreichen die SINTEG-Ergebnisse die bereits im Markt abgebildete Bedeutung von Batteriespeichern zur Erbringung von Regelleistung durch dezentrale Anlagen in einem Pool.

BEDINGUNGEN FÜR ÜBERTRAGBARKEIT UND SKALIERBARKEIT.

In Bezug auf Regelleistungsbereitstellung aus WEA konnte durch Bestätigung bestehender Forschungsergebnisse sowie Feldtests mit unterschiedlichen Anlagen und Pool-Größen in NEW 4.0 die Übertragbarkeit des Ansatzes gezeigt werden. Die bereits erfolgte Aufnahme spezifischer Anforderungen für WEA in die PQ-Bedingungen der ÜNB setzt darüber hinaus die notwendigen Rahmenbedingungen für eine Skalierung des Ansatzes.

Eine Herausforderung für die Skalierung der Regelleistungsbereitstellung aus dezentralen Anlagen stellt deren Wirtschaftlichkeit dar. Durch die in den letzten Jahren gesunkenen Preise an den Regelleistungsmärkten sind Investitionen in die Befähigung von dezentralen Anlagen zur Erbringung von Regelleistung derzeit oft nicht wirtschaftlich. Dies zeigt sich beispielhaft an den Erfahrungen des Schaufensters NEW 4.0, wo die Präqualifikation der Windkraftanlagen aufgrund hoher Kosten der notwendigen IT-technischen Anbindung nicht umgesetzt wurde. Die Umsetzung der Kommunikationsstrukturen in einer geschlossenen Benutzergruppe über eine redundante Verbindung wurde als besonders aufwändig empfunden (NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende, 2021a, S. 386). Des Weiteren wurde die Abrufwahrscheinlichkeit von geförderten WEA in der mFRR Merit Order-Liste als gering eingestuft. Mit steigendem Bedarf an RL und dem Abschalten weiterer konventioneller Kraftwerke könnten die Preise an den Regelleistungsmärkten in Zukunft auch wieder steigen und Erlösaussichten für Anlagenbetreiber verbessern. Dies wäre die Voraussetzung, um wirtschaftliche Skalierbarkeit zu erreichen.

Im Rahmen verschiedener SINTEG-Projekte in C/sells, NEW 4.0 und DESIGNETZ konnten be-

³⁶ Die im Jahr 2017 veröffentlichte Studie von Fraunhofer IWES und Enerparc demonstrierte die prinzipielle Befähigung von WEA für die Sekundärregelleistungsbereitstellung, siehe Fraunhofer IWES (2017).

stehende Hürden in den PQ-Bedingungen, Produktdesign sowie Abrechnungsanforderungen für die Erbringung von Regelreserve aus dezentralen Energieanlagen identifiziert werden. Im DESIGNETZ-Projekt „Energiestudio Rheinhessen – Galerie Markt/Kunde“ (DESIGNETZ, 2021c, S. 740–744) konnte die ursprünglich geplante Präqualifizierung und Vermarktung von Haushaltsspeichern für FCR nicht umgesetzt werden. Ebenso wie im WindNODE-Projekt zur kombinierten Anwendung einer Batteriefarm (Teilarbeitspaket (TAP) 7.6, (WindNODE, 2020, 170f)) wurden die im deutschen Energierecht bestehenden Ausschließlichkeitsanforderungen (bspw. in Bezug auf die EEG-Vergütung) als Hindernis identifiziert, welches den Einsatz von Speichern „behind-the-meter“ für mehrere Anwendungsfälle wie Regelleistungserbringung und PV-Eigenverbrauchsoptimierung erschwert (sogenanntes Multi-Use oder auch revenue stacking).

Eine Herausforderung für die gleichzeitige Erbringung von FCR und anderen Systemdienstleistungen aus einem Speicher besteht zudem in der PQ-Anforderung, dass die Batteriesteuerung für die FCR-Erbringung nicht gleichzeitig mit anderen Steuerungssystemen auf die Batterie zugreifen darf. Bei Anpassung der PQ-Bedingungen und Einsatz eines zentralen Controllers für alle SDL könnten mehrere SDL auch parallel erbracht werden (NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende, 2021a, S. 611). Weiterhin kann FCR nur symmetrisch erbracht werden, was die Erbringung aus einer Batterie-EE-Anlagen-Kombination unter Berücksichtigung der Graustromverriegelung erschwert (NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende, 2021a, S. 651). Darüber hinaus wird für Speicher eine viertelstundenscharfe Zuordnung zur Regelleistungsbereitstellung und sonstigen Anwendungsfällen gefordert. Die Kombination mehrerer Flexibilitäten behind-the-meter macht derzeit komplexe Mess- und Abrechnungskonzepte erforderlich und erhöht Transaktionskosten (BNetzA, 2021).

WEITERE ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN

In SINTEG wurde die Einbindung von PV-Anlagen in Anlagenpools zur Erbringung von Regelleistung nicht betrachtet. Jedoch sind auch PV-Anlagen technisch in der Lage Regelleistung zu erbringen, spielen allerdings bisher noch keine Rolle am Regelleistungsmarkt. Gesonderte PQ-Bedingungen für PV-Anlagen gibt es bisher noch nicht. Erste Forschungsergebnisse legen die Übertragbarkeit der PQ-Bedingungen für Windkraftanlagen auf PV-Anlagen nahe, bspw. das Verfahren der „möglichen Einspeisung“ zur Ermittlung des Arbeitspunktes. Entsprechende Verfahren bedürfen weitergehender Forschung und praktischer Demonstration (Fraunhofer IWES, 2017).

Die Bereitstellung von Regelleistung durch DSM und kleinteilige Flexoptionen auf Haushaltsebene wurde zwar in einzelnen Projekten untersucht, die Tests konnten allerdings nicht erfolgreich bzw. vollständig abgeschlossen werden. Im Rahmen von NEW 4.0 wurde in einem Stahlwerk von ArcelorMittal die mögliche Erbringung von z. B. negativer Regelleistung untersucht, jedoch festgestellt, dass die geforderte Zeitverfügbarkeit aufgrund prozessbedingter Restriktionen nicht erbracht werden kann (NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende, 2021a, S. 193–223). Durch die im vorherigen Abschnitt erläuterten Hindernisse für behind-the-meter Batteriespeicher konnte auch die Präqualifizierung für die Erbringung von FCR durch die Hausspeicher eines Neubauquartiers im Rahmen des DESIGNETZ-Projektes „Energiestudio Rheinhessen – Galerie Markt/Kunde“ nicht erfolgreich abgeschlossen werden (DESIGNETZ, 2021b). Da auf der Seite flexibler Lasten und kleinteiliger Flexibilitätsoptionen jedoch eine große Bandbreite an potenziellen Technologien bereitstehen, die Regelleistung erbringen könnten, sollten diese in weiteren Forschungsprojekten praktisch untersucht werden. Beispielsweise zeigten anfängliche Tests zur Befähigung von Bestandslüftungsanlagen am

Stuttgarter Flughafen, dass diese zur Erbringung von FCR genutzt werden könnten. Die Tests konnten aufgrund der Corona-Pandemie nicht erfolgreich beendet werden.³⁷ Zudem zeigen die Entwicklung der Präqualifikationsbedingungen und Regelleistungsmärkte, dass diese zunehmend zugänglicher werden für dezentrale Anlagen.

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Die PQ-Bedingungen für Regelleistung und das Ausschreibungsdesign hinsichtlich der Ausschreibungsintervalle, Produktzeitscheiben oder der geforderten Mindestgröße werden häufig als hinderlich für die Partizipation von dezentralen Anlagen bewertet (DESIGNETZ, 2021c, 407ff). Mit den Anpassungen der letzten Jahre wurde diesen Hindernissen bereits zu einem Teil Rechnung getragen und potenzielle Markteintrittsbarrieren für dezentrale Anlagen gesenkt. Grundsätzlich sind viele dezentrale Anlagen technisch in der Lage Regelleistung zu erbringen und im Anlagenpool die bestehenden PQ-Bedingungen zu erfüllen.

Unter Beachtung der Anforderungen der ÜNB im Hinblick auf die Systemsicherheit sollte jedoch insbesondere der PQ-Prozess in einem Branchenprozess mit ÜNB und (potenziellen) Regelleistungsanbietern evolutarisch weiterentwickelt werden, um Markteintrittsbarrieren für neue Regelleistungsanbieter weiter zu senken. Im Schaufenster C/sells wurden hierzu folgende Ansatzpunkte identifiziert: Teilstandardisierung von IT- und Erbringungskonzepten; Digitalisierung, Automatisierung und Vereinfachung des PQ-Prozesses; sowie Echtzeitmonitoring und -prüfung der Erbringungsqualität³⁸. In SINTEG wurden hierzu wichtige Vorarbeiten geleistet.

In Bezug auf das Ausschreibungsdesign zeigen theoretische Untersuchungen des Karlsruhe Institute of Technology (KIT) im Rahmen von C/sells, dass die Ausnutzung vorhandener Regelleistungspotenziale von Pools dezentraler Anlagen durch Verkürzung der Produktzeitscheiben von 4h auf 1h erhöht werden kann (Kraft, Lehmann, Klempp, Kumm et al., 2021, 24ff). Weitere Anpassungen der PQ-Bedingung oder einzelner Variablen des Ausschreibungsdesigns zur Hebung vorhandener Regelleistungspotenziale sollten ebenfalls in dem Branchenprozess diskutiert werden.

Mittelfristig sollten weitere Technologien für die Erbringung unterschiedlicher Reservequalitäten in Pilotphasen durch die ÜNB präqualifiziert werden, bspw. Windenergieanlagen für positive und negative aFRR oder PV-Anlagen für positive und negative aFRR, mFRR. So können langfristig die richtigen Rahmenbedingungen gesetzt werden, um Potenziale für die Regelleistungsbereitstellung zu heben, bevor Knappheitssituationen auftreten können.

Speziell für Speicher schränkt die derzeitige Doppelbelastung von ein- und aus gespeichertem Strom die Wirtschaftlichkeit in vielen Anwendungsfällen ein. Bestehende Diskussionen zur Anpassung des regulatorischen Rahmens und Umsetzung der Strommarktinnenrichtlinie in nationale Gesetzgebung sollten aufgenommen werden. Im speziellen kann durch Vereinfachung der Anforderungen an Messung und Zuordnung von Strommengen der technische und administrative Aufwand verringert werden. Damit würde die Vermarktung von Pools von Heimspeichern auf dem Regelleistungsmarkt attraktiver werden.³⁹

³⁷ Weiterführende Informationen zum Konzept zur Vermarktung von Flexibilität aus raumlufttechnischen Anlagen unter Kraft, Lehmann, Klempp, Kumm et al. (2021).

³⁸ Im C/Sells Teilvorhaben „Regelleistungsmonitoring“ wurde von TransnetBW und der Universität Stuttgart ein Verfahren entwickelt zur automatisierten Überprüfung und Auswertung der Erbringungsqualität von FCR, aFRR und mFRR durch traditionelle Regelreserveverbringern wie Großkraftwerke als auch von dezentralen Erbringern. Das wurde zwar mit realen Daten validiert, muss allerdings noch im realen Betrieb weiter getestet werden Kraft, Lehmann, Klempp, Huber et al. (2021).

³⁹ Siehe Gesetzesentwurf des BMWi zur Umsetzung unionsrechtlicher Vorgaben und zur Regelung reiner Wasserstoffnetze im Energiewirtschaftsrecht („EnWG-Novelle“) vom 10.2.2021 sowie Stellungnahmen zu dem Gesetzesentwurf