

Anforderungen an einen automatisierten Nachweis von Regelreserve

(3) Integrierte Netze der Zukunft

Alexander Djamali⁽¹⁾, Patrick Dossow⁽¹⁾, Michael Hinterstocker⁽¹⁾, Rainer Enzenhöfer⁽²⁾, Dimitri Beitsch⁽²⁾, Alexander Bogensperger⁽¹⁾

⁽¹⁾FfE, ⁽²⁾TransnetBW GmbH

(1) FfE, Am Blütenanger 71, 80995 München, +49 08915812137, adjamali@ffe.de, www.ffegmbh.de; (2) TransnetBW, Osloer Str. 15-17, 70173 Stuttgart, r.enzenhoefer@transnetbw.de, www.transnetbw.de

Kurzfassung:

Zur Absicherung der Systemstabilität im Stromnetz sind die Übertragungsnetzbetreiber für den Ausgleich von Netzfrequenzschwankungen durch Regelreserve verantwortlich. 2019 entstanden dafür in Deutschland Kosten von 286 Mio. €. Vor allem der Trend, kleine Anlagen wie Heimspeicher oder Elektrofahrzeuge für Regelreserve einzusetzen, stellt für eine effiziente Nachweiserbringung von Regelreserve eine Herausforderung dar.

Der aktuelle Nachweisprozess wurde detailliert aufgearbeitet, und im Austausch mit einem Übertragungsnetzbetreiber wurden Anforderungen an einen optimalen Nachweisprozess (Wahrung von Geschäfts- und Betriebsgeheimnissen der Pool- und Anlagenbetreiber, Manipulationsresistenz und Automatisierung) herausgearbeitet. Der aktuelle Prozess der Nachweiserbringung weist in Bezug auf diese Anforderungen Verbesserungspotenzial auf. Ausgehend von dem identifizierten Verbesserungspotenzial wurde ein Konzept für einen verbesserten Nachweisprozess entwickelt, in dem die identifizierten Anforderungen erfüllt sind.

Keywords: Regelleistung, Asset Logging, Plattform, Automatisierung, Nachweispflichten, Digitalisierung

1 Einleitung

Zur Absicherung der Systemstabilität im Stromnetz sind die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) für den Ausgleich von Netzfrequenzschwankungen durch Regelreserve verantwortlich. 2019 entstanden dafür in Deutschland Kosten von 286 Mio. €. [1] Vor allem der Trend, kleine Anlagen wie Heimspeicher oder Elektrofahrzeuge für Regelreserve einzusetzen, stellt für eine effiziente Nachweiserbringung von Regelreserve eine Herausforderung dar. Bei zukünftig mehreren Millionen beteiligten dezentralen Anlagen, entstehen neue Anforderungen an den Nachweisprozess, die im Rahmen dieses Papiers diskutiert und in ein verbessertes Nachweiskonzept überführt werden. Abbildung 1-1 zeigt die kumulierte Anzahl sowie die Durchschnittsleistung von EE-Anlagen nach Auslauf der EEG-Förderung. Diese dürfen aufgrund von § 80 EEG nicht doppelt vermarktet und entsprechend nicht für Regelreserve eingesetzt werden. Ausgenommen sind dabei ab 2016 gebaute Anlagen mit einer installierten Leistung von 100 kW, die sich nach § 20 EEG in der Direktvermarktung befinden, und nach § 80 EEG Abs 1 für Regelreserve genutzt werden dürfen.

Abbildung 1-1 zeigt die Herausforderung auf, dass in Zukunft eine Vielzahl möglicher Anlagen für Regelreserve eingesetzt werden könnten. Sind die Prozesse nicht auf diese zusätzlichen Akteure auf den Regelreservemärkten angepasst, kann es zu zusätzlichen Kosten auf Seiten der Anbieter von Regelreserve oder der ÜNB kommen.

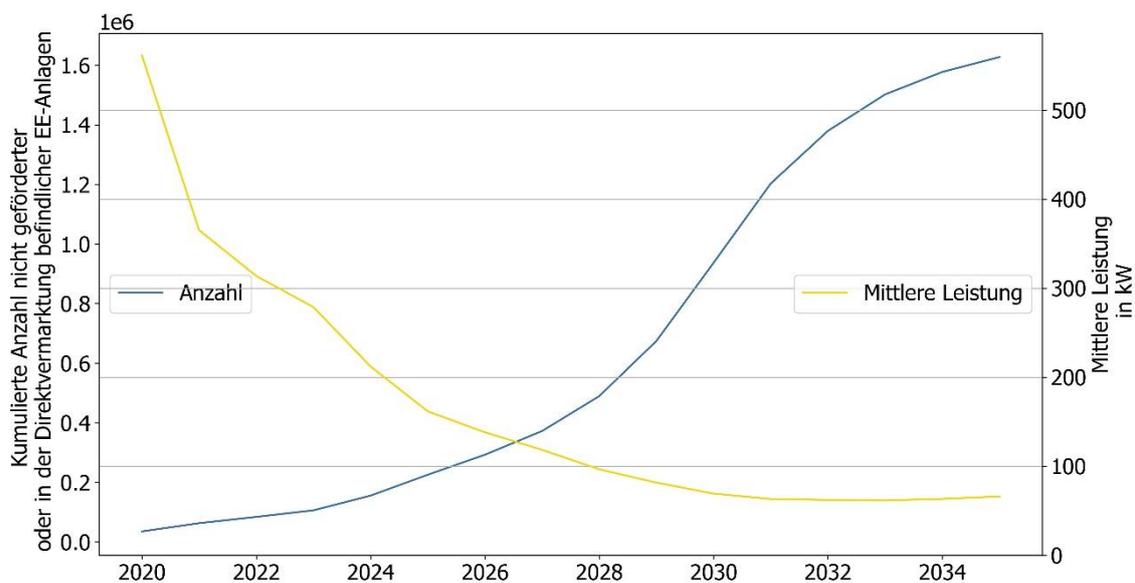


Abbildung 1-1: Anzahl und durchschnittliche Leistung erneuerbarer Anlagen (entweder nach Auslauf der Förderung oder geförderte Anlagen ≥ 100 kW und Baujahr ≥ 2016 , die nach §20 EEG verpflichtend an der Direktvermarktung teilnehmen müssen) [2]

Das Ziel dieses Papiers ist die Herausarbeitung der Anforderungen und Kernfunktionen für eine effiziente Nachweiserbringung für Regelreserve. Dazu stellen wir dar, wie ein Kontrollmechanismus für alle drei Regelreservetypen (Primärreserve, Sekundärreserve, Minutenreserve) prinzipiell aufgebaut sein sollte, um die identifizierten Anforderungen vollumfänglich zu erfüllen.

In Abschnitt 2 stellen wir zunächst die verwendete Methodik vor, mit der die Anforderungen und der grundsätzliche Aufbau eines verbesserten Nachweises herausgearbeitet wurden. In Abschnitt 3 wird der Status quo der Regelreserve umrissen und der momentane Prozess der Nachweiserbringung beschrieben, um nachfolgend in Abschnitt 3.3 die Anforderungen an einen verbesserten Nachweisprozess zu erörtern. Schließlich wird in Abschnitt 4 unser Konzept für einen verbesserten Nachweisprozess präsentiert, worauf aufbauend wir in Abschnitt 5 ein Fazit zum identifizierten Verbesserungspotenzial ziehen.

2 Methodisches Vorgehen

Unser gewähltes Vorgehen zur Prozessverbesserung im Bereich der Regelreserve lässt sich in die drei in Abbildung 2-1 dargestellten methodischen Schritte aufteilen.

Als erster Schritt stand eine Bestandsaufnahme des aktuell etablierten Prozesses der Nachweiserbringung von Regelreserve (Definition des Status quo). Um ein tiefgehendes, eindeutiges Verständnis der Interaktionen und Abläufe im Bereich der Regelreserve zu erlangen, wurde im interdisziplinären Team aus energiewirtschaftlichen Forschern der FfE und Regelreserve-Experten des Übertragungsnetzbetreibers (ÜNB) TransnetBW zusammengearbeitet. Der Status quo der Nachweisführung für die Regelreservearten ist in Form von Prozessbildern festgehalten worden.

In einem zweiten Schritt wurden Anforderungen für einen verbesserten Nachweisprozess erarbeitet. Dazu ist war notwendig, mögliche Verbesserungspotenziale des aktuellen Prozesses zu diskutieren, welche sich aus zeitaktuellen Schwierigkeiten im Prozess sowie insbesondere aus bereits heute oder zukünftig veränderten Rahmenbedingungen ergeben. Dadurch konnten aus den identifizierten Verbesserungspotenzialen in mehreren Prozessschleifen notwendige Prozessanforderungen abgeleitet werden.

Der dritte Schritt stellte die Überführung der identifizierten Anforderungen in ein überarbeitetes Konzept zur Nachweiserbringung von Regelreserve dar. Schrittweise wurden die Anforderungen an den Prozess in einen neuen Nachweisprozess überführt, wobei stets iterativ überprüft wurde, ob der so entstehende Lösungsvorschlag allen bereits definierten Anforderungen nach wie vor gerecht wurde. Für diesen Schritt wurde das interdisziplinäre Team durch Expert:innen der Informatik unterstützt, um potenzielle Konzepte technisch einordnen zu können. Die resultierende optimierte Prozessbeschreibung stellt somit eine Überführung aller zur Verbesserung notwendigen Anforderungen in ein potenziell umsetzbares Lösungskonzept dar.

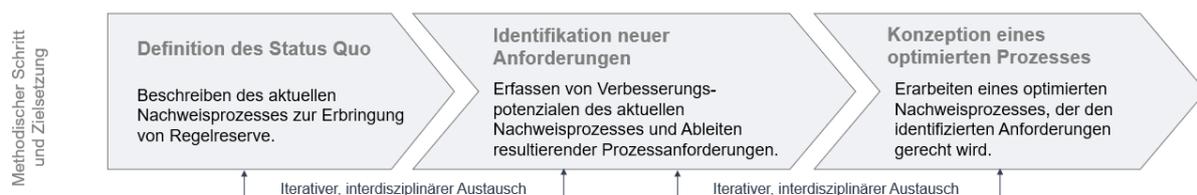


Abbildung 2-1: Methodische Schritte inklusive jeweiliger Zielsetzung zur Prozessoptimierung.

3 Definition und Beschreibung des Status quo

Nachfolgend werden die Ergebnisse der ersten beiden in Abschnitt 2 vorgestellten Schritte dargestellt. Dafür wird Regelreserve kurz definiert und abgegrenzt, der Status quo der Nachweiserbringung aufgezeigt und Anforderungen für einen optimalen Nachweis definiert.

3.1 Definition der Regelreserve

Regelreserve dient dazu, kurzfristig auftretende Ungleichgewichte zwischen Erzeugung und Verbrauch im Stromnetz auszugleichen, die nicht durch den Intraday-Strommarkt abgefangen werden können. Diese Ungleichgewichte entstehen etwa durch Kraftwerksausfälle, kurzfristige Prognosefehler bei der Erzeugung variabler Erneuerbarer, oder Lastprognosefehler.

Im Verbundnetz werden drei Arten von Regelreserve über eine gemeinsame Plattform der ÜNBs (regelleistung.net) ausgeschrieben:

- Primärreserve (engl. frequency containment reserve, FCR),
- Sekundärreserve (engl. automatic frequency restoration reserve, aFRR), und
- Minutenreserve (engl. manual frequency restoration reserve, mFRR).

Regelreserve wird in den meisten Fällen nicht von dem Betreiber einer einzelnen technischen Einheit (TE), sondern von einem Poolbetreiber, der mit einem Pool von TEs an der Ausschreibung teilnimmt, angeboten. Nur von den ÜNBs präqualifizierte Anlagen dürfen Teil des Pools sein und für die Bereitstellung von Regelreserve verwendet werden. Zu unterscheiden ist zwischen der Vorhaltung von Regelreserve, d. h. der Poolbetreiber verfügt über genügend TE, die in der Lage wären, ihre Erzeugung respektive ihren Verbrauch um die vorzuhaltende Leistung zu ändern, und der Aktivierung von Regelreserve, d. h. der tatsächlichen Veränderung der Erzeugung/des Verbrauchs. [3]

Die Ansteuerung von FCR erfolgt automatisiert auf Basis der Netzfrequenz, wobei innerhalb von 30 s die volle Leistung zu erbringen ist. aFRR und mFRR werden vom regelzonenverantwortlichen ÜNB vom Regelreserveanbieter über ein Soll-Signal bzw. Fahrplan angefordert. Für aFRR ist die volle Leistung innerhalb von 5 min, für mFRR innerhalb von 15 min zu erfolgen. Angeforderte Regelreserve kann sowohl positiv (Erhöhung der Stromproduktion, Reduktion der Last) als auch negativ (Reduktion der Stromproduktion, Erhöhung der Last) sein. [3]

3.2 Status quo der Nachweiserbringung

Der Status quo des Erbringungsprozesses und des im Bedarfsfall angestoßenen ex-post-Nachweises von aFRR und mFRR wird in Abbildung 3-1 vereinfacht dargestellt.

Im aktuellen Prozess erhält der ÜNB auf Poolebene aggregierte Daten zur Regelreserveerbringung. In bestimmten Situationen kann der ÜNB ex-post-Erbringungsnaehweise vom Poolbetreiber anfordern, die innerhalb von 2 Wochen zu übermitteln sind. Der ex-post-Nachweis erfolgt in der Regel über Excel-Tabellen, welche die Erbringung anlagenscharf auf einzelne TE innerhalb eines Pools aufschlüsselt. Eine Überprüfung und Plausibilisierung, ob 1) tatsächlich die angeforderte Regelreserve erbracht wurde, und 2) ob alle an der Erbringung beteiligten TE für die angesteuerte Menge

Regelreserve präqualifiziert waren, ist momentan ein manueller Prozess, der Personalaufwand sowohl auf Seite des ÜNB als auch auf Seite des Poolbetreibers verursacht.

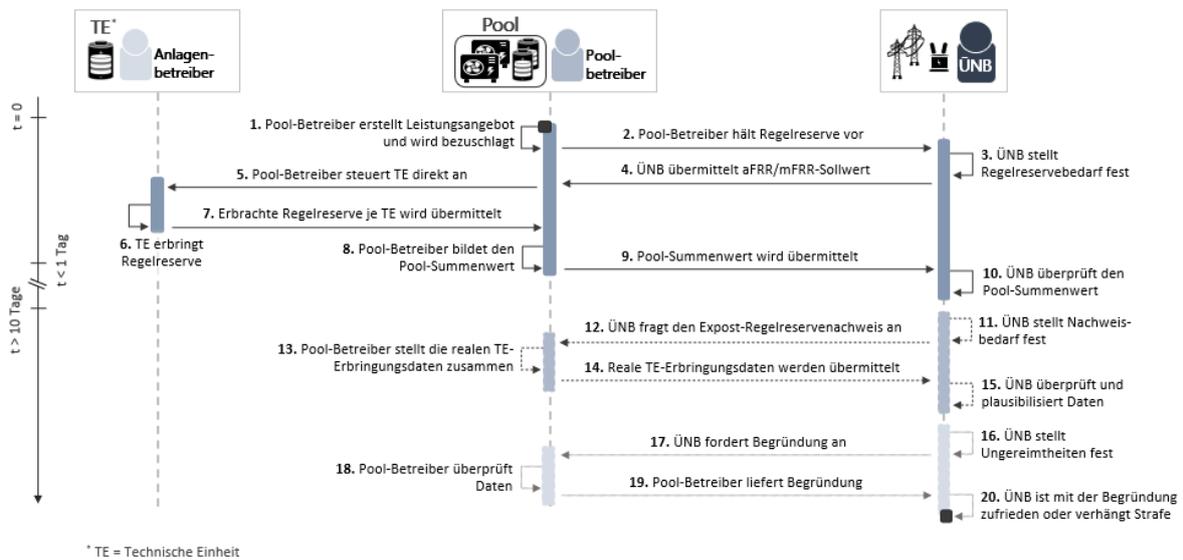


Abbildung 3-1: Status quo des Prozessablaufs zur Erbringung und zum ex-post-Nachweis von aFRR und mFRR.

Für den Fall der FCR-Erbringung ergeben sich Unterschiede zu den anderen zwei Regelreserveprodukten, die in Abbildung 3-2 dargestellt sind. An TE, die FCR erbringen, wird vor Ort am Netzanschlusspunkt die Netzfrequenz gemessen, und im Falle einer zu großen Abweichung von der Sollfrequenz 50 Hz automatisiert die Erzeugung der TE gedrosselt respektive erhöht. Abweichungen zwischen 49.99 und 50.01 Hz liegen im sogenannten Totband, in dem noch keine Regelreserve erbracht wird. Zwischen dem Totband und einer Abweichung von 0.2 Hz von der Sollfrequenz wird linear zur Abweichung von der Sollfrequenz FCR erbracht. Ab einer 0.2 Hz wird die volle bezuschlagte Menge FCR erbracht. Die Überprüfung der Erbringung von FCR erfolgt analog zu aFRR und mFRR ex-post auf Basis von vom Poolbetreiber übermittelten Daten. [4]

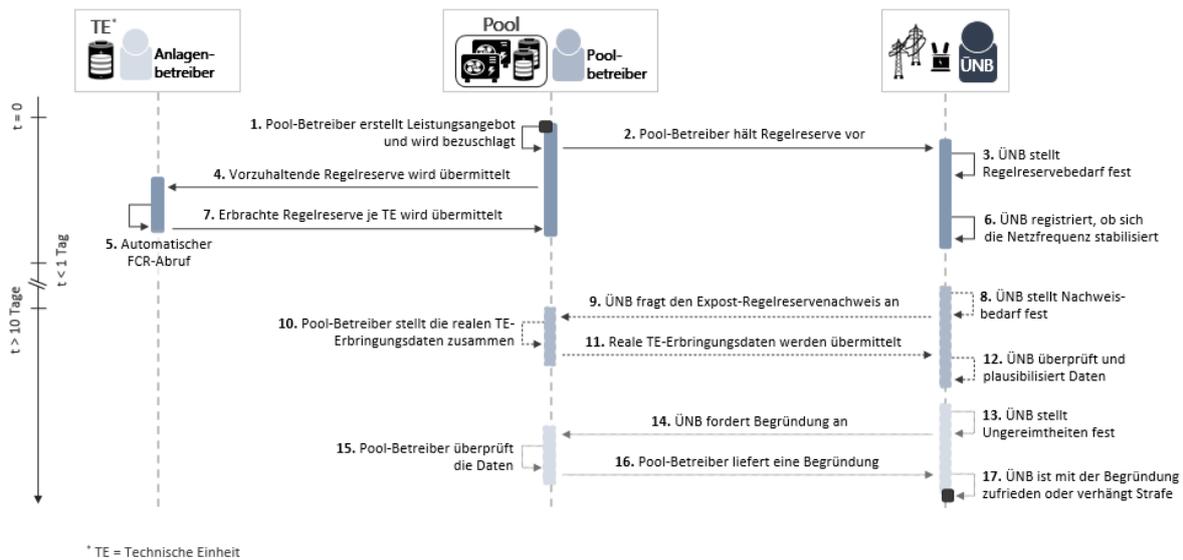


Abbildung 3-2: Status quo des Prozessablaufs zur Erbringung und zum ex-post-Nachweis von FCR.

3.3 Anforderungen an einen optimalen Nachweisprozess

Basierend auf der in Abschnitt 2 vorgestellten Methodik wurden Anforderungen an eine optimale Nachweiserbringung definiert. Eine vollständige Nachweiserbringung überprüft sowohl ob 1) Regelreserve aus präqualifizierten Anlagen erbracht wird, und 2) ob ausreichend angeforderte/benötigte Regelreserve erbracht wurde.

Basierend auf dem aktuellen Stand der Nachweiserbringung sowie der potenziell stark steigenden Zahl an teilnehmenden Anlagen sind für einen verbesserten Nachweisprozess drei Anforderungen zu stellen:

1. Die optimale Nachweiserbringung ist **automatisiert** und dadurch kostenarm im Betrieb.
2. Die optimale Nachweiserbringung liefert **transparente** und **manipulationsresistente** Nachweise, dass die angeforderte Menge Regelreserve von präqualifizierten TE erbracht wurde.
3. Die optimale Nachweiserbringung wahrt die **Betriebsgeheimnisse** der Pool- und Anlagenbetreiber.

Der durch die aufgelisteten Anforderungen zu erreichende Mehrwert ist in Tabelle 3-1 dargestellt. Die Anforderungen resultieren vor allem aus den identifizierten Verbesserungspotenzialen für die im Prozess involvierten Stakeholder. Während der ÜNB vor allem Interesse an einem manipulationsresistenten Prozess hat, haben Pool- und Anlagenbetreiber vornehmlich das Interesse, ihre Betriebsgeheimnisse (wie beispielsweise die Merit Order der Poolanlagen) zu wahren. Die Automatisierung der Nachweiserbringung liegt sowohl im Interesse des ÜNB als auch des Poolbetreibers, um Personalkosten einzusparen. Bei einer zunehmenden Zahl an der Regelreserve beteiligter TE könnte eine Automatisierung darüber hinaus notwendig werden, um Erbringungsnachweise überhaupt für alle TE zu gewährleisten, da eine manuelle Überprüfung bei der erwarteten Anzahl an Anlagen nicht oder nur unter enormen Personalaufwand zu leisten sein wird.

Tabelle 3-1: Mehrwert der identifizierten Anforderungen.

Anforderung	Mehrwert
Manipulationsresistenz	Schafft Vertrauen in den Nachweis
Automatisierung	Reduziert Kosten und ermöglicht Nachweis bei stark zunehmender Anzahl an der Regelreserve beteiligter TE
Wahrung von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen	Schützt Interessen von Pool- und Anlagenbetreibern

Ein Mehrwert durch Automatisierung kann nur geschaffen werden, wenn der neue Prozess auch manipulationsresistent ist. Falls dem automatisierten Nachweis nicht vertraut wird, müssen Prozesse im Bedarfsfall weiterhin manuell überprüft werden, sodass weiterhin erheblicher Personalaufwand anfällt. Die Wahrung der Geschäfts- und Betriebsgeheimnisse der Pool- und Anlagenbetreiber wiederum ist unabhängig von dem durch Manipulationsresistenz und Automatisierung entstehenden Nutzen. Sie ist jedoch eine wichtige Voraussetzung für die Akzeptanz eines neuen Nachweiskonzeptes und die Wahrung der Interessen der Pool- und Anlagenbetreiber.

4 Konzept einer optimierten Nachweiserbringung

Ausgehend von dem bestehenden Nachweisprozess und den identifizierten Anforderungen wurde ein Konzept für einen neuen Nachweisprozess entwickelt. Das Konzept zur automatisierten Nachweiserbringung von Regelreserve ist in Abbildung 4-1 vereinfacht dargestellt. Beteiligte Stakeholder sind – wie auch im bestehenden Prozess – der ÜNB, der Poolbetreiber und der Anlagenbetreiber der TE. Die Automatisierung des Prozesses wird dadurch ermöglicht, dass im Falle eines Regelreserveabrufs alle für einen Nachweis benötigten Daten (siehe unten) automatisiert erfasst und in einen digitalen Erbringungsnachweis überführt werden, der anschließend manipulationsresistent in einem Datenspeicher gespeichert wird. Durch den Prozess kann der ÜNB das positive oder negative Ergebnis des Nachweises der Erbringung einsehen, ohne direkt auf Daten der TE oder des Poolbetreibers zurückgreifen zu müssen.

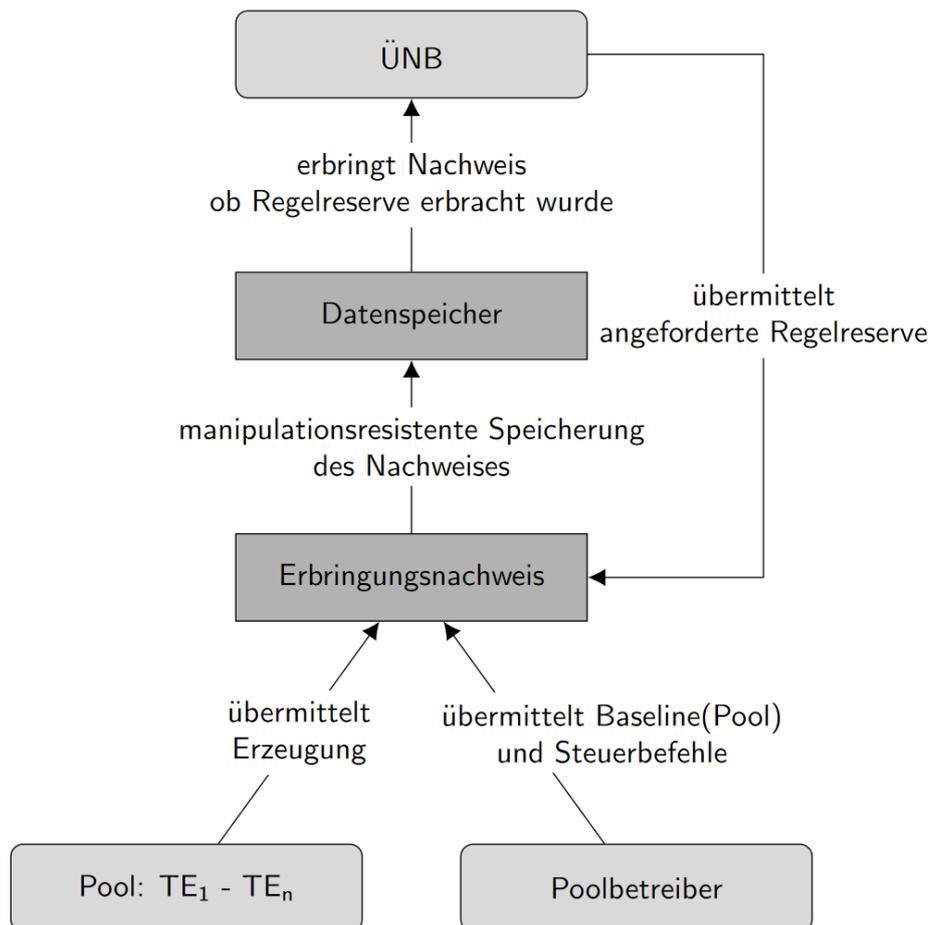


Abbildung 4-1: Erbringungsnachweis Regelreserve

Für den Erbringungsnachweis muss überprüft werden, ob die angeforderte Regelreserve vom ÜNB mit der über den gesamten Pool der TE aggregierten erbrachten Regelreserve übereinstimmt. Da also der Soll-Wert der angeforderten Regelreserve mit dem Ist-Wert des Pools abgeglichen wird, bezeichnen wir den Prozess als Soll-Ist-Abgleich. Dazu muss die Erzeugung aller TE gemessen und mit der vorher übermittelten Baseline (Arbeitspunkte aller TE) des Poolbetreibers abgeglichen werden. Hierzu wird die Erzeugung in 1 s-Auflösung an der TE für den Erbringungsnachweis erfasst und im Rahmen eines zu definierenden Datenspeichers festgehalten. Tabelle 4-1 fasst die benötigten Daten zusammen.

Tabelle 4-1: Benötigte Daten für den Soll-Ist-Abgleich

Regelreserveprodukt	Daten zur Soll-Wert-Erfassung	Daten Ist-Wert-Erfassung
aFRR, mFRR	Ansteuerungsbefehl des Poolbetreibers	Baseline/ Arbeitspunkte der TEs des Pools (erwartete Erzeugung)
		Messdaten der TEs (tatsächliche Erzeugung)
FCR	Netzfrequenz am Netzanschlusspunkt	Baseline/ Arbeitspunkte der TEs des Pools (erwartete Erzeugung)
		Messdaten der Zähler an den TEs (tatsächliche Erzeugung)

Detailbeschreibung zum Erbringungsnachweis: Über die Ansteuerungsbefehle des Poolbetreibers für aFRR und mFRR sowie die gemessene Netzfrequenz für FCR kann die Menge Regelreserve, die eine TE zu einem gegebenen Zeitpunkt erbringen muss, bestimmt werden (Soll-Wert). Die tatsächlich erbrachte Regelreserve ergibt sich aus der Differenz zwischen erwarteter Erzeugung (d. h. im aktuellen Prozess der vom Poolbetreiber an den ÜNB übermittelte Arbeitspunkt des Pools) und tatsächlicher gemessener Erzeugung des Pools (Ist-Wert). Die tatsächliche Erzeugung sollte über entsprechend installierte Messtechnik direkt an der Anlage erfasst werden. Die erbrachte Menge Regelreserve (Summe über alle Regelreserveprodukte) kann dementsprechend aus den Messwerten sowie dem 15 min im Voraus übermittelten Arbeitspunkt für den gesamten Pool (Baseline) errechnet werden. Das Delta aus der Erzeugung aller TE minus der Baseline des Pools ist die erbrachte Regelreserve. Wie in Abbildung 4-1 dargestellt, muss die erbrachte Regelreserve im Anschluss mit der vom ÜNB angefragten Regelreserve verglichen werden. Das Ergebnis dieses Vergleiches, des Erbringungsnachweises im engeren Sinne, wird gespeichert und dem ÜNB übermittelt.

Das vorgestellte Konzept stellt für den Nachweisprozess sicher:

1. Automatisierung und Manipulationsresistenz in jedem Prozessschritt (vgl. Abbildung 4-1): Datenerfassung, Datenweiterleitung, Datenverarbeitung und Datenspeicherung müssen ohne manuelles Eingreifen erfolgen, und bei keinem dieser Schritte darf Manipulation möglich sein.
2. Die Wahrung der Geschäfts- und Betriebsgeheimnisse bei der Datenspeicherung respektive bei der Weiterleitung der gespeicherten Nachweise an den ÜNB.

Aus technischer Sicht stellt die Automatisierung und Manipulationsresistenz der einzelnen Prozessschritte eine Herausforderung dar, weil momentan für die Erfassung der Erzeugung respektive die Ansteuerung durch den Poolbetreiber kein einheitlicher Standard verwendet wird. Mit einem zukünftig voranschreitenden Smart-Meter-Gateway (SMGW) Rollout sollte aber zumindest für die Lasten und Erzeugung eine standardisierte und manipulationssichere Infrastruktur zur Datenerfassung vorliegen. Die Verarbeitung und Speicherung der Daten kann technisch entweder zentral oder dezentral gelöst werden. Für eine zentrale, manipulationsresistente Lösung muss eine von allen Stakeholdern anerkannte, vertrauenswürdige Instanz bestimmt werden. Aktuell sind die Übertragungsnetzbetreiber diese zentrale Instanz, welche Regelreserve ausschreiben, bezuschlagen, anfordern, prüfen und abrechnen. Tatsächlich steigen jedoch auch die Anforderungen an Transparenz und dem Nachweis des diskriminierungsfreien Handelns in einer dezentralen Energielandschaft. Vor diesem Hintergrund kann eine neutrale dritte Instanz als Prüfer und Validator der sachgemäßen Bearbeitung durch die Übertragungsnetzbetreiber und im speziellen der Nachweiserbringung von Regelreserve, welche mit der monetären Abrechnung zusammenhängt, auftreten. Dezentrale Plattformen, respektive Netzwerke, stellen eine alternative Lösung dar, um Dritte durch ein bestehendes Vertrauensnetzwerk obsolet zu machen. Als größte Schwierigkeit einer dezentralen Lösung kann jedoch die technische Ausgestaltung (bspw. Anbindung der Stakeholder, Schnittstellen) und der mit der Komplexität einhergehende Aufwand gesehen werden.

Die Wahrung der Geschäfts- und Betriebsgeheimnisse der Pool- und Anlagenbetreiber muss, falls genaue Erzeugungsdaten in den Erbringungsnachweis eingehen, durch eine entsprechende technische Lösung sichergestellt werden. Zum einen geht es um die

Erfassung, dass die Anlagen, welche Regelreserve erbringen, auch präqualifiziert und damit berechtigt sind Regelreserve zu erbringen. Zum anderen geht es auch um die Poolzusammensetzung zu unterschiedlichen Zeitpunkten, wann welche TE für den Pool, welche Leistung erbringt. Auch hier könnte eine Instanz, der alle Stakeholder vertrauen, (im momentanen Prozess der Übertragungsnetzbetreiber) die Nachweiserbringung und Validierung auf Pool- und Anlagenebene übernehmen, ohne dabei Betriebsgeheimnisse an andere Parteien weiterzuleiten. Auch hier wäre es wünschenswert, wenn eine neutrale dritte Instanz die Verarbeitung der eingehenden Betriebsgeheimnisse übernimmt, und nur die aggregierten Messdaten respektive den Nachweis an den Übertragungsnetzbetreiber weiterleitet.

Blockchain-Technologie eignet sich auf Basis der hier vorgebrachten Argumente für eine effiziente Nachweiserbringung und ist einer zentralen Lösung vorzuziehen. Insbesondere in einem dezentralisierten, automatisierten Energiesystem mit SMGW-Infrastruktur sind die zukünftigen Effizienzpotenziale hoch, um eine transparente, diskriminierungsfreie, manipulationssichere und automatisierte Nachweisführung bzgl. Regelreserve bei gleichzeitiger Wahrung der Datensouveränität (Betriebsgeheimnisse) zu wahren.

5 Fazit und Ausblick

Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit von energiewirtschaftlichen Forschern und Netzbetreibern wurde ein tiefes Verständnis für den aktuellen Prozess der Nachweiserbringung, und Anforderungen an einen verbesserten Prozess geschaffen. Aus der methodischen Aufarbeitung des aktuellen Nachweisprozesses geht hervor, dass dieser Prozess in Bezug auf Wahrung von Geschäfts- und Betriebsgeheimnissen der Pool- und Anlagenbetreiber, Manipulationsresistenz und Automatisierung jeweils Verbesserungspotenzial aufweist.

Die für den Nachweis erforderlichen Erzeugungs- und Ansteuerungsdaten, die momentan im Bedarfsfall offenzulegen sind, sind Geschäftsgeheimnisse von Pool- respektive Anlagenbetreibern. Eine datensparsame Lösung, die Transparenz schafft und dabei möglichst wenig Geschäftsgeheimnisse der Pool- und Anlagenbetreiber offenlegt, ist deshalb vorzuziehen. Der Zugewinn an Manipulationssicherheit ist vor allem aus Sicht des ÜNBs von Vorteil. Durch die Automatisierung sind darüber hinaus deutlich reduzierter Personalaufwand für die Nachweiserbringung sowohl für ÜNB als auch Poolbetreiber zu erwarten. Vor allem, da perspektivisch durch die zunehmende Beteiligung kleiner Anlagen an der Regelreserve eine größere Zahl an TE, die Regelreserve erbringt, ist eine Reduktion des Personalaufwands pro TE von großer Bedeutung.

Der nächste Schritt zur Optimierung der Nachweiserbringung ist die technische, blockchain-basierte Ausgestaltung des vorgestellten Konzepts. Dazu arbeiten wir im laufenden Forschungsprojekt InDEED [5] im engen Austausch mit Expert:innen der Universität Bayreuth an möglichen technischen Lösungen. Die Verwendung der Blockchain-Technologie zur manipulationsresistenten Speicherung von Nachweisen, eine sichere Datenerfassung mittels Smart Meter Infrastruktur, sowie der Gebrauch von Zero-Knowledge-Proofs (ZKPs) zur automatisierten Nachweiserbringung stehen hierbei im Mittelpunkt der effizienten Nachweiserbringung.

Acknowledgements

Die Autoren bedanken sich bei der Universität Bayreuth und beim FIT Fraunhofer Blockchain-Labor, insbesondere bei Fabiane Völter, Johannes Sedlmaier, Benjamin Schellinger, und Lukas Willburger für Wissenstransfer und Unterstützung in Bezug auf Blockchain-Technologie und Zero-Knowledge-Proofs und bei der Stiftung Umweltenergierecht für den Austausch zu rechtlichen Themen.

Literatur

- [1] B. Bundesnetzagentur, „Monitoringbericht 2020,“ 2021.
- [2] T. Schmid und F. K. C. Jetter, „Regionalisierung des Ausbaus der Erneuerbaren Energien - Begleitdokument zum Netzentwicklungsplan 2030 Version 2019,“ Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), München, 2018.
- [3] „regelleistung.net,“ 2021. [Online]. Available: [regelleistung.net](https://www.regelleistung.net).
- [4] R. Enzenhöfer, D. Beitsch, A. Djamali, P. Dossow und M. Hinterstocker, *Experteninterview TransnetBW*, 2021.
- [5] „InDEED,“ 2020. [Online]. Available: [https://www.ffe.de/themen-und-methoden/digitalisierung/985-indeed_konzeption_umsetzung_evaluation_einer_auf_blockchain_basierenden_energie_wirtschaftlichen_datenplattform](https://www.ffe.de/themen-und-methoden/digitalisierung/985-indeed-konzeption-umsetzung-evaluation-einer-auf-blockchain-basierenden-energie-wirtschaftlichen-datenplattform).