

Blockchain-Anwendungen in der Energiewirtschaft am Beispiel der TenneT-Pilotprojekte

Dipl. Ing. Dr. techn. Jürgen Neubarth¹

¹e3 consult GmbH, Andreas-Hofer-Straße 28a, 6020 Innsbruck, +43 (0)512 908892,
j.neubarth@e3-consult.at, www.e3-consult.at

Kurzfassung:

Spätestens seit der vermeintlichen Bitcoin-Blase ist Blockchain in aller Munde und auch in der Energiewirtschaft kann sich mittlerweile kaum jemand mehr dem Thema entziehen. Der niederländisch-deutsche Übertragungsnetzbetreiber TenneT hat daher bereits 2017 beschlossen über erste Pilotanwendungen im Rahmen seiner Crowd Balancing-Initiative praxisrelevante Erfahrungen mit der Blockchain-Technologie zu sammeln. Mit der Crowd Balancing-Initiative will TenneT grundsätzlich den Marktzutritt von kleinen dezentralen Flexibilitätsoptionen, wie Batteriespeicher, Wärmepumpen oder Elektrofahrzeuge, unterstützen. Langfristig besteht dabei jedoch die Herausforderung Hunderttausenden oder gar Millionen an einzelnen Flexibilität anbietern den Marktzutritt zu ermöglichen. Mit den vorhandenen Systemen und Prozessen, die heute bspw. für das Monitoring und die Verifizierung der erbrachten Systemdienstleistungen genutzt werden, wird dies nicht notwendigerweise machbar sein. Durch die Möglichkeit von bspw. einer gemeinsamen Administration einer Shared Ledger mit einer manipulationssicheren Durchführung von Transaktionen verspricht Blockchain jedoch genau dies umsetzen oder zumindest unterstützen zu können.

In Deutschland hat TenneT gemeinsam mit der sonnen eServices GmbH die Nutzbarmachung von PV-Heimbatteriespeichern für Redispatch-Dienstleistungen im Rahmen des Engpassmanagements erprobt. In einem parallelen Pilotprojekt wurde in den Niederlanden mit dem Ökostromlieferanten Vandebron die Bereitstellung von Sekundärregelleistung am kurzfristigen Regelarbeitsmarkt aus einer Flotte von Tesla Elektro-Fahrzeugen getestet. Beide Pilot-Projekte haben erfolgreich aufgezeigt, dass die Blockchain-Technologie die Erbringung von Systemdienstleistungen aus dezentralen Flexibilitätsoptionen nicht nur unterstützen kann, sondern grundsätzlich das Potenzial besitzt eine Schlüsseltechnologie zur effizienten Bereitstellung von Systemdienstleistungen aus Batteriespeichern und anderen dezentralen Flexibilitätsoptionen zu werden. Gleichzeitig sind für die Entwicklung skalierbarer und großtechnisch ausrollbarer Anwendungen jedoch noch weitere Anstrengungen notwendig. Dies trifft auf die Weiterentwicklung von bspw. der ÜNB-internen Prozesse, der Zuverlässigkeit der Blockchain-Technologie, dem regulatorischen Rahmen sowie der Datensicherheits- und Datenschutzstandards zu.

Keywords: Blockchain, Systemdienstleistungen, Engpassmanagement, Batteriespeicher

1 Einleitung und Fragestellung

Eine der großen Herausforderungen im Zuge der zunehmenden Dezentralisierung des Stromversorgungssystems wird neben der Bereitstellung ausreichender Flexibilität zum Ausgleich der Erzeugungsschwankungen von Wind und PV vor allem die notwendige Integration einer großen Anzahl von zusätzlichen Erzeugern, Speichern und Verbrauchern im meist einstelligen kW-Bereich – wie u. a. Batteriespeicher, Elektroautos, Wärmepumpen oder Brennstoffzellen-BHKWs – darstellen. So werden bspw. im Szenariorahmen des bundesdeutschen Netzentwicklungsplans 2030 (2019) für das „mittlere“ Szenario B bereits für das Jahr 2030 annähernd eine Million dezentraler Batteriespeicher mit einer Gesamtleistung zwischen 7.000 und 9.000 MW unterstellt [1]. Zum Vergleich: Die 27 deutschen Pumpspeicherkraftwerke haben eine installierte Leistung von zusammen knapp 6.000 MW.

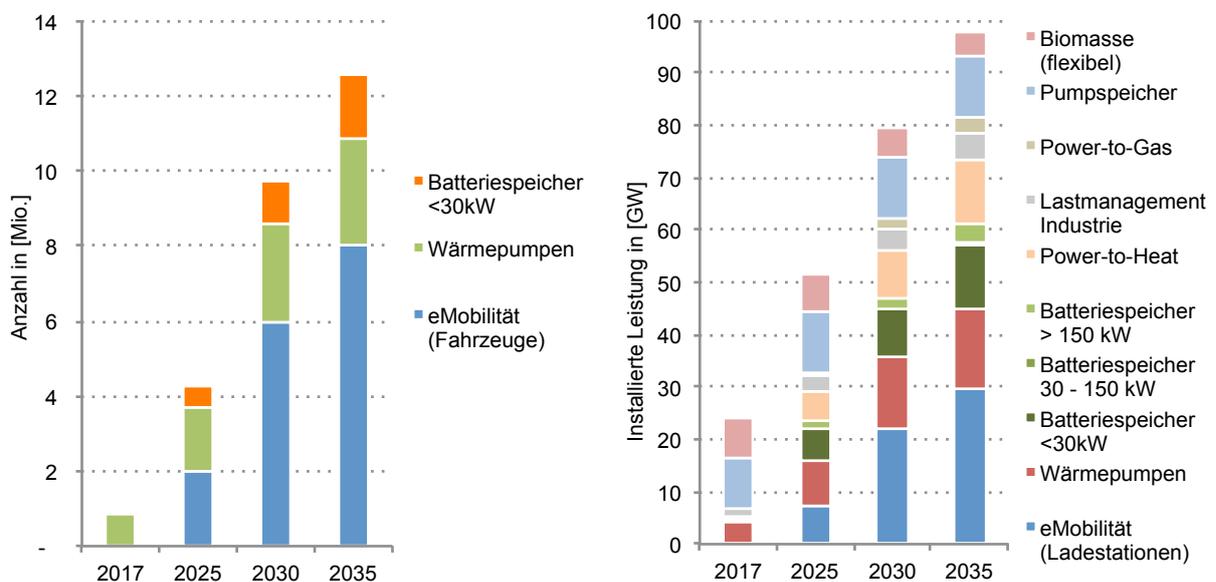


Abb. 1: Entwicklung „neuer“ dezentraler Flexibilitätsoptionen (links) sowie insgesamt verfügbarer Flexibilitäten (rechts) im deutschen Stromversorgungssystem gemäß Netzentwicklungsplan 2030 (2019), Szenario B [1]

Batteriespeicher und andere „neue“ dezentrale Flexibilitätsoptionen können nicht zuletzt auf Grund ihrer schnellen Regelbarkeit einen relevanten Beitrag zur Flexibilisierung des Stromversorgungssystems liefern. Dabei besteht aus Sicht der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) jedoch die Herausforderung diesen Hunderttausenden oder gar Millionen an einzelne technische Einheiten (TE) so den Zutritt zu den Systemdienstleistungsmärkten zu erleichtern bzw. zu ermöglichen, dass deren Flexibilität effizient und damit kostengünstig genutzt werden kann. Allerdings ist ein Großteil der bestehenden Prozesse und IT-Systeme innerhalb der Branche auf die Steuerung von einigen Hundert Kraftwerken im mehrstelligen MW-Bereich und nicht von Millionen einzelner kleiner Anlagen ausgelegt. Vor allem die Bereitstellung von Systemdienstleistungen für den Regelreservemarkt und das Engpassmanagement aus dezentralen Anlagen erfordert daher einen neuen Ansatz zur Einbindung einer Vielzahl einzelner Anlagen in die Prozesse der Übertragungsnetzbetreiber, um bspw. einen zuverlässigen und sicheren Datenaustausch zwischen den Marktteilnehmern gewährleisten zu können.

Dezentrale Flexibilitätspotenziale können jedoch nicht nur zur Erbringung von Systemdienstleistungen genutzt werden, sondern bspw. auch zur Optimierung des PV-Eigenverbrauchs, zur Bilanzkreis- und damit Beschaffungsoptimierung beim Lieferanten, zur Intraday-Vermarktung oder Peer-to-Peer innerhalb von regionalen „Strom-Communities“. Die möglicherweise unterschiedlichen oder auch gegenläufigen Interessen der jeweiligen Vermarktungsmodelle dezentraler Flexibilitätspotenziale erfordern dabei jedoch eine eindeutige Zuordnung der vorgehaltenen und im Bedarfsfall abgerufenen Flexibilität zwischen Anbieter und Nachfrager, um bspw. sicherzustellen, dass Flexibilität nicht doppelt vermarktet werden kann bzw. grundsätzlich vom Anbieter auch erbracht wurde. Hierzu müssen Informationen und Daten zwischen den betroffenen Marktakteuren schnell und sicher ausgetauscht werden können, um die verfügbaren Flexibilitäten im jeweiligen Marktsegment effizient nutzen zu können.

Der Einsatz von Blockchain- (BC) bzw. grundsätzlich von Distributed Ledger-Technologien (DLT) zur sicheren und vertrauenswürdigen Durchführung von Transaktionen stellt einen möglichen Lösungsansatz dar, um zukünftig auch Flexibilitätspotenziale von kleinen und kleinsten Erzeugern, Speichern und Verbrauchern effizient für Systemdienstleistungen nutzen sowie den notwendigen Datenaustausch zwischen relevanten Marktakteuren unterstützen zu können (Abb. 2).

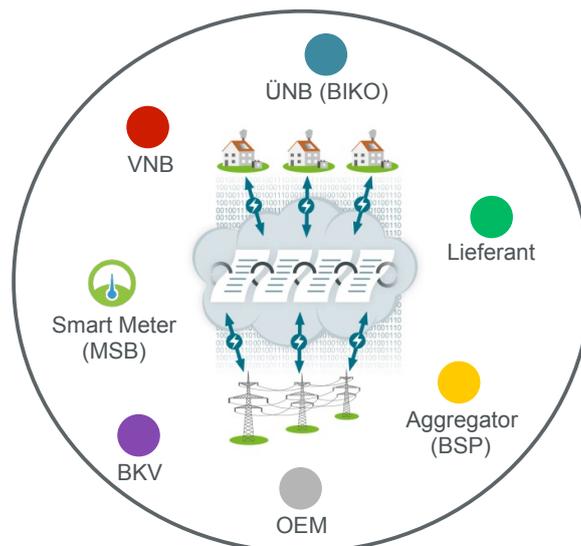


Abb. 2: Blockchain-basierte Plattform zur Unterstützung des Datenaustauschs zwischen Akteuren im Strommarkt¹

Der grundsätzliche Vorteil der Blockchain-Technologie ist dabei eng mit ihrer dezentralen Charakteristik verknüpft, die den Aufbau einer manipulationssicheren Umgebung ermöglicht, in der Transaktionen von Millionen einzelner Anlagen automatisiert auf Grundlage vordefinierter Wenn-Dann-Regeln (sog. Smart Contracts) mit geringen Transaktionskosten durchgeführt werden können. In der Shared Ledger der Blockchain können Transaktionen dauerhaft und unumkehrbar gespeichert werden und über die Vergabe von Zugriffsrechten können

¹ VNB = Verteilnetzbetreiber, BSP = Balancing Service Provider, OEM = Original Equipment Manufacturer (Automobilhersteller/Mobilitätsdienstleister), BKV = Bilanzkreisverantwortlicher, MSB = Messstellenbetreiber, BIKO = Bilanzkreisordinator)

die unterschiedlichen Teilnehmer an der Blockchain jeweils die für sie relevanten Daten für ihre Zwecke nutzen.

Blockchain-Technologien befinden sich jedoch sowohl in Bezug auf ihre technologische Reife als auch die Identifizierung von zukunftsfähigen Anwendungsbereichen und Geschäftsmodellen innerhalb der Energiewirtschaft noch vergleichsweise am Anfang der Entwicklungsphase. Der niederländisch-deutsche Übertragungsnetzbetreiber TenneT hat daher bereits Anfang 2017 mit der Implementierung von zwei Blockchain-Piloten begonnen, um sowohl auf technologischer Ebene als auch im Zusammenhang mit bspw. (datenschutz)rechtlichen und regulatorischen Fragestellungen Erfahrungen mit der Blockchain-Technologie gewinnen zu können (vgl. u. a. [2]). In Deutschland wird gemeinsam mit der Sonnen eServices GmbH die Nutzbarmachung von dezentralen Haushalts-Batteriespeichern für Redispatch-Dienstleistungen im Rahmen des Engpassmanagements erprobt. In einem parallelen Pilotprojekt wird in den Niederlanden mit dem Ökostromlieferanten Vandebron die Bereitstellung von Sekundärregelleistung am kurzfristigen Regelarbeitsmarkt aus einer Flotte von Tesla Elektro-Fahrzeugen getestet. Vor diesem Hintergrund stellt dieser Beitrag den grundlegenden Ansatz der TenneT-Blockchain-Lösung sowie wesentlichen Ergebnisse des Pilotprojekts in Deutschland vor.²

2 Blockchain-Lösung und TenneT-Pilotprojekte

2.1 Grundkonzept Blockchain-Architektur

Für einen Übertragungsnetzbetreiber bzw. allgemein für Anwendungen innerhalb der Energiewirtschaft ist der Ansatz einer privaten Blockchain-Lösung mit klar geregelten und vorab definierten Zugangsrechten einer öffentlichen (public) Blockchain mit anonymen, per se nicht vertrauenswürdigen Teilnehmern zu bevorzugen. Im Gegensatz zu einer öffentlichen Blockchain (bspw. Bitcoin und andere Krypto-Währungen) sind in einer privaten, permissioned Blockchain die Teilnehmer bekannt, wodurch ein Teilnehmer übergreifender Konsens über die Korrektheit einer Transaktion mit verhältnismäßig wenig Rechenaufwand und damit Energieverbrauch erreicht werden kann. In einer sog. Shared Ledger werden relevante Daten und Informationen zur Erbringung der Flexibilitätsdienstleistungen vorgehalten und als netzwerkübergreifender Datensatz den Teilnehmern als „single source of truth“ zur Verfügung gestellt. Damit können bspw. im Zuge der Erbringung von Flexibilitätsdienstleistungen die folgenden Prozesse unterstützt werden:

- Stammdatenhaltung und Registrierung (Präqualifikation) auf TE-Ebene
- Prognose der verfügbaren Flexibilität auf Ebene einzelner und aggregierter TE
- Übermittlung von Flex-Angeboten (Menge, Zeitpunkt, Preis, geografischer Bezugspunkt/Netzknoten, etc.)
- Abruf von Flex-Angeboten unter Berücksichtigung netzknotenscharfer Limitierungen durch bspw. Verteilnetzbetreiber

² Der Autor unterstützt TenneT als selbstständiger Berater seit dem Jahr 2017 bei der Vorbereitung, Implementierung und Evaluierung von Pilotprojekten im Bereich dezentraler Flexibilitätsoptionen.

- Plausibilisierung und Validierung der erbrachten Flexibilität inkl. Baseline (d. h. Erbringungsnachweis) und Nachholeffekte (d. h. Rückwirkungen auf Systemsicherheit nach Ende der Flex-Erbringung)
- Unterstützung des Datenaustauschs zur Abrechnung zwischen ÜNB und Aggregator/TE bzw. Aggregator und Lieferant (bspw. für Bilanzkreiskorrekturen)
- Reporting und Dokumentation (intern und extern)

Innerhalb der Blockchain werden Transaktionen durch die Anwendung von Konsensalgorithmen bzw. in sog. Smart Contracts definierten Regeln endgültig und damit unveränderbar gespeichert, da eine Transaktion nur dann in die Blockchain übernommen wird, wenn die Teilnehmer diese validieren und über das Ergebnis der Validierung Konsens erzielt wird. Dadurch stehen relevante Informationen nicht nur allen Teilnehmern am Blockchain-Netzwerk zeitnah zur Verfügung, sondern es gibt praktisch keine Möglichkeiten für einen vorsätzlichen Missbrauch oder eine nachträgliche Manipulation der Daten. Auch besteht durch die automatisierte Ausführung der Smart Contracts und der netzwerkübergreifenden Konsensfindung grundsätzlich keine Notwendigkeit für eine zusätzliche ex post-Validierung der Transaktionen.

2.2 Einbindung von Partnern in Blockchain-Lösung

Grundsätzlich kann über eine Blockchain-Lösung so entwickelt werden, dass diese ein hohes Maß an Flexibilität für den Umfang der Beteiligung einzelner Partner und Marktakteure gewährleisten kann. Als Minimallösung erfolgt zwischen der Blockchain und den Partnern ausschließlich ein Datenaustausch (Schreiben und/oder Lesen) über definierte Schnittstellen (APIs, application programming interfaces) bzw. Web-Interfaces, wobei keine eigentlichen „Blockchain-Funktionalitäten“ bei diesen Partnern implementiert werden. Entsprechend betreiben Pilot-Partner in der Minimallösung weder eigene Software-Agenten als Schnittstelle zur Shared Ledger der Blockchain noch eigene Blockchain-Nodes, welche die Blockchain kontinuierlich replizieren und sich an der Konsensfindung beteiligen. Daher stellt diese Minimallösung auch nur einen ersten Zwischenschritt dar, weil dadurch die potenziellen Vorteile der Blockchain gegenüber herkömmlichen Technologien nur eingeschränkt verifiziert werden können. Die Einbindung der einzelnen TEs (bspw. Batteriespeicher) in die Blockchain erfolgt daher vorzugsweise direkt und damit dezentral über eine schlanke Client-Software (d. h. Peer mit eingeschränkter Blockchain-Funktionalität), so dass Flexibilitätspotenziale nicht nur über Aggregatoren sondern grundsätzlich auch eigenständig vermarktet werden können. Alternativ können die Daten der einzelnen TE jedoch auch zentral über bspw. Aggregatoren in die Blockchain geschrieben werden. Abb. 3 zeigt die grundsätzlichen Möglichkeiten zur Einbindung von Pilot-Partnern in die Shared Ledger der Blockchain-Lösung.

Die einzelnen Teilnehmer am Blockchain-Netzwerk haben entsprechend vordefinierter Zugriffsrechte einen individuell abgestimmten Zugang zu den Daten, wobei die Integrität der Daten durch Anwendung kryptografischer Methoden sichergestellt wird. Grundsätzlich sollte bei der Entwicklung der Blockchain-Architektur auf ein hohes Maß an Flexibilität geachtet werden, so dass deren Anwendbarkeit offen für unterschiedliche Systemdienstleistungen ist bzw. eine Nutzung der dezentralen Flexibilitäten unabhängig vom Vermarktungsweg erfolgen und innerhalb einzelner Pilot-Projekte erprobt werden kann.

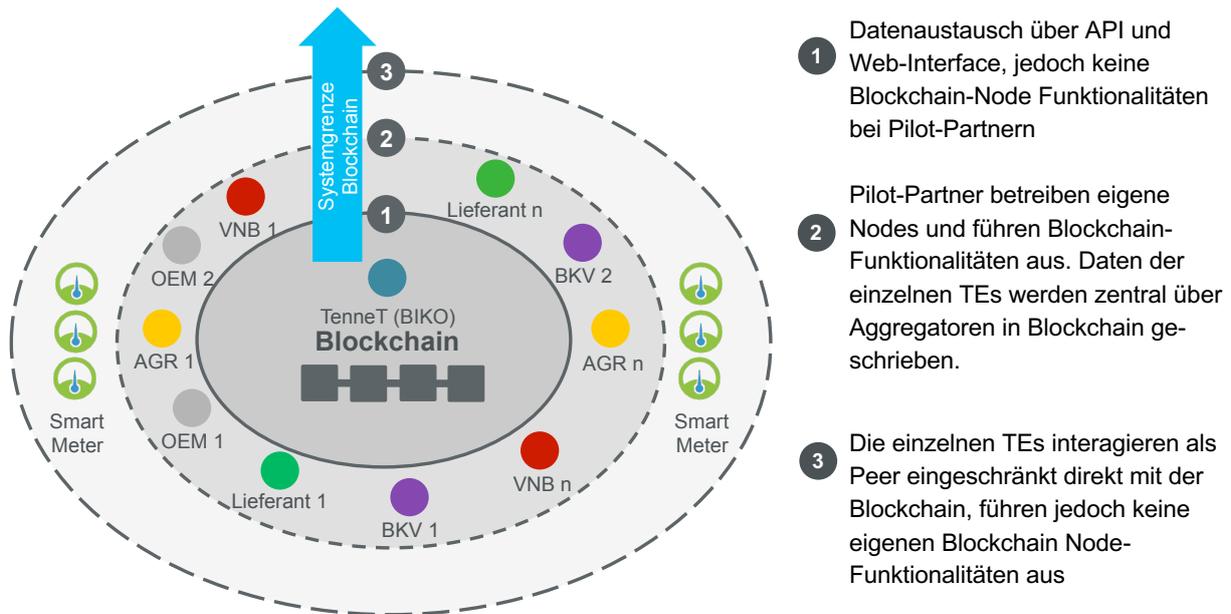


Abb. 3: Möglichkeiten zur Einbindung von Pilot-Partner in die Shared Ledger einer Blockchain-Lösung

2.3 Erste Blockchain-Piloten im Überblick

Mit der Entwicklung einer TenneT Blockchain-Lösung wurde in einem ersten Schritt im Rahmen von zwei konkreten Pilot-Projekten in den Niederlanden und in Deutschland begonnen und als permissioned Business Network gemeinsam mit dem Technologie-Partner IBM in Hyperledger Fabric³ implementiert. In den Niederlanden wurde gemeinsam mit dem im niederländischen Strommarkt aktiven Ökostromlieferanten Vandebron eine Pilotanwendung für den kurzfristigen aFRR-Arbeitsmarkt (Abgabe von Angeboten bis 15 Minuten vor Beginn der jeweiligen Bilanzierungsperiode) entwickelt. Vandebron bietet hierzu aus einer gepoolten Flotte von Tesla Elektro-Fahrzeugen durch Unterbrechung des Ladevorgangs 1 MW an positiver aFRR an. Die FahrzeugbesitzerInnen können über eine Vandebron-App entscheiden, ob sie Flexibilität für aFRR grundsätzlich zur Verfügung stellen wollen. Vandebron entscheidet dann über die Zusammensetzung im Pool und entsprechend der Verfügbarkeit einzelner Teslas über eine Angebotslegung. Die FahrzeugbesitzerInnen erhalten bei einer Teilnahme bzw. einem Abruf eine Vergütung für die Flexibilitätsdienstleistung. Durch den Abruf von aFRR wird der Ladevorgang des Elektroautos unterbrochen, d.h. die Ladedauer verlängert sind entsprechend der Abrufdauer. Für den/die FahrzeugbesitzerInnen ist dies in der Regel jedoch nicht bemerkbar, da die zur Ladung verfügbare Zeit i. Allg. die tatsächlich benötigte Ladedauer deutlich übersteigt. Die Blockchain-Lösung wurde dabei so entwickelt, dass diese weitgehend in die bestehenden TenneT Prozess zur Abgabe von Angeboten und Aktivierung von aFRR integriert werden konnte. Die Abrechnung und Anpassung von Fahrplänen (Bilanzkreismanagement) erfolgt jedoch nicht über die Blockchain, sondern über die normalen TenneT-Prozesse. Für die bei Abruf von aFRR veränderte Ladecharakteristik (d. h. Nachhol-effekte) der Teslas übernimmt Vandebron die Bilanzkreisverantwortung.

³ Hyperledger Fabric ist eine im Rahmen des Hyperledger-Projekts der Linux Foundation verfügbare Open-Source-Blockchain-Lösung.

In Deutschland werden im Rahmen des Engpassmanagements Batteriespeicher von sonnen in drei exemplarischen Netzregionen zum Redispatch⁴ genutzt. Die in den nördlichen Pilot-Regionen angebotene negative Flexibilität (d. h. Leistung wird aus dem TenneT-Netz durch zusätzliches Laden oder Unterbrechung des Entladevorgangs der Batterie entnommen) wird dabei von sonnen mit der entsprechenden positiven Flexibilität im Süden (d. h. Leistung wird in das TenneT-Netz durch zusätzliches Entladen oder Unterbrechung des Ladevorgangs der Batterie eingespeist) verknüpft. Dadurch wird einerseits eine unmittelbar entlastende Wirkung auf den Engpass erreicht, andererseits bleibt der Bilanzkreis von sonnen durch Redispatch-Maßnahmen unbeeinflusst bzw. müssen durch den Redispatch keine Fahrplangeschäfte ex post angepasst werden. Im Pilotbetrieb aggregiert sonnen die in der jeweiligen Netzregion im Batterie-Pool für Redispatch-Maßnahmen zur Verfügung stehende Flexibilität und entscheidet über die Abgabe eines verbindlichen Angebots. Das Angebot wird über die Blockchain an TenneT übermittelt und kann in der Hauptschaltleitung Lehrte direkt am Schichtarbeitsplatz aktiviert werden. Die Aktivierung der Angebote erfolgt über eine grafische Benutzeroberfläche und wird von TenneT in die Blockchain geschrieben. sonnen leitet die Aktivierung aus der Blockchain aus und leitet die entsprechenden Steuerbefehle über die sonnen-Cloud an die teilnehmenden Batterien weiter. Nach Deaktivierung werden von sonnen für jede an der Redispatch-Maßnahme teilnehmende Batterie die tatsächlichen Messwerte sowie die berechnete Baseline in die Blockchain geschrieben. Aus der Differenz von tatsächlichem Messwert und Baseline ermittelt sich die von der jeweiligen Batterie erbrachte Redispatch-Dienstleistung. Zusätzlich werden zur Bewertung von möglichen Nachholeffekten die tatsächlichen Messwerte und die berechnete Baseline für einen definierten Zeitraum nach Deaktivierung in der Blockchain dokumentiert.

3 Ergebnisse TenneT-sonnen-Pilot zur Bereitstellung von Redispatch-Dienstleistungen aus Batteriespeichern

In der ersten Phase des deutschen Pilotprojekts wurden aus bis zu 130 sonnenBatterien mit einer Leistung von in Summe knapp 400 kW Redispatch-Dienstleistungen erbracht. Um potenziell negative Auswirkungen auf das Übertragungsnetz sowie die sonnen-internen IT-Systeme durch den Pilotbetrieb von vornherein ausschließen zu können, wurde der Pilot parallel zu den bestehenden Redispatch-Prozessen bei TenneT bzw. parallel zur Virtual Power Plant (VPP) Plattform von sonnen umgesetzt. Unabhängig davon teilen TenneT und sonnen über die Blockchain-Lösung eine „single source of truth“ in Bezug auf bspw. die Registrierung der am Piloten teilnehmenden Batteriespeicher, der Angebote für und Aktivierungen von Redispatch-Dienstleistungen sowie der zur Validierung der erbrachten Redispatch-Dienstleistungen auf Ebene der Einzelbatterien benötigten Daten.

Die Evaluierung des bisherigen Pilotbetriebs hat gezeigt, dass eine Blockchain-basierte Lösung einen wesentlichen Beitrag zur Integration von kleinteiligen dezentralen Anlagen in den

⁴ Redispatch bezeichnet den Eingriff in den marktbasieren Fahrplan der Erzeugungseinheiten durch einen Übertragungsnetzbetreiber zur Verlagerung der Kraftwerkseinspeisungen, um Leitungsüberlastungen vorzubeugen (präventiver Redispatch) oder Leitungsüberlastungen zu beheben (kurativer Redispatch). Redispatch-Maßnahmen können regelzonenintern und -übergreifend angewendet werden. Durch die Senkung der Einspeiseleistung eines oder mehrerer Kraftwerke bei gleichzeitiger Erhöhung der Einspeiseleistung eines oder mehrerer anderer Kraftwerke außerhalb der Engpassregion bleibt in Summe die gesamte Einspeiseleistung und damit die Systembilanz unverändert.

Systemdienstleistungsmarkt liefern kann. Neben einer zuverlässigen und manipulationssicheren Aufzeichnung von Transaktionen zwischen TenneT und dem Anbieter von Systemdienstleistungen kann vor allem die Möglichkeit einer automatisierbaren Abwicklung der Prozessschritte auf der „distributed ledger“ für die einzelnen Batterien bzw. dezentralen Anlagen einen wesentlichen Mehrwert der Blockchain-Technologie darstellen. So war bspw. die manuelle Registrierung bzw. Präqualifikation von „nur“ einigen tausend technischen Einheiten, die im deutschen Regelreservemarkt aktiv sind, sowohl für die Übertragungsnetzbetreiber als auch Regelleistungsanbieter ein sehr zeit- und arbeitsintensiver Prozess. Daher wäre mit den bestehenden Prozessen die Präqualifikation der in deutschen Haushalten bereits heute installierten 100.000 Batteriespeicher für den Systemdienstleistungsmarkt mit einem vertretbaren Ressourcenaufwand schlichtweg nicht umsetzbar. Entsprechend werden automatisierte Prozesse eine wesentliche Voraussetzung zur effizienten Bereitstellung von Systemdienstleistungen aus dezentralen Anlagen im kW-Bereich darstellen.

Neben Blockchain-spezifischen Erkenntnissen hat der Pilot jedoch auch gezeigt, dass unabhängig von der IT-Landschaft ein Handlungsbedarf auf regulatorischer Ebene zur Verbesserung der Randbedingungen für Batteriespeicher bzw. dezentrale Flexibilitätsoptionen besteht.

a) Freiwillige Bereitstellung von Redispatch-Dienstleistungen erfordert einen ergänzenden marktbasierter Ansatz: Während in Deutschland heute Kraftwerke und (Pump)speicherkraftwerke mit einer installierten Leistung von über 10 MW ihre Erzeugung bzw. ihren Bezug bei Netzengpässen auf Anweisung des Netzbetreibers verpflichtend anpassen müssen, können dezentrale Anlagen nur auf freiwilliger Basis für Maßnahmen zum Engpassmanagement eingesetzt werden. Allerdings sieht der aktuelle Regulierungsrahmen keine marktpreisbasierte sondern eine angemessene, kostenbasierte Entschädigung für Redispatch-Maßnahmen vor (vgl. Abs. 2 §13a Energiewirtschaftsgesetz), d. h. ohne Aussicht auf eine Gewinnmarge besteht grundsätzlich kein wirtschaftlicher Anreiz zur freiwilligen Bereitstellung von Redispatch-Dienstleistungen. Aus volkswirtschaftlicher Sicht kann dies jedoch dann nachteilig sein, wenn Engpassmanagement-Maßnahmen in dezentralen Anlagen im Vergleich zu den bisher genutzten Kraftwerken effizienter umgesetzt werden könnten, auch wenn diese dafür mehr als bloß ihre Kosten vergütet bekämen. Dies hat einen einfachen physikalischen Hintergrund: Anlagen in unmittelbarer Nähe zu einem überlasteten Netzelement haben meist eine deutlich höhere Wirkung auf den Engpass als weiter entfernt liegende Anlagen. Redispatch-Maßnahmen mit dezentralen Anlagen können also für das Gesamtsystem günstiger sein, auch wenn der Angebotspreis je MWh deutlich über der Kostenstruktur eines weiter entfernt liegenden Großkraftwerks liegen würde. Allerdings werden Besitzerinnen und Besitzer von Batteriespeichern und anderen dezentralen Anlagen ihre für Redispatch-Dienstleistungen grundsätzlich verfügbaren Kapazitäten nur dann einem Netzbetreiber anbieten, wenn dies für sie einen wirtschaftlichen Vorteil liefern kann. Daher sollte ergänzend zu den bestehenden gesetzlichen Vorgaben ein marktbasierter Ansatz für die Bereitstellung von Redispatch-Dienstleistungen aus jenen dezentralen Erzeugungsanlagen und Speichersystemen eingeführt werden, für die keine verpflichtende Teilnahme am Engpassmanagement vorgesehen ist. Dadurch würde nicht nur ein wirtschaftlicher Anreiz für dezentrale Flexibilitätsoptionen geschaffen werden sich aktiv am Engpassmanagement zu beteiligen, sondern es könnte auch ein wichtiger Beitrag zur Senkung der Redispatch-Kosten in Deutschland geleistet werden.

b) Aktueller Regulierungsrahmen erschwert gemischte Geschäftsmodelle für Batteriespeicher: Aus Sicht einer Besitzerin bzw. eines Besitzers eines Batteriespeichers ergänzt die Bereitstellung von Redispatch-Dienstleistungen in der Regel den eigentlichen Zweck der Batterie, nämlich die Optimierung des Eigenverbrauchs von eigenerzeugtem PV-Strom. Dabei können Redispatch-Dienstleistungen auf unterschiedliche Arten bereitgestellt werden, bspw. durch eine verzögerte Ein- und Ausspeicherung oder auch eine insgesamt reduzierte Einspeicherung von PV-Strom in die Batterie. In Abhängigkeit vom Ladezustand der Batterie sowie der zeitlichen Charakteristik von PV-Stromerzeugung und Stromverbrauch kann dies jedoch die Höhe des Eigenverbrauchsanteils negativ beeinflussen. Entsprechend lassen sich die Kosten für die Bereitstellung von Redispatch-Dienstleistungen aus (a) den mittleren Lebenszykluskosten für einen Lade- und Entladezyklus und/oder (b) den Opportunitätskosten einer Abweichung vom Lade- und Entladeverhalten ohne Redispatch ableiten. Die Kosten für die Bereitstellung von Redispatch-Dienstleistungen können daher innerhalb einer vergleichsweise großen Bandbreite liegen, wobei vor allem eine Reduzierung des Eigenverbrauchs und der damit einhergehenden Erhöhung des Netzbezugs zu relativ hohen Kosten führt. Dies liegt daran, da im Endkundenpreis nicht nur der eigentliche Energiepreis sondern auch alle regulatorisch und gesetzlich bestimmten Preisbestandteile enthalten sind (d. h. Netzentgelt, Steuern und andere Abgaben, wie bspw. EEG-Umlage).

Im Ergebnis ist die Bereitstellung von Redispatch-Dienstleistungen aus Batteriespeichern heute deutlich teurer als aus Großkraftwerken, d. h. Batteriespeicher stehen am Ende der Merit Order aller verfügbaren Redispatch-Optionen. Dieser „Wettbewerbsnachteil“ wird dabei jedoch nicht notwendigerweise von höheren technologiespezifischen Kosten bestimmt, sondern ist insbesondere eine Folge der regulatorischen Bestandteile am Endkundenstrompreis. Dadurch bleiben vor allem in Phasen mit niedriger oder keiner PV-Erzeugung und damit zusammenhängend einer geringen Nutzung des Batteriespeichers zur Eigenverbrauchsoptimierung die verfügbaren Flexibilitätspotenziale der Batteriespeicher ungenutzt, obwohl diese sehr einfach mit Überschussstrom geladen und nach Ende des Engpasses wieder entladen werden könnten. Entsprechend sollte zur Erschließung der Redispatch-Potenziale von Batteriespeichern und anderen dezentralen Anlagen der regulatorische Rahmen insbesondere dahingehend weiterentwickelt und angepasst werden, dass gemischte Geschäftsmodelle mit vertretbarem Messaufwand einfach umgesetzt werden können sowie die regulatorischen Bestandteile am Endkundenpreis bei netzdienlichem Verhalten durch bspw. die Bereitstellung von Redispatch-Dienstleistungen reduziert werden. Eine solche Reduzierung der regulatorischen Preisbestandteile sollte vor allem dann erfolgen, wenn dadurch keine negativen Auswirkungen auf die Einnahmen aus bspw. der EEG-Umlage für die Netzbetreiber zu erwarten sind, also wenn etwa PV-Strom nicht für den späteren Eigenverbrauch in einer Batterie gespeichert sondern unmittelbar als Redispatch-Dienstleistung in das öffentliche Netz eingespeist wird. Eine Blockchain-basierte Lösung für die Bereitstellung von Redispatch-Dienstleistungen aus dezentralen Anlagen kann dabei die Umsetzung gemischter Geschäftsmodelle unterstützen, in dem eine eindeutige und im Nachhinein nicht manipulierbare Zuordnung der Energieflüsse einer Batterie auf Lade- und Entladevorgänge für den Eigenverbrauch einerseits und Redispatch andererseits ermöglicht wird.

4 Fazit und Ausblick

Mit den ersten konkreten Blockchain-Anwendungen konnte sich TenneT gemeinsam mit seinen Pilot-Partnern sonnen und Vandebroun als führende Blockchain-Innovatoren in der Energiebranche positionieren. Die Pilotprojekte haben dabei die technische Umsetzbarkeit einer Blockchain-basierten Lösung zur Bereitstellung von Redispatch-Dienstleistungen aus dezentralen Batteriespeichern sowie Sekundärregelleistung aus Elektrofahrzeugen gezeigt. Gleichzeitig sind für die Entwicklung skalierbarer und großtechnisch ausrollbarer Anwendungen noch weitere Anstrengungen notwendig. Dies trifft auf die Weiterentwicklung von bspw. der ÜNB-internen Prozesse, der Zuverlässigkeit der Blockchain-Technologie, dem regulatorischen Rahmen sowie der Datensicherheits- und Datenschutzstandards zu. Zusätzlich erfordert die Bereitstellung von Redispatch- und anderen Systemdienstleistungen aus einer zunehmenden Zahl dezentraler Anlagen eine Koordination mit den betroffenen Verteilnetzbetreibern. Die Prozesse für eine solche Netzbetreiber übergreifende Koordination werden bspw. im Rahmen des bundesdeutschen SINTEG-Projekts (Schaufenster intelligente Energie) C/sells für die TenneT-Plattform *comax* entwickelt und perspektivisch auch in eine Blockchain-Lösung integriert. Daneben werden die Funktionalitäten der Blockchain-Piloten kontinuierlich dahingehend ergänzt, dass diese gemischte Geschäftsmodelle unterstützen bzw. eine TenneT-Plattform zusätzlichen Pilotpartnern die Bereitstellung von Systemdienstleistungen aus dezentralen Anlagen ermöglicht.

Literatur

- [1] Netzentwicklungsplan Strom 2030 (2019): <https://www.netzentwicklungsplan.de/de> (abgerufen am 07.01.2019).
- [2] TenneT TSO GmbH (2017): Europaweit erstes Blockchain-Projekt zur Stabilisierung des Stromnetzes startet: TenneT und sonnen erwarten Ergebnisse 2018; https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/News/German/Hoerchens/2017/20171102_PM-Start-Blockchain-Projekt-TenneT-sonnen.pdf; abgerufen am 07.01.2019).