

Planung zellularer Energiesysteme

Teil 1: Effektive integrierte Investitions- und Betriebsplanung von Energiezellen

Einleitung

In einem zellularen Energiesystem wird die physikalische Balance zwischen Energieangebot und -nachfrage so weit als möglich bereits auf regionaler, lokaler Ebene hergestellt. Der zentrale Baustein dabei ist die Energiezelle. Sie kann Energie in Form von Wärme, Elektrizität oder Gas aufnehmen und/oder Elektrizität und Wärme (z. B. aus erneuerbaren Energien) selbst erzeugen, um so den eigenen Wärme- und Elektrizitätsbedarf zu decken. Energieüberschüsse können (elektrisch und/oder thermisch) gespeichert oder anderen Zellen im Nahbereich oder einem Energieversorger zur Verfügung gestellt werden. Ein Energiezellenmanagement kann in Koordination mit Nachbarzellen den Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch über alle vorhandenen Energieformen organisieren.

Die Planung und der Betrieb zellularer Energiesysteme ist eine komplexe Aufgabe, da eine Vielzahl von dezentralen Energietechnologien, verschiedenste Ziele und auch Entscheidungsträger berücksichtigt werden müssen.

Der vorliegende VDE Impuls beschreibt als ersten Schritt die Planung einer Energiezelle, welche mit Energieversorgern interagieren kann. Er ist der Auftakt einer Reihe weiterer Veröffentlichungen zur detaillierten Planung von Energiezellen und zellularen Energiesystemen.

VDE Verband der Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik e.V.
Energietechnische Gesellschaft (ETG)
Stresemannallee 15
60596 Frankfurt am Main
Tel. +49 69 6308-346
etg@vde.com

Grundlegende Planungsschritte

Bild 1 zeigt schematisch die vier Planungsschritte

- (1) Konzept,
- (2) techno-ökonomische Analyse,
- (3) elektrotechnische Analyse und
- (4) Elektromagnetische Transientenanalyse,

welche notwendig sind, um eine Energiezelle und auch zellulare Energiesysteme erfolgreich zu planen.

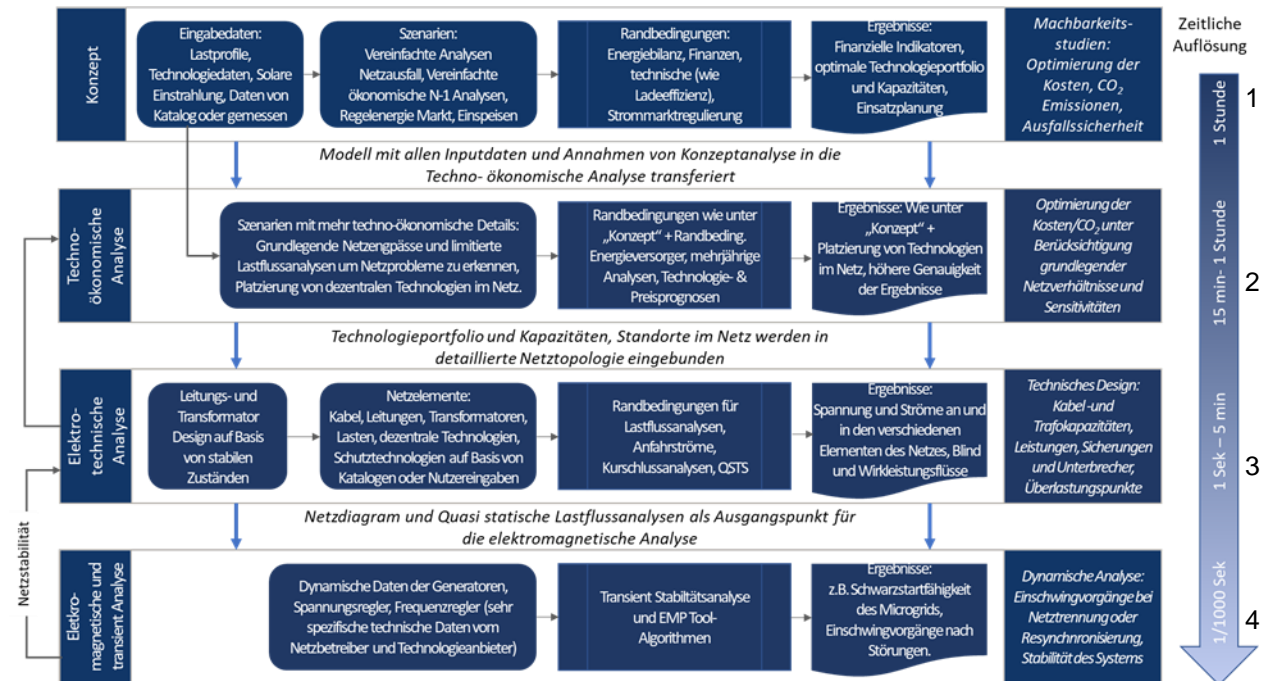


Bild 1: Die vier Planungsschritte für ein zellulares Energiesystem

Dieser Impuls beschäftigt sich mit der effektiven Investitions- und Betriebsplanung, speziell für die ersten beiden Planungsschritte „Konzept“ und „Techno-ökonomische Analyse“. Das Ergebnis der Konzeptphase ist eine Machbarkeitsstudie, welche im Wesentlichen die Kostenersparnis, CO₂-Reduktion, Investitionskosten, notwendige Technologien und deren Betriebsführung abschätzt. Finanzielle Indikatoren und Go/No-Go-Entscheidungen werden in dieser Phase getroffen.

Die techno-ökonomische Analyse baut auf der Konzeptphase auf und detailliertere Daten, die auch schon Netzengpässe oder Transformatorleistungen berücksichtigen können, werden benötigt. Weiter werden in dieser Planungsphase auch mehrjährige Analysen durchgeführt. D. h. der Detaillierungsgrad von Eingabedaten muss in dieser Phase höher sein als in der Konzeptphase und es bedarf z. B. Annahmen über zukünftige Strompreiseentwicklungen oder Lastentwicklungen am Stromnetz. Das Ergebnis der techno-ökonomischen Analyse ähnelt den Ergebnissen aus der Konzeptanalyse und liefert dieselben Indikatoren, aber mit höherer Genauigkeit und zeitlicher Auflösung.

Die letzten beiden Phasen beschäftigen sich mit der detaillierten Auslegung von Netzparametern und Strategien, um die Netzstabilität zu gewährleisten.

Idealerweise sollten alle diese Schritte in einem einheitlichen Planungskonzept (z. B. Software) integriert sein, um die Planungszeiten zu verkürzen und die Genauigkeit zu erhöhen, da es zwischen den Planungsschritten 2, 3 und 4 (siehe Bild 1) immer wieder zum Informationsaustausch kommt. Je nach verwendetem Verfahren oder verwendeter Software, sind die Grenzen zwischen der techno-ökonomischen Analyse und der elektrotechnischen Analyse verschiebbar. Es gibt mittlerweile auch Ansätze, die diese beiden Schritte kombinieren (z. B. Mixed Integer Linearized Optimization – MILP mit Einbindung von Lastflussanalysen).

Planungskreisprozess

Bevor eine Planung nach Bild 1 durchgeführt werden kann, sind zwei Aspekte wichtig: Die Zieldefinition und die Bestandsanalyse/Potentialanalyse (Bild 2).

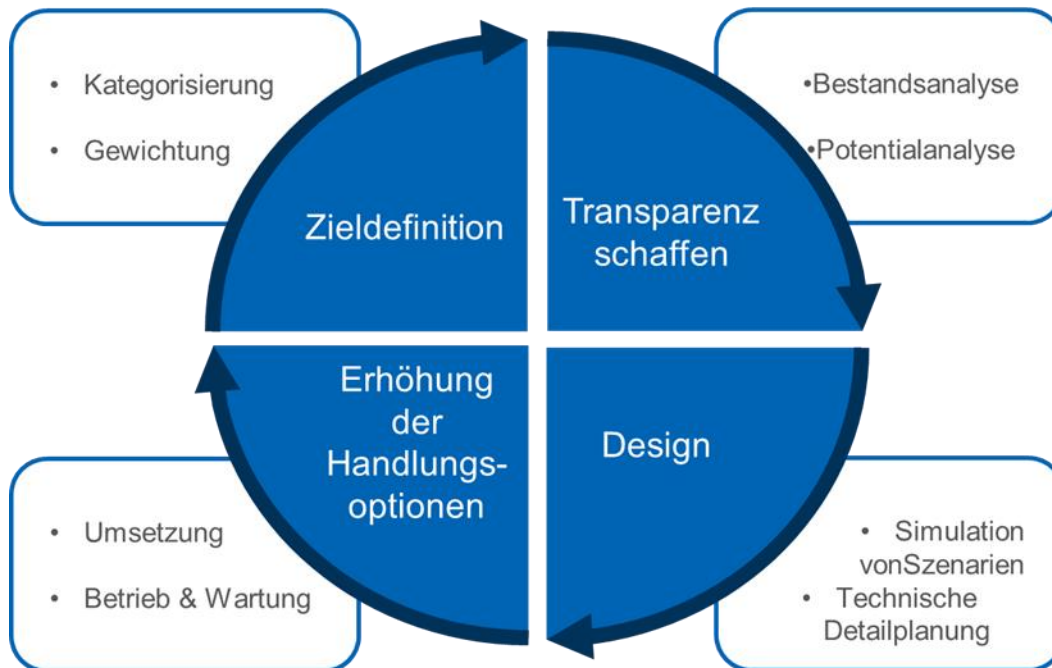


Bild 2: Planungskreisprozess

Der erste Schritt ist immer die Ziele festzulegen, denn diese werden die notwendigen Technologien und Investitionen (in Kombination mit dem Istzustand und den Technologieparametern) bestimmen. Als Beispiele für Ziele können Kostenreduktion, CO₂-Reduktion, Versorgungssicherheit, Netzentlastung oder Erhöhung des Anteils von erneuerbaren Energien angeführt werden. Einige dieser Ziele können in Konflikt zueinander stehen oder sich unterstützen. Des Weiteren kann es mehrere Beteiligte in einer Energiezelle geben, die auch unterschiedliche Interessen verfolgen. Beispiele für Beteiligte sind Endverbraucher, Kommunen, Kraftwerksbetreiber, Energieversorger, Netzbetreiber, aber auch Verbände und die Politik. Nicht zuletzt können die Ziele auch von existierenden finanziellen Fördermechanismen beeinflusst werden. D. h. die Zieldiskussion, Definition und Gewichtung der Ziele ist unumgänglich, um eine Energiezelle und auch zellulare Energiesysteme erfolgreich zu planen.

Der nächste wichtige Schritt ist die Bestands- und Potentialanalyse für bereits existierende Technologien und Lasten, sofern es sich um kein Projekt handelt, das auf der grünen Wiese gebaut wird. Einer der wichtigsten Punkte hier ist die korrekte Ermittlung der Lasten für mindesten ein volles Jahr. Um z. B. Lastverlagerungspotentiale, oder den Einfluss von variablen Strompreisen auf den Betrieb und die Investitionsentscheidung bestimmen zu können, bedarf es Daten mit mindestens einer stündlichen Auflösung. Für die techno-ökonomische Analyse wird eine Datenauflösung von 15 Minuten benötigt, um z. B. auch Leistungspreise, welche auf einer 15-Minuten-Basis abgerechnet werden, zu berücksichtigen. Diese Daten müssen entweder gemessen, simuliert oder aus einer Datenbank (synthetische Lastprofile, z. B. VDI 4655:2021-07) entnommen werden. Ohne diesen Auflösungsgrad ist es nicht möglich, eine Energiezelle oder ein zellulares Energiesystem zuverlässig zu planen. Weitere Daten, die gesammelt und verarbeitet werden müssen, sind Wetterdaten (z. B. solare Einstrahlung, Außentemperatur, etc.) oder Technologiekosten und Performance sowie deren Veränderungen mit der Zeit (für die techno-ökonomische Analyse). Potentialstudien, die die mögliche PV- oder Windausbeute bestimmen, sind auch in dieser Phase notwendig. Grundsätzliche Fragen, wie z. B. verfügbare Dachflächen oder das Potential für Wärmepumpen, müssen in dieser Phase beantwortet werden. Dazu bedarf es oftmals zusätzlicher Schritte wie z. B. einer Testbohrung, um die Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches zu bestimmen. Auf Basis dieser Untersuchungen kann es bereits in dieser Phase möglich sein, bestimmte Technologien auszuschließen. Soll das unterlagerte elektrische Netz auch berücksichtigt werden, sind auch Kabellängen, Kabelkapazitäten oder Transformatorenleistungen notwendig. Idealerweise sollten die meisten Technologiedaten oder auch Netz- und Stromtarife über Datenbanken in den Planungsprozess (z. B. Software) eingebunden werden, um Kosten und Zeit zu sparen.

Es muss bereits in der Designphase der zukünftige Betrieb berücksichtigt werden, um etwaige Betriebseffekte zu bewerten und die Handlungsoptionen zu erhöhen. D. h. es darf keinen Systembruch zwischen der Planung, Berechnung/Simulation, Umsetzung und dem Betrieb geben. Dies impliziert, dass eine effektive Planung und ein effektives Design auch Aussagen über die möglichen Betriebsarten und Zustände liefern sollte. In anderen Worten, die Designmethode sollte auch den optimalen Betriebspunkt in jedem Zeitschritt finden und optimal planen, da die Betriebskosten oder variable Strompreise und Lastverlagerungspotentiale die Attraktivität einer Technologie mitbestimmen. D. h. die verwendete Planungsmethode sollte zumindest die amortisierten Investitionskosten sowie Betriebs- und Wartungskosten abbilden und dabei automatisch den optimalen Betrieb (auf Basis der eingegebenen Zielfunktionen, Randbedingungen und Eingabedaten) finden. Technologien, die dies erlauben sind Mixed Integer Linearized Optimization (MILP) Verfahren.

Um den Planungskreis zu schließen, sollten die Betriebsergebnisse mit den ursprünglichen Planungsergebnissen und Zielen verglichen und bewertet werden, da dies die Verbesserung des Planungsprozesses erlaubt. Beim Betrieb des Systems ist darauf zu achten, dass die Kontrolleinheit, denselben Regeln oder Strategien aus der Betriebsplanung folgt. Hier können sogenannte Model Prädiktive Control Systeme (MPC) verwendet werden, welche auf Basis von MILP-Methoden funktionieren. D. h. es ist darauf zu achten, dass es zu keiner Entkopplung zwischen Planung und Betrieb kommt, um die Planungsziele und -parameter zu garantieren.

Integrierte Investitions- und Betriebsplanung

Um eine Energiezelle konzeptionell oder techno-ökonomisch auszulegen, muss grundsätzlich immer eine sogenannte Energiebilanz aufgestellt werden: Die Erzeugung und der Verbrauch müssen in jedem Zeitschritt ausgeglichen sein. Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten wie Strombezug, Eigenerzeugung durch dezentrale Technologien, Lastverlagerung oder -reduktion. Ziel ist es nun, die besten Technologien für jeden Zeitschritt zu finden, die die Zielfunktion z. B. Kostenreduktion garantieren. Je kleiner die Zeitschritte, umso genauer wird die Auslegung. Zeitschritte auf einer Jahres-, Quartals- oder Tagesbasis sind unzureichend, da diese keine Lastverlagerungspotentiale oder Variationen im Erzeugungsprofil abbilden können. Je kleiner die Zeitschritte, umso höher ist die Komplexität und Rechenzeit der Optimierungsmodelle. Auf Basis von Erfahrungswerten sind Zeitschritte von einer Stunde oder 15 Minuten ein idealer Kompromiss. Die Energiebilanz muss zumindest für ein Jahr betrachtet werden, um auch saisonale Effekte berücksichtigen zu können. In der techno-ökonomischen Analyse, wo mehrjährige Analysen durchgeführt werden, wird die Energiebilanz für mehrere Jahre aufgestellt und betrachtet. Dies erlaubt, in Kombination mit veränderten Annahmen für technische Parameter und Kosten, zeitliche Veränderungen in den Energiekosten abzubilden. Eine vereinfachte Energiebilanz ist in Bild 3 dargestellt.

Die bereits diskutierten Ziele werden nun in ein mathematisches Modell umgewandelt und ergeben die Zielfunktion, die in Kombination mit der Energiebilanz und den Randbedingungen die optimalen Technologien und deren Einsatz bestimmen können. Bild 3 zeigt eine vereinfachte Zielfunktion für die Kostenminimierung des Endkunden. Die Zelle hat mehrere Möglichkeiten den Energiebedarf zu decken, den Energiekauf vom EVU (Energiekauf; in Bild 3) und die Investition in eine oder mehrere Technologien (amortisierte Technologiekosten in Bild 3) sowie deren optimalen Betrieb (Betrieb-/Wartungskosten in Bild 3) zu planen. Der Kauf von Energie und auch die Erzeugung von z. B. Strom durch Kraft-Wärme-Kopplung führt auch zu CO₂-Emissionen und -Kosten (CO₂-Kosten in Bild 3), die berücksichtigt werden müssen. Sollte es attraktiv sein, Strom an den Markt oder das EVU zu verkaufen, ergeben sich daraus Einnahmenquellen für die Energiezelle und werden auch berücksichtigt (Verkauf in Bild 3). Das Zusammenwirken von Energiebilanz und Zielfunktion ist nun ausschlaggebend. Ein „smarter“ Algorithmus, z. B. ein mathematisches Verfahren, versucht nun in jedem Zeitschritt die Erzeugung mit dem Verbrauch bilanziell auszugleichen (Energiebilanz) und dabei die Zielfunktion (gesamte Kosten für das Jahr) zu minimieren. D. h. der Solver (Problemlösungsalgorithmus) „testet“ alle möglichen Kombinationen und Größen der Technologien, des Stromkaufes, des Stromverkaufes und die verschiedensten Betriebspunkte in jedem Zeitschritt, um das Ziel zu erfüllen. Die Summe in Bild 3 deutet dabei an, dass das gesamte Jahr betrachtet wird. Dadurch ergeben sich oftmals Millionen von verschiedenen Kombinationen und es bedarf mathematischer Methoden, um dieses Problem zu lösen. Simulationsverfahren, bei denen der Anwender oder Ingenieur die Kombination vorgibt, werden nicht zum Ziel führen, da es schlichtweg zu viele Kombinationen gibt und es wird eine sub-optimale Lösung generiert, die Kosten und Ressourcen verschwendet.

Als Beispiel sei ein elektrischer Speicher erwähnt, der in Kombination mit einer PV-Anlage die Stromkosten minimieren soll. Das Planungstool muss die möglichen amortisierten Kapitalkosten der einzelnen Technologien dem Nutzen (= reduzierter Strombezug vom Energieversorger in jedem Zeitschritt) gegenüberstellen. Nachdem aber die Strompreise, die PV-Erzeugung und die Last sich in jedem Zeitschritt ändern können, muss das Planungstool in jedem Zeitschritt den optimalen Betriebspunkt für den Speicher finden (der aber auch von vergangenen und zukünftigen Veränderungen abhängen kann). Dies wiederum beeinflusst den Stromkauf oder -verkauf in jedem Zeitschritt. D. h. es wird eine optimale Betriebsstrategie generiert und die beeinflusst die Investitionsentscheidung. Wenn der elektrische Speicher nicht im Stande ist, z. B. den Stromkauf zu minimieren, wird es auch keinen Sinn machen ihn zu installieren.

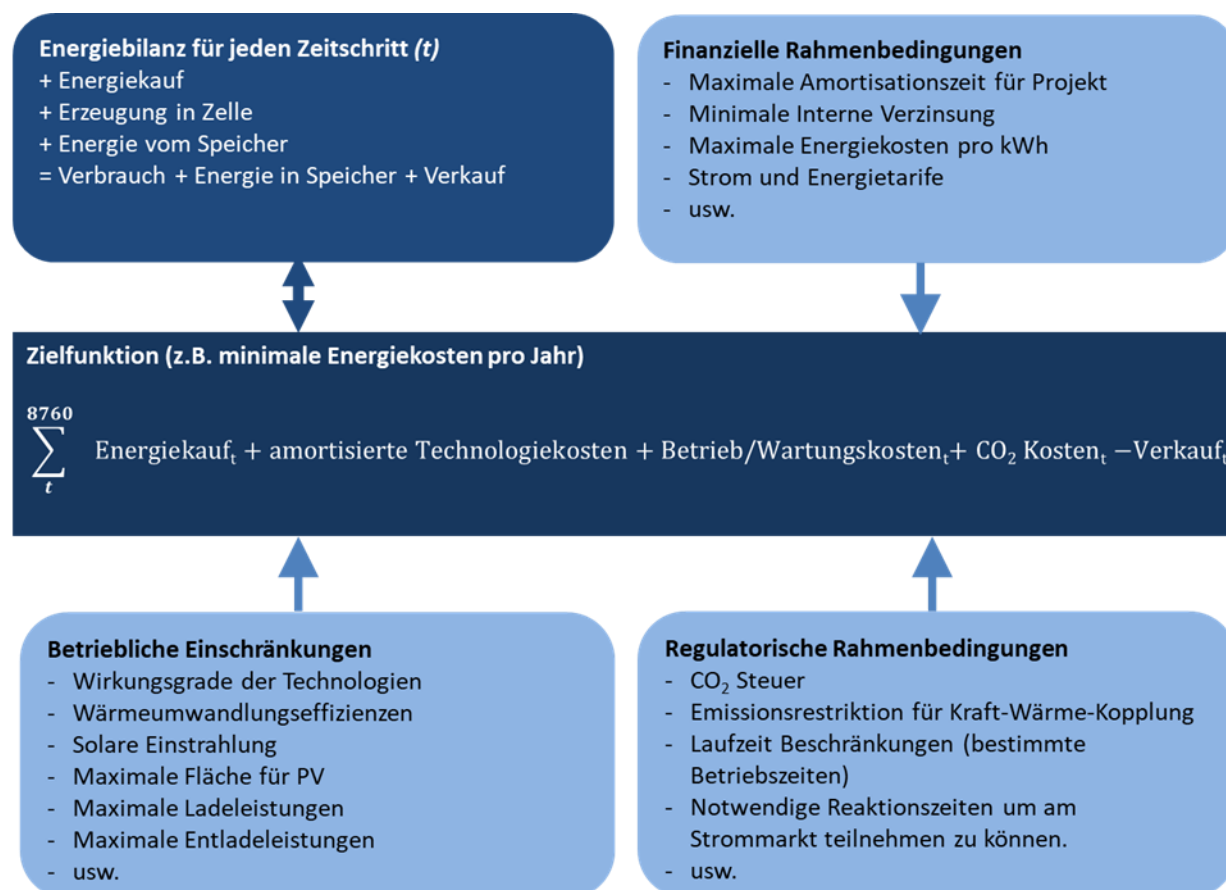


Bild 3: Vereinfachtes Prinzip einer mathematischen MILP-Optimierung für eine integrierte Investitions- und Betriebsplanung

Finanzielle Randbedingungen wie eine bestimmte Amortisationszeit einer Investition, ein minimaler Barwert oder die Voraussetzung zur Erfüllung von Anforderungen für eine mögliche Förderung (z. B. Mindestanteil erneuerbarer Energien für die Wärmeerzeugung) werden die Ergebnisse beeinflussen. Teure Technologien wie z. B. elektrische Speicher werden naturgemäß eine längere Amortisationszeit aufweisen, da es länger dauern wird die Investitionskosten durch Einsparungen zu „finanzieren“. Aber die Berücksichtigung von mehreren Anwendungsstrategien wie Stromverkauf, Lastmanagement oder die Teilnahme am Regelenergiemarkt können den Nutzen des Speichers erhöhen und somit die Amortisationszeit verkürzen. Regulatorische Rahmenbedingungen wie z. B. eine CO₂-Steuer wird Technologien unterstützen, die keine CO₂-Kosten verursachen, da dadurch der CO₂-Kosten_t-Term in Bild 3 minimiert wird.

Betriebliche Einschränkungen wie z. B. eine maximale Entladeleistung einer bestimmten Batterietechnologie wird auch die Attraktivität beeinflussen. Wenn aufgrund der Lastcharakteristik eine rasche Entladung gefordert wird und die Speichertechnologie dies nicht liefern kann, ist sie auch kein Lösungskandidat. Alle diese Randbedingungen müssen über die Eingabedaten oder Datenbanken definiert werden.

In den nachfolgenden VDE Impulsen zur Planung von zellularen Energiesystemen werden spezifische Beispiele, Use Cases und Methoden aufgezeigt, die die effektive Planung von zellularen Energiesystemen im Detail dokumentieren.

Die derzeitigen Rahmenbedingungen in Deutschland ermöglichen die Entwicklung von Energiezellen nur nach dem Netzanschlusspunkt und auch dort nur mit Einschränkungen in der Gestaltungshoheit durch Einspeisemanagement von Erzeugungsanlagen, Wärmepumpen usw. durch den Netzbetreiber. Ein zukünftiges zelluläres Energiesystem kann jedoch die Interessen und Bedarfe von Prosumern, Netzbetreibern und einer schnellen nachhaltigen Energiewende in einem resilienten Energienetz sicherstellen. Die zukünftigen Rahmenbedingungen sollten dies ermöglichen.

Wie ein zukünftiges zelluläres Energiesystem aussehen kann, das den Anforderungen gerecht wird, werden wir in der übernächsten Veröffentlichung aufzeigen.

Autoren

Arbeitsgruppe 2 „Planung zellulärer Energiesysteme“ im VDE ETG ITG Fachausschuss V2.4 „Zelluläre Energiesysteme“:

Stefan Aigenbauer, BEST - Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH

Josef Bayer (Sprecher), Max Bögl

Patrick Dirr, Institut für Energietechnik IfE GmbH

Lutz Josef Schmid, Schmid Datensicherheit GmbH

Michael Stadler (stv. Sprecher), XENDEE Corporation und Bioenergy and Sustainable Technologies (BEST) GmbH

Michael Zellinger, BEST - Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH

VDE Publikationen geben – entsprechend der Positionierung des VDE als neutraler, technisch-wissenschaftlicher Verband – gemeinsame Erkenntnisse der Mitglieder der Task Force bzw. Arbeitsgruppe wieder. Die Gemeinschaftsergebnisse werden im konstruktiven Dialog aus häufig unterschiedlichen Positionen erarbeitet. Die Publikationen spiegeln daher nicht unbedingt die Meinung der durch ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter vertretenen Unternehmen und Institutionen wider.

Stand: Dezember 2021