

## GROßBATTERIESPEICHER IN DER PRAXIS – VOM KONZEPT BIS ZUR INBETRIEBSETZUNG

DI Philipp BERNER<sup>1</sup>, DI Dr. Werner SCHÖFFER<sup>2</sup>, DI Martin STACHELBERGER<sup>3</sup>,  
DI Dr. Jürgen PLESCH<sup>4</sup>, DI Stefan PERLOT<sup>5</sup>

**Kurzfassung:** Großbatteriespeicher gewinnen in der modernen Energiewirtschaft zunehmend an Bedeutung. Das Interesse steigt natürlich mit den verschiedenen Einsatzgebieten und den damit verbundenen Rentabilitäten. Nicht jedes Konzept ist für jeden Einsatzfall geeignet und bereits in der konzeptiven Planung sollten diese genau überlegt werden. Das Paper beschreibt solche Szenarien und die damit verbundenen Anforderungen an Großbatteriespeicher in der Klasse mehrerer 10 MWh. Weiters werden verschiedene Umsetzungen behandelt und die Erfahrungen diskutiert.

Ein nicht unwesentlicher Beitrag zum Erfolg stellt das Abnahmeverfahren dar. Neben der üblichen Abarbeitung der Anforderungslisten sind genaueste umfangreiche Messungen ein wesentlicher Bestandteil bei der Inbetriebsetzung.

Die Messreihen werden z.B. dazu verwendet, um den genauen Ausgangszustand der Batterien festzuhalten. Später wiederholte Impedanz-Tests lassen dann die Degradierung der Elemente erkennen. Ebenso sind Kapazitätstests zur Bestimmung des Speicherinhalts wesentlicher Bestandteil der Testreihe.

Der spannendste Testzyklus und sehr oft ein Fail-Kriterium ist der Funktionstest, bei dem ein vorgegebener Fahrplan durchfahren wird. Neben den elektrischen Größen stehen auch Temperatur- und Luftfeuchtemessungen im Fokus des Tests.

Das Paper zeigt Messaufbauten dieser Art und gibt auch gelernte Erfahrungen wieder. Ein wesentliches Ergebnis ist auch die auf gehärteten, unabhängigen Daten fundierte Vergleichbarkeit verschiedener Systeme und Technologien.

**Keywords:** Großbatteriespeicher, Inbetriebsetzung, Abnahmeverfahren, Zustandsbestimmung

---

<sup>1</sup> Verbund Energy4Business GmbH, Am Hof 6a, 1010 Wien, +43 664 8286751, [philipp.berner@verbund.com](mailto:philipp.berner@verbund.com)

<sup>2</sup> ARTEMES GmbH, Eibiswald 105, 8552 Eibiswald, +43 664 5403106, [werner.schoeffer@artemes.org](mailto:werner.schoeffer@artemes.org)

<sup>3</sup> Verbund Energy4Business GmbH, Am Hof 6a, 1010 Wien, +43 664 8286727, [martin.stachelberger@verbund.com](mailto:martin.stachelberger@verbund.com)

<sup>4</sup> ARTEMES GmbH, Eibiswald 105, 8552 Eibiswald, +43 664 1276895, [juergen.plesch@artemes.org](mailto:juergen.plesch@artemes.org)

<sup>5</sup> Bridge Executive Consulting, Bergstraße 57, 5300 Hallwang, +43 676 6157151, [Stefan.perlot@bridge-executive.com](mailto:Stefan.perlot@bridge-executive.com)

# 1 Notwendigkeit von Großbatteriespeichern in modernen Stromnetzen

Batteriespeichersysteme gewinnen in den heutigen Stromnetzen aus mehreren Gründen immer mehr an Bedeutung (Wehner, 2019).

- Integration von erneuerbaren Energiequellen: Mit der zunehmenden Integration erneuerbarer Energiequellen wie Solar- und Windenergie spielen Batteriespeichersysteme eine entscheidende Rolle beim Ausgleich von Angebot und Nachfrage, bei der Gewährleistung der Netzstabilität und bei der Erleichterung der Integration von intermittierenden erneuerbaren Energien (Saldarini A., 2023).
- Zuverlässigkeit und Widerstandsfähigkeit der Netze: Batteriespeichersysteme verbessern die Betriebsfähigkeit des Netzes, senken die Kosten, gewährleisten eine hohe Zuverlässigkeit und verringern den Bedarf an Infrastrukturinvestitionen (Sultan V., 2022). Sie sorgen für Spannungs- und Frequenzregulierung, Lastverschiebung und Netzstabilisierung und tragen so zu einem widerstandsfähigen und effizienten Netz bei (Zhang Y., 2017).
- Übergang zu einer nachhaltigen Energiezukunft: Batteriespeichersysteme bieten Flexibilität, Skalierbarkeit und Kosteneffizienz, was sie zu einer vielversprechenden Technologie für eine nachhaltige und zuverlässige Energiezukunft macht (Saldarini A., 2023). Sie können den Übergang weg von fossilen Brennstoffen unterstützen und Treibhausgasemissionen reduzieren (Masiello R., 2022).



Abbildung 1: 20MW/21MWh Großbatteriespeicher in Iphofen in der Bauphase (Einheben der Batteriecontainer)



Abbildung 2: 20MW/21MWh Großbatteriespeicher in Diespeck nach Fertigstellung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Batteriespeichersysteme eine zunehmend wichtige Rolle in bestehenden, aber auch zukünftigen Stromnetzen spielen werden. Nicht zuletzt aufgrund Ihrer hohen Skalierbarkeit, welche aus nachfolgenden Gründen gegeben ist, finden Batteriespeicher bereits heute im großen Stil (>50MW/100MWh) Anwendung.

- Geringer Eingriff in die Umgebung: Im Vergleich zu Pumpspeicherkraftwerken, oder ähnlichen Großprojekten, können Batteriespeicher ohne lange Genehmigungsverfahren errichtet werden. Dabei benötigen Sie wenig Platz (etwa 1250m<sup>2</sup>/MWh) und einen geringen baulichen Eingriff in die Umgebung. Wie in Abbildung 1 & Abbildung 2 für eine 20MW/21MWh Anlage zu sehen.

- Flexible Standortwahl: Batteriespeicher sind nicht auf geologische und topologische Gegebenheiten angewiesen. So wird hier kein Höhenunterschied der Umgebung oder spezielle geologische Schichtungen zur Energiespeicherung benötigt.
- Hohe Effizienz: Mit AC-AC Round Trip Effizienzen (RTE) von bis zu 90% zählen Großbatteriespeicher zu den effizientesten Speichertechnologien.
- Schnelle Regelbarkeit: Aufgrund der DC-AC Umwandlung mittels Wechselrichter können sehr schnelle Reaktionszeiten realisiert werden. So wird es möglich sein voraussichtlich zukünftige Strommarktprodukte, wie z.B. „ultrafast frequency response (FRR)“ bedienen zu können.

## 2 Herausforderungen als Errichter und Betreiber von Großbatteriespeichern

Die Herausforderungen als Errichter und Betreiber können in die unterschiedlichen Lebenszyklen des Großbatteriespeichers unterteilt werden.

### 2.1 Planung & Errichtung

Eine stabile Politik und resiliente Marktmechanismen sind wichtig, um den Planern, Errichtern, sowie Betreibern, die notwendige Sicherheit zu geben Großbatteriespeicherprojekte anzugehen.

Die Entwicklung von Batteriespeichersystemen erfordert eine klare Politik und Marktmechanismen. Länder wie die USA, China, Australien und das Vereinigte Königreich haben Strategien und Marktmechanismen eingeführt, um Hindernisse zu überwinden und die Entwicklung in großem Maßstab zu fördern (Sun J., 2023). Erste Marktmechanismen werden nun auch in Europa eingeführt und treiben den Bau von Großbatteriespeichern voran.

Nicht zuletzt haben vor allem Marktmechanismen erheblichen Einfluss auf den Systemaufbau und -betrieb dieser Speicher. Die Wahl der Batterietechnologie, des Systemdesigns und der Betriebsstrategie sind entscheidend für die Anpassung an spezifische Systemanwendungen. Faktoren wie Leistung, Alterung und wirtschaftliche Analyse müssen Berücksichtigung finden (Hesse H.C., 2017). Eine Festlegung dieser Faktoren ist insbesondere bei noch nicht konkreten, aber in der Zukunft angestrebten Geschäftsmodellen schwer vorzunehmen.

Gerade in der Planungsphase sind einschlägige C-Normen für den Errichter äußerst hilfreich. Hier anzuführen ist die IEC 62933 – Elektrische Energiespeichersysteme. So findet man in dieser Norm:

- System- und Begriffsdefinitionen
- Sicherheitsanforderungen
- Definition von Einheitsparametern und deren Testung
- Planungsrichtlinien
- Richtlinien zur Leistungsevaluierung

Allgemein geben diese Standards Errichtern einen Überblick und eine grobe Richtlinie, welche bei der Planung und Errichtung eines Großbatteriespeichers hilfreich sind, nichtsdestotrotz ist anzuführen, dass die weitere Ausdetaillierung dieser Normen zwingend notwendig ist, um klare und einheitliche Marktstandards hervorzubringen.

## 2.2 Betrieb und Nutzung

Die Betriebsführung & Wartung hat einerseits zum Ziel die Verfügbarkeit des Großbatteriespeichers so hoch wie möglich zu halten, um einen wirtschaftlichen Einsatz zu gewährleisten und andererseits den Großbatteriespeicher stets in einem sicheren Zustand zu halten. Folgende Punkte sind dabei zu berücksichtigen:

- Wirtschaftlicher Einsatz: Li-Ionen-Batterien degradieren mit der Zeit und mit zunehmender Zyklenzahl, was sowohl ihre Leistung und auch Kapazität beeinträchtigt (Omae C., 2023). Bei der Bewertung der wirtschaftlichen Vorteile eines Batteriespeichersystems über die gesamte Lebensdauer ist es wichtig, die Degradation der Batterie zu berücksichtigen und diese erlös- & degradationsoptimiert zu vermarkten. Durch die Verwendung eines halb-empirischen Degradationsmodells und die Aktualisierung des State of Health (SoH) des Großbatteriespeichers kann der durch das System generierte Lebenszeitertrag genau bestimmt und optimiert werden (Bera A., 2019). Gerade hier ist es wichtig, nicht nur Großbatteriespeicher unterschiedlicher Hersteller miteinander, sondern auch mit dem Zustand zu BoL (Beginn of Life) vergleichen zu können.
- Sicherheit: Um die Herausforderungen zu bewältigen, welche Lilon-Batterien mit sich bringen, wurden verschiedene Sicherheitsmaßnahmen und Lösungen zur Schadensbegrenzung entwickelt. Dazu gehören Ladungsunterbrechungs-vorrichtungen, Schalter mit positivem Temperaturkoeffizienten und Strategien zur Verbesserung der Zellsicherheit durch Zellchemie, effiziente Kühlung und Zell-Balancing (Chen Y., 2021).

## 2.3 End of Life Unsicherheit

Mit heutigem Stand gibt es als Errichter und Betreiber von Lilon Großbatteriespeichern noch viele Unsicherheiten, wie mit dem EoL (End of Life) Szenario umzugehen ist. Grundsätzlich kann zwischen Recycling & Second Use unterschieden werden.

Zu den derzeitigen Recyclingverfahren für Lithium-Ionen-Batterien gehören Pyrometallurgie, Hydrometallurgie und mechanische Trennung. Diese Verfahren zielen darauf ab, wertvolle Materialien aus verbrauchten Batterien zurückzugewinnen (Yasa S., 2023). Beim chemischen Recycling werden die Batterien zerlegt und die Komponenten durch chemische Reaktionen getrennt, während beim physikalischen Recycling vor allem Technologien, wie die gravimetrische Trennung und die magnetische Trennung, zum Einsatz kommen (T., 2023). Diese Methoden haben jedoch ihre Grenzen: Sie sind teuer, energieintensiv und weniger effektiv bei der Rückgewinnung von Edelmetallen (T., 2023). Künftige Arbeiten sollten sich auf die Entwicklung nachhaltiger und effektiver Recyclingverfahren konzentrieren, um den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen (Golmohammadzadeh R., 2022).

Eine Alternative dazu stellt der Second Use dar. Jedoch befindet sich auch dieser noch in einem frühen Entwicklungsstadium, wobei mehrere Hindernisse den Wiederverwendungsprozess erschweren (Kampker A., 2023). Zu diesen Hindernissen gehören das Fehlen spezifischer Normen, normative Lücken und der Bedarf an effizienten industriellen Modellen und Testverfahren (Eleftheriadis P., 2022). Dabei ist vor allem die inhomogene Alterung der einzelnen Zellen herausfordernd. Darüber hinaus müssen

Einschränkungen bei Leistung und Energie in Kauf genommen werden, um eine sichere Wiederverwendung zu ermöglichen.

### 3 Anforderungen an die Inbetriebsetzung und Abnahme

Die Anforderungen können auf zwei Ebenen betrachtet werden, die physikalische und die funktionale Ebene.

Physikalische Ebene: Die Integration von Großbatteriespeichern in Verteilungsnetze erfordert die Berücksichtigung von Batterietechnologien und leistungselektronischen Wechselrichtern (Stecca M., 2020). Ein klarer Trend, der am Markt zu erkennen ist, sind immer größer werdende Leistungs- und Kapazitätsklassen. So sind bereits heute Batteriespeicher jenseits der 200MW/400MWh in Deutschland geplant.

Da die Skalierung dieser Systeme durch Verschalten von mehr technischen Einheiten erreicht wird, steigt somit auch die Komplexität aufgrund der zahlreichen Komponenten. So sind in dem oben genannten Beispiel Diespeck (Abbildung 2) 12 Wechselrichter mit je 14 Strängen zu je 15 Batteriemodulen verbaut. Dies ergibt in Summe mehr als 55.000 Zellen. Jede einzelne dieser Zellen muss Spannungsüberwacht und geregelt werden. Diese große Anzahl an Komponenten, welche ein homogenes Verhalten aufweisen müssen, stellt eine große Herausforderung für die Zustandsbeurteilung solcher Anlagen dar.

Funktionale Ebene: Großbatteriespeicher können in einer netzgekoppelten Umgebung verschiedene Funktionen bieten, wie z. B. Lastausgleich, Frequenzregelung und Spannungsstützung (Stecca M., 2020). Die richtige Dimensionierung, der Standort und die Steuerung von Großbatteriespeichern im Verteilernetz sind entscheidend für einen effektiven Betrieb und die Zuverlässigkeit des Netzes (Stecca M., 2020). Zur Abnahme der mit dem Hersteller vereinbarten funktionalen Anforderungen werden unterschiedliche Tests durchgeführt. Exemplarisch sei hier der im Beispiel Diespeck durchgeführte Funktionstest, zu sehen in Abbildung 3, erwähnt. Mittels dieser Tests werden folgende Anforderungen abgeprüft:

- Leistungsfähigkeit: Kann das System die vereinbarte Leistung dauerhaft liefern?
- Kapazität: Enthält das System genügend Energie, um das vereinbarte Profil ohne Leistungseinbrüche durchzufahren?
- Temperaturverhalten: Werden während des Tests die vom Hersteller vorgeschriebenen Umgebungsbedingungen (z.B.: Temperatur & Luftfeuchte) nicht über-, oder unterschritten?

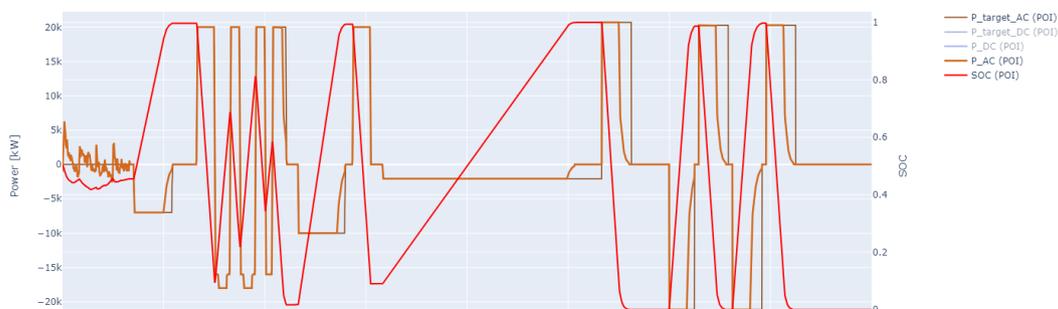


Abbildung 3: Funktionstest Leistungs- und SoC- (State of Charge) Verlauf am Beispiel des Großbatteriespeichers Diespeck

Obwohl die bereits oben angeführte IEC 62933 einen Vorstoß in Richtung Standardisierung macht, weisen unterschiedliche Hersteller immer noch Unterschiede in der Bestimmung und Definition von bestimmten KPIs wie Depth of Discharge (DoD), SoH, etc. auf. Durch diese nicht einheitliche Definition wird die Vergleichbarkeit von Systemen über verschiedene Hersteller hinweg schwer bzw. kaum möglich. Somit steht während der Inbetriebnahme auch die Dokumentation des Anlagenzustands zu BoL mittels über alle Hersteller gleich ermittelte KPIs, um die Vergleichbarkeit zu garantieren, im Vordergrund.

#### 4 Messaufbau für das Abnahmeverfahren

Um alle relevanten Parameter richtig und möglichst genau zu erfassen, werden an verschiedenen Positionen Messgeräte installiert.

Das sind:

- Übergabestelle zum Netzbetreiber
- Nach dem Eigenbedarf bzw. der Eigenbedarf selbst.
- Jeder Wechselrichter auf der AC-Seite
- Stichprobenweise Wechselrichter auf der DC-Seite, wobei jeder DC-Strang erfasst wird.
- Stichprobenweise Temperaturen und Luftfeuchtwerte im Batterieraum



Abbildung 4: Messgerät ARTEMES AM-4-MoCa und Abgriff mittels Rogowski-Spulen



Abbildung 5: Temperatur- und Luftfeuchtesensoren

Die dabei interessierenden Werte sind:

- Leistung und Energie (an Übergabe und Eigenbedarf, an der AC-Seite und an der DC-Seite des Wechselrichters)
- Power Quality (Spannungsschwankungen im Betrieb und bei Lastwechsel, Flicker, Frequenzen bis 150kHz, an der Übergabestelle zum Netzbetreiber mittelspannungsseitig und an den Wechselrichtern AC-seitig)
- DC-Welligkeit am Wechselrichter Batterieseitig
- DC- und AC-Ströme und Spannungen an allen Punkten
- Temperaturen und Luftfeuchte im Batterieraum, Ansaugung und Ausblasung

## 5 Prüfungen bei der Abnahme

Bei der Abnahme werden verschiedene Prüfungen durchgeführt, wobei je nach Entwicklungsstand der Anlagen selbst durchaus vertiefendere Methoden Anwendung finden. Hier werden die standardmäßig durchgeführten Prüfungen näher beschrieben

### 5.1 Impedanzprüfung

Die Impedanzprüfung dient zur Bestimmung des Innenwiderstandes der Batterie auf Strangebene. Zum einen wird die Bestimmung bei der Inbetriebsetzung durchgeführt, um den Startzustand festzuhalten. Zum anderen wird die Bestimmung zu späteren Zeitpunkten wiederholt werden, um den Zustand der Batterie und vor allem deren Alterung zu bestimmen.



Abbildung 6: Messung der DC-Ströme an jedem Strang

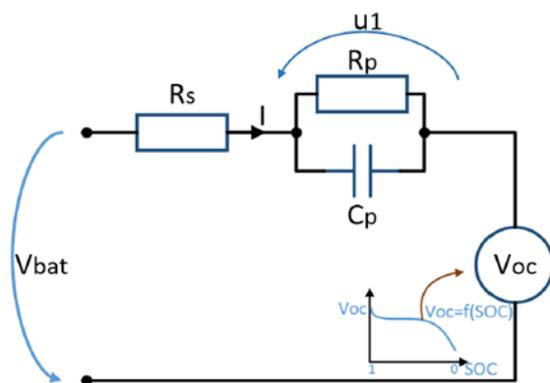


Abbildung 7: Ersatzschaltbild nach (NEM19, 2019)

Das Verfahren selbst beruht auf einem 2R2C Ersatzschaltbild und ist in einem eigenen technischen Bericht näher beschrieben (Plesch, 2021).

Als Ergebnis werden Innenwiderstand und Kapazität festgehalten, wobei diese bei verschiedenen SoC (State of Charge) Werten in Schritten von 10% ermittelt werden.

Da die Bestimmung eine Sprunglast von 0 auf 100% darstellt, ist diese eine enorme Netzbelastung. Daher werden immer synchron 50% der Anlage positiv und 50% negativ belastet, um nach außen keine Lastsprünge zu generieren.

### 5.2 Kapazitätsprüfung zur Speicherbestimmung

Der Kapazitätstest, bei dem die Batterie von 100% auf 0% SoC entladen und anschließend wieder aufgeladen wird, ist ein wesentlicher Vertragsbestandteil und KPI zur Bewertung der Alterung/Degradation. Das Ergebnis zeigt den Energieinhalt der Batterie. Da diese Messung als Referenz gilt, ist hier auf höchste Genauigkeit zu achten. 0,1% Genauigkeit auf den Energiewert ist daher obligatorisch. Die Messung wird auf mehreren Ebenen durchgeführt und dient auch zur Ermittlung der Verluste der einzelnen Komponenten wie Transformator, Wechselrichter und Batterie selbst. So werden hier bei z.B. 10 Containern die Werte jedes einzelnen Containers gemessen und anschließend addiert, um die AC-Werte vor den Trafos zu bekommen. Auf der Mittelspannungsseite wird parallel zum Verrechnungszähler gemessen.



Abbildung 8: Leistungsverlauf bei einem Kapazitätstest 3\*Entladen; 2\*Laden

### 5.3 Funktionstests und Leistungsbewertung

Ziel des Funktionstests ist es, das Verhalten des Gesamtsystems bei hoher Belastung zu untersuchen. Dabei werden neben Vollastzyklen auch unterschiedliche andere Fahrplansegmente eingebaut. Das Testmuster selbst ist vom Einsatzzweck der Anlage abhängig und wird bereits während der Planungsphase mit dem Hersteller abgestimmt.

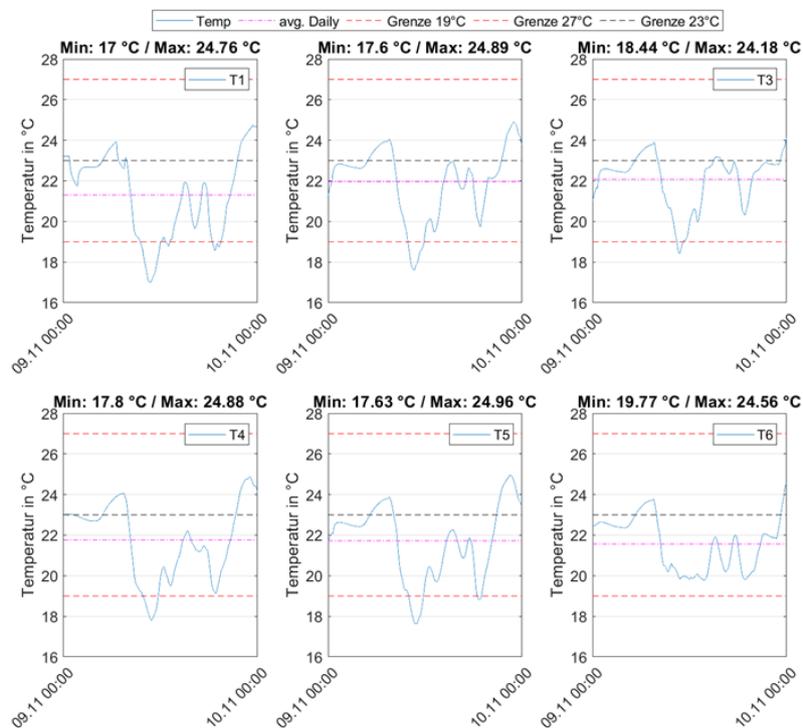


Abbildung 9: verschiedene Temperaturverläufe und Grenzwerte. Nicht nur Übertemperatur ist ein Thema, sondern auch "Unterkühlung"

Neben den elektrischen Leistungswerten sind hier vor allem auch die Temperatur- und Luftfeuchtwerte von größtem Interesse. Auch die Eigenbedarfsmessung und somit die Klimatisierungsenergie wird hier betrachtet, da diese bei hohen Belastungen den Gesamtsystemwirkungsgrad empfindlich beeinflusst.

## 5.4 Power Quality Bestimmung

Ein wesentliches Abnahmekriterium ist auch die Einhaltung der Spannungsqualität. Da Speicher mit mehreren 10MW eine enorme Netzbelastung darstellen, ist die Auswahl der Anschlusspunkte im Vorfeld ein wesentliches Kriterium. Eine ständig laufende PQ-Messung im Inbetriebnahme-Prozess zeigt am Ende, ob durchgehend die Parameter der EN50160 eingehalten wurden und ob die Spannungshübe im erlaubten Bereich liegen.

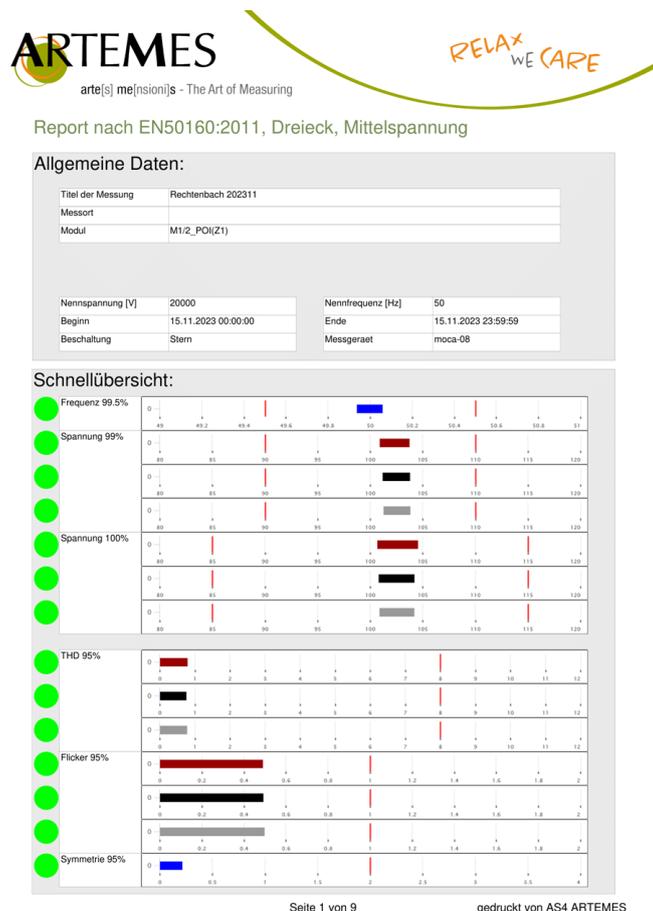


Abbildung 10: Power Quality Messung nach EN50160

## 5.5 weitere Messungen

Weitere messtechnisch unterstützte Abnahmeprüfungen sind:

- Erdungsmessung
- Kontrolle des niederohmigen Erdungssystems
- Temperatur der Batteriemodule
- Stabilität des Eigenbedarfsnetzes

- Welligkeit der DC-Spannungen
- Frequenzspektren der Wechselrichteremission AC-seitig
- Optische Kontrollen der elektrotechnischen Ausrüstung
- Bei Bedarf Sondermessungen

## 6 Ergebnisse der Prüfungen

Die Ergebnisse der messtechnischen Überprüfung werden in einem eigenen Bericht zusammengefasst und bilden integralen Bestandteil der Dokumentation des Anlagenzustands zu BoL. Etwaige auftretende Abweichungen vom vereinbarten Leistungsspektrum werden in einer Mängelliste festgehalten und durch die Messberichte gestützt. Diese Berichte helfen darüber hinaus bei der Ursachenforschung von aufgetretenen Mängeln.

## 7 References

- Bera A., M. J. (2019). Lifetime Revenue from Energy Storage considering Battery Degradation. *51st North American Power Symposium*.
- Chen Y., K. Y. (2021). A review of lithium-ion battery safety concerns: The issues, strategies, and testing standards. *Journal of Energy Chemistry*, 83-99.
- Eleftheriadis P., L. S. (2022). Second Life Batteries: Current Regulatory Framework, Evaluation Methods, and Economic Assessment. *IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering*.
- Golmohammadzadeh R., F. F.-G. (2022). Current challenges and future opportunities toward recycling of spent lithium-ion batteries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Hesse H.C., S. M. (2017). Lithium-ion battery storage for the grid - A review of stationary battery storage system design tailored for applications in modern power grids. *Energies*, 10 (12), art. no. 2107.
- Kampker A., H. H. (2023). Identification of Challenges for Second-Life Battery Systems—A Literature Review. *World Electric Vehicle Journal*.
- Masiello R., F. R. (2022). Electrification, Decarbonization, and the Future Carbon-Free Grid: The Role of Energy Storage in the Electric Grid Infrastructure. *Proceedings of the IEEE*, 110 (3), 324-333.
- NEM19. (2019). Modeling and simulation of first order Li-Ion battery cell with experimental validation. *8th International Conference on Modern Power Systems (MPS)*.
- Omae C., A. V. (2023). BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM WITH SECOND LIFE EV BATTERIES. *IET Conference Proceedings*, 4083-4087.
- Plesch, S. B. (2021). Impedanzmessung SMAREG2. Identifikation der Parameter einer Batterie. *Abschlussbericht SMAREG2 - ARTEMES für VERBUND Energy4Business*.
- Saldarini A., L. M. (2023). *Battery Electric Storage Systems: Advances, Challenges, and Market Trends*.

- Stecca M., E. L. (2020). A comprehensive review of the integration of battery energy storage systems into distribution networks. *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society*, 1 (1), art. no. 2981832, 46-65.
- Sultan V., B. H. (2022). A research framework for grid benefits from energy storage. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 9 (4), 53 - 61.
- Sun J., L. J. (2023). Development status, policy, and market mechanisms for battery energy storage in the US, China, Australia, and the UK. (2023) *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 15 (2).
- T., S. (2023). METHODS OF RECYCLING LITHIUM ION BATTERIES. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*.
- Wehner, N. &. (2019). *Behind-the-Meter Energy Storage Implementation. R&D Management in the Knowledge Era: Challenges of Emerging Technologies*, 71-94.
- Yasa S., A. O.-B. (2023). Recycling valuable materials from the cathodes of spent lithium-ion batteries: A comprehensive review. *Journal of Energy Storage*.
- Zhang Y., G. V. (2017). Grid-Level Application of Electrical Energy Storage: Example Use Cases in the United States and China. *IEEE Power and Energy Magazine*, 15 (5), art. no. 8011515, 51-58.