



Hans-Peter Beck (Herausgeber)  
**ReserveBatt - Momentanreserve mit  
Hochleistungsbatterien - Systemdienstleistungen für  
den stabilen und sicheren Betrieb des  
Energieversorgungssystems**  
Abschlussbericht

Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen

**efzn**

Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen



TU Clausthal

**ReserveBatt – Momentanreserve  
mit Hochleistungsbatterien –  
Systemdienstleistungen für den  
stabilen und sicheren Betrieb des  
Energieversorgungssystems**

Abschlussbericht

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck (Hrsg.)

Band 76



Cuvillier Verlag Göttingen

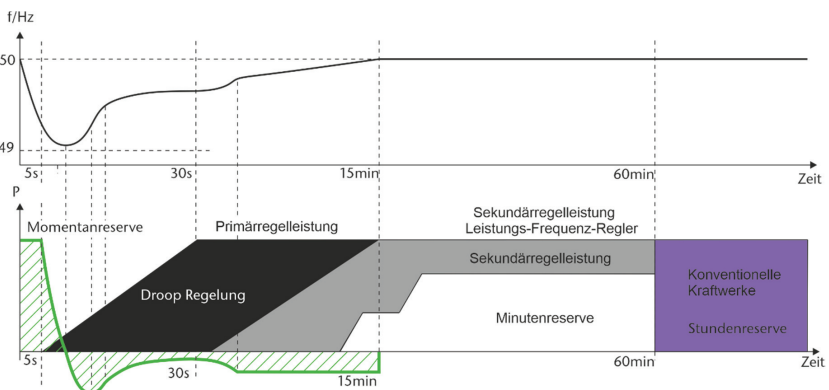
<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8840>

Copyright:  
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

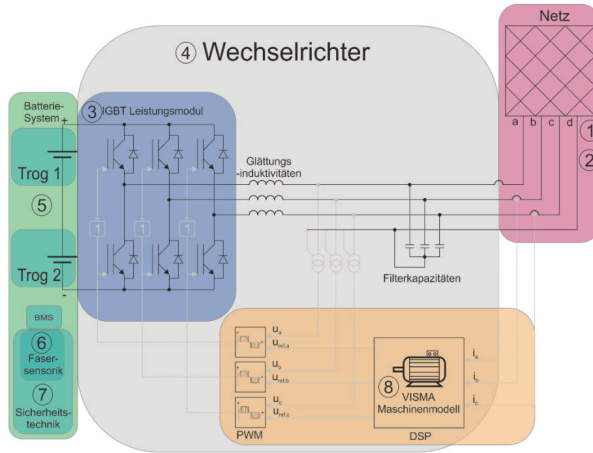
# 1 Überblick Gesamtvorhaben

Ein stabiler Betrieb eines Energieversorgungssystems setzt voraus, dass die eingespeiste Leistung (inkl. der Import- und Exportbilanz) zu jedem Zeitpunkt dem Leistungsverbrauch im jeweiligen Versorgungsgebiet entspricht. Eine Abweichung zwischen Erzeugung und Verbrauch führt unmittelbar zu einer Erhöhung oder einer Verringerung der Frequenz. Im europäischen Verbundnetz müssen die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) unverzüglich für einen Ausgleich des Bilanzungleichgewichts sorgen, um die Sollnetzfrequenz sicher zu stellen. Hierfür sorgen die Systemdienstleistungen (SDL) in der Energieversorgung. Die Frequenzhaltung wird durch die Momentanreserve und die Leistungs-Frequenzregelung in Form von Primär- und Sekundärleistungen sowie Minutenreserve erbracht. Die zeitliche Zuordnung der Erbringung von Regelleistungen ist in Abbildung 1-1 dargestellt. Der für das Projekt relevante Zeitbereich liegt für die Anwendung der Momentanreserve im Bereich von wenigen Millisekunden bis etwa 30 Sekunden. Im Anschluss an die Momentanreserve erfolgt die Aktivierung der Primärregelung bei entsprechendem Regelleistungsbedarf.



**Abbildung 1-1: Einordnung und Wirkungsweise der Momentanreserve (in grün) in die Frequenzhaltungs-SDL bei einem spontanen Frequenzeinbruch [1]**

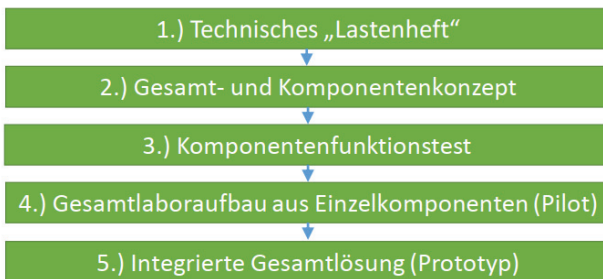
Derzeit erfolgt die Bereitstellung der Momentanreserve hauptsächlich durch die großen rotierenden Massen in den thermischen Kraftwerken. In Zukunft ist durch die zunehmende Ablösung konventioneller Einspeiser (Atom- und Kohlekraftwerke) durch meist Umrichter basierte, regenerative Einspeiser mit einer Abnahme der am Netz verbleibenden Momentanreserve vor allem zu Zeitengeringer Residuallast zu rechnen. Damit Deutschland auch in Zukunft einen gleichbleibenden Beitrag zur Deckung der europäischen Systemstabilität liefern kann, ist der Einsatz von entsprechend programmierten Umrichtern mit Speichern technisch und wirtschaftlich sinnvoll [1],[2],[3],[4],[5].



**Abbildung 1-2: Darstellung der Arbeitsbereiche der Projektpartner an den Schnittstellen im Gesamtsystem bestehend aus Batterie- und Wechselrichtersystem**

Ziel des Gesamtprojekts war der Aufbau eines Demonstrators zur Erbringung von Momentanreserve im Leistungsbereich von 400 kW mit einem Batteriespeicher bei einem Energieinhalt von etwa 50kWh und kleiner. Das Gesamtsystem zur Erbringung von Momentanreserve bestand im Rahmen des hier vorgestellten Konzepts aus den Komponenten Hochleistungs-batteriesystem, Leistungselektronik (3) bzw. Wechselrichter (4), faseroptischer Sensorik, Regelung und Steuerung einschließlich Maschinen- und Batteriemodell (8), der Batterie-Sicherheitstechnik (7) und -sensorik (6), sowie die Netzan- kopplung bestehend aus Netzanschlussbedingungen und -monitoring (1,2). Die Aufteilung der Arbeitsbereiche im Gesamtverbund zeigt Abbildung 1-2.

Die Bearbeitung der Arbeitspakete erfolgte im Wesentlichen in fünf Projektphasen, welche Abbildung 1-3 dargestellt werden.



**Abbildung 1-3: Die fünf Projektphasen im Gesamtprojekt ReserveBatt**

Im Folgenden werden die einzelnen Projektphasen ausführlicher erläutert.

### 1. Technisches Lastenheft – Anforderungs- und Leistungskatalog

In dieser Phase wurden auf Basis der beschriebenen Arbeitspakete und der aus der Aufgabenstellung abgeleiteten Eigenschaften die Anforderungen an das Gesamtsystem und aller Komponenten quantifizierbar spezifiziert. Zu diesen Anforderungen gehörten bspw. die Leistungsdaten, die geometrischen Maße, Massen und zu erfüllende Sicherheitsfunktionen (Normen, Technische Richtlinien etc.).

### 2. Gesamt- und Komponentenkonzept

In der Konzeptphase wurden das Gesamtsystem und alle Komponenten den Anforderungen des Lastenhefts entsprechend konzipiert. Dazu wurden ins Besondere die technischen Schnittstellen zu den Verbundpartnern aus dem Lastenheft berücksichtigt. Hinzu beschrieben alle Verbundpartner einen detaillierten Zeitplan und ihr grundsätzliches, geplantes Vorgehen bis zur und für die nächsten Projektphasen. Dazu gehörten unter anderem auch die getroffenen Annahmen für die Validierung und Verifikation der Schlüsselkomponenten und die Beschreibung der Entscheidungswege. Diese Entscheidungen, Ergänzung der Spezifikation und der Entwurf wurden ebenfalls im Lastenheft schriftlich festgehalten und an die anderen Projektpartner kommuniziert, um so frühzeitig Fehlentwicklungen vorzubeugen.

### 3. Komponentenfunktionstest

In Komponentenfunktionstestphase untersuchten die Verbundpartner die eigenen Komponenten in ihren eigenen Laboren auf die im Lastenheft und im Konzept definierten Anforderungen. Fehlkonzipierungen und Fehler wurden so früh entdeckt und konnten behoben werden. Dazu wurden Funktionstestprotokolle mit allen für die Verbundpartner relevanten Daten erstellt und diesen zugänglich gemacht

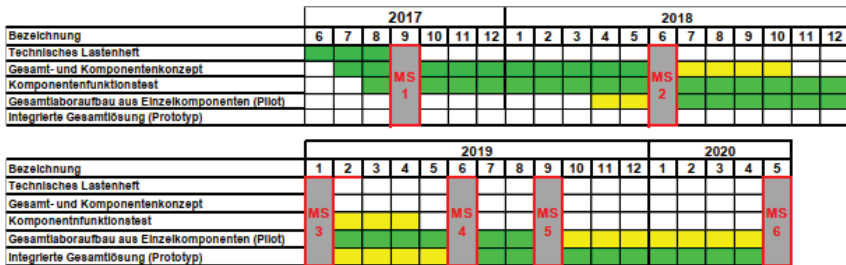
### 4. Gesamtlaboraufbau aus Einzelkomponenten (Pilot1)

In dieser Phase wurden die funktionstüchtigen Komponenten im Laboraufbau „frei“ verdrahtet und die Gesamtfunktion des Systems unter kontrollierten Bedingungen getestet. Aufgrund der allgemeinen Entwicklungsrisiken bei der Neuentwicklung von Hardware für das WR-System wurde entschieden zwei WR-Systeme aufzubauen. Das erste WR-System, im Folgenden Pilot 1 genannt, noch bestehend aus Standardkomponenten wurde in Unna beim Partner in LTI/KEBA in Betrieb genommen, validiert und verifiziert. Dieses WR-System wurde bereits frühzeitig für Tests im Laboraufbau an das EFZN/TUC übergeben. Somit konnte bereits bei Projekthalbzeit der Aufbau, die Inbetriebnahme und der Test des Regelungskonzepts im Gesamtsystem analysiert, weitere Projektverzögernde Probleme frühzeitig identifiziert und innerhalb der angedachten Projektzeit behoben werden.

### 5. Integrierte Gesamtlösung (Prototyp/Pilot2)

In der finalen Projektphase wurde ein zweiten WR-System, im Folgenden Prototyp oder Pilot2 genannt, aufgebaut. In diesem System sollen die Erkenntnisse aus dem Laboraufbau, sowie die neuentwickelte Steuerungselektronik mit integriertem VISMA-Maschinenmodell, „intelligenten“ Leistungsmodulen und dem Sicherheitskonzept integriert werden und in der finalen Feldumgebung am Verbundnetz angeschlossen und dessen Funktion ausführlich getestet und überwacht.

Die folgende Abbildung 1-4 zeigt ein vereinfachtes GANTT-Diagramm der einzelnen Projektphasen mit den definierten Meilensteine MS1 bis MS6.



**Abbildung 1-4: Zeitplan der einzelnen Phasen (Grün: Bearbeitungszeitraum, Gelb: Puffer, Grau Meilensteine)**

Die geplanten, zu erreichenden Ergebnisse der sechs Meilensteine aus Abbildung 1-4 lauten folgendermaßen:

- **Meilenstein 1 (MS1):**  
Technisches Lastenheft als Grundlage für die Fertigung der Einzelkomponenten und des Gesamtsystems ist erstellt; Lastenheft dient als Input für folgende Arbeitspunkte
- **Meilenstein 2 (MS2):**  
Die Konzeption der Schlüsselkomponenten zur Bereitstellung von SDL ist abgeschlossen; Aufbau der Laborumgebung (Pilot) beginnt
- **Meilenstein 3 (MS3):**  
Der Aufbau der Laborumgebung ist fertig gestellt; Beginn der Laboruntersuchungen
- **Meilenstein 4 (MS4):**  
Der Aufbau des integrierten Gesamtsystems (Prototyp/Pilot2) ist abgeschlossen; Prototyp/Pilot2 kann für den Feldtest in die Niederspannungshauptversorgung (NSHV) des EFZN/TUC installiert werden
- **Meilenstein 5 (MS5):**  
Die Laboruntersuchungen des Piloten und die Integration des Prototyps in die Feldumgebung sind abgeschlossen; Untersuchungen des Gesamtsystems und Betriebsoptimierungen beginnen
- **Meilenstein 6 (MS6):**  
Projektende; Gesamtsystem erprobt und optimiert; Fähigkeit zur Bereitstellung von SDL nachgewiesen; Kosten-Nutzen-Vergleich durchgeführt und Use-Cases erstellt

## 2 Darstellung Aufgabenstellung, der Voraussetzungen, der Planung und des Ablaufs des Gesamt- und der Teilvorhaben

### 2.1 Aufgabenstellung Gesamtsystem/Maschinenmodell – EFZN/TU Clausthal

Im Rahmen des Teilvorhabens des EFZN der TU Clausthal, im Folgenden EFZN/TUC genannt, standen im Wesentlichen folgende Aufgaben im Vordergrund.

- Auslegung eines Batteriespeichers hinsichtlich eines Optimums von Leistungsfähigkeit und Energieinhalt einschließlich der Konzeption von Sensorik, Kühlung, Sicherheitsmaßnahmen zur Bereitstellung von entsprechender Leistung im Gesamtsystem
- Aufbau eines Gesamtsystems bestehend aus Lithium-Batteriesystem, Wechselrichter zur Erbringung der Systemdienstleistung (*kurz*: SDL) Momentanreserve nach Prinzip der Virtuellen Synchronmaschine (*kurz*: VISMA) (ohne Primär- und Sekundärregelleistung sowie Minutenreserve) auf Niederspannungsebene
- Untersuchung des Einflusses der Belastungen aus der SDL auf die Batterie insbesondere der Auswirkungen von dynamischen Belastungen und sog. Mikrozyklen im Subsekundenbereich. Hierbei insbesondere Weiterentwicklung von Batteriemodellen für die Beschreibung des dynamischen Verhaltens, Alterungsmodelle und Analogiebildung elektromechanische Synchronmaschine – virtuelle Synchronmaschine
- Untersuchung der Wirksamkeit der SDL aus dem Batteriesystem über die Wechselrichter auf das Netz
- Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und Kosten/Nutzen-Vergleich des Gesamtsystems zu anderen Speichertechnologien oder alternativen Flexibilitätsoptionen zum Erbringen der SDL Momentanreserve. Daraus resultierend die Entwicklung eines Business-Case in Abhängigkeit des aktuellen Marktgeschehens (wann und unter welchen Randbedingungen kann ein Batteriespeicher zur Bereitstellung von Momentanreserve wirtschaftlich werden?)

Darüber hinaus nahm das EFZN/TUC die Rolle des Gesamtprojektkoordinators ein.

#### 2.1.1 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Zum Start des Projektes war das Prinzip der Virtuellen Synchronmaschine (VISMA, [6]) zur Bereitstellung von SDL – insbesondere der synthetischen Momentanreserve – bereits in vorherigen Projekten, wissenschaftlichen Publikationen und Dissertationen ausgiebig erforscht und deren Wirksamkeit nachgewiesen worden [7–33]. Ihnen allen gemein ist die Beschränkung auf WR-Systeme in Labormustergröße mit entsprechend kleiner Leistung unter 20 kVA. Vom Förderzeitpunkt bis zum Projektende hin konnten keine kommerziellen Wechselrichtersysteme für die Industrie und Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) relevanten Umrichterleistungen ( $S \gg 100$  kVA) zur Bereitstellung von Momentanreserve am Markt identifiziert werden. Als Forschungsinstitut EFZN der TU Clausthal besteht mit dem Partnerinstitut IEE (Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme) der TUC ein Partner mit einschlägiger Erfahrung in WR-Systemen zur Seite. Für die gewünschte, signifikante Erhöhung der Leistung des WR-Systems steht jedoch nicht die nötige Testinfrastruktur zur Inbetriebnahme als auch Leistungstests an der TUC zur Verfügung. Gemeinsam mit den Partnern LTI/KEBA und Infineon konnten so zwei innovative und mit entsprechender Expertise in das Projekt

geholt werden. Für die finalen Tests des Gesamtsystems stand ein alleiniger Transformator in der Niederspannungshauptversorgung des EnergieCampus des EFZN/TUC zur Verfügung. An diesem

Das ebenfalls am EnergieCampus des EFZN/TUC ansässige Batterie- und Sensoriktestzentrum bietet die Möglichkeit mithilfe der zahlreichen Batterieprüfstände und Klimakammern sowohl Zellen, als auch Batteriemodule und -systeme zu testen. Der ebenfalls vorhandene große Brandofen mit entsprechender Abgasnachbehandlung ermöglichte es das Sicherheitskonzept bei elektrischen und thermischen Abuse-Versuchen – Versuche außerhalb der nach Datenblatt zulässigen Betriebsbereiche – zu testen.

## **2.1.2 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Das Gesamtpaket war in acht Arbeitspakete (AP) und deren Unterarbeitspakete unterteilt. An den folgenden Arbeitspaketen war das EFZN/TUC neben der Gesamtprojektkoordination beteiligt. Als wesentliche Aufgaben sind hier die Entwicklung des Lastenheftes in AP1, die Entwicklung der Gesamtsimulation in AP2, die Entwicklung der Batteriemodelle aus AP5 und der finale Aufbau, die Inbetriebnahme und der Test des Gesamtsystems in Labor- und Feldumgebung AP3, AP6 und AP7 hervorzuheben.

*AP 1 Konzeption Momentanreserve und Schlüsselkomponenten -*

*AP 1.1 Lastenheft für das Gesamtsystem, Normen, TAB, Eckdaten*

*AP 1.4 Konzepterstellung für die Regelung und Steuerung*

*AP 2 Modellierung des Gesamtsystems*

*AP 2.1 Batteriemodell*

*AP 2.2 Leistungselektronikmodell*

*AP 2.3 Maschinen- und Netzmodell*

*AP 2.4 Gesamtsimulation*

*AP 3 Aufbau der Komponenten und des Gesamtsystems*

*AP 3.1 Aufbau der Komponenten nach AP1, Aufbau Gesamtsystem für die Laborumgebung (Pilot 1)*

*AP 3.2 Aufbau der Komponenten nach AP1, Aufbau Gesamtsystem für die Feldumgebung (Pilot 2/Prototyp)*

*AP 4 Alterungsmodell für Lithium-Ionen-Batterien für hochdynamische Belastung*

*AP 4.1 Physikalisch-chemisches Modell*

*AP 4.2 Ereignisbasiertes Modell*

*AP 4.3 Kopplung / Korrelation der Modelle*

*AP 5 Laboruntersuchungen Batterien*

*AP 5.1 Performanceuntersuchungen auf Zell-, Modul- und Batterieebene*

*AP 5.2 Adaption Sensorik zur Strom-, Temperatur- und Dehnungsmessung*



AP 5.3 *Änderungsuntersuchungen auf Zell- und Modulebene*

AP 5.4 Test und Verifikation Sicherheitskonzept

AP 6 Laboruntersuchungen Gesamtsystem

AP 6.1 Erstellung Anforderungskatalog für das Gesamtsystem und Testprozedur

AP 6.2 Inbetriebnahme

AP 6.3 Untersuchung der Komponenten und des Gesamtsystems in der Labor-umgebung

AP 7 Felduntersuchungen Gesamtsystem

AP 7.1 Integration in die NSHV des EnergieCampus

AP 7.2 Untersuchung der Komponenten und des Gesamtsystems in der Feldumgebung, Betriebsoptimierung

AP 8 Betrachtung der Wirtschaftlichkeit, Geschäftsmodelle, Use-Cases

AP 8.1 Kosten-Nutzen-Analyse, Vergleich mit konkurrierenden Systemen

AP 8.2 Geschäftsmodelle und Use-Cases

## **2.2 Aufgabenstellung Batteriesystem – AKASOL**

### **2.2.1 Ziele**

Die Arbeiten im Projekt wurden in verschiedene Arbeitspakete zergliedert, um die Bearbeitung der Themen inhaltlich und zeitlich steuerbar zu machen. Das grundlegende initiale Arbeitspaket des Konsortiums hatte das Ziel, die Anforderungen an das System zu verfeinern und ein Grobkonzept abzuleiten. Die Hauptarbeit der AKASOL AG fand dann im Arbeitspaket zur Batterieentwicklung statt. Abschließend wurden im Verbund die Tätigkeiten zur Gesamtinbetriebnahme und zum Test durchgeführt.

Die Batterieentwicklung und die erzielten Ergebnisse lassen sich in verschiedene Schwerpunkte aufteilen:

- Entwicklung des modularen Hochvolt-Batteriesystems (3P7S) inkl. Steuergerät
- Anpassungsentwicklung des überlagerten Kommunikationssystems (MSM)
- Finale Auslegung der Energie- und Leistungsdaten auf Basis des modularen Konzeptes und Entwicklung der Software
- Aufbau der Schutzeinrichtungen.
- Entwicklung des Brandschutzkonzeptes und Nachweis der Verhinderung der thermischen Propagation von Fehlerfällen.
- Aufbau, Lieferung und Inbetriebnahme des Gesamtsystems beim EFZN.

### **2.2.2 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Im Projekt wurden verschiedene Themen im Verbund bearbeitet. Für AKASOL gab es hier im Wesentlichen zwei Schnittstellen zu den Projektpartnern.

- Mit der Firma Stöbich Technology wurden integrative Lösungen im Bereich der Materialtechnologie erarbeitet, welche die Sicherheit der modifizierten Module erhöhen.

- Mit dem EFZN, der TU Clausthal und in Zusammenarbeit mit weiteren Partnern wurde der Aufbau und die Inbetriebnahme eines regelfähigen Demonstrators zur Bereitstellung systemdienlicher Momentanreserve durchgeführt. Es wurde hierzu ein von AKASOL entwickeltes Hochspannungs-Hochleistungs-Batterie-System in den Demonstrator integriert und eingehend untersucht. Die Integration wurde von AKASOL begleitet.

Neben der Kooperation mit den Projektpartnern wurden Versuche, die bei keinem der beteiligten Unternehmen oder Forschungseinrichtungen durchgeführt werden konnten, an Testeinrichtungen ausgelagert. Die Definition der Durchführung und die Interpretation der Ergebnisse blieb jedoch bei AKASOL, so dass keine Entwicklungs- oder Forschungsleistung ausgelagert wurde, sondern lediglich die Dienstleistung der Testdurchführung. In dem noch jungen Umfeld war jedoch auch der Austausch mit den Prüfinstituten sehr wichtig und hat zum gegenseitigen Wissensaufbau beigetragen,

## 2.3 Aufgabenstellung Batteriesicherheitstechnik – STÖBICH Technologies

### 2.3.1 Ziele

**Hauptziel:** Entwicklung und Verifikation eines Sicherheitskonzepts für Hochleistungsbatterien

- Entwicklung eines Schutzsystems zur Vermeidung der Kaskade von fehlerhaften Batteriezellen zu benachbarten Zellen unterbinden
- Redundantes, diversifiziertes Sicherheitskonzept zur Beherrschung thermischer und elektrischer Grenzbedingungen
- Entwicklung von Schutzmaterialien, welche die Havarie einer einzelnen Zelle frühzeitig unterbindet und dadurch keine Gefahr für Personen (insbesondere Anwohner und Rettungskräfte) sowie die Umwelt darstellen. Das unkontrollierte Austreten von Havariegasen ist zu unterbinden.

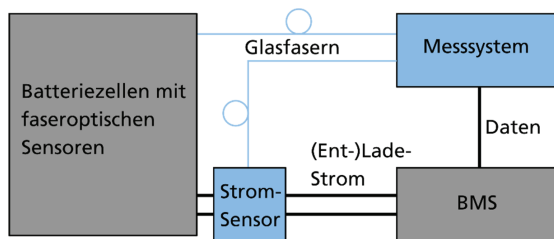
### 2.3.2 Anforderungen

- Entwicklung eines Gasführungssystems mit Filtereinheit
- Ganzheitliches Konzept für ein eigensicheres Batteriesystem
- Verhalten für Zell-, Modul-, Trog- und Systemebene
  - Überstrom, Kurzschluss
  - Überladung
  - Über- und Unterspannung
  - Übertemperatur, Untertemperatur
  - Ausfall einzelner Komponenten der Sicherheitseinrichtungen (Redundanz, Diversifizierung)
- Die erarbeiteten Schutzkonzepte dürfen sich im regulären Betrieb nicht negativ auf den Batteriespeicher auswirken und die Leistungsdaten nicht beeinflussen.
- Hochwasser und Brandschutz des Batteriesystems
- Testprozeduren der gesicherten Systeme

## 2.4 Aufgabenstellung Faseroptisches Sensorsystem- Fraunhofer HHI

Dieses Teilvorhaben befasst sich mit dem Ziel, eine Gefahrenfrüherkennung für die im Vorhaben verwendeten Batterien zu entwickeln. Diese Früherkennung soll aufgrund der Verwertung von Dehnungs-, Temperatur- und Strommessung erfolgen. Während die ersten beiden faseroptisch mittels etablierter Faser-Bragg-Gittern (FBG) erfasst werden sollen, ist für die Strommessung die neue Entwicklung eines optisch integrierten Stromsensors auf Grundlage von Seltene-Erden-Granate vorgesehen. Außerdem sollen für die Auswertung der Sensoren geeignete Messsysteme bereitgestellt werden. Die Batteriezellen sollen mit den vorgestellten Methoden auf ihr Verhalten unter Einfluss von Temperatur und Ladung und Entladung untersucht werden. Ebenso sind Tests bezüglich der Sicherheit vorgesehen, bei denen die Batteriezellen absichtlich in Havarie getrieben werden.

Die Daten, die aus der Auswertung durch die Messsysteme gewonnen werden, sollen dem Gesamtsystem zur Verfügung gestellt werden. Schematisch ist dies in Abbildung 2-1 dargestellt.



**Abbildung 2-1: Schematische Darstellung des Gesamtsystemaufbaus**

Die Batteriezellen werden mit faseroptischen Sensoren ausgestattet, die an das Messsystem angeschlossen werden. Die Sensorstellen sollen mithilfe von Femtosekundenlaserpulsen in die Glasfasern integriert werden. Die Messwerte des optisch integrierten Stromsensors, der sich an der elektrischen Leitung zu den Batterien befindet, werden ebenfalls ausgewertet. Die Daten werden anschließend an ein Batteriemanagementsystem (BMS) weitergegeben.

Das erarbeitete Konzept aus dem Lastenheft sieht vor, dass mehrere Sicherheitsstufen unterschieden werden.

- I. Regulärer Betrieb
- II. Regulärer Betrieb mit Einschränkungen
- III. Kritischer Betrieb
- IV. Schutzlösungen im Havariefall

In Stufe I liegen sowohl die optisch gemessenen Temperaturen als auch die optisch gemessenen Dehnungswerte der Zelle im vorgegebenen Toleranzbereich und es ist keine Schädigung aus der Historie bekannt. Die Temperaturgrenzen können dabei aus dem Datenblatt der Zellen bzw. den Vorgaben des Herstellers übernommen werden (üblicherweise 0-60 °C). Die regulären Grenzen der Dehnungsüberwachung können grundsätzlich aus der Erfahrung mit ähnlichen Zellen abgeschätzt werden (z.B. maximale reguläre Dehnungsänderung 500  $\mu\text{m}/\text{m}$ ). Um das individuelle Verhalten der Zellen genau zu kennen, müssen Einzelzelluntersuchungen durchgeführt werden.

In Stufe II soll eine Empfehlung ausgesprochen werden die Betriebsführung anzupassen. Das bedeutet, dass entweder aus der Historie der Zellen Vorschädigungen bekannt sind (z.B. ein- oder mehrmalige

Überschreitung der Temperaturgrenzen für den regulären Betrieb, gealterte Zellen) oder die aktuellen Temperatur- oder Dehnungswerte außerhalb der Grenzen für Stufe I, aber noch innerhalb eines noch zu definierenden Übergangsbandes liegen. Die Übermittlung des Zustandes erfolgt in erster Linie an das BMS von dem aus die maximale, zur Verfügung stehende Batterieleistung der Leistungselektronik mitgeteilt wird.

In Stufe III liegen die optischen Messwerte außerhalb der Toleranzzone von Stufe II und es besteht unmittelbare Gefahr einer Havarie. Der Zustand wird dem BMS mitgeteilt, sodass die Betriebsführung abgebrochen werden kann und die Havarie abgewendet wird. Die Grenzwerte für Temperatur und Dehnung sind ebenfalls noch zu ermitteln.

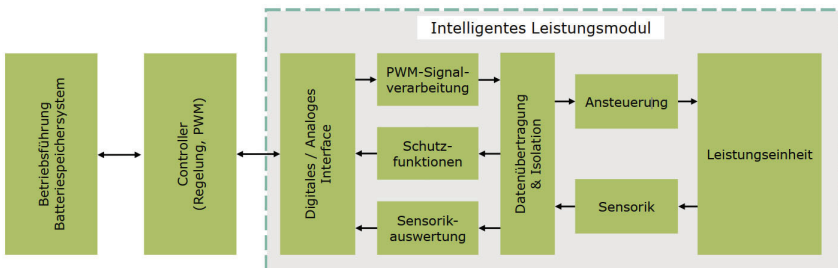
In Stufe IV lässt sich eine Havarie nicht mehr verhindern und ein „thermal-runaway“ ist bereits eingetreten oder steht kurz bevor. Bis zur Ausgasung einer oder mehrerer Zellen bleiben nur noch Sekunden, die genutzt werden können, um einen universellen Alarm auszulösen, der Personen in der Umgebung veranlasst den Gefahrenbereich zu verlassen oder ggf. weitere Sicherheitsvorkehrungen zu aktivieren (beispielsweise Auslösen einer Inertisierung der Batterie).

## 2.5 Aufgabenstellung Intelligentes Leistungsmodul – Infineon Technologies

Für das Batteriespeichersystem zur Erbringung von Momentanreserve bzw. für die aus dem Gesamtkonzept abgeleitete ILM-Leistungsklasse galt es, ein ILM-Konzept zu erforschen und umzusetzen, welches innovative, anwendungsrelevante Funktionen bereitstellt und somit von den Projektpartnern als universelle Basiskomponente genutzt werden kann. Ausgehend von der gemeinsamen Analyse der Anforderungen der Momentanreserve mit Hochleistungsbatterien durch das Projektkonsortium und ersten abgeschätzten Belastungs-/ Nutzungsbeschreibungen („Mission profiles“) war es die Aufgabe von Infineon entsprechend ein Konzept und im Projektverlauf Muster von intelligenten Leistungsmoduls (ILM) zu erarbeiten.

Die entsprechenden Hauptaufgabengebiete von Infineon im Verbund waren:

- Erforschung eines industrialisierbaren Konzepts für ein intelligentes Leistungsmodul (ILM) unter Berücksichtigung der Anforderungen der im Projekt betrachteten Anwendung bzw. Leistungsklasse
- Anwendungsnaher Validierung des ILM-Konzepts durch Labor- und Feldtests



**Abbildung 2-2: Intelligentes Leistungsmodul als Komponente eines Batteriespeichersystems zur Erbringung von Momentanreserve**