



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, Website: <https://cuvillier.de>

Inhaltsverzeichnis

1	Überblick Gesamtvorhaben	1
2	Darstellung Aufgabenstellung, der Voraussetzungen, der Planung und des Ablaufs des Gesamt- und der Teilvorhaben	5
2.1	Aufgabenstellung Gesamtsystem/Maschinenmodell – EFZN/TU Clausthal	5
2.1.1	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	5
2.1.2	Planung und Ablauf des Vorhabens	6
2.2	Aufgabenstellung Batteriesystem – AKASOL.....	7
2.2.1	Ziele	7
2.2.2	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	7
2.3	Aufgabenstellung Batteriesicherheitstechnik – STÖBICH Technologies	8
2.3.1	Ziele	8
2.3.2	Anforderungen	8
2.4	Aufgabenstellung Faseroptisches Sensorsystem– Fraunhofer HHI.....	9
2.5	Aufgabenstellung Intelligentes Leistungsmodul – Infineon Technologies	10
2.5.1	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	11
2.5.2	Planung und Ablauf des Vorhabens	11
2.5.3	Stand der Technik, an den angeknüpft wurde	12
2.5.4	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	12
2.6	Aufgabenstellung Wechselrichtersystem – KEBA Industrial Automation Germany	13
2.6.1	Aufgabenstellung.....	13
2.6.2	Planung und Ablauf	15
2.6.3	Stand der Technik.....	18
3	Ergebnisse Gesamtsystem/ Maschinenmodell – EFZN/ TU Clausthal	20
3.1	Konzeption Momentanreserve und Schlüsselkomponenten	20
AP 1.1	Lastenheft für das Gesamtsystem, Normen, TAB, Eckdaten.....	20
AP 1.4	Konzepterstellung für die Regelung und Steuerung	22
3.2	Modellierung des Gesamtsystems	24
AP 2.1	Batteriemodell.....	24
AP 2.2	Leistungselektronik-Modell.....	40
AP 2.3	Maschinen- und Netzmodell	41
AP 2.4	Gesamtsimulation	46
3.3	Aufbau der Komponenten und des Gesamtsystems.....	47

AP 3.1	Aufbau der Komponenten nach AP1, Aufbau Gesamtsystem für die Laborumgebung	47
AP 3.2	Aufbau der Komponenten nach AP1, Aufbau Gesamtsystem für die Feldumgebung	47
3.4	Alterungsmodell für Lithium-Ionen-Batterien für hochdynamische Belastungen	56
AP 4.1	Physikalisch-chemisches Modell	56
AP 4.2	Ereignisbasiertes Modell	58
3.5	Laboruntersuchungen Batterien	68
AP 5.1	Performanceuntersuchungen auf Zell-, Modul- und Batterieebene	68
AP 5.2	Adaption Sensorik zum Strom-, Temperatur und Dehnungsmessung	83
AP 5.3	Alterungsuntersuchungen auf Zell- und Modulebene	83
AP 5.4	Test und Verifikation Sicherheitskonzept	90
3.6	Laboruntersuchungen Gesamtsystem	91
AP 6.1	Erstellung Anforderungskatalog für das Gesamtsystem und Testprozedur	91
AP 6.2	Inbetriebnahme	91
AP 6.3	Untersuchung der Komponenten und des Gesamtsystems in der Laborumgebung	91
3.7	Felduntersuchungen Gesamtsystem	92
AP 7.1	Integration in die NSHV des EnergieCampus	92
AP 7.2	Untersuchung der Komponenten und des Gesamtsystems in der Feldumgebung, Betriebsoptimierung	94
3.8	Betrachtung der Wirtschaftlichkeit, Geschäftsmodelle, Use-Cases	120
AP 8.1	Kosten-Nutzen-Analyse/Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	120
AP 8.2	Use-Cases / Geschäftsmodelle	124
4	Ergebnisse Batteriesystem – AKASOL	130
4.1	Entwicklung des modularen Batteriesystems	130
4.2	Optimierungspotenzial des Batteriesystems	133
4.3	Auslegung hinsichtlich Energieinhalt und Leistungsfähigkeit	134
4.4	Sicherheitsrelevante Sensorik / Schutzeinrichtungen	135
4.5	Brandschutzkonzept und Nachweis der Propagationsfestigkeit	136
4.6	Zusammenfassung und Fazit	140
5	Ergebnisse Batteriesicherheitstechnik– STÖBICH Technology	141
5.1	Konzeption Schlüsselkomponenten - Sicherheitskonzept	141
5.1.1	Brandschutz auf Zellebene (Modulintern)	141
5.1.2	Brandschutz auf Moduleben (Modulextern)	143
5.1.3	Brandschutz auf Gesamtsystemebene (Außerhalb des Racks)	146
5.1.4	Betrachtung des Kühlmittels aus Sicht des Brandschutzes	148

5.1.5	Zusammenfassung Brandschutz- und Hochwasserkonzept	149
5.1.6	Brandschutzvergussmasse	151
5.2	Aufbau der Komponenten	155
5.3	Test und Verifikation Sicherheitskonzept	157
5.3.1	Brandversuch >>Pouch-Zelle<<	157
5.3.2	Brandversuch >>Prismatische-Zelle<< Versuchsplanung	162
5.3.3	Entwicklung und Bau spezieller Infrastruktur / Equipment	164
5.3.4	Brandversuch >>Prismatische-Zelle<< Versuchsaufbau	168
5.3.5	Brandversuch ohne Brandschutz	170
5.3.6	Brandversuch mit Brandschutz	183
5.3.7	Vergleich der Brandversuche – Fazit	197
5.3.8	Weiterentwicklung des Brandschutzkonzepts	201
6	Ergebnisse Faseroptisches Sensorsystem – Fraunhofer HHI	202
6.1	Einführung	202
6.2	Sensorik	203
6.2.1	Optisch integrierter Stromsensor	203
6.2.2	Faseroptische Sensorik	222
6.3	Messsystem	224
6.3.1	Funktionsweise	225
6.3.2	Aufbau	226
6.3.3	Vermessung	226
6.3.4	Software	227
6.4	Batterien und Sicherheit	228
6.4.1	Integration	229
6.4.2	Vorversuche	234
6.4.3	Sicherheitsversuche	246
7	Ergebnisse Wechselrichtersystem - KEBA Industrial Automation Germany	254
7.1	Gesamtkonzept und Lastenheft des Wechselrichtersystems	254
7.2	Auslegung des Wechselrichtersystems	256
7.2.1	Hardwarekonzept und Design des leistungselektronischen Systems.	256
7.2.2	Konzept für die Netzanbindung	257
7.2.3	Konzept für das Kühlsystem	259
7.2.4	Wirtschaftliche Betrachtung	260
7.3	Prototypische Realisierung des Wechselrichtersystems: Pilot 1	260
7.3.1	Umsetzung und Integration	260

7.3.2	Anforderungskatalog und Testprozedur	262
7.3.3	Qualifizierung und Messungen.....	263
7.4	Prototypische Realisierung des Wechselrichtersystems: Pilot 2.....	269
7.4.1	Änderungen zum Piloten 1.....	269
7.4.2	Umsetzung und Integration.....	270
7.4.3	Qualifizierung und Messungen.....	274
8	Ergebnisse Intelligentes Leistungsmodul – Infineon Technologies	280
8.1	Intelligentes Leistungsmodul – Konzepte und Umsetzung	280
8.2	Simulationsmodell des intelligenten Leistungsmoduls	286
8.3	Laboruntersuchungen des intelligenten Leistungsmoduls	287
8.4	Unterstützung bei der Integration in das Gesamtsystem	292
9	Verwertbarkeit der Ergebnisse	295
10	Relevante Ergebnisse Dritter	296
10.1	Praktische Ergebnisse	296
10.2	Forschungsergebnisse	296
11	Erfolgte Veröffentlichungen	297
12	Literaturverzeichnis	298