

Hans-Peter Beck (Herausgeber)

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

Abschlussbericht



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

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 | Ül | Überblick Gesamtvorhaben | | | |
|---|---|--------------------------|---|----|--|
| 2 | Darstellung Aufgabenstellung, der Voraussetzungen, der Planung und des Ablaufs des und der Teilvorhaben | | | | |
| | 2.1 | Auf | gabenstellung 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 | Auf | gabenstellung Batteriesystem – AKASOL | 7 | |
| | 2.2.1 | | Ziele | 7 | |
| | 2.2.2 | | Zusammenarbeit mit anderen Stellen | 7 | |
| | 2.3 | Auf | gabenstellung Batteriesicherheitstechnik – STÖBICH Technologies | 8 | |
| | 2. | 3.1 | Ziele | 8 | |
| | 2. | 3.2 | Anforderungen | 8 | |
| | 2.4 | Auf | gabenstellung Faseroptisches Sensorsystem– Fraunhofer HHI | 9 | |
| | 2.5 | Auf | gabenstellung 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 | Auf | gabenstellung 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 | Er | gebnis | se Gesamtsystem/ Maschinenmodell – EFZN/ TU Clausthal | 20 | |
| | 3.1 | Kon | zeption 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 | Mod | dellierung des Gesamtsystems | 24 | |
| | Al | P 2.1 | Batteriemodell | 24 | |
| | AP 2.2 | | Leistungselektronik-Modell | 40 | |
| | Al | P 2.3 | Maschinen- und Netzmodell | 41 | |
| | Al | P 2.4 | Gesamtsimulation | 46 | |
| | 2 2 | Λιιf | nau der Komnonenten und des Gesamtsystems | 47 | |

| | AP 3.1 | | Aufbau der Komponenten nach AP1, Aufbau Gesamtsystem für die Laborumgebu 47 | |
|---|----------|----------|---|----------|
| | | | Aufbau der Komponenten nach AP1, Aufbau Gesamtsystem für die Feldumg | ebung 47 |
| | 3.4 | Alt | erungsmodell für Lithium-lonen-Batterien für hochdynamische Belastungen | 56 |
| | , | AP 4.1 | Physikalisch-chemisches Modell | 56 |
| | , | AP 4.2 | Ereignisbasiertes Modell | 58 |
| | 3.5 | Lab | oruntersuchungen 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 | Lab | oruntersuchungen 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 Laborumge | bung91 |
| | 3.7 | Fel | duntersuchungen Gesamtsystem | 92 |
| | , | AP 7.1 | Integration in die NSHV des EnergieCampus | 92 |
| | | AP 7.2 | Untersuchung der Komponenten und des Gesamtsystems in der Feldur | |
| | Betriebs | | optimierung | |
| | 3.8 | Bet | trachtung der Wirtschaftlichkeit, Geschäftsmodelle, Use-Cases | 120 |
| | 1 | AP. 8.1 | Kosten-Nutzen-Analyse/Wirtschaftlichkeitsbetrachtung | |
| | AP 8.2 | | Use-Cases / Geschäftsmodelle | |
| 4 | E | | sse Batteriesystem – AKASOL | |
| | 4.1 | Ent | wicklung des modularen Batteriesystems | 130 |
| | 4.2 | Op | timierungspotenzial des Batteriesystems | 133 |
| | 4.3 | Aus | slegung hinsichtlich Energieinhalt und Leistungsfähigkeit | 134 |
| | 4.4 | Sic | herheitsrelevante Sensorik / Schutzeinrichtungen | 135 |
| | 4.5 | | ndschutzkonzept und Nachweis der Propagationsfestigkeit | |
| | 4.6 | Zus | sammenfassung und Fazit | 140 |
| 5 | E | Ergebnis | sse Batteriesicherheitstechnik– STÖBICH Technology | 141 |
| | 5.1 | Koı | nzeption 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 | | 5 | Zusammenfassung Brandschutz- und Hochwasserkonzept | .149 |
|---|-------|-------|----------|---|-------|
| | | 5.1.6 | õ | Brandschutzvergussmasse | . 151 |
| | 5.2 | 2 | Aufk | oau der Komponenten | . 155 |
| | 5.3 | 3 | Test | und Verifikation Sicherheitskonzept | . 157 |
| | | 5.3.1 | L | Brandversuch >> Pouch-Zelle << | . 157 |
| | | 5.3.2 | <u> </u> | Brandversuch >> Prismatische-Zelle << Versuchsplanung | . 162 |
| | | 5.3.3 | 3 | Entwicklung und Bau spezieller Infrastruktur / Equipment | .164 |
| | | 5.3.4 | ļ | Brandversuch >> Prismatische-Zelle << Versuchsaufbau | . 168 |
| | | 5.3.5 | 5 | Brandversuch ohne Brandschutz | . 170 |
| | | 5.3.6 | 5 | Brandversuch mit Brandschutz | . 183 |
| | | 5.3.7 | 7 | Vergleich der Brandversuche – Fazit | . 197 |
| | | 5.3.8 | 3 | Weiterentwicklung des Brandschutzkonzepts | .201 |
| 6 | | Erge | bniss | e Faseroptisches Sensorsystem – Fraunhofer HHI | . 202 |
| | 6.1 | 1 | Einf | ührung | . 202 |
| | 6.2 | 2 | Sens | sorik | . 203 |
| | | 6.2.1 | L | Optisch integrierter Stromsensor | . 203 |
| | | 6.2.2 | <u> </u> | Faseroptische Sensorik | . 222 |
| | 6.3 | 3 | Mes | ssystem | . 224 |
| | | 6.3.1 | L | Funktionsweise | . 225 |
| | | 6.3.2 | <u>)</u> | Aufbau | . 226 |
| | | 6.3.3 | 3 | Vermessung | . 226 |
| | | 6.3.4 | ļ | Software | . 227 |
| | 6.4 | 4 | Batt | erien und Sicherheit | . 228 |
| | | 6.4.1 | L | Integration | . 229 |
| | | 6.4.2 | <u>)</u> | Vorversuche | . 234 |
| | | 6.4.3 | 3 | Sicherheitsversuche | . 246 |
| 7 | | Erge | bniss | e Wechselrichtersystem - KEBA Industrial Automation Germany | . 254 |
| | 7.3 | 1 | Ges | amtkonzept und Lastenheft des Wechselrichtersystems | . 254 |
| | 7.2 | 2 | Ausl | egung des Wechselrichtersystems | . 256 |
| | | 7.2.1 | L | Hardwarekonzept und Design des leistungselektronischen Systems. | .256 |
| | | 7.2.2 | <u> </u> | Konzept für die Netzanbindung | . 257 |
| | | 7.2.3 | 3 | Konzept für das Kühlsystem | . 259 |
| | | 7.2.4 | ļ | Wirtschaftliche Betrachtung | . 260 |
| | 7.3 | 3 | Prot | otypische Realisierung des Wechselrichtersystems: Pilot 1 | .260 |
| | | 7.3.1 | L | Umsetzung und Integration | .260 |

| | 7.3.2 | 2 Anforderungskatalog und Testprozedur | . 262 |
|----|-------|---|-------|
| | 7.3.3 | 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 | 2 Umsetzung und Integration | .270 |
| | 7.4.3 | 3 Qualifizierung und Messungen | .274 |
| 8 | Erge | bnisse 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 | Verv | vertbarkeit der Ergebnisse | . 295 |
| 10 | Rele | vante Ergebnisse Dritter | . 296 |
| | 10.1 | Praktische Ergebnisse | .296 |
| | 10.2 | Forschungsergebnisse | 296 |
| 11 | Erfo | gte Veröffentlichungen | . 297 |
| 12 | Liter | aturverzeichnis | 298 |