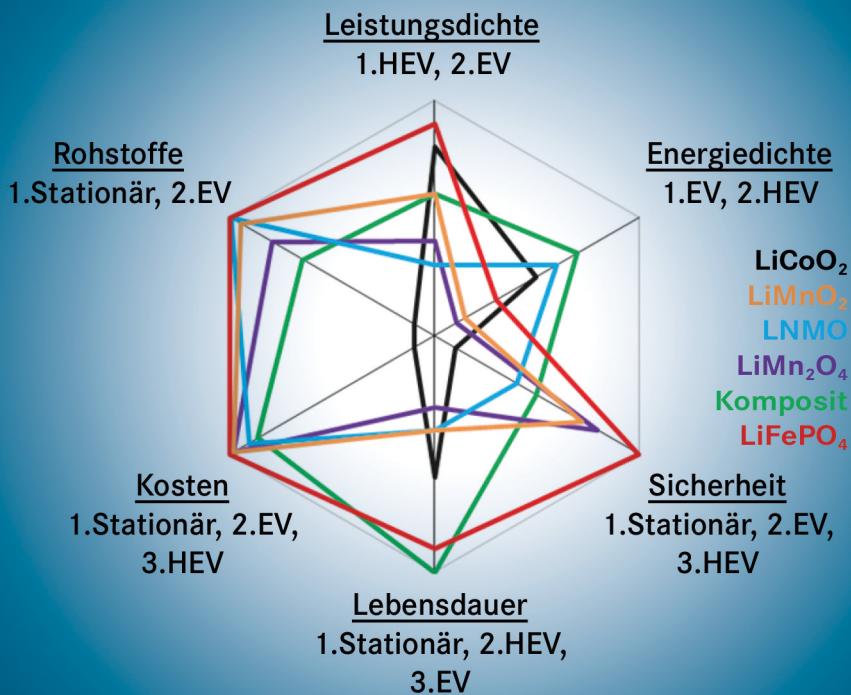


Lithiumbatterien für stationäre und mobile Anwendungen: Benchmarking und experimentelle Umsetzung

Timm Bergholz



Energie & Umwelt /
Energy & Environment
Band / Volume 275
ISBN 978-3-95806-071-5

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung
Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3)

Lithiumbatterien für stationäre und mobile Anwendungen: Benchmarking und experimentelle Umsetzung

Timm Bergholz

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 275

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-071-5

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	iii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation.....	2
1.2 Zielsetzung.....	3
1.3 Methodik	4
1.4 Gliederung der Arbeit	4
2 Theorie und Grundlagen.....	5
2.1 Lithium-Batterietechnologie	5
2.2 Thermodynamik	9
2.3 Kinetik	11
2.4 Ionischer Transport in flüssigen Elektrolyten	15
2.5 Definition der Begriffe.....	18
2.6 Benchmarking	20
2.6.1 Benchmarking elektrochemischer Speicher.....	20
2.6.2 Benchmarking von Lithiumbatteriekomponenten	22
3 Applikationsspezifische Bewertung elektrochemischer Speicher	24
3.1 Anforderungen	24
3.2 Applikationen.....	25
3.2.1 Batterieelektrisches Fahrzeug	26
3.2.2 Hybridelektrisches Fahrzeug	36
3.2.3 Stationäres autarkes Photovoltaik-Speichersystem	43
3.3 Elektrochemische Speicher	47
3.3.1 Bleibatterie	47
3.3.2 Nickelbatterie	49
3.3.3 Lithiumbatterie.....	50
3.3.4 Vanadium-Redoxflussbatterie	51
3.3.5 Natrium-Hochtemperaturbatterie	53
3.3.6 Zink-Luftbatterie	54
3.4 Bewertung durch Benchmarking.....	55
3.5 Zusammenfassung.....	60
4 Entwicklung eines Bewertungsmodells für Lithiumbatteriekomponenten	61
4.1 Energiedichte	61
4.1.1 Kathodenmaterialien	63
4.1.2 Anodenmaterialien	64
4.2 Leistungsdichte	66
4.2.1 Elektrodenaktivmaterialien	66

4.2.2	Elektrolyte	80
4.2.3	Passivkomponenten	94
4.3	Lebensdauer	96
4.3.1	Einfluss der Zellchemie	99
4.3.2	Kalendarische Alterung	104
4.3.3	Zyklische Alterung	109
4.3.4	Stand der Technik	115
4.3.5	Volumeneffekt	116
4.3.6	Bewertung	119
4.4	Sicherheit	121
4.4.1	Thermisch initiierte Nebenreaktionen	123
4.4.2	Elektrisch initiierte Nebenreaktionen	131
4.4.3	Schutzvorrichtungen und Entwicklung	131
4.4.4	Bewertung	135
4.5	Kostenbetrachtung	137
4.6	Rohstoffbetrachtung	140
4.7	Herleitung des Bewertungsmodells	143
4.7.1	Bewertung von Kathoden	143
4.7.2	Bewertung von Anoden	146
4.7.3	Bewertung von Elektrolyten	147
4.7.4	Bewertung von Stromkollektoren	149
5	Bewertung von Lithiumbatteriekomponenten	150
5.1	Interkalationskathoden	150
5.1.1	Lithiumcobaltoxid (LiCoO_2)	150
5.1.2	Lithiumnickeloxid (LiNiO_2)	153
5.1.3	Lithiummanganoxid (LiMnO_2)	156
5.1.4	Abgeleitete Schichtverbindungen	159
5.1.5	Lithiumnickelcobaltaluminiumoxid ($\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$, NCA)	159
5.1.6	Lithiumnickelmangancobaltoxid ($\text{LiNi}_{0,33}\text{Mn}_{0,33}\text{Co}_{0,33}\text{O}_2$, NMC)	161
5.1.7	Lithiummanganoxid-Lithiumcobaltnickeloxid ($\text{Li}_2\text{MnO}_3 \cdot \text{LiNi}_{0,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_2$, Komposit)	162
5.1.8	Lithiummanganspinell (LiMn_2O_4)	165
5.1.9	Lithiumnickelmanganspinell ($\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$, LNMO)	167
5.1.10	Lithiumeisenphosphat (LiFePO_4)	169
5.1.11	Diskussion	173
5.2	Interkalationsanoden	180
5.2.1	Kohlenstoffbasierte Anoden	180
5.2.2	Solid Electrolyte Interface	181

5.2.3	Natürlicher Graphit	185
5.2.4	Mesokohlenstoff-Mikrokugeln (MCMB).....	186
5.2.5	Kohlenstoffnanoröhren (SwCNTs).....	187
5.2.6	Metalloxidbasierte Anoden	189
5.2.7	Lithiumtitanat ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$).....	189
5.2.8	Lithiumtitanoxid (TiO_2).....	191
5.2.9	Diskussion.....	193
5.3	Konversionselektroden.....	198
5.3.1	Schwefelkathode.....	199
5.3.2	Sauerstoffkathode	202
5.3.3	Eisen-(III)-oxidanode	205
5.3.4	Lithiummetallanode	206
5.3.5	Siliziumanode.....	207
5.3.6	Zinnanode	210
5.3.7	Diskussion.....	214
5.4	Elektrolyte	220
5.4.1	Lithiumleitsalze.....	221
5.4.2	Konventionelle organische Lösungsmitelektrolyte.....	228
5.4.3	Elektrolyte auf Basis Ionischer Flüssigkeiten.....	232
5.4.4	Polymerfestelektrolyte.....	237
5.4.5	Polymergele auf Basis konventioneller organischer Lösungsmittel.....	239
5.4.6	Polymergele auf Basis Ionischer Flüssigkeiten.....	241
5.4.7	Anorganische, amorphe Festelektrolyte	243
5.4.8	Anorganische, kristalline Festelektrolyte.....	245
5.4.9	Diskussion.....	249
5.5	Stromkollektoren	254
5.5.2	Kathodenstromkollektor.....	256
5.5.3	Anodenstromkollektor.....	260
5.5.4	Diskussion.....	265
5.6	Diskussion der Bewertung von Lithiumbatteriekomponenten.....	267
5.6.1	Bewertete Komponenten.....	267
5.6.2	Resultierende Zellsysteme	270
5.6.3	Herleitung von Forschungsschwerpunkten.....	277
6	Experimentelle Untersuchungen.....	279
6.1	Herleitung eines Alterungsmodells für Lithiumionenzellen	279
6.1.1	Degradation von LiBs.....	279
6.1.2	Korrelation zwischen SoH_Q und SoH_R	281
6.1.3	Alterung von Lithiumnickelmanganspinellkathoden ($\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$).....	286

6.1.4	Herleitung des Degradationsmodells für Hochvoltkathoden.....	293
6.1.5	Zusammenfassung.....	294
6.2	Charakterisierung neuer 5-Cyanotetrazolid basierter ionischer Flüssigkeiten.....	296
6.2.1	Cyanid basierte Ionische Flüssigkeiten.....	296
6.2.2	Experimentelle Durchführung.....	298
6.2.3	Thermische Charakterisierung.....	299
6.2.4	Elektrochemische Charakterisierung.....	301
6.2.5	Bewertung der charakterisierten 5-Cyanotetrazolid basierten ionischen Flüssigkeiten.....	307
7	Zusammenfassung.....	309
8	Anhang.....	315
8.1	Verzeichnisse.....	315
8.1.1	Abbildungsverzeichnis.....	315
8.1.2	Tabellenverzeichnis.....	325
8.1.3	Abkürzungs- und Formelverzeichnis.....	327
8.2	Ergänzende Informationen.....	331
8.2.1	Bewertung elektrochemischer Speicher - Kapitel 3.....	331
8.2.2	Bewertungsmodell für Lithiumbatteriekomponenten - Kapitel 4.....	335
8.2.3	Bewertung von Lithiumbatteriekomponenten - Kapitel 5.....	341
9	Literaturverzeichnis.....	352
10	Danksagung.....	387

**Energie & Umwelt /
Energy & Environment
Band / Volume 275
ISBN 978-3-95806-071-5**

