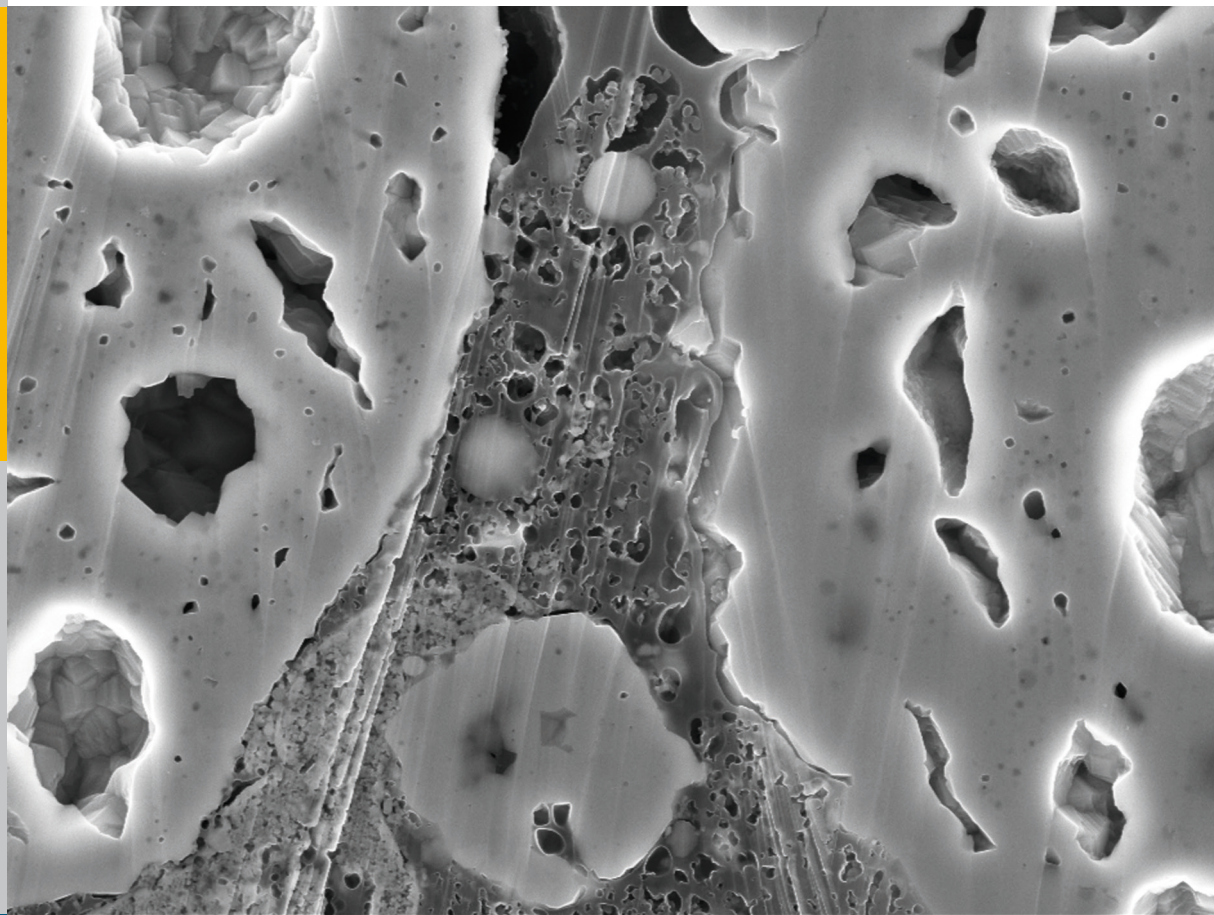


Untersuchungen zur Deckschichtbildung auf $\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$ -Hochvoltkathoden

Die Kathoden/Elektrolyt-Grenzfläche in Hochvolt-Lithium-Ionen-Batterien

Klaus Wedlich



Energie & Umwelt /
Energy & Environment
Band / Volume 38 1
ISBN 978-3-95806-249-8

 **JÜLICH**
FORSCHUNGSZENTRUM

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

Untersuchungen zur Deckschichtbildung auf $\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$ -Hochvoltkathoden

Die Kathoden/Elektrolyt-Grenzfläche in
Hochvolt-Lithium-Ionen-Batterien

Klaus Wedlich

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

Band / Volume 381

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-249-8

Anhang

Ausführliches Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	xi
Abkürzungsverzeichnis	xiii
I. Motivation	1
II. Stand der Technik	5
III. Theoretische Grundlagen	9
A. Lithium-Ionen-Batterien	9
1. Aufbau und Funktionsweise	9
2. $\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$ als Kathodenmaterial für Lithium-Ionen-Batterien	12
2.1. Struktur und Funktionsweise	12
2.2. Einordnung des $\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$ unter den gebräuchlichen Kathodenmaterialien	17
3. $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ als Anodenmaterial für Lithium-Ionen-Batterien	21
3.1. Struktur und Funktionsweise	21
3.2. Vergleich mit weiteren Anodenmaterialien	24
4. Degradationsprozesse in Lithium-Ionen-Batterien	26
5. Deckschichtbildung auf Elektroden	29
6. Zusammensetzung der anodischen SEI	34
7. Balancing von Vollzellen	36
B. Untersuchungsmethoden	38
8. Elektrochemische Charakterisierung	38
8.1. Kapazitätstest	38
8.2. Batteriezustand (SoH)	39
8.3. Ladezustand (SoC)	39
8.4. Zyklovoltammetrie	40
8.5. Differentielle Kapazität	42
8.6. Elektrochemische Impedanzmessungen	44
9. Spektroskopische Methoden	47
9.1. Rasterelektronenmikroskopie (REM)/EDX-Analyse	47
9.2. Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS)	49
9.3. Ramanspektroskopie	50

IV. Probenpräparation und Experimente	53
1. Herstellung der benötigten Batteriebestandteile	53
1.1. $\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$ -Kathoden	53
1.2. $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ -Anoden	54
1.3. Elektrolytlösung	54
2. Experimentdesign	56
2.1. Selbstentwickelte Probenform	56
2.2. Elektrodenkombinationen	59
3. Elektrochemische Charakterisierung	65
3.1. Elektrochemische Messzellen	65
3.2. Messaufbau	67
4. Spektroskopische Untersuchungen	71
4.1. Rasterelektronenmikroskopie (REM)	71
4.2. Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS)	72
4.3. Ramanspektroskopie	72
V. Ergebnisse und Diskussion	75
1. Referenzuntersuchungen	75
1.1. Vergleich verschiedener Separatoren	75
1.2. Vergleich von verschieden nachbehandelten (gereinigten) Proben	82
1.3. Bewertung der Referenzelektrode bei Impedanzmessungen	84
2. Charakterisierung von Halbzellen	87
2.1. $\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$ -Elektroden	87
2.2. $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ -Elektroden	94
2.3. Graphit-Elektroden	98
3. Alterungsuntersuchungen an Vollzellen	103
3.1. Kathodenlimitiert	103
3.2. Anodenlimitiert	109
3.3. Kathodenlimitiert mit Vorladung	114
3.4. Zusammenfassung	117
4. Alterungsuntersuchungen an Schichtelektroden	119
4.1. Charakterisierung der polierten Oberfläche	119
4.2. Zyklische Alterung von Schichtelektroden	122
4.3. Untersuchung der Deckschichtbildung mittels Rasterelektronenmikroskopie	124
4.4. Zusammenfassung	127
5. Charakterisierung der Deckschicht	129

5.1. XPS-Untersuchungen	129
5.2. Untersuchung der Deckschicht mittels Ramanspektroskopie	141
VI. Fazit	149
VII. Zusammenfassung der Arbeit	155
Anhang	xvii
Literaturverzeichnis	xxix

**Energie & Umwelt /
Energy & Environment
Band / Volume 381
ISBN 978-3-95806-249-8**

