

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG	I
KURZFASSUNG	II
INHALTSVERZEICHNIS	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VI
TABELLENVERZEICHNIS	VII
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IX
1 EINLEITUNG	1
1.1. <i>Ressourceneffizienz in der Nachhaltigkeit</i>	1
1.2. <i>Das Altfahrzeug als sekundäre Rohstoffquelle und Abfall</i>	2
2 ZIELSETZUNG UND RAHMEN DER ARBEIT	5
2.1 <i>Zielsetzung</i>	5
2.2 <i>Rahmen und Aufbau der Dissertation</i>	6
2.3 <i>Datenquellen und Untersuchungsmethoden</i>	9
3 RECHTLICHE EVOLUTION UND REGULATORISCHE HERAUSFORDERUNGEN DER ALTFahrZEUGVERWERTUNG IN CHINA	12
3.1 <i>Historische Meilensteine: Von administrativer Kontrolle zu marktorientierter Regulierung</i>	12
3.1.1 Verwaltungsmaßnahmen für die Altfahrzeugverwertung [D.307]	14
3.1.2 Technologiepolitische Leitlinien zu Fahrzeugprodukten.....	15
3.1.3 Zwischenfazit.....	18
3.2 <i>Die D.715-Verordnung: Marktliberalisierung und erweiterte Herstellerverantwortung</i> 19	19
3.2.1 Fahrzeughersteller als strategische Akteure im Kreislaufsystem.....	19
3.2.2 Offenerer Markt für Altfahrzeugverwertung	20
3.2.3 Synergien und Konflikte mit bestehenden Umweltvorschriften.....	21
3.2.4 Qualifikationshürden für Demontagebetriebe im Hochvoltzeitalter.....	22
3.2.5 Divergenzen und Konvergenzen: Die Regulierung D 715 im Vergleich zur EU-Altfahrzeugrichtlinie 2000/53/EG.....	23
3.2.6 Zwischenfazit.....	24
3.3 <i>Regulatorische Pionierarbeit: Das vorläufige Batterierücknahmesystem [MIIT 2018/43].</i>	24

3.3.1 Lebenszyklusverantwortung der Hersteller: Vom Design bis zur Demontage	25
3.3.2 Batteriekodierung und -tracking: Transparenz vs Datenschutzrisiken	27
3.3.3 Von der Interimslösung zur verbindlichen Regelung: Novellierungsbedarf	27
3.3.4 Lernprozesse aus Europa: Die MIIT-Regelung vs. EU-Batterieverordnung	28
3.3.5 Zwischenfazit	30
3.4 Rechtliche Trends bei der Altfahrzeugverwertung	31
3.5 Fazit	32

4 DIE TRANSFORMATION DES ALTFahrzeugmarktes und RÜCKNAHMESYSTEMS IM ZEITALTER DER ELEKTROMOBILITÄT 34

4.1 Status quo: Aufkommen, Heterogenität und regionale Disparitäten	34
4.1.1 Quantitative und typologische Marktcharakterisierung	34
4.1.2 Qualitative Dimension: Herkunft, Alterung und Restwertpotenziale	36
4.2 Das Rücknahmesystem im Spannungsfeld: Stakeholder-Interessen und illegale Parallelstrukturen	38
4.2.1 Stakeholderanalyse in der Altfahrzeugrücknahmesystem	38
4.2.2 Systemische Defizite: Intransparenz, Ineffizienz und Umweltrisiken	41
4.3 Zukunftsszenarien: Digitale Plattformen, regulatorische Konvergenz und Marktbereinigung	43
4.3.1 Elektromobilität als Treiber: Szenarien zum Altfahrzeugaufkommen bis 2035	43
4.3.2 Systementwicklung der Altfahrzeugrücknahme in China	44
4.4 Fazit	46

5 ANALYSE DER VERWERTUNGSKETTE VON ELEKTRO-ALTFahrzeugen: BESTEHENDE HERAUSFORDERUNGEN UND ZUKÜNTIGE ENTWICKLUNGSTENDENZEN..... 48

5.1 Stakeholderanalyse in der Verwertungskette für Elektro-Altfahrzeuge	49
5.1.1 Demontagebetriebe	49
5.1.2 Traktionsbatterieverwerter	50
5.1.3 Elektromotorverwerter	51
5.1.4 Magnet- / SE-Verwerter	52
5.1.5 Illegale Aufbereiter	53
5.2 Demontage 4.0: Technologische Sackgassen und automatisierte Durchbrüche	54
5.2.1 Status quo: Manuelle Zerlegung, Sicherheitsrisiken und Materialverluste	54
5.2.2 Drei Kernbarrieren: Qualifikationsdefizite, niedrige Margen, regulatorische Lücken	55
5.2.3 Ausblick auf die zukünftige Verwertung von Elektro-Altfahrzeugen	56
5.2.4 Zwischenfazit	60
5.3 Die Schlacht der Recyclingverfahren für Traktionsbatterien: Hydrometallurgie vs. Direktrecycling	60
5.3.1 Hydrometallurgie als dominierende Recyclingtechnologie	61
5.3.2 Herausforderungen bei der Traktionsbatterie-Verwertung	63
5.3.3 Ausblick auf die zukünftige Traktionsbatterie-Verwertung	64
5.3.4 Zwischenfazit	65

5.4 Elektromotor und Magnetverwertung in der VR China	66
5.4.1 Demontage von Elektromotoren	66
5.4.2 Magnetverwerter und SEE-Verwertung.....	68
5.4.3 Herausforderungen bei der Elektromotor- und Magnet-Verwertung	70
5.4.4 Ausblick auf die zukünftige Elektromotorverwertung	71
5.4.5 Zwischenfazit.....	72
5.5 Fazit	72
6 ENTWICKLUNG ZIELGERICHTETER HANDLUNGSVORSCHLÄGE FÜR DIE RÜCKNAHME UND VERWERTUNG VON ELEKTRO-ALTFahrZEUGEN IN CHINA	74
6.1 Systemtheoretische Synthese rechtlicher, marktwirtschaftlicher und technischer Wechselwirkungen in der Elektro-Altfahrzeugrücknahme und -verwertung.....	75
6.1.1 Systemmodell der Elektro-Altfahrzeugverwertung und Abgrenzung des Untersuchungsrahmens in Teil II.....	75
6.1.2 Synthese der Herausforderungen und Entwicklungstendenzen in der Elektro-Altfahrzeugverwertung.....	76
6.1.3 Systematisierung der Wechselwirkungen und Regeln zwischen Herausforderungen, Entwicklungstendenzen und externen Faktoren	77
6.1.4 Identifikation prioritärer externer Einflussfaktoren.....	78
6.1.5 Qualitative Wirkungsanalyse der Entwicklungstendenzen (T) und externen Faktoren (EF) auf die Sub-Systeme B und C1	80
6.2 Entwicklung priorisierter Handlungsvorschläge.....	87
6.2.1 Operative Umsetzung der erweiterten Herstellerverantwortung (EPR).....	87
6.2.2 Marktintegration: Förderung der Fahrzeughersteller-Beteiligung in der Kreislaufwirtschaft ..	89
6.2.3 Technologische Innovation: KI-gestützte Optimierung der Rücknahme und Demontageprozesse	
91	
6.3 Multikriterielle Bewertung der festgestellte Handlungsvorschläge.....	95
6.3.1 Methodischer Rahmen für die Bewertung von Umsetzbarkeit und Stakeholder-Wirkung.....	95
6.3.2 Einzelbewertung der vier Handlungsvorschläge	98
6.3.3 Zusammenfassende Priorisierung und Phasenplan	106
7 FAZIT UND AUSBLICK	109
7.1 Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse.....	109
7.2 Limitationen der Arbeit	110
7.3 Ausblick auf zukünftige Forschung.....	111
LITERATURVERZEICHNIS	XVIII