

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG.....	I
KURZFASSUNG	II
INHALTSVERZEICHNIS	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	VI
TABELLENVERZEICHNIS	VII
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IX
1 EINLEITUNG	1
1.1. Ressourceneffizienz in der Nachhaltigkeit.....	1
1.2. Das Altfahrzeug als sekundäre Rohstoffquelle und Abfall	2
2 ZIELSETZUNG UND RAHMEN DER ARBEIT.....	5
2.1 Zielsetzung.....	5
2.2 Rahmen und Aufbau der Dissertation	6
2.3 Datenquellen und Untersuchungsmethoden	9
3 RECHTLICHE EVOLUTION UND REGULATORISCHE HERAUSFORDERUNGEN DER ALTFAHRZEUGVERWERTUNG IN CHINA.....	12
3.1 Historische Meilensteine: Von administrativer Kontrolle zu marktorientierter Regulierung	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 Die D.715-Verordnung: Marktliberalisierung und erweiterte Herstellerverantwortung 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-Altfahrzeug- richtlinie 2000/53/EG.....	23
3.2.6 Zwischenfazit	24
3.3 Regulatorische Pionierarbeit: Das vorläufige Batterierücknahmesystem [MIIT 2018/43].	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 MIT-Regelung vs. EU-Batterieverordnung	28
3.3.5 Zwischenfazit	30
3.4 <i>Rechtliche Trends bei der Altfahrzeugverwertung</i>	31
3.5 <i>Fazit</i>	32

4 DIE TRANSFORMATION DES ALTFahrZEUGMARKTES UND RÜCKNAHMESYSTEMS IM ZEITALTER DER ELEKTROMOBILITÄT 34

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

5 ANALYSE DER VERWERTUNGSKETTE VON ELEKTRO-ALTFahrZEUGEN: BESTEHENDE HERAUSFORDERUNGEN UND ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGSTENDENZEN..... 48

5.1 <i>Stakeholderanalyse in der Verwertungskette für Elektro-ALTFahrzeuge</i>	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 <i>Demontage 4.0: Technologische Sackgassen und automatisierte Durchbrüche</i>	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 <i>Die Schlacht der Recyclingverfahren für Traktionsbatterien: Hydrometallurgie vs. Direktrecycling</i>	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	<i>Elektromotor und Magnetverwertung in der VR China</i>	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	<i>Fazit</i>	72

6 ENTWICKLUNG ZIELGERICHTETER HANDLUNGSVORSCHLÄGE FÜR DIE RÜCKNAHME UND VERWERTUNG VON ELEKTRO-ALTFahrZEUGEN IN CHINA

6.1	<i>Systemtheoretische Synthese rechtlicher, marktwirtschaftlicher und technischer Wechselwirkungen in der Elektro-Altfahrzeugrücknahme und -verwertung</i>	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	<i>Entwicklung priorisierter Handlungsvorschläge</i>	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	<i>Multikriterielle Bewertung der festgestellte Handlungsvorschläge</i>	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

7.1	<i>Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse</i>	109
7.2	<i>Limitationen der Arbeit</i>	110
7.3	<i>Ausblick auf zukünftige Forschung</i>	111

LITERATURVERZEICHNIS