

## Inhaltsverzeichnis

0	Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen .....	12
1	Aufgabenstellung und Ziele.....	14
1.1	Einleitung und Problemstellung .....	14
1.2	Zielsetzung .....	15
1.3	Vorgehensweise .....	16
2	Stand der Erkenntnisse.....	18
2.1	Recycling maschinenbaulicher Produkte .....	18
2.1.1	Begriffsdefinitionen beim Recycling .....	18
2.1.2	Produktrecycling im Maschinenbau .....	19
2.1.3	Materialrecycling maschinenbaulicher Produkte .....	21
2.2	Recyclingorientierte Gestaltung maschinenbaulicher Produkte.....	23
2.2.1	Grundlagen und Regelwerke für eine recyclingorientierte Produktgestaltung .....	23
2.2.2	Instrumente der recyclingorientierten Produktgestaltung .....	25
2.3	Bewertung technischer Systeme nach dem Energieaufwand.....	27
2.3.1	Begriffsdefinitionen bei der energetischen Bewertung.....	27
2.3.2	Bedeutung des Energieaufwands als ökologischer Indikator.....	28
2.3.3	Berücksichtigung des Recycling bei der energetischen Bewertung technischer Systeme .....	31
2.4	Anwendbarkeit der Erkenntnisse .....	34
3	Entwicklung eines Modells zur energetischen Untersuchung von Recyclingoptionen für mechanische Bauteile und Baugruppen .....	36
3.1	Beschreibung und Festlegung des energetischen Untersuchungsmodells.....	36
3.2	Modellierung des Untersuchungsgegenstands.....	41
3.2.1	Allgemeine Recyclingoptionen und Festlegung des Bezugsobjektes .....	41

3.2.2	Herleitung der strukturbezogenen Systemgrenze .....	43
3.3	Behandlung der Wiederverwendung und Wiederverwertung sowie der Weiterverwertung .....	46
3.4	Präzisierung des Untersuchungsgegenstandes .....	47
4	Einfluss der Produktgestalt auf den Energieaufwand beim Zerlegen und Zerteilen maschinenbaulicher Produkte .....	49
4.1	Fertigungstechnisches Zerlegen durch Demontageprozesse .....	49
4.2	Zerteilen durch mechanische Zerkleinerungsprozesse .....	53
4.2.1	Auflösung der Bauteilgestalt .....	53
4.2.2	Herstellung der Bauteilgestalt .....	56
5	Einfluss der Produktgestalt auf den Energieaufwand beim Recycling von Bauteilen und Werkstoffen .....	58
5.1	Recycling von Bauteilen .....	58
5.2	Recycling von Werkstoffen .....	62
5.2.1	Recycling von Stahl .....	62
5.2.1.1	Beschreibung der Verwertungsprozesse und Festlegung der Prozessparameter .....	62
5.2.1.2	Einfluss der Altschrottqualität auf den kumulierten Energieaufwand beim Stahlrecycling .....	63
5.2.1.3	Qualitative und energetische Einflüsse der Vorbehandlungsprozesse auf das Stahlrecycling .....	69
5.2.1.4	Schlussfolgerungen für den Einsatz von Stahlwerk- stoffen in maschinenbaulichen Produkten .....	75
5.2.2	Recycling von Aluminium .....	78
5.2.2.1	Einfluss der Altschrottqualität auf den kumulierten Energieaufwand bei der Aluminiumverwertung .....	78
5.2.2.2	Qualitative und energetische Einflüsse der Vorbehandlungsprozesse auf das Aluminiumrecycling .....	83
5.2.2.3	Schlussfolgerungen für den Aluminiemeinsatz in maschinenbaulichen Produkten .....	87
5.2.3	Recycling thermoplastischer Kunststoffe .....	89

5.2.3.1	Kumulierter Energieaufwand von Verwertungsoptionen für thermoplastische Kunststoffe .....	89
5.2.3.2	Schlussfolgerungen für den Einsatz thermoplastischer Kunststoffe in maschinenbaulichen Produkten .....	93
6	Energetische Bewertung von Gestaltvarianten eines technischen Produktes und Diskussion der recyclingbezogenen Einflussfaktoren .....	97
6.1	Beschreibung des untersuchten Produktes und Festlegung der energetischen Parameter .....	97
6.1.1	Entwicklung der funktionsbezogenen Rahmenfestlegungen.....	97
6.1.2	Strukturierung der Prozessketten.....	99
6.1.3	Festlegungen zum Energiemodell.....	102
6.2	Auswertung des energetischen Vergleichs der beiden Einhebelmischergehäuse .....	103
6.3	Diskussion der recyclingbezogenen Einflussfaktoren auf den kumulierten Energieaufwand .....	105
7	Ableitung von Empfehlungen aus den energetischen Untersuchungen für den Konstruktionsprozess.....	110
7.1	Erstellung eines Anforderungskatalogs mit Zugriffssystem für eine energieoptimal recyclingorientierte Gestaltung mechanischer Bauteile und Baugruppen .....	110
7.1.1	Entwicklung des Gliederungs- und Hauptteils.....	110
7.1.2	Entwicklung des Zugriffssystems .....	113
7.2	Integration des Anforderungskatalogs in den Konstruktionsprozess .....	115
7.2.1	Aufstellung der inhaltsbezogenen Voraussetzungen .....	115
7.2.2	Instrumentelle Rahmenumgebung.....	117
7.3	Einordnung des Anforderungskatalogs in das Instrumentarium ökologischer Produktentwicklung.....	119
8	Zusammenfassung und Ausblick .....	122
9	Verwendete Literatur .....	124