Systematik von Abfallmengenabschätzungen

als Grundlage sekundärer Rohstoffverfügbarkeit am Beispiel von Elektro(nik)altgeräten aus privaten Haushalten

vom Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie der Technischen Universität Darmstadt genehmigte Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

vorgelegt von Dipl.-Ing. MSc Wolfgang Walk
aus Karlsruhe

Referentin: Prof. Dr. rer. nat. Liselotte Schebek
Korreferent: Prof. Dr. rer. nat. Johannes Jager

Tag der Einreichung: 19. Januar 2011
Tag der mündlichen Prüfung: 5. Mai 2011

– D 17 –
Aachen, 2011

Wolfgang Walk

Systematik von Abfallmengenabschätzungen

als Grundlage sekundärer Rohstoffverfügbarkeit
am Beispiel von Elektro(nik)altgeräten
aus privaten Haushalten

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Aachen 2011

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2011

Copyright Shaker Verlag 2011
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0389-5

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Kurzfassung

Gleich ob es um umweltpolitische Meinungsbildung, Entwurf von Abfallwirtschaftskonzepten oder konkrete Kapazitätsplanung von Entsorgungsanlagen und -logistik geht: häufig muss auf Abfallmengenabschätzungen und -prognosen zurückgegriffen werden. Eine Sachstandsanalyse auf Basis von 52 ausgewerteten Fallstudien zeigt, dass sich kein typisches Vorgehen etabliert hat und eine Vielfalt von Mengenabschätzungsmethoden existiert. In dieser Arbeit wird diese empirische Analyse um theoretische Überlegungen ergänzt und es resultiert eine Systematik, die die Wahl geeigneter Abfallmengenabschätzungsmethoden unterstützt. Schließlich wird die Systematik zur Abschätzung von Bildschirmaltgeräten angewendet und anhand von weiteren Beispielen der mögliche Erkenntnisgewinn aufgezeigt, der sich aus der entwickelten Systematik ergibt.

Abstract

Adequate waste data is not always available when it comes to environmental policy making, to waste management concepts, or to planning of waste treatment capacities. Decisions are oftentimes based on estimates and forecasts. The analysis of 52 case studies shows that there is no established procedure but a variety of applied methods for estimating and forecasting waste quantities. A systematics as guidance for choosing appropriate methods is developed by means of complementing the case study analysis with theoretical considerations. As an example, this systematics is applied to forecast discarded TV sets and waste computer monitors.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung **1**

2. Zielsetzung und Abgrenzung **5**
2.1. Zielsetzung 5
2.1.1. Situationsbeschreibung 5
2.1.2. Ziel dieser Arbeit 5
2.1.3. Wozu nützt diese Arbeit? Zweck einer Systematik 5
2.1.4. Wer braucht methodische Überlegungen zu Abfallmengenabschätzungen? 6
2.2. Abgrenzung 7

3. Grundlagen **9**
3.1. Begriffsklärungen 9
3.1.1. Unterschiedliche Prognosebegriffe 9
3.1.2. Szenarien und Prognosen 11
3.1.3. Weitere Begriffe zu Abschätzungen und Prognosen 12
3.1.4. Abfallaufkommen, Bruttoabfallmenge und Nettoabfallmenge 13
3.2. Die Datenlage in der deutschen Abfallwirtschaft 14
3.2.1. Datenbedarfe 14
3.2.2. Datenerfassung 15
3.2.3. Zusammenfassung der Situation der Abfallmengendaten im Allgemeinen 16
3.2.4. Besonderheiten der Abfallmengendaten von EAG in Deutschland 22

4. Analyse verschiedener Mengenabschätzungen **29**
4.1. Charakterisierungsansätze für Abfallmengenabschätzungen 29
4.1.1. Charakterisierungsansatz nach Karavezyris (2000) 29
4.1.2. Charakterisierungsansatz nach Walk (2004) 30
4.1.3. Charakterisierungsansatz nach BOKU (2008) . . . 31
4.1.4. Charakterisierungssystem in dieser Arbeit 32

4.2. Literaturstudie als Sachstandsanalyse 37
4.2.1. Datengrundlage der Literaturstudie 37
4.2.2. Identifizierung typischer Abfallmengenabschätzungen 40
4.2.3. Weitere Auswertung 44
4.3. Fazit der Sachstandsanalyse und Folgerung für eine Systematik 45

5. Theoretisches zu Abfallmengenabschätzungen 47
5.1. Abschätzungsansätze 47
5.2. Der Extrapolationsansatz und darauf beruhende Methoden 49
5.2.1. Grundsätzliches zum Extrapolationsansatz 49
5.2.2. Methoden der deterministische Zeitreihenanalyse . 50
5.2.3. Methoden der stochastischen Zeitreihenanalyse . . 54
5.2.4. Eignung des Extrapolationsansatzes und dessen Methoden 56
5.3. Der Analogieansatz und darauf beruhende Methoden . . . 56
5.3.1. Grundsätzliches zum Analogieansatz 56
5.3.2. Methoden des Analogieansatzes 58
5.3.3. Eignung des Analogieansatzes und seiner Methoden 61
5.4. Der Materialstromansatz und darauf beruhende Methoden 62
5.4.1. Grundsätzliches zum Materialstromansatz 62
5.4.2. Methoden des Materialstromansatzes 63
5.4.3. Ein generisches Materialstrommodell 68
5.4.4. Eignung des Materialstromansatzes und dessen Methoden 70
5.5. Zusammenfassende Darstellung der Abschätzungsansätze 71
5.6. Kombinationen von Ansätzen 73
5.6.1. Kombination des Extrapolationsansatzes mit dem Analogieansatz 74
5.6.2. Kombination des Extrapolationsansatzes mit dem Materialstromansatz 74
5.6.3. Kombination des Analogieansatzes mit dem Materialstromansatz 74
5.6.4. Kombinierte Anwendung aller dreier Ansätze . . . 75

6. Entwicklung einer Systematik zur Methodenwahl 77
6.1. Auswahlkriterien des Informationsinteresses 79
6.2. Auswahlkriterien der Datenlage 79
6.3. Auswahlkriterien methodische Restriktionen 80

6.4. Einschätzungen als Bestandteil der Methodenwahl 81
6.5. Methodenwahl 82

7. Anwendungsbeispiel der entwickelten Systematik: Bildschirmaltgeräte 91
7.1. Randbedingungen 91
7.1.1. Veranlassung und Fragestellung 91
7.1.2. Datenlage 92
7.1.3. Wahl des Prognsoseansatzes und der Prognosemethode 92
7.1.4. Methodische Alternativen und Schwachpunkte . . 95
7.2. Durchführung der Mengenabschätzung 95
7.2.1. Homogenität der Bildschirmaltgeräte - Charakterisierung der Grundgesamtheit 96
7.2.2. Untersuchung auf weitere Dynamiken 101
7.2.3. Formale Beschreibung der Lebensdauerverteilung . 103
7.2.4. Modellierung der Bestandsentwicklung 104
7.2.5. Technologiewandel 105
7.3. Ergebnisse 106
7.3.1. Validierung und Sensitivitätsuntersuchung 106
7.4. Diskussion der Beispielanwendung Bildschirmaltgeräte . . 108
7.5. Interpretation 110

8. Diskussion der entwickelten Systematik 111

9. Zusammenfassung und Ausblick 113
9.1. Zusammenfassung 113
9.2. Ausblick 114

Literaturverzeichnis 115

Anhang 130

A. Abkürzungen, Glossar und Formelzeichen 131
A.1. Abkürzungen 131
A.2. Glossar 132
A.3. Formelzeichen und Einheiten 135

B. Typisierung von Datenbedarfen **139**

C. Clusteranalyse von Abfallmengenabschätzungen **147**
C.1. Grundsätzliche Überlegungen zur Clusteranalyse 147
C.2. Vorgehensweise beim agglomerativen hierarischen Clustern 148
C.3. Normierung 148
C.3.1. Eigenschaften der Studiencharakteristika 148
C.3.2. Normierung der nichtmetrisch skalierten Variablen 149
C.3.3. Normierung der metrisch skalierten Charakterisika 149
C.4. Wahl des Proximitätsmaßes 150
C.4.1. Proximitätsmaß der nichtmetrisch skalierten Variablen 150
C.4.2. Proximitätsmaß der metrisch skalierten Variablen . 151
C.4.3. Kombination der Proximitätsmaße 151
C.5. Der Fusionierungsalgorithmus 152
C.6. Bestimmung geeigneter Clusterzahl 153
C.7. Datengrundlage der Clusteranalyse 154

Tabellenverzeichnis

3.1. Erhebung von Abfallmengendaten 17
3.2. Datensituation in der deutschen Abfallwirtschaft 19

4.1. Kriterien der Literaturauswertung 38

7.1. Untergruppen innerhalb der Bildschirmgeräte: Wilcoxon Rangsummentest auf signifikante Lageuntersschiede 100
7.2. Signifikanztest vermuteter Trends 102
7.3. Ermittelte Parameter der Weibull-Verteilung zur Beschreibung der Produktlebensdauern 103
7.4. Ermittelte Parameter der logistischen Funktion zur Beschreibung der Ausstattungsbestände 105
7.5. Parameter des Fisher-Pry Modells für die Substitution von Röhrentechnik durch Flachbildtechniken 106

B.1. Bedarfsfälle für Abfallmengendaten 139

C.1. Beschreibung der Abfallmengenstudien als Datenbasis für die Clusteranalyse 155

Abbildungsverzeichnis

3.1. Vereinfachte Darstellung der Abholkoordination von EAG aus Haushalten 25
3.2. Aufkommen von EAG 1999 bis 2006 26

4.1. Clusteranalyse von 52 Veröffentlichungen zu Abfallmengenabschätzungen 42

5.1. Generisches Materialflussmodell als Basis für Abfallmengenabschätzungen 76

6.1. Baumstruktur der Methodenwahl - Teildiagramm I 84
6.2. Baumstruktur der Methodenwahl - Teildiagramm II . . . 85
6.3. Baumstruktur der Methodenwahl - Teildiagramm III . . . 86
6.4. Baumstruktur der Methodenwahl - Teildiagramm IV . . . 87
6.5. Baumstruktur der Methodenwahl - Teildiagramm V . . . 88
6.6. Baumstruktur der Methodenwahl - Teildiagramm VI . . . 89

7.1. Klassifizierung von Fernsehgeräten nach Bildschirmdiagonale 97
7.2. Klassifizierung von Monitoren nach Größenklassen 98
7.3. Ergebnis der Mengenabschätzung an CRT-Altfernsehgeräten in Baden-Württemberg 107
7.4. Ergebnis der Mengenabschätzung an CRT-Altmonitoren in Baden-Württemberg 108
7.5. Unsicherheitsabschätzung auf Basis von Daten einzelner örE 109

C.1. Distanzmaße der Fusionierung von Clustern 154