

Dissertation

# **Ökologische Bilanzierung von Verwertungsverfahren für Trockenbatterien**

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. B. Bilitewski  
Prof. Dr. rer. nat. P. Werner

## **Beiträge zu Abfallwirtschaft/Altlasten**

Schriftenreihe des Institutes für  
Abfallwirtschaft und Altlasten  
Technische Universität Dresden  
Band 24  
ISBN 3-934253-13-X  
2002  
1. Auflage

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG.....</b>	<b>5</b>
<b>TEIL A – ABFALLWIRTSCHAFTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN DER BATTERIEVERWERTUNG UND METHODISCHE GRUNDLAGEN</b>		
<b>2</b>	<b>ABFALLWIRTSCHAFTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN DER BATTERIEVERWERTUNG .....</b>	<b>8</b>
2.1	INHALTSSTOFFE UND AUFKOMMEN VON ALTBATTERIEN IN DEUTSCHLAND.....	8
2.1.1	Zink-Kohle-Batterien.....	11
2.1.2	Alkali-Mangan-Batterien.....	12
2.2	ABFALLRECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN DER ENTSORGUNG VON ALTBATTERIEN.....	13
2.3	ORGANISATORISCHE RAHMENBEDINGUNGEN DER ENTSORGUNG VON ALTBATTERIEN UND STAND DER ENTSORGUNGSTECHNIK.....	16
2.3.1	Spezifische Recyclingverfahren für Trockenbatterien oder Batteriemische.....	17
2.3.2	Verwertung von Trockenbatterien in bestehenden Hüttenwerken – das EPBA-Konzept... ..	19
<b>3</b>	<b>METHODENAUSWAHL UND -BESCHREIBUNG.....</b>	<b>22</b>
3.1	ÖKOLOGISCHE BEWERTUNGSPROBLEME IM KREISLAUFWIRTSCHAFTS- UND ABFALLGESETZ AM BEISPIEL BATTERIEENTSORGUNG.....	22
3.2	METHODIK DER ÖKOLOGISCHEN BILANZIERUNG – STAND DER NORMUNG.....	24
3.3	VORGEHEN BEI DER FESTLEGUNG VON ZIEL UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN - AUSWAHL DER ZU VERGLEICHENDEN VERWERTUNGSVERFAHREN.....	26
3.4	VORGEHEN BEI DER SACHBILANZ.....	27
3.4.1	Instrumentelles Hilfsmittel – die Software UMBERTO.....	27
3.4.2	Datenquellen.....	29
3.4.3	Allokationsregeln.....	29
3.4.4	Darstellung der funktionellen Äquivalenz.....	30
3.5	VORGEHEN BEI DER WIRKUNGSABSCHÄTZUNG.....	31
3.5.1	Bestimmung und Auswahl von Wirkungskategorien und –indikatoren.....	32
3.5.2	Zuordnung der Sachbilanzergebnisse (Klassifikation).....	34
3.5.3	Berechnung der Wirkungsindikatorergebnisse (Charakterisierung).....	34
3.5.3.1	Ressourcenverbrauch.....	35
3.5.3.1.1	Fossile Energieträger.....	35
3.5.3.1.2	Kumulierter Energieaufwand (KEA).....	35
3.5.3.1.3	Wasser.....	36
3.5.3.2	Treibhauseffekt.....	37
3.5.3.3	Photooxidantienbildung.....	38
3.5.3.4	Versauerung.....	39
3.5.3.5	Nährstoffeintrag (Eutrophierung).....	39
3.5.3.6	Flächenverbrauch / Deponieraum.....	40
3.5.3.7	Toxische Schädigung (Human- und Ökotoxizität).....	41
3.6	VORGEHEN BEI DER AUSWERTUNG – DIE UBA-BEWERTUNGSMETHODE.....	42
3.6.1	Ökologische Gefährdung.....	43
3.6.2	Abstand zum angestrebten Umweltzustand – Distance-to-Target.....	44
3.6.3	Spezifischer Beitrag.....	45
3.6.4	Aggregation zur Ökologischen Priorität.....	46
3.6.5	Ergebniszusammenführung und –darstellung.....	47
<b>TEIL B – ÖKOLOGISCHE BILANZIERUNG DER VERWERTUNG VON TROCKENBATTERIEN</b>		
<b>4</b>	<b>ZIELSETZUNG UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN .....</b>	<b>49</b>
4.1	UNTERSUCHTE VERWERTUNGSVERFAHREN.....	49
4.2	ALT-TROCKENBATTERIEN – BEZUGSGRÖÖE UND STOFFLICHE CHRAKTERISIERUNG.....	49
4.3	WEITERE SYSTEMANNAHMEN UND FESTLEGUNGEN ZUM UNTERSUCHUNGSRAHMEN.....	50

<b>5</b>	<b>BESCHREIBUNG UND MODELLIERUNG DER UNTERSUCHUNGSSZENARIEN ZUR VERWERTUNG VON TROCKENBATTERIEN – SACHBILANZ.....</b>	<b>52</b>
5.1	SZENARIO 1: VERWERTUNG VON TROCKENBATTERIEN IM SUMITOMO/BATREC-VERFAHREN.....	52
5.1.1	<i>Beschreibung des Verwertungssystems</i> .....	53
5.1.1.1	Verfahrensbeschreibung.....	53
5.1.1.2	Annahmen zur Modellierung des Verwertungssystems.....	54
5.1.2	<i>Beschreibung des Äquivalenzsystems</i> .....	54
5.1.2.1	Verfahrensbeschreibung.....	55
5.1.2.2	Annahmen zur Modellierung des Äquivalenzsystems.....	57
5.2	SZENARIO 2: VERWERTUNG VON TROCKENBATTERIEN IN DER ZINKINDUSTRIE DURCH EINSATZ BEIM IMPERIAL-SMELTING-VERFAHREN.....	57
5.2.1	<i>Beschreibung des Verwertungssystems</i> .....	58
5.2.1.1	Verfahrensbeschreibung.....	58
5.2.1.2	Annahmen zur Modellierung des Verwertungssystems.....	60
5.2.2	<i>Beschreibung des Äquivalenzsystems</i> .....	64
5.2.2.1	Verfahrensbeschreibungen.....	64
5.2.2.2	Annahmen zur Modellierung des Äquivalenzsystems.....	64
5.3	SZENARIO 3: VERWERTUNG VON TROCKENBATTERIEN IN DER ZINKINDUSTRIE DURCH EINSATZ BEIM WÄLZVERFAHREN UND ANSCHLIEßENDE ELEKTROLYTISCHE ZINGGEWINNUNG AUS DEM WÄLZOXID.....	64
5.3.1	<i>Beschreibung des Verwertungssystems</i> .....	65
5.3.1.1	Verfahrensbeschreibungen.....	65
5.3.1.1.1	Das Wälzverfahren.....	65
5.3.1.1.2	Hydrometallurgische / Elektrolytische Zinggewinnung.....	67
5.3.1.2	Annahmen zur Modellierung des Verwertungssystems.....	69
5.3.2	<i>Beschreibung des Äquivalenzsystems</i> .....	70
5.3.2.1	Verfahrensbeschreibung.....	70
5.3.2.2	Annahmen zur Modellierung des Äquivalenzsystems.....	70
5.4	ERGEBNISSE DER SACHBILANZ (INPUT-OUTPUT-TABELLEN).....	71
<b>6</b>	<b>VERGLEICH DER UNTERSUCHUNGSSZENARIEN ZUR VERWERTUNG VON TROCKENBATTERIEN – WIRKUNGSABSCHÄTZUNG.....</b>	<b>73</b>
6.1	ERGEBNISSE DER WIRKUNGSABSCHÄTZUNG.....	73
6.2	SZENARIENVERGLEICH UND BESTIMMUNG DER RANGFOLGE.....	73
6.2.1	<i>Ressourcenverbrauch</i> .....	74
6.2.1.1	Fossile Energieträger.....	74
6.2.1.2	Kumulierter Energieaufwand (KEA).....	75
6.2.1.3	Wasser.....	77
6.2.2	<i>Treibhauseffekt</i> .....	78
6.2.3	<i>Photooxidantienbildung</i> .....	80
6.2.4	<i>Versauerung</i> .....	82
6.2.5	<i>Nährstoffeintrag (Eutrophierung)</i> .....	84
6.2.6	<i>Flächenverbrauch</i> .....	85
6.2.7	<i>Toxische Schädigung (Human- und Ökotoxizität)</i> .....	87
6.2.7.1	Krebsrisikopotential.....	88
6.2.7.2	Staub im Abgas.....	90
6.2.7.3	Blei im Abgas.....	91
6.2.7.4	Zink im Abgas.....	92
6.2.7.5	Schwermetalle im Abwasser.....	94
6.3	GEGENÜBERSTELLUNG ALLER UNTERSUCHTEN SZENARIEN ANHAND DER WIRKUNGSKATEGORIEN.....	96
<b>7</b>	<b>BILANZBEWERTUNG – AUSWERTUNG.....</b>	<b>99</b>
7.1	ERGEBNISSE DER BILANZBEWERTUNG.....	99
7.1.1	<i>Vergleich der Szenarien 1 „Verwertung von Trockenbatterien im Sumitomo/Batrec-Verfahren“ und 2 „Verwertung von Trockenbatterien in der Zinkindustrie durch Einsatz beim Imperial-Smelting-Verfahren“</i> .....	100
7.1.2	<i>Vergleich der Szenarien 1 „Verwertung von Trockenbatterien im Sumitomo/Batrec-Verfahren“ und 3 „Verwertung von Trockenbatterien in der Zinkindustrie durch Einsatz beim Wälzverfahren und anschließende elektrolytische Zinggewinnung aus dem Wälzoxid“</i> .....	103
7.1.3	<i>Vergleich der Szenarien 2 „Verwertung von Trockenbatterien in der Zinkindustrie durch Einsatz beim Imperial-Smelting-Verfahren“ und 3 „Verwertung von Trockenbatterien in der Zinkindustrie durch Einsatz beim Wälzverfahren und anschließende elektrolytische Zinggewinnung aus dem Wälzoxid“</i> .....	107
7.2	SENSITIVITÄTSANALYSE.....	111

7.2.1	<i>Sensitive Einflußgrößen und Fehlerquellen</i> .....	111
7.2.2	<i>Diskussion sensitiver Annahmen</i> .....	113
7.2.2.1	Modifikation im Sumitomo/Batrec-Äquivalenzsystem: Ferromangan-Herstellung im Hochofen. 113	
7.2.2.2	Modifikation in den Äquivalenzprozessen: Einheitliche Annahmen zur Zinkherstellung .....	118
7.2.2.3	Allokationsänderungen bei der Verwertung der gesamten bundesdeutschen Alt- Trockenbatterien (23.000 t/a) .....	126
7.3	ANALYSE DER DATENQUALITÄT .....	133
<b>8</b>	<b>GESAMTEINSCHÄTZUNG – ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</b> .....	<b>135</b>
8.1	ZUSAMMENFASSUNG DER VORGEHENSWEISE .....	135
8.2	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE .....	136
8.3	AUSBLICK.....	138
<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>140</b>
<b>10</b>	<b>ANHANG</b> .....	<b>150</b>
10.1	BASISDATEN .....	150
10.1.1	<i>Gemeinsame szenarienübergreifende Basisdaten</i> .....	150
10.1.2	<i>Szenario 1: Verwertung von Trockenbatterien im Sumitomo/Batrec-Verfahren</i> .....	155
10.1.3	<i>Szenario 2: Verwertung von Trockenbatterien durch Einsatz beim Imperial-Smelting- Verfahren</i> .....	158
10.1.4	<i>Szenario 3: Verwertung von Trockenbatterien durch Einsatz beim Wälzverfahren und anschließende elektrolytische Zinkgewinnung aus dem Wälzoxid</i> .....	160
10.2	INPUT-OUTPUT-TABELLEN FÜR DIE VERWERTUNGS- UND ÄQUIVALENZPROZESSE .....	163
10.2.1	<i>Szenario 1: Verwertung von Trockenbatterien im Sumitomo/Batrec-Verfahren</i> .....	163
10.2.2	<i>Szenario 2: Verwertung von Trockenbatterien durch Einsatz beim Imperial-Smelting- Verfahren</i> .....	166
10.2.3	<i>Szenario 3: Verwertung von Trockenbatterien durch Einsatz beim Wälzverfahren und anschließende elektrolytische Zinkgewinnung aus dem Wälzoxid</i> .....	169
10.3	TABELLARISCHE ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DER WIRKUNGSABSCHÄTZUNG FÜR DIE VERWERTUNGS- UND ÄQUIVALENZPROZESSE .....	172
10.4	TABELLARISCHE ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DER BILANZBEWERTUNG NACH DEM UBA- KONZEPT FÜR DIE VERWERTUNGS- UND ÄQUIVALENZPROZESSE .....	176
10.5	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	179
10.6	TABELLENVERZEICHNIS .....	184
10.7	VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN UND FORMELZEICHEN .....	186