



## PROSA Kurzstudie

# Wiederaufladbare Lithium-Batterien für den Einsatz in tragbaren Geräten

Entwicklung der Vergabekriterien für ein  
klimaschutzbezogenes Umweltzeichen

Darmstadt/Heidelberg,  
den 12.01.2011

### Autor/innen:

Christoph Lauwigi, Institut für Energie- und  
Umweltforschung GmbH, Heidelberg

Dr. Doris Schüler, Öko-Institut e.V., Darmstadt

Dr. Dietlinde Quack, Öko-Institut e.V.

Regine Vogt, Institut für Energie- und Umweltforschung  
GmbH, Heidelberg

*Gefördert durch:*



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit



**DIE BMU  
KLIMASCHUTZ-  
INITIATIVE**

### Öko-Institut e.V.

#### Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 50 02 40

79028 Freiburg, Deutschland

#### Hausadresse

Merzhauser Straße 173

79100 Freiburg, Deutschland

Tel. +49 (0) 761 – 4 52 95-0

Fax +49 (0) 761 – 4 52 95-88

#### Büro Darmstadt

Rheinstraße 95

64295 Darmstadt, Deutschland

Tel. +49 (0) 6151 – 81 91-0

Fax +49 (0) 6151 – 81 91-33

#### Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7

10179 Berlin, Deutschland

Tel. +49 (0) 30 – 40 50 85-0

Fax +49 (0) 30 – 40 50 85-388

Zur Entlastung der Umwelt ist dieses Dokument für den  
**beidseitigen Druck** ausgelegt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Teil I</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Definition</b>	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b>Markt- und Umfeldanalyse</b>	<b>6</b>
2.2.1	Markttrends	7
2.2.2	Marktsättigung	8
2.2.3	Preise	8
<b>2.3</b>	<b>Technologietrends</b>	<b>8</b>
<b>2.4</b>	<b>Internationale Umweltzeichen</b>	<b>11</b>
<b>2.5</b>	<b>Kapazität, Lebensdauer und Energieeffizienz</b>	<b>13</b>
<b>2.6</b>	<b>Batterierecycling</b>	<b>16</b>
<b>2.7</b>	<b>Schwermetalle</b>	<b>17</b>
<b>2.8</b>	<b>Sicherheitsaspekte</b>	<b>19</b>
<b>2.9</b>	<b>Tiefentladeschutz</b>	<b>19</b>
<b>2.10</b>	<b>Nutzenanalyse</b>	<b>19</b>
2.10.1	Gebrauchsnutzen	21
2.10.2	Symbolischer Nutzen	22
2.10.3	Gesellschaftlicher Nutzen	22
2.10.4	Zusammenfassung der Nutzenanalyse	22
<b>3</b>	<b>Teil II</b>	<b>23</b>
<b>3.1</b>	<b>Lebenszyklusanalyse / Orientierende Ökobilanz</b>	<b>24</b>
3.1.1	Funktionelle Einheit	24
3.1.2	Systemgrenzen	24
3.1.3	Ergebnis für die betrachteten Wirkungskategorien	25
<b>3.2</b>	<b>Analyse der Lebenszykluskosten</b>	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>Ableitung von Vergabekriterien für ein Umweltzeichen</b>	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>Literatur</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>Anhang</b>	<b>34</b>
<b>5.1</b>	<b>Wirkungskategorien des Life Cycle Assessment</b>	<b>34</b>
5.1.1	Kumulierter Primärenergiebedarf	34
5.1.2	Treibhauspotential	34
5.1.3	Versauerungspotential	34
5.1.4	Aquatisches und terrestrisches Eutrophierungspotential	34
<b>5.2</b>	<b>Abgeleitete Vergabekriterien für ein Umweltzeichen</b>	<b>35</b>

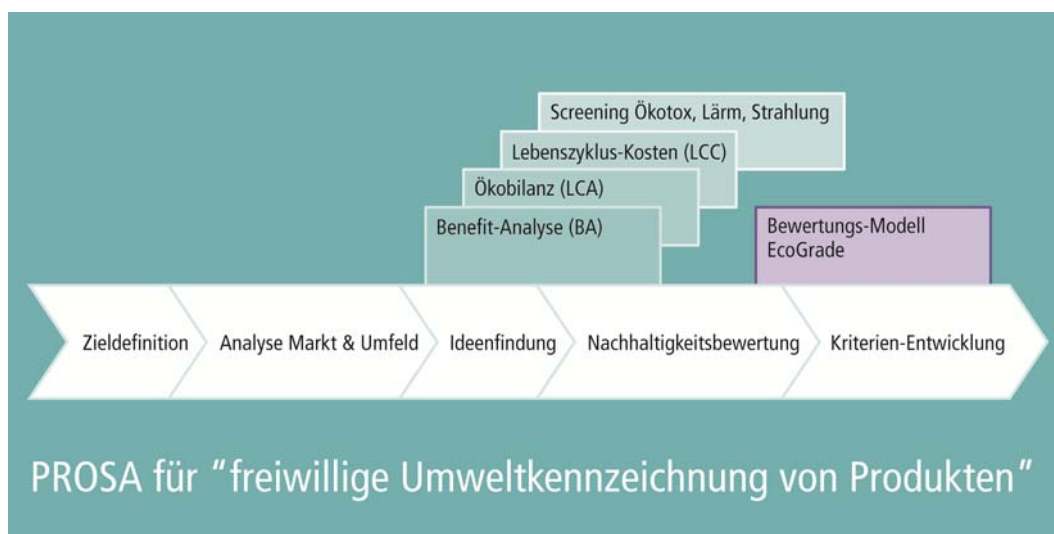


## 1 Einleitung

Für die Ableitung von Vergabekriterien für das Umweltzeichen wird gemäß ISO 14024 geprüft, welche Umweltauswirkungen für die potenzielle Vergabe eines Klimaschutz-Umweltzeichens relevant sind – neben Energie/Treibhauseffekt kommen also auch andere Umweltauswirkungen wie Ressourcenverbrauch, Eutrophierungs-Potenzial, Lärm, Toxizität, etc. in Betracht.

Methodisch wird die Analyse mit der Methode PROSA – Product Sustainability Assessment<sup>1</sup> durchgeführt (Abb. 1). PROSA umfasst mit dem der Markt- und Umfeld-Analyse, Ökobilanz, der Lebenszykluskostenrechnung und der Benefit-Analyse die zur Ableitung der Vergabekriterien erforderlichen Teil-Methoden und ermöglicht eine integrative Bearbeitung und Bewertung.

Eine Sozialbilanz wird nicht durchgeführt, weil soziale Aspekte z. B: bei der Herstellung der Produkte beim Umweltzeichen bisher nicht oder nicht gleichrangig einbezogen werden. Eventuelle Hinweise auf soziale Hot-Spots würden sich allerdings auch aus der Markt- und Umfeld-Analyse ergeben.



<sup>1</sup> Grießhammer, R.; Buchert, M.; Gensch, C.-O.; Hochfeld, C.; Rüdener, I.; Freiburg, Darmstadt, Produkt-Nachhaltigkeits-Analyse (PROSA/PLA) - Methodenentwicklung und Diffusion, Berlin 2007

## 2 Teil I

### 2.1 Definition

Die vorliegende Kurzstudie beschäftigt sich mit der Produktgruppe „**wiederaufladbare Lithium-Batterien für den Einsatz in tragbaren Geräten**“. Wiederaufladbare Lithium-Batterien werden hierbei auch als sekundäre Lithium-Batterien oder Lithium-Akkumulatoren bezeichnet. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit der vorliegenden Studie wird im Folgenden für wiederaufladbare Lithium-Batterien der Begriff „Lithium-Akku“ verwendet.

Der Begriff „Batterie“ wird in dieser Studie für den Zusammenschluss ein oder mehrerer „Zellen“ verwendet, wobei die „Zelle“ die eigentlich zur Umwandlung von chemischer in elektrische Energie vorhandene Einheit darstellt (siehe auch Abbildung 1). Die „Batterie“ kann zudem noch diverse mess- und regeltechnische Komponenten enthalten.

Lithium-Akkus werden überwiegend in den zwei Bereichen Mobiltelefone und Laptops eingesetzt. Weitere Hauptanwendungsgebiete sind Camcorders und Digitalkameras. Hinzu kommen Anwendungen in schnurlosen Werkzeugen, Media-Playern und weiteren tragbaren Geräten.

Einen sehr kleinen Marktanteil innerhalb der Lithium-Akkus haben noch Knopfzellen. Aufgrund des minimalen Marktanteils erscheint die Berücksichtigung innerhalb eines Umweltzeichens nicht sinnvoll.

Batterien in standardisierten Größen wie AA, AAA oder Sub-C gibt es nicht als Lithium-Akku. Es gibt lediglich Lithium-Akkus in Spezialgrößen mit 3-4 V. Diese benötigen jedoch wie alle Lithium-Akkus eine umfangreiche Mess- und Steuerungselektronik, so dass sie mit herkömmlichen Ladegeräten für andere Batterietypen nicht aufgeladen werden können. Dementsprechend ist ihr Marktanteil sehr gering, so dass sie für die Vergabekriterien für ein Umweltzeichen ebenfalls nicht berücksichtigt werden.

Mittelfristig ist zu erwarten, dass Lithium-Akkus in größerer Stückzahl in Hybridfahrzeugen eingesetzt werden. Hier ist die Entwicklung jedoch sehr dynamisch, so dass die Erarbeitung eines Umweltzeichens für den Anwendungsbereich „Elektromobilität“ derzeit noch zu früh ist. Gleiches gilt für die Anwendungen in Elektrofahrrädern, so dass die Produktgruppe in der ersten Fassung der Vergabegrundlage auf Lithium-Akkus für tragbare Geräte beschränkt wird.

### 2.2 Markt- und Umfeldanalyse

Die Stiftung gemeinsames Rücknahmesystem Batterien (GRS) gibt in ihrem Jahresbericht an, dass in 2009 51,9 Mio. Lithium-Akkus (ohne Knopfzellen) in Deutschland in Verkehr gebracht wurden. Da diese Statistik keine Zuordnung zu den Anwendungsfeldern gibt, wird

nachfolgend eine Marktübersicht über die verkauften Geräte für den Endverbraucher aus den Bereichen der Informations-, Telekommunikations- und Unterhaltungstechnologie in 2009 gegeben:

Tabelle 1      Verkaufte tragbare Geräte in Deutschland in 2009 nach [CEMIX 2009]

Gerät	Absatz in 2009 [1.000 Stück]	Veränderung gegenüber 2008
Laptops	6.332	42,6 %
Mobiltelefone	16.500	-20,5 %
Digitalkameras	8.500	- 8,8 %
Camcorder	642	-10,7 %
MP3 Portables	6.684	-14,2%
PDA/Smartphones	2.947	118,1 %

Die Summe der vorgenannten tragbaren elektrischen Geräte beträgt rund 42 Mio. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass diese Geräte teilweise auch mit Nickel-Metallhydrid (NiMH)-Akkus ausgestattet sind.

Weiterhin enthält die Statistik nicht die Anzahl der verkauften schnurlosen Werkzeuge, die mit Lithium-Akkus ausgestattet sind sowie den großen Markt der Ersatzakkus. Exakte Marktdaten liegen hierzu nicht vor.

### 2.2.1 Markttrends

Die Markttrends sind für die einzelnen Anwendungen differenziert zu betrachten:

Bei Laptops und Mobiltelefonen kommen aufgrund ihrer hohen Energiedichte fast nur noch Lithium-Akkus zum Einsatz, so dass hier keine nennenswerten Steigerungsraten durch den Umstieg von NiMH-Akkus auf Lithium-Akkus zu erwarten sind.

Bei Digitalkameras und Media-Playern sind noch mit höheren Anteilen NiMH-Akkus im Einsatz. Hier ist denkbar, dass die verschiedenen Akkusysteme mittelfristig nebeneinander bestehen bleiben, da die NiMH-Akkus meist kostengünstiger sind.

Bei schnurlosen Werkzeugen ist dies ebenfalls zu beobachten. Zu erwähnen ist hier noch, dass die Batterierichtlinie (BattRL 2006/66/EG) von 2006 die Verwendung von Nickel-Kadmium (NiCd)-Akkus in diesem Anwendungsbereich mit der Forderung, diese Ausnahme

im Jahr 2010 zu überprüfen, zulässt. Eine Entscheidung zu diesem Thema steht derzeit noch aus (Stand: Oktober 2010). Auch das aktuelle Batteriegesetz (BattG) von 2009 enthält die Ausnahmeregelung für cadmiumhaltige Gerätebatterien in Elektrowerkzeugen, Notfallsystemen und medizinischer Ausrüstung. Deshalb sind in diesem Einsatzgebiet immer noch NiCd-Akkus zu finden, welche in allen anderen Geräteanwendungen aufgrund der geringen maximal zulässigen Menge von 0,002 Gewichtsprozent Cd faktisch verboten sind.

### 2.2.2 Marktsättigung

Wie der Markttrend zeigt, ist mittelfristig noch keine Marktsättigung zu erwarten, da die Lithium-Akkus einerseits andere Akkutypen substituieren und andererseits noch Zuwachsraten bei den Einsatzgeräten zu erwarten sind. Beispielhaft sind hier die Laptops zu nennen, die zunehmend nicht tragbare Rechner substituieren. Auch ist davon auszugehen, dass relativ neue elektronische Produkte wie beispielsweise PDA's (Personal Digital Assistant) oder e-book-reader zunehmende Verbreitung finden. So zeigt die Tabelle 1 deutliche Wachstumsraten für Laptops und PDA's in 2009 im Vergleich zu 2008 trotz der in 2009 vorherrschenden Wirtschaftsrezession.

### 2.2.3 Preise

Die Preise variieren stark für die einzelnen Anwendungsgebiete und in Abhängigkeit von Marke, Qualität und Bezugsquelle. Folgende Preisspannen können genannt werden [Quelle: eigene Recherchen 02/2010]:

Lithium-Akkus für Mobiltelefone:	15 – 30 €
Lithium-Akkus für Laptops:	80 – 140 €
Lithium-Akkus für schnurlose Werkzeuge:	20 – 150 €
Lithium-Akkus für Digitalkameras:	8 – 40 €

## 2.3 Technologietrends

Es gibt eine Vielzahl von Materialien für die Elektroden und eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten. Je nach verwendetem Material haben die Zellen unterschiedliche Gebrauchseigenschaften. Nachfolgend wird zunächst ein Überblick über die Materialien gegeben [Jossen Weydanz 2006]. Anschließend werden die wichtigsten marktgängigen Batterietypen kurz dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass es zahlreiche Entwicklungsansätze zu optimierten und neuen Batteriesystemen gibt und davon auszugehen ist, dass sich diese Technologien in den nächsten Jahren stark weiterentwickeln und verändern werden. Wichtige Entwicklungsziele sind dabei niedrigere Herstellungskosten,



eine verbesserte Zyklenfestigkeit, eine verbesserte Sicherheit und eine höhere Energiedichte.

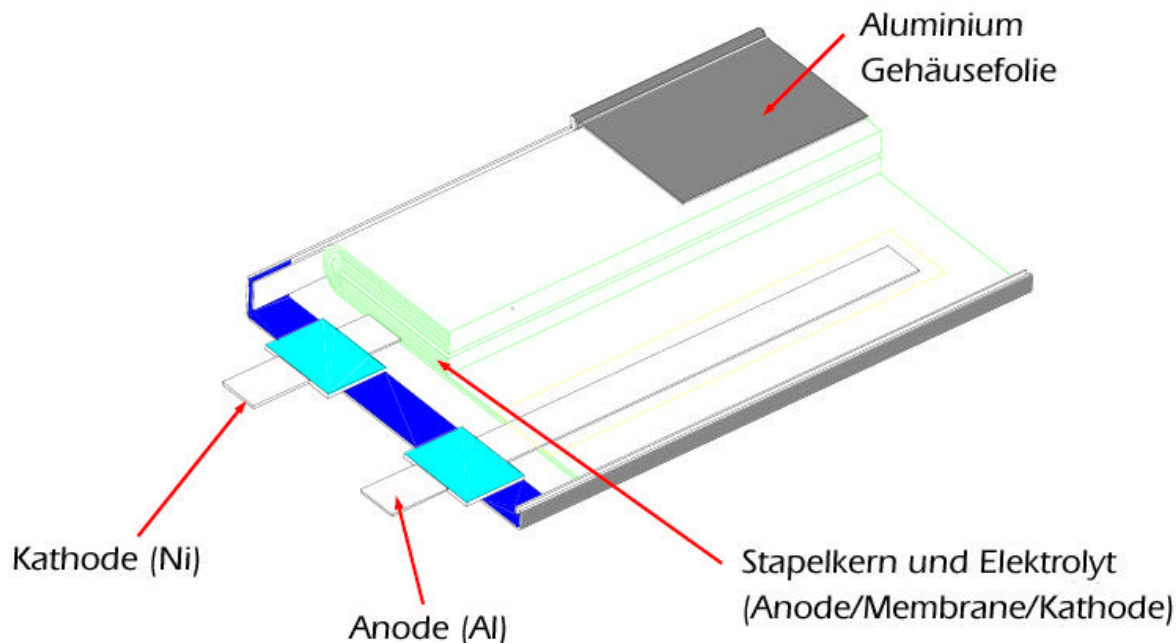


Abbildung 1: Aufbau eines prismatischen Li-Polymer-Akkus (Quelle: <http://forum.xufo.net/res/dawidi/lipofaq/Lipo-Hinweise.pdf>)

### Verwendete Materialien für Zellen der Lithium-Akkus

Zunächst sollte die begriffliche Unterscheidung zwischen dem „Lithium-Akku“ und einer „Zelle“ erklärt werden. Der Unterschied besteht darin, dass ein Akku aus einer oder mehreren Zellen bestehen kann. Kleinere Lithium-Akkus, wie sie in Mobiltelefonen und Kameras verwendet werden, bestehen meist aus nur einer prismatischen Zelle, wie sie beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt ist. Größere Lithium-Akkus zur Verwendung in Laptops oder schnurlosen Werkzeugen bestehen dagegen aus mehreren, in Reihe und/oder parallel geschalteter Zellen. Diese Zellen können sowohl eine wie in Abbildung 1 dargestellte prismatischen Bauform, oder auch eine zylindrische Bauform besitzen.

Grundsätzlich gibt es die Unterscheidung zwischen Lithium-Ionen-Akkus und Lithium-Polymer-Akkus. Der Sprachgebrauch ist nicht immer einheitlich. Mehrheitlich wird unter einem Lithium-Ionen-Akku jedoch ein Akku mit einem flüssigen Elektrolyten verstanden, während der Lithium-Polymer-Akku eine feste Matrix hat, die als Elektrolyt fungiert.

Mögliche Materialien der **negativen Elektrode (Anode)** sind die Aktivmaterialien Lithium-Metall, amorpher Kohlenstoff, Graphit, Lithiumlegierungen (z.B. Legierungen mit Al, Sn oder Si), Metalloxide und Lithium-Titanat.

Mögliche Materialien der **positiven Elektrode (Kathode)** sind die Aktivmaterialien Lithium-Kobalt-Oxid ( $\text{LiCoO}_2$ ), Lithium-Nickel-Oxid ( $\text{LiNiO}_2$ ), Lithium-Mangan-Oxid ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ),  $\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z)\text{O}_2$ , Lithium-Eisen-Phosphat ( $\text{LiFePO}_4$ ) sowie Vanadium-Verbindungen [Jossen Weydanz 2006; DIN Entwurf 61960:2008].

Zusätzlich kommen bei den Elektroden (außer bei Graphitelektroden) noch der Zusatz von **Bindern** (z.B. Polyvinylidenfluorid (PVdF), ähnlich Teflon) und ein **Lösemittel** zum Einsatz.

Die **Stromableiter (Kollektoren)** sind dünne Metallfolien, die meistens aus Aluminium oder Kupfer bestehen.

Die **Separatoren** bestehen in der Regel aus Polyethylen (PE) oder Polypropylen (PP).

Als **Elektrolyt** wird in den Zellen von Lithium-Akkus eine Flüssigkeit eingesetzt. Es handelt sich um eine Mischung organischer Lösungsmittel (z.B. Ethylenkarbonat, Dimethylkarbonat, Diethylkarbonat) und einem lithiumhaltigen Leitsalz. Hinzukommen verschiedenste Zusätze, die die Eigenschaften der Deckschichten beeinflussen. In den Polymerzellen werden festgelegte, in einer Matrix eingebundene und damit auslaufsicher fixierte Elektrolyte verwendet. Die Matrix besteht z.B. aus Polymeren wie PVdF (Polyvinylidendifluorid), PMMA (Polymethylmethacrylat) oder PAN (Polyacrylonitril).

Die **äußere Umhüllung** besteht je nach Bauart aus Metall- und Kunststoffgehäusen oder aus flexiblen Verpackungen aus Aluminium-Plastik-Verbundfolien.

### Marktgängige Typen von Lithium-Akkus

Marktbeherrschend ist derzeit bei Lithium-Akkus für portable Geräte die Elektrodenkombination Graphit /  $\text{LiCoO}_2$ . Zusätzlich zu Kobalt kommen bei einigen Typen auch weitere Metalle (Nickel, Mangan, Aluminium) zum Einsatz. Der Vorteil dieser Elektrodenmaterialien liegt darin, dass die Zellen eine hohe Energiedichte bezüglich ihres Volumens und ihrer Masse haben. Dies sind wichtige Kriterien bei den tragbaren Geräten wie Mobiltelefone oder Laptops.

Für schnurlose Werkzeuge kommen auch Lithium-Akkus mit einer Lithium-Eisenphosphat-Elektrode zum Einsatz. Diese Batterien zeichnen sich durch eine hohe Sicherheit sowie eine hohe Zyklenfestigkeit aus. Die Energiedichte ist geringer als bei Akkus mit kobalthaltigen Elektroden. Da Akkus für Werkzeugmaschinen jedoch nicht so stark auf geringe Volumina und Gewichte optimiert werden müssen, ist dieses Kriterium hier nicht ausschlaggebend. Ein weiteres Einsatzgebiet dieses Batterietyps ist die Elektromobilität (sowohl Fahrräder als auch Autos).

Ein weiterer wichtiger Batterietyp hat eine Lithium-Mangan-Oxid-Kathode. Vorrangige Einsatzgebiete sind schnurlose Werkzeuge und Elektrofahrzeuge. Sie sind kostengünstiger

als andere Batteriesysteme, haben jedoch im Vergleich zu anderen Batterietypen eine geringere Energiedichte.

Unterschieden werden weiterhin die Bautypen hinsichtlich ihrer Geometrie und dem Zelldesign. Es gibt Rundzellen, prismatische (rechteckige) Zellen mit einem festen Gehäuse und prismatische Zellen mit einer Aluminium-Verbundfolie anstelle eines festen Gehäuses (Pouch-Zelle oder „coffee bag“-Zelle).

Tabelle 2: Marktgängige Typen von Lithium-Akkus

Positive Elektrode (Batterietyp)	Negative Elektrode	Energie-dichte	Einsatzbereich	Kommentar
LiCoO <sub>2</sub>	meist Graphit	Hoch	v.a. Mobiltelefone, Laptops	Marktbeherrschend
LiFe(PO <sub>4</sub> )	meist Graphit	Mittel	v.a. schnurlose Werkzeuge, Elektrofahrzeuge	hohe Sicherheit
LiMnO <sub>2</sub>	meist Graphit	Mittel	Schnurlose Werkzeuge, Elektrofahrzeuge	Kostengünstig

## 2.4 Internationale Umweltzeichen

Im Folgenden werden die Vergabegrundlagen internationaler Umweltzeichen dargestellt, welche Bezug zu Lithium-Akkus haben. Der Geltungsbereich der internationalen Umweltzeichen ist jeweils kurz erläutert, um auch Unterschiede in den Kriterien erklären zu können.

### Chinesisches Umweltlabel

Innerhalb des „China Environmental Labelling Programm“ gibt es die Produktgruppe „Hg-Cd-Pb Free Rechargeable Batteries“ mit Stand von 1994. Der Geltungsbereich umfasst wiederaufladbare Batterien im Allgemeinen. Es wird gefordert, dass die Produkte kein Quecksilber, kein Cadmium, kein Blei und keine anderen gefährlichen Stoffe enthalten.

### Nordic Ecolabelling

Der Nordic Council of Ministers hat ein freiwilliges Ecolabel „Nordic swan“ für die nordischen Länder Dänemark, Finnland, Norwegen, Island und Schweden ins Leben gerufen. Zu den derzeitigen Vergabegrundlagen gehören die „rechargeable batteries and battery chargers“ in

der Version 3.6, gültig von 2002 – März 2011 [Nordic Ecolabel 2002]. Eine neue Fassung ist derzeit in Vorbereitung [Proposal Nordic Ecolabel 2010].

Neben der Begrenzung von Quecksilber, Arsen, Blei und Cadmium und Kriterien zu Kunststoffen<sup>2</sup>, zur Verpackung und zur Verbraucherinformation sind für die Lithium-Akkus nur folgende Vorgaben relevant:

- Die Kapazität der getesteten Batterien muss nach 400 Zyklen mindestens 80% der auf der Batterie angegebenen Kapazität betragen.
- Beim Test der Batteriekapazität muss die Batteriekapazität mindestens 90% der auf der Batterie angegebenen Kapazität betragen.
- Die Batterie darf während des Tests keine Flüssigkeit verlieren.

Laut Internetrecherchen ist Boston Power der einzige Zeichnungsnehmer des Nordic Swan für Lithium-Akkus. Boston Power nutzt dieses Label entsprechend für das Marketing für seine Batterien. HP bietet für seine Laptops gegen einen Aufpreis Boston Power Batterien an und vermarktet diese auch offensiv mit dem Hinweis auf das Ecolabel und die Umweltfreundlichkeit.

#### Koreanisches Umweltzeichen

Das Koreanische Ecolabel von 2005 betrachtet Batterien im Allgemeinen und unterteilt Primärbatterien und wiederaufladbare Batterien. Die wiederaufladbaren Batterien werden dann nach ihrem einzeln betrachtet. Allgemeine Kriterien sind:

- Es werden Maximalwerte von Blei ( $\leq 15$  mg/kg), Cadmium ( $\leq 5$  mg/kg) und Quecksilber ( $\leq 5$  mg/kg) der wiederaufladbaren Batterien gefordert.
- Die Verpackung darf keine halogenierten Kunststoffe sowie kein PVC enthalten

Bezüglich Lithium-Akkus werden folgende Kriterien gesetzt:

- Die Kapazität der getesteten Batterien muss nach 400 Zyklen mit 1 C noch 80 % der auf der Batterie angegebenen Kapazität betragen.
- Die Batterie darf während des Tests keine Leckagen aufweisen.
- Die Norm KS C IEC 62133 (Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Safety requirements for portable sealed secondary cells, and for batteries made from them, for use in portable applications) muss erfüllt werden.

---

<sup>2</sup> Flammschutzmittel mit den Klassifizierungen R45, R46, R60 und R61 werden ausgeschlossen. Weiterhin müssen die Gehäuse chlorfrei sein.

### Hong Kong Umweltzeichen

Das Umweltzeichen von Hong Kong von 2007 schließt alle wiederaufladbaren Batterien mit ein. Folgende Kriterien werden gesetzt:

- Bzgl. Schwermetallgehalte sind maximal erlaubt: Blei ( $\leq 15$  mg/kg), Cadmium ( $\leq 5$  mg/kg) und Quecksilber ( $\leq 5$  mg/kg), Arsen ( $\leq 5$  mg/kg).
- Nach 25 Ladezyklen sollen noch 40 % der anfänglich vorhandenen Kapazität erreicht werden.
- Die Verpackung darf keine chlorierten Kunststoffe enthalten
- Verbraucherinformationen über Kapazität, Anzahl der Ladezyklen, Sicherheit und zur Erhöhung der Lebenszeit müssen gegeben werden.

## **2.5 Kapazität, Lebensdauer und Energieeffizienz**

Um die Auswahl der Kriterien der verschiedenen Umweltzeichen besser einordnen zu können, sollen im Folgenden die Punkte etwas näher beleuchtet werden, die für Vergabegrundlagen für Umweltzeichen für Lithium-Akkus von Bedeutung sind. Diese zielen in erster Linie auf einen hohen Gebrauchsnutzen (siehe auch Kapitel 2.10.1) ab.

### Kapazität

Bisher gab es weder in Deutschland noch in der EU eine einheitliche Regelung, wie die Kapazität zu bestimmen ist und welche Kapazitätsangabe die Batteriehersteller auf die Batterie aufdrucken dürfen. Demzufolge gibt es auf dem Markt einige Batterien, die in der Praxis eine deutlich geringere Kapazität aufweisen als auf dem Aufdruck angegeben ist. Der Konsument wird damit in die Irre geführt. Inzwischen gibt es zur Europäischen Batterierichtlinie [Richtlinie 2006/66/EG] einen Entwurf zu einer Verordnung [Draft Regulation July 2010], die regelt, wie die Kapazität von Sekundär-Gerätebatterien und Fahrzeugbatterien zukünftig ermittelt werden soll. Nur die mit dieser Messmethode ermittelte Kapazität – sie wird auch als Bemessungskapazität bezeichnet – darf dann auf die Batterien aufgedruckt werden. Der Entwurf übernimmt für Lithium-Akkus die Messmethode, die in der DIN EN 61960 [DIN EN 61960:2004] beschrieben ist. Es wird erwartet, dass die Verordnung noch in 2010 oder zu Beginn 2011 in Kraft tritt und nach einer Übergangszeit von 18 Monaten spätestens anzuwenden ist.

### Irreversible Kapazitätsverluste während der Nutzung

Die Lebensdauer von Lithium-Akkus wird durch irreversible Kapazitätsverluste während der Nutzung vermindert. Die Ursachen sind beispielsweise die Bildung von Deckschichten, die Auslösung von Elementen aus der Elektrode und mechanische Belastungen durch Volumenveränderungen in der Elektrode. Für die Lebensdauer des Lithium-Akkus ist es deshalb von entscheidender Bedeutung, nach wie vielen Be- und Entladezyklen die Kapazität signifikant abnimmt.

Die DIN EN 61960 [DIN EN 61960:2004] sieht einen Zyklentest vor, der dieses Verhalten abbildet. Die Haltbarkeit wird in dieser Norm sowie im Normentwurf alternativ bei zwei unterschiedlichen Zyklen ermittelt. Einmal wird mit einem Strom von 0,2 C bei 20 °C wiederholt entladen, beim beschleunigten Prüfverfahren mit 0,5 C<sup>3</sup>. Die Batterien (Verbund aus mehreren Zellen) müssen mindestens 300 Zyklen leisten, bis die Kapazität unter 60 % der Nennkapazität fällt. Bei Zellen sind mindestens 400 Zyklen gefordert. Das Laden erfolgt nach Herstellerspezifikation.

In der Praxis sind je nach Batterietyp unterschiedliche Zyklenzahlen zu erreichen. Bei den tragbaren Geräten sind die leistungsfähigsten Akkus bei den schnurlosen Werkzeugen zu finden. Testergebnisse haben gezeigt, dass es Akkus gibt, die bei einem Ladestrom von 1 C 1.400 und mehr Zyklen gut schaffen, bis die Kapazität unter 70 % der Bemessungskapazität sinkt [Herstellerangabe]. Es ist davon auszugehen, dass bei diesen zyklenfesten Akkus LiFePO<sub>4</sub> oder LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-Elektroden zum Einsatz kommen.

Bei Laptops kommen wegen der hohen Anforderungen an die Energiedichte (geringes Gewicht und geringes Volumen) andere Batterietypen zum Einsatz, die nach Herstellerangaben bei den in der Praxis üblichen Entladeströmen von 0,2 – 0,4 C 800-1.000 Zyklen erreichen. Bei einer Prüfung mit 1.000 Zyklen bei 0,2 C würde jedoch alleine das Entladen 5.000 h bzw. rund 7 Monate dauern. Angesichts der dynamischen Produktentwicklung ist ein solch langwieriger Test für ein Umweltzeichen völlig ungeeignet. Es erscheint darum sinnvoll, in Übereinstimmung mit den Vorgaben des Ecolabel Nordic Swan [Nordic Ecolabel 2002], den Ladestrom auf 1 C zu erhöhen. Hier ist jedoch zu berücksichtigen, dass bei einem erhöhten Ladestrom die Anzahl der erreichten Zyklen deutlich absinkt, weil hohe Ladeströme die Alterung begünstigen. Abschätzungen der Hersteller gehen davon aus, dass eine Zyklenzahl von 400 bei einer Entladung von 1 C bereits eine ambitionierte Zielvorgabe für typische Laptop-Akkus ist. So fordert die derzeit gültige Fassung des Nordic Swan [Nordic Ecolabel 2002] 400 Zyklen bei einer verbleibenden Kapazität von mindestens 80 %.

---

<sup>3</sup> Die Lade- und Entladeströme werden u.a. als C-Koeffizient angegeben. Wenn der Koeffizient 1C beträgt, kann bei einer Bemessungskapazität von 1000mAh mindestens ein Strom von 1000mA während einer Stunde abgegeben werden. Wenn dieselbe Batterie mit 0,5C entladen wird, soll sie mindestens 500mA während 2 Stunden abgeben. Bei 2C liefert die 1000mAh Batterie mindestens 2000mA während 30 Minuten.

Bei den kleineren Batterien für Mobiltelefone und Kameras kommen ähnliche Zellen wie bei Laptops zum Einsatz. Die Forderung nach 400 Zyklen bei einer verbleibenden Kapazität von mindestens 70 % erscheint nach einer Entladung von 1 C (0,2 C im letzten Zyklus Nr. 400) als Vergabegrundlage für ein Umweltzeichen entsprechend verschiedener Herstellerangaben als anspruchsvolle Zielvorgabe.

### Kalendarische Alterung

Neben der irreversiblen Kapazitätsabnahme durch die Nutzung gibt es einen irreversiblen Kapazitätsverlust im Laufe der Lebensdauer, der auch dann auftritt, wenn die Batterie gar nicht genutzt wird. Dieser Vorgang wird auch als kalendarische Alterung bezeichnet. Die kalendarische Alterung wird bei hohen Lagertemperaturen stark begünstigt. Aus diesem Grunde ist es sehr wichtig, dass die Lithium-Akkus während sämtlicher Transporte und Lagerungen von der Produktionsstätte bis zum Händler fachgerecht aufbewahrt und keinen höheren Temperaturen ausgesetzt werden. Andernfalls erwirbt der Kunde ein Produkt mit einer niedrigeren Kapazität, ohne dass er dies dem Produkt ansehen könnte. Der Kunde kann die verbleibende Kapazität nicht messtechnisch erfassen, sondern stellt den Kapazitätsverlust nur indirekt fest, wenn die Entladezeit bereits signifikant verkürzt ist. Nur in diesem Fall haftet der Hersteller im Rahmen der gesetzlichen oder herstellereigenen Gewährleistung. Da dem Kunden aber keine Hilfestellung gegeben wird, ab wann die Entladezeit signifikant verkürzt ist, besteht hier Verbesserungspotential.

Trotz der großen Bedeutung der kalendarischen Alterung – vor allem bei unsachgemäßer Lagerung – gibt es kein Messverfahren, welches die Alterung zufriedenstellend simulieren würde. Die DIN EN 61960 [DIN EN 61960:2004] sieht zwar in Abschnitt 7.4. „Ladungs- (Kapazitäts-) Rückgewinnung nach längerer Lagerung“ einen Test vor, bei dem die Batterie über einen Zeitraum von 90 Tagen bei 40 °C gelagert wird. Anschließend muss die Zelle bei langsamer Entladung ( $C_5$ ) noch 50 % der Kapazität aufweisen. Dieser Test ist für ein Umweltzeichen als Vergabekriterium nicht ausreichend zielgenau, da er mit 90 Tagen das Langzeitverhalten nicht ausreichend abbildet und zum anderen die 90-tägige unsachgemäße Lagerung bei Temperaturen von 40°C eine Extremsituation ist. Eine Kapazitätsrückgewinnung von nur 50 % bedeutet, dass die Batteriefunktion erheblich gestört ist.

Diese Überlegungen zeigen, dass für die Alterung nicht die produktionsseitigen Maßnahmen entscheidend sind, sondern die Maßnahmen der ganzen nachgelagerten Logistik- und Handelskette. Deren Handhabung lässt sich jedoch nicht zielgerichtet durch ein Vergabekriterium für ein Umweltzeichen abprüfen oder steuern.



## Energieeffizienz

Es gibt verschiedene Kenngrößen, die die Effizienz von Akkumulatoren beschreiben: der Ladefaktor<sup>4</sup>, der coulombsche Wirkungsgrad und der Energiewirkungsgrad. Für die Gesamtenergiebilanz ist der Energiewirkungsgrad entscheidend. Er ist definiert als der Quotient aus entnommener Arbeit zu zugeführter Arbeit. Für den Lithium-Akku liegt er bei rund 0,95 Wh/Wh und ist deutlich höher als der Energiewirkungsgrad der Bleibatterie (rund 0,8) und der NiMH-Batterie (0,65) [Jossen Weydanz 2006]. Bei hohen Be- und Entladeströmen fällt der Energiewirkungsgrad jedoch auch bei Lithium-Akkus ab. Nach Herstellerangaben unterscheiden sich die verschiedenen Li-Batterien nicht wesentlich im Energiewirkungsgrad.

Grundsätzlich zu beachten ist, dass Wirkungsgradmessungen sehr fehleranfällig sind [Jossen Weydanz 2006]. Zudem gibt es auch kein standardisiertes Messverfahren. Auch in der DIN 61960 („Lithium-Akkumulatoren und –Batterien für tragbare Geräte“) [DIN EN 61960:2004] ist keine Messmethode festgelegt. Die ökobilanzielle Relevanz des Wirkungsgrads wird in Kap. 3.1 betrachtet.

## **2.6 Batterierecycling**

### Rechtliche Anforderung zum Recycling

Wiederaufladbare Batterien, ebenso wie in Geräte eingebaute Akkus, fallen unter das deutsche Batteriegesetz [BattG 2009]: Die Hersteller von Gerätebatterien haben die Pflicht, gebrauchte Batterien zurückzunehmen, entweder über das Gemeinsame Rücknahmesystem (GRS) oder über ein herstellereigenes Rücknahmesystem. Die Endnutzer sind verpflichtet, Altbatterien vom Restmüll getrennt zu entsorgen. In Elektrogeräte (z.B. Laptop, Mobiltelefone) eingebaute Altbatterien sind entsprechend dem Elektrogesez mit dem „Elektroschrott“ zu sammeln, wo sie ausgebaut werden und der Batterieverwertung zugeführt werden müssen. Das BattG (2009) dient der Umsetzung der EU Richtlinie 2006/66/EG in nationales Recht. In der ersten Stufe muss nach BattG die Sammelquote für Gerätebatterien über die Anforderungen der EU Richtlinie hinaus bis September 2012 mindestens 35 % betragen und bis September 2016 analog der EU Richtlinie mindestens 45 %. Alle gesammelten und identifizierbaren Altbatterien sind, soweit technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar, nach dem Stand der Technik zu behandeln und stofflich zu verwerten. Ein Verbot von Verbrennung oder Deponierung gilt jedoch nur für unbehandelte Fahrzeug- oder Industriealtbatterien.

---

<sup>4</sup> Der Ladefaktor ist der Quotient aus der eingeladenen Ladungsmenge zu der zuvor entnommenen Ladungsmenge. Er beschreibt die Ladungs- und Selbstladungsverluste, jedoch nicht die Spannungsverluste, die z.B. durch den ohmschen Innenwiderstand bedingt sind. Der Reziprokwert des Ladefaktors wird als coulombscher Wirkungsgrad oder  $A_n$ -Wirkungsgrad bezeichnet [Jossen Weydanz 2006]



In 2009 betrug der Anteil der Lithium-Akkus an den gesammelten Gerätebatterien in Deutschland rund 2 % und wurde durch Sortierung als separate Fraktion getrennt [GRS 2009].

Die europäische Batterierichtlinie [Richtlinie 2006/66/EG] fordert folgende Sammelquoten: bis September 2012 mindestens 25 % und bis September 2016 mindestens 45 %. Sie macht Vorschriften für die Mindesteffizienz für das Recycling von Batterien, die in Deutschland durch die BattGDV (Verordnung zur Durchführung des Batteriegesetzes) übernommen wurden. Für die Lithium-Akkus wird im Gegensatz zu Bleiakkumulatoren und NiCd-Akkumulatoren kein spezifischer Wert formuliert. Es gilt hier vielmehr, dass die geforderte Mindesteffizienz für das Recycling 50% des durchschnittlichen Gewichts sonstiger Altbatterien und Akkumulatoren beträgt. Weiterhin gilt, dass die Behandlung mindestens die Entfernung aller Flüssigkeiten und Säuren umfassen muss.

Bisher werden die Altakkus meist zerkleinert und thermisch behandelt mit dem Ziel, Co, Ni, Cu und metallische Gehäusebestandteile zurückzugewinnen. Derzeit gibt es noch kein großtechnisch umgesetztes effizientes Verwertungsverfahren zur Lithium-Rückgewinnung. Nach Firmenangaben ist die Lithium-Rückgewinnung angesichts des relativ niedrigen Primär-Lithiumpreises derzeit noch nicht wirtschaftlich. In der Erwartung steigender Lithium-Preise sind jedoch Verfahren zur Lithium-Rückgewinnung mit dem Ziel eines großtechnischen Einsatzes in der Entwicklung [LiBRi 2010; LithoRec 2010].

Eine wichtige Voraussetzung für eine effektive Kreislaufwirtschaft ist ein gutes Sammelsystem. In 2009 betrug die Sammelquote für Gerätebatterien 44 % [GRS 2009]. Eine höhere Sammelquote könnte erreicht werden, wenn weniger Batterien über den Hausmüll entsorgt werden würden. Für die Umsetzung entsprechender Maßnahmen ist ein Umweltzeichen jedoch kein geeignetes Instrument.

## 2.7 Schwermetalle

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die maximal zulässigen Schwermetallgehalte für Cadmium, Blei und Quecksilber in verschiedenen internationalen Umweltzeichen und der Batterierichtlinie. Internationale Umweltzeichen führen ebenfalls Maximalwerte für Arsen auf. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass der Geltungsbereich dieser Umweltzeichen auch NiMH-Akkus mit einschließt, welche durchaus signifikante Arsen-Gehalte aufweisen können. Bei Lithium-Akkus ist dies nicht der Fall [Fjelsted 2007].

Tabelle 3 Überblick über die Anforderungen an Schwermetallgehalt für Li-Batterien in verschiedenen internationalen Umweltzeichen sowie dem BattG

	Nordic Ecolabel (gültig bis 03/2011) [ppm]	Nordic Ecolabel (Draft 2010) [ppm]	Chinese Ecolabel [ppm]	Korean Ecolabel [ppm]	Hong Kong Ecolabel [ppm]	Batteriegesetz und Batterierichtlinie [ppm]
Cadmium (Cd)	≤ 20	≤ 5	0	≤ 5	≤ 5	≤ 20
Blei (Pb)	≤ 20	≤ 10	0	≤ 15	≤ 15	Kennzeichnung bei ≥ 40
Quecksilber (Hg)	≤ 0.1	≤ 0.1	0	≤ 5	≤ 5	≤ 5

Für die Messung von Schwermetallgehalten in Batterien und Akkumulatoren existiert noch kein genormtes oder vom Gesetzgeber vorgegebenes Verfahren. Folgende Messmethoden sind geeignet, um in dem niedrigen Konzentrationsbereich, den das Nordic Ecolabel und somit auch der Blaue Engel im Entwurf anstrebt, die Batterieproben auf die drei oben genannten Schwermetalle zu analysieren:

- "Battery Industry Standard Analytical Method - for the determination of Mercury, Cadmium and Lead in Alkaline Manganese Cells Using AAS, ICP-AES and Cold Vapour". Publishers: The European Portable Battery Association (EPBA), the Battery Association of Japan (BAJ), the National Electrical Manufacturers Association (NEMA; USA). April 1998".

Dieses Verfahren wurde vor 12 Jahren von internationalen Batterieverbänden entwickelt und wird heute noch sowohl für die im Titel genannten Alkali-Mangan-Zellen als auch für andere Batterietypen angewandt.

- Methode der Bundesanstalt für Materialforschung und –Prüfung (BAM) nach [BAM 2007].

Diese Methode berücksichtigt Messmethoden, die eher dem Stand der Technik entsprechen. Dadurch wird verhindert, dass messtechnische Neuerungen, die seit 1998 etabliert wurden, ausgeschlossen werden. Die Methode nach BAM basiert auf der erstgenannten Methode. Somit ist diese als Weiterentwicklung der erstgenannten Methode anzusehen.

## 2.8 Sicherheitsaspekte

Da Lithium leicht entzündlich ist, sind Sicherheitsaspekte bei Lithium-Akkus von besonderer Relevanz. Es gibt im internationalen Umfeld hierzu drei Richtlinien, die nebeneinander existieren. Eine Harmonisierung wäre sehr hilfreich, ist derzeit aber nicht abzusehen. Zum einen gibt es umfangreiche UN-Vorschriften für den Transport und die Beschaffenheit der Batterien, da sie als Gefahrgut eingestuft sind (UN 3090 und UN 3091). Des Weiteren gibt es den vor allem in Amerika relevanten UL-Standard<sup>5</sup>. Als Drittes gibt es die EN 62133:2003 (Akkumulatoren und Batterien mit alkalischen oder anderen nicht säurehaltigen Elektrolyten – Sicherheitsanforderungen für tragbare gasdichte Akkumulatoren und daraus hergestellte Batterien für die Verwendung in tragbaren Geräten), die zahlreiche Prüfungen der Zellen sowie der Gesamtbatterie vorsieht. Das Ziel der Prüfungen wie z.B. Quetschungen, erhöhte Temperaturen, Aufprall etc. ist, dass die Batterie weder brennt, noch explodiert oder ausläuft. Da in der Praxis immer wieder tragbare Geräte mit Lithium-Akkus brennen oder explodieren, ist es ein wichtiges Qualitätskriterium für Batterien mit einem Umweltzeichen, dass sie diese Sicherheitsprüfungen nachweislich bestehen. Für die Norm gibt es auch einen neuen Entwurf, der noch umfangreichere Prüfungen vorsieht [Entwurf DIN 62133:2008].

## 2.9 Tiefentladeschutz

Wenn Lithium-Akkus zu tief entladen werden, sind sie anschließend nicht mehr funktionsfähig. Deshalb benötigen alle Lithium-Akkus einen Tiefentladeschutz, der die Entladung bei Erreichung einer unteren Spannungsgrenze stoppt. Bei den meisten Lithium-Akkus ist der Tiefentladeschutz in der Batterie enthalten. Einige Batterien haben diese Funktion nicht, so dass sie nur in Geräte eingebaut werden dürfen, die diese Funktion stellvertretend ausüben. Da ein Batteriehersteller jedoch nicht garantieren kann, dass seine Batterien ausschließlich in Geräten mit einem externen Tiefentladeschutz eingebaut werden, ist es ein wichtiges Qualitätskriterium für ein Umweltzeichen, dass ein Lithium-Akku mit einem internen Tiefentladeschutz ausgestattet sein muss.

## 2.10 Nutzenanalyse

Die Analyse des Nutzens wird nach der Benefit-Analyse von PROSA durchgeführt. Dabei werden die drei Nutzenarten Gebrauchsnutzen, symbolischer Nutzen und gesellschaftlicher Nutzen qualitativ analysiert. Für die Analyse gibt PROSA jeweils Checklisten vor. Aufgrund der Besonderheiten einzelner Produktgruppen können einzelne Checkpunkte aus

---

<sup>5</sup> UL (Underwriters Laboratories) ist eine Organisation, die Produkte hinsichtlich ihrer Sicherheit testet und zertifiziert.

Relevanzgründen entfallen oder neu hinzugefügt werden. Die drei Checklisten sind nachstehend wiedergegeben.

### Checkliste Gebrauchsnutzen

- Leistung (Kernanforderungen)
- Zusatzleistungen
- bedarfsgerecht
- Haltbarkeit
- Zuverlässigkeit in der Funktion
- Sicherheit/Versorgungssicherheit
- Service/Reparierbarkeit/Ersatzteile
- Convenience/Zeit
- gute Verbraucherinformation
- Verfügbarkeit

Abbildung: Checkliste Gebrauchsnutzen

### Checkliste Symbolischer Nutzen

- Äußere Erscheinung /Design/  
Geschmack/ Haptik/Akkustik o.ä.
- Prestige/Status
- Identität/Autonomie/Entfaltung
- Kompetenz
- Sicherheit/Vorsorge/Sorge für Andere
- Privatheit
- Sozialer Kontakt/Gemeinschaftspflege
- Genuss/Vergnügen/Freude/Erlebnis
- Kompensation/Belohnung
- Konsonanz mit gesellschaftlichen, religiösen oder ethischen Meta-Präferenzen

Abbildung: Checkliste Symbolischer Nutzen

## Checkliste Gesellschaftlicher Nutzen

- Armutsbekämpfung
- Grundbedürfnis Ernährung
- Grundbedürfnis Wohnen
- Grundbedürfnis Gesundheit
- Information und Bildung
- Friedenssicherung
- Klimaschutz
- Biodiversität
- Qualifizierte Arbeitsplätze
- Gesellschaftliche Stabilität

Abbildung: Checkliste Gesellschaftlicher Nutzen

### 2.10.1 Gebrauchsnutzen

Nachstehend werden Nutzenelemente beim Gebrauchsnutzen identifiziert und daraus Anforderungen an Vergabekriterien abgeleitet.

Der wichtigste Gebrauchsnutzen besteht in der Grundfunktion, dem Bereitstellen von elektrischer Energie in tragbaren Geräten. Ein ebenfalls zentraler Gebrauchsnutzen ist, dass die Batterien wiederaufladbar sind und keine Einweg-Batterien eingesetzt werden müssen. Die Bereitstellung des Stroms über Batterien ist eine wichtige Grundvoraussetzung für den mobilen Einsatz von tragbaren Geräten wie Laptops, Mobiltelefone, Digitalkameras etc. Die Wiederaufladbarkeit der Batterien hat im Vergleich zu Einweg-Batterien den Gebrauchsnutzen, dass sie bei häufiger Nutzung kostengünstiger sind als Einwegbatterien. Bei eingebauten Batterien ist die Handhabung des Wiederaufladens (Anschluss an eine Steckdose) außerdem einfacher als ein manueller Batteriewechsel incl. Batterieeinkauf und – Entsorgung. Für viele tragbare Geräte wie beispielsweise Laptops und Mobiltelefone sind darum gar keine Einweg-Batterien auf dem Markt verfügbar. Ein weiterer wichtiger Aspekt des Gebrauchsnutzens ist eine hohe Kapazität des Akkus. Der Vorteil für den Verbraucher liegt darin, dass er den Akku bei Gebrauch seltener wieder aufladen muss. Ebenfalls von Bedeutung für den Gebrauchsnutzen ist eine hohe Energiedichte des Akkus. Diese bedingt ein geringeres Gewicht des Akkus bei gleichbleibender Leistung und Kapazität.

Lithium-Akkus mit einem hohen Gebrauchsnutzen zeichnen sich darüber hinaus durch eine hohe Zyklenfestigkeit, eine lange Lebensdauer und eine hohe Sicherheit aus.

### **2.10.2 Symbolischer Nutzen**

Da die Batterien bei ihrer Nutzung im Gerät eingebaut bzw. eingelegt werden, sind symbolische Nutzen wie die äußere Erscheinung und das Design hier nicht relevant. Bei wiederaufladbaren Batterien, die sich durch eine besonders hohe Anzahl an Zyklen auszeichnen, kann es beim Kunden jedoch ein Gefühl von Zufriedenheit und hoher Freiheit (Mobilität) hervorrufen, wenn er die Geräte lange am Stück mobil nutzen kann, bevor eine erneute Wiederaufladung erfolgen muss.

### **2.10.3 Gesellschaftlicher Nutzen**

Langlebige wiederaufladbare Batterien führen zu einer Umweltentlastung in verschiedenen Bereichen, da die Anzahl der bereitzustellenden und zu entsorgenden Batterien pro Nutzungszeitraum durch die lange Lebensdauer reduziert wird. In der Produktion werden Energie und Ressourcen eingespart. Damit verbunden ist ein Beitrag zum **Klimaschutz**. Weiterhin reduzieren sich die anfallenden Abfallmengen.

### **2.10.4 Zusammenfassung der Nutzenanalyse**

Die Ergebnisse der Nutzenanalyse sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Nutzen von wiederaufladbaren Lithium-Batterien

Gebrauchsnutzen	
Wichtigste Gebrauchsnutzen	Bereitstellung von elektrischer Energie ohne Netzanschluss; Substitution von Einweg-Batterien;
Kriterien für hohen Gebrauchsnutzen	hohe Zyklenfestigkeit; hohe Kapazität; hohe Energiedichte; hohe Sicherheit; lange Lebensdauer; ausführliche (gedruckte) Bedienungsanleitung
Symbolischer Nutzen	
Zufriedenheit durch hohe Mobilität / subjektives Empfinden von Freiheit	wesentliche Voraussetzung: hohe Zyklenfestigkeit
Gesellschaftlicher Nutzen	
Klimaschutz	Diese Umweltentlastungen gelten für alle wiederaufladbaren Batterien im Vergleich zu Einweg-Batterien und insbesondere für wiederaufladbare Batterien mit einer hohen Lebensdauer, die Nachkäufe reduziert bzw. überflüssig macht.
Energieeinsparung	
Ressourceneinsparung	
Abfallvermeidung	

### 3 Teil II

Anhand der orientierenden Ökobilanz sowie der Analyse der Lebenszykluskosten soll ein Eindruck über Umweltauswirkungen und Lebenszykluskosten von wiederaufladbaren Lithium-Batterien ermittelt werden. Die Ergebnisse bieten eine Orientierungshilfe zur Frage, wo die Verbesserungspotentiale in dieser Produktgruppe liegen.

## 3.1 Lebenszyklusanalyse / Orientierende Ökobilanz

### 3.1.1 Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit wird ein Lebenszyklus eines typischen Laptop-Akkus mit einer Kapazität von 64 Wh betrachtet (bei einer Stromabgabe von 5800 mAh bei einer durchschnittlichen Spannung von 11 V), der drei Jahre lang mit 20 Ladezyklen pro Monat genutzt wird.

### 3.1.2 Systemgrenzen

Die Ökobilanz deckt die Herstellung, die Nutzung und die Entsorgung ab.

#### Herstellung und Entsorgung

Da die meisten Details zur Herstellung von Li-Batterien der Geheimhaltung unterliegen, sind zu diesem Thema nur wenig ökobilanzielle Daten veröffentlicht. Es gibt eine aktuelle Ökobilanz von der Produktion eines Lithium-Akkus mit einer  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ -Elektrode für die Anwendung in Elektrofahrrädern aus 2009 (Kapazität 2,1 kWh). Diese Daten sind in der Datenbank „Ecoinvent“ verfügbar [EI 2.2]. Für die Hauptanwendungsfelder Mobiltelefone und Laptops kommen jedoch vorrangig Systeme mit Lithium-Kobalt-Elektrode zum Einsatz. Diese und andere Batterietypen sind Gegenstand einer japanischen Ökobilanz [Ishihara et al. 2002], die jedoch auf das Treibhausgaspotential beschränkt ist.

Zum Batterierecycling gibt es in Ecoinvent einen Datensatz "disposal, Li-ion batteries, mixed technology, GLO"

Im Folgenden wird in der Referenzvariante mit den Daten der japanischen Ökobilanz für eine wiederaufladbare Li-Ionen-(Ni-Co)-Batterie (Kapazität im Bereich von 2 - 4 kWh. Eine typische Anwendung für diese Größe wären z.B. Elektrofahrräder) gerechnet. Hierbei werden die Umweltauswirkungen, die pro kWh Batterie angegeben werden, linear auf den Lebenszyklus eines kleineren Laptop-Akkus herunter gerechnet.

Der Netto- $\text{CO}_2$ -eq-Ausstoß pro kWh Batterie (Produktion + Entsorgung) beträgt gemäß der japanischen Ökobilanz für Lithium-Akkus mit einer Lithium-Nickel-Kobalt-Elektrode rund 75 kg  $\text{CO}_2$ -eq/kWh. Die Batterieproduktion hat hier den größten Anteil. Der Nettoeffekt aus dem Recycling hinsichtlich des Treibhauseffekts ist hingegen durch den hohen Aufwand der Recyclingprozesse nur gering. Umgerechnet auf einen Lebenszyklus eines Laptop-Akkus ergeben sich 4,8 kg  $\text{CO}_2$ -eq/Laptop-Akku.

Als Sensitivität wird mit den Datensätzen aus Ecoinvent gerechnet. Hier liegt der Netto- $\text{CO}_2$ -eq-Ausstoß für Produktion und Entsorgung bei 2,8 kg  $\text{CO}_2$ -eq/kWh. Hierbei ist der Anteil des Recyclings von 0,4  $\text{CO}_2$ -eq/kWh nur klein und führt zu keiner Entlastung, sondern zu zusätzlichen  $\text{CO}_2$ -eq-Emissionen.



Generell ist hier anzumerken, dass die Treibhausbilanz von Recyclingprozessen sehr stark von der Art der Metalle, von der Art des Recyclingprodukts (metallische Verbindung oder Metalloxid) und dem Energieaufwand des Recyclingprozesses abhängt. So hat beispielsweise eine Ökobilanz zum Recycling von Ni-MH-Batterien (recycelt wurden hier Nickel, Kobalt und Stahl) gezeigt, dass das Recycling nur einen bescheidenen Beitrag zur Reduzierung des Treibhauseffekts bewirkt [Öko-Institut 2010]. Hingegen bewirkte das Recycling in dieser Bilanz einen sehr großen Beitrag zur Reduktion der Versauerung und der Eutrophierung. Auch werden die toxisch relevanten Emissionen des Bergbaus und der Aufkonzentrierung vermieden. Diese Effekte sind auch bei den Li-Batterien zu erwarten, die Nickel und Kobalt beinhalten. Genauere Aussagen zum Effekt des Recyclings werden erst dann möglich sein, wenn das Recycling großtechnisch praktiziert wird und auch das darin enthaltene Lithium recycelt wird. Da diese Anlagen erst in der Entwicklung sind, haben die hier verwendeten Daten und Berechnungen einen vorläufigen und orientierenden Charakter.

### Nutzung

Es wird eine häufige Nutzung angenommen mit 20 vollen Ladezyklen pro Monat über einen Zeitraum von 3 Jahren. Insgesamt wird die Batterie mit diesen Annahmen in 720 Zyklen genutzt. Diese hohe Nutzungsfrequenz schaffen nur hochwertige Akkus. Weitere Parameter sind:

- Energiewirkungsgrad 0,95 Wh/Wh
- durchschnittliche Entladungstiefe 80 %
- CO<sub>2</sub>-eq des Stromverbrauchs: 0,6 kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh (Netzstromverbrauch Deutschland)

Bilanziert wird in der Ökobilanz die **Differenz zwischen der Stromaufnahme und der Stromabgabe** des Akkus während des gesamten Lebenszyklus. Dies entspricht den Verlusten, die sich aus den obigen Parametern im Vergleich zum Netzbetrieb ergeben.

### 3.1.3 Ergebnis für die betrachteten Wirkungskategorien

Das Ergebnis stellt sich für den Treibhauseffekt, bezogen auf den Lebenszyklus eines Laptop-Akkus, folgendermaßen dar:

- |   |  |
|---|--|
| • Produktion und Entsorgung (Hauptvariante) | 4,8 kg CO <sub>2</sub> -eq/Laptop-Akku |
| • Produktion und Entsorgung (Sensitivität)  | 2,8 kg CO <sub>2</sub> -eq/Laptop-Akku |
| • Nutzungsphase                             | 1,1 kg CO <sub>2</sub> -eq/Laptop-Akku |

Die Zahlen zeigen, dass die Herstellung das Ergebnis für den Treibhauseffekt maßgeblich bestimmt. Diese Aussage gilt sowohl für die Hauptvariante mit der japanischen

Treibhausgasbilanz als auch für die Sensitivitätsanalyse mit den Ecoinvent-Daten. Für die Vergabegrundlage sind darum Kriterien von besonders hoher Bedeutung, die auf eine lange Lebensdauer abzielen.

Die Ergebnisse der weiteren Wirkungskategorien werden in der orientierenden Ökobilanz nur für die Sensitivitätsanalyse betrachtet, da für die Hauptvariante nur zum Treibhausgaspotential Daten verfügbar sind. Die Erläuterungen zu den Wirkungskategorien sind im Anhang dargestellt. Die Ergebnisse werden in der nachfolgenden Tabelle gezeigt.

Tabelle 5 Ergebnisse der orientierenden Ökobilanz für die Sensitivitätsanalyse

		Produktion und Entsorgung	Nutzungsphase
Treibhauspotential (GWP)	kg CO <sub>2</sub> -eq/Akku	4,8 (Hauptvariante) 2,8 (Sensitivität)	1,1
Versauerungspotential (AP)	g SO <sub>2</sub> -eq/Akku	28	1,4
Eutrophierungspotential (EP)	kg PO <sub>4</sub> -eq/Akku	22	0,2
Kumulierter Primärenergiebedarf (KEA)	MJ/Akku	51	18

Tabelle 5 zeigt deutlich, dass die Ökobilanzergebnisse für alle betrachteten Wirkungskategorien von der Herstellung und der Entsorgung dominiert werden. Für die Vergabekriterien für ein Umweltzeichen bedeutet dies, dass eine lange Lebensdauer, welche die Herstellung und Entsorgung von vielen Ersatzakkus überflüssig macht, ein sehr wichtiges Kriterium ist. Die Nutzenphase hat eine geringere Bedeutung. Ihre Umweltauswirkungen werden vor allem durch die Energieeffizienz beeinflusst, die in Kap. 2.5 thematisiert wird.

Interessant ist weiterhin der Vergleich von den Elektrodenmaterialien Lithium-Nickel-Cobalt und Lithium-Mangan in der japanischen Ökobilanz [Ishihara et al. 2002]. Die spezifischen Treibhausäquivalente beider Batterietypen sind nahezu identisch, so dass es aus ökobilanzieller Sicht nach dem derzeitigen Stand der Wissens nicht gerechtfertigt wäre, bestimmte Elektrodenmaterialien zu favorisieren. Ebenfalls ist, wie aus Tabelle 2 ersichtlich, die Verwendung von bestimmten Elektrodenmaterialien auch meist an eine spezielle Anwendung gebunden. Würde hier ein Kriterium zugunsten des einen oder anderen Elektrodenmaterials formuliert werden, würde man gewisse Anwendungen eines Lithium-Akkus von vornherein aus dem Geltungsbereich der Vergabegrundlage ausschließen. Dies ist zum aktuellen Zeitpunkt nicht ratsam, da weder die ökobilanziellen Abschätzungen zu

diesem Thema eine Aussage zulassen, noch alternative Materialien in den jeweiligen Anwendungsbereichen vorhanden sind, welche man fördern könnte.

### 3.2 Analyse der Lebenszykluskosten

Die Lebenszykluskosten variieren sehr stark zwischen den verschiedenen Batterien, die für die unterschiedlichen Anwendungsfelder eingesetzt werden. Deshalb wird im Folgenden exemplarisch eine Analyse für einen Laptop-Akku dargestellt:

Die Firma Hewlett Packard (HP) bietet in den USA für rund 70 % seiner Laptops dem Verbraucher als Alternative zu den „herkömmlichen“ Lithium-Akkus den Akku Sonata von Boston Power an, der das Umweltlabel „Nordic Swan“ trägt. HP vermarktet dieses als „HP Long Life Battery“ mit einer Garantiezeit von 3 Jahren. Auf die herkömmlichen Batterien wird nur eine einjährige Garantiezeit gewährt.

Investitionskosten:

Im amerikanischen Internethandel kostet diese Batterie mit 6 Zellen 69 € im Vergleich zu einer „herkömmlichen“ Batterie zu 42 €. Bei 12 Zellen liegt der Kaufpreis bei 114 € statt 74 €. Für Kunden, die mehrmals wöchentlich die volle Kapazität des Akkus nutzen, ist die langlebigere Batterie wirtschaftlich, wenn davon ausgegangen wird, dass eine „herkömmliche“ Batterie rund 400 Zyklen schafft (bei 0,2 C) und eine langlebige Batterie hingegen mind. 720 Zyklen bei 0,2 C erreicht. Dann lägen die spezifischen Kosten pro Zyklus für die 6-zellige Batterie bei 0,10 €/Zyklus (herkömmliche Batterie) bzw. 0,08 €/Zyklus (long life battery). Bei der 12-zelligen Batterie läge der Preis für die herkömmliche Batterie bei 0,19 €/Zyklus im Vergleich zur long life battery mit 0,16 €/Zyklus. Bei der Rechnung ist zu beachten, dass keine exakten Daten vorliegen, wie viele Zyklen eine herkömmliche Batterie schafft.

Stromkosten:

Die Kosten für die Nutzungsphase des betrachteten Lithium-Akkus betragen sich auf die Stromkosten der Nutzung. Die Annahmen für die Nutzungsphase entsprechen den in Kapitel 3.1.2 gezeigten. Hierbei wurde ein mittlerer Strompreis von 0,236 €/kWh zugrunde gelegt<sup>6</sup>. Durch die Annahme einer Energieaufnahme pro Ladezyklus von 0,05 kWh ergeben sich somit Nutzungskosten von 0,01 € pro Ladezyklus.

Reparaturkosten:

Es wird angenommen, dass Lithium-Akkus nicht repariert, sondern ausgetauscht werden. Somit entstehen hier keine weiteren Kosten für die Reparatur

Entsorgungskosten:

---

<sup>6</sup> Quelle: Recherchen Öko-Institut, 2010

Seit dem 24. März 2006 sind die Hersteller für die Rücknahme und Entsorgung der Altgeräte (finanz-)verantwortlich. Insofern ist davon auszugehen, dass die Entsorgungskosten in den Verkaufspreis einkalkuliert sind. In der vorliegenden Untersuchung werden daher keine zusätzlichen Entsorgungskosten angenommen.

Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse:

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse zusammengefasst. Die hier gezeigten Zahlen beziehen sich auf einen Ladezyklus. Rechnet man diese wiederum auf die Lebenszeit eines herkömmlichen Lithium-Akkus mit 400 Ladezyklen hoch, ergeben sich bei der Wahl eines „Long life“-Akkus bereits Einsparungen von ca. 12 €.

Tabelle 6: Analyse der Lebenszykluskosten für zwei Lithium-Akkus mit 12 Zellen

Kosten pro Ladezyklus in €	„Long life“	Herkömmlich
Investitionskosten	0,16 €	0,19 €
Nutzungskosten	0,01 €	0,01 €
<b>Gesamt</b>	<b>0,17 €</b>	<b>0,20 €</b>

Detaillierte Aussagen zur Wirtschaftlichkeit können nach dem derzeitigen Bearbeitungsstand jedoch kaum getroffen werden, da die Produktgruppe eine Vielzahl unterschiedlicher Batterie- und Zelltypen mit verschiedenen Anwendungsbereichen umfasst und keine abgesicherten Durchschnittswerte für die Lebensdauer der „herkömmlichen“ Batterien vorliegen.

### 3.3 Ableitung von Vergabekriterien für ein Umweltzeichen

#### Allgemeine Überlegungen

Um Kriterien für Vergabegründlagen von Produktgruppen zu entwickeln, die ausschließlich für einen internationalen Markt hergestellt werden, empfiehlt es sich, potentiellen Zeichennehmern insofern entgegen zu kommen, dass man sich bei der Wahl der Kriterien zumindest auf dieselben Messmethoden bezieht, welche für die Nachweise der Vergabekriterien von anderen internationalen Umweltzeichen gefordert werden. So wurden die Vergabekriterien für die hier behandelte Produktgruppe in Abstimmung mit dem Umweltzeichen „Nordic Swan“ erstellt. Diese haben einen weiter gefassten Geltungsbereich, wodurch sich ein Teil der Unterschiede in den Kriterien erklären lässt.

#### Geltungsbereich

Lithium-Akkus werden derzeit (Stand: Oktober 2010) hauptsächlich in gerätespezifischen Sonderformen (wie z.B. prismatische Akkus für den Einsatz in Mobiltelefonen) hergestellt. Hauptanwendungsgebiete sind derzeit Mobiltelefone und Laptops. Weitere wichtige

Anwendungsgebiete sind Camcorder und Digitalkameras. Hinzu kommen Anwendungen in schnurlosen Werkzeugen, Media-Playern und weiteren tragbaren Geräten.

Als Standardformen (wie z.B. Mignon-Zellen der Bauform AA oder 9V-Blocks) werden hauptsächlich NiMH-Akkus hergestellt. Somit ist eine Abgrenzung der Lithium-Akkus gegenüber anderen gebräuchlichen Akkutypen naheliegend. Wie oben bereits erwähnt, ist ein steigender Einsatz von Lithium-Akkus im Bereich der Elektromobilität zu erwarten. Die dort eingesetzten Lithium-Akkus haben jedoch andere Eigenschaften, als diejenigen für den Einsatz in tragbaren Geräten. Ebenfalls ist der Bereich Elektromobilität derzeit noch Gegenstand intensiver Forschung, sodass sich ein „Top-Runner“-Konzept hierauf nicht anwenden lässt.

Somit schränkt sich der Geltungsbereich für die Produktgruppe auf „Wiederaufladbare Lithium-Batterien für den Einsatz in tragbaren Geräten“ ein.

#### Batteriekapazität

Der Benutzer eines Lithium-Akkus, der ein Umweltzeichen trägt, sollte Angaben über die tatsächlich entnehmbare Batteriekapazität gut sichtbar auf dem Lithium Akku zur Verfügung gestellt bekommen. Da die europäische Gesetzgebung, wie bereits erwähnt, noch keine Methode hierzu veröffentlicht hat, greift das Vergabekriterium diesem Prozess vor.

#### Sicherheit

Wie in Kapitel 2.8 bereits ausführlich erwähnt, können Lithium-Akkus eine potentielle Gefahrenquelle darstellen. Um das Risiko für den Verbraucher so gering wie möglich zu halten, muss der Lithium-Akku in diversen Tests zeigen, dass auch unter Extrembedingungen wie hohen Temperaturen, mechanischer Belastung, etc. keine Gefahr für den Verbraucher besteht. Diese Tests sind in der geforderten Norm [DIN EN 62133] beschrieben.

#### Tiefentladeschutz

Wie in Kapitel 3.1.3 dargestellt, sind die Emissionen klimaschädlicher Gase und anderer umweltschädigender Substanzen bezogen auf den Lebensweg eines Lithium-Akkus hauptsächlich der Herstellung zuzurechnen. Somit muss für eine Vergabegrundlage für ein Umweltzeichen für wiederaufladbare Lithium-Batterien für den Einsatz in tragbaren Geräten nachgewiesen werden, dass der Lithium-Akku nicht tiefentladen werden kann. Ein tiefentladener Akku ist nicht mehr funktionsfähig, und muss somit ersetzt werden, was die oben dargestellten Umweltwirkungen erneut verursacht. Deshalb muss nachgewiesen werden, dass ein geeigneter Schutz des Lithium-Akkus gegen Tiefentladung im Akku selbst vorhanden ist.

### Lebensdauer und Lebenszyklus-Test

Wie oben bereits dargestellt, muss als zentrales Kriterium einer Vergabegründung für ein Umweltzeichen den hohen Umweltwirkungen, die bei der Herstellung eines Lithium-Akkus entstehen, ein möglichst hoher Nutzen gegenüber gestellt werden. Dies kann nur durch eine lange Lebensdauer garantiert werden. Hiermit ist nicht die kalendarische Lebensdauer gemeint, denn einerseits ist hierfür noch kein anerkanntes Testverfahren bekannt (siehe Kapitel 2.5), andererseits ist auch die rein kalendarische Lebensdauer alleine nur bedingt aussagekräftig, um den Nutzen abzubilden. Denn wenn ein Akku zwar über eine lange Zeit funktionsfähig bleibt, aber während dieser Zeit ungenutzt bleibt, ist hierdurch keine Aussage über den Nutzen des Akkus möglich. Somit muss ein Kriterium bezüglich der kalendarischen Lebensdauer noch zurückgestellt werden.

Der Nutzen wird vielmehr durch eine hohe Zyklenzahl ausgedrückt, welche in einem standardisierten Testverfahren nachgewiesen werden muss. Hierfür ist es wichtig, einen Überblick über die Qualität der auf dem Markt befindlichen Lithium-Akkus zu haben. Da nicht jeder Hersteller standardmäßig solche Lebenszyklus-Tests durchführt, liegen hier nur in seltenen Fällen verlässliche Daten vor. Deshalb wurde auf die vorhandenen Daten zurückgegriffen, um ambitionierte Kriterien zu gestalten, welche die dem Stand der Technik entsprechend ökologisch vorteilhaftesten Lithium-Akkus herausstellen. Hierfür wurde ein Testverfahren gewählt, welches aus oben bereits erwähnten Gründen an internationale Normen und Umweltzeichen angelehnt ist, jedoch andere Zielvorgaben aufweist.

### Schwermetallgehalte

Wie oben bereits erwähnt, existiert noch keine EU-weit einheitliche Regelung zur Messung von Schwermetallen in Batterien. Da jedoch Schwermetalle in Lithium-Akkus einerseits vorkommen, andererseits aber keine Funktion erfüllen, sollten hier für die Kriterien einer Vergabegründung für ein Umweltzeichen strenge Grenzwerte herangezogen werden. In Tabelle 3 wurden die Grenzwerte der Batteriedirektive und diverser Umweltzeichen aufgezeigt. Da auch in diesem Bereich nur begrenzt auf Primärdaten zurückgegriffen werden kann, ist eine Orientierung an vorhandenen Grenzwerten angebracht. Als Messmethode wurde eine von der Batterieindustrie anerkannte Methode zugelassen, welche bereits 1998 veröffentlicht wurde. Ebenfalls wurde eine aktuellere Bestimmungsmethode zugelassen, da seit 1998 einige neue Apparaturen für die Schwermetallmessungen entwickelt wurden, deren Bestimmungsgrenzen teilweise noch geringer liegen. Um die Anwendung dieser moderneren Methoden nicht auszuschließen, wurde für den Nachweis diese als gleichwertige Methode zur Bestimmung der Schwermetallgehalte aufgenommen.

### Verbraucherinformationen

Wie in Kapitel 3.1 verdeutlicht, ist eine lange Lebensdauer das zentrale Kriterium für die Vergabegrundlage für ein Umweltzeichen für Lithium-Akkus. Nicht nur der Hersteller, sondern auch die Verbraucher haben durch ihr Verhalten einen Einfluss auf diese. Deshalb ist es umso wichtiger, dass der Hersteller dem Verbraucher Informationen bereitstellt, die diesem dabei helfen, den Lithium-Akku in einer Akkuschonenden und Lebensdauer verlängernden Art und Weise zu gebrauchen.

Kapitel 2.5 zeigt, dass das Ladeverhalten einen wesentlichen Einfluss auf die Lebensdauer haben kann. Deshalb sollte auf die Verwendung eines geeigneten Ladegerätes hingewiesen werden.

Da nicht alle Lithium-Akkus im Geltungsbereich der Vergabegrundlage für den Dauereinsatz ausgelegt sind (wie z.B. Werkzeug-Akkus), sind Hinweise zu optimalen Lagerungsbedingungen der zur Verfügung gestellten Akkus anzugeben.

Die optimale Betriebstemperatur eines Lithium-Akkus liegt zwischen 0 und 40°C [Jossen Weydanz 2006]. Da zu hohe Temperaturen die Funktionsfähigkeit und die Lebensdauer eines Lithium-Akkus in erheblichem Maße beeinflussen, muss der Hersteller hier die dementsprechenden Informationen zur Verfügung stellen.

Um die in Kapitel 2.8 erwähnten Sicherheitsrisiken zu minimieren, ist der Verbraucher in geeignetem Maße auf die Vermeidung von Sicherheitsrisiken hinzuweisen.

#### Definition von Produktfamilien

Lithium-Akkus der betrachteten Produktgruppe werden in Anwendungsbereichen wie Digitalkameras oder Mobiltelefonen als „Produktfamilie“ hergestellt. Zentral für die Zugehörigkeit zu einer Produktfamilie ist eine übereinstimmende technische Ausstattung dieser Akkus. Dies beinhaltet sowohl das Kathodenmaterial, als auch die elektronischen Mess- und Regeleinrichtungen, die ein Lithium-Akku aufweist. Nur die geometrische Form der Akkus variiert. Da die geometrische Form des Akkus bei gleicher technischer Ausstattung keine Auswirkungen auf die in dieser Studie entwickelten Kriterien für eine Vergabegrundlage für ein Umweltzeichen für Lithium-Akkus hat, können Produktfamilien zur Vergabe des Umweltzeichens gebildet werden.

## **4 Literatur**

BAM 2007

Bundesanstalt für Materialforschung und –Prüfung; Recknagel, R.; Richter, A.: Überprüfung der Schwermetallgehalte von Batterien – Analyse von repräsentativen Proben handelsüblicher Batterien und in Geräten verkaufter Batterien – Erstellung eines Probenahmeplans, Probenbeschaffung und Analytik (Hg, Pb, Cd). Förderkennzeichen (UFOPLAN) 205 35 312, Februar 2007



BattG 2009	Gesetz zur Neuregelung der abfallrechtlichen Produktverantwortung für Batterien und Akkumulatoren vom 25. Juni 2009
CEMIX 2009	Consumer Electronics Market Index (CEMIX) des Bundesverbandes Technik des Einzelhandels e.V., der GfK Retail and Technology GmbH und der Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik: CEMIX 2009 gesamt, download unter <a href="http://www.bvt-ev.de/bvt_cm/der_markt/cemix.php">http://www.bvt-ev.de/bvt_cm/der_markt/cemix.php</a> im August 2010
DIN EN 61960:2004	DIN EN 61960: Akkumulatoren und Batterien mit alkalischen oder anderen nichtsäurehaltigen Elektrolyten – Lithium-Ionen-Akkumulatoren und –Batterien für tragbare Geräte (IEC 61960:2003), Deutsche Fassung EN 61960:2004
DIN EN 62 133	EN 62133: Akkumulatoren und Batterien mit alkalischen oder anderen nicht säurehaltigen Elektrolyten – Sicherheitsanforderungen für tragbare gasdichte Akkumulatoren und daraus hergestellte Batterien für die Verwendung in tragbaren Geräten, 2003
Draft Regulation July 2010	Draft Commission Regulation of establishing, pursuant to Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council, rules as regards capacity labelling of portable secondary (rechargeable) and automotive batteries and accumulators, Brussels, July 2010
EI 2.2	Frischknecht, R.; Jungbluth, N. et al.: Ecoinvent V 2.1, Dübendorf 2010
Entwurf DIN EN 61960: 2008	DIN EN 61960 Entwurf: Akkumulatoren und Batterien mit alkalischen oder anderen nichtsäurehaltigen Elektrolyten – Lithium-Ionen-Akkumulatoren und –Batterien für tragbare Geräte (IEC 21A/445/CD:2008), November 2008
Entwurf DIN EN 62 133	EN 62133: Akkumulatoren und Batterien mit alkalischen oder anderen nicht säurehaltigen Elektrolyten – Sicherheitsanforderungen für tragbare gasdichte Akkumulatoren und daraus hergestellte Batterien für die Verwendung in tragbaren Geräten, Entwurf September 2008
Fjelsted 2007	Fjelsted, Lotte: Bilagsrapport 6: Analyse af batterier fra husholdninger i Århus Kommune; Institut for Miljø & Ressourcer Danmarks Tekniske Universitet; Kongens Lyngby, DK, Juli 2007
GRS 2009	GRS Batterien – Gemeinsames Rücknahme System: Jahresbericht 2009. Download unter <a href="http://www.grs-batterien.de">http://www.grs-batterien.de</a> /fileadmin /user_upload/Download/GRS_Erfolgskontrolle_Download.pdf im August 2010
Ishihara et al. 2002	Ishihara, K.; Kihira, N.; Terada, N.; Iwahori, T. : Environmental burden of large lithium-ion batteries developed in a Japanese



	national project, Central Research Institute of Electric Power Industry, 202nd Meeting - Salt Lake City, UT, October 20-25, 2002
Jossen Weydanz 2006	Jossen, A.; Weydanz, W.: Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen, Inge Reichardt Verlag, 2006
LiBRi 2010	LiBRi –Entwicklung eines realisierbaren Recyclingkonzepts für die Hochleistungsbatterien zukünftiger Elektrofahrzeuge; BMU-Forschungsprojekt mit Förderung vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Download der Projektbeschreibung unter <a href="http://www.pt-elektromobilitaet.de/projekte/batterierecycling/libri">http://www.pt-elektromobilitaet.de/projekte/batterierecycling/libri</a>
LithoRec 2010	LithoRec –Recycling von Lithium-Ionen-Batterien; Forschungsprojekt mit Förderung vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Download der Projektbeschreibung unter <a href="http://www.pt-elektromobilitaet.de/projekte/batterierecycling/lithorec">http://www.pt-elektromobilitaet.de/projekte/batterierecycling/lithorec</a>
Nordic Ecolabelling 2002	Nordic Ecolabelling of Rechargeable batteries and battery chargers, version 3.6, 17 December 2002 – 31 March 2011
Öko-Institut 2010	Öko-Institut e.V., M. Buchert: Life Cycle Assessment of Nickel Metal hydride Batteries for HEV Application, Vortrag auf IARC, Basel, 4. März 2010
Pillot 2004	Pillot, C.: The Worldwide Rechargeable Battery market 2003-2008, Brussels, April 2004, download from <a href="http://www.rechargebatteries.org">www.rechargebatteries.org</a>
Proposal Nordic Swan 2010	Hearing proposal on ecolabelled rechargeable batteries, version 4.0, background for the Nordic Ecolabel license, 12/5-2010
Richtlinie 2006/66/EG	Richtlinie 2006/66/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 6. September 2006 über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Alttakkumulatoren und zur Aufhebung der Richtlinie 91/157/EWG

## 5 Anhang

### 5.1 Wirkungskategorien des Life Cycle Assessment

- Kumulierter Primärenergiebedarf (KEA)
- Treibhauspotential
- Versauerungspotential
- Aquatische Eutrophierung
- Terrestrisches und photochemisches Eutrophierungspotential

#### 5.1.1 Kumulierter Primärenergiebedarf

Die energetischen Rohstoffe werden anhand des Primärenergieverbrauchs bewertet. Als Wirkungsindikatorwert wird der nicht-regenerative (d.h. fossile und nukleare) Primärenergieverbrauch als kumulierter Energieaufwand (KEA) angegeben.

#### 5.1.2 Treibhauspotential

Schadstoffe, die zur zusätzlichen Erwärmung der Erdatmosphäre beitragen, werden unter Berücksichtigung ihres Treibhauspotenzials bilanziert, welches das Treibhauspotential des Einzelstoffs relativ zu Kohlenstoffdioxid kennzeichnet. Als Indikator wird das Gesamtreibhauspotential in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach IPCC 2007 berücksichtigt.

#### 5.1.3 Versauerungspotential

Schadstoffe, die als Säuren oder aufgrund ihrer Fähigkeit zur Säurefreisetzung zur Versauerung von Ökosystemen beitragen können, werden unter Berücksichtigung ihres Versauerungspotenzials bilanziert und aggregiert. Das Versauerungspotenzial kennzeichnet die Schadwirkung eines Stoffes als Säurebildner relativ zu Schwefeldioxid. Als Indikatoren für die Gesamtbelastung wird das Gesamtversauerungspotenzial in SO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach CML 2009 berücksichtigt.

#### 5.1.4 Aquatisches und terrestrisches Eutrophierungspotential

Nährstoffe, die zur Überdüngung (Eutrophierung) aquatischer und terrestrischer Ökosysteme beitragen können, werden unter Berücksichtigung ihres Eutrophierungspotenzials bilanziert und aggregiert. Das Eutrophierungspotenzial kennzeichnet die Nährstoffwirkung eines Stoffes relativ zu Phosphat. Als Indikator für die Gesamtbelastung werden das aquatische und das terrestrische Eutrophierungspotenzial in Phosphat-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach CML 2009 berücksichtigt.

## **5.2 Abgeleitete Vergabekriterien für ein Umweltzeichen**

# **Vergabegrundlage für Umweltzeichen**

## **Wiederaufladbare Lithium-Batterien für den Einsatz in tragbaren Geräten**

**„... weil energieeffizient“**

**Stand: 12/2010**

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Hintergrund	3
1.2	Ziel des Umweltzeichens	3
2	Geltungsbereich	3
3	Anforderungen	4
3.1	Batteriekapazität	4
3.2	Schutz der wiederaufladbaren Batterie	4
3.3	Lebensdauer und Lebenszyklus-Test	5
3.4	Schwermetallgehalte	6
3.5	Materialanforderungen an die Kunststoffe der Gehäuseteile	7
3.6	Verbraucherinformation	8
4	Durchführung der Messungen, Definition von Produktfamilien	9

## 1 Einleitung

### 1.1 Hintergrund

Betrachtet man den gesamten Lebenszyklus von wiederaufladbaren Lithium-Batterien (im Folgenden: Batterien), werden die Energieaufwendungen sowie die Umweltwirkungen maßgeblich durch den Prozess der Herstellung bestimmt. Der Stromverbrauch in der Gebrauchsphase spielt dagegen eine untergeordnete Rolle. Um dem hohen Energieaufwand und den Umweltwirkungen einen hohen Nutzen gegenüber zu stellen, ist die Sicherstellung einer langen Lebensdauer ein Schlüsselparameter für die Umweltfreundlichkeit der Batterien. Ein anderer wichtiger Gesichtspunkt ist das Recycling. Da sich effiziente Recyclingprozesse für Batterien derzeit noch in der Entwicklung befinden, können zum aktuellen Zeitpunkt hierzu noch keine Vergabekriterien abgeleitet werden.

### 1.2 Ziel des Umweltzeichens

Die Verminderung des Energie- und Ressourcenverbrauchs und die Vermeidung von Schadstoffen und Abfall sind wichtige Ziele des Umweltschutzes. Hierdurch können ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet, Ressourcen geschont und Schadstoffeinträge in die Umwelt vermieden werden. Weiterhin soll das Umweltzeichen „Blauer Engel“ dem Käufer einer Batterie signalisieren, dass das damit versehene Produkt - im Vergleich zu anderen - dem Verbraucherschutz besser Rechnung trägt.

Mit dem Umweltzeichen für Batterien für den Einsatz in tragbaren Geräten können Batterien gekennzeichnet werden, die durch eine dem Stand der Technik entsprechende lange Lebensdauer bei einer hohen Kapazität wichtige Umweltschutzziele unterstützen.

## 2 Geltungsbereich

Diese Vergabegrundlage gilt für Batterien für den Einsatz in tragbaren Geräten. Darunter fallen tragbare Computer, **Mobiltelefone, Kameras, Camcorder, Funkgeräte, Personal Digital Assistant's (PDA's), Mediaplayer und schnurlose Werkzeuge. Sonstige Kleingeräte sind mit einer Akkukapazität < 15 Wh begrenzt. Nicht im Geltungsbereich enthalten sind wiederaufladbare Li-Stabbatterien und Knopfzellen.**

### **3 Anforderungen**

#### **3.1 Batteriekapazität**

Die Batteriekapazität ist nach der Norm EN 61960 in ihrer aktuellen Fassung, Abschnitt 7.2.1, nach einem ersten Ent- und Beladezyklus (Entladung mit C/5) für vier verschiedene Batterien jeweils in den folgenden fünf aufeinanderfolgenden Zyklen zu messen. Bei allen vier getesteten Batterien darf bei mindestens einem Messzyklus die abgegebene Kapazität (nach Schritt 3 der Norm, in Ah) nicht weniger als 100 % der vom Hersteller angegebenen Bemessungskapazität betragen.

##### ***Nachweis***

*Der Antragsteller legt ein Prüfgutachten vor, aus dem hervorgeht, dass mindestens vier Batterien analysiert wurden und alle vier die Anforderung erfüllen. Das Prüfgutachten muss von einem Prüflabor erstellt werden, das die allgemeinen Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien gemäß DIN EN ISO/IEC 17025 erfüllt.*

#### **3.2 Schutz der wiederaufladbaren Batterie**

##### **3.2.1 Sicherheit**

Die Batterie sowie die verwendeten Zellen müssen die Prüfanforderungen nach EN 62133 in der jeweils gültigen Fassung (EN 62133:2003, Kapitel 3 und 4, resp. äquivalente Kapitel) erfüllen.

##### ***Nachweis***

*Der Antragsteller legt ein Prüfgutachten vor, aus dem hervorgeht, dass die Batterie und die verwendeten Zellen die Prüfanforderungen nach EN 62133 in der jeweils gültigen Fassung (EN 62133:2003, Kapitel 3 und 4, resp. äquivalente Kapitel) erfüllen. Das Prüfgutachten muss von einem Prüflabor erstellt werden, das die allgemeinen Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien gemäß DIN EN ISO/IEC 17025 erfüllt.*

##### **3.2.2 Tiefentladeschutz**

Die Batterie muss mit einem Tiefentladeschutz ausgestattet sein, der gewährleistet, dass die Batterie bei Erreichen einer unteren Spannungsgrenze nicht weiter entladen wird und bis zum Abschalten des Entladeprozesses keine irreversiblen Kapazitätsverluste aufgetreten sind.

### **Nachweis**

*Der Antragsteller legt ein Prüfgutachten gemäß Anlage 5 vor, aus dem hervorgeht, dass die Batterie mit einem Tiefentladeschutz ausgestattet ist, der eine irreversible Kapazitätsminderung durch eine Tiefentladung wirkungsvoll verhindert.*

*Das Prüfgutachten muss von einem Prüflabor erstellt werden, das die allgemeinen Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien gemäß DIN EN ISO/IEC 17025 erfüllt.*

### **3.3 Lebensdauer und Lebenszyklus-Test**

Vier verschiedene Batterien pro Größe und Typ müssen getestet werden. Alle vier getesteten Batterien müssen die Anforderungen des folgenden Testverfahrens erfüllen.

#### Testverfahren:

C ist die Bemessungskapazität, die auf der Batterie als maximale Kapazität in Ah angegeben ist. Der Test beginnt (quasi „nullter“ Zyklus) mit einer Entladung mit C/5 bis zur Endspannung. Die Endspannung ist hierbei die Entladeschlussspannung (nach EN 61960: festgelegte Spannung bei Belastung, bei der die Entladung einer Zelle oder Batterie abgeschlossen ist). Die anschließende wiederholte Be- und Entladung erfolgt nach den in den nachfolgenden Tabellen angegebenen Spezifikationen. Hierbei werden für unterschiedliche Anwendungen unterschiedliche Anforderungen erhoben:

#### **Testspezifikation für Lithium-Batterien für schnurlose Werkzeuge:**

<b>Zyklus Nr.</b>	<b>Laden</b>	<b>Ruhezeit in geladenem Zustand</b>	<b>Entladung</b>	<b>Ruhezeit in entladem Zustand</b>
1-1399	Hersteller-spezifikation	30 Minuten	1,0C bis Endspannung	30 Minuten
1400	Hersteller-spezifikation	1 Stunde	0,2C bis Endspannung	

Die Entladezeit für Zyklus 1400 muss mindestens 3,5 Stunden sein (die im Zyklus 1400 abgegebene Kapazität entspricht 70% der Bemessungskapazität).



**Testspezifikation für Lithium-Batterien für tragbare Computer, Mobiltelefone, Kameras, Camcorder, Funkgeräte, Personal Digital Assistant's (PDA's), Mediaplayer; sonstige Kleingeräte mit einer Akkukapazität < 15 Wh:**

<b>Zyklus Nr.</b>	<b>Laden</b>	<b>Ruhezeit in geladenem Zustand</b>	<b>Entladung</b>	<b>Ruhezeit in entlademem Zustand</b>
1-399	Hersteller-spezifikation	30 Minuten	1,0C bis Endspannung	30 Minuten
400	Hersteller-spezifikation	1 Stunde	0,2C bis Endspannung	

Die Entladezeit für Zyklus 400 muss mindestens 3,5 Stunden sein (die im Zyklus 400 abgegebene Kapazität entspricht 70% der Bemessungskapazität).

**Nachweis**

*Der Antragsteller legt ein Prüfgutachten vor, aus dem hervorgeht, dass mindestens vier Batterien analysiert wurden und alle vier die Anforderung erfüllen. Das Prüfgutachten muss von einem Prüflabor erstellt werden, das die allgemeinen Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien gemäß DIN EN ISO/IEC 17025 erfüllt.*

**3.4 Schwermetallgehalte**

Der Schwermetallgehalt der Gesamtbatterie darf folgende Grenzwerte nicht überschreiten:

Metall	Konzentration
Quecksilber	≤ 0,1 ppm
Cadmium	≤ 5,0 ppm
Blei	≤ 10 ppm

**Nachweis**

*Der Antragsteller legt ein Prüfgutachten vor, das mindestens vier Batterien analysiert wurden und alle vier die Anforderung erfüllen. Die Metallgehalte werden ermittelt nach den Methoden in: „Überprüfung der Schwermetallgehalte von Batterien – Analyse von repräsentativen Proben handelsüblicher Batterien und in Geräten verkaufter Batterien*

– Erstellung eines Probenahmeplans, Probenbeschaffung und Analytik (Hg, Pb, Cd)“ der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Februar 2007, oder der *“Battery Industry Standard Analytical Method - for the determination of Mercury, Cadmium and Lead in Alkaline Manganese Cells Using AAS, ICP-AES and “Cold Vapour”*. Publishers: The European Portable Battery Association (EPBA), the Battery Association of Japan (BAJ), the National Electrical Manufacturers Association (NEMA; USA). April 1998”.

Das Prüfgutachten muss von einem Prüflabor erstellt werden, das die allgemeinen Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien gemäß DIN EN ISO/IEC 17025 erfüllt.

### 3.5 Materialanforderungen an die Kunststoffe der Gehäuseteile

Den Kunststoffen dürfen als konstitutionelle Bestandteile keine Stoffe zugesetzt sein, die eingestuft sind als

- a) krebserzeugend der Kategorien 1 oder 2 nach Tabelle 3.2 des Anhangs VI der EG-Verordnung 1272/2008<sup>1</sup>
- b) erbgutverändernd der Kategorien 1 oder 2 nach Tabelle 3.2 des Anhangs VI der EG-Verordnung 1272/2008
- c) fortpflanzungsgefährdend der Kategorien 1 oder 2 nach Tabelle 3.2 des Anhangs VI der EG-Verordnung 1272/2008
- d) persistent, bioakkumulierbar und toxisch (PBT-Stoffe) oder sehr persistent und sehr bioakkumulierbar (vPvB-Stoffe) nach den Kriterien des Anhang XIII der REACH-Verordnung oder besonders besorgniserregend aus anderen Gründen und die in die gemäß REACH Artikel 59 Absatz 1 erstellte Liste (sog. Kandidatenliste<sup>2</sup>) aufgenommen wurden.

---

<sup>1</sup> Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006, Anhang VI Harmonisierte Einstufung und Kennzeichnung für bestimmte gefährliche Stoffe, Teil 3: Harmonisierte Einstufung und Kennzeichnung – Tabellen, Tabelle 3.2 Die Liste der harmonisierten Einstufung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe aus Anhang I der Richtlinie 67/548/EWG,

kurz: GHS-Verordnung [http://www.reach-info.de/ghs\\_verordnung.htm](http://www.reach-info.de/ghs_verordnung.htm), in der jeweils gültigen Fassung.

Die GHS-Verordnung (Global Harmonization System), die am 20.01.2009 in Kraft getreten ist, ersetzt die alten Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG. Danach erfolgt die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung für Stoffe bis zum 1. Dezember 2010 gemäß der RL 67/548/EWG (Stoff-RL) und für Gemische bis zum 1. Juni 2015 gemäß der RL 1999/45/EG (Zubereitungs-RL). Abweichend von dieser Bestimmung kann die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung für Stoffe und Zubereitung bereits vor dem 1. Dezember 2010 bzw. 1. Juni 2015 nach den Vorschriften der GHS-Verordnung erfolgen, die Bestimmungen der Stoff-RL und Zubereitungs-RL finden in diesem Fall keine Anwendung.

<sup>2</sup> Link zur Kandidatenliste der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH):

[http://echa.europa.eu/consultations/authorisation/svhc/svhc\\_cons\\_en.asp](http://echa.europa.eu/consultations/authorisation/svhc/svhc_cons_en.asp)

Halogenhaltige Polymere sind nicht zulässig. Ebenso dürfen halogenorganische Verbindungen nicht als Flammschutzmittel zugesetzt werden. Zudem dürfen keine Flammschutzmittel zugesetzt werden, die gemäß Tabelle 3.2 des Anhang VI der EG-Verordnung 1272/2008 mit dem R-Satz R 50/53 gekennzeichnet sind.

Von dieser Regelung ausgenommen sind:

- prozessbedingte, technisch unvermeidbare Verunreinigungen;
- fluororganische Additive (wie z.B. Anti-Dripping-Reagenzien), die zur Verbesserung der physikalischen Eigenschaften der Kunststoffe eingesetzt werden, sofern sie einen Gehalt von 0,5 Gew.-% nicht überschreiten;
- Kunststoffteile, die weniger als 5 g wiegen.

### **Nachweis**

*Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen. Bezüglich der auszu-schließenden Substanzen in Kunststoffen für Gehäuse und Gehäuseteile veranlasst er eine schriftliche Erklärung der Kunststoffhersteller oder -lieferanten an die RAL gGmbH, dass diese nicht zugesetzt sind. Zugleich verpflichtet er sich, die Hersteller oder Lieferanten der Gehäusekunststoffe zu veranlassen, die chemische Bezeichnung der eingesetzten Flammschutzmittel (CAS-Nr.) vertraulich an die RAL gGmbH zu übermitteln.*

### **3.6 Verbraucherinformation**

Die Lebensdauer der Batterien ist in erheblichem Maße abhängig vom Nutzerverhalten. Die Produktunterlagen müssen daher neben Angaben zur Bemessungskapazität in Ah oder mAh (gemäß der Batterie Richtlinie 2006/66/EG) Hinweise für eine Handhabung, die eine hohe Lebensdauer bei einer hohen Kapazität fördern, sinngemäß enthalten:

- Nutzung eines geeigneten Ladegeräts, falls die Batterie von einem externen Ladegerät geladen wird.
- Vermeidung hoher Umgebungstemperaturen, bei denen die Leistungsfähigkeit der Batterie deutlich abnimmt. Das Ziel ist es, einem irreversiblen Kapazitätsverlust und damit einer Verringerung der Lebensdauer entgegen zu wirken.
- Hinweise zur „richtigen“ Lagerung (Lagerungstemperaturen und Ladezustand) der Lithium-Batterien, da dies für die Verlängerung der Lebensdauer entscheidend ist.

- Sicherheitshinweise zur Minimierung der Sicherheitsrisiken, wie z.B. Kurzschlussgefahr (daher Pole bei Lagerung und Entsorgung abkleben), Brandgefahr, Explosionsgefahr, etc.).
- Entsorgungshinweise zur umweltverträglichen Entsorgung von verbrauchten wiederaufladbaren Batterien nach BattG müssen in den Produktunterlagen enthalten sein.

### **Nachweis**

*Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderung und legt die entsprechenden Seiten der Produktunterlagen vor.*

## **4 Durchführung der Messungen, Definition von Produktfamilien**

Bei Produktfamilien genügt der Nachweis für ein Produkt der jeweiligen Familie. Die Zugehörigkeit zu einer Produktfamilie ist gekennzeichnet durch Baugleichheit (gleiche Zellen, gleiche Anzahl Zellen, gleiche Sicherheitskomponenten und gleicher Hersteller).

### **Nachweis**

*Die Baugleichheit wird nachgewiesen durch die Vorlage einer Baugleichheitsbescheinigung eines Prüflabors, das die allgemeinen Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien gemäß DIN EN ISO/IEC 17025 erfüllt.*