

**exact**

Excellence in Applied Electronics and Technologies  
Interessengemeinschaft exact, Fachgruppe Umwelt

---

# **Simplified LCA für Elektronikbauteile**

mit neun Bauteilefamilien

Projekt der exact Fachgruppe Umwelt  
(exact FGU, vormals AGU)

**Ausgabedatum: 20.07.1998**

**Aktualisiert: 12.11.2009**

Herausgeber:

IG exact, Fachgruppe Umwelt  
Hans J. Tobler, Präsident 1997-2009  
c/o EMSC Dr.M.Tobler & Partner  
8634 Hombrechtikon  
☎+41 55 244 44 88  
Email: mail@emsc.ch  
Erstausgabe: Volketswil, 20.07.1998

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>1. Zusammenfassung</b> .....	<b>2</b>
<b>2. Vereinfachte ökologische Bewertung elektronischer Bauteile</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Vorgehen bei der Simplified LCA für Elektronikbauteile</b> .....	<b>6</b>
<b>4. Resultate von 9 Bauteilfamilien</b> .....	<b>8</b>
4.1 Metallfilm-Widerstand bedrahtet (0.25W) .....	8
4.2 Flachchipwiderstand 1206 (0.25W).....	9
4.3 IC im Plastikgehäuse SO-8.....	10
4.4 Aluminium Elektrolyt Kondensator Ø5x12mm.....	11
4.5 Transistor TO 92 .....	12
4.6 Transistor SOT 54 .....	13
4.6.1 Vergleich der beiden Transistoren TO 92 / SOT 54 .....	14
4.7.1 SOT 23 (Hersteller A) .....	15
4.7.2 SOT 23 (Hersteller B) .....	16
4.7.3 Vergleich der beiden Transistoren SOT 23.....	17
4.8 SOD 87.....	18
4.9 SOD 123 (P-SOD 123/323) .....	19
<b>5. Empfehlung für das Ökodesign</b> .....	<b>20</b>
5.1 Ökologische Verbesserung der Bauteile .....	20
5.2 Weitere Anwendungen .....	21
5.3 Forschungsbedarf .....	21
<b>6. Literatur</b> .....	<b>22</b>

### *Anhang (optional für Mitglieder der exact AGU)*

---

#### **Klassifikationsfaktoren für die wichtigsten Inhaltsstoffe von Elektronikbauteilen (aktualisiert)**

#### *Für den eiligen Leser*

---

Für einen raschen Überblick sei dem Leser folgende Seiten empfohlen:

<b>Zusammenfassung</b>	Seite 2
<b>Vereinfachte ökologische Bewertung elektronischer Bauteile</b>	Seite 3
<b>Vorgehen bei der Simplified LCA für Elektronikbauteile</b>	Seite 6
<b>Resultate</b> der Bewertung der Bauteile	Seite 8-19
<b>Empfehlungen</b> für ökologische Verbesserungen	Seite 20
<b>Literatur</b>	Seite 22

---

## 1. Zusammenfassung

---

In diesem Bericht werden die relevanten Umweltwirkungen von acht elektronischen Bauteilfamilien (Bedrahteter Metallfilmwiderstand 0.25W, Flachchipwiderstand 1206, IC im Plastikgehäuse SO8, Aluminium Elektrolyt Kondensator Ø5x12mm, vier Transistoren (TO 92 (verschiedene Hersteller), SOT 23 (verschiedene Hersteller) und von zwei Dioden (SOD 87, SOD 123) aufgezeigt, welche mit einer vereinfachten ökologischen Bewertungsmethode (Simplified LCA) bewertet wurden. Die Bauteile wurden mit der von der exact Arbeitsgruppe Umweltfragen (AGU) und der ETH Zürich entwickelten Bewertungsmethode [Stutz, 1997a; Stutz, 1997b] bewertet.

Da bestehende Konzepte zur Beurteilung der Umweltwirkungen durch den hohen Zeit- und Kostenaufwand handicapiert sind, wird eine vereinfachte Ökobilanz vorgeschlagen, welche auf der stofflichen Zusammensetzung der Elektronikkomponenten basiert. Dabei wird die ökologische Relevanz der Bauteile mittels des Energieverbrauchs bei der Produktion, des Ressourcenverbrauchs und der human- und ökotoxischen Wirkungen bewertet.

Die vereinfachte ökologische Bewertung zeigt die grössten Umweltwirkungen durch das Kupfer in den Anschlussdrähten des bedrahteten Widerstandes resp. in den Leadframes des IC und durch den Energieverbrauch bei der Produktion des IC und durch das Epoxidharz in der Moldmasse.

Eine ökologische Verbesserung der Bauteile lässt sich einerseits durch den Einsatz von SMD-Komponenten statt bedrahteter Bauteile und andererseits durch die Verringerung der Masse des Leadframes und der Moldmasse und ausserdem durch den Einsatz von Stahl (z.B. FeNi<sub>42</sub>) anstelle des Kupfers und von Quarzpulver (SiO<sub>2</sub>) anstelle des Epoxidharzes erreichen.

Beim Vergleich der zwei Transistoren TO 92 schneidet der eine Transistor ökologisch leicht besser ab. Dieses Resultat ist aber unsicher, da das bei diesem Bauteil vorhandene Gold wegen fehlenden Faktoren nicht bewertet werden kann.

Beim Vergleich der Transistoren SOT 23 schneidet der eine Transistor wegen des Leadframes aus Stahl (FeNi<sub>42</sub>) ökologisch besser ab.

## 2. Vereinfachte ökologische Bewertung elektronischer Bauteile

---

### Handlungsbedarf

Produktion, Gebrauch und Entsorgung von Elektronikbauteilen haben Wirkungen auf unsere Umwelt. Die Umweltwirkungen werden durch den hohen Energieverbrauch bei Produktion und Gebrauch, durch den Abbau von nichterneuerbaren Ressourcen und durch die Verwendung von toxischen Stoffen, wie Schwermetalle (z.B. Blei, Cadmium) oder halogenierten organische Verbindungen (z.B. bromierte Flammschutzmittel), hervorgerufen. Die Elektronikindustrie ist daher herausgefordert, ökologische Aspekte bei der Entwicklung von elektronischen Produkten zu integrieren. Diese Anforderungen machen eine schnelle und anwenderfreundliche Methode zur Erfassung der Umweltwirkungen von elektronischen Komponenten notwendig, welche gleichzeitig wissenschaftlichen Kriterien genügt. Die Methode soll sowohl Produktentwicklern als auch Marketingfachleuten und Entscheidungsträgern eine Möglichkeit geben, Produkte und Prozesse hinsichtlich ihrer potentiellen Umweltwirkungen zu vergleichen.

### Simplified LCA

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurde von der exact Arbeitsgruppe Umweltfragen (exact AGU) eine vereinfachte ökologische Bewertung für Elektronikbauteile vorgeschlagen [Stutz, 1997b]. Dabei wird einerseits der Energieverbrauch bei Produktion nach Menge und Art der Energieproduktion und andererseits der Stoffinhalt der Bauteile (Chemical Content) mit den drei Indikatoren Ressourcenverbrauch, Öko- und Humantoxizität bewertet.

Je höher der *Energieverbrauch bei Produktion* ist, desto grösser sind die damit verbundenen Umweltwirkungen. Je nach Art der Energieproduktion (z.B. Kohlekraftwerk, Kernkraftwerk, Wasserkraftwerk) kann die Umweltwirkung abgeschätzt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Energieproduktion mit fossilen Brennstoffen die meisten Umweltwirkungen hat.

Die Mengenangabe der eingesetzten Stoffe aus dem *Chemical Content* wird verwendet, um die Umweltwirkungen des Ressourcenverbrauchs und die human- und ökotoxischen Wirkungen zu bestimmen. Dabei werden die Mengen mit den Umweltfaktoren (siehe Anhang) für Ressourcenverbrauch, Human- und Ökotoxizität multipliziert, was den Umweltwert ergibt.

$$\text{Stoffmenge} \times \text{Umweltfaktor} = \text{Umweltwert}$$

Die Umweltwerte der einzelnen Stoffe werden für Ressourcenverbrauch, Human- und Ökotoxizität je summiert und ergeben so die totalen Umweltwerte des Bauteiles. Je höher der Umweltwert, desto mehr Umweltwirkungen hat das Bauteil.

## Screening-Indikatoren

Der erste Schritt bei einer Simplified LCA ist das Screening. Beim Screening werden mittels Screening-Indikatoren die relevanten Umweltwirkungen erfasst. Im Fall von Elektronikkomponenten und -produkten werden aufgrund einer detaillierten Studie [Stutz, 1997] die folgenden Screening-Indikatoren vorgeschlagen:

- *Energieverbrauch bei Produktion*
- *Ressourcenverbrauch*
- *Wirkungsklasse Humantoxizität*
- *Wirkungsklasse Ökotoxizität*

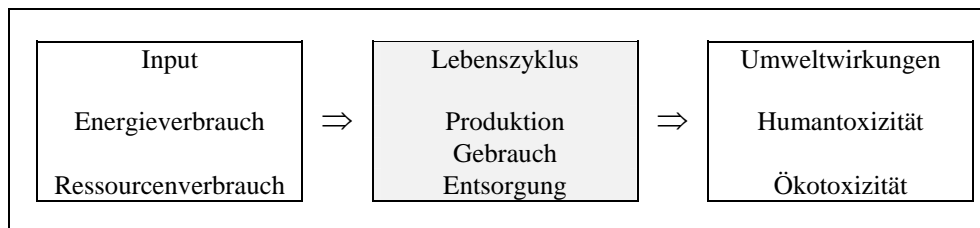


Abbildung 1 Screening-Indikatoren für die ökologische Bewertung von Elektronikbauteilen.

Diese Kombination von *Input-Screening-Indikatoren* (Energie-, Ressourcenverbrauch) und *Output-Screening-Indikatoren* (Human-, Ökotoxizität) erhöht die Verlässlichkeit des Screenings.

### Indikator Energieverbrauch

Im Fall des Screening-Indikators *Energieverbrauch* wird der Verbrauch von Energie für die Produktion von Elektronikkomponenten in Betracht gezogen. Für eine detailliertere Bewertung des Energieverbrauchs ist die Bezeichnung der Energie (z.B. Öl, Kohle, Gas, Strom aus Wasserkraftwerken usw.) sinnvoll, da nicht alle Energieträger die gleichen Emissionen haben. Die Begründung für diesen Indikator liegt darin, dass verschiedene umweltrelevante Emissionen (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) sehr stark mit der Energieproduktion gekoppelt sind. So wird davon ausgegangen, dass der Energieverbrauch für 65% aller Treibhausgase (wie z.B. CO<sub>2</sub>, verstärkt die globale Erwärmung) und für 90% der SO<sub>2</sub>-Emissionen (bewirkt Versauerung) verantwortlich ist.

### Indikator Ressourcenverbrauch

Mit dem Indikator *Ressourcenverbrauch* wird aufgezeigt, welche Umweltwirkungen der Abbau einer Ressource hat. Deren Umweltwirkungen sind Landverbrauch und Emissionen beim Abbau. Die Umweltwirkungen beim Abbau sind je nach Art der Ressource verschieden gross. Von Guinée [1995] wurden deshalb Umweltfaktoren entwickelt, mit denen die Umweltwirkungen beim Abbau verschiedener Ressourcen bewertet und verglichen werden können.

### Indikator Wirkungsklasse Humantoxizität

Beim Indikator *Wirkungsklasse Humantoxizität* werden die potentiellen Wirkungen der Inhaltstoffe der Bauteile auf den Menschen betrachtet. Dabei werden Schwermetalle und andere eingesetzte Stoffe wie Arsen, Antimon, organische Verbindungen nach ihren Wirkungen auf die Gesundheit des Menschen bewertet. Die verwendeten Schwermetalle können gesundheitsschädigend (Blei, Kobalt, Molybdän), erbgutschädigend (Chrom VI, Nickel) und fruchtschädigend (Cadmium) wirken. Die Wirkungsklasse Humantoxizität wurde von Heijungs [1992] für die Ökobilanzmethode CML (Centrum voor Milieukunde, Leiden, NL) mit Umweltfaktoren verschiedener Stoffe ausführlich beschrieben.

## Indikator Wirkungsklasse Ökotoxizität

Mit dem Indikator *Wirkungsklasse Ökotoxizität* werden die potentiellen Wirkungen der Inhaltsstoffe der Bauteile auf die Umwelt bewertet. Dabei werden vor allem die Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden betrachtet. Beurteilt wird die Anreicherung in Lebewesen (Bioakkumulation), die Nicht-Abbaubarkeit (Persistenz) und die Giftigkeit auf Wasser- und Bodenorganismen. Hauptproblem bei Elektronikkomponenten sind die eingesetzten Schwermetalle (z.B. Quecksilber, Silber) und halogenierten organischen Verbindungen wie chlorierte Paraffine (Weichmacher in Kunststoffen) oder bromorganische Verbindungen (Flammenschutzmittel in Kunststoffen).

Wie die Humantoxizität, wurde die Wirkungsklasse Ökotoxizität mit Umweltfaktoren von Heijungs [1992] für die CML-Methode ausführlich beschrieben.

### 3. Vorgehen bei der Simplified LCA für Elektronikbauteile

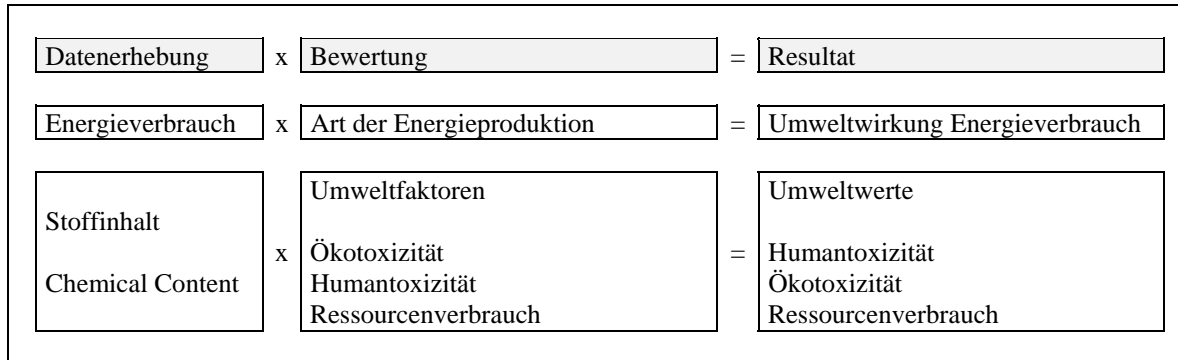


Abbildung 2 Schema der Simplified LCA für Elektronikbauteile mit der Datenerhebung, der Bewertung mit Umweltfaktoren und den Resultaten als Umweltwerte resp. als Umweltwirkung des Energieverbrauchs.

#### Daten erheben

Für das Screening von Elektronikbauteilen müssen also die folgenden Daten erhoben werden:

- *Energieverbrauch bei der Produktion der Bauteile*
- *Stoffliche Zusammensetzung der Bauteile (Chemical Content)*

Der *Energieverbrauch bei der Produktion* kann von den Herstellern erfragt werden. Ist diese Information nicht erhältlich, so können Energiedaten aus der Literatur herangezogen werden (z.B. MCC-Report, 1993). Die *stoffliche Zusammensetzung* (Chemical Content) mit den entsprechenden Gewichtsangaben werden von den Produzenten auf Anfrage (meistens) angegeben und in Form eines Datenblattes abgegeben. Die exact AGU hat diese Angaben für die am häufigsten verwendeten elektronischen Komponenten in aufwendiger Kleinarbeit von den Herstellern direkt erhalten.

Bei einer Bewertung der Umweltwirkung basierend auf den Angaben Energieverbrauch und Chemical Content muss beachtet werden, dass in der Produktion ein gewisser Ausschuss anfällt. Für die Produktion eines Bauteiles muss also mehr Rohstoff eingesetzt werden, als schliesslich in diesem zu finden ist.

#### Daten bewerten

Je höher der *Energieverbrauch bei Produktion* ist, desto grösser sind die damit verbundenen Umweltwirkungen. Je nach Art der Energieproduktion (z.B. Kohlekraftwerk, Kernkraftwerk, Wasserkraftwerk) kann die Umweltwirkung abgeschätzt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Energieproduktion mit fossilen Brennstoffen die meisten Umweltwirkungen hat.

Die Mengenangabe der eingesetzten Stoffe aus dem *Chemical Content* wird verwendet, um die Umweltwirkungen des Ressourcenverbrauchs und die human- und ökotoxischen Wirkungen zu bestimmen. Dabei werden die Mengen mit den Umweltfaktoren für Ressourcenverbrauch, Human- und Ökotoxizität multipliziert, was den Umweltwert ergibt.

$$\text{Stoffmenge} \times \text{Umweltfaktor} = \text{Umweltwert}$$

Die Umweltwerte der einzelnen Stoffe werden für Ressourcenverbrauch, Human- und Ökotoxizität je summiert und ergeben so die totalen Umweltwerte des Bauteiles. Je höher der Umweltwert, desto mehr Umweltwirkungen hat das Bauteil.

## Einschränkungen

Beim Arbeiten mit der vorgeschlagenen Methode müssen die folgenden Einschränkungen beachtet werden:

Mit der vereinfachten ökologischen Bewertung für Elektronikbauteile kann nur von „cradle to gate“ bewertet werden. Es wird also nur die Produktion der Bauteile mit den jeweiligen vorgelagerten Prozessen wie Gewinnung, Transporte, Aufbereitung und Verarbeitung der Rohstoffe betrachtet.

Die Gebrauchsphase der Bauteile (Transporte, Bestücken, Löten, Energieverbrauch während dem Betrieb) wird nicht berücksichtigt, da hierzu fast keine Daten erhältlich sind.

Auch die Entsorgung der Bauteile wird wegen der fehlenden Daten, zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht berücksichtigt.

## Software

Für die Bewertung der Bauteile wurde das Ökobilanz-Softwaretool *SimaPro* der Firma *Pré Consultants* herangezogen. Die Umweltfaktoren für Ressourcenverbrauch, Öko- und Humantoxizität wurden darin implementiert. Dank der umfangreichen Datenbank konnten viele Stoffe bewertet werden. Leider sind aber nicht alle benötigten Stoffe enthalten, als besonders schwerwiegend wurde das Fehlen von Gold und Antimon empfunden.



## 4. Resultate der Simplified LCA bei neun Bauteilefamilien

### 4.1 Metallfilm-Widerstand bedrahtet (1/4 Watt)

Inhaltsstoff		Gewicht [mg]	Ökotoxizität	Humantoxizität	Ressourcenverbrauch
Keramik	Widerstandskörper	43.32	3.84E-09	4.68E-09	3.28E-08
Kupfer	Anschlussdraht	141.36	1.16E-10	1.50E-06	6.97E-07
Eisen	Anschlusskappen	31.69	4.63E-10	3.30E-09	1.94E-08
Nickel	Widerstandsmaterial	0.28	9.52E-14	4.62E-09	3.19E-09
Lack	Lackierung	9.12	1.68E-10	1.66E-09	1.35E-08
Total		225.77	4.59E-09	1.51E-06	7.66E-06

Energieverbrauch Produktion	UCTPE Niederspannungs-Strommix	0.002 kWh
-----------------------------	--------------------------------	-----------

Tabelle 1 Stoffliche Zusammensetzung und Umweltwerte sowie Energieverbrauch bei der Produktion für den bedrahteten Metallfilm-Widerstand 0.25W.

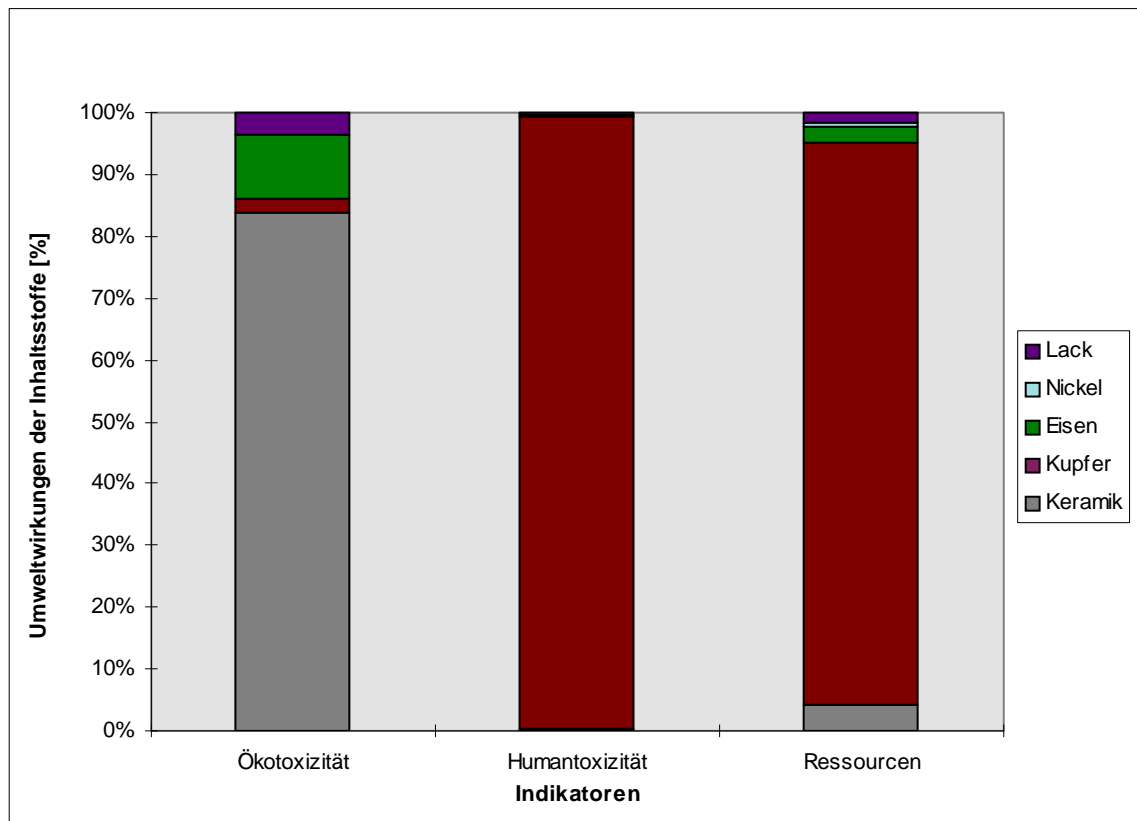


Abbildung 3 Umweltwirkungen der Inhaltsstoffe (in % des totalen Umweltwerts) beim bedrahteten Metallfilm-Widerstand 0.25W.

Die hohen Umweltwerte des Anschlussdrahtes (für Humantoxizität und Ressourcenverbrauch) liegen einerseits darin begründet, dass die Anschlussdrähte einen grossen Teil des Gewichts (140mg, 60%) ausmachen, andererseits hat Kupfer bei der Humantoxizität einen grossen Umweltfaktor. Dieser ist auf die bei der Produktion freierwerdenden Schadstoffe zurückzuführen. Beim Keramikkörper (43mg, 20%) ist die verwendete Menge für den hohen Umweltwert der Ökotoxizität ebenfalls verantwortlich. Daneben tragen die vorgelagerten Prozesse der Keramikproduktion hauptsächlich zum hohen Umweltfaktor bei.

## 4.2 Flachchipwiderstand 1206 (1/4 Watt, SMD)

Inhaltsstoff		Gewicht [mg]	Ökotoxizität	Humantoxizität	Ressourcenverbrauch
Keramik	Widerstandskörper	8.5446	7.58E-10	9.23E-11	6.47E-09
Silber	Widerstandsmaterial	0.4394	2.92E-10	7.64E-10	3.85E-09
Nickel	Widerstandsmaterial	0.4394	1.49E-13	7.25E-09	5.01E-09
Glas	Glaspassivierung	0.1717	0	2.30E-11	5.20E-11
Lack	Lackierung	0.1515	2.79E-12	2.30E-11	2.24E-10
Total		9.7466	1.05E-09	8.98E-09	1.56E-08

Energieverbrauch Produktion	UCTPE Niederspannungs-Strommix	0.0009 kWh
-----------------------------	--------------------------------	------------

Tabelle 2 Stoffliche Zusammensetzung und Umweltwerte sowie Energieverbrauch bei der Produktion für den Flachchipwiderstand 1206.

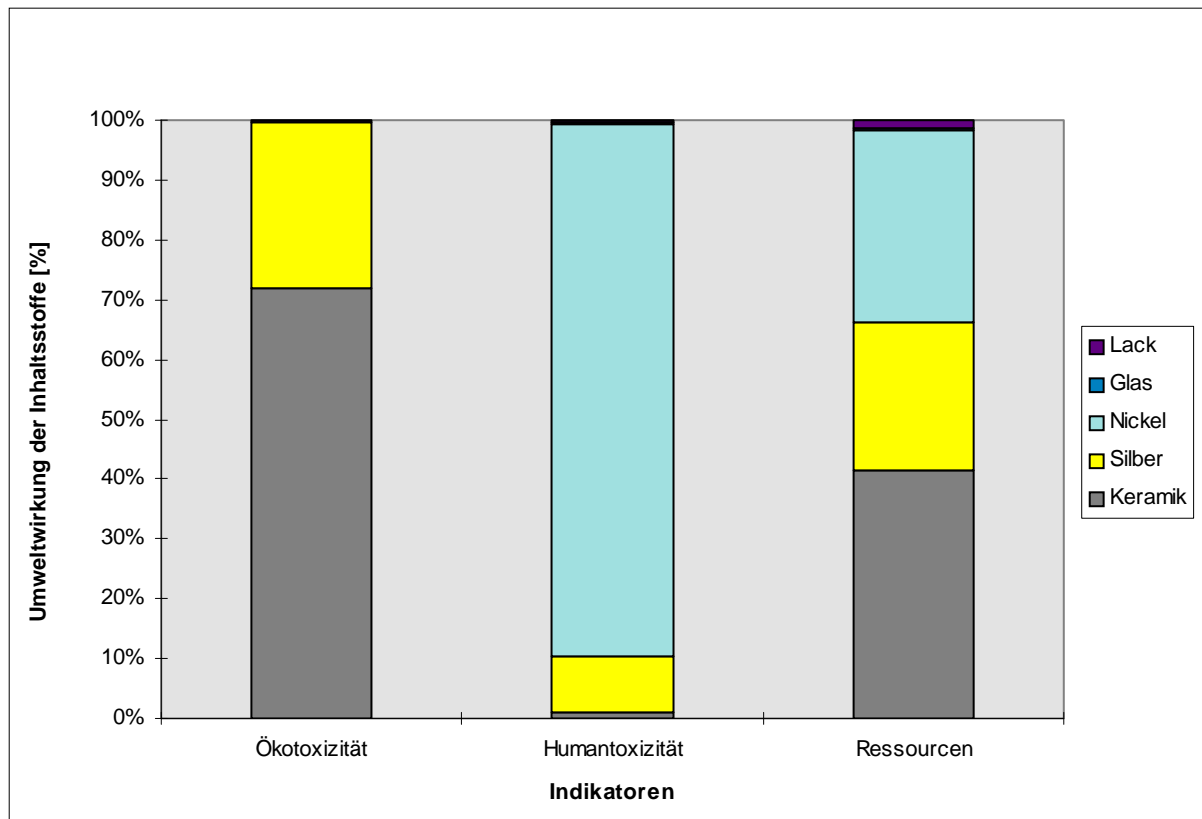


Abbildung 4 Umweltwirkungen der Inhaltsstoffe (in % des totalen Umweltwerts) beim Flachchipwiderstand 1206.

Bei der Humantoxizität zeigt Nickel den höchsten Umweltwert. Obwohl Nickel für das Widerstandsmaterial nur in geringen Mengen (0.4mg, 4.5%) eingesetzt wird, hat es dennoch starke Auswirkung auf die Gesundheit des Menschen. Da Nickel als erbgutschädigend eingestuft wird, ist der hohe Umweltwert verständlich. Gleich wie beim bedrahteten Widerstand zeigt die Keramik eine hohe Ökotoxizität. Einerseits liegt dies an der eingesetzten Menge (8.5mg, 87%) und andererseits an den ökotoxischen Eigenschaften der vorgelagerten Produktionsprozesse.

4.3 IC im Plastikgehäuse SO-8 (SMD)

Inhaltsstoff		Gewicht [mg]	Ökotoxizität	Humantoxizität	Ressourcenverbrauch
SiO <sub>2</sub>	Moldmasse	27.324	1.08E-11	2.74E-11	4.43E-10
Epoxidharz	Moldmasse	9.677	9.12E-10	9.91E-10	2.99E-08
Kupfer	Metallstreifen	27.048	2.23E-11	2.87E-07	1.33E-07
Eisen	Metallstreifen	0.552	8.06E-12	5.74E-11	3.38E-10
Blei	Verzinnung	0.083	7.17E-14	3.98E-11	1.28E-10
Zinn	Verzinnung	0.055	9.02E-14	5.85E-11	4.32E-10
Silber	Silberleitkleber	0.676	4.50E-10	1.18E-09	5.93E-09
Epoxidharz	Silberleitkleber	0.290	2.73E-11	2.97E-11	8.95E-10
Silizium	Siliziumchip	2.186	1.44E-12	8.25E-10	6.35E-09
Total		67.887	1.43E-09	2.90E-07	1.78E-07

Energieverbrauch Produktion	UCTPE Niederspannungs-Strommix	0.5796 kWh
-----------------------------	--------------------------------	------------

Tabelle 3 Stoffliche Zusammensetzung und Umweltwerte sowie Energieverbrauch bei der Produktion für den IC im Plastikgehäuse SO8.

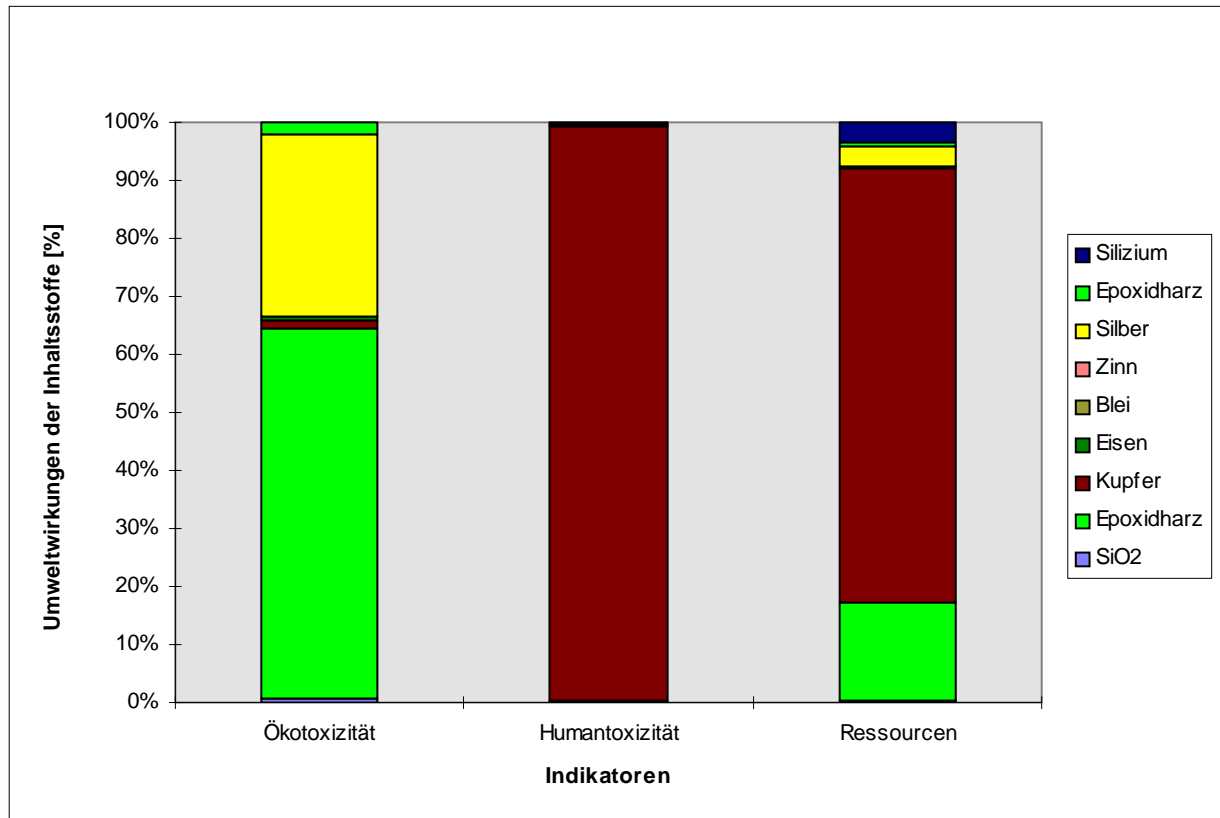


Abbildung 5 Umweltwirkungen der Inhaltsstoffe (in % des totalen Umweltwerts) beim IC SO8.

Das Kupfer im Leadframe (27mg, 40%) zeigt bei der Humantoxizität und dem Ressourcenverbrauch die höchsten Umweltauswirkungen, was durch die hohe Masse bedingt ist.

Im Fall der Ökotoxizität hat das Epoxidharz der Moldmasse die höchsten Umweltwerte, was durch die bei der Produktion verwendeten Stoffe bedingt ist.

Die Produktion der IC ist sehr energieintensiv, was mit den notwendigen Reinräume zusammenhängt, deren Lüftung und Filterung sehr viel Energie benötigen. Gerade in diesem Fall ist anzunehmen, dass die Umweltwirkungen durch die Energie höher sind als die der Inhaltsstoffe.

4.4 Aluminium Elektrolyt Kondensator (Ø5x12 mm, bedrahtet)

Inhaltsstoff		Gewicht [g]	Ökotoxizität	Humantoxizität	Ressourcenverbrauch
Aluminium	Becher, Folie	0.21992	8.21E-11	2.74E-07	1.27E-06
Elektrolyt		0.03212	8.07E-10	2.88E-09	7.21E-08
Gummi	Stopfen	0.06228	3.80E-09	1.48E-08	2.16E-07
Papier	Abstandshalter	0.01908	9.53E-11	2.68E-09	3.03E-09
PVC	Äussere Isolation	0.02868	3.27E-09	2.40E-09	6.65E-08
PP	Fixierband	0.00704	2.96E-10	1.22E-09	2.45E-08
Eisen	Bedrahtung	0.02548	3.72E-09	2.65E-11	1.56E-08
Kupfer	Drahtbeschichtung	0.00260	6.20E-10	2.77E-09	7.12E-09
Zinn	Drahtverzinnung	0.00228	3.76E-12	2.44E-09	1.80E-08
Blei	Drahtverzinnung	0.00048	4.33E-13	2.41E-10	7.73E-10
Total		0.39736	1.21E-08	3.06E-07	1.69E-06

Energieverbrauch Produktion	UCTPE Niederspannungs-Strommix	keine Angaben
-----------------------------	--------------------------------	---------------

Tabelle 4 Stoffliche Zusammensetzung und Umweltwerte sowie Energieverbrauch bei der Produktion für den Aluminium Elektrolyt Kondensator Ø5x12mm.

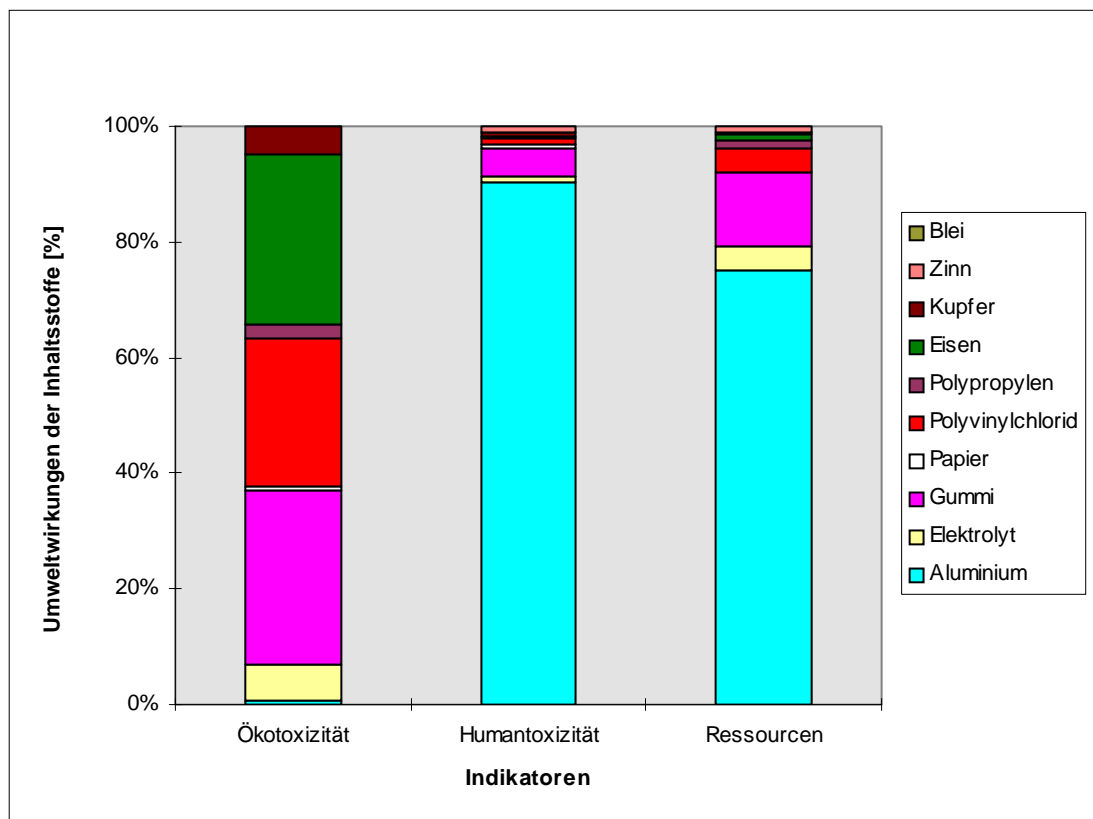


Abbildung 6 Umweltwirkungen der Inhaltsstoffe (in % des totalen Umweltwerts) beim Aluminium Elektrolyt Kondensator.

Bei der Humantoxizität und dem Ressourcenverbrauch hat das Aluminium die höchsten Umweltwerte, was mit dem mengenmässigen Einsatz für Becher und Folie (0.22g, 55%) erklärt werden kann. Die hohen Umweltwerte bei der Ökotoxizität für Gummi, PVC und Eisen kann einerseits mit dem Anteil dieser Stoffe am gesamten Kondensator erklärt werden (0.06 resp. je 0.02g, 15 resp. je 5%), andererseits haben gerade PVC und Eisen wegen der Nebenprodukte bei der Herstellung einen hohen Umweltfaktor.

4.5 Transistor TO 92 (bedrahtet)

Inhaltsstoff		Masse [mg]	Ökotoxizität	Humantoxizität	Ressourcenverbrauch
Epoxidharz	Moldmasse	12.88	1.21E-09	1.32E-09	3.98E-08
EH bromiert	Moldmasse	0.46	4.33E-11	4.71E-11	1.42E-09
SiO <sub>2</sub>	Moldmasse	54.74	2.15E-11	5.49E-11	8.87E-10
Cu <sub>0,90</sub> Zn <sub>0,10</sub>	Leadframe	161	1.43E-09	1.46E-06	7.43E-07
Zinn	Leadframe	0.23	3.76E-13	2.44E-10	1.80E-09
Blei	Leadframe	0.23	1.99E-13	1.11E-10	3.55E-10
Silizium	Chip	0.46	3.03E-13	1.74E-10	1.34E-09
Total		230	2.71E-09	1.46E-06	7.89E-07

Energieverbrauch Produktion	UCTPE Niederspannungs-Strommix	n.a.
-----------------------------	--------------------------------	------

Tabelle 1 Stoffliche Zusammensetzung und Umweltwerte sowie Energieverbrauch bei der Produktion für den Transistor TO 92.

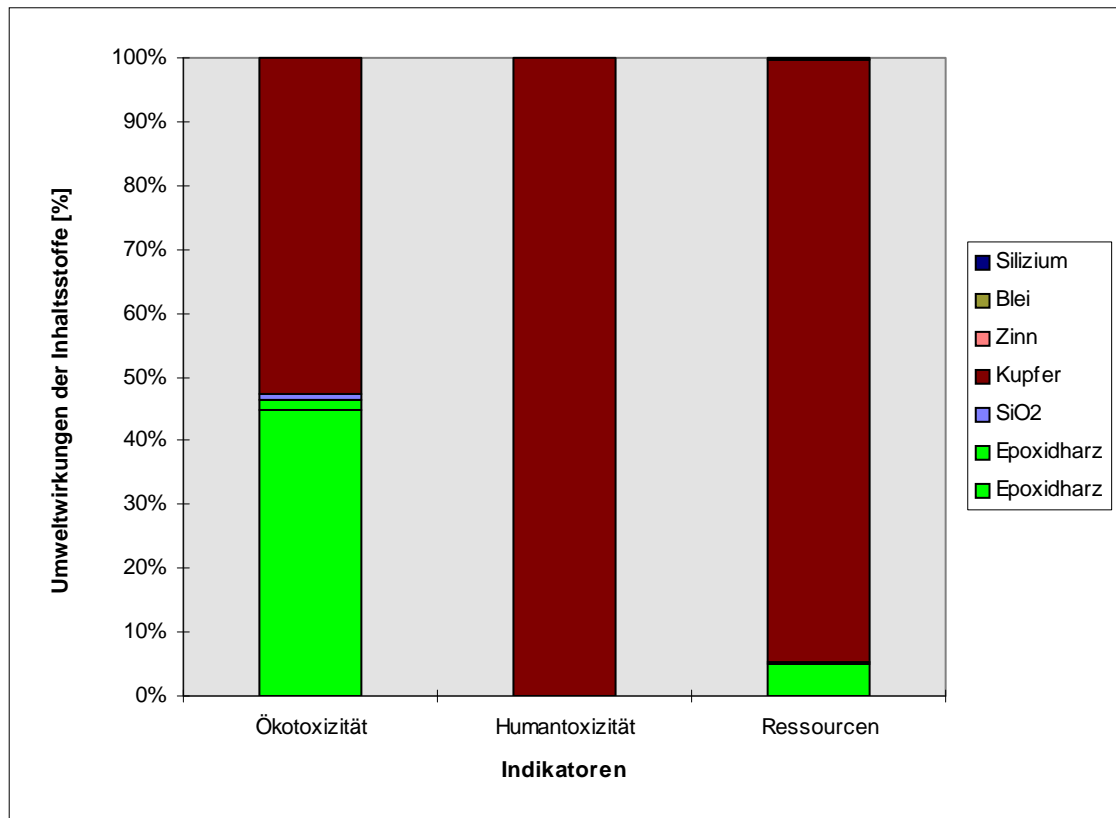


Abbildung 3 Umweltwirkungen der Inhaltsstoffe (in % des totalen Umweltwerts) beim Transistor TO 92.

Das Kupfer (Cu<sub>0,90</sub>Zn<sub>0,10</sub>) des Leadframes zeigt für alle drei Indikatoren die höchsten Werte. Dies hängt vor allem von der hohen Masse (160mg) ab. Daneben hat Kupfer einen hohen humantoxischen Umweltfaktor, was auf die grossen Umweltwirkungen der Gewinnungsprozesse zurückzuführen ist. Könnte die Masse des Leadframes verringert werden oder könnte statt des Kupfers Stahl verwendet werden, so würde die Umweltbelastung markant zurückgehen.

Bei der Ökotoxizität hat das Epoxidharz der Moldmasse ebenfalls grosse Umweltwirkungen. Erklärt werden kann dies durch die Umweltwirkungen der Vorproduktion. Würde statt des Epoxidharzes vermehrt Quarzpulver (SiO<sub>2</sub>) verwendet, so könnten die Umweltwirkungen der Moldmasse verkleinert werden.

**4.6 Transistor SOT 54 (bedrahtet, TO 92 ähnl.)**

Inhaltsstoff		Masse [mg]	Ökotoxizität	Humantoxizität	Ressourcenverbrauch
CuZn <sub>15</sub>	Leadframe	112.5	9.97E-10	1.02E-06	5.19E-07
SnPb	Verzinnung	1.25	1.56E-12	9.63E-10	5.86E-09
Gold	Bonddraht	0.25	-	-	-
Epoxidharz	Moldmasse	37.94	3.57E-09	3.87E-09	1.17E-09
SiO <sub>2</sub>	Moldmasse	97.56	3.84E-11	9.76E-11	1.58E-09
Silizium	Chip	0.5	3.29E-13	1.89E-10	1.45E-09
Total		250	4.16E-09	1.03E-06	5.29E-07

Energieverbrauch Produktion	UCTPE Niederspannungs-Strommix	n.a.
-----------------------------	--------------------------------	------

Tabelle 2 Stoffliche Zusammensetzung und Umweltwerte sowie Energieverbrauch bei der Produktion für den Transistor SOT 54.

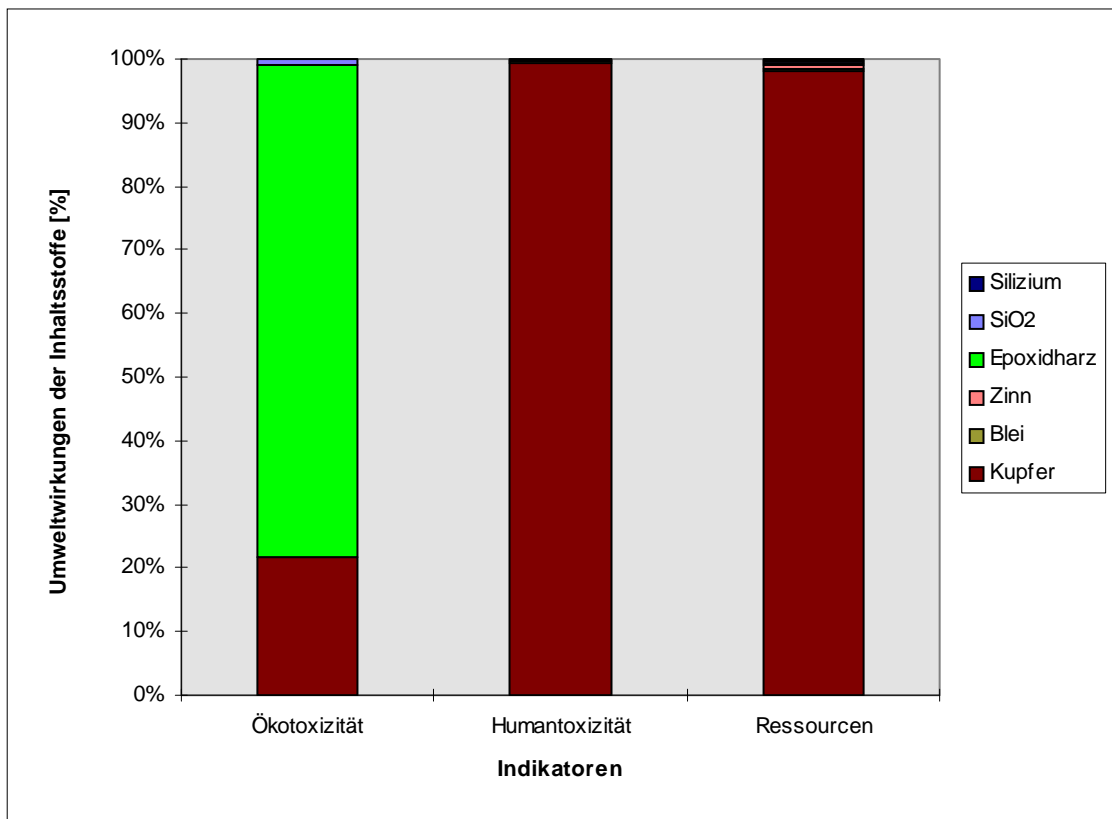


Abbildung 2 Umweltwirkungen der Inhaltsstoffe (in % des totalen Umweltwerts) beim Transistor SOT 54.

Auch hier zeigt das Kupfer (CuZn<sub>15</sub>) des Leadframes bei den Indikatoren Humantoxizität und Ressourcenverbrauch die grössten Umweltwirkungen. Analog zum Transistor TO 92 ist dieses Ergebnis durch die grosse Masse (110mg) bedingt.

Das Epoxidharz hat für die Ökotoxizität die grösste Umweltwirkung. Hier spielt neben der Vorproduktion die Masse (40mg) die Hauptrolle.

Die Umweltfaktoren für Gold sind nicht vorhanden. Gold ruft wie alle anderen Edelmetalle (Silber, Platin, Palladium) auch in geringen Mengen grosse Umweltwirkungen hervor - dies vor allem wegen der Umweltauswirkungen bei der Gewinnung. Eine Abschätzung soll zeigen, welchen Einfluss das Gold haben könnte:

Gold	0.25mg	Ökotox	Humantox	Ressource
Best Case	Faktoren Au= Faktoren Ni	8.50E-14	4.13E-09	2.86E-09
Worst Case	Faktoren Au= Faktoren Ni x Verhältnis Preis Ni/Au	1.50E-10	7.30E-06	5.04E-06

Tabelle 3 Abschätzung der Umweltwirkungen von Gold beim Transistor im SOT 54-Gehäuse

Im besten Fall kann die Umweltwirkung durch den Gebrauch von Gold also vernachlässigt werden, da die Umweltwerte von Gold um Größenordnungen kleiner sind, als die Umweltwerte für Kupfer und Epoxidharz.

Im schlechtesten Fall übertreffen die Umweltwirkungen des Goldes diese des Kupfers. Das bedeutet, dass das Gold zu dem Stoff mit den grössten Umweltwirkungen wird und dies trotz der verschwindend kleinen Menge. Das Gesamtergebnis wird dadurch auch verändert (siehe unten).

Die Wahrheit dürfte aber irgendwo in der Mitte liegen. Bis aber genaue Faktoren für Gold vorhanden sind, muss diese Anschätzung genügen.

#### 4.6.1 Vergleich der beiden Transistoren TO 92 / SOT 54

		Masse [mg]	Ökotoxizität	Humantoxizität	Ressourcenverbrauch
TO 92		230	2.71E-09	1.46E-06	7.89E-07
SOT 54	ohne Gold	250	4.16E-09	1.03E-06	5.29E-07
SOT 54 mit Au	best case	250	4.16E-09	1.03E-06	5.32E-07
SOT 54 mit Au	worst case	250	4.76E-09	8.32E-06	5.57E-06

Tabelle 4 Vergleich der Umweltwerte der Transistoren TO 92.

Im Fall der Ökotoxizität schneidet der Transistor TO 92 immer besser ab, dies vor allem wegen der geringeren Masse des Epoxidharzes.

Bei der Humantoxizität schneidet der Transistor TO 54 für die Bewertung ohne Gold und den best case, besser ab. Dies verändert sich, wenn der worst case betrachtet wird. Es ist anzunehmen, dass die Umweltwirkungen für beide Transistoren gleich sein werden, wenn beim Transistor SOT 54 das Gold mit den richtigen Faktoren bewertet wird.

Der Transistor SOT 54 schneidet gleich wie bei der Humantoxizität beim Ressourcenverbrauch besser ab. Nur im worst case sind die Umweltwirkungen durch das Gold entscheidend höher.

Eine abschliessende Bewertung ist nicht leicht zu fällen, da nicht bei allen Indikatoren der Transistor SOT 54 besser abschneidet. Dazu kommt die Unsicherheit durch die fehlenden Faktoren für Gold. Da aber der Transistor TO 92 20mg leichter ist, sollte er auch tiefer Umweltwerte haben, was aber nur für die Ökotoxizität und den worst case zutrifft. Aus ökologischen Gründen ist daher der Transistor SOT 54 vorzuziehen.

### 4.7 Transistor SOT 23 (SMD)

#### 4.7.1 SOT23 (Hersteller A)

Inhaltsstoff		Masse [mg]	Ökotoxizität	Humantoxizität	Ressourcenverbrauch
FeNi42	Leadframe	2.536	3.51E-11	8.80E-10	1.95E-09
SnPb30	Verzinnung	0.0296	2.30E-11	3.76E-11	2.38E-10
Au	Draht	0.128	-	-	-
Epoxidharz	Moldmasse	1.4	1.32E-10	1.43E-10	4.33E-09
SiO <sub>2</sub>	Moldmasse	3.6	1.42E-12	3.60E-12	5.83E-11
Silizium	Chip	0.04	2.63E-14	1.51E-11	1.16E-10
Total		8	1.91E-10	1.08E-09	6.69E-09

Energieverbrauch Produktion	UCTPE Niederspannungs-Strommix	n.a.
-----------------------------	--------------------------------	------

Tabelle 5 Stoffliche Zusammensetzung und Umweltwerte sowie Energieverbrauch bei der Produktion für den Transistor SOT 23 (Hersteller A).

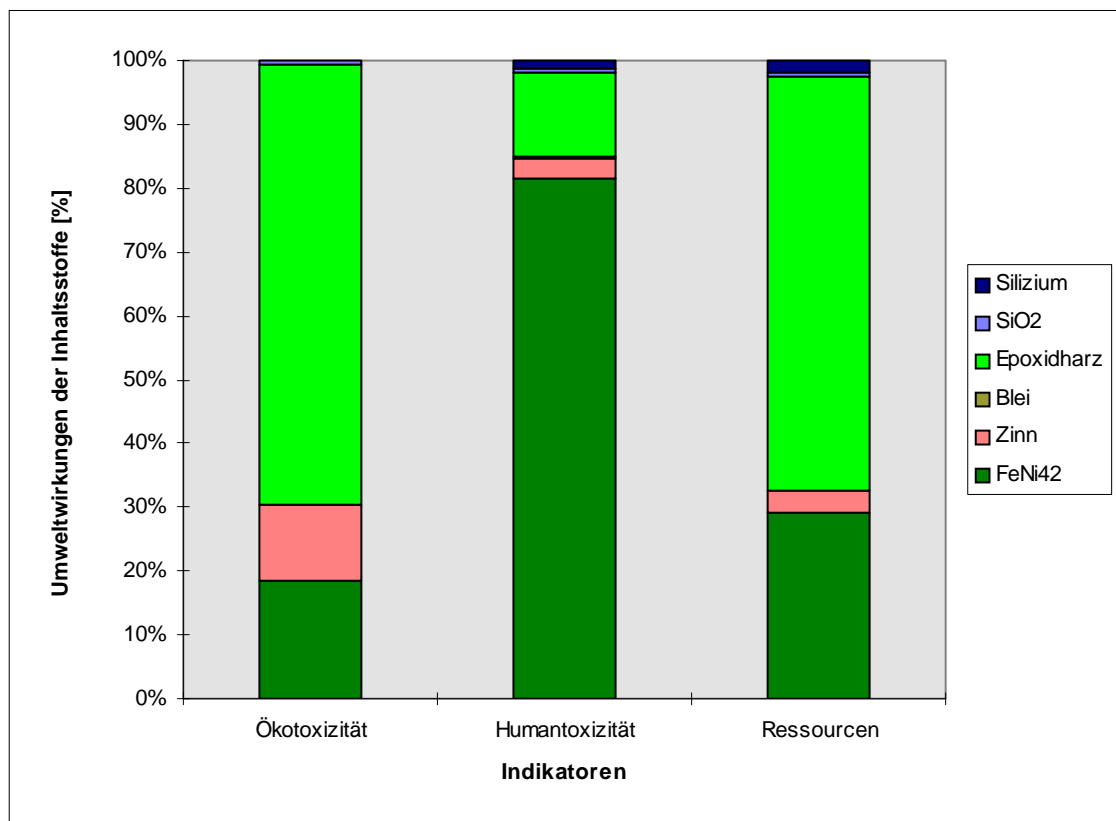


Abbildung 3 Umweltwirkungen der Inhaltsstoffe (in % des totalen Umweltwerts) beim Transistor SOT 23 (Hersteller A).

Die hauptsächlichen Umweltwirkungen bei der Ökotoxizität und dem Ressourcenverbrauch werden durch das Epoxidharz hervorgerufen. Zu erklären ist das durch die Masse (1.4mg) und die Umweltwirkungen der Vorproduktion.

Bei der Humantoxizität zeigt das Eisen (FeNi<sub>42</sub>) die höchsten Umweltwerte. Diese sind aber auf jeden Fall geringer als dies des Kupfers. Ein Leadframe aus FeNi<sub>42</sub> ist also aus ökologischer Sicht einem solchen aus Kupfer vorzuziehen.



#### 4.7.2 SOT23 (Hersteller B)

Inhaltsstoff		Masse [mg]	Ökotoxizität	Humantoxizität	Ressourcenverbrauch
Kupfer	Leadframe	2.637792	2.17E-12	2.80E-08	1.30E-08
Silber	Leadframe	0.300312	2.00E-10	5.23E-10	2.63E-09
Nickel	Leadframe	0.027864	9.44E-15	4.59E-10	3.18E-10
Chrom	Leadframe	0.018576	1.16E-14	1.16E-11	1.04E-10
Titan	Leadframe	0.01548	9.91E-15	3.82E-11	3.11E-10
Blei	Leadframe	0.009288	7.96E-15	4.43E-12	1.42E-11
SiO <sub>2</sub>	Moldmasse	3.261552	1.28E-12	3.27E-12	5.29E-11
Epoxidharz	Moldmasse	1.18768	1.12E-10	1.22E-10	3.67E-09
Silizium	Chip	0.312	2.05E-13	1.18E-10	9.07E-10
Gold	Bonddraht	0.024	-	-	-
<b>Total</b>		<b>8</b>	<b>3.15E-10</b>	<b>2.93E-08</b>	<b>2.10E-08</b>

Energieverbrauch Produktion	UCTPE Niederspannungs-Strommix	n.a.
-----------------------------	--------------------------------	------

Tabelle 6 Stoffliche Zusammensetzung und Umweltwerte sowie Energieverbrauch bei der Produktion für den Transistor SOT 23 (Hersteller B).

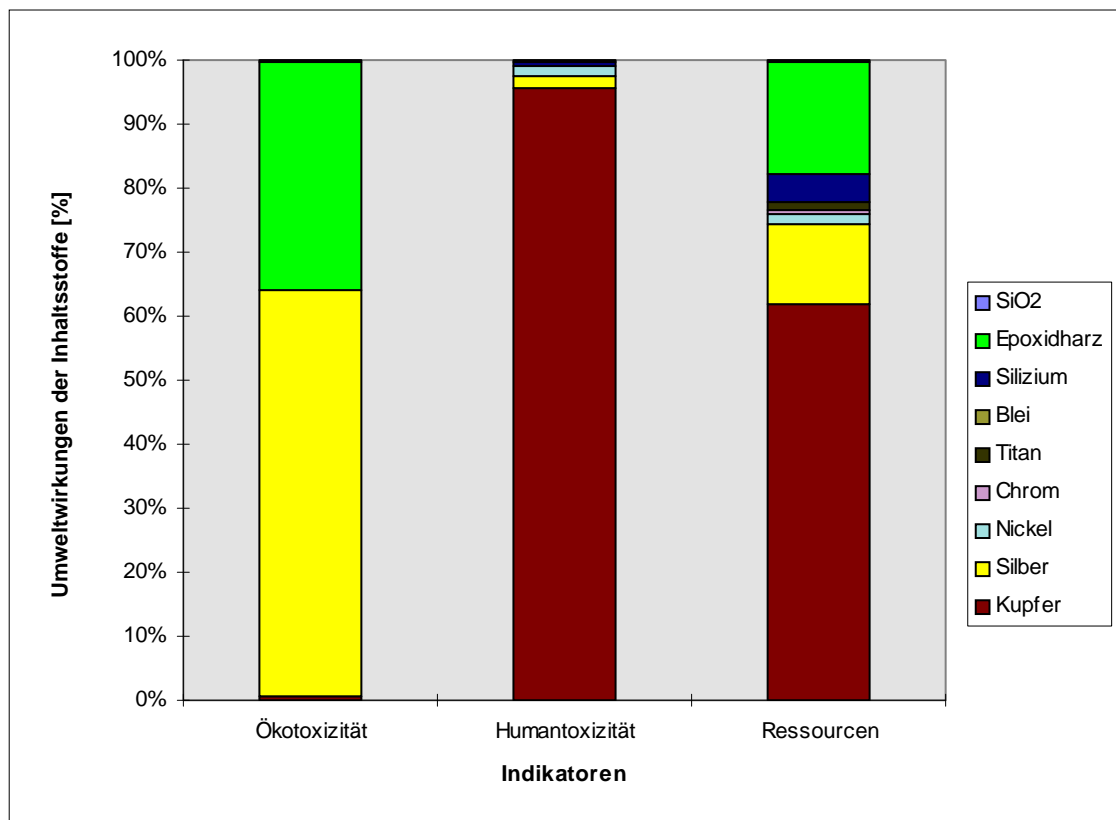


Abbildung 4 Umweltwirkungen der Inhaltsstoffe (in % des totalen Umweltwerts) beim Transistor SOT 23 (Hersteller B).

Auch hier zeigt das Kupfer des Leadframes die höchsten Umweltwirkungen. Beim Kupfer ist es vor allem die Masse (2.6mg), die dazu beiträgt.

Bei der Ökotoxizität zeigt das Silber die grössten Umweltwirkungen. Erklärt werden kann das durch die anfallenden Umweltwirkungen bei der Gewinnung und durch die Tatsache, dass Silber ein potentes Fischgift ist.

---

### 4.7.3 Vergleich der beiden Transistoren SOT 23

---

		Masse [mg]	Ökotoxizität	Humantoxizität	Ressourcenverbrauch
Hersteller A		8	1.91E-10	1.08E-09	6.69E-09
Hersteller B		8	3.15E-10	2.93E-08	2.10E-08

Tabelle 7 Vergleich der Umweltwerte der Transistoren SOT 23.

Beim Indikator Ökotoxizität schneidet der Transistor A besser ab, da das Silber des Transistor B einen hohen Umweltwert hat.

Dazu schneidet der Transistor B bei der Humantoxizität und dem Ressourcenverbrauch um eine Grössenordnung schlechter ab. Dieser grosse Unterschied ist auf das Leadframe aus Kupfer zurückzuführen. Dank dem Leadframe aus Eisen beim Transistor A fällt die ökologische Wirkung sehr viel kleiner aus.

Es ist also aus ökologischer Sicht der Transistor A anzuraten.

4.8 Diode SOD 87 (MiniMELF, SMD)

Inhaltsstoff		Masse [mg]	Ökotoxizität	Humantoxizität	Ressourcenverbrauch
Molybdän	stud	19.451	2.23E-12	1.07E-08	8.98E-08
Kupfer	Flansch	17.702	3.66E-10	1.18E-07	7.28E-08
SiO <sub>2</sub>	Glasmasse	15.794	6.22E-12	1.58E-11	2.56E-10
Silizium	Chip	0.0318	2.09E-14	1.20E-11	9.24E-11
Lack		0.0053	1.21E-13	3.86E-13	1.03E-11
TiO <sub>2</sub>	Pigment	0.0053	1.78E-11	1.62E-12	2.24E-12
Total		53	3.92E-10	1.29E-07	1.63E-07

Energieverbrauch Produktion	UCTPE Niederspannungs-Strommix	n.a.
-----------------------------	--------------------------------	------

Tabelle 5 Stoffliche Zusammensetzung und Umweltwerte sowie Energieverbrauch bei der Produktion für die Diode SOD 87.

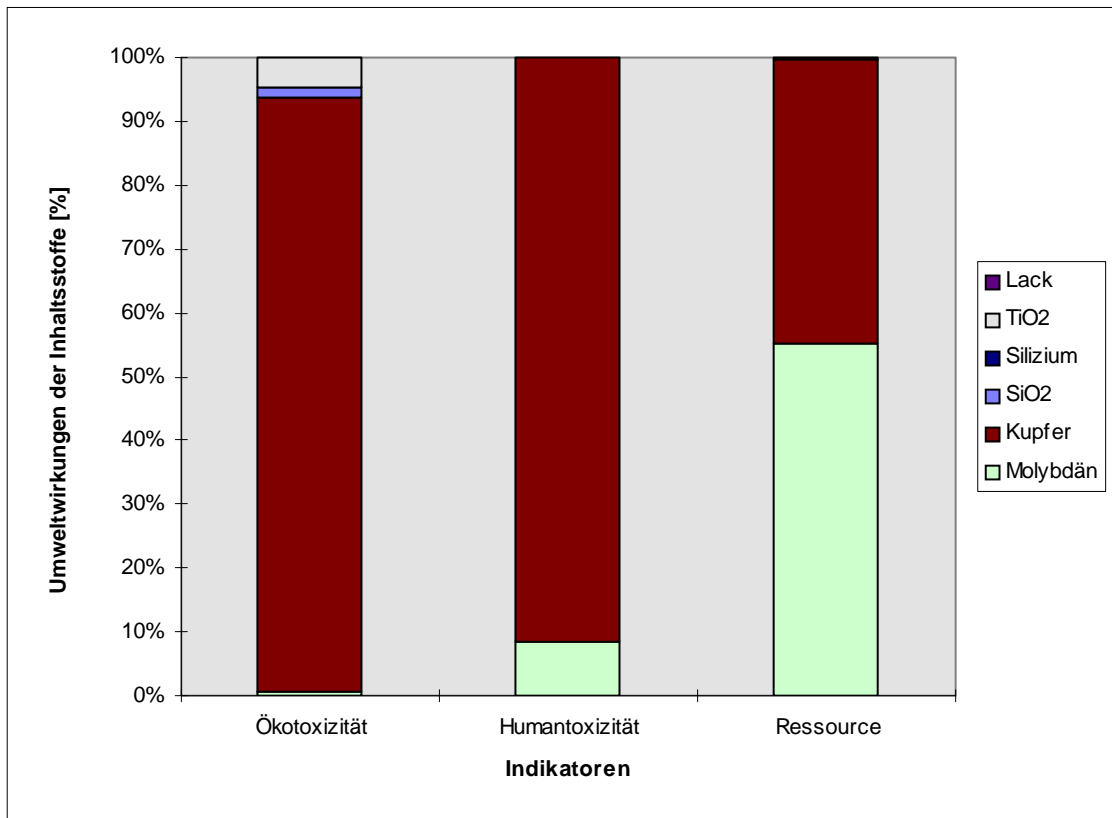


Abbildung 5 Umweltwirkungen der Inhaltsstoffe (in % des totalen Umweltwerts) bei der Diode SOD 87.

Die hauptsächlichsten Umweltwirkungen bei der Öko- und Humantoxizität sind durch das Kupfer bedingt. Neben der grossen Masse (17mg) sind es die Umweltwirkungen der Vorproduktion, die zu diesem Ergebnis beitragen. Molybdän hat eine grosse Auswirkung auf den Ressourcenverbrauch. Dabei spielt die grosse Masse (19mg) die wichtigste Rolle.

**4.9 Diode SOD 123 (P-SOD 123/323, SMD)**

Inhaltsstoff		Masse [mg]	Ökotoxizität	Humantoxizität	Ressourcenverbrauch
Kupfer	Leadframe	3.6	2.96E-12	3.82E-08	1.77E-08
Epoxidharz	Moldmasse	1.22	1.15E-10	1.25E-10	3.77E-09
Quartzpuder	Moldmasse	5.04	1.98E-12	5.06E-12	8.17E-11
Silizium	Chip	0.1	6.59E-14	3.78E-11	2.91E-10
Total		10	1.20E-10	3.84E-08	2.19E-08

Energieverbrauch Produktion	UCTPE Niederspannungs-Strommix	n.a.
-----------------------------	--------------------------------	------

Tabelle 6 Stoffliche Zusammensetzung und Umweltwerte sowie Energieverbrauch bei der Produktion für die Diode SOD 123.

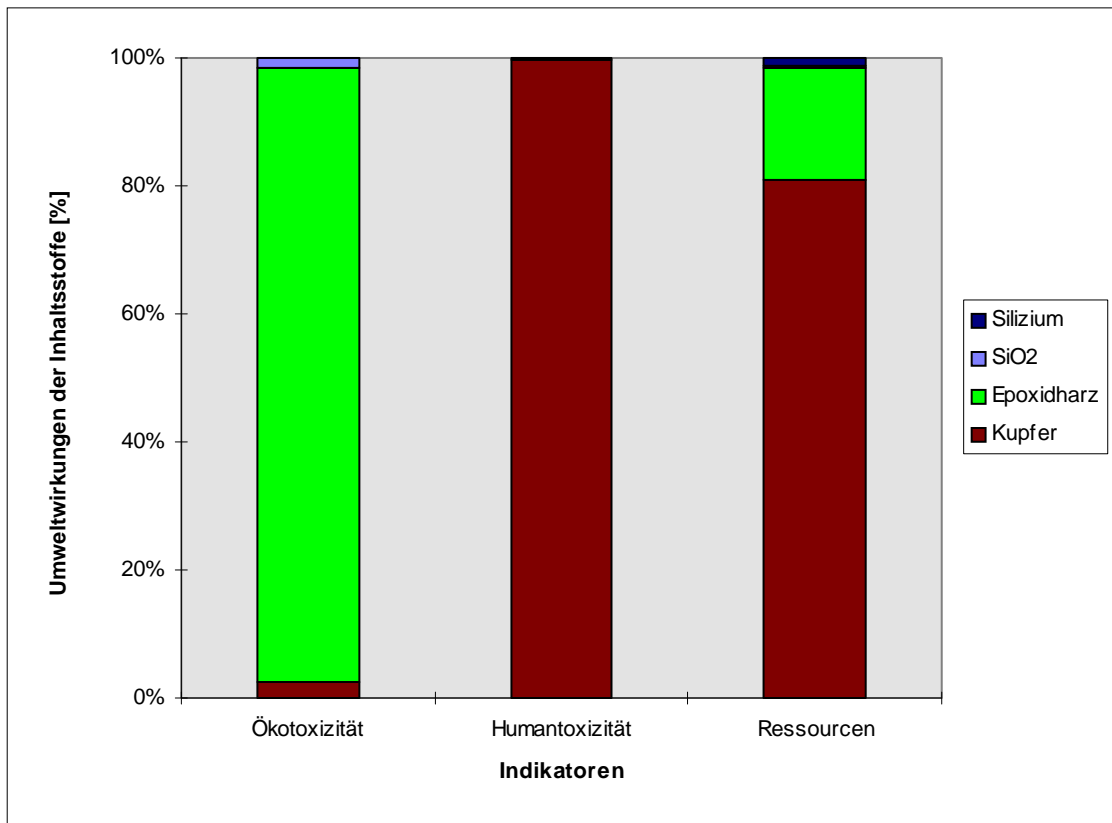


Abbildung 6 Umweltwirkungen der Inhaltsstoffe (in % des totalen Umweltwerts) bei der Diode SOD 123.

Wiederum zeigt Kupfer und Epoxidharz die grössten Umweltauswirkungen. Das Leadframe und die Moldmasse tragen wegen der bestimmenden Masse (3.6 resp. 1.2mg) zum grössten Teil zu den Umweltwirkungen des Bauteils bei. Ebenfalls sind die Umweltwirkungen der Vorproduktion entscheidend

## 6. Empfehlungen für das Ökodesign

### 6.1 Ökologische Verbesserung der Bauteile

Bauteile	bedrahteter Widerstand	Flachchip-Widerstand	IC SO 8	Al Elektrolyt Kondensator
Umweltwirkungen				
gross	Kupfer		Energie	
mittel		Nickel	Kupfer	Aluminium
klein	Keramik	Keramik	Epoxidharz	

Tabelle 5 Inhaltsstoffe mit den grössten Umweltwirkungen und damit auch dem grössten Handlungsbedarf der vier bewerteten Bauteile.

**Bedrahteter Metallfilm-Widerstand** Um eine ökologische Verbesserung des bedrahteten Widerstandes durchzuführen, könnte das Kupfer der Anschlussdrähte durch ein anderes Metall ersetzt werden. Eine andere Verbesserung wäre, Widerstände mit kürzerem Draht herzustellen, weil der Anschlussdraht bei der Verarbeitung sowieso gekürzt wird. Als "end of pipe" Massnahme könnten die anfallenden Kupferreste dem Recycling zugeführt werden.

**Kupfer**

**Keramik** Keramik durch einen anderen Werkstoff zu ersetzen, erscheint wenig sinnvoll. Da Keramik keinen hohen Umweltwert bei der Humantoxizität und dem Ressourcenverbrauch zeigt, können die negativen ökotoxischen Wirkungen eher in Kauf genommen werden.

#### Vergleich bedrahteter Widerstand / Flachchip

Wie der Vergleich des bedrahteten und des Flachchipwiderstandes zeigt, schneidet der Flachchipwiderstand bei gleicher Nutzungsleistung (0.25W) ökologisch besser ab. Die Umweltwerte für den Flachchipwiderstand sind dabei insbesondere bei der Humantoxizität eine bis zwei Grössenordnungen (je nach Betrachtungsweise) kleiner als diejenigen des bedrahteten Widerstandes. Dies ist durch das Fehlen des Anschlussdrahtes aus Kupfer, bedingt. Generalisierend kann daher gesagt werden, dass SMD-Komponenten aufgrund des fehlenden Anschlussdrahtes im Vergleich zu funktionell gleichwertigen bedrahteten Bauteilen die ökologisch bessere Variante darstellen. Dies gilt auch für Dioden, Kondensatoren, LEDs usw.

#### Flachchipwiderstand

Nickel

Bei einer ökologischen Verbesserung des Flachchipwiderstandes könnte Nickel durch ein anderes Metall ersetzt werden. Ob dies technisch und ökonomisch möglich ist, kann hier nicht abgeschätzt werden.

#### IC im Plastikgehäuse SO8

Energie

Da die energieintensive Produktion der integrierten Schaltungen nicht verändert werden kann, ist eine Verlängerung der Lebensdauer der IC eine sinnvolle Möglichkeit, diese umweltfreundlicher zu machen. Die Verlängerung der Lebensdauer der IC erfolgt durch die Verlängerung der Produktlebensdauer (z.B. Computers, Natel) oder durch einen Re-Use der IC. Der technische und wirtschaftliche Aspekt des Re-Use wird im Rahmen des CARE 2000 Projektes untersucht.

#### Aluminium Elektrolyt Kondensator

Ein Vergleich eines Aluminium- mit einem Keramik Kondensator könnte zeigen, welcher aus ökologischen Gründen vorzuziehen ist, obwohl absolut klar ist, dass die beiden Bauteile unterschiedliche Anforderungen erfüllen.

<b>Kupfer</b>	Ein Vorschlag für die ökologische Optimierung des Leadframe ist dessen Herstellung aus Eisen statt Kupfer, wie dies beim Transistor SOT 23 (Hersteller A) der Fall ist. Durch die geringeren Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und den Ressourcenverbrauch, ist ein Leadframe aus Eisen auf jeden Fall vorzuziehen. Inwieweit dies aber bei anderen Bauteilen technisch möglich und ökonomisch sinnvoll ist, kann an dieser Stelle nicht abgeschätzt werden.
<b>Epoxidharz</b>	Epoxidharz trägt stark zu der Ökotoxizität bei. Eine ökologische Optimierung würde darin bestehen ein anderes Material zu gebrauchen, wie z.B. Quarzpulver (SiO <sub>2</sub> ). Eine andere Optimierung liegt bei der Verkleinerung oder dem Verzicht einer Moldmasse, wie dies bei der <i>Chip on Board</i> -, <i>Flipchip</i> -, <i>CSP</i> ...-Technologie zu erwarten ist. Wie schnell diese Trends bei den Bauteileherstellern umgesetzt werden können, wird die Zukunft zeigen.

## 6.2 Weitere Anwendungen

---

<b>Weitere Bauteile</b>	Mit den vorhandenen Umweltfaktoren und Inhaltsstoffangaben lassen sich viele andere Bauteile bewerten. So würden Vergleiche <b>innerhalb</b> verschiedener Bauteilfamilien ermöglicht und die Teile könnten nach ihrer ökologischen Wirkung evaluiert werden. Dies bedingt jedoch die Weiterarbeit an diesem Projekt und die weitere Verfeinerung der Umweltfaktoren und der Datensammlung.
<b>Baugruppen/Produkte</b>	Mit dem vorliegenden Modell können auch Baugruppen (Schaltungsplatten, Konstruktionselemente usw.) oder Fertigprodukte (Computer, Handies, HiFi-Geräte usw.) selber bewertet werden. In wieweit dies sinnvoll und möglich ist, müsste durch weitere Arbeiten abgeklärt werden.

## 6.3 Forschungsbedarf

---

<b>Faktoren</b>	Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, dass für einige Inhaltsstoffe die Umweltfaktoren fehlen. Um die Bewertung der Bauteile präziser zu machen, sind diese Faktoren daher durch Forschungsarbeiten zu ergänzen. Auf keinen Fall darf vergessen werden, dass die vorhandenen Faktoren qualitativ verbessert und ergänzt werden müssen.
<b>Entsorgung</b>	Vordringlich ist eine Untersuchung der Entsorgung von elektronischen Bauteilen. Es wird vermutet, dass bei der Entsorgung die meisten Umweltwirkungen auftreten.
<b>Life Cycle Costs</b>	Ökologische Auswirkungen sind nicht die einzigen Kriterien zur Beurteilung elektronischer Bauteile. Ein anderes Beurteilungskonzept sind die Life Cycle Cost (LCC) [van Mier et al., 1996]. Beim LCC werden die Kosten eines Bauteil über den ganzen Lebenszyklus zusammengerechnet. Die LCC zeigen eine hohe Übereinstimmung mit den Umweltwirkungen. Daher sind weitere Untersuchungen in diesem Bereich sehr empfohlen.

## 7. Literatur

---

- Christiansen K., de Beaufort-Langeved A., van den Berg N., Haydock R., ten Houten M., Kotaji S., Oerlemans E., Schmidt W.-P., Stranddorf H. K., Weidenhaupt A., White P.R.:** Simplifying: Just a Cut? Final report SETAC Europe LCA Screening and Streamlining Working Group. SETAC, Brussels, Belgium, 1997.
- Guinée J. B.:** Development of Methodology for the Environmental Life-Cycle Assessment of Products. With a Case Study on Margerines. Diss. CML Leiden University, Leiden, The Netherlands, 1995.
- Heijungs R., Huppes G., Lankreijer R. M., Udo de Haes H. A., Wegener Sleeswijk A.:** Environmental Life Cycle Assessment of Products - Guide and Backgrounds. Report nr. 9267, National Reuse of Waste Research Programme (NOH) and Center of Environmental Science (CML), Leiden, The Netherlands, 1992.
- Microelectronics and Computer Technology Corporation (MCC):** Environmental Consciousness: A Strategic Competitiveness Issue for the Electronics and Computer Industry. MCC, Austin, Texas, 1993.
- Stutz M, Tobler Marion:** Geeignete ökologische Bewertung von Elektronikbauteilen. Diplomarbeit an der ETH Zürich, Zürich, Switzerland, 1997a.
- Stutz M, Tobler Hans J.:** Vereinfachte ökologische Bewertung elektronischer Bauteile, Projekt der exact Arbeitsgruppe Umweltfragen, Vertraulicher Bericht, Volketswil, 1997b.
- Van Mier G. P. M., Sterke C. J. L. M., Stevels A. L. N.:** Life-Cycle Costs Calculations and Green Design Options. Computer Monitors as Example. In: 1996 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, May 6-8, 1996, Dallas, Texas, USA, 1996.

**Umweltfaktoren für Ökotoxizität, Humantoxizität und Ressourcenverbrauch für die häufigsten Inhaltsstoffe von Elektronikbauteilen**

Bezeichnung	Ökotoxizität	Humantoxizität	Ressourcen	Farbe in Diagramme
Metalle				
Aluminium	3.74E-07	1.24E-03	5.79E-03	
Blei	8.66E-07	4.81E-04	1.55E-03	
Cadmium	2.68E-04	4.71E-04	9.45E-03	
Chrom	6.29E-07	6.29E-04	5.62E-03	
Eisen	1.46E-05	1.04E-04	6.13E-04	
Ferrochrom	6.30E-07	3.00E-04	2.89E-03	
Kupfer	8.23E-07	1.06E-02	4.93E-03	
Mangan	6.80E-07	3.20E-04	2.44E-03	
Molybdän	1.15E-07	5.51E-04	4.62E-03	
Nickel	3.40E-07	1.65E-02	1.14E-02	
Silber	6.65E-04	1.74E-03	8.76E-03	
Titan	6.40E-07	2.47E-03	2.02E-02	
Tungsten	8.30E-07	1.61E-03	9.34E-03	
Vanadium	2.81E-07	1.74E-03	1.46E-02	
Zink	5.44E-05	3.26E-04	2.86E-03	
Zinn	1.63E-06	1.06E-03	7.83E-03	
Grundmaterialien				
Epoxydharz	9.42E-05	1.02E-04	3.09E-03	
Glasfaser	1.25E-06	4.58E-05	4.47E-04	
Glas	0	1.34E-04	3.03E-04	
Keramik	8.87E-05	1.08E-04	7.57E-04	
Silizium	6.59E-07	3.78E-04	2.91E-03	
SiO2	3.94E-07	1.00E-06	1.62E-05	
Kunststoffe				
ABS	4.56E-05	9.97E-05	4.45E-03	
Gummi (SBR)	6.11E-05	2.38E-04	3.47E-03	
Polycyrcarbonat	8.88E-04	2.49E-04	9.74E-03	
Polypropylen	4.23E-05	1.74E-04	3.50E-03	
Polystyren	1.25E-04	1.77E-03	3.89E-03	
Polyvynilchlorid	1.14E-04	8.35E-05	2.32E-03	
Spezielles				
Lack	1.84E-05	1.52E-04	1.48E-03	
Papier	4.99E-06	1.40E-04	1.59E-04	
Titanoxid (TiO2)	3.36E-03	3.10E-04	4.20E-04	
Elektrolyt	2.51E-05	8.97E-05	2.24E-03	

Die Faktoren sind immer auf 1kg bezogen.

Update: 6. Januar 1999