

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).

DIPLOMARBEIT

ECODESIGN-QFD-PILOT

Systematischer Ansatz zur kundenorientierten Entwicklung umwelt- und marktgerechter Produkte

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Bruno Grösel
und
Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Wimmer

am
Institut für Konstruktionslehre und Fördertechnik

Eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät Maschinenbau

von

Rainer Pamminger
pamminger@ecodesign.at

Wien, im Mai 2003

Danksagung

Bei Herrn Univ. Prof. Dr. Bruno Grösel möchte ich mich für die Übernahme der Diplomarbeit und das rasche Korrigieren bedanken.

Mein Dank gilt Herrn Dr. Wolfgang Wimmer für die gute Zusammenarbeit an mehreren Projekten am Institut für Konstruktionslehre und Fördertechnik. Er hat mir dieses interessante Thema zu Verfügung gestellt und stand mir immer mit Rat und Tat zur Seite.

Weiter bedanke ich mich bei Herrn DI Christoph Strasser für die zahlreichen Diskussionen, sowie bei meinen Kollegen vom ECODESIGN-Team für die freundliche Aufnahme und die große Hilfsbereitschaft, die mir entgegengebracht wurde.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglichten und mir während der gesamten Studienzeit eine wichtige Stütze waren. Außerdem möchte ich meiner Freundin Doris für das Korrekturlesen danken und dafür, dass sie mir immer viel Geduld und Verständnis entgegenbrachte.

Zusammenfassung

Ausgangspunkt dieser Arbeit war der ECODESIGN PILOT (Produkt-, Innovations-, Lern- und Optimierungs-Tool), der am Institut für Konstruktionslehre und Fördertechnik an der TU Wien entwickelt worden ist. Mit diesem Tool kann der Produktentwickler/Konstrukteur jene ECODESIGN-Maßnahmen finden, die zu umweltgerechten Produkten führen sollen. Bei der Produktverbesserung mit Hilfe des PILOT wird von jenen Produktlebensphasen mit der höchsten Umweltbelastung ausgegangen. Dieses Tool soll im Vergleich dazu den Produktentwickler zusätzlich unterstützen, indem die umweltrelevanten Kundenanforderungen systematisch integriert wurden.

Nach einer Recherche von Problemlösungsmethoden wurde die Methode QFD (Quality Function Deployment) ausgewählt, um die Kundenansicht in die umweltgerechte Produktentwicklung miteinzubeziehen. Der Kern von QFD und auch des ECODESIGN-QFD-PILOT ist die Beziehungsmatrix, in welcher die Kundenanforderungen in technische Design-Parameter umgesetzt werden. In dieser Arbeit wurden aber nur umweltrelevante Kundenanforderungen berücksichtigt (z.B. *easy to recycle*). Zur Unterscheidung wurden vier verschiedene Kundentypen (*Basic, Ecological, Secure, Ideal*) definiert. Je größer das Umweltbewusstsein eines Kunden ist, desto mehr umweltrelevante Kundenanforderungen werden berücksichtigt. Im nächsten Schritt wurden die technischen Design-Parameter aus den Aspekten des PILOT und den umweltrelevanten Kundenanforderungen abgeleitet.

Die Beziehungsmatrix wurde in Excel umgesetzt. Der Benutzer muss angeben, welche Kundenanforderungen mit welchen technischen Design-Parametern in Beziehung stehen. Dabei stehen die Beziehungsstärken „1“, „3“ und „9“, die den Aussagen „schwach“, „mittel“ und „stark“ entsprechen, zur Verfügung. Um die Verteilung zu erleichtern und auf keine Beziehungen zu vergessen, wurden einige spezifische Felder vorausgewählt. Zusammen mit den Gewichtungen der Kundenanforderungen werden die dem Kunden wichtigsten Design-Parameter ausgegeben.

Alle Design-Parameter wurden mit den *ECODESIGN-Maßnahmen* des PILOT verbunden. Wird ein Design-Parameter als wichtig ausgegeben, so kann direkt in die ECODESIGN-Checklisten gewechselt werden, um herauszufinden, wo Optionen für Verbesserungen sind, um den Kunden zufrieden zu stellen. Neben den Maßnahmen wurden den Design-Parametern auch *TRIZ-Prinzipien* zugeordnet, welche zu innovativen Problemlösungen führen sollen.

Zusätzlich zur Beziehungsmatrix können auch noch die weiteren Werkzeuge des QFD verwendet werden, der *paarweise Vergleich* für die Gewichtung der umweltrelevanten Kundenanforderungen und das *Benchmarking* für die Erfüllung der umweltrelevanten Kundenanforderungen und Realisierung der technischen Design-Parameter im Vergleich zu den Wettbewerbern.

Im letzten Abschnitt dieser Arbeit wurde der ECODESIGN-QFD-PILOT an zwei Beispielen getestet. Als erstes wurden die Ergebnisse dieses Tools für einen Wasserkocher mit jenen des PILOT verglichen. Es wurden teilweise die gleichen Parameter ausgegeben, was aber sehr stark von der Kundensicht abhängig ist. Beim zweiten Beispiel wurden Lärmschutzwände aus Holz, Aluminium und Beton verglichen. Dabei wurden Verbesserungsvorschläge sowohl über die Beziehungsmatrix als auch über das Benchmarking generiert.

Abstract

The starting point to this piece of work began with the “ECODESIGN PILOT” (Product -, Innovation -, Learn -, and Optimization Tool). This was developed at the Institute for Construction Teachings and Conveying Engineering at TU Vienna. Utilising this Tool the product developer/technical designer, can find specific ECODESIGN measures which lead to an environmentally fair product. The product improvement with the PILOT Tool is based around the product life phases concerning each with the highest environmental impact. This Tool provides an additional support system for the product developer, as the environmental concerns relevant to the needs and requirements of the customer systematically integrate.

After a search of the problem/solution method, the method selected was, ‘QFD (Quality Function Deployment) to incorporate the customers’ opinion - Voice of Customer (VoC) - into an environmentally sound product being developed. The core of QFD and also of the ECODESIGN-QFD-PILOT is the relations matrix. In this matrix the customer requirements are converted into technical Design parameters. Here however, only environmentally relevant customer requirements are considered (e.g. *easy to recycle*). For distinction four different customer types (*Basic, Ecological, Secure, Ideal*) were defined. The more environmental awareness a customer possesses, the more environmental issues specifically relevant to the customer’ requirements were considered. In the next step the technical design parameters were defined, based on the environmental aspects listed in the PILOT and taking into account the environmental issues relevant to the customer’ requirements.

The relations matrix was realized using an Excel spreadsheet. It must be indicated, which of the customer’ requirements are related to which technical Design parameter. For the relationship strengths „1“, „3“ and „9“ are available resulting in „weak“, „average“ and „strong“. In order to facilitate and also not to forget any relations, some specific fields were pre-selected. Together with the weightings of the customer’ requirements the customer’ most important design parameter became highlighted. All of the Design parameters are linked with the ECODESIGN measures taken from the PILOT. Once a design parameter is identified as important or critical one can directly jump into the ECODESIGN checklist to find out where options are for improvements are to satisfy the customer’ demand. Apart from the measures taken the design parameters are assigned to the TRIZ principles, which should lead to many innovative problem solving solutions.

Beside the relations matrix also further tools of the QFD are used. The *pair-wise comparison* to get the weighting of the customer requirements. The *benchmarking* for realization of the technical design parameters and the fulfilment of the environmental concerns of the customer’ requirements were also compared with the relevant competition.

In the last section of this work the ECODESIGN-QFD-PILOT was tested using two examples. In the first example the results of a tool (water digester) were compared with the results of the PILOT. The same parameters were partly released; however this is very much dependent upon the customers’ point of view. Within the second example, noise protection walls made from wood, aluminium and concrete were compared.

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	1
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
TABELLENVERZEICHNIS	7
1 EINLEITUNG	8
1.1 ALLGEMEINES	8
1.2 HINTERGRUND.....	9
1.3 MOTIVATION UND ZIEL	10
2 QFD	11
2.1 ALLGEMEINES	11
2.2 ENTSTEHUNGSGESCHICHTE	12
2.3 DEFINITION VON QFD	13
2.4 FIRMENKULTUR UND EINSTELLUNGEN ALS NÄHRBODEN FÜR QFD	13
2.5 ERMITTLUNG DER KUNDENANFORDERUNGEN „WAS?“ (SCHRITT 1).....	17
2.5.1 <i>Das Kano-Modell</i>	18
2.5.2 <i>Erhebung der Kundenanforderungen</i>	21
2.5.3 <i>Strukturierung der Kundenanforderungen</i>	22
2.5.4 <i>Gewichtung der Kundenanforderungen (Schritt 2)</i>	23
2.6 ERMITTLUNG DER DESIGN-PARAMETER „WIE?“ (SCHRITT 3)	24
2.7 ERMITTLUNG DER BEZIEHUNGSMATRIX (SCHRITT 4)	25
2.8 GEWICHTUNG DER DESIGN PARAMETER (SCHRITT 5).....	25
2.9 DEFINITION UND ERKLÄRUNG VON BENCHMARKING	26
2.9.1 <i>Vorgehensplan</i>	27
2.9.2 <i>Vorteile des Benchmarking</i>	28
2.10 BENCHMARKING KUNDENANFORDERUNGEN (SCHRITT 6)	29
2.11 BENCHMARKING DESIGN-PARAMETER (SCHRITT 7).....	29
2.12 KORRELATIONSMATRIX (SCHRITT 8).....	29
3 TRIZ	30
3.1 ALLGEMEINES	30
3.2 ENTSTEHUNGSGESCHICHTE	30
3.3 TRIZ-METHODEN	31

3.3.1	<i>Widerspruchsmethodik</i>	32
3.3.2	<i>Problemformulierung</i>	34
3.3.3	<i>Identifikation eines Widerspruches</i>	34
3.3.4	<i>Beschreibung des technischen Widerspruches mit den 39 technischen Parametern</i>	35
3.3.5	<i>Die 40 innovativen Prinzipien</i>	37
3.3.6	<i>Widerspruchstabelle</i>	38
3.4	TRIZ INNOVATIVE PROBLEMLÖSUNGSMETHODE OHNE WIDERSPRUCHSTABELLE	39
4	DER ECODESIGN-PILOT	42
4.1	ALLGEMEINES	42
4.2	ENTSTEHUNGSGESCHICHTE	43
4.3	AUFBAU	43
4.3.1	<i>Zugang: Produktleben</i>	44
4.3.1.1	Rohstoffgewinnung	45
4.3.1.2	Herstellung	45
4.3.1.3	Distribution	46
4.3.1.4	Nutzung	46
4.3.1.5	Nach Gebrauch	47
4.3.2	<i>Wissens- und Anwendungsteil</i>	48
4.3.3	<i>Zugang: Entwicklung</i>	50
4.3.4	<i>Zugang: Verbesserung</i>	50
5	DER ECODESIGN-QFD-PILOT	55
5.1	METHODISCHE EINBINDUNG DES ECODESIGN-QFD-PILOT	56
5.2	VORGEHENSWEISE BEI DER ERSTELLUNG DES ECODESIGN-QFD-PILOT	57
5.3	DEFINITION UMWELTBEWUSSTER KUNDENTYPEN	58
5.4	UMWELTRELEVANTE KUNDENANFORDERUNGEN	59
5.4.1	<i>Basic-Typ</i>	60
5.4.2	<i>Secure-Typ</i>	66
5.4.3	<i>Ecological-Typ</i>	71
5.4.4	<i>Ideal-Typ</i>	76
5.4.5	<i>Verbindung der umweltrelevanten Kundenanforderungen mit den ECODESIGN-Maßnahmen</i>	81
5.5	TECHNISCHE DESIGN-PARAMETER	82

5.5.1	<i>Gruppe: Product description</i>	86
5.5.2	<i>Gruppen: Production and transportation</i>	88
5.5.3	<i>Gruppe: Use scenario</i>	90
5.5.4	<i>Gruppe: Materials</i>	92
5.5.5	<i>Gruppe: End of life scenario</i>	94
5.6	ZUTEILUNG DER TRIZ-PRINZIPIEN ZU DEN TECHNISCHEN DESIGN-PARAMETERN....	
	96
5.6.1	<i>Darstellung der TRIZ-Prinzipien im QFD-PILOT</i>	99
5.7	ERSTELLUNG DER BEZIEHUNGSMATRIX	100
5.8	VORGANGSWEISE BEI ANWENDUNG DES ECODESIGN-QFD-PILOT	103
5.8.1	<i>Anwendung der Kundengewichtung</i>	104
5.8.2	<i>Anwendung der Beziehungsmatrix</i>	106
5.8.3	<i>Anwendung des Benchmarking der umweltrelevanten Kundenanforderungen</i>	107
5.8.4	<i>Anwendung des Benchmarking der technische Design-Parameter</i>	109
5.8.5	<i>Ergebnisausgabe des QFD-Tools</i>	111
5.8.6	<i>Zusammenfassung QFD-Tool</i>	113
5.8.7	<i>Anwendung des QFD-PILOT</i>	114
6	ANWENDUNGSBEISPIELE DES ECODESIGN-QFD-PILOT	116
6.1	BEISPIEL WASSERKOCHER.....	116
6.2	BEISPIEL LÄRMSCHUTZWAND (LSW).....	124
7	ERGEBNISDISKUSSION	134
	LITERATURVERZEICHNIS	136
8	ANHÄNGE.....	141
	ANHANG A: 40 TRIZ PRINZIPIEN	141
	ANHANG B: TRIZ WIDERSPRUCHSTABELLE	145

Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1-1 Einfluss der Produktentwicklung in den Produktlebenszyklus [Birkhofer 1999]..</i>	<i>9</i>
<i>Abb. 2-1 Originalbezeichnung QFD [Klein 1999].....</i>	<i>11</i>
<i>Abb. 2-2 Kundenorientierte Aufbauorganisation [Saatweber 1998].....</i>	<i>14</i>
<i>Abb. 2-3 TQM-RAD nach [Klein 1999]</i>	<i>15</i>
<i>Abb. 2-4 Schema von House of Quality.....</i>	<i>17</i>
<i>Abb. 2-5 Kano-Modell der Kundenbefriedigung.....</i>	<i>18</i>
<i>Abb. 2-6 Kano-Matrix [Terninko 1996].....</i>	<i>20</i>
<i>Abb. 2-7 Systematische Erfassung und Einbringung von Kundenanforderungen [Klein 1999]</i>	<i>22</i>
<i>Abb. 2-8 Ishikawa-Diagramm</i>	<i>24</i>
<i>Abb. 2-9 Benchmarking in zehn Schritten [Matyas 1999]</i>	<i>27</i>
<i>Abb. 2-10 Bsp. Korrelationsmatrix</i>	<i>29</i>
<i>Abb. 3-1 TRIZ-Werkzeuge und deren Aufteilung in Gruppen [Herb et.al. 2000].....</i>	<i>31</i>
<i>Abb. 3-2 Vier Schritte der Lösungsfindung [Herb et.al. 2000].....</i>	<i>33</i>
<i>Abb. 3-3 Lösungsfindung nach TRIZ [Herb et.al. 2000]</i>	<i>33</i>
<i>Abb. 3-4 Verknüpfungsarten nach Gimpel</i>	<i>34</i>
<i>Abb. 3-5 Funktionsmodellierung eines Restaurantbetriebes.....</i>	<i>34</i>
<i>Abb. 3-6 Beispiel Restaurantbetrieb: Widerspruchstabelle</i>	<i>38</i>
<i>Abb. 4-1 Die drei Hauptzugänge des ECODESIGN-PILOT mit Logos [Wimmer, Züst 2001].....</i>	<i>43</i>
<i>Abb. 4-2 Produktlebenszyklus [Wimmer, Züst 2001]</i>	<i>44</i>
<i>Abb. 4-3 Struktur des Zugangs Produktleben [Wimmer, Züst 2001]</i>	<i>44</i>
<i>Abb. 4-4 Ausschnitt einer ECODESIGN-Wissensseite [Wimmer, Züst 2001]</i>	<i>49</i>
<i>Abb. 4-5 Ausschnitt einer ECODESIGN-Checkliste [Wimmer, Züst 2001].....</i>	<i>49</i>
<i>Abb. 4-6 Grundtyp D: Bedeutende Umweltbelastungen durch die Nutzung [Wimmer, Züst 2001].....</i>	<i>51</i>
<i>Abb. 4-7 Grundtypen von Produkten [Wimmer, Züst 2001]</i>	<i>51</i>
<i>Abb. 4-8 Vorgehensweise bei der ECODESIGN-Produktverbesserung [Wimmer, Züst 2001].....</i>	<i>53</i>
<i>Abb. 5-1 Vergleich ECODESIGN-QFD-PILOT mit ECODESIGN-PILOT [Wimmer, Strasser, Pamminer 2003].....</i>	<i>55</i>
<i>Abb 5-2 Methodische Einbindung des ECODESIGN-QFD-PILOT.....</i>	<i>56</i>

<i>Abb. 5-3 Begriffsabgrenzung</i>	57
<i>Abb. 5-4 Umwelanforderungen des Basic-Typs</i>	61
<i>Abb. 5-5 Strahlung Mobilfunk [Bürgerwelle 2003]</i>	61
<i>Abb. 5-6 Multifunktionale Büroeinrichtung [Steelcase 2003]</i>	62
<i>Abb. 5-7 Energiesparlampe [Osram 2003]</i>	63
<i>Abb. 5-8 Waschmaschine [Miele 2003]</i>	64
<i>Abb. 5-9 Umwelanforderungen des Secure-Typ</i>	66
<i>Abb. 5-10 Bierkisten [ECODESIGN 2001]</i>	66
<i>Abb. 5-11 Leichte Verschleißerkennung am Beispiel Autoreifen</i>	68
<i>Abb. 5-12 Umwelanforderungen des Ecological-Typs</i>	71
<i>Abb. 5-13 Logistikkonzept [Weizäcker et.al. 1996]</i>	71
<i>Abb. 5-14 erneuerbare Energie am Bsp. Fischer Ski Biomasse-Kraft-Wärme-Kälte-</i> <i>Kopplung [Pamminger 2002]</i>	72
<i>Abb. 5-15 Climatex® LifecycleFR™: kompostierbare Sesselüberzüge</i> <i>[Rohner Textil 2002]</i>	73
<i>Abb. 5-16 blasgeformte Automobilheckspoiler [Ebay 2003]</i>	74
<i>Abb. 5-17 Umwelanforderungen des Ecological-Typ</i>	76
<i>Abb. 5-18 Wasserlösliche Lacke [Wimmer, Züst 2001]</i>	77
<i>Abb. 5-19 leichte Demontage durch kurze Demontagewege [Wimmer, Züst 2001]</i>	77
<i>Abb. 5-20 Fuji-Xerox Kopiergerät [Fuji-Xerox 2003]</i>	78
<i>Abb. 5-21 Umweltbewusstsein der vier verschiedenen Kundentypen</i>	80
<i>Abb. 5-22 Aufteilung der ECODESIGN-Maßnahmen auf die Kundenanforderungen</i>	81
<i>Abb. 5-23 Beispiele für das TRIZ-Prinzip Prior action, im QFD-PILOT</i>	99
<i>Abb. 5-24 TRIZ-Prinzip 10 Prior action: Prinzipklärung und Checkliste für weitere</i> <i>Schritte</i>	99
<i>Abb. 5-25 Beziehungsmatrix des QFD-Tools</i>	102
<i>Abb. 5-26 Auswahlmenü Paarweiser Vergleich und</i>	
<i>Abb. 5-27 Auswahlmenü Benchmarking Kundenanforderungen</i>	103
<i>Abb. 5-28 Kommentar und Abb. 5-29 Fehlermeldung</i>	103
<i>Abb. 5-30 Paarweiser Vergleich</i>	105
<i>Abb. 5-31 Benchmarking umweltrelevanter Kundenanforderungen</i>	108
<i>Abb. 5-32 Benchmarking technische Design-Parameter</i>	110
<i>Abb. 5-33 Ergebnisausgabe im QFD-Tool</i>	112
<i>Abb. 5-34 Verbindung des QFD-Tools mit dem QFD-PILOT</i>	113

<i>Abb. 5-35 ECODESIGN-Maßnahme: LEARN-Seite</i>	114
<i>Abb. 5-36 ECODESIGN-Maßnahme: APPLY-Seite</i>	115
<i>Abb. 5-37 TRIZ-Prinzip</i>	115
<i>Abb. 6-1 Elektrischer Wasserkocher</i>	116
<i>Abb. 6-2 ECODESIGN-Maßnahmen für die technischen Design-Parameter energy consumption at usage stage</i>	117
<i>Abb. 6-3 Bsp. Wasserkocher: Beziehungsmatrix: mit Kundenanforderungsgewichtung aus Sicht des Basic-Typ</i>	118
<i>Abb. 6-4 TRIZ-Prinzipien für die technischen Design-Parameter energy consumption at usage stage</i>	120
<i>Abb. 6-5 ECODESIGN-Maßnahmen für die technischen Design-Parameter material used</i>	122
<i>Abb. 6-6 Bsp. Wasserkocher: Beziehungsmatrix: mit Kundenanforderungsgewichtung aus Sicht des Secure-Typ</i>	123
<i>Abb. 6-7 Lärmschutzwände (v.li. Beton, Aluminium und Holz)</i>	124
<i>Abb. 6-8 Beispiel LSW: Paarweiser Vergleich</i>	125
<i>Abb. 6-9 Beispiel LSW: Beziehungsmatrix</i>	126
<i>Abb. 6-10 ECODESIGN-Maßnahmen für die technischen Design-Parameter banned materials</i>	127
<i>Abb. 6-11 TRIZ-Prinzipien für die technischen Design-Parameter banned materials</i>	128
<i>Abb. 6-12 Beispiel Lärmschutzwand: Benchmarking Voice of Customer</i>	130
<i>Abb. 6-13 Beispiel Lärmschutzwand: Benchmarking Design-Parameter</i>	131
<i>Abb. 6-14 Beispiel Lärmschutzwand: ECODESIGN-Maßnahmen zum technischen Design-Parameter end of life</i>	132

Tabellenverzeichnis

<i>Tab. 2-1 Paarweiser Vergleich.....</i>	23
<i>Tab. 3-1 Liste der technischen Parameter.....</i>	36
<i>Tab. 3-2 Liste der innovativen Prinzipien</i>	37
<i>Tab. 3-3 Auftretenshäufigkeit TRIZ Prinzipien zu den TRIZ Parameter (Teil1).....</i>	40
<i>Tab. 3-4 Auftretenshäufigkeit TRIZ Prinzipien zu den TRIZ Parameter (Teil2).....</i>	41
<i>Tab. 4-1 Grundtypen mit den zugeordneten Strategien.....</i>	52
<i>Tab. 5-1 Zusammenfassung der Charaktere der einzelnen Kundentypen.....</i>	58
<i>Tab. 5-2 Den Basic-Typ-Kundenanforderungen zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen</i>	65
<i>Tab. 5-3 Den Secure-Typ-Kundenanforderungen zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen.....</i>	70
<i>Tab. 5-4 Den Öko-Typ-Kundenanforderungen zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen .</i>	75
<i>Tab. 5-5 Den Ideal-Typ-Kundenanforderungen zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen</i>	79
<i>Tab. 5-6 Unterteilung der technischen Design-Parameter</i>	83
<i>Tab. 5-7 Technische Design-Parameter und zugeordnete Aspekte.....</i>	85
<i>Tab. 5-8 Gruppe Product description: Technische Design-Parameter mit Umweltbezug.</i>	86
<i>Tab. 5-9 Der product description-Gruppe der technischen Design-Parameter zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen</i>	87
<i>Tab. 5-10 Gruppe production and transportation: Technische Design-Parameter mit Umweltbezug</i>	88
<i>Tab. 5-11 Zur production and transport-Gruppe der technischen Design-Parameter zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen</i>	89
<i>Tab. 5-12 Gruppe use scenario: Technische Design-Parameter mit Umweltbezug</i>	90
<i>Tab. 5-13 Der Usability-Gruppe der technischen Design-Parameter zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen.....</i>	91
<i>Tab. 5-14 Gruppe materials: Technische Design-Parameter mit Umweltbezug</i>	92
<i>Tab. 5-15 Der materials-Gruppe der technischen Design-Parameter zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen.....</i>	93
<i>Tab. 5-16 Gruppe end of life scenario: Technische Design-Parameter mit Umweltbezug</i>	94
<i>Tab. 5-17 Der End of life scenario-Gruppe der technischen Design-Parameter zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen</i>	95
<i>Tab. 5-18 Aufteilung der TRIZ-Prinzipien auf die technischen Design Parameter (Teil1) ...</i>	97
<i>Tab. 5-19 Aufteilung der TRIZ-Prinzipien auf die technischen Design Parameter (Teil1) ...</i>	98

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Produkte mit hoher Qualität herzustellen, ist seit Jahrzehnten für viele Unternehmen eine Selbstverständlichkeit. Der intensive Wettbewerb um Marktanteile, erhöhte Produktkomplexität, Kostendruck und nicht zuletzt die steigenden Kundenanforderungen in Richtung Umwelt verlangen eine stetige Weiterentwicklung der angebotenen Leistungen [Schöler 2001].

Die immer mehr an Bedeutung gewinnende ökologische oder umweltgerechte Produktgestaltung von Produkten und Dienstleistungen wird in der Fachsprache auch ECODESIGN genannt.

Das Ziel von ECODESIGN ist es, die Auswirkungen von Produkten, bei Betrachtung des gesamten Lebenszyklus, auf die Umwelt zu minimieren und dabei den Nutzen zu maximieren. Die Umweltauswirkungen werden hauptsächlich durch die Produkteigenschaften im Produktentwicklungsprozess definiert, deshalb sollte ECODESIGN genau hier ansetzen.

Die Abbildung 1-1 zeigt die Integration des Produktentwicklungsprozesses in den Produktlebenszyklus, wobei die Produktentwicklung großen Einfluss auf alle Lebensphasen eines Produktes hat. Es werden also der Großteil der Umweltauswirkungen in der Entwicklung festgelegt. Daher ist es während der Gestaltung eines Produktes notwendig den ganzen Lebenszyklus vorherzusehen. Die Vorschau auf das Produktleben, mit Betrachtung aller Prozesse und Auswirkungen ist wichtig, um die Produkteigenschaften gezielt und bewusst zu wählen.

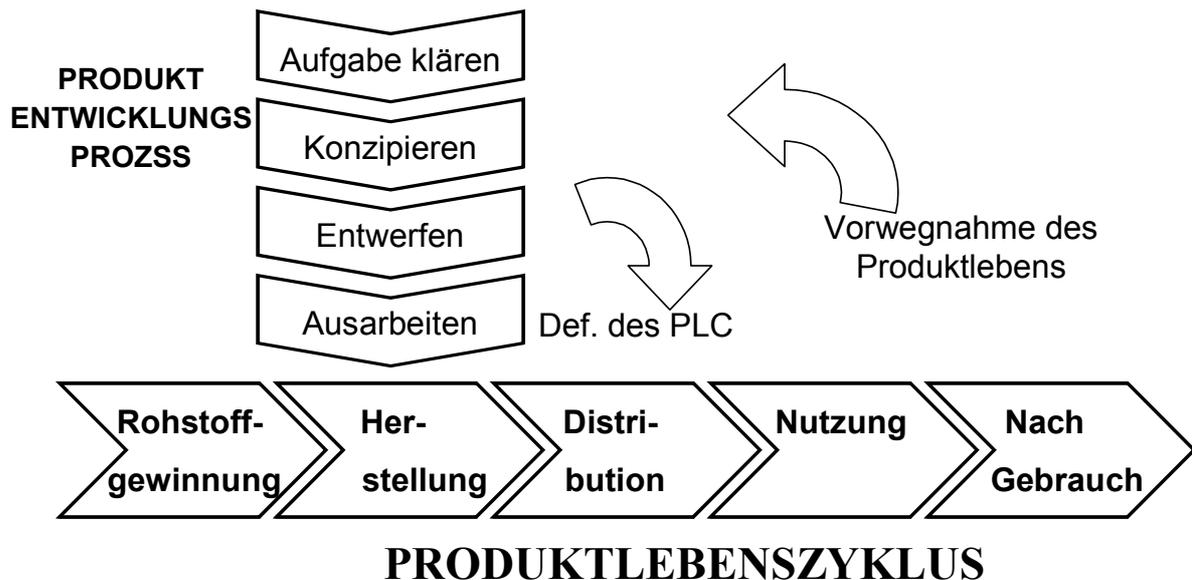


Abb. 1-1 Einfluss der Produktentwicklung in den Produktlebenszyklus [Birkhofer 1999]

1.2 Hintergrund

Produktentwicklung ist ein Prozess mit einer Vielfalt an komplexen Anforderungen [Pahl, Beitz 1993]. Innovationen müssen unter beträchtlichem Zeitdruck und unter Budgetbegrenzung verwirklicht werden. Ökologisches Produktdesign erhöht die Anforderungen noch zusätzlich.

Bemühungen des Entwickelns ökologischer Produkte sind jedoch umsonst, wenn diese Produkte von den Kunden nicht gekauft werden. Leider gibt es viele Fälle in denen Ökologie und Handelsinteresse im Konflikt stehen.

There is no doubt, for instance, that a low energy motor for a vacuum cleaner is ecologically desirable since an engine of approximately 750 W (compared to current models of 1500 W) would reduce energy consumption by half while the reduction in suction power would be negligible [Wiese 2000].

Jedoch akzeptieren Kunden Staubsauger mit Niedrigenergie-Motoren nicht. Bei solchen Absatzschwierigkeiten wird laut Wiese (2000) ein „gain-volume trade-off“ (Ertragskompromiss) vorgeschlagen, wobei die Produkte nur kleine ökologische Verbesserungen beinhalten und den ursprünglichen Anforderungen genügen. Dies resultiert dann auch in einem guten Verkauf und dadurch auch in einer Erhöhung der

Anzahl ökologischer Produkte am Markt. Umweltfreundliche Produkte auf einem hohen Niveau, die mit traditionellen Produkten nicht konkurrieren können, würden im Vergleich dazu am Markt untergehen. Die Zukunft von umweltgerechtem Produktdesign ist hauptsächlich von der Tatsache abhängig, dass wir den richtigen Kompromiss zwischen ökologischen und kommerziellen Anforderungen finden [Wiese 2000]. Dieser Kompromiss kann am besten gelöst werden, indem die Stimme dem Kunden angehört und in die Produktentwicklung miteinbezogen wird.

1.3 Motivation und Ziel

Die umweltgerechte Produktentwicklung von Produkten wird für Unternehmen, Kunden Interessensvertreter und die Gesetzgebung immer wichtiger. Die Europäische Unions Integrated Product Policy (IPP), der neu publizierte technische Bericht ISO TR 14062 gemeinsam mit der Environmental Product Declaration (EDP) und Produktkennzeichnung sind unter anderem klare Indikatoren für ein wachsendes Bewusstsein für umweltgerechte Produkte. Ein Produktentwickler muss sich die Frage stellen, welche Position sein Produkt in Bezug auf die Umwelt einnehmen soll. Um diese Fragen zu beantworten, wurde der ECODESIGN-PILOT entwickelt, der durch ein *Quality Function Deployment*-Tool erweitert werden sollte.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, ein Software-Tool zu entwickeln, das den Produzentenentwickler helfen soll, sein Produkt aus Umweltsicht zu verbessern, unter Berücksichtigung von umweltrelevanten Kundenanforderungen. Als Ergebnis sollen ECODESIGN-Maßnahmen und TRIZ-Prinzipien ausgegeben werden

2 QFD

2.1 Allgemeines

Japanische Originalbezeichnung von QFD:

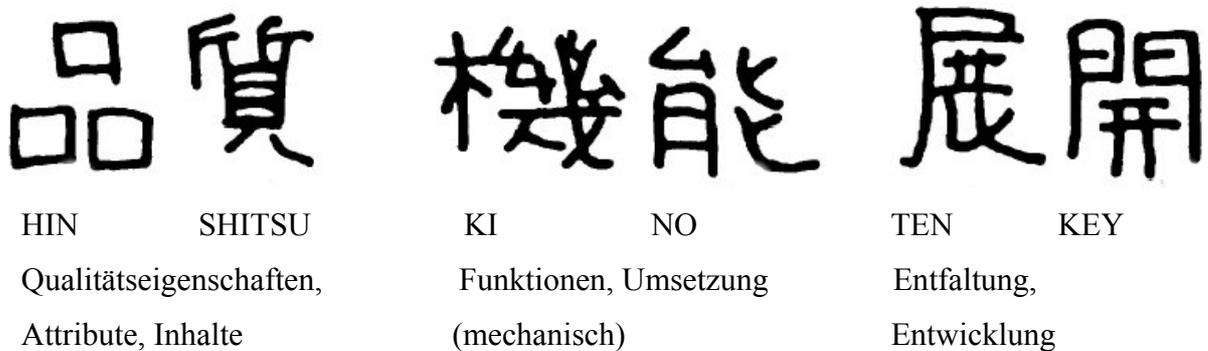


Abb. 2-1 Originalbezeichnung QFD [Klein 1999]

Die englische Übersetzung QFD (Qualitätsfunktionen für den Kampf in Stellung bringen) bleibt gegenüber der umfassenden japanischen Denkweise inhaltlich zurück:

QFD ist die Planung und Entwicklung der Qualitätsfunktion eines Produktes entsprechend den vom Kunden geforderten Qualitätseigenschaften [Akao 1992].

Begriffsbeschreibung:

Q (=Quality): Instrumentarium zur kundengerechten Planung und Entwicklung von Qualitätsmerkmalen.

F (=Function): Sicherung der Qualitätsmerkmale durch interdisziplinäre Zusammenarbeit im ganzen Unternehmen.

D (=Deployment): „Truppen in Stellung bringen“ um die Qualitätsziele auf allen Ebenen zu erreichen [Klein 1999].

Da sich der Begriff „*Quality Function Deployment*“ schon in der Qualitätsentwicklung und -kontrolle etabliert hat und nicht in eine gleichbedeutende Form zu übersetzen ist, wird in der vorliegenden Arbeit das Akronym QFD verwendet.

QFD ist eine Methode, die es ermöglicht, auf systematischem Weg, konkrete Widersprüche herauszuarbeiten. Die damit erhaltenen Ergebnisse können auch nach einem gewissen Zeitraum nachvollzogen und rekonstruiert werden.

QFD stellt sicher, dass die Wünsche des Kunden erfasst und bewertet werden, auch die Stellung der Mitbewerber und deren zukünftige Stellung am Markt wird dargestellt. QFD übersetzt die Sprache des Kunden in die Sprache des Unternehmens [Teufelsberger, Conrad 1998].

Durch die Anwendung von QFD konnte die Zahl der Probleme, mit denen man zu Beginn der Produktentwicklung konfrontiert wurde, um bis zu 50% reduziert werden. Außerdem konnte der Zeitraum für die Entwicklung neuer Produkte um 30 - 50% verringert und die Kundenzufriedenheit verbessert werden. In den meisten Fällen war auch noch eine Steigerung der Verkaufszahlen zu beobachten. Es ist aber auch möglich, dass QFD zu mehr Arbeitsaufwand mit keinem sichtbaren Vorteil führt [Akao 1992].

2.2 Entstehungsgeschichte

1966	Yoji Akao entwickelt das QFD-Konzept und es wird erstmalig in der Praxis geprüft
1969	Matsuhita-Japan konkretisiert ähnliche Überlegungen
1972	Durchbruch von QFD durch die Anwendung auf den Schiffswerften der Mitsubishi Heavy Industries, Kobe-Japan
1974	Toyota beginnt mit der Implementierung von QFD im Automobilbau
Erg.:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Durchlauf: Anlaufkosten bei Transportern wurden um 20% gesenkt 2. Durchlauf: Anlaufkosten bei Transportern wurden um 38% gesenkt 3. Durchlauf: Anlaufkosten bei Transportern wurden um 50% gesenkt
1978	Yoji Akao „Quality Funktion Deployment“ erscheint in Japan
1980	Fa. Kayaba (Bauunternehmen für Großprojekte) erhält Deming Award für eine Weiterentwicklung
1983	Akao macht QFD in den USA publik. FORD beginnt mit ersten Anwendungen, daraus entsteht das ASI (American Supplier Institut)
1984	Die Firmen KODAK, HEWLETT PACKARD, XEROX und DIGITAL EQUIPMENT beginnen mit der Verwendung von QFD
1987	Erste Anwendungen in Europa durch das Steinbeiß Transferzentrum Qualitätssicherung, Ulm
1993	Erstes QFD Symposium in Deutschland
1996	Gründung des QFD-Instituts Deutschland“ kurz QFD-ID
1997	QFD wird in der QS-9000 als Nachweis einer kundenorientierten Entwicklung gefordert

2.3 Definition von QFD

Bernd Klein (1999) definiert QFD als:

Frühzeitig die Qualitätsfunktionen und Eigenschaften für eine Produkt- oder Dienstleistungsentwicklung zu definieren und deren Umsetzung innerhalb eines Prozesses zu überwachen.

Das oberste Ziel von Quality Function Deployment ist auf die Qualitätsanforderungen der Kunden ausgerichtet. Die geeignete Produktqualität findet man dann in der Kundenzufriedenheit, in dem Grad der Erfüllung der Kundenansprüche bezüglich einer Problemlösung durch Produkteigenschaften [Akao 1992].

Unter kundenorientierter Qualität versteht man, dass die durch Marktforschung erfassten, prognostizierten Kundenanforderungen und Bedürfnisse in einem nachvollziehbaren Umsetzungsprozess in geeignete Produkteigenschaften transferiert werden. Im Vergleich zum Entwickler und Konstrukteur des klassischen Stils, bei dem der Konstruktionsvorgang relativ frei und unstrukturiert abläuft, versucht die Methode Quality Function Deployment in der Entwicklungsphase die Umsetzungsphasen zu schematisieren und die Qualitätsaspekte vorrangig zu behandeln [Akao 1992].

QFD beschreibt also die Systematisierung der Ansätze zur schrittweisen Umsetzung von Kundenanforderungen und -erwartungen in messbare bzw. qualitativ beurteilbare Produkt- und Prozessparameter [Akao 1992].

2.4 Firmenkultur und Einstellungen als Nährboden für QFD

Wer den ständigen Wandel von Zeit und Kultur akzeptiert und daraus intelligente Lösungen ableitet, hat Chancen als Sieger im Wettbewerb zu überleben. Also nur jene Methoden und Verfahren, die sicherstellen, dass sie den Kundenanforderungen gerecht entwickeln und planen. Sieht man sich die ISO9000 an, wird gefragt: *Was will die Leitung?* anstatt zu fragen: *Was wollen die Kunden?* [Saatweber 1998].

“Allein es ist ein Unglück, dass der Begriff Glückseligkeit ein so unbestimmter Begriff ist, dass obgleich jeder Mensch zu dieser zu gelangen wünscht, er doch niemals bestimmt und mit sich selbst einstimmig sagen kann, was er eigentlich wünsche und wolle.“

[Kant, Grundlegung zur Metaphysik der Sitten 1914]

Quality Function Deployment ist auf den Kunden ausgerichtet und bindet die Leitung erst am Ende in den Prozess des Kundendienstes (siehe Abb.2-2) ein.



Abb. 2-2 Kundenorientierte Aufbauorganisation [Saatweber 1998]

Die meisten Kunden wünschen sich eine langfristige Zusammenarbeit mit dem Produzenten, weshalb es sehr wichtig ist, den Kundenwunsch zu kennen und zu erfüllen. In Unternehmen, in denen die Philosophie des TQM (Total Quality Management) gelebt wird, werden die Mitarbeiter alles daran setzen, den Kunden zu begeistern [Saatweber 1998]. Außerdem stehen hinter jedem Kundenverlust „hohe Kosten“:

- Hinter jedem reklamierenden Kunden stehen 26 weitere, die schweigen
- Der unzufriedene Kunde spricht mit 8 bis 16 anderen
- Die Kosten zum Gewinn eines Kunden sind 5 mal höher als der Erhalt eines vorhandenen Kunden
- 91% der unzufriedenen Kunden kaufen nicht mehr bei dem Anbieter
- Aber 90% der Reklamationen voll zufriedener Kunden kaufen wieder dort [Saatweber 1998]

Hierzu zunächst die Definition von TQM nach ISO 8402:

Auf die Mitwirkung aller ihrer Mitglieder gestützte Managementmethode einer Organisation, die Qualität in den Mittelpunkt stellt und durch Zufriedenstellung der Kunden auf langfristigen Geschäftserfolg sowie auf den Nutzen für die Mitarbeiter der Organisation und für die Gesellschaft zielt [Brunner, Wagner 1999].

Anmerkung 1: Die Formulierung „aller ihrer Mitglieder“ bezeichnet das gesamte Personal in allen Stellen und auf allen Hierarchie-Ebenen der Organisationsstruktur.

Anmerkung 2: Um den Erfolg dieser Methode sicherzustellen ist es wichtig, dass die oberste Leitung überzeugend und nachhaltig führt und dass alle Mitglieder ausgebildet und geschult sind.

Anmerkung 3: Der Begriff „Qualität“ bezieht sich beim umfassenden Qualitätsmanagement auf das Erreichen aller geschäftlichen Ziele.

Anmerkung 4: Der Begriff „Nutzen für die Gesellschaft“ stellt die Forderungen der Gesellschaft an die Organisation dar [Brunner, Wagner 1999].

Das Qualitätsmanagementsystem TQM verwendet zu seiner Umsetzung vor allem unterstützende Werkzeuge. Diese helfen dem Unternehmen sowohl bei der Umsetzung der Globalstrategie als auch auf den Ausführungsebenen.

Dies wird durch das Quality Control-Rad verdeutlicht (siehe Abb. 2-3):

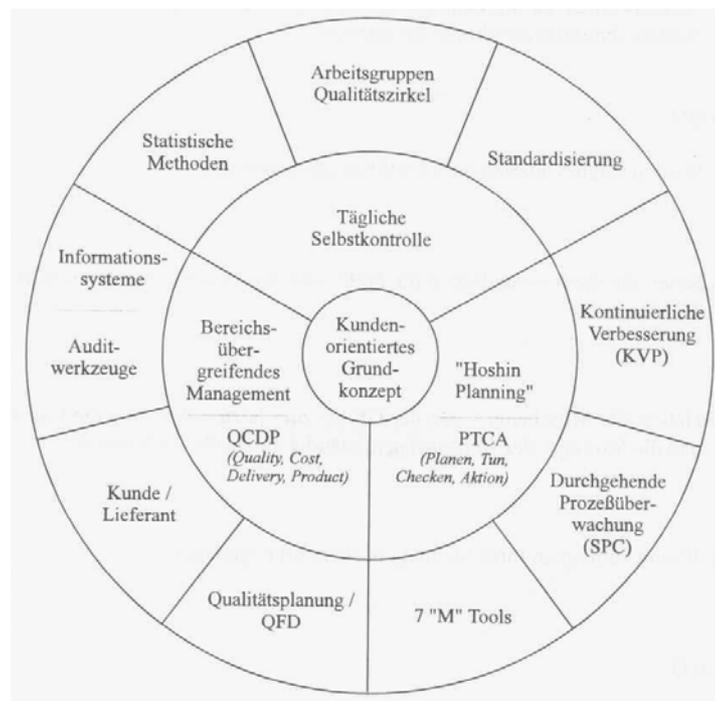


Abb. 2-3 TQM-RAD nach [Klein 1999]

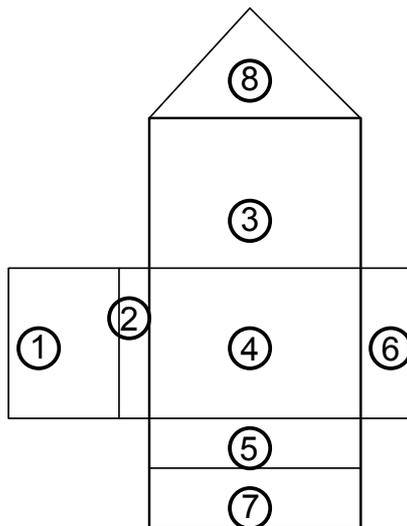
Im Mittelpunkt des Unternehmens steht der Kunde, somit werden alle Anstrengungen auf dessen Befriedigung gerichtet. Um das zu erreichen wird ein Höchstmaß an Planung, um die Schnittstellen zu definieren und abzusichern, benötigt. Dies funktioniert nur mit wirkungsvollen Instrumenten und Werkzeugen, die nötigenfalls an die verschiedenen Unternehmen angepasst werden müssen [Klein 1999].

Hierzu sollte, laut *Klein* (1999), der Begriff Qualität weiter interpretiert werden:

- Qualität ist nicht auf eine Abteilung oder eine einzelne Funktion beschränkt, sondern sie ist ein systematischer Prozess, der im ganzen Unternehmen zu finden ist.
- Qualität braucht einen entsprechenden organisatorischen Rahmen, der die Qualität des einzelnen Arbeitsplatzes und auch die der Zusammenarbeit zwischen den Abteilungen sicherstellt.
- Eine Qualitätsverbesserung bzw. -förderung darf nicht nur auf die Produktion begrenzt bleiben, sondern muss alle Bereiche einer Organisation erfassen.
- Der Maßstab der Qualität sind die Bedürfnisse des Kunden, nicht die Interessen der einzelnen Unternehmensbereiche.
- Eine umfassende Qualitätsverbesserung benötigt neueste Methoden und Technologien.
- Eine Qualitätsverbesserung bedarf Anstrengungen aller und nicht nur die Anstrengung einiger Spezialisten.

QFD ist auf der Philosophie und den Methoden und Strategien des TQM aufgebaut. Sollte TQM als Voraussetzung für die Anwendung von QFD nicht gegeben sein, so ist es sinnvoll, dass das QFD- Team eine Einführung in die TQM-Ziele erhält. Bei Unternehmen in denen der Qualitätsgedanke nur mangelhaft praktiziert wird, würde die Einführung von QFD vermutlich scheitern [Saatweber 1998].

Zur Strukturierung des Entwicklungsprozesses nutzt QFD das House of Quality. Abb. 2-4 zeigt hierzu das Schema.

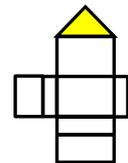


1. Kundenanforderungen „WAS?“
- 2 Bedeutung für den Kunden „WAS?“
- 3 Technische Merkmale „WIE
- 4 Beziehungsmatrix „WAS zu WIE“
- 5 Gewichtung der Technischen Merkmale
- 6 Wettbewerbsvergleich (Benchmarking)
- 7 Wettbewerbsvergleich der techn. Bedeutung
- 8 Bewertung Wechselwirkungen „WIE zu WIE“

Abb. 2-4 Schema von House of Quality

2.5 Ermittlung der Kundenanforderungen „WAS?“ (Schritt 1)

Die Ausrichtung auf den Markt bzw. auf die Kunden ist eine der wichtigsten Erfolgsfaktoren für Produktinnovationen. Zwei Drittel aller erfolgreichen Innovationen werden vom Markt her angeregt.



Für Unternehmen ist es nicht immer einfach den Kunden zu verstehen und so wird die Verwendung der Planungsmethode QFD als sehr sinnvoll angesehen.

2.5.1 Das Kano-Modell

Dieses Modell (Abb. 2-5), benannt nach *Noritaki Kano*, unterscheidet zwischen drei Zufriedenheitsfaktoren, die unterschiedliche Auswirkungen auf den Kunden haben:

- Basisanforderungen
- Leistungsanforderungen
- Begeisterungsanforderungen

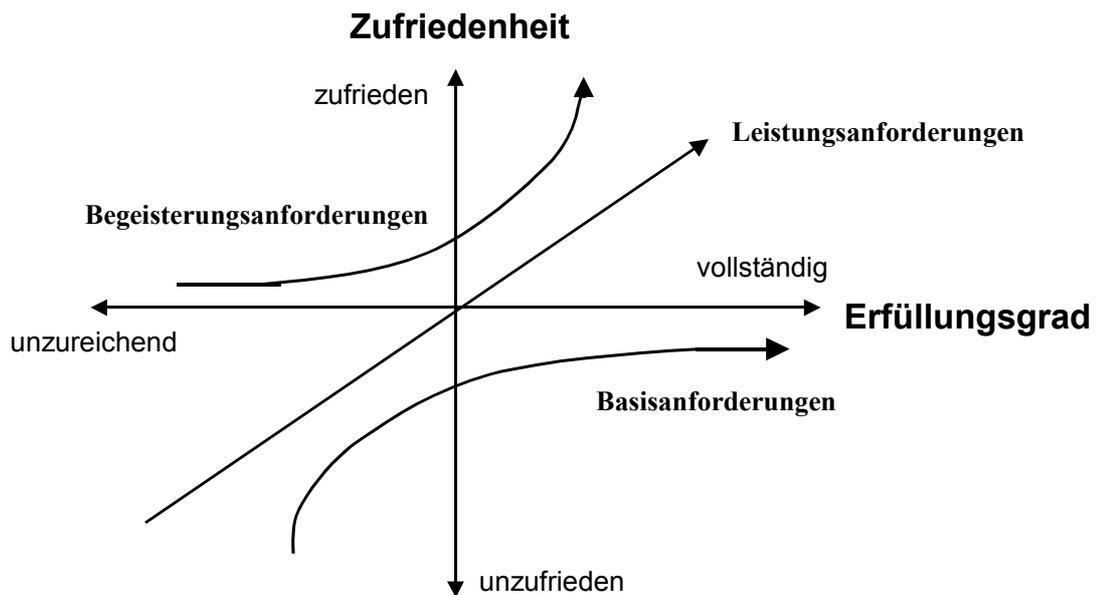


Abb. 2-5 Kano-Modell der Kundenbefriedigung

Die untere Kurve zeigt die *Basisanforderungen*, die ein Kunde an ein Produkt oder eine Dienstleistung stellt. Bei einer Aufnahme der Kundenwünsche werden diese Anforderungen nicht erwähnt, da diese Merkmale entweder dem Stand der Technik entsprechen oder als Selbstverständlichkeit vorausgesetzt werden. Zum Beispiel wird beim Kauf eines Pkw erwartet, dass die Bremse funktioniert und das Auto den allgemeinen Sicherheitsbestimmungen genügt [Klein 1999].

Die mittlere Kurve des Modells repräsentiert die *Leistungsanforderungen*, die der Kunde an das Produkt oder die Dienstleistung stellt. Der Kunde wird diese Forderungen bei einer Markterhebung direkt nennen. Wird den Anforderungen nicht nachgekommen, ist die Enttäuschung nicht so groß wie bei den Basisanforderungen. So wird beispielsweise der Grad der Enttäuschung über einen Pkw mit einem höheren Verbrauch geringer ausfallen als über nicht funktionierende Bremsen, also ein unsicheres Auto [Klein 1999].

Nach *Kano* beschreibt die oberste Kurve die Anforderungen, die den eigentlichen Unterschied zu den am Markt befindlichen Produkten ausmachen. Die sogenannten *Begeisterungsanforderungen* werden bei einer Kundenbefragung nicht vorkommen, da sie der Kunde nicht erwartet. Diese Anforderung wird vom Kunden nicht als selbstverständlich angenommen und begeistert auch bei nur teilweiser oder schlechter technischer Realisation, z.B. sind dies beim Auto Bordcomputer und Abstandswarner [Klein 1999].

Begeisterungsanforderungen müssen nicht von großer technischer Bedeutung sein. Oft sind diese Merkmale nur spezielle Designelemente, wie beispielsweise verschiedene Arten von Autoradioantennen, von der einfachen Teleskopantenne, über die Scheibenantenne, bis hin zur Stabantenne. Dies liegt zu oft in der Hand des Konstrukteurs und sollte eigentlich an die Stimme des Kunden angepasst werden [Klein 1999].

Mit der Zeit verändern sich die Merkmale und Anforderungen und so wird aus einer Begeisterungsanforderung zunächst eine Leistungs- und dann eine Basisanforderung. So war vor zehn Jahren der Airbag im Auto noch eine Begeisterungsanforderung, mittlerweile ist er jedoch eine Leistungsanforderung geworden. Die Hersteller differenzieren sich durch Anzahl, Größe und Art der Airbags und in ein paar Jahren wird der Airbag zur Gänze eine Basisanforderung sein, sodass ein Auto ohne Airbag nicht mehr verkäuflich sein wird [Herb et.al. 2000].

Um die Kundenanforderungen diesen drei zuordnen zu können, verwendet Kano sich polarisierende Fragestellungen. Als Beispiel wird ein Flugzeugpassagier herangezogen, wobei man der frage nachgeht, wie sich der Gefühlszustand verändert wenn etwas gegeben ist bzw. nicht gegeben ist.

Beispiel einer Fragenpaares:

1. Was empfinden Sie, wenn das Bodenpersonal einen *gute* Einstellung gegenüber dem Kunden zeigt?

A. Was empfinden Sie, wenn das Bodenpersonal eine *schlechte* Einstellung gegenüber dem Kunden zeigt?

Dazu stehen folgende Antwortmöglichkeiten zur Auswahl:

1. Es gefällt mir
2. Es wird erwartet
3. Es ist mir gleichgültig
4. Man hat keine Wahl
5. Es gefällt mir nicht

Die zweite Frage ist jeweils die negative Fragestellung der ersten. Um herauszufinden welche Anforderungsart vorliegt, verwendet *Kano* eine Matrix (Abb. 2-6).

Antworten zu den positiven Fragen	Antworten zu den Negativen Fragen				
	1. Es gefällt mir	2. Es wird erwartet, so zu handeln	3. Es ist mir gleichgültig	4. Man hat keine andere Wahl	5. Es gefällt mir
	A	B	C	D	E
1. Es gefällt mir	1				
2. Es wird erwartet, so zu handeln	2				
3. Es ist mir gleichgültig	3				
4. Man hat keine andere Wahl	4				
5. Es gefällt mir	5				

Abb. 2-6 Kano-Matrix [Terninko 1996]

Horizontal sind die Antworten der positiven Fragestellungen, vertikal hingegen jene der negativen Fragen angeführt. Bestimmte Antwortpaare haben folgende Bedeutung:

C-1 Begeisterungsanforderung

C-2 kein Interesse

C-3 kein Interesse

C-4 unterdurchschnittlich

D-1 Begeisterungsanforderung

D-2 kein Interesse

D-3 kein Interesse

E-1 Leistungsanforderung

E-2 Grundanforderung

E-3 Grundanforderung

E-4 keine Auswirkungen

2.5.2 Erhebung der Kundenanforderungen

Die Aufgabe, die Stimme des Kunden einzufangen, ist eine sehr wichtige, sie ist jedoch in der Praxis gar nicht so leicht zu erfüllen. Immer wieder beobachtet man das eine oder andere Fehlverhalten:

- Entwickler kennen die Forderungen der Kunden, da sie gute Kontakte zum Kunden pflegen und sie alle Reklamationen bearbeiten.
- Der Vertrieb soll die Kundenwünsche auflisten, er hat ja den besten Kontakt zu den Kunden.
- Der Zwischenhandel wird befragt.

All diese Befragungen verstoßen gegen eine fundamentale Erkenntnis: Nur der Kunde weiß, was er will. Er allein kann sagen, welche Produkteigenschaften ihm nützen und welche nicht, welche Wünsche er hat und für welche er bereit wäre Geld auszugeben.

Die Kunden definieren, was Qualität ist und welche Anforderungen die Lieferanten zu erfüllen haben. Werden diese nicht erfüllt, so wird sich der Kunde überlegen, ob er das Produkt weiter beziehen soll. Am Anfang jeder Produktentwicklung bzw. –verbesserung sollte man sich daher immer die Fragen stellen:

- Wer sind unsere Kunden?
- Was erwarten unsere Kunden von uns?
- Woran messen uns unsere Kunden?
- Erfüllen wir die Erwartungen?
- Was ist unser Produkt/Dienstleistung, mit der wir die Erwartungen erfüllen?
- Mit welchen Prozessen erfüllen wir die Erwartungen?
- Welche korrigierenden Maßnahmen sind notwendig, um Verbesserungen zu erreichen?

Diese trivialen Fragen können von 60% der Unternehmen nicht sofort beantwortet werden, da man sich noch nicht darum gekümmert hat oder die Verhältnisse nicht immer klar sind [Klein 1999].

Verfahren zur Erfassung der Stimme des Kunden:

Möglichkeiten zur Erfassung der Kundeninformationen bieten sich überall dort, wo Kommunikationsmöglichkeiten vorhanden sind, bei denen der Kunde motiviert ist, seine Meinung ohne Druck zu äußern, wie z.B.:

- schriftliche Befragung
- persönliche Interviews
- Telefonumfragen
- Kundenforen (Expertengespräche)

2.5.3 Strukturierung der Kundenanforderungen

Die Ergebnisse einer solchen Kundenbefragung erfüllen mit ihrer Vielzahl von Daten nur dann einen Sinn, wenn diese Aussagen in eine Struktur gebracht werden (siehe Abb. 2-6), d. h. Aussagen, die in die gleiche Richtung weisen, zusammengefasst werden. Daraus entstehen eine Menge von Obergruppen, die dann weiter in aussagekräftige Begriffe umgeformt werden müssen.

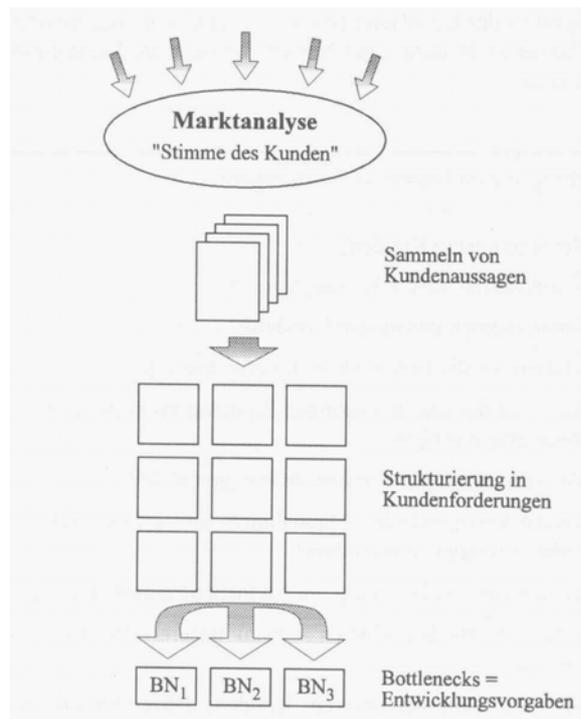
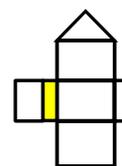


Abb. 2-7 Systematische Erfassung und Einbringung von Kundenanforderungen [Klein 1999]

2.5.4 Gewichtung der Kundenanforderungen (Schritt 2)



Sind die Anforderungen formuliert, werden sie in ein Formblatt eingetragen und können dann ihrer Bedeutung für den Kunden entsprechend gewichtet werden. Die relativen Wichtigkeiten stellen eine zentrale Eingangsinformation dar, da diese die Grundlage für die Vergabe von Prioritäten über den gesamten QFD-Prozess darstellen [Mellis 2001].

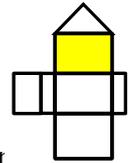
Die Berechnung dieser Gewichtung erfolgt beispielsweise durch das Verfahren des paarweisen Vergleichs. Die Kunden müssen dabei die einzelnen Anforderungen mit allen anderen Anforderungen vergleichen. Dies erfolgt mit einer Matrix, auf deren Zeilen und Spalten die einzelnen Anforderungen aufgelistet sind (siehe Tab. 2-1). Jedem Anforderungspaar werden dann die Zahlen „1“, „2“ und „3“, die den Aussagen „weniger wichtig“, „gleich wichtig“ und „wichtiger“ entsprechen, zugeordnet. Die Gewichtung ergibt sich aus den Summen der einzelnen Spalten.

	Leicht zu bedienen	Lange Lebensdauer	Wenig Energieverbrauch	Leicht zu reinigen
Leicht zu bedienen	-	1	1	1
Lange Lebensdauer	3	-	2	1
Wenig Energieverbrauch	2	2	-	1
Leicht zu reinigen	2	2	3	-
Summe	7	5	6	3

Tab. 2-1 Paarweiser Vergleich

2.6 Ermittlung der Design-Parameter „WIE?“ (Schritt 3)

Für jede Kundenanforderung gilt es, das/die Qualitätsmerkmal/e zu erkennen und in das *House of Quality* einzutragen.



In Zusammenarbeit sollen Entwickler sich die Frage stellen: „Welche Eigenschaft/Fähigkeiten soll das Produkt besitzen?“. Unter Zuhilfenahme der Kundenanforderungen und vergleichbarer Produkte sollen nun die Eigenschaften formuliert werden. Der Entwickler soll sich frei äußern können, wobei die Aussagen auch keine direkte Verbindung zu den Kundenanforderungen haben müssen. Zur übersichtlicheren und strukturierten Darstellung können die technischen Merkmale auch mit Funktionsanalyse oder einem Ursache-Wirkungs-Diagramm (*Ishikawa*-Diagramm) ermittelt werden (siehe Abb. 2-7).

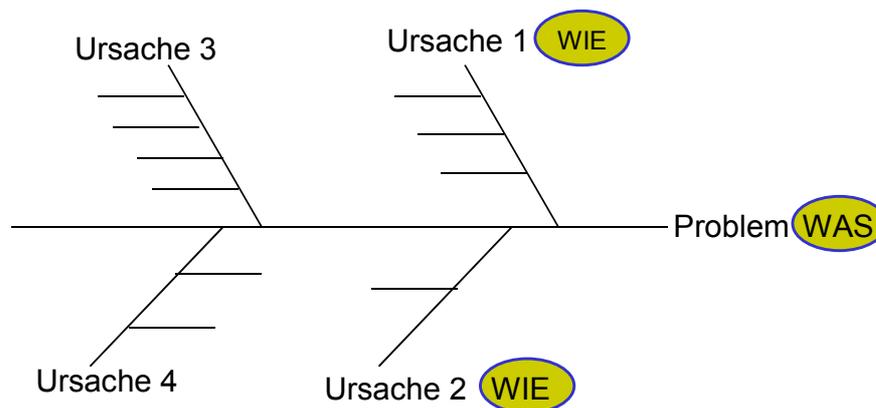
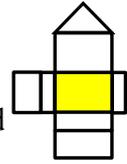


Abb. 2-8 Ishikawa-Diagramm

Anschließend werden die Aussagen der Designer mit gleichem Inhalt zusammengefasst, strukturiert und in aussagekräftige Begriffe umgeformt. Auch sollte ein Abgleich der Abdeckung der Kundenanforderungen durch die Produktmerkmale stattfinden. Eine Faustregel besagt, dass es ca. 2-3 Produktmerkmale pro Kundenanforderungen sein sollen [Grösel, Strasser 2002].

2.7 Ermittlung der Beziehungsmatrix (Schritt 4)

Dieser Teil des House of Quality entsteht durch die Vernetzung der Kundenanforderungen mit den technischen Merkmalen des Produktes und *Beziehungsmatrix*. Hier wird eingetragen, mit welcher Intensität ein Design-Parameter an der Erfüllung der Kundenanforderungen beteiligt ist.



Durch die Beziehungsmatrix lässt sich feststellen, ob alle Kundenwünsche durch Design-Parameter realisiert wurden und ob überflüssige Produktmerkmale angeführt werden, die gestrichen werden können, da sie keinen Kundenwunsch erfüllen. Außerdem ist die Beziehungsmatrix die Grundlage für die Berechnung der Gewichtung der Produktmerkmale.

Die Beschreibung der Beziehungen kann auf zwei Arten erfolgen:

Einerseits können Zahlen mit proportionalen Abständen (z.B.: 1-3-5 bzw. 1-2-3) oder mit asymmetrischen Abständen (z.B. 1-3-9) verwendet werden. Der Vorteil bei asymmetrischen Abständen liegt in der überproportionalen Gewichtung starker Beziehungen. Dies bewirkt eine größere Streuung und damit eine bessere Differenzierung der Design-Parameter.

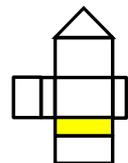
Auf der anderen Seite können die Skalenwerte auch in Zeichen dargestellt werden. Es werden dazu eine bestimmte Anzahl von Zeichen (ein, zwei, drei Kreuze) oder unterschiedliche Zeichen (Kreis, Quadrat, Dreieck) verwendet.

2.8 Gewichtung der Design Parameter (Schritt 5)

Die technischen Parameter lassen sich rechnerisch ermitteln.

Vorgehensweise:

1. Die Korrelationszahlen (siehe Schritt 4) werden mit der Gewichtung der Kundenanforderungen (siehe Schritt 2) multipliziert.
2. Die erhaltenen Werte werden Spaltenweise aufsummiert.
3. Diese Summen können in eine Reihenfolge oder in Prozentwerte übergeführt werden.



2.9 Definition und Erklärung von Benchmarking

Der Begriff „Benchmark“ stammt ursprünglich aus dem Vermessungswesen. Darunter versteht man einen Referenzpunkt, mit dessen Hilfe die Position von anderen Punkten bestimmt werden kann [Matyas 1999]. In der betrieblichen Praxis wird Benchmarking folgendermaßen definiert:

„Benchmarking ist der kontinuierliche Prozess, Produkte, Dienstleistungen und Praktiken gegen die stärksten Mitbewerber oder die Firmen zu messen, die als Industrieführer angesehen werden“ [Klein 1999].

Benchmarking liefert also Informationen über den Wettbewerb und zeigt Wege zur Wettbewerbsfähigkeit. Der Prozess des Benchmarking soll Unterschiede zu anderen Unternehmen offen legen, die Ursachen dafür herausarbeiten und die Verbesserungsmöglichkeiten aufzeigen.

Benchmarking kann als Methode verwendet werden zur:

- Wettbewerbsanalyse
- Ermittlung eines „best-practise“
- Kosten- und Aufwandsanalyse
- Definition von Prozesszielsetzungen

2.9.1 Vorgehensplan

Ein Benchmarkingprojekt kann grundsätzlich in zehn Schritte bzw. in fünf Phasen unterteilt werden (Abb. 2-8).

Schritt:	Frage:	Phase:
1. Identifikation	Was ?	Planung
2. Vergleichsunternehmen	Mit wem ?	
3. Daten	Welche Kennzahlen ?	
4. Produktivitätslücke	Welche Differenzen ?	Analyse
5. Zukünftige Produktivität	Wohin ?	
6. Kommunikation	Welche Überzeugungsart ?	Integration
7. Ziele	Wer wieviel ?	
8. Aktionen	Welche Projekte?	Aktion
9. Realisierung	Wie ?	
10. Neue Benchmarks	Wie weiter ?	
Führungsposition erreicht Neue Praktiken voll in den Prozess integriert		Reife

Abb. 2-9 Benchmarking in zehn Schritten [Matyas 1999]

Planung: Am Anfang des Prozesses wird festgelegt, wo man Benchmarking verwendet, am besten dort, wo die meisten Defizite vorhanden sind. Die Leitfragen dazu lauten:

- Was soll einem Benchmarking Prozess unterzogen werden?
- Mit wem oder womit wollen wir uns vergleichen?
- Welche Kennzahlen werden verglichen?

Analyse: Nachdem man jetzt weiß „Was“, „Mit wem“ und mit „Welchen Kennzahlen“, können jetzt die entsprechenden zugehörigen Daten gesammelt und der Wettbewerber analysiert werden. Zu hinterfragen ist somit [Klein 1999]:

- Sind die Benchmarking-Partner besser?
- Warum sind sie besser?
- Um wie viel sind sie besser ?
- Wie können ihre Praktiken/Verfahren an die eigenen Verhältnisse angepasst oder übernommen werden?

Integration: Aus den Daten der Analyse werden nun Sollvorgaben für das eigene Unternehmen abgeleitet. Die Resultate müssen klar und nachvollziehbar sein, da sie den Fachabteilungen vorgelegt werden. Auf diesen Daten aufbauend wird der Aktionsplan entwickelt.

Aktion: Die Resultate des Benchmarking werden in bestimmte Aktionen umgesetzt. Zusätzlich muss aber auch eine periodische Messung des Fortschrittes durchgeführt werden.

Folgende Schritte sind durchzuführen:

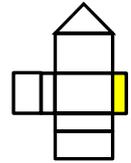
- Spezifikation der Aufgabe
- Reihenfolgeplanung
- Zuordnung benötigter Ressourcen
- Aufstellen eines Zeitplans
- Bestimmung der Verantwortung
- Erwartete Resultate
- Begleitende Messungen

Reife: Die Reife-Phase ist dann erreicht, wenn die besten Industriepraktiken in allen Geschäftsprozessen integriert sind und Spitzenleitungen sichtbar werden. Reife kann aber nur erreicht werden, wenn Benchmarking ein andauernder wesentlicher Bestandteil des Managementprozesses wird [Matyas 1999].

2.9.2 Vorteile des Benchmarking

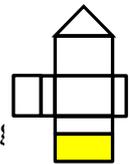
- Es sucht nach „best practices“ und liefert dadurch einen wesentlichen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit.
- Durch die Einbeziehung branchenfremder Betriebe bietet sich die Möglichkeit, mit den direkten Konkurrenten gleichzuziehen oder diese sogar zu überflügeln.
- Es werden die Leistungslücken aufgezeigt und sogar deren Ursachen analysiert.
- Die Suche nach der Konfrontation des eigenen Unternehmens mit der „harten Realität“.

2.10 Benchmarking Kundenanforderungen (Schritt 6)



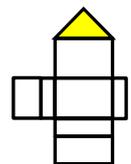
Bei diesem Benchmarking werden Kunden befragt, wie sie das eigene Produkt im Vergleich zu den Konkurrenzprodukten bewerten. Die Kunden beurteilen nicht nur auf Basis von Fakten und Daten, sondern es werden auch persönliche Interessen (z.B. Image, Design, etc.) miteinbezogen, die schwierig zu erfassen und auch schwer zu erfüllen sind. Es ist wie in 2.9.2 beschrieben vorzugehen, mit dem Vorteil, dass die Kundenanforderungen schon bekannt sind. Die Bewertung in der Analysephase erfolgt auf einer 5-stufigen Rating-Skala (0 = „nicht erfüllt“, 1 = „schlecht erfüllt“ bis 5 = „sehr gut erfüllt“).

2.11 Benchmarking Design-Parameter (Schritt 7)



In diesem Schritt werden die technischen Design Parameter des eigenen Produktes mit den Produkten der wichtigsten Konkurrenten verglichen. Dies legt die Wettbewerbsfähigkeit aus technischer Sicht offen und zeigt den Nachholbedarf gegenüber den Konkurrenten. Verbesserungen sind bei denjenigen technischen Parametern am erfolgreichsten, bei denen ein positives Entwicklungspotential bei geringer Realisierungsschwierigkeit festgestellt wurde [Franzmann, Nottebaum 1998]. Die wirksamsten sind allerdings dort, wo eine starke Beziehung zwischen Kundenanforderung und technischen Parametern vorliegt. Die Vorgehensweise ist so wie in 2.9.2 beschrieben.

2.12 Korrelationsmatrix (Schritt 8)



Im sogenannten *Dach* des *House of Quality* werden die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen technischen Parameterkombinationen herausgearbeitet.

Damit die Korrelationen oder Widersprüche aufgezeigt werden können, ist es hilfreich, die gewünschte Änderungsrichtung ($\uparrow\downarrow$) der Produktmerkmale festzulegen. Die Beziehung ist positiv, wenn sich die Produkteigenschaften gegeneinander verstärken, negativ, wenn sie gegensätzlich auf Veränderungen reagieren (siehe Abb. 2-9).

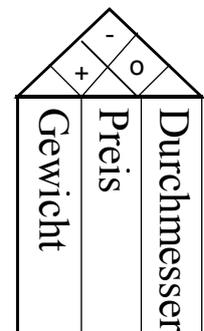


Abb. 2-10 Bsp. Korrelationsmatrix

3 TRIZ

3.1 Allgemeines

TRIZ ist eine Abkürzung für die russische Bezeichnung „*Teoriya Resheniya Izobretatel'skich Zadach*“. Ins englische übersetzt „*Theory of Inventive Problem Solving*“

Wobei „*Theory*“ im Sinne von: und „*Inventive*“ im Sinne von:

Vorgehensweise	schöpferisch
strukturierter Ansatz	einfallsreich
Methodik	die Phantasie anregend
Systematik	erfinderisch, kreativ

Die Deutsche Übersetzung lautet „die Theorie des erfinderischen Problemlösens“

TRIZ wurde durch den Forscher Genrich Altschuller (1926-1998) erarbeitet und soll helfen, durch den bewussten Umgang mit Konflikten und Widersprüchen, komplexe Probleme rasch und effizient zu lösen.

3.2 Entstehungsgeschichte

1926	Genrich Altschuller, Erfinder von TRIZ, wurde in Russland geboren
1940	Mit 14 Jahren Erfindung eines Tauchgerätes, das flüssiges Wasserstoffperoxyd zur Speicherung von Sauerstoff nutzt. Vorteil: geringer Auftrieb im Wasser bei hoher Speicherkapazität
1942	Mit 16 erstes Patent auf das Verfahren
1946	Erkenntnis, dass kreative Entwicklungen durch systematische Verfahren unterstützt werden Analyse von 200.000 Patenten und Auswahl von 40.000 Patenten mit den effektivsten Lösungen für die widersprüchliche Zielsetzung
1948	Vorschlag an Stalin ihre Idee nationsweit anzuwenden. Ergebnis war die Verurteilung als Jüdischer Intellektueller zu 25 Jahren GULAG in der Ardiis zusammen mit der intellektuellen Spitze der Sowjetunion Freilassung nach dem Tod Stalins
1954	Freilassung nach Stalins Tod 60er Jahre: Weiterentwicklung von TRIZ in Russland
90er Jahre:	Verbreiterung der Methode und Entwicklung von Software in den USA Veröffentlichung von 14 Büchern wobei nur 2 ins Englische übersetzt wurden

3.3 TRIZ-Methoden

TRIZ ist eine Verknüpfung bekannter Kreativitätstechniken zu einer komplexen Problemlösungsmethodik. Durch diese Methoden wird vorhandenes Wissen und Erfahrungen zu Verfügung gestellt. Bei vielen Methoden wird die Logik der Widersprüche als Ausgangspunkt verwendet um diese Probleme zu lösen.

Diese Vielzahl von Methoden können laut Rolf Herb (2000) in vier Gruppen Systematik, Wissen, Analogien und Vision eingeteilt werden (siehe Abb. 3-1). Sie sind je nach Aufgabenstellung in unterschiedlicher Anzahl und Kombination einsetzbar.

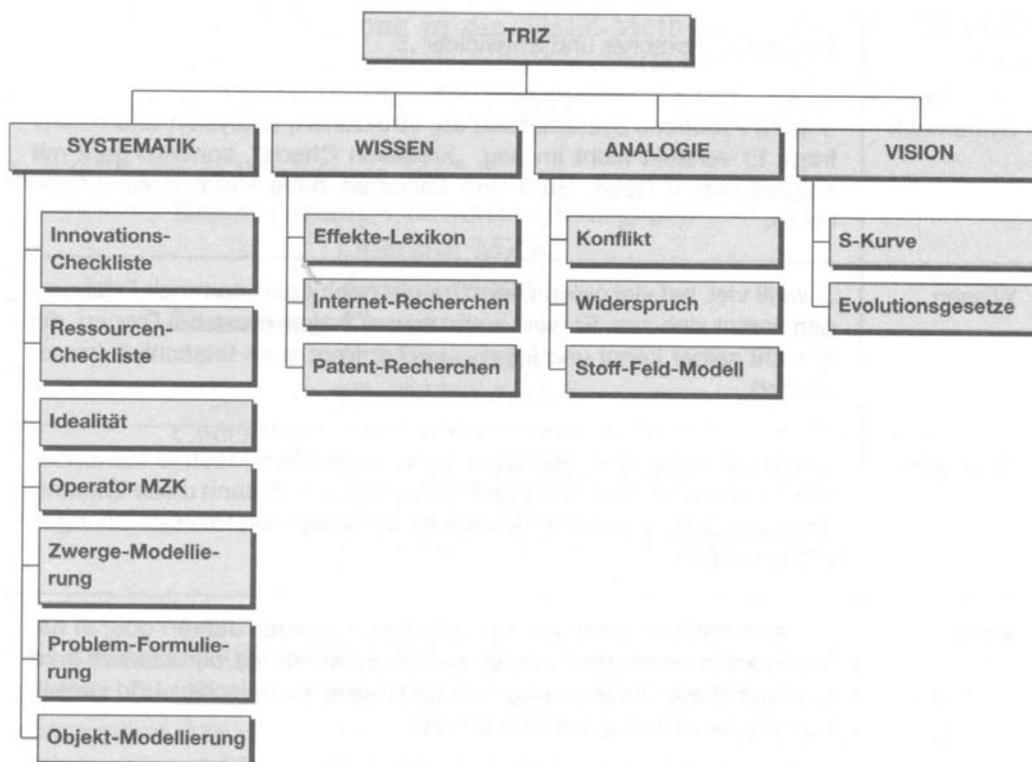


Abb. 3-1 TRIZ-Werkzeuge und deren Aufteilung in Gruppen [Herb et.al. 2000]

Systematik

Die Werkzeuge dieser Gruppe sollen helfen, ein Problem systematisch anzugehen, zu analysieren und es zu hinterfragen, um nicht im „kreativen Chaos“ unterzugehen [Herb et.al. 2000].

Wissen

Diese Wissenssammlungen dienen dazu, Fragen über verschiedenste Bereiche wie Physik, Chemie oder Mechanik dem Anwender zugänglich zu machen.

Analogien

Die Analogien und deren Werkzeuge sind für einen Anwender, der lernt wie andere kreative Menschen ähnliche Probleme lösen und „über den eigenen Zaun hinaus schaut“. Er kann dann diese aus ganz anderen Bereichen stammenden Problemlösungen an sein Problem anpassen [Herb et.al. 2000].

Vision

Die Methoden dieser Gruppe betrachten das Produkt, wie es in einigen Jahren ausschauen könnte, welche Entwicklung es durchlaufen wird und welche Trends dieses beeinflussen könnten.

Für die Entwicklung des ECODESIGN-QFD-PILOT wurde nur die Widerspruchsmethodik verwendet, die Methoden aus verschiedenen Gruppen beinhaltet. Diese werden ausführlich im nächsten Kapitel erklärt.

3.3.1 Widerspruchsmethodik

Altschuller fand bei der Untersuchung von 200.000 Patenten heraus, dass Innovationen oder gute Ideen nur dann entstehen, wenn ein unüberwindbarer und offensichtlicher Widerspruch vorhanden ist. Ein Widerspruch liegt dann vor, wenn das Verbessern eines Parameters eine Verschlechterung eines anderen Parameters hervorruft (z.B. eine Verlängerung eines Zeigestabes führt zu höherem Gewicht desselben).

Traditionell ist man in der Produktentwicklung bestrebt, ein Problem mit Versuchen zu lösen. Dies führt aber nicht immer zur Lösung und ist auch nicht der effektivste Ansatz. Bei TRIZ hingegen wird das Problem verallgemeinert, um es dann mit anderen allgemeinen Lösungen zu vergleichen und jene zu finden, die dann wieder konkretisiert werden können (siehe Abb. 3-2).

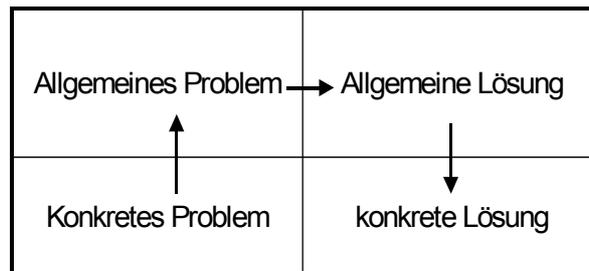


Abb. 3-2 Vier Schritte der Lösungsfindung [Herb et.al. 2000]

Durch die Ausarbeitung von mittlerweile 2,5 Mill. Patenten kann man bei TRIZ die abstrakten, verallgemeinerten Probleme mit standardisierten 39 technischen Parametern zu standardisierten Widersprüchen formulieren. Bei den Patenten wurde auch herausgefunden, dass diese Widersprüche mit 40 innovativen Lösungsprinzipien gelöst werden können (siehe Abb. 3-3).

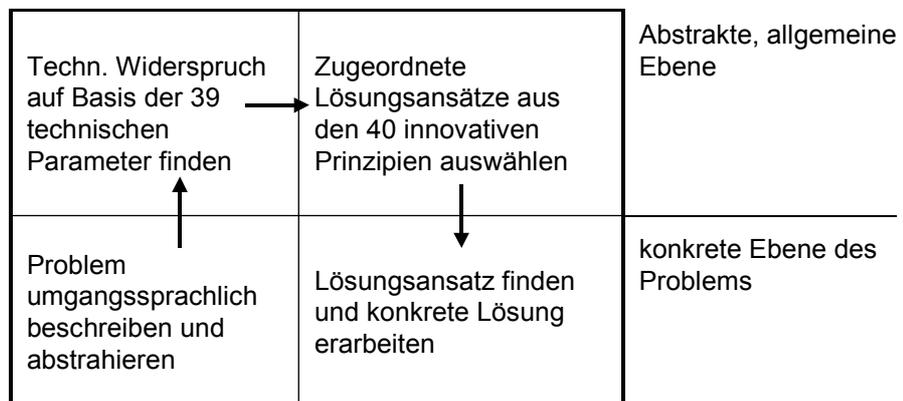


Abb. 3-3 Lösungsfindung nach TRIZ [Herb et.al. 2000]

Vorgangsweise bei der Widerspruchsmethode:

1. Problemformulierung
 - Primär nützliche Funktionen PNF
 - Primär schädliche Funktionen PSF
2. Aufbau des Modells der Aufgabe
 - Die im Widerspruch stehende Funktionen aussondern und aufschreiben
3. Formulierung des technischen Widerspruchs
4. Beschreiben des technischen Widerspruchs mit den technischen Parametern
5. Anwenden der Widerspruchsmatrix
6. Auswahl der zugeordneten innovativen Lösungsprinzipien
7. Ideen generieren

3.3.2 Problemformulierung

Am Anfang ist das Problem zu formulieren und zu analysieren. Das Problem wird in einer Funktionsmodellierung in Teilfunktionen zerlegt und deren Wechselwirkungen dargelegt. Es wird zwischen „primär nützlichen Funktionen“ (PNF) und „primär schädlichen Funktionen“ (PSF) unterschieden. Ziel ist, ein Ursache-Wirkungsdiagramm zu erzeugen, dass die Beziehung zwischen nützlichen und schädlichen Funktionen darstellt.

Für die Funktionsdarstellung stehen vier mögliche Verknüpfungen zur Verfügung, die in der Tabelle 3-1 dargestellt sind.

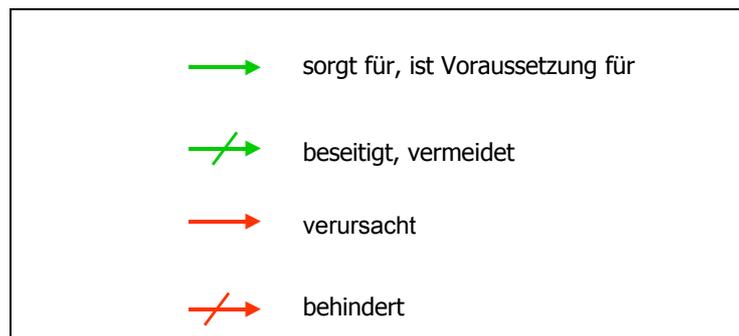


Abb. 3-4 Verknüpfungsarten nach Gimpel

Beispielsweise kann ein Restaurantbetrieb wie folgt dargestellt werden (siehe Abb. 3-4):

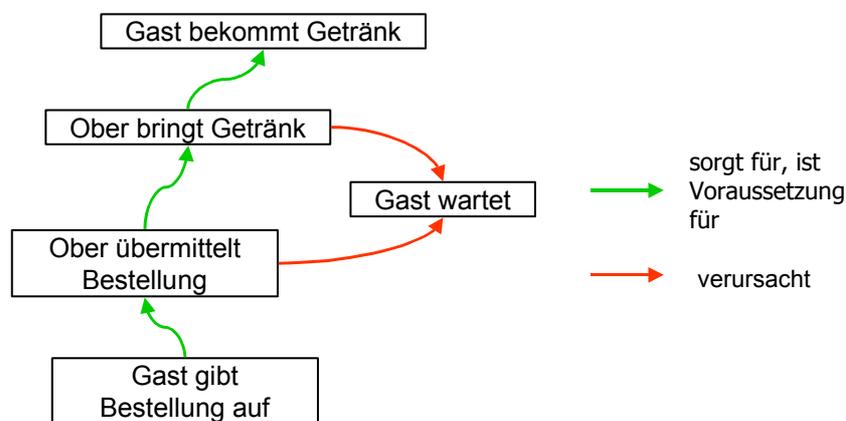


Abb. 3-5 Funktionsmodellierung eines Restaurantbetriebes

3.3.3 Identifikation eines Widerspruches

Durch diese Veranschaulichung ist es sehr leicht einen Widerspruch zu identifizieren. Da Funktionen, die einerseits andere Funktionen positiv beeinflussen (sorgt für, ist Voraussetzung für – grüner Pfeil) und andererseits gleichzeitig eine weitere Funktion negativ beeinflussen (verursacht – roter Pfeil), einen Widerspruch darstellen [Schneider 2000].

Im Beispiel des Restaurantbetriebes liegt der Widerspruch bei der Funktion *Ober übermittelt Bestellung*, da diese Funktion einerseits Voraussetzung für die Funktion *Ober bringt Bestellung* ist, aber andererseits die Funktion *Gast wartet* verursacht.

Altschuller fand bei seinen Recherchen heraus, dass Innovationen meist nur dann auftraten, wenn vorher ein Widerspruch oder Konflikt vorlag. Sozusagen sind Widersprüche oder Konflikte Voraussetzung für kreative Lösungen. Um auf innovative Prinzipien zugreifen zu können, ist es notwendig, die Widersprüche mit den standardisierten 39 technischen Parametern zu einem technischen Widerspruch umzuformulieren.

3.3.4 Beschreibung des technischen Widerspruches mit den 39 technischen Parametern

Die 39 technischen Parameter stellen den Ausgangspunkt bei der Anwendung der Widerspruchsmatrix dar. Die Widersprüche müssen mit einem zu verbessernden und einem nicht zu verändernden Parameter beschrieben werden. Es soll eine bestimmte Eigenschaft verbessert werden (zu verbessernder Parameter) ohne eine andere Eigenschaft zu verschlechtern (nicht erwünschte Veränderung). In Tabelle 3-2 sind die 39 technischen Parameter aufgelistet.

Im Beispiel des Restaurantbetriebes kann ein technischer Widerspruch folgendermaßen formuliert werden: *Ober übermittelt Bestellung* ist einerseits *benutzerfreundlich* (technischer Parameter 33) aber andererseits kommt es zu einem *Zeitverlust* (technischer Parameter 25).

39 technischen Parameter

1	Gewicht eines bewegten Objektes	18	Helligkeit
2	Gewicht eines stationären Objektes	19	Energieverbrauch eines bewegten Objektes
3	Länge eines bewegten Objektes (Länge eines Objektes/Systems in Bewegungsrichtung)	20	Energieverbrauch eines stationären Objektes
4	Länge eines stationären Objektes (Länge, Breite, Höhe eines Objektes/Systems)	21	Leistung (Das für die betreffende Aktion benötigte Verhältnis aus Aufwand und Zeit)
5	Fläche eines bewegten Objektes	22	Energieverschwendung
6	Fläche eines stationären Objektes	23	Materialverschwendung
7	Volumen eines bewegten Objektes	24	Informationsverlust
8	Volumen eines stationären Objektes	25	Zeitverschwendung
9	Geschwindigkeit (Tempo mit dem eine Aktion, ein Prozess abläuft)	26	Materialmenge
10	Kraft (Fähigkeit, physikalische Veränderungen an einem Obj./System hervorzurufen)	27	Zuverlässigkeit (Die Fähigkeit, über eine bestimmte Zeit die vorgegebene Funktion adäquat zu erfüllen)
11	Druck oder Spannung (Intensität der einwirkenden Kräfte)	28	Messgenauigkeit
12	Form (Äußerliche Erscheinung)	29	Fertigungsgenauigkeit
13	Stabilität (Widerstandsfähigkeit gegen äußere Kräfte)	30	äußere negative Einflüsse auf das Objekt
14	Festigkeit (Fähigkeit Kräfte und Belastungen innerhalb definierter Grenzen auszuhalten)	31	negative Nebeneffekte auf das Objekt (intern erzeugte Effekte, die Qualität/Effizienz beeinträchtigen)
15	Haltbarkeit eines bewegten Objektes (Zeitspanne, während der ein Obj. in der Lage ist, seine Funktion zu erfüllen)	32	Fertigungsfreundlichkeit
16	Haltbarkeit eines stationären Objektes	33	Benutzerfreundlichkeit
17	Temperatur (Verlust oder Gewinn von Wärme als mögliche Gründe für Veränderungen an einem Obj., System oder Produkt während des geforderten Funktionsablaufes)	34	Reparaturfreundlichkeit
		35	Anpassungsfähigkeit
		36	Komplexität in der Struktur
		37	Komplexität der Kontrolle/Steuerung
		38	Automatisierungsgrad
		39	Produktivität (Das Verhältnis zwischen der Zahl der abgeschlossenen Aktionen und des dazu notwendigen Zeitbedarfes)

Tab. 3-1 Liste der technischen Parameter

3.3.5 Die 40 innovativen Prinzipien

Laut Altschuller hat jedes zu Erfindung führende Problem mindestens einen Widerspruch. Diese mit den 39 technischen Parametern definierten Widersprüche können dann mit 40 innovativen Lösungsprinzipien (siehe Tab. 3-2) gelöst werden. Diese sind im Anhang A genauer beschrieben und mit verschiedensten Beispielen belegt.

40 innovative Prinzipien			
1	Segmentierung	21	Überspringen
2	Abtrennung	22	Schädliches in Nützliches wandeln
3	Örtliche Qualität (Charakteristik)	23	Rückkopplung
4	Asymmetrie	24	Verbindungsglied, Vermittler
5	Vereinen	25	Selbstversorgung
6	Multifunktionalität, Universalität	26	Kopieren
7	Verschachteln	27	Billige Kurzlebigkeit
8	Ausgleichskraft, Gegengewicht	28	Mechanisches System ersetzen
9	vorgezogene Gegenaktion (Gegenmaßnahme)	29	Pneumatik und Hydraulik
10	vorgezogene Aktion (Präventivmaßnahme)	30	Flexible Hüllen und Schichten
11	Vorbeugemaßnahme	31	Poröse Materialien
12	Äquipotential	32	Farbveränderung
13	Umkehrung	33	Homogenität
14	Krümmung	34	Ersatz- und Regenerationskomponenten
15	Dynamisierung	35	Eigenschaftsänderung
16	partielle oder überschüssige Wirkung	36	Phasenübergang
17	Dimensionserweiterung; höhere Dimension	37	Wärmedehnung
18	Mechanische Schwingungen	38	starkes Oxydationsmittel
19	periodische Wirkungen	39	Inertes Medium
20	Kontinuität	40	Verbundstoffe

Tab. 3-2 Liste der innovativen Prinzipien

3.3.6 Widerspruchstabelle

Die Widerspruchstabelle (siehe Anhang B) stellt die Verbindung der 39 technischen Parameter mit den 40 innovativen Lösungsprinzipien dar. Sie ist eine 39x39 Matrix, wobei die zu *verbessernden Parameter* senkrecht und die *nicht erwünschte Veränderung* waagrecht aufgetragen sind. Es ergeben sich also 1.482 mögliche Konflikte, die immer nur durch die 40 Innovations-Prinzipien gelöst werden.

Jedes Tabellenfeld (siehe Abb. 3-6) ist mit den Ziffern der aussichtsreich erscheinenden Prinzipien belegt, wobei hinter jeder Ziffer ein Prinzip steht. Es ist oft – nicht immer - relevant, zu definieren, welcher Parameter verbessert und welcher verschlechtert wird, denn die Reihenfolgen kann die Anzahl und Art der Prinzipien beeinflussen.

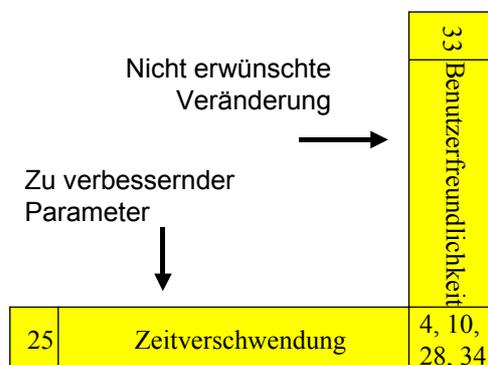


Abb. 3-6 Beispiel Restaurantbetrieb: Widerspruchstabelle

Im Falle des Restaurantbetriebes, wo der Widerspruch der Zeitverschwendung (zu verbessernder Parameter) und Benutzerfreundlichkeit (nicht erwünschte Veränderung) definiert wurde, lassen sich folgende Prinzipien ablesen:

- 4 Asymmetrie
- 10 vorgezogene Funktion
- 28 Mechanik ersetzen
- 34 Beseitigung und Regeneration

Wobei nur das Prinzip *vorgezogene Funktion* relevant ist. Daraus kann die Idee abgeleitet werden, wie in einem Fast-Food Restaurant, keinen Kellner der die Bestellung aufnimmt einzustellen.

3.4 TRIZ innovative Problemlösungsmethode ohne Widerspruchstabelle

Die 40 innovativen Prinzipien und die Widerspruchsmatrix sind gute Methoden für innovative Problemlösungsmethoden mit Widersprüchen. Chen Lewis (2001) verwendet bei seiner entwickelten Methode keine Widerspruchsmatrix, nur die 40 Prinzipien.

Es ist nicht immer möglich einen Widerspruch zu formulieren. Manchmal kennt der Designer nur den technischen Parameter, den er verbessern will und kann nicht sagen oder vorhersagen welche Veränderung dieser hervorruft. Darüber hinaus gibt es nicht für jeden Widerspruch innovative Lösungsprinzipien. Für diesen Fall ist für den Designer die TRIZ Widerspruchstabelle nutzlos, um Prinzipien zu finden und sein Problem zu lösen.

In der Widerspruchsmatrix erscheinen einige innovative Prinzipien öfter als andere. Diese führen häufiger zur Lösung, also besitzen sie eine höhere Erfolgsquote. Chen hat dies durch aufsummieren der Anzahl der Erscheinungen aller Prinzipien für je einen technischen Parameter in seiner Methode aufgezeigt. Die vertikale Achse der Tabellen 3-3 und 3-4 zeigen die 39 TRIZ Parameter, die der Designer verbessern will. Auf der horizontalen Achse sind die Häufigkeiten des Auftretens der Prinzipien je Parameter aufgetragen. Chen klassifiziert diese in verschiedene Gruppen, je nach Auftretenshäufigkeit, wie A (mehr als 19 mal), B (zwischen 16-18 mal), C (zwischen 13-15 mal), D (zwischen 10-12 mal), E (zwischen 7-9 mal), F (zwischen 4-6 mal) und G (zwischen 1-3 mal). Bei Prinzipien, die oft erscheinen (Gruppen A, B und C), ist die Chance größer, bei der Problemlösung erfolgreich zu sein. So kann der Designer das Problem innovativ lösen, ohne einen Widerspruch formulieren zu müssen [Lui 2001].

Level	Feature	A (more than 19 times)	B (16~18 times)	C (13~15 times)	D (10~12 times)	E (7~9 times)	F (4~6 times)	G (1~3 times)
1	Weight of moving object	35		28	26.18.02.08.10.15.40.29.31	27.34.01.36.19.06.37.38	03.32.22.24.39.05.13.11	12.21.20.17.04.30.16.14.25.23
2	Weight of non-moving object	35	28.10.19.01.26	26	27.13.02.18	06.15.22.29	39.32.09.14.40.05.08.03	17.25.30.20.16.11.36.37.24
3	Length of moving object	29	15	35.04.17	10.28.08.14	19.24.13.26	16.02.34.09.07	37.39.18.32.36.05.12.22.25.23.40.06.38
4	Length of non-moving object			35	28.14.26.01.10	07.15	03.02.29.18.30.24.32.16	17.40.08.13.27.09.37.38.39.06.25.23.19.31.12.11.05
5	Area of moving object		15	17.26.13.02	10.29.30.04	01.14.19.32.34.28.03	18.39.16.35	07.05.25.36.33.22.40.11.06.31.38.23.24.09.12
6	Area of non-moving object			18.35	39.30.17.04.36	39.30.17.04.36	32.15.07.01.38	28.26.37.22.09.29.03.14.13.27.25.23.19.31.06
7	Volume of moving object		35	02.10.29	01.15.34.04.06.07	13.40	16.28.14.39.17.18.26.22.30.25.37.36	24.38.11.12.32.19.09.23.27.20.21.05.03
8	Volume of non-moving object	35		2		18.14.34	10.04.39.19.31.37.30.06.01.16	25.17.07.24.15.26.27.03.09.32.38.40.08.28.22.36.05
9	Speed	28.35	13	34	10.38.15	08.02.18.19	32.03.29.14.04.26.01.30	16.21.36.24.27.06.11.12.05.33.23.25.09.20.22.07.40
10	Force	35.10.36	37.18	28.19	15.01.02	03.21.13.40	14.26.16.17.08	12.11.34.29.09.24.20.05.23.27.30.32.38.39.04.06.25
11	Tension/pressure	35.10	36.37		02.14	19.03.18.40.01	06.15.13.24.27.25	33.04.16.32.22.28.21.29.39.11.09.23.38.12.08.34
12	Shape	1	10.14.15.35	29.34	32.13.40.04	02.28.22	30.05.26.18.07.17.03	16.06.08.25.37.27.39.19.36.09.12.11
13	Stability of object	35	39.02	1	40.13.18.32.30	27.15.03.22.28	19.10.14.17.11.04.23.34.33	24.21.26.37.31.16.06.29.08.05.09.38
14	Strength	03.35.10.28	40.15	14.27		26.09.18.02.32.01.29	08.11.13.17.19.30.	34.22.06.07.37.31.25.16.05
15	Durability of moving object	35.19	03.10	27	28	02.06.18	13.04.29.15.25.39.01.22.40	31.09.33.14.16.26.11.38.34.20.17.30.21.12.08.32
16	Durability of non-moving object			16	35.10	01.40	38.27.06.34.19.18.03.02.20	25.24.39.23.22.28.31.17.33.36.26.21.30
17	Temperature	35.19	2		03.10.39.18.22	21.32.27.17.16.28.36.26.38	24.30.04.14.15.06.40	31.13.09.34.33.25.01.29.20.07
18	Brightness	19.32.01	13		15.35.02.26	6	17.16.03.10.24	28.27.11.25.30.39.21.08.04.22
19	Energy spent by moving object	35.19			18.28.02.06	15.24.01.13.27.32	16.12.38.17.29.14.34.10.03	21.25.26.37.05.08.31.11.23.22.09.30
20	Energy spent by non-moving object					01.35.19	18.27.04.37.36.31.22	10.16.28.02.23.29.03.32.06.09.15.12.25

Tab. 3-3 Auftretenshäufigkeit TRIZ Prinzipien zu den TRIZ Parameter (Teil1)

Level	Feature	A (more than 19 times)	B (16~18 times)	C (13~15 times)	D (10~12 times)	E (7~9 times)	F (4~6 times)	G (1~3 times)
21	Power	35.19.10.02			32.06.38.18	34.31.26.28.17	27.16.20.01.15.22.30.37.14	12.25.36.08.29.03.13.04.24.21.11.40
22	Waste of energy	35	2	19.07	15.10	18.06.38.32.	13.28.22.14.17.01.21.26.23.25.30	16.27.39.03.29.11.36.05.12.37.24.31.20.09.34
23	Waste of substance	10.35.28	18	31.24	02.27.39.03	34.40.29.05.13	38.01.36.06.30.14.15.33.23.16	22.32.37.21.25.08.19.12.04
24	Loss of information	10			35	24.26.22	28.32.19.30.01	02.27.33.13.15.16.23.21.29.18.04.06.05
25	Waste of time	10.35.28.18		04.32	34.20.26	29.24.05	01.30.16.37.17.06.15.36.19.02	14.22.03.38.39.21.27.25.09.07
26	Amount of substance	35.03.29	18	10		14.27.40.31.28.15.02	13.06.24.25.34.30.01.39.16.19.32.36	33.26.17.38.04.07.23.22.21.20.12.08
27	Reliability	35.10.11	40	28.27.03	1	13.24.08.02.32.29	19.21.04.14.16.23	17.39.26.15.36.06.34.31.09.30.38.25.05.18
28	Accuracy of measurement	32.28.26		03.01	24.06.34.01.13	35.02.	16.25.27.11.23	05.33.18.15.31.19.04.12.39.17.22.36
29	Accuracy of manufacture	32	28.10	18	02.26.35	3	01.25.29.30.36.24.27.23.40	34.37.17.04.11.13.16.19.31.33.39.09.38
30	Harmful factors acting on	22.35.02	1	33.28	18.19.24.27.40	39.10.37	31.29.21.13.34.17.15.26	23.30.06.03.32.11.25.16.36.04
31	Harmful side effects	35.22.02.39		01.18	40	21.24.17.19	15.03.10.27.33.34.04.26	31.16.06.28.29.30.32.23.13.36
32	Manufacturability	35	28	27.13	26	24.15.16.29.	02.11.10.04.32.18.34.12.17.19.40	08.05.36.09.03.33.37.06.23.25.30.31
33	Convenience of use	01.	13	02.28.35.32	12.15.34.25	16.26.17.27	04.03.10.24.40.19.39.29	22.30.05.18.23.06.08.09.31.07.11
34	Repairability	01.10.02	11.	35.13	32.15.16.27	25.28.	34.04	09.03.12.07.26.19.17.29.18.31
35	Adaptability	35.15.01		29	41321		19.28.10.37.08.34.03.30.27.06.17.	32.31.14.04.18.07.26.11.20.22.24.05.25
36	Complexity of device	1	26.28.10.13	35	02.29.19.24	34.27.15.17	06.36.37.30.18.22	12.04.32.40.14.20.03.31.39.25.23.09.11.07
37	Complexity of control	35	28	27.26	02.19.29.15.16.01.03	18.24.13.32.39.10	25.40.22.37.36.34.06.17	11.21.30.04.05.38.31.33.23.12.08.09
38	Level of automation	35.		02.28.26	01.13.10.34	18.24	23.27.32.15.17.08.12.16.19.	03.33.14.30.05.25.06.11.04.21.09.07
39	Productivity	35.10.28		1		18.02.37.26.34.14.15.38.29.17	24.03.32.13.12.23.22.39.06.19	16.20.27.30.04.40.05.25.21.31.36

Tab. 3-4 Auftretenshäufigkeit TRIZ Prinzipien zu den TRIZ Parameter (Teil2)

4 Der ECODESIGN-PILOT

4.1 Allgemeines

Der ECODESIGN-PILOT ist folgendermaßen definiert [*ECODESIGN 2001*]:

„Ein qualitatives Hilfsmittel, das Ihnen ermöglicht, in kurzer Zeit ECODESIGN Maßnahmen zur Verbesserung Ihres Produktes zu ermitteln. Die Maßnahmen werden konkret, in der Sprache der Produktentwicklung angegeben und können sofort umgesetzt werden.“

PILOT steht dabei für Produkt-, Innovations-, Lern- und Optimierungs-Tool.

Der PILOT bietet einerseits die Möglichkeit der Wissenserweiterung und andererseits soll er die Produktentwicklung, in Bezug auf die Gestaltung, in Richtung ECODESIGN unterstützen. Er bietet daher Lernseiten und praxisorientierte Checklisten.

Für die Anwendung des PILOT werden ECODESIGN-Checklisten verwendet. Sie dienen als Arbeitsunterlagen und sollen den Produktentwickler bei der Produktverbesserung unterstützen. Mit Hilfe der Checklisten und den darin enthaltenen Fragen werden jene Maßnahmen aufgezeigt, die einerseits hohes Umweltverbesserungspotential des Produktes besitzen und andererseits mit vergleichsweise geringem Risiko umgesetzt werden können. In einem multidisziplinären Team (Produktentwicklung, Produktion, Einkauf, Marketing, ...) sollen die Checklisten bearbeitet werden, um die geeigneten Maßnahmen zu finden.

Der PILOT besitzt sowohl für die Produktverbesserung als auch für die Neuentwicklung einen Zugang. Bei der Neuentwicklung werden in jedem Produktentwicklungsstadium Hinweise gegeben, welche Umwelt-Aspekte zu diesem Zeitpunkt besonders zu beachten sind. Diese Einbindung ökologischer Gesichtspunkte ist besonders bei neuen Produkten wichtig, da hier der Handlungsspielraum noch relativ groß ist. Bei Produktverbesserungen ist entweder der Aufwand, solche Anpassungen durchzuführen, sehr hoch, oder es besteht gar keine Möglichkeit mehr dazu.

4.2 Entstehungsgeschichte

1999	Wolfgang Wimmer entwickelt die ECODESIGN-Checklisten-Methode
2001	Der ECODESIGN-PILOT erscheint auf CD-ROM
2002	Der ECODESIGN-PILOT ist auch Online zugänglich Ein Buch zum ECODESIGN-PILOT wird in deutscher und englischer Version veröffentlicht und der PILOT ist zusätzlich zu Englisch und Deutsch auch auf italienisch erhältlich.
2002	Der Assistent zum PILOT, eine Umweltbewertungsmethode, wird erstellt

4.3 Aufbau

Der ECODESIGN-PILOT ist in drei Hauptzugänge gegliedert:



Abb. 4-1 Die drei Hauptzugänge des ECODESIGN-PILOT mit Logos [Wimmer, Züst 2001]

Die Resultate des PILOT sind:

- 5-10 ECODESIGN-Maßnahmen, die zu Verbesserung eines Produktes führen sollen,
- ECODESIGN Anforderungen, die bei der Produktentwicklung wichtig sind,
- ECODESIGN Verständnis, das für richtungssichere Entscheidungen erforderlich ist.

Die ECODESIGN-Maßnahmen (über 100) sollen als Ergebnis zur Produktverbesserung führen und somit sind sie nach verschiedenen Gesichtspunkten, je nach Hauptzugang, Produktleben, Entwicklung und Verbesserung, unterschiedlich aufgeteilt.

4.3.1 Zugang: Produktleben

Der Zugang Produktleben dient vor allem dem Lernen und Erkennen von ECODESIGN-Maßnahmen. Dazu sind die Maßnahmen entlang des Produktlebenszyklus (siehe Abb. 4-2) aufgeteilt.

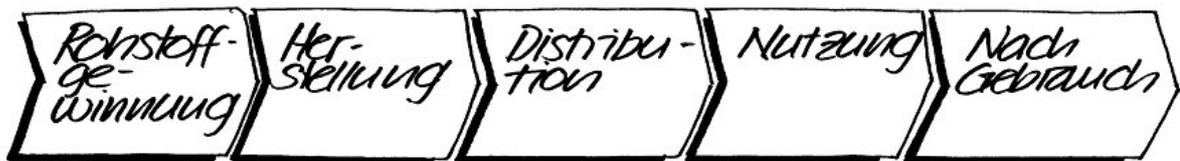


Abb. 4-2 Produktlebenszyklus [Wimmer, Züst 2001]

Die zur Herstellung der Produkte benötigten Rohstoffe müssen zuerst gewonnen werden. Nach der Produktion werden die Produkte vom Erzeuger zum Verbraucher transportiert. Dieser nutzt das Produkt, bis dass es am Ende der Nutzungsphase entsorgt, verwertet oder wiederverwendet wird.

Jede Phase des Produktlebenszyklus weist Aspekte auf, die für die umweltgerechte Produktentwicklung relevant sind. Diesen Aspekten sind die passenden ECODESIGN-Maßnahmen bzw. –Handlungsanweisungen (siehe Abb. 4-3) zugeordnet. Die einzelnen Phasen und deren Aspekte werden im weiteren beschrieben.

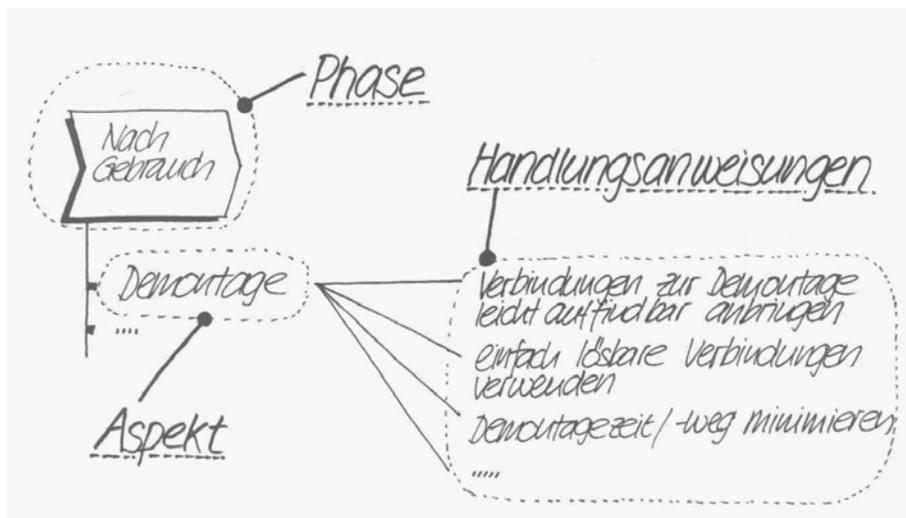


Abb. 4-3 Struktur des Zugangs Produktleben [Wimmer, Züst 2001]

4.3.1.1 Rohstoffgewinnung

Die Bereitstellung von Materialien und Energien erfolgt meist durch Entnahme und Umwandlung natürlicher Ressourcen. Bevor der Stahl erzeugt werden kann, muss Erz abgebaut werden. Es sind hier also all jene Aspekte zugeordnet, die sich mit dem Abbau von Rohstoffen, mit der Erzeugung der Materialien und den dabei stattfindenden Transporten zusammenhängen.

In der Phase Rohstoffgewinnung listet der ECODESIGN-PILOT folgende Aspekte auf [ECODESIGN 2001]:

- Materialart
- Materialmenge
- Materialherkunft

Der Konstrukteur bzw. der Produktentwickler legt das Material fest und sollte sich auch bezüglich dieser drei Aspekte Gedanken machen.

4.3.1.2 Herstellung

Im Anschluss an die Rohstoffherstellung werden aus den erzeugten Rohstoffen (z.B. Stahlbleche, Kunststoffgranulat, ...) Produkte hergestellt. Dies erfolgt mit diversen Prozessen und Verfahren (z.B.: Stanzen, Spritzgießen, etc.). Damit diese Herstellung funktioniert, sind entsprechende Betriebsmittel wie Werkzeugmaschinen, Montageautomaten, Transportsysteme, und Betriebsstoffe notwendig.

In der Herstellungsphase sind folgende Aspekte relevant [Wimmer, Züst 2001]:

- Produktionstechnologie
- Energiebedarf in der Produktion
- Hilfs- und Betriebsstoffe in der Produktion
- Produktionsabfall und -emissionen
- Zukauf von Teilen und Komponenten
- Montagevorgang

Legt der Konstrukteur ein Augenmerk auf diese Aspekte, so kann dies erheblichen Einfluss auf die Herstellung haben.

4.3.1.3 Distribution

Nach der Herstellung wird das Produkt vom Hersteller zum Händler bzw. zum Endverbraucher transportiert. Durch diese Verteilung der Produkte wird viel Energie aufgewendet und Emissionen abgegeben.

Damit ein zerbrechliches oder verderbliches Produkt auch sicher ankommt, wird es verpackt. In dieser Haltbarmachung liegt das Potential der Verpackung, jedoch wird durch ihre Herstellung Material aufgewendet und die daraus resultierenden Abfälle fallen beim Verbraucher an.

Im Anschluss sind die beiden Aspekte der Distributions-Phase des ECODESIGN-PILOT aufgelistet [ECODESIGN 2001]:

- Produktverpackung
- Transport zur Produktdistribution

Die Produktentwicklung muss beachten, dass das zu erzeugende Produkt auch sicher transportiert werden kann oder zumindest so verpackt wird, dass es keinen Schaden erleidet. Bei der Verpackung, die ihrerseits ein eigenes Produkt darstellt, ist auch die Entsorgung und das Recycling durch den Endverbraucher zu beachten.

4.3.1.4 Nutzung

Die Nutzung ist für den Verbraucher die wichtigste Phase, in der das Produkt seinen Zweck erfüllen muss. Je länger ein Produkt genutzt wird, desto länger kann es seinen Zweck erfüllen. Es hängt natürlich auch von der Funktionalität, der Ergonomie und der Produktgestaltung ab, wie und wann es genutzt wird.

In der Nutzungsphase kann es wieder zu einem Energie- und Materialverbrauch an Hilfs- und Betriebsstoffen, kommen. Es sind aber auch Emissionen, Lärm und Abfälle nicht zu vernachlässigen.

Durch eine einfache Wartung und Reparatur eines Produktes kann die Zuverlässigkeit, die Betriebssicherheit und dadurch auch die Lebensdauer erhöht werden.

Die für diese Phase relevanten Aspekte werden im PILOT wie folgend angeführt [ECODESIGN 2001]:

- Funktionalität des Produktes
- Dauer der Produktnutzung
- Benutzerverhalten in der Nutzungsphase
- Produktergonomie
- Umweltsicherheit in der Produktnutzung
- Energiebedarf in der Nutzung
- Hilfs- und Betriebsstoffe in der Nutzung
- Nutzungsumfeld
- Abfall/Emissionen in der Nutzung
- Wartung des Produktes
- Reparatur des Produktes

Die Produktentwicklung hat großen Einfluss auf die Gebrauchsphase, da sie von der Funktionalität, der Lebensdauer, der Ergonomie bis hin zur Wartung und Reparatur des Produktes alles beeinflussen und festlegen kann. Bei einigen Produkten kann auch der Nutzer durch sein Verhalten sowohl den Energie- bzw. Materialverbrauch als auch die Lebensdauer des Produktes beeinflussen.

4.3.1.5 Nach Gebrauch

Am Ende der Nutzungsphase verliert das Produkt für den Anwender seinen Wert. Es wird durch ein neues Produkt ersetzt und muss entsorgt werden, was auf zwei verschiedene Arten geschehen kann: Das ressourcenschonende Recycling oder die Verbrennung bzw. Deponierung.

Bei der sinnvolleren Form der Verwertung, dem Recycling wird zwischen dem Materialrecycling und dem Produktrecycling unterschieden. Einerseits kann das Material wieder- bzw. weiterverwertet werden und andererseits ist es möglich, direkt das Produkt wieder bzw. weiterzuverwenden.

Verbrennung und Deponierung sind die minderwertigsten Formen der Entsorgung, da keinerlei Rückgewinnung von Material und Ressourcen stattfindet.

Die für die Nachgebrauchsphase relevanten Aspekte werden im PILOT wie folgend angeführt [ECODESIGN 2001]:

- Produktrücknahme
- Demontage
- Produktaufarbeitung
- Teileweiterverwendung
- Materialverwertung
- Entsorgung nicht nutzbarer Produktteile

Der Endverbraucher, die Altstoffsammlung, der Schrotthändler oder die Entsorgungsunternehmen sind also nicht alleine verantwortlich für die Nachgebrauchsphase. Die Produktentwicklung entscheidet wie das Produkt zerlegt und aufgearbeitet werden kann, ob Teile wieder- oder weiterverwendet werden können, ob Materialien verwertbar sind oder ob unvermeidbare Problemstoffe entnommen werden können [Attwenger 2002].

4.3.2 Wissens- und Anwendungsteil

Jedem Aspekt dieser Produktlebensphasen sind, wie in Abb. 4-3 dargestellt, Handlungsanweisungen zugeordnet. Zu jeder Handlungsanweisung gibt es zwei Zugänge, einerseits die LEARN-Seiten im Wissensteil und andererseits die APPLY-Seiten (Checkliste) im Anwendungsteil.

Der *Wissensteil* (siehe Abb. 4-4) soll zur Information herangezogen werden, da er den Umweltbezug der Handlungsanweisung erklärt und auch bei der Anwendung behilflich sein kann. Zusätzlich zum Umweltbezug ist immer ein Beispiel angeführt. Im Zugang Produktleben werden noch Abhängigkeiten zu anderen Handlungsanweisungen angeführt. Diese unterstützen den Lernprozess, da sie Beziehungen quer über den Lebensweg aufzeigen [Wimmer, Züst 2001].

ECODESIGN PILOT MOTIVATION | ONLINE | PRODUKTLEBEN | ENTWICKLUNG | VERBESSERUNG
 @ ▲ 🏠 📄 LERNEN ANWENDEN

Hilfs- und Betriebsstoffe in der Nutzung
 Produktleben ← Nutzung ←



Möglichst geringen Verbrauch an Hilfs- und Betriebsstoffen zur Nutzung des Produktes ermöglichen [Abhängigkeiten]

Art und Menge der Hilfs- und Betriebsstoffe bestimmen speziell bei aktiven (verbrauchslastigen) Produkten den Umwelt- und Ressourcenverbrauch. Oft verstecken sich hinter den Betriebs- und Hilfsstoffen große Mengen an grauer Energie oder Stoffen, die zur Bereitstellung erforderlich sind. Dies ist bei Treibstoffen oder Waschmittel relativ offensichtlich, aber beispielsweise bei Wasser (Pumpenergie zur Druckerzeugung) nicht mehr ganz so deutlich. Somit ist nicht nur der Aspekt der Ressourcenschonung, sondern auch die Frage der Verbräuche betroffen. Beides kann (siehe Beispiel: Zweimengenspülkasten) durch umweltgerechte Produktgestaltung positiv beeinflusst werden.



Einsatz umweltverträglicher Hilfs- u. Betriebsstoffe zur Nutzung des Produktes ermöglichen [Abhängigkeiten]

In der Beurteilung der Umweltverträglichkeit eines Produktes spielen die Betriebs- und Hilfsstoffe eine wichtige Rolle. Sie müssen in gleicher Weise beurteilt und erfasst werden. Neben dem Verbrauch (Quantität) der Betriebs- und Hilfsstoffe ist deren Beschaffenheit (Qualität) für eine Beurteilung nach ökologischen Gesichtspunkten maßgebend. Umweltgefährdende, giftige oder risikobehaftete Betriebs- und Hilfsstoffe sind zu vermeiden.

Abb. 4-4 Ausschnitt einer ECODESIGN-Wissenseite [Wimmer, Züst 2001]

Im *Anwendungsteil* werden die Handlungsanweisungen als Checklisten ausgegeben. Diese enthalten je ein Beispiel und eine Bewertungsfrage (Wie kann ich die Erfüllung der Handlungsanweisung überprüfen?) sowie Zusatzfragen (Woran ist zu denken, wenn die Bewertung vorgenommen wird?). Siehe dazu Abbildung 4-5.

ECODESIGN PILOT MOTIVATION | ONLINE | PRODUKTLEBEN | ENTWICKLUNG | VERBESSERUNG
 @ ▲ 🏠 📄 LERNEN ANWENDEN

Funktionalität des Produktes
 Produktleben ← Nutzung ←

Checkliste drucken - Bewertung des Produktes

Produkt

Ist das Produkt zuverlässig, erfüllt es seine Funktionen ausfallfrei?

Welche Gründe könnten einen Ausfall des Produktes verursachen? Wie verursachen welche Bauteile einen möglichen Ausfall? Welche Maßnahmen zur Verbesserung der Zuverlässigkeit sind möglich?

Gewichtung (G)	Bewertung (B)	Priorität (P)
<input type="radio"/> sehr wichtig (10)	<input type="radio"/> ja (1)	<input type="text" value="P = G * B"/>
<input type="radio"/> weniger wichtig (5)	<input type="radio"/> eher ja (2)	
<input type="radio"/> nicht relevant (0)	<input type="radio"/> eher nein (3)	
	<input type="radio"/> nein (4)	

Maßnahme	Hohe Zuverlässigkeit des Produktes sicherstellen	
Umsetzungsrisiko	<input type="radio"/> hoch <input type="radio"/> gering	weil <input type="text"/>
Durchführung	<input type="radio"/> sofort <input type="radio"/> später <input type="radio"/> gar nicht	Zuständigkeit <input type="text"/>
		Termin <input type="text"/>

Abb. 4-5 Ausschnitt einer ECODESIGN-Checkliste [Wimmer, Züst 2001]

4.3.3 Zugang: Entwicklung

Dieser zweite Hauptzugang des ECODESIGN-PILOT stellt den Produktentwicklungsprozess dar. Die Gesamtheit der ECODESIGN-Maßnahmen, die im *Produktleben* zugeordnet sind, werden auch hier in geänderter Struktur aufgelistet. Dieser Zugang ist für den Konstrukteur bzw. Produktentwickler so aufbereitet, dass er in jeder Phase der Produktentwicklung gezielt darauf hingewiesen wird, welche Fragen im Zusammenhang mit ECODESIGN zu stellen sind. Es sollen also die richtigen Maßnahmen zur richtigen Zeit berücksichtigt werden [Wimmer 2001]. Der Produktentwicklungsprozess ist in folgende idealisierte Abschnitte aufgegliedert:

- Produktpositionierung
- Einsatzzweck
- Funktionsstruktur
- Baustruktur
- Dokumentation

Durch diese gezielte Unterstützung wird der Konstrukteur bzw. Produktentwickler frühzeitig auf relevante Umweltmaßnahmen in den einzelnen Entwicklungsphasen hingewiesen [Wimmer 2001].

4.3.4 Zugang: Verbesserung

Der dritte und letzte Zugang des ECODESIGN-PILOT beschäftigt sich mit einer Produktverbesserung. Dieser Einstieg ermöglicht ein vorhandenes Produkt durch Auswahl geeigneter ECODESIGN-Maßnahmen zu verbessern. Jedes Produkt hat andere Umweltein- bzw. -auswirkungen und daher sind auch für unterschiedliche Produkte verschiedene Verbesserungsstrategien zielführend.

Beispielsweise ein hoher Energieverbrauch in der Nutzung, intensive Nutzung aber auch Dauerbetrieb bei relativ kleinem Energieverbrauch bewirken, dass ein Belastungsmaximum in der Nutzungsphase auftritt (siehe Abb. 4-6). Es handelt sich also um ein „nutzungsintensives Produkt“. Z.B. sind die Waschmaschine, der Geschirrspüler und der Kühlschrank nutzungsintensive Produkte

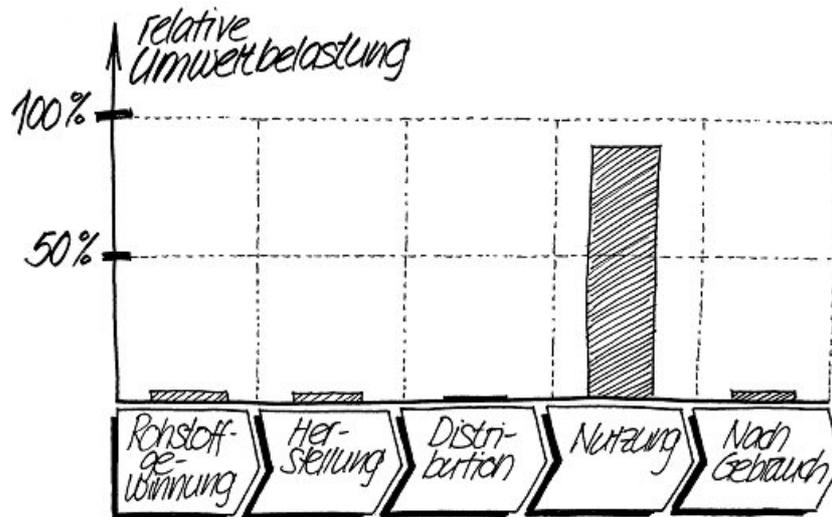


Abb. 4-6 Grundtyp D: Bedeutende Umweltbelastungen durch die Nutzung [Wimmer, Züst 2001]

Darüber hinaus werden noch vier weitere Produkttypen unterschieden:

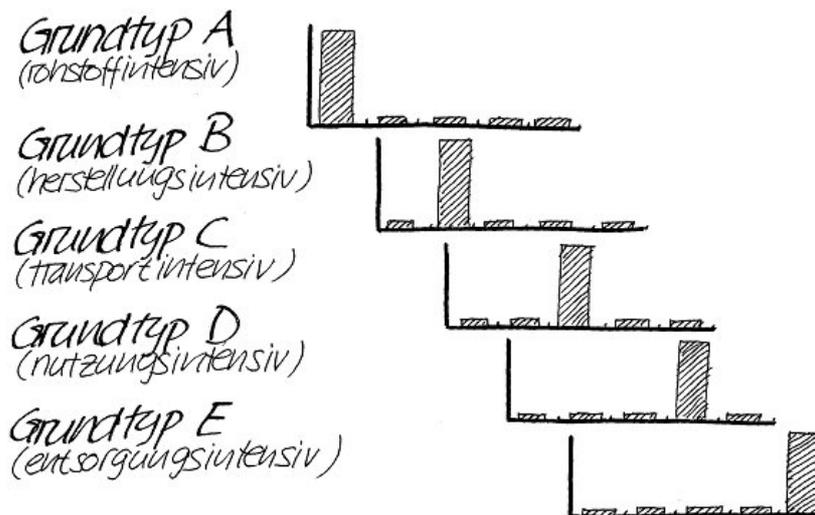


Abb. 4-7 Grundtypen von Produkten [Wimmer, Züst 2001]

Diesen Grundtypen sind im ECODESIGN-PILOT Verbesserungsstrategien zugeordnet. Diese enthalten ihrerseits wiederum alle Maßnahmen, die zu den erwünschten Verbesserungen führen sollen. In der nachfolgenden Tabelle 4-1 ist die Zuordnung der Strategien zu den fünf Grundtypen aufgelistet.

Grundtyp	ECODESIGN-Strategien
Grundtyp A - rohstoffintensives Produkt	Zielgerichtete Materialwahl Materialeinsparung Optimierung der Nutzungsweise des Produktes Optimierung der Funktionsweise des Produktes Verbesserung der Wartbarkeit Steigerung der Produktlebensdauer Verbesserung der Reparierbarkeit Erhöhung der Demontagefreundlichkeit Wiederverwendung von Produktteilen Wiederverwertung von Materialien
Grundtyp B - herstellungsintensives Produkt	Verringerung des Energieverbrauchs in der Produktion Optimierung von Art und Menge der Hilfsstoffe in der Produktion Vermeiden von Abfällen in der Produktion Umweltfreundliche Beschaffung von Zukaufteilen Optimierung der Nutzungsweise des Produktes Optimierung der Funktionsweise des Produktes Verbesserung der Wartbarkeit Steigerung der Produktlebensdauer Verbesserung der Reparierbarkeit Erhöhung der Demontagefreundlichkeit Wiederverwendung von Produktteilen
Grundtyp C - transportintensives Produkt	Reduktion des Verpackungsaufwandes Reduktion des Transportaufkommens
Grundtyp D - nutzungsintensives Produkt	Optimierung der Funktionsweise des Produktes Verbesserung der Wartbarkeit Gewährleistung von hoher Umweltsicherheit Verbrauchsreduktion in der Nutzung Abfallvermeidung in der Nutzung
Grundtyp E - entsorgungsintensives Produkt	Zielgerichtete Materialwahl Steigerung der Produktlebensdauer Verbesserung der Reparierbarkeit Erhöhung der Demontagefreundlichkeit Wiederverwendung von Produktteilen Wiederverwertung von Materialien

Tab. 4-1 Grundtypen mit den zugeordneten Strategien

Um den Grundtyp bestimmen zu können, muss eine Umweltbewertung des zu verbessernden Produktes durchgeführt werden. Dies kann z.B. mit dem am Institut erstellten Assistenten zum ECODESIGN-PILOT [Attwenger 2002] erfolgen. Durch Eingabe einiger wichtiger Lebenszyklusdaten, z.B. Art und Gewicht der eingesetzten Materialien und deren Entsorgung, wird der Grundtyp ermittelt und die dazu passenden Strategien ausgegeben. Diese Umweltbewertung kann aber auch durch eine Ökobilanz oder durch Umweltindikator-Methoden (z.B. Material-Input pro Serviceeinheit, Oil Point Method, Eco-Indicator 95 oder Eco-Indicator 99) durchgeführt werden, diese sind aber im Vergleich zum Assistenten meist aufwendiger.

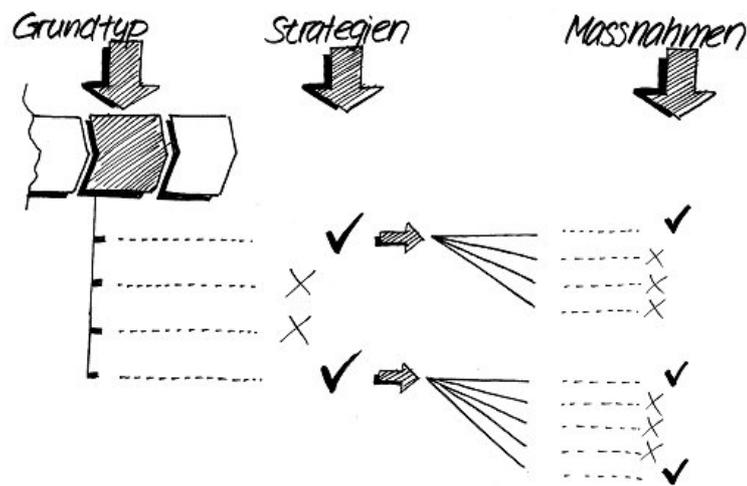


Abb. 4-8 Vorgehensweise bei der ECODESIGN-Produktverbesserung [Wimmer, Züst 2001]

Die Vorgehensweise bei einer ECODESIGN-Produktverbesserung ist so wie in Abb. 4-8 dargestellt. Anfangs wird der Grundtyp bestimmt, dann werden die Strategien ausgewählt und die Maßnahmen eruiert.

Jeder Strategie ist eine Checkliste zugeordnet. Aus allen ermittelten Strategien sollen jetzt die relevanten ECODESIGN-Maßnahmen ausgewählt werden. Die Checklisten sollen anschließend in einem multidisziplinären Team (Produktentwicklung, Produktion, Einkauf, Marketing, ...) ausgefüllt werden.

Vorgangsweise bei der Bearbeitung der Checklisten:

1. Die Bedeutung der Bewertungsfrage im Hinblick auf das jeweilige Produkt ist zu gewichten (G). Dabei steht der Wert 10 für sehr wichtig, bezogen auf mein Produkt, 5 für weniger wichtig und 0 für unwichtig für mein Produkt.
2. Dann erfolgt die Bewertung (B), ob die Bewertungsfrage an dem Produkt erfüllt ist oder nicht. Dabei steht der Wert 4 für „nein, nicht erfüllt“ bis 1 „ja, bereits erfüllt“ bei diesem Produkt.

Anschließend wird die Priorität durch Multiplikation von Gewichtung und Bewertung berechnet.

Mit dieser einfachen Vorgehensweise identifiziert man die ECODESIGN-Maßnahmen, die einerseits sehr wichtig und andererseits noch nicht umgesetzt sind, also jene, die eine hohe Priorität besitzen. Auf diese Maßnahmen mit der höchsten Priorität sollte der Focus gerichtet sein, da sie die höchsten Verbesserungspotentiale, in Bezug auf die Umwelt, besitzen.

Sind die wichtigen Maßnahmen definiert, soll im Team über mögliche Lösungen nachgedacht werden. Dies soll anfangs wie ein *Brainstorming* durchgeführt werden, sodass keine guten Lösungen verloren gehen. Für die am besten empfundene Idee ist das Umsetzungsrisiko (hoch oder niedrig, siehe Abb. 4-5) einzuschätzen und anzugeben, wer die Verantwortung der Durchführung trägt und bis zu welchem Zeitpunkt die Idee umgesetzt werden soll.

Die Maßnahmen mit einem niedrigen Umsetzungsrisiko und einem hohen Umweltverbesserungspotential sind somit gefunden und können in der Produktentwicklung realisiert werden [Wimmer 2002].

5 Der ECODESIGN-QFD-PILOT

In diesem Kapitel wird ein Software-Tool entwickelt, das dem Produktentwickler helfen soll ECODESIGN anzuwenden. Es wird konkret auf ein Produkt angewendet, wobei, ausgehend von den umweltrelevanten Kundenanforderungen, jene ECODESIGN-Maßnahmen ausgegeben werden, die zu Produktverbesserungen führen sollen.

Der klassische *Life Cycle Thinking*-orientierte Ansatz des ECODESIGN PILOT, liefert die Maßnahmen dafür, ein Produkt zu verbessern (siehe Kap 4.). Dieses Tool soll im Vergleich dazu den Produktentwickler zusätzlich unterstützen, indem die umweltrelevanten Kundenanforderungen systematisch integriert werden (siehe Abb. 5-1).

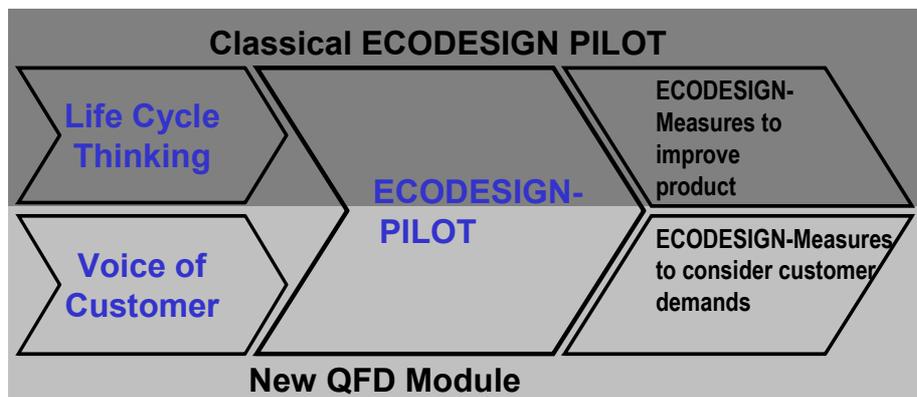


Abb. 5-1 Vergleich ECODESIGN-QFD-PILOT mit ECODESIGN-PILOT [Wimmer, Strasser, Pamminger 2003]

Dieses Tool ermöglicht dem Produktentwickler durch das Verwenden einer Beziehungsmatrix (siehe aus Kap. 2.7), vorausgewählte umweltrelevante Kundenanforderungen, in technische Design-Parameter umzusetzen. Durch Aufzeigen der für den Kunden wichtigsten Parameter kann man mit Hilfe von ECODESIGN-Checklisten Maßnahmen finden, die zur Produktverbesserung führen. Außerdem kann durch die Verwendung der von *Altschuller* entwickelten TRIZ-Prinzipien (siehe Kap. 3), mit der direkten innovativen Lösungssuche begonnen werden.

Neben der Beziehungsmatrix werden auch noch die weiteren Werkzeuge des QFD (siehe Kap. 2) verwendet: Der paarweise Vergleich für die Gewichtung der umweltrelevanten Kundenanforderungen und das Benchmarking für die Erfüllung der umweltrelevanten

Kundenanforderungen und Realisierung der technischen Design-Parameter im Vergleich zu den Wettbewerbern.

In diesem Tool wurde als Sprache Englisch gewählt, da das Institut für Konstruktionslehre und Fördertechnik, speziell beim Thema ECODESIGN, viel mit ausländischen Firmen zusammenarbeitet und diese Arbeit auch angewendet werden soll.

5.1 Methodische Einbindung des ECODESIGN-QFD-PILOT

Der ECODESIGN-QFD-PILOT ist wie Abb.5-2 zeigt, eingebettet in ein Methodengebäude. Zentrales Element dieses Tools ist QFD, ein bewährtes Strategieelement der Qualitätsplanung.

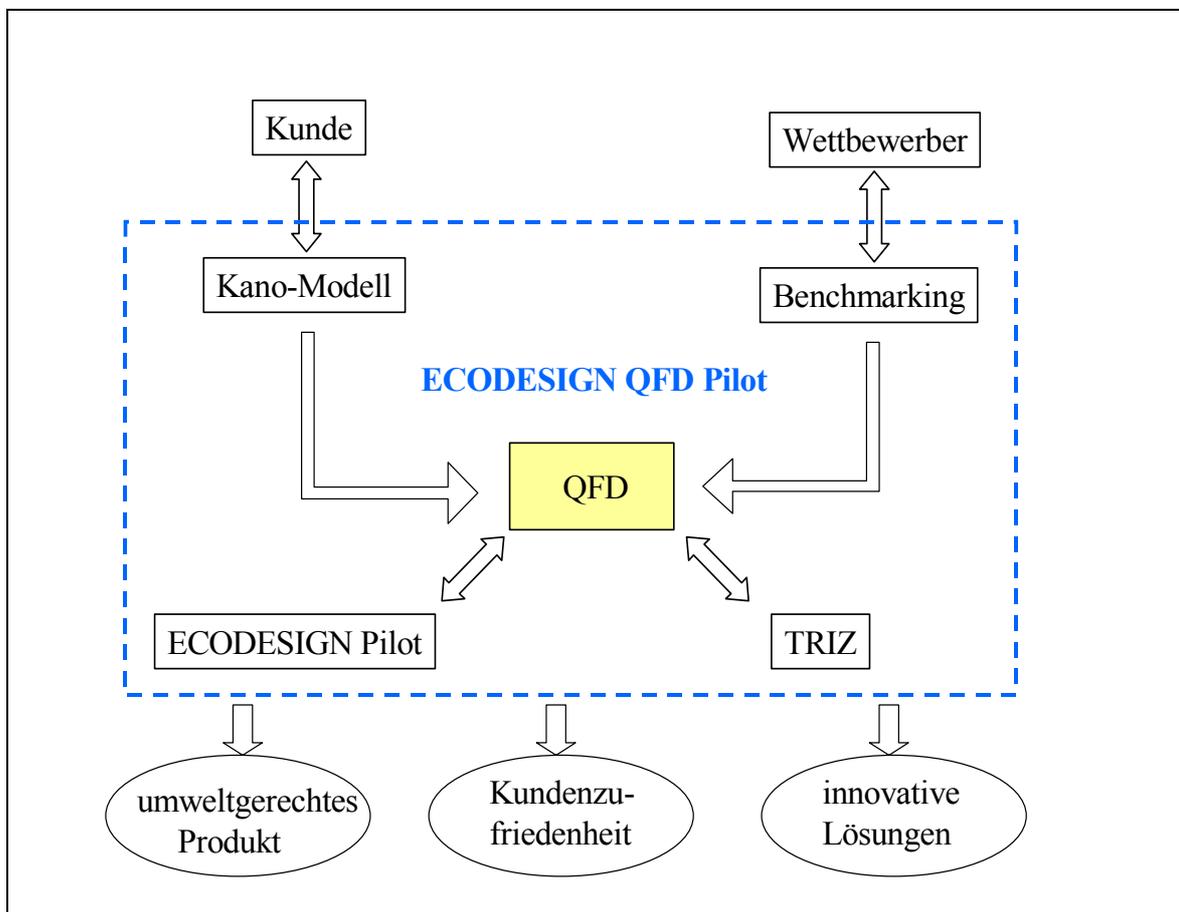


Abb 5-2 Methodische Einbindung des ECODESIGN-QFD-PILOT

Durch das Zusammenwirken vom kundenorientierten Kano-Modell (siehe Kap. 2.5.1), dem leistungs- und marktorientierten Benchmarking, dem umweltbezogenen ECODESIGN-PILOT und den TRIZ-Lösungsprinzipien, liegt ein Potential in der

Optimierung der Produktentwicklung. Durch die integrative Verknüpfung dieser Ansätze zu einem Gesamtkonzept sollen zusätzlich zu den drei ausgewiesenen Ansprüchen, „Schaffung eines umweltgerechten Produktes“, „Kundenzufriedenheit“ sowie „innovative Lösungen“, auch Einsparungen bei Entwicklungskosten und auch Entwicklungszeitverkürzungen erzielt werden.

5.2 Vorgehensweise bei der Erstellung des ECODESIGN-QFD-PILOT

Zu Beginn wurde durch eine Recherche der Problemlösungsmethoden QFD [Terninko 1996] und [Aka0 1992], FMEA [Franke 1987] und TRIZ [Altschuller] festgestellt, welche davon geeignet sind, einen zusätzlichen Gesichtspunkt zum ECODESIGN-PILOT zu generieren. Es wurden die Methoden QFD und TRIZ ausgewählt, wobei konzentriert mit QFD gearbeitet wurde. Von der Methode TRIZ werden die Lösungsprinzipien verwendet.

Zur Umsetzung des ECODESIGN-QFD-PILOT wird MS-Excel für den Berechnungsteil und html, in Form des ECODESIGN-PILOT für den Produktentwicklungsteil verwendet. Für die weitere Arbeit stehen die Begriffe **QFD-Tool** für das MS-Excel Programm und **QFD-PILOT** für die an die Methode angepasste und mit weiteren Funktionen erweiterte html-Version (siehe Abb. 5-3). Bei der Verwendung des Begriffes **ECODESIGN-QFD-PILOT** wird die gesamte Verbindung von Berechnungsteil und Produktentwicklungstool angesprochen. Dabei werden im Excel die drei Elemente des QFD umgesetzt (siehe Abb. 5-3) und in html die drei Elemente der Produktentwicklung verwirklicht.

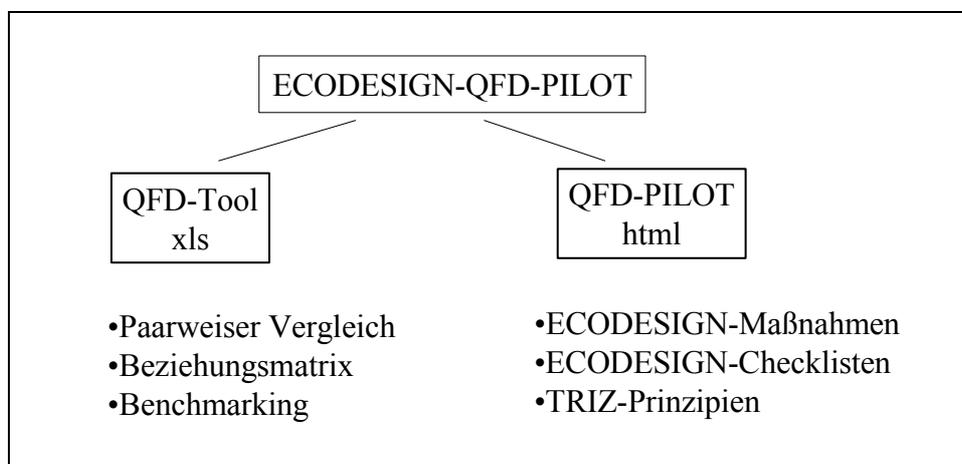


Abb. 5-3 Begriffsabgrenzung

Die eigentliche Erstellung des Tools erfolgte dann in vier Schritten, auf die in den nächsten Kapiteln näher eingegangen wird.

- Definition umweltbewusster Kundentypen
- Generierung umweltrelevanter Kundenanforderungen
 - Zuteilung der ECODESIGN-Maßnahmen zu den Kundenanforderungen
- Generierung technischer Design-Parameter
 - Zuteilung der ECODESIGN-Maßnahmen zu den Design-Parameter
 - Zuteilung der TRIZ-Prinzipien zu den Design-Parametern
- Erstellung der Beziehungsmatrix

5.3 Definition umweltbewusster Kundentypen

Im Vorwort des Buches „Umweltverträgliches Wirtschaften“ definiert [Gottwald, Dürr 1995] den Begriff „ökologisches Bewusstsein“:

“Im ökologischen Bewusstsein liegt die selbstverpflichtende Bereitschaft, der natürlichen und sozialen Mitwelt möglichst wenig Schaden zuzufügen oder, im positiven Sinne, durch das eigene Tun möglichst viel zum Erhalt und zur Verbesserung von Anpassungsleistungen an die Umwelt beizutragen, wenn nicht gar die Welt schöner zu hinterlassen als vorgefunden.“

Bei der Definition des Kunden wurde davon ausgegangen, dass er nicht nur der Nutzer oder Käufer sondern auch der Händler oder der Gesetzgeber sein kann. Für diese Arbeit wurden daher vier verschiedene Arten von Kunden definiert. Sie besitzen jeweils eine andere Orientierung, Werthaltung, einen anderen Grad des Umweltbewusstseins und eine andere Beziehung zu den Kosten des Produktes (siehe Tab. 5-1).

Typen	Orientierung	Werthaltung	Grad des Umweltbewusstsein	Kosten
Basic	nutzungsorientiert	Wohlstand	gering	Hauptkriterium
Secure	gesetzesorientiert	Sicherheit	beschränkt (je nach Gesetz)	zentraler Punkt
Ecological	umweltorientiert	Umweltqualität	hoch	bereit, mehr Geld auszugeben
Ideal	holistisch	Persönlichkeitsentfaltung Lebensqualität	sehr hoch	untergeordnet

Tab. 5-1 Zusammenfassung der Charaktere der einzelnen Kundentypen

5.4 Umweltrelevante Kundenanforderungen

Darunter werden umweltspezifische Anforderungen an das Produkt verstanden, die den Kundentypen, der zu einer Reduktion des Umwelt-Ressourcenverbrauchs beitragen möchte, befriedigen sollen. Mit diesen Anforderungen sollen alle umweltrelevanten Aspekte, die den Kunden betreffen, formuliert werden.

Da jede der Kundenanforderungen im nachfolgenden Kapitel mehreren ECODESIGN-Maßnahmen zugeordnet werden, kommt der Auswahl dieser umweltrelevanten Kundenanforderungen besondere Bedeutung zu. Sie stellen den Kern der ECODESIGN-QFD-PILOT-Methode dar, da auf diese aufbauend, die technischen Design-Parameter generiert wurden.

Vollständigkeit der umweltrelevanten Kundenanforderungen

Bei der Auswahl der Kundenanforderungen ist es einerseits erforderlich, dass diese für die Beziehungsmatrix vollständig und andererseits für die Gewichtung geeignet sind. Vollständigkeit der Kundenforderungen kann hier nur für jene mit Umweltbezug gesehen werden, da sonst alle Kundenwünsche aufgelistet werden müssten, was von Produkt zu Produkt verschieden ist, und auch nicht das Ziel dieses ECODESIGN-QFD-PILOT darstellt.

Die Forderung des ökologisch denkenden Menschen nach umweltgerechten Materialien und deren möglichst niedriger Verbrauch reicht nicht aus. Es muss, wie das QFD-Tool zeigt, der gesamte Produktlebenszyklus (siehe Abb.4-2) in Betracht gezogen werden. Zum Beispiel sollen auch Anforderungen zum Nachgebrauch, wie eine leichte Wiederverwendbarkeit oder eine leichte Recyclierbarkeit, an das Produkt gestellt werden.

Eine strikte Abgrenzung zwischen Kundenanforderungen „mit“ und „ohne“ Umweltbezug ist schwierig, da in der Entwicklung eines Produkts auf mehrere Anforderungen eingegangen werden muss, wie z.B. auf die „Stabilität“. In dieser Arbeit sollen aber nur jene mit unmittelbarem Umweltbezug, z.B. die Anforderung, wenig Material zu verwenden, angeführt werden. Bei diesen beiden Beispielen wird klar, dass sich die Abgrenzung zwischen Kundenanforderungen „mit“ bzw. „ohne“ unmittelbarem Umweltbezug als schwierig erweist, da die Anforderung wenig Material zu verwenden, mit der „Stabilität“ zusammenhängt.

Um den Anwender des ECODESIGN-QFD-PILOT-Tools nicht zu überfordern, wurde bei der Erstellung der umweltrelevanten Kundenanforderungen ein guter Kompromiss zwischen Vollständigkeit und Überschaubarkeit eingegangen.

Das Generieren der umweltrelevanten Kundenanforderungen (siehe Kap. 5.4.1 – 5.4.4) erfolgte mit Hilfe der definierten Kundentypen. Je mehr Umweltbewusstsein ein Kunde besitzt, desto mehr umweltrelevante Kundenanforderungen werden berücksichtigt.

Am Anfang wurde vorhandenes Wissen zusammengetragen. Hierzu gehörten [Masui 2002], [Oberender 2002] und [Wimmer, Züst 2001a]. Anschließend wurden die umweltrelevanten Kundenanforderungen mit Hilfe der Kundentypen definiert.

5.4.1 Basic-Typ:

Beim Basic Typen ist das Umweltbewusstsein auf das eigene Wohl (siehe Tab. 5-1) und die eigene Gesundheit beschränkt, das hier und heute ist für ihn wichtig (Kurzzeitperspektive, eigene Familie und nähere Umgebung wichtiger als Menschen anderer Regionen). Umweltbewusstsein wird zu Umwelthandeln, wenn dieser Typ von der Umwelt bedroht wird. Bekommt dieser also Informationen über Schadstoffe, beispielsweise in Lebensmitteln, ändert dieser sein Konsumverhalten, was letztendlich auch der Natur zugute kommt (wenn er z.B. auf Bio-Produkte umsteigt). Es werden aber nur wissenschaftlich bewiesene Zusammenhänge zwischen Schadstoffen und der Umwelt zur Kenntnis genommen.

Das ökologische Bewusstsein kann durch sogenannte „Verhaltensverstärker“, wie z.B. finanzielle Anreize oder Sanktionen gefördert werden. Beispielsweise führen hohe Entsorgungsgebühren zu einem veränderten Umgang mit Produkten.

Dem Basic-Typ können die in Abb. 5-4 dargestellten Anforderungen zugeordnet werden, welche anschließend ausführlich beschrieben werden.

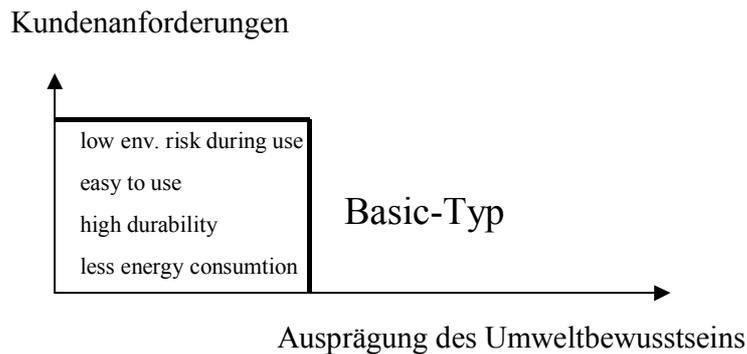


Abb. 5-4 Umwelthanforderungen des *Basic*-Typs

Kundenanforderung: low environmental risk during use

Bei dieser, dem Basic-Typ zugeordneter Kundenanforderung, will der Kunde nach bzw. während des Gebrauchs eines Produktes keinen Schaden davontragen. Um Produkte auf ihre Gefährlichkeit zu untersuchen, sind bei Emissionen Grenzwerte ausschlaggebend, z.B. die Abgaswerte beim Kraftfahrzeug oder die Strahlungsemissionen beim Mobiltelefon (vgl. Abb. 5-5.).

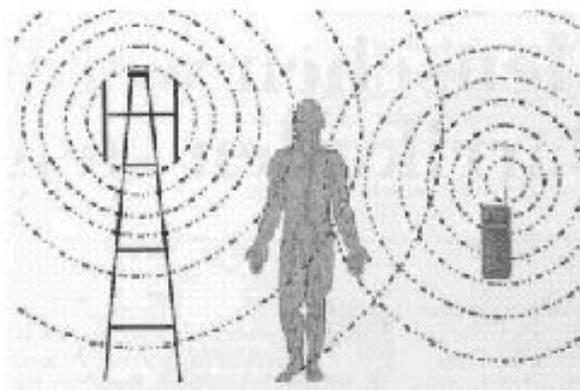


Abb. 5-5 Strahlung Mobilfunk [Bürgerwelle 2003]

Abhängig von den Erzeugnissen sind die Sicherheitsrisiken unterschiedlich. Sie sind davon abhängig, ob der Mensch mit dem Produkt direkt oder indirekt in Berührung kommt. So dürfen z.B. bei Spielzeug keine giftigen Lacke, z.B. solche, die Cadmium enthalten, eingesetzt werden. Bei Bekleidung muss der Aspekt der Allergene berücksichtigt werden. Es darf zu keiner Sensibilisierung der Haut kommen [Betz, Vogl 1996].

Als weiteres Risiko sollte hier auch der Lärm angeführt werden, da er unerwünscht, störend und ab einem gewissen Grad gesundheitsschädlich ist.

Kundenanforderung: easy to use

Damit ein Produkt einfach bedienbar ist, muss es selbsterklärend sein und seine Funktion bzw. Funktionsweise erkennen lassen. Moll und Zander definieren hier den Begriff „barrierefreie Gestaltung“ [Moll, Zander 2000]:

Unter dem Begriff „barrierefreie Gestaltung“ ist nicht nur die Zugänglichkeit von Gebäuden und Einrichtungen für Behinderte zu verstehen, sondern auch Produkte, die sich ohne ausgiebiges Studium der Bedienungsanleitung selbst erklären.“

Der Nutzer kann durch sein Verhalten den Verbrauch und Emissionen beeinflussen. Bei einer einfachen Bedienung sollte eine umweltschädliche Fehlnutzung vermieden werden. Beispielsweise ändert sich durch das Vorhandensein einer Verbrauchsanzeige in einem Kraftfahrzeug das Verhalten des Lenkers in Richtung treibstoffsparendes Fahren.

Produkte sollen für Menschen aller Altersklassen und Größen geeignet, also multifunktional sein (vgl. Abb. 5-6). Sie können im Verleih oder zur gemeinschaftlichen Nutzung verwendet werden. Um eine lange Verwendung des Produktes sicherzustellen, ist es notwendig, das Produkt individuell anpassbar und ergonomisch zu gestalten.



Abb. 5-6 Multifunktionale Büroeinrichtung [Steelcase 2003]

Kundenanforderung: high durability

Für den Nutzer waren lange haltbare Produkte schon früher sehr wichtig, da sich durch das Wegfallen der Ersatzbeschaffung Geld sparen ließ. Aus ökologischer Sicht gewinnt dieser Aspekt heute wieder zunehmend an Bedeutung, da aus Gründen der Ressourceneffizienz eine angemessene Lebensdauer anzustreben ist.

Das Ziel muss also sein, bei unverändertem Produktnutzen, den Rohstoff- und Energieeinsatz zu minimieren. Als Beispiel ist in Abb. 5-7 eine Energiesparlampe dargestellt. Sie besitzt gegenüber einer herkömmlichen Glühlampe eine 8 bis 12-fache Lebensdauer, dabei spart sie 80% Strom und belastet die Umwelt mit 750 kg CO₂ weniger. Diese Verbesserung erfolgte durch eine alternative Technologie zur Lichterzeugung und durch den Einsatz langlebiger Werkstoffe.



Abb. 5-7 Energiesparlampe [Osram 2003]

Die Haltbarkeit eines Produktes bestimmt aber nicht alleine der Hersteller, der die konstruktiven Produkteigenschaften festlegt. Sie hängt auch von der Sorgfalt, der Nutzungsintensität und der Wartungsbereitschaft des Verwenders ab. Beispielsweise beeinflussen diese Faktoren die Lebensdauer eines Kraftfahrzeuges erheblich.

Kundenanforderung: less energy consumption during use

Für den Basic-Typ ist der Energieverbrauch in der Nutzungsphase eine wichtige Anforderung, da er die damit verbundenen Energiekosten zu tragen hat. Die Bereitstellung von Energie ist mit teilweise erheblichen Umweltbelastungen verbunden. Dabei handelt es sich meistens um die Nutzung endlicher Ressourcen (z.B. fossile Energieträger) und die daraus resultierenden Emissionen (z.B. Kohlendioxid), die zum Treibhauseffekt beitragen.

Über die Produktlebensdauer gesehen ist bei vielen Elektro-Produkten die Nutzungsphase von größter Bedeutung. Zum Beispiel entfallen bei Waschmaschinen 85% des gesamten Primärenergieverbrauchs (bei 15 Jahre Lebensdauer mit je 180 Waschgängen) auf die Nutzungsphase [Behrendt 1999]. Deshalb entwickelte die Firma Miele die Waschmaschine W 455 WPS Allwater, die, wie der Name schon sagt, mit verschiedensten Arten von Wassern, z.B. Brunnen- oder Regenwasser und Kalt- oder Warmwasser, waschen kann, was bei letzterem zu einer Stromreduzierung von bis zu 54% führt.



Abb. 5-8 Waschmaschine [Miele 2003]

In der nachfolgenden Tabelle 5-2 sind die ECODESIGN-Maßnahmen, die den umweltrelevanten Kundenanforderungen des Basic-Typs entsprechen, angeführt. Eine ausführliche Erläuterung der Zuteilung der Maßnahmen erfolgt in Kapitel 5.4.5.

BASIC-Typ

Umweltrelevante Kundenanforderung	Zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen
low environmental risk during use	<p>Prevent environmentally harmful abuse of product</p> <p>Minimize risk of environmental damage in case of malfunctioning at use stage</p> <p>Indicate type and amount of hazardous materials contained in product</p> <p>Avoid and/or minimize waste at use stage</p> <p>Avoid and/or minimize environmental damage caused by emissions, waste, noise, etc. at use stage</p>
easy to use	<p>Ensure high functional quality of product and minimize influence of possible disturbances</p> <p>Realize simple principle of functioning</p> <p>Realize user-oriented product aiming at a high frequency of use</p> <p>Design product for easy handling</p> <p>Design interface man-machine ergonomically</p> <p>Design product for optimal adaptability to different users</p> <p>Minimize time requirement for preparation and follow-up of product use</p> <p>Ensure high reliability of product</p> <p>Design product for possible upgrading</p> <p>Design product for multifunctional use</p> <p>Design product for adjustment and adaptation at use stage</p>
high durability	<p>Realize a timeless product design</p> <p>Ensure high appreciation of the product</p> <p>Design product for long service life</p> <p>Realize a sturdy product design</p> <p>Ensure surfaces are user friendly</p> <p>Ensure corrosion resistance</p> <p>Harmonize service life of individual components</p>
less energy consumption	<p>Use energy efficient production technologies</p> <p>Reduce energy consumption by optimum process design</p> <p>Minimize overall energy consumption of production site</p> <p>Indicate consumption of product along use stage</p> <p>Minimize energy consumption at use stage by increasing efficiency of product</p> <p>Minimize energy demand at use stage by choosing an adequate principle of function</p>

Tab. 5-2 Den *Basic*-Typ-Kundenanforderungen zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen

5.4.2 Secure-Typ:

Dieser Typ handelt nach bestem Wissen und Gewissen, indem er alle gesetzlichen Verordnungen befolgt (in Österreich mehrere tausend Umweltgesetze). Um mit keinem Gesetz in Konflikt zu geraten, achtet der *Secure*-Typ bereits beim Kauf eines Produktes, dass dieses samt Verpackung ordnungsgemäß recycelt und entsorgt werden kann. Grundsätzlich ist er bereit, umweltgerechte Produkte zu kaufen, aber nur, wenn dadurch andere, für seinen Lebensstil wichtige Kriterien, nicht in Frage gestellt werden. Der *Secure*-Typ betrachtet also zusätzlich zu den umweltrelevanten Kundenanforderungen, die schon der *Basic*-Typ definierte, jene des Nachgebrauchs im Produktleben.

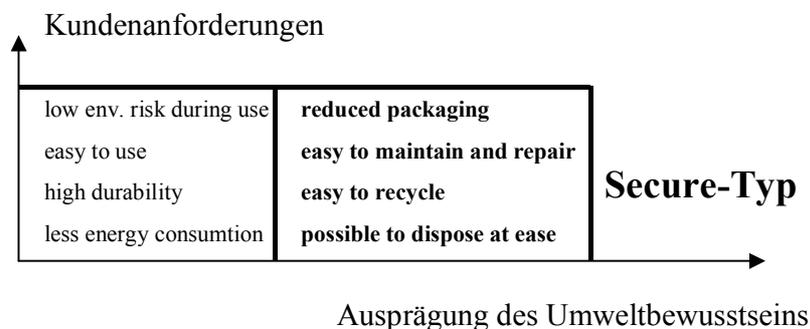


Abb. 5-9 Umweltanforderungen des *Secure*-Typ

Kundenanforderung: reduced packaging

Damit der *Secure*-Typ sein Produkt sicher transportieren und lagern kann, ist eine gute Verpackung erforderlich, da das unverpackte Produkt meist nicht diesen Anforderungen entsprechend gestaltet ist.



Abb. 5-10 Bierkisten [ECODESIGN 2001]

Der *Secure*-Typ fordert auch, dass die Verpackung leicht entsorgt und wiederverwendet werden kann. Daher können, um den Ressourcenverbrauch zu minimieren, Verpackungsmaterialien aus Papier oder Karton durch Kunststoff ersetzt werden, welche wiederverwendet werden können. Z.B. ist in Abb. 5-10 eine Bierkiste dargestellt, die eine typische Variante von Mehrwegprodukten darstellt.

Aus Herstellersicht wird fälschlicherweise, aufgrund höherer Kosten für Rückführung und Reinigung und höherer Umsätze, die Einwegverpackung bevorzugt, wobei jedoch die Berechnungen oft nicht vollständig, nämlich ohne Berücksichtigung ökologischer Kriterien, durchgeführt werden [Türck 1991].

Eine weitere wichtige Anforderung des Kunden zur Optimierung des Transportaufwandes ist die Reduktion der erforderlichen Verpackung. Eine Möglichkeit dazu liegt in der Abschaffung überflüssiger, materialintensiver und überdimensionierter Verpackungen und die damit verbundene Gewichtsreduktion. Auch kann ein Produkt bzw. sein Gehäuse so entwickelt werden, dass es den Bedingungen des Transportes standhält.

Kundenanforderung: easy to maintain and repair

Nach DIN 31051 ist die Instandhaltung definiert als:

„Gesamtheit der Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustandes, sowie zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes. Wartung, Inspektion und Instandsetzung sind Unterbegriffe der Instandhaltung.“

Der *Secure*-Typ möchte, dass das Produkt zu jeder Zeit sicher verwendet werden kann. Dies kann bei Produkten, bei denen ein Verschleiß unvermeidbar ist, auf Bauteile gelenkt werden, die jederzeit ohne Aufwand ausgetauscht werden können. Dadurch wird verhindert, dass die Sicherheit des Nutzers gefährdet wird und nicht austauschbare oder teure Bauteile beschädigt werden. Zusätzlich wird die Lebensdauer erhöht.



Abb. 5-11 Leichte Verschleißerkennung am Beispiel Autoreifen

Zur Verschleißerkennung sind verschleißgefährdete Bauteile so auszuführen, dass der Abnutzungsgrad sich eindeutig bestimmen lässt. Am geeignetsten dazu sind eingearbeitete Verschleißmarken (siehe Autoreifen, Abb. 5-11), bei denen ohne Messung die Abnutzung beurteilt werden kann. Es ist jedoch auch darauf zu achten, die verschleißenden Bauteile nicht zu früh (Verlust an Reserven) oder zu spät (Sicherheit, Folgeschäden) auszutauschen.

Kundenanforderung: easy to recycle

Der Secure-Typ möchte sein Produkt regelkonform und einfach recyceln können, da der Verwender des Produktes bestimmen kann, wo und wie er entsorgt. Der Kundenwunsch *easy to recycle* scheint immer mehr in Erfüllung zu gehen, da die Gesetzgebung eine Verschiebung der Verantwortung in Richtung Erzeuger anstrebt [Betz, Vogl 1996].

Bei einer *einfachen Recyclierbarkeit* wird im umweltbezogenen Sinn davon ausgegangen, dass Materialien wiederverwertbar sind, jedoch sind auch die Anforderungen an die Logistik nicht zu vernachlässigen. Oft ist durch einen zu hohen Transportaufwand und den damit verbundenen Emissionen, eine einfache und sortenreine Wiederverwertung nicht vernünftig. Daher sollten nur jene Materialien verwendet werden, die auch regional verwertet werden können.

Darüber hinaus ist das Recycling selbst mit einem hohen Energieaufwand verbunden, dieser muss jedoch im Vergleich zu jenem bei der Gewinnung von Neumaterial gesehen werden. So ist z.B. bei der Herstellung von Sekundäraluminium, verglichen mit der Gewinnung von Primäraluminium, eine Energieeinsparung von 95% möglich [Betz, Vogl 1996].

Kundenanforderung: possible to dispose at ease

Nach dem Secure-Typ sollte ein Produkt so gestaltet sein, dass eine problemlose Entsorgung nach der Nutzung erfolgen kann. Eine Wiederverwertung eines Bauteils ist nur dann sinnvoll, wenn sie technisch möglich, wirtschaftlich zumutbar und zusätzlich die umweltverträglichste Lösung ist [Quella 1998].

Die normale Entsorgung erfolgt mittels Verbrennung oder Deponierung. Bei der thermischen Verwertung wird die in den Werkstoffen enthaltene Energie freigesetzt und kann erneut genutzt werden. Es sind daher nur jene Abfälle geeignet, die einen sehr hohen Heizwert besitzen und beim Verbrennen keine hohen Schadstoffemissionen aufweisen.

Die Deponierung oder Beseitigung von Produkten erfolgt ohne jegliche erneute Nutzung des Produktes oder der darin enthaltenen Ressourcen. Durch eine beseitigungsunterstützende Materialwahl, z.B. kompostierbares Material, kann die Entsorgung aufwandsarm und umweltverträglich gestaltet werden.

In der nachfolgenden Tabelle 5-3 sind die ECODESIGN-Maßnahmen, die den umweltrelevanten-Kundenanforderungen des *Secure*-Typs entsprechen, angeführt. Zur Erläuterung dieser Zuteilung der Maßnahmen siehe Kapitel 5.4.5.

SECURE-Typ

Umweltrelevante-Kundenanforderung	Zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen
reduce packaging	<p>Minimize space requirement for storage of product when not in use</p> <p>Label packaging materials (incl. instructions for disposal)</p> <p>Prevent shipping damage</p> <p>Use stackable product packaging</p>
easy to maintain and repair	<p>Concentrate wear on replaceable components of product</p> <p>Make signs of wear easily visible</p> <p>Indicate servicing intervals for product</p> <p>Ensure maintenance with standard tools</p> <p>Ensure self-explanatory structure or provide for instruction for repair on product</p> <p>Ensure easy access to components for repair and replacement</p> <p>Ensure availability of spare parts</p> <p>Standardize components and/or use identical structural components for different variants of product</p> <p>Ensure reworkability of worn components</p> <p>Preferably use refurbished components as spare parts</p> <p>Use parts of identical design for different variants of product</p>
easy to recycle	<p>Prefer recyclable materials</p> <p>Avoid inseparable composite materials</p> <p>Recycle process materials whenever possible</p> <p>Preferably use single material components and/or reduce number of different types of material</p> <p>Preferably use recycled materials or packaging materials suitable for established recycling processes</p> <p>Closed cycles for process materials needed at use stage</p> <p>Ensure that surface coating and base material are suitable for recycling</p> <p>Ensure labeling of materials conforming to standards</p> <p>Make possible separation of materials for recycling</p> <p>Ensure that materials are suitable for recycling</p>
possible to dispose at ease	<p>Provide for incentives for and possibility of collecting waste from use stage</p> <p>Ensure environmentally acceptable disposal of waste from use stage</p> <p>Ensure simple extraction of harmful and valuable substances</p> <p>Make possible extraction of process materials and unavoidable harmful substances</p> <p>Take into account end-user's opportunities for disposal and provide for instructions for disposal</p>

Tab. 5-3 Den *Secure*-Typ-Kundenanforderungen zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen

5.4.3 Ecological-Typ:

Der Öko-Freak will etwas Gutes für die Umwelt tun (siehe Tab. 5-2) und ist bereit, kleine Abstriche an seinen ökonomischen, privatwirtschaftlichen Zielvorstellungen zu machen. Er verwendet über die Verordnungen hinaus umweltfreundliche Materialien und Energien, er ernährt sich von Bioprodukten und bezieht Ökostrom. Er bevorzugt heimische, regionale Produkte gegenüber jenen aus Übersee, da diese einen geringeren Transportaufwand benötigen.

Der *Ecological*-Typ stellt zusätzlich zu den bereits genannten Anforderungen noch drei weitere, die in Abb. 5-12 dargestellt und anschließend erklärt werden.

Kundenanforderungen			Ideal-Typ
low env. risk during use	reduced packaging	less transportation	low emissions during manufacturing easy to disassemble easy to reuse
easy to use	easy to maintain and repair	use energy causing low env. impact	
high durability	easy to recycle	use material causing low env. impact	
less energy consumption	possible to dispose at ease	less material use	

Ausprägung des Umweltbewusstseins

Abb. 5-12 Umweltanforderungen des *Ecological*-Typs

Kundenanforderung: less transportation

Zwischen den einzelnen Lebensphasen und Bearbeitungsstationen eines Produktes ist ein Transportaufwand nötig. Bei der Optimierung des Logistikkonzeptes (siehe Abb. 5-13) will der Öko-Kunde die Umwelteinwirkungen wie Energieverbrauch, Lärmemissionen und Abgasemissionen vermindern, dies führt zur Forderung: *less transportation*

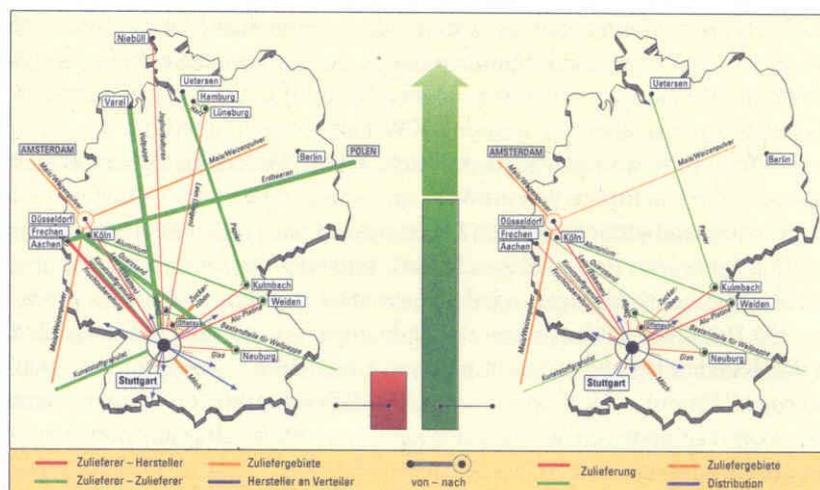


Abb. 5-13 Logistikkonzept [Weizäcker et.al. 1996]

Die Zahl der Konsumenten, die sich mit Nahrung, Kleidung, Produkten, usw. aus der Region bzw. mit regionalem Bezug versorgen, wird immer größer. Viele Unternehmen erkennen bereits die Notwendigkeit, den Bezug zum eigenen Lebensbaum herzustellen und gezielt damit zu werben [Wimmer 1999].

Da die Transportkosten noch immer niedrig sind, ist es nicht ungewöhnlich, dass Firmen ihre Produkte von einem Standort aus auf die ganze Welt verteilen und nicht die ressourcenärmste Lösung suchen [Schmidt-Bleek et.al. 1999].

Kundenanforderung: use energy causing low environmental impact

Da nicht nur die verbrauchte Menge an Energie, sondern auch deren Herstellung von ökologischem Interesse ist, fordert der Ecological-Typ auch use energy causing low environmental impact.

Dazu zählt die Nutzung erneuerbarer Energie, da beim Einsatz nicht regenerativer Energien Schadstoffemissionen entstehen und auch deren begrenzte Rohstoffressourcen einen Einsatz erneuerbarer Energie begründen. Diese kann durch Techniken wie Solarenergie, Wind- und Wasserkraft, Biomasse und Biogas, sowie Geothermie erzeugt werden.



Abb. 5-14 erneuerbare Energie am Bsp. Fischer Ski Biomasse-Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung [Pamminger 2002]

Die Firma Fischer-Ski sichert ihre Energieversorgung mit der ersten österreichischen Biomasse-Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (siehe Abb. 5-14). Durch den Einsatz von Hackschnitzel erfolgt sowohl eine Abgabe an Prozesswärme als auch eine Prozesskühlung und zusätzlich die Erzeugung von Öko-Strom.

Kundenanforderung: use materials causing low environmental impact

Der Ecological-Typ fordert *use materials causing low environmental impact*, da Werkstoffe meist mit umweltbelastenden und energieverbrauchenden Technologien erzeugt werden müssen. Jedes Material, das in der Produktentwicklung als Werkstoff eingesetzt wird, besitzt daher eine andere Vorgeschichte bezüglich seiner Umweltbelastungen [Wimmer 1999].

Um die Rohstoffgewinnungsphase von Werkstoffen zu bewerten, definierte *Schmidt Bleek F.* den Begriff „Ökologischer Rucksack“, der alle während dieser Phase entstehenden Verbräuche summiert und diesen Wert „Materialintensität“ nennt. Diesen „Ökologischen Rucksack“, angewendet auf alle im gesamten Produktlebenszyklus verwendeten Materialien, zu minimieren, ist das Ziel dieser umweltrelevanten Kundenanforderung.

Außerdem fordert der *Ecological*-Typ, keine toxischen Materialien zu verwenden, da diese Auswirkungen auf den menschlichen Organismus und auf die Umwelt haben. Sie könnten z.B. durch kompostierbare Materialien ersetzt werden. Beispielsweise verwendet die Firma Rohner Textil das Material *Climatex® LifecycleFR™* (siehe Abb.5-15) für ihre Sesselbezüge. Das aus Wolle und Ramie bestehende Material ist kompostierbar und umweltverträglich und erfüllt alle Brandschutznormen.



Abb. 5-15 *Climatex® LifecycleFR™*: kompostierbare Sesselüberzüge [Rohner Textil 2002]

Kundenanforderung: use less material

Die Kundenanforderung *use less material* wird erst durch den Ecological-Typ berücksichtigt. Wenig Material zu verbrauchen, führt zu einem schonenden Umgang mit Ressourcen und ist ein wichtiger Aspekt im Bereich der umweltgerechten Produktentwicklung.

Um der Anforderung *use less material* gerecht zu werden, müssen zunächst die Produktionsabfälle minimiert werden. Vordergründig sind Materialien und die zugehörigen Fertigungsverfahren auszuwählen, die keine oder möglichst wenig Abfälle verursachen, z.B. können Rezyklate eingesetzt werden.

Häufig sind Produkte durch die laufende Verbesserung der Materialeigenschaften und keinerlei Veränderung der Gestalt des Produktes um ein Vielfaches überdimensioniert. Dies kann durch genaue Berechnungen verhindert werden. Zur Auslegung komplexer Produkte stehen Finite-Elemente-Berechnungen zur Verfügung, die es z.B. erlauben, eine Minimierung der Wanddicken durchzuführen.

Beispielweise wird das Verfahren des Blasformens zur Herstellung von Hohlkörpern wie z.B. Wassertanks angewendet. Um den Materialverbrauch zu minimieren, findet man diese Herstellungsform auch bei komplexeren Bauteilen, z.B. dem Heckspoiler (siehe Abb. 5-16).



Abb. 5-16 blasgeformte Automobilheckspoiler [Ebay 2003]

In der nachfolgenden Tabelle 5-4 sind die ECODESIGN-Maßnahmen die den umweltrelevanten-Kundenanforderungen des Ecological-Typs entsprechen, angeführt.

ECOLOGICAL-Typ

Umweltrelevante-Kundenanforderung	Zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen
less transportation	Minimize requirement for transportation of materials and components Reduce requirement for transportation of external parts/components Minimize transportation for distribution of product
use energy causing low env. Impact	Make possible use of renewable energy resources at use stage Preferably use renewable energy resources Preferably use regionally available energy resources
use material causing low env. impact	Use of materials with a view to their environmental performance Avoid or reduce the use of toxic materials and components Prefer materials from renewable raw materials Avoid raw materials, components of problematic origin Preferably use process materials from renewable raw materials Use environmentally acceptable auxiliary and process materials and avoid hazardous materials Preferably use renewable raw materials for packaging Use environmentally acceptable packaging materials Make possible use of environmentally sound process materials Make possible use of process materials from renewable raw materials Prefer the use of recycled materials (secondary materials)
less material use	Reduce material input by design aiming at optimum Reduce material input by integration of functions Reduce amount of waste from packaging of external parts/components Reduce material input for packaging Preferably use reusable packaging Design product for minimum consumption of process materials

Tab. 5-4 Den *Ecological-Typ-Kundenanforderungen* zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen

5.4.4 Ideal-Typ

Der ideale Zukunftstyp betrachtet den gesamten Produktlebenszyklus (Langzeitperspektive, siehe Tab. 5-1) und stellt seine ökonomische Rationalität bewusst zurück. Das Ziel dieses Typs ist es, mehr Lebensqualität zu erlangen, indem er zur traditionellen Genügsamkeit und zur Genussorientierung zurückkehrt, d. h. weniger Erwerbsarbeiten und mehr Zeit zum Leben. Das sind Menschen, die auch dann die Eisenbahn oder das Fahrrad nehmen, wenn das Auto viel bequemer wäre. Die Bewertung eines Produktes erfolgt auf ökologischer Basis in Form von Hinterfragungen und Erfordernissen, alle anderen Bewertungskriterien werden nachgeordnet.

Der Ideal-Typ blickt am weitesten und verlangt daher Weiterverwendbarkeit und die Herstellung des Produktes miteinzubeziehen. Diese aus Umweltsicht anspruchsvollen Kundenanforderungen sind dem gesamtheitlich denkenden Ideal-Typ zugeordnet (siehe Abb. 5-17).

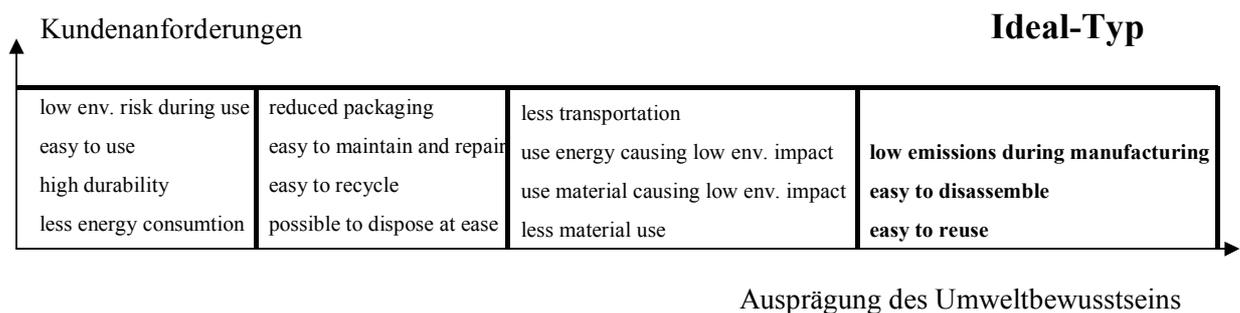


Abb. 5-17 Umwelтанforderungen des Ecological-Typ

Kundenanforderung: low emissions during manufacturing

Der *Ideal-Typ* fordert, Herstellungstechnologien so zu wählen, dass im Voraus Emissionen, Abfälle, Lärm etc. vermieden bzw. minimiert werden. Bei solchen umweltverträglichen Produktionstechniken ist eine Nachschaltung von Filtern und Kläranlagen nicht mehr nötig.

Beispielsweise werden durch die Verwendung wasserbasierender Lacke (vgl. Abb.5-18) die Emissionen verringert und die Belastung für Mensch und Umwelt reduziert.



Abb. 5-18 Wasserlösliche Lacke [Wimmer, Züst 2001]

Kundenanforderung: *easy to disassemble*

Die Anforderung, ein Produkt leicht zerlegbar zu gestalten, ist für den Ideal-Typ wichtig, da einerseits die Separierung verschiedener Materialien ermöglicht wird, welche dadurch sortenrein recycelt werden können, und andererseits die Wiederverwendung funktionsfähiger Bauteile oder Baugruppen zulässt.

Die Demontagekosten stellen meist einen hohen Anteil der Produktaufarbeitungskosten, daher ist es notwendig, die Demontagezeiten zu minimieren. *Easy to disassemble* ist also eine Voraussetzung für die Wiederverwendbarkeit von Bauteilen und Komponenten. Die Demontagewege sollten also nur so lange gewählt werden, wie es unbedingt notwendig ist, außerdem sollten leicht trennbare Verbindungen verwendet werden [Wimmer, Züst 2001].



Abb. 5-19 leichte Demontage durch kurze Demontagewege [Wimmer, Züst 2001]

Kundenanforderung: *easy to reuse*

Der Begriff des Recyclings kann in seine beiden Formen, Produktrecycling (Wiederverwendung und Weiterverwendung) und Materialrecycling (Wiederverwertung und Weiterverwertung), unterteilt werden [VDI 2243].

Hier handelt es sich um die Wiederverwendung, die beste Art von Verwertung im ökologischem Sinne. Das Produktrecycling besitzt das vorrangige Ziel einer erneuten Nutzung der Produktfunktionen. Um Bauteile nochmals zu verwenden ist es wichtig, sie ohne Beschädigung und ohne großen Aufwand ausbauen zu können. Durch Reinigen und eventuelles Aufarbeiten der Teile können diese wiederverwendet werden.



Abb. 5-20 Fuji-Xerox Kopiergerät [Fuji-Xerox 2003]

Will man eine Wiederverwendung einführen, ist eine Standardisierung der Produktteile notwendig. So war Fuji-Xerox (vgl. Abb. 5-20) der erste Kopierhersteller, der im großen Stil alte Geräte zurücknahm und in Komponenten zerlegte, um sie dann wieder in Neuprodukten einzubauen. Der Anteil von Altteilen in Neuprodukten, der Produktlinie Greenline beträgt ca. 80% und die Recycling- und Reuserate beträgt laut Xerox 99,9% [Öhreneder 2000].

In der nachfolgenden Tabelle 5-5 sind die ECODESIGN-Maßnahmen, die den umweltrelevanten-Kundenanforderungen des *Ideal*-Typs entsprechen, angeführt.

IDEAL-Typ

Umweltrelevante-Kundenanforderung	Zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen
low emissions during manufacturing	Use low material input, low emission production technologies Avoid environmentally hazardous production technologies Avoid waste and emissions in the production process Close material cycles in the production process Recycle/reuse waste for new materials Dispose of unavoidable waste in an environmentally acceptable manner Waste sorting/separation whenever possible Reduce fraction of rejects in production process Avoid and/or minimize waste at use stage Avoid and/or minimize environmental damage caused by emissions, waste, noise, etc. at use stage
easy to disassemble	Design product structure for easy disassembly (uniform directionality for assembly and disassembly work) Minimize time and paths for disassembly Use easily detachable connections Ensure easily visible access to connections for disassembly Ensure easy access to connecting parts Ensure reversibility of assembly procedure Ensure easy access to connecting parts for disassembling tools Ensure functioning of connections over whole service life
easy to reuse	Reuse refurbished parts and components Design product for easy cleaning and/or minimize susceptibility to soiling Reuse and/or recycling of waste from use stage Create new or use existing collection system Ensure high return rate Provide for testing and measuring devices for the refurbishing of components Provide for overmeasure of material with a view to the reuse of components Label components to indicate remaining service life Ensure ease of cleaning for reuse of components Use standardized elements, parts, and components for easy reuse Reuse of components in other products Ensure simple assembly through hierarchical structure of product Ensure simple assembly by reduction of parts used

Tab. 5-5 Den *Ideal-Typ*-Kundenanforderungen zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen

Abbildung 5-21 zeigt eine Übersicht der vier Kundentypen und ihren Grad der Ausprägung des Umweltbewusstseins. Wobei sich das Umweltbewusstsein vom Basic-Typ bis zum Ideal-Typ stetig steigert. Dies wird auch sichtbar durch die Anzahl der Kundenanforderungen wobei dem Basic Kunden nur vier, hingegen dem idealistischen Kunden 15 Anforderungen zugeordnet sind.

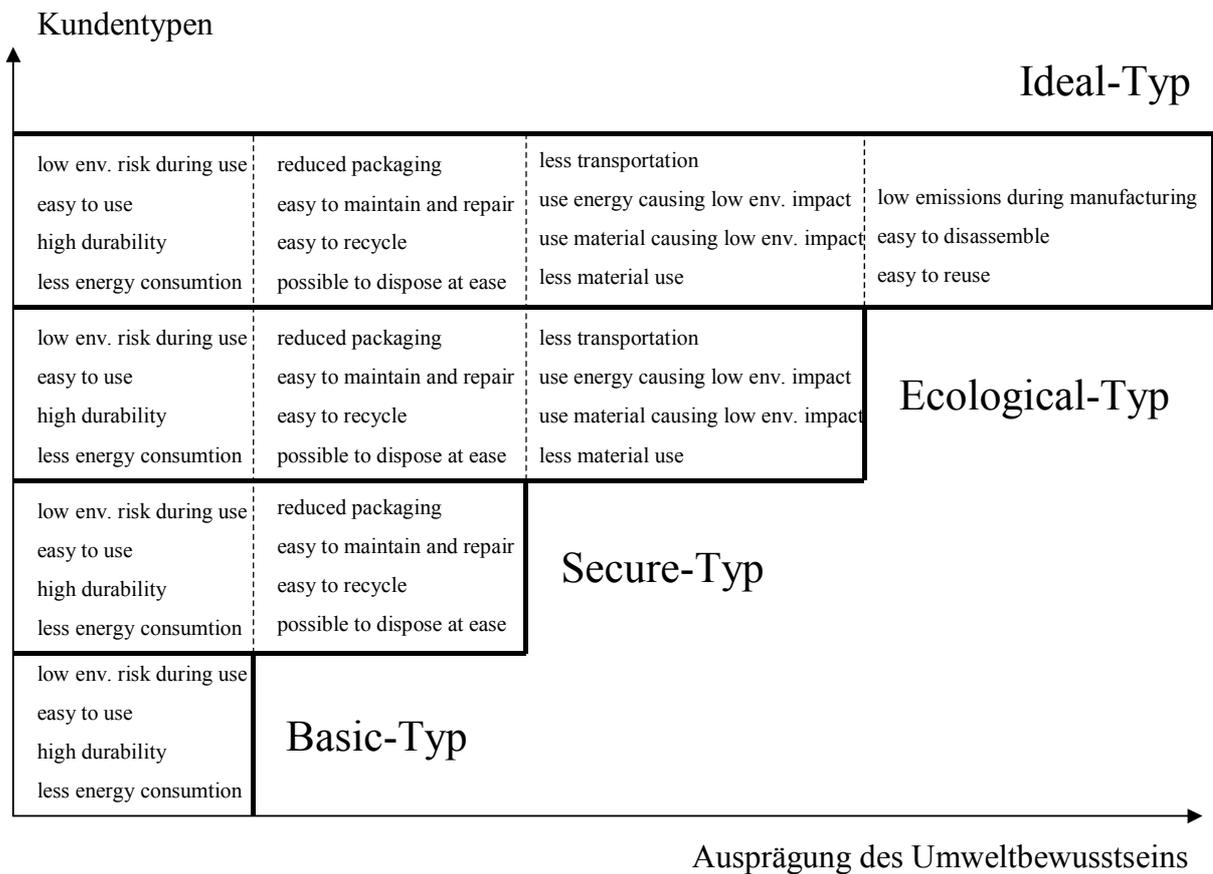


Abb. 5-21 Umweltbewusstsein der vier verschiedenen Kundentypen

5.4.5 Verbindung der umweltrelevanten Kundenanforderungen mit den ECODESIGN-Maßnahmen

Da nicht jede Kundenanforderung alleine durch ihren Wortlaut definiert und abgegrenzt werden kann, wurde jede von ihnen mit den Maßnahmen, die im ECODESIGN-PILOT angeführt sind, verlinkt. Es konnten so, wie bereits in den Tabellen 5-1 bis 5-4 dargestellt, jeder Kundenanforderung mehrere solcher ECODESIGN-Maßnahmen zugeordnet werden.

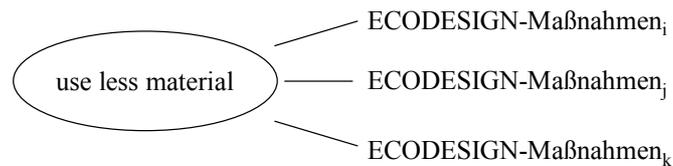


Abb. 5-22 Aufteilung der ECODESIGN-Maßnahmen auf die Kundenanforderungen

Die Zuordnung der Maßnahmen erfolgte einerseits, um dem Entwickler und auch dem Kunden die Chance zu geben, sich zu informieren (Was ist denn damit gemeint?), da für jede ECODESIGN-Maßnahme ein Wissensteil vorhanden ist, aus dem Informationen gewonnen werden können (siehe Abb. 4-4). Andererseits kann der Entwickler, nach Gewichtung der Kundenanforderungen, bei denen mit der höchsten Priorität in den QFD-PILOT wechseln, um sich Verbesserungsanregungen zu holen (Wie kann ich sie umsetzen?). Dies erfolgt über den Anwendungsteil (Checklisten) der ECODESIGN-Maßnahmen (siehe Abb. 4-5).

Um keine Umweltbezüge zu verlieren, wurden alle Maßnahmen, die ursprünglich über den Produktlebenszyklus generiert wurden, den einzelnen umweltrelevanten Kundenanforderungen zugeordnet. Die ECODESIGN-Maßnahmen wurden jeweils nur einmal zugeordnet, um eine Abgrenzung der Kundenanforderungen zu erreichen.

Die Zuordnung der ECODESIGN-Maßnahmen wurde durch die ECODESIGN-Strategien (Hauptzugang „Verbesserung“ des ECODESIGN-PILOT) vorgenommen. Beispielsweise wurden der Kundenanforderung „high durability“ die Maßnahmen der Strategie *increasing product durability* zugeteilt. Die für jede Kundenanforderungen verwendeten ECODESIGN-Strategien werden in Kapitel 4 angeführt.

Die vollständige Auflistung, der zu den umweltrelevanten Kundenanforderungen zugeteilten ECODESIGN-Maßnahmen, erfolgt in den Kapiteln 5.4.1-5.4.4.

5.5 Technische Design-Parameter

Unter technischen Design-Parametern werden technische Produkteigenschaften verstanden, die einerseits die in Kapitel 5.4 formulierten umweltrelevanten Kundenanforderungen umsetzen und andererseits aus der Sicht von ECODESIGN für Produkte relevant sind.

Jeder umweltrelevanten Kundenanforderung sind ein bis zwei technische Design Parameter gegenübergestellt. Die technischen Produkteigenschaften sind je nach Möglichkeit messbare Größen am fertigen Produkt.

Die technischen Design Parameter sind in Tabelle 5-6 aufgelistet und aus Gründen der Übersichtlichkeit in fünf Gruppen, *product description*, *production and transportation*, *use scenario*, *materials* und *end of life scenario*, entlang des Produktlebenszyklus aufgeteilt. Die Parameter beinhalten alle umweltrelevanten Aspekte und werden, wie anschließend beschrieben, mit den ECODESIGN-Maßnahmen verbunden, im Folgenden wird jeder Parameter durch das Anführen von Beispielen erklärt.

Vollständigkeit der Technischen-Design Parameter

Bei den technischen Design-Parametern ist es wie bei den umweltrelevanten Kundenanforderungen wichtig, dass diese vollständig aufgelistet (siehe Tab. 5-6) und gut formuliert sind, damit man sie auch konkret auf ein Produkt beziehen kann. Es werden aber nur jene verwendet, die eine Beziehung zu den umweltrelevanten Kundenanforderungen besitzen, was stark von der vorhergehenden Generierung abhängig ist.

Das Erstellen der technischen Design-Parameter erfolgte wie in Kapitel 2.6. beschrieben. Es wurden mit Hilfe vorangegangener Literaturrecherche ([Masui 2002], [Oberender 2002] und [Wimmer 2002]) eine Liste an technischen Design-Parametern erstellt, die mit der Liste der umweltrelevanten Kundenanforderungen abgeglichen wurde, sodass jeder Anforderung ein bis zwei Design Parameter gegenüberstehen.

Gruppe	technische Design-Parameter
product description	product weight product volume number of parts surface design physical lifetime functionality
production and transportation	production technology packaging overall transportation
use scenario	usability energy consumption at usage stage amount of waste for usage stage noise, vibrations emissions at usage stage maintainance and repair
materials used	materials used components banned materials biodegradable materials rate of recycled material
end of life	time to disassembly recycling disposal

Tab. 5-6 Unterteilung der technischen Design-Parameter

Verbindung der technischen Design-Parameter mit den ECODESIGN-Maßnahmen

Die technischen Design-Parameter sollen in weiterer Folge zur Verbesserung des Produktes führen. Um dies zu erreichen, wurden die Parameter mit den ECODESIGN-PILOT-Maßnahmen verbunden.

Jeder Produkteigenschaft sind also im QFD-PILOT eine Reihe von Maßnahmen zugeordnet. Auf der zugehörigen *APPLY*-Seite im PILOT ist eine Checkliste zu finden, die als Leitinstrument auf dem Weg zu neuen Lösungen hilfreich sein soll. Die Checkliste weist auf Analogien hin und dient als Ideengenerator.

Im Gegensatz zu den umweltgerechten Kundenanforderungen, in denen alle ECODESIGN-Maßnahmen nur einmal zugeteilt wurden, sind, um bei den Produktverbesserungen keine Umweltbezüge zu vernachlässigen, bei den technischen Design-Parametern die Maßnahmen mehrmals vergeben worden.

Die Verteilung der ECODESIGN-Maßnahmen erfolgte, im Unterschied zu den Kundenanforderungen bei denen die Strategien verwendet wurden, durch die im Zugang „Produktleben“ angeführten Aspekte (siehe Tab. 5-7). Z.B. wurden dem technischen Design-Parameter time to disassembly die Maßnahmen des Aspektes Disassembly aus der Produktlebensphase End of Life zugeteilt.

technische Design-Parameter	zuordenbare ECODESIGN-Aspekte
product weight	amount of material packaging of product (teilweise)
product volume	Circumstances of use (teilweise)
number of parts	External parts and components (teilweise) Assembly (teilweise)
surface design	Durability (teilweise)
physical lifetime	Durability Functionality (teilweise)
functionality (high/medium/low)	Functionality (teilweise)
production technology (BAT)	Production technology Energy consumption Waste and emissions
packaging	Packaging of product Transportation (teilweise)
overall transportation	Transportation Origin of materials
energy consumption at usage stage	Energy consumption at use stage
amount of waste for usage stage	Waste/emissions at use stage
noise, vibrations	Waste/emissions at use stage (teilweise) Waste and emissions (teilweise)
emissions at usage stage	Environmental safety (teilweise) Waste/emissions at use stage (teilweise)
maintainance and repair	Circumstances of use Maintenance Repair Refurbishing of product parts (teilweise)
materials used	Type of material Process materials (teilweise) Waste and emissions Recycling of materials (teilweise) Packaging of product (teilweise) Process materials at use stage (teilweise)
labeling of materials and components	Packaging of product (teilweise) Recycling of materials (teilweise)
banned materials	Disposal of non-recyclable product parts Type of material (teilweise)
biodegradable materials	Type of material (teilweise)
rate of recycled material	Type of material (teilweise)
time to disassembly	Type of material (teilweise) Assembly (teilweise) Repair (teilweise) Disassembly Recycling of materials (teilweise)
usability	User behavior Ergonomics (teilweise)
material recycling	Product take back (teilweise) Recycling of materials
disposal	Disposal of non-recyclable product parts

Tab. 5-7 Technische Design-Parameter und zugeordnete Aspekte

5.5.1 Gruppe: Product description

In der Gruppe der *product description* werden jene technischen Design-Parameter angeführt, die das Produkt beschreiben sollen. In Tabelle 5-8 werden die der Gruppe zugeordneten technischen Design-Parameter und deren Umweltbezug aufgelistet.

Product description	
Technische Design-Parameter	Umweltbezug
product weight	je weniger Material eingesetzt wird, desto geringer ist der Ressourcenverbrauch
product volume	je geringer das Volumen, desto weniger Platz braucht es und desto leichter kann es transportiert werden.
number of parts	durch eine geringe Anzahl an Bauteile wird die (De)montagezeit und die Verwertungsmöglichkeit verbessert
surface design	Verlängerung der Lebensdauer durch Schutz gegen Verschleiß, Korrosion, ect.
physical lifetime	durch eine lange Lebensdauer verringert sich der Ressourcenverbrauch
functionality	durch eine hohe Funktionsgüte gewinnt ein Produkt an Wertschätzung und damit wird es auch lange verwendet

Tab. 5-8 Gruppe Product description: Technische Design-Parameter mit Umweltbezug

In der nachfolgenden Tabelle 5-9 sind die ECODESIGN-Maßnahmen, die den technischen Design-Parametern der Gruppe *product description* entsprechen, angeführt. Zur Erklärung dieser Zuteilung der Maßnahmen siehe Kapitel 5.5.

Product-descripton

Technische Design-Parameter	Zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen
product weight	Reduce material input by design aiming at optimum strength Reduce material input by integration of functions Reduce material input for packaging
product volume	Minimize space requirement for storage of product when not in use
number of parts	Preferably use single material components and/or reduce number of different types of material Use parts of identical design for different variants of product Ensure simple assembly through hierarchical structure of product Ensure simple assembly by reduction of parts used
surface design	Realize a sturdy product design Ensure surfaces are user friendly Ensure corrosion resistance Ensure that surface coating and base material are suitable for recycling
physical lifetime	Design product for possible upgrading Design product for adjustment and adaptation at use stage Realize a timeless product design Ensure high appreciation of the product Design product for long service life Realize a sturdy product design Ensure surfaces are user friendly Ensure corrosion resistance Harmonize service life of individual components Reuse refurbished parts and components
functionality	Ensure high reliability of product Ensure high functional quality of product and minimize influence of possible disturbances Design product for possible upgrading Design product for multifunctional use Realize simple principle of functioning Design product for adjustment and adaptation at use stage Ensure functioning of connections over whole service life

Tab. 5-9 Der *product description*-Gruppe der technischen Design-Parameter zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen

5.5.2 Gruppen: Production and transportation

In der Gruppe *production and transportation* werden jene technischen Design-Parameter angeführt, die aus den Produktlebensphasen Herstellung und Distribution hervorgehen. In Tabelle 5-10 werden die der Gruppe zugeordneten technischen Design-Parameter und deren Umweltbezug aufgelistet.

Production and transportation	
technische Design-Parameter	Umweltbezug
production technology	mit der Wahl des Herstellungsverfahrens, wird auch über Energieverbrauch, Abfälle und Emissionen entschieden
packaging	das Umweltpotential liegt in der Haltbarmachung des Produktes, durch eine leichte, wiederverwendbare od. recycelbare Verpackung kann aber auch der Ressourcenverbrauch verringert werden
overall transportation	beim Transport entstehen hohe Schadstoffemissionen; auch der Ressourcenverbrauch ist nicht zu vernachlässigen

Tab. 5-10 Gruppe *production and transportation*: Technische Design-Parameter mit Umweltbezug

In der nachfolgenden Tabelle 5-11 sind die ECODESIGN-Maßnahmen, die den technischen Design-Parametern der Gruppe *production and transportation* entsprechen, angeführt. Zur Erklärung dieser Zuteilung der Maßnahmen siehe Kapitel 5.5.

Production and transportation

Technische Design-Parameter	Zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen
production technology	Use energy efficient production technologies Use low material input, low emission production technologies Avoid environmentally hazardous production technologies Reduce energy consumption by optimum process design Preferably use renewable energy resources Preferably use regionally available energy resources Minimize overall energy consumption of production site Recycle process materials whenever possible Avoid waste and emissions in the production process Close material cycles in the production process Recycle/reuse waste for new materials Dispose of unavoidable waste in an environmentally acceptable manner Waste sorting/separation whenever possible Reduce fraction of rejects in production process Close material cycles in the production process
packaging	Reduce amount of waste from packaging of external parts/components Reduce material input for packaging Preferably use reusable packaging Preferably use renewable raw materials for packaging Preferably use recycled materials or packaging materials suitable for established recycling processes Use environmentally acceptable packaging materials Label packaging materials (incl. instructions for disposal) Prevent shipping damage Use stackable product packaging Minimize space requirement for storage of product when not in use
overall transportation	Minimize requirement for transportation of materials and components Reduce requirement for transportation of external parts/components Minimize transportation for distribution of product Choose environmentally acceptable means of transportation for distribution of product

Tab. 5-11 Zur *production and transport*-Gruppe der technischen Design-Parameter zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen

5.5.3 Gruppe: Use scenario

Der Gruppe use scenario werden jene technischen Design-Parameter zugeteilt, die für die Nutzungsphase relevant sind. In Tabelle 5-12 werden die der Gruppe zugeordneten technischen Design-Parameter und deren Umweltbezug aufgelistet.

Use scenario	
Technische Design-Parameter	Umweltbezug
usability	durch eine hohe Zuverlässigkeit kann sowohl die Nutzungsqualität als auch die Nutzungsintensität erhöht werden
energy consumption at usage stage	mit geringem Energieverbrauch, Ressourcen sparen
amount of waste for usage stage	wenig Abfälle und geringer Verbrauch an Hilfs- und Betriebsstoffen
noise, vibrations	Gesundheits- und Umweltschäden durch Lärm und Vibrationen
emissions at usage stage	durch die Verwendung kommt es zu Luft-, Boden- und Wasserverschmutzung
maintainance and repair	es wird eine hohe Verfügbarkeit aufrechterhalten, die Lebensdauer verlängert und die Betriebssicherheit erhöht

Tab. 5-12 Gruppe use scenario: Technische Design-Parameter mit Umweltbezug

In der nachfolgenden Tabelle 5-13 sind die ECODESIGN-Maßnahmen, die den technischen Design-Parametern der Gruppe *use scenario* entsprechen, angeführt. Zur Erklärung dieser Zuteilung der Maßnahmen siehe Kapitel 5.5.

Use scenario

Technische Design-Parameter	Zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen
usability	<p>Realize user-oriented product aiming at a high frequency of use</p> <p>Prevent environmentally harmful abuse of product</p> <p>Design product for easy handling</p> <p>Design interface man-machine ergonomically</p> <p>Design product for optimal adaptability to different users</p>
energy consumption at usage stage	<p>Indicate consumption of product along use stage</p> <p>Prevent environmentally harmful abuse of product</p> <p>Minimize energy consumption at use stage by increasing efficiency of product</p> <p>Minimize energy demand at use stage by choosing an adequate principle of function</p> <p>Make possible use of renewable energy resources at use stage</p> <p>Closed cycles for process materials needed at use stage</p>
amount of waste for usage stage	<p>Design product for minimum consumption of process materials</p> <p>Avoid and/or minimize waste at use stage</p> <p>Provide for incentives for and possibility of collecting waste from use stage</p> <p>Reuse and/or recycling of waste from use stage</p>
noise, vibrations	<p>Avoid and/or minimize environmental damage caused by emissions, waste, noise, etc. at use stage</p>
emissions at usage stage	<p>Minimize risk of environmental damage in case of malfunctioning at use stage</p> <p>Avoid and/or minimize environmental damage caused by emissions, waste, noise, etc. at use stage</p>
maintenance and repair	<p>Ensure easy access to connecting parts</p> <p>Minimize time requirement for preparation and follow-up of product use</p> <p>Design product for easy cleaning and/or minimize susceptibility to soiling</p> <p>Concentrate wear on replaceable components of product</p> <p>Make signs of wear easily visible</p> <p>Indicate servicing intervals for product</p> <p>Ensure maintenance with standard tools</p> <p>Ensure self-explanatory structure or provide for instruction for repair on product</p> <p>Ensure easy access to components for repair and replacement</p> <p>Ensure availability of spare parts</p> <p>Ensure reworkability of worn components</p> <p>Preferably use refurbished components as spare parts</p> <p>Provide for testing and measuring devices for the refurbishing of components</p> <p>Provide for overmeasure of material with a view to the reuse of components</p> <p>Label components to indicate remaining service life</p> <p>Ensure ease of cleaning for reuse of components</p>

Tab. 5-13 Der *Use scenario*-Gruppe der technischen Design-Parameter zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen

5.5.4 Gruppe: Materials

Der Gruppe *materials* werden jene technischen Design-Parameter zugeteilt, die mit der Materialauswahl und den damit verbundenen Umweltauswirkungen zusammenhängen. In der folgenden Tabelle 5-14 werden die der Gruppe zugeordneten technischen Design-Parameter und deren Umweltbezüge erklärt.

Materials	
Technische Design-Parameter	Umweltbezug
materials used	Materialien mit guter Umweltbewertung über den Produktlebenszyklus einsetzen
labeling of materials and components	Vorraussetzung für eine Materialverwertung, ist eine Kennzeichnung der Materialien
banned materials	gesetzlich verbotene Materialien, die in Bezug auf Mensch und Umwelt kritisch sind sollten nicht verwendet werden.
biodegradable materials	dadurch kann das Problem der Entsorgung verringert werden; geringerer Ressourcenverbrauch durch Einsatz nachwachsender Rohstoffe
rate of recycled material	Ressourcenschonung durch Einsatz von Sekundärmaterialien

Tab. 5-14 Gruppe *materials*: Technische Design-Parameter mit Umweltbezug

In der nachfolgenden Tabelle 5-15 sind die ECODESIGN-Maßnahmen, die den technischen Design-Parametern der Gruppe *materials* entsprechen, angeführt. Zur Erklärung dieser Zuteilung der Maßnahmen siehe Kapitel 5.5.

Materials

Technische Design-Parameter	Zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen
materials used	<p>Use of materials with a view to their environmental performance</p> <p>Avoid or reduce the use of toxic materials and components</p> <p>Prefer materials from renewable raw materials</p> <p>Prefer recyclable materials</p> <p>Prefer the use of recycled materials (secondary materials)</p> <p>Avoid raw materials, components of problematic origin</p> <p>Preferably use process materials from renewable raw materials</p> <p>Use environmentally acceptable auxiliary and process materials and avoid hazardous materials</p> <p>Evaluate external parts/components by ECODESIGN criteria</p> <p>Preferably use renewable raw materials for packaging</p> <p>Indicate type and amount of hazardous materials contained in product</p> <p>Make possible use of renewable energy resources at use stage</p> <p>Make possible use of environmentally sound process materials</p> <p>Make possible use of process materials from renewable raw materials</p> <p>Standardize components and/or use identical structural components for different variants of product</p> <p>Use standardized elements, parts, and components for easy reuse</p> <p>Ensure that materials are suitable for recycling</p>
labeling	<p>Ensure labeling of materials conforming to standards</p> <p>Label packaging materials (incl. instructions for disposal)</p>
banned materials	<p>Use of materials with a view to their environmental performance</p> <p>Avoid or reduce the use of toxic materials and components</p> <p>Ensure simple extraction of harmful and valuable substances</p> <p>Make possible extraction of process materials and unavoidable harmful substances</p> <p>Take into account end-user's opportunities for disposal and provide for instructions for disposal</p>
biodegradable materials	<p>Dispose of unavoidable waste in an environmentally acceptable manner</p> <p>Use environmentally acceptable packaging materials</p> <p>Ensure environmentally acceptable disposal of waste from use stage</p> <p>Use of materials with a view to their environmental performance</p> <p>Prefer materials from renewable raw materials</p>
rate of recycled material	<p>Use of materials with a view to their environmental performance</p> <p>Prefer the use of recycled materials (secondary materials)</p> <p>Preferably use recycled materials or packaging materials suitable for established recycling processes</p>

Tab. 5-15 Der *materials*-Gruppe der technischen Design-Parameter zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen

5.5.5 Gruppe: End of life scenario

Die Nachgebrauchsphase wird durch die Gruppe *end of life scenario* angeführt. Die der Gruppe zugeordneten technischen Design-Parameter und deren Umweltbezug, werden in Tabelle 5-16 aufgelistet.

End of life scenario	
Technische Design-Parameter	Umweltbezug
time to disassembly	Damit ein Produkt wieder- bzw weiterverwendet werden kann ist es wichtig, es in Bauteilen oder Baugruppen zu zerlegen
end of life	Um eine Materialverwertung auf hohem Niveau zu betreiben, sind die Werkstoffkombinationen Recyclingverträglich zu wählen. Am Ende soll das Produkt aufwandsarm und umweltverträglich entsorgt werden können

Tab. 5-16 Gruppe *end of life scenario*: Technische Design-Parameter mit Umweltbezug

Die der *end of life*-Gruppe zugeordneten ECODESIGN-Maßnahmen sind in der nachfolgenden Tabelle 5-17 angeführt.

End of Life Scenario

Technische Design-Parameter	Zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen
time to disassembly	<p>Avoid inseparable composite materials Preferably use single material components and/or reduce number of different types of material Ensure easy access to connecting parts Ensure reversibility of assembly procedure Ensure self-explanatory structure or provide for instruction for repair on product</p> <p>Ensure easy access to components for repair and replacement Design product structure for easy disassembly (uniform directionality for assembly and disassembly work) Minimize time and paths for disassembly Use easily detachable connections Ensure easily visible access to connections for disassembly</p> <p>Ensure easy access to connecting parts for disassembling tools Make possible separation of materials for recycling Ensure simple extraction of harmful and valuable substances</p>
end of life	<p>Create new or use existing collection system Ensure high return rate Reuse of components in other products Ensure labeling of materials conforming to standards Make possible separation of materials for recycling Ensure that materials are suitable for recycling Ensure that surface coating and base material are suitable for recycling</p> <p>Ensure simple extraction of harmful and valuable substances Make possible extraction of process materials and unavoidable harmful substances Take into account end-user's opportunities for disposal and provide for instructions for disposal</p>

Tab. 5-17 Der *End of life scenario*-Gruppe der technischen Design-Parameter zugeordnete ECODESIGN-Maßnahmen

Um den Produktentwickler bei der Lösungssuche zu unterstützen, sollen in diesem Tool, abgesehen von den ECODESIGN-Maßnahmen die TRIZ-Prinzipien zu innovativen Verbesserungen führen. Im folgenden Kapitel werden diese den technischen Parametern zugeordnet.

5.6 Zuteilung der TRIZ-Prinzipien zu den technischen Design-Parametern

Die von *Chen* (2001) entwickelte und in Kapitel 3.4 erklärte Methode, bei der die 40 innovativen Lösungsprinzipien verwendet werden, ohne Widersprüche zu formulieren, wird hier bei den beschriebenen Design-Parameter angewendet.

Nachdem die Kundenanforderungen auf die technischen Parameter umgelegt wurden, kann man der Beziehungsmatrix, die für den Kunden am wichtigsten erscheinenden Parameter, entnehmen. Um nun zu einer innovativen Problemlösung zu kommen, wäre laut *Altshuller* ein Widerspruch zu formulieren. Da es nicht immer einfach ist, einen Widerspruch zu definieren und vorherzusehen, sind hier direkt jeder zu verbessernden Produkteigenschaft, die häufigsten TRIZ-Prinzipien zugeordnet.

Die Aufteilung erfolgte mit Hilfe der Tabelle 5-18 von *Chen*, in der die Auftrittshäufigkeit der TRIZ-Prinzipien zu jedem technischen TRIZ-Parameter dargestellt ist. Zu Beginn wurde, wie in Tabelle 5-18 dargestellt, jedem technischen Parameter ein oder mehrere passende TRIZ-Parameter zugeordnet. Jeder definierten technischen Produkteigenschaft sind mindestens zwei und höchstens acht TRIZ-Lösungsprinzipien zugeschrieben. Es handelt sich dabei um die den jeweiligen TRIZ-Parametern zugeordneten, am häufigsten vorkommenden Prinzipien in der Widerspruchsmatrix, also die von *Chen* formulierten Gruppen A (Häufigkeit >19), B (Häufigkeit 15-18) und C (Häufigkeit 13-15). Jenen Produkteigenschaften, die kein passendes Gegenüber in der Widerspruchsmatrix besitzen, wurden nur sicher zutreffende TRIZ-Prinzipien zugeordnet, beispielsweise sind dem technischen Parameter *rate of recycled material* die Prinzipien 35 *Composite materials* und 22 *Convert harm into benefit* zugeteilt.

Es kann also, nachdem die zu verbessernden technischen Parameter identifiziert sind, direkt über die TRIZ Prinzipien, die innovative Problemlösungssuche beginnen.

technische Design-Parameter	TRIZ-technische Parameter	Häufigkeit >19	Häufigkeit 16-18	Häufigkeit 13-15
product weight	weight of moving object	35		
	weight of the non-moving object	35	28, 10, 19, 01, 26	
product volume	volume of moving object		35	02, 10, 29
	volume of non-moving object	35		2
number of parts	complexity of device	1	26, 28, 10, 13	
surface design	shape	1	10, 14, 15, 35	
	strength	03, 35, 10, 28	40, 15	
physical lifetime	durability of the moving object	35, 19	03, 10	
	durability of the non-moving object			16
functionality	reliability	35, 10, 11	40	
	waste of time	10, 35, 28, 18		
production technology	accuracy of manufacture	32	28, 10	
	level of automation	35		
	productivity	35, 10, 28		
packaging	strength	03, 35, 10, 28	40, 15	
	durability of the moving object	35, 19	03, 10	
	amount of substance	35, 03, 29	18	
overall transportation	waste of energy	35	2	
	speed	28, 35	13	
	volume of moving object		35	
	volume of non-moving object	35		
	strength	03, 35, 10, 28	40, 15	
	energy spent by moving object	35, 19		
energy consumption at usage stage	waste of energy	35	2	
	energy spent by moving object	35, 19		

Tab. 5-18 Aufteilung der TRIZ-Prinzipien auf die technischen Design Parameter (Teil1)

technische Design-Parameter	TRIZ-technische Parameter	Häufigkeit >19	Häufigkeit 16-18	Häufigkeit 13-15
amount of waste for usage stage	waste of substance	10, 35, 28	18	
noise, vibrations	speed	28, 35	13	
	stability of object	35	39, 02	
	tention/pressure	35, 10	36, 37	
emissions at usage stage	waste of energy	35	2	
	waste of substance	10, 35, 28	18	
maintenance and repair	reparability	01, 10, 02	11	35, 13
labelling of materials and components	amount of substance	35, 03, 29	18	
banned materials	-	35, 22, 03, 40		
biodegradable materials	-	35, 22		
rate of recycled material	-	35, 22		
time to disassembly	complexity of device	1	26, 28, 10, 13	
usability	convenience of use	1	13	02, 28, 35, 32
	complexity of control	35	28	
end of life scenario	adaptability	35, 15, 01		

Tab. 5-19 Aufteilung der TRIZ-Prinzipien auf die technischen Design Parameter (Teil2)

5.6.1 Darstellung der TRIZ-Prinzipien im QFD-PILOT

Die TRIZ-Prinzipien sind (vgl. Kapitel 5.5.3), wie auch die ECODESIGN-Maßnahmen, den Design-Parameter zugeordnet. Der im PILOT für die Maßnahmen verwendete Aufbau, mit den *LEARN* und *APPLY*-Seiten, wurde auch für die TRIZ-Prinzipien verwendet.

Für die ECODESIGN-Maßnahmen, wie in Kapitel 4.3 beschrieben, dienen die *LEARN*-Seiten, mit Hilfe eines Beispiels, zur Erklärung des Umweltbezuges und der Anwendungsteil dient der Umsetzung von ECODESIGN in Form von Checklisten. Bei den TRIZ-Prinzipien sind auf der Wissensseite (siehe Abb. 5-23) Beispiele zur Umsetzung dieser angeführt. Hingegen wird auf der Seite der Checklisten (siehe Abb. 5-24) jedes Prinzip erklärt. Beispiele und Erklärung der TRIZ-Prinzipien [Herb et.al. 2000] wurden durch zusätzliche umweltrelevante Beispiele ergänzt [Strasser, Wimmer 2003].

TRIZ
INNOVATION

Prior action

Example 1: Utility knife blade made with a groove allowing the dull part of the blade to be broken off to restore sharpness. Example 2: Rubber cement in a bottle is difficult to apply neatly and uniformly. Instead, it is formed into a tape so that the proper amount can be applied more easily.

Abb. 5-23 Beispiele für das TRIZ-Prinzip *Prior action*, im QFD-PILOT

Durch das Ausfüllen der Checkliste (siehe Abb. 5-24) kann in einem weiteren Schritt, die Verbesserung des technische Design-Parameter spezifiziert werden, indem die ECODESIGN-Maßnahmen und TRIZ-Prinzipien mit hoher Priorität und geringem Umsetzungsrisiko zur Produktverbesserung herangezogen werden.

TRIZ - Innovative Principles 10. Prior action

TRIZ
INNOVATION

Carry out the required action in advance, in full or in part. Arrange objects so that they can go into action, without time loss while waiting for the action (and from the most convenient position).

	Weighting (W)	Assessment (A)	Priority (P)
	<input type="radio"/> very important (10) <input type="radio"/> less important (5) <input type="radio"/> not relevant (0)	<input type="radio"/> yes (1) <input type="radio"/> rather yes (2) <input type="radio"/> rather no (3) <input type="radio"/> no (4)	<div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>P = W * A</p>

Measure	Prior action
Idea	<input style="width: 95%;" type="text"/>
Implementation risk	<input type="radio"/> high because <input style="width: 80%;" type="text"/> <input type="radio"/> low
Action	<input type="radio"/> at once Responsibility <input style="width: 80%;" type="text"/> <input type="radio"/> later <input type="radio"/> never Deadline <input style="width: 80%;" type="text"/>

Abb. 5-24 TRIZ-Prinzip 10 *Prior action*: Prinzipklärung und Checkliste für weitere Schritte

5.7 Erstellung der Beziehungsmatrix

Dieser Teil, der eigentliche Kern der Methode, entsteht (vgl. Kap.2.7) durch die Vernetzung der umweltrelevanten Kundenanforderungen mit den technischen Design-Parametern. Ziel ist es, die dem Kunden wichtigsten technischen Design-Parameter aufzuzeigen.

Es wird angegeben (vgl. Abb. 5-25), welche Kundenanforderungen mit welchen technischen Parametern in Beziehung stehen und wie stark diese ist. Für die Intensität der Beziehungen wird ein überproportionaler Maßstab (1 – 3 – 9) gewählt. Es stehen also die Beziehungsstärken „1“, „3“ und „9“, die den Aussagen, „schwach“, „mittel“ und „stark“ entsprechen, zur Verfügung.

Um die Verteilung zu erleichtern und auf keine Beziehungen zu vergessen, wurden einige spezifische Felder vorausgewählt. Hier wird zwischen zwei Stufen unterschieden. Die Felder der ersten Stufe sind rot hinterlegt und haben immer eine starke bzw. mittlere Beziehung, d.h. ihnen sind die Beziehungsstärken 3 oder 9 zuzuordnen. Die zweite Stufe stellen die gelben Felder dar, zwischen denen mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Verbindung besteht, die je nach Produkt mit der Beziehungsstärke 1, gegebenenfalls aber auch mit 3 oder 9 bewertet werden kann. Die restlichen nicht vorgewählten Beziehungen sind nicht weniger wichtig, aber für jedes Produkt unterschiedlich und daher individuell auszuwählen. In Abbildung 5-25 ist die Beziehungsmatrix mit den vorausgewählten Feldern dargestellt.

Die Kundenanforderung high durability ist die Umsetzung der technischen Design-Parameter physical lifetime und surface design. Dabei ist klar, dass bei der Beziehung, zwischen einer langen Haltbarkeit und der Ausführung der Oberfläche, eine hohe Beziehungsintensität weniger wahrscheinlich ist, als zwischen einer langen Haltbarkeit und der technischen Lebensdauer. Daher wurde das Beziehungsfeld high durability / physical lifetime rot, hingegen high durability / surface design gelb gefärbt.

Viele Verknüpfungen hat die Kundenanforderung easy to recycle, da sie mit den meisten technischen Design-Parametern in der Gruppe *materials (materials used, labeling of materials and components, banned materials, biodegradable materials und rate of recycled materials)* in Beziehung steht.

Zusätzlich besteht noch ein Zusammenhang zu dem Parameter *number of parts* und dem der *end of life scenario*-Gruppe zugeordneten Parameter *material recycling*. Die Leichtigkeit ein Produkt zu recyceln ist fast immer eine Frage des Materials, hingegen ist die Anzahl der Produktteile nur bei Produkten relevant die vor der Verwertung zerlegt werden müssen. Aus diesem Grund ist die Beziehung *easy to recycle / materials used* mit roter und *easy to recycle / number of parts* mit gelber Farbe hinterlegt. Auch mit einer roten Farbe hinterlegt wurde die Paarung *easy to recycle / material recycling* die weiteren Beziehungen je mit gelber, da deren Wahrscheinlichkeit des Auftretens geringer ist.

		product description					production transportation		use description					materials				end of life						
		product weight	product volume	number of parts	surface design	physical lifetime	functionality	production technology	packaging	overall transportation	usability	energy consumption at usage stage	amount of waste at usage stage	noise, vibrations	emissions at usage stage	maintenance and repair	materials used	labeling of materials and compone	banned materials	biodegradable materials	rate of recycled material	time to disassembly	end of life	
Customer importance (relativ %)		↓	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑		
Direction of improvement		↓	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑		
Units		kg	m ³		h		kg	km		kW	kg	dB		h			y/n		%	h				
BASIC-TYP	low environmental risk during use	14										9	9				3							
	easy to use	22	3	1		1			9															
	high durability	23			1	9																		
SECURE-TYP	consume less energy during use	22								9														
	reduce packaging	16	3					9	3															
	easy to maintain and repair	22			3									1							9			
ECOLOGICAL-TYP	easy to recycle	10		1												9	3	1				9		
	possible to dispose at ease	18																						
	less transportation	18	1	1					9															
	use energy causing low env. Impact	19					9			3														
	use materials causing low env. impact	19														9		1	9					
	use less material	15	3					1			1					1								
	low emissions during manufacturing	20										1												
IDEAL-TYP	easy to disassemble	18			1									9							9			
	easy to reuse	14			1										1						9			
Importance (absolut)		177	40	108	23	207	22	171	159	210	198	255	15	146	126	198	276	30	71	171	0	486	90	3179
Importance (relativ %)		6	1	3	1	7	1	5	5	7	6	8	0	5	4	6	9	1	2	5	0	15	3	100

Abb. 5-25 Beziehungsmatrix des QFD-Tools

5.8 Vorgangsweise bei Anwendung des ECODESIGN-QFD-PILOT

Die Produktdaten sind in allen Datenformulare (MS-Excel-Datenblätter), in die hellblauen Datenfelder einzutragen. Bei den vier Tabellen stehen Menüs mit vorbereiteten Zahlen zur Auswahl (siehe Abb. 5-26 und Abb. 5-27).

2	2	1	2	0	1
•	2	2	2	0	2
2	•	2	0	0	1
2	2	•	1	1	0
2	2	2	•	2	2

Abb. 5-26 Auswahlmenü Paarweiser Vergleich

4	4	2	4	1
3	1	4	3	3
1	2	5	3	2
	3			
	4			
	5			

Abb. 5-27 Auswahlmenü Benchmarking

Kundenanforderungen

Wichtige Felder sind zur näheren Beschreibung mit einem Kommentar versehen, welcher erscheint, sobald der Cursor über das Feld geführt wird (siehe Abb. 5-28). Um falsche Eingaben zu vermeiden, erscheint bei nicht Einhalten der vorgegebenen Menüauswahl eine Fehlermeldung (siehe Abb. 5-29).

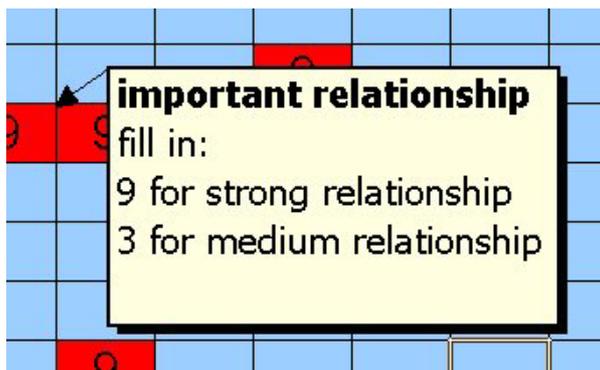


Abb. 5-28 Kommentar

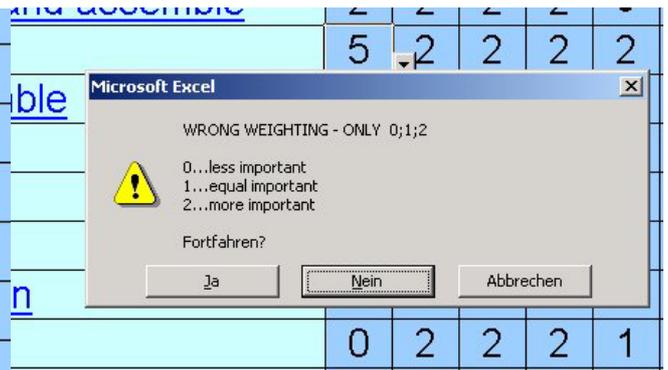


Abb. 5-29

Fehlermeldung

5.8.1 Anwendung der Kundengewichtung

Für die Gewichtung durch den Kunden wurde die Methode des paarweisen Vergleichs herangezogen. Wie in Kapitel 2.5.4 beschrieben, sind die Anforderungen in einer Matrix sowohl spalten-, als auch zeilenweise aufgelistet. Die Anforderungen werden miteinander verglichen, indem ihnen die Zahlen „0“, „1“ und „2“, die den Aussagen „weniger wichtig“, „gleich wichtig“ und „wichtiger“ entsprechen, zugeordnet werden (siehe Abb. 5-30).

Falls bei der Anwendung dieses paarweisen Vergleiches der Inhalt der Kundenanforderung nicht immer klar ist, kann man sich über den QFD-PILOT und seine Maßnahmen informieren, da wie in Kapitel 5.4.2 beschrieben, jeder Kundenanforderung mehrere Maßnahmen zugeordnet sind.

Die Gewichtung ergibt sich aus der Spaltenweisen Aufsummierung der Kundenanforderungen. Die unterste Zeile zeigt die relative Gewichtung in Prozent, die der Übersicht dient, indem die dem Kunden wichtigsten Anforderungen ausgewiesen werden. Außerdem werden für die weitere Berechnung die relativen Zahlen herangezogen.

Links neben der Tabelle des paarweisen Vergleiches (Abb. 5-30) werden die drei wichtigsten umweltrelevanten Kundenanforderungen ausgegeben, wobei als erstes die Anforderung mit der höchsten Gewichtung angeführt wird.

Es wird hier zwar die Methode des Paarweisen Vergleichs angewendet, liegen jedoch bereits Daten über die Gewichtung der Kundenanforderungen (z.B. aus Marktanalysen) vor, können diese auch direkt in die Beziehungsmatrix eingetragen werden.

Weighting Voice of Customer

0.. less important
1.. equal important
2.. more important

	<u>low environmental risk during use</u>	<u>easy to use</u>	<u>high durability</u>	<u>consume less energy during use stage</u>	<u>reduce packaging</u>	<u>easy to maintain and repair</u>	<u>easy to recycle</u>	<u>possible to dispose at ease</u>	<u>less transportation</u>	<u>use energy causing low environmental impact</u>	<u>use materials causing low environmental impact</u>	<u>use less material</u>	<u>low emissions during manufacturing</u>	<u>easy to disassemble</u>	<u>easy to reuse</u>	
<u>low environmental risk during use</u>	●	0	2	1	1	2	0	1	0	2	2	1	2	2	2	
<u>easy to use</u>	2	●	2	2	1	2	0	1	2	0	2	1	1	2	1	
<u>high durability</u>	2	2	●	2	2	2	0	2	2	0	2	2	1	2	2	
<u>consume less energy during use stage</u>	1	2	2	●	2	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	
<u>reduce packaging</u>	2	2	2	2	●	2	1	2	2	2	0	0	0	2	0	
<u>easy to maintain and repair</u>	1	2	2	2	2	●	2	2	0	0	2	0	0	2	0	
<u>easy to recycle</u>	1	2	2	2	0	2	●	2	2	2	2	1	2	0	0	
<u>possible to dispose at ease</u>	2	2	1	2	1	2	2	●	2	2	2	1	2	0	0	
<u>less transportation</u>	1	1	2	0	2	2	2	2	●	2	1	1	2	2	2	
<u>use energy causing low environmental impact</u>	2	0	1	1	0	0	1	1	2	●	0	1	2	0	1	
<u>use materials causing low environmental impact</u>	0	1	2	0	0	0	0	2	2	2	●	2	2	2	2	
<u>use less material</u>	0	2	2	2	1	2	0	2	1	2	2	●	2	2	2	
<u>low emissions during manufacturing</u>	0	2	0	2	2	1	2	2	0	2	2	2	●	1	1	
<u>easy to disassemble</u>	0	2	2	2	1	2	2	2	0	1	1	1	2	●	1	
<u>easy to reuse</u>	0	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	●	
Importance	14	22	23	22	16	22	13	24	18	19	19	15	20	18	14	279
relativ in %	5	8	8	8	6	8	5	9	6	7	7	5	7	6	5	100

Most important customer need

possible to dispose at ease

Important customer need

high durability

easy to use

Abb. 5-30 Paarweiser Vergleich

5.8.2 Anwendung der Beziehungsmatrix

Die Beziehungsmatrix, die im Kapitel 2.7 grundsätzlich erklärt und in Kapitel 5.6 noch zusätzlich mit spezifisch vorausgewählten Feldern ausgeführt wurde, ist die Vernetzung der technischen Design-Parameter mit den umweltrelevanten Kundenanforderungen.

Es müssen die Beziehungsintensitäten zwischen den technischen Parametern und den Kundenanforderungen angegeben werden (siehe Abb. 5-25). Für die Intensität der Beziehungen stehen die Beziehungsstärken „1“, „3“ und „9“ zur Auswahl, die den Aussagen, „schwach“, „mittel“ und „stark“ entsprechen zur Verfügung. Besteht keinerlei Zusammenhang, so ist das Feld freizulassen. Die Beziehungsintensitäten beinhalten keine Aussage über die Wichtigkeit der Funktionen für den Kunden. Diese wird durch die Kundenanforderungsgewichtung berücksichtigt. Um eine vernünftige Lösung zu erhalten ist es sinnvoll die Beziehungsmatrix in einem Team auszufüllen.

Bei der Anwendung der Matrix ist also zu beachten, dass keine Beziehungen bzw. Beziehungspaare übersehen werden. Die vorausgewählten Felder sorgen dafür, dass wahrscheinliche Beziehungen nicht ausgelassen werden, was aber nicht bedeutet, dass andere Felder nicht in Beziehung stehen können, es ist nur die Wahrscheinlichkeit geringer.

Die Berechnung der gewichteten Design-Parameter erfolgt indem die gewichteten umweltrelevanten Kundenanforderungen in % (siehe Kapitel 5.6) mit der Beziehungsstärke (1, 3 oder 9) zwischen Kundenanforderungen und technischen Parametern multipliziert und für jeden technischen Parameter aufsummiert werden. Die Ergebnisse sind sowohl in absoluten, als auch in relativen %-Werten angegeben.

Das Ergebnis dieser Beziehungsmatrix ist eine Rangfolge der technischen Design-Parameter, nach dieser die Verbesserungen folgen sollen, da die mit den höchsten Werten die stärkste Hebelwirkung zur Erfüllung der Kundenanforderungen besitzen. Auch hier sollte bei der Anwendung nicht vergessen werden, dass jeder technischer Design-Parameter und jede umweltrelevante Kundenanforderung mit dem QFD-PILOT verlinkt ist, um sich Informationen und Anregungen für die weitere Produktverbesserung beschaffen zu können.

5.8.3 Anwendung des Benchmarking der umweltrelevanten Kundenanforderungen

Wie in Kapitel 2.10 angeführt, werden in dem Tabellenblatt *Benchmarking Voice of Customer* (vgl. Abb. 5-31) die Vor- und Nachteile der eigenen Lösung mit den untersuchten Wettbewerbsprodukten aus Kundensicht analysiert.

Die umweltrelevanten Kundenanforderungen können, wie Abb. 5-31 zeigt, mit einer 5-stufigen Rating-Skala (0 =“ nicht erfüllt“, 1 = „schlecht erfüllt“ bis 5 = „sehr gut erfüllt“) bewertet werden. Das Programm ist für drei Produkte, das eigene und zwei weitere, vorgesehen, kann aber jederzeit ausgebaut werden.

Durch diesen Vergleich mit dem Wettbewerber werden die Produkte analysiert, wobei man sich folgende Fragen stellen sollte (siehe Kap. 2.9.1):

- Sind die Benchmarking-Partner besser?
- Warum sind sie besser?
- Um wie viel sind sie besser?
- Wie können ihre Praktiken/Verfahren an die eigenen Verhältnisse angepasst oder übernommen werden?

Die Antworten auf diese Fragen dienen dazu, Sollvorgaben abzuleiten und das eigene Produkt zu verbessern. Um dies zu erreichen, kann auch wieder der QFD-PILOT mit seinen ECODESIGN-Maßnahmen verwendet werden.

Die Aufsummierung der gewichteten Bewertungszahlen eines Produktes gibt die *Marktreife* wieder (siehe Abb. 5-31 links, im Ergebnisfeld), denn eine gesamtheitliche Erfüllung der Kundenanforderungen kann ebenfalls ein Erfolgsfaktor am Markt sein. Durch die grafische Darstellung wird ein Überblick über die Unterschiede zu anderen Produkten geschaffen.

Benchmarking Voice of Customer

5.. very good
1.. very bad
0.. not fulfilled

	low environmental risk during use	easy to use	high durability	consume less energy during use stage	reduce packaging	easy to maintain and repair	easy to recycle	possible to dispose at ease	less transportation	use energy causing low environmental impact	use materials causing low environmental impact	use less material	low emissions during manufacturing	easy to disassemble	easy to reuse	Points
Importance	14	22	23	22	16	22	10	18	18	19	19	15	20	18	14	
my product	1	4	3	4	2	4	1	2	2	1	1	2	1	2	1	599
product 1	3	2	3	4	1	5	5	4	2	4	3	4	3	2	3	858
product 2	2	1	2	2	5	2	2	2	3	2	2	2	5	2	2	644

from the costumer point of view
product 1 is the best choice

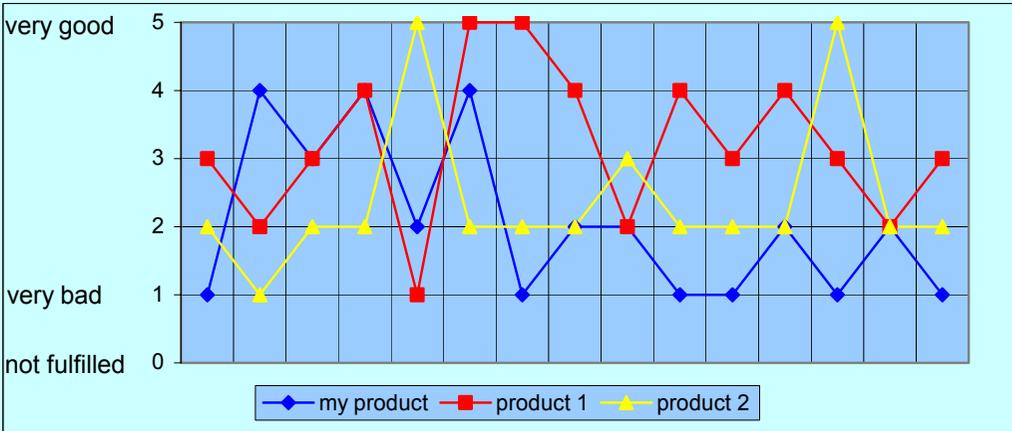


Abb. 5-31 Benchmarking umweltrelevanter Kundenanforderungen

5.8.4 Anwendung des Benchmarking der technische Design-Parameter

Durch das Benchmarking der technischen Design Parameter mit anderen Konkurrenzprodukten (vgl. Abb. 5-32 Tabellenblatt *Benchmarking Design Parameter*) werden weitere zu verbessernde Parameter aufgezeigt, die im Vergleich zu anderen Produkten schlecht abschneiden. Diese können quantitativ beurteilt werden und stellen dann für den Entwickler ein Entwicklungsziel dar, das er, um auf den Markt bestehen zu können, lösen muss.

Die technischen Design-Parameter können wie die umweltrelevanten Kundenanforderungen mit einer 5-stufigen Rating-Skala (0 = „nicht erfüllt“, 1 = „schlecht erfüllt“ bis 5 = „sehr gut erfüllt“) bewertet werden. Das Programm ist für drei Produkte, das eigene und zwei weitere, vorgesehen, kann aber jederzeit ausgebaut werden.

Die Vorgangsweise bei der Analyse ist wie bei dem Benchmarking der Kundenanforderungen, wobei der größte Handlungsbedarf besteht, wenn die Bewertung eines technischen Design-Parameters für das eigene Produkt deutlich schlechter ausfällt, als für die Wettbewerbsprodukte.

Die mit der Gewichtung der technischen Parameter multiplizierten Bewertungen der Vergleichsprodukte stellen eine Kennzahl für die *Reife des Produktes* dar, indem sie über das Produkt aufsummiert werden. Hohe Werte für die technische Reife (siehe Abb. 5-32 links, im Ergebnisfeld) bedeuten, dass es sich um ein ausgereiftes Produkt handelt.

Benchmarking Design-Parameter

5.. very good
 1.. very bad
 0.. not fulfilled

	product weight	product volume	number of parts	surface design	physical lifetime	functionality	production technology	packaging	overall transportation	usability	energy consumption at usage stage	amount of waste at usage stage	noise, vibrations	emissions at usage stage	maintenance and repair	materials used	labeling of materials and component	banned materials	biodegradable materials	rate of recycled material	time to disassembly	end of life	Summe
Importance	129	40	108	23	207	22	171	159	210	198	255	15	146	126	198	276	30	71	171	0	486	90	
my product	4	4	2	4	1	4	4	1	4	1	4	1	1	2	1	2	1	2	1	2	4	3	7900
product 1	3	3	4	3	3	5	3	3	2	3	4	3	3	3	1	3	3	5	3	5	3	5	9516
product 2	1	4	5	3	2	3	2	3	1	3	4	1	3	2	2	3	5	3	3	2	3	3	8514

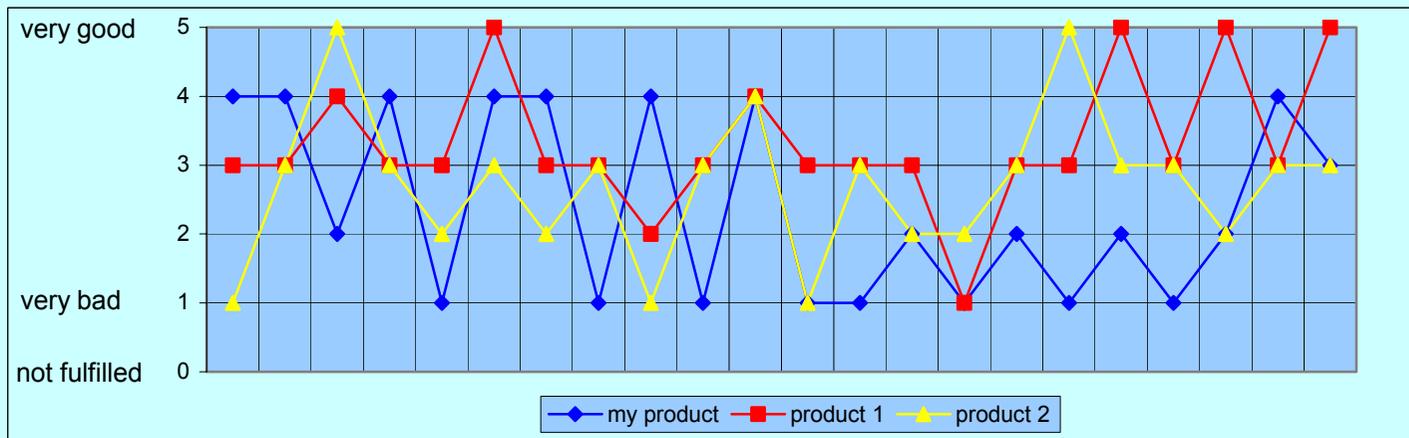


Abb. 5-32 Benchmarking technische Design-Parameter

5.8.5 Ergebnisausgabe des QFD-Tools

Alle relevanten Resultate werden im Tabellenblatt *Results* (siehe Abb. 5-33) ausgegeben. Diese sind von dem Arbeitsblatt *Importance* der umweltrelevanten Kundenanforderungen die drei mit der höchsten Gewichtung, also jene die dem Kunden am wichtigsten sind. Von der *Relationship matrix* werden die drei technischen Design-Parameter ausgegeben und von den beiden *Benchmarking* wird je das bessere Produkt ausgegeben. Die Resultate werden bereits in jedem Blatt als Zwischenergebnis, rechts in einem eigenen Kästchen, angezeigt (siehe Abb. 5-33).

RESULTS *QFD*

ECODESIGN *QFD-PILOT*

weighting of customer needs and requirements

most important: [high durability](#)
also important: [easy to use](#)
[consume less energy during use stage](#)

VOICE OF CUSTOMER
PILOT

Importance of design parameter

most important: [time to disassembly](#)
also important: [materials used](#)
[energy consumption at usage stage](#)

DESIGN PARAMETER
PILOT

Design parameters are
performed best in **product1**

Customer needs and requirements are
performed best in **product 2**

Abb. 5-33 Ergebnisausgabe im QFD-Tool

5.8.6 Zusammenfassung QFD-Tool

Die Vorgangsweise des QFD-Tools ist in Abbildung 5-34 zusammengefasst dargestellt. Anfangs müssen die relevanten Kundenanforderungen identifiziert und gewichtet werden. Um zu verstehen, was hinter jeder Kundenanforderung steht, sind sie mit den passenden ECODESIGN-Maßnahmen verlinkt. Dann wird, beginnend mit den farbigen Feldern, die Beziehungsmatrix ausgefüllt. Das Datenblatt berechnet und zeigt an, welche technischen Design-Parameter zur darauffolgenden Verbesserung herangezogen werden sollen. Für jeden Parameter gibt es sowohl eine ECODESIGN-Checkliste und eine Liste von TRIZ-Prinzipien die, um den Anforderungen des Kunden gerecht zu werden, zu den Verbesserungen führen sollen.

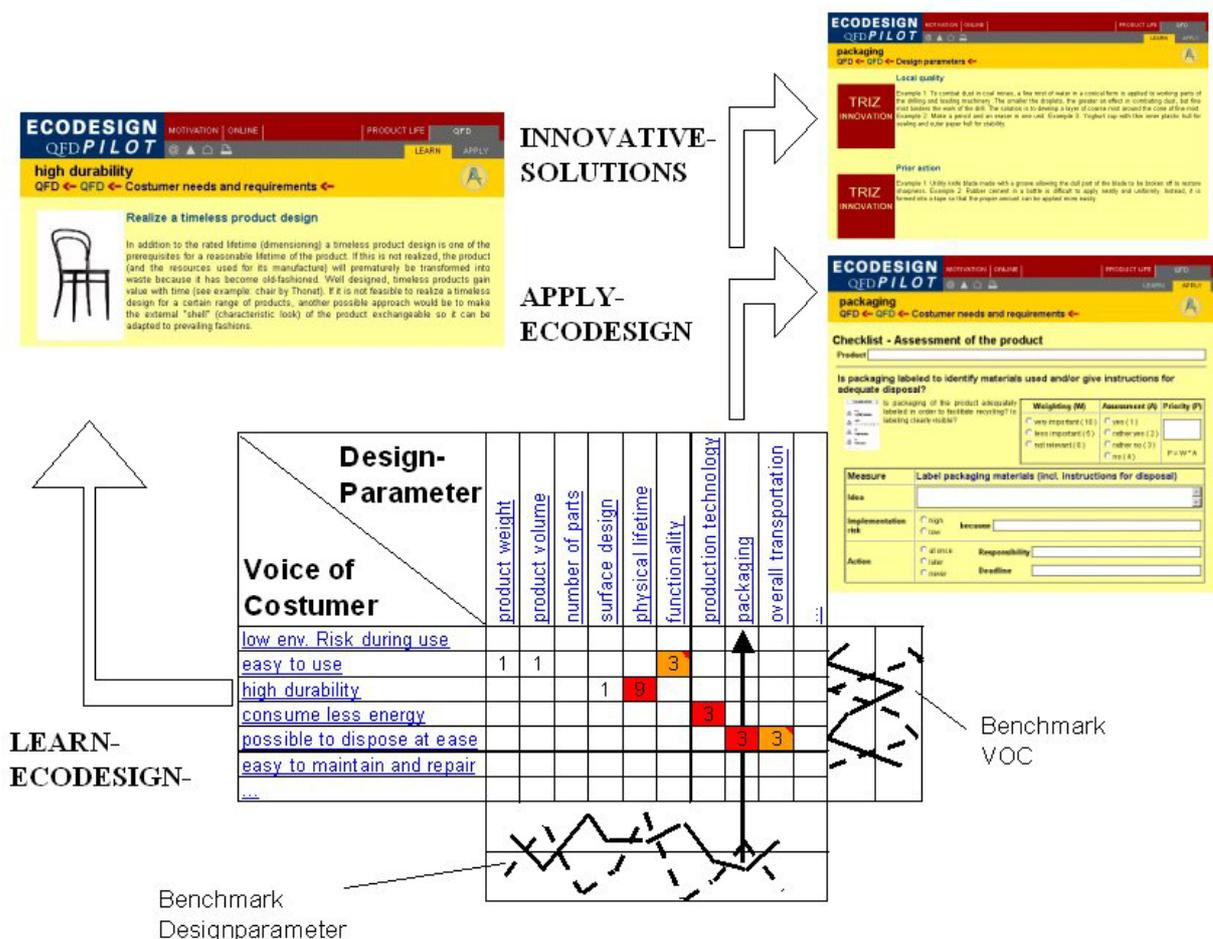


Abb. 5-34 Verbindung des QFD-Tools mit dem QFD-PILOT

5.8.7 Anwendung des QFD-PILOT

Im gesamten QFD-Tool, also in allen fünf Excel-Datenblätter, sind sowohl die umweltrelevanten Kundenanforderungen als auch die technischen Design-Parameter als Hyperlink ausgeführt und wie in den Kapiteln 5.4 und 5.5 mit den ECODESIGN-Maßnahmen des QFD-PILOT verlinkt.

Ist eine umweltrelevante Kundenanforderung bzw. ein technischer Design-Parameter unklar oder ist der zu verbessernde Parameter gefunden, kann durch den QFD-PILOT, mit Hilfe der ECODESIGN-Maßnahmen, Informationen gesammelt bzw. Verbesserungsvorschläge und Lösungen zur Erfüllung der Kundenanforderungen formuliert werden. Dies wird einerseits durch die *LEARN*- (Abb.5-35) und andererseits durch die *APPLY*-Seiten (Abb. 5-36) und zusätzlich die zugehörigen Erklärungen und Beispiele unterstützt (siehe auch Kapitel 4).



The screenshot displays the ECODESIGN QFDPILOT web application interface. The top navigation bar includes 'MOTIVATION', 'ONLINE', 'PRODUCT LIFE', and 'QFD'. Below this, there are icons for search, home, and a document. The main content area is titled 'easy to reuse' and shows a breadcrumb trail: 'QFD ← QFD ← Costumer needs and requirements ←'. The selected measure is 'Reuse refurbished parts and components', which is accompanied by an image of a recycling symbol with various electronic components. The text below the image explains that re-using parts and components helps close cycles and maintain high value, as refurbishing is more resource-efficient than manufacturing new parts. It also notes that re-use is facilitated by standardized and cross-variant parts.

Abb. 5-35 ECODESIGN-Maßnahme: *LEARN*-Seite

ECODESIGN QFDPILOT MOTIVATION | ONLINE | PRODUCT LIFE | QFD
 @ ▲ 🏠 📄 LEARN APPLY

product weight
 QFD ← QFD ← Design parameters ←

Checklist - Assessment of the product

Product

Have measures been realized to optimize the product for strength and the required wear resistance and to minimize material input by a solution balancing strain and strength?

 What stress and strain is the product exposed to? How intense are they? Where exactly do these loads occur in the individual components? How can they be absorbed, redirected, or neutralized by appropriate design? How can material input be reduced by design aiming at optimum strength?

Weighting (W)	Assessment (A)	Priority (P)
<input type="radio"/> very important (10)	<input type="radio"/> yes (1)	<input type="text"/> P = W * A
<input type="radio"/> less important (5)	<input type="radio"/> rather yes (2)	
<input type="radio"/> not relevant (0)	<input type="radio"/> rather no (3)	
	<input type="radio"/> no (4)	

Measure	Reduce material input by design aiming at optimum strength
Idea	<input type="text"/>
Implementation risk	<input type="radio"/> high because <input type="text"/> <input type="radio"/> low
Action	<input type="radio"/> at once Responsibility <input type="text"/> <input type="radio"/> later Deadline <input type="text"/> <input type="radio"/> never

Abb. 5-36 ECODESIGN-Maßnahme: *APPLY*-Seite

Um aus den Checklisten die relevanten ECODESIGN-Maßnahmen auszuwählen, ist wie in Kapitel 4.3.8 vorzugehen.

Zu jedem technischen Design-Parameter werden auch TRIZ-Prinzipien ausgegeben (siehe Abb. 5-37). Die mit Hilfe der angeführten Beispiele sollen anregen, neue Lösungen zu finden. Hinweise zur Anwendung der TRZ-Prinzipien im QFD-PILOT siehe 5.8.1

ECODESIGN QFDPILOT MOTIVATION | ONLINE | PRODUCT LIFE | QFD
 @ ▲ 🏠 📄 LEARN APPLY

physical lifetime
 QFD ← QFD ← Design parameters ←

Local quality

TRIZ INNOVATION

Example 1: To combat dust in coal mines, a fine mist of water in a conical form is applied to working parts of the drilling and loading machinery. The smaller the droplets, the greater an effect in combating dust, but fine mist binders the work of the drill. The solution is to develop a layer of coarse mist around the cone of fine mist. Example 2: Make a pencil and an eraser in one unit. Example 3: Yoghurt cup with thin inner plastic hull for sealing and outer paper hull for stability.

Abb. 5-37 TRIZ-Prinzip

6 Anwendungsbeispiele des ECODESIGN-QFD-PILOT

Im folgenden Kapitel wird die Vorgangsweise der Anwendung des ECODESIGN-QFD-PILOT anhand zweier Beispiele gezeigt. Bei dem ersten Produktbeispiel wird ein elektrischer Wasserkocher betrachtet. Die Ergebnisse des Tools werden mit denen des konventionellen Ansatzes des ECODESIGN-PILOT verglichen, wobei der Wasserkocher aus der Sicht zweier Kundentypen betrachtet wird. Im zweiten Beispiel werden Lärmschutzwände aus Holz, Aluminium und Beton in einem Benchmarking verglichen.

6.1 Beispiel Wasserkocher

Der Wasserkocher besteht im Wesentlichen aus einem Kunststoffgehäuse (Polypropylen) und einem spiralförmigen Heizelement, das mit Edelstahl ummantelt ist. Das Nutzungsszenario des Wasserkochers wird veranschlagt, 250 mal pro Jahr (entspricht ca. fünf mal pro Woche) einen halben Liter Wasser zum Kochen zu bringen. Bei einem Aufkochvorgang werden 0.54 kWh (Messwert) elektrische Energie verbraucht. Die Lebensdauer beträgt drei Jahre.

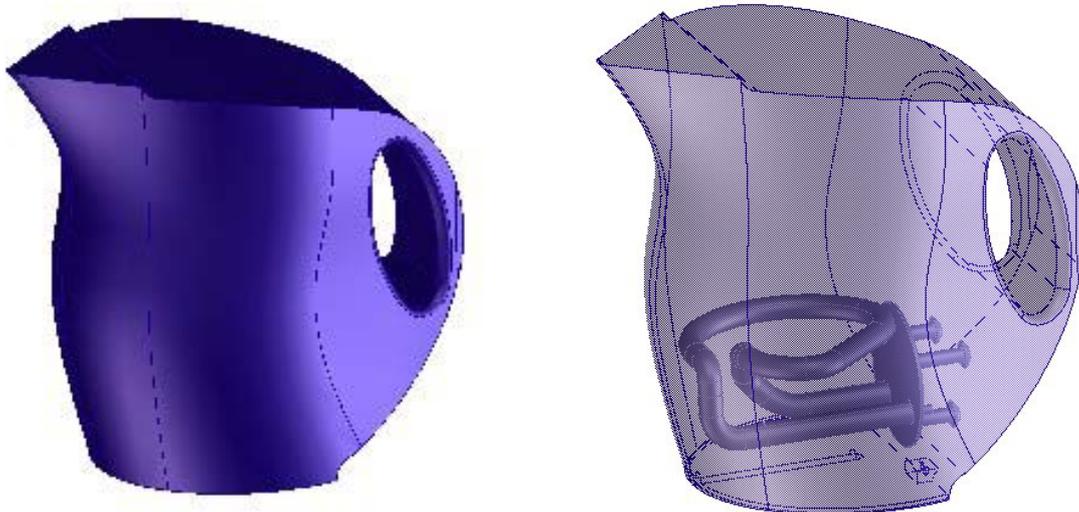


Abb. 6-1 Elektrischer Wasserkocher

Beim vorliegenden Beispiel wird von zwei Kundentypen ausgegangen, der erste kann dem *Basic*-Typ und der zweite dem *Secure*-Typ zugeordnet werden. Bei dieser Anwendung wird ausschließlich die Beziehungsmatrix betrachtet.

Beim ersten Kunden-Typ handelt es sich um den in Kap. 5.3 definierten *Basic*-Typ, der hauptsächlich auf das eigene Wohl achtet und auf jene Kundenanforderungen großen Wert legt, die ihn selbst und damit die Nutzungsphase betreffen. Die von ihm am höchsten bewerteten Kundenanforderungen sind *low environmental risk during use* und *consume less energy*, die jeweils mit 5 gewichtet wurden. Die Anforderung *easy to use* wurde als „nicht so wichtig“ eingestuft, da der Wasserkocher grundsätzlich einfach zu bedienen ist. Die ausgefüllte Beziehungsmatrix samt Gewichtung ist in Abbildung 6-3 dargestellt.

Als Ergebnis dieser Beziehungsmatrix wurde der technische Design-Parameter *energy consumption at usage stage* als bedeutendster Parameter und zusätzlich noch *physical lifetime* und *usability* angegeben. Der Parameter *energy consumption at usage stage* ist also aus der Sicht des *Basic*-Typen zur Verbesserung des Wasserkochers heranzuziehen (siehe Abb. 6-2). Im QFD-PILOT sind diesem Design-Parameter, wie in Kapitel 5.4 angeführt, folgende ECODESIGN-Maßnahmen zugeordnet [Wimmer, Züst 2001]:

The screenshot shows the ECODESIGN QFD PILOT software interface. The main header is red with 'ECODESIGN QFD PILOT' in white. Below the header, there are navigation tabs: 'MOTIVATION', 'ONLINE', 'PRODUCT LIFE', and 'QFD'. A yellow banner below the header displays the design parameter 'energy consumption at usage stage' and navigation arrows. The main content area is yellow and contains two ECODESIGN measures:

- Indicate consumption of product along use stage:** This measure is accompanied by an image of a digital energy meter. The text explains that indicating consumption levels to the user can help reduce excessive energy use.
- Minimize energy consumption at use stage by increasing efficiency of product:** This measure is accompanied by an image of a European energy label showing a class 'A' rating. The text discusses how energy efficiency is a crucial factor for consumers and how it can be used as a positive feature in advertising.

Abb. 6-2 ECODESIGN-Maßnahmen für die technischen Design-Parameter *energy consumption at usage stage*

Weiter werden noch folgende Maßnahmen angeführt:

- Prevent environmentally harmful abuse of product
- Minimize energy demand at use stage by choosing an adequate principle of function
- Make possible use of renewable energy resources at use stage
- Closed cycles for process materials needed at use stage

		product description										production transportation			use description				materials				end of life	
		Customer importance (relativ %)																						
		product weight	product volume	number of parts	surface design	physical lifetime	functionality	production technology (BAT)	packaging	overall transportation	usability	energy consumption at usage stage	amount of waste at usage stage	noise_vibrations	emissions at usage stage	maintenance and repair	materials used	labeling of materials and components	banned materials	biodegradable materials	rate of recycled material	time to disassembly	end of life	
		↓	↓	↓		↑	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓		↑	↓	↑	↑	↓	↑		
		kg	m ³			h			kg	km	kg	kg	dB		h			y/n		%	h			
EGO-TYP	SECURE-TYP	low environmental risk during use	4			1					3	1	3	3					1					
		easy to use	2	1	1			1			9		1											
		high durability	4			3	9											1	1					
		consume less energy during use stage	5									9												
		reduce packaging	2						9	3													1	
		easy to maintain and repair	1			3										1							3	
		easy to recycle	2			3			1		1							9	3	3		1		9
		possible to dispose at ease	3															1	1	1	1			
		less transportation	1	1	1						3													
		use energy causing low environmental impact	2						3				3											
		use materials causing low environmental impact	2							1								3			1	9		
		use less material	1	9						3		3		1				1						
		low emissions during manufacturing	1												1									
		easy to disassemble	1			3											9							3
		easy to reuse	1			1											1							3
Importance (absolut)		12	3	13	16	36	2	8	23	11	33	51	7	13	12	11	32	13	15	21	4	9	18	363
Importance (relativ %)		3	1	4	4	10	1	2	6	3	9	14	2	4	3	3	9	4	4	6	1	2	5	100

Abb. 6-3 Bsp. Wasserkocher: Beziehungsmatrix: mit Kundenanforderungsgewichtung aus Sicht des Basic-Typ

Vergleicht man nun die Ergebnisse des QFD-PILOT mit jenen des Assistent zum PILOT, können Ähnlichkeiten aufgezeigt werden. Zum Vergleich werden die Ergebnisse des *Life cycle thinking* orientierten Assistenten zum ECODESIGN-PILOT herangezogen (siehe Abb. 5-1). Für das definierte Nutzungsszenario und die Materialangaben samt Verwertung wird vom Assistenten ausgegeben, dass der Wasserkocher ein nutzungsintensives Produkt ist. Daher wurde als vorrangig zu verfolgende Verbesserungsstrategie Verbrauchsreduktion in der Nutzung vorgeschlagen [Attwenger 2002]. In dieser Strategie werden folgende ECODESIGN-Maßnahmen angeführt:

- Prevent environmentally harmful abuse of product
- Indicate consumption of product along use stage
- Minimize energy consumption at use stage by increasing efficiency of product
- Design product for minimum consumption of process materials
- Make possible use of environmentally sound process materials
- Minimize energy demand at use stage by choosing an adequate principle of function
- Make possible use of renewable energy resources at use stage
- Make possible use of process materials from renewable raw materials

Werden die vom Assistenten zum ECODESIGN-PILOT und diesem Tool ausgegebenen ECODESIGN-Maßnahmen verglichen, kann man feststellen, dass zwei Drittel davon übereinstimmen. Diese Übereinstimmung bestätigt, dass die vom PILOT ausgegebenen Verbesserungsstrategien sowohl aus umweltrelevanter Sicht, in Bezug auf *Life cycle thinking*, als auch aus umweltrelevanter Kundensicht geeignet sind. Diese Maßnahmen besitzen also ein hohes Potential aus der Umweltsicht generell und sind für die Erfüllung der Anforderungen des Basic-Typ sehr wichtig.

Außerdem werden vom QFD-PILOT folgende TRIZ-Prinzipien angeführt (siehe Abb. 6-4):

The screenshot shows the ECODESIGN QFDPILOT website interface. The header includes navigation links for MOTIVATION, ONLINE, PRODUCT LIFE, and QFD. The main content area is titled "energy consumption at usage stage" and lists four TRIZ principles, each with a red box containing "TRIZ INNOVATION" and a text description:

- Extraction**: Example 1: Using a tape recorder, reproduce a sound known to excite birds in order to scare them from the airport. (The sound is separated from the birds.) Example 2: Extract moisture by using blotting-paper.
- Prior action**: Example 1: Utility knife blade made with a groove allowing the dull part of the blade to be broken off to restore sharpness. Example 2: Rubber cement in a bottle is difficult to apply neatly and uniformly. Instead, it is formed into a tape so that the proper amount can be applied more easily.
- Periodic action**: Example 1: An impact wrench loosens corroded nuts using impulses rather than a continuous force. Example 2: A warning lamp flashes so that it is even more noticeable than if continuously lit. Example 3: A drilling machine uses impulses for easier drilling and lower energy consumption.
- Transformation of physical and chemical states of an object**: Example 1: Transport oxygen or nitrogen or petroleum gas as a liquid, instead of a gas, to reduce volume. Example 2: Raise the temperature above the Curie point to change a ferromagnetic substance to a paramagnetic substance. Example 3: Use hardened material (e.g. steel) for higher durability.

Abb. 6-4 TRIZ-Prinzipien für die technischen Design-Parameter *energy consumption at usage stage*

Wie in den Kapitel 3 und 4 erklärt, können die ECODESIGN-Maßnahmen und die TRIZ-Prinzipien zu Verbesserungen führen. Aus diesem Grund werden Verbesserungsansätze aus einer vom National Key Centre for Design, am Melbourne Institute of Technologie (RMIT) durchgeführten Studie herangezogen [RMIT 1996].

Auf Grund einer Kundenbefragung wurde festgestellt, dass die meisten Benutzer die Wassermenge am Gewicht des Wasserkochers abschätzen und dadurch oft unnötig viel Wasser aufgeköcht wird. Die Wassertemperatur kann dagegen nicht abgeschätzt werden, was dazu führen kann, dass das Gerät mehrmals eingeschaltet und somit unnötig viel Energie verschwendet wird.

Mit anschließender Ökobilanz werden folgende Verbesserungen am Wasserkocher, die sich hauptsächlich auf die Reduzierung des Energieverbrauches beziehen, vorgeschlagen.

- Verbesserung der Wasserstandsanzeige, um die zu kochende Wassermenge genau messen zu können.
- Isolierung der Kanne, um das Wasser länger warm zu halten.
- Integriertes Thermometer, um die Anzahl der Neuaufkochungen zu vermindern [RMIT 1996].

Vergleicht man nun die Ergebnisse des QFD-PILOT mit jenen der Studie, so können Ähnlichkeiten aufgezeigt werden. Von der ECODESIGN-Handlungsanweisung *Minimize energy consumption at use stage by increasing efficiency of product* kann die Verbesserungsmaßnahme der Isolierung abgeleitet werden. Der Vorschlag, eine Wasser- und Temperaturanzeige einzuführen, folgt direkt aus der Handlungsanweisung *Prevent environmentally harmful abuse of product*. Eine zusätzlicher Verbesserungsvorschlag, der sich durch *Minimize energy demand at use stage by choosing an adequate principle of function* ableiten lässt wäre, die Ansprechzeit der automatischen Stromabschaltung bei Erreichen der Siedetemperatur zu reduzieren [Attwenger 2002].

Eine weitere Verbesserung könnte von dem im TRIZ-Prinzip *Periodic Action* angeführten Beispiel abgeleitet werden:

Example 2: A warning lamp flashes so that it is even more noticeable than if continuously lit.

Es kann durch eine Leuchte leichter festgestellt werden, dass der Wasserkocher fertig und heiß ist, was wiederum in Richtung Temperaturanzeige geht.

Bei dem *zweiten Szenario* wird ein Kunde betrachtet, der neben den „Gebrauchsanforderungen“, das Recycling und die Entsorgung hoch gewichtet, da ihn Gesetze, wie z.B. das Recycling-Law in Japan oder das WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) in Europa, dazu verpflichten. Dieser Kunde lässt sich dem im

Kapitel 5.4.2 definierten *Secure*-Typ zuordnen. Die Beziehungsmatrix bleibt gleich, da sich nur die Kundenansicht ändert, nicht aber das Produkt. Der *Secure*-Typ legt bei seiner Gewichtung der umweltrelevanten Kundenanforderungen (siehe Kap. 5.4.2) mehr Wert auf eine leichte Entsorgung und Recyclierbarkeit. Die Gewichtung samt Beziehungsmatrix ist in Abbildung 6-5 dargestellt.

Als Ergebnis dieser Kundenansicht, wird im Vergleich zum anderen Typ, der Design-Parameter *material used* gemeinsam mit zwei weiteren Parametern *end of life* und *packaging* ausgegeben.

The screenshot shows the ECODESIGN QFD PILOT software interface. The top navigation bar includes 'MOTIVATION', 'ONLINE', 'PRODUCT LIFE', and 'QFD'. Below this, there are icons for '@', a triangle, a house, and a folder. The main content area is titled 'material used' and includes a breadcrumb trail: 'QFD ← QFD ← Design parameters ←'. A search icon is visible in the top right corner.

Use of materials with a view to their environmental performance

Material	Assessment
...	...
PE	+
PP	+
PS	+ -
PUR	-
...	...
...	...
Cast iron	+
Aluminium	-
Copper	- -
...	...

Different assessment methods evaluate materials by means of indicators, which facilitates a comparison of different materials with a view to their environmental performance. In most cases indicators will be calculated from life cycle analysis data (LCA), which can be used as a basis for the assessment of the environmental impact of materials. Of course, each of the methods used yields results only within its own bounds. Therefore, knowing these limits and the potential environmental impact not detected by a given method is essential for application in practice.

Avoid or reduce the use of toxic materials and components

The use of ecotoxic substances should be avoided where possible during the whole life cycle for environmental reasons as well as for reasons of health. Toxic substances may have serious effects even if used in small quantities (dioxine, PCB, PVC, ... and should therefore be avoided, in particular, when they are or could be contained in external parts or components. It is therefore important to avoid such substances during the whole life cycle of a product.

Abb. 6-5 ECODESIGN-Maßnahmen für die technischen Design-Parameter *material used*

Hier wieder ein Vergleich zu den Ergebnissen des konventionellen Ansatzes des Assistenten zum PILOT, wo neben der Hauptstrategie auch noch zwei Zusatzstrategien, *Reduktion des Verpackungsaufwandes* und *Wiederverwertung von Materialien*, ausgegeben werden [Attwenger 2002]. Die Maßnahmen hinter diesen Strategien sind offensichtlich sehr ähnlich den Inhalten der beiden technischen Design-Parametern *material used* und *packaging*. Es können auch in dieser Kundengewichtung Maßnahmen definiert werden, die für den *Secure*-Typ wichtig erscheinen und auch vom Standpunkt der Umweltbewertung aus für Verbesserungen herangezogen werden sollen. Beispielsweise macht die Produktverpackung 20% der Produktmasse aus und daher kann dieser Parameter zu erheblichen (Ressourcen-) Einsparungen und darüber hinaus zur Befriedigung des Kunden führen.

Voice of Customer	Design-Parameters	Customer importance (relativ %)	product description					production transportation		use description					materials				end of life					
			product weight	product volume	number of parts	surface design	physical lifetime	functionality	production technology (BAT)	packaging	overall transportation	usability	energy consumption at usage stage	amount of waste at usage stage	noise, vibrations	emissions at usage stage	maintenance and repair	materials used	labeling of materials and component	banned materials	biodegradable materials	rate of recycled material	time to disassembly	end of life
			↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑
Direction of improvement	Units	kg	m ³		h		kg	km		kW	kg	dB		h			y/n		%	h				
low environmental risk during use	4				1					3	1	3	3					1						
easy to use	2	1	1			1				9		1												
high durability	4				3	9											1	1						
consume less energy during use stage	4									9														
reduce packaging	4							9	3											1				
easy to maintain and repair	1				3										1						3			
easy to recycle	5				3				1	1							9	3	3		1	9		
possible to dispose at ease	5																1	1	1	1				
less transportation	1	1	1							3														
use energy causing low environmental impact	1						3				3													
use materials causing low environmental impact	1							1									3		1	9				
use less material	2	9						3		3		1					1							
low emissions during manufacturing	1												1											
easy to disassemble	1				3										9						3	1		
easy to reuse	1				1										1						3			
Importance (absolut)		21	3	22	16	36	2	8	43	20	36	39	8	13	12	11	59	24	25	14	9	9	46	476
Importance (relativ %)		4	1	5	3	8	0	2	9	4	8	8	2	3	3	2	12	5	5	3	2	2	10	100

Abb. 6-6 Bsp. Wasserkocher: Beziehungsmatrix: mit Kundenanforderungsgewichtung aus Sicht des Secure-Typ

6.2 Beispiel Lärmschutzwand (LSW)

Bei dieser Anwendung wird die umweltgerechte Gestaltung von Lärmschutzwänden untersucht. Grundsätzlich stehen drei Typen von Lärmschutzwänden, die sich durch ihre Hauptmaterialien unterscheiden, zur Auswahl: Holzbeton, Aluminium und Holz (genauere Beschreibung siehe Anhang).



Abb. 6-7 Lärmschutzwände (v.li. Beton, Aluminium und Holz)

Ausschlaggebend für eine Untersuchung der Lärmschutzwand ist ein Entwurf einer neuen ÖNORM pr EN 1794, die neben den akustischen Anforderungen, auch Umweltaforderungen betrachtet. Unter anderem sollen auch Langzeitwirkungstests durchgeführt werden. Um bei den Holz- Lärmschutzwänden eine Witterungsbeständigkeit und damit eine lange Lebensdauer zu erreichen, ist das Holz kesseldruckimprägniert. Aufgrund dieses sehr aufwendigen chemischen Verfahrens können die Lärmschutzwände nur mehr energetisch verwertet werden [Flesch 1998].

Der paarweise Vergleich (siehe Abb. 6-8) und damit die Gewichtung der Kundenanforderungen, wurde aus der Sicht des Aufstellers durchgeführt, da er, meist der Käufer und direkte Kunde des Herstellers, mit der neuen Gesetzgebung konfrontiert ist. Auch die sonstigen Umweltaforderungen, wie das Recycling und die Entsorgung, betreffen den Aufsteller. Dieser Kunde kann mit dem in dieser Arbeit definierten *Secure-Typ* verglichen werden. Als die für den Kunden wichtigsten Kundenanforderungen, weist das QFD-Tool *use less material*, *high durability* und *possible to dispose at ease* aus.

Weighting Voice of Customer

0.. less important
1.. equal important
2.. more important

	<u>low environmental risk during use</u>	<u>easy to use</u>	<u>high durability</u>	<u>consume less energy during use stage</u>	<u>reduce packaging</u>	<u>easy to maintain and repair</u>	<u>easy to recycle</u>	<u>possible to dispose at ease</u>	<u>less transportation</u>	<u>use energy causing low environmental impact</u>	<u>use materials causing low environmental impact</u>	<u>use less material</u>	<u>low emissions during manufacturing</u>	<u>easy to disassemble</u>	<u>easy to reuse</u>	
<u>low environmental risk during use</u>	•	0	2	0	0	2	2	2	1	0	2	2	1	2	0	
<u>easy to use</u>	2	•	2	0	0	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	
<u>high durability</u>	0	0	•	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	
<u>consume less energy during use stage</u>	2	2	2	•	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
<u>reduce packaging</u>	2	0	2	0	•	2	2	2	1	1	1	2	1	2	0	
<u>easy to maintain and repair</u>	0	0	1	0	0	•	1	2	0	0	0	2	1	1	0	
<u>easy to recycle</u>	1	0	2	0	0	1	•	2	0	0	0	2	1	1	1	
<u>possible to dispose at ease</u>	0	0	2	0	0	2	1	•	0	0	0	2	0	0	2	
<u>less transportation</u>	0	0	2	0	1	2	2	2	•	1	1	2	1	1	2	
<u>use energy causing low environmental impact</u>	2	0	2	0	1	2	2	2	1	•	2	2	1	2	2	
<u>use materials causing low environmental impact</u>	1	0	2	0	1	2	1	1	0	0	•	2	1	2	0	
<u>use less material</u>	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	•	0	0	0	
<u>low emissions during manufacturing</u>	1	0	2	0	1	2	2	2	1	1	2	2	•	1	1	
<u>easy to disassemble</u>	0	0	2	0	0	1	2	2	0	1	1	2	1	•	1	
<u>easy to reuse</u>	0	0	2	0	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2	•	
Importance	11	2	26	0	7	24	22	25	10	8	14	27	12	19	12	219
relativ in %	5	1	12	0	3	11	10	11	5	4	6	12	5	9	5	100

Most important customer need

use less material

Important customer need

high durability

possible to dispose at ease

Abb. 6-8 Beispiel LSW: Paarweiser Vergleich

Voice of Customer	Design-Parameters	Customer importance (relativ %)	produkt description					production transportation		use description					materials			end of life						
			product weight	product volume	number of parts	surface design	physical lifetime	functionality	production technology	packaging	overall transportation	usability	energy consumption at usage stage	amount of waste at usage stage	noise, vibrations	emissions at usage stage	maintenance and repair	materials used	labeling of materials and components	banned materials	biodegradable materials	rate of recycled material	time to disassembly	end of life
			↓	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↑
Direction of improvement	Units	kg	m ³		h			kg	km		kW	kg	dB		h			y/n		%	h			
low environmental risk during use	11												9	3				1						
easy to use	2	1	1			1				9														
high durability	26				1	9	1								3			3	3					
consume less energy during use	0										9													
reduce packaging	7							9	9															
easy to maintain and repair	24			1	3	3	1								9							3		
easy to recycle	22	1	1	1	1											9	1	3		1				
possible to dispose at ease	25				1													9	3				9	
less transportation	10	1	1						9															
use energy causing low environmental impact	8						9				9													
use materials causing low environmental impact	14						1	3								9		1	9				1	
use less material	27	3						1				1				3		1	3	3				
low emissions during manufacturing	12						3						1											
easy to disassemble	19	1		1											3							9		
easy to reuse	12			1											1							3		
Importance (absolut)		134	34	77	145	306	2	172	132	153	18	72	27	111	33	363	405	22	421	360	103	279	239	3608
Importance (relativ %)		4	1	2	4	8	0	5	4	4	0	2	1	3	1	10	11	1	12	10	3	8	7	100

Abb. 6-9 Beispiel LSW: Beziehungsmatrix

In Abbildung 6-9 ist die Beziehungsmatrix dargestellt die an das Beispiel Lärmschutzwand angeglichen wurde. Als Ergebnis des Arbeitsblattes *Relationship matrix* sind folgende Produkteigenschaften ausgewiesen: *banned materials*, *material used* und *maintanance and repair*. Im QFD-PILOT sind dem technischen Design-Parameter *banned materials* folgende ECODESIGN-Maßnahmen (siehe Abb. 6-10) und TRIZ-Prinzipien (siehe Abb.6-11) zugeordnet.

The screenshot shows the ECODESIGN QFD PILOT software interface. The top navigation bar includes 'MOTIVATION', 'ONLINE', 'PRODUCT LIFE', and 'QFD'. Below this, there are icons for '@', a triangle, a house, and a document. The main header area is yellow and contains the text 'banned materials' and 'QFD ← QFD ← Design parameters ←'. A circular icon with a gear is also present.

The main content area is divided into two sections:

Use of materials with a view to their environmental performance

Material	Assessment
...	...
PE	+
PP	+
PS	+ -
PUR	-
...	...
...	...
Cast iron	+
Aluminium	-
Copper	- -
...	...

Different assessment methods evaluate materials by means of indicators, which facilitates a comparison of different materials with a view to their environmental performance. In most cases indicators will be calculated from life cycle analysis data (LCA), which can be used as a basis for the assessment of the environmental impact of materials. Of course, each of the methods used yields results only within its own bounds. Therefore, knowing these limits and the potential environmental impact not detected by a given method is essential for application in practice.

Avoid or reduce the use of toxic materials and components

The use of ecotoxic substances should be avoided where possible during the whole life cycle for environmental reasons as well as for reasons of health. Toxic substances may have serious effects even if used in small quantities (dioxine, PCB, PVC, ... and should therefore be avoided, in particular, when they are or could be contained in external parts or components. It is therefore important to avoid such substances during the whole life cycle of a product.



Abb. 6-10 ECODESIGN-Maßnahmen für die technischen Design-Parameter *banned materials*

Weiters werden noch angeführt:

- Ensure simple extraction of harmful and valuable substances.
- Make possible extraction of process materials and unavoidable harmful substances.
- Take into account end-user's opportunities for disposal and provide for instructions for disposal.

Aus den Maßnahmen folgt also, dass man Werkstoffe mit einer guten Umweltbewertung einsetzen soll, dass eine Entsorgungsmöglichkeit beim Endverbraucher vorhanden sein soll usw.

ECODESIGN MOTIVATION | ONLINE | PRODUCT LIFE | QFD
QFDPILOT @ ▲ □ ▢ LEARN APPLY

banned materials QFD ← QFD ← Design parameters ← 

Segmentation

TRIZ INNOVATION Example 1: Divide vending machines (e.g. for tickets or beverages) into mechanical and electronically parts. When refurbishing the mechanical parts can be reused and only the electronically parts must be renewed.

Local quality

TRIZ INNOVATION Example 1: To combat dust in coal mines, a fine mist of water in a conical form is applied to working parts of the drilling and loading machinery. The smaller the droplets, the greater an effect in combating dust, but fine mist binds the work of the drill. The solution is to develop a layer of coarse mist around the cone of fine mist. Example 2: Make a pencil and an eraser in one unit. Example 3: Yoghurt cup with thin inner plastic hull for sealing and outer paper hull for stability.

Convert harm into benefit

TRIZ INNOVATION Example 1: Sand or gravel freezes solid when transported through cold climates. Over freezing (using liquid nitrogen) embrittles the ice, which permits pouring. Example 2: When using high- frequency current to heat metal, only the outer layer is heated. This negative effect is now used for surface heat treating. Example 3: Use waste heat to generate electric power. Example 4: Recycle waste (scrap) material from one process as raw materials for another.

Transformation of physical and chemical states of an object

TRIZ INNOVATION Example 1: Transport oxygen or nitrogen or petroleum gas as a liquid, instead of a gas, to reduce volume. Example 2: Raise the temperature above the Curie point to change a ferromagnetic substance to a paramagnetic substance. Example 3: Use hardened material (e.g. steel) for higher durability.

Composite materials

TRIZ INNOVATION Example 1: Aircraft wings are made of composites of plastics and carbon fibers for high strength and low weight. Example 2: Fiberglass surfboards are lighter and more controllable and easier to form into a variety of shapes than wooden ones.

Abb. 6-11 TRIZ-Prinzipien für die technischen Design-Parameter *banned materials*

Darüber hinaus kann aus den TRIZ-Prinzipien, z.B. aus dem 35. Prinzip „Eigenschaftsänderung“, das „WIE“ setze ich die Maßnahmen um, abgeleitet werden. So kann alternativ zu kesseldruckimprägniertem Holz, Thermoholz eingesetzt werden. Dieses wird in einem Hochtemperatur-Verfahren hergestellt, das ohne Zuhilfenahme von chemischen Substanzen erfolgt [Mitteramskogler 2003].

In den beiden Benchmarking (siehe Abb.6-12 und 6-13) wird die Erfüllung der umweltrelevanten Kundenanforderungen bzw. der technischen Design-Parameter, bei Unterscheidung zwischen einer Lärmschutzwand aus Holz, Alu und Holzbeton, dargestellt.

Die Beton-Lärmschutzwand wird sowohl aus Sicht des Marktes als auch aufgrund der technischen Reife des Produktes als die beste Lösung ausgegeben. Eine lange Haltbarkeit (über 50 Jahre) und eine leichte Wiederverwertbarkeit (kann zu 100% im Straßenbau verwendet werden) sind hier als Gründe anzuführen.

Benchmarking Voice of Customer

5.. very good
1.. very bad
0.. not fulfilled

	low environmental risk during use	easy to use	high durability	consume less energy during use stage	reduce packaging	easy to maintain and repair	easy to recycle	possible to dispose at ease	less transportation	use energy causing low environmental impact	use materials causing low environmental impact	use less material	low emissions during manufacturing	easy to disassemble	easy to reuse	Points
Importance	11	2	26	0	7	24	22	25	10	8	14	27	12	19	12	
Beton	3	0	4	0	0	0	5	4	1	3	3	2	3	1	0	532
Aluminium	2	0	3	0	0	2	4	4	3	2	1	2	2	0	1	486
Holz	4	0	4	0	0	1	0	4	3	4	3	4	5	0	1	493

from the customer point of view
Beton is the best choice

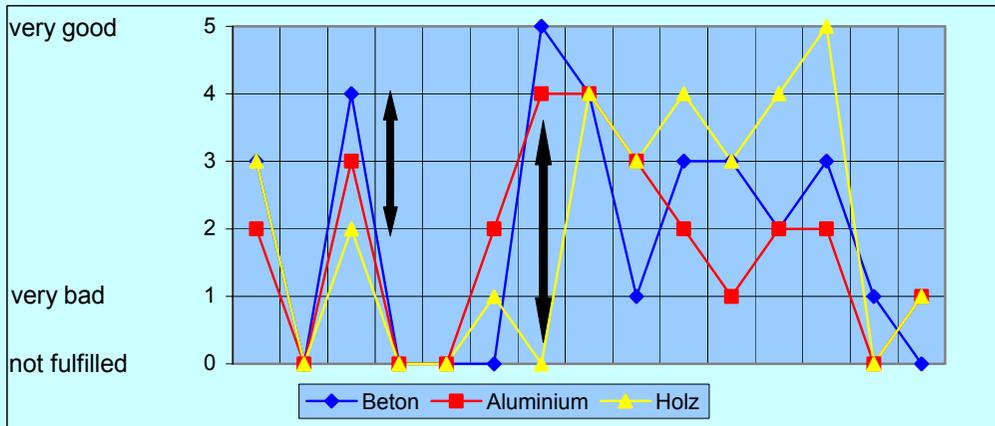


Abb. 6-12 Beispiel Lärmschutzwand: Benchmarking Voice of Customer

Benchmarking Design-Parameter

5.. very good
1.. very bad
0.. not fulfilled

	product weight	product volume	number of parts	surface design	physical lifetime	functionality	production technology	packaging	overall transportation	usability	energy consumption at usage stage	amount of waste at usage stage	noise, vibrations	emissions at usage stage	maintenance and repair	materials used	labeling of materials and component	banned materials	biodegradable materials	rate of recycled material	time to disassembly	end of life	Summe
Importance	134	34	77	145	306	2	172	132	153	18	72	27	111	33	363	405	22	421	360	103	279	239	
Beton	1	2	3	2	4	4	3	0	1	2	0	5	3	0	2	3	0	4	0	3	1	4	8297
Aluminium	3	4	3	2	3	3	2	0	3	3	0	5	3	0	3	2	0	3	0	3	0	2	7257
Holz	4	3	2	1	2	2	4	0	3	3	0	0	4	0	2	4	0	2	0	0	0	5	8081

Design parameters are performed best in **Beton**

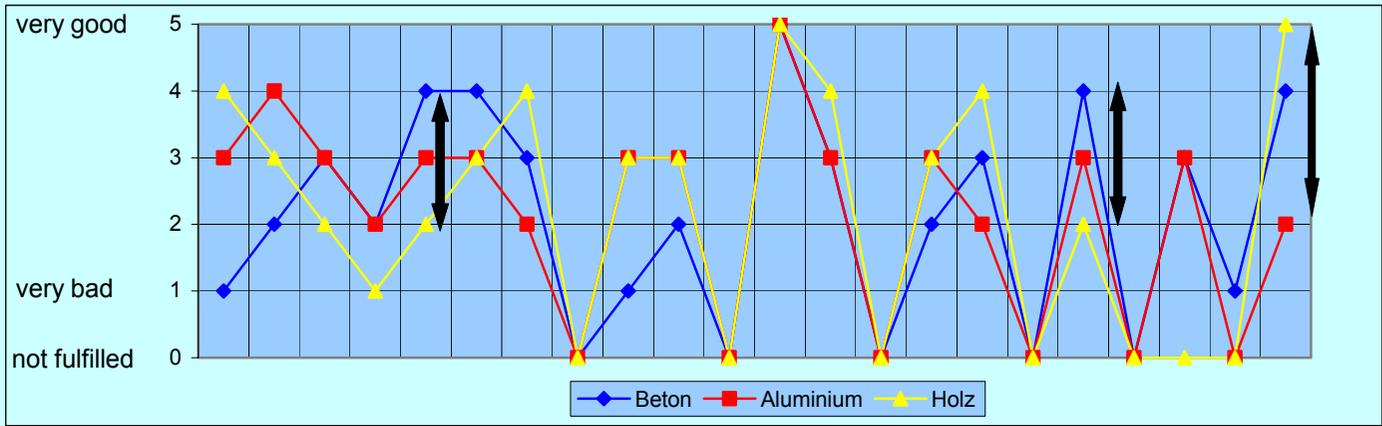


Abb. 6-13 Beispiel Lärmschutzwand: Benchmarking Design-Parameter

In den Diagrammen in Abb. 6-12 (siehe *easy to recycle*) und Abb. 6-13 (siehe *end of life, banned materials*) wird aufgezeigt, dass die Holz-Lärmschutzwand, im Vergleich zu den Konkurrenzprodukten, schlecht zu recyceln ist. Der Grund liegt, wie schon erwähnt, im kesseldruckimprägnierten Holz, das nicht wiederverwendet werden kann. Der QFD-PILOT führt zum Parameter *end of life* u.a. folgende ECODESIGN-Maßnahmen an:

The screenshot shows the ECODESIGN QFDPILOT software interface. The top navigation bar includes 'MOTIVATION', 'ONLINE', 'PRODUCT LIFE', and 'QFD'. Below this, there are icons for '@', a triangle, a house, and a document. The main content area is titled 'end of life' and 'QFD ← QFD ← Design parameters ←'. It features two sections with illustrations and text:

- Make possible separation of materials for recycling:** Illustration shows two grey rectangular components with red and green inserts. Text: "Recycling of materials requires the use of uniform or at least recyclable materials. If the product contains incompatible materials these should be separable. For the purpose of material recycling separation need not necessarily be nondestructive, predetermined braking points, too, are an appropriate solution. Design should ensure easy separation of different materials."
- Ensure simple extraction of harmful and valuable substances:** Illustration shows two cylindrical components, one red and one green, with red and green caps. Text: "In many products the use of harmful or valuable substances is unavoidable. These harmful substances (which would impair recycling) or valuable substances (which retain their high value only when treated separately) should be easily identifiable to ensure that they are extracted and recycled. Lacking or incorrect labeling or cumbersome disassembly counteracts this objective."

Abb. 6-14 Beispiel Lärmschutzwand: ECODESIGN-Maßnahmen zum technischen Design-Parameter *end of life*

Besteht, wie bei den Holz-Lärmschutzwänden, das Produkt aus unverträglichen Werkstoffen, sollte wenigstens deren Trennung möglich und deren leichte Entnahme möglich sein, um eine einfache Wiederverwertung der restlichen Materialien zu gewährleisten.

Als Ein möglicher Lösungsansatz wäre, Lärmschutzwände aus Thermoholz einzusetzen [Mitteramskogler 2003]. Dies hätte eine viel bessere Bewertung von Holz für den Bau von Lärmschutzwänden zu Folge, da die technischen Parameter *material used* und *banned material* besser realisiert und auch die Kundenanforderungen *easy to reuse* und *use of material causing low environmentally impact* verbessert würden.

Zusätzlich können die ECODESIGN-Maßnahmen und TRIZ-Prinzipien des technischen Design-Parameters *physical lifetime* herangezogen werden, um die Lebensdauer der Holz-Lärmschutzwand auf das Niveau der anderen zu heben. Der im QFD-PILOT angeführten ECODESIGN-Maßnahme *Ensure corrosion resistance*, kann z.B. entnommen werden, dass korrosionsbeständige Verbindungsarten zu empfehlen sind

7 Ergebnisdiskussion

Der ECODESIGN-QFD-PILOT ist ein Tool, das der Auffindung von Verbesserungsvorschlägen für ein Produkt dient. Die QFD-Methode erleichtert dabei, im Hinblick auf umweltgerechte Produktgestaltung, ausgehend von den Kundenanforderungen die Verbesserungsfindung erheblich. Die Randbedingungen für die Entwicklung dieses Tools waren bereits gegeben, einerseits durch den Pool der ECODESIGN-PILOT-Maßnahmen und andererseits durch die 40 TRIZ-Prinzipien. Es mussten sowohl umweltrelevante Kundenanforderungen als auch technische Design-Parameter definiert werden, um auf die beiden Pools zugreifen zu können. Von den umweltrelevanten Kundenanforderungen konnten nur jene berücksichtigt werden, die einen Bezug zu ECODESIGN und zum Kunden (Anwender, Interessensvertretung, Gesetzgebung, etc.) haben. Hingegen konnten bei den technischen Design-Parametern nur jene formuliert werden, die zu ECODESIGN und zu den späteren Anwender (Ingenieure und Produktentwickler) im Beziehung stehen.

Dieser kundenorientierte Ansatz des ECODESIGN-QFD-PILOT lässt sich mit dem konventionellen *Life Cycle Thinking* Ansatz des ECODESIGN-PILOT für umweltrelevante Produktverbesserungen vergleichen. Beispielsweise, wird ein Produkt vom Assistenten zum PILOT als nutzungsintensiv ausgegeben, endet dieser klassische Ansatz in ECODESIGN-Maßnahmen, um den Energieverbrauch während der Nutzung zu minimieren. Verlangt jedoch die Gesetzgebung andere Anforderungen, wie z.B. vom Produkt (z.B. Recyklatrate eines Produktes) kann dies mit dem QFD-Tool, nicht jedoch mit dem ECODESIGN-PILOT, in Betracht gezogen werden. Bei diesem Tool geht man von verschiedenen Kundentypen ausgeht und systematisch nach kundenorientierten umweltrelevanten Verbesserungsvorschlägen mit dem Ziel ein erfolgreiches Produkt zu entwickeln.

Da mit diesem Tool jedoch nicht festgestellt werden kann, in welchen Bereichen umweltrelevante Belastungen auftreten können, ist es daher sinnvoll die Anwendung des ECODESIGN-QFD-PILOT mit einem *Life cycle thinking* Ansatz zu kombinieren. Dadurch wird einerseits aus der Sicht von ECODESIGN ausgewiesen, welche Verbesserungen der Kunde möchte und andererseits zu welchen Zeitpunkten während des gesamten Produktlebenszyklus die Umweltbelastungen am größten sind. Weiters wird aufgezeigt, ob

die vom Kunden erwarteten Verbesserungen aus Umweltsicht überhaupt relevant sind. Anders als beim PILOT kann hier zwischen verschiedenen Produkten verglichen und daraus Verbesserungen abgeleitet werden.

In naher Zukunft soll das QFD-Tool, das derzeit als Excel-Programm vorliegt, für die Nutzung im Internet aufbereitet und als zusätzliche Eingang in den ECODESIGN-PILOT integriert werden. Bei Internetanwendungen ist es wichtig, dass diese rasch und ohne großen Aufwand ausgefüllt werden können, weil sie sonst nicht genutzt werden. Die Vorauswahl spezifischer Felder ist daher auch für die Web-Version von Bedeutung, da Beziehungen mit hoher Wahrscheinlichkeit schnell erkannt werden und so die Matrix in angemessener Zeit ausgefüllt werden kann.

Eine Weiterentwicklung dieses Tools findet insofern statt, indem am Institut für Konstruktionslehre und Fördertechnik der TU-Wien, zu den TRIZ-Prinzipien weitere umweltrelevante Verbesserungsvorschläge zugefügt werden. Weiteres ist es denkbar, dieses Tool in der Vorlesungsübung Produktentwicklung, Innovation, ECO-Design anzuwenden, da es die Möglichkeit bietet, konkret an einem Beispiel, die Produktentwicklungsmethoden QFD, TRIZ und den umweltorientierten ECODESIGN-PILOT und deren Zusammenhänge zu erklären.

Literaturverzeichnis

Akao 1992

Akao, Y., QFD – Quality Function Deployment, Wie die Japaner Kundenwünsche in Qualitätsprodukte umsetzen, Verlag moderne Industrie, Landsberg, 1992

Altschuller 2001

Altschuller, G., 40 Principles, TRIZ Keys to technical Innovation, Technical Innovation Center, Worchester, 2001

Attwenger 2002

Attwenger, R., Der Assistent zum ECODESIGN-PILOT, Entwicklung eines Software-Tools für die zielgerechte Empfehlung von ECODESIGN Strategien zur Produktverbesserung, Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Institut für Konstruktionslehre und Fördertechnik, 2002
(04/2003) <http://www.ecodesign.at/assistent>

Behrendt 1999

Behrendt, S., Pfintzer, R., Kreibich, R., Wettbewerbsvorteile durch ökologische Dienstleistungen, Umsetzung in der Unternehmenspraxis, Verlag Springer, Berlin, 1999

Betz, Vogl 1996

Betz, G., Vogl, H., Das umweltgerechte Produkt, Praktischer Leitfaden für das umweltbewusste Entwickeln, Gestalten und Fertigen, Luchterhand Verlag, Berlin, 1996

Birkhofer 1999

Birkhofer, H., Produktentwicklung, Vorlesung, TH Darmstadt, Institut für Maschinenelemente und Konstruktionslehre, 1999

Brunner, Wagner 1999

Brunner, F., Wagner, W., Taschenbuch Qualitätsmanagement, Der praxisorientierte leitfaden für Ingenieure und Techniker, 2.Auflage, Hanser Verlag, München, 1999, ISBN 3-446-21118-7

Bürgerwelle 2003

(04/2003) <http://www.buergerwelle.de>

Liu 2001

Liu, C., Chen, J., Development of Product Green Innovation Design Method, IEEE, 2001

Ebay 2003

(04/2003) <http://www.ebay.de>

ECODESIGN 2001

ECODESIGN PILOT, Produkt-Innovations-, Lern- und Optimierungs-Tool, Technische Universität Wien, Institut für Konstruktionslehre und Fördertechnik, 2001, (04/2003) <http://www.ecodesign.at/pilot>

Flesch 1998

Flesch, R., Umweltgerechte Materialien für Lärmschutzwände, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Straßenforschung, Heft 478, Verlag Manz, 1998

Franzmann, Nottebaum 1998

Franzmann, T., Nottebaum, T., Kundenorientierte Entwicklung- Ein Praxisbeispiel aus der Automobilindustrie, VDI Berichte 1413, QFD Produkte und Dienstleistungen, Marktgerecht gestalten, VDI Verlag, Düsseldorf, 1998

Fujixerox 2003

(04/2003) <http://www.fujixerox.co.jp>

Franke 1987

Franke, W., Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse in der industriellen Praxis, Verlag moderne Industrie, Augsburg, 1987

Geschka, Schwarz-Geschka 1998

Geschka, H., Schwarz-Geschka, M., Erfassung von Kundenanforderungen und –wünschen in Workshops, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf (D), 1998

Gottwald, Dürr 1994

Gottwald, F., Dürr, H., Umweltverträgliches Wirtschaften, Denkanstöße und Strategien für eine ökologisch nachhaltige Zukunftsgestaltung, agenda Verlag, Münster, 1995

Grösel, Strasser 2002

Grösel, B., Strasser, C., Höhere Konstruktionslehre, Produktentwicklung, Vorlesungsskriptum SS2002, Institut für Konstruktionslehre und Fördertechnik, TU Wien

Herb et.al. 2000

Herb, R., Herb, T., Khonhauser, V., TRIZ, Der systematische Weg zur Innovation Verlag moderne Industrie AG&Co. KG, Augsburg, 2000

Klein 1999

Klein, Bernd.: QFD- Quality Function Deployment, Expert Verlag, Renningen-Malmsheim (D), 1999

Masui 2002

Masui, K., Quality Funktion Deployment for Environment, Environmentally Conscious Support Tool in Early Stage of product Development, ECP Newsletter No.20, Japan, (12/2002)

Matyas 1999

Matyas, K., Taschenbuch Instandhaltungslogistik, Qualität und Produktivität steigern, Praxisreihe Qualitätswissen, Hanser Verlag, Wien, 1999

Mellis 2001

Mellis, W., Übersetzung von Kundenanforderungen in Produktmerkmale mit Quality Function Deployment (QFD), Vorlesungsskriptum 2001, Universität Köln, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, Systementwicklung, www.systementwicklung.uni-koeln.de/lehre/spezielle_aspekte/dok-ss01/3-qfd-1f.pdf

Mellis 2003

(04/2003) http://www.systementwicklung.uni-koeln.de/lehre/spezielle_aspekte/dok-ss01/scvm-skript-1f.pdf

Miele 2003

(04/2003) <http://www.miele.at>

Mitteramskogler 2003

(04/2003) <http://www.thermoholz.at>

Moll, Zander 2000

Moll, P., Zander, U., Landkarte, Nachhaltiges Wirtschaften in Nordrhein-Westfalen, Endbericht Teil 1, ecom.de, Wuppertal (D), www.efanrw.de/efared/medien/EFA-Nachhaltigkeitsstudie-Landkarte-1.pdf, 15.12.2000

Obereder 2002

Obereder, C., Das Öko-House-of-Quality als integrativer Ansatz zur Berücksichtigung von Kunden- und Umwelanforderungen bei der Entwicklung umwelt- und marktgerechter Produkte, Kapitel 3.3.12, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2002

Osram 2003

(04/2003) <http://www.osram.de>

Öhrener 2000

Öhrener, A., Untersuchung von Fallstudien im Bereich Öko-Design von Elektro- und Elektronikprodukten, Diplomarbeit, TU Wien, Institut für Handhabungsgeräte und Robotertechnik, 2000

Pahl, Beitz 1993

Pahl, G., Beitz, W., Konstruktionslehre, Methoden und Anwendung, Springer Verlag, Berlin, 1993

Pamminger 2002

Pamminger, R., ECODESIGN SKI PILOT, Projektarbeit, TU Wien, Institut für Konstruktionslehre und Fördertechnik, 2002

Quella 1998

Quella, F., Umweltgerechte Produktgestaltung: Planung, Werkzeuge, Umsetzung, Beispiele, München, Publicis-MCD-Verlag, 1998

RMIT 1996

Hot Water Green Features, Axis Kettle by MEC-Kambrook, Royal Melbourne Institute of Technologie, National KeyCentre for Design, 1996
(04/2003) <http://www.pre.nl/eco-indicator99/>

Rohner 2003

Rohner Textil, Brochure Climatex® LifeguardFR™ (http://www.climatex.com/de/markt/pdfs/Broschuere_Climatex.pdf, 29.03.2003

Saatweber 1998

Saatweber, Jutta.: Absolute Kundenorientierung durch Quality Function Deployment, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf (D), 1998

Schöler 2001

Schöler, H., QFD Quality Function Deployment Kundenorientierte Produkt- und Prozessplanung

Schmidt-Bleek et.al. 1999

Schmidt-Bleek, F., Waginger, H., Mooss, H., Ökodesign, Vom Produkt zur Dienstleistungserfüllungsmaschine, Wirtschaftsförderungsinstitut Österreich, 1999

Schneider 2000

Schneider, H., ECODESIGN am Beispiel Ski, Ausarbeitung von Vorschlägen zur umweltgerechten Produktgestaltung, Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Institut für Konstruktionslehre und Fördertechnik, 2000

Steelcase 2003

(04/2003) <http://www.steelcase.com>

Strasser, Wimmer 2003

Strasser, C., Wimmer, W., ECO-Innovation, Combining ECODESIGN and TRIZ for environmentally sound product design, Pre-version, ICED, Stockholm, 08/2003

Teufelsberger, Conrad 1998

Teufelsberger, H., Conrad, A., Kreatives Entwickeln und innovatives Problemlösen mit TRIZ/TIPS, Publicis MCD Verlag, München, 1998

Terninko 1996

Terninko, J., Step by Step QFD: Customer Driven Product Design, A Book to Learn Quality Function Deployment (QFD), ISN 1-882382-10, 1996

Türck 1991

Türck, R., Das ökologische Produkt: Eigenschaften, Erfassung und wettbewerbsstrategische Umsetzung ökologischer Produkte, Berlin, Verlag Wissenschaft und Praxis, 1991

VDI 2243

Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte: Grundlagen und Gestaltungsregeln, VDI-Richtlinie, Beuth Verlag, Berlin

Wackernagel, Rees 1997

Wackernagel, M., Rees, W., Unser ökologische Fußabdruck, Wie der Mensch Einfluß auf die Umwelt nimmt, Birkhäuser Verlag, Basel, 1997

Weizsäcker et.al. 1996

Weizsäcker, E., Lovins, A., Lovins, H., Faktor Vier, Doppelter Wohlstand-halbiertes Naturverbrauch, Der neue Bereich an den Club of Rome, Droemer Knauer Verlag, 1996

Wiese 2000

Wiese, B., The Market Acceptance of Environmentally Sound Products: Is Ecology a Non-Seller?, International Summer Academy on Technical Studies, Deutschlandsberg, 2000, http://www.ifz.tu-graz.ac.at/sumacad/sa00_wiese.pdf

Wimmer 1999

Wimmer, W., ECODESIGN Checklisten Methode, Entwicklung eines Hilfsmittels zur Reduktion des Umwelt- und Ressourcenverbrauch durch vorsorgende Maßnahmen in der Produktgestaltung, Dissertation, Technische Universität Wien, 1999

Wimmer, Züst 2001

Wimmer, W., Züst, R., ECODESIGN PILOT, Produkt-Innovations-, Lern- und Optimierungs-Tool für umweltgerechte Produktgestaltung mit deutsch/englischer CD-ROM, Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 2001

Wimmer 2001

Wimmer, W., Methode zur betrieblichen Umsetzung von ECODESIGN, Der ECODESIGN PILOT, Endbericht, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2001

Wimmer 2002

Wimmer, W., Der ECODESIGN PILOT, Produkt- Innovations-, Lern- und Optimierungs-Tool für umweltgerechte Produktgestaltung, Umweltgerechte Produktentwicklung, Kapitel 3.2.5, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2002

Wimmer, Strasser, Pamminer 2003

Wimmer, W., Strasser, C., Pamminer, R., Integrating environmental customer demands in product development – Combining Quality Function Deployment (QFD) and the ECODESIGN Product-Investigation-, Learning- and Optimization-Tool (PILOT), CIRP seminar on life cycle thinking, Copenhagen, Denmark, 2003

8 Anhänge

Anhang A: 40 TRIZ Prinzipien

- 1 **Segmentierung**
(Objekt zerlegen, unterteile , bzw. zerlegbar , unterteilbar machen)
z.B.: modularer Aufbau, faltbare Meßplatte, kuppelbare Schläuche
- 2 **Abtrennung**
(Abtrennen des störenden Teiles, Entfernen störender Elemente aus dem System)
- 3 **Örtliche Qualität (Charakteristik)**
(Jede Komponente eines Systems unter für sie individuell optimalen Bedingungen einsetzen, verschiedene Teile eines Obj./Systems sollen verschiedene Funktionen ausführen) z.B.: Hydrauliktank in beheiztem Raum, Bleistift und Radiergummi in einer Einheit
- 4 **Asymmetrie**
(Ersetze Symmetrie durch Asymmetrie oder erhöhe den Grad der Assym.)
z.B.: Gummidecklage auf Förderband auf Lasttragseite dicker als auf Tragrollenseite, un rundes Kettenrad am Fahrrad
- 5 **Vereinen**
(gleichartige oder zusammenarbeitende Objekte räumlich oder zeitlich koppeln)
z.B.: Kupplungsscheibe als Bremsscheibe nutzen
- 6 **Multifunktionalität, Universalität**
(System so gestalten, dass es mehrere Funktionen erfüllen kann)
z.B.: Klappsofa als Sitzbank und Bett
- 7 **Verschachteln**
(Objekt passt in oder durch den Hohlraum eines anderen)
z.B.: Teleskopantenne, stapelbare Stühle
- 8 **Ausgleichskraft, Gegengewicht**
(Gewichtsreduktion durch Aerodynamik, mitbewegtes Gegengewicht)
z.B.: Tragflügelboot, Hubpodium im Theater
- 9 **vorgezogene Gegenaktion (Gegenmaßnahme)**
(Durchführen einer Gegenmaßnahme vor Ausführen einer Aktion)
z.B.: vorgespannte Betonträger,Kanonenrohre
- 10 **vorgezogene Aktion (Präventivmaßnahme)**
(Ausführen einer notwendigen Aktion teilweise oder ganz im voraus)
z.B.: Aufbringen des Leimes vor dem Zusammenführen der Klebeteile schon während eines Förderprozesses
- 11 **Vorbeugemaßnahme**
(Maßnahmen bereits vorher ergreifen, um etwaige Störungen zu vermeiden)
z.B.: Magnetisch codierte Etiketten in Kaufhäusern, die an der Kassa entfernt oder entmagnetisiert werden, Splittersuchgerät vor Rundholzsägeanlagen
- 12 **Äquipotential**
(Bedingungen so verändern, dass keine Potentialänderung erforderlich ist)
z.B.: Schweißvorgang ohne Vorwärmen möglich, nur geringes Anheben/ Absenken oder kein Anheben/ Absenken eines Objektes erforderlich

- 13 **Umkehrung**
(Unbewegliches Objekt beweglich machen, Reihenfolge umkehren)
z.B.: Statt Werkzeug zum Werkstück, Werkstück zum Werkzeug bewegen
- 14 **Krümmung**
(Flache Oberfläche durch gekrümmte Oberfläche ersetzen, Kugeln statt Rollen, lineare Bewegung durch rotierende ersetzen)
z.B.: Wälz- statt Gleitlager, Gelenkkoppel statt Schiebekulisse, Zentrifugalabscheider statt Schwerkraftabscheider
- 15 **Dynamisierung**
(System so gestalten, dass es sich verschiedene Betriebszustände anpassen kann, dass sich verschiedene Elemente optimal anordnen können)
z.B.: Neigbarer Hubmast bei Gabelstapler, Gelenklager, Pendelrollenlager
- 16 **partielle oder überschüssige Wirkung**
(erfülle eine Funktion weniger oder mehr als 100 %, wenn es nicht sinnvoll möglich ist das Ziel exakt zu erreichen)
z.B.: Behälter überfüllen, nachladen...
- 17 **Dimensionserweiterung; höhere Dimension**
(Objekt in mehreren Ebenen anordnen, eindimensionale Bewegung durch zweidimensionale ersetzen)
z.B.: Lagerung in Regalen, statt nur am Boden, Laufkatze eines Containerkranes mit Drehwerk versehen, Vierwegepaletten, statt Zweiwegepaletten
- 18 **Mechanische Schwingungen**
(Objekt in Schwingung versetzen, Resonanzwirkung nutzen)
z.B.: Vibration der Sandformen in Gießerei, Resonanz-Schwingförderer, Vibrationswalzen
- 19 **periodische Wirkungen**
(kontinuierlichen Ablauf durch periodischen ersetzen, Pausen durch anderen Aktionen nutzen)
z.B.: Bohrhammer, statt kontinuierliche Anpresskraft, Blinklicht statt Dauerlicht, Pausen zum Kühlen nutzen
- 20 **Kontinuität**
(*Unterbrechungen, Leerläufe vermeiden*)
z.B.: Universalwerkzeug statt Werkzeugwechsel (Spezieller Formfräser
- 21 **Überspringen**
(*Schädliche oder gefährliche Aktionen mit sehr hoher Geschwindigkeit ausführen*) z.B.: rasches Anwärmen des KFZ- Motors durch Drosseln des Umlaufes der Kühlflüssigkeit, durch besonderes schnell arbeitendes Schneidwerkzeug Verformung des Objektes vermeiden
- 22 **Schädliches in Nützlichem wandeln**
(durch Kombination mit anderen Faktoren, ursprünglich Schädliches positiv nutzen, Schädliche Wirkung auf ein Objekt daraufhin untersuchen, ob nicht gerade diese Wirkung nutzbringend eingesetzt werden kann, eventuell auch durch Steigerung der ursprünglich schädlichen Wirkung)
z.B.: Sand und Schotter frieren zusammen, wenn sie bei niedrigen Temperaturen transportiert werden. Schockgefrieren mit flüssigem Stickstoff macht das Eis spröde, sodass Schütten wieder möglich ist.
- 23 **Rückkopplung**
(Rückkoppelung einführen oder vorhandene Rückkoppelung ändern)
z.B.: Zusatzpumpe zur Aufrechterhaltung des Wasserdruckes

- 24 **Verbindungsglied, Vermittler**
(Nutzung eines eventuell leicht zu entfernenden Zwischenobjektes zur Ausführung oder Auslösung einer Aktion)
z.B.: Ansteckkurbel
- 25 **Selbstversorgung**
(Das System soll Hilfs-, Bedien-, Reparaturfunktionen selbst ausführen, das System soll Verluste - Material, Energie – nutzen)
z.B.: Säge- und Hobelspäne thermisch nutzen, Abwärme des Verbrennungsmotors zur Heizung nutzen
- 26 **Kopieren**
(Benütze statt des Objektes eine Kopie oder Abbildung des Objektes – eventuell in verkleinertem oder vergrößertem Maßstab, die Abbildung kann auch für den Menschen nicht direkt Wahrnehmbares erfassen.)
z.B.: Fingerabdruck und nicht Finger unter der Lupe betrachten
- 27 **Billige Kurzlebigkeit**
(Ersetzen eines teuren Systems durch billige Teile mit geringerer Lebensdauer)
z.B.: billigen Verschleißteil statt teuren Teil mit sehr langer Lebensdauer
- 28 **Mechanisches System ersetzen**
(Ersetzen durch ein optischer, akustisches, pneumatisches System..., zusätzlich magnetische Felder einsetzen)
z.B.: pneumatische Leiste an Aufzugtüre
- 29 **Pneumatik und Hydraulik**
(Feste schwere Teile durch gasförmige oder flüssige Teile ersetzen)
z.B.: Luftkissen
- 30 **Flexible Hüllen und Schichten**
(Konstruktionen durch flexible Hüllen oder dünne Filme ersetzen, Objekt durch dünne Filme oder Membranen von Umwelt trennen)
z.B.: Pneumatikzylinder durch flexiblen Balg ersetzen
- 31 **Poröse Materialien**
(Objekt porös ausführen, poröses Material hinzufügen, Poren mit vorteilhaften Stoffen füllen) z.B.: ölgetränkte Lagerschalen aus porösem Sintermaterial
- 32 **Farbveränderung**
(Farbzusätze, durchsichtig machen...)
z.B.: transparentes Pflaster erlaubt es die Wunde zu inspizieren
- 33 **Homogenität**
(Interagierende Teile aus demselben oder ähnlichem Material vorsehen)
z.B.: Vermeidung von Verformungen bei Temperaturänderung infolge unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten
- 34 **Ersatz- und Regenerationskomponenten**
(Ersetzen oder Regenerieren von unbrauchbar gewordenen Systemteilen)
z.B.: Patronenhülse nach dem Schuss auswerfen, periodischen automatisches Reinigen von Filtern
- 35 **Eigenschaftsänderung**
(*physikalische oder chemische Zustandsänderung*)
z.B.: bessere Gleitfähigkeit von Schlittenkufen auf Eis durch Anwärmen – Eis in einer dünnen Schicht verflüssigen
- 36 **Phasenübergang**
(*physikalische Effekte bei Phasenübergang nutzen*)
z.B.: Volumenänderung bei Frieren von Wasser nutzen

- 37 **Wärmedehnung**
(thermische Expansion bzw. Kontraktion nutzen)
z.B.: Thermostat mit Bimetall
- 38 **starkes Oxydationsmittel**
(normale Luft durch Sauerstoff ersetzen)
z.B.: Intensivierung eines Verbrennungsvorganges, Sauerstoffatmung
- 39 **Inertes Medium**
(*Übliche Umgebung durch inertes Medium oder Vakuum ersetzen*)
z.B.: Stickstoff in Hydraulikpuffer, in hydraulischen Speichern
- 40 **Verbundstoffe**
(Homogene Stoffe durch Verbundwerkstoffe ersetzen)
z.B.: Stahlbeton, Glasfiberstab

Anhang B: TRIZ Widerspruchstabelle

zu verbessernder Parameter	nicht erwünschte Veränderung (Konflikt)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Gewicht eines bewegten Objekts	Gewicht eines stationären Objekts	Länge eines bewegten Objekts	Länge eines stationären Objekts	Fläche eines bewegten Objekts	Fläche eines stationären Objekts	Volumen eines bewegten Objekts	Volumen eines stationären Objekts	Geschwindigkeit	Kraft	Druck oder Spannung	Form	Stabilität eines Objekts	Festigkeit	Haltbarkeit eines bewegten Objekts	Haltbarkeit eines stationären Objekts	Temperatur	Helligkeit
1			15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28		2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35		6, 20, 4, 38	19, 1, 32
2				10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2		8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27		2, 27, 19, 6	28, 19, 32, 22	19, 32, 35
3	8, 15, 29, 34				15, 17, 4		7, 17, 4, 35		13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	1, 8, 10, 29	8, 35, 29, 34	19		10, 15, 19	32
4		35, 28, 40, 29				17, 7, 10, 40		35, 8, 2, 14		28, 10	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26		1, 40, 35	3, 35, 38, 18	3, 25
5	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4				7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	10, 15, 5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 40, 14	6, 3		2, 15, 16	15, 32, 19, 13
6		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39						1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37	2, 38	40		2, 10, 19, 30	35, 39, 38		
7	2, 26, 29, 40		1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17				29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 9, 14, 15, 7	6, 35, 4		34, 39, 10, 18	2, 13, 10	
8		35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14						2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 9, 14, 17, 15		35, 34, 38	35, 6, 4		
9	2, 28, 13, 38		13, 14, 8		29, 30, 34		7, 29, 34			13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	3, 19, 26, 14	3, 19, 35, 5		28, 30, 36, 2	10, 13, 19
10	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12		18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2		35, 10, 21	
11	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 25	10, 15, 35, 37	6, 35, 10, 7	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21		35, 4, 18, 4	35, 33, 2, 40	9, 18, 3	19, 3, 27	35, 39, 19, 2	13, 15, 19, 32	
12	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 4, 10	5, 34, 4, 10	14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14		33, 1, 18, 4	30, 14, 14, 26	14, 26, 9, 25	22, 14, 32	22, 14, 32	13, 15, 19, 32	
13	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 15	
14	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 3, 14	10, 18, 26, 14	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35	27, 3, 26		30, 10, 40	35, 19	
15	19, 5, 34, 31		2, 19, 9		3, 17, 19		10, 2, 19, 30		3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10		19, 35, 39	2, 19, 4, 35	
16		6, 27, 19, 16		1, 10, 35				35, 34, 38					39, 3, 35, 23			19, 18, 36, 40		
17	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32, 22, 40	10, 30, 39	19, 13, 19, 18, 36, 40		32, 30, 21, 16	
18	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16		19, 32, 26		2, 13, 10		10, 13, 19	26, 19, 6		32, 30, 27	35, 19	2, 19, 6		32, 35, 19		
19	12, 18, 28, 31		12, 28		15, 19, 25		35, 13, 18		8, 15, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 28, 35, 6, 18		19, 24, 3, 14	2, 15, 19	
20		19, 9, 6, 27								36, 37		27, 4, 29, 18	35			19, 2, 35, 32		
21	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37		19, 38	17, 32, 13, 38	35, 6, 7, 18	30, 6, 25	15, 35, 2	26, 2, 36, 35	22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31	26, 10, 28	19, 35, 10, 38	16	2, 14, 17, 25	16, 6, 19
22	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13	6, 38, 7	15, 26, 17, 30	17, 7, 38	7, 18, 23	7	16, 35, 38	36, 38		14, 2, 39, 6	26			19, 38, 7	1, 13, 32, 15	
23	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 24	10, 28, 10, 31	35, 2, 10, 31	10, 18, 1, 29, 39, 31	1, 29, 30, 36	3, 39, 18, 31	10, 13, 28, 38	14, 15, 18, 40	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40	35, 28, 31, 40	28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38	21, 36, 39, 31	1, 6, 13
24	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16		2, 22	26, 32					10	10		19	
25	10, 20, 37, 35	10, 20, 26, 5	15, 2, 29	30, 24, 14, 5	26, 4, 5, 16	10, 35, 34, 10	2, 5, 34, 10	35, 16, 32, 18		10, 37, 36, 5	37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 28, 18	29, 3, 28, 18	20, 10, 28, 18	28, 20, 10, 16	35, 29, 21, 18	1, 19, 26, 17
26	35, 6, 18, 31	27, 26, 18, 35	29, 14, 35, 18		15, 14, 29	2, 18, 40, 4	15, 20, 29		35, 29, 34, 28	35, 14, 3	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40	14, 35, 10, 40	3, 35, 31	3, 17, 39		
27	3, 8, 10, 40	3, 10, 8, 28	15, 9, 14, 4	15, 29, 28, 11	17, 10, 14, 16	32, 35, 40, 4	3, 10, 14, 24	2, 35, 24	21, 35, 11, 28	8, 28, 10, 3	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11		11, 28	2, 35, 34, 27, 3, 25	34, 27, 6, 40	3, 35, 10, 13	
28	32, 35, 26, 28	28, 35, 25, 26	28, 26, 5, 16	32, 28, 5, 16	26, 29, 32, 3	26, 28, 32, 3	32, 13, 6		28, 13, 32, 24	32, 2	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13	28, 6, 32	28, 6, 24	6, 19, 26, 24	6, 1, 32	
29	28, 32, 13, 18	28, 35, 27, 9	10, 28, 29, 37	2, 32, 10	28, 33, 29, 32	2, 29, 18, 36	32, 28	25, 10, 35	10, 28, 32	28, 19, 34, 36	3, 35	32, 30, 40	30, 18	3, 27, 40		19, 26	3, 32	
30	22, 21, 27, 39	2, 22, 13, 24	17, 1, 39, 4	1, 18	22, 1, 33, 28	27, 2, 37, 35	34, 39, 19, 27	21, 22, 35, 28	13, 35, 39, 18	22, 2, 37	22, 1, 37	35, 24, 30, 18	37, 1, 3, 35	35, 40, 27, 39	22, 2, 33, 31	17, 1, 40, 33	22, 33, 35, 2	1, 19, 32, 13
31	19, 22, 15, 39	35, 22, 1, 29	17, 15, 16, 22		17, 2, 18, 39	22, 1, 40	30, 18, 35, 28, 3, 23	35, 13, 3, 23	30, 18, 3, 23	35, 28, 1, 40	35, 28, 2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39	15, 35, 22, 2	15, 22, 33, 31	21, 39, 16, 22	22, 35, 2, 24	19, 24, 39, 32
32	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	13, 1, 26, 12	13, 29, 1, 40	35	35, 13, 8, 1	35, 12	35, 19, 1, 37	1, 28, 13, 27	11, 13, 1	1, 3, 10, 32	3, 27, 4	35, 16	27, 26, 18, 27, 1	28, 24, 27, 1
33	25, 2, 13, 15	6, 13, 1, 25	1, 17, 13, 12		1, 17, 13, 16	1, 16, 15, 39	1, 16, 35, 15	4, 18, 39, 31	18, 13, 34	18, 13, 35	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 3, 28	32, 40, 8, 25	29, 3, 1, 16, 25	1, 16, 25	16, 27, 13, 1, 24	13, 17, 1, 24
34	2, 27, 15, 8	2, 27, 35, 11	1, 28, 29, 2	3, 18, 31	15, 13, 3, 2	16, 25	25, 2, 35, 11	1	34, 9	1, 11, 10	13	1, 13, 2, 4	2, 35	11, 1, 2, 9	1, 19, 28, 27	1	4, 10	15, 1, 13
35	1, 6, 34, 37	19, 15, 29, 16	35, 1, 29, 2	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29		35, 10, 14	15, 17, 20	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 32, 6	35, 3, 13, 1, 35	13, 1, 35	2, 16	27, 2, 3, 35	6, 22, 26, 1
36	26, 30, 28, 13	2, 36, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	34, 25, 6	1, 16	34, 10	28, 16	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19	2, 13, 10, 4, 28, 15			2, 17, 13, 13	24, 17, 13
37	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 15, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31	2, 18, 16, 35	3, 4, 40, 19	36, 28, 37, 32	35, 36, 1, 39	27, 13, 1, 39	11, 22, 15, 28	19, 29, 39, 25	25, 24, 6, 35	3, 27, 35, 16	2, 24, 26
38	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 17, 29	23	17, 14, 13		35, 13, 16		28, 10	2, 35	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1	25, 13	6, 9		26, 2, 19	8, 32, 19
39	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	2, 6, 34, 10	35, 37, 10, 2		28, 15, 10, 36	10, 37, 14	14, 10, 34, 40	35, 3, 29, 10, 18	29, 28, 10, 18	35, 10, 2, 18	20, 10, 16, 38	35, 21, 28, 10	26, 17, 19, 1

19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Energieverbrauch eines bewegten Objekts	Energieverbrauch eines stationären Objekts	Leistung	Energieverschwendung	Materialverschwendung	Informationsverlust	Zeitverschwendung	Materialmenge	Zuverlässigkeit	Meßgenauigkeit	Fertigungsgenauigkeit	äußere negative Einflüsse auf Objekt	negative Nebeneffekte des Objekts	Fertigungsfreundlichkeit	Bedienungsfreundlichkeit	Reparaturfreundlichkeit	Anpassungsfähigkeit	Komplexität in der Struktur	Komplexität in der Kontrolle oder Steuerung	Automatisierungsgrad	Produktivität
35, 12, 34, 31		12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	3, 11, 1, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37
	18, 19, 28, 1	15, 19, 18, 19, 28, 15	18, 19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 10, 20	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26	10, 28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 35, 22	28, 1, 1, 39	28, 1, 6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11	29, 15, 1, 29	19, 15, 1, 26	26, 30, 1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35
8, 35, 24		1, 35	7, 2, 4, 29, 23, 10	4, 29, 23, 10	1, 24	15, 2, 29	29, 35	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 1, 15, 17	17, 15	17, 15	1, 29, 15, 29, 35, 4	1, 28, 1, 10	14, 15, 1, 16	26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29	30, 14, 7, 26
		12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26	30, 29, 14		15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18		15, 17, 27	2, 25	3	1, 35	1, 26	26		30, 14, 7, 26
19, 32		19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26	26, 4	29, 30, 6, 13	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1	17, 2, 18, 39	13, 1, 15, 17, 26, 24	15, 17, 13, 16	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2
		17, 32	17, 7, 10, 14, 18, 39	10, 14, 18, 39	30, 16	4, 18	2, 18, 40, 4	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	2, 29, 27, 2, 18, 36	22, 1, 39, 35	40	40, 16	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7
		35, 6, 13, 18	7, 15, 36, 39, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	2, 6, 34, 10	29, 30, 7	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	25, 28, 2, 16	22, 21, 40, 1	17, 2, 30, 1	29, 1, 15, 13, 40	30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34
		30, 6		10, 39, 35, 34		35, 16, 32, 18	35, 3	2, 35, 16		35, 10, 25	34, 39, 19, 27	30, 18, 35, 4	35		1		1, 31	2, 17, 26		35, 37, 10, 2
8, 15, 35, 38		19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35, 28, 38	10, 13, 28, 38	13, 26		18, 19, 11, 35, 29, 38	27, 28	1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23	8, 1	35, 13, 13, 12	32, 28, 27	34, 2, 26	15, 10, 4, 34	10, 28, 3, 34	27, 16		10, 18
19, 17, 10	1, 16, 36, 37	19, 35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5	10, 37, 14, 29, 36	14, 29, 3, 35, 25, 10	3, 35, 23, 24	28, 29, 37, 36	40, 18, 36, 24	28, 29, 37, 36	40, 18, 36, 24	13, 3, 15, 37, 18, 1	15, 37, 18, 1	1, 28, 3, 25	15, 1, 11	15, 17, 18, 20	26, 35, 36, 37, 10, 18, 10, 19		2, 35	3, 28, 35, 37
14, 24, 10, 37		10, 35, 14	2, 36, 3, 37	10, 36, 3, 37	37, 36, 4	10, 14, 36	10, 13, 19, 35, 25	6, 28, 25		3, 35	22, 2, 3, 33, 27, 18	1, 35, 16	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 35	35, 24	10, 14, 35, 37	
2, 6, 34, 14		4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5	14, 10, 34, 17	10, 40, 28, 32, 16	1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35	35, 10	34, 39, 19, 27	30, 18, 35, 4	35		1		1, 31	2, 17, 26		35, 37, 10, 2
13, 19	27, 4, 29, 18	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40	35, 27	15, 32, 35		13		18	35, 24, 30, 18	27, 39	35, 19	32, 35, 30	2, 35, 10, 16	35, 29, 34, 2	15, 10, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3
19, 35, 10	35	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40	29, 3, 28, 10	29, 10, 27	11, 3	3, 27, 16		3, 27	17, 35, 15, 35, 37, 1	22, 2, 10, 32	11, 3, 32, 28, 2	32, 40, 27, 11	15, 3, 3, 32	2, 13, 27, 3	2, 13, 27, 3	15, 40	15	29, 35, 10, 14
28, 6, 35, 18		19, 10, 35, 38		28, 27, 3, 18	10	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 21, 39, 32, 28	16, 22	27, 1, 4	12, 27	29, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19, 29, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19
		16		27, 16, 18, 38	10	28, 20, 10, 16	3, 35, 31	34, 27, 6, 40, 26	10, 26	17, 1, 40, 33	22	35, 10	1	1	2		25, 34, 6, 35	1	10, 20, 16, 38	
19, 15, 3, 17		2, 14, 17, 25, 35, 38	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31	35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39	19, 35, 3, 10	32, 19, 24		24	22, 33, 35, 2	22, 35, 2, 24	26, 27	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 27, 16	2, 17, 35, 31	3, 27, 32, 15	26, 2, 19, 16	15, 28, 35
32, 1, 32, 35, 19	32, 35, 1, 15	32	19, 16, 1, 6	13, 1	1, 6	19, 1, 26, 17	1, 19	11, 15, 32		3, 32	15, 19, 32, 39	35, 19, 28, 26	19, 35, 28, 26	15, 17, 13, 16	15, 1, 19, 13	6, 32, 13	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16
		6, 19, 12, 37, 18	22, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5		35, 38, 19, 18	34, 23, 19, 21, 11, 27	3, 1, 32		1, 35, 6, 27	2, 35, 28, 26, 6	30	19, 35	1, 15, 17, 28	2, 29, 13, 16	27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35	
				28, 27, 18, 31		3, 35, 10, 36, 23				10, 2, 22, 37	19, 22, 31, 2	26, 10, 34	26, 35, 10	35, 2, 10, 34	19, 17, 30, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34	
16, 6, 19, 37		3, 38	10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19	35, 20, 10, 6	4, 34, 19, 26, 31	32, 15, 2		32, 2	19, 22, 31, 2	26, 10, 34	26, 35, 10	35, 2, 10, 34	19, 17, 30, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34	
			35, 27, 2, 37	19, 10	10, 18, 32, 7	7, 18, 25	11, 10, 35	32		21, 22, 35, 2, 2	21, 35, 2, 22	35, 22, 1	35, 22, 1	2, 19	7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35		
35, 18, 24, 5	28, 27, 12, 31	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31		15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 24	10, 29, 39, 35	16, 34, 31, 28		35, 10, 33, 22, 30, 40	10, 1, 34, 29	15, 34, 33	32, 28, 2, 24	2, 35, 34, 27	15, 10, 2	35, 10, 28, 24	35, 18, 10, 13	35, 10, 18	28, 35, 10, 23	
		10, 19	19, 10		24, 26, 28, 32	24, 28, 35	20, 30, 23			22, 10, 31, 22	10, 21, 22	32	27, 22				35, 33	35, 13	13, 23, 15	
35, 38, 19, 18	1	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 32	35, 38, 18, 16	10, 30, 4	24, 34, 28, 32		24, 26, 28, 18	35, 18, 34, 4	35, 22, 35, 28, 18, 39	4, 28, 10, 34	32, 1, 10	35, 28	6, 29	18, 28, 32, 10	24, 28, 35, 30		
34, 29, 16, 18	3, 35, 31	35	7, 18, 25	6, 3, 24, 35	24, 28, 35	35, 38, 18, 16	18, 3, 28, 40	13, 2, 28		33, 30	35, 33, 29, 31	3, 35, 40, 39	29, 1, 35, 29, 25, 10	2, 32, 10, 25	15, 3, 29	3, 13, 3, 27	3, 13, 3, 27	8, 35	13, 29, 3, 27	
21, 11, 27, 19	36, 23	21, 11, 26, 31	10, 11, 35, 29, 39	10, 35, 29, 39	10, 28	10, 30, 4, 40, 3	21, 28, 40, 3	32, 3, 11, 23		11, 32, 1	27, 35, 2, 40, 26	35, 2, 26	27, 17, 40	1, 11	13, 35, 8, 24	13, 35, 1	27, 40, 28	11, 13, 27	1, 35, 29, 38	
3, 6, 32		3, 6, 32	26, 32, 27, 31, 28	10, 16, 31, 28	24, 34, 28, 32	2, 6, 32	5, 11, 1, 23			28, 24, 22, 26	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11	13, 35, 2	27, 35, 26, 24, 10, 34	26, 24, 32, 28	28, 2, 10, 34	28, 32	
32, 2		32, 2	13, 32, 2, 10, 24	35, 31, 10, 24	32, 26, 28, 18	32, 30, 11, 32, 1				26, 28, 10, 36	4, 17, 34, 26		1, 32, 35, 23	25, 10	26, 2, 18		26, 2, 18	26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39	
1, 24, 6, 27	10, 2, 22, 37	19, 22, 31, 2	21, 22, 35, 2	33, 22, 19, 40	22, 10, 2	35, 18, 29, 31	35, 33, 2, 40	27, 24, 23, 26		26, 28, 10, 18	4, 17, 34, 26		24, 35, 2, 28, 39	2, 25, 28, 39	35, 10, 22, 31	35, 11, 29, 40	22, 19, 29, 40	33, 3, 34	22, 35, 13, 24	
2, 35, 6	19, 22, 18	2, 35, 18	21, 35, 2, 22	10, 1, 34	10, 21, 29	1, 22, 39, 1	3, 24, 40, 39	24, 2, 26		4, 17, 34, 26							19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2, 25, 18, 39	
28, 26, 27, 1	1, 4	27, 1, 12, 24	19, 35	15, 34, 33	32, 24, 18, 16	35, 28, 34, 4	35, 23, 1, 24			24, 2			2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9	2, 13, 15	2, 13, 15	27, 26, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 35, 1, 10, 28	
1, 13, 24		35, 34, 2, 10	2, 19, 13, 2, 24	28, 32, 27, 22	4, 10, 27, 22	4, 28, 10, 34	12, 35	17, 27, 8, 40, 2, 34		1, 32, 35, 28, 39	2, 25, 28, 39	2, 5, 12	2, 5, 12	12, 26, 1, 32	15, 34, 1, 16	32, 26, 12, 17	1, 34, 12, 3	15, 1, 28		
15, 1, 28, 16		15, 10, 32, 2	15, 1, 32, 19	2, 35, 34, 27	32, 1, 10, 25	2, 28, 10, 25	11, 10, 1, 16	10, 2, 13		25, 10	35, 10, 2, 16	1, 35, 11, 10	1, 12, 26, 15	7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11		34, 35, 7, 13	1, 32, 10		
19, 35, 29, 13		19, 1, 29	18, 15, 1, 2, 13	15, 10, 2, 13	35, 28	3, 35, 15, 8, 24	35, 13, 1, 10			35, 11, 32, 31	1, 13, 31	15, 34, 1, 16	1, 16, 7, 4	1, 16, 7, 4	15, 29, 37, 28		1	27, 34, 35, 6, 37		
27, 2, 29, 28		20, 19, 30, 34	10, 35, 13, 2, 28, 29	35, 10, 28, 29	6, 29	13, 3, 27, 10	13, 35, 1, 10, 34	2, 26, 10, 34		26, 24, 32, 29, 40	22, 19, 29, 40	19, 1	27, 26, 1, 13	27, 9, 26, 24	29, 15, 28, 37		15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28	
35, 38	19, 35, 16	19, 1, 16, 10	35, 3, 15, 19	1, 13, 10, 24	35, 33, 27, 22	18, 28, 32, 9	3, 27, 29, 18	27, 40, 26, 24, 32, 28		22, 19, 29, 28	2, 21, 11, 29	2, 5	12, 26	1, 15	15, 10, 37, 28		34, 21	35, 18		
2, 32, 13		28, 2, 27	23, 28	35, 10, 18, 5	35, 33	24, 28, 35, 30	35, 13	11, 27, 32, 10, 34		28, 26, 18, 23	2, 33	2	1, 26, 1							