

Methodische Beschreibung und Bewertung der umweltgerechten Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen

Von der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie
der Technischen Universität Bergakademie Freiberg

genehmigte

D I S S E R T A T I O N

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur

(Dr.-Ing.)

vorgelegt

von Dipl.-Ing. Wolfgang Volkhausen
geboren am 19. Februar 1963 in Duisburg

Gutachter: Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Janke, Freiberg
Herr Prof. Dr.-Ing. Jürgen Philipp, Dinslaken
Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Tilch, Freiberg
Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Sieghard Krauß, Duisburg

Tag der Verleihung: 10. Februar 2003

Vorwort

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Janke, Direktor des Instituts für Eisen und Stahltechnologie an der TU Bergakademie Freiberg. Er hat mir mit seiner freundlichen Bereitschaft, die Arbeit als Erstgutachter zu begleiten, dieses Projekt erst ermöglicht.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Philipp danke ich sehr für seine Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit, seine wertvollen Anregungen und nicht zuletzt für die Begutachtung. Durch seine Hilfe und seinen Rat wurde ich stets motiviert und ermutigt, diese Arbeit als Ergebnis und Ausblick langjähriger Tätigkeit als sein Mitarbeiter zu formulieren.

Für die Übernahme der weiteren Gutachten bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Tilch, stellvertretender Direktor des Gießerei-Instituts an der TU Bergakademie Freiberg und bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Sieghard Krauß, Institut für Angewandte Materialtechnik, Gerhard-Mercator-Universität in Duisburg.

Bei den Mitarbeitern am Institut für Eisen und Stahltechnologie möchte ich mich für die Unterstützung und Hilfe insbesondere bei Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Piotr Scheller, Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Peisker und Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Neuhof bedanken. Weiterhin danke ich Herrn Dr.-Ing. Hans-Jörn Weddige, inzwischen International Iron and Steel Institute in Brüssel, für seine freundschaftlichen Ratschläge.

Bei der ThyssenKrupp Stahl AG gilt mein Dank für ihre Unterstützung und Anregungen Herrn Dr.-Ing. Hans Pircher (†), Herrn Dr.-Ing. Markus Weber, Herrn Dipl.-Ing. Jochen Prange, Herrn Dipl.-Ing. Christoph Steindor, Herrn Dipl.-Ing. Walter Scholl und nicht zuletzt Herrn Dr.-Ing. Gunnar Still, der als Vorgesetzter mir dieselbe Unterstützung zukommen ließ, wie zuvor Herr Prof. Philipp.

Im Laufe der vergangenen Jahre hatte ich Gelegenheit zur Diskussion mit Vertretern von Firmen und Institutionen. Hervorzuheben sind hier besonders die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der BMW AG, der DaimlerChrysler AG, der Opel AG, der Volkswagen AG, des Informationszentrums Weißblech, des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute und des International Iron and Steel Institute.

Herausstellen möchte ich nicht zuletzt die unschätzbare Hilfe von Herrn Dipl.-Ing. Werner Theobald, ehem. als Verein Deutscher Eisenhüttenleute. Ohne seine Ermunterung und Beratung wäre die Arbeit nicht denkbar gewesen.

Mein aufrichtiger Dank gilt meiner Frau Stefanie und meinen Kindern Hannah, Paul und Clara. Sie haben mich moralisch unterstützt und in der Zeit, während diese Arbeit entstand, auf vieles verzichten müssen.

Inhaltsverzeichnis

0.	Zusammenfassung der Ergebnisse	1
1.1	Hintergrund der Arbeit	4
1.2	Aufgabenstellung:	4
1.3	Lösung	6
2.	Aspekte einer umweltgerechten Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen	7
2.1	Stoffeigenschaften	9
2.2	Ressourceneinsatz	10
2.2.1	Energieeinsatz	11
2.2.2	Ausbringen	15
2.2.3	Wassereinsatz und Wasserverbrauch	16
2.3	Umweltgerechte Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen	17
2.4	Nutzung von Nebenerzeugnissen sowie Vermeidung und Verwertung von Abfällen	18
2.4.1	Nebenerzeugnisse	18
2.4.2	Abfälle	19
2.5	Langlebigkeit	20
2.6	Umweltaspekte der nachfolgenden Stufen	22
3.	Politischer und rechtlicher Rahmen einer umweltgerechten Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen	24
3.1	Einführung	24
3.2	Altautoverordnung in Deutschland	24
3.3	EU Altautorichtlinie	26
3.4	Verpackungsverordnung in Deutschland	27
3.5	EU-Richtlinie zur umweltgerechten Gestaltung von Elektro- und Elektronikprodukten	33
3.6	Integrierte Produktpolitik der Europäischen Union	34
3.7	Schlussfolgerung	37
4.	Instrumente zur Beurteilung einer umweltgerechten Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen	39
4.1	Einführung	39
4.2	Erläuterungen zu den Begriffen	40
4.3	Ökobilanzen für Stahlerzeugnisse	47
4.3.1	Ökobilanzen für Getränkeverpackungen	47
4.3.2	Ganzheitliche Bilanzierung von Automobilbauteilen	51
4.3.3	Materialintensitäten von Freileitungsmasten	53
4.3.4	Leitfaden zum nachhaltigen Bauen	54
4.3.5	Spezielle Ökobilanz für Stahlerzeugnisse	55
4.3.6	Fortschreibung der Ökobilanz für Stahlprodukte	57
4.3.7	Weltweite Sachbilanz des IISI	61
4.4	Schlussfolgerung	62

5.	Umweltgerechte Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen aus der Sicht der Anwender	63
5.1	Weißblech-Getränkeverpackungen	63
5.1.1	Anforderungen an die umweltgerechte Entwicklung von Weißblech-Getränkeverpackungen	63
5.1.2	Image-Aspekte bei Weißblech-Getränkeverpackungen	65
5.2	Stahlerzeugnisse für das Bauwesen	66
5.2.1	Anforderungen an die umweltgerechte Entwicklung von Stahlerzeugnissen für das Bauwesen	66
5.2.2	Image-Aspekte bei Stahlerzeugnissen für das Bauwesen	66
5.3	Stahlerzeugnisse für den Automobilbau	67
5.3.1	Anforderungen an die umweltgerechte Entwicklung von Stahlerzeugnissen für den Automobilbau	67
5.3.2	Prioritäre Umweltaspekte für die europäische Automobilindustrie	69
5.3.2.1	Minderung des Energieverbrauchs bei der Nutzung	69
5.3.2.2	Recycling	79
5.3.2.1	Forschungsvorhaben der europäischen Automobilindustrie	81
5.3.3	Imageaspekte bei Stahlerzeugnissen für den Automobilbau	82
5.3.3.1	Fallbeispiel US Steel	83
5.3.3.2	Fallbeispiel Audi	83
5.3.3.3	Fallbeispiel ÖKO-TREND	83
5.3.4.	Relevanz von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen bei der Werkstoffauswahl für Automobilhersteller	86
5.3.5	Schlussfolgerung	88
6.	Prioritäre Umweltaspekte bei der Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen	90
6.1	Recycling	90
6.1.2	Ökonomische Rahmenbedingungen	90
6.1.2.1	Schrottaufkommen	90
6.1.2.2	Recyclingrouten	92
6.1.2	Lebensdauer von und Recyclingrate von Produkten aus Stahl	96
6.1.3	Technologische Rahmenbedingungen	98
6.1.4.	Konzept zur Beschreibung des Recyclings sowie der Lebensdauer von Stahlerzeugnissen unter ökobilanziellen Gesichtspunkten	103
6.2	Maßnahmen zur Verminderung der Bauteilmasse	109
7.	Ausblick	117
	Literaturverzeichnis	118
	Abbildungsverzeichnis	125
	Tabellenverzeichnis	127
	Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	128
	Tabellen	129
	Glossar	138

0. Zusammenfassung der Ergebnisse

Es ist für einen Hersteller von Stahlerzeugnissen nicht mehr ausreichend, bei der Entwicklung lediglich diejenigen Aspekte zu berücksichtigen, die sich mit deren Herstellung verbinden. Vielmehr sind auch die ökologischen Auswirkungen, die nach der Herstellung bei **Nutzung** und **Recycling** von Bedeutung sind, bereits bei der Gestaltung von Erzeugnissen zu berücksichtigen. Weiterhin sind neben ökologischen auch technologische, rechtliche und wirtschaftliche Aspekte in die Gestaltung von Erzeugnissen zu integrieren.

Durch eine Reihe von Maßnahmen in den vergangenen Jahren zur Abfallvermeidung, zum Gewässerschutz und zur Luftreinhaltung ist das Potential für weitere Verbesserungen bei der **Herstellung** unter ökologischen, technologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten weitgehend ausgeschöpft. Der ökologische Einfluss der Herstellung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen auf den gesamten Lebensweg ist zudem geringer als allgemein erwartet.

Eine weitere Verbesserung der Umwelteigenschaften kann zukünftig über eine umweltgerechte Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen erreicht werden, die die **Nutzung** und das **Recycling** von Stahl wirksam beeinflusst.

Die Arbeit eröffnet einen ganzheitlichen Überblick über die wesentlichen ökologischen, technologischen und rechtlichen Gesichtspunkte, die für eine umweltgerechte Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen von Bedeutung sind.

Rechtsvorschriften und Regelungen gewinnen auf europäischer und nationaler Ebene zunehmend an Bedeutung, die für Erzeugnisse eine Minimierung der Umwelteinflüsse über den **gesamten Lebensweg** zum Ziel haben. Von hoher Bedeutung bei der Rechtsentwicklung sind diejenigen Umweltaspekte, die eine Minimierung des Energieverbrauchs und eine bestmögliche Wiederverwertung der genutzten Erzeugnisse erreichen. Zur Verfolgung dieses Zieles werden verstärkt **Ökobilanzen** eingesetzt.

Diese sind durch ihre Betrachtung des gesamten Lebensweges ein geeignetes Instrument zur Beschreibung und Beurteilung der Umwelteigenschaften von Werkstoffen und Erzeugnissen, sofern die **Sachbilanzebene**^{a)} nicht verlassen wird. Sachbilanzen eignen sich somit auch für eine Beurteilung der umweltgerechten Gestaltung von

^a Eine Erläuterung zu den Begriffen findet sich im Glossar

Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen. Hingegen halten bisher formulierte **Ökobilanzbewertungen** hinsichtlich der ihnen zugrunde liegenden **Bewertungskriterien** und der **Interpretation der Ergebnisse** einer wissenschaftlichen Begründung nur unzureichend stand. Sie sollten als Entscheidungshilfe nicht herangezogen werden.

Bisherige ökobilanzielle Untersuchungen von **Stahlerzeugnissen** zeigten, dass bei einer Betrachtung der Umwelteigenschaften über den gesamten Lebensweg für Erzeugnisse im mobilen Einsatz die Nutzungsphase von dominierender Bedeutung ist.

Die Bedeutung von Umweltaspekten im Prozess der Entscheidungsfindung zur Werkstoffauswahl nimmt bei **Anwendern** von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen erkennbar zu und ist wiederum stark durch die Rechtsentwicklung im Umweltschutz geprägt. Bei Anwendern sind die **Anforderungen** an eine umweltgerechte Gestaltung unterschiedlich gewichtet. Die am stärksten präzisierten Anforderungen werden von der Automobilindustrie gestellt.

Entscheidungsrelevante Umweltaspekte bei der Werkstoffauswahl sind bei der Automobilindustrie der

- **Energiebedarf der Nutzung** und das
- **Recycling**.

Die grundsätzlichen Vorteile des Werkstoffs Stahl und seiner Erzeugnisse sind hinsichtlich seiner **Recyclingeigenschaften** allgemein anerkannt. Die Einbeziehung des Recyclings in den Lebensweg von Stahlerzeugnissen wird von Anwendern aber als unzureichend beschrieben.

In dieser Arbeit wurde eine methodisch schlüssige Einbeziehung des Recyclings von Stahlerzeugnissen entwickelt. Hierzu wurde ein neuartiges Bilanzkonzept geschaffen, das die beiden zur Verfügung stehenden Stahlerzeugungsrouten Hochofen-Oxygenstahlwerk und Elektrostahlwerk zu einem gemeinsamen System vereint. Auf diese Weise können die Vorteile hinsichtlich der Recyclingeigenschaften des Stahlwerkstoffes bei der Positionierung gegenüber Wettbewerbswerkstoffen belegt werden. Hierzu zählt insbesondere das Recycling zu neuen Erzeugnissen bei **gleichbleibenden qualitativen Eigenschaften**. Gleichwohl wird der zunehmende Einsatz von höherfesten Stählen eine

verbesserte und zielgerichtete Steuerung der Schrottrückläufe erfordern, um diese den **Primärprodukten** vergleichbare Qualität weiterhin sicherzustellen.

Defizite haben Stahlerzeugnisse für den mobilen Einsatz hinsichtlich ihrer Masse und damit beim Energieverbrauch während ihrer Nutzung. Handlungsbedarf ergibt sich daher dementsprechend bei einer **Reduzierung der Masse**. Für den **Automobilbau** ergaben Ökobilanzen, dass Maßnahmen zur Reduzierung der Masse nur sinnvoll in Verbindung mit **Anpassungen der Antriebstechnik** sind.

Dieses Ergebnis sollte für die Stahlunternehmen Anstöße zu einer integrierten Einbeziehung von Umweltaspekten in die Werkstoff- und Produktentwicklung bieten und zugleich einen engeren Dialog zur umweltgerechten Werkstoff- und Produktgestaltung mit Stahlanwendern öffnen.

1. Übersicht

1.1 Hintergrund der Arbeit

Konstruktion und Entwicklung von Produkten erfordern Entscheidungen über die zu verwendenden Werkstoffe. Zunehmend gewinnen neben technischen und wirtschaftlichen Entscheidungskriterien auch Umweltschutzaspekte an Bedeutung. Sie können die Positionierung von Werkstoffen und Erzeugnissen mitbeeinflussen und schließlich auch entscheiden⁽¹⁾. Diese Tendenz wird durch die neuere Rechtsentwicklung verstärkt, indem europäische und nationale Rechtsakte neue umweltbezogene Anforderungen an Produkte, an die verwendeten Werkstoffe und an ihre Erzeugungsverfahren stellen.

Bei der Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen werden bislang Umweltschutzaspekte isoliert auf bestimmte Eigenschaften und Komponenten und im Wesentlichen nur bezogen auf die Stahlherstellung betrachtet. Eine vollständige Betrachtung des **Lebenszyklus** durch Einbeziehung der Nutzung und des Recyclings erfolgte bislang nicht. Zudem stand eine integrative Gesamtanalyse der ökologischen, technologischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Aspekte als Entscheidungsgrundlage einer umweltgerechten Gestaltung nicht zur Verfügung. Hier lagen keine ausreichenden Kenntnisse und zugängliche interpretierbare Daten für die Auswahl von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen vor. Unklar ist bislang auch, welchen Stellenwert im Gesamtprozess der **Entscheidung** über die Werkstoffauswahl der **Anwender** von Stahlerzeugnissen dem Umweltschutz beimisst.

Erst ausreichende Kenntnisse der Relevanz von Umweltschutzanforderungen werden es möglich machen, Stahlwerkstoffe und Stahlerzeugnisse unter Berücksichtigung der Umweltziele optimal einzusetzen.

1.2 Aufgabenstellung:

Zur Beurteilung einer umweltgerechten Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen müssen zunächst diejenigen Umweltaspekte konkretisiert werden, die unmittelbar mit der **Herstellung** und den nachgelagerten Lebenswegabschnitten verbunden sind. Bereits bei der Entwicklung von Werkstoffen, Erzeugnissen oder hieraus hergestellten Produkten ist zu berücksichtigen, inwieweit sich Auswirkungen in den folgenden Stufen des **Lebensweges** ergeben und wie dies zu optimieren ist. Als Beispiele sind Anforderungen an den Energieverbrauch während der Nutzung oder an die

Recyclingeigenschaften zu nennen. **Abbildung 1** verdeutlicht diese Vorstellung des Lebenszyklus.

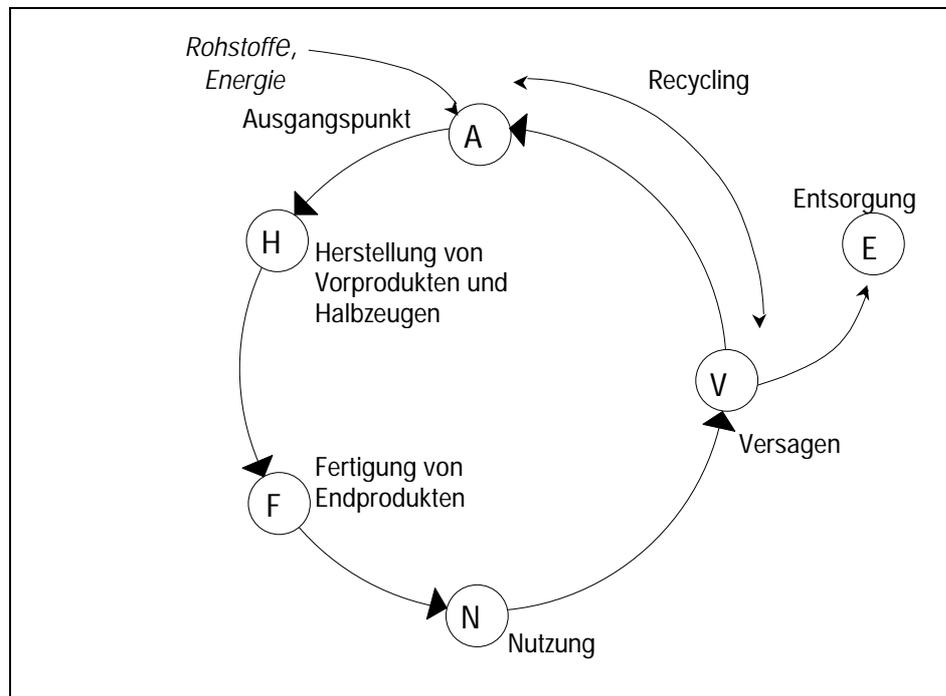


Abbildung 1: Lebenszyklus von Erzeugnissen (nach ²⁾)

Nach der Bewertung des sich daraus ergebenden Sachverhalts sollte sich eine Analyse der Potentiale für eine weitere Verbesserung der Umwelteigenschaften von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen anschließen. Im Rahmen dieser Arbeit werden die sich schon heute abzeichnenden Perspektiven untersucht.

Die Beurteilung muss ganzheitlich erfolgen. Sie erfordert demnach die Integration aller Umweltschutzaspekte, um Aussagen über die Umwelteigenschaften des gesamten Lebensweges zu erhalten. Auf dieser Basis ist zu untersuchen, welche Anforderungen **Anwender** von Stahlprodukten an die Umwelteigenschaften von Stahlerzeugnissen stellen. Sofern mehrere Umweltaspekte zu berücksichtigen sind, interessiert die Frage, mit welcher Gewichtung diese Aspekte bei der Werkstoffauswahl von Stahlanwendern betrachtet werden.

1.3 Lösung

In dieser Arbeit wird die Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen analysiert und auf ihr Potential zu einer weiteren Verbesserung ihrer Umwelteigenschaften untersucht. Als Instrument zur Beurteilung hat sich in den letzten zehn Jahren das Instrument der Ökobilanzen etabliert. Sie werden in Wissenschaft, Politik und bei Anwendern von Werkstoffen und Erzeugnissen zur Beurteilung von Umwelteigenschaften genutzt. Zum Verständnis einer umweltgerechten Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen ist es deshalb erforderlich, die bereits für Stahl durchgeführten Untersuchungen zu beschreiben. Hierbei wird auf Erkenntnisse aus früheren Projekten des Verfassers dieser Arbeit zurückgegriffen^(52,63).

An drei Fallbeispielen

- Automobil,
- Stahlbau und
- Verpackungen

werden neben den ökologischen die technologischen, politischen und rechtlichen Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Erzeugnissen beschrieben und künftige Entwicklungen aufgezeigt. Die ausgewählten Beispiele repräsentieren mit ca. 35% den Hauptanteil der Stahlanwendungen in Europa³⁾.

Besondere Berücksichtigung findet die Analyse der Anforderungen aus der Sicht der Anwender von Stahlerzeugnissen.

In weiteren Abschnitten werden die Umweltaspekte, denen bei der Werkstoffauswahl eine besondere Bedeutung zukommt, gesondert betrachtet und Perspektiven für eine umweltgerechte Gestaltung abgeleitet.

Bei Umsetzung der Ergebnisse dieser Arbeit werden Stahlunternehmen in die Lage versetzt, ökologische Aspekte im Zusammenhang mit Stahlerzeugnissen angemessen bewerten zu können. So können zielgerichtet Maßnahmen bereits bei der Gestaltung abgeleitet werden, um den neuen Anforderungen, die sich an die Umwelteigenschaften von Erzeugnissen ergeben, nicht nur zu entsprechen, sondern darüber hinaus zu einer Verbesserung der Marktposition beitragen.

2. Aspekte einer umweltgerechten Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen

Für Stahlwerkstoffe und Stahlerzeugnisse ergibt sich die Notwendigkeit einer umweltgerechten Gestaltung bereits durch Leitlinien einer „**Nachhaltigen Entwicklung**“, zu denen sich die deutsche Stahlindustrie bekannt hat.

Der Begriff „Nachhaltige Entwicklung“ oder „Sustainable Development“ war seit langem in der Forstwirtschaft eingeführt. Er wurde einer breiteren Öffentlichkeit bekannt, als er von der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung im sogenannten Brundtland-Report⁽⁴⁾ vorgeschlagen und auf dem Umweltgipfel in Rio de Janeiro im Jahre 1992⁽⁵⁾ von den Regierungen weltweit gutgeheißen wurde.

„Nachhaltige Entwicklung“ bedeutet, dass die Bedürfnisse der Gegenwart erfüllt werden, ohne dass künftige Generationen benachteiligt werden.

Auf einen Nenner gebracht ist unter „Nachhaltiger Entwicklung“ die Gleichrangigkeit von ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten zu verstehen. Das heißt nicht, dass der Umweltschutz wirtschaftliche oder soziale Fragen ausschließlich bestimmen soll. Vielmehr ist eine ausgewogene Strategie unter dem Gesichtspunkt **langfristiger Auswirkungen** zu verstehen.

Für die Stahlindustrie nimmt in diesem Zusammenhang die Frage der Ressourcenschonung einschließlich des Recyclings sowie des Klimaschutzes hier eine herausragende Stellung ein⁽⁶⁾.

Im Hinblick auf die Analyse derjenigen Aspekte, die für eine umweltgerechte Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen von Bedeutung sind, ist zu differenzieren zwischen Umweltaspekten, die mit der Herstellung von Stahl verbunden sind und Umweltaspekten, die mit den folgenden Lebenswegabschnitten zusammenhängen⁽⁷⁾.

Eine Übersicht der zu betrachtenden Umweltaspekte gibt **Abbildung 2**.

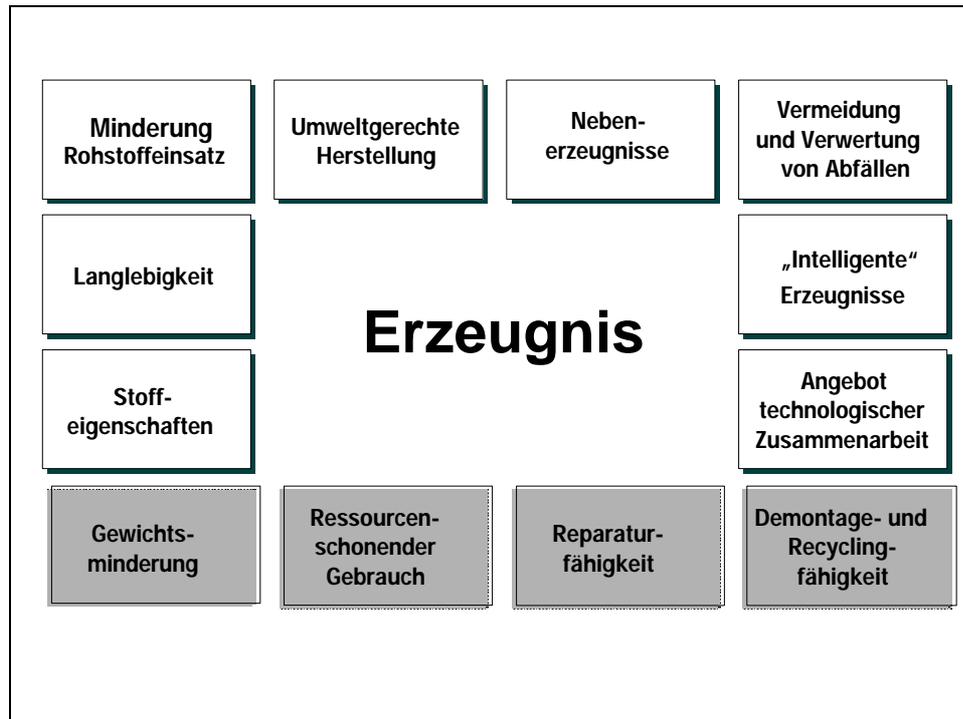


Abbildung 2: Aspekte der umweltgerechten Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen⁽⁷⁾

Zur Beurteilung der Relevanz und des Potentials für eine umweltgerechte Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen ist es zunächst erforderlich, die Aspekte einzeln zu untersuchen.

Als Umweltaspekte im Zusammenhang mit dem Werkstoff sind zu nennen:

- Stoffeigenschaften
- Minderung des Ressourceneinsatzes
- Umweltgerechte Herstellung
- Nutzung von Nebenerzeugnissen
- Vermeidung und Verwertung von Abfällen
- „Intelligente“ Erzeugnisse^b
- Technologische Zusammenarbeit
- Langlebigkeit.

^b „intelligent“ beschreibt eine anwendungsgerechte Konzeption von Stahlerzeugnissen

Aspekte, die mit der Herstellung des Werkstoffs verbunden sind, standen bisher im Vordergrund der Strategie des Umweltschutzes. Gründe hierfür liegen in den bisherigen rechtlichen Anforderungen, die sich im Wesentlichen an den **Anlagenbetrieb** und an den **medienbezogenen Umweltschutz** richten. Unter medienbezogenem Umweltschutz sind Aspekte der **Luftreinhaltung**, des **Gewässerschutzes**, der **Kreislaufwirtschaft** und des **Bodenschutzes** zu verstehen.

Die nachfolgenden Umweltaspekte im Zusammenhang mit dem Werkstoff zeigen, dass das Potential für weitere Verbesserungen der Herstellungsbedingungen weitgehend ausgeschöpft ist. Dies gilt um so mehr, als dass die Herstellung, wie noch darzulegen ist, hinsichtlich des Lebensweges von Werkstoffen und Erzeugnissen zumindest keine dominierende Rolle mehr spielt.

Ein weit größerer Beitrag als mit der weiteren ökologischen Optimierung der Stahlherstellung kann durch eine Verbesserung der Umwelteigenschaften von Stahlerzeugnissen bei der Nutzung und dem Recycling erreicht werden.

2.1 Stoffeigenschaften

Aspekte, die im Zusammenhang mit einer umweltgerechten Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen von Bedeutung sind, ergeben sich bei den Stoffeigenschaften von Eisen- und Stahlwerkstoffen über die Ressourcenschonung:

- Verfügbarkeit der Rohstoffe und Umwelteinwirkungen durch die Rohstoffgewinnung
 - Wiederverwertbarkeit der genutzten Stahlerzeugnisse
 - Haltbarkeit / Korrosionsbeständigkeit der genutzten Stahlerzeugnisse
- Das Element Eisen ist mit rd. 5,6 % in der Erdkruste enthalten⁽⁸⁾. Es ist damit nach Aluminium das am häufigsten vorkommende Metall. Die Erzreserven werden weltweit auf über 115 Milliarden Tonnen Erz geschätzt⁽⁹⁾.

Bei Kohle als weiterem mengenmäßig wichtigstem Energieträger zur Primärstahlerzeugung ist gleichfalls die Verfügbarkeit von Bedeutung. Die gewinnbaren Weltvorräte von Kohle sind weit höher als die anderer fossiler Energieträger⁽¹⁰⁾.

Die Berge bzw. beim Tagebau der Abraum stellen kein grundsätzliches Umweltproblem dar, da das Material naturbelassen wieder in den Bergbau bzw. die Mine verfüllt oder auf Bergehalden abgelagert werden kann.

Die zur Stahlerzeugung wesentlichen Rohstoffe sind demnach sowohl unter dem Aspekt der Ressourcenverfügbarkeit als auch des Abfallaufkommens bei der Rohstoffgewinnung nicht kritisch.

- Die Wiederverwertbarkeit von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen ist prinzipiell unbegrenzt und ohne Qualitätseinbußen möglich.
Eine Einschränkung erfährt die qualitätsneutrale Wiederverwertbarkeit, wenn nennenswerte Gehalte an Elementen, die edler als Eisen sind, als Legierungsmittel für höherfeste Stahlsorten oder zur Beschichtung als Weißblech eingesetzt werden. Auf diesen Aspekt wird noch im Zusammenhang mit dem Stahlrecycling eingegangen.
- Die Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit ist für Stahlprodukte das wichtigste Instrument zur Steigerung der Haltbarkeit. Bei Stahlerzeugnissen wird der Korrosionsschutz in der Regel über metallische oder nichtmetallische Überzüge erreicht. Aufgrund der im Vorangegangenen beschriebenen elektrochemischen Eigenschaften des Stahlwerkstoffs eignet sich eine Beschichtung insbesondere mit Zink zum aktiven Korrosionsschutz.

2.2 Ressourceneinsatz

Bereits in der Einführung wurde auf die Bedeutung der Ressourcenschonung unter dem Gesichtspunkt einer „Nachhaltigen Entwicklung“ hingewiesen. Für Stahlerzeugnisse ist diese Fragestellung auch aus dem Grunde prioritär, weil zur Herstellung von Rohstahl eine Vielzahl von Roh- und Hilfsstoffen in großer Menge benötigt werden.

Tabelle 1: Roh- und Hilfsstoffe zur Eisen- und Stahlerzeugung in Deutschland 2000^(1,11)

Rohstahlerzeugung	46,38 Mio. t
Erze	45,19 Mio. t
andere Eisen-Träger	2,73 Mio. t
Schrott	19,40 Mio. t
Kokskohle	7,09 Mio. t
Steinkohle	2,74 Mio. t
Koks, fremd	13,23 Mio. t
Kalkstein und Rohdolomit	5,20 Mio. t
Flüssige Brennstoffe	0,90 Mio. t

Bedeutung zur Verminderung des Einsatzes von Ressourcen hat einerseits die **Minderung des Energieeinsatzes** und andererseits die **optimierte Nutzung von Einsatzstoffen**, die wiederum eine Verminderung des Energieeinsatzes nach sich zieht. Weiterhin ist der Einsatz und die Nutzung von Wasser als weitere Ressource weitgehend zu kontrollieren.

Sowohl bei der Stahlerzeugung in integrierten Hüttenwerken als auch bei der Elektrostahlerzeugung wurde in der Vergangenheit im Wesentlichen durch die nachfolgend beschriebenen Maßnahmen beim Stoff- und Energieeinsatz ein asymptotisch verlaufendes Niveau erreicht.

Wesentliche Verbesserungen sind nur noch durch grundlegende Verfahrensänderungen zu erreichen, die aber z.Zt. großtechnisch nicht erkennbar oder umsetzbar sind. So wird z.B. ein Verfahren zur Eisenerzreduktion auf Erdgasbasis in nur kleintechnischem Maßstab auf Trinidad betrieben.

2.2.1 Energieeinsatz

Die für die Reduktion des Erzes im Hochofen erforderlichen Kohlenstoffträger Kohle und Koks decken zu ca. 90% den Energiebedarf eines integrierten Hüttenwerkes. Einen wesentlichen Beitrag zur Ressourcenschonung liefern die aus den Reduktionsmitteln umgewandelten gasförmigen Koppelenergien. Das Energieverbundsystem eines integrierten Hüttenwerkes ist darauf ausgerichtet, entstehende Koppelenergie zunächst zur Beheizung von Wärmöfen zu nutzen. Darüber hinaus anfallende Gase werden zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt, mit der wiederum der Bedarf des Hüttenwerkes nahezu vollständig gedeckt werden kann.⁽¹²⁾ Jedes Energieverbundsystem ist so

aufgebaut, das Fackelverluste möglichst vermieden werden und jeder Verbraucher den für seinen Verwendungszweck geeigneten Brennstoff erhält⁽¹³⁾.

Die Struktur des Energiemanagements in einem integrierten Hüttenwerk zeigt **Abbildung 3**.

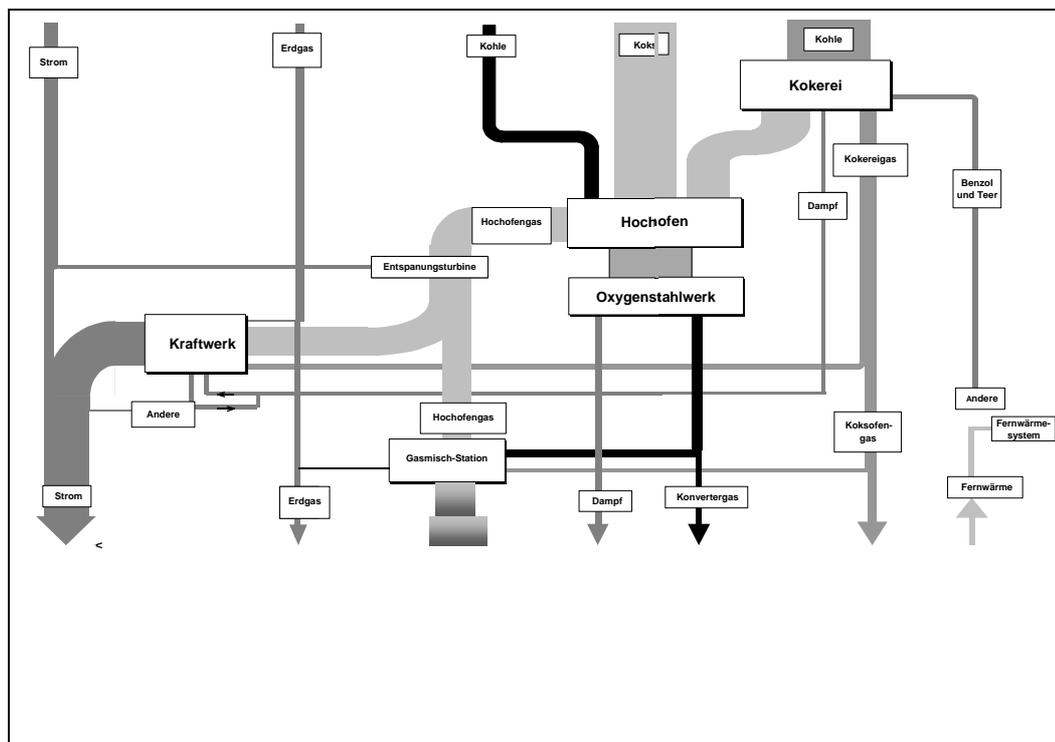


Abbildung 3: Energiestruktur eines integrierten Hüttenwerkes⁽¹³⁾

Hierzu wurden in der Vergangenheit eine Reihe von Einzelmaßnahmen wie nachfolgend beschrieben durchgeführt.^(14,15)

Sinteranlage

Die thermische Aufbereitung feinkörniger Erze und Konzentrate im Sinterprozess trägt hauptsächlich zur Minimierung des Reduktionsmittelverbrauchs im Hochofen bei. Beim Sinterprozess wurden in der Zeitspanne von 1970 bis heute bereits die bedeutendsten Energieeinsparungen erreicht. So wurde der mittlere Brennstoffbedarf deutscher Sinteranlagen von 2,6 GJ/t Sinter im Jahre 1970 auf 1,5 GJ/t Sinter im Jahre 1998 gesenkt.⁽¹⁶⁾

Hochöfen

Abbildung 4 zeigt den Reduktionsmittelbedarf an den deutschen Hochöfen in den letzten 30 Jahren. Dieser wurde von 850 kg/t Roheisen im Jahre 1960 auf heute unter 500 kg/t Roheisen gesenkt⁽¹³⁾. Ermöglicht wurden die Maßnahmen durch eine Konzentration auf wenige und leistungsfähige Anlagen. Im Jahr 1960 wurden in Deutschland noch 120 Hochöfen mit einer mittleren Leistung von 150.000 t Roheisen/Jahr betrieben⁽¹⁷⁾. 1999 wurden in Deutschland nur noch 16 Hochöfen betrieben. Diese hatten aber eine mittlere Leistung von 1,75 Mio. t Roheisen/Jahr⁽¹⁴⁾. Davon wurden 14 Hochöfen mit Gegendruck an der Gicht betrieben, eine Technologie, die nur bei modernen Hochöfen möglich ist.

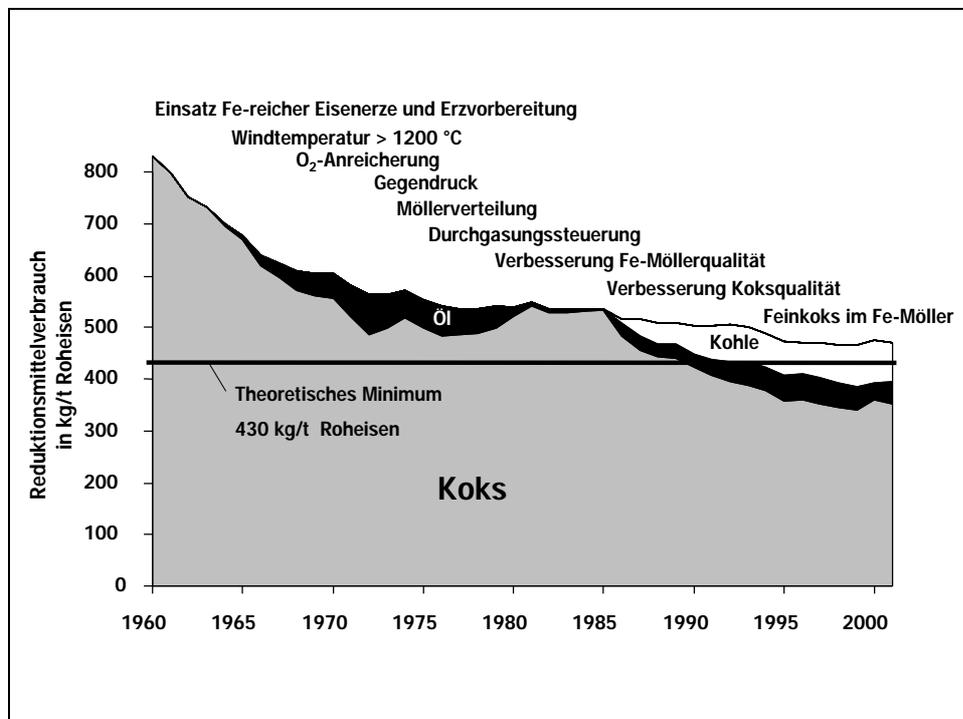


Abbildung 4: Maßnahmen zur Senkung des Verbrauchs an Reduktionsmitteln in der deutschen Stahlindustrie⁽¹³⁾

Oxygenstahlwerke

Das zur Stahlerzeugung angewandte Verfahren ist kennzeichnend für die Effektivität der Produktion. In Deutschland wurde der letzte Thomas-Stahl-Konverter 1966 abgestochen. Die Anwendung des Siemens-Martin-Verfahren wurde 1982 eingestellt. Dies gilt für die alten Bundesländer. In den neuen Bundesländern wurde das Siemens-Martin-Verfahren endgültig 1993 aufgegeben. Seitdem wird in Deutschland die Primärstahlerzeugung ausschließlich über die energetisch effizientere Oxygenstahlroute

betrieben, während z.B. in den Ländern der ehem. UdSSR zu Anfang der 1990er Jahre noch über 50% der Rohstahlerzeugung als Siemens-Martin-Stahl hergestellt wurde.⁽¹⁵⁾

Die letzte für den Umweltschutz bedeutsame Entwicklungsstufe beim Oxygenstahlverfahren ist die kombinierte Trockenentstaubung und Rückgewinnung von Konvertergas, die es ermöglicht, 0,7 GJ/t Rohstahl gereinigtes Konvertergas zu nutzen und zugleich abgeschiedene Filterstäube als Schrott- oder Kühlerersatz in den Prozess zurückzuführen.

Elektrostahlwerke

In der Vergangenheit wurden eine Reihe von Maßnahmen zur Leistungssteigerung und Verbesserung der Energieausbeute ergriffen. Hierzu zählt beispielhaft das zusätzliche Sauerstoffeinblasen, die Einführung von Ultra High Power (UHP) -Öfen oder die Schrottvorwärmung.⁽¹⁸⁾ Weitere Maßnahmen waren die

- Verlagerung der metallurgischen Arbeit in die Sekundärmetallurgie
- Verbesserte Schmelzleistung
- Verbesserung des Abstichs
- Einführung von Öl-Sauerstoff-Brennern
- Rechnersteuerung
- Schaumslagenerzeugung

Abbildung 5 zeigt die Entwicklung des elektrischen Energieverbrauchs, der Schmelzdauer und des Elektrodenverbrauchs. Es ist zu erkennen, dass alle drei Kenngrößen stetig seit Mitte der 1960er Jahre zurückgingen.

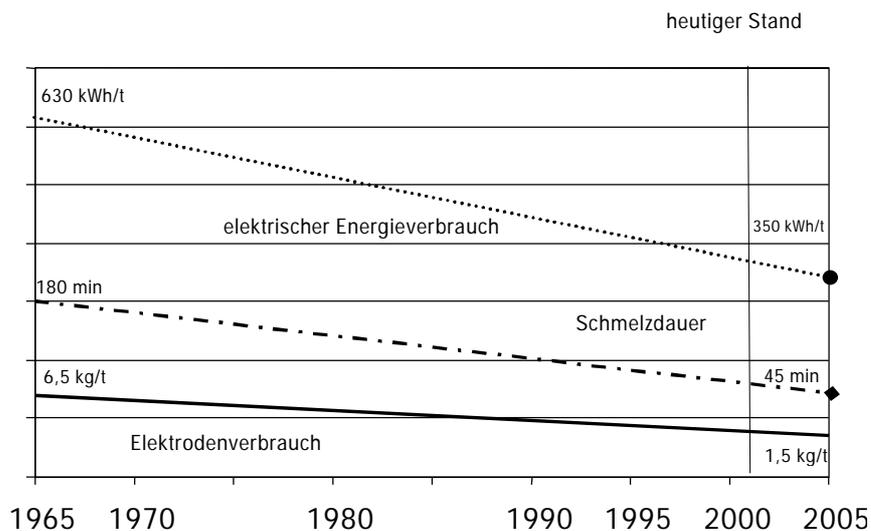


Abbildung 5: Entwicklung der Stahlerzeugung im Elektrolichtbogenofen⁽¹⁸⁾

2.2.2 Ausbringen

Das Ausbringen ist sowohl unter rohstofflichen als auch energetischen Aspekten zu berücksichtigen. Ein erheblicher Anteil des Stoffaufwandes zur Roheisen- und Stahlherstellung, verbunden mit entsprechenden Energieaufwendungen, verbleibt in internen Stoffkreisläufen. Eine Schlüsselstellung bei der Verbesserung des Ausbringens nimmt die Schnittstelle zwischen Flüssigphase und Warmumformung ein. Wie in **Abbildung 6** erkennbar ist, wurden bei den gegebenen Stahlerzeugungsverfahren bis 1970 je Tonne Kaltfeinblech 1,45 Tonnen Roheisen und Schrott eingesetzt. Mit zunehmender Einführung der Stranggießtechnologie hat sich der Einsatz metallischer Stoffe bereits auf 1,27 Tonnen je Tonne Kaltfeinblech verringert. Mit der Einführung der **Gieß-Walz-Technologie** ist eine weitere Verbesserung des Einsatzes metallischer Stoffe auf 1,12 Tonnen je Tonne Kaltfeinblech zu erwarten⁽¹⁹⁾.

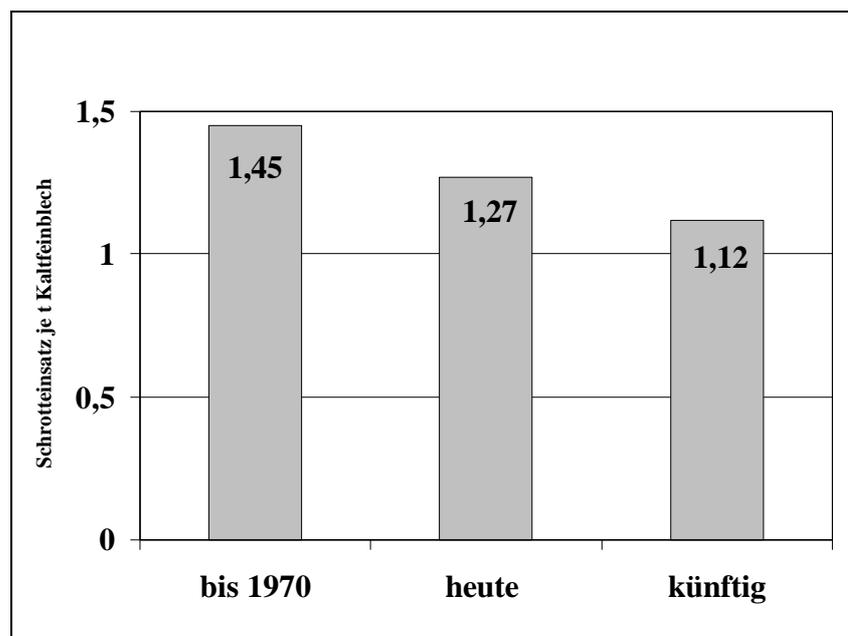


Abbildung 6: Einsatz von Roheisen und Schrott je Tonne Kaltfeinblech⁽¹⁹⁾

Zu den Faktoren zur Verbesserung des Ausbringens zählt bei der Gieß-Walz-Technologie der Entfall der Vorumformung des Warmwalzens und der Entfall der Zwischenwärmstufe. Der Entfall dieser Schritte hat auch bedeutende Auswirkungen auf den Gesamt-Energiebedarf. Er verringert sich, bezogen auf die Warmbandherzeugung, um 8%. Der Gesamtenergieverbrauch in konventionellen integrierten Hüttenwerken beträgt 16 GJ/t Warmband.⁽⁶⁾

2.2.3 Wassereinsatz und Wasserverbrauch

Eine Schonung der Wasserressource ist aufgrund des relativ hohen Mengenbedarfs bei der Eisen- und Stahlerzeugung zwingend. In der eisenschaffenden Industrie ist im Mittel eine Wassermenge von 155 m³/t Rohstahl erforderlich. Diese Wassermenge dient hauptsächlich zu Kühlzwecken in der Vielzahl von thermischen Prozessen. Der Wasserbedarf entspricht bei einem Hüttenwerk mit einer Leistung von 10 Mio. t Rohstahl pro Jahr dem jährlichen Wasserverbrauch der Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg zusammen⁽²⁰⁾.

Durch eine Strategie zur internen Kreislaufwassernutzung kann die Wasserentnahme einschließlich des Kühlwasserbedarfs bei der Verstromung von Koppelenergieträgern in der deutschen Stahlindustrie auf 30 m³/t Rohstahl begrenzt werden.⁽²¹⁾

Abbildung 7 zeigt ein Beispiel einer Kaskadennutzung von Betriebswasser in einem integrierten Hüttenwerk. Aufbereitetes Kühlwasser wird in der zweiten Kaskade als Prozesswasser, z.B. für die Hochofengaswäsche, eingesetzt. In einer weiteren Kaskade kann dieses Wasser z.B. noch für die Schlackengranulation genutzt werden, bevor ein geringer Teil nach der Kreislaufführung als Abwasser einer Kläranlage zugeleitet wird.

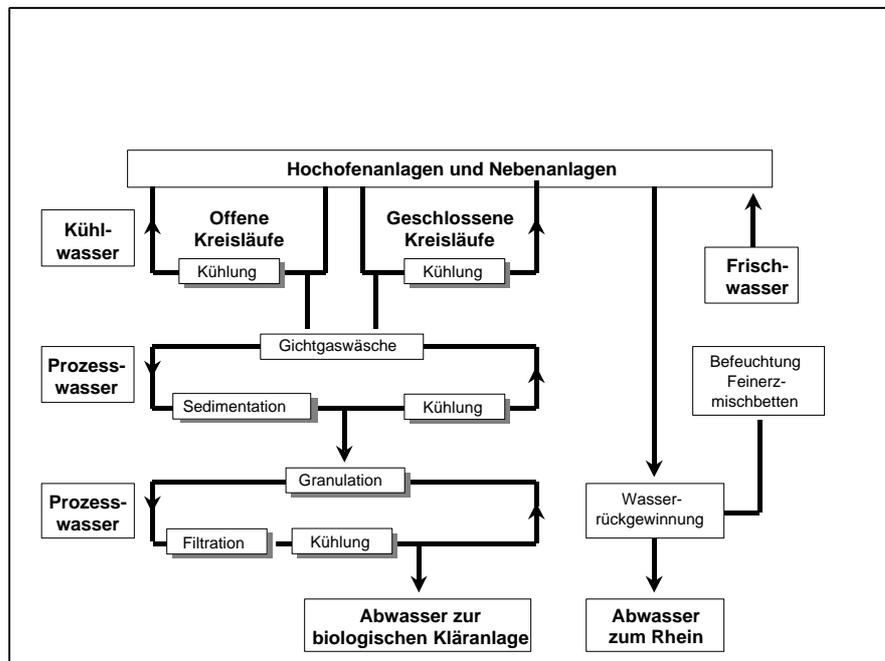


Abbildung 7: Wasserwirtschaft am Beispiel der ThyssenKrupp Stahl AG⁽²¹⁾

Bei der ThyssenKrupp Stahl AG konnte durch eine konsequente Kreislaufführung und Kaskadennutzung eine interne Wassernutzung von 97% erreicht werden. Je Tonne

Rohstahl wird hier 2,7 m³ Wasser benötigt. Das technische und wirtschaftliche Minimum erscheint damit erreicht.

2.3 Umweltgerechte Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen

Die wesentlichsten Umwelteinwirkungen bei der Roheisen- und Stahlerzeugung sind auf die Freisetzung von Staub in die Luft zurückzuführen. Die zentrale Aufgabe des Umweltschutzes hinsichtlich der umweltgerechten Herstellung war in der Vergangenheit auf die **Minderung der Staubemissionen** ausgerichtet⁽¹⁾.

Abbildung 8 zeigt am Beispiel eines integrierten Hüttenwerkes die Entwicklung der spezifischen Staubemissionen seit Mitte der 1970er Jahre. In der Zeit wurden die Emissionen dieses Stoffs um über 95% gesenkt.

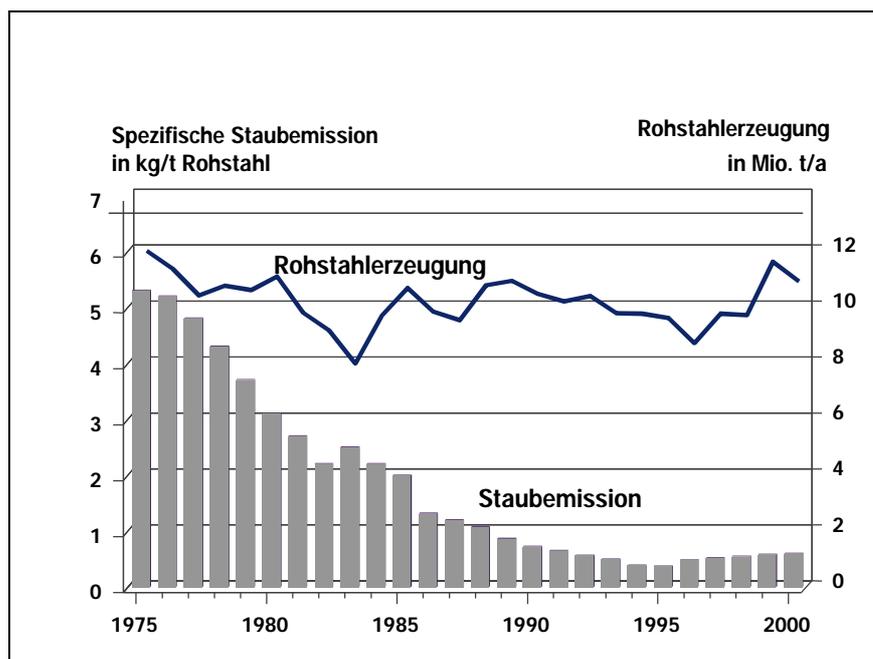


Abbildung 8: Rohstahlproduktion und Staubemission bei der ThyssenKrupp Stahl AG⁽¹⁾

Ursächlich für den Rückgang war nach dem Auslaufen des Siemens-Martin-Verfahrens die konsequente Entstaubung der **Sekundärquellen**, aber insbesondere die Ausrüstung aller dauerhaft betriebenen Hochöfen mit Gießhallenentstaubungen und die Stilllegung mehrerer kleiner Sinteranlagen und Hochöfen sowie die Optimierung der **Primär- und Sekundärentstaubungen** der Oxygenstahlwerke.⁽¹⁾

Damit ist für die Luftreinhaltung das Potential der technologischen und wirtschaftlichen Entwicklung ausgeschöpft. Verbleibende Emissionsquellen sind überwiegend nicht fassbar und lassen sich daher kaum einer effektiven Minderung unterziehen.

Hinsichtlich der **Umweltrelevanz** ist bei Staubemissionen von einer lokalen Bedeutung auszugehen. Hier wird sich durch die zukünftige Entwicklung im Umweltrecht weiterer Handlungsbedarf ergeben. Im Sinne eines **produktbezogenen Umweltschutzes** erscheint dieser Aspekt jedoch als weniger prioritär.

2.4 Nutzung von Nebenerzeugnissen sowie Vermeidung und Verwertung von Abfällen

2.4.1 Nebenerzeugnisse

Metallurgische Schlacken fallen bei der Roheisenerzeugung im Hochofen und bei der Stahlerzeugung im Oxygenstahlwerk oder Elektrostahlwerk an. Die metallurgischen Schlacken stellen die Hauptmenge der gesamten Entfallstoffmenge^(c) dar. Aufgrund ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften eignen sich Schlacken aus der Eisen- und Stahlerzeugung als Baustoff. So haben auch im Gegensatz zu den übrigen Abfällen der Eisen- und Stahlerzeugung die metallurgischen Schlacken einen Produktcharakter und sind nicht als Abfälle einzustufen, da sie entsprechend der Nutzungsanforderungen hergestellt und aufbereitet werden sowie einer Qualitätssicherung gemäß staatlich anerkannter Qualitätsanforderungen unterliegen.

In **Abbildung 9** ist die Erzeugung und der Einsatz von metallurgischen Schlacken am Beispiel der ThyssenKrupp Stahl AG dargestellt¹⁾. Es ist erkennbar, dass für Hochofenschlacke die Verwendung in der Zementindustrie den Hauptanteil darstellt. Ein weiterer wesentlicher Anteil geht in den Straßenbau. Für Stahlwerksschlacken sind der Straßenbau, der Tiefbau sowie die Düngemittelproduktion die Hauptanwendungsbereiche.

^c Der Begriff „Entfallstoff“ wurde zur Abgrenzung zum Abfallbegriff gewählt

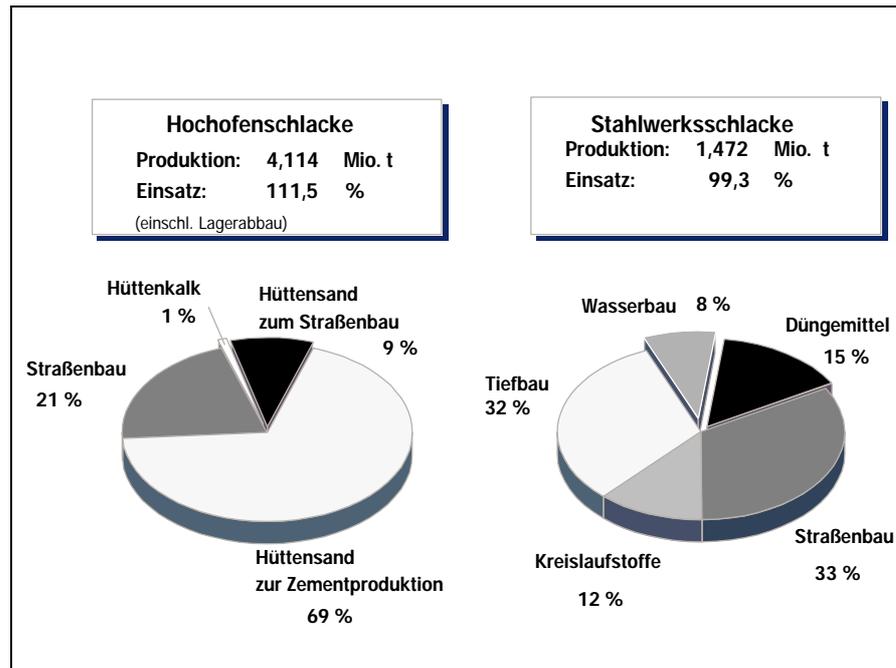


Abbildung 9: Erzeugung und Einsatz metallurgischer Schlacken⁽¹⁾

Die Nutzung von Schlacken aus der Eisen- und Stahlerzeugung entspricht außerdem dem Nachhaltigkeitsgedanken, da sie Primärressourcen schont und CO₂-Emissionen vermeidet. Handlungsbedarf hinsichtlich einer Verbesserung der bestehenden Strategie oder unter dem Gesichtspunkt einer ganzheitlichen Betrachtung des gesamten Lebensweges von Stahlerzeugnissen ist nicht gegeben.

2.4.2 Abfälle

In der Eisen- und Stahlindustrie fallen bei der Stahlerzeugung zwangsläufig eine Vielzahl von Abfällen an, wobei deren vollständige Vermeidung technologisch und wirtschaftlich nicht darstellbar ist. Die Strategie bei der Vermeidung und Verwertung von Abfällen richtet sich aus diesem Grund zunächst an die Verminderung.

Als wichtigste Stoffe fallen an:

- Stäube und Schlämme aus Anlagen zur Luftreinhaltung
- Zunder und Walzzunderschlamm
- Beizabfälle

Eine Reihe von Maßnahmen führten dazu, dass sich die Recyclingrate in der Eisen- und Stahlindustrie auf einen Wert um 95% stabilisiert hat (**Abbildung 10**).

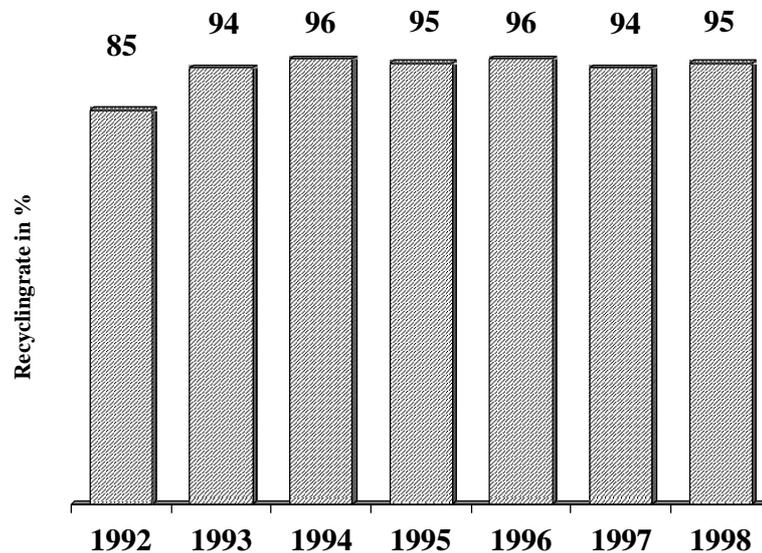


Abbildung 10: Recyclingrate von Abfällen der ThyssenKrupp Stahl AG⁽²²⁾

Als zukünftige Perspektive leistet insbesondere die Fortentwicklung des Schachtofens als integriertes Recyclingaggregat einen wichtigen Beitrag zur Ressourcenschonung und Abfallvermeidung. Eine Weiterentwicklung der Strategie zur Abfallvermeidung ist künftig nur noch in kleinen Schritten möglich, das Potential ist aber bei einer erreichten Recyclingrate von über 95% als gering einzuschätzen.

2.5 Langlebigkeit

Bei der Wahl eines korrosionshemmenden Überzugs für Stahloberflächen eignet sich aufgrund seiner metallurgischen Eigenschaften besonders die Beschichtung mit Zink. Es weist gegenüber Eisen ein geringeres elektrochemisches Potential auf und wirkt als Opferanode. Im Falle einer mechanischen Beschädigung der Oberfläche bildet sich ein Lokalelement, bei dem das unedlere Element aufgezehrt wird.

Der Trend geht im Flachstahlbereich immer stärker zu langlebigen Erzeugnissen. Wie aus **Abbildung 11** erkennbar ist, hat die Bedeutung von **oberflächenveredelten Erzeugnissen (OV)** für Flachstahlerzeugnisse in der Vergangenheit weiter zugenommen. Der Anteil der unbeschichteten Bleche ging im gleichen Zeitraum zurück. Heute wird in Europa bereits der überwiegende Anteil von Flachstahlerzeugnissen oberflächenveredelt verkauft. So ist inzwischen auch das Ende des Lebensweges für Automobile nicht mehr durch die Haltbarkeit der Stahlbleche bestimmt.

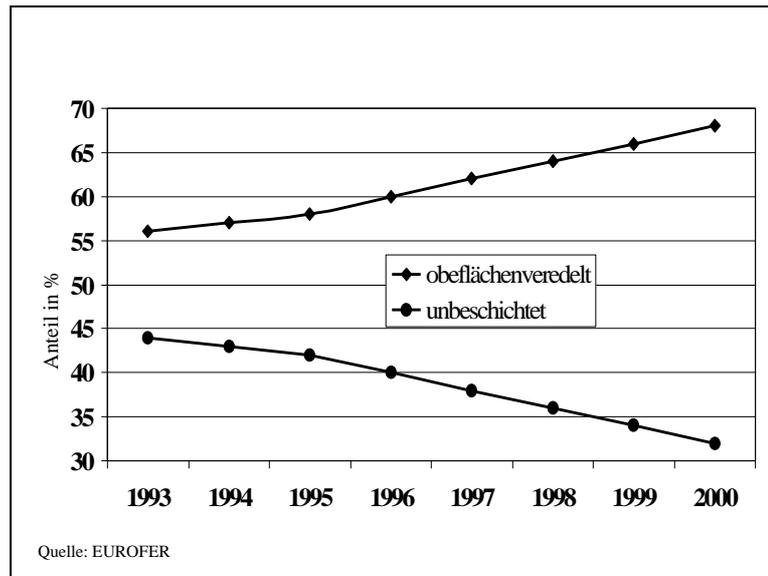


Abbildung 11: Entwicklung von oberflächenveredelten Stahlerzeugnissen in Europa⁽²³⁾

Innerhalb der Gruppe der OV-Erzeugnisse hat der Anteil der feuerverzinkten Stahlerzeugnisse überproportional zugenommen. Dies zeigt auch **Abbildung 12**. Gründe liegen in der guten Lackierbarkeit insbesondere von **Außenhautteilen** für die Automobilindustrie.

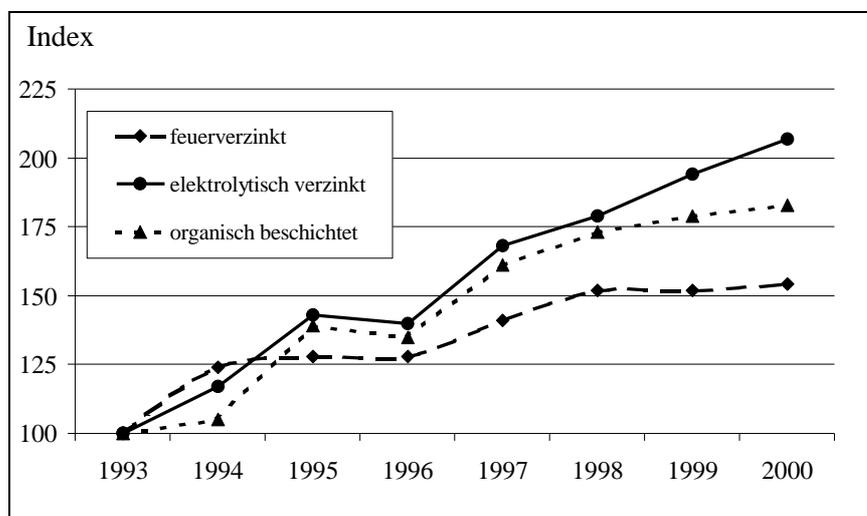


Abbildung 12: Erzeugung oberflächenveredelter Stahlerzeugnisse in Europa⁽²³⁾

2.6 Umweltaspekte der nachfolgenden Stufen

Umweltaspekte der nachfolgenden Stufen sind

- Minderung der Masse von Erzeugnissen und eine ressourcenschonende Nutzung
- Reparaturfähigkeit
- Demontage- und Recyclingfähigkeit⁽⁷⁾

Mit den genannten Aspekten ist eine effektivere Verbesserung der Umwelteigenschaften verbunden als bei der Herstellung. Eine umweltgerechte Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen sollte sich aus diesem Grunde auf die Einflüsse der **Nutzung** und des **Recyclings** konzentrieren.

Entwicklungen zur Verbesserung der Nutzungseigenschaften wurden in der Vergangenheit bereits durch das internationale Projekt Ultra Light Steel Body (ULSAB) und seine Folgeprojekte beschrieben. In **Abbildung 13** ist eine im ULSAB-Projekt entwickelte Leichtbaukarosserie unter Verwendung von höherfesten Stählen gezeigt. Bei einer Festigkeitssteigerung um 80% ist hier eine Verminderung der Masse um 25% möglich.

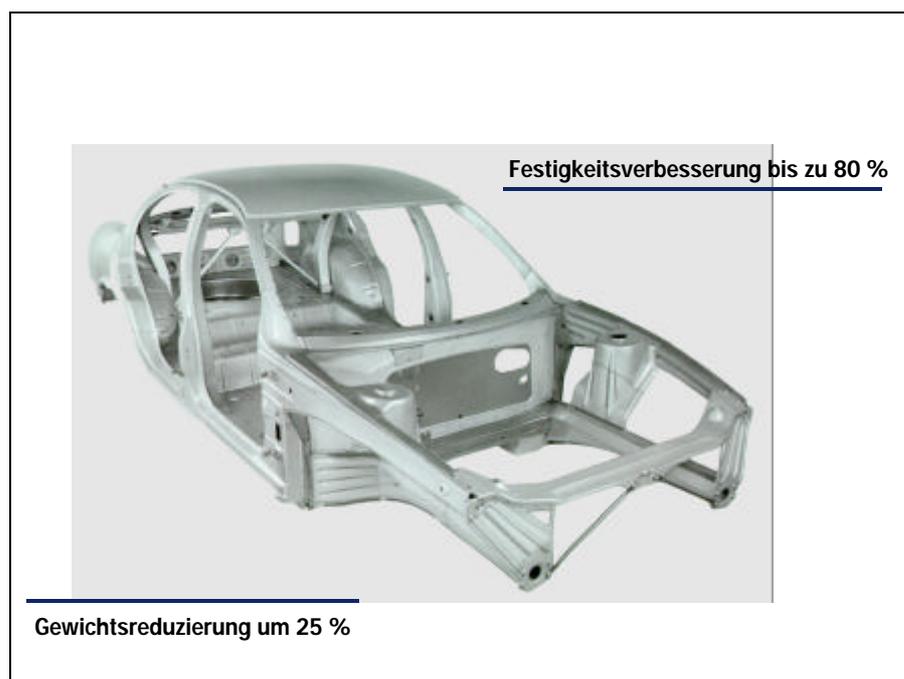


Abbildung 13: Ultralight Steel Body Project (ULSAB)⁽¹⁾

Das ULSAB-Projekt sowie dessen Nachfolgeprojekte wurden überwiegend unter dem Gesichtspunkt der Minderung der Masse betrachtet und weiterentwickelt. Die hiermit verbundene Verbesserung der Umwelteigenschaften wurde bislang nicht untersucht. Des Weiteren fehlt in diesem Projekt bislang noch der integrative Ansatz, der auch die ökologischen, technologischen und wirtschaftlichen Auswirkungen anderer Umweltaspekte, hier insbesondere dem Recycling, beinhaltet.

3. Politischer und rechtlicher Rahmen einer umweltgerechten Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen

3.1 Einführung

Bei der Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen ist der Erzeuger nicht frei in seiner Entscheidung. Während der Erzeuger in der Vergangenheit vorwiegend umweltrechtliche Vorschriften zu berücksichtigen hatte, die die Hersteller selbst betrafen, gewinnen zunehmend produktbezogene Regelungen und Rechtsvorschriften auf nationaler und europäischer Ebene an Bedeutung. Dies hat zur Folge, dass bereits bei der Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen Aspekte des Umweltschutzes zu berücksichtigen sind, die spätere Abschnitte des Lebensweges betreffen.

Anforderungen an eine umweltgerechte Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen können auch über Anforderungen an das Image beeinflusst werden, wenn durch als umweltfreundlich angesehene Erzeugnisse rechtliche Regelungen gestützt werden können oder für weniger umweltverträgliche Erzeugnisse der Marktzugang erschwert oder verhindert werden kann.

Produktbezogene Regelungen mit Relevanz für Stahlwerkstoffe und Stahlerzeugnisse sind die deutsche **Altautoverordnung**²⁴⁾ und die EU-**Altautorichtlinie**²⁵⁾, die deutsche **Verpackungsverordnung**²⁶⁾ sowie die EU-Richtlinie zur umweltgerechten Gestaltung **von Elektro- und Elektronikprodukten**³⁷⁾.

Vergleichbare Regelungen mit Bezug auf Stahlerzeugnisse für den Stahlbau bestehen derzeit nicht. Allerdings befindet sich bei Behörden die Einbeziehung von Umweltaspekten in Richtlinien für das öffentliche Beschaffungswesen in der Diskussion.

3.2 Altautoverordnung in Deutschland (1997)²⁴⁾

In dieser Verordnung werden zunächst Anforderungen zum Umweltschutz an die Annahmestellen von Altautos (Schrottplätze) gestellt. Außerdem wird die Entnahme von Betriebsflüssigkeiten sowie der Batterien aus Altautos vorgeschrieben.

Bei Shredderanlagen werden für das Jahr 2002 und 2015 Recycling-Zielwerte vorgegeben. Demnach sollen bis 2002 nicht mehr als 15 Masse-% des Altautos als Abfall beseitigt werden. Bis 2015 soll dieser Anteil auf höchstens 5 Masse-% verringert werden. Die Altautoverordnung lässt von diesem Ziel Ausnahmen zu, wenn durch „andere geeignete Maßnahmen ... das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird“⁽²⁴⁾.

Die Altautoverordnung wirft für die Recyclingwirtschaft erhebliche Probleme auf, da das Recycling der im Automobilbau zunehmend eingesetzten **Kunststoffe** nicht hinreichend gesichert ist. Auf diesen Aspekt wird noch in Kapitel 5 *Umweltgerechte Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen aus Sicht der Anwender* eingegangen.

Zur Flexibilisierung des Recyclingzieles hat der Verband der Automobilindustrie (VDA) bereits im Februar 1996 als „andere geeignete Maßnahme“ eine freiwillige Selbstverpflichtung zur umweltgerechten Altautoverwertung gemeinsam mit dem Bundesverband der Deutschen Stahl-Recycling-Wirtschaft (BDS) und der Wirtschaftsvereinigung Stahl (WV Stahl) abgegeben. Das Ziel dieser Zusage betrifft die Förderung der **recyclinggerechten Konstruktion**, aber auch die Entwicklung von Verwertungsmöglichkeiten für Stoffe aus der Shredderleichtfraktion.

Die Selbstverpflichtung der Eisen- und Stahlindustrie beinhaltet in diesem Zusammenhang die Rücknahme von Stahlschrott. Da aber die Altautoverwertung in der Regel über das Shredderverfahren erfolgt, ist die Schrottwirtschaft auch von der Verwertungsproblematik der **Shredderleichtfraktion** betroffen. Bis Mitte der 1990er Jahre bestand eine enge wirtschaftliche Anbindung der Schrottwirtschaft zu Unternehmen der Eisen- und Stahlindustrie. Aus diesem Grunde hatten verschiedene Stahlunternehmen in Deutschland Versuche zur stofflichen Verwertung dieser Shredderrückstände im Hochofen unternommen. Der wirtschaftliche Vorteil des Einsatzes von Shredderrückständen wurde dem Risiko einer Störung des Hochofengangs gegenübergestellt. Die Mehrheit der deutschen Stahlunternehmen hat daraufhin wegen des Risikos die Strategie wieder aufgegeben.

Parallel dazu fand eine Entkopplung der Unternehmen der Schrottwirtschaft von den Unternehmen der Eisen- und Stahlindustrie statt, wodurch in der Stahlindustrie kein weiteres marktwirtschaftliches Erfordernis zur Verwertung stahlfremder Stoffe in Hüttenanlagen mehr bestand.

3.3 EU Altautorichtlinie (2000)²⁵⁾

Ziel der Altautorichtlinie ist es, das durch die Altautoentsorgung hervorgerufene Abfallaufkommen zu verringern. Das grundlegende Prinzip besteht hier in einem Vorrang der **Wiederverwendung** der eingesetzten Bauteile und des **werkstofflichen Recyclings** vor der thermischen Nutzung und Verwertung von Abfällen.

Hinsichtlich der umweltgerechten Gestaltung von Produkten sollen die Anforderungen an die Demontage, die Wiederverwendung und das Recycling von Altfahrzeugen und ihren Bestandteilen und Bauteilen bereits bei der Konstruktion und Herstellung von Neufahrzeugen einbezogen werden, um so die Zielvorgaben sicherzustellen.

- Ab 01.01.2006 soll über alle Altautos im Mittel die **Wiederverwendung** und **Verwertung** mindestens 85% pro Jahr bezogen auf eine mittlere Fahrzeugmasse betragen. Davon soll die Rate der Wiederverwendung und des **Recyclings** mindestens 80% betragen. Ab 01.01.2015 sind diese Raten auf 95% bzw. 85% zu erhöhen.
- Werkstoffe und Bauteile, die nach 01. Juli 2003 in Verkehr gebracht werden, dürfen bis auf definierte Ausnahmen kein Blei, Quecksilber, Cadmium oder sechswertiges Chrom enthalten. Für Stahlwerkstoffe gilt als Ausnahme eine Begrenzung von Blei als Legierungselement auf 0,3 Masse-%.

Wie bereits bei der nationalen Altautoverordnung, ist die Zielrichtung dieser Richtlinie hauptsächlich die Vermeidung und Verwertung von Shredderrückständen. Im Unterschied zur nationalen Verordnung besteht hier keine Möglichkeit, durch eine freiwillige Vereinbarung Ausnahmen von den Recyclingzielen herbeizuführen. Wie später in Kapitel 5 *Umweltgerechte Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen aus der Sicht der Anwender* dargelegt wird, ist das Ziel für die Automobilindustrie sehr anspruchsvoll und bei der Problematik der Shredderrückstände auch kostenintensiv.

Neben dieser Problematik werden sich aber durch diese Richtlinie auch neue Anforderungen und Impulse an die umweltgerechte Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen für die Automobilindustrie ergeben. Für Stahlwerkstoffe und Stahlerzeugnisse können sich die Ziele dieser Richtlinie als vorteilhaft zumindest gegenüber nichtmetallischer Konkurrenzwerkstoffe erweisen. Gegenüber Aluminium als dem

wichtigstem Konkurrenzwerkstoff von Stahl ist aber allein der Recyclingaspekt für eine Marktpositionierung nicht ausreichend, wie gleichfalls in Kapitel 5 noch diskutiert wird.

Mit der Begrenzung von Stoffen enthält die Richtlinie eine weitere Komponente. Es soll vermieden werden, dass bestimmte von der EU als umweltgefährdend definierte Stoffe am Ende des Lebensdauer von Automobilen bei der Entsorgung oder beim Recycling freigesetzt werden. Begrenzt werden **Blei, Quecksilber, Cadmium** und sechswertiges **Chrom**. Damit enthält die Richtlinie eine weitere Anforderung an die umweltgerechte Gestaltung von Werkstoffen und Produkten, die aber in der Regel für Stahlwerkstoffe als unbedenklich anzusehen ist. Zwar haben bestimmte Automatenstähle höhere Bleigehalte, bei der Einhaltung des von der Richtlinie geforderten Grenzwertes ist aber die Summe der im Altauoto eingesetzten Stahlwerkstoffe anzusetzen. Damit dürfte der Wert in der Regel sicher einhaltbar sein. Auch die Begrenzung von Cr^{VI} auf 2 g/Fahrzeug ist für Stahlerzeugnisse unbedenklich. Durch Chromatierverfahren werden nach eigenen Schätzungen allenfalls 0,002 g/Fahrzeug eingebracht.

Die Begrenzung bestimmter Stoffe ist aber für die umweltgerechte Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen insofern von Bedeutung, als die europäischen Automobilhersteller bereits heute von ihren Zulieferern und somit auch von den Stahlunternehmen Informationen über die eingesetzten Werkstoffe und Erzeugnisse fordern, die in eine internationale Datenbank eingehen und den Automobilherstellern eine **Stoffbilanz** für die aus den Einzelkomponenten hergestellten Autos ermöglichen soll.

3.4 Verpackungsverordnung in Deutschland (1991)⁽²⁶⁾

Eine Betroffenheit von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen durch diese Verordnung ergibt sich mit der Weißblech-Getränkedose.

Inhalt der Verpackungsverordnung ist u.a., dass Einweg-Getränkeverpackungen zunächst grundsätzlich mit einem Pfand zur Rücknahme zu belegen sind. Eine Ausnahme von der Pfandpflicht besteht dann, wenn eine Mehrwegquote von 72% über alle Getränke

- Bier
- Milch
- Wein
- Säfte
- Limonade

bis zu einem Füllvolumen von 1,5 Litern nicht unterschritten wird. Die Einhaltung der Mehrwegquote ist in jährlichen Erhebungen für die genannten Getränkebereiche festzustellen. Im Falle eines Unterschreitens der Mehrwegquote greift die Pfandpflicht für Verpackungen, bei denen der Mehrweganteil des Jahres 1991 von 72% unterschritten ist. Eine Pfandpflicht ist für diejenigen Einweg-Getränkeverpackungen zwingend, die ein Unterschreiten der Mehrwegquote herbeiführen.

Wie **Abbildung 14** zeigt, wurde die Mehrwegquote bei der ersten Erhebung im Jahr 1997 mit 71,33% unterschritten. Die Unterschreitung wurde durch den gestiegenen Einweganteil bei den Getränken Bier und Wein verursacht. Bei Nacherhebungen in den Jahren 1998 bis 2000 wurde ein weiteres Absinken der Gesamt-Mehrwegquote bis 65,46% festgestellt. Das weitere Absinken wurde auch durch Limonade mitbestimmt.

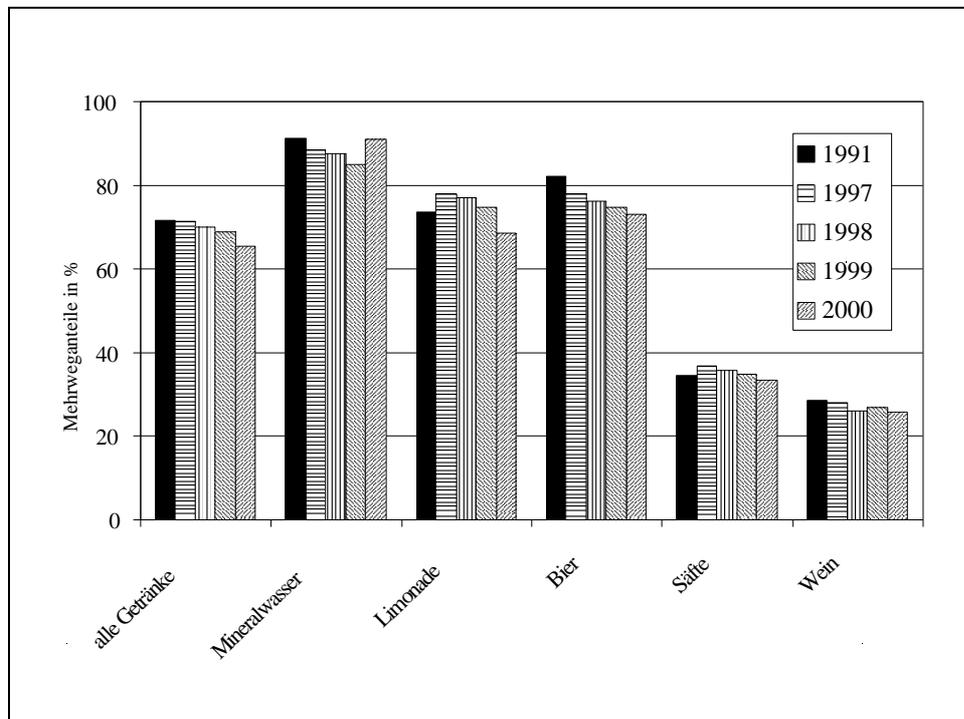


Abbildung 14: Anteil der Abfüllung von Getränken in Mehrwegverpackungen⁽²⁷⁾

Bei Weißblechverpackungen ist so eine Pfandpflicht zwingend für Bierdosen und für Getränkedosen, in die Limonade abgefüllt werden.

Die Verpackungsverordnung führt den Begriff einer „**ökologisch vorteilhaften Verpackung**“ ein, dieser Begriff wird jedoch nicht näher bestimmt. Die Verordnung legt nahe, dass es sich bei ökologisch vorteilhaften Verpackungen grundsätzlich um Mehrwegverpackungen handelt. Eine Zuordnung von Einwegverpackungen als „ökologisch vorteilhaft“ wird durch die Verordnung nicht grundsätzlich ausgeschlossen, jedoch fehlen hierzu hinreichende Kriterien.

Zur Konkretisierung des Begriffs der „ökologisch vorteilhaften Verpackung“ hat das Umweltbundesamt im Jahre 1995 eine vergleichende Ökobilanz von Mehrweg- und Einwegverpackungen veröffentlicht.⁽²⁸⁾ In dieser Studie hat das Umweltbundesamt eine Begründung für die „ökologische Vorteilhaftigkeit“ von Mehrwegverpackungen und die „ökologische Nachteilhaftigkeit“ von Einwegverpackungen vorgelegt, mit der Ausnahme, dass die Verpackung von Milch in Polyethylen-(PE-)Schlauchbeuteln als einer Mehrwegverpackung ökologisch gleichwertig anerkannt wird. Die Studie wurde von der Industrie heftig kritisiert. Von weitreichenderer Bedeutung war die nachfolgend analysierte Fortsetzung der Studie, da hier aus den Ergebnissen rechtliche Folgerungen abgeleitet wurden.

Mit der zweiten Ökobilanz für Getränkeverpackungen des Umweltbundesamtes (UBA-II)⁽²⁹⁾ wurde ein differenzierteres Ergebnis dargestellt, bei dem Einweg-Verbundkartonverpackungen gleichfalls als „ökologisch vorteilhaft“ erkannt wurden.

Für eine detaillierte Beschreibung und Beurteilung von Ökobilanzen wird auf Kapitel 4 *Instrumente zur Beurteilung einer umweltgerechten Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen* verwiesen.

Durch die Interpretation von „ökologisch vorteilhaften“ Verpackungen in Verbindung mit dem Unterschreiten der Mehrwegquote bei einzelnen Getränken ist die gültige Verpackungsverordnung mit zahlreichen inneren Widersprüchen behaftet.

- Mit den Ergebnissen der UBA II-Ökobilanz⁽²⁹⁾ kann die ökologische Vorteilhaftigkeit von Verpackungen nicht mehr ausschließlich auf Mehrweg-Getränkeverpackungen bezogen werden, um so eine grundsätzliche Pfandpflicht für

„ökologisch nachteilhafte“ Getränkeverpackungen abzuleiten. Die Getränke Milch und Säfte wären aufgrund der Ergebnisse der UBA II-Ökobilanz von einer Pfandregelung auszunehmen.

- Für Bier wurde bei der Erhebung der Mehrwegquote eine Unterschreitung des Anteils der Mehrwegverpackungen des Jahres 1991 festgestellt, nicht aber für Limonade. Demnach hätte ohne eine Novellierung der Verpackungsverordnung bis 1999 auf Weißblech- oder Aluminium-Getränkedosen für Bier ein Pfand erhoben werden müssen, nicht jedoch auf Getränkedosen für Limonade, da hier bis 1999 die Mehrwegquote nicht unterschritten wurde.

Zur Bereinigung der beschriebenen Widersprüchlichkeiten sah ein Entwurf einer Novelle der Verpackungsverordnung vor, eine Pfandpflicht nicht mehr in Abhängigkeit von der **Mehrwegquote** vorzusehen. Es sollte nicht länger zwischen Einweg- und Mehrweg-Getränkeverpackungen unterschieden werden, sondern ausschließlich zwischen „ökologisch vorteilhaften“ und „ökologisch nachteiligen“ Getränkeverpackungen. Ein wesentliches Anliegen der Novellierung war damit die Umsetzung der Ergebnisse der **Ökobilanz des Umweltbundesamtes für Getränkeverpackungen**.

In § 3 des Entwurfs der Novelle wurden als „ökologisch vorteilhafte“ Getränkeverpackungen genannt:

- Mehrweg-Getränkeverpackungen
- Getränke-Kartonverpackungen
- Polyethylen-Schlauchbeutel-Getränkeverpackungen

Eine Pfandpflicht sollte für alle Getränkeverpackungen bestehen, die **nicht** „ökologisch vorteilhaft“ sind. In der amtlichen Begründung zur Verordnung war ausdrücklich auf die Ergebnisse der Ökobilanz des Umweltbundesamtes Bezug genommen.

Eine erste Ausnahme konnte auf Veranlassung der Rheinland-Pfälzischen Winzer erreicht werden, die eine Befreiung von der Pfandpflicht auch für Wein durchsetzten und zwar ohne, dass dieses durch eine Ökobilanz begründet wurde und auch begründbar gewesen wäre.

Die Einteilung in „ökologisch vorteilhaft“ und „ökologisch nachteilig“ aufgrund einer Ökobilanz ist auch rechtlich zweifelhaft. Wie noch im Kapitel 4 *Instrumente zur Beurteilung einer umweltgerechten Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen* erläutert, sind die Bewertungskriterien für Ökobilanzen keineswegs eindeutig festgelegt, sondern diese liegen vielmehr im Ermessen der Ersteller von Ökobilanzen. Eine Rechtsverordnung, die sich somit auf subjektive Bewertungsfaktoren begründet, erscheint nicht sachgerecht.

So hat auch Prof. Rehbinder in dem Gutachten „Ökobilanzen als Instrument des Umweltrechts⁽³⁰⁾“, das im Zusammenhang mit dem Entwurf zum **Umweltgesetzbuch** erstellt wurde, Ökobilanzen durchaus als Instrument einer staatlichen Entscheidungsvorbereitung anerkannt. Wegen der nicht eindeutig festgelegten Bewertungskriterien wird aber eine strenge Bindung an gesetzliche Regelungen als problematisch angesehen.

Die Novelle der Verpackungsverordnung hätte hinsichtlich der Pfandregelungen mehr Ausnahmen als Regeln enthalten, wenn zusätzlich zu den bekannten Ausnahmen auch Verpackungen aus Polyethylen-Taftalat (PET) ausgenommen werden sollten. Grundlage hierzu sollte eine weitere und bislang noch nicht erstellte Ökobilanz für diese Verpackungsart bilden. PET wurde bislang noch nicht vom Umweltbundesamt betrachtet, es besteht aber der politische Wille, hier ein Ergebnis anzustreben, das die ökologische Vorteilhaftigkeit feststellt⁽³¹⁾.

Auch durch die Europäische Kommission wird Druck auf den Gesetzgeber ausgeübt, Ausnahmen zumindest für Mineralwasser in PET-Verpackungen zu schaffen. So begründet die Kommission eine Klage gegen die deutsche Mehrwegquote u.a. damit, dass auch aus ökologischer Sicht der Einsatz von Mehrweg über lange Entfernungen nicht als vorteilhafter zu bewerten sei als der Einsatz von Einweg.⁽³²⁾ Aus den vorliegenden Ökobilanzen sei keine ökologische Rechtfertigung der Behinderung des freien Warenverkehrs abzuleiten. Die seit August vorliegende UBA-II-Studie zu Getränkeverpackungen sei in ihrer Aussagekraft zu begrenzt, da sie weder die PET-Einwegverpackungen einbezogen, noch den Entfernungsfaktor im Falle von Mineralwasser angemessen berücksichtigt habe.

Durch die beschriebenen Ausnahmen wurde die vorgeschlagene Novelle der Verpackungsverordnung letztlich zu einer „Dosenpfand-Verordnung“. Es kann

unterstellt werden, dass dies bereits seit Einführung der Verpackungsverordnung von 1991 politische Absicht war. So fand der Begriff „Dosenpfand“ auch Eingang in den Sprachgebrauch von Regierungsmitgliedern.^(33,34) Weitere Belege für eine politische Kampagne gegen die Getränkedose finden sich auf der Internetseite des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Hier werden Verbraucher aufgefordert, Argumente für ein „Dosenpfand“ zusammenzutragen. Es werden auch Verbraucherhinweise zur Vermeidung von Getränkeverpackungen gegeben⁽³⁵⁾. Auch mit Plakaten, wie in **Abbildung 15**, betreibt das Umweltministerium seine Kampagne für die Novelle der Verpackungsverordnung und gegen die Getränkedose.



Abbildung 15: Plakat des Bundes-Umweltministeriums zum Zwangspfand auf Getränkeverpackungen⁽³⁵⁾

Die ökologische Begründung für diese Kampagne wird vom Bundes-Umweltministerium durch die Ökobilanz geliefert. Tatsächlich wird, wie in Kapitel 4 *Instrumente zur Beurteilung einer umweltgerechten Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen* dargestellt, die Ökobilanz im Fall der Verpackungsverordnung nicht als Instrument zur Beurteilung einer umweltgerechten Produktentwicklung angewandt. Vielmehr wird hier das Instrument der Ökobilanz zur Legitimisierung einer vorgefertigten Meinung missbraucht. Diese Entwicklung ist sowohl aus politischer wie aus ökologischer Sicht bedenklich. Wenn sich schon der Staat Eingriffe in bestehende

marktwirtschaftliche Systeme vorbehält, so sollte der Eingriff zweifelsfrei und wissenschaftlich belegbar sein. Die Ergebnisse der vorgelegten Ökobilanzen lassen diese Begründung jedoch nicht erkennen.

Insgesamt zeigte sich, dass Ökobilanzen, die einzig der Rechtfertigung eines politisch und ideologisch vorgeprägten Weltbildes dienen, keinen Anspruch auf eine wissenschaftliche Belastbarkeit haben. Sofern Ökobilanzen zur Vorbereitung oder Absicherung einer politischen Entscheidung dienen sollen, muss die Bilanzbewertung transparent und ergebnisoffen erfolgen.

Der Entwurf der Verordnung wurde in der vorgenannten Form vom Kabinett vorgelegt und durch den Bundestag verabschiedet. Erst im Bundesrat wurde die Verordnung am 13.07.2001 abgelehnt.

Von der Industrie unterbreitete freiwillige Angebote wurden von der Bundesregierung nicht ernsthaft in den Diskussionsprozess einbezogen⁽³⁶⁾. Statt dessen bleibt die Verpackungsverordnung in ihrer ursprünglichen Form bestehen, wodurch ab dem 01.01.2003 ein Zwangspfand auf die vorgenannten Packstoffe erhoben werden muss. Dagegen ist eine Klage des Einzelhandels vor dem Bundesverfassungsgericht noch anhängig, die aber keine aufschiebende Wirkung hat.

Es ist unstrittig, dass die Verpackungsverordnung einer Novellierung bedarf. Solange aber die vornehmliche Intention des BMU allein darin besteht, die Weißblechdose vom Markt zu verdrängen, ist keine konsensfähige und ökologisch sinnvolle Änderung des bestehenden Rechts zu erwarten. Ob dabei tatsächlich der gewünschte Effekt eintritt oder der Einwegsektor sogar noch zunimmt, wie es in Skandinavien zu beobachten ist, bleibt abzuwarten.

3.5 EU-Richtlinie zur umweltgerechten Gestaltung von Elektro- und Elektronikprodukten (Entwurf)⁽³⁷⁾

Die Richtlinie soll für diverse Elektro- und Elektronikgeräte gelten, so auch für elektrische Hausgeräte, wie die „**Weiß Ware**“ Waschmaschinen und Spülmaschinen.

Ziel des Richtlinienvorschlag ist es, einheitliche Anforderungen zur umweltgerechten Gestaltung von Erzeugnissen mit Bezug auf den gesamten Lebensweg zu entwickeln.

Zulieferer von Komponenten von elektrischen oder elektronischen Geräten sollen danach dem Hersteller alle erforderlichen Informationen über Elektro- und Elektronikgeräte zur Verfügung stellen, mit denen dieser die Höhe der ökologischen In- und Outputgrößen von Erzeugnissen erkennen und abschätzen kann. Hier besteht eine Analogie zur Stoffdatenbank in der Altauto-Richtlinie. Es soll auch hier der Eintrag von bestimmten umweltgefährdenden Stoffen am Ende der Lebensdauer von Produkten geregelt werden. So sind auch in diesem Richtlinienentwurf Begrenzungen von Blei, Cadmium, Quecksilber und sechswertigem Chrom in den Produkten vorgesehen.

Bei der Auswahl von angemessenen Werkstoffalternativen sollen bei der Entwicklung Grundsätze zur Ressourcenschonung und zur effizienten Energienutzung sowie die Möglichkeit einer recyclinggerechten Konstruktion berücksichtigt werden und über die gesamte Lebensdauer des Erzeugnisses betrachtet werden. Die Richtlinie zielt aber nicht auf eine Einschränkung des Handlungsspielraums von Herstellern dieser Erzeugnisse ab, vielmehr sollen mit dieser Richtlinie einheitliche Maßstäbe der umweltgerechten Produktentwicklung in den Mitgliedsländern angesetzt werden.

Auch die Elektro- und Elektronikgeräte-Richtlinie kann für Stahlerzeugnisse hinsichtlich der Anforderungen an das Recycling vorteilhaft gegenüber Wettbewerbswerkstoffen sein. Bei dem vorliegenden Entwurf ist aber noch nicht abschließend absehbar, inwieweit für Stahlerzeugnisse mit Oberflächenbeschichtungen, das Segment der „Weißen Ware“, zusätzliche Anforderungen gestellt werden.

3.6 Integrierte Produktpolitik der Europäischen Union

Ein zentrales Element der künftigen Entwicklung des produktbezogenen Umweltschutzes mit Auswirkungen auf die Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen sind die Bestrebungen der Europäischen Union zur Einführung einer integrierten Produktpolitik (IPP). Sie sollen neue Impulse für eine umweltgerechte Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen bewirken. Eine erste Weichenstellung war am 18. März 1992 das Programm der Europäischen Gemeinschaft für die Umweltpolitik und Maßnahmen in Hinblick auf eine dauerhafte und umweltgerechte Entwicklung. Dieses 5. Umweltaktionsprogramm der EU legt im Hinblick auf die

Entwicklung wirksamer marktorientierter und anderer ökonomischer Instrumente besonderes Interesse auf Umweltbilanzen.⁽³⁸⁾

Mit der Definition und Ausgestaltung einer integrierten Produktpolitik sollen bestehende Instrumente des produktbezogenen Umweltschutzes vereint werden. Ziel ist es, die Umwelteinwirkungen von Erzeugnissen über ihren gesamten Lebensweg, also von der Werkstoffherstellung über die Nutzung bis hin zum Recycling, zu vermindern. Im Zentrum einer integrierten Produktpolitik stehen solche Instrumente, die **Herstellung, Nutzung und Entsorgung** wirksam und ganzheitlich beeinflussen können. Unter den hierzu in Frage kommenden Instrumenten haben Ökobilanzen eine herausragende Bedeutung.⁽³⁹⁾ Als prioritäre Ziele einer integrierten Produktpolitik sind in diesem Zusammenhang Aspekte hinsichtlich der Ressourcenschonung, des Klimaschutzes und des Recyclings hervorzuheben.⁽⁴⁰⁾

Zur Vorbereitung eines **Grünbuchs** zur Integrierten Produktpolitik wurde im März 1998 von Ernst & Young gemeinsam mit der Science Policy Research Unit (SPRU) der Universität Sussex und der EU-Generaldirektion Umwelt eine Studie über die integrierte Produktpolitik vorgelegt.⁽⁴⁰⁾

Die integrierte Produktpolitik wird hier als ein Instrument angesehen, das sich zur Vermeidung der Verlagerung von Umweltproblemen auf andere Medien an den gesamten Lebensweg eines Produktes orientiert. Damit unterscheidet sich das Verständnis der Autoren hinsichtlich des integrierten Ansatzes von der Vorgabe der Europäischen Union. „Integriert“ heißt im Sinne der EU eine lebenswegintegrierte Betrachtungsweise, wobei die Umweltmedien weitgehend getrennt voneinander gehalten werden. Ernst & Young interpretieren den Begriff hingegen als medienintegrierend. Dieser Anspruch, den auch zweifellos eine EU-Richtlinie zum Anlagenzulassungsrecht verfolgt, ist praktisch nicht handhabbar, da, wie in Kapitel 4 *Instrumente zur Beurteilung einer umweltgerechten Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen* dargestellt wird, die wissenschaftlichen Begründungen für eine **medienübergreifende** Bewertung weiterhin fehlen.

Die Studie von Ernst & Young wurde im Juni 2000 fortgeführt.⁽⁴¹⁾ Als Ergebnis war festzuhalten, dass bei der Mehrheit der Mitgliedsstaaten bislang noch keine aktive integrierte Produktpolitik verfolgt wird. Einvernehmen bestehe durchaus bei den

Prinzipien, bei der Umsetzung bestünden jedoch Unterschiede. Insgesamt werde von der Europäischen Kommission eine Vorreiterrolle erwartet.

Das Grünbuch der EU-Generaldirektion Umwelt zur integrierten Produktpolitik wurde im Dezember 2000 vorgelegt.⁽⁴²⁾ Aufgrund der vorgenannten Untersuchungen sowie eines Workshops⁽⁴³⁾ ist erkennbar, dass mit dem Ansatz der integrierten Produktpolitik Umweltaspekte einen hohen Stellenwert besonders bei der Gestaltung von Erzeugnissen bekommen. Dem Anspruch nach soll die IPP dabei bestehende Politikbereiche nicht ersetzen, sondern ergänzende Maßnahmen bewirken. Dabei sollen schnelle und einfache Instrumente eingesetzt werden, die eine breite Einflussnahme auf die Gestaltung ermöglichen.

Als mögliche Instrumente werden gesehen:

- **Ökonomische Instrumente**
Für eine Umstellung des Marktes auf umweltfreundlichere Erzeugnisse soll sichergestellt werden, dass die während des Lebensweges anfallenden Umweltkosten in den Produktpreis einbezogen werden. Hierzu sollen die mit einem Erzeugnis verbundenen externen Kosten soweit wie möglich quantifiziert werden. Als eine denkbare Lösung bietet sich nach Auffassung der Autoren das Instrument der differenzierten Besteuerung an.
- **Herstellerverantwortung**
Das Konzept der Herstellerverantwortung besteht darin, Umweltschutzkosten, die nach der Herstellung z.B. für die Entsorgung entstehen, auf die Kosten des Produktes umzulegen. Beispiele hierfür geben die bereits angeführte Altauto-richtlinie und die Elektroschrottrichtlinie.
- **Umweltzeichen**
Die Kommission erwartet eine Ausdehnung des Umweltzeichens auf weitere Erzeugnisse, um Verbrauchern bei der Suche nach umweltfreundlichen Erzeugnissen zu helfen. Dabei ist die bestehende Umweltkennzeichnung, z.B. anhand internationaler Normen, zu überprüfen. Denkbar ist eine Nutzung der

Kriterien des Umweltzeichens auch für andere Bereiche, z.B. für das öffentliche Beschaffungswesen, für Umweltfonds oder für das Benchmarking.

- Öffentliche Beschaffung

Die Kommission strebt an, umweltfreundliche Erzeugnisse im öffentlichen Beschaffungswesen durch eine **verpflichtende Bewertung** der Umweltauswirkungen als Bestandteil von Ökobilanzen zu fördern.

- Produktinformation

Vorhandene Informationen über die Auswirkungen von Produkten sollen über ihren gesamten Lebensweg miteinander verknüpft werden. Ziel ist, dass

- Hersteller das Umweltprofil ihrer Werkstoffe und Erzeugnisse kennen,
- Konstrukteure die Auswirkungen ihrer Werkstoffauswahl über den gesamten Lebensweg prüfen,
- Händler und Verbraucher umweltfreundliche Alternativen erkennen können.

- Neues Konzept (new approach)

Es sollen Möglichkeiten genutzt werden, Rechtsvorschriften im Sinne einer integrierten Produktpolitik zu nutzen, die sich zur Förderung einer umweltgerechten Produktentwicklung anbieten. Als beispielgebende Rechtsvorschriften nennt das Grünbuch die Verpackungsrichtlinie sowie die Altauto- und die Elektroschrott-Richtlinie.

Vor diesem Hintergrund muss sich die Stahlindustrie darauf einstellen, dass bereits bei der Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen Umweltaspekte integrativ zu berücksichtigen sind.

3.7 Schlussfolgerung

Produktbezogene Regelungen und Rechtsvorschriften auf europäischer und nationaler Ebene gewinnen zunehmend an Bedeutung. Zumindest bei den europäischen Richtlinien soll der Ansatz einer Betrachtung über die gesamte Lebensdauer von Erzeugnissen gewählt werden.

Bei den vorliegenden oder im Entwurf befindlichen produktbezogenen Umweltrechtsvorschriften hat hierin das Recycling ein hohes Gewicht. Diesem Umstand ist bei der umweltgerechten Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen Rechnung getragen worden.

Zur Beurteilung von Umweltauswirkungen wird über die integrierte Produktpolitik der EU die Nutzung des Instrumentes der Ökobilanz gefordert. Die Erfahrung mit der Nutzung von Ökobilanzen im Zusammenhang mit der deutschen Verpackungsverordnung zeigte die Gefahr, dass Ergebnisse aus Ökobilanzen nicht nur mangelhaft sind, sondern zudem maßgeblich zur Legitimation eines politisch initiierten Eingriffs in marktwirtschaftliche Strukturen missbraucht werden können. Rechtsvorschriften, die sich in ihrer Bevorzugung oder Benachteiligung von Produkten allein auf Ökobilanzen stützen, sind deshalb an rechtsstaatlichen Grundsätzen zu prüfen.

Trotz der genannten Vorbehalte bietet grundsätzlich das Konzept der Integrierten Produktpolitik der EU eine Chance, durch die integrierte Betrachtung des gesamten Lebensweges für die umweltrelevanten Abschnitte des Produktlebensweges wirksame und angemessene Maßnahmen zu ergreifen.

Wenn sich dann bei einer lebenswegintegrierten Analyse erweist, dass z.B. die ökologische Relevanz der Herstellphase relativ zu den übrigen Lebenswegabschnitten gering ist, so muss sich dies auch in den Rechtsnormen zur Integrierten Produktpolitik angemessen widerspiegeln.

Die Betrachtungsweise des gesamten Lebensweges sollte deshalb in logischer Konsequenz auch bei einer Weiterentwicklung des anlagenbezogenen Umweltrechtes Eingang finden.

4. Instrumente zur Beurteilung einer umweltgerechten Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen

4.1 Einführung

Bei der umweltgerechten Entwicklung haben sich Ökobilanzen als Instrument zur Beurteilung der Umweltrelevanz von Werkstoffen, Erzeugnissen und Systemen besonders in den letzten zehn Jahren etabliert. Der Begriff System beschreibt die **Funktion**, die Erzeugnisse haben, z.B.: Verpackung von Getränken.

Allgemein werden Ökobilanzen zur Analyse bestehender Systeme sowie zum Vergleich konkurrierender Systeme herangezogen. Sie dienen zur Optimierung innerhalb eines Systems und zur Entscheidungshilfe bei der Auswahl von verschiedenen Alternativen.⁽⁴⁴⁾

Ökobilanzen umfassen den gesamten **Lebensweg** oder **Lebenszyklus** von Erzeugnissen oder Systemen von der Rohstoffgewinnung über die Nutzung bis zur Entsorgung am Ende der Lebensdauer oder und zum Recycling (**Abbildung 16**).

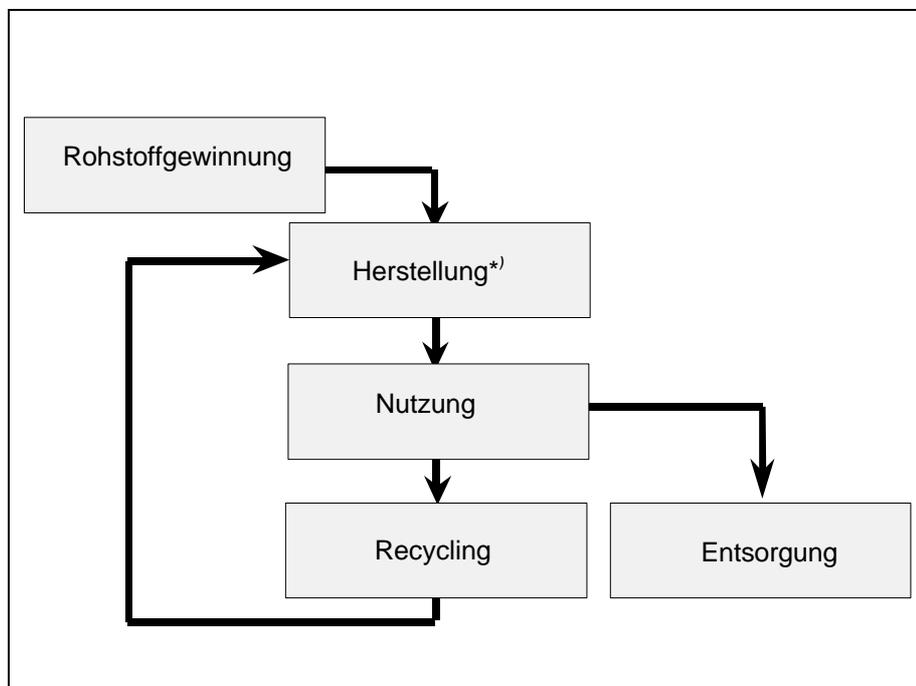


Abbildung 16: Lebensweg von Erzeugnissen

*) beinhaltet: Werkstoffherstellung, Verarbeitung zum Halbzeug, Fertigung zum Bauteil und Zusammenbau mehrerer Bauteile zu einem Produkt

4.2 Erläuterungen zu den Begriffen

Das Verständnis der Ökobilanz entspricht dem im Englischen verwendeten Begriff des Life Cycle Assessment (LCA), der den inhaltlichen Vorstellungen, die mit dem Begriff „Ökobilanz“ verbunden sind, besser gerecht wird. Das bedeutet, dass es sich bei der Ökobilanz um keine ausgewogene Bilanz im kaufmännischen Sinn handelt, vielmehr ist eine Beurteilung der ökologischen Auswirkungen von Erzeugnissen angestrebt. Weiterhin beinhaltet der englische Begriff das Element „Cycle“, der das Verständnis eines Kreislaufs nahelegt. Im Deutschen sollte aber zwischen einem **Lebensweg** und **Lebenszyklus** unterschieden werden.

Der **Lebensweg** führt linear von der Rohstoffgewinnung über die Verarbeitung, Formgebung von Halbzeugen, Fertigung von Bauteilen und dem Zusammenbau zu Produkten zur Nutzung und dem Versagen des Produktes am Ende der Lebensdauer.

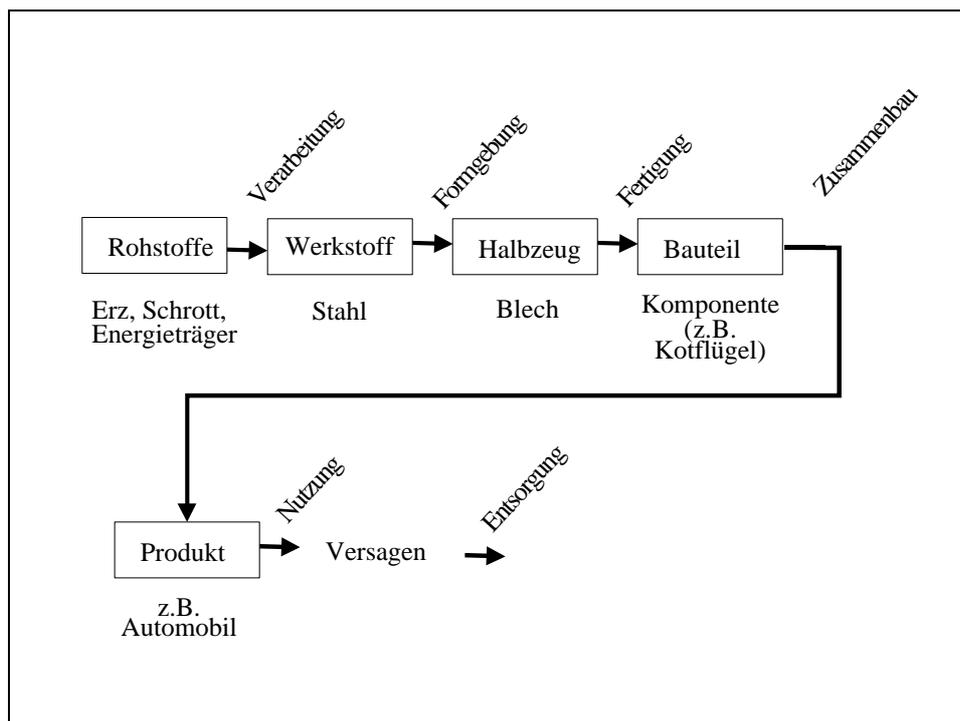


Abbildung 17: Herstellungskette vom Rohstoff zum Produkt (nach ⁴⁵⁾)

Der **Lebenszyklus** schließt zum Unterschied des Lebensweges am Versagenspunkt beim Rohstoff erneut an. Wichtig ist hierbei, dass sich ein Lebenszyklus nicht mehr auf ein einzelnes Produkt beziehen lässt, das eine Herstellung anderer Produkte als das Ausgangsprodukt einschließt.

Vielfach wird bei Ökobilanzen nicht nur die Untersuchung eines einzelnen Erzeugnisses zur Verbesserung des Lebensweges durchgeführt. Es können auch mit Ökobilanzen Aussagen zu Erzeugnissen im Vergleich mit dem Ziel der Auswahl von Alternativen gemacht werden.

Die Diskussion um die Begriffsbestimmung in Ökobilanzen ist mit Verabschiedung der Normen der International Standardisation Organisation (ISO) ISO 14040 bis ISO 14043 weitgehend abgeschlossen und anerkannt.^(46,47,48,49)

Wie **Abbildung 18** zeigt, ist eine Ökobilanz demnach zu unterteilen in

- Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
 - Sachbilanz
 - Wirkungsabschätzung
 - Auswertung

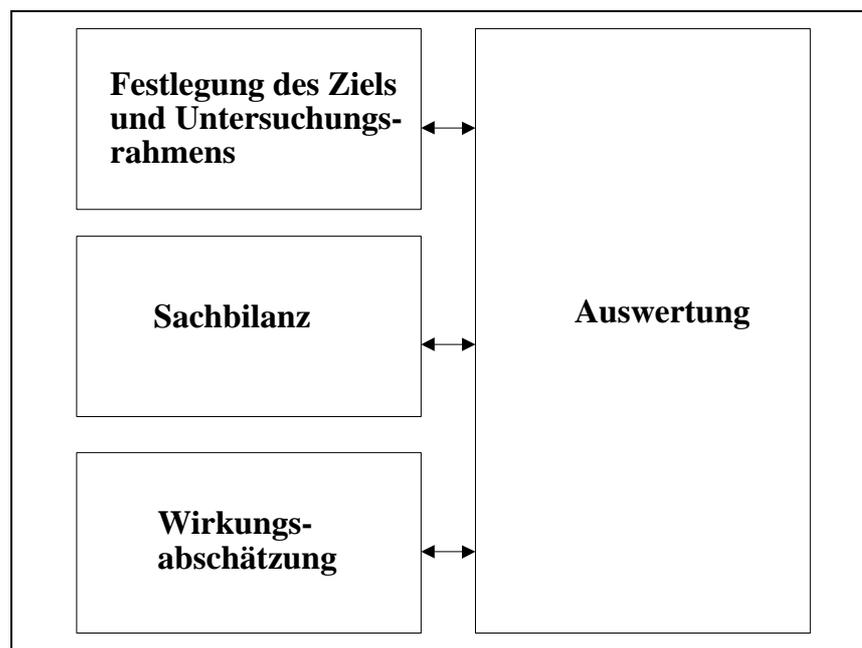


Abbildung 18: Rahmen einer Ökobilanz⁽⁵⁰⁾

Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens

Eine Zieldefinition macht in der Regel die geringsten Probleme.

Vor Erstellung einer Ökobilanz ist es erforderlich, das Ziel der Untersuchung hinsichtlich

- vorgesehener Verwendung
- Gründen für die Studie und
- anzusprechender Zielgruppe

zu definieren. Hier geht es darum, dass sich der Autor von Ökobilanzen darüber Klarheit verschafft, ob es sich bei der vorgesehenen Verwendung um eine interne Optimierung der Prozesskette handelt oder um die Grundlage für einen Vergleich von Werkstoffen, Erzeugnissen oder Systemen zur Auswahl von Alternativen. Die Frage der Zielgruppe ist von Bedeutung bei der Interpretation der Ergebnisse. Hier sind unterschiedliche Ansprüche zu erfüllen.

Sachbilanz

Eine Sachbilanz enthält als **Input-Output-Analyse** eine quantitative Zusammenstellung (Inventarisierung) der relevanten Stoff- und Energieflüsse für den Lebensweg eines Produktes. Qualitative Kriterien können optional enthalten sein.

Input	Output
Rohstoffbedarf	entstehende Energie
Energiebedarf	Emissionen in die Luft
Bedarf an Wasser	Emissionen in das Wasser
Bedarf an Boden (optional)	Nebenerzeugnisse
	entstehende Abfälle

Tabelle 2: In- und Outputgrößen einer Ökobilanz

Dem Inhalt der Sachbilanz ist auch hier der englische Begriff des Life Cycle Inventories (LCI), also einer Inventarisierung von Umweltaspekten, eher sachgerecht.

Von entscheidender Bedeutung bei Sachbilanzen ist die Datenqualität. Zur Sicherstellung einer Vergleichbarkeit der Datenqualität sind bei der Erhebung von Daten für Sachbilanzen folgende Randbedingungen offenzulegen:

- Bilanzgrenzen
- Abbruchbedingungen (Bilanztiefe)
- Interne Kreisläufe
- Erhebungszeitraum
- Datenherkunft und Ermittlungsmethode
- Annahmen
- Einschränkungen

Nach Auffassung führender Experten sollte bei ökobilanziellen Betrachtungen, insbesondere bei vergleichenden Untersuchungen, eine erhebliche Bandbreite der Daten und der daraus ermittelten Ergebnisse in Betracht gezogen werden.⁽⁵¹⁾

Für den Sachbilanzteil, also die reine Inventarisierung der Input- und Outputströme für jeden einzelnen Lebenswegabschnitt ist eine wissenschaftlich belastbare Absicherung der angewandten Methodik gegeben.

Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung hat das Ziel, die in der Sachbilanz inventarisierten Stoffströme hinsichtlich ihrer potentiellen Wirkung auf die Umwelt einzuordnen und zu normieren. Die üblichen gebräuchlichen Wirkungskategorien sind:

- Treibhauspotential (z.B. durch CO₂)
- Stratosphärisches Ozonzerstörungspotential (z.B. durch FCKW)
- Eutrophierungspotential (Überdüngung von Gewässern, z.B. durch [N])
- Versauerungspotential von Böden (z.B. durch SO₂)
- Naturraumbeanspruchung
- Ressourcenbeanspruchung

Mit Hilfe von Äquivalenzfaktoren sollen die Beiträge verschiedener Sachbilanzparameter zu einer Wirkungskategorie berechnet werden. Die Summe der so berechneten Beiträge kann als Indikatorwert ausgewiesen werden. Eine weitere Zusammenführung der Indikatorwerte ist nach der ISO-Norm zumindest bei öffentlich zugänglichen und vergleichenden Ökobilanzen nicht zulässig.

Die Wirkungsabschätzung ist die kritische Stufe einer Ökobilanz und ist nur in Teilbereichen wissenschaftlich belastbar. So werden z.B. für die Wirkungskategorie „Treibhauspotential“ Faktoren zur Vereinheitlichung verschiedener klimarelevanter Gase angewandt, die in Fachkreisen Konsens fanden. Bei den übrigen Kategorien ist eine wissenschaftlich belastbare Begründung der vielfach angewandten Faktoren nicht gegeben.

Bilanzauswertung

Die Auswertung, auch Bilanzbewertung, soll unter Berücksichtigung der Wirkungskategorien ein Gesamtbild ermöglichen. Wegen der komplexen Zusammenhänge von Ökobilanzen sollen Ergebnisse, Daten, Methoden und Annahmen transparent und ausführlich dargelegt werden.

Die Bilanzbewertung hat in der Regel auf die Ergebnisse einer Ökobilanz einen höheren Einfluss, als die Genauigkeit der Datenermittlung in der Sachbilanz. Dies trifft um so stärker zu, wenn die Ökobilanz durch subjektiv und ergebnisorientierte Ziele geprägt ist. Daher ist es von hoher Bedeutung, dass hinsichtlich einer Vereinheitlichung der Kriterien zur Bilanzbewertung die ISO Norm zu Ökobilanzen keine abschließenden Aussagen macht, da sie naturwissenschaftlich nicht ableitbar sind. So heißt es in der EN ISO 14040⁴⁶⁾:

„Es gibt keine wissenschaftliche Grundlage, Ergebnisse von Ökobilanzen übergreifend zu einer numerischen Rangfolge oder einem Einzelwert zusammenzufassen, weil es komplexe Wechselwirkungen der Systeme gibt, die in den verschiedenen Stufen ihres Lebensweges untersucht werden.“⁽⁴⁶⁾

Gefordert wird lediglich, dass die Durchführung der Bewertung dokumentiert und nachvollziehbar gestaltet wird.

Mangels wissenschaftlicher Grundlagen sollten Bilanzbewertungen unterbleiben und Ökobilanzen auf reine Sachbilanzen beschränkt bleiben. Dieser grundlegenden Forderung wird häufig bei einer Bilanzbewertung nicht entsprochen.

Ein anderer, allein auf den Ressourcenverbrauch angelegter Bewertungsansatz, wird durch das Wuppertal-Institut verfolgt.⁶⁰⁾ Hier werden alle Stoffströme von der

Rohstoffgewinnung über die Herstellung und Nutzung bis zum Recycling als **Material-Intensität pro Serviceeinheit (MIPS)** ausgedrückt. Das Konzept beruht auf dem Ansatz, dass die möglichen Umweltbelastungen von Erzeugnissen oder Dienstleistungen durch ihren Ressourcenverbrauch beschrieben werden können. Dabei wird auch der Energieverbrauch von Produkten oder Dienstleistungen in der Massendimension ausgewiesen.

Das MIPS-Konzept ist ein Sonderweg der Ökobilanz. Wie vorher dargelegt, ist die Ermittlung von Umweltparametern für Lebenswege bereits als Sachbilanz äußerst komplex. Eine Bewertung der Einzelgrößen anhand von Wirkungsindikatoren macht Probleme hinsichtlich der wissenschaftlichen Belastbarkeit. Eine Verkürzung der Bewertung bereits in der Stufe der Sachbilanz auf den reinen **Stoffeinsatz** (einschließlich Energie, Wasser und Luft) bedeutet, dass genau die komplexen Zusammenhänge der Umwelteinflüsse untereinander zugunsten eines einzigen Bewertungsindikators, nämlich des Ressourcenverbrauchs, unberücksichtigt bleiben. Das MIPS-Konzept bevorzugt somit bereits in der Sachbilanz diejenigen Erzeugnisse oder Dienstleistungen, die mit einem relativ niedrigen Ressourcenverbrauch verbunden sind. Im Umkehrschluss werden Erzeugnisse benachteiligt, die wie insbesondere Erzeugnisse aus Eisen- und Stahlwerkstoffen, bei der Herstellung einen vergleichsweise hohen Bedarf an (nicht-nachwachsenden) Rohstoffen und fossilen Energie- und Reduktionsmittelträgern aufweisen.

Anforderungen an Ökobilanzen

Die Anforderungen an Ökobilanzen sind je nach Interessengruppe unterschiedlich.

- Ein Hersteller von Grundstoffen und Vorprodukten nutzt Ökobilanzen hauptsächlich zur Optimierung seiner Herstellung. Er ist an seinen Werkstoff gebunden und hat in der Regel nur die Möglichkeit, diesen verbessert herzustellen. Er ist mit den ihm zur Verfügung stehenden Rohstoffen und Technologien vertraut.
- Ein Hersteller von Endprodukten nutzt Ökobilanzen in der Produktentwicklung und dabei insbesondere zur Werkstoffauswahl. Er stellt ein vorgegebenes Produkt her und kann aus Ökobilanzen Hinweise auf die Optimierung des

Produktionsprozesses und zur ökologischen Verbesserung seines Produktes durch Änderung des eingesetzten Werkstoffes gewinnen.

- Der Verbraucher erwartet einfache Entscheidungshilfen. Er hat für denselben Nutzungszweck die Wahl zwischen einer Vielzahl von Produkten und Produktionssystemen aus verschiedenen Werkstoffen. Entscheidend ist hier in vielen Fällen nicht die Bilanz der Produktherstellung, sondern das Verhältnis des umweltrelevanten Aufwandes zum Nutzen.⁽⁵²⁾
- Politische Entscheidungsträger haben zum Ziel, eine umweltorientierte Produktpolitik mit Ökobilanzen zu untermauern. Diese dienen in erster Linie der Information von Verbrauchern und in zweiter Linie zur wissenschaftlichen Stützung von Umweltrechtsnormen.

Es ist einleuchtend, dass uneinheitliche Zielrichtungen an Ökobilanzen zu unterschiedlichen Interpretationen und letztlich unterschiedlichen Ergebnissen führen müssen. Die Ergebnisse von Ökobilanzen müssen daher vor dem Hintergrund des Anlasses ihrer Erstellung bewertet werden.

Zwischenergebnis

Bei Ökobilanzen bieten allein Sachbilanzen eine belastbare und sinnvolle Entscheidungshilfe zur Identifizierung von Handlungsschwerpunkten bei der Weiterentwicklung der umweltgerechten Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen. Von entscheidender Bedeutung für die Aussagefähigkeit von Sachbilanzen ist die Datenqualität. Bei der Nutzung von Ökobilanzen zur Entscheidungsfindung für die Werkstoff- oder Produktauswahl sollten nur diejenigen Bilanzen in einen Entscheidungsprozess Eingang finden, deren Art und Methodik der Datenerfassung hinreichend dokumentiert sind.

Bewertungsmethoden, die die komplexen technologischen und ökologischen Zusammenhänge nur unzureichend berücksichtigen, sollten grundsätzlich keine Anwendung finden.

4.3 Ökobilanzen für Stahlerzeugnisse

Nachfolgend sind Untersuchungen zusammengefasst, die für Stahlerzeugnisse von besonderer Bedeutung sind. Diese wurden zum überwiegenden Teil vom Verfasser dieser Arbeit mit der Bereitstellung und Aufbereitung von Umweltdaten zur Stahlerzeugung maßgeblich mitgeprägt und in zwei Veröffentlichungen zusammengefasst.^{52,63)} Mit diesen Veröffentlichungen wurden weltweit erstmalig belastbare Sachbilanzdaten zur Stahlerzeugung eines Unternehmens publiziert.

4.3.1 Ökobilanzen für Getränkeverpackungen

Die erste bekannte Studie, die unter anderem Stahlprodukte betrachtet, war die 1984 vom Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) veröffentlichte „Ökobilanz von Packstoffen“.⁽⁵³⁾ In dieser Ökobilanz wurden Verpackungsmaterialien untersucht und zwar für

- Aluminium
- Glas
- Papier
- Karton- und Papparten
- Kunststoffe sowie
- Weißblech.

Eine überarbeitete Fassung wurde 1991 und 1996 herausgegeben.^(54,55) In einer Weiterführung der Untersuchungen von 1991 wurden von der Dr. Bischoff SA die Verpackungen selbst betrachtet und die verschiedenen Entsorgungs- und Recyclingwege für Deutschland und die Schweiz dargestellt.⁽⁵⁶⁾

Für Getränkeverpackungen hat 1995 das Umweltbundesamt (UBA) eine vergleichende Ökobilanz von Mehrweg- und Einwegverpackungen erstellt.⁽²⁸⁾ Für den Werkstoff Stahl wurden die erforderlichen Umweltdaten durch den Verfasser dieser Arbeit ermittelt und der Studie zur Verfügung gestellt.

Im Ergebnis wurde bei dieser Studie herausgestellt, dass Mehrwegverpackungen stets Vorteile gegenüber Einwegverpackungen hätten. Wie in **Abbildung 19** zu erkennen ist, wurden für Einwegverpackungen durchgängig höhere Umweltbeeinflussungen als für Mehrwegverpackungen herausgestellt. Besonders groß ist der Unterschied von Einweg- zu Mehrwegverpackungen bei CO₂- und Staubemissionen. Hinsichtlich der politischen

Hintergründe zu dieser Ökobilanz wird auf Kapitel 3 „*Politischer und rechtlicher Rahmen einer umweltgerechten Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen*“ verwiesen.

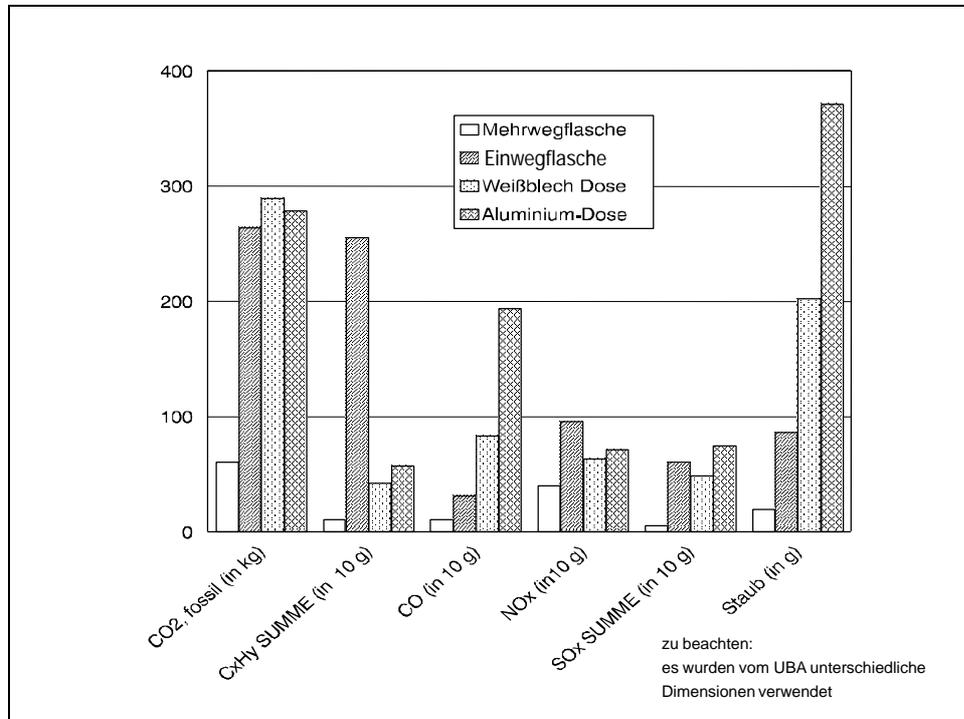


Abbildung 19: Ergebnisse der Ökobilanz für Getränkeverpackungen⁽⁵⁷⁾

Die Ökobilanz stellte weiterhin eine Abhängigkeit von der Transportentfernung der untersuchten Verpackungssysteme heraus. Mehrwegverpackungen seien demnach nur bei kurzen Verteilungswegen vorteilhaft. Dieses Ergebnis offenbart einen wesentlichen Beweggrund zur Durchführung der Ökobilanz und zur Novellierung der Verpackungsverordnung: Über eine ökologische Rechtfertigung wollte sich insbesondere die vorwiegend in Süddeutschland ansässige lokale Bierindustrie vom übrigen Markt abschotten, da überregional gehandelte Biere vorwiegend in Dosen abgefüllt in den Markt gelangen.

Strittig in der Studie²⁸⁾ war die angewandte Bewertungsmethode. Es wurde bei den einzelnen Bewertungskriterien ein relativer Vergleich zwischen der jeweils besten Verpackung und den übrigen Verpackungen angestellt. Die einzelnen Wirkungsindikatoren wurden nach bestimmten Kriterien in eine Rangfolge gebracht, in der die Prioritäten entsprechend der potentiellen Umweltbelastung gesetzt wurden.⁽⁵⁷⁾

Abbildung 20 zeigt, dass die für Dosen ungünstigen Wirkungsindikatoren mit einer höheren Priorität versehen wurden als Kategorien, in denen der Unterschied zu anderen Verpackungen geringer ist.

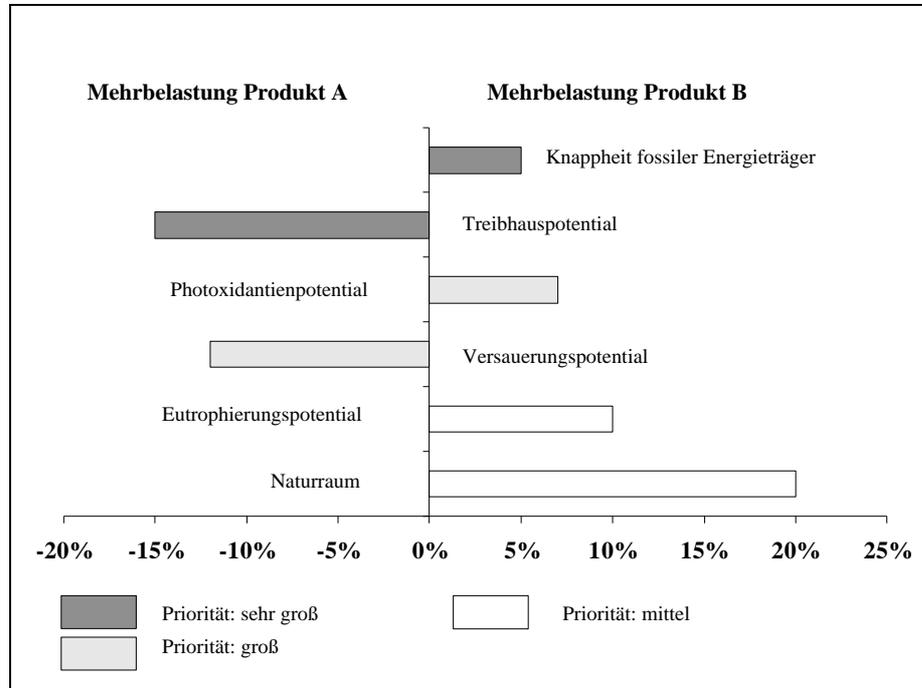


Abbildung 20: Vergleich von Ergebnissen ausgewählter Wirkungsindikatoren mit ökologischen Prioritäten⁽⁵⁷⁾

Die Anwendung eines Bewertungsschemas ist grundsätzlich konform mit der ISO-Norm. Es ist aber nicht zulässig, die Bewertungskriterien mit unterschiedlichen Prioritäten zu versehen. Hier ist eine deutliche Kritik an der Ökobilanz des Umweltbundesamtes zu üben, das auf diese Weise subjektiv Teilaspekte einer Umweltbetrachtung hervorhob.

Die angewandte Bewertungsmethode führt im vorliegenden Fall dazu, dass in der Tendenz, so kann unterstellt werden, gezielt ökologische Unterschiede zwischen den untersuchten Verpackungen überbewertet und zu Ungunsten der Weißblechdose ausgelegt wurden, insbesondere wenn die vorgenannten Wirkungsindikatoren mit unterschiedlichen ökologischen Prioritäten versehen werden.

Als Fortführung dieser Arbeit wurde im August 2000 im Auftrag des Umweltbundesamtes eine zweite Ökobilanz für Getränkeverpackungen vorgelegt⁽⁵⁸⁾. Hierbei wurden die Verpackungen für Bier, Wein, Fruchtsäfte und Erfrischungsgetränke untersucht.

In der Bewertung dieser Studie wurde die ökologische Vorteilhaftigkeit von Mehrwegverpackungen erneut bestätigt, es wurde aber auch festgestellt, dass beim Verbundkarton kein signifikanter Unterschied in der Umweltrelevanz zu Mehrwegverpackungen festzustellen war. In dem für Stahl bedeutsamen Teil wurde ein deutlicher Unterschied zwischen Einweg- und Mehrwegverpackungen und insbesondere ein Abstand zwischen Weißblech und den weiteren untersuchten Getränkeverpackungen herausgearbeitet.

In **Abbildung 21** ist als Beispiel das Treibhauspotential gezeigt. Diese Wirkungskategorie hat zum einen die derzeit größte politische Bedeutung; das Umweltbundesamt weist dieser Kategorie folglich die höchste Priorität zu. Zum anderen sind beim Treibhauseffekt für Weißblech die größten Unterschiede im Vergleich zu anderen Verpackungen festzustellen.

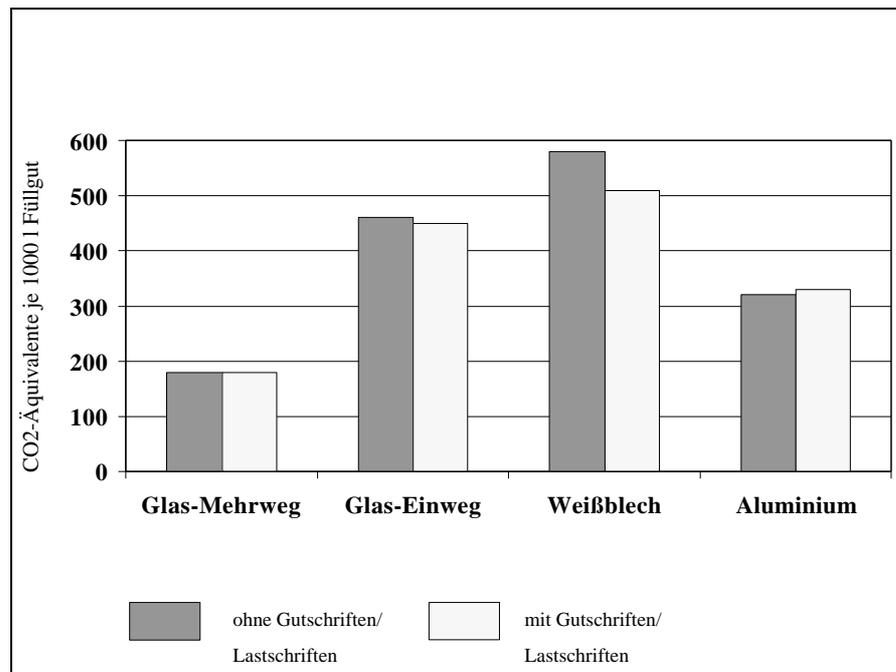


Abbildung 21: Treibhauseffekt bei verschiedenen Getränkeverpackungen⁽⁵⁷⁾

An dieser Stelle wird das Ziel der Verpackungsverordnung, die eine Vermeidung und Verminderung von Abfällen zum Inhalt hat, auf den Kopf gestellt. Da offenkundig in der Ökobilanz keine nachteiligen Effekte der Weißblechverpackung nachgewiesen wurden, werden offenkundig Argumente des Klimaschutzes bemüht, um die Weißblechverpackung zu diskreditieren.

Durch diese Art der Bewertung werden somit die Ergebnisse der Ökobilanz zielgerichtet zum Nachteil für Weißblech interpretiert.

Die vorgenannte Ökobilanz ist ein Paradebeispiel eines politischen Missbrauchs des Instrumentes der Ökobilanz. Sie dient hier, wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, im Wesentlichen der wissenschaftlichen Begründung der Restriktionen auf „ökologisch nachteilige“ Getränkeverpackungen in der Novelle der Verpackungsverordnung.⁽²⁶⁾ Es kann unterstellt werden, dass das Ergebnis der Ökobilanz, nämlich dass Mehrwegsysteme den Einwegverpackungen überlegen sind, bereits in der Zieldefinition der ersten Bilanz des Umweltbundesamtes enthalten war. Hiermit bereits wurde der Sinn einer Ökobilanz ad absurdum geführt. Im Verlauf der sog. UBA II Studie⁵⁸⁾ wurde die Ökobilanz mit der Negativdarstellung von Dosenverpackungen zur Rechtfertigung eines politisch vorgefertigten Willens missbraucht.

4.3.2 Ganzheitliche Bilanzierung von Automobilbauteilen

In einem Industrieprojekt des Instituts für Kunststoffkunde und Kunststoffprüfung (IKP) an der Universität Stuttgart wurden die Werkstoffe Stahl, Aluminium und vier unterschiedliche Kunststoffe für die Herstellung und Nutzung eines Kotflügelpaars untersucht. An der Ökobilanz waren 40 Unternehmen aus den Bereichen Werkstoffherstellung, Verarbeitung, Anwendung und Oberflächentechnik beteiligt.⁽⁵⁹⁾ Für den Werkstoff Stahl wurden die Sachbilanzdaten durch den Verfasser dieser Arbeit ermittelt und aufbereitet sowie die methodische Durchführung der Studie begleitet.

Ihre Bedeutung erlangte die Untersuchung durch die Auswahl des Produktes. Während die bis dahin bekannten Ökobilanzen ungerichtet viele denkbare Konsumprodukte von Windeln bis zu Verpackungen untersuchten, traf die IKP-Studie mit der Automobil- und Zulieferindustrie ein Segment, in dem eine umweltgerechte Produktentwicklung als gemeinsames Anliegen von Herstellern von Vormaterial, Verarbeitern und Verbrauchern am sinnvollsten erscheint.

Wie kaum bei einem anderen Produkt, erfolgt die Werkstoffauswahl im Automobilbau als ganzheitliches Ergebnis aus technologischen, wirtschaftlichen und ökologischen Erwägungsgründen sowie den Bedürfnissen des Konsumenten. Dieser Aspekt wird noch eingehend in Kapitel 5 *Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von*

Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen aus der Sicht der Anwender von Stahlerzeugnissen beleuchtet.

Auch wenn die damalige Untersuchung unter heutigen Gesichtspunkten eher holzschnittartig war, so wurden dennoch die wesentlichen Einflussgrößen auf die Gesamtbilanz von Automobilbauteilen deutlich. Die Nutzungsphase stellte sich als die entscheidende Stellgröße für den Energieverbrauch über den gesamten Lebensweg heraus.

In **Abbildung 22** ist der Energieverbrauch zur Herstellung und Nutzung verschiedener Kotflügelpaare wiedergegeben. Das Bild zeigt, dass für die Herstellung von Stahlkotflügeln die geringste Energie einschließlich Reduktionsmittel aufzuwenden ist, aufgrund der Masse aber der höchste Energieverbrauch während der Nutzung entsteht.

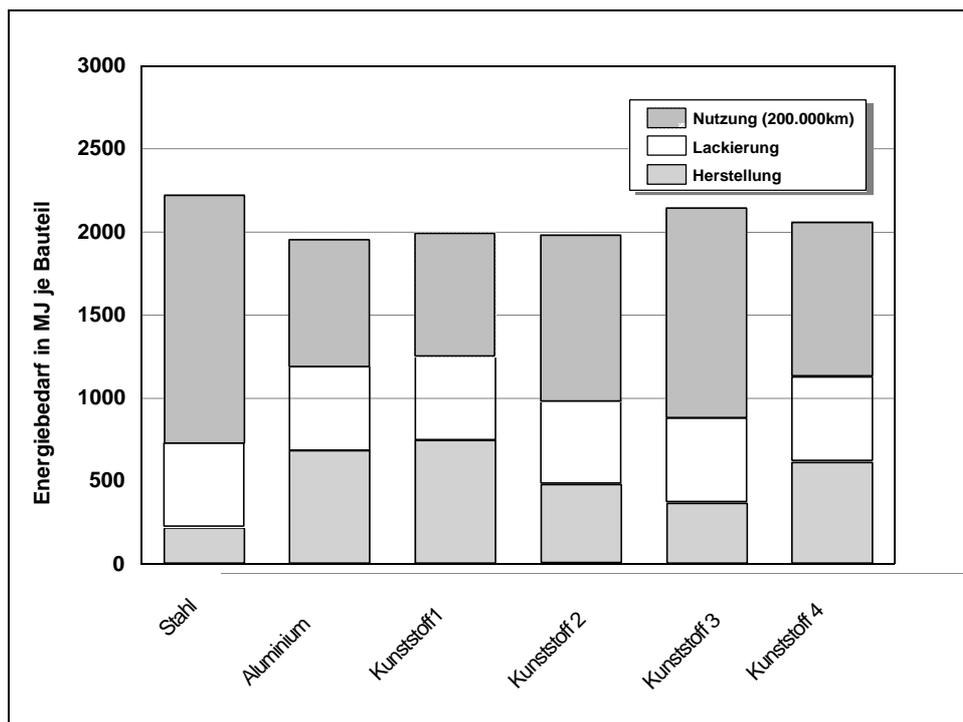


Abbildung 22: Vergleich des Energieverbrauchs zur Herstellung und Nutzung verschiedener Kotflügelpaare.⁽⁵⁹⁾

Damit war in dieser Untersuchung bereits die Bedeutung der Masseinderung von Bauteilen für eine Minderung des Energieverbrauchs während der Nutzungsphase erkennbar.

Während über die Werkstoffherstellung sehr gute Informationen vorlagen und hier die Datenqualität entsprechend zufriedenstellend war, musste sich das IKP in der Stufe der Weiterverarbeitung und insbesondere bei der Nutzung auf Annahmen beschränken.

4.3.3 Materialintensitäten von Freileitungsmasten

In einer Studie aus dem Jahr 1995 hat das Wuppertal-Institut die Materialintensität von Freileitungsmasten aus Stahl und Beton untersucht⁽⁶⁰⁾. Auf grundlegende Kritikpunkte des hier angewandten Konzeptes der Analyse der Materialintensität (MIPS-Konzept) wurde bereits eingegangen. Diese werden an dem folgenden Ergebnis noch einmal verdeutlicht. Das Institut hatte die Materialintensität für Elektro Stahl und Oxygen Stahl getrennt berechnet.

Durch die Vereinfachung der Methodik des MIPS-Konzeptes werden beim Oxygen Stahlverfahren der verfahrensbedingte Luftbedarf sowie die Luftemissionen zu bestimmenden Größen, und das ohne Berücksichtigung der Umweltrelevanz dieses Ressourcenverbrauchs. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei Wasser: Wie **Abbildung 23** zeigt, werden nahezu 8 t Wasser je Tonne warmgewalzter Stahl der Oxygen Stahl-erzeugung zugerechnet. Dabei wird rein thermisch belastetes Abwasser ökologisch genauso behandelt wie Prozessabwasser. Auch beim reinen Materialeinsatz ist zu kritisieren, dass Abraum ohne ökologische Einwirkung dem Ressourcenverbrauch gleichgesetzt wird.

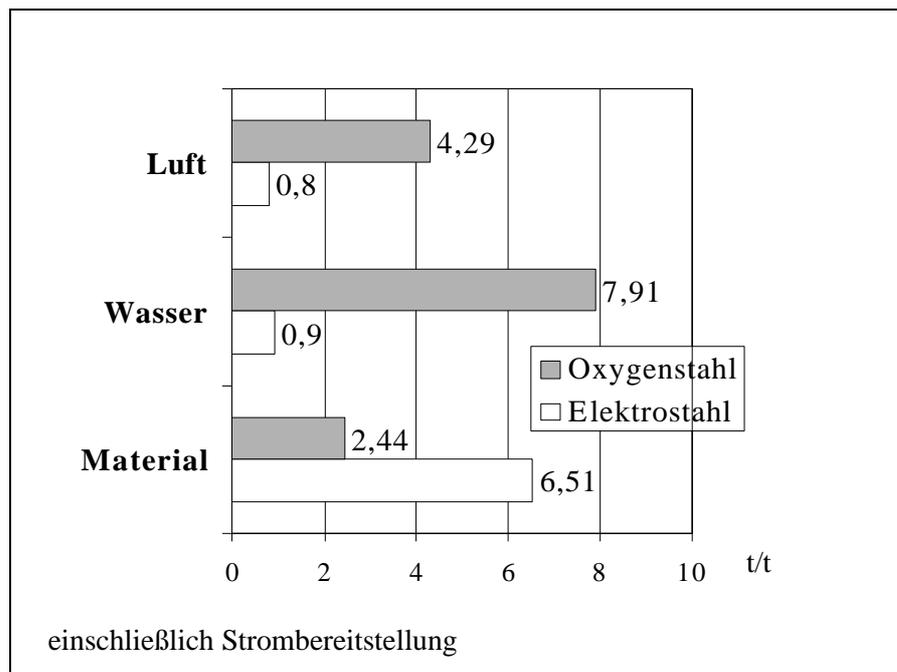


Abbildung 23: Materialintensität von Stahl⁽⁶⁰⁾

Auf dieser Grundlage hat das Wuppertal-Institut die Materialintensität von Freileitungsmasten berechnet.

Abbildung 24 zeigt Freileitungsmasten aus Stahlbeton und als Stahlgittermast. Im Vergleich ergibt sich für Stahl zwar ein Vorteil gegenüber einer Stahl-Beton-Variante, die absoluten Zahlenwerte in Tonnen je Tonne Mast sind aber als unreal einzustufen.

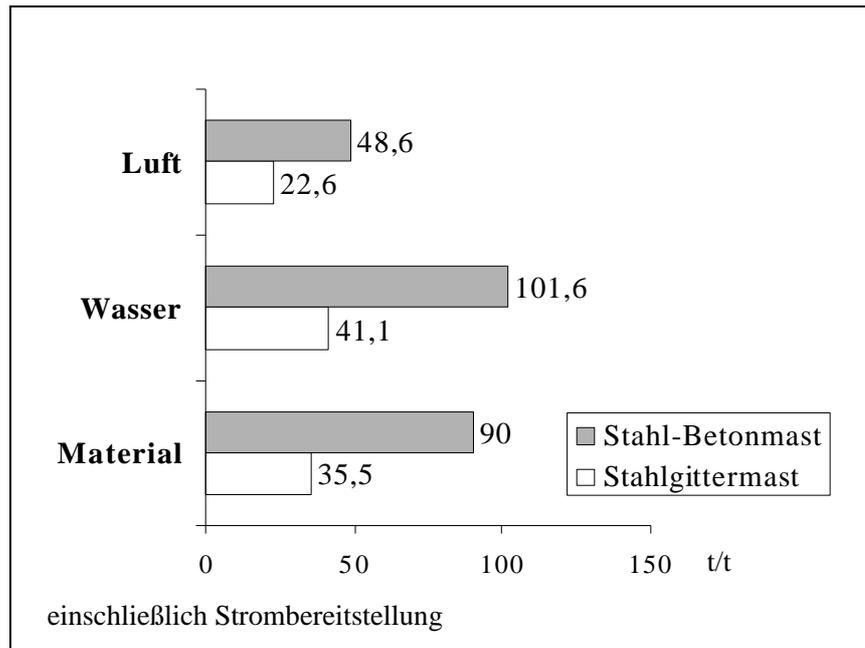


Abbildung 24: Materialintensitäten von Freileitungsmasten⁽⁶⁰⁾

4.3.4 Leitfaden zum nachhaltigen Bauen

Überlegungen zur Beurteilung der Umweltrelevanz von Baumaterialien gab es in der Vergangenheit bereits in Skandinavien. Das Nordic Council of Ministers hatte 1995 Ökobilanzen für Baumaterialien in Skandinavien veröffentlicht. Hier wurde allerdings nur Holz, Zement und Beton untersucht, nicht jedoch Stahl.⁽⁶¹⁾

Unter Einbeziehung von Stahl ist zur Entsprechung selbstgestellter ökologischer und umweltrechtlicher Anforderungen beim Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) ein Leitfaden für das ökologische, wirtschaftliche und gesunde Bauen erarbeitet worden. Ziel des Leitfadens ist es, ganzheitliche Grundsätze zum Planen und Bauen, Betreiben und Unterhalten sowie zum Nutzen von Liegenschaften und Gebäuden des Bundes aufzuzeigen.⁽⁶²⁾ Durch ein frühzeitiges

Beachten nachhaltiger Planungsansätze soll dabei die Gesamtwirtschaftlichkeit von Gebäuden verbessert werden.

Eine ökologische Tiefenbewertung soll anhand eines EDV-Werkzeuges ermöglicht werden, das durch eine monetäre Bewertung aller in Wirkungskategorien erfassten Auswirkungen eine einfache Aggregation ermöglichen soll.

Wie an anderer Stelle beschrieben, hat die Wahl der Bewertungskriterien erheblichen Einfluss auf das Bilanzergebnis. Bei dem Leitfaden zum nachhaltigen Bauen wurden Umweltparameter entsprechend von Bewertungskriterien erhoben, d.h. die Bewertung erfolgt parallel zur und nicht im Anschluss an die Sachbilanz. Dies birgt die Gefahr einer subjektiven und ergebnisorientierten Datenerhebung. Außerdem ist zu befürchten, dass mangels Lösungsansätze der Autoren des Leitfadens zur Durchführung der ökologischen Tiefenbewertung das Schema der „Ökobilanzen für Getränkeverpackungen“ übernommen wird und in die Entscheidungsfindung bei öffentlichen Bauvorhaben Eingang findet.

4.3.5 Spezielle Ökobilanz für Stahlerzeugnisse

Die beschriebenen Untersuchungen zeigten, dass Ökobilanzen in den für die Stahlindustrie wichtigen Bereichen eine bedeutende Rolle spielen. In diesen Studien musste z.T. auf Literaturangaben zurückgegriffen werden. Die unbefriedigende Datenlage für Stahlerzeugnisse war Anlass einer ökobilanziellen Untersuchung der deutschen Stahlindustrie, um damit Nutzern von Ökobilanzen den Zugriff auf eine belastbare Datenbasis für Stahlerzeugnisse zu ermöglichen. Diese Untersuchungen wurden durch den Verfasser dieser Arbeit durchgeführt.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Kunststoffkunde und Kunststoffprüfung (IKP) an der Universität Stuttgart legten 1994 die damalige Thyssen Stahl AG und die Fried. Krupp AG Hoesch-Krupp eine Sachbilanz für drei Stahlerzeugnisse vor.⁽⁶³⁾

- Elektrolytisch verzinktes Blech
- Weißblech
- Schienen

Die Untersuchung umfasste die Stahlerzeugungsrouten Hochofen-Oxygenstahlwerk an einem definierten Standort. In die Bilanz einbezogen waren

- Transporte der Rohstoffe
- Stahlerzeugung
- Bezug von Fremdstrom

In die Sachbilanz nicht einbezogen waren

- Abbau von Rohstoffen und fossile Energieträger bzw. Reduktionsmittel
- Pelletierung von Eisenerzkonzentraten
- Nutzung der Produkte
- Recycling der Produkte

Die Studie beschrieb somit den Teilabschnitt des Lebensweges von Stahlerzeugnissen, der von Werkstor zu Werkstor von der Stahlindustrie beeinflussbar war. Im Englischen ist hierfür der Ausdruck „gate to gate“ üblich.

In dieser Sachbilanz wurde die vollständige Struktur eines integrierten Hüttenwerkes einschließlich der internen Energie- und Stoffströme berücksichtigt (**Abbildung 25**).

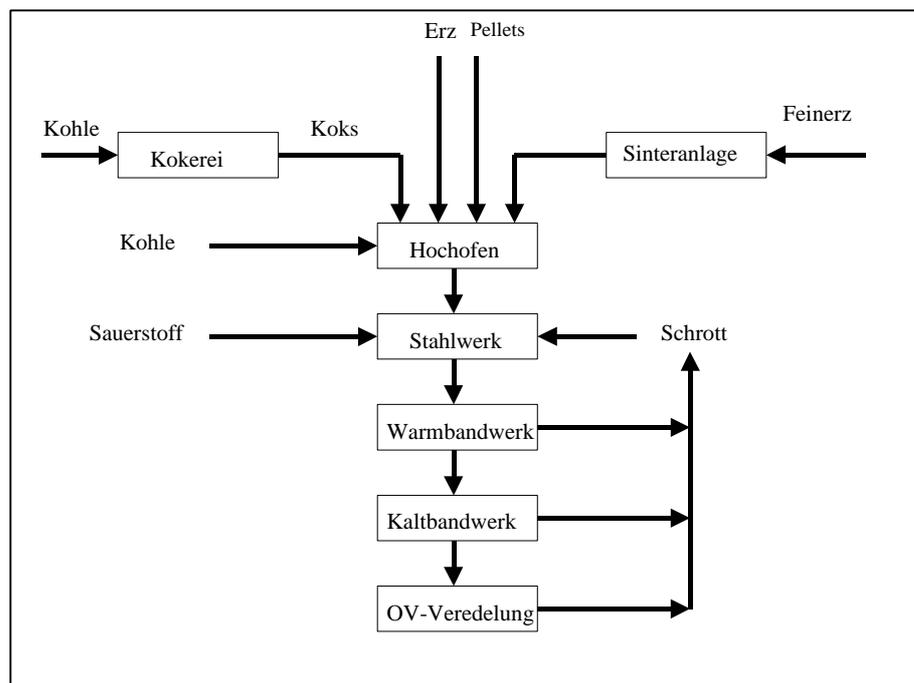


Abbildung 25: Stoffströme eines integrierten Hüttenwerkes

Ergebnisse der Untersuchung

- Für die Erzeugung einer Tonne des jeweiligen untersuchten Stahlerzeugnisses elektrolytisch verzinktes Blech, Weißblech und Schienen werden 2,3 bis 2,4 Tonnen Rohstoffe und Reduktionsmittel eingesetzt. 60% des Einsatzes sind Fe-Träger und 30% Reduktionsmittel (**Abbildung 26**).

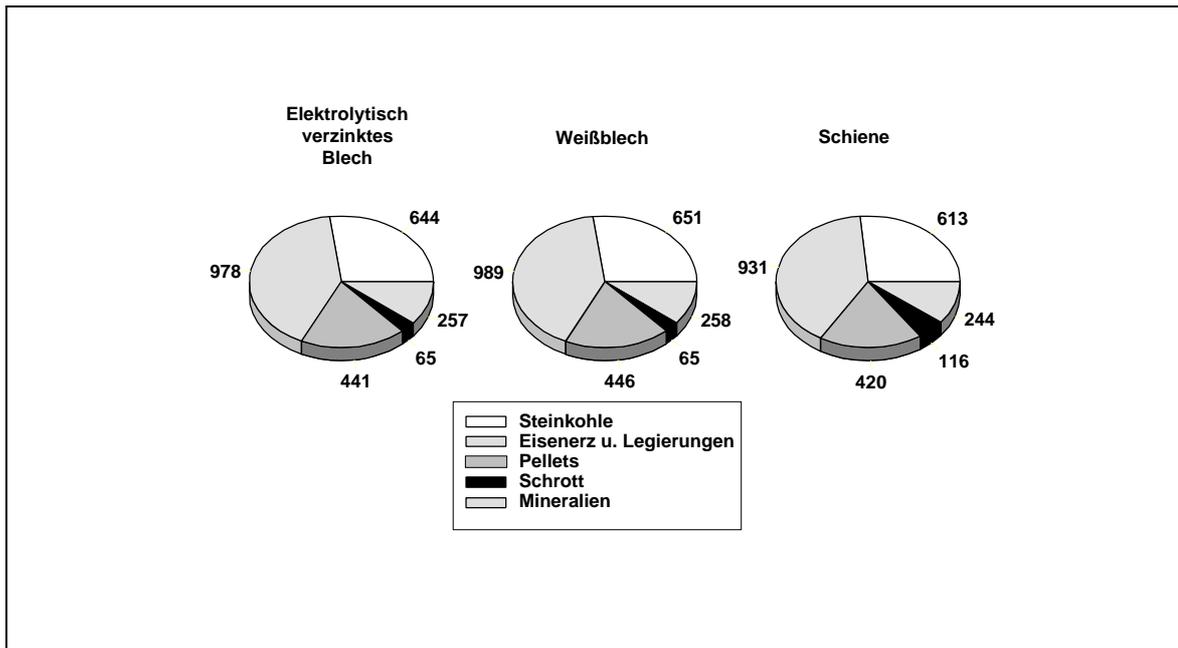


Abbildung 26: Rohstoffbedarf von Stahlprodukten

- Die Emissionen in die Luft sind prozessbedingt oder im Energieeinsatz begründet. Staub und SO₂ werden hauptsächlich durch die metallurgischen Stufen bis zum Oxygenstahlwerk verursacht. Einen höheren Anteil an den Emissionen haben die Glüh- und Weiterverarbeitungsstufen bei NO_x und CO₂.

Die vollständigen Ergebnisse dieser Sachbilanz sind im **Anhang** enthalten.

4.3.6 Fortschreibung der Ökobilanz für Stahlprodukte

Seit der ersten speziellen Untersuchung im Jahre 1994 hat sich der Erkenntnisstand über Nutzen und Aussagekraft verbessert. Es wurde deutlich, dass insbesondere seitens der Automobilindustrie ein hoher Bedarf an belastbaren Daten zur Beurteilung der Umweltrelevanz von Erzeugnissen bestand. In einer Fortschreibung wurden vom Verfasser dieser Arbeit die Vorprodukte für die Automobilindustrie

- elektrolytisch verzinktes Feinblech
- feuerverzinktes Feinblech und
- unbeschichtetes Kaltfeinblech

untersucht⁽⁵²⁾. Die der Stahlerzeugung vorgelagerten Stufen wurden in die Bilanz einbezogen. Damit war es möglich, belastbare Sachbilanzdaten von der Rohstoffgewinnung bis zur Übergabe des Stahlerzeugnisses an den Verarbeiter zu erheben.

Herstellung

Die Sachbilanz umfasste 14 Prozessstufen vom Rohstoffabbau bis zur Übergabe an den Weiterverarbeiter. Dabei wurden rd. 1.000 Einzeldaten erfasst und berechnet. Es wurden insgesamt

- 13 Inputstoffe
- 6 Energieströme
- 29 Emissionsarten
- 9 Abfälle zur Verwertung und Beseitigung

untersucht. Aus der Bilanz ließ sich folgern:

- Etwa 87% der CO₂-Emissionen entstehen direkt bei der Stahlerzeugung. Bei den vorgelagerten Prozessstufen hat die Rohstoffgewinnung einen Anteil von 8%; die externe Stromerzeugung einen Anteil von 3%.
Die Transporte mit 2% sind in der Bandbreite der Erfassungsgenauigkeit zu vernachlässigen.
- Die Tiefe und Art der Weiterverarbeitung hat Einfluss auf die Beiträge zu den Gesamt-CO₂-Emissionen. Ein relevanter Unterschied ist aber nur zwischen verzinktem und unverzinktem Blech zu verzeichnen.
Eine Differenz bei den CO₂-Emissionen zwischen elektrolytisch verzinktem Blech und feuerverzinktem Blech ist durch den Energieaufwand bei der Bandveredelung

begründet, die Werte liegen jedoch in der Bandbreite der Erfassungsgenauigkeit (**Abbildung 27**).

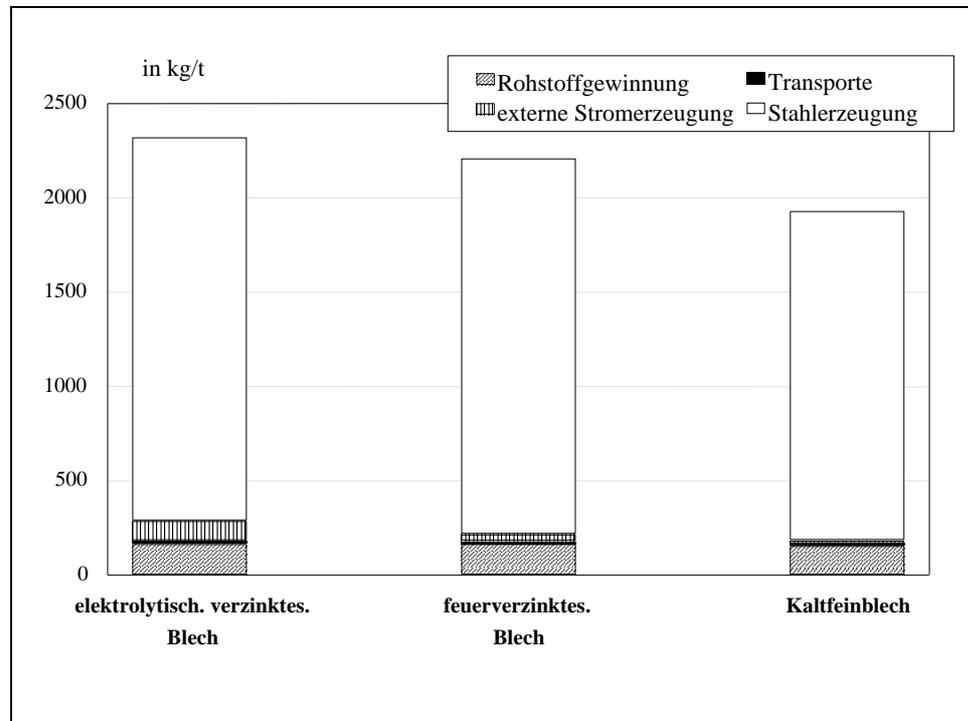


Abbildung 27: Anteile der CO₂-Emissionen bei der Stahlerzeugung

Die vollständigen Ergebnisse sind im **Anhang** enthalten.

Recycling

Die Wiederverwertung von Stahlschrott durch Recyclingverfahren ist ein integraler Bestandteil in der Herstell- und Nutzungskette von Stahlerzeugnissen. Es erschien angemessen, die Verlängerung des **Lebensweges** zu einem **Lebenszyklus** durch integrierte Recyclingverfahren bei der Erstellung von Ökobilanzen für die Stahlerzeugung zu berücksichtigen. Der untersuchte **Lebenszyklus** beinhaltete die Herstellung des Primärproduktes aus Rohstoffen einschließlich vorgeschalteter Verfahrensstufen und dem Recycling, jedoch mit Ausnahme der Weiterverarbeitung und der Nutzung.

Mit der Einbeziehung des Recyclings in den Lebenszyklus wurde erstmals eine Berechnungsmethode versucht, die sich diesen Gegebenheiten annähern.

Die dem Stahlerzeugnis zuzurechnende Emissionsfracht oder der Rohstoffverbrauch wurde für den 1. Lebensweg (ohne Weiterverarbeitung und Nutzung) nach folgender Berechnung ermittelt:

Gleichung 1⁵²⁾

$$X(\text{Erzeugnis}) = \frac{1,0 * X(\text{Primärstahl}) + 0,9 * X(\text{Sekundärstahl})}{1,9}$$

X	Umweltaufwand (z.B. Emission)
X(Erzeugnis)	Dem Stahlprodukt zuzurechnender Umweltaufwand nach dem 1. Recycling
X(Primärstahl)	Der Stahlherstellung über die Hochofenroute zuzurechnender Umweltaufwand
X(Sekundärstahl)	Der Stahlherstellung über die Elektroofenroute (Recycling) zuzurechnender Umweltaufwand

Die Faktoren 1,0; 0,9 und 1,9 geben an, dass aus der Erzeugung von 1 Tonne rückgeführtem Primärstahl 0,9 Tonnen Sekundärstahl erzeugt werden können (Annahmen in erster Näherung). Der Divisor dient zur Normierung der Bezugsgröße.

Die Einbeziehung des Recyclings in den Lebenszyklus zeigt **Abbildung 28**. Sie führt zu folgenden Veränderungen der Sachbilanz:

- Der Rohstoffbedarf vermindert sich gegenüber der Primärstahlerzeugung um 32 %,
- der Primärenergiebedarf vermindert sich um rd. 17% und
- die CO₂-Emissionen vermindern sich um mehr als 40%.

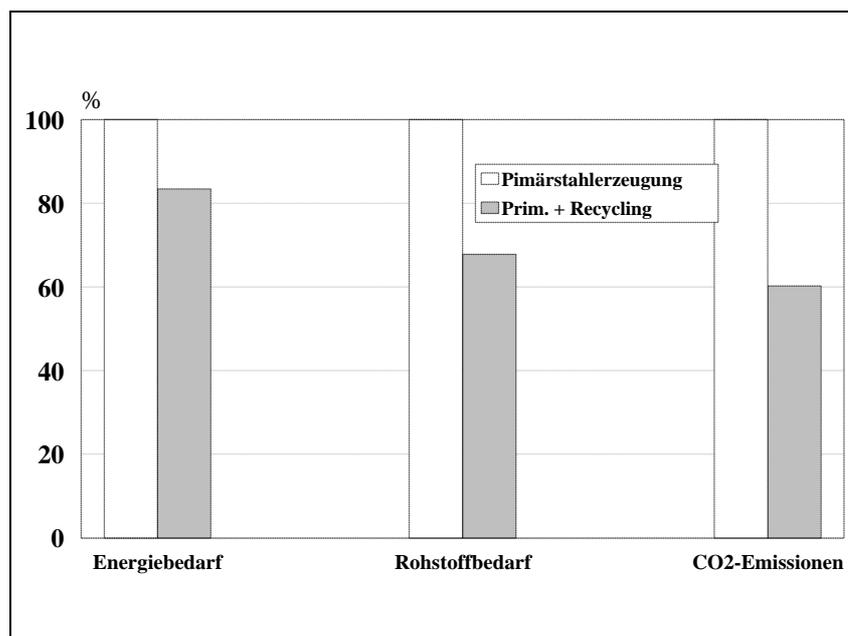


Abbildung 28: Einbeziehung des Recyclings in den Lebenszyklus bei ausgewählten Parametern Energie- und Rohstoffbedarf sowie CO₂-Emissionen.

Nutzung

Nach wie vor lagen keine überprüfbaren Daten für den Abschnitt der Nutzung vor, so dass eine vollständige Lebensweganalyse einschließlich der Nutzung auch hier nicht möglich war. Zur Beurteilung der Relevanz der Werkstoffherstellung wurde in einem zweiten Teil anhand von Literaturdaten eine Abschätzung zur Nutzung vorgenommen.⁽⁶⁴⁾ Als Beispiel wurde ein Automobilkotflügel eines Fahrzeugs der oberen Mittelklasse gewählt und eine Nutzungsphase von 200.000 km unterstellt. Der oben beschriebene Ansatz zum Recycling wurde in die Bilanz einbezogen.

Auch hier wird in **Abbildung 29** beispielhaft auf die CO₂-Emissionen eingegangen.

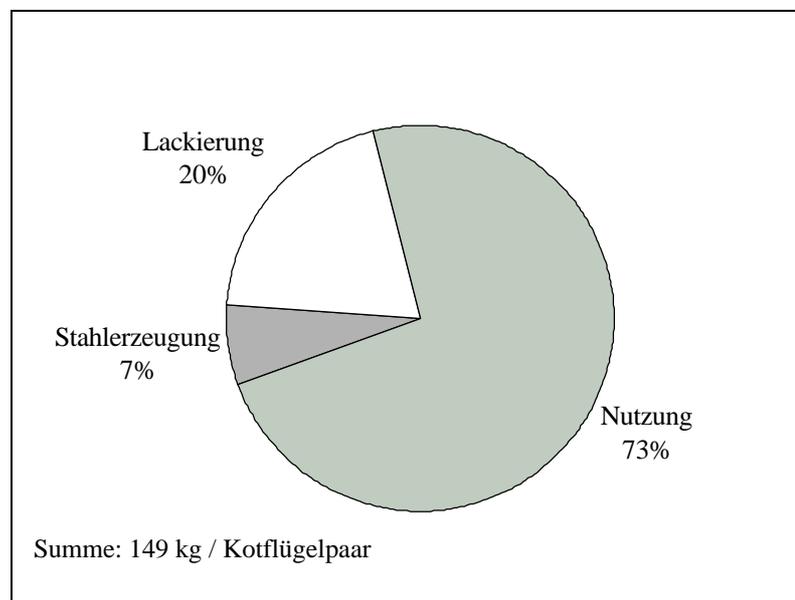


Abbildung 29: CO₂-Emissionen bei der Herstellung und Nutzung von Kotflügelpaaren

Bei den CO₂-Emissionen dominiert die Nutzungsphase mit einem Anteil von 73% an den Gesamtemissionen. Der Anteil der Lackierung betrug hier 20%, während auf die Stahlerzeugung lediglich 7% entfielen.

4.3.7 Weltweite Sachbilanz des IISI

In einem internationalen Gemeinschaftsprojekt von 37 Unternehmen wurden von 1995 bis 1997 Ökobilanzdaten für 55 Standorte, einschließlich 15 Elektrostahlwerke erhoben.⁽⁶⁵⁾ Damit wurden 40% der Weltstahlerzeugung außerhalb der ehemaligen GUS-Staaten und der VR China erfasst. Von deutscher Seite gingen unter Mitarbeit des

Verfassers dieser Arbeit die bereits beschriebenen Sachbilanzen für Stahlerzeugnisse ein. Die Bilanz beschrieb die Stahlerzeugung einschließlich der Rohstoffgewinnung und Transporte bis zum Werkstor.

Ergebnis

- Für die Stahlerzeugung in integrierten Hüttenwerken wurde ein durchschnittlicher Energiebedarf von 29,4 GJ/t Rohstahl ermittelt, korrespondierend mit 2,2 Tonnen CO₂-Emissionen je Tonne Rohstahl.
- Für die Elektrostahlerzeugung wurde ein durchschnittlicher Energiebedarf von 11,4 GJ/t Stahl bzw. 0,5 t CO₂/t Rohstahl errechnet.

Eine Verknüpfung der Stahlerzeugung zum Recycling wurde nicht unternommen. Ebenfalls war eine Einbeziehung der Nutzung nicht Inhalt der Studie.

4.4 Schlussfolgerung

Ökobilanzen sind durch ihre Betrachtung des gesamten Lebensweges ein geeignetes Instrument zur Beschreibung und Beurteilung der Umwelteigenschaften von Werkstoffen, Erzeugnissen und Produkten, sofern die **Sachbilanzebene** nicht verlassen wird. Somit eignen sich Öko-Sachbilanzen grundsätzlich auch für eine Beurteilung bei der umweltgerechten Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen.

Die bisher formulierten **Ökobilanzbewertungen** sind hinsichtlich der Auswahl der Bewertungskriterien und der Interpretation der Ergebnisse wissenschaftlich unzureichend belastbar. Die Fallbeispiele der Ökobilanz für Getränkeverpackungen²⁹⁾ und die Studie zur Materialintensität von Freileitungsmasten⁶⁰⁾ zeigten, dass durch wissenschaftlich nicht begründbare Wirkungsabschätzungen die Ergebnisse von Ökobilanzen entsprechend der Wahl von Wirkungsindikatoren nahezu beliebig verändert werden können. Es sollte daher bei Anwendung von Ökobilanzen zur umweltgerechten Gestaltung auf eine Wirkungsbilanz verzichtet werden.

Bisherige Untersuchungen von Stahlerzeugnissen zeigten, dass bei einer Betrachtung der Umwelteigenschaften des gesamten Lebensweges die **Herstellung** von untergeordneter Bedeutung ist. Vielmehr ist zumindest bei Erzeugnissen für den mobilen Einsatz die **Nutzung** der dominierende Bereich. Die Einbeziehung des Recyclings in die ökobilanzielle Betrachtung ist für Stahlwerkstoffe und Stahlerzeugnisse noch unbefriedigend.

5. Umweltgerechte Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen aus der Sicht der Anwender

Wie im Abschnitt 3 *Politischer und rechtlicher Rahmen einer umweltgerechten Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen* dargestellt wurde, bestehen rechtliche Anforderungen an eine umweltgerechte Gestaltung nur für bestimmte Stahlerzeugnisse oder sind in Vorbereitung. Es sind dies

- Automobilbauteile
- Stahlbau
- Verpackungen

Bisher durchgeführte Ökobilanzen hatten dieselben Stahlerzeugnisse untersucht, da diese vornehmlich im öffentlichen Interesse stehen.

Aus diesem Grunde ist es gerechtfertigt, sich in der weiteren Untersuchung auf diese Fallbeispiele zu beschränken.

5.1 Weißblech-Getränkeverpackungen

5.1.1 Anforderungen an die umweltgerechte Entwicklung von Weißblech-Getränkeverpackungen

Für Weißblech-Getränkeverpackungen wurden in der Vergangenheit erhebliche Fortschritte bei der Verminderung des Materialeinsatzes erreicht, wie **Abbildung 30** zeigt.

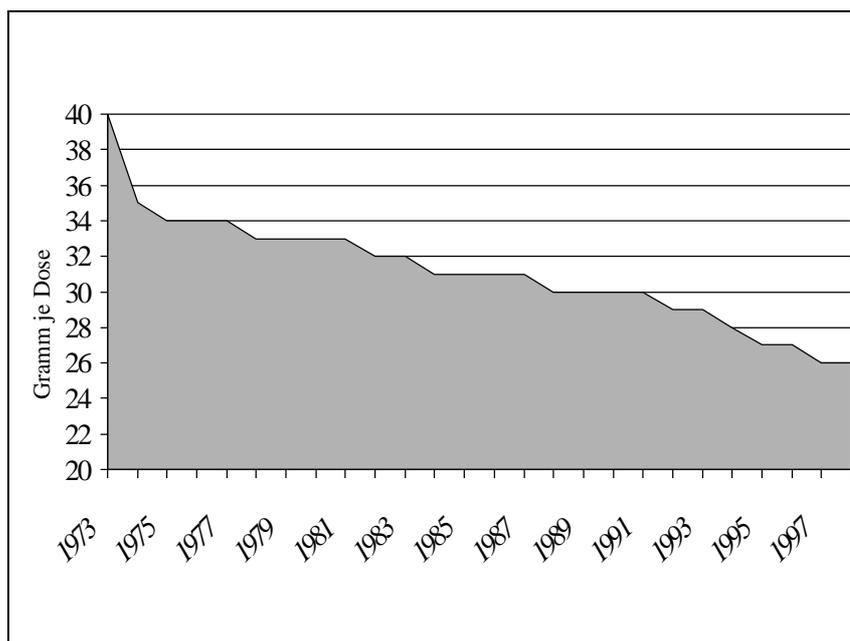


Abbildung 30: Entwicklung der Gewichte von Getränkedosen in Europa⁽⁶⁶⁾

Eine ähnliche Entwicklung gab es beim Recycling; hier beträgt die Quote im Jahr 2000 über 80%. Das Entwicklungspotential der Weißblechgetränkeverpackung ist damit nahezu ausgeschöpft.

Erst in jüngster Zeit wird vereinzelt von Getränkeabfüllern die Darstellung eines **geschlossenen Werkstoffkreislaufs** gefordert.⁶⁷⁾ Damit verbindet sich die aus Ökobilanzen stammende Vorstellung, dass aus einer genutzten Weißblechverpackung nach dem Recycling erneut eine Weißblechverpackung entstehen soll. Auf diese Vorstellung wird noch in Kapitel 6 *Prioritäre Umweltaspekte bei der Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen* eingegangen.

Umweltaspekte sind beim Verbraucher bei der Wahl von Verpackungen kein isolierter Entscheidungsgrund. Das Konsumverhalten von Verbrauchern ist an eine Reihe von weiteren Entscheidungsgründen geknüpft. Allein aufgrund der Umweltfreundlichkeit von Produkten ist deshalb keine Änderung des Konsumverhaltens zu erwarten. Vielmehr müsste aus Sicht des Konsumenten der Kauf eines umweltfreundlichen Produktes auch andere Vorteile bieten.

Diese Einschätzung wird auch durch eine Studie von Roland Berger⁽⁶⁸⁾ bestätigt, in der Verbraucher bei Verpackungen Umweltaspekte nicht vorrangig bei Kaufentscheidungen angeben. Wie **Abbildung 31** zeigt, liegt die Umweltfreundlichkeit von Verpackungen erst an dritter Stelle nach Anforderungen an die Geschmacks-Neutralität und der Forderung nach einer Wiederverschließbarkeit.

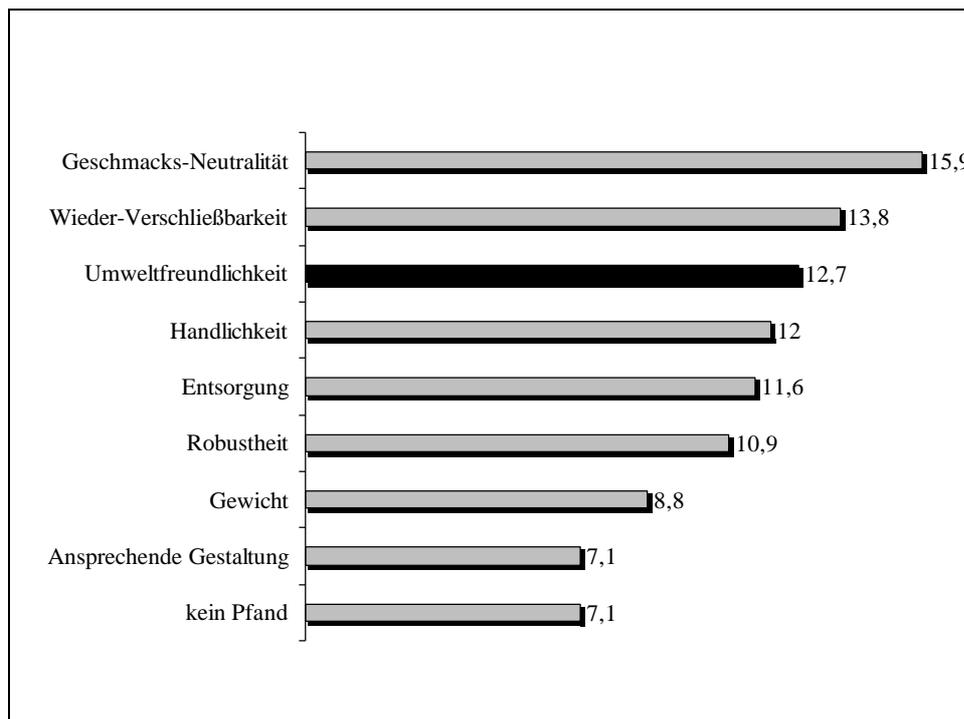


Abbildung 31: Wichtigkeit von Kriterien bei der Verpackungsentscheidung⁽⁶⁸⁾

5.1.2 Image-Aspekte bei Weißblech-Getränkeverpackungen

Wie in **Abbildung 31** abzuleiten ist, haben Imageaspekte bei der Kaufentscheidung keine vordergründige Bedeutung. Dennoch ist die Umweltfreundlichkeit für Weißblech-Getränkeverpackungen von Bedeutung. Im öffentlichen Straßenbild und besonders an Autobahnabfahrten sind vielfach weggeworfene Getränkedosen zu beobachten. Dieses „**Littering-Problem**“ betrifft die Weißblechdose in viel stärkerem Maße als andere Verpackungen. Ein wesentlicher Grund liegt in dem Gebrauchsnutzen von Getränkedosen. Sie werden vorwiegend zum Sofortverzehr von Getränken außer Haus gekauft. Dabei stellt sich das Problem der sachgerechten Entsorgung, wobei eine illegale Entsorgung von Getränkedosen eher eine Folge fehlenden Sozialverhaltens ist.

In der öffentlichen Meinung wird das Littering jedoch nicht mit dem Sozialverhalten, sondern mit dem Produkt in Verbindung gebracht. So gilt in der öffentlichen Meinung die Weißblech-Getränke-dose als nicht-umweltfreundlich. Mehr noch wird die Weißblech-Getränke-dose als das **Wegwerfprodukt** schlechthin angesehen. Die frühere Marketing-Strategie des *Informationszentrums Weißblech*⁶⁹⁾ hat mit dem Slogan: „Ich war eine Dose“ das Wegwerfimage der Weißblech-Getränke-dose dabei noch eher unterstrichen.

Diese öffentliche Meinung erleichterte auch die Initiative der Bundesregierung zur Änderung der Verpackungsverordnung und die Kampagne des Bundes-Umweltministeriums speziell gegen die Weißblechdose (s. auch Kapitel 3: *Politischer und rechtlicher Rahmen einer umweltgerechten Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen*).

Gleichwohl wird vom Verbraucher differenziert und das Negativimage der Getränkedose nicht für den Werkstoff verallgemeinert. So ist der Konsument durchaus in der Lage, die Umweltrelevanz von Stahlerzeugnissen je nach Anwendung in den unterschiedlichen Produkten zu beurteilen. Dies soll in den beiden nachfolgenden Fallbeispielen untermauert werden.

5.2 Stahlerzeugnisse für das Bauwesen

5.2.1 Anforderungen an die umweltgerechte Entwicklung von Stahlerzeugnissen für das Bauwesen

Bei Stahlwerkstoffen für das Bauwesen ist von Anwendern bislang keine Forderung an eine ökobilanzielle Betrachtung bekannt geworden. Zur Zeit beschäftigen sich, wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, im Wesentlichen öffentliche Institutionen mit einer ökologischen Beurteilung von Gebäuden mit Erzeugnissen für das Bauwesen.

Bei der Vergabe von öffentlichen Projekten könnten diese Erwägungen zukünftig durchaus Eingang finden. Hinweise darauf geben im Wesentlichen die in Kapitel 3 beschriebene „Integrierte Produkt-Politik“ der Europäischen Union. Konkrete Umsetzungsfälle liegen bislang noch nicht vor.

5.2.2 Image-Aspekte bei Stahlerzeugnissen für das Bauwesen

Eine Auswertung von Pressequellen zeigt ein deutlich positives Image für Stahlerzeugnisse im Bauwesen. Darin dürften auch die wenigen Aktivitäten zur Beurteilung der Umweltrelevanz von Stahlerzeugnissen für das Bauwesen begründet sein, da eine Untersuchung der Umweltrelevanz z.B. mit Ökobilanzen für ein anerkannt umweltfreundliches Erzeugnis nicht vorrangig ist.

Bei der Image-Arbeit werden die positiven Umweltaspekte durch das *Stahl-Informationszentrum* unterstrichen⁽⁷⁰⁾. Ein Beispiel gibt in **Abbildung 32** der Bau des Christus-Pavillons auf der EXPO 2000 in Hannover⁽⁷¹⁾.

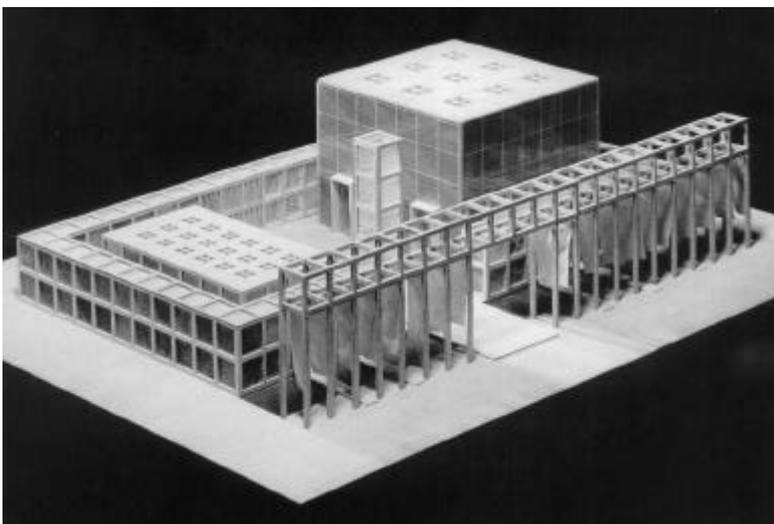


Abbildung 32: Christus-Pavillon auf der EXPO 2000⁽⁷¹⁾

Das positive Image von Stahlerzeugnissen im Bauwesen, insbesondere hinsichtlich des Recyclings, kann dem Werkstoff insgesamt dienen. Unter diesen Gesichtspunkt wurde auch eine Konferenz des *International Iron and Steel Institutes* (IISI) über Stahlerzeugnisse im Bauwesen am 15.-17. Mai 2002 unter den Titel „*Steel in Sustainable Construction*⁽⁷²⁾“ gestellt. Dieser Titel macht deutlich, dass Stahlerzeugnisse im Bauwesen ihr Image unter dem Aspekt der „Nachhaltigen Entwicklung“ weiterentwickeln können. Damit soll erreicht werden, dass über den reinen Umweltschutz hinaus eine Werkstoffentscheidung auch hinsichtlich der Schonung von Ressourcen getroffen werden sollte.

5.3 Stahlerzeugnisse für den Automobilbau

5.3.1 Anforderungen an die umweltgerechte Entwicklung von Stahlerzeugnissen für den Automobilbau

Von den in dieser Arbeit genannten Fallbeispielen ist die Formulierung von Anforderungen an eine umweltgerechte Gestaltung von Stahlerzeugnissen für den Automobilbau am weitesten fortgeschritten. Dieser Sektor ist zudem für die Flachstahlhersteller in Deutschland die bedeutendste Kundengruppe.⁽⁷³⁾

Bei der Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen für den Automobilbau sind eine Vielzahl von Einzelanforderungen an die einzusetzenden Bauteile und Komponenten zu erfüllen. Als Hauptkriterien sind zu berücksichtigen:

- Sicherheit
- Gewicht
- Kosten für Produktion und Recycling/Entsorgung

Es wird üblicherweise nicht eine einzelne Werkstoffalternative alle Anforderungen in gleicher Weise erfüllen können. Ziel einer intelligenten und umweltgerechten Produktentwicklung ist es deshalb, eine angenähert optimierte Lösung zu erarbeiten.

Abbildung 33 veranschaulicht das Spannungsfeld der vorgenannten Kriterien zueinander.

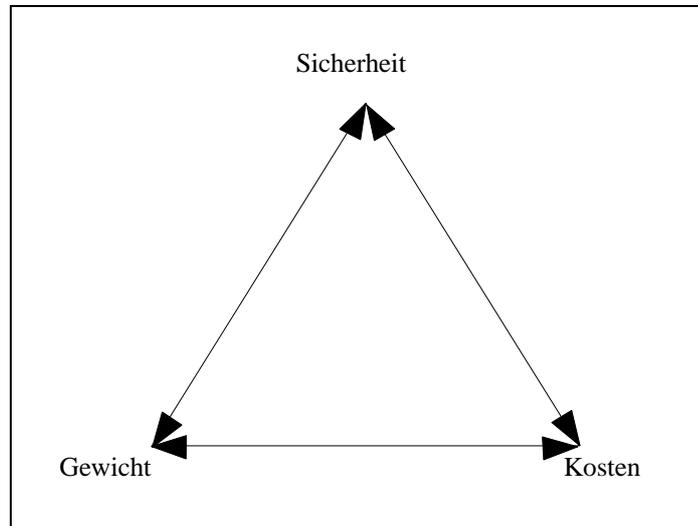


Abbildung 33: Kriterien bei der Werkstoffauswahl für eine Fahrzeugneuentwicklung

Während der traditionelle und im Fahrzeugbau dominierende Werkstoff Stahl die Kriterien Sicherheit und Kosten gut erfüllt, besteht aus Sicht der Automobilindustrie bei der Bauteilmasse ein Verbesserungspotential.⁽⁷⁴⁾ Es ist zu erwarten, dass zukünftig nicht mehr die Werkstoffe für sich einzeln in die Entwicklungskonzepte der Automobilindustrie einbezogen werden. So erwartet die Volkswagen AG für die Zukunft einen „intelligenten“, anforderungsgerechten **Material-Mix**. Die Herausforderung an den Werkstoff Stahl wird darin gesehen, den Gleichstand bei der **Sicherheit** und den Vorteil bei den **Kosten** zu halten und dabei weitere **Reduzierungen der Masse** zu ermöglichen.

Ohnehin scheint das Kostenargument bei der Positionierung des Stahlwerkstoffs gegenüber seinen Wettbewerbswerkstoffen von der Stahlindustrie überbewertet zu sein. Für ein Fahrzeug der oberen Mittelklasse mit einem Listenpreis von über 40.000 € beträgt der Materialwert der Rohkarosse lediglich 1.300 €, entsprechend 3% des Gesamtkaufpreises.⁽⁷⁵⁾

5.3.2 Prioritäre Umweltaspekte für die europäische Automobilindustrie

Anforderungen hinsichtlich des produktbezogenen Umweltschutzes ergeben sich im Automobilbau im Wesentlichen durch die **Selbstverpflichtung zur Minderung von CO₂-Emissionen**⁽⁷⁶⁾ während der Nutzung und damit verbunden die Forderung nach Massereduzierung sowie durch Anforderungen an die **Recyclingfähigkeit** aufgrund der **Altauto-Richtlinie**.⁽²⁵⁾

- a) In ihrer Selbstverpflichtungserklärung hat die europäische Automobilindustrie über ihren europäischen Dachverband im März 1998 zugesagt, den spezifischen Verbrauch, gerechnet als Mittelwert aller durch das Automobilunternehmen hergestellten Fahrzeuge auf der Basis von 1995 bis 2008 um 25% auf 140 g CO₂/km zu senken⁽⁷⁷⁾.
- b) Gemäß der EU-Altauto-Richtlinie⁽⁷⁸⁾ sollen ab dem 01.01.2006 alle Altautos zu mindestens 85%, bezogen auf eine mittlere Fahrzeugmasse und pro Jahr, verwertet werden. Davon müssen 80% der Menge stofflich wiederaufbereitet werden. Ab dem 01.01.2015 sollen diese Raten 95% bzw. 85% betragen.

Andere umweltbezogene Anforderungen an die Werkstoffe und die Erzeugnisse sind als nachrangig anzusehen.

5.3.2.1 Minderung des Energieverbrauchs bei der Nutzung

Das Institut für Kraftfahrwesen an der RWTH Aachen (IKA)⁽⁷⁹⁾ kam in einem Praxistest zu dem Ergebnis, dass durch Reduktion der Fahrzeugmasse um 100 kg bei den untersuchten Fahrzeugen eine Verbrauchsminderung von 0,1 bis 0,4 l/100 km möglich ist (**Tabelle 3**).

Weitere Potentiale durch eine angepasste Auslegung des Antriebsstrangs wurden festgestellt, aber nicht weiter quantifiziert.

Tabelle 3: Kraftstoffeinsparung in l/100 km Fahrleistung und 100 kg Massereduzierung⁽⁷⁹⁾

Fahrzeug	Kraftstoff-einsparung nach Euronorm in [l]	Fahrzeug	Kraftstoff-einsparung nach Euronorm in [l]
Peugeot 106 XR	0,08	Peugeot 205 GRD	0,39
VW Golf 1,6 i	0,14	VW Golf 1,6 TDI	0,14
Opel Vectra 1,6 16V	0,34	Ford Mondeo	0,32
MB E230	0,21	MB E290 TDI	0,22
BMW 528i	0,41	BMW 740i	0,26
Audi A8 2,8i	0,23		

Die theoretische Steckenverbrauchsgleichung lautet wie folgt:

Gleichung 2 ⁽⁸⁰⁾

Streckenverbrauchsgleichung

The diagram illustrates the forces acting on a vehicle during motion. At the top, 'Streckenverbrauch' (road consumption) is shown as a left-pointing arrow, and 'Kraftstoffverbrauch' (fuel consumption) as a right-pointing arrow. Below this, 'Triebstrang' (drivetrain) is shown as a left-pointing arrow, and 'Fahrwiderstände' (driving resistances) as a right-pointing arrow. The driving resistances are further categorized into 'Beschleunigungswiderstand' (acceleration resistance) and 'Steigungswiderstand' (grade resistance). The acceleration resistance is composed of 'Rollwiderstand' (rolling resistance) and 'Luftwiderstand' (air resistance). The grade resistance is composed of 'Steigungswiderstand' (grade resistance) and 'Bremswiderstand' (braking resistance). A 'Motor' is shown as an input to the drivetrain. The equation below shows the integration of these forces over distance to calculate fuel consumption.

$$Be = \frac{\int be * \frac{1}{hü} \left[\left(f * g * \cos a + \frac{r}{2} * cw * Aw * v^2 \right) + m(e * a + g * \sin a + Br) \right] * v * dt}{\int v * dt}$$

Strecke

b_e	spezifischer Kraftstoffverbrauch des Motors [g/kWh]		
η_i	Übertragungswiderstand des Antriebstrangs [N]		
A_w	Widerstandsquerschnittsfläche [m ²]		
F	Widerstand [N]		
m	Fahrzeugmasse [kg],	a	Beschleunigung [m*s ⁻²]
e	Massefaktor (Drehmassen)	f	Rollwiderstand [N]
g	Erdbeschleunigung [9,81 m*s ⁻²]	α	Steigungswinkel [°]
ρ	Dichte der Luft [kg/Nm ³]	C_w	Luftwiderstandsbeiwert
Br	Bremswiderstand [N]	t	Zeit [s]
v	Fahrgeschwindigkeit [m* s ⁻¹]		

Aus der Gleichung sind folgende wesentliche Einflussgrößen auf den Energieverbrauch eines Autos erkennbar:

- **Fahrzeugmasse**

Sie geht in der o.g. Gleichung über den Rollwiderstand und den Beschleunigungswiderstand ein.

- **Wirkungsgrad des Antriebstrangs**

Dieser wird bestimmt durch den Übertragungswiderstand.

In einer theoretischen Betrachtung wurde von BMW⁽⁸¹⁾ festgestellt, dass eine Reduzierung der Fahrzeugmasse um 10% zu einer **Verbrauchsreduzierung** von 1 bis 4% führt. Die Potentiale zur Minderung des Luft- und Rollwiderstandes werden mit 1 bis 1,5% je 10% Minderung angegeben. Die Verbesserung des Antriebstrangs um 1% bewirkt eine Verbrauchsreduktion um gleichfalls 1%. Damit ist belegt, dass eine **Kombination** der Reduktion der bewegten Masse und abgestimmten Anpassung der Kraftübertragung erreicht werden kann.

Die Studie von BMW hat daraufhin die Potentiale einer angepassten Auslegung des Antriebstrangs in ein Simulationsprogramm miteinbezogen. Diese Untersuchung kam zu dem Ergebnis, dass das Potential der Verbrauchsminderung durch eine Verminderung der Masse nur etwa zu 50% ausgeschöpft wird.

Wie **Abbildung 34** verdeutlicht, ist erst bei einer der Verminderung der Masse angepassten Auslegung des Antriebstrangs eine optimale Verbrauchsminderung möglich.

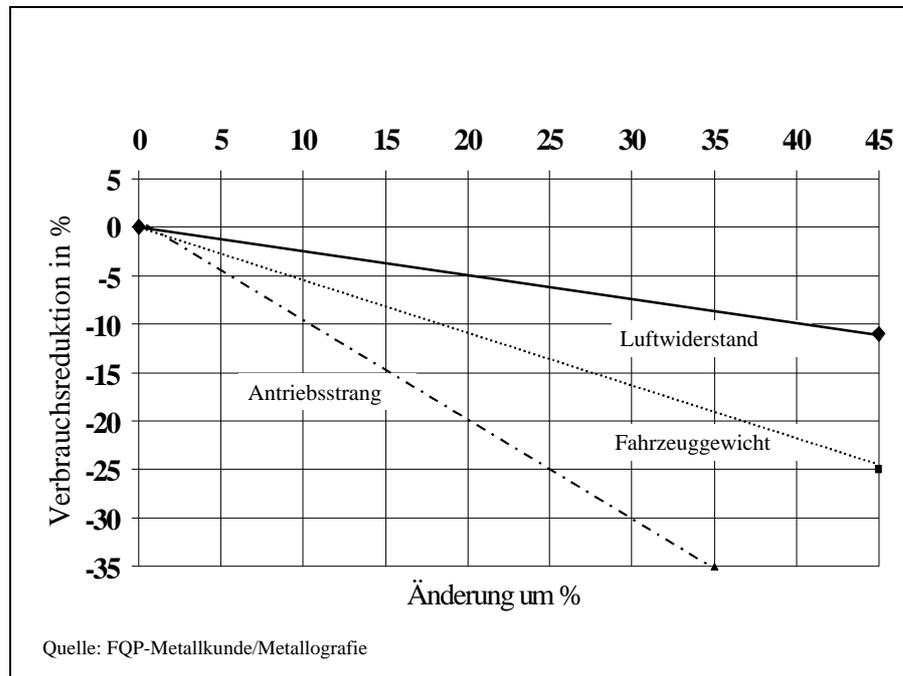


Abbildung 34: Potentiale zur Verbrauchsreduzierung bei Automobilen⁽⁸²⁾

Darüber hinaus wurde festgestellt, dass

- der prozentuale Einfluss der Masse auf den Kraftstoffverbrauch mit sinkender Fahrzeugmasse abnimmt. Leichtbau hat damit für Kleinwagen einen weit geringeren Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch als bei Autos der Oberklasse.
- erhebliche Bandbreiten bei den untersuchten Fahrzeugen und Motorisierungen bestehen.

Dementsprechend ist eine Berechnung des Einflusses der Masse-minderung auf den Kraftstoffverbrauch mit Schätz- oder Mittelwerten nicht sachgerecht. Eine genaue Untersuchung des konkreten Fahrzeugs mit seiner jeweiligen Übersetzung ist einer allgemeinen Betrachtung vorzuziehen.

Die Studien der Automobilindustrie und den angeschlossenen Forschungsanstalten untersuchten lediglich den Einfluss der Verminderung des Energieverbrauchs während der **Nutzung** von Automobilen. Wegen Unsicherheiten in der Datenlage wurden bisher

keine Aussagen zum Energieverbrauch bei der **Herstellung** der Bauteile und Komponenten gemacht.

Im Gegensatz hierzu konnten in den Öko-Sachbilanzen für Stahlerzeugnisse als bezogen auf die Masse wichtigste Komponente lediglich verlässliche Aussagen zur Herstellung gemacht werden, während für die Nutzung nur grobe Abschätzungen zum Energieverbrauch möglich waren.⁽⁵²⁾

In einer gemeinsamen und nicht veröffentlichten Untersuchung des Verfassers dieser Arbeit mit einem Automobilhersteller wurden erstmals reale Daten für Energiebilanzen und CO₂-Emissionen zur Herstellung von Stahlerzeugnissen mit Herstellerdaten für den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen während der Nutzung vereint.⁽⁸³⁾

Hierbei wurde ein Frontend, eine Konstruktion zur Aufnahme von Kühlergrill und Stoßstange, in Stahlbauweise einem Aluminiumbauteil für zwei Automobilvarianten gegenübergestellt. Für die Herstellung wurden zum Energieverbrauch die Sachbilanzdaten von Philipp, Eyrer, Erve, Schuckert, Theobald und Volkhausen⁽⁶³⁾ auf einen Stand von 1999 aktualisiert. Bei den Aluminiumdaten wurde auf eine Datenbank des IKP zurückgegriffen⁽⁸⁴⁾. In einer ersten Rechnung wurden Gesamtverbrauch und Gesamtemissionen an CO₂ für die betrachteten Automobilvarianten ohne Berücksichtigung einer Optimierung des Antriebstrangs ermittelt.

Die hierzu getroffenen Annahmen sind in **Tabelle 4** zusammengestellt.

Tabelle 4: Annahmen für die Herstellung (Bauteil Frontend):

	Stahl	Aluminium
Bauteilfläche	1,5 m ²	
Bauteilmasse	9,36 kg	4,86 kg
Energiebedarf zur Herstellung	184,54 MJ/Bauteil	1010 MJ/Bauteil
CO ₂ -Emissionen bei der Herstellung	273,7 kg/Bauteil	256 kg/Bauteil

Für die Nutzungsphase wurden zwei Automobilvarianten mit unterschiedlicher Motorisierung gewählt (**Tabelle 5**). Als Gesamtfahrleistung wurden 200.000 km zugrundegelegt.

Tabelle 5: Annahmen für die Nutzungsphase (Bauteil Frontend):

	<u>Fahrzeug 1</u>	<u>Fahrzeug 2</u>
Leermasse	1510 kg	1705 kg
Treibstoffverbrauch	9,1 l/100 km	12,3 l/100 km
Minderverbrauch durch Leichtbau (1)	0,126 l/100kg/100km	0,049 l/100kg/100km
Minderverbrauch durch Leichtbau (2)	0,379 l/100kg/100km	0,481 l/100kg/100km
Energieaufwand _(Treibstoffherstellung)	<u>5,4 MJ/l</u>	
Energie _(Treibstoffverbrennung)	<u>32,2 MJ/l</u>	
Spezifischer CO ₂ -Emissionen _(Treibstoff)	<u>2,29 kg/l</u>	

Durchführung der Berechnung:

1. Bei der Berechnung der Verbrauchsminderung durch Leichtbau wird zunächst der theoretische anteilige Kraftstoffverbrauch eines Referenzbauteils bestimmt. Als Referenz wurde das Bauteil mit im Vergleich höchster Masse und damit dem bedingten höchsten Verbrauchsanteil bestimmt. Der anteilige Verbrauch in [%] ergibt sich aus dem Produkt von (1), (2) und (3) gemäß **Gleichung 3**.

Gleichung 3

Anteiliger Verbrauch =

$$\frac{\text{Treibstoffverbrauch}(1) * \text{Gesamtfahrleistung}(2) * \text{Masse_Bauteil}(3)}{\text{Leermasse} * 100}$$

2. Der Energiebedarf E für die Nutzung errechnet sich gemäß **Gleichung 4** aus dem anteiligen Verbrauch über die Nutzung sowie der Energie, die für die Treibstoffherstellung (E_T) benötigt wird und der Energie, die bei der Treibstoffverbrennung frei wird (E_V).

Gleichung 4

$$E_{(\text{Nutzung})} = \text{anteiliger Verbrauch}_{(\text{Fahrleistung})} * E_{(T)} * E_{(V)}$$

Die CO₂-Emissionen für die Nutzungsphase ergeben sich analog.

3. Auf Basis der Daten für das Referenzbauteil wird der Minderverbrauch für das leichtere Bauteil aufgrund der Massendifferenzen (**Gleichung 5**) der zu vergleichenden Werkstoffe auf eine Nutzung von 200.000 km normiert (**Gleichung 6**).

Gleichung 5

$$\Delta \text{Masse Bauteil} = \text{Masse Bauteil}_{(\text{Stahl})} - \text{Masse Bauteil}_{(\text{Aluminium})}$$

Gleichung 6

$$\Delta W_{(\text{Nutzung})} = \frac{? \text{ Masse Bauteil} * \text{Minderverbrauch}_{(\text{Leichtbau})}}{200.000} * 100$$

W = Kraftstoffverbrauch (Arbeit)

200.000 = Nutzung in [km]

4. Der Energiebedarf und die CO₂-Emissionen für die Nutzung des Alternativbauteils errechnen sich aus der Differenz zwischen dem Energiebedarf und den CO₂-Emissionen für das Referenzbauteil aus Stahl und dem Unterschied des Energiebedarf bzw. dem Unterschied der CO₂-Emissionen für das Alternativbauteil aus Aluminium. Der sich aus **Gleichung 7** ergebende Faktor für den Minderverbrauch in [l/100kg/100km] stellt für die Berechnung der Energieeinsparung die entscheidende **Einflussgröße** dar. Der Wert variiert je nach Literatur oder Herstellerangabe zwischen 0,2 und 0,5 [l/100kg/100km]. Je größer der Wert ist, um so größer ist die Energieeinsparung durch eine verminderte Bauteilmasse.

Gleichung 7

$$\Delta E_{(\text{Nutzungsphase})} = ? W_{(\text{Gesamt-Fahrleistung})} * (E_T + E_V)$$

E = Energie

W = Kraftstoffverbrauch (Arbeit)

(E_T) Energiebedarf für die Treibstoffherstellung

(E_V) freiwerdende Energie bei der Treibstoffverbrennung

Gleichung 8

$$\Delta \text{CO}_2\text{-Emissionen}_{(\text{Nutzung})} = ? \text{Verbrauch}_{(\text{Nutzung})} * \text{spezifische CO}_2\text{-Emissionen}_{(\text{Treibstoff})}$$

Ergebnisse

In einer ersten Rechnung wurden Gesamtenergieverbrauch und Gesamtemissionen an CO₂ für die betrachteten Automobilvarianten ohne Berücksichtigung einer Optimierung des Antriebstrangs ermittelt. Die Ergebnisse zeigt **Tabelle 6**.

Tabelle 6: Gesamtenergieverbrauch und Gesamtemissionen an CO₂ für die betrachteten Fahrzeuge ohne Anpassung des Antriebstrangs (Bauteil Frontend, Variante 1)

(Angaben je flächennormiertes Bauteil)

	Fahrzeug 1		Fahrzeug 2	
	Stahl	Aluminium	Stahl	Aluminium
Energieverbrauch [MJ]				
Herstellung	184,54	1010,00	184,54	1010,00
Nutzung (200.000 km)	4241,88	3815,49	5077,79	4911,97
Herstellung + Nutzung	4426,42	4825,49	5262,33	5921,97
CO ₂ -Emissionen [kg]				
Herstellung	273,7	256,0	273,7	256,0
Nutzung (200.000 km)	258,0	232,0	309,0	299,0
Herstellung + Nutzung	531,7	488,0	582,7	555,0

Massen: Stahl 9,36 kg; Aluminium 4,86 kg

Eine zweite Rechnung beinhaltet die Optimierung des Antriebstrangs.

Tabelle 7: Gesamtenergieverbrauch und Gesamtemissionen an CO₂ für die betrachteten Fahrzeuge mit Anpassung des Antriebstrangs (Bauteil Frontend, Variante 2)

	Fahrzeug 1		Fahrzeug 2	
	Stahl	Aluminium	Stahl	Aluminium
Energieverbrauch [MJ]				
Herstellung	184,54	1010,00	184,54	1010,00
Nutzung (200.000 km)	4241,88	2959,34	5077,79	3450,08
Herstellung + Nutzung	4426,42	3969,34	5262,33	4460,08
CO ₂ -Emissionen [kg]				
Herstellung	273,7	256,0	273,7	256,0
Nutzung (200.000 km)	258,0	180,0	309,0	210,0
Herstellung + Nutzung	531,7	436,0	582,7	466,0

Eine grafische Darstellung der Ergebnisse zeigt **Abbildung 35**.

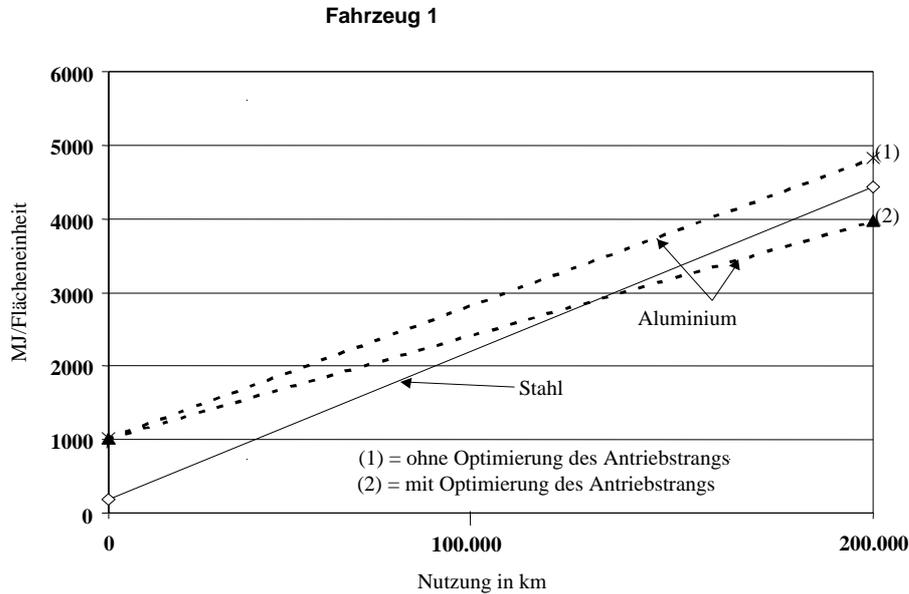


Abbildung 35: Energieverbrauch zur Herstellung und Nutzung eines Automobilbauteils aus verschiedenen Werkstoffen, Bauteil Frontend. Fahrzeug 1.

Für den betrachteten Fahrzeugtyp weisen **ohne Optimierung des Antriebstrangs** das Referenzbauteil aus Stahl und das Aluminiumbauteil nahezu dieselbe Steigung auf (1). Das bedeutet, dass über die gesamte Nutzung keine relevante Energieersparnis durch Leichtbau zu erreichen ist.

Mit Optimierung des Antriebstrangs ist eine Energieersparnis durch Leichtbau bei dem betrachteten Bauteil ab 130.000 km Laufleistung zu verzeichnen (2).

- Der Gesamtenergieverbrauch des Stahlbauteils wird hier zu 95% durch die Nutzung bestimmt. Der Energieverbrauch zur **Herstellung** des Stahlbauteils hat demnach nahezu keinen Einfluss auf das Ergebnis.
- Für Aluminium liegt der Anteil der Herstellphase am Gesamtenergieverbrauch zwischen 20% und 25%.

Auch für einen zweiten Fahrzeugtyp mit einer höheren Gesamtmasse und stärkerer Motorisierung in **Abbildung 36** ist ohne Optimierung des Antriebstrangs keine relevante Energieersparnis durch Verminderung der Masse von Bauteilen zu erreichen.

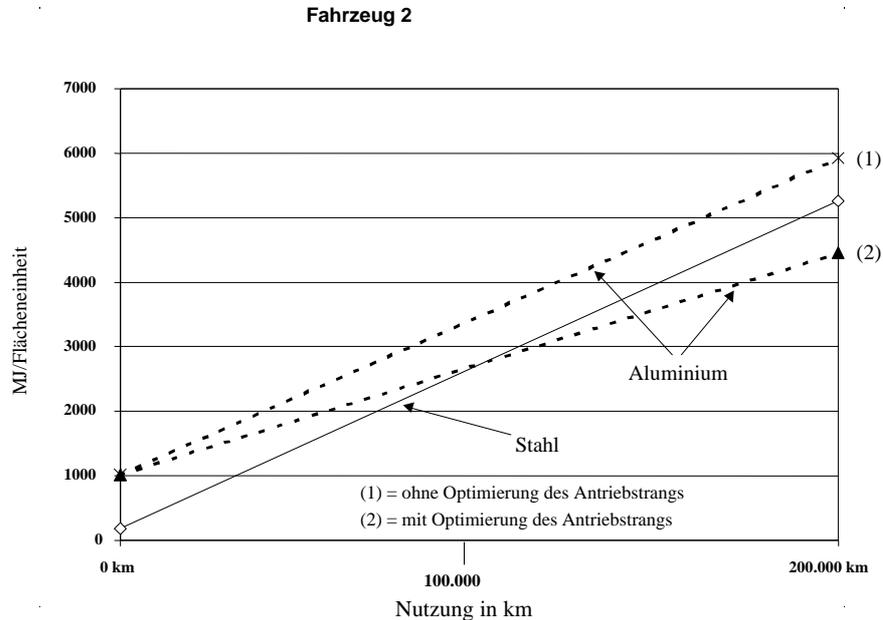


Abbildung 36: Energiebedarf zur Herstellung und Nutzung eines Automobilbauteils aus verschiedenen Werkstoffen, Bauteil Frontend. Fahrzeug 2.

Mit einer Optimierung des Antriebstrangs ist eine Energieersparnis durch Leichtbau bei dem betrachteten Bauteil bereits ab ca. 120.000 km Laufleistung zu verzeichnen.

Für das Stahlbauteil hat der Energieverbrauch während der Herstellung ebenfalls nahezu keinen Einfluss auf das Gesamtergebnis. Der Vergleich mit dem Aluminiumbauteil lässt erkennen, dass wegen des höheren Energieverbrauchs bei der Herstellung in beiden Fahrzeugvarianten eine optimierte Minderung des Energieverbrauchs bei der Nutzung nicht allein durch Leichtbau, jedoch sehr wohl in Verbindung mit einer Anpassung der Antriebseinheit erreicht werden kann.

Unter dem Gesichtspunkt einer umweltgerechten Entwicklung von Stahlerzeugnissen ist eine weitere Verminderung des Energieverbrauchs bei der Nutzung insbesondere bei höhermotorisierten Fahrzeugen durch eine **Verminderung der Bauteilmasse** erforderlich.

Im Sinne einer umweltgerechten Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen ist darüber hinaus ein enger Dialog zwischen Werkstoffhersteller und Werkstoffanwender geboten, um über die reine Minderung der Masse hinaus mit einer Verbesserung des Antriebstranges die vorhandenen Potentiale zur Minderung des Energieeinsatzes bei der Nutzungsphase optimal auszunutzen.

5.3.2.2 Recycling

Verschiedene Strategien zum Leichtbau verfolgen den weiteren Einsatz von Kunststoffen im Automobilbau. Problematisch gestaltet sich hierbei das Recycling. Da nach der Altautorichtlinie eine energetische Verwertung von Kunststoffen nicht dem Recycling zuzurechnen ist, ist für die Kunststoffeinbauten nur eine Demontage möglich.

In einer Untersuchung der Audi AG⁽⁸⁵⁾ wird herausgestellt, dass die Recyclingziele der EU-Altauto-Richtlinie die Bestrebungen zum Leichtbau behindern können. Es wird die Forderung aufgestellt, dass der Verminderung der Fahrzeugmasse Vorrang vor dem Recycling einzuräumen ist. Der Zielkonflikt ergibt sich hierbei aus dem technologisch unbefriedigenden **Kunststoffrecycling**. So kann ein Großteil der im Fahrzeugbau eingesetzten Kunststoffe nicht wiederverwertet werden und geht nach dem **Shreddern** für den Werkstoffkreislauf verloren. Als neues Konzept argumentiert Audi, dass ein Recycling nicht allein an einer technologischen Durchführbarkeit zu messen ist, vielmehr seien auch wirtschaftliche Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Als ein neues Konzept wurde hier das Kriterium der **Kreislaufeignung** eingeführt, sie ist eine **Grenzkostenbetrachtung** zwischen Wert eines Recykletes und den Kosten der Demontage und Aufbereitung.

Gleichung 9

$$\text{Kreislaufeignung} = \frac{\sum \text{Wert(Recyklat)} + \text{vermiedene_Abfallbeseitigungskosten}}{\sum \text{Kosten(Demontage + Aufbereitung + Logistik + Vermarktung)}}$$

Die Kreislaufeignung ist abhängig von der Nachfrage und der Qualität der Produkte. Hier bestehen für Kunststoffrecyklete oft erhebliche Schwierigkeiten, das Niveau von Originalware zu erreichen. Von Audi wird hier die Ansicht vertreten, dass die

Optimierung der Nutzungsphase, gemeint ist die Verminderung des Kraftstoffverbrauchs, ökologische Priorität vor dem werkstofflichen Recycling habe.

An dem vorgelegten Konzept ist zu kritisieren, dass eine Herleitung der Kreislaufeignung aufgrund einer Grenzkostenbetrachtung das Verständnis der Kreislaufwirtschaft mißachtet. Die Frage der Kreislaufeignung ist nach geltendem Recht allein auf die Stoffeigenschaften gestützt und ist nur durch das allgemeine Prinzip der Verhältnismäßigkeit eingeschränkt.

Es sollte deshalb im Sinne des Gesetzgebers sein, einen ganzheitlichen Ansatz, der die Wechselwirkungen zwischen Minderung der Masse und Recycling angemessen berücksichtigt, zu verfolgen. Hersteller von Werkstoffen sollten dabei in den Abwägungsprozess im Sinne einer umweltgerechten Gestaltung bereits in der Konzeptphase mit ihrem Know-how eingebunden werden.

Im Zusammenhang mit den Recyclingvorgaben der Altautorichtlinie ist die Automobilindustrie inzwischen wieder an die Stahlindustrie herangetreten, den Einsatz von Shredderrückständen, die zum Großteil aus nicht verwertbaren Kunststoffen bestehen, in Hochöfen zu prüfen. Vor dem beschriebenen Hintergrund, dass aufgrund der Bestrebungen zur Minderung der Fahrzeugmasse Überlegungen bestehen, Kunststoffe auch in der Karosserie und in der Außenhaut einzusetzen, könnte der Anteil an Kunststoff im Fahrzeugbau drastisch ansteigen und für Stahl ein weiterer Konkurrenzwerkstoff neben Aluminium werden. Eine Sicherstellung der Recyclingsicherheit würde diese Tendenz unterstützen. Eine Zusicherung der Stahlindustrie, Kunststoffe aus der Shredderaufbereitung in Hochöfen einzusetzen, würde somit die bestehenden Marktanteile für Stahlwerkstoffe weiter gefährden.

Auch für Stahlwerkstoffe und Stahlerzeugnisse ist das Recycling nicht problemlos. Aus Ökobilanzen entstammt die Vorstellung eines geschlossenen Werkstoffkreislaufs. Die Vorstellung geht davon aus, dass ein Erzeugnis am Ende seines Lebensweges nach dem Recycling wieder derselben Anwendung zuzuführen ist; d.h. dass aus einem genutzten Kotflügel nach dem Recycling wieder ein Kotflügel entstehen sollte. Ein Recycling für andere Anwendungen wird als offener Werkstoffkreislauf angesehen. Es sei darauf hingewiesen, dass es sich bei der vorgenannten Vorstellung um eine Konvention handelt, die bei den verschiedenen in der Vergangenheit durchgeführten Ökobilanzen entstand.

Diese Vorstellung fordert zur sachgerechten Berücksichtigung des Stahlrecyclings eine Erweiterung des Konzepts.

5.3.2.1 Forschungsvorhaben der europäischen Automobilindustrie

Zur Beleuchtung des Zielkonflikts zwischen Reduzierung der Masse und Recycling wurde vom European Council for Automotive R&D (EUCAR) am 1.1.2001 ein Forschungsvorhaben mit dem Titel:

„Umweltschutzaspekte einer Leichtbau-Konstruktion vor dem Hintergrund von Recyclingquoten und CO₂-Minderungszielen“

gestartet.⁽⁸⁶⁾ Das Programm trägt auch den Namen **Light and recycable Car** (LiReCar) und hat eine Laufzeit von 24 Monaten und wird über das 5. Rahmenprogramm der Europäischen Kommission gefördert.

Als Forschungsumfang wird beschrieben:

Automotive industry is committed to the voluntary agreement on CO₂ emissions reduction and will be subjected to the EU Directive on End of Life Vehicles. Use of lightweight materials is one of the promising solutions to meet the CO₂ emission reduction target. Lightweight design options will also have met the recycling targets. These issues have to be investigated using a holistic approach in order to avoid omission or shifting of potential environmental impacts from a product life cycle phase to another. LiReCar aims at assessing the environmental impacts of lightweight materials all through their life cycle. The study will be based on Lifecycle Assessment Methodology following the ISO 1404X standards. Results will consists of an analysis of the strong and weak points of lightweight design scenarios and guidelines for better integration of environmental aspects in the car design phase.

Beteiligt sind an dem Forschungsprojekt die Automobilunternehmen

- Renault
- Volkswagen
- Ford Deutschland
- Volvo
- Opel
- Fiat und
- DaimlerChrysler

In dem LIRECAR-Projekt werden in vier Szenarien untersucht:

- Ein herkömmlicher Stahlbody der 90er Jahre
- Ein aktueller Stahlbody mit Aluminiummotor und –Rädern
- Ein Konzeptauto 2008
- Eine „Vision 2015“

Die beiden letztgenannten Szenarien beziehen kombinierte Aluminium- und Magnesium-Bepunktungen oder Kunststoffbepunktungen ein sowie Kunststoff-Bodies, die mit Aluminium- und Magnesium-Bauteilen verstärkt sind und Motoren aus Aluminium-Magnesium-Legierungen.

Für das International Iron and Steel Institute (IISI) wurde der Verfasser dieser Arbeit zu einer Mitarbeit im sogenannten Advisory Committee gebeten, in dem die beteiligten Werkstofflieferanten über Projektumfang und –Ergebnisse informiert und Bedenken eingebracht werden können. Aufgrund einer Geheimhaltungsvereinbarung können bis zur Drucklegung dieser Arbeit keine Zwischenergebnisse vor Veröffentlichung eines Abschlussberichtes voraussichtlich Ende 2002 dargestellt werden.

Das Vorhaben verdeutlicht dennoch die Bedeutung, die die Automobilindustrie den Umweltzielen **Leichtbau** und **Recycling** beimisst. Die Stahlindustrie sollte daher im Dialog mit ihren Werkstoff- und Produktanwendern nach Lösungen im vorgenannten Zielkonflikt suchen.

5.3.3 Imageaspekte bei Stahlerzeugnissen für den Automobilbau

Bei der Prioritätensetzung der Anwender von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen haben in Bezug auf den Umweltschutz Sicherheitsaspekte und rechtliche Anforderungen sicher eine höhere Bedeutung als Fragen des Umwelt-Images. Davon losgelöst spielt das Umweltimage bei Automobilherstellern unterhalb der Kompaktklasse eine größere Rolle als oberhalb dieser Klasse. So hat die Volkswagen AG für den **VW Lupo** den **Umweltpreis** des Bundesverbandes der Deutschen Industrie 1999/2000 in der Kategorie „umweltfreundliche Produkte“ erhalten. Dieser Preis wurde auch werblich genutzt.

Folglich haben Imageaspekte für das Automobil indirekt auch Auswirkungen auf das Image der im Automobilbau eingesetzten Werkstoffe.

Die Bedeutung, die ein **Verbraucher** Umweltaspekten beimisst, ist je nach Fahrzeugklasse unterschiedlich. Während gemeinhin image- und prestigeträchtige Fahrzeuge der Oberklasse zuzuordnen sind, werden i.d.R. Fahrzeuge unterhalb der Kompaktklasse, die auch „Golf-Klasse“ genannt wird, als eher umweltfreundlich angesehen. Ähnlich differenziert ist das Image der im Fahrzeugbau eingesetzten Werkstoffe zu betrachten:

5.3.3.1 Fallbeispiel US Steel

Nach einer Untersuchung von US Steel wurden im Jahre 2000 über 150 Mio. US\$ an Werbekosten für die Verbesserung des Images von Stahl im Zusammenhang mit Sicherheitsaspekten aufgewendet. Im Ansehen der Öffentlichkeit wurden nach dieser Untersuchung schwere Stahlautos mit Sicherheit assoziiert.⁸⁷⁾ Dieser Eindruck wurde durch eine Untersuchung von EUROFER bestätigt, nach der in der Öffentlichkeit leichte und kleine Autos als wenig sicher angesehen werden.⁸⁸⁾ Diese Erkenntnis steht den Anstrengungen der Automobilindustrie entgegen, leichte Fahrzeuge unter Anwendung von Aluminium zu entwickeln und diese mit einem positiven Umweltimage zu versehen.

5.3.3.2 Fallbeispiel Audi

Die Werbekampagne zur Einführung des Audi A 8 der Audi AG hatte zwar erheblich zur Verbesserung des allgemeinen Ansehens von Aluminium als modernem Werkstoff beigetragen. Sie hatte jedoch keine direkten Umweltaspekte zum Inhalt, die in dieser Wagenklasse auch eher unglaubwürdig gewirkt hätten.

Die Imagewirkung von Werkstoffen in Fahrzeugen, die als umweltfreundlich angesehen werden, hängt eng von ihren Potentialen hinsichtlich Massenverminderung und Recycling ab. Dies soll durch das nachfolgende Fallbeispiel verdeutlicht werden:

5.3.3.3 Fallbeispiel ÖKO-TREND

Das Wuppertaler Umweltinstitut ÖKO-TREND erstellt seit 1997 eine Liste der umweltverträglichsten Autos.⁽⁸⁹⁾ Die ganzheitliche Studie berücksichtigt Aspekte der

Ressourcenschonung bei Produktion, Beschaffung und Logistik ebenso wie den Kraftstoffverbrauch, die Schadstoffemissionen und das Fahrgeräusch der Autos. Weitere Bewertungskriterien sind Recycling und Umweltmanagement. Ziel des Rankings ist insbesondere die Beratung von Flottenbetreibern bei dem Kauf umweltverträglicher Fahrzeuge.

Für Automobilhersteller ist diese Bewertung von Automobilen eine wichtige Rückmeldung über das ökologische Ansehen ihrer Produkte.

Unterschieden werden

- Fahrzeugindividuelle Bewertungskriterien
- Herstellerbezogene Bewertungskriterien

Bei den fahrzeugindividuellen Bewertungskriterien werden der Verbrauch und die Schadstoffemissionen mit 40 bzw. 20% am höchsten gewichtet. Damit wird der größte Teil der Bewertung durch Leichtbaueffekte bestimmt. Dagegen hat in diesem Ranking das Recycling keine besondere Bedeutung. Eine vollständige Übersicht gibt **Tabelle 8**.

Tabelle 8: Bewertungskategorien für umweltverträgliche Autos⁽⁸⁹⁾

Fahrzeugindividuelle Bewertungskategorien		
Kriterium	Maximalpunktzahl	Gewichtung
Verbrauch	400	40 %
Schadstoffemissionen	200	20 %
Fahrgeräusch	150	15 %
Fahrzeugindividuelle Bewertung gesamt		75 %
Herstellerbezogene Bewertungskategorien		
Kriterium	Maximalpunktzahl	Gewichtung
Beschaffung/Logistik	30	3 %
Produktion	90	9 %
Recycling	50	5 %
Umweltmanagement	80	8 %
Herstellerindividuelle Bewertung gesamt		25 %

Die Gewichtung der Bewertung führt dazu, dass Fahrzeuge mit einem geringen Kraftstoffverbrauch bezogen auf 100 km naturgemäß das Ranking anführen. So wurde

bei 1126 untersuchten Fahrzeugen die in **Tabelle 9** wiedergegebene Rangfolge für die umweltverträglichsten Automobile nach dem Öko-Trend-Ranking ermittelt:

Tabelle 9: Die umweltverträglichsten Automobile nach dem Öko-Trend-Ranking⁽⁸⁹⁾

Platz/Fabrikat	Typ	Erreichte Punkte
1. VW	Lupo 3L TDI	870
2. Audi	A2 1.2 TDI	855
3. VW	Polo 1.0	777
4. Opel	Corsa 1.0 12V	776
5. VW	Golf 1.9 TDI	744
6. Toyota	Prius 1.5 Hybrid	736
7. Opel	Astra 1.2 16V	726
8. Mercedes	A 140	721
9. Toyota	Yaris 1.0 linea eco	720
9. VW	New Beetle 1.9 TDI	720

Es verwundert nicht, dass die ersten vier Ränge ausschließlich von Kleinwagen belegt werden. Bei den Fahrzeugen der zwei erstgenannten Plätze wurden die Kraftstoffverbräuche und damit verbunden die Schadstoffemissionen durch Einsatz von Aluminium und Magnesium beim Polo 3L der Volkswagen AG und Aluminium beim Audi A2 erreicht. Der Einsatz dieser Werkstoffe wird von den beiden Automobilunternehmen auch bei der Werbung unterstrichen. So führen die Maßnahmen zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs gleichzeitig zu einer Imagesteigerung der eingesetzten Werkstoffe. In der Umkehrung darf aber nicht abgeleitet werden, dass die konventionelle Anwendung von Stahl für umweltfreundliche Automobile nicht geeignet ist. Die weiteren Plätze des Rankings werden überwiegend von Automobilen in einer Stahllösung erreicht. Dass dabei das Leichtbaupotential und damit auch das Potential zur Imagebildung bei weitem noch nicht ausgeschöpft ist, wird noch in Kapitel 6.2 *Maßnahmen zur Verminderung des Bauteilmasse* beschrieben.

Eine Untersuchung der veröffentlichten Quellen zeigte, dass die Automobilhersteller selbstverständlich das Image ihrer Produkte werblich nutzen. Es erstaunte aber, dass zumindest in den jüngeren Publikationen Ergebnisse von Ökobilanzen nicht zu einem öffentlichen Werkstoffvergleich herangezogen werden, wie folgende Fallbeispiele zeigen:

- In einer vergleichsweise offensiven Imagearbeit der Audi AG wird zwar der Aluminiumwerkstoff als hilfreich zum Erreichen der Leichtbauziele dargestellt, es findet sich aber kein Hinweis auf einen ökologischen Vergleich mit Stahl⁽⁹⁰⁾.
- Die Volkswagen AG hat eine Sachbilanz für das Modell Golf A4 veröffentlicht. Hier wird der Anteil der Nutzung in einem Vergleich von zwei Motorisierungsvarianten herausgestellt. Ein Werkstoffvergleich findet nicht statt⁽⁹¹⁾.
- In den Umweltberichten der DaimlerChrysler AG und der BMW AG werden die Einflüsse der Nutzung und damit des Leichtbaus dargestellt, ein Werkstoffvergleich findet nicht statt.⁽⁹²⁾
- Ford veröffentlichte ein Statement zur ganzheitlichen Produktentwicklung auf seiner Internet-Homepage. Hier wird gleichfalls der Einfluss des Leichtbaus auf die Nutzung hervorgehoben, wobei Perspektiven in Werkstoffalternativen gesehen werden. Ein direkter Werkstoffvergleich wird nicht dargestellt.⁽⁹³⁾

Festzuhalten ist, dass die zitierten Anwender von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen für ihre öffentliche Imagearbeit keine ökologischen Werkstoffvergleiche betreiben.

Eine Strategie zur Verbesserung des Images von Stahlerzeugnissen sollte diesem Umstand Rechnung tragen. In Hinblick auf den Kunden erscheint es für den Automobilbau nicht zielführend, eine Imagearbeit für Stahl auf einem ökologischen Werkstoffvergleich aufzubauen. Vielmehr sollte in der Öffentlichkeitsarbeit das Entwicklungspotential von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen betrachtet und durch Ökobilanzen validiert werden.

5.3.4. Relevanz von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen bei der Werkstoffauswahl für Automobilhersteller

Für die umweltgerechte Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen ist die Kenntnis bestimmter ökologischer Anforderungen als integrierter Bestandteil des gesamten Entscheidungsprozesses zur Werkstoffauswahl von entscheidender Bedeutung. Weiterhin muss den Herstellern von Stahlwerkstoffen die Gewichtung bestimmter Umweltaspekte beim Anwender bekannt sein, um seine Strategie des Umweltschutzes zu überprüfen oder neue Strategien zu entwickeln.

Hierzu wurden bei den wichtigsten Automobilherstellern in Deutschland Interviews durchgeführt. Da es sich zum überwiegenden Teil um persönliche Mitteilungen handelte, wurde im Folgenden auf eine Nennung der Unternehmen verzichtet. Es wurde neben den Entscheidungsparametern auch nach Instrumenten gefragt, mit denen ökologische Aspekte überprüft und in den Entscheidungsprozeß eingebunden werden.

Ergebnisse

Sämtliche befragten Automobilhersteller richten sich auf einen verstärkten Einsatz von innovativen Werkstofflösungen ein. Die Werkstoffauswahl erfolgt grundsätzlich unter folgenden Gesichtspunkten:

- Sicherheit
- Produzierbarkeit
- Steifigkeit und Festigkeitsanforderungen
- Temperatur- und Medieneinflüsse
- Komfort
- Kostenattraktivität
- Umweltauswirkungen während der Nutzungsphase
- verantwortungsvoller Materialeinsatz

Als höchste Priorität wurden einheitlich Anforderungen an die Sicherheit genannt. Der von der Stahlindustrie in der Vergangenheit hervorgehobene Kostenvorteil des Stahlwerkstoffs gegenüber Werkstoffalternativen scheint jedoch von minderer Bedeutung zu sein, insbesondere bei Herstellern von Fahrzeugen oberhalb der Kompaktklasse.

Die Bedeutung von Umweltaspekten bei der Entscheidung über Werkstoffalternativen nimmt bei allen befragten Automobilherstellern zu.

Die beiden letztgenannten Aspekte spiegeln die Anforderungen an die Minderung der Fahrzeugmasse und an die Recyclingfähigkeit wieder. Diese Umweltaspekte haben bei der Werkstoffentscheidung in den einzelnen Unternehmen eine unterschiedliche Bedeutung. In der Tendenz haben diese Aspekte bei Herstellern von Fahrzeugen oberhalb der Kompaktklasse eine größere Bedeutung für die interne Entscheidungsvorbereitung als bei Herstellern im Kompaktklasse-Segment.

- In der Abwägung zwischen Minderung der Masse und dem Recycling hat die Minderung der Fahrzeugmasse eine leicht höhere Priorität. Einzelne Automobil-

hersteller geben den Fragen des Leichtbaus eindeutig den Vorrang und halten in dem Zusammenhang die gesetzlichen Recyclingziele für kontraproduktiv. Insgesamt wird die Werkstoffauswahl zunehmend durch Erfordernisse der Masseminderung bestimmt.

- Außer Masseminderung und Recycling werden keine weiteren Umweltaspekte in den Entscheidungsprozeß erkennbar einbezogen.
- Ökobilanzen werden von allen Automobilherstellern zur Entscheidungsvorbereitung genutzt. Sie dienen durchgängig zur Absicherung von Werkstoffentscheidungen und stellen bislang kein eigenes Entscheidungsinstrument dar. Bei einigen Herstellern werden Ökobilanzen zunächst nur testweise eingesetzt. Ein Hersteller sieht sich als Promotor für Ökobilanzen und veröffentlichte eine vollständige Ökobilanz für ein Fahrzeug im Internet. Hinsichtlich der Wirkungsabschätzung werden überwiegend Klimaaspekte, Ressourcenschonung und damit Recycling sowie Faktoren genannt, die mit der Nutzung zusammenhängen, z.B. Ozonbildungspotential.
- Bei den Automobilherstellern bestehen Schwierigkeiten, das Recycling von Stahl methodisch zu bewerten. Es besteht die Auffassung, dass ein geschlossener Kreislauf von Produkten oder Bauteilen für Produkte beinhaltet, dass die Erzeugungsketten für die jeweiligen Werkstoffe gleichfalls geschlossen sein müssen. Insofern wird das Recycling von Flachstahlerzeugnissen in Elektrolichtbogenöfen, die wiederum Langstahlerzeugnisse herstellen, nicht als geschlossener Werkstoffkreislauf angesehen. Für die ökobilanzielle Bewertung der Recyclingeigenschaften von Stahl hält die Automobilindustrie deshalb die Entwicklung eines Konzepts für erforderlich, das das integrierte Recycling von Flachstahlerzeugnissen in anderen Stahlerzeugungs- und Recyclingrouten angemessen als geschlossenen Werkstoffkreislauf abbildet.

5.3.5 Schlussfolgerung

Anforderungen an eine umweltgerechte Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen werden von Anwendern ausschließlich von der Automobilindustrie gestellt. Bei der Werkstoffauswahl finden im Rahmen der Entwicklung von Automobilen auch Umweltaspekte zunehmend Eingang. Die Bedeutung von Umweltaspekten im Prozess der Werkstoffauswahl nimmt erkennbar zu.

Entscheidungsrelevante Umweltaspekte sind bei der Automobilindustrie der Energieverbrauch bei der Nutzung und das Recycling.

Die Vorteile des Werkstoffs Stahl hinsichtlich seiner Recyclingeigenschaften sind allgemein anerkannt. Die methodische Einbeziehung des Recyclings in den Werkstoffkreislauf ist jedoch noch unzureichend beschrieben.

Ökologische Defizite haben Stahlerzeugnisse hinsichtlich ihrer Masse und damit ihres Einflusses auf den Energiebedarf bei der Nutzung

Der Handlungsbedarf zur Minderung der Masse ist der Stahlindustrie bekannt. Dennoch wird bei der Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen in der Regel der Umweltschutz nicht in eine ganzheitliche Strategie eingebunden; d.h., Umweltschutzaspekte werden isoliert voneinander betrachtet. Für die Stahlindustrie ist es aber erforderlich, eine integrierte Strategie zur Gestaltung von Werkstoffen und Erzeugnissen zu entwickeln, die den Umweltschutz angemessen berücksichtigt und sich dabei an den Anforderungen der Anwender orientiert. Hier können spiegelbildlich zur Automobilindustrie Ökobilanzen das Ergebnis der Entwicklung absichern.

Die Aussagen von Ökobilanzen sollten in der Kommunikation nach außen keineswegs nur vordergründig auf Imagefragen in einer breiten Öffentlichkeit abzielen. Vielmehr sollten die Hersteller von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen verstärkt auch ökologische Optimierungen als Resultat von Innovationen von Stahlerzeugnissen im Vergleich zu herkömmlichen Stahlerzeugnissen herausstellen. Somit können Argumente des Umweltschutzes für den Werkstoff Stahl genutzt werden, um so eine weitere Verdrängung aus dem Automobilbau zu bremsen. Bei Erfolg dieser Strategie kann auch eine Verbesserung des Images von Stahl erreicht werden.

6. Prioritäre Umweltaspekte bei der Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen

Aufgrund der politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen und der Anforderungen der Anwender von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen sowie nicht zuletzt aufgrund des Images ergeben sich zwei prioritäre Umweltaspekte, die einer eingehenden Betrachtung zu unterziehen sind:

- Recycling und
- Leichtbau mit Bezug auf Werkstoffe und Erzeugnisse für den mobilen Einsatz

6.1 Recycling

Für den Werkstoff Stahl hat das Recycling nicht nur lange Tradition, es ist ein integraler Bestandteil der Erzeugungsstrategie. Das Stahlrecycling ist jedoch nur schwer mit der Forderung in Ökobilanzen nach geschlossenen Werkstoffkreisläufen vereinbar. Eine Vereinbarkeit mit dieser Forderung ist aber bedeutsam für die Bewertung der Recyclingeigenschaften durch Anwender von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen.

Nachfolgend soll ein Konzept vorgestellt werden, das die zur Verfügung stehenden Stahlerzeugungs- und Recyclingrouten integrativ als ein System betrachtet und die Forderung nach einem geschlossenen Werkstoffkreislauf für Erzeugnisse aus Stahlwerkstoffen erfüllt. Als ein entscheidendes Kriterium für die Recyclingeigenschaften wird dabei die Lebensdauer eingeführt.

6.1.2 Ökonomische Rahmenbedingungen

6.1.2.1 Schrottaufkommen

Das Schrottangebot ergibt sich aus drei Quellen :

- Interner Kreislaufschrott der Stahlwerke
- Neuschrottaufkommen der stahlverarbeitenden Industrie und
- Altschrottaufkommen⁽⁹⁴⁾

- Das Aufkommen an Kreislaufschrott hängt im Wesentlichen vom Ausbringen in den Formgebungsstufen ab. Wegen der fortgeschrittenen Einführung der Stranggießtechnologie und des in der Zukunft zunehmenden Anteils an endabmessungsnah vergossenem Rohstahl ist von einem weiteren Rückgang des Aufkommens an Kreislaufschrott auszugehen.

- Das Neuschrottaufkommen hängt im Wesentlichen vom Ausbringen in der stahlverarbeitenden Industrie ab. Zunehmend werden bereits durch Flachstahlerzeuger vorgefertigte Bleche als Tailored Blanks hergestellt. Das Optimierungspotential hinsichtlich Ausbringen und damit des Neuschrottentfalls wird somit bereits durch den Stahlerzeuger ausgeschöpft. Die eigene Vorfertigung von Blechen führt dazu, dass verstärkt Stanzreste nicht mehr über die Gießereien der Automobilhersteller recycelt werden, sondern zurück zu den Stahlerzeugern gelangen. Weiterhin dürfte das Recycling über die Gießereien wegen eines zunehmenden Anteils an Aluminium zurückgehen.⁹⁵⁾

- Das Altschrottaufkommen ist der Schlüsselfaktor für das Schrottaufkommen. Der Altschrottanteil hängt von der Lebensdauer der Produkte, der Rückführungslogistik und nicht zuletzt von individuellen Faktoren, wie dem persönlichen Verhalten von Verbrauchern ab.
 Im Vorgriff auf eine gesonderte Betrachtung der Lebensdauer an späterer Stelle ist davon auszugehen, dass ein wesentlicher Zuwachs an Altschrott allein aufgrund der Entwicklung der Rohstahlerzeugung nicht mehr zu erwarten ist, da diese seit Mitte der 80er Jahre weitgehend konstant ist.
 Die Rückführungslogistik ist für die verschiedenen Anwendergruppen, im wesentlichen Automobilbau, Stahlbau und Verpackungsindustrie, weitgehend optimiert. Wesentliche Impulse zur Steigerung des Altschrottaufkommens sind nicht erkennbar.
 Das persönliche Verhalten von Verbrauchern spielt insbesondere bei Verpackungen eine Rolle. Innerhalb dieses Abschnitts wird noch dargelegt, dass auch hier nahezu optimale Bedingungen vorliegen.

Die Rückführung von Altschrott in den Stoffkreislauf ist nach Produktgruppen unterschiedlich.

- Weißblechverpackungen gelangen über die Sammelsysteme des *Duales System Deutschland* (DSD) oder über die Magnetsichtung in Müllverbrennungsanlagen (MVA) zum Schotthandel.
- Automobilteile, Haushaltsgeräte und Schrotte gewerblicher Sammlungen werden in der Regel über den Shredder zurückgeführt.
- Stahlbauerzeugnisse, insbesondere Träger, werden direkt bei Abbrucharbeiten separiert.

Die Verbesserung der Rückführung von Stahlerzeugnissen ist, anders als bei dem Sonderfall der Getränkeverpackungen, deren Recycling rechtlich festgeschrieben ist, allein von wirtschaftlichen Faktoren abhängig. Für Stahlerzeugnisse mit einer hohen Masse, wie z.B. im Automobil- oder Stahlbau, ist mit der bestehenden Rückführungslogistik über Schrottverwerter und Schrotthandel ein rentables Recycling gegeben. Bei genutzten Stahlerzeugnissen mit einer geringen Masse treten Verluste durch eine Entsorgung abseits der Schrottverwertbetriebe, z.B. über die Abfallentsorgung auf. Der relativ zu anderen Metallen geringe Schrottpreis hat hierbei nur geringe Auswirkungen auf die Rückführung. So ist bei Aluminium trotz eines etwa 10-fach höheren Schrottpreises die Recyclingquote niedriger als bei Stahl. Eine Verbesserung der Rückführung von Schrotten ist letztlich nur durch ein ausgebautes dezentrales Sammelsystem möglich, das aber nicht wirtschaftlich zu betreiben ist.

6.1.2.2 Recyclingrouten

Zur Zeit werden in Europa 40% der Rohstahlerzeugung in Elektrostahlwerken erschmolzen und 60% in Oxygenstahlwerken. Während, weltweit wie in der EU, die Erzeugung von Oxygenstahl, bereinigt um Konjunkturschwankungen, seit den 80er Jahren nahezu konstant ist, nahm die Erzeugung von Elektrostahl bis Mitte der 90er Jahre noch zu⁽⁹⁶⁾ (**Abbildung 37**).

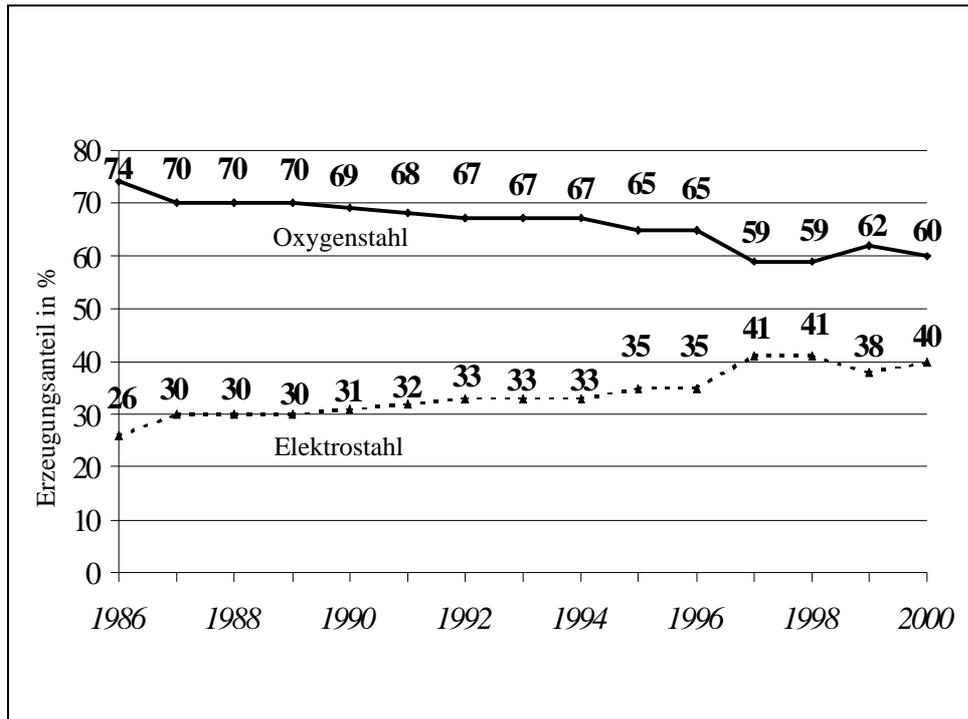


Abbildung 37: Rohstahlerzeugung in der EU nach Prozessen⁽⁶⁶⁾

Inzwischen wird für Europa, bedingt durch das vorhandene Altschrottaufkommen, ein gleichbleibender Anteil der Elektrostahlerzeugung von 40% und bei gleichbleibender Rohstahlerzeugung erwartet.⁽⁹⁷⁾ Diese ist seit Mitte der 90er Jahre in Europa praktisch unverändert (**Abbildung 38**).

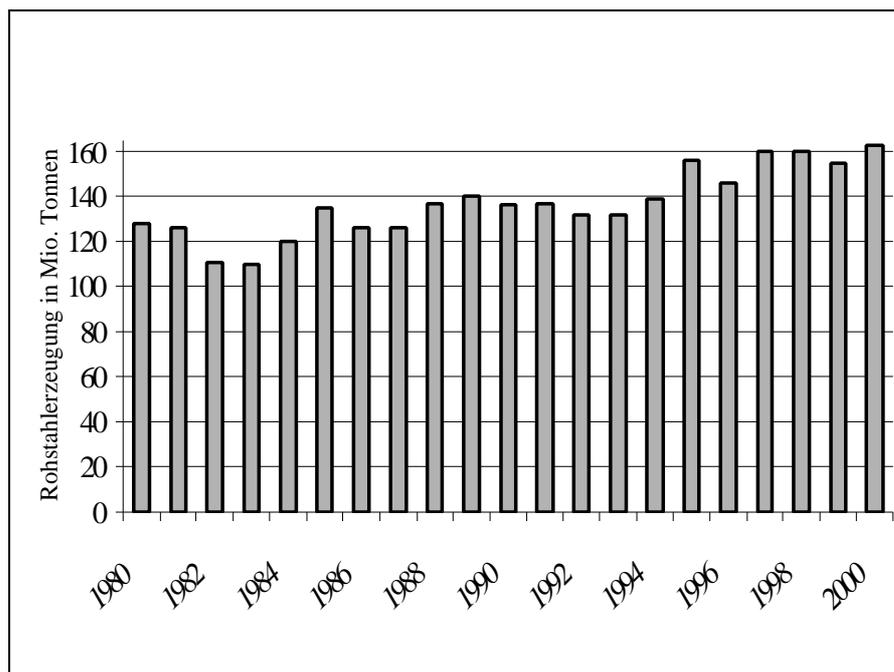


Abbildung 38: Rohstahlerzeugung in der EU⁽⁶⁶⁾

Wegen des natürlich begrenzten Schrottaufkommens ist auch das Potenzial der Elektrostahlerzeugung auf Schrottbasis endlich. Die oben beschriebene Sättigung ist bereits an der Entwicklung des Schrottverbrauchs in Europa erkennbar. **Abbildung 39** zeigt zwar noch für 2000 einen weiteren Anstieg des Schrottverbrauchs an, der jedoch nicht mehr durch das Schrottaufkommen innerhalb Europas gedeckt werden kann, wie **Abbildung 40** zeigt.

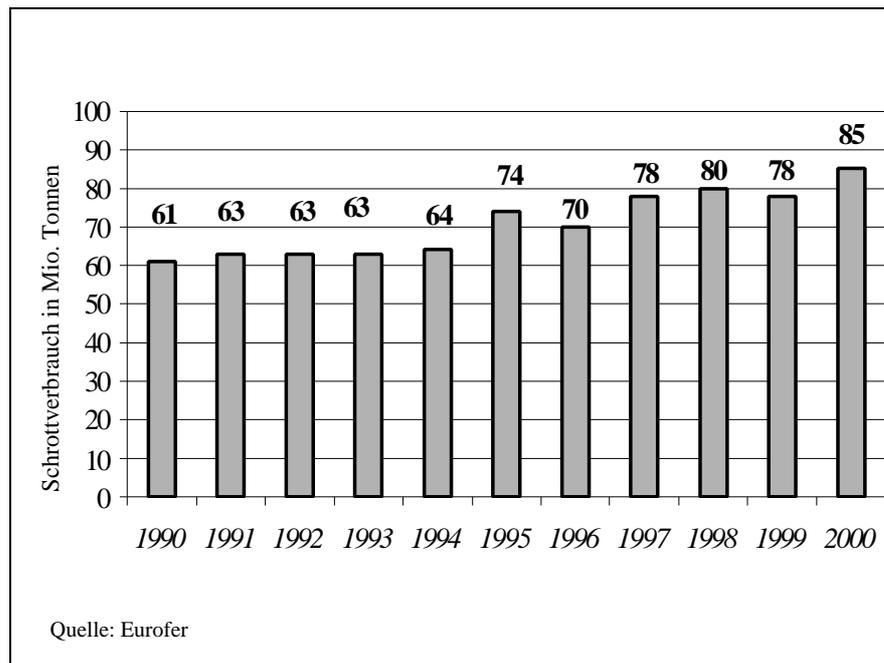


Abbildung 39: Schrottverbrauch in der EU⁽⁶⁶⁾

Der bis in die 80er Jahre bestehende Schrottüberschuss von 8 Mio. Tonnen pro Jahr, der in den Export außerhalb der EU-Mitgliedsstaaten ging, ist seit einigen Jahren nicht mehr zu verzeichnen. Zur Deckung des in **Abbildung 37** dargestellten zeitweisen Anstiegs der Elektrostahlerzeugung auf über 41% in den Jahren 1997 und 1998 war ein Import von Schrott in den EU-Raum erforderlich.

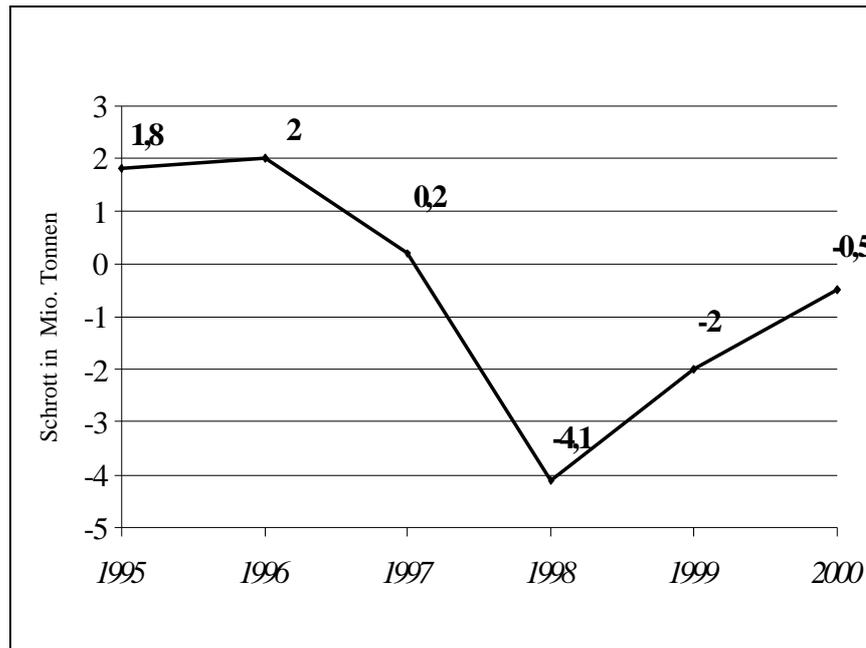


Abbildung 40: Handelsbilanz für Schrott in Europa⁽⁶⁶⁾

Es ist einsehbar, dass die Stahlerzeugung nicht losgelöst von dem Schrottaufkommen und den zur Stahlerzeugung zur Verfügung stehenden Verfahren betrachtet werden kann, wie durch die nachfolgende Analyse unterstrichen wird.

Der den Stahlwerken zur Verfügung stehende Schrott wird dem Stoffkreislauf in folgenden Routen wieder zugeführt:

- Die Stahlerzeugungsrouten Hochofen/Oxygenstahlwerk stellen überwiegend aus Primärrohstoffen Flachstahlerzeugnisse her. Sowohl in Deutschland als auch weltweit werden über diese Route rd. die Hälfte des Schrottaufkommens rezykliert. Der Schrotteinsatz im Konverter, vornehmlich als Kühlschrott, ist aus metallurgischen Gründen auf maximal 20% des gesamten Fe-Inputs begrenzt. Aus Gründen der Ökonomie wird Oxygenstahl in möglichst großen Aggregaten und großen Mengen hergestellt. Damit verbunden ist eine eingeschränkte Flexibilität beim Rohstoff- und Schrotteinsatz.
- Elektrostahlwerke erzeugen vornehmlich Langprodukte. Die Eisenbasis der Stahlherstellung besteht in den Elektrostahlwerken fast ausschließlich aus Stahlschrott. Der Elektrostahlerzeugung kommt die Aufgabe der flexiblen Verarbeitung des Schrottaufkommens zu. Begrenzt ist dieses Verfahren über die auf dem Markt zur Verfügung stehende Schrottmenge.

Vor dem genannten Hintergrund ist es ersichtlich, dass allenfalls auf nationaler Ebene eine Verschiebung zwischen der integrierten Route und der Elektroofenroute möglich ist. Im globalen Maßstab ist das Verhältnis von Primär- und Sekundärstahlerzeugung allein von Stahlbedarf und Schrottaufkommen abhängig.

Eine Unterscheidung der beiden zur Verfügung stehenden Stahlerzeugungs- und Recyclingrouten ist folglich nicht sachgerecht. Es leuchtet ein, dass global ein weiterer Ausbau der Elektrostahlerzeugung kaum realisierbar sind, da hierzu der erforderliche Schrott nicht verfügbar ist. Hingegen stellt sich die Frage, welches Potential noch für eine verbesserte Rückführung von gebrauchten Stahlerzeugnissen zur Verfügung steht. Die Entwicklung dürfte nur in kleinen Schritten vorangehen. Eine Verbesserung der Logistik des Schrottsammelns muss sich an ökonomischen Faktoren orientieren. Hier stellt sich stets ein Gleichgewicht aufgrund des Kosten- und Nutzenverhältnisses ein. In der Tendenz werden eher große Mengen oder Schrott mit einem höheren Marktwert für eine Sammlung wirtschaftlich attraktiv sein. Für geringe Mengen bzw. sehr kleine Stahlprodukte, die zudem als Schrottsorte einen geringen Preis erzielen, würde eine Sammlung eher wirtschaftlich unattraktiv sein.

6.1.2 Lebensdauer und Recyclingrate von Produkten aus Stahl

Je nach Erzeugnis ist die Lebensdauer höchst unterschiedlich. Sie kann bei Weißblechdosen wenige Wochen betragen und bei Erzeugnissen für den Hochbau ein Jahrhundert übersteigen. Die wichtigsten Stahlerzeugnisse sind in **Tabelle 10** zusammengefasst.

Tabelle 10: Lebensdauer von Produkten aus Stahlwerkstoffen.

Weißblechdosen	wenige Wochen
Hausgeräte	5-10 Jahre
Automobilteile	8-12 Jahre
Baustahl	20-100 Jahre

Quelle: Eigene Berechnungen

Aufgrund der sehr vielfältigen Anwendungen von Stahl ist es problematisch, eine einheitliche Lebensdauer anzusetzen. In erster Näherung kann für Stahlprodukte von einer mittleren Lebensdauer von 10 Jahren ausgegangen werden, d.h., dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt diejenigen Stahlprodukte rezykliert werden, die im Mittel vor einer Dekade hergestellt wurden.

Bei der Beurteilung der Umweltauswirkungen von Stahlerzeugnissen über den gesamten Lebensweg ist neben der individuellen Lebensdauer auch die Rückführungsquote des jeweiligen Erzeugnis zu berücksichtigen. **Abbildung 41** zeigt, dass über alle Erzeugnisse die Recyclingrate für den Werkstoff Stahl im Vergleich zu anderen Werkstoffen bereits recht hoch ist.

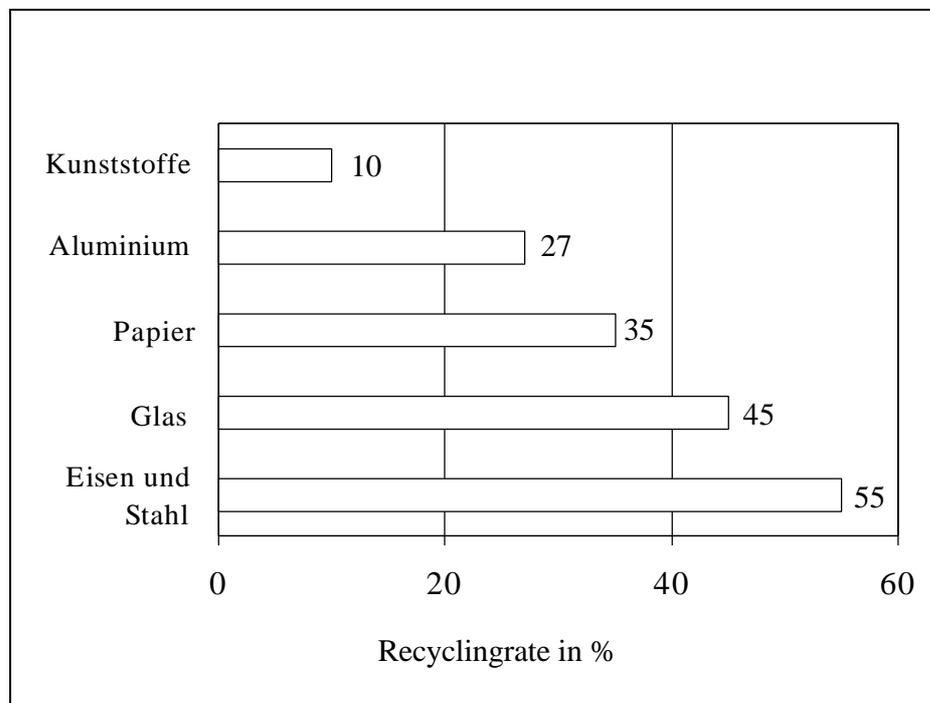


Abbildung 41: Recyclingrate einiger Werkstoffe⁽⁹⁸⁾

Differenziert man weiter nach den einzelnen Erzeugnissen, ist in der Tendenz davon auszugehen, dass langlebige Erzeugnisse z.B. für den Automobilbau oder für den Hochbau eine Recyclingrate von > 90% aufweisen.

Hingegen sind die Verluste kleinerer und meist kurzlebiger Stahlerzeugnisse, mit Ausnahme der Weißblech-Getränkedose um so höher, je geringer ihre Masse ist (**Abbildung 42**).

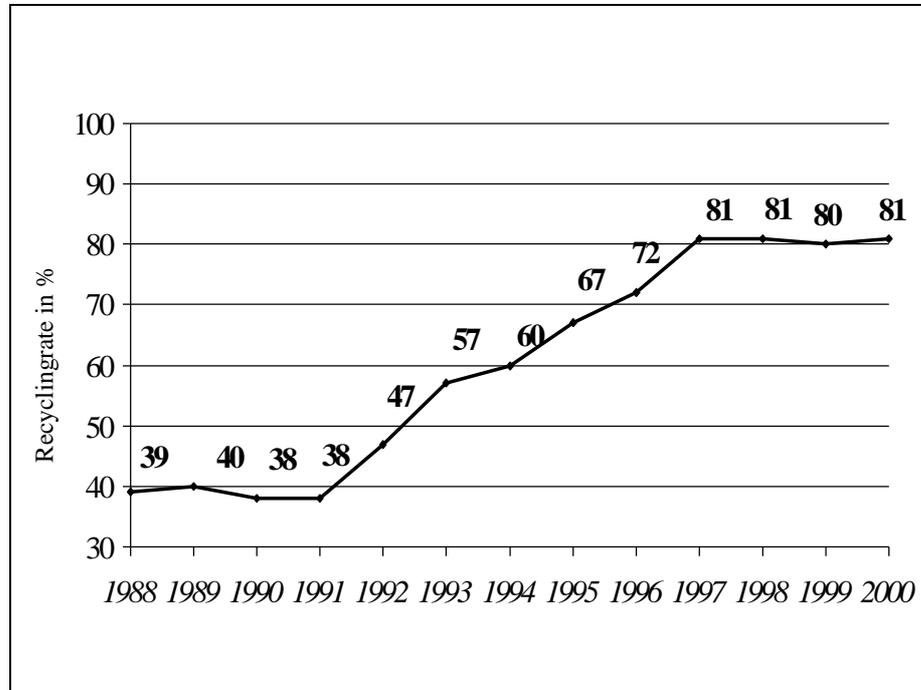


Abbildung 42: Recycling von Weißblech-Getränkedosen in Deutschland⁽⁹⁹⁾

6.1.3 Technologische Rahmenbedingungen

Die Produkteigenschaften von Stahl werden gezielt auf dem Anforderungsprofil der Anwender angepasst. Es ist grundsätzlich die Frage entscheidend, ob ein Recycling ohne Qualitätsverluste für das nächste Produkt möglich ist.

Für Stahl ist das Recycling uneingeschränkt ohne Qualitätsverlust und Qualitätskaskade bei entsprechender Sortierung möglich. Die Maßgabe der Sortierung gilt insbesondere, wenn in den Schrotten Spurenelemente enthalten sind, die nicht oder nur schwer beim Recycling entfernt werden können.⁽¹⁰⁰⁾ Die wichtigsten Spurenelemente sind Kupfer, Zinn, Zink, Blei, Wismuth, Antimon, Arsen, Chrom, Molybdän und Vanadium.

Bislang wurden vorrangig Gehalte an Kupfer aus der Altautoverwertung, an Zinn aus Weißblechverpackungen und an Zink aus Oberflächenbeschichtungen betrachtet und in Schrottsortenlisten begrenzt (**Tabelle 11**).

Tabelle 11: Auszug aus der Europäischen Schrottsortenliste⁽¹⁰¹⁾

Kategorie	Spezifikation	Angestrebte Analysenwerte im Schrott in %		
		Cu	Sn	Cr,Ni,Mo
Altschrott	E 3	= 0,250	= 0,010	? = 0,250
	E 1	= 0,400	= 0,020	? = 0,300
Neuschrott	E 2	? = 0,300		
	E 8	? = 0,300		
	E 6	? = 0,300		
Shredderschrott	E 40	= 0,250	= 0,020	
Stahlspäne	E 5 H	Eine vorherige Analyse kann gefordert werden		
	E 5 M	= 0,400	= 0,030	? = 1,000
Schrott mit hohem Gehalt an Begleitelementen	EHRB	= 0,450	= 0,030	? = 0,350
	EHRM	= 0,400	= 0,030	? = 1,000
MVA-Schrott	E 46	= 0,500	= 0,070	

- Kupfer

Der Anteil an Kupfer in Automobilen ist aufgrund der zunehmenden Elektronisierung steigend. Auch in Abbruchschrotten finden sich erhebliche Kupferanteile, z.B. aus Rohrleitungen. Kupfer ist dabei die Leitgröße für die Schrottqualität. Erzeuger von Qualitätsflachstahl können das Problem nur umgehen, indem sie Altschrotte zumindest der Sorte 1 nicht in ihren Stahlwerken einsetzen. Damit verbleiben für Schrotte mit höheren Gehalten an Cu nur Stahlgüten, in denen dieses Element erwünscht ist.

- Zinn

Bis 1994 hatten die Hersteller von Weißblech eine Annahmegarantie von Weißblechschrott gegenüber dem Dualen System Deutschland (DSD) entsprechend ihrer Produktion angegeben. Das bedeutete, dass die beiden einzigen Erzeuger in Deutschland, die damalige Thyssen Stahl AG und die Fried. Krupp AG Hoesch-Krupp 75% bzw. 25% des anfallenden Weißblechschrotts zurücknehmen mussten. Nach 1994 konnte der Weißblechschrott wie anderer Schrott auch, frei auf dem Markt gehandelt werden, wodurch die auf die vorgenannten Unternehmen

zurücklaufenden Mengen erheblich abnehmen. Dennoch bleibt die heutige ThyssenKrupp Stahl AG der bedeutendste Verwerter von Weißblechschrott.

Da sich Verfahren zur Entzinnung als nicht wirtschaftlich erwiesen haben, bleibt hier nur die Strategie, diese Schrotte gezielt zur Erzeugung von Stählen zu chargieren, in denen diese Elemente erwünscht sind oder toleriert werden können .

- Zink

Metallurgisch bildet der Gehalt an Zink in Schrotten kein besonderes Problem, da Zink bei der Stahlerzeugung in die Dampfphase übergeht. Eine Relevanz ergibt sich jedoch über den Zinkgehalt in den abgeschiedenen Stäuben. Dieser sollte entweder für ein internes Recycling der abgeschiedenen Stäube in der Sinteranlage, möglichst gering oder für ein externes Recycling in Anlagen der NE-Metallindustrie, möglichst hoch sein. Die sich aus diesen Randbedingungen ergebende Strategie ist wie bei den vorgenannten Elementen eine gezielte Chargierung von verzinktem Schrott.

Eine neue Problematik ergibt sich durch Mikrolegierungselemente, wie sie weiter zunehmend in höherfesten Stählen für den Leichtbau Anwendung finden werden. Es sind dies im wesentlichen Molybdän, Niob, Bor, Titan und Vanadium. Über den Altschrott gelangen diese Legierungselemente zurück in den Stoffkreislauf, wo sie den Spiegel der Gehalte an Spurenelementen erhöhen können.⁽¹⁰²⁾ Des weiteren haben Untersuchungen gezeigt, dass die Schrottsorten eine Tendenz zu höheren Gehalten an Spurenelementen aufweisen.⁽¹⁰³⁾

- Kupfer: + 0,005 bis 0,01 % / Jahr
- Nickel: + 0,002 bis 0,005 % / Jahr
- Molybdän: + 0,001 bis 0,002 % / Jahr

Den Einfluss der Spurenelemente auf die Stahleigenschaften zeigt **Tabelle 12:**

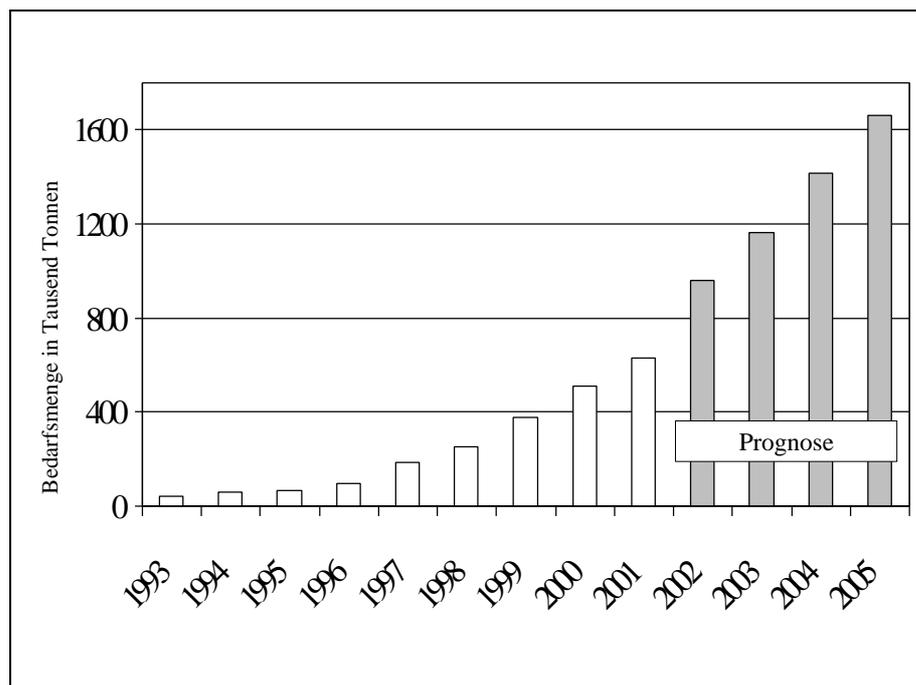
Tabelle 12: Einfluss einzelner Elemente auf die Eigenschaften von Stahl⁽¹⁰⁴⁾

Stahleigenschaften	Elemente im Stahl							
	B	Ti	V	Ni	Cu	Nb	Mo	Sn
Streckgrenze		↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Zähigkeit	↑	↑	↑	↕	↓	↕	↑	↓
Härtbarkeit	↑	↓	↕	↑	↑	↕	↑	
Warmformeigenschaften	↓			↓	↓	↓	↓	↓
Kaltformeigenschaften		↓	↓		↓	↓	↓	↓
Zerspanbarkeit		↓	↓			↓	↓	

↑ = Verbesserung der Eigenschaften:

↓ = Verschlechterung der Eigenschaften

Eine Strategie zur Steuerung der Ströme von Schrotten aus hochfesten Stahlsorten existiert bislang nicht, da die rücklaufenden Mengen zur Zeit noch gering sind. Wegen der positiven Marktentwicklung von hochfesten Sorten, wie sie **Abbildung 43** zeigt, besteht hier aber in der Zukunft Handlungsbedarf. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nicht nur die Gehalte der Elemente im Altschrott, sondern auch die Produktionsmengen steigen werden, die nur engste Toleranzen dieser Elemente erlauben.

**Abbildung 43:** Marktentwicklung von Tailored Blanks in Europa⁽⁷⁵⁾

Um auch weiterhin ein qualitätsneutrales Recycling sicherzustellen, wird künftig in stärkerem Umfang als heute eine zielgerichtete Lenkung der Schrotte in die Stahlsorten erforderlich, in der die Spurenelemente erwünscht oder zumindest nicht störend sind.

Eine mögliche Strategie zur Lenkung von Schrotten in die Erzeugung bestmöglicher Stahlsorten, die diese Elemente vertragen, zeigt **Tabelle 13**.

Tabelle 13: Zuordnung verschiedener Stahlsorten⁽¹⁰⁵⁾

		(Cu+Sn+Ni+Cr+Mo)
Sauerstoff- Blasstahl- verfahren	Tiefziehgüten für Bleche und Dosen	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Steigende Gehalte</div>
	Sondertiefziehgüten	
	Ziehgüten für Bleche	
	Handelsübliche Bleche	
Elektro- stahl- verfahren	Sonderdrahtgüten	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Steigende Gehalte</div>
	Qualitätsstabstahl	
	Stabstahl Handelsgüte	

Bei der umweltgerechten Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen wird künftig insbesondere im Falle höherfester Stahlsorten für die Minderung der Masse im Automobilbau die Frage der zielgerichteten Verwendung als Recyclingerzeugnisse an Bedeutung sicher zunehmen. Dass bei der oben aufgezeigten Strategie auch weiterhin von einem qualitätsneutralen Recycling gesprochen werden kann, steht dabei außer Zweifel.

Bei den enger werdenden Analysenbändern für höherfeste Stahlsorten ist entweder eine gänzliche Vermeidung von Schrottsorten denkbar, die erhöhte Gehalte an Spurenelementen aufweisen, oder eine gezielte Chargierung von Schrottsorten aus dem Automobilrecycling. Dies würde aber eine vorherige Demontage von Bauteilen mit höherfesten Stahlsorten voraussetzen. Damit würde zugleich die Wirtschaftlichkeit des Shredderverfahrens in Frage gestellt.

6.1.4. Konzept zur Beschreibung des Recyclings sowie der Lebensdauer von Stahlerzeugnissen unter ökobilanziellen Gesichtspunkten

Bei der Beurteilung der Umweltrelevanz von Produkten über den gesamten Lebensweg ist die überwiegende Anzahl der Anwender von Ökobilanzen dazu übergegangen, nicht mehr allein den ersten Lebensweg zu untersuchen, sondern auch das Recycling in den Lebensweg mit einzubeziehen. In der Beurteilung von Stahlerzeugnissen bereitet die methodische Einbeziehung des Recyclings in den Lebenszyklus stets Schwierigkeiten.

In Ökobilanzen werden üblicherweise alle umweltrelevanten Aspekte von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung und Nutzung bis zum Recycling beispielhaft **für ein Erzeugnis** abgebildet. Auf Stahlerzeugnisse ist diese Konvention nicht uneingeschränkt anwendbar, da in der Primärstahlerzeugung in der Regel Flachprodukte mit 20% Schrotteinsatz hergestellt, in der Elektrostahlerzeugung dagegen mit 100% Schrotteinsatz vornehmlich Langprodukte erzeugt werden, wobei diese Produkte aber vergleichbare qualitative Eigenschaften haben.

Wird z.B. ein über die Hochofenroute hergestellter Automobilkotflügel nach Nutzung recycelt, wird er entweder im Konverter mit Roheisen „verschnitten“ oder im Elektrostahlwerk zusammen mit anderen Schrottsorten zu Langprodukten verarbeitet. Während diese altbekannte Tatsache durch die Stahlerzeuger als völlig unproblematisch angesehen wird, wirft dieser Umstand für die Vertreter der reinen Lehre von Ökobilanzen nahezu unüberwindbare Probleme auf, da so ein geschlossener Produktkreislauf nicht abgebildet werden kann.

Mit bisherigen Konzepten der Ökobilanz war es bislang nicht darstellbar, dass die seit jeher geübte Praxis des Stahlrecyclings einem geschlossenen Stoff- und Produktkreislauf entspricht, obwohl sich die beiden wesentlichen Erzeugungsverfahren auf unterschiedliche Produkte spezialisiert haben. Zwar existieren verschiedene Konzepte, die das Recycling in den Lebenszyklus mit einbeziehen, sie geben aber für Stahl die tatsächlichen Gegebenheiten nur unzureichend wieder. So werden in der Regel Gut- und Lastschriften für ein Recycling in einem zweiten Lebenszyklus und für ein anderes Produkt erstellt. Problematisch wird diese Methode bei der Wahl der Kriterien für die Gut- bzw. Lastschriften zur Beurteilung des ökologischen Nutzen des Recyclings.

Bisher unternommene Versuche, die Stahlerzeugung unter Anwendung komplexer Allokationsverfahren wie beispielsweise Gutschrift- und Lastschrift-Mechanismen abzubilden, zeigten, dass viele Konventionen erforderlich waren, die dazu führten, dass die sich daraus ergebenden Bilanzkonzepte nur sehr unzureichend die realen Verhältnisse darstellen.

So wird z.B. für eine Studie der Automobilindustrie ein Gutschriftverfahren auf Basis des Marktwertes von Primär- und Sekundärprodukten überlegt.⁽¹⁰⁶⁾ Für Stahlwerkstoffe hätte dies im Vergleich zu Wettbewerbswerkstoffen eine Benachteiligung zur Folge. Da Langstahl-Erzeugnisse aus dem Elektrostahlwerk mit Ausnahme von Edelstahl in der Regel einen geringeren Marktwert besitzen als Flachstahlerzeugnisse aus der Primärstahlerzeugung, wäre bei Wahl dieses Bewertungsansatzes ein entsprechend geringer ökologischer Nutzen des Recyclings abzuleiten. Im Vergleich zu Wettbewerbswerkstoffen besteht der Nachteil in einer Höherbewertung insbesondere von Recyclaten aus Aluminium. So zeigt **Tabelle 14**, dass Betonstahl als einfaches Elektrostahlerzeugnis nur 39% des Preises von kaltgewalztem Flachstahl erzielt. Es ist unter ökologischen Aspekten einerseits nicht sachgerecht, die Recyclingeignung an den Erzeugerpreis zu binden. Andererseits entsteht durch unterproportionale Erzeugerpreise für Elektrostahlerzeugnisse eine Benachteiligung gegenüber Wettbewerbswerkstoffen, bei denen der Unterschied weit geringer ist.

Tabelle 14: Preisindex für Stahlerzeugnisse⁽¹⁰⁷⁾

Kaltgewalzter Flachstahl	= 100%
Profile	63%
Walzdraht	45%
Betonstahl	39%

Mit der Veröffentlichung von Philipp, Theobald und Volkhausen⁽⁵²⁾ wurde erstmals der Versuch unternommen, eine faire Berechnungsmethode zur Einbeziehung des Recyclings in den Lebenszyklus von Stahlerzeugnissen zu entwickeln, die die Primärstahlerzeugung im integrierten Hüttenwerk und das gemeinsame Recycling von Stahlschrott im Elektrostahlwerk und Oxygenstahlwerk integrativ beschreibt. Dieser Ansatz fand auch in der Sachbilanz des IISI Anwendung⁽⁶⁵⁾.

Hier wurde auch die nicht sachgerechte Unterscheidung zwischen der Primärstahlerzeugung im integrierten Hüttenwerk und der Elektrostahlerzeugung aufgehoben. Die aus Ökobilanzen stammende Forderung nach einem geschlossenen Lebenszyklus für Produkte wird mit diesem Konzept gleichfalls in einer erweiterten Interpretation erfüllt. Die enge Definition einer Verwendung genutzter Werkstoffe in anderen Produkten als offenen Produktkreislauf ist für Stahlerzeugnisse aufgrund der Besonderheiten der arbeitsteiligen Erzeugungs- und Recyclingstrategie nicht angemessen. Vielmehr ist der Tatsache Rechnung zu tragen, dass im Unterschied zu Aluminium eine qualitätsneutrale Wiederverwertung möglich ist .

Um eine Sachbilanz von Stahlerzeugnissen unter Berücksichtigung des Recyclings beschreiben zu können, muss ein erweiterter Bilanzrahmen geschaffen werden, der den tatsächlichen Gegebenheiten des Stahlrecyclings entspricht.

Bei der folgenden Betrachtung werden beide Stahlerzeugungsverfahren nicht getrennt voneinander bilanziert, da ein

- aus Primärrohstoffen hergestelltes Stahlerzeugnis am Ende des ersten Lebensweges zum Sekundärrohstoff wird und umgekehrt ein
- aus Sekundärrohstoffen hergestelltes Stahlerzeugnis in seinem ersten Lebensweg zwangsläufig aus Primärrohstoffen hergestellt wurde.

Die Umweltbelastungen aus der Stahlerzeugung der Hochofen-Oxygenstahl-Route und der Elektrostahl-Route sind daher beiden Wegen entsprechend ihres Anteils am Recycling zuzuordnen.

Ein Problem dabei ist die Anwendung von Methoden, mit denen die Bewertung und Zu-rechnung der beim Recycling von Schrott entstehenden Umweltbelastungen auf die Erzeugnisse erfolgt. Die Umweltbelastung der im ersten Lebensweg über Primärrohstoffe hergestellten Erzeugnisse ist unterschiedlich von der Umweltbelastung der nach dem Recycling aus Schrott hergestellten Erzeugnisse. Allokationsverfahren eröffnen hierfür je nach gewählter Methode große Auslegungsspielräume, die einer einheitlichen und konsistenten Vorgehensweise im Wege stehen. In der internationalen Norm zur Durchführung von Ökobilanzen, der ISO 14041, wird daher empfohlen, durch geeignete Konzeptbildung auf die Anwendung von Allokationsverfahren zu verzichten⁽⁴⁷⁾.

Das im folgenden erläuterte Konzept der integrierten Stahlerzeugung wurde vom Verfasser dieser Arbeit gemeinsam mit dem Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen an der Technischen Universität Darmstadt im Rahmen des mit Bundesmitteln geförderten Sonderforschungsbereichs 392 weiterentwickelt. Das Konzept ermöglicht eine plausible und verursachungsgerechte Zuordnung von Umweltbelastungen im Stahlkreislauf und umgeht dabei die Allokationsverfahren.

Zur Darstellung des Schrottrecyclings wurde für eine Extremwertbetrachtung von folgenden Überlegungen ausgegangen:

- Würde Stahl vollständig und verlustfrei recycelt und bliebe der Stahlverbrauch konstant, so würde Stahl zu 100% aus Stahlschrott über die Elektroofenroute erzeugt werden können.
- Würde Stahl nicht recycelt, so müsste er vollständig aus Primärrohstoffen über die Hochofenroute hergestellt werden.

Die realen Verhältnisse bewegen sich innerhalb dieser beiden Extrema. Das Konzept in **Abbildung 44** geht von der Prämisse aus, dass eine Steigerung der insgesamt im Umlauf befindlichen Menge an Stahl und der Ausgleich von Verlusten nur über die Primärstahlherstellung erfolgen kann.

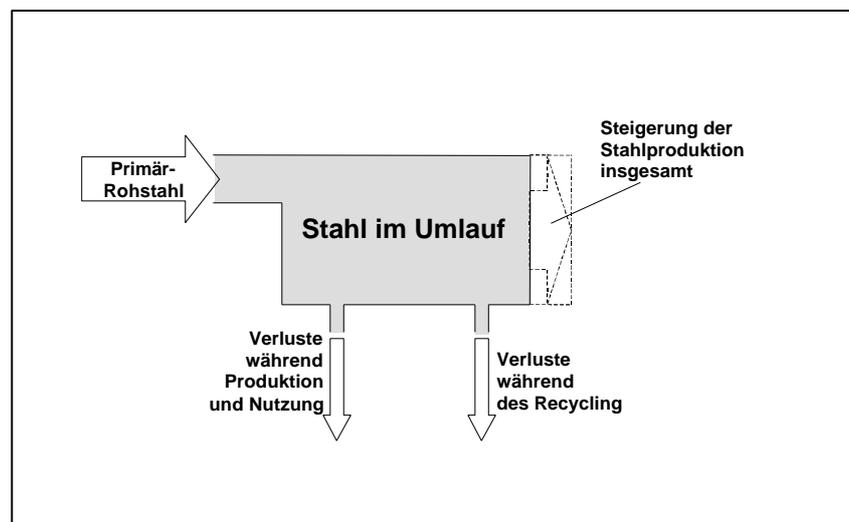


Abbildung 44: Ökobilanzielle Betrachtungsweise der Stahlerzeugung.

Bei einer Ökobilanzierung von Stahlprodukten ist es vor diesem Hintergrund sinnvoll, den Stahlerzeugungsprozess zu unterteilen in

- Prozessstufen der Rohstahlerzeugung

Die in diesen Prozessstufen entstehenden Umweltbelastungen bleiben im Erzeugnis erhalten, d.h. im anschließenden Lebenszyklus sind keine Aufwendungen z.B. für Erzabbau, Kokserzeugung und Roheisenerzeugung erforderlich.

- Prozessstufen der Formgebung und der Oberflächenveredelung

Die mit diesen Prozessstufen verbundenen Umweltbelastungen fallen mit jedem Lebenszyklus erneut an.

Eine schematische Darstellung der Unterteilung zeigt **Abbildung 45**.

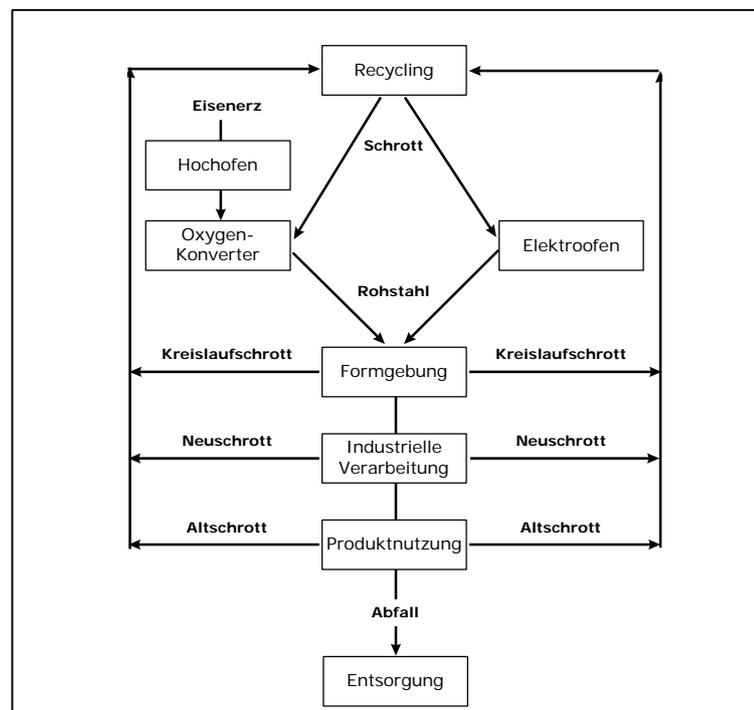


Abbildung 45: Integriertes System von Stahlerzeugung und Stahlrecycling

Der Widerspruch, dass in der Hochofenroute und der Elektroöfenroute unterschiedliche Produkte erzeugt werden, lässt sich auch mit der oben genannten Konvention nicht auflösen. Es wurde daher angenommen, dass sich die Weiterverarbeitung beider Routen im Anschluss an die Rohstahlerzeugung vereint.

Bei Anwendung des beschriebenen Konzepts auf ein konkretes Erzeugnis werden bei der ökobilanziellen Betrachtung von Rohstahl sowohl Anteile der Oxygenstahl-Erzeugung als auch der Elektrostahl-Erzeugung berücksichtigt. Das genannte Konzept ist, unabhängig von der tatsächlichen Produktionsroute auf alle Stahlerzeugnisse anwendbar.

Der Primärrohstahl-Anteil eines Stahlerzeugnisses wird dabei durch die in einem gesamten Lebenszyklus auftretenden Verluste bestimmt: Je geringer die Verluste sind, desto weniger Rohstahl aus der Hochofenroute muss eingesetzt werden, um diese zu kompensieren.

Der Anteil des Rohstahls aus der Hochofenroute wird auch durch die Expansion des Konzepts auf die insgesamt am Markt verfügbaren Stahlmengen beeinflusst. Um diesen Einfluss in die Bilanzierung einzubeziehen, muss die Steigerungsrate der Stahlproduktion unter Berücksichtigung der Lebensdauer zum Anteil des Rohstahls aus der Hochofenroute hinzugerechnet werden. Damit wird letztlich der Stahlbedarf vor 10 Jahren als mittlere Lebensdauer von Stahlerzeugnissen der aktuell auf dem Markt verfügbaren Schrottmenge gegenübergestellt. Bei der Annahme, dass der marktverfügbare Schrott stets in die Stahl- und Gießereiindustrie geht, würde bei einem Rückgang der Stahlerzeugung auch der Anteil der Rohstahlerzeugung aus der Hochofenroute um den entsprechenden Betrag zurückgehen. In dem Konzept wurden im Folgenden in fünf Stufen mit Recyclingraten zwischen 0 und 100% gerechnet:

Ausgehend von der Untersuchung in 1996 ergeben sich bei Anwendung des oben beschriebenen Konzeptansatzes am Beispiel von unverzinktem Feinblech die in **Tabelle 15** ausgewählten Sachbilanzgrößen:

Tabelle 15: Sachbilanz für Feinblech unter Berücksichtigung verschiedener Recyclingquoten

	Recyclingrate	0%	25%	50%	75%	100%
	Angaben je t Feinblech					
Rohstoffe	kg	2578,65	1940,74	1302,83	664,91	13,50
Roh-Steinkohle	kgt	762,07	571,55	381,04	190,52	0,00
Energie ^{*)}	GJ	21,46	19,16	16,87	14,57	7,16
Staub-Emissionen	g	898,51	789,96	681,42	572,87	232,16
SO ₂ -Emissionen	g	2618,73	2139,89	1661,05	1182,21	359,10
NO _x -Emissionen	g	2814,33	2365,07	1915,80	1466,54	641,76
CO ₂ -Emissionen	kg	1932,28	1739,06	1545,84	1352,61	776,78
Schlacke	kg	370,12	297,59	225,06	152,53	40,00
Abfall zur Verwertung ^{**)}	kg	887,51	693,00	498,48	303,97	61,05
Abfall zur Beseitigung	kg	40,16	33,17	26,18	19,19	6,10

^{*)} einschließlich Steinkohle zur Reduktion

^{**)} einschließlich Abraum/Berge

Die genannten Daten beinhalten alle Umweltbelastungen der Vorketten, also Rohstoffgewinnung, Transporte und Energieumwandlung. Umwelteinflüsse der Nutzung blieben unberücksichtigt.

Bei der Konzeption ist wegen der unterschiedlichen Rückführungs- und Verwertungsquoten der genutzten Stahlerzeugnisse von Bedeutung, welches konkrete Stahlerzeugnis hergestellt und recycelt wird. Belastbare Angaben zum realen Recycling unter Berücksichtigung der Lebensdauer von Erzeugnissen sind kaum verfügbar. Für die in dieser Arbeit betrachteten Erzeugnisse kann aber von einer Recyclingrate mehr als 80%, für Erzeugnisse des Automobilbaus sogar mehr als 90% ausgegangen werden. So ist gerade bei Flachstahlerzeugnissen, die hinsichtlich der umweltgerechten Gestaltung eine besondere Bedeutung haben, in einer Gesamtbetrachtung unter Einbeziehung des Recyclings von erheblich geringeren Umwelteinwirkungen auszugehen, als bei einer alleinigen Betrachtung der Herstellung.

Das aufgezeigte Konzept löst den scheinbaren Widerspruch bei der Abbildung eines geschlossenen Produktkreislaufes auf. Außerdem kann nun die Gutschrift des Recyclings direkt dem Erzeugnis direkt zugerechnet werden. Eine Anwendung dieses Konzepts bietet auch wegen der nicht sachgerechten Unterscheidung zwischen der Oxygenstahlerzeugung und der Elektrostahlerzeugung eine praxisnahe Abbildung. Dieses Konzept belegt zahlenmäßig den ökologischen Vorteil, der beim Recycling von Stahl erreicht wird.

6.2 Maßnahmen zur Verminderung der Bauteilmasse

In den vorangegangenen Abschnitten wurde dargelegt, dass sich Anforderungen an eine umweltgerechte Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen im Wesentlichen an Automobilbauteile stellen. Außerdem war offensichtlich, dass sich die Anforderungen auf Aspekte der Energieeinsparung während der Nutzung durch Reduzierung der Masse und Aspekte des Recyclings eingrenzen ließen.

Eine Perspektive zur Erfüllung beider Kriterien ist in der Weiterentwicklung der Strategie zur Minderung der Masse von Stahlerzeugnissen für den Einsatz im Automobilbau zu erkennen. Hierbei handelt es sich um auf den Anwendungszweck abgestimmte, überwiegend lasergeschweißte Feibleche unterschiedlicher Dicke.

Wie **Abbildung 46** zeigt, ist auf diesem Gebiet die ThyssenKrupp Stahl AG mit großem Abstand Markt- und auch Know-how-Führer. Ähnliche Entwicklungen wurden auch bei der ehemaligen SIDMAR durchgeführt.⁽¹⁰⁸⁾ Die veröffentlichten Erfahrungen zur Entwicklung von in Abmessung und Festigkeit optimierten Tailored Blanks für den Automobilbau außerhalb Deutschlands sind jedoch sehr begrenzt. Im Folgenden wurde deshalb auf die Entwicklungsergebnisse bei der ThyssenKrupp Stahl AG Bezug genommen.

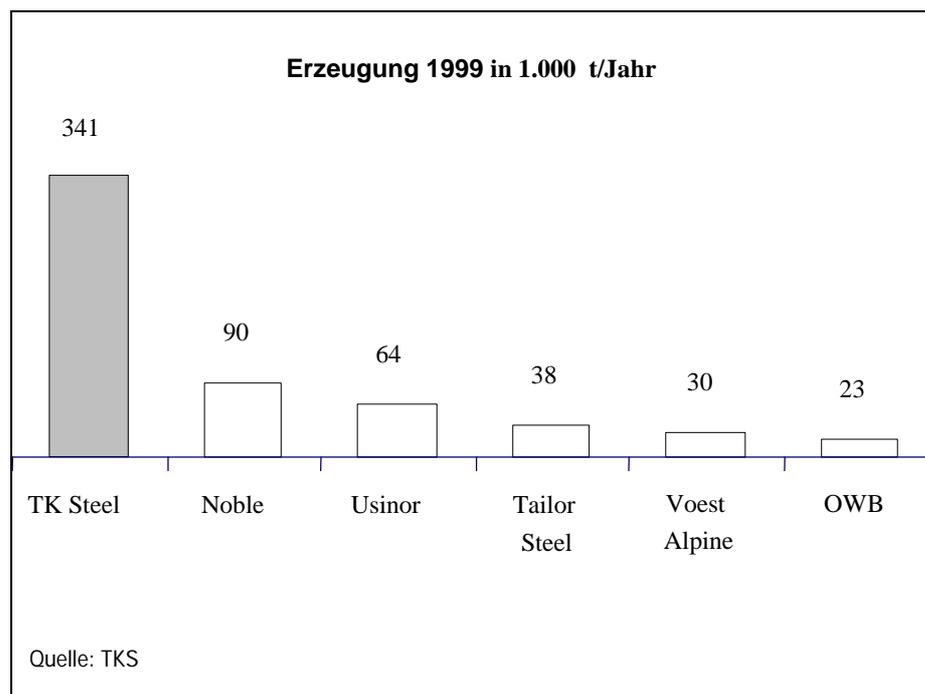


Abbildung 46: Marktanteile bei Tailored Blanks⁽¹⁰⁹⁾

Eine Weiterentwicklung der Tailored Blanks sind **Tailored Products**. Mit ihnen werden anwendungsspezifische Lösungen unter besonderer Berücksichtigung einer umweltgerechten Produktentwicklung erarbeitet. Diese Produkte erfüllen das Kriterium der masseoptimierten Konstruktion und bieten die Gewähr für eine vollständige Rückführbarkeit in den Stoffkreislauf.

Der Ansatz für Tailored Products besteht darin, bei gegebener Sicherheit und optimalen Recyclingeigenschaften weitere Reduzierungen der Masse zu ermöglichen.

Die Entwicklung hat in 1992 mit der Markteinführung der Tailored Blanks durch die Thyssen Stahl AG eingesetzt. Tailored Products sind teils im Serieneinsatz und teils in der Erprobung. Sie basieren auf Neuentwicklungen verschiedenartiger Stahlwerkstoffe

für den Automobilbau. Ihr Hauptzweck ist die Massereduktion durch Verringerung der Blechdicke und damit die Minderung des Energieverbrauchs bei der Nutzung und bei optimalen Recyclingeigenschaften. Voraussetzung hierzu ist die Steigerung der Festigkeit bei gleichbleibender Verformbarkeit.⁽¹¹⁰⁾

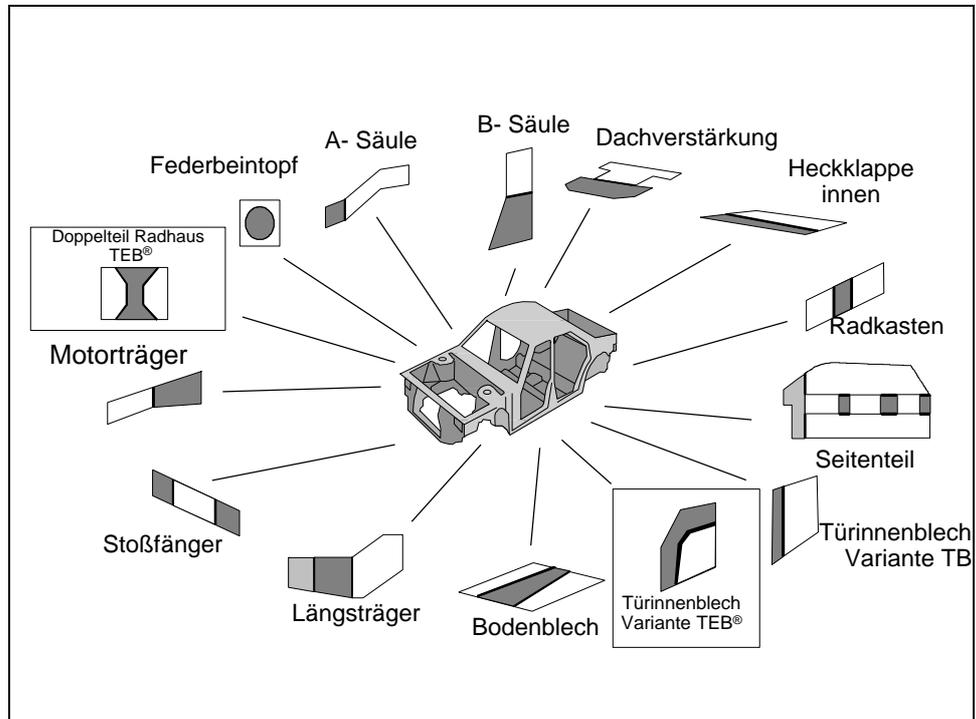


Abbildung 47: Anwendungsmöglichkeiten von Tailored Blanks⁷⁵⁾

Eine Erhöhung der Festigkeitswerte wird hier durch Mikrolegierungselemente bei entsprechender Wärmebehandlung und Umformung erreicht. Die Entwicklung der Festigkeitssteigerung umfasst u.a.

- Mikrolegierte hochfeste Stähle
- Höherfeste Streck-Zieh-Stähle (HSZ)
- Interstitial-Free Stähle (IF-Stähle)
- Bake-Hardening-Stähle (BH-Stähle)
- Dualphasenstähle (DP-Stähle) oder Mehrphasenstähle
- Restaustenit-Stähle (RA-Stähle)
- Complexphasen-Stähle (CP-Stähle) sowie
- Martensitphasen-Stähle (MS-Stähle)

Eine Übersicht Entwicklung der Festigkeitssteigerung zeigt **Abbildung 48**

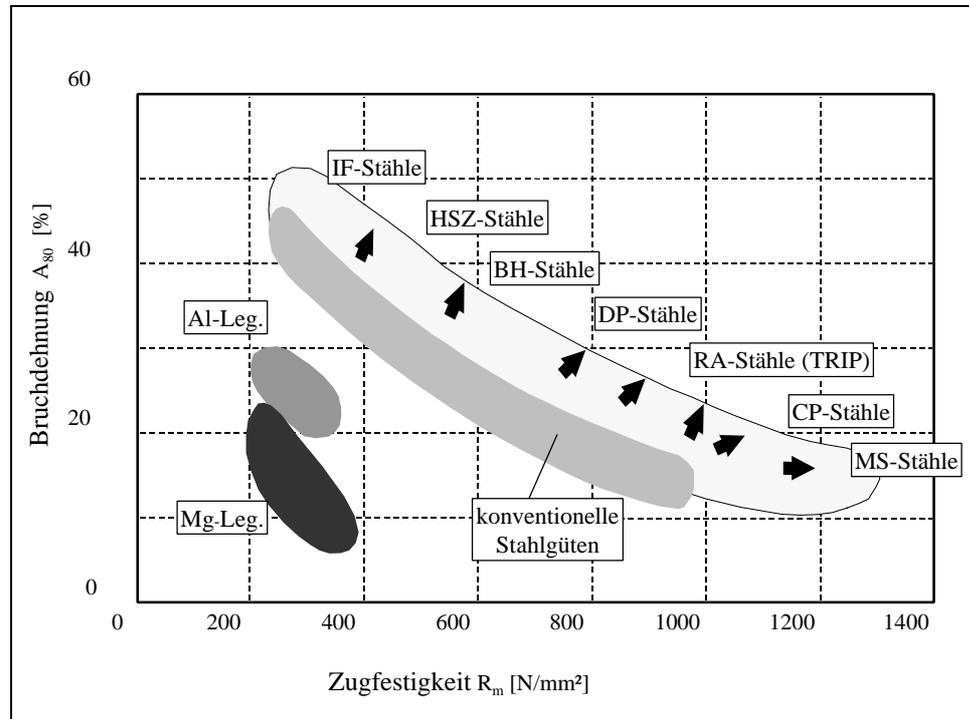


Abbildung 48: Fortschritt bei der Stahentwicklung und Anwendungsbeispiele⁷⁵⁾

Begriffserklärung zu Abbildung 48:

IF	=	Interstitiell Free
HSZ	=	Höherfeste Streck-Ziehstähle
BH	=	Bake Hardening
DP	=	Dual-Phasen
RA	=	Restaustenit
TRIP	=	Transformation induced plasticity
CP	=	Complex-Phasen
MS	=	Martensit

Die genannten Stähle zeigen alle deutliche Bake-Hardening-Effekte; d.h., dass eine Festigkeitszunahme bereits beim Einbrennen des Lacks bei Temperaturen um 180°C erreicht wird.

Die in der Forschung von ThyssenKrupp Stahl entwickelten Tailored Products umfassen

- Engineered Blanks
- Tailored Strips
- Tailored Tubes
- Hybrid Blanks

Durch Nutzung von Laser-unterstützten Fügeverfahren werden Bauteile unterschiedlicher Art dem von Entwicklung und Fertigung im Fahrzeugbau definierten Bedarf bestmöglich angepasst.

Tailored Products sollen die Gestaltungsfreiheit für den Automobilleichtbau erweitern und gleichzeitig die Mehrkosten für die Reduktion der Masse in Grenzen halten. Dabei ist die volle Wiederverwendbarkeit der genutzten Rohstoffe sicherzustellen.

Bei den **Engineered Blanks** werden unterschiedliche Stahlsorten mit und ohne Beschichtung im Dickenbereich von 0.6 bis 3.0 mm über nichtlineare Nähte mittels Festkörper-Laser-Technik verschweißt. Anwendungsbeispiele für Engineered Blanks zeigt **Abbildung 49**.

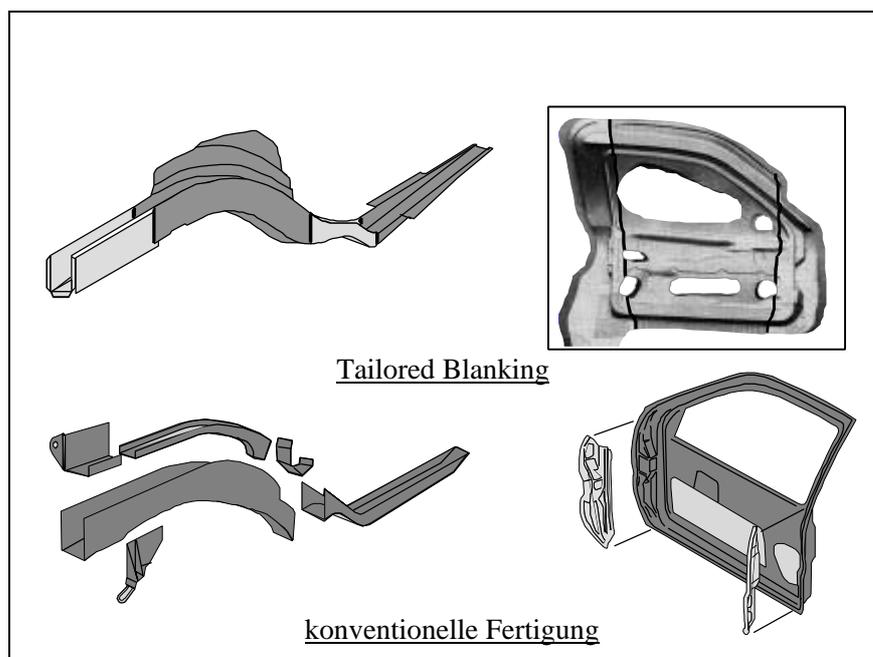


Abbildung 49: Beispiel einer Anwendung von Tailored Blanks als Längsträger und Tür-Innen-Blech⁷⁴⁾

Tailored Strips werden aus zwei oder mehr verschiedenartigen Warmbändern vom Coil geschweißt und anschließend auf Länge geteilt. Das kostenintensive Zuschneiden der Einzelbleche vorab entfällt. Ein Anwendungsfeld für *Tailored Strips* ist der Felgenreif für PKW-Stahlräder (**Abbildung 50**). Hier kann die ungefederte und rotierende Masse um 20% verringert werden.

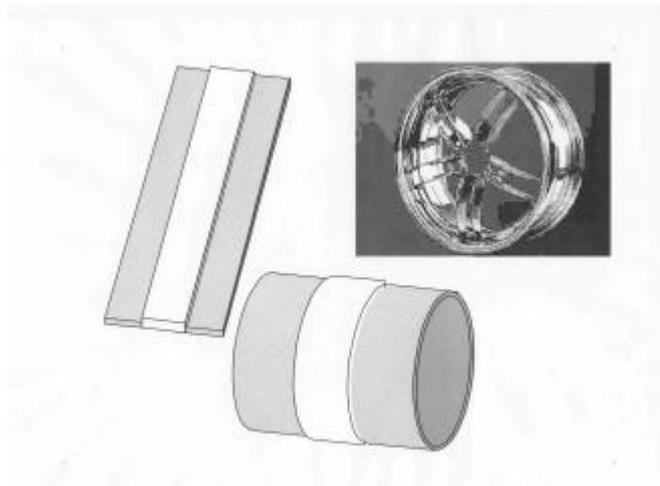


Abbildung 50: Anwendung von Tailored Strips in der Felgenreifherstellung⁷⁵⁾

Tailored Tubes sind lasergeschweißte Stahlhohlprofile, meist Rohrkörper, die über Innenhochdruck-Umformen zu Bauteilen geformt werden. Das Einsatzfeld von Tailored Tubes sind Karosserien in Spaceframe-Bauweise, die neben der üblichen selbsttragenden Schalenbauweise neue Gestaltungsmöglichkeiten bieten (**Abbildung 51**).

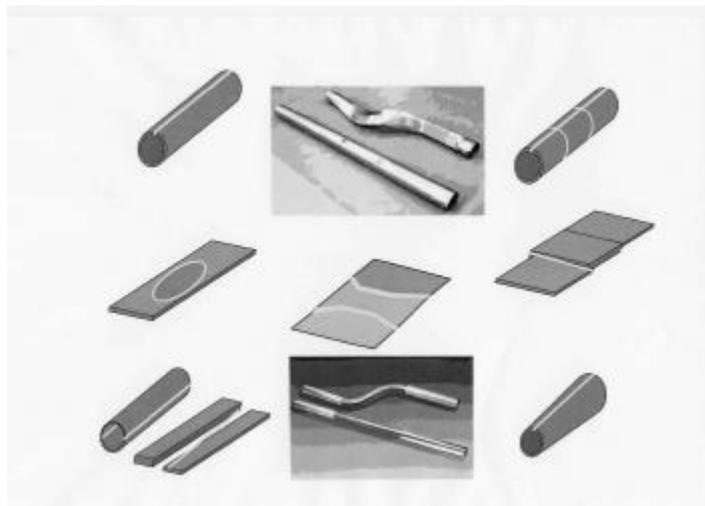


Abbildung 51: Anwendung von innenhochdruckumgeformten Tailored Tubes⁷⁵⁾

Als neuester Schritt in der Entwicklungsreihe sind die **Hybrid Blanks** anzusehen. Sie sind eine Kombination aus Stahl- und Aluminiumblechen, die die Vorteile der jeweiligen Werkstoffe ausnutzen und die Nachteile kompensieren. So werden durch die Stahlkomponente die Anforderungen an Festigkeit, Sicherheit und Fügeigenschaften erfüllt, wobei die Anforderung an eine masseoptimierte Bauweise durch die Aluminiumkomponente erfüllt wird. Zum Einsatz sollen Hybrid Blanks bei Innen- und Außenanwendungen im Karosseriebereich kommen. Eine Anwendung im Dachbereich zeigt **Abbildung 52**.

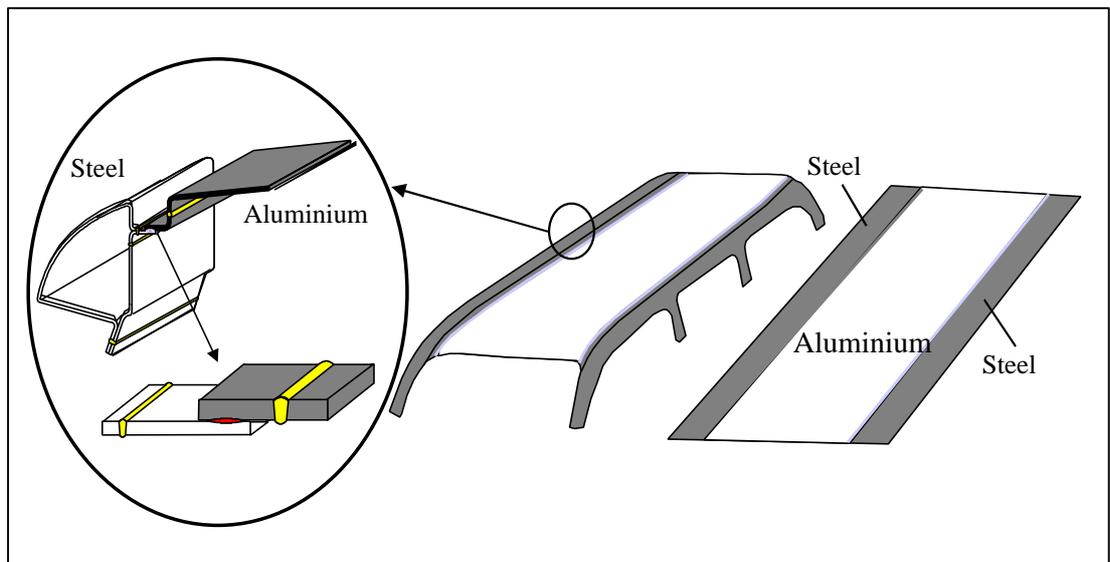


Abbildung 52: Anwendung eines Hybridblechs¹¹¹⁾

Hergestellt werden diese Bleche durch eine Laser-gestützte Rollnaht-Fügetechnik, die zum kraftschlüssigen Verbinden von Feinblechen aus Stahl und Aluminium entwickelt worden ist (**Abbildung 53**).

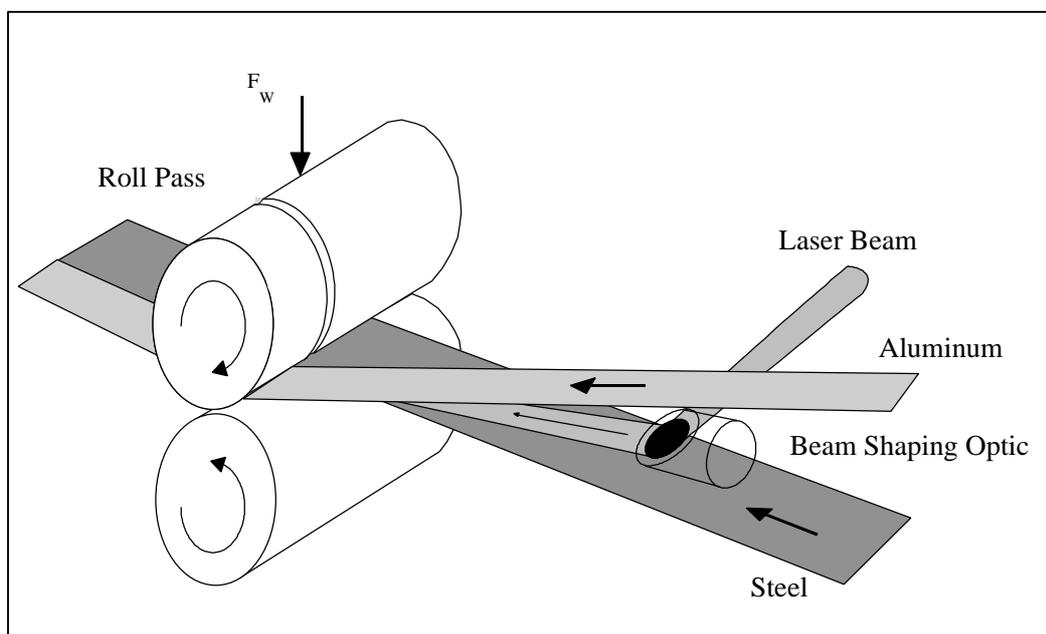


Abbildung 53: Schema des Laserschweißens verschiedener Werkstoffe¹¹¹⁾

Mit Tailored Products kann erreicht werden, dass anwendungsoptimierte Lösungen bestmögliche Beiträge zur Energieeinsparung und zum Klimaschutz über den gesamten Lebensweg von Automobilbauteilen liefern.

Aufgrund ihrer magnetischen Eigenschaften können die Tailored Products über den Shredder als heute üblicher Entsorgungsweg von Altautos vollständig und ohne Qualitätsverlust erneut dem Stoffkreislauf zugeführt werden. Eine vorgeschaltete Demontage ist nicht erforderlich; Abfälle fallen nicht an.

Auch bei den Hybrid Blanks ist eine Änderung der bestehenden Aufbereitungs- und Verwertungsstrategie nicht erforderlich. Mit der bestehenden Shredder-Technologie werden die Werkstoffe Aluminium und Stahl voneinander getrennt und in der Windsichtung sortenrein separiert.

7. Ausblick

Die wichtigsten Anforderungen an eine umweltgerechte Gestaltung für Stahlwerkstoffe und Stahlerzeugnisse werden aufgrund der politischen und rechtlichen Zwänge maßgeblich von der Automobilindustrie definiert, wobei

- recyclingerechte Konstruktion und
- ressourcenschonende Nutzung durch Leichtbau

im Vordergrund stehen.

Gegenüber Wettbewerbswerkstoffen können Vorteile hinsichtlich der Recycelingeigenschaften des Stahlwerkstoffes verbucht werden. Der zunehmende Einsatz von höherfesten Stählen bewirkt eine verbesserte und zielgerichtete Steuerung der Schrottrückläufe. Eine Unterscheidung zwischen den beiden zur Verfügung stehenden Stahlerzeugungs- und Recyclingrouten sollte nicht mehr erfolgen.

Handlungsbedarf für Stahlunternehmen ergibt sich hinsichtlich einer weiteren **Reduzierung der Bauteil-Masse**. Ökobilanzen zeigten, dass Maßnahmen zur Reduzierung der Masse nur sinnvoll in Verbindung mit Anpassungen der Antriebstechnik sind. Das Projekt der europäischen Automobilindustrie zur Entwicklung zukünftiger Fahrzeuge, die sowohl Anforderungen zum Leichtbau als auch zum Recycling erfüllen, sollte für die Stahlindustrie Anstöße zu einer verstärkten Einbeziehung von Umweltaspekten in die Werkstoff- und Produktentwicklung bieten und zugleich einen engeren Dialog zur umweltgerechten Werkstoff- und Produktgestaltung mit Stahlanwendern ermöglichen. Ausreichende Potentiale sind hierzu vorhanden.

Literaturverzeichnis

- ¹ Philipp, J.A.
Theobald, W.; Herausforderungen des Umweltschutzes an den
Werkstoff Stahl
Tagung Werkstoffforschung unter Umweltaspekten
Dresden, 24.-26. März 1994
- ² Hornbogen, E et al. Recycling, 1993
- ³ EUROFER Annual Report 2000
- ⁴ N.N. Our common future: The world commission on
environment and development,
Oxford University Press
Oxford, New York, 1987
- ⁵ Keating, M. Agenda für eine nachhaltige Entwicklung
Centre for Common Future
Genf 1993
- ⁶ Philipp, J. Sustainable Development: Neue Aspekte in der
Umweltpolitik
Stahl und Eisen 117 (1997), Nr. 11, S. 39-46
- ⁷ Philipp, J. Stand und Entwicklung des Umweltschutzes in
der Stahlindustrie
Stahl und Eisen 120 (2000) Nr. 4
S. 43-51
- ⁸ Stahlbibel, Verlag Stahleisen, Düsseldorf 1989
- ⁹ <http://www.seilnacht.tuttlingen.com/Lexikon/atoms.htm>
- ¹⁰ Energiedaten 2000, Herausgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie,
Bonn
- ¹¹ Jahrbuch Stahl 2001
- ¹² Jakob, A.; Gante, D. Strategie und Anlagentechnik der Energie-
wirtschaft der Preussag Stahl AG
Hoffmann, G.; Meyer, O. Stahl und Eisen 113 (1993) Nr. 10, S. 43-51
- ¹³ Hendricks, C. 31. Jahrestagung des IISI, Wien, 07.10.1997
- ¹⁴ Aichinger, H. CO₂-Monitoring-Fortschrittsbericht der
Stahlindustrie für das Berichtsjahr 1999
- ¹⁵ Schulz, E. Umweltschutz in der Stahlindustrie
Stahl und Eisen (1992), Nr. 5, S. 43-51

-
- ⁴⁸ EN ISO 14042, Wirkungsabschätzung
Brüssel 1999
- ⁴⁹ EN ISO 14043, Auswertung
Brüssel 1999
- ⁵⁰ Nutzen von Ökobilanzen, Schriftenreihe der Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie,
Rohstoff- und Umwelttechnik, Heft 85, Clausthal-Zellerfeld 1999
- ⁵¹ Boustead, I.: Persönliche Information anlässlich einer
Diskussion im Informationszentrum Weißblech,
Düsseldorf, Juni 1992
- ⁵² Philipp, J.; Theobald, W.; Fortschreibung der Ökobilanz für Stahlprodukte
Volkhausen, W.; Stahl und Eisen (116) 11/96 S. 99-104
- ⁵³ Bundesamt für Umwelt Ökobilanz von Packstoffen, Stand 1984
Schriftreihe Umwelt
BUWAL, Bern, 1984
- ⁵⁴ Bundesamt für Umwelt Ökobilanz von Packstoffen, Stand 1990
Schriftreihe Umwelt Nr. 132
BUWAL, Bern, 1991
- ⁵⁵ Bundesamt für Umwelt Ökobilanz von Packstoffen, Stand 1996
Schriftreihe Umwelt Nr. 250
BUWAL, Bern, 1996
- ⁵⁶ Bischoff, E.; Öko-Bilanzen von Verpackungen
Multi-Client-Studie 1991
Le Mont Pelerin 1991
- ⁵⁷ Umweltbundesamt Hintergrundpapier: Ökobilanz Getränkeverpackung
für alkoholfreie Getränke und Wein
Berlin, August 2000
- ⁵⁸ Umweltbundesamt Ökobilanzen für Getränkeverpackungen
Forschungsvorhaben 296 95504
- ⁵⁹ Industrieprojekt mit 40 Unternehmen aus der Grundstoff- und weiterverarbeitenden
Industrie des IKP an der Universität Stuttgart, Stuttgart 1991 bis 1993
- ⁶⁰ Merten, T. Lietdtke, C. Materialintensitätsanalysen von Grund-, Werk- und
Schmidt-Bleek, F. Baustoffen (1)
WuppertalPapers Nr. 27, Januar 1995
- ⁶¹ Environmental Data for Building Materials in the Nordic Countries, Nordic Council
of Ministers, Kopenhagen 1995

-
- ⁶² Bundesministerium für Raum- Leitfaden nachhaltiges Bauen
ordnung, Bauwesen und Entwurf v. 22.11.1999
Städtebau
- ⁶³ Philipp, J.; Eyerer, P.; Ökobilanzen für Stahlprodukte, Sachstand und
Erve, S.; Schuckert, M.; Perspektiven
Theobald, W.; Volkhausen, W.; Stahl und Eisen 114 (1994) Nr. 11, S. 71-78
- ⁶⁴ Angaben des Instituts für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde an der
Universität Stuttgart 2001 unveröffentlicht
- ⁶⁵ Worldwide LCI Database for Steel Industry Products; Technical Report 1,
IISI, Brüssel 1997
- ⁶⁶ EUROFER Annual Report 2000
- ⁶⁷ Gespräch zwischen Vertretern von Coca-Cola Europa mit dem Informationszentrum
Weißblech Oktober 2001
- ⁶⁸ GfK – Repräsentative Befragung von 2.500 Verbrauchern, Präsentation auf einer
Pressekonferenz zur Lenkungswirkung eines Pflichtpfandes auf Getränkeverpackungen
Berlin, 06.02.2001
- ⁶⁹ Informationszentrum Weißblech Düsseldorf, 1980-1985
- ⁷⁰ Bauen mit Stahl: Die ökologische Entscheidung, Stahl-Informations-Zentrum,
Düsseldorf, 1999
- ⁷¹ Nachhaltige Architektur in Stahl und Glas, Stahl-Zentrum, Düsseldorf, 2000
- ⁷² www.worldsteel.org 2001
- ⁷³ Geschäftsberichte ThyssenKrupp, Salzgitter AG, 1999 und 2000
- ⁷⁴ Eichhorn, Ulrich Innovative Stahlwerkstoffe für höchste Sicherheit
vorgetragen bei Stahl 2000 – Stahl für den Straßen-
fahrzeugbau.
Düsseldorf, 16.11.2000
- ⁷⁵ Jaroni, U.; Dohr, C. Tailored Blanks – von der Marktnische zur
weltweiten Produktion
Stahl und Eisen 118 (1998), Nr. 8, S. 35-38
und eigene Berechnung
- ⁷⁶ Jahresbericht des VDA 2000
- ⁷⁷ Pressenotiz ACEA Brüssel 16.03.1998
- ⁷⁸ Directive of the European Parliament and the Council on End of Life Vehicles;
COM(2000) 166 Final, Brüssel, 16.03.2000

-
- ⁷⁹ Gossen, F.; Vorstudie zur Ermittlung des Kraftstoff-Einsparpotentials bei Reduzierung des Fahrzeuggewichts, Abschlußbericht der Studiengesellschaft für Stahlanwendung, Forschungsvorhaben Nr. P303/95, Aachen Februar 1996
- ⁸⁰ Kraftfahrttechnisches Taschenbuch
Bosch, VDI-Verlag 1991, Düsseldorf, 21. Auflage
- ⁸¹ Eberle, R.; Die ökologischen und ökonomischen Grenzen des Leichtbaus;
VDI Berichte Nr. 1505, 1999, Braunschweig, 18.11.1999
- ⁸² nach Thyssen Krupp Stahl FQP/Metallkunde, 2002
- ⁸³ Laaf, T.; BMW AG, persönliche Informationen 2000
- ⁸⁴ GaBi[®], Softwaresystem zur ganzheitlichen Bilanzierung, IKP, Stuttgart 1999
- ⁸⁵ Schäper, S.; Nebenwirkungen der Recyclingquoten der EU-Altautodirektive auf Leichtbaukonzepte sowie auf den Einsatz nachwachsender Rohstoffe im PKW EUROFORUM-Konferenz
Freising, 10./11.10.2000
- ⁸⁶ http://dbs.cordis.lu/cordis-cgi/srchidadb?ACTION=D&SESSION=151032001-7-27&DOC=1&TBL=EN_PROJ&RCN=EP_RCN:53102&CALLER=PROJLINK, 2001
- ⁸⁷ Peterson, P.: IISI am 28.09.2001
- ⁸⁸ Persönliche Mitteilung 2001
- ⁸⁹ www.oeko-trend.de 2001
- ⁹⁰ Umweltbericht der Audi AG 2000
- ⁹¹ Schweimer, G. Sachbilanz des Golf A4
Homepage der Volkswagen AG, 2001
- ⁹² Umweltbericht der DaimlerChrysler AG 1997
- ⁹³ www.Ford.de 12.10.2001
- ⁹⁴ Wienert, H., Zur gegenwärtigen und künftigen Schrotterfügbarkeit in der Welt,
VDEh, November 1995

-
- ⁹⁵ Persönliche Mitteilung durch den Deutschen Gießereiverband, Düsseldorf, 2001
- ⁹⁶ Jahrbuch Stahl 1997, Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Düsseldorf 1997
- ⁹⁷ Scrap in the Steel Industry, International Iron and Steel Institute, Brüssel, 1997
- ⁹⁸ Janke, D.; Savov, L.: Ressourcen for Tomorrow – Material-Recycling
Freiberger Forschungshefte B294, 1998
- ⁹⁹ Informationszentrum Weißblech, 2001
- ¹⁰⁰ Janke, D.; Savov, L.; Vogel, E.: Problematic Materials and Elements in Steel
Production and Recycling
Veröffentlichung demnächst
- ¹⁰¹ Jahrbuch Stahl 1997, S. 265
- ¹⁰² Janke, D.; Savov, L.: Recycling of Scrap in Steelmaking in View of the
Tramp Element Problem
Metall, 1998 Nr. 6, S. 374-383
- ¹⁰³ Stan, S.; Jancu, E.: The dynamic of residual elements in scrap Mazilu,
used for electric steelmaking.
5. Europäischer Elektrostahlkongress, Paris 1995
- ¹⁰⁴ Moser, A.; Jöller, A.: Überblick über die Spurenelemente von
Baustählen, Spurenelemente in Stählen,
Stahl und Eisen Berichte (1985) S. 35-36
- ¹⁰⁵ Kreutzer, H. W.: Wiedereinsatz von Stahlschrott für die
Stahlherstellung
VDEh, Düsseldorf, 1992
- ¹⁰⁶ Internes Forschungsprojekt der europäischen Automobilindustrie (nicht
veröffentlicht)
- ¹⁰⁷ Statistisches Jahrbuch Stahl
eigene Berechnungen
VDEh, Düsseldorf 1997
unveröffentlicht
- ¹⁰⁸ Mohbacher, H.: Laser welding technology for the mass production
of tailored blanks
International Sheet Metal Review
Mai/Juni 2001
- ¹⁰⁹ ThyssenKrupp Stahl AG
unveröffentlicht
- ¹¹⁰ Köhler, K.-U.
Sardemann, K.-D. Stahl im Einsatz für moderne Verkehrssysteme
Stahl und Eisen 120 (2000) Nr. 4, S. 73-80
- ¹¹¹ Polzin, R., Propawe, R.
Kawalla, R., Pircher, H. Transition joints: Design for aluminium-steel
Light weight body components, 1996

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lebenszyklus von Erzeugnissen	5
Abbildung 2: Aspekte der umweltgerechten Gestaltung von Stahlwerkstoffen und Stahlerzeugnissen.....	8
Abbildung 3: Energiestruktur eines integrierten Hüttenwerkes	12
Abbildung 4: Maßnahmen zur Senkung des Verbrauchs an Reduktionsmitteln in der deutschen Stahlindustrie	13
Abbildung 5: Entwicklung der Stahlerzeugung im Elektrolichtbogenofen.....	14
Abbildung 6: Einsatz von Roheisen und Schrott je Tonne Kaltfeinblech	15
Abbildung 7: Wasserwirtschaft am Beispiel der ThyssenKrupp Stahl AG.....	16
Abbildung 8: Rohstahlproduktion und Staubemission bei der ThyssenKrupp Stahl AG.....	17
Abbildung 9: Erzeugung und Einsatz metallurgischer Schlacken.....	19
Abbildung 10: Recyclingrate von Abfällen der ThyssenKrupp Stahl AG	20
Abbildung 11: Entwicklung von oberflächenveredelten Stahlerzeugnissen in Europa.....	21
Abbildung 12: Erzeugung oberflächenveredelter Stahlerzeugnisse in Europa	21
Abbildung 13: Ultralight Steel Body Project (ULSAB).....	22
Abbildung 14: Anteil der Abfüllung von Getränken in Mehrwegverpackungen	28
Abbildung 15: Plakat des Bundes-Umweltministeriums zum Zwangspfand auf Getränkeverpackungen.....	32
Abbildung 16: Lebensweg von Erzeugnissen.....	39
Abbildung 17: Herstellungskette vom Rohstoff zum Produkt	40
Abbildung 18: Rahmen einer Ökobilanz	41
Abbildung 19: Ergebnisse der Ökobilanz für Getränkeverpackungen	48
Abbildung 20: Vergleich von Ergebnissen ausgewählter Wirkungsindikatoren mit ökologischen Prioritäten.....	49
Abbildung 21: Treibhauseffekt bei verschiedenen Getränkeverpackungen	50
Abbildung 22: Vergleich des Energiebedarfs zur Herstellung und Nutzung verschiedener Kotflügelpaare.	52
Abbildung 23: Materialintensität von Stahl.....	53
Abbildung 24: Materialintensitäten von Freileitungsmasten.....	54
Abbildung 25: Stoffströme eines integrierten Hüttenwerkes	56
Abbildung 26: Rohstoffbedarf von Stahlprodukten.....	57
Abbildung 27: Anteile der CO ₂ -Emissionen bei der Stahlerzeugung.....	59
Abbildung 28: Einbeziehung des Recyclings in den Lebenszyklus bei ausgewählten Parametern Energie- und Rohstoffbedarf sowie CO ₂ -Emissionen.	60
Abbildung 29: CO ₂ -Emissionen bei der Herstellung und Nutzung von Kotflügelpaaren.	61
Abbildung 30: Entwicklung der Gewichte von Getränkedosen in Europa	63
Abbildung 31: Wichtigkeit von Kriterien bei der Verpackungsentscheidung.....	64
Abbildung 32: Christus-Pavillon auf der EXPO 2000.....	66
Abbildung 33: Kriterien bei der Werkstoffauswahl für eine Fahrzeug-neuentwicklung ..	68
Abbildung 34: Potentiale zur Verbrauchsreduzierung bei Automobilen.....	72
Abbildung 35: Energieverbrauch zur Herstellung und Nutzung eines Automobil- bauteils aus verschiedenen Werkstoffen, Bauteil Frontend. Fahrzeug 1 ...	77
Abbildung 36: Energiebedarf zur Herstellung und Nutzung eines Automobil- bauteils aus verschiedenen Werkstoffen, Bauteil Frontend. Fahrzeug 2 ..	78
Abbildung 37: Rohstahlerzeugung in der EU nach Prozessen	93
Abbildung 38: Rohstahlerzeugung in der EU	93
Abbildung 39: Schrottverbrauch in der EU	94
Abbildung 40: Handelsbilanz für Schrott in Europa	95

Abbildung 41: Recyclingrate einiger Werkstoffe	97
Abbildung 42: Recycling von Weißblech-Getränkedosen in Deutschland	98
Abbildung 43: Marktentwicklung von Tailored Blanks in Europa	101
Abbildung 44: Ökobilanzielle Betrachtungsweise der Stahlerzeugung.....	106
Abbildung 45: Integriertes System von Stahlerzeugung und Stahlrecycling	107
Abbildung 46: Marktanteile bei Tailored Blanks	110
Abbildung 47: Anwendungsmöglichkeiten von Tailored Blanks.....	111
Abbildung 48: Fortschritt bei der Stahlerwicklung und Anwendungsbeispiele	112
Abbildung 49: Beispiel einer Anwendung von Tailored Blanks als Längsträger und Tür-Innen-Blech.....	113
Abbildung 50: Anwendung von Tailored Strips in der Felgenfertigung	114
Abbildung 51: Anwendung von innenhochdruckumgeformten Tailored Tubes	114
Abbildung 52: Anwendung eines Hybridblechs	115
Abbildung 53: Schema des Laserschweißens verschiedener Werkstoffe.....	116

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Roh- und Hilfsstoffe zur Eisen- und Stahlerzeugung in Deutschland 2000.	11
Tabelle 2:	In- und Outputgrößen einer Ökobilanz.....	42
Tabelle 3:	Kraftstoffeinsparung in l/100 km Fahrleistung und 100 kg Massenreduzierung.....	70
Tabelle 4:	Annahmen für die Herstellung (Bauteil Frontend).....	73
Tabelle 5:	Annahmen für die Nutzungsphase(Bauteil Frontend).....	74
Tabelle 6:	Gesamtenergieverbrauch und Gesamtemissionen an CO ₂ für die betrachteten Fahrzeuge ohne Anpassung des Antriebstrangs (Bauteil Frontend, Variante 1).....	76
Tabelle 7 :	Gesamtenergieverbrauch und Gesamtemissionen an CO ₂ für die betrachteten Fahrzeuge mit Anpassung des Antriebstrangs (Bauteil Frontend, Variante 2).....	76
Tabelle 8:	Bewertungskategorien für umweltverträgliche Autos	84
Tabelle 9:	Die umweltverträglichsten Automobile nach dem Öko-Trend-Ranking	85
Tabelle 10:	Lebensdauer von Produkten aus Stahlwerkstoffen.....	96
Tabelle 11:	Auszug aus der Europäischen Schrottsortenliste.....	99
Tabelle 12:	Einfluss einzelner Elemente auf die Eigenschaften von Stahl	101
Tabelle 13:	Zuordnung verschiedener Stahlsorten	102
Tabelle 14:	Preisindex für Stahlerzeugnisse.....	104
Tabelle 15:	Sachbilanz für Feinblech unter Berücksichtigung verschiedener Recyclingquoten	108
Tabelle 16:	Sachbilanzdaten für die Herstellung verschiedener Stahlerzeugnisse.....	129
Tabelle 17:	Energieverbrauch bei der Herstellung von Stahlerzeugnissen	130
Tabelle 18:	Sachbilanzdaten für die Strombereitstellung.....	131
Tabelle 19:	Sachbilanzdaten für Transporte von Vormaterial.....	132
Tabelle 20:	Gesamtsachbilanz für verschiedene Stahlerzeugnisse.....	133
Tabelle 21:	Fortschreibung der Sachbilanz für die Stahlherstellung über die Hochofenroute - ohne Recycling.....	135
Tabelle 22:	Sachbilanz für das Recycling in Elektrostahlwerken	137

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
BDS	Bundesverband der deutschen Recyclingwirtschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVWBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft der Schweiz
DG ENV	Direction Generale Environment der EU
EU	Europäische Union
EUCAR	European Council for Automotive R&D
EUROFER	European Confederation of Iron and Steel Industries
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe
IKA	Institut für Kraftfahrtwesen
IKP	Institut für Kunststoffkunde und Kunststoffprüfung an der Universität Stuttgart
IPP	Integrierte Produktpolitik der Europäischen Union
ISO	International Standardisation Organisation
LCI	Life Cycle Inventory
LiReCar	Light and recycable car
MIPS	Material-Intensität pro Serviceeinheit
OV	Oberflächenveredelte Erzeugnisse
PET	Polyethylen-Taftalat
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
SPRU	Science Policy Research Unit
UBA	Umweltbundesamt
ULSAB	Ultralight Steel Body Project
VDA	Verband der Automobilindustrie
WV Stahl	Wirtschaftsvereinigung Stahl

Tabellen

Tabelle 16: Sachbilanzdaten für die Herstellung verschiedener Stahlerzeugnisse

		<i>elektrolytisch. verzinktes Blech</i>	<i>Weißblech</i>	<i>Schienen</i>	
Input:					
Energie:	Strom	kWh/t	287,89	179,47	-23,08
	Erdgas	MJ/t	183,44	942,66	174,75
	Dampf	kg/t	307,87	463,79	157,93
	Rohstoff-				
	Steinkohle	kg/t	644,13	651,23	613,63
	Eisenerz	kg/t	967,56	978,22	921,75
	Pellets	kg/t	441,30	446,16	420,40
	Schrott	kg/t	65,53	65,36	116,84
	Legierungen	kg/t	10,90	11,02	10,38
	Kalkstein	kg/t	115,26	116,93	109,80
	Kalk	kg/t	61,12	61,80	58,23
	Zuschläge	kg/t	81,58	82,48	7,7,71
	Schwefelsäure	kg/t	4,59	4,39	
	Walzöl	kg/t	1,84	1,80	
	Zink	kg/t	12,00		
	Zinn	kg/t		2,00	
	Entfettungsmittel	kg/t		1,93	
Output:					
Emissionen in Luft:	Staub	g/t	510,70	521,10	480,50
	Nickel	g/t	0,04	0,04	0,03
	Blei	g/t	5,90	5,98	5,60
	Chrom	g/t	0,09	0,09	0,06
	Mangan	g/t	2,20	2,19	2,01
	HF	g/t	2,60	2,99	2,54
	HCl	g/t	38,90	40,38	37,11
	H ₂ S	g/t	4,10	4,10	3,87
	SO ₂	g/t	1970,00	2030,00	1960,00
	NO _x	g/t	1730,00	1850,00	1480,00
	CO	kg/t	22,51	22,76	21,44
	CO ₂	kg/t	1712,78	1988,12	1549,28
	Ammoniak	g/t	0,30	0,33	0,31
	Methan	g/t	8,90	9,04	8,52
	Benzol	g/t	0,50	0,51	0,48
	Rest Kohlenwasserst.	g/t	9,38	9,54	8,99
	Dioxin (TE)	µg/t	5,46	5,52	5,19
Nebenprodukte und Reststoffe:	Neutralisations-schlamm	kg/t		29,42	
	Walzzunder	kg/t	21,62	21,86	10,00
	Walzzunderschlamm	kg/t	4,32	4,37	
	Auswurf	kg/t	7,77	7,85	7,40
	Schlacke	kg/t	359,00	362,96	342,01
	Stäube	kg/t	37,49	37,91	35,72
	Ausbruch	kg/t	0,20	0,21	0,19
	Benzol	kg/t	0,33	0,33	0,31
	Teer	kg/t	13,39	13,53	12,75
	Schwefelsäure	kg/t			2,17
Abfall:	Abfall aus Schlacken-aufbereitung	kg/t	33,78	34,15	32,18
	Schlamm	kg/t	9,12	9,22	8,69
	Schutt	kg/t	19,49	19,71	18,57
	Kreislaufwasser	m ³ /t	83,93	76,29	35,68

Tabelle 17: Energieverbrauch bei der Herstellung von Stahlerzeugnissen

		<i>elektrolytisch verzinktes Blech</i>	<i>Weißblech</i>	<i>Schienen</i>
Strom	MJ/t	2945,11	1835,98	-235,90
Erdgas	MJ/t	183,44	942,66	174,75
Dampf	MJ/t	985,18	1484,13	505,38
Steinkohle	MJ/t	18808,60	19015,92	17918,00
Summe	MJ/t	22922,33	23278,69	18362,23

Umrechnungsfaktoren:

Strom: MJ/kWh 10,32
 Dampf: MJ/kg 3,2

Erdgas: MJ/kg 40,31
 Steinkohle: MJ/kg 29,2

Tabelle 18: Sachbilanzdaten für die Strombereitstellung

		elektrolytisch verzinktes Blech	Weißblech	Schienen	
	Strombedarf	kWh/t	287,89	179,47	-23,06
Rohstoffbedarf	Steinkohle	kg/t	29,34	18,29	- 2,35
	Braunkohle	kg/t	78,51	48,94	- 6,29
	Heizöl el	kg/t	1,11	0,69	- 0,09
	Erdgas	kg/t	5,45	3,40	- 0,44
	Uran	kg/t	3,01 E-07	1,88E-07	- 2,41 E-08
	Ammoniak	kg/t	0,71	0,44	- 0,06
	Kalkstein	kg/t	0,94	0,58	- 0,07
	Wasserkraft	MJ/t	61,44	38,30	- 4,92
Emissionen	Staub	g/t	3,60	2,24	0,29
	Nickel	g/t	0,032	0,020	0,003
	Blei	g/t	0,052	0,032	0,004
	Chrom	g/t	0,011	0,007	0,001
	Quecksilber	g/t	0,0060	0,0038	- 0,0005
	Arsen	g/t	0,019	0,012	- 0,002
	HF	g/t	1,66	1,03	- 0,13
	SO ₂	g/t	189,00	117,82	- 15,14
	NO _x	g/t	204,40	127,42	- 16,37
	N ₂ O	g/t	5,76	3,59	- 0,46
	CO	g/t	23,03	14,36	- 1,84
	CO ₂	kg/t	170,26	106,14	- 13,64
	Methan	g/t	477,90	297,92	- 38,28
	Rest Kohlen- wasserstoffe	g/t	2,53	1,58	- 0,20
Nebenprodukt	Gips	kg/t	5,27	3,28	- 0,42
	Abfall	kg/t	2,26	1,41	- 0,18

Tabelle 19: Sachbilanzdaten für Transporte von Vormaterial

			elektrolytisch verzinktes Blech	Weißblech	Schienen
Rohstoffbedarf	Steinkohle	kg/t/	0,44	0,44	0,51
	Braunkohle	kg/t/	1,17	1,18	1,38
	Heizöl	kg/t	4,58	4,63	4,37
	Erdgas	kg/t	0,08	0,08	0,10
	Uran	kg/t	4,50E-09	4,54E-09	5,29E-09
	Ammoniak	kg/t	0,01	0,01	0,01
	Kalkstein	kg/t	0,01	0,01	0,02
	Wasserkraft	MJ/t	0,92	0,93	1,08
Emissionen	Staub	g/t	0,05	0,05	0,06
	Blei	g/t	0,001	0,001	0,001
	Chrom	g/t	0,0002	0,0002	0,0002
	Quecksilber	g/t	0,0001	0,0001	0,0001
	Arsen	g/t	0,0003	0,0003	0,0003
	HF	g/t	0,02	0,02	0,03
	SO ₂	g/t	279,85	282,92	267,22
	NO _x	g/t	387,31	391,57	369,65
	N ₂ O	g/t	0,09	0,09	0,10
	CO ₂	kg/t	17,02	17,20	16,78
	CO	g/t	41,45	41,91	39,56
	Methan	g/t	7,15	7,20	8,39
	Rest Kohlen- wasserstoffe	g/t	11,68	11,78	11,11
Nebenprodukt	Gips	kg/t	0,08	0,08	0,09
	Abfall	kg/t	0,03	0,03	0,04

Tabelle 20: Gesamtsachbilanz für verschiedene Stahlerzeugnisse

		elektrolytisch verzinktes Blech	Weißblech	Schienen	
Input:					
Rohstoffe:	Steinkohle	kg/t	673,91	669,96	611,79
	Braunkohle	kg/t	79,68	50,12	- 4,91
	Heizöl	kg/t	5,69	5,63	4,28
	Erdgas	kg/t	10,08	26,88	4,02
	Uran	kg/t	3,06E-07	1,93E-07	-1,88E-08
	Wasserkraft	MJ/t	62,36	39,23	- 3,84
	Eisenerz	kg/t	967,56	978,22	921,75
	Pellets	kg/t	441,30	446,16	420,40
	Schrott	kg/t	65,53	65,36	116,84
	Legierungen	kg/t	10,90	11,02	10,38
	Kalkstein	kg/t	15,26	116,53	109,80
	Kalk	kg/t	61,12	61,80	58,23
	Zuschläge	kg/t	81,58	82,48	77,71
	Schwefelsäure	kg/t	4,59	4,39	
	Ammoniak	kg/t	0,72	0,45	0,05
	Walzöl	kg/t	1,84	1,80	
	Zink	kg/t	12,00		
	Zinn	kg/t		2,00	
	Entfettungsmittel	kg/t		1,93	

Tabelle 20 Fortsetzung: Gesamtsachbilanz für verschiedene Stahlerzeugnisse

Output Emissionen In die Luft						
	Staub	g/t	514,35	523,39	480,27	
	Blei	g/t	5,95	6,01	5,60	
	Chrom	g/t	0,10	0,10	0,08	
	Kupfer	g/t	0,30	0,29	0,23	
	Mangan	g/t	2,20	2,19	2,01	
	Vanadium	g/t	0,01	0,01	0,01	
	HF	g/t	4,28	4,04	2,44	
	HCl	g/t	38,90	40,38	37,11	
	H ₂ S	g/t	4,10	4,10	3,87	
	SO ₂	g/t	2561,71	2430,74	2314,51	
	NO _x	g/t	1730,00	1850,00	1480,00	
	N ₂ O	g/t	5,85	3,68	- 0,36	
	CO	kg/t	22,57	22,82	21,48	
	CO ₂	kg/t	1900,06	2111,46	1552,42	
	Ammoniak	g/t	0,30	0,33	0,31	
	Schwefelsäure	g/t	0,70	0,74	0,70	
	Methan	g/t	493,95	314,16	- 21,37	
	Benzol	g/t	0,50	0,51	0,48	
	Rest Kohlen- wasserstoffe	g/t	23,59	22,90	19,90	
	Nebenprodukte und Reststoffe:	Dioxin (TE)	µg/t	5,46	5,52	5,19
		Neutralisations- schlamm	kg/t		29,42	
		Walzzunder	kg/t	21,62	21,86	10,00
Walzzunderschlamm		kg/t	4,32	4,37		
Auswurf		kg/t	7,77	7,85	7,40	
Schlacke		kg/t	359,00	362,96	342,01	
Stäube		kg/t	37,49	37,91	35,72	
Ausbruch		kg/t	0,20	0,21	0,19	
Benzol		kg/t	0,33	0,33	0,31	
Teer		kg/t	13,39	13,53	12,75	
Schwefelsäure		kg/t			2,17	
Gips		kg/t	5,35	3,36	0,33	
Abfall:	Abfall aus Schlacken- aufbereitung	kg/t	33,78	34,15	32,18	
	Schlamm	kg/t	9,12	9,22	8,69	
	Schutt	kg/t	19,49	19,71	18,57	
	Sonstiges	kg/t	2,29	1,44	0,14	
	Kreislaufwasser	m ³ /t	83,93	76,29	35,68	

Tabelle 21: Fortschreibung der Sachbilanz für die Stahlherstellung über die Hochofenroute - ohne Recycling

		elektrolytisch verzinktes Feinblech	feuer- verzinktes Feinblech	Kaltfeinblech		
Input: Rohstoffe:	Steinkohle	kg/t	804,36	798,56	762,07	
	Roherz	kg/t	2407,64	2390,27	2280,98	
	Kalkstein	kg/t	268,35	266,05	253,79	
	Kalkhydrat ¹⁾	kg/t	6,25	6,21	5,92	
	Zuschläge	kg/t	27,97	27,77	26,50	
	Dolomit	kg/t	1,76	2,15	1,67	
	Schrott	kg/t	85,53	48,69	126,64	
	Legierungen	kg/t	10,33	10,47	9,79	
	Säure	kg/t	4,03	4,03	3,81	
	Walzöl	kg/t	0,15	0,15	0,50	
	Entfettungsmittel	kg/t	1,14	1,14	1,08	
	Zink	kg/t	11,62	31,23	0,00	
	Ammoniak ¹⁾	kg/t	0,45	0,17	0,06	
	Energie	Öl ¹⁾	GJ/t	0,29	0,26	0,21
		Steinkohle ¹⁾	GJ/t	3,59	3,20	2,14
Braunkohle ¹⁾		GJ/t	0,42	0,15	0,05	
Erdgas		GJ/t	0,87	0,72	0,64	
Sonstiges ¹⁾		GJ/t	0,04	0,03	0,02	
	Frischwasser	m ³ /t	2,74	2,46	2,25	

Tabelle 21 Fortsetzung: Fortschreibung der Sachbilanz für die Stahlherstellung über die Hochofenroute - ohne Recycling

Output						
Produkte:	Kaltband	kg/t	1000,00	1000,00	1000,00	
	Schlacke	kg/t	390,66	391,72	370,12	
	Benzol	kg/t	3,93	3,90	3,72	
	Teer	kg/t	18,58	18,45	17,60	
Emissionen ²⁾	Gips ¹⁾	kg/t	3,34	1,19	0,43	
	Benzol	g/t	9,31	9,25	8,82	
	Pb	g/t	5,27	5,34	4,97	
	Mn	g/t	2,03	2,06	1,92	
	Staub	g/t	950,31	949,59	898,51	
	HCN	g/t	0,57	0,57	0,54	
	H ₂ S	g/t	27,74	27,54	26,28	
	HF	g/t	4,37	3,66	3,28	
	HCl	g/t	17,02	16,90	16,13	
	SO _x	g/t	3119,98	2994,14	2618,73	
	NO _x	g/t	3342,24	3253,05	2814,33	
	N ₂ O	g/t	3,65	1,30	0,47	
	NH ₃	g/t	4,46	4,43	4,23	
	H ₂ SO ₄	g/t	0,81	0,80	0,77	
	CH ₄	g/t	43,96	43,94	41,64	
	ges. C	g/t	0,03	0,03	0,03	
	NM VOC	g/t	1,56	0,53	0,17	
	Methan	g/t	303,29	108,04	39,05	
	CO	kg/t	17,35	17,12	16,42	
	CO ₂	kg/t	2322,29	2210,15	1932,28	
	PCDD/F (TE)	µg/t	3,24	3,22	3,07	
	Abfall zur Verwertung	Gichtgasschlamm	kg/t	3,77	3,75	3,58
		Abraum ³⁾	kg/t	933,01	926,28	883,93
	Abfall zur Beseitigung	Schlacke	kg/t	15,73	15,67	14,90
		Neutralisations-schlamm	kg/t	5,85	5,70	5,54
		Schutt	kg/t	20,63	20,50	19,54
		Sonstiges	kg/t	1,44	0,51	0,18

1) aus Energiemix zur Bereitstellung von Fremdstrom

2) einschließlich Emissionen aus Energiemix und Rohstoffgewinnung

3) aus Rohstoffgewinnung

Tabelle 22: Sachbilanz für das Recycling in Elektrostahlwerken

<i>Input</i> Rohstoffe.	Schrott	kg/t	1000,00	
	Legierungen	kg/t	10,47	
	Ammoniak ¹⁾	kg/t	1,14	
	Kalkstein	kg/t	1,51	
	<i>Energie.</i>			
	Erdgas ¹⁾	GJ/t	0,50	
	Steinkohle ¹⁾	GJ/t	1,41	
	Braunkohle ¹⁾	GJ/t	1,06	
	Heizöl ¹⁾	GJ/t	0,07	
	Sonstige ¹⁾	GJ/t	0,01	
	Dampf	kg/t	51,77	
	Druckluft	m3(i.N.)/t	4,77	
	Sauerstoff	m3(i.N.)/t	27,49	
	Dampf	GJ/t	0,14	
	Frischwasser	m3/t	2,76	
	Output: Produkte			
Rohstahl		kg/t	887,31	
	Schlacke	kg/t	35,49	
Emissionen ²⁾				
	Benzol	g/t	0,04	
	Pb	g/t	8,31	
	Cr	g/t	0,15	
	Cu	g/t	0,47	
	Mn	g/t	2,69	
	Staub	g/t	206,10	
	HF	g/t	3,12	
	HCl	g/t	0,40	
	SO ₂	g/t	305,48	
	NO _x	g/t	333,19	
	N ₂ O	g/t	9,31	
	ges. C	g/t	241,10	
	NM VOC	g/t	4,09	
	Methan	g/t	772,41	
	CO	kg/t	3,27	
	CO ₂	kg/t	339,50	
	PCDD/F	µg/t I-TE	0,22	
	Abfall zur Verwertung			
		Stäube	kg/t	13,49
Ausbruch Gips ¹⁾		kg/t	20,94 8,52	
Abfall zur Beseitigung				
	Schlacke	kg/t	1,77	
	Sonstige ¹⁾	kg/t	3,65	

1) aus Energiemix zur Bereitstellung von Fremdstrom

2) einschließlich Emissionen aus Energiemix und Rohstoffgewinnung

Glossar

Abfall

Abfälle sind Produktions- oder Verbrauchsrückstände, deren sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss.

Allokationsverfahren

Zuordnung von ökologischen Gut- und Lastschriften.

Außenhautteile

Von außen sichtbares Karosserieteil im Fahrzeugbau.

Benchmarking

„Höhenmarke“. In den USA entwickelte Informationstechnik, bei der z.B. Produkte oder Dienstleistungen mit anderen Unternehmen verglichen werden. Ziel ist, Leistungslücken aufzudecken und Anregungen für Verbesserungen zu gewinnen.

aus: Bibliographisches Institut Brockhaus AG

Bundes-Immissionsschutzgesetz

Gesetz über die Zulassung u.a. von Industrieanlagen zur Vermeidung schädlicher Umwelteinwirkungen

Closed loop

= Geschlossener Werkstoffkreislauf. Die Vorstellung geht davon aus, dass ein Erzeugnis am Ende seiner Lebensdauer wieder zu demselben recycelt wird, z.B. dass aus einem genutzten Kotflügel nach dem Recycling wieder ein Kotflügel entsteht.

Energetische Verwertung

Verwendung von brennbarem Abfall zur Energieerzeugung durch direkte Verbrennung.

Engineered Blanks

Unterschiedliche Stahlsorten, die mit und ohne Beschichtung mittels Laser-Technik zu Konstruktionsbauteilen für die Anwendung im Automobilbau verschweißt werden.

Entsorgung

Endgültige Beseitigung von Abfällen.

Erzeugnis

Aus Werkstoffen hergestellte Güter, die zu Produkten verarbeitet werden können oder selbst Produkte darstellen.

Erzeugung

Herstellung von *Werkstoffen*. Zu unterscheiden ist hiervon *Verarbeitung*, in der *Werkstoffe*, *Halbzeuge* und Bauteile zu *Produkten*, die aus verschiedenen Werkstoffen bestehen können, verarbeitet werden.

Eutrophierung

Zunahme von Nährstoffen in Gewässern, die zu unerwünschtem Wuchern bestimmter Pflanzenarten führt.

Frontend

Konstruktion zur Aufnahme von Kühlergrill und Stoßstange.

Grünbuch

Vorbereitende Studie zur Formulierung von EU-Richtlinien.

Halbzeug

Erzeugnisse aus *Werkstoffen* in fester Form, die zu *Produkten* weiterverarbeitet werden;
auch: Erzeugnis

Herstellung

(siehe Erzeugung)

Hybrid Blanks

Kombination aus Stahl- und Aluminiumblechen. Hergestellt werden diese Bleche durch eine laser-gestützte Fügetechnik.

In- und Outputanalyse

Untersuchung der umweltbezogenen Größen, die in einen Prozess hineingehen oder ihn verlassen; z.B.: Energie oder Emissionen.

In- und Outputgrößen

Umweltbezogene Größen, die in einen Prozess hineingehen oder ihn verlassen; z.B.: Energie oder Emissionen.

Kompaktklasse

Kategorie einer Fahrzeuggröße, dem VW Golf oder dem Opel Astra entsprechend.

Komponente

Bestandteil eines Ganzen

Lebensweg

Abschnitt eines Erzeugnisses oder Produktes von der Rohstoffgewinnung, Erzeugung und Nutzung bis zum Ende der Lebensdauer einschließlich seiner Entsorgung.

Lebensweganalyse

siehe Ökobilanzen

Lebenszyklus

Abschnitt von der Rohstoffgewinnung, Erzeugung und Nutzung unter Einbeziehung des Recyclings für andere Erzeugnisse.

Life Cycle Assessment

siehe: Ökobilanzen

Life Cycle Inventory

siehe: Sachbilanz

Littering

Unerlaubte Entsorgung von Getränkeverpackungen an Randstreifen von Straßen.

Medienbezogener Umweltschutz umfasst die Umweltbereiche Luftreinhaltung, Gewässerschutz, Lärmschutz, Abfall- und Recyclingwirtschaft oder Bodenschutz.

Nachhaltige Entwicklung

Erfüllung der Bedürfnisse der Gegenwart ohne Behinderung späterer Generationen in der Erfüllung ihrer eigenen Bedürfnisse.

Ökobilanz

Oberbegriff für die quantitativ bilanzierende und bewertende Untersuchung einer umweltrelevanten Handlung. Untersuchungsgegenstand können Produkte, Dienstleistungen, Produktionsprozesse oder Institutionen (z.B. Unternehmen) sein. Merkmale der Ökobilanz sind die systematische Erfassung und einheitliche Bewertung aller Stoff- und Energieströme und somit aller Umweltwirkungen, die innerhalb und außerhalb eines Unternehmens auftreten. Eine betriebliche Ökobilanz erfasst also die Input- (z.B. Roh-, Hilfs-, Betriebsstoffe, Fremdleistungen, Energie) und Outputströme (Produkte, Leistungen, Abfälle, Schadstoffemissionen). Bestandteile der Ökobilanz sind die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, die *Sachbilanz*, in der die Mengengrößen einzeln aufgeführt sind, eine *ökologische Wirkungsabschätzung* und gegebenenfalls eine Auswertung für unternehmensinterne Entscheidungen.

auch: *Lebensweganalyse*

Ökologischen Prioritäten

Gewichtung der Wirkungsindikatoren entsprechend ihrer Bedeutung für die Umwelt.

Open Loop

= offener Werkstoffkreislauf. Recycling eines Produktes zu einem anderen als das Ausgangsprodukt.

Primärquellen

Stelle des Entstehens prozessbedingter Emissionen in die Luft.

Primärentstaubung

Erfassung und Reinigung prozessbedingter Emissionen in die Luft.

Primärerzeugnis

Ein aus Rohstoffen hergestelltes Erzeugnis. Bei Eisen- und Stahlerzeugnissen: aus Erz, Kohle und Zuschlägen und sonstigen Stoffen über die Hochofenroute hergestellte Erzeugnisse.

Primärrohstoff

Aus natürlichen Ressourcen stammende Rohstoffe.

Produkt

Ein für den *Verbraucher* bestimmtes Erzeugnis, welches aus *Werkstoffen*, *Halbzeugen*, *Bauteilen* oder *Systemkomponenten* hergestellt wird.

Prozess

Ablauf von Verfahren zur Herstellung von *Rohstoffen*, *Werkstoffen* oder *Produkten*.

Recycling:

Die in einem Produktionsprozess erfolgte Wiederaufbereitung von Abfallstoffen für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke, jedoch mit Ausnahme der energetischen Verwertung.

Ressourcenschonung

Sparsamer Umgang beim Gebrauch von (endlichen) Rohstoffen und Energie.

Rohstoffe

Im betriebswirtschaftlichen Sinne Ausgangsmaterialien, die im Fertigungsprozess in die Zwischen- und/oder Endprodukte eingehen oder als Hilfsstoffe verbraucht werden; häufig als natürliche Ressourcen bezeichnet. Rohstoffe werden systematisch unterschieden nach den natürlichen Eigenschaften, nach dem Grad der Regenerierbarkeit, der Herkunft oder dem Verwendungszweck.

aus: Bibliographisches Institut Brockhaus AG

Sachbilanz

Eine Sachbilanz enthält als Input-/Outputanalyse eine quantitative Zusammenstellung (Inventarisierung) der relevanten Stoff- und Energieflüsse für den Lebensweg eines Produktes.

Stahlprodukte

Produkte, die überwiegend aus dem *Werkstoff* Stahl hergestellt wurden.

Sekundärquelle

Stelle des Entstehens von Emissionen in die Luft, die durch das Handling auftreten.

Sekundärentstaubung auch: Raumentstaubung

Erfassung und Reinigung von Emissionen in die Luft, die durch das Handling entstehen.

Sekundärerzeugnis

Aus Recyclaten hergestellte Erzeugnisse, bei Stahlerzeugnissen: Schrott

Sekundärrohstoff

auch: für Stahl: Schrott

Shredder

Anlage, mit der Autowracks durch rotierende Hämmer stark zerkleinert werden.

Shredderleichtfraktion

Besonders mit Kunststoffen durchmischter Abfall aus dem Shredderprozess, der überwiegend deponiert wird.

Spaceframe-Bauweise

Tragrahmenkonstruktion im Automobilbau.

System

Begriff, der die Zusammenfassung mehrerer, im Allgemeinen untereinander in Wechselwirkung stehender Komponenten zu einer als Ganzes aufzufassenden Einheit bezeichnet.

aus: Bibliographisches Institut Brockhaus AG

Tailored Blanks

In Maß und Festigkeit masseoptimierte Vorprodukte für den Automobilbau.

Tailored Tubes

Lasergeschweißte Stahlhohlprofile, meist Rohrkörper, die über Innenhochdruck-Umformen zu Bauteilen geformt werden.

Tailored Strips

Aus zwei oder mehr verschiedenartigen Warmbändern vom Coil geschweißte Flachstahlerzeugnisse.

Technik

Herstellungsverfahren, Arbeitsweise

Technologie

Gesamtheit der technischen Prozesse in einem Erzeugungs- und Fertigungsbereich.

Umweltaspekt

Teilbereich innerhalb der Umweltbereiche Luft, Wasser, Boden.

Umwelteigenschaft, auch Umweltprofil

Die einem Werkstoff, Erzeugnis oder Produkt zuzuordnenden Umweltbelastungen. Die Zuordnung erfolgt mit den normierten Kriterien von Sachbilanzen.

Verarbeiter

Hersteller von Produkten aus einem oder mehreren Werkstoffen oder Erzeugnissen

Verarbeitung

Herstellung von Produkten aus einem oder mehreren Werkstoffen.

Verbraucher

Käufer von Waren zur eigenen Bedürfnisbefriedigung (End-, Letztverbraucher).

Verfahren

Technik zur Herstellung oder Verarbeitung.

Verwertung

Rückgewinnung des Werkstoffes oder des Energieinhaltes von Abfällen.

Vorprodukt

siehe: Halbzeug

Werkstoff

Stoff, der als Ausgangs- oder Vormaterial für die Herstellung von Produkten dienen soll. Somit werden *Materialien* erst durch ihren Bestimmungszweck zu Werkstoffen. Davon unterschieden werden *Rohstoffe*, die zur Herstellung von Werkstoffen dienen.

Wiederverwendung

Verwertung eines Abfalls unter Beibehaltung seiner Werkstoffeigenschaften.

Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung hat das Ziel, die in der Sachbilanz inventarisierten Stoffströme hinsichtlich ihrer potentiellen Wirkung auf die Umwelt einzuordnen und zu normieren.

Wirkungsindikator

Information über die Bedeutung von Einflussgrößen für die Umwelt.

Wirkungskategorie

Zuordnung umweltrelevanter Einflussgrößen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Umwelt.