

Produkt-Ökobilanz eines PKW-Reifens



Continental 

Vorwort

In einer Ökobilanz werden die Wechselwirkungen eines Produktes mit Umwelt unter ökologischen Gesichtspunkten erfasst und bewertet. Entsprechend haben die Autoren das gesamte Leben eines PKW-Reifens untersucht:

- die Gewinnung mineralischer und fossiler Rohstoffe wie Erdöl, Kohle, Erdgas, Eisen und andere Erze
- die Herstellung der Rohmaterialien für Reifen wie Kautschuk, Russ, Chemikalien, Stahlcord, Kerndraht, Karkass-Gewebe
- die Produktion der Reifen in unseren Reifenwerken
- die Nutzung der Reifen auf der Straße
- die Verwertung der Altreifen als Rohstoff oder Energieträger

Bei der Darstellung der Ergebnisse haben die Autoren sich bemüht, eine Form zu finden, die einerseits den strengen Forderungen der Normen, insbesondere der ISO 14 040 ff genügt, die zum anderen aber auch eine übersichtliche Information für den internen Gebrauch und die interessierte Öffentlichkeit darstellt.

Danksagung

Die vorliegende Produkt-Ökobilanz ist das Ergebnis vieler Einzelbeiträge. Die Autoren möchten ihren Dank für die Bereitstellung von Daten den folgenden Unternehmen und Instituten ausdrücken:

- Bayer AG,
- Degussa - Hüls AG,
- Grillo Zinkoxid GmbH,
- Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde, Uni Stuttgart
- Shell AG und
- Textildcord Steinfurt S.A. (jetzt bei Glanzstoff Austria GmbH).

Die Autoren möchten sich auch für Beiträge einzelner Personen bedanken:

- Dr. P. Entmayr (Continental AG),
- H. Fehrenbach (ifeu),
- H. Huinink (Continental AG),
- Dr. H. Krähling (Solvay Deutschland GmbH),
- Dr. Röhl (Continental AG),
- K.-D. Schoppe (Volkswagen AG),
- Dr. M. Schuckert (IKP),
- Dr. G.W. Schweimer (Volkswagen AG).
- D. Reinke (Vergoelst Runderneuerungen GmbH & CoKG)

Impressum

Autoren: Dr. Silke Krömer, Freie Mitarbeiterin
Dr. Eckhard Kreipe, Continental AG
Dr. Diethelm Reichenbach, Continental AG
Dr. Rainer Stark, Continental AG

Continental AG, Postfach 169, 30001 Hannover

Inhalt

1. Gründe für die Durchführung der Studie	2
1.1. Einzelziele.....	2
2. Untersuchungsrahmen	3
2.1. Bilanzmodule.....	4
2.2. Randbedingungen, Grenzen und Datenquellen	4
2.3. Detaillierungsgrad	7
2.4. Methodische Besonderheiten	7
3. Sachbilanz	8
3.1. Input	8
3.1.1. Bedarf an Ressourcen.....	8
3.1.2. Bedarf an Luft.....	9
3.1.3. Bedarf an Wasser	9
3.2. Output	10
3.2.1. Atmosphärische Emissionen	10
3.2.2. Emissionen in Wasser.....	10
3.2.3. Abraum und Abfälle.....	11
3.2.4. Reifenabrieb	12
4. Wirkungsabschätzung	14
4.1. Wirkungskategorien/Umweltpotentiale	14
4.1.1. Kumulierter Energieaufwand	14
4.1.2. Treibhauspotential	14
4.1.3. Versauerungspotential.....	15
4.1.4. Eutrophierungspotential	16
4.1.5. Ökotoxisches und humantoxisches Potential.....	16
5. Vergleich verschiedener Reifenvarianten (Sach- und Wirkungsbilanz).....	17
5.1. Vergleich der Füllstoffe Ruß und Silica.....	17
5.2. Vergleich der Textilgewebe Rayon und Polyester	17
6. Verwertung von Altreifen (Sach- und Wirkungsbilanz)	20
6.1. Zementwerk.....	20
6.2. Reifenkraftwerk	21
6.3. Runderneuerung.....	22
6.3.1. Herstellung Neureifen im Vergleich zur Altreifen-Runderneuerung	24
6.3.2. Reifenleben eines Neureifens gegenüber dem Reifenleben eines runderneueren Reifens.....	24
7. Auswertung	28
7.1. Dominanzanalyse	28
7.2. Signifikanzanalyse	28
7.3. Sensitivitätsbetrachtung.....	29
7.3.1. Mögliche Fehlerquellen	29
7.3.2. Auswirkungen möglicher Fehler auf das Bilanzergebnis	30
8. Möglichkeiten der Einflußnahme auf die Umweltwirkungen	32
8.1. Rohstoffgewinnung	32
8.2. Reifenproduktion	32
8.3. Reifennutzung	33
8.4. Altreifenverwertung	33
9. Literatur	34
10. Anhang	35
11. Bericht über die kritische Prüfung der Studie gemäss DIN EN ISO 14040ff.....	36

1. Gründe für die Durchführung der Studie

In Deutschland sind ca. 200 Mio. Pkw-Reifen im Einsatz. Jährlich werden ca. 600.000 t Altreifen demontiert und durch eine entsprechende Anzahl Neureifen oder runderneuerte Reifen ersetzt^[1]. Während seines gesamten Lebens von der Gewinnung der Rohmaterialien bis zur Verwertung als Altreifen steht der Reifen in ständigen Wechselwirkungen mit der Umwelt. Nur durch eine detaillierte Kenntnis dieser Wechselwirkungen können Ansätze für eine wirkungsvolle Entlastung der Umwelt aufgezeigt werden. Daher werden in einer Produkt-Ökobilanz die Stoff- und Energieumsätze in den verschiedenen Stadien quantifiziert (Sachbilanz) und die Wechselwirkungen mit der Umwelt beschrieben (Wirkungsabschätzung und Auswertung).

1.1. Einzelziele

Die vorliegende Produkt-Ökobilanz hat folgende Ziele:

1. Darstellung der Stoff- und Energieströme in den verschiedenen Lebensphasen des Reifens
2. Quantifizierung und Bewertung von Emissionen und Abfällen, die zu Auswirkungen auf die Umwelt führen könnten (Ermittlung des "ökologischen Rucksacks", der mit dem Leben des Reifens verknüpft ist)
3. Schwerpunktfindung der Umweltwirkungen innerhalb des Reifenlebens als Ansatz für eine gezielte und effiziente Reduzierung des Ausmaßes möglicher Umweltwirkungen
4. Entwicklung eines Werkzeugs zur Bewertung des Ressourcenverbrauchs und der Umweltwirkungen alternativer Reifentypen (alternative Rohstoffe und Materialien)
5. Quantifizierung der Umweltauswirkungen beim Einsatz von Altreifen in Verwertungsprozessen im Vergleich mit den jeweiligen Äquivalenzprozessen
6. Entwicklung einer standardisierten Methode für die Bilanzierung von Kautschukprodukten

Die Erstellung der Produkt-Ökobilanz für Pkw-Reifen erfolgt entsprechend DIN EN ISO 14040 ff. (Abbildung 1) [2,3,4,5]. Auf Besonderheiten in der Bilanzierung von Pkw-Reifen wird an entsprechenden Stellen im Text hingewiesen.

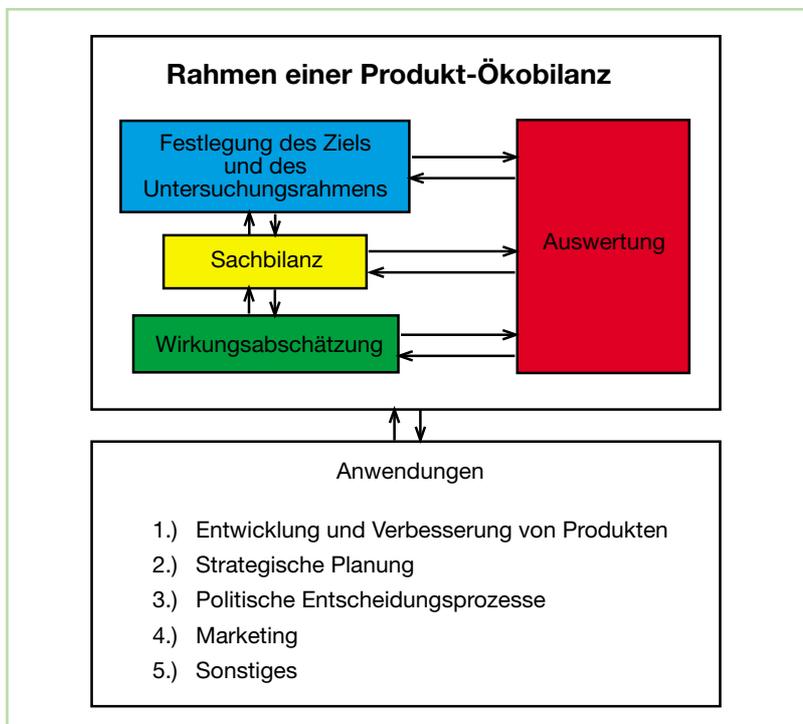


ABBILDUNG 1: BESTANDTEILE EINER PRODUKT-ÖKOBILANZ/LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) NACH DIN EN ISO 14040.

2. Untersuchungsrahmen

Der Bilanzierungsrahmen umfaßt die gesamten In- und Outputs aller Phasen des Reifenlebens. Er ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

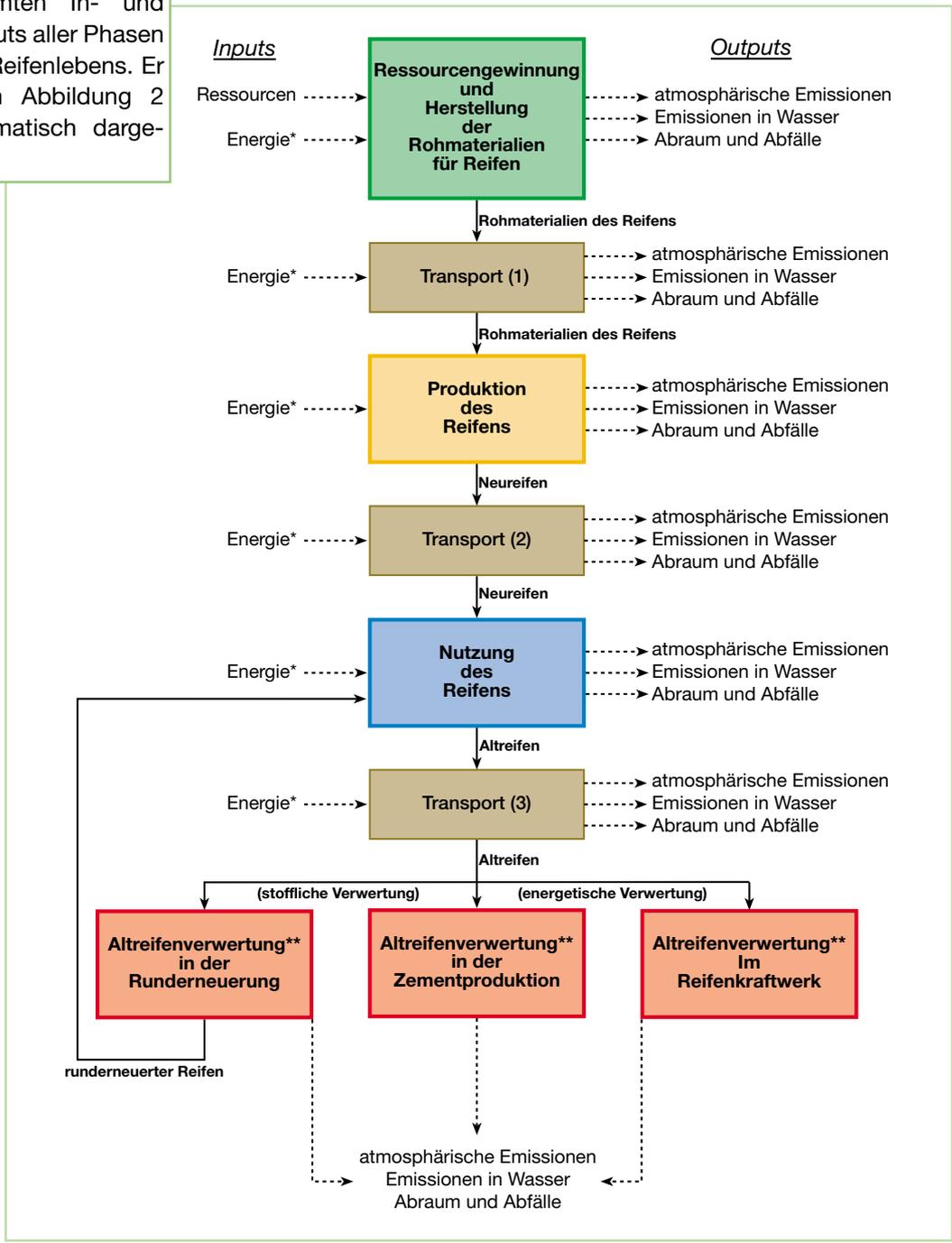


ABBILDUNG 2: BILANZIERUNGSRAHMEN *

* Die Bereitstellung von Energie ist in den Bilanzrahmen einbezogen.

** Bei der Altreifenverwertung ist die bereitzustellende Energie und die gegebenenfalls notwendige Rohstoffzuführung ebenfalls berücksichtigt.

2. Untersuchungsrahmen

2.1. Bilanzmodule

1. Herstellung der Rohmaterialien für Reifen mit Ressourcen-Gewinnung

Die Rohmaterialien für Reifen werden aus fossilen, mineralischen und nachwachsenden Ressourcen hergestellt. Diese Rohmaterialien ergeben aufgrund ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften das Leistungspotential des späteren funktionsfähigen Reifens.

2. Produktion des Reifens

Aus den Rohmaterialien werden die Bauteile des Reifens hergestellt und zum Rohling zusammengesetzt, der dann in dem chemischen Prozeß der Vulkanisation den funktionsfähigen Reifen ergibt.

3. Nutzung des Reifens

Der Reifen stellt die Verbindung zwischen Fahrzeug und Fahrbahn her und überträgt sämtliche auf das Fahrzeug einwirkenden und vom Fahrzeug ausgehenden Kräfte auf die Fahrbahn. Diese Funktion bestimmt seinen konstruktiven und chemischen Aufbau. Für die Nutzungsphase werden ein Mittelklasse-Fahrzeug, eine durchschnittliche Fahrweise des Pkw-Halters, eine durchschnittliche Laufleistung sowie europäische Straßenzustände zugrunde gelegt. Es wird davon ausgegangen, daß der Pkw-Reifen den klimatischen

Bedingungen in Mitteleuropa ausgesetzt ist. Durch den Fahrbetrieb nutzt sich der Reifen stetig durch Abrieb der Lauffläche ab, bis er mangels Profiltiefe seine Funktionsfähigkeit verliert und als Altreifen anfällt.

4. Altreifenverwertung

Der Wert des Altreifens liegt in seiner stofflichen Zusammensetzung und seinem Energieinhalt, wodurch die Verwertungswege für Altreifen bestimmt werden.

Hauptverwertungswege in Deutschland sind die Runderneuerung sowie die Verwertung im Zementwerk. Zusätzlich wird im Rahmen dieser Studie die Verwertung von Altreifen im Reifenkraftwerk betrachtet. Von geringer Bedeutung sind der Einsatz von Gummimehl aus Altreifen sowie der Einsatz von Gummigranulat; diese Verwertungswege werden hier nicht betrachtet.

5. Transport

Zwischen den verschiedenen Stadien des Reifenlebens, in denen jeweils Stoffumwandlungen stattfinden, erfolgen die notwendigen Transporte. Sie dienen ausschließlich der Ortsverlagerung der betrachteten Materialien. In dem Modul Transport sind mit Ausnahme des Transports der Altreifen zum Verwertungsort alle Transportvorgänge zusammengefaßt. Der Transport von

Altreifen wird bei der Betrachtung der Verwertungsprozesse berücksichtigt.

2.2. Randbedingungen, Grenzen und Datenquellen

2.2.1. Bilanzobjekt

Das Bilanzobjekt ist ein Pkw-Reifen. Die Materialzusammensetzung entspricht einem Sommerreifen der Continental Hauptlinie. Soweit möglich werden Daten für den Reifen 175/70 R 13 verwendet. Alle einfließenden Materialien werden in artverwandte Stoffgruppen zusammengefaßt. Für jede dieser Stoffgruppen werden stellvertretend für einen repräsentativen Stoff Daten erhoben, z.B. eine repräsentative Alterungschemikalie für die Stoffgruppe Alterungsmittel. Es werden 100 % der Reifeneinhaltsstoffe erfaßt. Material-Alternativen werden im Kapitel 5 behandelt.



2. Untersuchungsrahmen

2.2.2. Bezugsgröße

Die Bezugsgröße/funktionelle Einheit ist ein einzelner Reifen mit einer Laufleistung von 50.000 km, die innerhalb von 4 Jahren gefahren werden (Durchschnittswerte).

2.2.3. Bilanzgrenzen

Die Bilanzgrenzen sind so gezogen, daß Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit der Reifebilanz gewährt sind, andererseits aber weitgehende Vollständigkeit erreicht wird. In dem gesteckten Bilanzrahmen wird eine detaillierte Studie durchgeführt.

Die benötigte elektrische Energie geht bei Prozessen, die sich auf den geographischen Raum von Deutschland beziehen, auf der Basis des Energiemixes in Deutschland [6] in die Bilanz ein (z.B. bei Datensätzen, die von in Deutschland ansässigen Rohstoff-Herstellern stammen). Der kumulierte Energieaufwand (KEA), der die gesamte benötigte Energiemenge unabhängig von der Art der Energiegewinnung darstellt, umfaßt nur die Herstellungsenergie; er beinhaltet nicht den Heizwert des Produktes.

In der Kategorie Ressourcen sind sowohl die stofflich als auch energetisch verwendeten Ressourcen aufgeführt. Der Energieinhalt der energetisch genutzten Ressourcen ist als Primärenergieaufwand noch-

mals getrennt ausgewiesen. Die Gewinnung von Ressourcen ist in die Bilanz aufgenommen.

Nicht berücksichtigt werden Bau, Wartung und Pflege von Werksanlagen, Werkzeugen, Maschinen und Transportfahrzeugen. Ebenso werden Aufwendungen für die Fertigung des zu bereifenden Pkw sowie für den Straßenbau nicht berücksichtigt. Ferner gehen in die Bilanz nicht ein: Geräuschemissionen, Reifenabrieb, der bei Lkw-Transporten entsteht, Aufwendungen für das Personal, für Verwaltung, Planung, Forschung und Entwicklung .

2.2.4. Allokation

Bei den verwendeten Daten aus unternehmensexternen Quellen sind Informationen über die Verteilung von Ein- und Ausgangsströmen bei Koppelproduktion nicht verfügbar (z.B. Herstellung von Rohmaterialien für den Reifen), so daß keine Aussagen bezüglich der in diesen Datensätzen durchgeführten Allokationen gemacht werden können. Eine Gutschrift von Koppelprodukten findet nicht statt. Bei Daten aus eigenen Erhebungen wird die Allokation aufgrund der Massenverteilung der Koppelprodukte vorgenommen (z.B. für vorgelagerte Ketten von Erdölprodukten). Die Ein- und -Ausgangsströme der Verwertung von Altreifen im Zementwerk beruht auf dem

energetischen Beitrag der Altreifen an der gesamten aufgewendeten Energie.

2.2.5. Spezielle Allokation für die Phase der Nutzung

Die Zuordnung der Ein- und Ausgangsströme auf den Reifen, die bei der Nutzung des Pkw entstehen, ist ein wesentlicher Faktor für das Ergebnis der Bilanz. Die Belastungen, die durch den Betrieb des Pkw entstehen, werden auf der Basis der Einsparungspotentiale, die durch Veränderungen von Reifeneigenschaften erzielt werden können, verteilt.

Der Treibstoffverbrauch zur Fortbewegung des Pkw setzt sich aus den Anteilen zur Überwindung des Rollwiderstandes der Reifen, des Luftwiderstandes des Fahrzeugs, des Antriebswiderstandes von Motor und Getriebe und des Beschleunigungswiderstandes des Fahrzeugs zusammen. Der Rollwiderstand wird durch den Rollwiderstandsbeiwert des Reifens sowie durch die Masse des Fahrzeugs einschließlich der Reifen bestimmt. Der Luftwiderstand hängt von der Fahrgeschwindigkeit und der Geometrie des Fahrzeugs und der Reifens ab. Der Antriebswiderstand wird durch die innere Reibung des Antriebsstranges bestimmt.

2. Untersuchungsrahmen

Der Beschleunigungswiderstand hängt von der individuellen Fahrweise sowie von der Masse des Fahrzeugs ab.

Die Verteilung auf die einzelnen Kategorien ist in Tabelle 1 dargestellt und erläutert.

	Anteil am Kraftstoffverbrauch des Fahrzeugs [%]	Bezug zum Reifen	Anteil der 4 Reifen am Kraftstoffverbrauch [%]	Anteil eines Reifens am Kraftstoffverbrauch [%]
Rollwiderstand	16	Fahrzeuggewicht	16	4
Luftwiderstand	36	Rad- und Radhausanteil: ca. 25% des Luftwiderstands des Fahrzeugs, davon ca. 50% für die Bereifung	4,5	1,1
Antriebswiderstand (innere Reibung)	32	Kein Bezug zum Reifen	-	-
Beschleunigungswiderstand (Verluste durch Bremsen)	16	Reifengewicht und Trägheitsmoment	0,4	0,1
Gesamtwiderstand	100		20,9	5,2

TABELLE 1: ALLOKATION UND BEWERTUNG DER FAHRWIDERSTÄNDE.

Es wird von einem Fahrzeuggewicht von ca. 1250 kg und einem Reifengewicht von ca. 6,5 kg/Reifen ausgegangen. In die Berechnung der Fahrwiderstände fließen Bezugsgrößen ein, die sich auf das gesamte Fahrzeug beziehen und damit auf die Anzahl von vier Reifen pro Fahrzeug [7]. Da die funktionelle Einheit der vorliegenden Studie ein einzelner Reifen ist, wird der Kraftstoffverbrauch pro Reifen berechnet. Die Berechnung der Werte der Tabelle beruhen auf Meßdaten der Continental AG. Meßwertschwankungen bei der Bestimmung des Rollwiderstandes betragen ca. 4 %.

Insgesamt sind die Reifen mit ca. 21 % am Kraftstoffverbrauch eines Pkw beteiligt, pro Reifen sind das ca. 5,2 %, die hier als Umweltwirkung zu berücksichtigen sind.

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist, wird die Allokation neben reifenspezifischen Eigenschaften auch von Eigenschaften des Pkw (z.B. Gewicht) beeinflusst.

2. Untersuchungsrahmen

2.2.5. Bezugsquellen der Daten

Die Bezugsquellen der Daten sind die Continental AG, die Rohstoffhersteller (Bayer AG, Degussa-Hüls AG, Grillo Zinkoxid GmbH, Shell AG, Textilcord Steinfurt S.A. (jetzt Glanzstoff Austria GmbH)), Veröffentlichungen [6,8,9,10] sowie persönliche Mitteilungen von Dr. Entmayr (Continental AG), Hr. Huinink (Continental AG), Hr. Schoppe (Volkswagen AG), Dr. Schuckert (IKP). Literaturdaten stammen aus Ullman's Enzyklopädie^[11]. Die Daten stammen aus den Jahren von 1990 bis 1997.

2.2.7. Kritische Prüfung

Eine kritische Prüfung entsprechend den Anforderungen der DIN EN ISO 14040 wurde durch den TÜV NORD (Herr Dr. J. Hanel und Herr Dr. W. Hirtz) durchgeführt.

2.3. Detaillierungsgrad

In die Sachbilanz fließen alle erfaßten Parameter ein. Ebenso werden für die Berechnung der Umweltpotentiale alle relevanten und erfaßten Parameter berücksichtigt. Wenn nicht anders erwähnt, werden keine Abschneidekriterien angewendet.

2.4. Methodische Besonderheiten

• Nach seiner Nutzung steht der Altreifen zur stofflichen bzw. energetischen Verwertung zur Verfügung. Aus dem Sekundär-Rohstoff Altreifen wird entweder ein neues Produkt (z.B. runderneuerter Reifen, Zementklinker) gewonnen oder er wird einem anderen als dem ursprünglichen Zweck zugeführt (z.B. Nutzung in der Landwirtschaft oder im Hafen). Somit tritt bei der Verwertung des Altreifens eine Nutzenerweiterung ein. Diese natürliche Schnittstelle zwischen der Pkw-Reifenbilanz bis zum Ende der Nutzung und der Bilanz des jeweiligen Verwertungsprozesses wird für die Konzeption der vorliegenden Studie genutzt.

• Bei der Bilanzierung der Altreifen käme ein Verwertungsmix, in den alle Verwertungswege mit ihren im Markt verfügbaren Kapazitäten einfließen, der Realität am nächsten. Ein solcher Verwertungsmix ist bezüglich der Identifizierung von Schwerpunkten der Umweltwirkungen wenig aussagekräftig. Außerdem ist ein Verwertungsmix in seiner Zusammensetzung stark von Marktgegebenheiten und den jeweiligen Landesgesetzen abhängig. Deshalb wird auf die Bilanzierung eines Verwertungsmixes verzichtet. Statt dessen werden die wichtigsten Verwertungswege für Altreifen separat betrachtet und mit den jeweiligen Äquivalenzprozessen verglichen (Kapitel 6).



3. Sachbilanz

3. Die Sachbilanz

Die Sachbilanz und die Wirkungsabschätzung beziehen sich auf einen funktionsfähigen Ruß-Rayon-Reifen. Andere Reifentypen werden in einem eigenen Kapitel (Kapitel 5) betrachtet.

3.1. Input

Der Input der Sachbilanz umfaßt den Ressourcenaufwand sowie den Bedarf an Luft und Wasser.

3.1.1. Bedarf an Ressourcen

Bei dem Abbau von mineralischen und fossilen Ressourcen entsteht sogenanntes Taubes Gestein. Taubes Gestein stellt zwar keine Ressource dar, wird aber üblicherweise darunter verbucht^[12]. In dieser Bilanz werden jedoch Taubes Gestein und Ressourcen separat aufgeführt; ihre Anteile sind 232 kg Ressourcen pro Reifen und 28 kg Taubes Gestein pro Reifen.

Für die Nutzung des Reifens durch den Pkw werden ca. 88% der insgesamt während des Reifenlebens verbrauchten Ressourcen benötigt (Abbildung 3).

Bei der Gewinnung der Rohmaterialien für den Reifen werden ca. 6,9 % des gesamten Ressourcenbedarfs während des Reifenlebens verbraucht. Die

Rohmaterialien Silica, Synthesekautschuk, Ruß und Stahl tragen am meisten zu dem Ressourcenverbrauch in dieser Phase des Reifenlebens bei. Die Ressource Erdöl, die sowohl stofflich als auch energetisch verwendet wird, macht ca. 24 % des gesamten Ressourcenverbrauchs bei der Gewinnung der Rohmaterialien aus. Der Energiebedarf in dieser Phase des Reifenlebens wird zu ca. 18 % durch die Ressource Erdgas gedeckt.

Reifenlebens aufgewendet. Der Verbrauch an Ressourcen ist in der Transportphase des Reifenlebens am geringsten (ca. 0,2 %).

3.1.2. Bedarf an Luft

Der Luftverbrauch entsteht hauptsächlich durch den Bedarf an Sauerstoff bei der Verbrennung von fossilen Ressourcen zur Energiegewinnung. Den größten Anteil

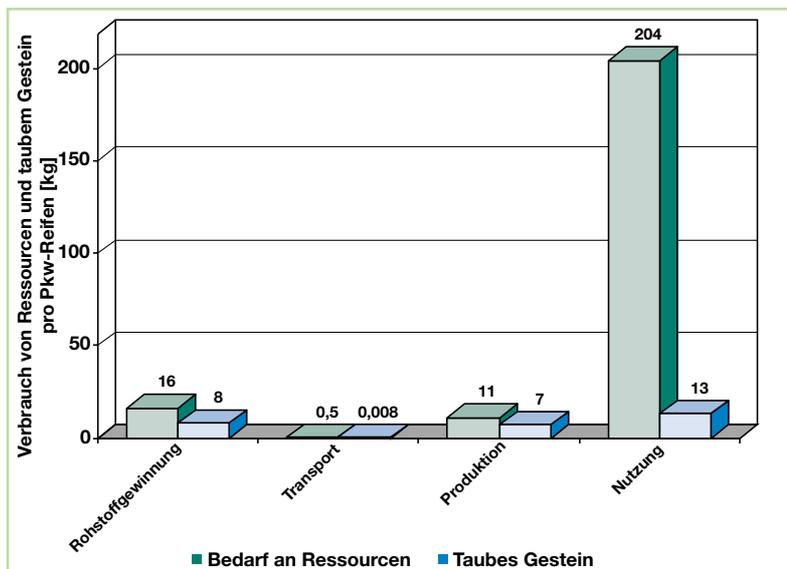


ABB. 3: DARSTELLUNG DES VERBRAUCHS AN RESSOURCEN UND DER MENGE AN TAUBEM GESTEIN.

Der Bedarf an Ressourcen in der Produktion des Reifens entsteht durch die Bereitstellung der Energieträger Erdgas, Erdöl und Kohle. Diese Energieträger stellen ca. 29 % des Verbrauchs an Ressourcen in der Reifenherstellung dar. Insgesamt werden bei der Produktion eines Pkw-Reifens ca. 4,8 % der gesamten verbrauchten Ressourcen des

hat die Nutzungsphase des Pkw mit ca. 96,5 % des gesamten Luftverbrauchs während des Reifenlebens. Der Rest verteilt sich folgendermaßen auf die übrigen Module des Reifenlebens: Rohstoffgewinnung: ca. 2,2 %, Produktion: ca. 1,0 % und Transport: ca. 0,2 % (Abbildung 4).

3. Sachbilanz

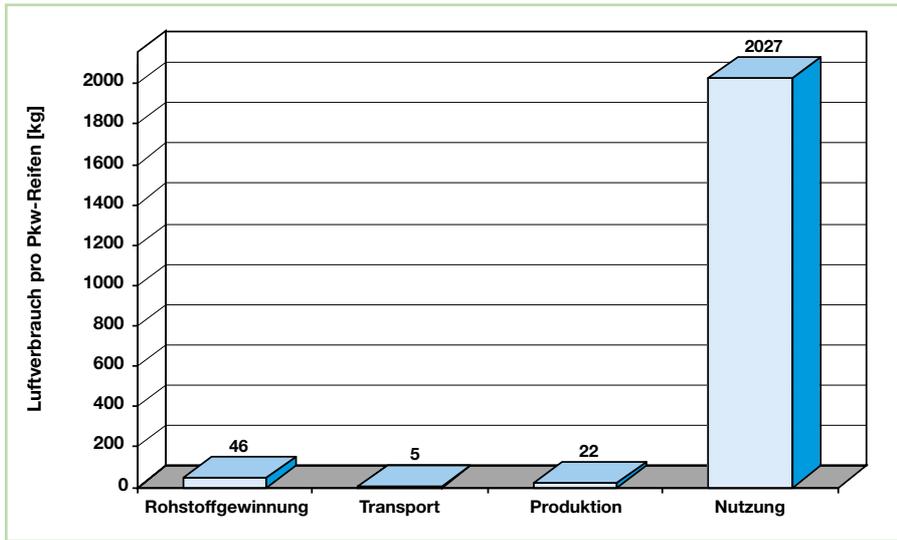


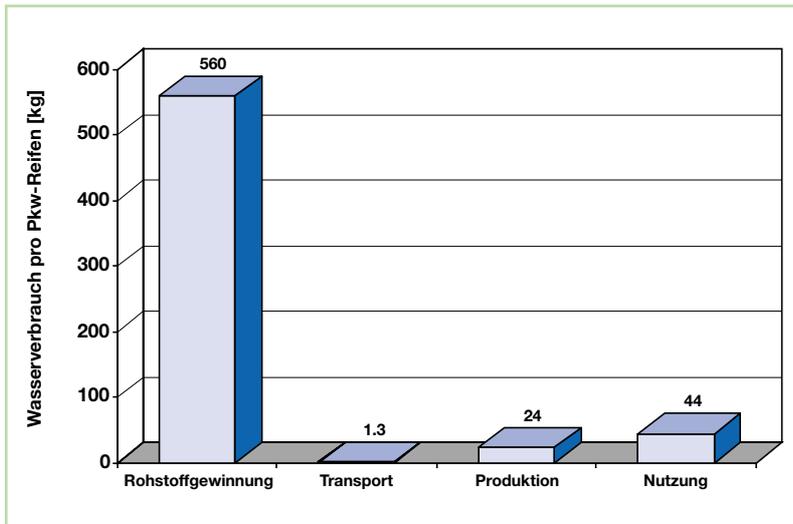
ABB. 4: DARSTELLUNG DES LUFTVERBRAUCHS.

3.1.3. Bedarf an Wasser

Der Wasserverbrauch setzt sich aus Kühlwasser (ca. 68 %), Prozeßwasser (ca. 31 %) und Brauchwasser (ca. 0,2 %) zusammen. Das Kühlwasser wird meist in Kreisläufen geführt und kann daher über einen langen Zeitraum verwendet werden.

Es weist einen geringen Belastungsgrad auf. Das Prozeßwasser nimmt direkt an den Herstellungsprozessen teil. Es wird als Abwasser entsorgt. Der Begriff Brauchwasser steht für den Teil des Wasserverbrauchs, der weder eindeutig dem Kühl- noch dem Prozeßwasser zugeordnet werden kann.

Wasser wird in allen Phasen, die der Reifen im Laufe seines Lebens durchläuft, verbraucht. Der größte Teil von ca. 90 % wird bei der Gewinnung der Rohmaterialien für den Reifen benötigt. Der Rest verteilt sich folgendermaßen auf die übrigen Abschnitte des Reifenlebens: Nutzung (ca. 7,0 %), Produktion (ca. 3,8 %) und Transport (ca. 0,2 %) (Abbildung 5).



Bei der Gewinnung der Rohmaterialien für den hier betrachteten Ruß-Rayon-Reifen setzt sich der Wasserverbrauch folgendermaßen zusammen: Herstellung von Synthekautschuk (SBR) ca. 63 %, Gewinnung von Rayon ca. 18 % , Herstellung von Naturkautschuk ca. 3,1 %, Produktion von Stahl ca. 5,6 % und Herstellung von Chemikalien ca. 6,5 %.

ABB. 5: DARSTELLUNG DES WASSERVERBRAUCHS.

3. Sachbilanz

3.2. Output

Der Output der Sachbilanz umfaßt atmosphärische Emissionen, Emissionen in Wasser, Abfälle und Abraum sowie den Reifenabrieb.

3.2.1. Atmosphärische Emissionen

Die atmosphärischen Emissionen werden zum größten Teil durch den Ausstoß von Kohlendioxid bestimmt (ca. 97 %). Der restliche Anteil besteht zu ca. 1,2 % aus Kohlenmonoxid und zu ca. 1,3 % aus Wasserdampf. Weitere Emissionen sind Methan (ca. 0,05 %), Stickoxide (ca. 0,04 %), flüchtige organische Kohlenwasserstoffe mit Ausnahme von Methan (NM VOC) (ca. 0,06 %), Schwefeldioxid (ca. 0,04 %),

Ammoniak (ca. 0,02 %), Lachgas (ca. 0,01 %) und Staub (ca. 0,17 %).

Von allen Abschnitten des Reifenlebens verursacht die Phase der Nutzung des Reifens durch den Pkw die höchsten atmosphärischen Belastungen (ca. 95,4 %) (Abbildung 6). Diese Belastung entsteht fast vollständig (ca. 98 %) durch den Ausstoß von Kohlendioxid beim Betrieb des Pkw. Kohlenmonoxid trägt mit ca. 1,2 % zu den Belastungen der Atmosphäre in der Nutzungsphase bei.

Die anderen Abschnitte des Reifenlebens tragen in deutlich geringerem Umfang als die Nutzungsphase zu den atmosphärischen Emissionen bei: Die Produktion des Reifens mit ca. 2,5 %, die Gewinnung der

Rohmaterialien für den Reifen mit ca. 1,8 % und der Transport mit ca. 0,3 % (Abbildung 6).

Der Staub entsteht fast ausschließlich in der Nutzungsphase und besteht überwiegend aus Partikeln unterschiedlicher Größe, die aus dem Reifenabrieb hervorgehen. Sie entweichen in die Luft und schlagen sich mit der Zeit auf dem Boden nieder (Einzelheiten siehe Kapitel 3.2.4).

Die Freisetzung von Wasserdampf stammt aus der Produktion des Reifens. Sie entsteht durch Kühlvorgänge bei der Herstellung der Gummimischungen sowie bei der Herstellung von Bauteilen.

3.2.2. Emissionen in Wasser

Die Belastungen des Abwassers entstehen fast vollständig durch die Gewinnung der Rohmaterialien für den Reifen (ca. 94,4 %) (Abbildung 7). In den anderen Lebensabschnitten sind die Belastungen des Abwassers deutlich geringer: Transport ca. 2,8 %, Nutzung ca. 2,8 % und Produktion ca. 0,008 %.

Die Belastung des Abwassers entsteht durch Chlorid-Ionen (ca. 58,2 %), Sulfat-Ionen (ca. 24,6 %) und durch Natrium-Ionen (ca. 14,8 %). Diese Ionen gelangen hauptsächlich bei der Herstellung von Silica, Rayon und synthetischen Harzen ins Abwasser.

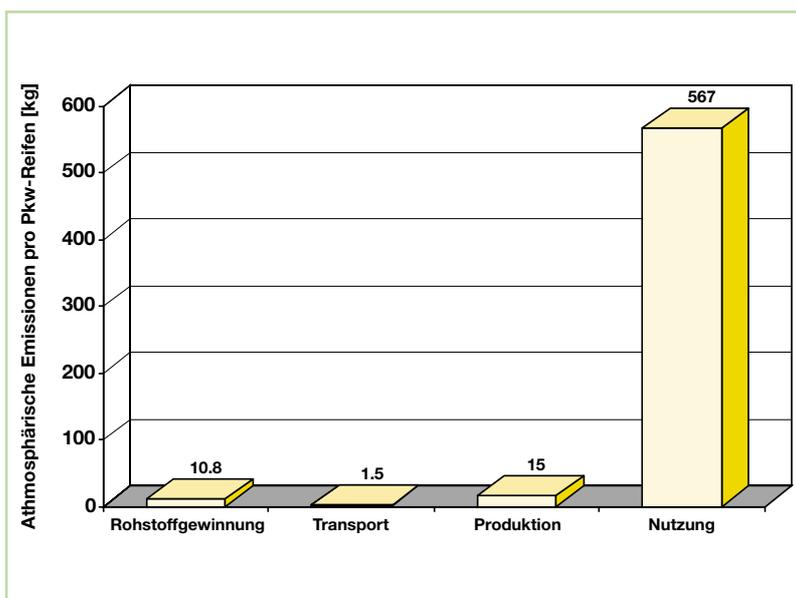


ABB. 6: DARSTELLUNG DER ATMOSPHERISCHEN EMISSIONEN.

3. Sachbilanz

3.2.3. Abraum und Abfälle

Bei der Förderung von mineralischen und fossilen Ressourcen fällt Taubes Gestein an. Taubes Gestein, das weitgehend unverändert bei der Erzaufbereitung bzw. bei der Rohstoffgewinnung verbleibt, wird als Abraum bezeichnet [12]. Ein Teil des Tauben Gesteins wird durch die Erzaufbereitung bzw. die Rohstoffgewinnung chemisch verändert. Diese Rückstände fallen in die Kategorie Abfälle. Daher wird bei allen folgenden Betrachtungen zwischen Abraum und Abfall unterschieden.

Der Abraum ist zu etwa 76,2 % der Nutzungsphase des Reifens zuzuweisen, bedingt durch die Förderung von Rohöl für die Kraftstoffgewinnung sowie durch die Bereitstellung der elektrischen Energie für die Erdöl-Raffination. Pro kg Normalbenzin entstehen 0,23 kg Abraum. Aus dem Kraftstoffverbrauch von ca. 186 kg Benzin pro Reifen auf 50.000 km ergibt sich dann der hohe Beitrag der Nutzungsphase an den im gesamten Reifenleben entstehenden Abraummengen.

Bei der Produktion des Reifens entstehen ca. 11,9 % und bei der Gewinnung der Rohmaterialien für den Reifen ca. 11,8 % der gesamten Abraummenge (Abbildung 8). In diesen Phasen des Reifenlebens entsteht der größte Teil des Abraums durch die Förderung des Energieträgers Kohle.

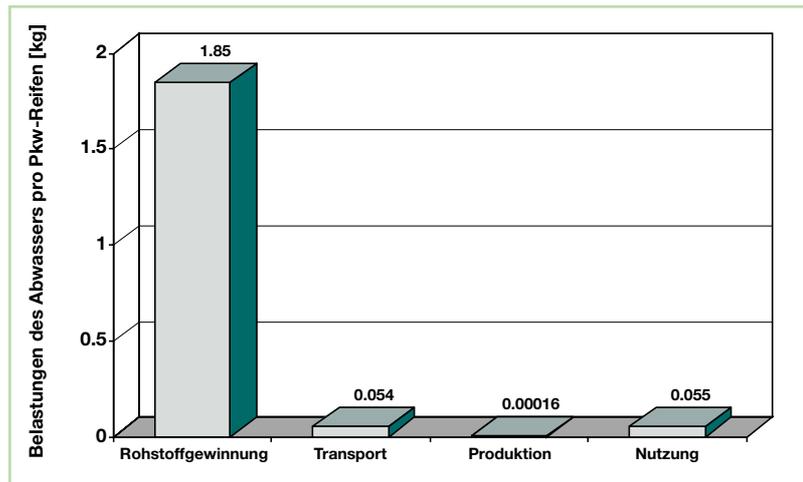


ABB. 7: DARSTELLUNG DER BELASTUNGEN DES ABWASSERS.

Die Kohle wird entweder zur Gewinnung von elektrischer Energie verwendet oder direkt in dem jeweiligen Prozeß zur Energiegewinnung eingesetzt.

Die Menge an Erdöl, die für den Transport eines einzelnen Pkw-Reifens benötigt wird ist gering; folglich fällt in dieser Phase des Reifenlebens die geringste Menge an Abraum an (ca. 0,01 %).

Die Abfälle entstehen bei der Gewinnung der Rohmaterialien für den Reifen (ca. 69,4 %) und bei der Produktion (ca. 26,0 %) (Abbildung 8).

Die Abfälle aus der Rohstoffgewinnung bestehen zu ca. 62 % aus Erzaufbereitungsrückständen. Große Mengen an Erzaufbereitungsrückständen fallen bei der Produktion von Stahl an (fast 80 % der gesamten Erzaufbereitungsrückstände während der Gewinnung der Rohmaterialien für den Reifen). Die Abfälle aus der Reifenproduktion bestehen zu ca. 64 % aus Hausmüll. Die Nutzungsphase trägt mit 4,6 % zum Abfallaufkommen während des Reifenlebens bei.

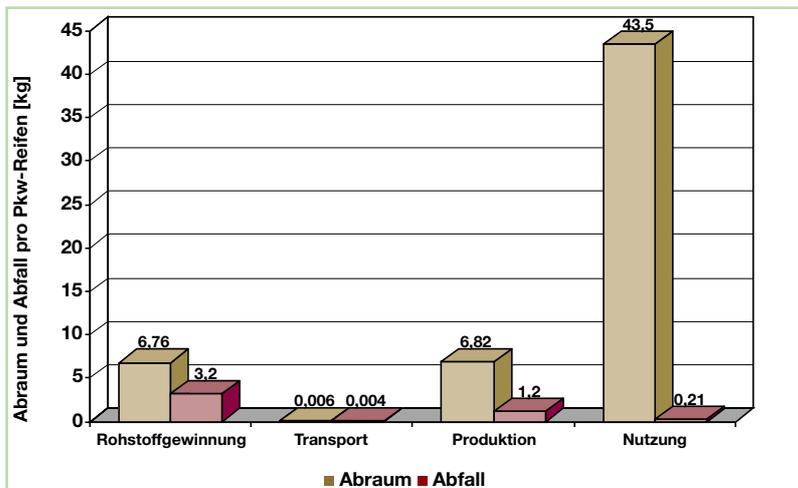


ABB. 8: DARSTELLUNG VON ABRAUM UND ABFALL.

3. Sachbilanz

3.2.4. Reifenabrieb

Der Reifenabrieb ist als Output bereits im Kapitel 3.2.1 "Atmosphärische Emissionen" bilanziert, ergänzend soll hier jedoch noch auf einige Besonderheiten eingegangen werden. Teile des Abriebs finden sich im Boden bzw. im Niederschlagswasser wieder. Derartige Emissionen lassen sich nur schwer in die vorgegebene Systematik einer Ökobilanz eingliedern.

Die Menge an Reifenabrieb, die während des Reifenlebens, d. h. im Laufe einer durchschnittlichen Fahrleistung von 50.000 km oder in 4 Jahren, anfällt, beträgt ca. 1 kg pro Reifen; das entspricht ca. 20 mg Abrieb pro Reifen und gefahrenem Kilometer [9].

Der Reifenabrieb setzt sich zu ca. 42 % aus Kautschuk und zu ca. 34 % aus Ruß und ca. 17% aus Mineralölen zusammen. (Abbildung 9)

Die weiteren ca. 7 % sind unterschiedliche Inhaltsstoffe der Lauffläche sowie Substanzen, die durch chemische Umsetzungen der Inhaltsstoffe während der Vulkanisation der Reifen-Gummimischungen entstehen.

Der Reifenabrieb verteilt sich zunächst vorübergehend auf der Straßenoberfläche und im Boden beiderseits der Straßen.

Der Abrieb unterliegt folgenden Prozessen:

- Wegschwemmen von der Straßenoberfläche durch Niederschlagswasser
- Eluieren wasserlöslicher Stoffe des Abriebs
- Chemischer und biologischer Abbau

Bei der Betrachtung eines einzelnen Reifens verteilt sich die Abriebsmenge von 1 kg während eines Zeitraums von 4 Jahren über eine Fahrstrecke von 50 000 km gleichmäßig im Boden rechts und links der Straße. Bei einer biologisch-chemischen Abbaurrate von 0,7 % pro Tag [13] ergibt sich ein fast vollständiger Abbau des Abriebs in 2 Jahren nach Beendigung der Nutzung des Reifens [17].

Es verbleiben im Boden lediglich die anorganischen Bestandteile des Abriebs, soweit sie nicht bei der Vulkanisation zu Metallseifen umgesetzt, sondern in der Lauffläche des Reifens und damit auch im Abrieb vorhanden sind. Pro Reifen sind das ca. 4 g Zinkoxid sowie ca. 2,3 mg Cadmiumoxid und ca. 11 mg Blei(II)oxid als Begleitstoffe des Zinkoxids.

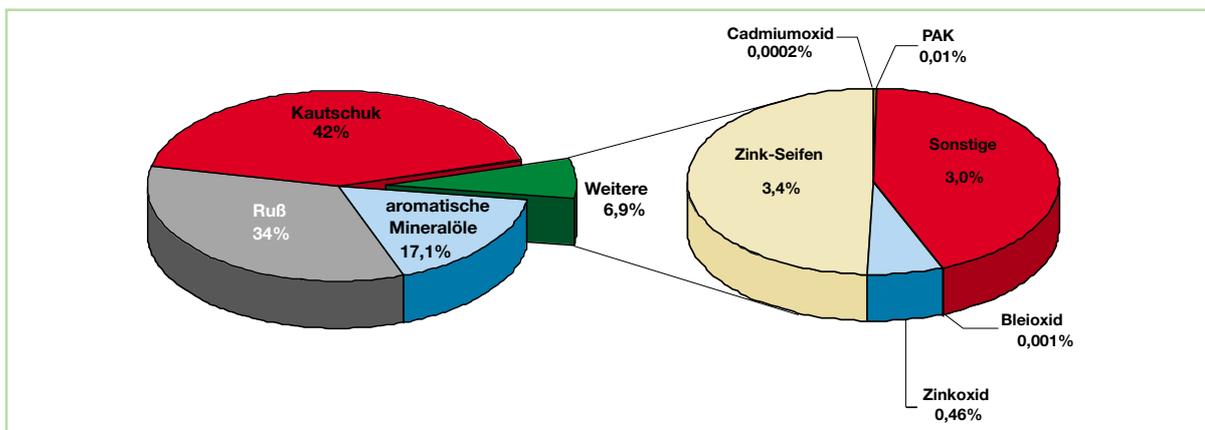


ABBILDUNG 9: Die als "Sonstige" bezeichneten Inhaltsstoffe sind: Schwefel, Wachs, Phenylendiamine, Cyclohexylthiophthalimid, Sulfenamide, Anilin, Benzthiazol, Mercaptobenzthiazol und Mercaptobenzthiazoldisulfid. PAK = polyaromatische Kohlenwasserstoffe.

3. Sachbilanz



Interessant ist in diesem Zusammenhang die Gesamtbelastung des Bodens, die sich aus dem Abrieb sämtlicher, in Deutschland im Einsatz befindlicher Pkw - Reifen ergibt. Aufgrund der kontinuierlichen Zufuhr und des ständigen chemischen und biologischen Abbaus stellt sich im Boden eine Gleichgewichtskonzentration ein [17].

Für die jährlich 46 000 t Abrieb, die auf den 228 000 km überörtlichen Straßen in Deutschland anfallen [2] und sich in einem Bodenvolumen [18] von $1,14 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ verteilen, führt die

Modellrechnung für Anreicherung und Abbau des Abriebs zu einer Abriebskonzentration im Boden von 16 g/m^3 . An Oxiden werden dem Boden jährlich ca. $0,16 \text{ g/m}^3$ Zinkoxid, ca. $0,09 \text{ mg/m}^3$ Cadmiumoxid und ca. $0,4 \text{ mg/m}^3$ Blei(II)oxid zugeführt.

Einige Inhaltsstoffe des Abriebs werden parallel zum chemisch-biologischen Abbau durch Niederschlagswasser ausgewaschen. Die Elution von Inhaltsstoffen und Reaktionsprodukten der Vulkanisation im Abrieb ist u.a. von Parametern wie Absorption der Stoffe an Bodenpartikel,

Größe der Abriebpartikel, Bodenbeschaffenheit, klimatische Bedingungen, Löslichkeit der Stoffe unter Bodenbedingungen in Wasser, Wanderungsgeschwindigkeit des Wassers durch den Boden und die Länge der Wanderungstrecke bis zum Grundwasserleiter abhängig. Aufgrund der Unsicherheiten bei der Bestimmung und Einflußnahme dieser Größen auf das Elutionsverhalten der unterschiedlichen Stoffe wird in dieser Studie von einer eingehenderen quantitativen Untersuchung der Elution von Reifenabrieb verzichtet.

4. Wirkungsabschätzung

Für jeden Abschnitt des Reifenlebens ist eine Input-Output-Liste (u.a. Ressourcen, Emissionen, Abfälle) erstellt worden. Die Mengen sowie die Umweltwirkungen der einzelnen Komponenten der Input-Output-Liste sind unterschiedlich. Um eine vergleichende Gegenüberstellung der einzelnen Abschnitte des Reifenlebens zu ermöglichen, ist es sinnvoll eine gemeinsame Bezugsgröße zu definieren. Die Umweltwirkungen, die von einer einzelnen freigesetzten Komponente ausgehen können, werden durch Äquivalenzfaktoren [12] bewertet. Aus der Menge und dem Äquivalenzfaktor der Komponente wird das Umweltpotential ermittelt.

4.1. Wirkungskategorien/ Umweltpotentiale

Die in der aktuellen Diskussion allgemein anerkannten und hier berücksichtigten Umweltpotentiale sind: Kumulierter Energieaufwand [14], Treibhauseffekt, Versauerung und Eutrophierung. Mit der Auswahl dieser Umweltpotentiale sind globale Kriterien (Treibhauseffekt), regionale Kriterien (Versauerung) und lokale Kriterien (Eutrophierung) erfaßt [12]. Mögliche Beiträge zu einem öko- und humantoxischen Potential werden ebenfalls angesprochen.

4.1.1. Kumulierter Energieaufwand

Es soll an dieser Stelle noch einmal hervorgehoben werden, daß der hier dargestellte kumulierte Energieaufwand nicht den Heizwert (d. h. die Feedstock-Energie) beinhaltet.

Der größte Anteil des kumulierten Energieaufwands im Leben eines Reifens entfällt auf die Nutzungsphase (ca. 95,8 %). Dieser Energiebedarf entsteht durch den Kraftstoffverbrauch des Pkw zur Überwindung der vom Reifen ausgehenden Fahrwiderstände. Der restliche Anteil des Energieaufwands verteilt sich auf die übrigen Module des Reifenlebens: Rohstoffgewinnung: ca. 2,7 %, Produktion: ca. 1,3 % und Transport: ca. 0,2 % (Abbildung 10).

4.1.2. Treibhauspotential

Das Treibhauspotential wird in CO₂-Äquivalenten ausgedrückt und ist auf einen Zeithorizont von 100 Jahren bezogen. In dem Treibhauspotential werden die Komponenten CO₂, CO, Methan und Lachgas (N₂O) berücksichtigt.

Das Treibhauspotential eines Reifens wird fast vollständig durch die Emission von Kohlendioxid bestimmt, da CO₂ in allen Phasen des Reifenlebens die dominierende atmosphärische Emission darstellt (Kapitel 3.2.1). Die freigesetzten Mengen an CO₂ und CO sind in der Nutzungsphase am höchsten. Sie tragen im Laufe des Reifenlebens mit ca. 96,3 % zum Treibhauspotential bei (Abbildung 11),

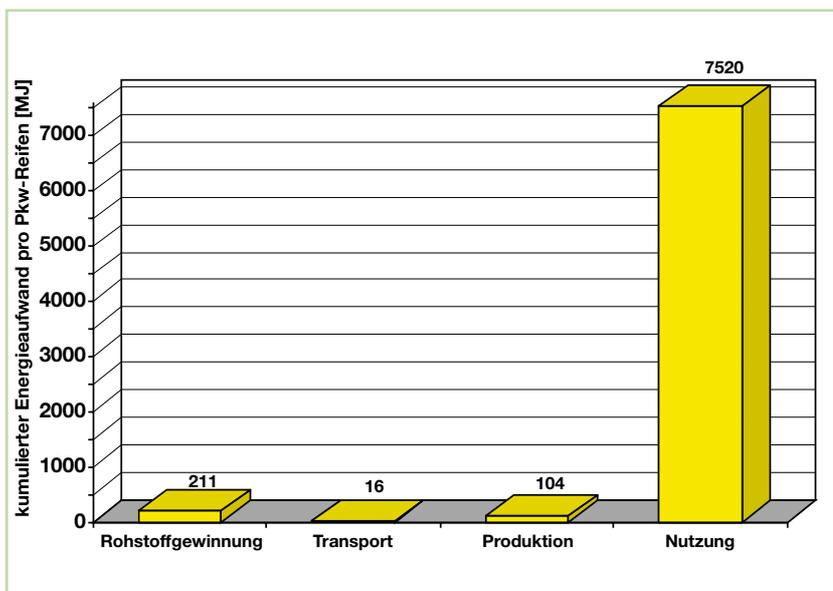


ABB. 10: DARSTELLUNG DES KUMULIERTEN ENERGIEAUFWANDS.

4. Wirkungsabschätzung

Die anderen Abschnitte des Reifenlebens haben folgende Anteile: Gewinnung der Rohmaterialien ca. 2,2 %, Produktion ca. 1,2 % und der Transport ca. 0,2 %.

4.1.3. Versauerungspotential

Das Versauerungspotential bezieht sich auf die freigesetzten sauren Schadgase (Schwefeloxide, Stickoxide, Säuren z.B. HCl, HF, H₂SO₄). Sie werden in SO₂-Äquivalenten ausgedrückt.

Die Nutzungsphase des Reifenlebens hat mit ca. 85,1 % den größten Anteil am Versauerungspotential (Abbildung 12). Es entsteht hauptsächlich durch den Ausstoß von SO₂ (ca. 32,5 %), Ammoniak (ca. 30,9 %) und NO_x (ca. 20,8 %). Die Gewinnung der Rohmaterialien für den

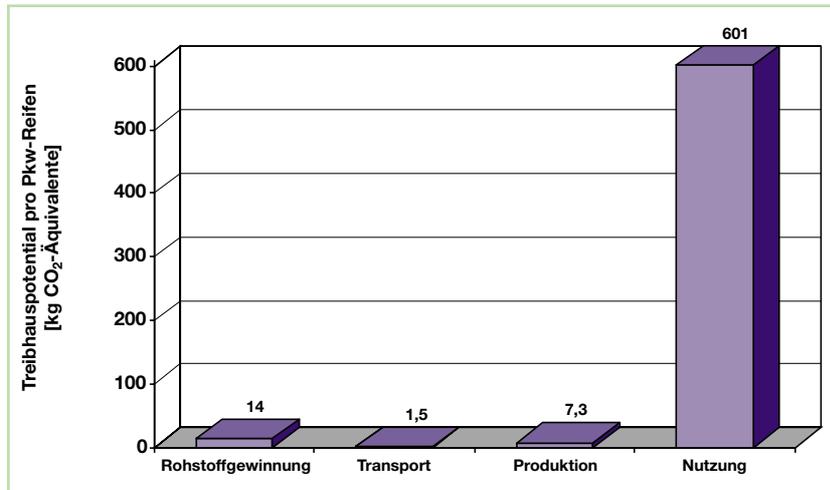


ABB. 11: DARSTELLUNG DES TREIBHAUSPOTENTIALS.

Reifen hat einen Anteil von ca. 11,3 % am Versauerungspotential, im wesentlichen verursacht durch die Emissionen von SO₂ (ca. 5,1 %), NO_x (ca. 2,9 %) und CS₂ (ca. 2,9 %). Die Transportphase trägt mit ca. 1,9 % zum Versauerungspotential bei. Diese Beiträge werden in erster Linie durch den Ausstoß von SO₂ (ca. 0,4 %)

und NO_x (ca. 1,5 %) beim Betrieb des Transportfahrzeugs verursacht.

Die Produktion des Reifens weist ein Versauerungspotential von ca. 1,6 % auf, das hauptsächlich durch SO₂ (ca. 0,7 %) und NO_x (ca. 0,9 %) verursacht wird.

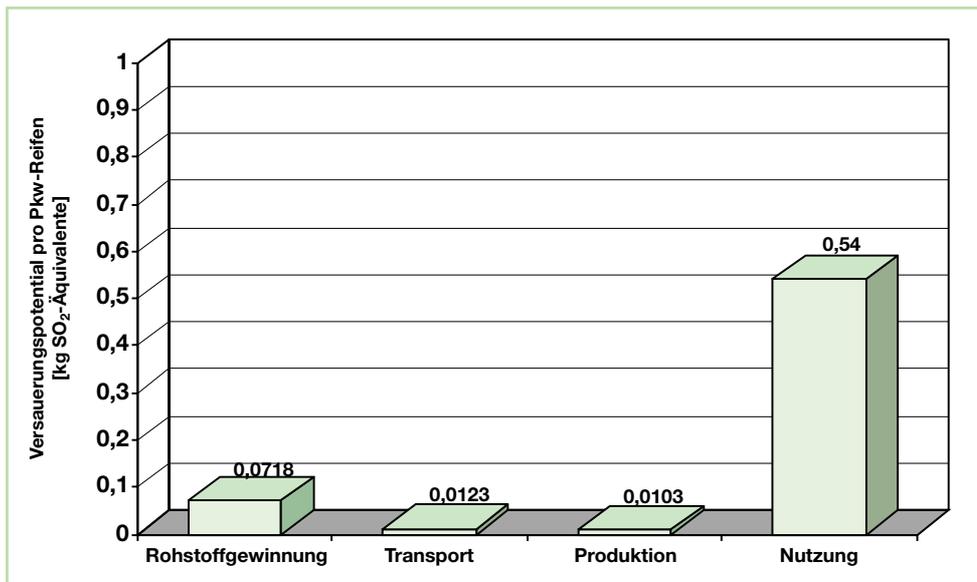


ABB. 12: DARSTELLUNG DES VERSAUERUNGSPOTENTIALS.

4. Wirkungsabschätzung

4.1.4. Eutrophierungspotential

Als Eutrophierung wird der Nährstoffeintrag ins Ökosystem bezeichnet. Dieser Eintrag kann entweder über das Auswaschen von Schadgasen aus der Luft oder über das Wasser geschehen. Das Eutrophierungspotential wird in Phosphat-Äquivalenten ausgedrückt.

Die Phase der Nutzung trägt durch den Ausstoß der Schadgase Ammoniak (ca. 51,4 %) und NO_x (ca. 36,6 %) mit insgesamt ca. 89,8 % zum Eutrophierungspotential des Reifenlebens bei (Abbildung 13). Die Gewinnung der Rohmaterialien für den Reifen trägt mit ca. 5,5 % (NO_x in der Luft (5,0 %), der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) im Abwasser (0,4 %)) zum Eutrophierungspotential bei. In der Phase des Transports werden hauptsächlich Stickoxide freigesetzt, die mit ca. 3,1 % zum Eutrophierungspotential beitragen. Den niedrigsten Beitrag zum Eutrophierungspotential hat die Reifenproduktion mit ca. 1,5 % bedingt durch den Ausstoß an Stickoxiden. Es sei angemerkt, daß der Nährstoffeintrag während des Reifenlebens fast ausschließlich auf der Freisetzung von Stickoxiden und Ammoniak beruht. Der Eintrag von Phosphat oder Phosphatverbindungen ist gering.

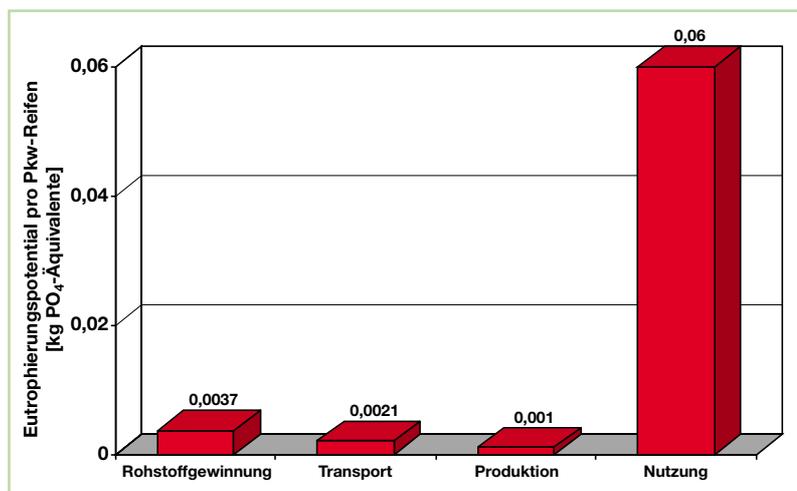


ABB. 13: DARSTELLUNG DES EUTROPHIERUNGSPOTENTIALS.

4.1.5. Ökotoxisches und humantoxisches Potential

Eine standardisierte Methode zur Erfassung und Bewertung der zahlreichen toxikologischen Wirkungen, die von den emittierten Schadstoffen ausgehen können, liegt bis heute nur ansatzweise vor. Dies beruht auf der Schwierigkeit, variable Faktoren (Exposition, begrenztes lokales Auftreten des Schadstoffes, Metabolisierung und/oder Akkumulation des Schadstoffes, Schwellenkonzentrationen, Sensitivität von Organismen im Ökosystem, Reversibilität der Wirkung) zu bestimmen und qualitativ zu bewerten. Daher stellen Angaben zur Öko- und Humantoxizität eher eine Risikoabschätzung dar; sie sollten keinesfalls als absolutes Wirkungspotential betrachtet werden.

Wegen dieser methodischen Unsicherheiten bei der Erfassung der Potentiale wird auf eine Quantifizierung verzichtet.

Bei der Gewinnung der Rohmaterialien für den Reifen werden Chlorid-Ionen und Zink-Ionen ins Abwasser abgegeben; diese Stoffe können zu einem öko- und humantoxischen Potentials beitragen. In den Lebensphasen Transport, Reifenproduktion und Nutzung können die atmosphärischen Emissionen an SO_2 und NO_x (aus der Energiebereitstellung) zum humantoxischen Potential und die Emissionen an Schwermetallen in die Luft oder das Abwasser (z.B. Quecksilber aus der Energiebereitstellung) zum ökotoxischen Potential beitragen.

Der Reifenabrieb kann ebenfalls zum öko- und humantoxischen Potential beitragen (vgl. Kapitel 3.2.4).

5. Vergleich verschiedener Reifenvarianten

5. Vergleich verschiedener Reifenvarianten (Sach- und Wirkungsbilanz)

Forschungsarbeiten im Bereich der Reifenrohstoffe haben dazu geführt, daß in der jüngeren Vergangenheit verschiedene Reifenvarianten mit unterschiedlichen Eigenschaften entwickelt wurden. Die Bilanzdaten für vier verschiedene Reifenvarianten werden hier gegenübergestellt (Tabelle 2). Die unterschiedlichen Varianten ergeben sich durch Substitution von Rohmaterialien für den Reifen.

5.1. Vergleich der Füllstoffe Ruß und Silica

Die partielle Substitution des Füllstoffes Ruß durch Silica bewirkt u. a. eine Reduzierung des Rollwiderstands des Reifens. Dies führt zu einer Verringerung des Energieverbrauchs durch den Pkw und zu einer Reduzierung des Verbrauchs der Ressource Erdöl. Als Folge sinkt die Menge an freigesetzten Schadgasen, wodurch das Treibhaus-, Versauerungs- und Eutrophierungspotential abnehmen. Zusätzlich sinkt die anfallende Menge an Abraum. Die Produktion des Füllstoffes Silica verursacht jedoch eine erhöhte Belastung des Abwassers.

Der Einsatz von Silica führt zu einer Reduzierung des Treibhauspotentials um ca. 9,5 % bedingt durch den verringerten Ausstoß der Schadgase CO₂ und CO (ca. 9,5 % bzw. 9,8 %). Da gleichzeitig die Freisetzung der Schadgase SO₂, NO_x und

Ammoniak abnimmt, sinkt das Versauerungspotential um ca. 6,3 %. Stickoxide und Ammoniak sind die Hauptverursacher des Eutrophierungspotentials während des Reifenlebens. Folglich führt die Reduzierung ihrer Freisetzung auch zu einer Verringerung des Eutrophierungspotentials (ca. 7,5 %).

Durch die teilweise Verwendung von Silica statt Ruß als Füllstoff wird der kumulierte Energieaufwand im gesamten Reifenlebens um ca. 9,3 % vermindert.

Ergänzend sind folgende Auswirkungen zu erwähnen:

- Insgesamt wird eine Reduzierung des Ressourcenverbrauchs um ca. 8,7 % erzielt, verursacht durch die Einsparung an Erdöl (ca. 9,8 %).
- Die Menge an Sulfat-Ionen im Abwasser nimmt um das 4,3-fache zu. Die Menge der Natrium-Ionen steigt um das 2,7-fache an.
- Die Menge an Abfall nimmt um ca. 3,4 % zu, was auf einen Anstieg der Mengen an festem und flüssigem Abfall sowie an Aschen und Schlacken zurückzuführen ist.

5.2. Vergleich der Textilgewebe Rayon und Polyester

Die Substitution von Rayon durch Polyester führt zu einer Erhöhung des Treibhauspotentials in der Phase der Gewinnung der Rohmaterialien. Dadurch wird insgesamt der Beitrag zum Treibhauseffekt um ca. 0,3 % erhöht. Dieser Anstieg ist durch den vermehrten Ausstoß von CO₂ bedingt. Das Versauerungspotential nimmt dagegen um ca. 1,6 % ab. Diese Reduzierung beruht auf der Abnahme der atmosphärischen Emissionen CS₂ und H₂S, die bei der Herstellung des Rayon entstehen. Obwohl die Freisetzung von SO₂ ansteigt, wird insgesamt eine Reduzierung des Versauerungspotentials erreicht. Das Eutrophierungspotential wird durch den Austausch von Rayon durch Polyester nicht beeinflusst.



Textilgewebeschicht eines Reifens

5. Vergleich verschiedener Reifenvarianten

(Sach- und Wirkungsbilanz)

Da die Umweltpotentiale nicht alle Parameter der In- und Outputs erfassen, werden ergänzend weitere Auswirkungen dargestellt:

- Der Austausch des Textilgewebes Rayon durch Polyester führt zu einer geringen Erhöhung des Ressourcenbedarfs (ca. 0,1 %) und des Energieaufwands (ca. 0,2 %).
- Die Menge an Prozeß-Abwasser nimmt um ca. 52,8 % ab. Diese Verringerung der Abwassermenge resultiert aus der Phase der Gewinnung der Rohmaterialien. Die Belastung des Abwassers sinkt ebenfalls (ca. 0,73 kg). Diese Abnahme entspricht ca. 37,2 % für einen Ruß-Reifen und ca. 17,3 % für einen Silica-Reifen.
- Die Summe der Abfälle wird um ca. 9,6 % reduziert. Dies beruht auf der Abnahme der festen und flüssigen Abfälle, die durch die Holzrückstände bei der Rayonherstellung entstehen.

Die Herstellung des Zellstoffs für die Produktion von Rayon ist mit einem hohen Wasserverbrauch sowie mit hohen Belastungen des Abwassers durch Ionen gekennzeichnet. Die Herstellung von Polyester verbraucht deutlich weniger Wasser und die Abwässer sind geringer belastet.



Die Substitution des Rayons durch Polyester führt somit zu einer deutlichen Verringerung des Wasserverbrauchs sowie der Belastungen des Abwassers. Diese Reduzierungen spiegeln sich nicht in den Umweltpotentialen wieder, da die entsprechenden Parameter nicht in die aufgeführten Umweltpotentiale einfließen.

Die Abnahme der Chlorid- und Natrium-Ionen sowie von Zink können aber zu einer Reduzierung der toxischen Wirkung auf das Ökosystem und den Menschen führen.

TABELLE 2: DARSTELLUNG DER BILANZDATEN FÜR VIER VERSCHIEDENE REIFENVARIANTEN. (siehe Seite 19)

Die Werte ergeben sich aus der Summierung der Einzeldaten aus den Stadien Rohstoffgewinnung, Transport, Produktion und Nutzung. Sie umfassen das gesamte Leben eines funktionsfähigen Pkw-Reifens. Die Verwertung der Altreifen ist nicht in den Daten enthalten. Dargestellt sind alle Inputs der Studie, die mehr als 1 % zur Summe aller Inputs beitragen. Es werden 99,1 % aller Inputs erfaßt. Das Abschneidekriterium für die drei Kategorien der Outputs wurde bei 1 % der Summe der jeweiligen Outputkategorie festgelegt. Es werden 99,7 % der atmosphärischen Emissionen, 98 % der Belastungen des Wassers und 99,9 % der Abfälle (incl. Abraum) erfaßt. Die Ungenauigkeit, die durch diese Abschneidegrenze entsteht, ist 2 %. Für den Reifen relevante Rohstoffe werden auch dann ausgewiesen, wenn sie unterhalb von 1 % liegen (z.B. Schwefel). Standardemissionen (z.B. Staub, N₂O, BSB und CSB, besonders überwachungsbedürftiger Abfall) werden auch dann aufgenommen, wenn sie unterhalb von 1 % liegen. BSB steht für biologischen Sauerstoffbedarf, CSB für chemischen Sauerstoffbedarf.

5. Vergleich verschiedener Reifenvarianten

5. Vergleich verschiedener Reifenvarianten

(Sach- und Wirkungsbilanz)

Eingänge				
Rohstoffe (kg):	Ruß-Rayon	Silica-Rayon	Ruß-Polyester	Silica-Polyester
Prozeßwasser	194,81	195,70	94,77	92,12
Kühlwasser	434,25	455,44	434,25	455,44
Steinkohle	2,16	2,24	2,16	2,24
Braunkohle	3,46	3,48	3,46	3,48
Erdgas	5,41	5,73	5,36	5,69
Erdöl	205,52	185,43	206,02	185,94
Schwefel	0,20	1,01	0,04	0,84
Taubes Gestein	28,06	26,92	28,06	26,92
Latex	2,57	2,51	2,57	2,51
Eisenerz	1,17	1,00	1,17	1,00
Luft	2099,37	1904,57	2100,60	1905,85
Ausgänge				
Produkte:	Ruß-Rayon	Silica-Rayon	Ruß-Polyester	Silica-Polyester
Fahrleistung (km)	50.000	50.000	50.000	50.000
Altreifen (kg)	5,47	5,68	5,47	5,47
Atmosphärische Emissionen (kg):	Ruß-Rayon	Silica-Rayon	Ruß-Polyester	Silica-Polyester
Wasserdampf	7,83	7,83	7,83	7,83
belastete Luft	1464,53	1329,60	1465,59	1330,69
Staub	1,02	0,95	1,02	0,95
SO ₂	0,25	0,23	0,25	0,24
CO	6,81	6,14	6,81	6,14
CO ₂	576,74	522,01	578,65	523,99
NO _x	0,24	0,22	0,24	0,23
N ₂ O	0,057	0,052	0,057	0,052
Methan	0,32	0,29	0,32	0,29
NM VOC	0,35	0,33	0,345	0,32
Belastungen des Wassers (kg):	Ruß-Rayon	Silica-Rayon	Ruß-Polyester	Silica-Polyester
Abwasser	270,31	310,13	174,29	210,71
Abwasser-Kühlwasser	422,83	436,14	422,83	436,14
BSB	0,0080	0,0079	0,0062	0,0060
CSB	0,02	0,02	0,01	0,01
Sulfat-Ionen	0,48	2,07	0,054	1,63
Natrium-Ionen	0,29	0,77	0,20	0,68
Chlorid-Ionen	1,13	1,17	0,94	0,97
Calcium-Ionen	0,000018	0,27	0,000018	0,27
Abfälle (kg):	Ruß-Rayon	Silica-Rayon	Ruß-Polyester	Silica-Polyester
Abraum	57,08	53,56	57,09	53,57
Erzaufbereitungsrückstände	2,18	2,21	2,18	2,21
Abfall, fest und flüssig	1,33	1,49	0,97	1,11
Gummiabfall	0,19	0,19	0,19	0,19
besonders überwachungsbedürftiger Abfall	0,055	0,067	0,055	0,067
Hausmüll	0,80	0,80	0,80	0,80
Klärschlamm	0,081	0,084	0	0
Asche und Schlacken	0,047	0	0,049	0
Umweltpotentiale:	Ruß-Rayon	Silica-Rayon	Ruß-Polyester	Silica-Polyester
kumulierter Energieaufwand (MJ)	7851,12	7117,16	7863,48	7113,67
Treibhauseffekt (kg CO ₂ -Äquivalente)	623,25	564,15	625,17	566,14
Versauerung (kg SO ₂ -Äquivalente)	0,63	0,59	0,62	0,57
Eutrophierung (kg PO ₄ -Äquivalente)	0,067	0,062	0,067	0,062

6. Verwertung von Altreifen

0. Verwertung von Altreifen

(Sach- und Wirkungsbilanz)

Nach der Nutzungsphase liegt ein Pkw-Altreifen vor (hier in der Dimension 175/70 R 13 und der Variante Ruß/Rayon), der seine ursprüngliche Funktionsfähigkeit verloren hat. Dieser Altreifen kann zur stofflichen Verwertung und/oder als Energieträger in Verwertungsprozessen eingesetzt werden. Damit kommt es durch die Verwertung von Altreifen zu einer Nutzenerweiterung für den Pkw-Reifen. Diese natürliche Schnittstelle wird genutzt, um die Ökobilanz eines Pkw-Reifens funktionell von der Ökobilanz der Verwertung eines Altreifens zu trennen.

Die Verwertung von Altreifen geschieht in unterschiedlichen Verwertungsprozessen. Neben rohstofflichen Verwertungsverfahren, deren Eignung durch Untersuchungen festgestellt wurde, gibt es eine Vielzahl praxiserprobter stofflicher und energetischer Verwertungsverfahren. Exemplarisch werden in dieser Studie die für die Altreifenverwertung bedeutendsten Verfahren bilanziert.

Den drei hier untersuchten Verwertungsprozessen - Runderneuerung, Zementherstellung, Energieerzeugung im Reifenkraftwerk - werden die entsprechenden Äquivalenzprozesse gegenübergestellt : Neureifenherstellung, Zementherstellung unter Verwendung von Regelbrennstoffen, Energieerzeugung im Kraftwerk mit Hilfe von Regelbrennstoffen [8].

Bei einem solchen Vergleich der Systeme muß jeweils die Nutzengleichheit/Nutzenäquivalenz gewährleistet sein. Als Bezugsgröße dient deshalb immer der durch die Verwertung eines Altreifens erzielte Nutzen; d. h., die Fahrleistung des runderneuterten Reifens, die produzierte Menge Zement oder die gewonnene Menge Energie. So wird ein direkter Vergleich der Ressourcenverbräuche und der Umweltwirkungen zwischen Regel- und Äquivalenzprozeß möglich.

Es ist wichtig anzumerken, daß bei dieser Betrachtungsweise ein Altreifen, wenn er als Rohstoff bzw. als Energieträger in den Verwertungsprozeß ein-

geht, nicht die Belastungen (Ressourcenaufwand, Emissionen in Luft und Wasser, Abfälle und Abraum) aus seinem Leben als Reifen einbringt.

6.1. Zementwerk

Bei der Verwertung im Zementwerk werden die Stoff- und Energieflüsse beim Einsatz von Altreifen mit denen beim Einsatz des Regelbrennstoffs Steinkohle verglichen. Aus verfahrenstechnischen Gründen wird der Einsatz von Altreifen maximal auf 20 % bis 25 % der gesamten Menge an Energieträgern begrenzt.



Zuführung von Altreifen in den Drehrohrofen

6. Verwertung von Altreifen

0. Verwertung von Altreifen (Sach- und Wirkungsbilanz)

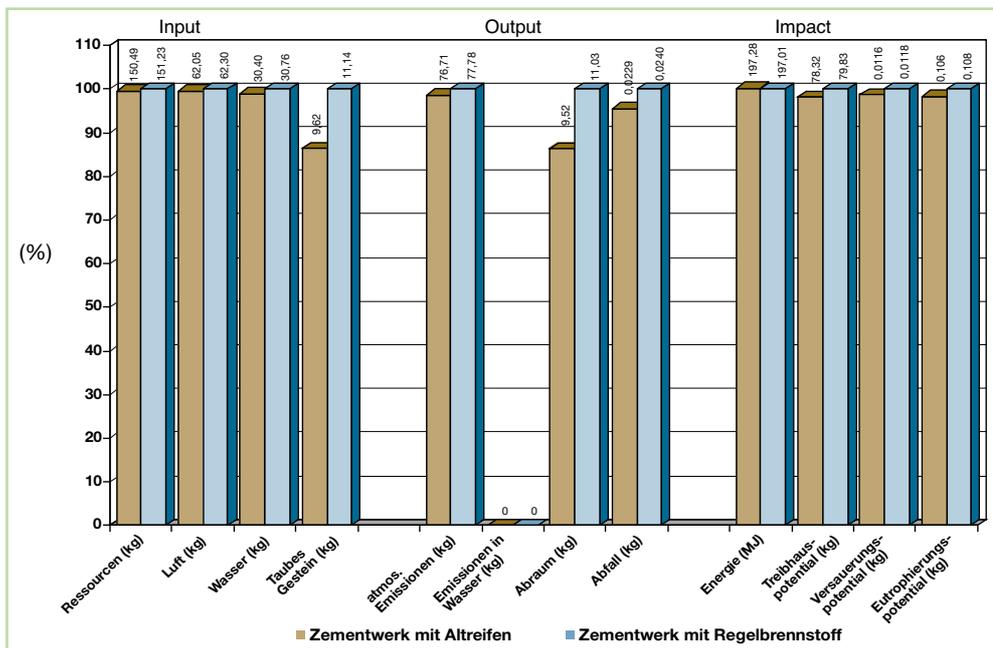


ABB. 14: GEGENÜBERSTELLUNG DER VERWERTUNG EINES ALTREIFENS (RUSS-VARIANTE) IM ZEMENTWERK MIT DEM EINSATZ VON REGELBRENNSTOFF.

Es wird von einem Altreifenanteil von 25 % im Zementwerk ausgegangen. Die einzelnen Parameter sind in den aufgeführten Kategorien zusammengefaßt dargestellt. Die Kategorien des Einsatzes von Regelbrennstoff werden als 100 % gesetzt und die Daten der Verwendung von Altreifen als Brennstoff werden relativ dazu dargestellt. Die Zahlen an den einzelnen Säulen geben den absoluten Wert der aufsummierten Parameter in den Kategorien wieder. Sie sind unabhängig von der Beschriftung der Größenachse zu betrachten. Ergebnisse der Sach- und Wirkungsbilanz sind in der gleichen Abbildung dargestellt. Eingangsströme und Ausgangsströme der Sachbilanz sind als "Input" bzw. "Output" überschrieben. Die berechneten Umweltpotentiale der Wirkungsabschätzung sind als "Impact" überschrieben.

Bei dem Einsatz von Altreifen im Zementwerk entstehen deutlich geringere Mengen an Taubem Gestein und Abraum (jeweils ca. 14 %) (Abbildung 14), weil durch den Einsatz von Altreifen statt Regelbrennstoff weniger Steinkohle gefördert werden muß.

Der Einsatz von Altreifen führt zu niedrigeren atmosphärischen Emissionen als die Verbrennung von Regelbrennstoff (ca. 1,4 %), wodurch das Treibhauspotential (ca. 1,9 %), das Versauerungspotential (ca. 1,9 %) und das

Eutrophierungspotential (ca. 1,7 %) reduziert werden. Der Altreifen besitzt im allgemeinen einen geringeren Kohlenstoff-, Schwefel- und Stickstoffgehalt als die eingesetzte Steinkohle, wodurch der reduzierte Ausstoß an Schadgasen (CO_2 , SO_2 und NO_x) zu erklären ist.

Da der Altreifen einen höheren spezifischen Heizwert besitzt als Steinkohle, wird eine geringere Menge an Rohstoffen eingesetzt (0,5 %). Durch die Verringerung des Rohstoffeinsatzes entstehen auch weniger Aschen und

Schlacken bei der Verbrennung und die Abfallmenge sinkt um ca. 4,2 %.

Die anderen Parameter der In- und Outputs werden durch den Einsatz von Altreifen statt Steinkohle nicht wesentlich beeinflusst. Die meisten Umweltauswirkungen werden sogar durch den Einsatz von Altreifen geringfügig reduziert (Einzelheiten siehe Abbildung 14). Somit ist der Einsatz von Altreifen im Zementwerk als "umwelt-neutral" zu bezeichnen.

6. Verwertung von Altreifen

0. Verwertung von Altreifen (Sach- und Wirkungsbilanz)

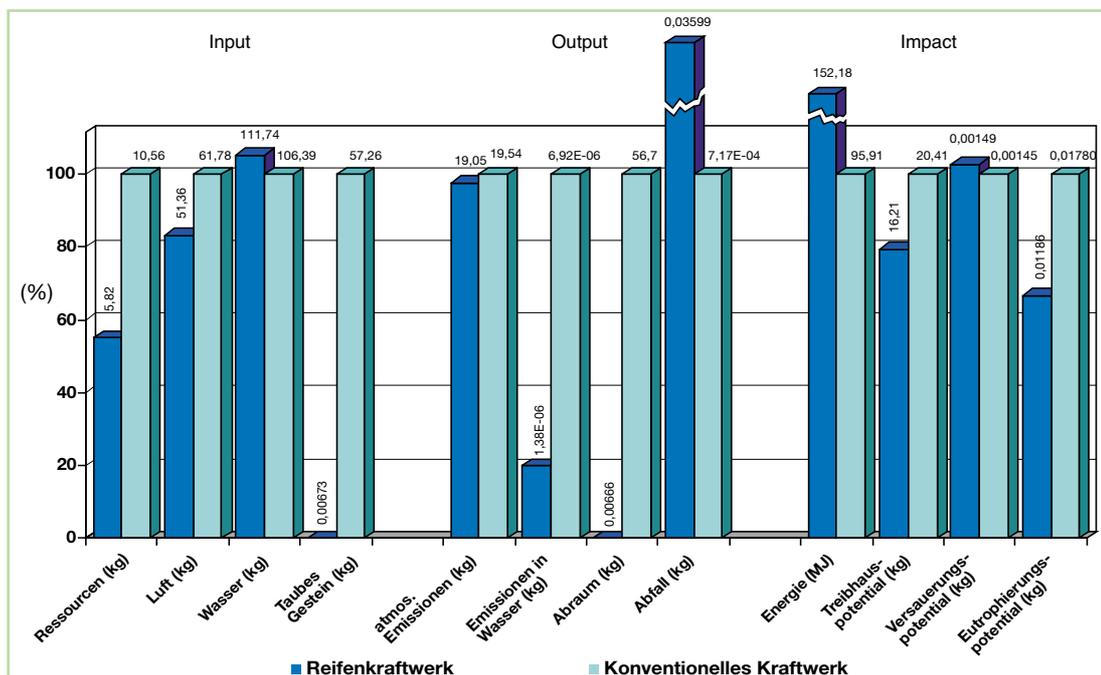


ABB. 15: GEGENÜBERSTELLUNG DER VERWERTUNG EINES ALTREIFENS IM REIFENKRAFTWERK MIT DER ENERGIEGEWINNUNG IN KONVENTIONELLEN KRAFTWERKEN

Die einzelnen Parameter sind in Kategorien zusammengefaßt dargestellt. Die Kategorien der Energiegewinnung in konventionellen Kraftwerken werden als 100 % gesetzt und die Daten Verwertung von Altreifen im Reifenkraftwerk werden relativ dazu dargestellt. Die Zahlen an den einzelnen Säulen geben den absoluten Wert der aufsummierten Parameter in den Kategorien wieder. Sie sind unabhängig von der Beschriftung der Größenachse zu betrachten. Ergebnisse der Sach- und Wirkungsbilanz sind in der gleichen Abbildung dargestellt. Eingangsströme und Ausgangsströme der Sachbilanz sind als "Input" bzw. "Output" überschrieben. Die berechneten Umweltpotentiale der Wirkungsabschätzung sind als "Impact" überschrieben.

6.2. Reifenkraftwerk

Der Einsatz von Altreifen im Reifenkraftwerk verursacht teils höhere und teils niedrigere Belastungen im Vergleich zur Energiegewinnung durch Verbrennung fossiler Ressourcen (Stein- und Braunkohle sowie Erdöl und Erdgas auf der Basis des Energiemixes in Deutschland) in konventionellen Kraftwerken (Abbildung 15).

Der Energieaufwand ist aus verfahrenstechnischen Gründen höher als bei konventionellen

Kraftwerken mit fossilen Ressourcen als Brennstoff: Der Wirkungsgrad von Reifenkraftwerken beträgt nur ca. 25% bis 30%, während konventionelle Kraftwerke höhere Wirkungsgrade aufweisen.

Das betrachtete Reifenkraftwerk besitzt im Vergleich zu konventionellen Kraftwerken neben der SO₂-Rauchgaswäsche noch eine zusätzliche saure Rauchgaswäsche, wodurch der Wasserverbrauch und besonders die entstehende Menge an Abfall bei dem Reifenkraftwerk gegenüber dem konventio-

nellen Kraftwerk erhöht ist. Die insgesamt anfallende Menge an Abfall ist aber im Vergleich zu der anfallenden Menge an Abraum gering. Bei diesen Abfällen handelt es sich um Schlämme (Wassergehalt ca. 50 %), die Schwermetalle enthalten. Ein Teil des Wasserverbrauchs bei der Rauchgaswäsche geht als Wasserdampf in die Atmosphäre (ca. 37 %).

6. Verwertung von Altreifen

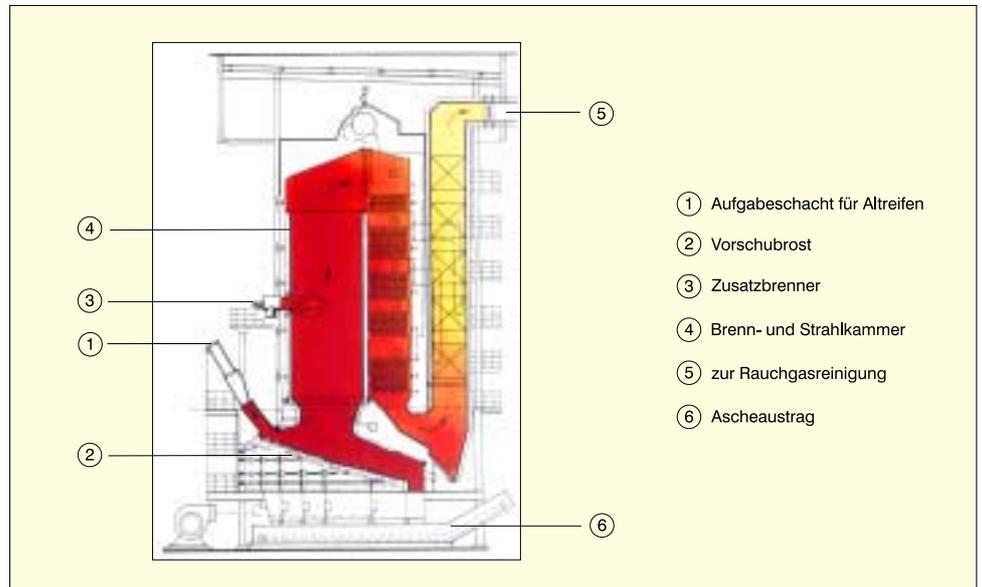
(Sach- und Wirkungsbilanz)

Die eingesetzte Menge an Ressourcen ist im Reifenkraftwerk geringer (45 %), da Altreifen einen höheren spezifischen Heizwert besitzen als Stein- und Braunkohle. Taubes Gestein und Abraum entstehen bei der Energiegewinnung aus Altreifen kaum, da durch den Einsatz des Sekundär-Rohstoffs keine fossilen Ressourcen gefördert werden müssen.

Die atmosphärischen Emissionen (ohne Wasserdampf) sind im Reifenkraftwerk geringer als bei konventionellen Kraftwerken. Da die Menge an eingesetzten Ressourcen im Reifenkraftwerk geringer als in konventionellen Kraftwerken ist, wird weniger CO₂ freigesetzt (ca. 17 %) und somit ein geringeres Treibhauspotential erzeugt (ca. 20 %). Die Freisetzung von SO₂ aus Altreifen ist etwas geringer als aus Kohle, wodurch das Versauerungspotential reduziert wird (ca. 33 %). Verringerungen der freigesetzten Mengen an SO₂ und Cadmium können zu einer Reduzierung der öko- und humantoxischen Potentiale führen.

6.3. Runderneuerung

Eine ökologische Bewertung eines runderneuerten Reifens im Vergleich zum Neureifen stößt auf methodische Schwierigkeiten. Der runderneuerte Reifen ist - streng genommen - kein äquivalentes Produkt zum ursprünglichen Neureifen, da es



Reifenkraftwerk

technisch nicht möglich ist, in allen Eigenschaften wie Sicherheit, Haltbarkeit, Fahreigenschaften und Lebensdauer gleichzeitig das gleiche Niveau wie beim Ausgangsprodukt "Neureifen" zu erreichen. (Diese Aussage steht nicht im Widerspruch dazu, daß runderneuerte Reifen ein hohes technisches Niveau erreichen können.)

Ursachen dafür sind u.a.:

- die technischen Grenzen des Abrauhens der alten Laufflächenbestandteile
- die unvermeidbare zusätzliche Temperaturbelastung der Karkasse bei der Vulkanisation des neuen Laufstreifens

- die unterschiedlichen Reifenkonturen verschiedener Reifenausführungen und/oder -hersteller
- das unterschiedliche Wachstum der Karkasse im ersten Leben in Abhängigkeit von Einsatzdauer, Last, Luftdruck und Temperatur. Die Runderneuerungsindustrie ist heute in der Lage, runderneuerte Reifen herzustellen, die in fast allen Eigenschaften einem Neureifen nahekommen - mit Ausnahme des Rollwiderstandes. Ein solcher Reifen weist einen um mindestens 3 % höheren Rollwiderstand als ein Neureifen auf.

6. Verwertung von Altreifen

0. Verwertung von Altreifen

(Sach- und Wirkungsbilanz)

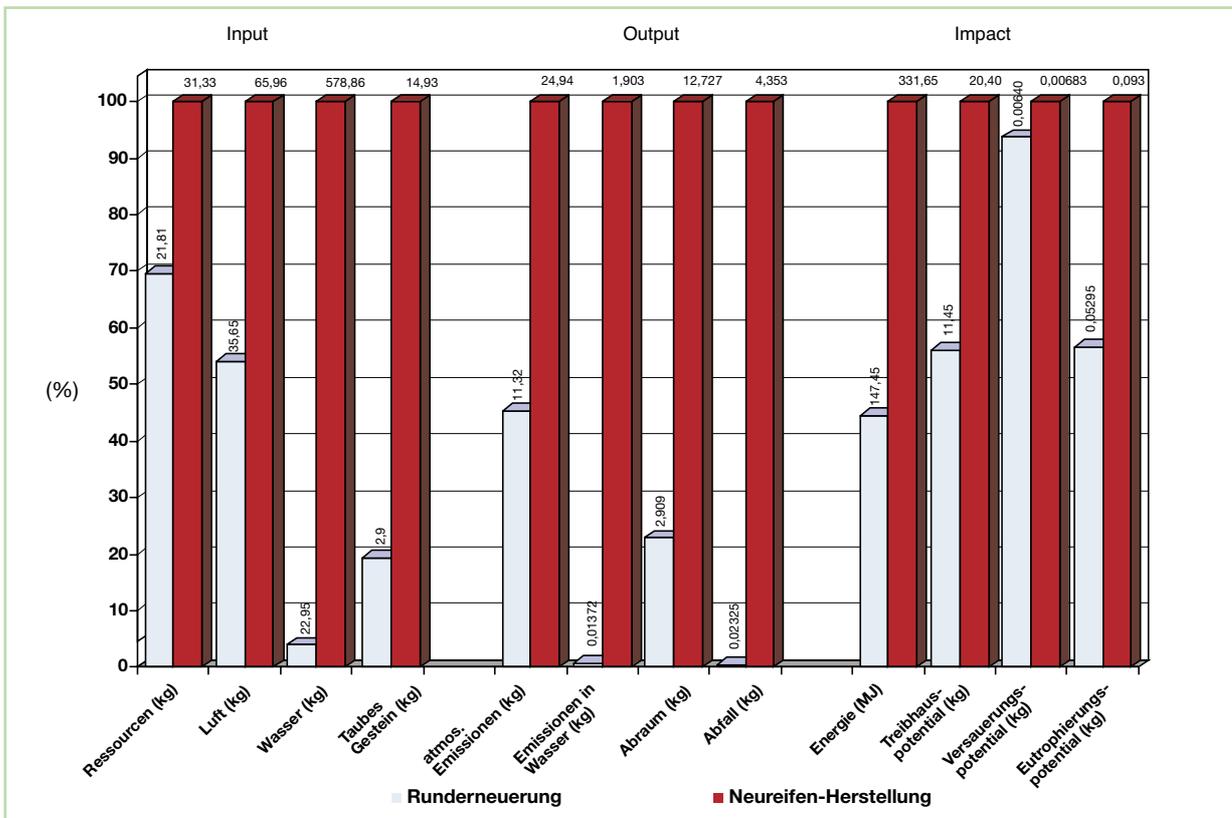


ABB. 16: GEGENÜBERSTELLUNG DER HERSTELLUNG EINES NEUREIFENS MIT DER HERSTELLUNG EINES RUNDERNEUERTEN REIFENS. Die einzelnen Parameter sind in den aufgeführten Kategorien zusammengefaßt dargestellt. Die Kategorien der Neureifen-Herstellung werden als 100 % gesetzt und die Daten der Altreifen-Runderneuerung werden relativ dazu dargestellt. Die Zahlen an den einzelnen Säulen geben den absoluten Wert der aufsummierten Parameter in den Kategorien wieder. Sie sind unabhängig von der Beschriftung der Größenachse zu betrachten. Ergebnisse der Sach- und Wirkungsbilanz sind in der gleichen Abbildung dargestellt. Eingangsströme und Ausgangsströme der Sachbilanz sind als "Input" bzw. "Output" überschrieben. Die berechneten Umweltpotentiale der Wirkungsabschätzung sind als "Impact" überschrieben.

Für diese Gegenüberstellung wird für die Runderneuerung der günstigste Fall angenommen, nämlich ein runderneuerter Reifen, der nur einen um 3 % erhöhten Rollwiderstand besitzt und sonst in seinen Eigenschaften einem Neureifen entspricht.

6.3.1. Herstellung Neureifen im Vergleich zur Altreifen-Runderneuerung

Die Herstellung eines Neureifens weist einen deutlich höheren Bedarf an Energie (ca. 2,3-fach), Luft (ca. 1,85-fach), Wasser (ca. 25-fach) und Ressourcen (ca. 1,4-fach) auf als die Altreifen-Runderneuerung (Abbildung 16).

Die atmosphärischen Emissionen (ca. 2,2-fach), die Belastungen des Abwassers (ca. 139-fach) sowie die Mengen an Abraum (ca. 4,4-fach) und Abfall (ca. 187-fach) sind ebenfalls bei der Neureifenherstellung deutlich höher als bei der Runderneuerung.

Daraus resultieren höhere Umweltwirkungen für die Herstellung eines neuen Reifens

6. Verwertung von Altreifen

6. Verwertung von Altreifen (Sach- und Wirkungsbilanz)

gegenüber der Runderneuerung eines Altreifens: Das Treibhauspotential ist um den Faktor ca. 1,8, das Versauerungspotential um den Faktor ca. 1,75 und das Eutrophierungspotential um den Faktor ca. 1,07 erhöht.

Diese gravierenden Unterschiede haben eine triviale Erklärung: Wie bereits erwähnt geht der Altreifen als "Rohmaterial-Geschenk" in die hier vorgenommene Bilanz ein, ohne Berücksichtigung des Aufwands für seine 'Herstellung'. Rohstoffe werden bei der Runderneuerung von Altreifen nur für die neue Lauffläche benötigt.

6.3.2. Reifenleben eines runderneuterten Reifens gegenüber dem Reifenleben Neureifens

Der Vergleich der Neureifen-Herstellung mit der Altreifen-Runderneuerung, der deutlich zugunsten der Runderneuerung ausfällt, wird relativiert, wenn zusätzlich der Aufwand für die Nutzung von Neureifen und runderneuterten Reifen betrachtet wird. Diese Betrachtungsweise stellt streng genommen eine Verletzung des für die vorliegende Studie definierten Bilanzrahmens dar. Die Einbeziehung der Nutzungsphase bei der Darstellung des runderneuterten Reifens stellt für die Autoren jedoch einen wichtigen Aspekt dar, so daß das Verlassen des Bilanzrahmens als vertretbar angesehen wird.

Im folgenden werden zwei unterschiedliche Szenarien betrachtet: eine Rollwiderstandserhöhung um 3 % entspricht dem durch qualifizierte Runderneuerung unter Einsatz bester verfügbarer Runderneuerungstechnik erreichbaren Wert; eine Rollwiderstandserhöhung um 10 % repräsentiert den Mittelwert runderneuerter Reifen. In einem ersten Schritt werden die Umweltwirkungen, die durch die Nutzung eines runderneuterten Reifens entstehen, mit denen eines Neureifens verglichen. In der zweiten Stufe werden die Umweltwirkungen, die durch den Prozeß der Runderneuerung und durch die Nutzung des runderneuterten Reifens entstehen, mit denen

der Herstellung eines Neureifens und dessen Nutzung verglichen.

6.3.2.1. Nutzung eines runderneuterten Reifens gegenüber einem Neureifen

Wie aus Abbildung 17 hervorgeht, wird durch die Erhöhung des Rollwiderstandes eines runderneuterten Reifens um 3 % bzw. 10 % eine Erhöhung aller Umweltwirkungen, die in der Nutzungsphase des runderneuterten Reifens entstehen, um ebenfalls ca. 3 % bzw. ca. 10 % gegenüber einem Neureifen hervorgerufen.



Vulkanisation von Reifen

6. Verwertung von Altreifen

0. Verwertung von Altreifen

(Sach- und Wirkungsbilanz)

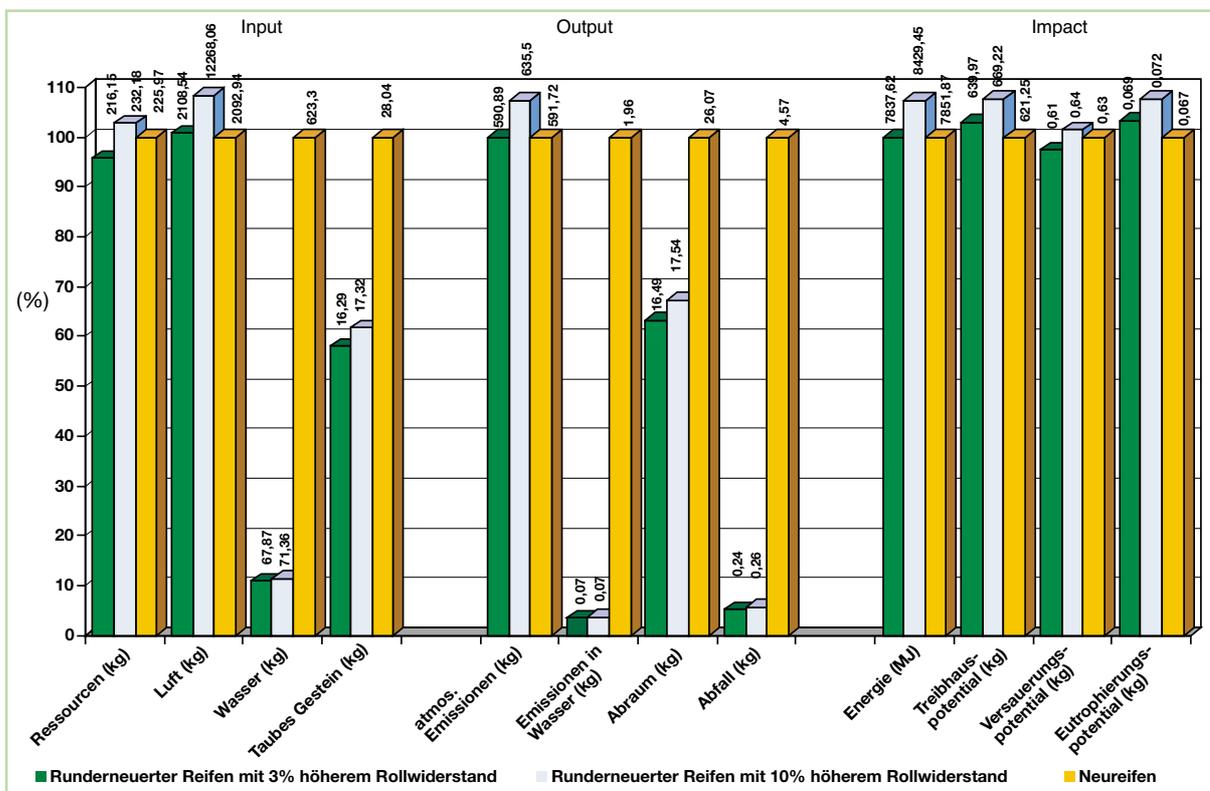


ABB. 17: GEGENÜBERSTELLUNG DER NUTZUNG EINES NEUREIFENS MIT DER NUTZUNG EINES RUNDERNEUERTEN REIFENS (3 % BZW. 10 % ERHÖHTER ROLLWIDERSTAND).

Die einzelnen Parameter sind in Kategorien zusammengefaßt dargestellt. Die Kategorien der Nutzung eines Neureifens werden als 100 % gesetzt und die Daten des runderneuertem Reifens werden relativ dazu dargestellt. Die Zahlen an den einzelnen Säulen geben den absoluten Wert der aufsummierten Parameter in den Kategorien wieder. Sie sind unabhängig von der Beschriftung der Größenachse zu betrachten. Ergebnisse der Sach- und Wirkungsbilanz sind in der gleichen Abbildung dargestellt. Eingangsströme und Ausgangsströme der Sachbilanz sind als "Input" bzw. "Output" überschrieben. Die berechneten Umweltpotentiale der Wirkungsabschätzung sind als "Impact" überschrieben.

6.3.2.2. Runderneuerung und Nutzung eines runderneuertem Reifens gegenüber der Herstellung und Nutzung eines Neureifens

Wie aus Abbildung 17 hervorgeht, weist das Leben eines runderneuertem Reifens einen deutlich niedrigeren Wasserverbrauch (ca. 89 %) und geringere Belastungen des Abwassers (ca. 96 %) auf.

Dieser Effekt ist auf die Einsparung von Ressourcen, besonders Rayon und SBR, zurückzuführen. Die reduzierte Menge an Taubem Gestein (ca. 42 %) und Abram (ca. 17 %) wird durch einen geringeren Verbrauch an elektrischer Energie verursacht. Dem wirkt allerdings entgegen, daß durch den erhöhten Rollwiderstand des runderneuertem Reifens ein erhöhter Kraftstoffverbrauch auftritt, wodurch wiederum ein

Anstieg an Abram bedingt durch die Förderung und Raffination von Erdöl auftritt. Daher ist die Reduzierung der Abraummenge geringer als die Reduzierung der Menge an Taubem Gestein. Die Abnahme der Abfälle (ca. 95 %) ist auf den Erhalt der Karkasse bei der Runderneuerung zurückzuführen, da durch die Einsparung von Stahl deutlich weniger Erzaufbereitungsrückstände anfallen.

6. Verwertung von Altreifen

0. Verwertung von Altreifen

(Sach- und Wirkungsbilanz)

Da auch der qualitätsrunderneuerte Pkw-Reifen einen höheren Rollwiderstand besitzt, wird in seiner Nutzungsphase mehr Energie und Luft verbraucht. Dieser Mehrverbrauch an Energie und Luft wird durch die Einsparungen bei der Runderneuerung kompensiert. Der Ressourcenverbrauch sinkt um ca. 4,4 %. Die Einsparung an Ressourcen durch die Runderneuerung wird durch den erhöhten Verbrauch an Erdöl (Kraftstoff) nahezu aufgehoben.

Der erhöhte Kraftstoffverbrauch des Pkw verursacht einen vermehrten Ausstoß der Schadgase CO₂, NO_x und SO₂, und Methan, die jedoch durch die Einsparungen bei der Runderneuerung kompensiert werden. Trotzdem kommt es in der Folge zu einer Erhöhung des Treibhauspotentials (ca. 3,0 %) und des Eutrophierungspotentials (ca. 3,0 %). Das Versauerungspotential sinkt aber um ca. 2,7 %.

Die durch einen erhöhten Rollwiderstand verursachten Umweltwirkungen werden bei einem zugrundegelegten Anstieg des Rollwiderstands um 10 % besonders deutlich. Der Energie- bzw. Luftbedarf steigen um ca. 8 % bzw. ca. 9 % an. Der geringere Ressourcenbedarf bei der Runderneuerung wird durch den erhöhten Kraftstoffverbrauch in der Nutzung überkompensiert; es kommt zu einer Erhöhung der Ressourcenbeanspruchung vom ca. 3 %.

Aufgrund des erhöhten Kraftstoffverbrauchs steigt der Ausstoß an Schadgasen (ca. 7 %). In der Folge steigen das Treibhauspotential (ca. 8 %), das Versauerungspotential (ca. 1 %) und das Eutrophierungspotential (ca. 8 %).

Erst durch die Betrachtung des Reifens im Gesamtsystem werden die ökologischen Vor- und Nachteile der beiden betrachteten Varianten deutlich.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß sich ein qualitätsrunderneuertes Reifen mit maßvoller Rollwiderstandserhöhung ökologisch nahezu neutral verhält, wohingegen ein runderneuertes Reifen mit durchschnittlichem Qualitätsniveau insgesamt zu erhöhten Umweltwirkungen führt.



7. Auswertung

Ein Hauptziel dieser Ökobilanz ist das Auffinden von Schwerpunkten für die Vermeidung von Umweltwirkungen im Leben eines Reifens.

7.1. Dominanzanalyse

Aufgrund der Vielzahl der in dieser Bilanz betrachteten Parameter ist nicht zu erwarten, daß eine generelle Dominanz einer Phase für alle Parameter vorliegt. So erfolgt beispielsweise die höchste Belastung der Atmosphäre durch die Nutzung (Abbildung 7), die Belastung des Abwassers hingegen weist den höchsten Wert bei der Rohstoffgewinnung auf (Abbildung 7). Ein summarischer Vergleich läßt sich aber auf Basis des kumulierten Energieaufwands und der Umweltpotentiale in den einzelnen Lebensphasen durchführen.

Im Bild 18 sind der kumulierte Energieaufwand und die Umweltpotentiale dargestellt.

Es zeigt sich, daß in allen Kategorien die höchsten Belastungen für die Umwelt durch die Nutzung des Reifens entstehen. In großem Abstand folgt die Phase der Rohstoffgewinnung und des Transports, die geringste Belastung für die Umwelt entsteht durch die Produktion des Reifens. Aufgrund der eindeutigen Dominanz der Nutzungsphase gegenüber Rohstoffgewinnung, Produktion und Transport wird ersichtlich, daß hier die größten Potentiale für eine Reduzierung der Umweltwirkungen liegen: schon eine relativ geringfügige Verminderung des Rollwiderstandes kann große Effekte erzielen.

7.2. Signifikanzanalyse

Da die Nutzungsphase des Reifens die höchsten Umweltwirkungen verursacht (Kapitel 7.1.), stellt sie den Ansatzpunkt für eine effektive Reduzierung der Umweltwirkungen durch Materialvarianten dar. Der Vergleich verschiedener Varianten zeigt deutlich, daß die Substitution von Ruß in der Laufflächenmischung durch Silica zu einer Reduzierung der atmosphärischen Umweltwirkungen führt. Ursache ist der geringere Rollwiderstand des Reifens (Kapitel 5.1.). Allerdings treten bei dieser Substitution erhöhte Belastungen des Abwassers auf. In der Gesamtbetrachtung des kumulierten Energieaufwands und der Umweltpotentiale überwiegen aber die Vorteile. Beim Vergleich der Rayon- und Polyestervariante (Kapitel 5.2) ist eine eindeutige Signifikanz bezüglich des Wasserbedarfs sowie der Emissionen ins Wasser zugunsten der Polyester-Variante festzustellen.

Auf eine vergleichende Bewertung der drei untersuchten Verwertungsalternativen von Altreifen soll hier verzichtet werden, da es keine eindeutigen Vergleichskriterien gibt. Festzuhalten ist aber, daß durch alle drei Verwertungsmöglichkeiten mineralische oder fossile Ressourcen eingespart werden, da diese durch den Altreifen ersetzt werden

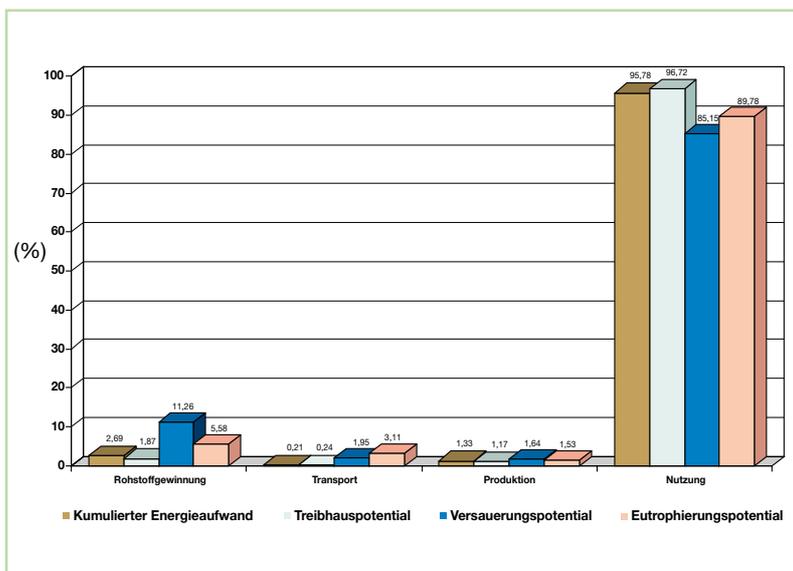


ABB. 18: RELATIVER VERGLEICH DES ENERGIEVERBRAUCHS UND VERSCHIEDENER WIRKUNGSPOTENTIALE IN DEN PHASEN DES REIFENLEBENS.

7. Auswertung

Da der Sekundärrohstoff Altreifen in anderen Produktsystemen verwertet wird, ergibt sich aus seinen inhärenten Eigenschaften ein erweiterter Nutzen. Damit erfüllt die Altreifenverwertung die Anforderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes .

7.3. Sensitivitätsbetrachtung

Ökobilanzen sind aus methodischen Gründen immer mit einer unabdingbaren Unschärfe und Subjektivität behaftet. Ursachen dafür sind vor allem die Unsicherheit und Ungenauigkeit in der Datenerfassung, die Abgrenzung des Bilanzrahmens und die Gewichtung und Bewertung der Umweltwirkungen. In der Sensitivitätsbetrachtung soll die Auswirkung möglicher Fehler auf das Bilanzergebnis abgeschätzt werden.

7.3.1. Mögliche Fehlerquellen

7.3.1.1. Bilanzierungsrahmen

Um die Nachvollziehbarkeit der Bilanzierung zu gewährleisten, war es notwendig den Bilanzierungsraum zu definieren (Kapitel 2). Indirekte Aufwendungen und Aufwendungen für Personal liegen außerhalb der Systemgrenzen, da heute noch keine Einigung besteht, ob diese Aufwendungen in eine Bilanz einfließen sollen. Bau, Wartung und Pflege von Anlagen sowie

Hilfsprozesse werden nicht in die Bilanz aufgenommen, da zum einen die anteilige Bilanzierung dieser Aufwendungen auf einen Reifen bezogen gering ist und zum anderen diese Aufwendungen in einer Bilanzierung der Anlagen berücksichtigt werden sollten.

Geräuschemissionen, die vom Reifen ausgehen können, sind von verschiedenen Parametern abhängig. Das Vorkommen und die Effizienz von Schallschutzmaßnahmen, die Transmission der Geräusche, die Entfernung zur Geräuschquelle, die lokalen Gegebenheiten und die Empfindlichkeit von Lebewesen gegenüber Geräuschen sind unterschiedlich. Eine Quantifizierung von Geräuschemissionen ist daher schwierig und wird nicht in die Bilanz einbezogen.

Es kann davon ausgegangen werden, daß der Fehler durch den Ausschluß der aufgezählten Aufwendungen kleiner ist als der Einfluß durch ungenaue Daten und fehlerhafte Allokationen (z. B. bei der Nutzung).

7.3.1.2. Allokationen

Bei Datensätzen aus externen Quellen sind Informationen über mögliche angewendete Allokationsmuster nicht verfügbar. Es kann aber davon ausgegangen werden, daß alternative Zuordnungen keinen signifikanten Einfluß auf das Bilanzergebnis

haben. Für die Bilanz wesentlich ist die Allokation der Stoff- und Energieflüsse in der Nutzungsphase des Reifens. Die Verteilung gemäß der vom Reifen ausgehenden Fahrwiderstände erscheint plausibel, weil sie die Beteiligung des Reifens am Kraftstoffverbrauch des Pkw widerspiegelt. Die Verteilung der In- und Outputströme des Zementwerks auf der Basis des energetischen Beitrags der Altreifen erscheint sinnvoll.

7.3.1.3. Abschneidekriterien

Die in dieser Bilanz dargestellten Daten, mit Ausnahme der Daten in Kapitel 5 (Tabelle 2 - Legende), umfassen sämtliche Einzelparameter. Dadurch wird ein Fehler durch die Anwendung von Abschneidekriterien vermieden.

In die erstellte Bilanz sind auch Daten von Rohstoffherstellern und Verwertern eingeflossen. Da von keinem der Datenerlieferanten angegeben wird, welche Abschneidekriterien angewendet wurden, wird davon ausgegangen, daß alle wesentlichen Daten erfaßt wurden.

7.3.1.4. Datenlücken

Nicht alle von den Rohstoff-Lieferanten bereitgestellten Daten entsprachen der Vollständigkeit, die für diese Bilanz angestrebt wurde. Diese Datenlücken wurden durch eigene

7. Auswertung

Berechnungen, Datensätze aus Datenbanken und Abschätzungen anhand der chemischen Prozesse ergänzt. Es muß aber davon ausgegangen werden, daß durch diese Vorgehensweise die auftretenden Stoff- und Energieflüsse nicht vollständig erfaßt werden. Bei den verbleibenden Datenlücken handelt es sich aber nur um Teilbereiche der jeweiligen Rohstoffbilanzen und um Rohstoffe, die nur einen geringen Anteil am gesamten Reifen ausmachen.

7.3.1.5. Annahmen/ Durchschnittswerte

Für einige Parameter lagen keine oder verschiedene Meßdaten vor, so daß Annahmen getroffen werden mußten oder mit Durchschnittswerten gerechnet wurde. Aufgrund dieser Vorgehensweise können Schwankungen in den Ergebnissen auftreten. Eine Beeinflussung der Kernaussagen der Bilanz kann jedoch ausgeschlossen werden.

7.3.1.6. Prozeß- und verfahrensbedingte Einflüsse

Für die Rohstoffgewinnung, die Energieerzeugung und die Reifenproduktion herrschen - abhängig vom jeweiligen Hersteller - nicht absolut gleiche prozeß- und verfahrenstechnische Bedingungen. Die hier benutzten Daten wurden jedoch als repräsentativ angesehen. Diese Vorgehensweise führt naturge-

mäß zu einer Unschärfe des Bilanzergebnisses; z.B. kann die Verwendung von Prozeßdaten für den Bereich Deutschland oder Europa zu Veränderungen in den absoluten Größenordnungen führen, die Kernaussagen der Bilanz werden dadurch aber nicht signifikant beeinflusst.

7.3.1.7 Datenerfassung

Die Erfassung der Daten für die vorliegende Bilanz erstreckte sich über einen Zeitraum von sechs Jahren. Änderungen in der Werkstoffbereitstellung, den verfahrenstechnischen Abläufen oder neue Konstruktionen von Anlagen, die in dem Zeitraum bis zur Fertigstellung der Bilanz erfolgten, können Auswirkungen auf das Ergebnis der Bilanz haben. Soweit bekannt, sind derartige Veränderungen in dem betrachteten Bilanzierungsraum nicht erfolgt.

7.3.1.8. Bewertungsmethode

Die Bewertung der Umweltwirkungen erfolgt anhand von Äquivalenzfaktoren, die den Beitrag des relevanten Schadstoffs zum jeweiligen Umweltpotential bestimmen. Es werden die Umweltpotentiale betrachtet, deren Gewichtungsfaktoren heute allgemein anerkannt sind^[15]. Die Gewichtungsfaktoren zur Bestimmung der Öko- und Humantoxizität sind wissenschaftlich kaum erfaßbar

(Kapitel 4.1.5). Daher werden diese Potentiale nicht absolut dargestellt, sondern verbal beschrieben. Dies dient der Vermeidung von Fehlern und Fehlinterpretationen, die durch eine wissenschaftlich nicht abgesicherte Bewertung entstehen können.

7.3.2. Auswirkungen möglicher Fehler auf das Bilanzergebnis

Die Nutzungsphase des Reifens weist das höchste Treibhaus-, Versauerungs- und Eutrophierungspotential des gesamten Reifenlebens auf (Abbildung 21). Diese Potentiale werden hauptsächlich durch die Freisetzung von CO₂, SO₂ und NO_x in allen Phasen des Reifenlebens bestimmt. Eine Veränderung in der Gewichtung dieser Schadgase in den Beiträgen zu den einzelnen Potentialen würde sich gleichermaßen auf alle Phasen auswirken.

Folglich würde die Phase der Reifennutzung immer noch den Schwerpunkt der Umweltwirkungen innerhalb des Reifenlebens bilden.

Die Dominanz der Nutzungsphase während des gesamten Reifenlebens ist sehr ausgeprägt. Selbst eine Halbierung der Beiträge aus der Nutzungsphase zu den betrachteten Umweltpotentialen (kumulierter Energieaufwand, Treibhauspotential, Versauerungs-

7. Auswertung

potential und Eutrophierungspotential) bei einer gleichzeitigen Verdoppelung der Beiträge aus der Gewinnung der Rohmaterialien für den Reifen, würde nicht zu einer Verlagerung des Schwerpunkts der Umweltauswirkungen führen. Somit kann dieses Bilanzergebnis als belastbar angesehen werden.

Der größte Wasserverbrauch und die höchsten Belastungen des Abwassers entstehen bei der Gewinnung der Rohmaterialien für den Reifen (Abbildung 19). Es müsste zu einer Halbierung des Wasserverbrauchs bei der Rohstoffgewinnung und zu einer gleichzeitigen Verdoppelung des Wasserverbrauchs in der Reifenproduktion kommen, um dieses Ergebnis der Bilanz zu verändern. Veränderungen bei den Belastungen des Abwas-

sers müssten noch deutlicher sein, um diese Aussage der Reifenbilanz zu beeinflussen.

Die Kernaussagen, die sich aus dem Vergleich der unterschiedlichen Reifen-Varianten ergeben (Energieeinsparung, Reduzierung der atmosphärischen Emissionen, Veränderungen des Wasserverbrauchs und der Belastungen des Abwassers, Kapitel 5), werden durch die aufgeführten möglichen Fehlerquellen nicht signifikant in ihrer Aussagekraft beeinflusst.

Für runderneuerte Pkw-Reifen werden in der vorliegenden Bilanz ein um 3 % sowie ein um 10 % erhöhter Rollwiderstand angenommen (Kapitel 6.3.2). Veränderungen dieses Wertes beeinflussen das Verhältnis zwischen den ökologischen Vor- und Nachteilen in der Nutzung

runderneuerter Pkw-Reifen gegenüber Neureifen deutlich (Kapitel 6.3.2).

Das Ergebnis des "umweltneutralen" Einsatzes von Altreifen im Zementwerk ergibt sich aus dem Vergleich gleicher Werke innerhalb gleicher Bilanzgrenzen. Die gewonnenen Aussagen beruhen auf den inhärenten Eigenschaften der Altreifen und des Regelbrennstoffs Steinkohle. Die Unterschiede zwischen der Energiegewinnung im Reifenkraftwerk gegenüber konventionellen Kraftwerken beruhen auf verfahrenstechnischen Unterschieden sowie auf den inhärenten Eigenschaften der unterschiedlichen Energieträger. Eine Beeinflussung der gewonnenen Ergebnisse durch die aufgeführten möglichen Fehlerquellen kann daher nahezu ausgeschlossen werden.

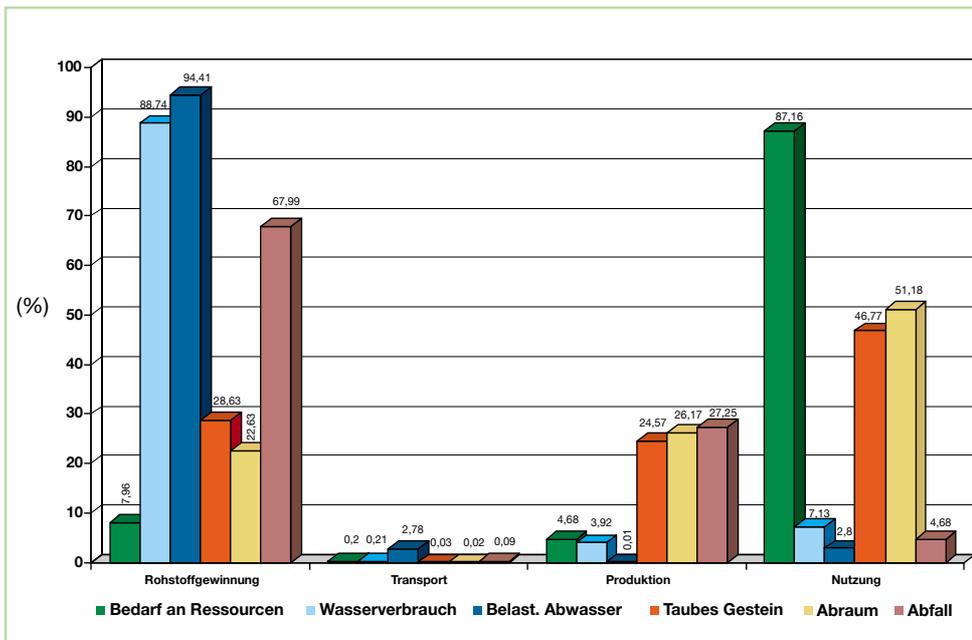


ABB. 19: RELATIVER VERGLEICH IN DEN PHASEN DES REIFENLEBENS.

8. Möglichkeiten der Einflußnahme auf die Umweltwirkungen

Die im Rahmen der Studie ermittelten Schwerpunkte der Umweltwirkungen sollen im folgenden auf mögliche Verbesserungsoptionen untersucht werden. Daraus können Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

8.1. Rohstoffgewinnung

Die Gewinnung der Rohstoffe für den Pkw-Reifen ist durch einen hohen Wasserbedarf gekennzeichnet (Abbildung 5 und Kapitel 3.1.3.). Unter ökologischen Gesichtspunkten ist der Einsatz von Kühlwasser weniger bedenklich, da sein Belastungsgrad niedriger ist als der von Prozeßwasser (Kapitel 3.1.3.). Um eine effiziente Verringerung des Prozeßwassereinsatzes zu erzielen, wäre eine Substitution der Rohmaterialien Rayon und Silica anzustreben. Rayon wird teilweise bereits durch Polyester in Pkw-Reifen ersetzt, was zu einer deutlichen Reduzierung des Wasserverbrauchs geführt hat (Kapitel 5.2.). Da die Herstellung von Silica zwar einen hohen Wasserverbrauch aufweist, andererseits die Verwendung von Silica als Füllstoff aber zu einer deutlichen Reduzierung des Rollwiderstandes des Pkw-Reifens führt, ist die Einordnung der Umweltwirkungen, die durch den Einsatz von Silica im Reifen entstehen, eine Frage der Bewertung.



Kautschukgewinnung

Die Belastungen des Abwassers in der Phase der Rohstoffgewinnung sind die höchsten während des gesamten Reifenlebens (Abbildung 7 und Kapitel 3.2.2.). In dem hier zugrunde gelegten geographischen Bilanzraum stellt Wasser bislang keine knappe Ressource dar, so daß Verringerungen von Wasserbelastungen nicht als vorrangiges ökologisches Ziel eingestuft werden. Die Substitution von Rayon durch Polyester kann aber zu einer Reduzierung der Abwasserbelastungen führen.

Die Rohstoffgewinnung ist durch ein hohes Aufkommen an Abfall gekennzeichnet (Abbildung 8 und Kapitel 3.2.3.). Der hohe Anteil der Erzaufbereitungsrückstände am gesamten Abfallaufkommen ist eher unbedenklich, da es sich dabei um ein nicht überwachungsbedürftiges Haldengut handelt. Ein Austausch von Stahlcord durch synthetische Fasern könnte ein

Ansatz zur Reduzierung der Abfallmenge sein, vorausgesetzt, daß die Umweltwirkungen aus der Faserproduktion nicht den Effekt der Abfallreduzierung aufheben.

8.2. Reifenproduktion

Durch die Produktion von Pkw-Reifen werden große Mengen an Taubem Gestein und Abraum verursacht (Abbildung 3 und Abbildung 8). Da diese Belastungen nicht unmittelbar aus der Reifenproduktion, sondern aus der Energiebereitstellung hervorgehen, kann kein unmittelbarer Einfluß auf sie genommen werden.

Die Abfälle, die bei der Produktion von Pkw-Reifen entstehen (Abbildung 8), sind zum größten Teil als nicht besonders überwachungsbedürftig einzustufen. Trotzdem ist anzustreben, die Abfallmengen getrennt zu erfassen und dann spezifisch zu vermindern sowie den Anteil der Verwertung von entstehenden Abfällen zu erhöhen.



Reifenproduktion bei Continental

8. Möglichkeiten der Einflußnahme auf die Umweltwirkungen

8.3. Reifennutzung



Die Reifennutzung wird durch einen hohen Energie- und Ressourcenverbrauch begleitet (Kapitel 3.1.1 und 4.1.1), wodurch hohe Beiträge zum Treibhaus-, Versauerungs- und Eutrophierungspotential verursacht werden (Kapitel 4.1.2. bis 4.1.4.). Im derzeitigen umweltpolitischen Interesse stehen die Nachhaltigkeit der Ressourcen sowie die Klimadebatte^[16]. Maßnahmen zur Reduzierung dieser Umweltpotentiale können auf Seiten des Reifenherstellers durch die Entwicklung rollwiderstandsreduzierter Pkw-Reifen erzielt werden. Die teilweise Substitution des Füllstoffes Ruß durch Silica hat bereits effiziente Verbesserungen in diesem Bereich ermöglicht (siehe auch Kapitel 5.1.). Weitere Potentiale zur Reduzierung der Umweltwirkungen liegen beim Automobilhersteller, beispielsweise in der Senkung des Fahrzeuggewichts, aber auch beim Pkw-Fahrer in der Fahrweise und Pflege der Reifen (z. B. Luftdruck). Hier kann der Reifenhersteller aufklärend helfen.

8.4. Altreifenverwertung

Im Falle der Verwertung von Altreifen in der Zementindustrie substituieren Altreifen zum Teil den Regelbrennstoff sowie einzelne Rohstoffanteile. Dies schont die natürlichen Ressourcen. Da die Verwertung emissionsseitig umweltneutral erfolgt, und die Gesetzgebung eine Obergrenze von 25 % Ersatzbrennstoffen am Gesamtbrennstoffbedarf festgelegt hat, sind keine Einflußmöglichkeiten auf Umweltwirkungen vorhanden.

Beim Einsatz von Altreifen in Reifenkraftwerken fällt ein hoher spezifischer Energieverbrauch gegenüber konventionellen Kraftwerken auf. Dies ist bedingt durch die Feuerungstechnik für Ganzreifen. Eine zielgerichtete Zerkleinerung der Altreifen, die den Altreifeneinsatz in effektiven Feuerungssystemen zuließe, würde diesen Mangel beheben. Augenscheinlich hohe Abfälle entstehen im betrachteten Kraftwerk durch eine zusätzliche Rauchgaswäsche, wodurch jedoch die gasförmigen Emissionen vermindert werden.

Bei der Runderneuerung fällt zunächst der Vorteil des "Rohmaterial-Geschenkes" des Altreifens bei der Reifenherstellung auf. Dieser Vorteil wird jedoch durch einen höheren Rollwiderstand runderneuerter Reifen aufgehoben, z.T. sogar ins Negative verkehrt.

Ein umweltneutrales Gesamtbild würde sich bei einer maßvollen Rollwiderstandserhöhung von ca. 3 % einstellen. Setzt man eine allgemeine Nutzengleichheit des runderneuerter Reifen zum Neureifen voraus (Kapitel 6.3), wird deutlich, daß hier noch Entwicklungsbedarf besteht.



Altreifenanlieferung und Ofenbeschickung im Zementwerk

9. Literatur

- 1 WdK (Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie), 1996, Mitteilung des WdK, Frankfurt
- 2 Umweltmanagement - Ökobilanz - Prinzipien und allgemeine Anforderungen - ISO 14040, 1997, International Standardization Organization, Genf
- 3 Umweltmanagement - Ökobilanz - Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmes sowie Sachbilanz - ISO 14041 (Entwurf), 1997, International Standardization Organization, Genf
- 4 Umweltmanagement - Ökobilanz - Wirkungsabschätzung - ISO 14042 (Entwurf), 1999, International Standardization Organization, Genf
- 5 Umweltmanagement - Ökobilanz - Auswertung - ISO 14043 (Entwurf), 1999, International Standardization Organization, Genf
- 6 IKP (Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde, Universität Stuttgart), Software zur Ganzheitlichen Bilanzierung (GaBi 3), Stuttgart
- 7 Baumgarten R., 1993, Der ökologische Reifen - Ein Versuch einer ganzheitlichen Bewertung, VDI Berichte Nr. 1088, Düsseldorf
- 8 IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung), 1997, , Ökologische Bilanzen in der Abfallwirtschaft, Fallbeispiel: Verwertung von Altreifen, Nr. 103 10 606, Heidelberg
- 9 INFU (Institut für Umweltforschung), 1996, Emissionen beim bestimmungsgemäßen Gebrauch von Reifen
- 10 Schweimer G.W., Schuckert M., 1996, Sachbilanz eines Golf, VDI Berichte, Nr. 1307, 235-255, Düsseldorf
- 11 Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 1988, Vol. A11, 5. Auflage, Weinheim
- 12 Saur K., Eyerer P., 1996, Bewertung zur Ganzheitlichen Bilanzierung, in "Ganzheitliche Bilanzierungen" Eyerer,P. Hrsg. Springer Verlag, Heidelberg
- 13 Cadle SH und Williams, 1980, Enviromental degradation of tire wear particles, Rubber Chem. Technol. 53, 903/914
- 14 VDI-RL 4600, 1997, Kumulierter Energieaufwand, Richtlinie des Verbands der Deutschen Ingenieure, Düsseldorf
- 15 IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change), 1995, 1994 IPCC supplement. IPCC Secretariat, World Meterological Organisation, Genf
- 16 Bundesumweltministerium, 1998, Nachhaltige Entwicklung in Deutschland - Entwurf eines umweltpolitischen Schwerpunktprogramms, Berlin
- 17 Für die Berechnung der zeitlichen Veränderung des Abriebs (A) wurden folgende Gleichungen und Konstanten benutzt:

Anreicherung	$d(A)/dt = k_1$	(1)
Abbau	$d(A)/dt = -k_2(A)$	(2)
Zeitgesetz	$(A) = (k_1/k_2)\{1 - \exp(-k_2t)\}$	(3)
Gleichgewichtssituation	$(A)_\infty = k_1/k_2$ für $t = \infty$	(4)

Konstanten:	$k_1 = 1000/(4 \cdot 365) = 0,685$ [g/Tag]	für einen Reifen
	$k_1 = 46 \cdot 10^9 / 365 = 0,126 \cdot 10^9$ [g/Tag]	für alle PKW-Reifen in der BRD
	$k_2 = 0,007$ [1/Tag]	auf überörtlichen Straßen

- 18 Bodenvolumen V (=Reifen-Laufstrecke*Abrieb-Ablagerungsweite*2*Abrieb-Eindringtiefe)
 $V = 228 \cdot 10^6 \cdot 25 \cdot 2 \cdot 0,1 = 1,14 \cdot 10^9$ [m³]

10. Anhang

Beiträge zum Treibhauspotential (Zeithorizont 100 Jahre)

VERBINDUNG	TREIBHAUSPOTENTIAL [KG CO ₂ -ÄQUIVALENTE]
Kohlendioxid (CO ₂)	1
Methan (CH ₄)	24,5
Distickstoffmonoxid (Lachgas, N ₂ O)	320
Kohlenmonoxid (CO)	3

Beiträge zum Versauerungspotential

VERBINDUNG	VERSAUERUNGSPOTENTIAL [KG SO ₂ -ÄQUIVALENTE]
Schwefeldioxid (SO ₂)	1
Stickoxide (NO _x)	0,7
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	1,88
Fluorwasserstoff (Flußsäure, HF)	1,6
Chlorwasserstoff (Salzsäure, HCl)	0,88
Ammoniak/Ammonium (NH ₃ /NH ₄)	1,88

Beiträge zum Eutrophierungspotential

VERBINDUNG	EUTROPHIERUNGSPOTENTIAL [KG PO ₄ -ÄQUIVALENTE]
<i>Emissionen in Luft:</i>	
Phosphat (PO ₄)	1
Ammoniak (NH ₃)	0,33
Nitrat (NO ₃)	0,42
Stickoxide (NO _x)	0,13
<i>Emissionen in Wasser:</i>	
Phosphat (PO ₄)	1
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	0,022
Ammoniak/Ammonium (NH ₃ /NH ₄)	0,33

Kritische Prüfung der Ökobilanz-Studie

Bericht
Kritische Prüfung der Ökobilanz-Studie
Produkt-Ökobilanz (LCA) eines PKW-Reifens



**ZERTIFIZIERUNGS- UND
UMWELTGUTACHTER GESELLSCHAFT**

Auftragsnummer: 328 227 01

**Bericht
über die kritische Prüfung der Ökobilanz-Studie
gemäß DIN EN ISO 14040 ff.**

Produkt-Ökobilanz (LCA) eines PKW-Reifens

Auftraggeber:
Continental AG
Postfach 1 69

30001 Hannover

Ersteller der Ökobilanz-Studie:

Continental AG
Bereich Umweltschutz/Recycling
Dr. Silke Krömer, Dr. Eckhard Kreipe, Dr. Diethelm Reichenbach, Dr. Rainer Stark

Externer Sachverständiger:

TÜV Nord Zertifizierungs- und Umweltgutachter Gesellschaft mbH,
akkreditiert bei der DAU-Deutsche Akkreditierungs- und Zulassungsgesellschaft für Umweltgutachter
mbH, Registr.-Nr. DE-V-0158
Dr. Johann Josef Hanel, Umweltgutachter, DE-V-0058
Dr. Winfried Hirtz, Umweltgutachter, DE-V-0151

Auftrags-Nr.: 328 227 01

Auftrags-Datum: 24.02.1999

Prüfgrundlage: DIN EN ISO 14040ff. : 1997

DIN EN ISO 14041ff. : 1997

DIN EN ISO 14042ff. : 1999

DIN EN ISO 14043ff. : 1999

Kritische Prüfung der Ökobilanz-Studie

1 Allgemeines

1.1 Gegenstand und Aufgabenstellung

Die Continental AG, Umweltschutz, hat eine vergleichende Produkt-Ökobilanz (LCA) eines Pkw-Reifens ausgearbeitet. Mit Schreiben vom 24.02.1999 beauftragte die Continental AG die TÜV Nord Zertifizierungs- und Umweltgutachter Gesellschaft mbH (TÜV Nord ZUG) als unabhängige, externe Stelle mit der kritischen Prüfung dieser Ökobilanz-Studie gemäß DIN ISO 14040 ff.

Seitens der TÜV Nord ZUG wurde die Begutachtung von nach Umweltauditgesetz zugelassenen Umweltgutachtern vorgenommen: Dr.-Ing. Johann Josef Hanel, Dr.-Ing. Winfried Hirtz.

Auftragsgemäß bestand das Ziel der kritischen Prüfung darin, die Zuverlässigkeit, die Transparenz, die Relevanz und die Repräsentativität der bei der vorgelegten Ökobilanz angewandten Methodologien hinsichtlich

- Bilanzierungsziel und -rahmen
- Sachbilanz
- Wirkungsabschätzung und
- Bilanzbewertung

zu überprüfen.

1.2 Vorgehensweise

Unter Beachtung übergeordneter Gütekriterien (i.w. Transparenz, Reproduzierbarkeit, Qualität der verwendeten Daten, Offenlegung von Datenherkunft) wurde bei der kritischen Prüfung wie folgt vorgegangen:

- Überprüfung von Bilanzierungsziel und -rahmen
- Funktion und funktionelle Äquivalenz
- Systemgrenzen / Bilanzrahmen (Raum, Zeit, Technologie)
- Allokationsverfahren mit den gewählten spezifischen Zu-/Verteilungsregelungen
- Auswahl signifikanter Parameter und Stoffe
- Überprüfung der ausgeführten Sachbilanz
- Input/Output-Analyse (Hauptketten)
- verwendete Input/Output-Daten incl. deren Zuverlässigkeit
- Systematik, Vollständigkeit und Plausibilität der Input/Output-Analyse

- Sensitivitätsanalyse und Fehlerabschätzung
- Plausibilität und Seriösität der Berechnungen
- Berücksichtigung von vorgelegten Prozeßketten, Koppelprodukten und sekundären Nachnutzungseffekten
- Überprüfung der Wirkungsabschätzung
- Auswahl der Wirkungskategorien (sach- und problemorientiert)
- Aggregation der Daten hinsichtlich der Wirkungskategorien
- Überprüfung der Bewertung vergleichender Aussagen infolge der Wirkungsabschätzung

Bei dieser Prüfung wurden im repräsentativen Umfang relevante methodologische Verfahren und Unterlagen sowie Datenerhebungs- und Berechnungsschritte eingesehen, u.a. direkt am Rechner. Das einschlägige Fachschrifttum der Produkt-Ökobilanztechnik ist in erforderlichem Umfang hierbei berücksichtigt worden.

Kritische Prüfung der Ökobilanz-Studie

2. Ergebnis der kritischen Prüfung

2.1. Ziel der Studie

Die Ziele der Ökobilanzstudie sind klar und eindeutig definiert; ebenso werden externe und interne Zielgruppen für die Studie benannt. Die einleitende (Kurz-) Darstellung zur Bilanzierung eines Reifens liefert in ausreichendem Umfang sachdienliche Informationen, um die angestrebte, in ökologischer Sicht ganzheitliche Betrachtungsweise nachvollziehbar zu verdeutlichen.

2.2. Untersuchungsrahmen

Als Bilanzobjekt der Studie wird ein Pkw-Sommerreifen der Continental Hauptlinie im Vergleich mit unterschiedlichen Reifenvarianten und der Verwertung von Altreifen betrachtet. Der Bilanzierungsrahmen (Bilanzgrenzen) wird hinsichtlich Raum, Zeit und Technologie innerhalb des gesamten Systems definiert und abgegrenzt. Die Bilanzgrenzen sind kompatibel mit der gewählten funktionalen Einheit des Bilanzobjektes, die als 50.000 km Laufleistung im Reifenleben festgelegt ist (Regellaufleistung).

Innerhalb des Bilanzgebietes werden alle relevanten Komponenten, Bauteile und Prozesse erfaßt, analysiert und letztlich

zu 5 bilanzobjekttypischen Hauptmodulen für die nachfolgende Sachbilanz zusammengefaßt:

- Herstellung der Rohmaterialien für Reifen
- Produktion des Reifens
- Nutzung des Reifens
- Altreifenverwertung
- Transport

Die technologiebedingte Vielfalt bei den in den Modulen zusammengefaßten Komponenten, Bauteilen und Prozessen ist bei sonst unveränderten Gegebenheiten auf Standardkomponenten der heutigen Technologiegeneration transformiert worden, eine unseres Erachtens sinnvolle und zweckmäßige Vorgehensweise. Die graphische und tabellarische Darstellung der einzelnen Module belegt die Systematik und Vollständigkeit der gewählten Vorgehensweise. Es wird eine 100% Bilanzierung erreicht.

Die bei der Definition des Bilanzierungssystems vernachlässigbaren Effekte und Einflüsse werden erörtert und - soweit relevant - aufgelistet.

Zusammenfassend ist zum gewählten Untersuchungsrahmen festzustellen, daß alle relevanten Einflußgrößen im Rahmen des definierten Bilanzraumes

nach dem heutigen Stand der Ökobilanztechnik erfaßt und berücksichtigt werden.

2.3. Sachbilanz

Die Input- / Output- Analyse und die Dokumentation der Sachbilanz zur Produktökobilanz (LCA) eines PKW-Reifens ist anhand der og. Hauptmodule mittels EDV erfolgt.

2.3.1. Datenquellen

Die Prozesse in den Hauptketten der einzelnen Module sind realitätsnah beschrieben. Die verwendeten Daten beruhen zum einen auf allgemein anerkannten Dateien (PE/IKP 1998: Ganzheitliche Bilanzierung, GaBi, Version 3), zum anderen auf Quellen der Continental AG. Die Datengrundlage ist gemäß dem verwendeten EDV-System umfangreich und wurde zum Erreichen der Datensymmetrie entsprechend ergänzt. Dies betraf z.B. den Abraum aus der Erdölgewinnung oder die Kautschuktransporte. Die Daten sind nachvollziehbar und für diese Bilanz repräsentativ. Alle Daten der Hersteller zu einzelnen Inhaltsstoffen, die nicht in der Datenbank enthalten sind, wurden kritisch geprüft, z.B. Ruß, Silica. Sie sind in sich schlüssig.

Kritische Prüfung der Ökobilanz-Studie

2.3.2 Plausibilitäts- und Vollständigkeitsprüfung

Die Systemgrenzen werden auch in der EDV systematisch und konform zu den definierten Bilanzgebieten abgebildet. Sie sind dort gezogen, wo kein (wesentlicher) Einfluß mehr auf das Teilergebnis und kein Einfluß auf das Gesamtergebnis mehr zu erwarten ist (vgl. durchgeführte Sensitivitätsanalysen). Es ist eine hohe Datenqualität und Datensymmetrie zu attestieren. Die Daten sind im Rahmen der dargelegten Randbedingungen vollständig.

Stichprobenprüfungen wurden für alle 5 Sachbilanzbereiche (Hauptmodule) durchgeführt. Dabei wurden die Richtigkeit der Bilanzierungen und die Plausibilität der Berechnungen und Ergebnisse an ausgewählten Parametern (z.B. CO₂-Emissionen, Materialinput, Abfall etc.) über die gesamte Bilanz geprüft. Innerhalb der Bilanz wurde die richtige Verknüpfung der Prozeßkette, die Einbeziehung von Teilbilanzen und die Datengrundlage geprüft. Bei Änderung von Modulen wurde die Neuberechnung aktiv begleitet, wie z.B. bei der Berechnung des Moduls "Zinkerzeugung" statt "Eisenerzeugung".

Um die Rückverfolgbarkeit von Daten auf Ursprungsdaten zu gewährleisten, wurden sowohl die Berechnungen als auch die

Dokumentation dazu untersucht.

Im Rahmen der iterativen Begleitung wurden Anregungen der Umweltgutachter zur Ergänzung der Dokumentation (100% Nachvollziehbarkeit) aufgenommen. Dies betraf z.B. den Heizwert der Silica- und Ruß-Altreifen oder die nicht nutzbare thermische Energie im Reifenkraftwerk. Zum Projektabschluß waren alle Daten vollständig nachvollziehbar.

Alle signifikanten Parameter sind vorhanden, repräsentativ, systematisch angelegt und vollständig bilanziert. Die Bilanzen und die hinterlegten Datenerhebungs- und Berechnungsverfahren sind transparent und nachvollziehbar.

2.3.3. Allokationen

Allokationen treten insbesondere bei der Nutzungsphase auf. Sie sind nicht in einer allgemein zugänglichen Datenbank vorhanden und wurden deshalb von der Continental AG erarbeitet. Sie sind vollständig übersichtlich und plausibel in der Dokumentation dargestellt. Soweit Allokationen aus Datenbanken in den Prozeßplan importiert werden, ist die Datengrundlage ausreichend.

Allokationen aus den Datenbanken wurden bereits dort berücksichtigt.

Weitere Allokationen sind für die Verwertung von Altreifen im Zementwerk und bei vorgelagerten Ketten von Erdölprodukten vorgenommen worden und plausibel.

2.3.4. Fehlerabschätzungen und Sensitivitätsanalyse

Separate Fehlerabschätzungen für die einzelnen Parameter wurden nachgewiesenermaßen durchgeführt und sind Bestandteil der Dokumentation. Die sich aus diesen möglichen Fehlern ergebenden Aussagen sind stabil.

Die Berechnungen zu Sensitivitäten und die dazu benötigte Parametrisierung wurde geprüft. Wesentliche Kriterien waren dabei aus der Nutzungsphase der Rollwiderstand und der Luftwiderstand. Weitere, zur Absicherung der Bilanzgrenzen hinzukommende Stoffe, wie Silica, wurden ebenfalls erfaßt. Die Sensitivitäten wurden plausibel berechnet.

2.4. Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung baut auf den Daten der Sachbilanz auf. Sach- und Wirkungsbilanz wurden textlich und bildlich voneinander getrennt. Die Auswahl der Wirkungsindikatoren ist in Übereinstimmung mit den Zielen und den Untersuchungsrahmen der Ökobilanzstudie erfolgt.

Kritische Prüfung der Ökobilanz-Studie

Um die bei der Sachbilanz erzielbaren Daten und Informationen mittels einer Wirkungsabschätzung überhaupt interpretieren zu können, bedarf es einer Datenverdichtung unter Verwendung von zu definierenden Wirkungskategorien.

Unter Beachtung der Ziele der Studie, der gewählten funktionalen Einheit und der im Bilanzraum verwendeten (Standard-) Technologien sind in der Studie die Wirkungskategorien

- Ressourcenverbrauch in Form von Primärenergieaufwand
- Treibhauspotential (GWP - global warming potential)
- Versauerungspotential (AP - acidification potential)
- Eutrophierungspotential (NP - nitrification potential)
- Ökotoxisches und humantoxisches Potential

festgelegt worden.

Diese quantifizierbaren Wirkungskategorien repräsentieren in Form von lokalen, regionalen und globalen Wirkungsindikatoren (Leitkategorien) das Bilanzobjekt einschließlich der eingesetzten Technologie. Die Zuordnung der Einzeldaten zu den Wirkungsindikatoren ist gegeben. Die Aggregation von Daten erfolgt entsprechend der jeweiligen Umweltwirkung und

ist entsprechend der wissenschaftlich begründeten Dosis-Wirkungsbeziehung gemäß der Datengrundlage (Saur + Eyerer 1996) vorgegeben. Die Berechnungen wurden nachvollzogen. Die im EDV-System hinterlegten Faktoren sind international anerkannt.

Die im engeren Sinne spezifische Problematik der Human- und Ökotoxizität - es handelt sich eher um eine Risikoabschätzung - ist dabei erfaßt worden. Für die Human- und Ökotoxizität ist die Nutzungsphase wesentlicher Expositionspfad. Neben dem Einatmen abgeriebener Partikel (individueller Belastungspfad) ist hier die Ablagerung von toxischen Stoffen auf Vegetation und Straßenrand betrachtet worden. Die Aggregation der Toxizitäts-Daten und Stoffgruppen zu einer Human- oder Toxizitätsbewertungszahl ist in dieser Bilanz nicht möglich gewesen und aufgrund des flächigen Eintrages und der individuellen Aufnahme auch nur modellhaft erörterbar.

Weitere Wirkungskategorien sind mit Bezug auf das Bilanzierungsziel von nachrangiger Bedeutung.

Die Erschöpfung von Rohstoffen (Erdöl, Kautschuk) wird in der Studie nicht betrachtet. Dies ist in Anbetracht des Bilanzrahmens und der übergeordneten industriellen Nutzung dieser Rohstoffe u.E. angemessen.

Die Datenverdichtung auf die o. g. Leitkategorien ist auf der Basis allgemein anerkannter Äquivalenzfaktoren in übersichtlicher, zuverlässiger und gut nachvollziehbarer Weise vorgenommen worden. Die Ergebnisdarstellung und -erörterung für die in der Ökobilanz-Studie betrachteten Fälle

- Herstellung der Rohmaterialien für Reifen
- Produktion des Reifens
- Nutzung des Reifens
- Altreifenverwertung
- Transporte

ist ausgewogen und in sich schlüssig.

2.5. Auswertung

Die vorgelegte Auswertung der Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung orientiert sich konsequent und sachgerecht an den definierten Zielen der Ökobilanz-Studie. Anwender- und zielgruppenspezifische Empfehlungen werden abgeleitet, verbunden mit deutlichen Abgrenzungen auf deren Aussagekraft infolge der heutigen Konfiguration der Standardtechnologie der Reifenherstellung bzw. Alternativen, die der Ökobilanzstudie zugrunde gelegt worden sind.

Kritische Prüfung der Ökobilanz-Studie

Die Altreifenverwertung wird in drei Alternativen angesprochen, die die z.Z. bedeutsamsten Möglichkeiten darstellen.

Die wesentlichen Umwelteinwirkungen durch die Verwertung von Altreifen werden analysiert und erörtert, dies gilt insbesondere für die Alternative "runderneuerter Reifen". Hierbei ist ein direkter Vergleich wegen der fehlenden funktionellen Äquivalenz nur begrenzt möglich. Die angemessen vorgenommene separierte Bilanzbetrachtung für den runderneueren Reifen mit dem Neureifen gibt dazu wertvolle Ergebnisse und Hinweise, insbesondere für die jeweiligen Nutzungsphasen.

Mit Verweis auf die u.E. zutreffende, derzeit fehlende Marktrelevanz werden neuere Verfahren, wie z.B. der Einsatz von Gummigranulaten und -mehlen, in der Bilanz nicht behandelt.

Empfehlungen sind als solche gekennzeichnet und deutlich von Sachbilanz und Wirkungsabschätzung getrennt.

3. Zusammenfassung der kritischen Prüfung

Die von uns anhand der Anforderungen der Norm DIN EN ISO 14040ff. durchgeführte kritische Prüfung der Ökobilanz-Studie (LCA) eines PKW-Reifens läßt sich wie folgt zusammenfassen:

- Die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden erfüllen die Anforderungen der Norm DIN EN ISO 14040 : 1999. Sie sind wissenschaftlich begründet und entsprechen dem Stand der Ökobilanztechnik.

- Die verwendeten Daten sind in Bezug auf das Ziel der Studie hinreichend, zweckmäßig und qualifiziert.

- Die Auswertungen berücksichtigen das Ziel der Studie sowie die erkannten Einschränkungen.

- Die vorgelegte Studie ist in sich schlüssig und transparent.

Über die dargestellte durchgeführte kritische Prüfung wird eine Gültigkeitserklärung ausgestellt.

Hannover, 23. Juli 1999



Dr.-Ing. Johann Josef Hanel
Umweltgutachter



Dr.-Ing. Winfried Hirtz
Umweltgutachter

GÜLTIGKEITSERKLÄRUNG



Dem Unternehmen

Continental AG
Vahrenwalder Str. 9

30165 Hannover

wird bestätigt, daß die vorgelegte Produkt-Ökobilanz

Produkt-Ökobilanz (LCA) eines PKW-Reifens

unter Beachtung der Grundsätze und des Standes der Öko-Bilanztechnik insbesondere hinsichtlich

- ordnungsgemäßer Methodologien
- repräsentativer Bilanzierungs- und Wirkungskategorien
- durchgängiger Transparenz und Konsistenz

erstellt wurde.

Durch eine kritische Prüfung - Bericht 328 227 01 wurde der Nachweis erbracht, daß die Forderungen der Norm-Reihe

DIN EN ISO 14040 ff.

bei der vorgelegten Produkt-Ökobilanz erfüllt sind.

Hannover, den 23. Juli 1999

Dr. Johann Josef Hanel
Umweltgutachter



Dr. Winfried Hirtz
Umweltgutachter

**ZERTIFIZIERUNGS- UND
UMWELTGUTACHTER GESELLSCHAFT**

Am TÜV 1 • 30118 Hannover