

**Umfassende Ökobilanz der Fahrzeugmodelle
der Mobility Flotte 2000**

**Neue Gewichtungsmethode für Ökobilanzen
Mobility-Umweltbelastungspunkte'97
MUBP'97**

Draft 5.Jan.2001

**Auftraggeber: Mobility Car Sharing Schweiz, Sabine
Ziegler, Abt. Forschung & Entwicklung
Ausland**

Autor: Gabor Doka, Doka Ökobilanzen, Zürich

Zürich, Januar 2001

Inhalt

<u>GLOSSAR</u>	<u>5</u>
<u>EINFÜHRUNG</u>	<u>7</u>
<u>VORSTUDIE DOMINANZANALYSE</u>	<u>10</u>
<u>KRITIK AN DER VCS-UMWELTAUTOLISTE</u>	<u>12</u>
<u>NETTOBILANZ LEICHTBAUMATERIALIEN</u>	<u>18</u>
<u>ÖKOBILANZ DER FAHRZEUGMODELLE DER MOBILITY-FLOTTE</u>	<u>21</u>
<u>KRITIK</u>	<u>94</u>
<u>AUSBLICK</u>	<u>95</u>
<u>LITERATUR</u>	<u>95</u>
<u>ANHANG A LÄRMFORMELN</u>	<u>101</u>
<u>ANHANG B AUFTEILUNG DER HC-EMISSIONEN</u>	<u>108</u>
<u>ANHANG C LÄRMARME PNEUS</u>	<u>111</u>

Inhaltsverzeichnis

GLOSSAR	5
EINFÜHRUNG	7
Ein paar grundlegende Gedanken zur Umweltbelastung	8
VORSTUDIE DOMINANZANALYSE	10
KRITIK AN DER VCS-UMWELTAUTOLISTE	12
NETTOBILANZ LEICHTBAUMATERIALIEN	18
ÖKOBILANZ DER FAHRZEUGMODELLE DER MOBILITY-FLOTTE	21
Vorgehen	21
<i>Zieldefinition</i>	22
<i>Funktionale Einheit</i>	23
<i>Systemgrenzen</i>	24
<i>Bewertungsmethode</i>	25
<i>Die Methode der ökologischen Knappheit UBP'97</i>	26
<i>Erweiterung von UBP'97 zu MUBP'97</i>	30
Ökoinventar (Sachbilanz)	49
<i>Fahrzeug-Herstellung</i>	50
<i>Import in die Schweiz</i>	52
<i>Fahrzeug-Betrieb</i>	52
<i>Fahrzeug-Unterhalt</i>	64
<i>Strasseninfrastruktur</i>	64
<i>Flächenverbrauch und Landschaftszerschneidung</i>	65
<i>Fahrzeug-Entsorgung</i>	65
Resultate und Diskussion	66
<i>Vorbemerkung zur Signifikanz</i>	66
<i>Resultate Einzelfahrzeuge</i>	67
<i>Resultate Fahrzeugkategorien</i>	78
<i>Mobility Durchschnittsfahrzeug</i>	81
Persönlicher Ökologischer Nachhaltigkeits-Check	82
Relevanz der neuen Methode MUBP'97	83
Blauer Engel	83
<i>Korrelationen</i>	84
<i>Korrelation mit Resultaten der VCS-Liste</i>	91
KRITIK	94
Unsicherheiten	94
<i>Unsicherheiten im Inventar</i>	94
<i>Unsicherheiten der Bewertung</i>	95
AUSBLICK	95
LITERATUR	95

ANHANG A LÄRMFORMELN	101
Altes Rechenmodell zur Voraussage von Strassenverkehrs-Lärm EMPA 86	101
<i>Berechnung des Mittelpegels Leq:</i>	101
<i>Zusätzlicher Lärm durch ein einzelnes Fahrzeug</i>	102
Neues Strassenverkehrs-Lärmmodell EMPA 1997	103
Mittelpegelberechnung	105
ANHANG B AUFTEILUNG DER HC-EMISSIONEN	108
ANHANG C LÄRMARME PNEUS	111
<i>Sommerreifen</i>	112
<i>Winterreifen</i>	113

*"Die Notwendigkeit zu entscheiden
ist stets grösser als das Mass unserer Erkenntnis"*

Philosoph Immanuel Kant

*"Eine Entscheidung wird dann gefällt,
wenn man nicht mehr weiterdenken mag"*

(A conclusion is the place where you got tired of thinking)

Komiker Steven Wright

Glossar

Begriffe

UBP'97 Umweltbelastungspunkte Version 1997. Die Umweltbelastungspunkte-Methode ist eine Möglichkeit in einer Ökobilanz verschiedenste Umweltbelastungen zu gewichten und zu einer einzigen Umweltbelastungszahl zusammenzufassen. Die 'Masseinheit der Umweltschädigung' wird ebenfalls als Umweltbelastungspunkte oder UBP bezeichnet. Die Methode wird auch als 'Methode der ökologischen Knappheit', 'ecological scarcity', 'eco-scarcity' oder 'BUWAL-Methode' bezeichnet.

MUBP'97 Mobility-Umweltbelastungspunkte. Neue Gewichtungsmethode für Umweltbelastungen in Ökobilanzen, welche insbesondere bisher nicht einbezogene, autospezifische Belastungen berücksichtigt. Es handelt sich um eine kompatible Erweiterung der existierenden UBP'97-Methode (s.dort) um die Umweltschadenskategorien Gesundheitsschäden am Menschen durch Lärm und Verkehrsunfälle, Kohlenmonoxidemissionen in die Luft, Flächenbeanspruchungen und Landschaftszerschneidung. Die 'Masseinheit der Umweltschädigung' wird ebenfalls als Mobility-Umweltbelastungspunkte oder MUBP bezeichnet.

Ökobilanz Unter dem Begriff Ökobilanz versteht man eine Auflistung aller Energie- und Stoffströme, welche ein System verursacht sowie eine Bewertung dieser Ströme nach ihrer Umweltschädlichkeit. Damit lassen sich Umwelteinwirkungen verschiedener Prozesse analysieren und direkt vergleichen.

Precombustion Alle Aufwendungen, welche geleistet werden müssen, um einen Treib- oder Brennstoff zum Konsum bereitzustellen (Pre-combustion = vor der Verbrennung). Die ökologischen Belastungen aus der Precombustion können im Vergleich zu den Belastungen aus der Verbrennung selbst (Abgase, Abgasreinigung) nicht unerheblich sein.

Ökofaktor Der Ökofaktor dient als Gewichtungsmass für die potentielle ökologische Schädlichkeit einer Einwirkung. Ökofaktoren erlauben eine Zusammenfassung oder Aggregation verschiedener Umwelteinwirkungen auf eine einzige Skala. Werden verschiedene Einwirkungen (wie z.B. kg Stickoxide, kg Kohlendioxid oder Anzahl lärmbelasteter Personen) mit dem entsprechenden Gewichtungsfaktor multipliziert, ergeben sich Umweltbelastungen mit gleichen Einheiten, welche zusammengezählt werden können.

Abkürzungen

%HA	Percent highly annoyed, Prozentanteil der Bevölkerung, welche sich durch Lärm 'stark gestört' empfindet.
AKF	Aktivkohlefaller zur Vermeidung von Benzin-Verdampfungsverlusten
BFS	Bundesamt für Statistik
bfu	Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
CF	'case fatality', Kenngrösse bei Verkehrsunfällen: Anzahl Tote pro 10'000 Verunfallte (Verunfallte sind Tote + Verletzte)
dB	Dezibel (Dezi-Bel). Ein Bel ist ein logarithmisches Mass der Schalleistung. Ein Dezibel ist ein Zehntel Bel. In der vorliegenden Studie sind alle dB-Werte 'A-gefilterte' dB(A)-Werte.
Fzkm	Fahrzeugkilometer = von einem Fahrzeug zurückgelegte Strecke
G-Kat	Geregelter Katalysator (bei Benzinfahrzeugen)
IGW	Immissionsgrenzwert der Lärmschutzverordnung LSV. Es gibt verschiedene IGW je nach Gebiet und Tageszeit.
LSV	Lärmschutzverordnung
NIUW	nicht intakte überregionale Wildtierkorridore
Ø	Zeichen für 'Durchschnitt'
*	Kennzeichnung für Diesel-Fahrzeug
Pkm	Personenkilometer = von einem Fahrzeug-Passagier zurückgelegte Strecke = (Anzahl Personen im Fahrzeug) mal (zurückgelegte Fahrzeugkilometer)
TJ	Energieeinheit. 1Terajoule = 1 Million Megajoule (MJ) = $10E^{12}$ Joule = 277'777 Kilowattstunden (kWh)
Δ	Zeichen für 'Differenz'

Vorbemerkung signifikante Dezimalstellen

Oft werden die in Daten angegebenen Dezimalstellen als Aussage zur Datengenauigkeit verstanden. In der vorliegenden Studie werden die Daten oft mit weit mehr als den signifikanten Dezimalstellen angegeben. Damit soll nicht impliziert werden, die Daten seien sehr genau. Im Gegenteil: Bei Ökobilanzierungen trifft man oft grosse Ungenauigkeitsbereiche an. Schwankungen von einer bis mehreren Grössenordnungen sind oft keine Seltenheit, z.B. bei Angaben zu Gehalten chemischer Elemente in Produkte-Zusammensetzungen.

In Ökobilanzen gibt es aber ungleich wie in den anderen quantitativen Wissenschaften oft keine genauen Formelsätze, um Daten herzuleiten. Die Daten werden direkt numerisch verrechnet, so wie sie benötigt werden. Daten werden oft aus Ökobilanz- oder anderen Publikationen entnommen und weiterverrechnet. D.h. die Daten "diffundieren".

Alle, die Erfahrungen mit Ökobilanzen haben, wissen um die grossen Unsicherheitsbereiche der Daten. Nun können sich aber aufgrund der oft langen "Diffusionswege" der Daten, allein wegen der – an sich korrekten – Rundung auf signifikante Dezimalstellen, Rundungsfehler aufsummieren. Um diese unnötige Unsicherheitsquelle im speziellen Umfeld der Ökobilanzierung ein-zu-dämmen und auch um eine Weiterverwendung oder Anpassung der Daten zu erleichtern, werden die hier publizierten Daten ohne spezielle Rücksicht auf signifikante Dezimalstellen angegeben.

***In der vorliegenden Studie beinhaltet die Anzahl angegebener
Dezimalstellen keine Aussage zur Datengenauigkeit.***

Einführung

In einer vorgängigen Studie wurde im Frühling 2000 eine vergleichende Ökobilanz des Mobilitätsverhaltens von Mobility-Kunden erstellt [Mertens 2000]. Dabei wurden die Umweltbelastung aus der Gesamtmobilität von Mobility-Kunden vor und nach dem Mobility-Beitritt betrachtet.

Neben öV, Fahrrad, Motorrädern und Mofas wurden in Mertens Bilanz Automobile in drei groben Klassen erfasst: Fahrzeuge mit bleifreiem und verbleitem Benzin sowie Dieselfahrzeuge. Der gesamte Lebenszyklus der Fahrzeuge wurde betrachtet. In der hier vorliegenden Studie sollen nun die von Mobility benutzten Fahrzeuge genauer betrachtet

werden. Es sollen Aussagen über die Umweltschädlichkeit *einzelner Automodelle* möglich werden.

In [Mertens 2000] wurden die Ökobilanzresultate mittels der Methode der ökologischen Knappheit¹ bewertet und vollständig zusammengefasst (Vollaggregation). Daneben wurden auch separate Analysen über Flächenbeanspruchung und Lärmbelastung verschiedener Verkehrsmittel erstellt. In der vorliegenden Studie werden diese und weitere, bisher nicht betrachtete, autospezifische Belastungen integral berücksichtigt². Es wird – basierend auf der Methode der ökologischen Knappheit UBP'97 – eine neue Bewertungsmethode MUBP'97 erarbeitet und dokumentiert.

Ein paar grundlegende Gedanken zur Umweltbelastung

Der Mensch erzeugt fast in jedem Lebensbereich (Ernährung, Freizeit, Beruf, Wohnen, Verkehr) Umweltbelastungen. Bei genauer Betrachtung muss erkannt werden, dass es nicht einzelne Handlungen oder Produkte sind, welche zu einer bedenklichen Umweltbelastung führen. Vielmehr ist es die Gesamtheit aller umweltrelevanten Tätigkeiten und insbesondere ihre Häufigkeit. Die natürliche Umwelt besitzt für die allermeisten Umweltbelastungen ein gewisses Puffervermögen. Umweltprobleme treten nicht automatisch dann auf, wenn eine Umweltbelastung, z.B. ein Schadstoffausstoss, auftritt, sondern wenn die Summe aller Umweltbelastungen ein gewisses, der Natur verträgliches Mass überschreitet. Daraus kann ein **ökologisches Nachhaltigkeitskriterium** abgeleitet werden:

$$\text{kritische Umweltbelastung} \geq \frac{\text{aktuelle Umweltbelastung}}{\text{Region} \cdot \text{Jahr}}$$

Die kritische jährliche Umweltbelastung einer Region ist diejenige Umweltbelastung, welche diese Region jährlich neutralisieren vermag, ohne langfristig Schaden zu nehmen. Umweltprobleme treten früher oder später dann auf, wenn die jährliche Umweltbelastung in einer Region die verträgliche/kritische Umweltbelastung übersteigen. Für eine ökologisch nachhaltige Situation, muss die entstehende jährliche Umweltbelastung kleiner oder gleich der kritischen jährlichen Umweltbelastung der Region sein.

¹ Auch bekannt unter den Namen "Umweltbelastungspunkte", "UBP'97" oder "BUWAL-Methode".

² Neue, in UBP'97 bisher nicht bewertete Umweltschäden betreffen Schaden am Menschen durch Lärm und Verkehrsunfälle, Kohlenmonoxidemissionen in die Luft, Flächenbeanspruchungen und Landschaftszerschneidung.

Die entstehende jährliche Umweltbelastung einer Region ist ein Produkt mehrerer Faktoren.

$$\frac{\text{Umweltbelastung}}{\text{Region} \cdot \text{Jahr}} = D \cdot L \cdot P$$

- D, Faktor Demographie:** Wie viele Personen leben im betrachteten Gebiet? Bevölkerungsdichte.
- L, Faktor Lifestyle:** Welche durchschnittlichen Konsumgewohnheiten haben die Bewohner des Gebietes? Welche Konsumprodukte werden pro Jahr und Kopf konsumiert? Konsumintensität.
- P, Faktor Produkteökologie:** Wieviel Umweltbelastung wird pro Konsumprodukt erzeugt? Ökoeffizienz der Produktion.

$$\frac{\text{Umweltbelastung}}{\text{Region} \cdot \text{Jahr}} = \frac{\text{Personen}}{\text{Region}} \times \sum_i \left(\frac{\text{Konsumprodukt } i}{\text{Person} \cdot \text{Jahr}} \cdot \frac{\text{Umweltbelastung}}{\text{Konsumprodukt } i} \right)$$

|

Demographie,
Bevölkerungsdichte

|

Lifestyle,
Konsumintensität

|

Produkteökologie,
Ökoeffizienz

Es wird erkenntlich, dass das Thema 'ökologische Nachhaltigkeit' nicht allein mit Bezug auf den Faktor 'Produkteökologie' beurteilt werden kann. Ein hoher Marktanteil an 'ökologischen' oder 'ökoeffizienten' Konsumprodukten allein ist noch keine Garantie für eine ökologisch nachhaltige Gesellschaft, bzw. eine nachhaltig tolerierbare Belastung der Region. Es muss auch dafür gesorgt werden, dass die Faktoren Lifestyle (Konsumintensität) und Demographie (Bevölkerungsdichte) ein angepasstes Ausmass aufweisen³.

Für Mobility Car Sharing bemerkenswert ist, dass der in [Mertens 2000] festgestellte ökologische Vorteil durch einen Car Sharing-Beitritt vor allem auf eine Verhaltensänderung (Faktor Lifestyle) zurückzuführen ist. Der konsumierte Mix von Transportmitteln ändert sich durch einen Car Sharing-Beitritt. In der vorliegenden Studie wird jedoch allein der Faktor Produkteökologie betrachtet, d.h. es interessiert die Frage, wie ökologisch belastend die einzelnen Fahrzeugmodelle der Mobility-Flotte sind.

³ Demnach ist es zum Beispiel auch einsichtig, dass z.B. eine bisher nachhaltige Lebensweise einer Gesellschaft nicht mehr ökologisch nachhaltig sein wird, wenn a) die Bevölkerung in einer Region über ein kritisches Mass wächst oder b) die Gesellschaft in ein zu kleines Gebiet gedrängt wird (z.B. Indigenen-Reservate)..

Vorstudie Dominanzanalyse

Aus Daten der vorgängigen Mobility-Studie [Mertens 2000] wurde eine Dominanzanalyse der Automobile erstellt. Bei einer Dominanzanalyse wird betrachtet, welche Teile eines Systems wesentlich zum Endresultat beitragen und somit als 'Löwenanteile' für die Umwelt-Bilanz bedeutend sind. Daraus kann einerseits gefolgert werden, welche Beiträge eher vernachlässigbar sind; und zum anderen, wo Verbesserungen an den Systemen ansetzen sollen um einen möglichst grossen, umweltschonenden Effekt zu haben⁴. Das betrachtete System ist hier der gesamte Lebenszyklus eines Fahrzeuges mit einer Lebensfahrleistung von 150'000 Fz-km pro Fahrzeug. Es werden drei verschiedene Autotypen unterschieden (Auto Benzin mit/ohneKat. und Diesel) sowie ein CarSharing-Fahrzeug als eine gewichtete Mischung der Typen 'Benzin mit Kat.' und 'Diesel', mit einem Verbrauch von 7l/100km. Das betrachtete Resultat ist die gesamte Umweltbelastung dieser Autotypen bewertet gemäss UBP'97. Der Lebenszyklus ist hier in folgende Teile gegliedert:

- **Umweltbelastungen aus der Herstellung der Fahrzeuge**
- **Umweltbelastungen aus Unterhaltsarbeiten für die Fahrzeuge**
- **Umweltbelastungen aus der Entsorgung der Fahrzeuge**
- **Direkte Umweltbelastungen während des Betriebs (hier Auspuff-Abgase)**
- **Indirekte Umweltbelastungen während des Betriebs (Bereitstellung von Treibstoff)**
- **Anteilmässige Umweltbelastung für die Strasseninfrastruktur**

Die Abbildung unten zeigt, dass beim Auto ohne Katalysator die direkten Umweltbelastungen während des Betriebs noch eine sehr dominante Grösse darstellen (65% der Gesamtbelastung). Beim Auto mit Katalysator und Dieselfahrzeugen werden auch andere Systemteile zunehmend wichtig, wie etwa die Aufwendungen der Fahrzeugherstellung (rund ein Fünftel der Gesamtbelastung) oder die Belastungen aus der Bereitstellung von Treibstoff (Precombustion, ein Drittel bis ein Fünftel).

⁴ Es nützt wenig, wenn an einem - ökologisch gesehen - kaum relevanten Teil eines Systems grosse Anstrengungen zur Optimierung unternommen werden. Auch wenn die Belastung eines solchen untergeordneten Teils beispielsweise halbiert wird, wird die Gesamtbelastung des ganzen Systems sich nur unmerklich ändern. Umgekehrt kann oft eine relativ kleine Verbesserung an einem dominanten – d.h. bestimmenden – Systemteil bereits mehr bringen als grosse Verbesserungen an unwesentlichen Teilen.

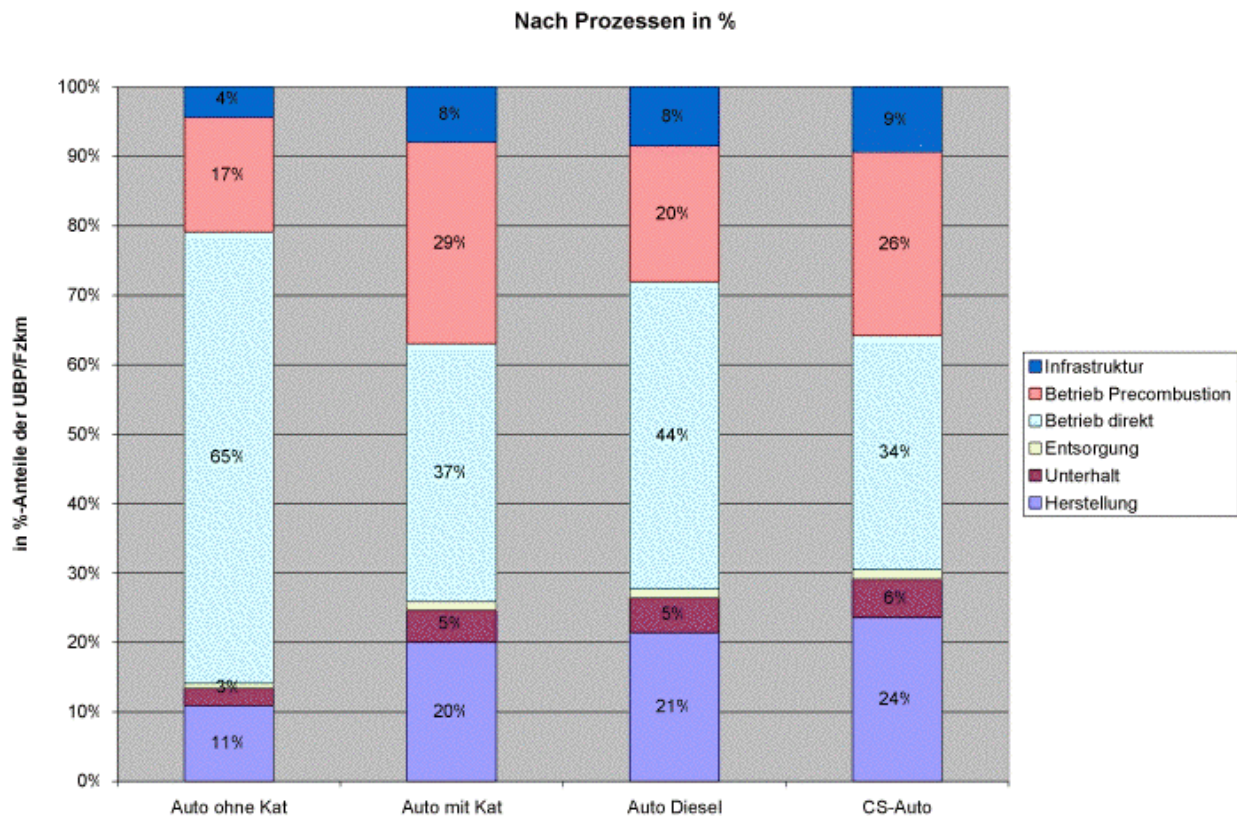


Fig. 1 Dominanzanalyse der Fahrzeuge aus [Mertens 2000]. 'CS-Auto' ist ein durchschnittliches CarSharing-Fahrzeug.

Dies zeigt, dass die in der Vergangenheit getroffenen Massnahmen zur Reduktion der Abgas-Schadstoffe Wirkung gezeigt haben: die Belastung aus diesem Teil des Lebenszykluses von Fahrzeugen konnte gesenkt werden. *In dem Masse wie die Belastungen aus den Abgasen reduziert werden konnte, ist aber die relative Bedeutung anderer Systemteile gestiegen.* So sind z.B. die im Fahrzeugbau eingesetzten Materialien und Energien zu einem nicht mehr vernachlässigbaren Beitrag gewachsen.

Andere Umweltbelastungen werden mit der in [Mertens 2000] verwendeten UBPF'97-Methode gar nicht berücksichtigt. So dürften beispielsweise Aspekte der Umweltbelastung durch Strassenflächen (Landverbrauch, Landschaftszerschneidung) in Vergangenheit eher verschärft denn entschärft worden sein.

Ziel der vorliegenden Studie soll daher eine möglichst umfassende Bewertung von autospezifischen Umwelt-Aspekten sein. Dabei sollte insbesondere auch auf *nicht abgasbezogene Aspekte* Rücksicht genommen werden. Wie oben gezeigt können diese Aspekte bei modernen Fahrzeugen, wie sie Mobility CarSharing besitzt, zunehmend wichtig werden.

Kritik an der VCS-Umweltautoliste

Der Verkehrsclub der Schweiz VCS gibt jedes Jahr mit Unterstützung von Energie 2000, Ressort Treibstoffe, eine Umweltbewertung von rund 400 Fahrzeugen heraus, welche aktuell in der Schweiz erhältlich sind [VCS 2000]. Ähnliche Listen werden auch vom Verkehrsclub Deutschland VCD und Verkehrsclub Österreich VCÖ herausgegeben.

Diese Listen können für eine Beurteilung der Umweltbelastung von Fahrzeugen herangezogen werden. Sie sind als Kaufhilfe für Konsumenten gedacht. Im folgenden soll die Methodik der VCS-Liste betrachtet und auf einige Schwachpunkte eingegangen werden.

Bei den Umweltlisten von VCS/VCD/VCÖ wird seit 1997 eine einheitliche Bewertung angewendet, welche vom Institut für Energie- und Umweltforschung IFEU in Heidelberg in Zusammenarbeit mit dem deutschen Umweltbundesamt UBA entwickelt wurde. Dabei werden Indikatoren für sechs ausgewählte, autorelevante Umweltprobleme betrachtet. Es werden nur Indikatoren aus dem Fahrzeug-Betrieb betrachtet; Infrastruktur- oder Treibstoffbereitstellung etc. werden nicht betrachtet⁵. In der Tabelle unten werden die Indikatoren aufgeführt und die Problemfelder, die sie nach Ansicht der Autoren abdecken sollen, sowie die Gewichtung, welche die Indikatoren in der Gesamtbewertung erhalten.

Bewerteter Leitindikator	Repräsentiertes Problemfeld	Gewichtung
Direkte Kohlendioxid-Emissionen CO ₂	Treibhauseffekt	40%
Vorbeifahrwert Typenprüfung in Dezibel	Gesundheitsbelastung Mensch durch Lärm	20%
Direkte Benzol-Emissionen (10%) und Direkte Partikel PM10 - Emissionen† (90%)†	Gesundheitsbelastung Mensch durch krebserzeugende Stoffe	15%
Direkte Stickoxid NO _x -Emissionen (10%) und Direkte Kohlenwasserstoff HC- Emissionen (90%)	Gesundheitsbelastung Mensch durch andere Schadstoffe	10%
Direkte Stickoxid NO _x -Emissionen	Belastung der Natur (Bodenversauerung, Ozonbelastung, Überdüngung)	10%
Fahrzeug Höchst-Geschwindigkeit	Überdurchschnittlicher Fahrzeugaufwand ⁶	5%

Fig. 2 †) Partikel werden vom VCS/IFEU nur bei Dieselfahrzeugen betrachtet.

⁵ Das IFEU anerkennt diese Einschränkungen indem es erklärt. "Idealerweise sollten die Umweltwirkungen eines Fahrzeug unter Erfassung aller Stoffströme während des gesamten Lebensweges (Produktion - Nutzung - Entsorgung) bewertet werden. Da diese Daten nicht für die zu bewertenden Fahrzeuge vorliegen, beschränkt sich die Bewertung der Neufahrzeuge in den Auto-Umweltlisten auf die Umweltwirkungen während der Nutzung und auf für alle Fahrzeuge verfügbare Daten (Auswahl von Schadstoffen, Lärm und CO₂-Emissionen)." [IFEU 2000]

⁶ Der VCS schreibt zum Indikator 'Höchstgeschwindigkeit': "Durch die unnötige Auslegung von PWs auf hohe Tempi wird viel ökologischer Ballast produziert. Alle Komponenten eines Autos werden auf die höchste Belastung ausgerichtet – mit entsprechend hohem Aufwand an Material und Energie."

Die Gewichtung der Indikatoren stammt von einer Gruppe von Fachpersonen, einem Panel⁷. Der in einem Panel auftretende Effekt ist, dass etablierte und populäre Umweltbelastungen ein eher hohes Gewicht erhalten als 'versteckte', indirekte oder weniger bekannte Umwelteffekte. Die Tatsache, dass zur Bewertung der VCS-Liste nur Indikatoren aus dem Fahrzeugbetrieb herangezogen wurden ist symptomatisch für diese themenbezogene ad-hoc-Bewertung⁸. Zudem finden auch bei Fachpersonen bei solchen Bewertungsfragen - meist unbewusst - relative Angleichungen der Gewichte zueinander statt – eine Art Demokratisierung: Alle aufgeführten Effekte sollen ein 'sichtbares' Gewicht erhalten, damit das Resultat sich 'ganzheitlich' anfühlt und nicht durch einige wenige Effekte dominiert wird. So wird einem Effekt welcher als relativ unwichtig erachtet wird vielleicht ein Gewichtungswert von 5% gegeben, aber kaum ein Wert von 0.01%; einem wichtigen Effekt wird vielleicht 50% Gewichtung zugestanden, aber kaum 97%. Die Gewichtungsfaktoren werden zu einer gemeinsamen Mitte hin angepasst, siehe dazu auch [Mettier 2000].

Die in der vorliegenden Studie gefundenen Resultate der Bedeutung bestimmter Umweltbelastungen können mit den Resultaten der Fahrzeuge in der VCS-Liste verglichen werden⁹.

⁷ Das IFEU schreibt dazu: *"Die sechs ausgewählten Umweltwirkungskategorien müssen zur Gesamtbewertung der Fahrzeuge zueinander gewichtet werden. Unter Berücksichtigung der zuvor abgeschätzten ökologischen Bedeutung der Wirkungskategorien sowie der berechneten erwarteten Änderungen der Emissionen wurden aufgrund von Fachgesprächen mit dem Umweltbundesamt und dem VCD drei Bewertungsvorschläge zur Gewichtung der Umweltwirkungskategorien erarbeitet. Dabei wurde übereinstimmend festgestellt, daß eine Minderung der CO₂-Emissionen die höchste Priorität hat, die zweite Priorität liegt bei der Lärminderung. Darauf folgen dann die Belastung des Menschen durch Kanzerogene, die anderen Schadstoffe sowie die Belastung der Natur und das zusätzliche Belastungspotential [Höchst-Geschwindigkeit]. Aufgrund der vorliegenden drei Bewertungsvorschläge - die alle die oben genannte Reihenfolge der Wichtigkeit der Einzelfelder beinhalten, führten die Verkehrsclubs der Schweiz, von Österreich und Deutschland eine Bewertung der am häufigsten gekauften Neuwagen durch."* [IFEU 2000]

⁸ 'ad hoc' = 'allein zu diesem Zweck erstellt'

⁹ Dabei werden die VCS-Gütepunkte GP mit der Formel $BP = (10 - GP)$ in VCS-Belastungspunkte BP umgerechnet. Beim VCS ist 10 die maximale Güte-Punktzahl bezüglich jedes Indikators.

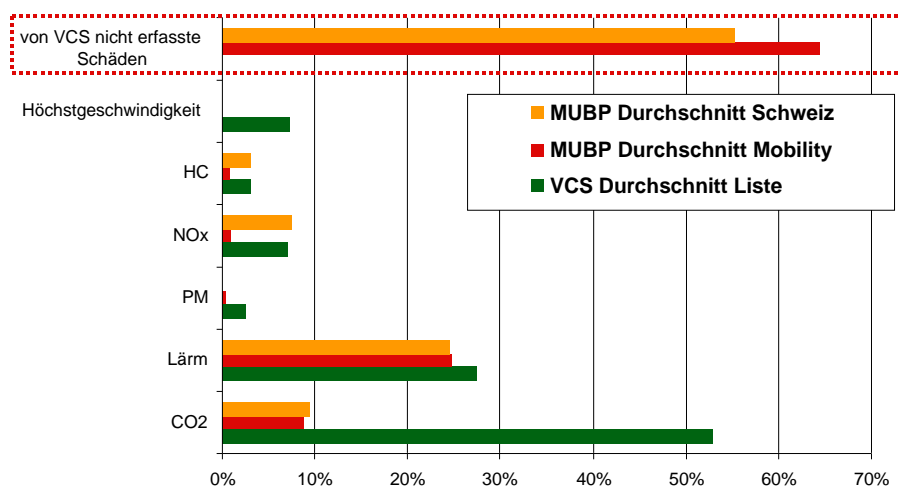


Fig. 3 Vergleich der Bedeutung von Umweltbelastungen gemäss der VCS-Methodik und der Bedeutung der entsprechenden Beiträge in der Gesamtbilanz nach MUBP'97.

Gemäss des Vergleiches VCS/MUBP werden in der VCS-Bewertung rund 60% der auftretenden Schäden gar nicht erfasst. Die Bedeutung von CO₂ oder PM wird dagegen vom VCS eher überbewertet. Extrem ist die Überbewertung bei CO₂, welches gemäss MUBP knapp 10% der Gesamtbelastung ausmachen, aber bei VCS zu 52% die Endresultate bestimmt.

Der Indikator 'Höchstgeschwindigkeit' soll die für einen 'normalen Fahrbetrieb' nicht unbedingt nötige Fahrzeuginfrastruktur bewerten. Es ist dies derjenige Teil der Fahrzeuginfrastruktur, welcher durch eine Auslegung auf hohe Geschwindigkeiten notwendig wird. Die ganze Fahrzeuginfrastruktur (Herstellung, Unterhalt, Entsorgung) macht gemäss MUBP rund 15% der Gesamtbelastung aus. Beim VCS macht der 'nur aufgrund hoher Geschwindigkeiten realisierte, aber eigentlich unnötige Teil' bereits rund 7% aus. Es ist unklar, weshalb 'unnötig verbrauchtes Material' eine höhere Umweltbelastung aufweisen soll als andersweitig benötigtes Material. Diese Bewertung setzt voraus, dass es eine Art 'vernünftiges Mass' für den Materialkonsum eines PKWs gibt. Dieses 'nötige' Material führt gemäss VCS nicht zu einer Umweltbelastung. Im Rahmen einer Umweltanalyse sollte es aber nicht darauf ankommen, ob ein Materialkonsum über einer gewissen, subjektiven Grenze liegt, damit er in der Rechnung berücksichtigt wird. Dieses Prinzip wird aber in der Methodik der VCS-Liste auch bei allen anderen Indikatoren verletzt, indem für alle Indikatoren subjektiv Eckwerte festgelegt werden, innerhalb derer ein Fahrzeug Gütepunkte erhalten soll. Fahrzeuge mit Indikatorwerten, welche über oder unter diesen Eckwerten liegen werden so nicht unterschieden.

"Die Bewertung der Indikatoren erfolgt in der VCS-Liste zunächst für jede Umweltwirkungskategorie einzeln auf einer Skala von 0 (schlechtester Wert) bis 10 (bester Wert). Dabei orientiert sich die Bewertung von 10 Punkten an vorhandenen Umweltzielen. Wo solche Ziele nicht existieren (CO₂, Höchstgeschwindigkeit), werden Grenzen festgelegt" [VCS 2000]. Leider machen die Autoren nicht klar, nach welchen Grundsätzen die Eckwerte

bestimmt werden, wenn keine Umweltziele vorgegeben sind. Es scheint jedoch, dass die Eckwerte so gesetzt wurden, dass die Indikatorwerte der bewerteten Fahrzeuge sich weitgehend zwischen Eckwerten befinden.

Bewerteter Leitindikator	10 Gütepunkte erhalten	0 Gütepunkte erhalten	Max. Wert der Liste	Min. Wert der Liste	Median Wert der Liste
Direkte Kohlendioxid-Emissionen CO ₂	80g/Fzkm = 3.4 l/100km Benzin 3.0 l/100km Diesel	210g/Fzkm = 8.9 l/100km Benzin 7.9 l/100km Diesel	9.93	-6.55	2.66
Vorbeifahrtwert Typenprüfung in Dezibel	65dB	75dB	6	0	2.4
Belastung Kanzerogene (Benzol u. Partikel)	†	†	9.71	0.95	9
Belastung andere Schadstoffe (Stickoxide u. Kohlenwasserstoffe)	†	†	8.94	3.82	6.95
Belastung Natur (Stickoxide)	†	†	10	0	7.64
Fahrzeug Höchst-Geschwindigkeit	120 km/h	200 km/h	8.75	0	2

Tab. 1 Eckwerte der Bewertung in der VCS-Liste. †) Vergabe von Punkten je nach Zugehörigkeit zu einer EURO-Emissionsklasse, s.unten.

Gewährte Güte-Punkte für Emissionsklassen	Belastung durch Kanzerogene	Belastung durch NO _x und HC	Belastung Natur
Euro 2 Diesel dir. Inj. DI	0.95	4.24	0.00
Euro 2 Diesel	2.77	5.78	2.47
Euro 2 Benzin	9.00	3.82	7.64
Euro 3 Diesel	5.49	6.98	4.25
Euro 3 Benzin	9.41	6.95	9.04
Euro 4 Diesel	7.75	8.84	7.67
Euro 4 Benzin	9.71	8.94	10.00

Tab. 2 Vergabe von Güte-Punkten in der VCS-Liste für drei Kategorien je nach EURO-Emissionsklasse

Durch solche Eckwerte bzw. Cut-offs in der Bewertung, wie oben beschrieben, wird die Unterscheidbarkeit der Fahrzeuge in der Bilanz unnötigerweise beschränkt. Die Autoren haben dies aber teilweise erkannt und lassen bei der Bewertung der Kohlendioxid-Emissionen auch 'negative Güte-Punkte' zu wenn die Belastung über 210g/Fzkm liegt. Von 390 bewerteten Fahrzeugen der Liste weisen 40 Kohlendioxid-Emissionen von über 210g/Fzkm auf. Es sind dies vor allem mehrplätzig Vans und grosse Limousinen.

Die Anwendung 'negativer Güte-Punkte' bei hohen Belastungen über dem Eckwert wird aber nicht konsequent durchgezogen: So weisen zum Beispiel 83 der Fahrzeuge der Liste Höchstgeschwindigkeiten grösser oder gleich 200 km/h auf. Die maximale Höchstgeschwindigkeit beträgt 236km/h (Audi A8 2.8). Diese Fahrzeuge werden in der

Bewertung diesbezüglich nicht unterschieden. Würde der Indikator Höchstgeschwindigkeit durchgehend linear bewertet, wie dies zwischen 120 und 200km/h der Fall ist, müssten bei 236km/h nicht Null sondern minus 4.5 Gütepunkte beim Indikator 'Höchstgeschwindigkeit' verbucht werden. Der erwähnte Audi A8 würde dadurch in der Gesamtwertung 2.3 Punkte einbüßen¹⁰ und 28 Rangplätze verlieren.

Als Pluspunkt ist zu werten, dass in der VCS-Liste auch versucht wird, bisher wenig beachtete Auswirkungen wie Lärm zu bewerten. Die Vollgasvorbeifahrtwerte aus Typenprüfmessungen in Dezibel werden dabei wie oben beschrieben als Indikator linear bewertet.

Diese lineare Staffelung der Bewertung gibt Anlass zur Kritik¹¹. Die Dezibelskala ist ein logarithmisches Mass. Dabei bedeutet eine Zunahme von 3 Dezibel eine *Vedoppelung* der wirksamen Schalleistung. In der VCS Liste erhält beispielsweise ein Fahrzeug mit 74 Dezibel 1 Güte-Punkt; ein Fahrzeug mit 71 Dezibel 4 Güte-Punkte. Das leisere Fahrzeug ist gemäss VCS also nur ein Viertel so belastend wie das lautere. Die Differenz der beiden Fahrzeuge beträgt dabei 3 Dezibel. Um die schädlichen *Wirkungen* von Schall zu betrachten, ist der Schallpegel und die Dezibelskala allerdings kein geeignetes Mass. Vielmehr muss die vorhandene Schalleistung betrachtet werden. Bezüglich der Schalleistung ist das lautere Fahrzeug mit 74dB *doppelt so laut* wie das leisere mit 71dB; oder das Laute ist so belastend wie zwei der leiseren Fahrzeuge zusammengenommen. Korrekt bewertet müsste das leisere Fahrzeug fairerweise einen Faktor 2mal besser abschneiden als das Lautere. Der Unterschied in der VCS-Bewertung beträgt aber ein Faktor 4.

¹⁰ Die Indikatoren werden nach der Gewichtung mit den Panelzahlen mit einem Faktor 10 multipliziert, sodass sich in der Gesamtwertung Punkte zwischen 0 und 100 ergeben. S.unten.

¹¹ Bereits die Wahl von 65 und 75 Dezibel als Ecksteine der Bewertung ist wie bereits erwähnt eher subjektiv, aber entscheidend für die Bewertung. Der gesetzliche Grenzwert für Neufahrzeuge beträgt 74dB, bzw 75dB für Dieselfahrzeuge mit Direkteinspritzung. Die Fahrzeuge in der aktuellen VCS-Liste weisen Lärmwerte von 69 bis 75 Dezibel auf [VCS 2000].

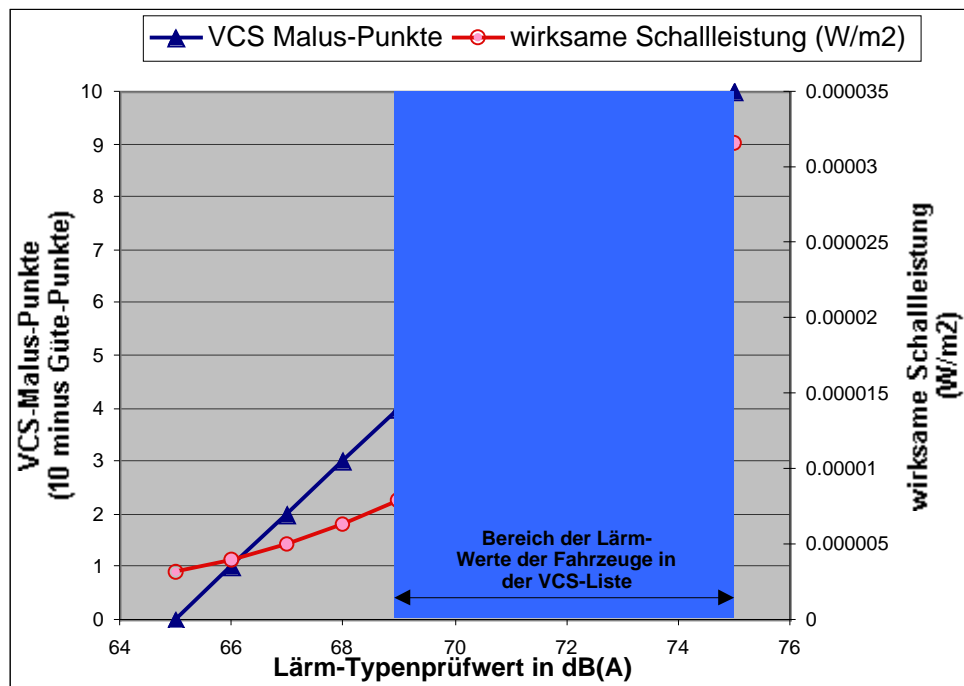


Fig. 4 Diskrepanz zwischen der linearen Bewertung von Lärm in der VCS-Liste und der logarithmischen Charakteristik der beim Lärm wirksamen Schalleistung.

"Für die Gesamtbewertung eines Autos werden die Punkte der einzelnen Umweltwirkungskategorien [gemäss Panel] gewichtet und addiert. Zur besseren Lesbarkeit werden die Punkte für die Gesamtbewertung mit dem Faktor 10 multipliziert" [VCS 2000]. Die maximale Punktezahl beträgt demnach 100 Punkte. Auf die missverständliche Bedeutung der maximalen Punktezahl wird beim Vergleich der VCS-Resultate mit den MUBP-Resultaten in der Resultatediskussion eingegangen.

Nettobilanz Leichtbaumaterialien

In modernen Fahrzeugkonzepten werden vermehrt Leichtmetalle wie Aluminium oder Magnesium eingesetzt. Dies führt zu einem reduzierten Fahrzeuggewicht und damit einem verminderten Treibstoffverbrauch. Diesem ökologischen Vorteil steht aber ein Nachteil (tradeoff) gegenüber: Aluminium und Magnesium sind – verglichen mit Stahl – aufwendiger produziert und dadurch ökologisch belastendere Materialien. Im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse kann herausgefunden werden, ob der Leichtmetalleinsatz gesamthaft ökologisch vorteilhaft ist. Die Frage ist: *"Kann die ökologische Entlastung durch Gewichtsreduktion und einen reduzierten Treibstoffverbrauch die ökologische Zusatzbelastung durch belastendere Leichtmetalle aufwiegen? Ist die Nettobilanz ökologisch vorteilhaft?"*. Diese Frage soll am Beispiel des VW Lupo 3L TDI erörtert werden.

VW Lupo 3L TDI

Türen, Klappen und Kotflügel des VW Lupo 3L TDI bestehen aus Aluminium und das Innenteil der Heckklappe aus Magnesium. Zusätzlich werden Leichtmetallräder verwendet. Detaillierte Angaben zum Treibstoffverbrauch und Materialeinsatz beim Lupo 3L TDI finden sich in Werksangaben der Volkswagen Werke [VW 1999]. Im Vergleich zum Vorläufermodell (Lupo SDI) weist der Lupo TDI eine Treibstoffeinsparung von 1.4 Liter auf 100 Kilometer auf. Die Gewichtsreduktion ist aber nur zu 20% für diese Einsparung verantwortlich. 60% sind auf ein verbessertes Motorenmanagement und 20% auf reduzierte Fahrwiderstände (Bereifung) zurückzuführen.

Insgesamt wurden beim Lupo TDI im Vergleich zum Vorläufermodell 50 kg Gewicht eingespart. Es wird hier vereinfachend angenommen, dass die Gewichtsreduktion durch einen Ersatz von Stahl durch Aluminium erfolgt und dass sich die ausgetauschten Teile volumenmässig nicht stark unterscheiden. Unter diesen Voraussetzungen ersetzen 26kg Aluminium (Dichte 2700kg/m^3) 76 kg Stahl (Dichte 7800kg/m^3)¹².

Der Einsatz von 26kg Alu führt also zu einer Reduktion von $0.28\text{l}/100\text{km}$ ¹³. Bei einer vorsichtigen Fahrleistung von 10'000km pro Jahr und einer Lebensdauer von 10 Jahren, spart das Fahrzeug so 280 Liter Dieseltreibstoff ein; pro Kilogramm Aluminium 10.58 Liter.

Die Belastung durch die eingesparten Aufwendungen¹⁴ ist grösser als die Belastung durch die Herstellung des Aluminiums: rund 6mal mehr beim Primärenergiebedarf. Bei einer Bewertung

¹² Differenz (76kg – 26 kg) = 50 kg

¹³ 20% von der gesamten Einsparung von 1.4l/100km.

¹⁴ Eingespart werden die Herstellung des Treibstoffes, die vermeidenden Abgase (CO₂, NO_x etc.) sowie der ersetzte Stahl.

der ökologischen Belastungen beträgt die Überhöhung noch immerhin einen Faktor 1.3 bis 2.3. Somit kann die Frage: *"Kann die ökologische Entlastung durch Gewichtsreduktion und einen reduzierten Treibstoffverbrauch die ökologische Zusatzbelastung durch belastendere Leichtmetalle aufwiegen?"* mit Ja beantwortet werden.

Ein anderes im Lupo eingesetztes Leichtmetall ist Magnesium. Mit einer noch geringeren Dichte von 1740kg/m^3 kann es noch effizienter Gewicht einsparen¹⁵. Hingegen ist Magnesium pro Kilogramm etwa 1.5mal belastender als Aluminium¹⁶. Bei volumenkonstantem Tausch kann 14kg Magnesium 64kg Stahl ersetzen. Pro Kilogramm Magnesium kann 19.5 Liter Diesel eingespart werden. Der ökologische Vorteil des Magnesiumeinsatzes ist um 20% besser als beim Aluminium.

Mercedes S-Klasse

Eine werksinterne Studie über die Mercedes S-Klasse¹⁷ betrachtete den Primärenergieaufwand durch Aluminiumeinsatz im Vergleich zur Primärenergieeinsparung durch Treibstoffeinsparung wegen reduziertem Fahrgewicht [Daimler Chrysler 1999]. Der Vergleich über den gesamten Lebenszyklus (Herstellung, Nutzung mit einer Laufleistung von 300'000 Kilometern und Entsorgung) zeigt: Zur Produktion der neuen S-Klasse wird aufgrund der Leichtbaumassnahmen etwas mehr Energie benötigt als beim Vorgängermodell (höherer Wert bei 0 Kilometer). Über den gesamten Lebenszyklus benötigt die neue S-Klasse jedoch deutlich weniger Primärenergie – die dabei eingesparte Energiemenge ist grösser als der Aufwand zur Herstellung eines neuen S-Klasse-Fahrzeugs. Bei rund 30'000 gefahrenen Kilometern (oder ca. zwei Betriebsjahren) wird der höhere Energieeinsatz bei der Produktion ausgeglichen (sog. break even point).

¹⁵ Magnesiumlegierungen weisen Dichten zwischen 1300 und 1900 kg/m^3 auf.

¹⁶ Dies unter der Annahme einer zu Aluminiumteilen identischen Lebensdauer. Bei Magnesium können jedoch Korrosionsprobleme auftreten, die eine verkürzte Lebensdauer bedeuten können.

¹⁷ Mobility besitzt keine Mercedes-S-Modelle. Trotzdem ist die Studie hier von Interesse zur Beantwortung der Frage nach dem Leichtbaumaterial-Trade-off.

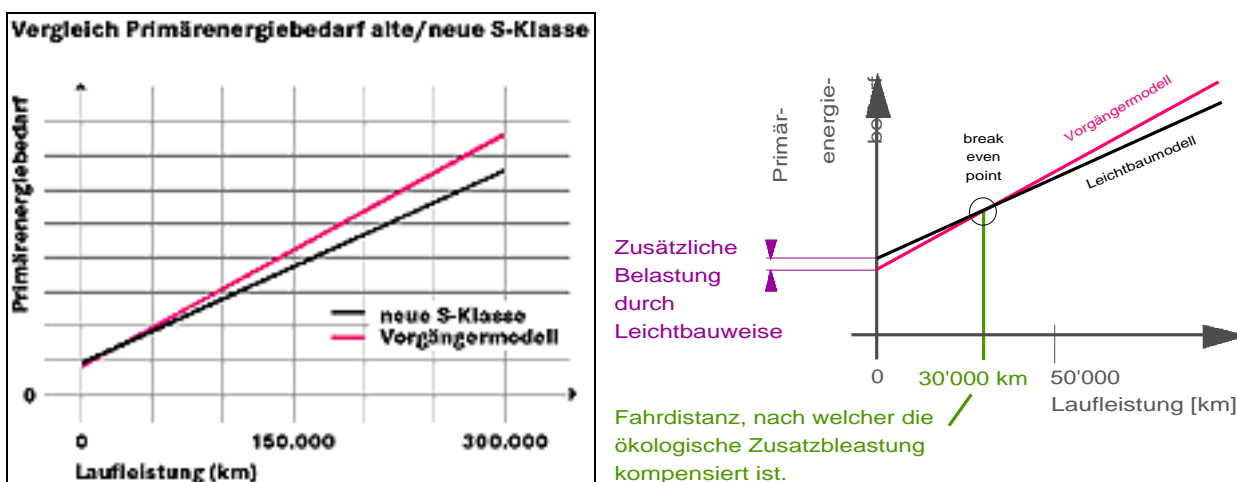


Fig. 5 Primärenergieverbrauch während des Lebenszyklus' der neuen S-Klasse und des Vorgängermodells. Originalgraphik aus [Daimler Chrysler 1999] und Ausschnitts-Vergrößerung.

Schlussfolgerungen

Wie die Analysen der Fallbeispiele zeigen ist der Einsatz von Leichtmetall hier ökologisch sinnvoll. Es zeigt sich aber auch, dass der Vorsprung nicht so enorm ist, dass der Leichtmetalleinsatz für alle Konstruktionen sinnvoll sein muss: Es ist durchaus denkbar, dass es Anwendungen gibt, bei welchen die Bilanz negativ ausfällt und auf einen Leichtmetalleinsatz besser verzichtet werden sollte. Auch beziehen sich die Resultate auf den Einsatz von Aluminium und Magnesium, und nicht generell auf Leichtbaumaterialien wie z.B. Kohlen- oder Glasfaserkunststoffe. Solche Materialien erzeugen nicht vergleichbare Umweltbelastungen und müssen separat betrachtet werden.

Kritisch lässt sich anmerken, dass sich zur Treibstoffeinsparung durch ein besseres Motorenmanagement fallweise mehr erreichen lässt, als durch den Einsatz von Leichtbaumaterialien.

Ebenfalls kritisch darf der steigende 'Grundbedarf' an Luxus und somit auch Gewicht hinterfragt werden. Der VW Lupo wiegt beispielsweise trotz der vielfältigen Massnahmen zur Gewichtsreduzierung noch immer 830 kg – und damit rund 100 kg mehr als ein Golf der ersten Generation von 1974 [Focus 2000a].

Ökobilanz der Fahrzeugmodelle der Mobility-Flotte

Vorgehen

In einer Ökobilanz wird die *gesamte Umweltbelastung* eines Prozesses oder eines Produktes ermittelt. Das heisst es werden nicht nur direkt entstehende Umweltbelastungen wie z.B. Auspuff-Abgase betrachtet, sondern auch indirekt entstehende, sog. 'graue' Umweltbelastungen. Zu den grauen Umweltbelastungen gehören zum Beispiel Belastungen aus der Materialherstellung für die Automobilproduktion oder Belastungen aus dem Unterhalt des Fahrzeugs. In einer vollständigen Ökobilanz wird der *gesamte Lebenszyklus eines Produktes* 'von der Wiege bis zur Bahre' betrachtet. Das heisst es werden nicht nur die Umweltbelastungen betrachtet, welche während der Nutzungsphase entstehen, in der ein gewünschter Nutzen z.B. eine Transportdienstleistung erbracht wird. Sondern es müssen auch alle für dieses Produkt notwendigen vorgelagerten Prozesse, wie Produktion und Verteilung, sowie alle nachgelagert ausgelösten Prozesse, wie Entsorgung in die Bilanz einbezogen werden.

Schematischer Lebenszyklus eines PKWs

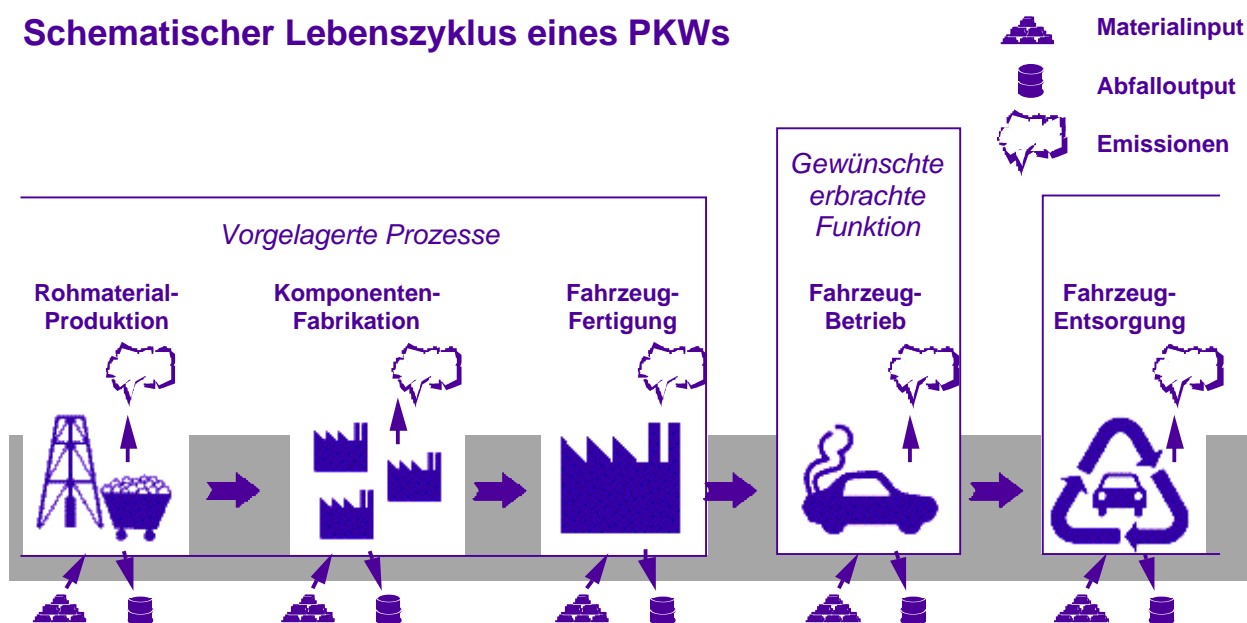


Fig. 6 Lebenszyklus eines PKWs. Auf jeder Stufe werden Materialien und Energie benötigt und Umweltbelastungen/Emissionen und Abfälle generiert.

Eine Ökobilanz erlaubt es in Diskussionen um die ökologischen Wirkungen von Produkten und Prozessen von eingeschränkten Sichtweisen, pauschalisierenden Argumenten und

'Schlagwort-Ökologie'¹⁸ wegzukommen und mittels einer integralen, voll quantitativen Betrachtung Vor- und Nachteile verschiedener Produkte-Eigenschaften gegeneinander abzuwägen. Dabei kann der Betrachtungshorizont bewusst sehr weit abgesteckt werden. Ziel dieser umfassenden Perspektive ist es, einen Überblick über die gesamte ökologische Wirkung eines Produktes zu erhalten. Gewisse Detailaspekte werden dabei aus Aufwandgründen nur grob oder mittels Durchschnittsangaben behandelt, was aber für eine relative ökologische Gewichtung der Systemkomponenten oft ausreichend ist.

Eine Ökobilanz gliedert sich in folgende Schritte:

Zieldefinition: Was soll bilanziert werden, welche Fragestellungen soll die Bilanz beantworten?

Funktionale Einheit: Welches ist die Grösse oder Einheit aufgrund derer die verschiedenen betrachteten Produkteoptionen miteinander verglichen werden sollen? Es ist darauf zu achten, dass die Produkteoptionen durch die Wahl der funktionalen Einheit fair miteinander verglichen werden können.

Systemgrenzen: Welche Prozesse des Lebenszyklus sind in der Bilanz einzubeziehen? Es ist darauf zu achten, dass die Produkteoptionen durch Auslassungen nicht einseitig bevorzugt werden.

Sachbilanz: Ein sogenanntes Ökoinventar wird für alle Produkteoptionen erstellt. Es listet alle Umweltbelastungen der Optionen innerhalb der Systemgrenzen auf.

Bewertung und Interpretation: Die gesamten Umweltbelastungen werden gemäss ihrer ökologischen Relevanz gewichtet und die gefundenen Resultate interpretiert.

Zieldefinition

Die Fragestellung für diese Studie lautet:

***"Wie gross ist die Umweltbelastung
der verschiedenen Fahrzeugmodelle der aktuellen Flotte
der Mobility Car Sharing Schweiz?"***

Betrachtet werden 23 verschiedene Modelle. Die Beantwortung der Frage soll zum einen Entscheidungshilfe für künftige Kaufentscheide des Mobility-Flottenmanagers sein. Mögliche

¹⁸ "Schlagwort-Ökologie" drückt sich in pauschalisierenden, absolut wertenden Slogans wie beispielsweise "PVC ist schlecht", "Recycling ist gut", "Naturbelassene Stoffe sind ökologisch unbedenklich" aus. Eine sorgfältige Ökobilanz liefert anstelle dessen differenzierende und vor allem quantitative Argumente. Allerdings können auch Ökobilanz-Resultate unsachgemäss pauschalisiert werden.

Fragestellungen des Flottenmanagers sind z.B. *"Welche Modelle sind eher umweltbelastend und sollten ersetzt werden?"* oder *"Welches von zwei ökonomisch und funktional gleichwertigen Modellen ist ökologisch weniger belastend und damit zu bevorzugen?"* Zukünftig sollen auch neu auf dem Markt erscheinende Fahrzeug-Modelle, auch mit alternativen Antriebskonzepten (Erdgas, evt. Strom oder Wasserstoff) analog bewertet werden können und die Resultate als Kaufentscheidungshilfe dienen. Zum anderen besteht die Absicht die Resultate der Modellbilanzen in einem Jahresbericht weiterzuverwenden, welche die effektive Umweltbelastung der gesamten Mobility-Flotte dokumentiert.

Funktionale Einheit

Die funktionale Einheit soll die Vergleichsbasis sein, aufgrund welcher die verschiedenen Fahrzeugmodelle verglichen werden können. Folgende Grössen sind für Fahrzeugmodelle denkbar:**1. Pro Fahrzeugkilometer**

Eine naheliegende Grösse, insbesondere, da Verbrauchs- und Abgaswerte ebenfalls auf diese Grösse bezogen werden. Die Grösse betont einen Vergleich der technischen Gegebenheiten der Fahrzeuge.

2. Pro Personenkilometer

Da die hauptsächlich erbrachte Leistung der Fahrzeuge der Personentransport ist, mag diese Grösse für einen Fahrzeugvergleich ebenfalls sinnvoll sein. Die Grösse betont aber eher einen Vergleich der Gebrauchsgewohnheiten der Nutzer. Zudem sind Belegungsziffern (Personen pro Fahrzeug) kaum im Detail erhältlich und können daher nicht modellspezifisch berücksichtigt werden. Umgekehrt können Daten pro Personenkilometer leicht aus Daten pro Fahrzeugkilometer errechnet werden, falls Belegungsziffern bekannt werden.

3. Pro Tonnenkilometer

Gewisse Fahrzeuge der Flotte sind teilweise oder reine Güter-Transportfahrzeuge. Bei diesen Fahrzeugen besteht die erbrachte Leistung hauptsächlich aus Gütertransport. Die Grösse betont einen Vergleich der Transporteffizienz der Fahrzeuge. Analog zur funktionalen Einheit 'Personenkilometer' ist die genaue Auslastung der Fahrzeuge¹⁹ kaum bekannt und kann nicht modellspezifisch berücksichtigt werden.

4. Pro Liter konsumierten Treibstoffes

Eine interessante Perspektive eröffnet diese Vergleichsgrösse, indem hier die Frage *"Welches Modell erzeugt am wenigsten Umweltbelastung aus einer gegebenen Menge Treibstoff?"*

¹⁹ Auslastung = geladene Massen / Ladekapazität

beantwortet wird. Da die gewünschte Dienstleistung aus Sicht von Mobility Car Sharing aber der Personentransport und nicht das Konsumieren von Treibstoff ist, macht diese funktionale Einheit hier weniger Sinn als beispielsweise für einen Treibstoffproduzenten. Überdies interessieren in der Studie nicht nur betriebsverknüpfte Aspekte (siehe Systemgrenzen). Da sowohl diesel- als auch benzinbetriebene Fahrzeuge miteinander verglichen werden sollen, ergeben sich bei der Vergleichsgrösse 'Liter Treibstoff' zudem ungleiche Vergleichsbasen. Künftige alternative Motorenkonzepte (Elektro, Erdgas, Methanol, Wasserstoff) können damit nicht sinnvoll abgebildet werden.

***Die Ergebnisse dieser Studie werden
auf die funktionale Einheit 'Fahrzeugkilometer' bezogen.***

In der Resultatepräsentation beziehen sich alle Ergebnisse auf eine Lebensfahrleistung von 150'000 Fzkm.

Bei der Interpretation der Resultate ist jedoch darauf Rücksicht zu nehmen, dass die Fahrzeuge teilweise verschiedene Funktionalitäten, wie zum Beispiel Anzahl Sitzplätze, besitzen. Gewisse Modelle weisen nur zwei Sitzplätze auf (Smart), andere bis zu acht (Previa). Fahrzeuge der Kategorie T sind zudem reine Transportfahrzeuge.

Systemgrenzen

Der gesamte Lebenszyklus der Fahrzeuge (Herstellung, Gebrauch, Entsorgung) soll in der Bilanz berücksichtigt werden. Insbesondere die Entsorgung wird ebenfalls in die Bilanz aufgenommen, obwohl die Fahrzeuge von Mobility neu gekauft werden und nach 3 bis 6 Jahren als Gebrauchtwagen weiterverkauft werden. Dies ist so zu interpretieren, dass die Aufwendungen für Herstellung und Entsorgung der Fahrzeuge allen Nutzern anteilmässig anzulasten ist²⁰. Als Aufteilungsschlüssel dienen die gefahrenen Fahrzeugkilometer während des gesamten Fahrzeuglebens (150'000 Fzkm/Fz-Leben).

Betrachtet werden folgende Lebenszyklusabschnitte eines PKW's:

²⁰ Die alternative Zuteilung, dass die Herstellung gänzlich dem Erstenutzer anzulasten ist und die Entsorgung gänzlich dem Letztnutzer ist hier nicht angebracht, da Automobile eindeutig als Konsumprodukte mit hohem Wiederverkaufswert und einer hohen Lebensdauer von rund 10 Jahren hergestellt und verkauft werden.

<i>Lebenszyklusabschnitt</i>	<i>Umweltbelastungen (Auswahl)</i>
Fahrzeug-Herstellung	Belastung durch Herstellungsenergie, graue Belastungen in verwendeten Materialien
Import in die Schweiz	Belastung durch Transportenergie
Fahrzeug-Betrieb	Belastung durch Treibstoffkonsum (Precombustion & Abgase), Lärm, Verkehrsunfälle
Fahrzeug-Unterhalt	Belastung durch Garagenenergie, graue Belastungen in verwendeten Materialien
Benötigte Strasseninfrastruktur	Belastung durch Herstellungsenergie, graue Belastungen in verwendeten Materialien Flächenverbrauch, Landschaftszerschneidung
Fahrzeug-Entsorgung	Belastung durch Entsorgungsprozesse

Tab. 3 Berücksichtigte Lebenszyklusabschnitte eines PKW.

Wo möglich und sinnvoll werden die aufgeführten Umweltbelastungen modellspezifisch erfasst. Belastungen, welche von der Sache oder von der Datenlage her nicht modellspezifisch erfasst werden können, werden trotzdem in der Bilanz aufgeführt. Dadurch wird möglichst vollständig die Gesamtbelastung der Fahrzeuge erfasst. So können die relativen Verhältnisse verschiedener Beiträge und Dominanzen erkannt werden.

Daten zu indirekten, grauen Belastungen in benötigten Materialien, Energieträgern, Entsorgungsprozessen etc. Werden wenn nicht anders erwähnt aus der extensiven Ökobilanz-Datenbank der ETH Zürich übernommen [ESU 1996].

Bewertungsmethode

Aus einer Sachbilanz gehen Hunderte und Tausende von Daten über Umweltbelastungen hervor. Diese Daten-Fülle macht eine Interpretation der Resultate zu einer nicht trivialen Angelegenheit. Um eine Übersicht zu gewinnen, müssen die Daten zusammengefasst, klassiert und bewertet werden. Im Rahmen von Ökobilanzen hat die Bewertung (Gewichtung) der gefundenen Umweltbelastungen eine zentrale Bedeutung. Heute besteht jedoch nicht Einigkeit darüber, mit welchen Methoden eine solche Beurteilung erfolgen soll. Entsprechend existieren mehrere Methoden, welche zur Anwendung gelangen können. Wichtige Unterscheidungsmerkmale verschiedenener Methoden sind:

Anzahl der Umweltbelastungen, welche bewertet werden können. Gemäss dem Prinzip der Vorsorge und Ganzheitlichkeit sind Methoden, welche eine Vielzahl von verschiedenen Belastungen erfassen können, gegenüber Methoden, welche nur einige wenige Aspekte beleuchten, vorzuziehen.

Herkunft der Gewichtungen. Gewichtungen von Umweltbelastungen können aus naturwissenschaftlich, ökonomisch oder politisch geprägten Werten oder Zielsetzungen stammen und so verschiedene Präferenzen und Werthaltungen ausdrücken. Eine

Übereinstimmung dieser Präferenzen ergibt sich oft nur teilweise, sodass sich auch zu identischen Sachbilanzen verschiedene Endresultate und Aussagen ergeben können.

Geographische Gültigkeit. Oft beziehen sich verschiedene Methoden auf unterschiedliche Regionen, bzw. haben Gewichtungen eine unterschiedliche Repräsentativität.

Die Methode der ökologischen Knappheit UBP'97

Mobility CarSharing hat sich entschieden, für diese Ökobilanz eine Bewertungsmethode zu wählen, welche auf der Methode der ökologischen Knappheit (UBP'97)²¹ basiert. Die Methode orientiert sich an den Zielsetzungen der Schweizerischen Umweltpolitik, was für ein Schweizer Mobilitätsunternehmen als massgebend erachtet wird. Zusätzlich werden neu Flächenbeanspruchung, Lärmbelastung und weitere, bisher nicht betrachtete Belastungen berücksichtigt²². Diese in Analogie erweiterte Bewertungs-Methode wird als 'MUBP'97' bezeichnet²³. Teilweise werden auch Resultate mit der Bewertungsmethode Eco-indicator'95+ [Jungbluth 2000] generiert, um die Richtungssicherheit der hier gemachten Aussagen zu stützen.

Die Methode der ökologischen Knappheit (UBP'97) stellt eine der Möglichkeiten dar, die Bewertung transparent und nachvollziehbar nach einem einheitlichen Prinzip vorzunehmen. Der Ökofaktor dient als Gewichtungsmass für die potentielle ökologische Schädlichkeit einer Einwirkung. Ökofaktoren erlauben eine Zusammenfassung oder Aggregation verschiedener Umwelteinwirkungen auf eine einzige Skala. Werden verschiedene Einwirkungen (wie z.B. kg Stickoxide, kg Kohlendioxid oder Anzahl lärmbelasteter Personen) mit dem entsprechenden Gewichtungsfaktor multipliziert, ergeben sich Umweltbelastungen in einer einheitlichen 'Währung der Umweltschädlichkeit', welche addiert werden kann. Diese 'Währung' heisst Umweltbelastungspunkte oder UBP.

Prinzip der Berechnung der Ökofaktoren

Ein Ökofaktor errechnet sich aus der Beziehung zwischen gesamter aktueller Belastung (F) und maximal zulässiger Belastung (F_k) jeder betrachteten Umwelteinwirkung für die Schweiz. Dieses Vorgehen wird auch als 'distance-to-target'-Gewichtung bezeichnet.

²¹ Auch bekannt als "Umweltbelastungspunkte-Methode" "UBP-Methode", "BUWAL-Methode", "Environmental scarcity", "Ecological scarcity", "Eco-scarcity". Die Methode wurde auch in anderen Ländern adaptiert (Holland, Norwegen, Belgien, Schweden). Die ursprüngliche Methode stammt aus dem Jahr 1984, und wurde 1990 und 1997 aktualisiert und erweitert.

²² Neue, in UBP'97 bisher nicht bewertete Umweltschäden betreffen Schaden am Menschen durch Lärm und Verkehrsunfälle, Kohlenmonoxidemissionen in die Luft, Flächenbeanspruchungen und Landschaftszerschneidung.

²³ 'MUBP'97' bedeutet 'Mobility-Umweltbelastungspunkte Version 1997', d.h. die Gewichtungsfaktoren für ökologische Belastungen beziehen sich auf die Umweltsituation in der Schweiz 1997

$$\text{Ökofaktor} = \frac{1 \text{ UBP}}{F_k} \cdot \frac{F}{F_k} \cdot c$$

wobei:

UBP = Umweltbelastungspunkt

F = Aktuelle jährliche Fracht einer Umwelteinwirkung in einem Gebiet während eines Jahres (Belastung pro Jahr)

F_k = Kritische bzw. gerade noch akzeptable Fracht einer Umwelteinwirkung in einem Gebiet während eines Jahres (kritische Belastung pro Jahr)

c = Skalierungsfaktor für bessere Handhabbarkeit, [10^{12} pro Jahr]

Der erste Term ($1/F_k$) setzt die Umwelteinwirkung in Relation zu der als kritisch d.h. für die Schweiz als gerade noch verträglich erachteten Gesamtfracht. Dadurch wird die Teilfrage beantwortet, wie bedeutend *eine bestimmte Einwirkung* im Verhältnis zur kritischen Fracht ist (Normierung).

Der zweite Term (F/F_k) gibt an, wie stark die heute aktuellen Gesamtfrachten der Schweiz reduziert werden müssten, um die kritische Fracht zu erreichen (geforderter Reduktionsfaktor). Der zweite Term gibt dadurch an, wie schwerwiegend *der betreffende Umwelteffekt* heute in der Schweiz anzusehen ist²⁴

Die aktuellen Belastungen werden auf das Jahr 1997 bezogen. Die kritischen Flüsse werden dabei auf Zielsetzungen der Schweizerischen Umweltpolitik abgestützt. Bei Luftschadstoffen beispielsweise auf die von der Luftreinhalteverordnung LRV gesamtschweizerisch geforderten Qualitätsziele²⁵, aus welchen sich Immissionsgrenzwerte dieser Schadstoffe ableiten. Die Einheit des Ökofaktors beträgt 'Umweltbelastungspunkte pro Masseinheit der Umwelteinwirkung'.

Beispiel: Berechnung des Ökofaktors für Stickoxide (NO_x). Masseinheit der Umwelteinwirkung sei Kilogramm NO_x .

Der jährliche aktuelle Ausstoss an Stickoxiden in der Schweiz beträgt 136'000 Tonnen NO_x pro Jahr.

²⁴ Z.B. Schwefeldioxidemissionen, welche heute "nur" 35% über der kritischen Fracht liegen (Reduktionsfaktor 1.35) werden so weniger stark bewertet, als Stickoxidemissionen, welche 200% über der kritischen Fracht liegen (Reduktionsfaktor 3).

²⁵ Beispielsweise fordert die LRV für den Schwefeldioxidausstoss der Schweiz eine Rückkehr auf den Stand von 1950. Die Zielwerte sind jedoch nicht frei von der politischen Einflussnahme von Interessengruppen.

$$F = 136'000'000 \text{ kg NO}_x / a$$

Als kritische Belastung wird ein Ausstoss von 45'000 Tonnen angesehen. Mit diesem Wert können die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung LRV für Ozon, an dessen Bildung die Stickoxide beteiligt sind, eingehalten werden.

$$F_k = 45'000'000 \text{ kg NO}_x / a$$

Der Ökofaktor für NO_x berechnet sich damit zu:

$$\frac{1 \text{ UBP}}{45'000'000 \text{ kg/a}} \cdot \frac{136'000'000 \text{ kg/a}}{45'000'000 \text{ kg/a}} \cdot 10^{12} / a = 67'000 \text{ UBP/kgNO}_x$$

Bei einer Emission von 1 kg Stickoxid ist also eine Umweltbelastung von 67'000 Umweltbelastungspunkten zu verbuchen.

Bewertete Umweltbelastungen in UBP'97

Folgende Umweltbelastungen werden in der UBP'97-Methode nach demselben Prinzip bewertet:

Umweltbelastung (in der UBP'97-Methode)	Kritischer Effekt
Emissionen in die Luft	
Ammoniak NH ₃	Gesamtdeposition Stickstoff (Versauerung und Überdüngung)
Blei Pb	Bodenfruchtbarkeit, Humantoxizität
Cadmium Cd	Bodenfruchtbarkeit, Toxizität
Chlorwasserstoff HCl	Versauerung
Fluorwasserstoff HF	Versauerung
Halogenkohlenwasserstoffe Gruppe I F	Treibhauseffekt
Halogenkohlenwasserstoffe Gruppe II FF	Ozonerstörung
Kohlendioxid CO ₂	Treibhauseffekt
Lachgas N ₂ O	Treibhauseffekt
Methan CH ₄	Treibhauseffekt
NMVOC (Organika)	Sommersmog
Partikel PM10 (d<10µm)	Atemwegsbeschwerden (wie Wintersmog)
Quecksilber Hg	Bodenfruchtbarkeit, Toxizität
Schwefeldioxid SO _x	Versauerung
Schwefelhexafluorid SF ₆	Treibhauseffekt
Stickoxide NO _x	Sommersmog
Zink Zn	Pflanzenwachstum
Emissionen in Wasser	
Blei Pb	Toxizität
Cadmium Cd	Toxizität
Chrom Cr	Toxizität
Gesamtstickstoff N	Überdüngung Nordsee
Halogenierte Organika AOX	Toxizität
Kupfer Cu	Toxizität
Nickel Ni	Toxizität
Nitrat NO ₃ ⁻	Humantoxizität
Organische Stoffe (DOC, COD, TOC)	Überdüngung (Sauerstoffzehrung)
Phosphor P	Überdüngung (Algenwachstum)
Quecksilber Hg	Toxizität
Zink Zn	Toxizität
Emissionen in Boden	
Blei Pb	(analog Luftemissionen)
Cadmium Cd	(analog Luftemissionen)
Chrom Cr	Bodenakkumulation
Kobalt Co	Bodenakkumulation
Kupfer Cu	Bodenakkumulation
Nickel Ni	Bodenakkumulation
Quecksilber Hg	(analog Luftemissionen)
Thallium Tl	Bodenakkumulation
Zink Zn	(analog Luftemissionen)
Knappe Umweltgüter	
Deponieraum	Knappheit der Deponiestandorte
Endlagerraum	Knappheit der Endlagerstandorte
Primärenergieträger	Ressourcenbeanspruchung nach Energieinhalt

F Halogenkohlenwasserstoffe Gruppe I (bewertet gemäss Treibhausgaspotential)

FKW: R23, R32, R41, R43-10mee, R125, R134, R134a, R143, R143a, R152a, R227ea, R236fa, R245ca
 FCKW: R22, R124, R142b
 Perfluorierte: CF₄, C₂F₆, C₃F₈, C₄F₁₀, C-C₄F₈, C₅F₁₄, C₆F₁₄

FF Halogenkohlenwasserstoffe Gruppe II (bewertet gemäss Ozonzerstörungspotential)

FKW: R11, R12, R13, R111, R112, R113, R114, R115, R211, R212, R213, R214, R215, R216, R217
 FCKW: R123, R141b
 Halone: H1211, H1301, H2402
 Weitere: CCl₄, CHBr₃, Methylchloroform C₂H₃Cl₃
 Tab. 4 Berücksichtigte Umwelteffekte in der UBP'97-Methode

Erweiterung von UBP'97 zu MUBP'97

In der UBP'97 werden eine angemessen hohe Anzahl Umwelteffekte berücksichtigt. Trotzdem besteht ein Schwerpunkt auf Schadstoff-basierten Schäden. Andere, nichtstoffliche Belastungen werden damit kaum berücksichtigt (Ausnahme: Deponieraum und Ressourcenbeanspruchung). Automobile erzeugen jedoch neben Schadstoffen auch andere Umweltbelastungen. Es sind dies alle Umweltbelastungen, welche übrigbleiben, wenn man sich ein hypothetisches Zero-Emission Fahrzeug mit einem Treibstoffbedarf von Null vorstellt: Lärmemissionen von Reifen und Karosserie, Belastung durch Verkehrsunfälle, Flächenverbrauch durch Strasseninfrastruktur und Parkplätze, Landschaftszerschneidung insbesondere durch Autobahnen. Diese Schäden können mit UBP'97 nicht bewertet werden. Daher soll die Methode erweitert werden, um diese Schäden in der Bilanz berücksichtigen zu können.

In der neu kreierte Bewertungsmethode MUBP'97 werden zusätzlich zu den in der UBP'97-Methode erfassten Umweltbelastungen folgende Umweltbelastungen bewertet.

Umweltbelastung (zusätzlich in der MUBP'97-Methode)	Kritischer Effekt	Ökofaktor
Emissionen in die Luft		
Kohlenmonoxid CO	Herz- und Kreislaufbelastung Mensch	1012 MUBP / kg Kohlenmonoxid
Gesundheitsschäden am Mensch		
Lärm	Betroffene 'stark gestörte' Anwohner	433'712 MUBP/ gestörte Person (Tags) 238'626 MUBP/ gestörte Person (Nachts)
Todesopfer Strassenverkehrsunfälle	Gestorbene Personen	6'522 Mio. MUBP / Todesfall
Verletzte Strassenverkehrsunfälle	Verletzte Personen	48.6 Mio. MUBP / Verletzter
Auswirkungen auf die Landschaft		
Flächenbelegung/verbrauch	Knappe Landreserven	395 MUBP / m ² a
Landschaftszerschneidung	Unterbrochene Wildwechselrouten	13.8 Mia. MUBP / % NIUW [†]

Tab. 5 Umwelteffekte, welche in der Bewertungsmethode MUBP'97 zusätzlich zu denjenigen der UBP'97-Methode, berücksichtigt werden. †) %NIUW = Prozent nicht intakter überregionaler Wildtierkorridore

Für die Herleitung der bereits bestehenden Ökofaktoren sei auf die Originalpublikation [BUWAL 1998] verwiesen. Die Ökofaktoren der hier neu bewerteten Umweltbelastungen

werden unten hergeleitet. Die Einheit oder Währung der bewerteten Umweltschäden sind immer noch 'Punkte' welche aber neu mit 'Mobility-Umweltbelastungspunkte' oder MUBP bezeichnet werden.

Lärmbelastung

Belastungssituation

Lärm ist unerwünschter, unangenehmer oder schädigender Schall²⁶. Gemäss Buwal waren 1985 etwa 11 Prozent der Bevölkerung tagsüber Lärmwerten des Strassenverkehrs ausgesetzt, die 60dB überschreiten (IGW LSV²⁷). Nachts waren 11.8 Prozent der Bevölkerung Lärmwerten über 50dB ausgesetzt.

An über 3000 Kilometer Strassen in Wohngebieten liegen die Lärmwerte tagsüber höher als 65 dB, an 800 Kilometern höher als 70 dB und an rund 50 Kilometern höher als 75 dB (Stand 1990) [BUWAL et al. 1996].

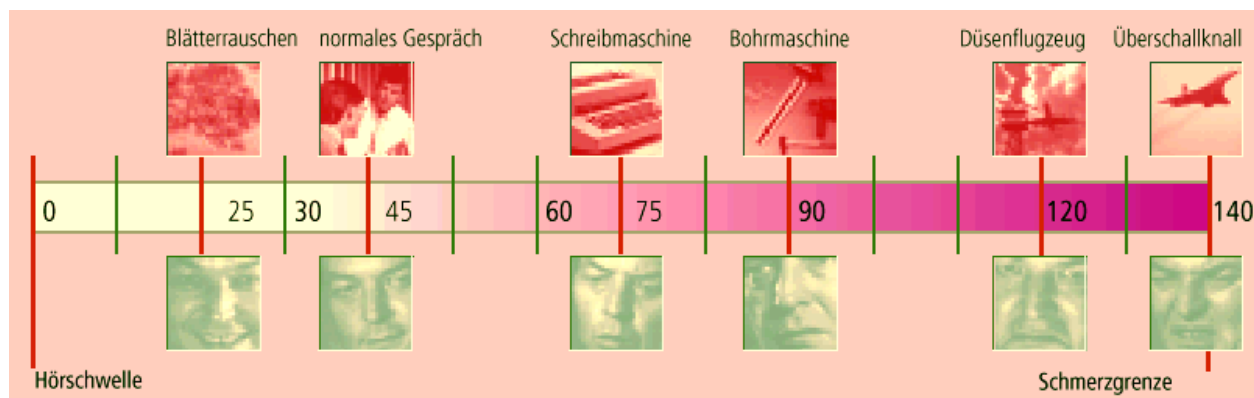


Fig. 7 Lärmbarometer: Schallpegel verschiedener Geräte/Situationen und menschliches Empfinden [BUWAL 1996]

Auswirkungen von Lärm

Die schädliche Wirkung von *überlautem* Schall auf das Gehör ist wissenschaftlich fundiert erforscht und heute auch der breiten Bevölkerung bewusst. Schwieriger nachzuweisen und deshalb auch weniger bekannt ist hingegen die Tatsache, dass sich Lärm bereits schädlich auswirken kann, *bevor* er als deutlich lästig empfunden wird. Die als vegetative Funktionsstörungen bekannten Effekte sind wissenschaftlich nachzuweisen. Sie äussern sich in Veränderungen von Herzschlagfrequenz, Blutdruck, peripherer Durchblutung und Atmung. Trotz schwieriger Zuordnung von vegetativen Reaktionen zu Gesundheitsschäden ist der

²⁶ Das Wort "Lärm" geht auf das Wort "Alarm" zurück, welches vom französischen bzw. italienischen Schlachtruf "à l'arme/all' arme!" (zu den Waffen!) stammt.

²⁷ Immissionsgrenzwert der Lärmschutzverordnung für Wohngebiete tagsüber.

Zusammenhang heute eindeutig erwiesen. So schätzt man, dass in Deutschland etwa 2% der Herzinfarkte durch Lärm bedingt sind. Die häufige Aussage, wonach man sich mit der Zeit selbst an übermässigen Lärm gewöhne, trifft mit Sicherheit nicht zu. Die gesundheitlichen Wirkungen des Lärms führen neben Kosten für ärztliche Behandlung und Medikamente zu ökonomischen Produktionseinbussen, da Lärm die Konzentration senkt. Die Konzentrationsschwächen können das Unfallrisiko erhöhen.

Lärm verursacht zudem teilweise schwer bezifferbare oder nicht in Geldwerten zu fassende Kosten: durch seine Wirkung auf Bauten-und Grundstücknutzung sowie durch unter Umständen ausgelöste Lärmflucht. Bauten können durch Lärm an Wert verlieren: Wohnungsmieten liegen in lärmbelasteten Gebieten tendenziell tiefer als in ruhigeren [BUWAL et al. 1996].

Schallmessung

Schalle sind schnelle Druckschwankungen, die sich als Wellen (Schallwellen) fortbewegen. Der Schalldruckpegel wird in Dezibel (dB) angegeben. Schallmessungen können sehr komplex sein, da viele Faktoren bestimmen, wie ein Schall von menschlichen Ohren aufgenommen wird. Um dem menschlichen Hörempfinden möglichst nahe zu kommen, werden die gemessenen, physikalischen Werte je nach Art des Schalls angepasst: Bei gleichem Schalldruck empfinden hören Menschen tiefe und hohe Töne weniger laut als mittelhohe Töne. Die Schweiz und das Ausland verwenden zur Berechnung des Lärms den 'A-Filter', der die Werte tiefer und hoher Töne entsprechend korrigiert. Der Schalldruckpegel wird dann mit 'dB(A)' bezeichnet²⁸.

Die dB-Skala verläuft logarithmisch²⁹, das heisst, dass Schall von 60 Dezibel physikalisch zehnmal energiereicher ist als eine Beschallung mit 50 Dezibel. Eine Zunahme um 20 Dezibel entspricht einer Verhundertfachung der Schallenergie. Unsere Ohren nehmen sie aber nur als etwa vier- bis fünfmal so laut wahr. Messungen in dB geben den Schalldruckpegel zu einem bestimmten Zeitpunkt an und sagen nichts aus über die Dauer der Belastung. Eine Annäherung an die tatsächlichen Lärmimmissionen erfolgt über einen gemittelten Wert. Dieser Durchschnittswert, der energetisch mit der tatsächlichen Belastung gleichwertig (äquivalent) ist, wird als energieäquivalenter Dauerschallpegel oder *Mittelungspegel* (L_{eq}) bezeichnet.

Weil beispielsweise Eisenbahnlärm bei gleichem physikalischem Mittelungspegel vom Menschen im allgemeinen als geringere Störung empfunden wird als Strassenlärm, trägt ein zusätzlicher Korrekturfaktor den unterschiedlichen Störwirkungen verschiedener Lärmarten

²⁸ In der vorliegenden Studie sind alle dB-Werte dB(A)-Werte.

²⁹ Bei einer gemessenen Schallleistung von P (in Watt) berechnet sich der Schallpegel Lp (in Dezibel) zu $10 \cdot \log(P / P_0)$; wobei P_0 die Bezugsschallleistung von 10^{12} Watt. P_0 ist die menschliche Hörschwelle.

Rechnung. Korrekturfaktoren sind in der LSV vorgeschrieben. Der so korrigierte Mittelungspegel heisst *Beurteilungspegel* (L_r).

Berechnung des Ökofaktors für Lärmbelastung

Als Indikator für die Lärmbelastung wird hier 'Anzahl betroffene Personen' gewählt. Als lärm-betroffene Personen gelten Personen, welche gemäss auf Umfragen basierten Schätzungen ihre Lärmsituation subjektiv als 'stark störend' einstufen würden³⁰.

Der Indikator ist in Übereinstimmung mit dem Indikator für Lärm in Wohngebieten, wie er vom Nationalen Forschungsprogramm NFP 41 'Transport und Umwelt' als Nachhaltigkeitskriterium vorgeschlagen wird³¹.

Unüblich innerhalb der UBP-Methodik ist hier, dass der Indikator relativ nahe beim geschädigten, zu schützenden Subjekt (der Bevölkerung) gewählt wird und nicht bei der Emissions-Quelle (den Fahrzeugen). Solange es aber zum Indikator einen gesetzlich verbindlichen, kritischen Ziel- oder Grenzwert gibt, ist das Verfahren konsistent³².

Kritische Fracht:

Die Immissionsgrenzwerte der LSV sind so gesetzt, dass bei Erreichen der Immissionsgrenzwerte 15%-25% der Bevölkerung 'stark gestört' sind. Dies wird als gesetzliche Grenze der Zumutbarkeit verstanden³³. Dabei werden jedoch beispielsweise lärmempfindliche Bevölkerungsteile nicht geschützt [Hoffmann 1999].

Diese Vorgabe kann als kritischer Zielwert verstanden werden. Hier wird angenommen, dass ein Anteil der Bevölkerung von 20% 'stark lärmgestörter' Personen als kritische Belastung gilt. Bei einer aktuellen Bevölkerung von 7.062 Mio. Einwohnern macht dies 1.412 Mio. 'stark

³⁰ Genauer würden diese Personen auf einer Skala der Störung von 0 bis 10 die Werte 8, 9 oder 10 angeben. Die 'stark gestörten' Personen werden englisch mit 'highly annoyed' HA bezeichnet.

³¹ Das Modul C5 "Criteria for Sustainable Transport" des NFP 41 schlägt als Lärm-Indikator "percent of excessively affected people" vor; siehe http://www.snf.ch/nfp41/PROJECT.S_E/Modcen.htm und <http://www.ecoplan.ch/download/c5-e.ZIP>.

³² In [Braunschweig et al. 1993] wurde der alternative Vorschlag gemacht, die Anzahl gefahrener Fahrzeug-Kilometer als Kriterium für die Lärmbelastung zu wählen. Die kritische Fracht müsste hierbei so gewählt werden, dass alle Gebiete nicht stärker als der Immissions-Grenzwert der LSV beschallt werden (Absicht der Gesetzgebung). Ein Problem bei diesem Indikator ist, dass die kritische Fracht (Fzkm/a) technologieabhängig wird. Werden Fahrzeuge gesamthaft leiser steigt die zulässige kritische Fracht. In diesem Sinne wäre der Indikator nicht für eine 'ökologische Knappheit' (Belastungsgrenze der Umwelt) sondern für eine 'technisch-ökonomische Knappheit' (Fähigkeit der Technik und des Marktes bestehende Lärm-Gesetze zu erfüllen) formuliert. Dies wird vom Autor als inkonsistent empfunden. Der Ansatz wird daher hier nicht weiter verfolgt.

³³ "Die Immissionsgrenzwerte für Lärm ... sind so festzulegen, dass nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören. (USG Art. 15)". Eine nicht erhebliche Störung wurde von der LSV bei einer starken Störung von 15%-25% der Bevölkerung postuliert. Dies erscheint als eine eher lockere Interpretation des Gesetzestextes. Schäden durch Lärm werden also eher gering bewertet.

lärmgestörte' Personen. Dieser Wert gilt sowohl für die Belastung während der Nacht als auch am Tag.

$F_k = 1'412'000$ stark lärmgestörte Personen/a

Aktuelle Fracht:

Die Auswirkungen von Lärm können in Effektkurven gezeigt werden, welche den Anteil stark gestörter Personen in Abhängigkeit der gemessenen Lärmpegel darstellen. Unten sind die Ausmasse der (subjektiven) Beeinträchtigungen, welche Personen im Innenraum von Gebäuden erleiden gegen die im Aussenraum gemessenen Dauerpegel L_{eq} aufgetragen [Olivia 1998:118]. Die vom Lärm gestörten Aktivitäten sind: Schlafen, Radiohören, Sprechen und Erholung.

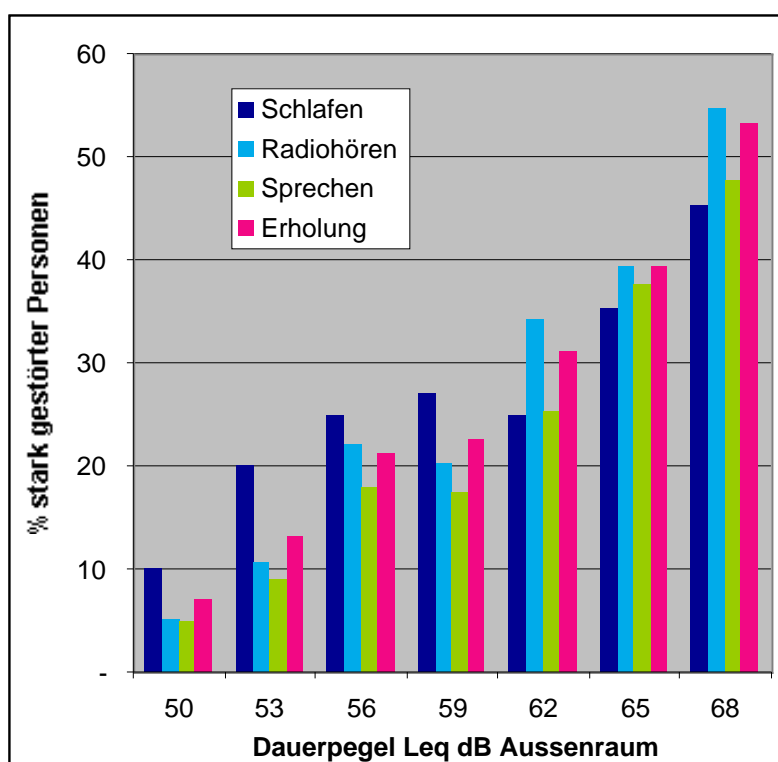


Fig. 8 Ausmasse der (subjektiven) Beeinträchtigungen, welche Personen im Innenraum von Gebäuden erleiden gegen die im Aussenraum gemessenen Dauerpegel L_{eq} [Olivia 1998:118]

Im Folgenden werden Lärmstörungen in der **Nacht** und am **Tag** unterschieden. Die Beeinträchtigung während des Tages besteht in der Behinderung von Gesprächen³⁴. Während der Nacht wird der Schlaf gestört. Um die aktuelle Belastung der Bevölkerung zu ermitteln müssen zwei Umstände bekannt sein: 1.) Die Verteilung der Schallbelastung im Aussenraum, d.h. die Anzahl Personen, welche Gegenden mit einem gewissen Mittelpegel bewohnen

³⁴ [Müller-Wenk 1999] erläutert, dass aus Sicht der Effektanalyse ein Schaden vorliegt, wenn Verständigungsschwierigkeiten aufgrund eines erkrankten, schwachen Gehörs oder - wie hier - aufgrund äusserer Umstände bestehen.

(Exposition) und 2.) der Anteil der Bevölkerung, welcher sich bei einem bestimmten Mittelpegel als 'stark gestört' bezeichnet (Effektkurve). Die Anzahl stark gestörter Personen ergibt sich dann durch Multiplikation dieser beiden Grössen.

Die Verteilung der Bevölkerung nach der Aussenraumbelastung wurde in [Müller-Wenk 1999] für die Schweiz aus Daten des Lärmübersichtskatasters Kantons Zürich [Angst et al. 1998] extrapoliert.

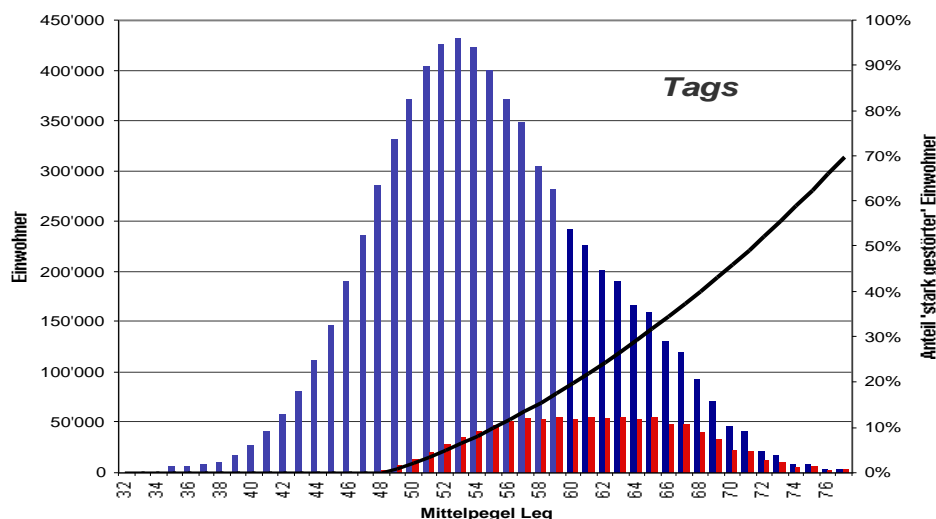


Fig. 9 Kombinationsgrafik: Verteilung der Schweizer Bevölkerung nach der Aussenraumbelastung **während des Tages** (hohe Säulen), der Effektkurve '% stark gestörte Bevölkerung' vs. Mittelpegel L_{eq} (Linie), dem Anteil 'stark gestörter' Einwohner (kleine Säulen), und der über dem gesetzlichen Grenzwert von 60dB lebenden Bevölkerungsanteil (nicht schraffierte, hohe Säulen).

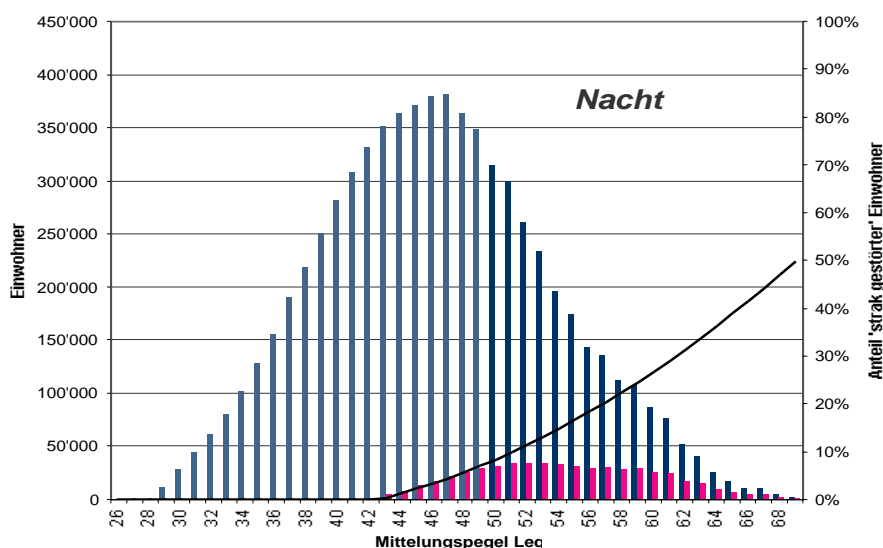


Fig. 10 Kombinationsgrafik: Verteilung der Schweizer Bevölkerung nach der Aussenraumbelastung **während der Nacht** (hohe Säulen), der Effektkurve '% stark gestörte Bevölkerung' vs. Mittelpegel L_{eq} (Linie), dem Anteil 'stark gestörter' Einwohner (kleine Säulen), und der über dem gesetzlichen Grenzwert von 50dB lebenden Bevölkerungsanteil (nicht schraffierte, hohe Säulen).

Aus den Angaben in [Olivia 1998:118] für 'Sprechen' und 'Schlafen' werden Effektkurven für Tag und Nacht-Situationen hergeleitet. Die angepasste Kurve wird als quadratisches Polynom angesetzt.

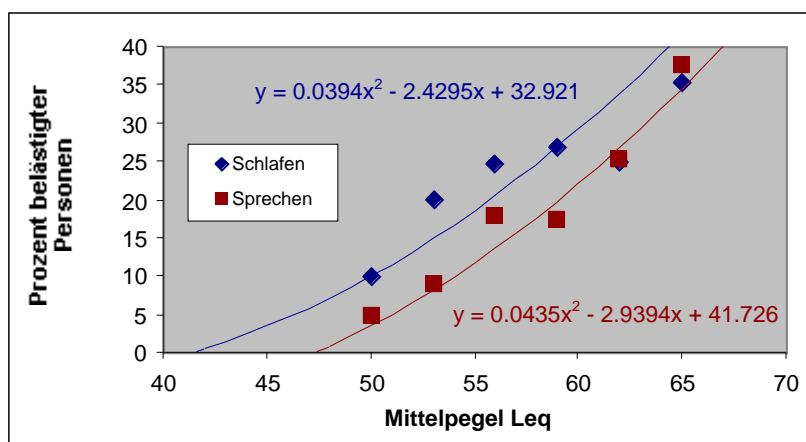


Fig. 11 Effektkurve '% stark gestörte Bevölkerung' vs. Mittelpegel L_{eq} für Tag und Nacht. Nach Daten von [Olivia 1998]

Die Multiplikation der Anteile der Effektkurve mit den den entsprechenden Mittelpegeln ausgesetzten Personen ergibt die gesamte Anzahl stark lärmgestörter Personen.

Aktuell stark lärmgestörte Personen TAGS: $F(\text{Tags}) = 865'202$ Personen/a

Aktuell stark lärmgestörte Personen NACHTS: $F(\text{Nachts}) = 476'029$ Personen/a

Werden diese Werte als aktuelle Frachten F verwendet, ergeben sich (mit kritischer Fracht jeweils 20% der Bevölkerung = 1'412'000 Personen) folgende Ökofaktoren³⁵:

Ökofaktor Lärm-TAGS: 433'712 MUBP pro gestörte Person

Ökofaktor Lärm-NACHTS: 238'626 MUBP pro gestörte Person

Kohlenmonoxid CO

Kohlenmonoxid (CO) ist ein Luftschadstoff, welcher bei der unvollständigen Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Brenn- und Treibstoffen entsteht. Seine Umweltwirkung besteht vor allem in der direkten Giftwirkung auf den Menschen³⁶. In den 50er und 60er Jahren führt die

³⁵ Es fällt auf, dass der Ökofaktor für in der Nacht gestörte Personen kleiner ausfällt als der entsprechende für den Tag. Dies ist darauf zurückzuführen, dass aktuell in der Nacht weniger Personen gestört sind als am Tag. Zwar leben in der Nacht mehr Personen über dem IGW von 50dB, als am Tag über 60dB. Die gefundene, aktuelle Effektkurve für die Nacht ist weniger gravierend als dies die LSV nahelegt, i.e. beim IGW von 50dB sind gemäss Effektkurve rund 10 Prozent 'stark belästigt' und nicht 15% bis 25%.

³⁶ CO bindet sich stark an das Hämoglobin der roten Blutkörperchen an Stelle von Sauerstoff. Es behindert so den Sauerstofftransport im Körper und belastet dadurch Herz und Kreislauf.

starke Verkehrszunahme zu einem starken Anstieg der Kohlenmonoxid-Belastung. Nach einem Maximum 1975 erfolgte eine Trendwende und eine stetige Abnahme der Belastung.

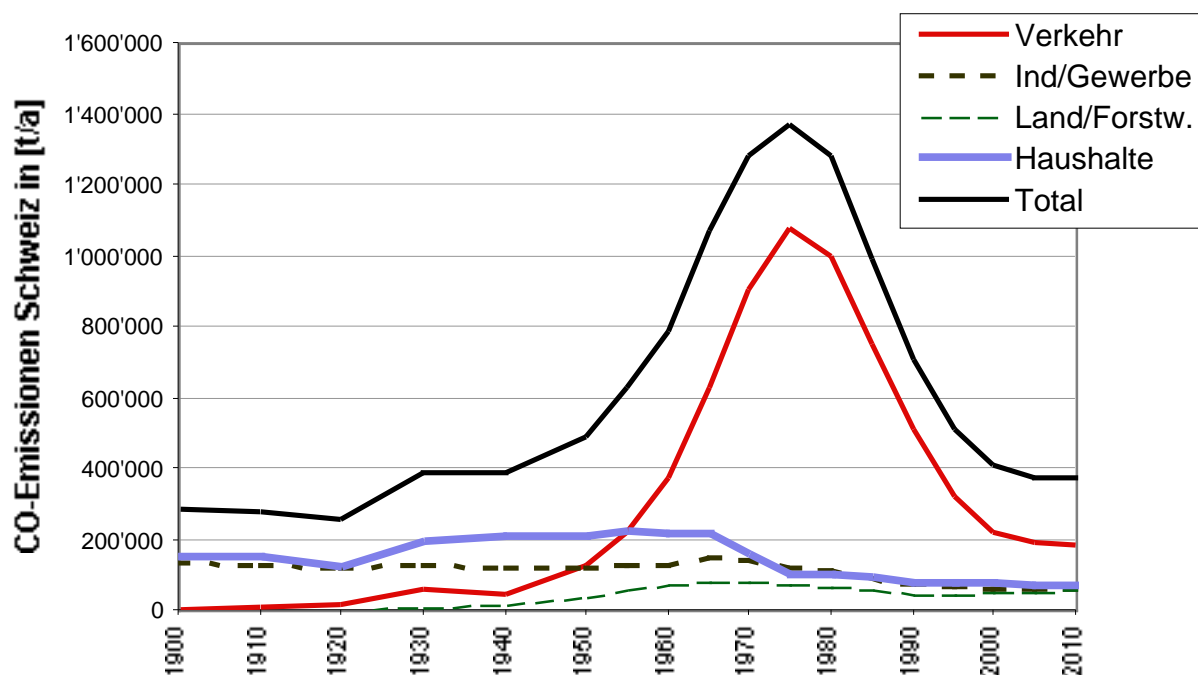


Fig. 12 Zeitlicher Verlauf und Quellen der Kohlenmonoxidbelastung der Schweiz [BUWAL 2000A]

Im Jahre 1986 erstellte der Bundesrat das Luftreinhalte-Konzept (LRK). In diesem Bericht setzte er sich unter anderem das Ziel, die jährlichen Emissionen von Kohlenmonoxid mindestens auf den Stand von 1960 zu reduzieren. Dieses Ziel wurde Ende der 80er Jahre erreicht. Die Kohlenmonoxid-Belastung wird heute gesamtschweizerisch als unkritisch betrachtet. Die Gesamtbelastung ist heute (2000) etwa halb so gross wie 1960.

Trotzdem beträgt der Anteil des Verkehrs an der Gesamtbelastung rund 50%. Und weiterhin ist Kohlenmonoxid ein für PKWs reglementierter Abgas-Schadstoff. Obwohl seine Bedeutung gesamthaft eher unwesentlich ist, wird hier zur Vollständigkeit ein Ökofaktor für Kohlenmonoxid hergeleitet.

Berechnung des Ökofaktors für Kohlenmonoxid

Aktueller Fluss: Die gesamten, jährlichen CO-Emissionen der Schweiz betragen 1997 rund 682 Mio. kg [BUWAL 2000A].

Kritischer Fluss: Als kritische Belastung mit Kohlenmonoxid wurde in der LRV der Stand von 1960 betrachtet. Die gesamten, jährlichen CO-Emissionen der Schweiz betragen 1960 rund 788 Mio. kg [BUWAL 2000A].

Ökofaktor: Pro Kilogramm Kohlenmonoxid-Emission muss demnach eine Umweltbelastung von 1012 MUBP verbucht werden³⁷.

Ökofaktor Kohlenmonoxid = 1012 UBP / kg CO

Flächenverbrauch

Der Flächenverbrauch verschiedener menschlicher Aktivitäten rückt zunehmend in den Blickpunkt von Ökobilanzen. Die verschiedenen Flächennutzungen wie Siedlungsflächen, Landwirtschaft, Forstwirtschaft belasten die belegten und die umgebenden Gebiete in unterschiedlichster Weise. Ökosystemfunktionen wie z.B. Lebensraum für Tiere und Pflanzen, Puffer- und Regelungsfunktion für Wasser, Nähr- und Schadstoffe sowie die Biomasseproduktion werden durch menschliche Nutzung beeinträchtigt. Artenschwund, Bodenprobleme (Verdichtung, Erosion), Grundwassergefährdung sind Problemfelder, welche auf Bodennutzung zurückzuführen sind.

³⁷ Kohlenmonoxid wird kurzfristig in der Atmosphäre zu Kohlendioxid CO₂ umgewandelt und hat somit auch eine Wirkung als Treibhausgas. Daher kann aus dem Ökofaktor des Treibhausgases Kohlendioxid (200 UBP/kg CO₂) in Analogie ein alternativer Ökofaktor für Kohlenmonoxid abgeleitet werden. Pro Kilogramm CO entstehen 1.57 Kilogramm CO₂; der Ökofaktor von CO kann daher alternativ zu 314 UBP/kg CO bestimmt werden. Dies ist weniger als der oben bestimmte Ökofaktor von 1012 UBP/kg CO.

Im Rahmen der Methode der ökologischen Knappheit war es bisher üblich, beim Vorliegen mehrerer Wirkungen einer Substanz diejenige Wirkung zur Berechnung des Ökofaktors zu verwenden, welche den grösseren Ökofaktor ergibt [BUWAL 1998:12]. So wird der empfindlichste Schaden, den die Substanz erzeugen kann, bewertet [BUWAL 1998:24]. Kombinationswirkungen einer Substanz werden so aber in der Bilanz nicht abgebildet. Um möglichst konsistent zur originalen UBP'97-Methodik zu bleiben, wird hier ebenfalls nur der grössere Ökofaktor von 1012 UBP/kg CO zur Bewertung von Kohlenmonoxidemissionen verwendet.



Fig. 13 Gemeinden Giebenach & Füllinsdorf, BL. Luftaufnahme vom 3. Juni 1970 (links) und vom 26. Juli 1994 (rechts)³⁸. Deutlich erkennbar ist die Zunahme der Siedlungs und Verkehrsfläche sowie die 'Ausräumung' der Landschaft.

Die Analyse, Bewertung und Ökobilanz-Einbindung all dieser Einwirkungen gestaltet sich aufgrund der Standortabhängigkeit und starken Wechselwirkungen der Effekte sehr schwierig. Bisher existieren Bewertungsansätze für Ökobilanzen, welche auf der verbleibenden Pflanzen-Biodiversität von Arealen mit bestimmter Nutzung beruhen [Koellner 1999]. Dieser Ansatz ist bereits in die Bewertungsmethode Eco-indicator'99 eingeflossen.

In der MUBP'97-Methode soll trotz der Komplexität des Problems nur ein einfacher, ganz grober Indikator angewendet werden. Dieser soll eher als Platzhalter dienen, bis detailliertere Bewertungsansätze zur Verfügung stehen, welche kompatibel zur UBP/MUBP-Methodik eingesetzt werden können³⁹. Der Entscheid zu Gunsten eines einfachen Indikators wird aufgrund des begrenzten Aufwandes gefällt.

Einige Eckdaten zum Landkonsum der Schweiz

Die gesamte Fläche der Schweiz beträgt 41'285 km². Rund 1.9% davon, 80'000 ha, waren 1993 Verkehrsflächen, Tendenz steigend. Im Mittelland machten 1993 Verkehrsflächen rund 8% der Fläche aus. Von den Verkehrsflächen wurden 90% durch den Strassenverkehr beansprucht [BUWAL 1994:147].

³⁸ Vom Bundesamt für Statistik BfS, http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber02/asch/bonuwa/dgieben.htm

³⁹ Insbesondere wird hier nur ein Indikator für die Flächenbelegung (Fläche mal Zeit) betrachtet. Eine Bewertung der Übergänge (Transformation) zwischen Flächen verschiedener ökologischer Qualitäten findet nicht statt.

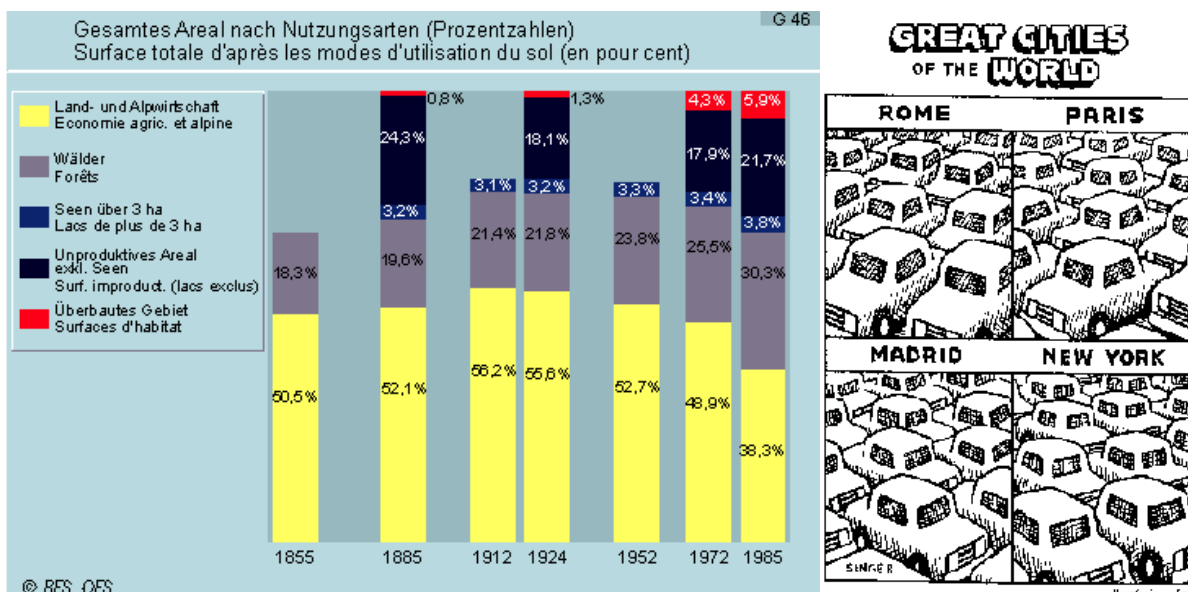


Fig. 14 Angaben zur Landnutzung. Statistische Angaben zur Gesamtnutzung Schweiz [BFS 1994] und satirische Illustration der Situation internationaler Metropolen ⁴⁰.

Die gesamte Fläche der Bauzonen der Schweiz beträgt rund 340'000 ha. Davon waren 1993 bereits 242'000 ha (71%) überbaut (Siedlungs- und Verkehrsflächen). Seit 1950 hat sich die Bodenüberbauung der Schweiz verdoppelt. Die laufende Bodenüberbauung beträgt 28 Quadratkilometer pro Jahr (rund 1m² pro Sekunde). Bei dieser Geschwindigkeit reichen die Baulandreserven noch bis ins Jahr 2028. Bauzonenflächen können daher als knappes Gut angesehen werden. Die weitgehend versiegelten, bzw. intensiv genutzten, überbauten Siedlungs- und Verkehrsflächen stellen eine geringe ökologische Qualität und damit einen hohen ökologischen Schaden dar. Im folgenden soll ein Ökofaktor für die Indikatorgrosse 'Flächenbelegung durch Überbauungen' hergeleitet werden. Die physikalische Einheit der Bodenüberbauung ist 'Fläche mal Dauer'. Hier wird die Einheit Quadratmeter-Jahre (m²a) gewählt.

Aktuelle Fracht:

Aktuell sind 2530 Mio. m² der Schweiz überbaut; die resultierende 'Fracht an Flächenbelegung' ist demnach 2530 Mio. m²a pro Jahr.

Kritische Fracht:

Zur Bewertung der Bodenüberbauung sind Grenzwerte notwendig, welche ein kritisches Ausmass der Bodenüberbauung festlegen. Quantitative Richtwerte dazu sind zur Zeit nicht vorhanden. Im Landschaftskonzept der Schweiz ist von der Aufwertung und Vernetzung der verbleibenden naturnahen Gebiete, dem schonenden Umgang mit dem Boden die Rede, aber eine eigentliche Restriktion der Bodenüberbauung wird nicht angesprochen [BUWAL et al.

⁴⁰ <http://www.upi-institut.de/images/upi37cities.gif>

1999]. Die dort angesprochenen Probleme der Bodennutzung weisen aber darauf hin, dass diese bereits heute schwerwiegend sind.

Im Verkehrsprotokoll der Alpenkonvention der Alpenländer⁴¹ werden Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Mobilität im Alpenraum gesetzt. Dabei soll neben anderen Zielen auf den Bau neuer alpenquerender Strassen verzichtet werden. Neue interalpine Strassen benötigen eine Umweltverträglichkeitsprüfung zu Gunsten des Projektes. Das Protokoll wurde Ende 2000 genehmigt [BFE 2000]. Diese Ziele betreffen zwar nicht die gesamte Schweiz, weisen aber darauf hin das in speziellen Gebieten neue Strasseninfrastruktur nur mit grosser Zurückhaltung möglich sind.

Quantitativ formuliert sind die Ziele der OECD zu einer ökologisch nachhaltigen Entwicklung im Transportbereich [OECD 2000:37]. Für den Bereich Flächenbelegung⁴² wird dort eine Zielgrösse formuliert, welche *"wahrscheinlich unter den Werten von 1990 liegen wird"*⁴³. Die OECD-Zielwerte wurden mit der Absicht formuliert, dass sie in nationalen Richtlinien zur Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung im Transportbereich verwendet werden.

Es werden hier drei Varianten zur Festlegung der 'kritischen Bodenüberbauungs-Fracht' betrachtet.

- Variante A)** Die 1960 überbaute Fläche (44% der Bauzonenflächen) wird als kritische Überbauungsfläche angesehen.
- Variante B)** Die 1997 überbaute Fläche (75% der Bauzonenflächen) wird als kritische Überbauungsfläche angesehen.
- Variante C)** Die gesamte Bauzonenfläche von 3393 Mio. m² (100%) wird als kritische Überbauungsfläche angesehen.

Ökofaktor:

	Variante A	Variante B	Variante C
Aktuelle Fracht (1997)	2530 Mio. m ² a/a	2530 Mio. m ² a /a	2530 Mio. m ² a /a
Kritische Fracht	1490 Mio. m ² a /a	2530 Mio. m ² a /a	3393 Mio. m ² a /a
Ökofaktor (MUBP/m2a)	1140	395	220

Tab. 6 Ökofaktor für Flächenbelegung in drei Varianten

⁴¹ Vertragsparteien der Alpenkonvention sind Frankreich, Monaco, Deutschland, Schweiz, Liechtenstein, Italien, Österreich, und Slowenien.

⁴² "land-use / land-take"

⁴³ Im englischen Text lautet die Zielformulierung: "Land-use and in particular infrastructure for the movement, maintenance, and storage of transport vehicles is developed in such a way that local and regional objectives for air, water and ecosystem protection are met. Compared to 1990 levels, transport activity will likely entail a smaller proportion of land devoted to transport infrastructure."

Die Vorstellungen der geltenden Zonenordnung werden durch die Variante C abgebildet: Die gesamte Bauzonenfläche kann überbaut werden. Dabei ist anzumerken, dass die Zonenordnung das Ergebnis einer multikriteriellen Entscheidung mehrerer Entscheidungsträger ist, wobei ökologische Aspekte nur eine bescheidene Rolle spielen.

In Anlehnung an die oben erwähnten Zielsetzungen der OECD, würde die Bodenüberbauung eher geringer als 1990 ausfallen. Dies entspräche einer Variante zwischen Variante A und Variante B.

Als Kompromiss zwischen Zonenordnung und der Konzeption der OECD wird in dieser Studie der **Ökofaktor nach Variante B** verwendet:

Ökofaktor Flächenbelegung = 395 MUBP / m²a (Variante B)

Würden die Ökofaktoren der Varianten A bzw. C verwendet, veränderten sich die Umweltbelastungen durch Flächenbelegung um einen Faktor 3 resp. 0.6.

Landschaftszerschneidung

Heute sind in der Schweiz nur noch wenige grössere, zusammenhängende naturnahe Flächen vorhanden. Es sind dies vor allem Waldgebiete, alpine Regionen und einige wenige Feuchtgebiete. Naturnahe Lebensräume in der Kulturlandschaft werden durch Siedlungen, Strassen, Industriegebiete, Sportanlagen und landwirtschaftliche Intensivkulturen voneinander isoliert.



Fig. 15 Insbesondere Autobahnen sind für Wildtiere meist unüberwindbare Schranken.

Zwischen den getrennten Tierpopulationen ist der genetische Austausch reduziert, was beim Unterschreiten einer kritischen Populationsgrösse zu einem Mangel an genetischer Vielfalt führt. Inzucht kann eine Population degenerieren, dadurch schwächen oder vollständig zum Aussterben bringen. Die nachhaltig benötigte Population (Minimum Viable Population MVP) variiert je nach Art zwischen mehreren hundert bis ein paar tausend Individuen. Viele

Tierarten müssen sich zudem auch in der Landschaft über grössere Distanzen bewegen können, um weit verstreute Nahrungsquellen aufzusuchen.

Um die Verkehrsteilnehmer vor gefährlichen Wildunfällen zu schützen, wurden in der Schweiz die Autobahnen mit Zäunen gesichert, allerdings ohne dabei auf überregionale Bewegungsachsen von Wildtieren Rücksicht zu nehmen. Insbesondere im Mittelland wurden durch den Nationalstrassenbau zahlreiche regional und überregional bedeutende Wildwechsel vollständig blockiert. Natürliche Wanderungen von den Alpen in den Jura waren beispielsweise nach dem Bau der A1 nicht mehr möglich. Ein Inventar ehemaliger sowie noch bestehender Wildtierkorridore von nationaler Bedeutung förderte zutage, dass von den 303 übergeordneten Wildwechseln der Schweiz noch 84 intakt sind [SGW 1999, NZZ 2000]

Teilweise kann zwischen isolierten Lebensräumen über sogenannte 'Trittsteine' (Hecken, Bäche, Wald- und Wegränder, Einzelbäume, usw.) ein gewisser genetischer Austausch noch bestehen. Es ist deshalb besonders wichtig, solche Landschaftselemente als ökologische Ausgleichsflächen zu bewahren.

In der MUBP'97-Methode soll trotz der Komplexität des Problems nur ein einfacher, ganz grober Indikator angewendet werden. Dieser soll eher als Platzhalter dienen, bis detailliertere Bewertungsansätze zur Verfügung stehen. Der Entscheid zu Gunsten eines einfachen Indikators wird aufgrund des begrenzten Aufwandes gefällt.

Als Indikatorgrösse wird 'Anteil der nicht intakten überregionalen Wildtierkorridore' gewählt⁴⁴. Die Belastung wird umgelegt auf die jährlich in der Schweiz gesamthaft gefahrenen Fahrzeugkilometer. Nachteil: die Korridore werden teilweise auch durch Siedlungsraum unterbrochen. Hier wird aber alles auf den Verkehr abgewälzt was zu einer Überschätzung führt. Da aber der Handlungsbedarf (Zielsetzung) eher unterschätzt wird, ergibt sich eine Kompensation.

Aktuelle Belastung: Von den gesamt 303 überregionalen Wildtierkorridoren der Schweiz sind 84 intakt. 219 Koridore sind nicht intakt. Die aktuelle Belastung beträgt daher 72.3% nicht intakte überregionale Wildtierkorridore (= NIUW).

Kritische Belastung: Eine Zielsetzung zum Thema Flächenzerschneidung ist in der Schweizer Umweltpolitik nicht quantitativ formuliert. Im Landschaftskonzept der Schweiz wird die Aufwertung und Vernetzung der verbleibenden naturnahen Gebiete propagiert [BUWAL et al. 1999]. Die offizielle Forstpolitik der Eidgenössischen Forstdirektion enthält unter anderem auch das Ziel der *"Erhaltung, Verbesserung, Wiederherstellung und Vernetzung von Lebensräumen verbreiteter Arten"* [EFD 2000].

⁴⁴ Diese sehr grobe Grösse berücksichtigt nicht die relative Bedeutung der Korridore untereinander, noch die Bedeutung der Tierart(en), welche den Korridor benutzen oder das genaue Ausmass der Beeinträchtigung.

Aus diesen Informationen kann geschlossen werden, dass ein (konservatives) Ziel die *Vermeidung einer weiteren Verschlechterung der Situation* sein soll. Wenn möglich soll die aktuelle Situation aber verbessert werden. Als bescheidenes Ziel wird hier deshalb formuliert, dass die akzeptable kritische Belastung *höchstens gleich der aktuellen Belastung* sein soll. Die kritische Belastung beträgt daher 72.3% nicht intakte überregionale Wildtierkorridore (NIUW).

Ökofaktor: Pro Prozent nicht intakter überregionaler Wildtierkorridore (NIUW) muss demnach eine Umweltbelastung von 13.8 Milliarden MUBP verbucht werden:

Ökofaktor Flächenzerschneidung = 13.8 Milliarden MUBP / % NIUW

Pro Jahr werden in der Schweiz rund 50 Milliarden Fzkm zurückgelegt. Die aktuelle Belastung der Flächenzerschneidung von 72.3% nicht intakter überregionaler Wildtierkorridore wird näherungsweise gesamthaft von dieser Fahrleistung erzeugt. Pro Fzkm wird daher eine Belastung von $1.44 \cdot 10^{-11}$ % NIUW erzeugt. Dies entspricht rund 20 MUBP pro Fzkm.

Verkehrsunfälle

In Ökobilanzen werden Schäden an der Umwelt, welche von einem bestimmten Prozess oder Produkt ausgehen, erfasst. Dabei werden üblicherweise auch indirekte Gesundheitsschäden am Menschen durch die Verbreitung von Schadstoffen wie z.B. Stickoxiden NO_x oder Blei bewertet. Für einen gesundheitsgeschädigten Menschen ist es wenig bedeutsam, ob die auslösende Schädigung eine indirekte oder eine direkte Wirkung eines Prozesses darstellt. Es gibt daher wenig Anlass die *direkten* Gesundheitsschäden des Strassenverkehrs hier nicht mit in die Bilanz einzubeziehen.



Fig. 16

In der Schweiz ereignen sich jährlich über 22'000 Strassenverkehrsunfälle mit über 27'00 Verletzten und 600 Toten.

Pro Jahr sterben in der Schweiz rund 600 Personen im Strassenverkehr⁴⁵. Dies sind rund 30% aller Unfall-Todesfälle (inkl. Haushalt- und Berufsunfälle etc.). Über 27'000 Personen werden zudem jährlich bei Verkehrsunfällen verletzt⁴⁶ (Stand 1999). Wichtige Aspekte zum Unfallgeschehen sind unangepasste Geschwindigkeit und Alkoholeinfluss. Junge Lenker im Alter von 18 bis 25 Jahren besitzen das grösste Unfall-Risiko⁴⁷.

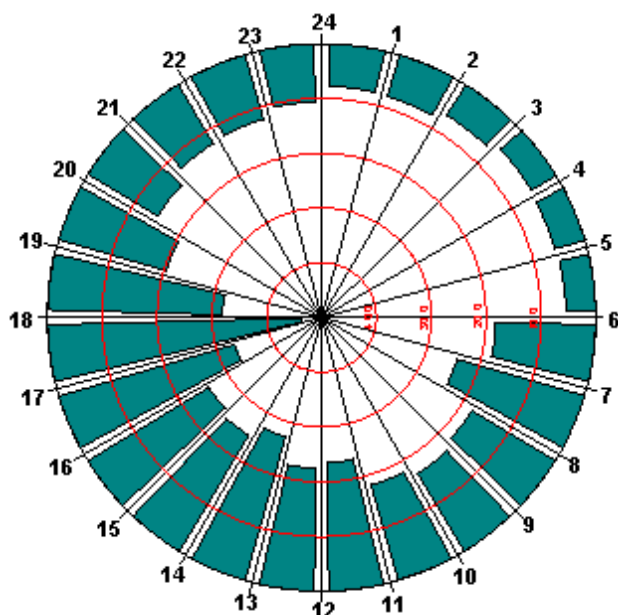


Fig. 17 Unfälle nach Tageszeit in Fällen pro Stunde [KPAG 1999]. Die Unfallhäufigkeit ist anscheinend unter anderem eine Überlagerung aus Verkehrsaufkommen und Aufmerksamkeit, wobei letztere im Laufe des Tages nachlässt.

Die sozialen Kosten⁴⁸ der Nichtberufs-Verkehrsunfälle betragen 1997 rund 5.9 Milliarden Franken⁴⁹ [BFU 2000]. Die Folgen der Unfälle können auch in Form von Lebenszeitverlust ausgedrückt werden. Der Lebenszeitverlust von Unfallopfern ergibt sich als Differenz zwischen dem Alter des Unfallopfers zur Zeit des Unfalls und der Lebenserwartung ohne Unfall. Ein

⁴⁵ Als 'Tote eines Verkehrsunfalles' werden nur Personen gezählt, welche innert 30 Tagen nach dem Unfall versterben. Sogenannte 'Spät-Tote' werden in der Statistik 'nur' als Schwerverletzte gezählt.

⁴⁶ Als 'Schwerverletzte' werden Personen erfasst, die stationär, d.h. mindestens 24 Stunden, in einem Krankenhaus behandelt wurden. Dies waren 23'228 im Jahr 1999. Andere Verunglückte gelten als 'Leichtverletzte'.

⁴⁷ Automobilverkehr ist zudem teilweise verantwortlich für die verbreitete Bewegungsarmut, welche eine ernste Gesundheitsgefährdung moderner Gesellschaften darstellt. Im Folgenden werden jedoch nur Gesundheitschäden aus Verkehrsunfällen betrachtet. Ansätze zur Bewertung des Einflusses des Mobilitätsverhaltens auf die Lebenserwartung bestehen jedoch, z.B. in [UPI 2000].

⁴⁸ Als soziale Kosten gelten medizinische Heilkosten, Wiedereingliederungs-, Neu- und Umbesetzungskosten, Produktionsausfälle, immaterielle Kosten, Sachschäden, Polizei- und Justizkosten, Administrativkosten der Versicherungen.

⁴⁹ Für einen PKW betragen die sozialen Kosten (ohne Sachschäden) CHF 64.- pro 100 Fzkm. Bei einem Treibstoffverbrauch von 8 Liter/100km macht dies CHF 8.- pro Liter.

Vergleich der Zeitverluste durch Kraftfahrzeug-Unfälle in Deutschland⁵⁰ ergab für 1989, dass im Durchschnitt pro 100 Fahrzeugkilometer 94 Minuten Lebenszeit verloren gehen. Pro 100 Stunden Fahrzeit errechnen sich 106.1 Stunden Lebenszeitverlust. Die benötigte Fahrzeit ist kürzer als der im Durchschnitt verursachte Lebenszeitverlust [Teufel et al. 1991].

Obwohl die Zahl der Verkehrstoten in letzten Jahren kontinuierlich abgenommen hat, hat sich die Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu zum Ziel gesetzt, die Zahl der Verkehrstoten weiter zu reduzieren. Das 'Vision Zero' benannte Leitbild stammt ursprünglich aus Schweden. Die bfu beruft sich als Motivation einerseits auf die Bundesverfassung, welche das menschliche Grundrecht wie folgt definiert:

Jeder Mensch hat das Recht auf persönliche Freiheit, insbesondere auf körperliche und geistige Unversehrtheit und auf Bewegungsfreiheit. (Art. 10.2)

Andererseits soll das Risiko bei einem Verkehrsunfall umzukommen nicht grösser sein, als das kleinste natürliche Sterberisiko durch Krankheit. Diese Zielsetzung fusst gemäss [Mahrer 2000] auf einem Bericht der Expertengruppe Verkehrssicherheit des Bundesamtes für Polizeiwesen [BUPO 1993].

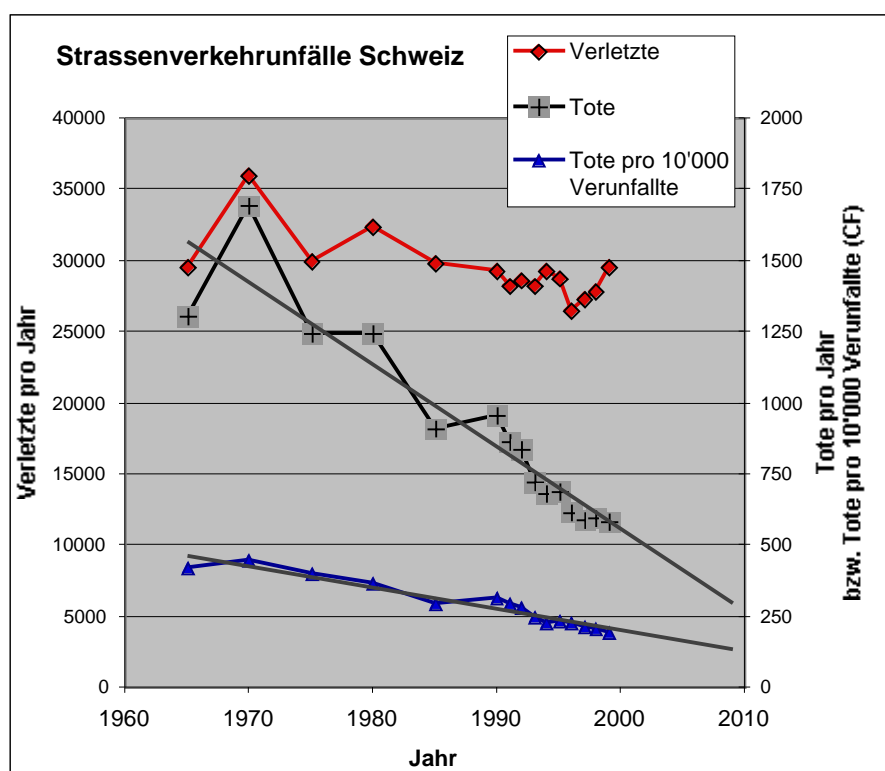


Fig. 18 Zeitreihe der jährlichen Verletzten und Toten im Schweizer Strassenverkehr, sowie der Kennzahl CF (case fatality, Tote pro 10'000 Verunfallte).

⁵⁰ Diese Zahlen dürften in der Schweiz niedriger liegen. Deutsche Verkehrsteilnehmer verursachen pro Personenkilometer 1.5 mal mehr Todesopfer als Schweizer Verkehrsteilnehmer (12 vs. 8 getötete pro Milliarde Personenkilometer, Stand 1993) [BFS 1997]

Die bfu setzt sich deshalb das mittelfristige Ziel⁵¹, bis 2010 die Zahl der Todesopfer von Verkehrsunfällen von heute knapp 600 auf 300 zu reduzieren [Hugenin 2000]. Wie aus der Entwicklung der letzten Jahre erkannt werden kann, wird das Ziel erreicht, wenn sich der bestehende abnehmende Trend linear fortsetzt.

Eine wesentliche Kenngrösse ist die Anzahl Tote pro 10'000 Verunfallte⁵² ('case fatality' CF). Sie gibt an wieviele von 10'000 Verunfallten umkommen und ist ein Mass für das Todes-Risiko der Verunfallten. Wie aus der Zeitreihe zu entnehmen ist, sinkt die CF zur Zeit stetig und liegt aktuell bei 200. Eine Senkung von CF kommt zustande, wenn sich a) die Anzahl Todesfälle verringert oder wenn sich b) die Anzahl der Verletzten erhöht. In der Schweiz ist seit 1997 beides der Fall: die Anzahl Verletzte ist wieder steigend und die Anzahl Todesfälle ist weiter rückläufig⁵³.

Im Folgenden werden zwei separate Ökofaktoren für Verkehrsunfalltote und -Verletzte hergeleitet. Die Indikatorgrosse ist jeweils 'Anzahl Fälle'.

Ökofaktor Verkehrsunfalltote

Aktuelle Fracht:

Im Bezugsjahr der MUBP'97-Methode, 1997, verunfallten 587 Menschen tödlich im Strassenverkehr. $F = 587$ Tote pro Jahr.

Kritische Fracht:

Gemäss Leitbild der bfu sollen im Strassenverkehr höchstens 300 Personen pro Jahr tödlich verunfallen⁵⁴. $F_k = 300$ Tote pro Jahr.

⁵¹ Das *langfristige* Ziel der "Vision Zero" ist keine Verkehrstoten mehr. Diese Angabe kann aber nicht als kritische Fracht zur Berechnung von Ökofaktoren verwendet werden, da sich unendlich grosse Ökofaktoren ergeben.

Das bfu will die Ziele u.a. durch Einführen einer Zweiphasenausbildung der Fahrzeuglenkenden erreichen. Damit werden im Anschluss an die Fahrschule weiterführende Inhalte vermittelt, welche auf die Gefahrenerkennung und Gefahrenvermeidung sowie das umweltschonende Fahren zielen. Zudem soll der Blutalkoholgrenzwert von 0.8 auf 0.5 Promille gesenkt sowie wiederholt verkehrsgefährdende Fahrzeuglenker härter belangt werden. Der Strassenraum innerorts soll unter besonderer Berücksichtigung der Verkehrssicherheit und damit des Verhaltens der schwächeren Verkehrsteilnehmer sukzessive neu gestaltet werden.

⁵² Verunfallte sind Tote + Verletzte

⁵³ Durch Verbesserungen des Unfallrettungswesens sowie der klinischen Intensivstationen können Verunfallte zunehmend über 30 Tage hinaus am Leben gehalten werden. Sterben sie nach dieser Frist werden sie in der Statistik nicht als Tote sondern als Schwerverletzte gezählt.

⁵⁴ Im Gegensatz zum umliegenden Ausland kennt man in der Schweiz bis heute kein eigentliches "Verkehrssicherheitsamt oder -departement", welches das Thema Unfallverhütung koordiniert. Bund, Kantone, öffentliche Anstalten, private Organisationen und Verkehrsverbände teilen sich diese Aufgabe. In der Strategie des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK wird vermerkt "Das UVEK ist bestrebt, die Sicherheit im Strassenverkehr weiter zu erhöhen" [Mahrer 2000]. Das Bundesamt für Strassen ASTRA erarbeitet seit Dezember

Ökofaktor:

Pro Verkehrsunfalltote muss demnach eine Umweltbelastung von 6.52 Milliarden MUBP verbucht werden.

$$\text{Ökofaktor Verkehrsunfalltote} = 6'522'000'000 \text{ MUBP} / \text{Todesfall}$$

Ökofaktor Verkehrsunfallverletzte**Aktuelle Fracht:**

Im Jahr 1997 wurden 27'286 Menschen im Strassenverkehr verletzt. $F = 27'286$ Verletzte pro Jahr.

Kritische Fracht:

Das Leitbild der bfu sieht keinen expliziten Zielwert für Verletzte vor. Da aber von einer linearen Fortschreibung der Entwicklungen ausgegangen werden kann, ist abzusehen, dass 2010 eine 'case fatality' CF von etwa 125 Toten pro 10'000 Verunfallte erreicht werden wird. Das heisst, wenn das bfu-Ziel (300 Tote) erreicht wird, werden sich dannzumal etwa 23'700 Verletzte pro Jahr ergeben. Diese Zahl kann als indirekter Zielwert der bfu verstanden werden⁵⁵.

$$F_k = 23'700 \text{ Verletzte pro Jahr}$$

Ökofaktor:

Pro Verkehrsunfallverletzten muss demnach eine Umweltbelastung von 48.6 Millionen MUBP verbucht werden.

$$\text{Ökofaktor Verkehrsunfallverletzte} = 48'600'000 \text{ MUBP} / \text{Verletzter}$$

Ein Strassenverkehrstoter zählt in der MUBP-Methode demnach 134mal so viel wie ein Verletzter.

Zum Vergleich: Bei den gesamten sozialen Kosten gemäss [BFU 2000] zählt ein Toter 890mal so viel wie ein Verletzter⁵⁶.

2000 im Auftrag des UVEK die notwendigen Grundlagen zur Umsetzung der 'Vision Zero'. In diesem Sinne sind die Vorstellungen der 'Vision Zero' als schweizerische Zielsetzungen im Bereich Strassenverkehrssicherheit zu verstehen.

⁵⁵ Die 'Vision Zero' will sicherlich nicht erreichen, dass sich der günstige Abwärtstrend bei den Toten pro Verunfallte abflacht oder sogar umkehrt.

⁵⁶ Durchschnittlich 1.78 Mio. CHF pro Strassenverkehrs-Todesfall und 2'000 CHF pro Verletzter.

Ökoinventar (Sachbilanz)

Folgende Fahrzeugmodelle werden untersucht:

Kategorie	Modellbezeichnung	Kurzbezeichnung
Kat. S	Smart & Pulse man.	Smart Pl m
Kat. S	Smart & Pure man.	Smart Pr m
Kat. S	Smart & Pulse autom.	Smart Pl a
Kat. A	Fiat Punto 1.1 S50	Punto
Kat. A	Opel Corsa 3türig	Corsa 3t
Kat. A	VW Lupo 3l 1.2 TDI	* VW Lupo
Kat. A	Nissan Micra K11	Micra
Kat. B	VW Golf 1.4	Golf
Kat. B	Opel Astra 1.4	Astra
Kat. B	Opel Corsa 5türig	Corsa 5t
Kat. B	Opel Corsa autom.	Corsa a
Kat. B	Opel Combo Kasten.	Combo
Kat. Bn	Renault Kangoo 1.4	Kangoo
Kat. B	Mazda 323 1.6	Mazda 323
Kat. C	Fiat Punto Cabrio	Punto Cabr.
Kat. C	Opel Astra Cabrio	Astra Cabr.
Kat. C	Opel Sintra 2.2	Sintra
Kat. C	Toyota Previa 2.4	Previa
Kat. C	Nissan Serena 1.6	Serena
Kat. C	VW Beetle 2.0	VW Beetle
Kat. C	Fiat Barchetta 1.7	Barchetta Cabr.
Kat. C	Opel Vectra 1.8	Vectra
Kat. T	Toyota Hiace 2.7	Hiace
	Durchschnitts-PKW Schweiz (als Vergleich)	Ø CH 99

Tab. 7 In dieser Studie untersuchte Fahrzeugmodelle der Mobility Flotte

Kategorie: Die Mobility-Flotte ist unterteilt in verschiedene Kategorien, welche sich durch verschiedene Tarife für den Nutzenden unterscheiden. Kategorie S enthält nur den Zweiplätzer Smart. Kategorien A und B enthalten kleinere und mittlere Limousinen und Kombis. Kategorie C enthält grosse, bis neunplätzig Familienwagen und Freizeitautos ('Funcars' wie Cabrios und den VW Beetle). Kategorie T enthält den reinen Transporter Toyota Hiace.

Als Vergleichsfahrzeug wird zudem ein durchschnittlicher PKW, wie er 1999 auf den Schweizer Strassen anzutreffen war, bilanziert.

Fahrzeug-Herstellung

Die bei der Fahrzeugherstellung benötigten Materialien werden aus [ESU 1996] übernommen. Dort wird ein Fahrzeug von 1000kg bilanziert. Hier werden jedoch alle Fahrzeuge gemäss ihrem tatsächlichen Gewicht bilanziert. Die Material-Zusammensetzung der Fahrzeuge wird als konstant angenommen.

Materialien pro Fahrzeug		Menge	Zusammensetzung G-%
Aluminium 0% Rec.	kg	40	4.0%
Blei	kg	15	1.5%
Glas (Flach-) unbeschichtet	kg	35	3.5%
Gummi EPDM	kg	60	6.0%
Gusseisen	kg	80	8.0%
Kupfer	kg	10	1.0%
Polypropylen	kg	100	10.0%
Stahl hochlegiert	kg	10	1.0%
Stahl niedriglegiert	kg	85	8.5%
Stahl unlegiert	kg	559	55.9%
Zink fuer Verzinkung	kg	6	0.6%
Platin ab Anreicherung*	kg	0.002625	–
Rhodium ab Anreicherung*	kg	0.0005475	–

Tab. 8 Proportional zum Fahrzeuggewicht verbuchte Materialien. Hier für ein Fahrzeug von 1000kg.
* wird nur für Benzinfahrzeuge mit Kat. verbucht.

Daneben werden noch weitere Aufwendungen unabhängig vom Fahrzeuggewicht, fix für jedes Fahrzeug verbucht. Es ist dies insbesondere die direkt aufgewendete Herstellungsenergie in der Automobilfabrik. Aus der Lackierung stammen 5.25kg Lösemittel-Emissionen (NMVOC).

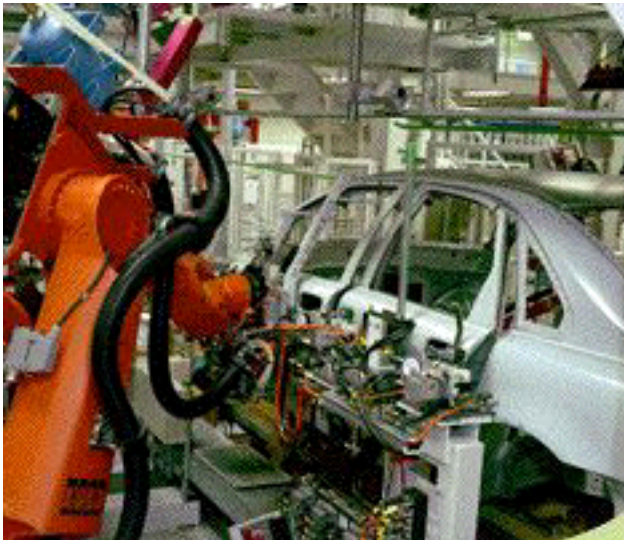


Fig. 19 Fahrzeugfertigung bei Volvo Schweden

Aufwendungen pro Fahrzeug		Menge
Erdgas in Industriefeuerung >100kW Euro	TJ	0.00495
Industriekohlefeuerung 1-10 MW	TJ	0.00084
Abwaerme in Luft p	TJ	0.0054
NMVOC p	kg	5.25
Wasser entkarbonisiert	kg	30000
Strom Mittelspannung - Bezug in UCPTTE	TJ	0.0054

Tab. 9 Verbuchte Aufwendungen der Fahrzeugherstellung pro Fahrzeug.

Die verbuchten Fahrzeuggewichte sind unten aufgeführt.

Modellname	Fahrzeuggewicht-kg	Herstellergebiet
Smart & Pulse man.	720	EU
Smart & Pure man.	720	EU
Smart & Pulse autom.	720	EU
Fiat Punto 1.1 S50	842	EU
Opel Corsa 3türig	940	EU
VW Lupo 3l 1.2 TDI	830	EU
Nissan Micra K11	980	EU
VW Golf 1.4	1083	EU
Opel Astra 1.4	1159	EU
Opel Corsa 5türig	970	EU
Opel Corsa autom.	1016	EU
Opel Combo Kasten.	1105	EU
Renault Kangoo 1.4	1105	EU
Mazda 323 1.6	1145	FE
Fiat Punto Cabrio	1090	EU
Opel Astra Cabrio	1240	EU
Opel Sintra 2.2	1730	EU
Toyota Previa 2.4	1855	EU
Nissan Serena 1.6	1620	FE
VW Beetle 2.0	1231	EU
Fiat Barchetta 1.7	1135	EU
Opel Vectra 1.8	1333	EU
Toyota Hiace 2.7	1730	EU

Tab. 10 Fahrzeuggewicht nach Herstellerangaben⁵⁷. Herstellungsgebiet nach [Quotidien 1999]. EU = Europa, FE = Fernost.

Import in die Schweiz

Für den Transport der Fahrzeuge von den Herstellungsorten in die Schweiz werden verschiedene Transportmittel über unterschiedliche Distanzen verwendet. Der Fahrzeugtransport wird nur grob nach Herstellergebieten unterschieden. Herstellergebiete sind Europa und Fernost. Mobility besitzt keine Fahrzeuge aus USA. Angaben über die

⁵⁷ Deutsche Marken in [VDA 1999, restliche [TCS 2000] und [Focus 2000b]

Herstellungsgebiete verschiedener Fahrzeuge stammen aus [Quotidien 1999]. Als Transportgewicht wird das Fahrzeuggewicht eingesetzt.

Für der Transport werden die Fahrzeuge mit einem Schutzwachs überzogen, welcher anschliessend als Sondermüll entsorgt werden muss. Es werden deshalb pro Fahrzeug eine geschätzte Menge von 14kg Sonderabfall verbucht (s. Kap. Entsorgung).

<i>Von europäischen Herstellern EU</i>	<i>Distanzen</i>	
Transport Frachter Uebersee	km	–
Transport LKW 28 t	km	150
Transport Schiene	km	600
<i>Von Fernost-Herstellern FE</i>	<i>Distanzen</i>	
Transport Frachter Uebersee	km	27500
Transport LKW 28 t	km	150
Transport Schiene	km	1000

Tab. 11 Transportarten und -distanzen für den Import in die Schweiz [Mertens 2000].

Fahrzeug-Betrieb

Für alle Fahrzeuge wird eine Lebensfahrleistung von 150'000 Fzkm angenommen (15'000 Fzkm pro Jahr über 10 Jahre). Alle Angaben pro Fzkm oder pro 100Fzkm werden auf die Lebensfahrleistung umgerechnet.

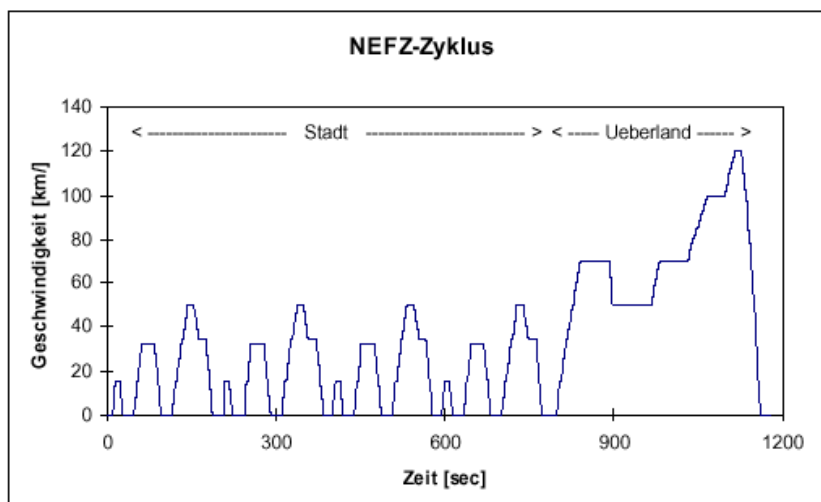
Angaben über Treibstoffverbrauch, Abgas-Emmissionen und Lärmprüfwerten der einzelnen Fahrzeugmodelle stammen aus Prüfwerten in der extensiven Datenbank in [VCA 2000] bzw. aus Herstellerangaben.

Angaben zum Schweizerischen Durchschnittsauto (Ø CH) stammen aus [BUWAL 1995]. Für 1999 wird ein Mix von 5.3% konventionellem Benzin-PKW (ohne Katalysator) , 87.0% Benzin mit geregelter G-Kat. und 7.7% Diesel-PKW angenommen.

Treibstoffverbrauch

Angaben zum Treibstoffverbrauch stammen aus dem EURO2/NEFZ-Typenprüftest⁵⁸. In diesem Test werden die Fahrzeuge einem standardisierten Fahrzyklus unterworfen. Der Test besteht aus einem dreimal wiederholten städtischen Fahrmuster und einem anschliessenden Überland-Teil. Die Messungen erfolgen zwischen 20° und 30°C Umgebungstemperatur an einem 'kalten' Motor, d.h. ohne unmittelbares, vorgängiges Laufenlassen. Die Fahrzeuge müssen aber eingefahren sein und bereits 3000km zurückgelegt haben. Der Test umfasst Beschleunigungen, konstante Geschwindigkeiten, Abbremsungen und Wartezeiten.

⁵⁸ NEFZ: Neuer Europäischer Fahrzyklus, identisch zum EURO2 Test. Ab EURO3 (=NEFZm) ist in der Messphase der *vollständige* Kaltstart enthalten, inkl. der ersten 40 Sekunden nach der Zündschlüsselbetätigung, welche beim EURO2 noch nicht erfasst werden.



	Mittlere Geschwindigkeit km/h	Höchst- geschwindigkeit Km/h	Dauer des Zyklus Sec.	Gefahrene Strecke Meter	Anteil der Zeit im Leerlauf %
NEFZ gesamt	33.6	120	1180	11'013	25%
Stadt	118.7	50	780	4'058	32%
Überland	62.6	120	400	6'955	10%

Fig. 20 Der NEFZ-Testfahrzyklus

Die aus diesem Test resultierenden Verbrauchswerte sind unten aufgeführt. Die Verbrauchswerte können im realen Betrieb von den Testwerten abweichen. Gründe dafür sind abweichender Anteil Stadtfahrten, individueller Fahrstil, tiefere Temperaturen als im Test und damit erhöhter Treibstoffverbrauch für Kaltstarts. Die Länge der gefahrenen Teststrecke beträgt rund 11 Kilometer. Ist die bei einer realen Fahrt zurückgelegte Strecke länger als 11 km, kann der Verbrauch pro Kilometer auch geringer ausfallen, da der erhöhte Verbrauch des Kaltstarts sich statistisch auf eine grössere Anzahl Kilometer verteilt. Umgekehrt kann der Verbrauch steigen, wenn die Fahrtstrecke kürzer als 11km ist. Die Testwerte werden trotzdem als repräsentativ für die Fahrzeugmodelle genommen, da sie zur Zeit die einzige einheitlich erfasste und damit faire Vergleichsbasis bilden.

Modell	Hubraum (cm ³)	Treibstoff	Treibstoffverbrauch (l/100km)		
			Stadtzyklus	Überland	Kombiniert
Smart PI m	599	Benzin	5.8	4.2	4.8
Smart Pr m	599	Benzin	5.8	4.2	4.8
Smart PI a	599	Benzin	5.8	4.5	5.0
Punto	1108	Benzin	-	-	6.5
Corsa 3t	973	Benzin	7.5	4.7	5.7
* VW Lupo †)	1191	Diesel	3.6	2.7	3.0
Micra	998	Benzin	7.1	5.3	6.0
Golf	1390	Benzin	8.8	5.6	6.8
Astra	1398	Benzin	9.6	5.7	7.1
Corsa 5t	973	Benzin	7.6	4.8	5.8
Corsa a	1199	Benzin	10.2	5.9	7.5
Combo	1389	Benzin	10.6	6.6	8.1
Kangoo	1390	Benzin	9.5	6.3	7.5
Mazda 323	1600	Benzin	-	-	7.6
Punto Cabr.	1242	Benzin	7.6	5.0	6.0
Astra Cabr.	1796	Benzin	11.0	6.2	8.0
Sintra	2200	Benzin	-	-	9.9
Previa	2438	Benzin	14.9	9.0	11.2
Serena	1597	Benzin	12.5	8.0	9.7
VW Beetle	1984	Benzin	11.8	6.9	8.7
Barchetta Cabr.	1747	Benzin	11.6	6.5	8.4
Vectra	1796	Benzin	10.4	5.6	7.4
Hiace	2694	Benzin	-	-	12.9
Ø konv. Benz CH'99	-	Benzin	-	-	9.2
Ø Kat CH 99	-	Benzin	-	-	8.4
Ø Diesel CH'99	-	Diesel	-	-	7.7
Ø PKW CH'99	1200	-	-	-	7.8

Tab. 12 Hubraum und Verbrauch der bilanzierten Fahrzeugmodelle. Die Angaben stammen aus dem EURO2/NEFZ-Testzyklus gemäss [VCA 2000].

†) Die Angaben zum VW Lupo stammen aus einem EURO4/NEFZm-Testzyklus, sind somit vollständiger und sind nicht strikt mit den Angaben für die restlichen Modelle vergleichbar. Bei der Resultatesdiskussion wird auf diesen Umstand eingegangen.

Reglementierte Abgas-Emissionen

Abgasvorschriften

Die in der Schweiz für Motorwagen geltenden Abgasvorschriften stimmen seit 1995 mit denjenigen der EU überein; allfällige Verschärfungen werden zeitgleich nachvollzogen. Der EURO 2-Abgasstandard (EU-Direktive 94/12) wurde 1997 eingeführt. Der verschärfte EURO 3-Standard (EU-Direktive 98/69) wurde am 1.1.2000 eingeführt und wurde am 1.1.2001 wirksam. Der EURO 4-Standard (ebenfalls EU-Direktive 98/69) wird ab 1.1.2005

eingeführt und wird am 1.1.2006 wirksam, wobei gewisse Hersteller bereits schon heute danach streben diese Standards zu erfüllen.

Normetappe	Inkrafttreten	Messzyklus	Grenzwerte Benzinfahrzeuge [g/km]				
			CO	HC	NOx	HC+NOx	PM10
EURO 2	1.10.1996	NEFZ	2.20	-	-	0.50	-
EURO 3	1.1.2001	NEFZm	2.30 ¹⁾	0.20	0.15	-	-
EURO 4	1.1.2006	NEFZm	1.00	0.10	0.08	-	-
			Grenzwerte Dieselfahrzeuge [g/km]				
			CO	HC	NOx	HC+NOx	PM10
EURO 2	1.10.1996	NEFZ	1.00	-	-	0.70 ²⁾	0.080 ³⁾
EURO 3	1.1.2001	NEFZm	0.64	-	0.50	0.56	0.050
EURO 4	1.1.2006	NEFZm	0.50	-	0.25	0.30	0.025

Tab. 13 EURO-Abgasvorschriften für Benzin- und Dieselfahrzeuge [BUWAL 2000b]. ¹⁾ Da im EURO 3/NEFZm-Testzyklus der vollständige Kaltstart erfasst wird, während im EURO 2/NEFZ-Zyklus die ersten 40 Sekunden nach Zündschlüsselbetätigung nicht gemessen werden, entspricht der EURO 3-CO-Grenzwert effektiv einer Verschärfung gegenüber EURO 2, obwohl der Wert höher als bei EURO 2 ist. ²⁾ 0.90 g/km für Dieselmotoren mit Direkteinspritzung, ³⁾ 0.10 g/km für Dieselmotoren mit Direkteinspritzung

Testergebnisse

In der Datenbank der VCA sind für über 1700 Fahrzeugmodelle detaillierte Ergebnisse der EURO-Abgasnormentests enthalten⁵⁹ [VCA 2000]. Beim EURO-Abgastest werden die regulierten Abgasschadstoffe Kohlenmonoxid CO, Stickoxid NO_x, Kohlenwasserstoffe HC und Partikel PM10 gemessen. Zudem werden in [VCA 2000] auch Angaben zum Kohlendioxidausstoss gemacht. Alle Angaben werden pro Fzkm gemacht. Diese Angaben können daher direkt weiterverwendet werden.

Kohlenwasserstoffe HC und Stickoxid NO_x sind in der EURO 2-Abgasnorm als einfache Summe nach Masse limitiert. Für einzelne Fahrzeuge sind daher Testresultate nur für (HC + NO_x) als Summe angegeben. Da in der Ökobilanz diese beiden Schadstoffklassen unterschiedlich bewertet werden, sollen diese Summenangaben wieder desaggregiert werden. Der Schlüssel für diese Aufteilung stammt als Durchschnittsangabe aus den Modellen für die NO_x und HC explizit angegeben wurden. Dabei müssen Benzin- und Dieselmotoren unterschieden werden.

⁵⁹ In der Datenbank sind die effektiv erhaltenen Messwerte des Tests aufgeführt, und nicht nur die Information, welcher Abgasnormenkategorie das Fahrzeug angehört.

	Anteil NO _x in (HC + NO _x)	Anteil HC in (HC + NO _x)
Benzinfahrzeug	33%	67%
Dieselfahrzeug	93%	7%

Tab. 14 Split HC – NO_x in Benzin- und Dieselfahrzeugen⁶⁰.

Kohlenwasserstoffe HC bestehen aus einer ganzen Reihe verschiedener Substanzen. Diese Substanzen haben unterschiedliche, auch humantoxische Wirkungen. Sie werden aber in der UBP'97-Methode nur aufgrund ihres Sommersmogpotentials (Ozonbildung) summarisch bewertet (ein einziger Ökofaktor für NMVOC). Ob die Beurteilung von HC wesentlich anders ausfallen würde, wenn statt dem Summenparameter HC die einzelnen konstituierenden Substanzen spezifisch beurteilt würden, wird im Anhang B berechnet. Um konsistent zur originalen UBP'97-Methode zu bleiben, werden in der MUBP'97-Methode HC-Emissionen ebenfalls als Summe und nicht substanzspezifisch mit einem Ökofaktor bewertet.

⁶⁰ In [BUWAL 2000b] wird in Bezugnahme auf die "Verordnung vom 19. Juni 1995 über technische Anforderungen an Transportmotorwagen und deren Anhänger" (TAFV 1) von einem NO_x-HC Verhältnis von 40%-60% für Benzinfahrzeuge und 20%-80% für Dieselfahrzeuge ausgegangen. Hier werden jedoch die oben gefundenen Durchschnittswerte aus den Messungen in [VCA 2000] verwendet.

Modelle	Kohlenmonoxid CO g/km	Kohlenwasserstoffe HC g/km	Stickoxide NO _x g/km	Partikel PM10 g/km
Smart Pl m	0.474	0.09648	0.04752	0.009
Smart Pr m	0.461	0.0938	0.0462	0.009
Smart Pl a	0.894	0.0938	0.0462	0.009
Punto	0.152	0.268	0.132	0.009
Corsa 3t	0.127	0.03752	0.01848	0.009
* VW Lupo †	0.194	0.01694	0.22506	0.023
Micra	1.043	0.15745	0.07755	0.009
Golf	0.313	0.19229	0.09471	0.009
Astra	0.332	0.09715	0.04785	0.009
Corsa 5t	0.127	0.03752	0.01848	0.009
Corsa a	0.217	0.03618	0.01782	0.009
Combo	0.332	0.09715	0.04785	0.009
Kangoo	0.66	0.11122	0.05478	0.009
Mazda 323	0.211	0.14673	0.07227	0.009
Punto Cabr.	0.316	0.04958	0.02442	0.009
Astra Cabr.	0.418	0.05695	0.02805	0.009
Sintra	0.2	0.06365	0.03135	0.01
Previa	0.56	0.0871	0.0429	0.009
Serena	1.909	0.18157	0.08943	0.009
VW Beetle	0.685	0.086	0.03	0.009
Barchetta Cabr.	1.54	0.268	0.132	0.009
Vectra	0.337	0.05762	0.02838	0.009
Hiace	0.86	0.0804	0.0396	0.009
Ø PKW CH'99	3.71	0.42	0.485	0.006

Tab. 15 Reglementierte Abgasemissionen der bilanzierten Fahrzeugmodelle. Die Angaben stammen aus dem EURO 2/NEFZ-Testzyklus gemäss [VCA 2000].

†) Die Angaben zum VW Lupo stammen aus einem EURO 4/NEFZm-Testzyklus, sind somit vollständiger und sind nicht strikt mit den Angaben für die restlichen Modelle vergleichbar. Bei der Resultatesdiskussion wird auf diesen Umstand eingegangen.

Kohlendioxid CO₂

Kohlendioxidemissionen werden aus Typenprüfwerten in [VCA 2000] übernommen oder direkt aus dem Treibstoffverbrauch pro km berechnet. Dieseltreibstoff erzeugt dabei pro Liter eine grössere Menge Kohlendioxid als Benzin.

Treibstoffart	Spezifische Erzeugung von Kohlendioxid bei der Verbrennung pro Liter Treibstoff
Benzin	2350 g/l
Diesel	2850 g/l

Tab. 16 Kohlendioxid-Emissionsfaktoren in Gramm pro Liter für Benzin und Diesel.

Modelle	Kohlendioxid CO ₂ g/km	Lärmtypenprüfwert Dezibel
Smart PI m	115	73
Smart Pr m	115	73
Smart PI a	119	73
Punto	154	71
Corsa 3t	137	71
* VW Lupo †	81	71
Micra	152	73.1
Golf	163	73
Astra	171	74
Corsa 5t	139	71
Corsa a	180	71
Combo	191	73
Kangoo	177	74
Mazda 323	179	72
Punto Cabr.	142	72.5
Astra Cabr.	192	73
Sintra	233	73
Previa	265	73
Serena	227	74
VW Beetle	209	73.5
Barchetta Cabr.	198	71
Vectra	178	72
Hiace	303	73
Ø PKW CH'99	201	73.6

Tab. 17 Kohlendioxid-Abgasemissionen und Lärmwerte der bilanzierten Fahrzeugmodelle. Die Angaben stammen aus dem EURO2/NEFZ-Testzyklus gemäss [VCA 2000].

†) Die Angaben zum VW Lupo stammen aus einem EURO4/NEFZm-Testzyklus, sind somit vollständiger und sind nicht strikt mit den Angaben für die restlichen Modelle vergleichbar. Bei der Resultatesdiskussion wird auf diesen Umstand eingegangen.

Verdampfungsverluste

Bezinbetriebene Fahrzeuge verlieren ein Teil ihres Treibstoffes durch Verdampfung bzw. Verdunstung. Bei Diesel-Fahrzeugen sind die entsprechenden Verluste vernachlässigbar, da Diesel eine höhere Siedetemperatur besitzt als Benzin. Die Verluste teilen sich ein in Tankatmung, Warm- und Heissabstellen⁶¹ sowie 'running losses'⁶². Die Tankatmungsverluste sind abhängig von der Schwankung der Umgebungstemperatur. Bei G-Kat-Fahrzeugen werden

⁶¹ D.h. längere Motorpausen nach Fahrten.

⁶² Verdampfungs-Verluste während der Fahrt

die Verdampfungsverluste durch sog. Aktivkohlefallen (AKF) vermindert [BUWAL 1995:147ff.].

<i>Benzin-Verdampfungsverluste mit Aktivkohlefaller AKF</i>	<i>Spezifische Verluste [BUWAL 1995:147ff.]</i>	<i>Verluste pro Leben</i>
Tankatmung	<1 g/ Tag	Max. 3.7 kg
Warm- und Heissabstellen	Ca. 1g/ Abstellvorgang	Ca. 11 kg
'running losses'	0.007 bis 0.024 g/Fzkm	1 bis 3.6 kg
Total		Max. 18.3 kg

Tab. 18 Verdampfungsverluste für Fahrzeuge mit 150'000 Fzkm pro Leben, einer Lebensdauer von 10 Jahren und für Mobility-Fahrzeuge angenommenen durchschnittlich 3 längeren Motor-Abstellpausen pro Tag.

Die totalen Verdampfungsverluste für Benzinfahrzeuge mit Aktivkohlefallen betragen maximal 18.3 kg pro Fahrzeugleben. Bei einem Ökofaktor von 32'000 MUBP/kg NMVOC ergibt dies eine Belastung von maximal 0.6 Mio. UBP. Diese Berücksichtigung dieser Belastung würde die Gesamtbelastung um lediglich maximal 1% erhöhen. Verdampfungsverluste werden daher in der vorliegenden Studie vernachlässigt.

Lärmbelastung

Seit 1973 müssen Neufahrzeuge europaweite Lärmgrenzwerte einhalten. Diese Grenzwerte wurden stetig von 82dB (1976) auf aktuell 74dB⁶³ gesenkt. Für Automodelle werden in [VCA 2000] Lärmwerte aus einem Typenprüftest angegeben. Bei diesem Test wird ein Fahrzeug in gerader Linie und mit 7.5 Meter Minimal-Abstand an einem Mikrophon vorbeigefahren. Das Fahrzeug nähert sich erst mit konstanter Geschwindigkeit von 50km/h dem Mikrophon. 10m vor dem Mikrophon wird Vollgas gegeben. Das Fahrzeug fährt am Mikrophon vorbei; das Gaspedal wird 10 Meter nach dem Mikrophon losgelassen. Der Test wird im 2. und 3. Gang durchgeführt. Der lauteste dabei gemessene Schallpegel gilt als Lärmwert. Die gemessenen Fahrzeuge müssen mit Reifen ausgestattet sein, welche vom Hersteller bei der Auslieferung typischerweise verwendet werden.

Extrapolation von Typenprüftestwerten zu Strassen-Lärmwerten

Der Messwert aus Typenprüftests kann nicht dem vom Fahrzeug erzeugten Lärmpegel im Strassenverkehr gleichgesetzt werden, da a) nicht ständig mit Vollgas gefahren wird und b) auch andere Geschwindigkeiten als 50km/h gefahren werden. Gelingt es aber aus dem Vollgas-Lärmwert einen typischen Wert für den Fahrzeug-Quellenpegel bei 50km/h abzuleiten? Betrachten wir dazu die Verteilung der Lärmwerte aus den Typentests [UBA 1995].

⁶³ Der Grenzwert beträgt für alle neu zugelassenen Fahrzeuge 74 dB, wobei für Diesel-Direkt-Einspritzer 75 dB zulässig sind.

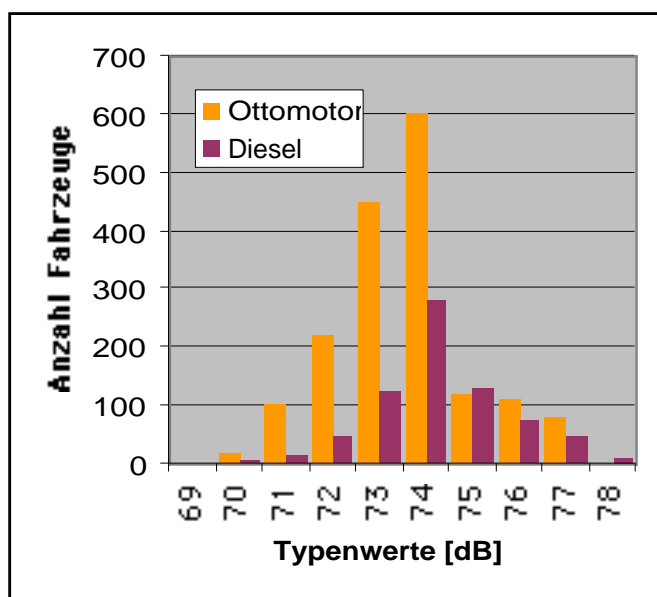


Fig. 21 Verteilung der Lärmwerte aus den Typenprüftests. Vollgaswerte ab 50km/h im Abstand 7.5m [UBA 1995]

Im Mittel ergeben die Typenprüfwerte 73.59 dB für Ottomotor-PKW und 74.23 dB für Diesel-PKW. Bei einem Anteil von 7% Dieselfahrzeugen, ergibt sich ein Durchschnittswert von 73.64 dB. Wie verhält sich dieser durchschnittliche Prüfwert zu *Messwerten* von der Strasse? PKW-Messungen auf der Strasse ergeben bei etwa 50 km/h im Mittel Werte von 70.5dB [EMPA 1997:8]. Die Messungen erfolgten ebenfalls im Abstand 7.5m.

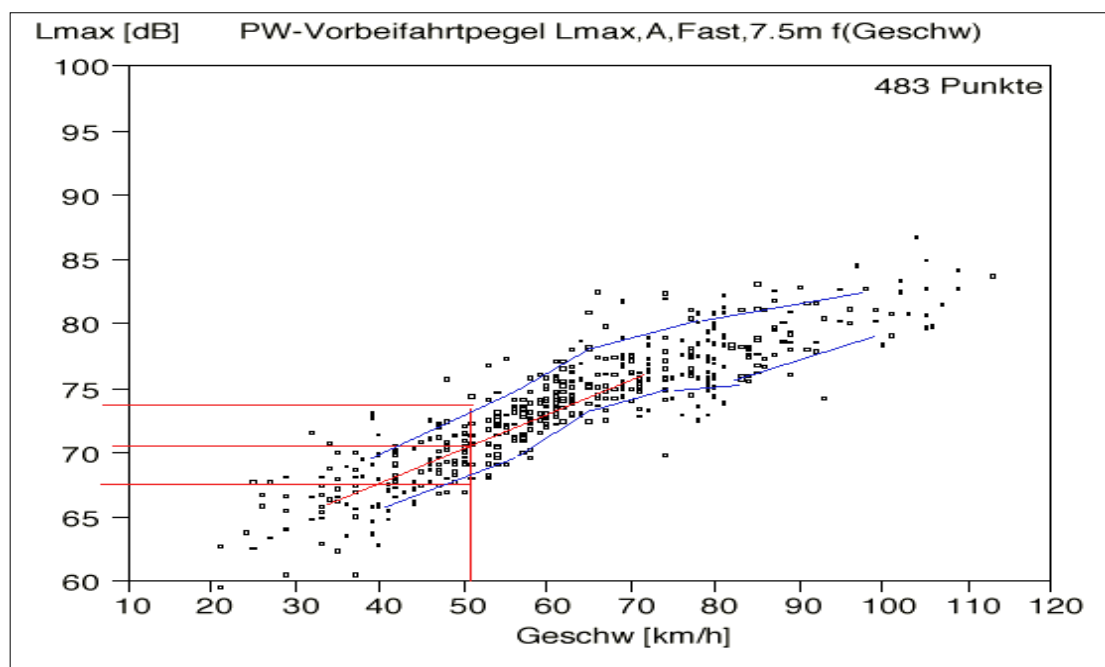


Fig. 22 Lärmpegelmessungen *im realen Verkehr* bei verschiedenen Geschwindigkeiten im Abstand von 7.5m [EMPA 1997:8]

Auf den Strassen sind die Fahrzeuge bei 50km/h demnach im Mittel schätzungsweise etwa 3.14dB leiser als bei den Prüfwerten. Diese mittlere Differenz wird hier mit R bezeichnet (R = 3.14 dB)

Für den Strassen-Lärmpegel eines PKWs bei 50km/h darf im Lärmmodell statt dem Durchschnittswert auch der **Vollgasvorbeifahrtwert minus ein durchschnittlicher Korrekturwert R von 3.14 dB** als sinnvoller Schätzwert verwendet werden. Im Lärmmodell werden aber auch die Lärmwerte bei anderen Geschwindigkeiten benötigt.

Aus den Strassen-Messungen ergibt sich die wichtige Eigenschaft, dass die Streuung der Messwerte approximativ unabhängig von der gefahrenen Geschwindigkeit ist⁶⁴. Die lautesten Fahrzeuge sind bei allen Geschwindigkeiten einen etwa konstanten Betrag (ca. 6dB) lauter als die leisesten Fahrzeuge. Das kann so interpretiert werden, dass zwar alle Fahrzeuge etwa eine (L_{peak}/v)-Lärmkurve aufweisen, welche etwa dem Durchschnittsfahrzeug entspricht, welche aber in Richtung der y-Achse nach oben oder nach unten verschoben ist. Die *Differenz M* zwischen dem Durchschnittsfahrzeug bei 50km/h und einem spezifischen Fahrzeug bei 50km/h kann daher als modellspezifischer Korrekturwert herangezogen werden, um aus dem Pegel eines Durchschnittsfahrzeugs den Pegel eines bestimmten Fahrzeugs X *bei allen Geschwindigkeiten* sinnvoll abzuschätzen.

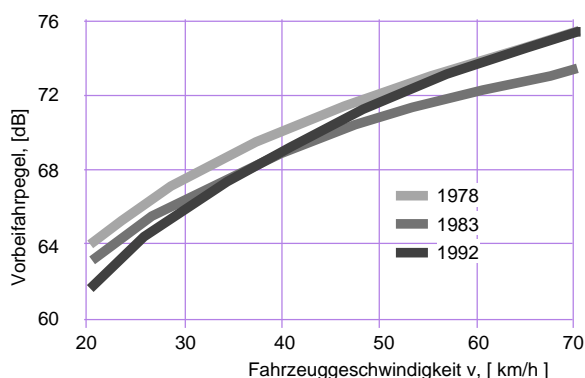


Fig. 23 Veränderungen der Lärmkurven-Charakteristik der Durchschnitts-Fahrzeuge im Laufe der Zeit [UBA 1995]⁶⁵

⁶⁴ Die Streuung ergibt sich einerseits aus den verschiedenen gemessenen Fahrzeugmodellen und andererseits aus dem Fahrverhalten der Fahrzeuginsassen.

⁶⁵ http://www.umweltbundesamt.org/dzu/1/4/1/0002____0.jpg

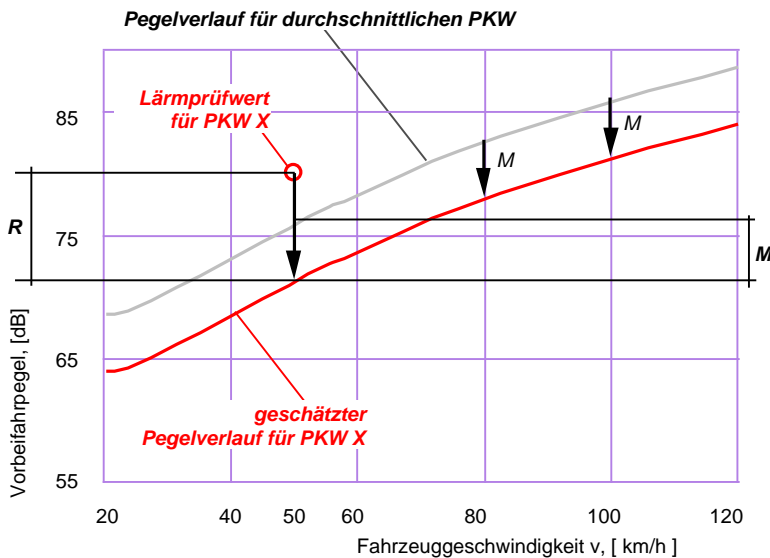


Fig. 24 Herleitung der fahrzeugspezifischen Lärmkurve aus dem Typenprüfwert. Erläuterungen siehe Text.

Beispiel:

Ein PKW X besitze einen Vollgas-Typenprüfwert von 73dB. Bei 50km/h im Strassenverkehr wäre dieses Modell schätzungsweise um den Korrekturwert 3.14dB (=R) leiser; also 69.86dB. Das im Lärmmodell angenommene Durchschnittsfahrzeug ist aber bei (50km/h) 71.02dB laut; also 1.16dB (=M) lauter als der PKW X. Bei der Berechnung der L_{peak} -Werte müssen also für den PKW X alle L_{peak} -Werte bei allen Geschwindigkeiten schätzungsweise um M vermindert werden. Wenn also gemäss Lärm-Modell ein *Durchschnittsfahrzeug* bei 110km/h (Autobahn) ein L_{peak} -Wert von 82.36 aufweist, muss *für den PKW X* nur ein geschätzter L_{peak} -Wert von (82.36-1.16=) 81.20dB verrechnet werden. Die Werte für Delta-Leq für den PKW X sinken dadurch in der späteren Berechnung entsprechend.

Durchschnitts-PKW gemäss Lärmmodell	Korrekturwert M	Spezifisches Fahrzeugmodell PKW X	Lärmprüfwert
		73 dB	Korrekturwert R
		-3.14 dB	
71.02 dB	→ -1.16 dB ←	69.86 dB	Pegel bei 50 km/h
82.36 dB	→ -1.16 dB ←	81.20 dB	Pegel bei 110km/h

Tab. 19 Schema der Extrapolation von Strassenlärnwerten aus Lärmprüfwerten. **Fett gedruckt** sind Pegel aus Berechnungen oder Messungen. *Kursiv gedruckt* sind daraus abgeschätzte, fahrzeugspezifische Pegel. Die Pfeile geben den Informationsfluss der Berechnungen an. **Grau unterlegt** sind Felder mit Werten, welche jeweils spezifisch für ein bestimmtes Fahrzeugmodell X *berechnet* werden. N.b. der Korrekturwert R (-3.14dB) ist konstant für alle Fahrzeugmodelle. Der Korrekturwert M wird für jedes spezifische Fahrzeugmodell eigens bestimmt, ist aber konstant über alle Geschwindigkeiten.

Verkehrsunfälle

Die Sicherheitstechnik wird immer raffinierter. Sicherheitsvorkehrungen wie Gurtstraffer, Seitenaufprallschutz Airbags zählen zur passiven Sicherheit. Sie sind darauf ausgelegt, im Crashfall Schutz zu bieten. Mit aufwendigen Crashtests wird das Verletzungsrisiko für Fahrzeuginsassen und FussgängerInnen getestet. Im Gegensatz zur passiven Sicherheit wirkt die aktive Sicherheit vor einer Kollision. Zum einen helfen technische Hilfen wie Bremsen mit ABS, Fahrdynamiksysteme etc., die aktive Sicherheit zu verbessern. Zum anderen kann der Mensch durch umsichtige Fahrweise und in kritischen Situationen durch richtiges Reagieren zur Kollisionsverhütung beitragen. Eine defensive, risikoarme Fahrweise ist absolut zentral und stellt die beste Unfallprävention dar.

Der Euro-NCAP-Crashtest testet Fahrzeuge bezgl. passiver Sicherheit. Es ist jedoch schwierig, diese Testergebnisse in 'zu erwartende Unfallopfer pro Fahrzeugkilometer' umzurechnen, da zum einen das Fahrerverhalten ein wesentlichen Einfluss ausübt und zum anderen die Testresultate nur ein relatives aber kein absolutes Mass der Risikoeindämmung darstellen. Es werden daher statt modellspezifischer Angaben durchschnittliche, absolute Unfallschadensrisiken für PKWs aus Statistiken verwendet.

Pro 100 Mio. Fzkm kann bei einem PKW statistisch mit 36 Verletzten und 0.6 Unfalldoten gerechnet werden (Stand 1999) [BFU 2000]. Diese Angaben werden auf eine Lebensfahrleistung von 150'000 Fzkm pro Modell umgerechnet und für alle Fahrzeuge eingesetzt.

Wie in der Methodenbeschreibung hergeleitet, werden für einen Verkehrsunfalltoten 6.52 Milliarden MUBP verbucht; für einen Verkehrsunfallverletzten 48.6 Millionen MUBP. Damit ergeben sich für ein Fahrzeugleben mit 150'000 Fzkm 8.43 Mio. MUBP. Die Verkehrsunfalltoten machen dabei 70% dieser Belastung aus.

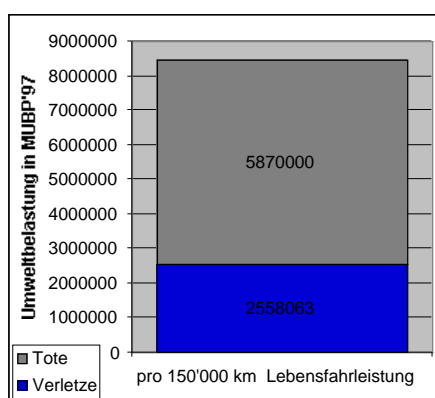


Fig. 25 Verbuchte Belastung durch Tote und Verletzte aus Verkehrsunfällen in MUBP pro 150'000 Fzkm. Die Verkehrsunfalltoten machen 70% der Belastung aus.

Weitere Betriebsemissionen

Neben den reglementierten Schadstoffen gibt es weitere umweltscädliche Auspuffabgase. Dies sind vor allem Lachgas (N₂O), Schwefeldioxid und Blei. Diese Schadstoffe sind abhängig von der verwendeten Treibstoffart. Daneben gelangen mit dem Pneuabrieb Schwermetalle in die Umwelt.

Emissionen in Luft		Benzin	Diesel	Quelle
<i>Weitere Auspuffabgase</i>				
N ₂ O Lachgas	mg/Fzkm	43	30	[Infras 1995:124]
Schwefeldioxid SO ₂	mg/Fzkm	10	120	[ESU 1996]
Pb Blei	mg/Fzkm	0.00959	0	[Infras 1995:124]
<i>Pneuabrieb</i>				
Cd Cadmium	mg/Fzkm	0.0039	0.0039	[ESU 1996]
Zn Zink	mg/Fzkm	10.4	10.4	[ESU 1996]

Tab. 20 Weitere Betriebsemissionen für Benzin- und Dieselfahrzeuge.

Fahrzeug-Unterhalt

Der Fahrzeugunterhalt wird nicht fahrzeugspezifisch bilanziert. Für alle Fahrzeugmodelle werden identische Auswendungen für den Unterhalt während der Lebensdauer verbucht. Dies sind insbesondere Reifen und der Energieverbrauch der Garagen. Die Angaben stammen aus [ESU 1996].

Aufwendungen	Menge	Verbuchte Aufwendungen
Öl und Fett	kg 52	Heizoel Petro ab Raffinerie Euro
Reifen Gummi	kg 120	Gummi EPDM
Stahl in Reifen	kg 24.2	Stahl unlegiert
PP	kg 2.5	Polypropylen
Blei	kg 30	Blei
Stahl (Ölfilter, Auspuff, Bremsen)	kg 20	Stahl unlegiert
Wärmeverbrauch Garage	TJ 0.015	Heizoel EL in Heizung 1 MW
Stromverbrauch Garage	TJ 0.004275	Strom Niederspannung - Bezug in UCPTE
Abwaerme in Luft p	TJ 0.004275	Abwaerme in Luft p

Tab. 21 Unterhaltsaufwendungen während des gesamten Fahrzeuglebens von 150'000 Fzkm [ESU 1996].

Strasseninfrastruktur

Für den Bau, Unterhalt und Entsorgung des Strassenverkehrsnetzes müssen verschiedene Aufwendungen geleistet werden. Ein proportionaler Anteil dieser Aufwendungen muss von jedem Fahrzeug getragen werden. Als Zuordnungsschlüssel werden die gefahrenen Fahrzeugkilometer herangezogen. Der Anteil für die Strasseninfrastruktur wird unabhängig

vom Fahrzeugmodell jedem Fahrzeugkilometer gleich angelastet. Die Angaben stammen aus [ESU 1996].

<i>Aufwendungen Strasseninfrastruktur pro Fahrzeugleben (150'000 Fzkm)</i>		<i>Menge</i>
Strom Mittelspannung - Bezug in UCPT	TJ	2.00E-08
Beton (ohne Armierungseisen)	kg	0.016
Betonkies	kg	0.075
Natriumchlorid	kg	0.0012
PE (HD)	kg	5.00E-05
Stahl niedriglegiert	kg	0.0001
Stahl unlegiert	kg	0.0009
Transport LKW 40 t	tkm	0.0012
Transport PKW Westeuropa	km	0.0006
Aushub Frontladerraupe	m ³	0.00013
Diesel in Baumaschine	TJ	3.10E-08
Bitumen ab Raffinerie Euro	t	2.30E-06
Abfaelle in Inertstoffdeponie	kg	0.022
Abwaerme in Luft	TJ	2.00E-08
NMVOG in Luft	kg	5.30E-05
Chloride ins Wasser	kg	0.0007
Ion Natrium ins Wasser	kg	0.0005

Tab. 22 Verbuchte Aufwendungen der Strasseninfrastruktur pro Fahrzeugleben (150'000km) nach [ESU 1996].

Flächenverbrauch und Landschaftszerschneidung

Gemäss [ESU 1996] werden pro PKW-Fahrzeugkilometer 0.0064 m²a Fläche für Strassen verbaut. Mit dem Ökofaktor von 395 MUBP/m²a ergibt sich eine Belastung von 2.5 MUBP pro Fzkm oder bei 150'000 Lebensleistung 0.38 Mio. MUBP pro Fahrzeug. Dieser Betrag wird nicht fahrzeugmodellsspezifisch verbucht sondern für alle Modelle in gleicher Höhe verbucht.

Die Umweltbelastung durch Landschaftszerschneidung wurde bereits bei der Herleitung der entsprechenden Ökofaktors berechnet. Pro Fzkm werden 20 MUBP verbucht, bzw. pro Fahrzeugleben 3 Mio. MUBP.

Fahrzeug-Entsorgung

Fahrzeuge werden heute teilweise verwertet. Nach Trockenlegung und der Demontage von möglichen Secondhand-Ersatzteilen werden die Fahrzeuge in einem Shredder aufgetrennt. Folgende Annahmen werden bezüglich der Entsorgung angefallenen Abfälle getroffen. Metallteile werden recycelt und führen innerhalb der Systemgrenzen zu keiner weiteren Belastung. Glas wird in einer Inertstoffdeponie entsorgt. Kunststoffteile und Reifen (inkl. Stahl) werden in einer Kehrrechtverbrennungsanlage (KVA) verbrannt (Annahme: PVC-freie Kunststoffe). Altöl und 14kg Transport-Schutzwachs wird in einer Sonderabfallverbrennungs-

anlage (SAVA) verbrannt. Für dabei generierte Energiemengen wird kein Bonus vergeben (Motivation: 100% Abfallentsorgung, 0% Energieproduktion). Dieses Vorgehen gilt für alle über den Lebenszyklus angefallenen Abfälle, auch aus dem Fahrzeugunterhalt.



Fig. 26 Auch nach dem Fahrzeuggebrauch entstehen Umweltbelastungen.

Die anfallenden Abfallmengen ergeben sich aus den in der Fahrzeugherstellung sowie im Unterhalt eingesetzten Massen. Die direkten Aufwendungen für die Behandlung in einer Automobil-Shredderanlage (insbes. Energieverbrauch) werden hier mangels Daten vernachlässigt, jedoch nicht die Belastungen aus Abfallverbrennung und -deponierung.

Resultate und Diskussion

Vorbemerkung zur Signifikanz

Bei einer Ökobilanz werden eine Vielzahl unterschiedlicher Daten verrechnet und bewertet. Dabei treten zum Teil erhebliche Unsicherheiten einerseits auf der Seite der Sachbilanz (Beschreibung technischer Prozesse) aber auch auf der Seite der ökologischen Bewertung von Einwirkungen auf die Umwelt. Aufgrund der Unsicherheiten der Bilanz ist es angebracht, bei Unterschieden im Resultat von unter 20% keine schwerwiegende Bedeutung zuzumessen. Insbesondere muss davor gewarnt werden aus kleinen Unterschieden <20% eine wesentliche Überlegenheit eines Fahrzeuges ableiten zu wollen.

Relative Unterschiede im Resultat von unter 20% sind aufgrund von Unsicherheiten der Bilanz nicht aussagekräftig und sollen nicht zur Entscheidungsfindung herangezogen werden.

Mehr über die in der Bilanz auftretenden Unsicherheiten ist im Kapitel 'Kritik'^{***} erwähnt.

Resultate Einzelfahrzeuge

Die Gesamtergebnisse der Fahrzeugmodelle entsprechender Summe folgender Beiträge:

Beitrag	Enthält folgende Belastungen und Aufwendungen	Fahrzeugspezifisch bilanziert?
Herstellung & Import	Material und Energieaufwand zur Fahrzeugherstellung, Transportaufwand für den Import in die Schweiz	Ja gemäss Fahrzeuggewicht
Unterhalt	Material und Energieaufwand für den Fahrzeugunterhalt	Nein ø PKW
Entsorgung	Entsorgung des Altfahrzeuges, Recycling der Metallteile, Verbrennung von Kunststoffen.	Ja gemäss Fahrzeuggewicht
Strasseninfrastruktur	Proportionaler Anteil des Material und Energieaufwandes für die Schweizer Strasseninfrastruktur	Nein ø PKW
Flächenverbrauch	Proportionaler Anteil der Flächenversiegelung durch die Schweizer Strasseninfrastruktur	Nein ø PKW
Zerschneidung	Proportionaler Anteil der Landschaftszerschneidung durch die Schweizer Strasseninfrastruktur	Nein ø PKW
Treibstoff Precombustion	Aufwendungen zur Bereitstellung von Treibstoff (bis zur Tanksäule)	Ja gemäss Verbrauch aus Typenprüfung
CO, NO_x, HC, PM	Direkte Abgasemissionen	Ja gemäss Messwerten aus Typenprüfung
Kohlendioxid CO₂	Direkte Abgasemissionen	Ja gemäss CO ₂ -Messwerten oder Treibstoff- Verbrauch aus Typenprüfung
Lärm	Lärmbelastung von Anwohnern	Ja gemäss Lärmwert aus Typenprüfung
Unfälle	Verkehrstote und -verletzte	Nein ø PKW
Restliche Betriebsemissionen	Weitere Abgasemissionen (SO ₂ , N ₂ O, Blei) und Pneuabrieb (Cd, Zn)	Teils Treibstoffart-spezifisch (Benzin, Diesel)

Tab. 23 Beiträge zum Gesamtergebnis der Fahrzeugmodelle.

Die Bewertung und Zusammenfassung der Umweltschäden wurde mit der neuen Bewertungsmethode MUBP'97 vorgenommen. Diese ist eine Erweiterung der BUWAL-Methode UBP'97. Die in der Resultatebewertung neu eingeführten Schadenskategorien sind in der Resultat-Legende jeweils mit dem Suffix '+' gekennzeichnet. Durch Weglassung dieser Kategorien würde das Resultat gemäss UBP'97 erhalten.

Der VW Lupo wird mit einem Präfix '*' gekennzeichnet, um daran zu erinnern, dass es sich um ein Dieselfahrzeug handelt.

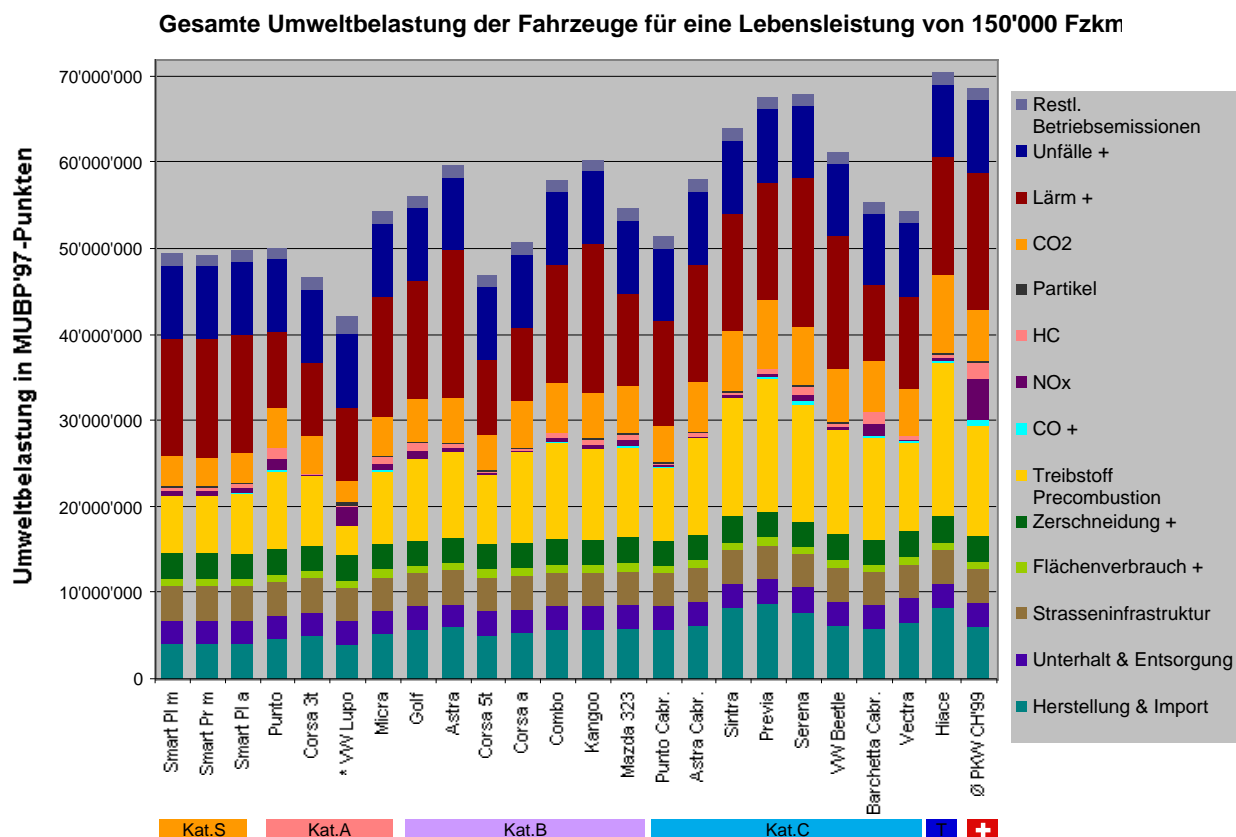


Fig. 27 Gesamte Umweltbelastung der bilanzierten Fahrzeuge für eine Lebensfahrleistung von 150'000 Fzkm, ausgedrückt in MUBP'97-Punkten. Rechts ist ein durchschnittlicher Schweizer PKW, wie er 1999 auf der Strasse war, als Vergleich angegeben.

<<	Deutlich kleinere Umweltbelastung als Mobility-Durchschnitt	* VW Lupo
<	Leicht kleinere Umweltbelastung als Mobility-Durchschnitt	Corsa 3t, Corsa 5t, Smart Pr m, Smart PI m, Smart PI a, Punto, Corsa a, Punto Cabr., Micra, Vectra, Mazda 323
=	Leicht grössere Umweltbelastung als Mobility-Durchschnitt	Barchetta Cabr., Golf, Combo, Astra Cabr., Astra, Kangoo, VW Beetle, Sintra
=	Deutlich schlechtere Umweltbelastung als Mobility-Durchschnitt	Previa, Serena, Ø PKW CH'99, Hiace

Tab. 24 Grobe Klassierung der Umweltgüte der Fahrzeugmodelle im Vergleich zum Mobility Durchschnitt. Die Fahrzeuge sind in in der Reihenfolge zunehmender Umweltbelastung aufgeführt.

Am wenigsten Umweltbelastung erzeugt der Lupo 3l TDI mit 42 Mio. MUBP, und damit 39% weniger als ein Schweizerisches Durchschnittsauto. Der Lupo ist ein Dieselfahrzeug und erzeugt pro Kilometer im Abgas mehr Partikel und auch mehr Stickoxide als andere Fahrzeugmodelle der Mobility-Flotte. Dieser zusätzliche Schaden wird aber mehr als kompensiert durch den massiv reduzierten Treibstoffverbrauch von 3 Liter auf 100km. Auch

die Tatsache dass Dieselkraftstoff pro Liter etwa 20% mehr Kohlendioxid freisetzt als Benzin, kann den Vorsprung des Lupos nicht beseitigen. Das gefundene Resultat für den Lupo wird auch bestätigt, wenn eine andere Ökobilanz-Bewertungsmethode (Eco-indicator'95+ aus [Jungbluth 2000]) angewendet wird.

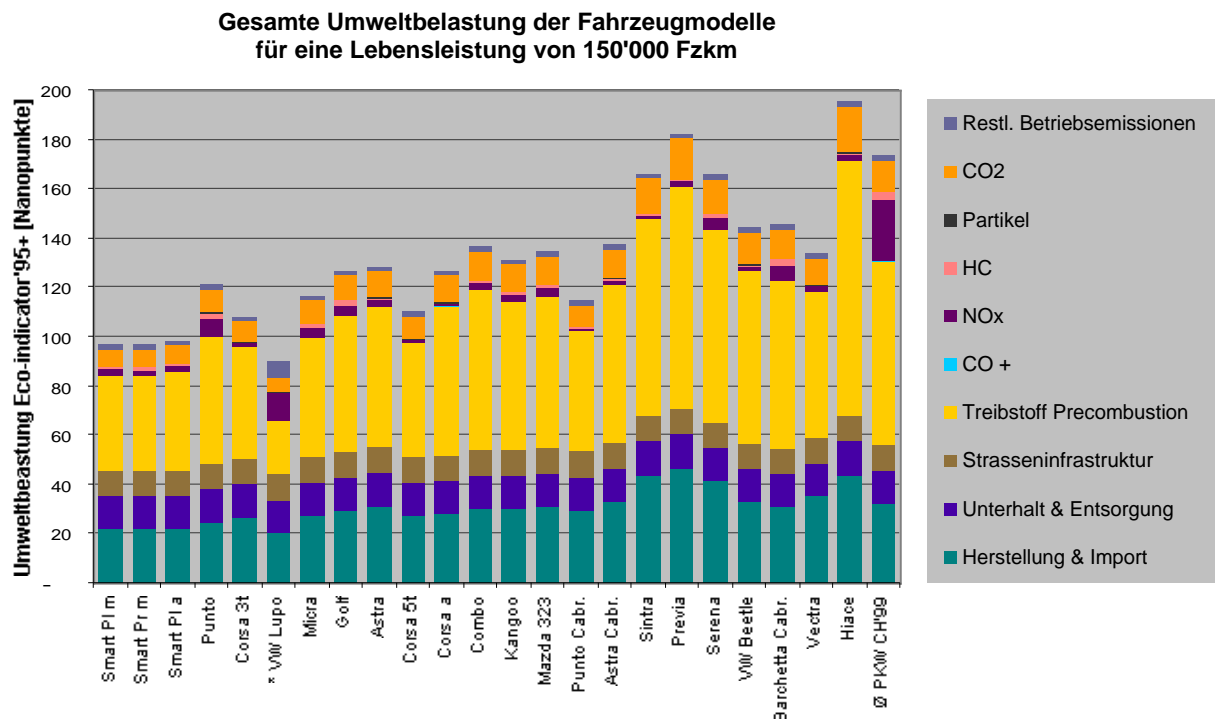


Fig. 28 Gesamte Umweltbelastung der bilanzierten Fahrzeuge für eine Lebensfahrleistung von 150'000 Fzkm, ausgedrückt inEcoindicator'95+-Nanopunkten nach [Jungbluth 2000]. Auch hier ist der Lupo das umweltschonendste Fahrzeug. Der Smart schneidet hier relativ besser ab, als bei der MUBP-Bewertung, da die Lärmemissionen nicht berücksichtigt werden.

Die Überlegenheit des Lupos gegenüber Benzinmodellen kann nun aber nicht unbesehen auf alle Dieselfahrzeuge übertragen werden: der Lupo TDI ist auch innerhalb der Dieselloose bezüglich Verbrauchs-, Stickoxid- und Partikel-Werten ein sehr sparsames und sauberes Fahrzeug wie untere Graphiken zeigen. Der Umeltvor- oder -nachteil anderer Dieselfahrzeuge muss gesondert bilanziert werden, da sie insbesondere wegen der hohen Stickoxidemissionen wesentlich schlechter als der Lupo TDI und auch schlechter als Benziner abschneiden können.

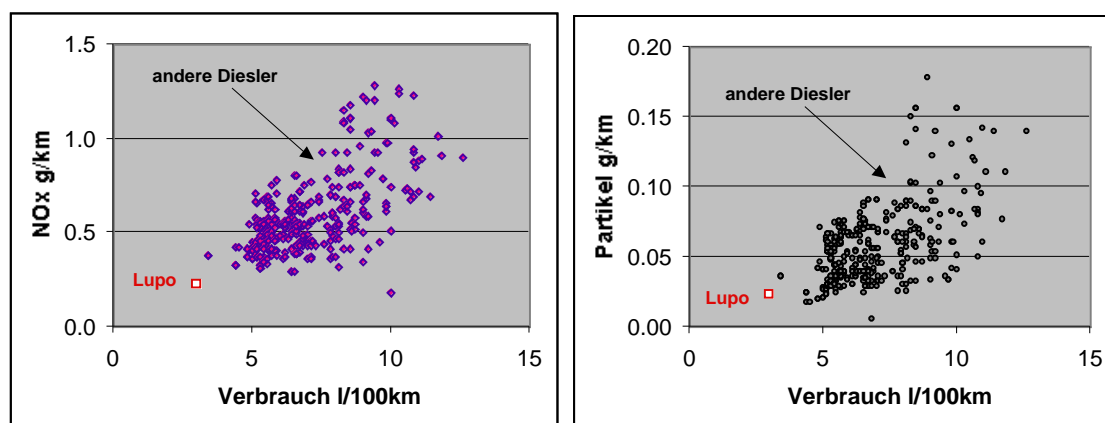


Fig. 29 Stickoxid- und Partikelemissionen aufgetragen gegen den Treibstoff-Verbrauch der Diesel-Modelle in [VCA 2000]. Der Lupo 3l TDI ist ausserhalb des Clusters und damit ein untypisches Dieselfahrzeug. Das dem Lupo hier am nächsten stehenden Fahrzeugmodell ist ein Smart City Coupe Diesel (3.4l/100km).

Der Lupo hat im Vergleich mit anderen Dieselmotoren aus [VCA 2000] sehr tiefe Verbrauchs-, Stickoxid- und Partikel-Werte. Er kann deshalb nicht als 'typisches' Dieselfahrzeug bezeichnet werden.

Es ist hier nochmals anzumerken, dass die Verbrauchs- und Abgaswerte des Lupos aus einem NEFZm/EURO4-Testzyklus stammen und damit beim Lupo strenger gemessen wurde als bei den anderen Modellen, welche nach NEFZ/EURO2 gemessen wurden⁶⁶. Alle Abgas-Emissionen und Verbrauchsdaten ausser diejenigen des Lupo sind also in der Grössenordnung von etwa 20% unterschätzt. Der ökologische Vorsprung des Lupos gegenüber den anderen Fahrzeugmodellen würde bei vollständiger Erfassung der Kaltstarts um schätzungsweise ca. 1.5 Mio. MUBP (3%) wachsen. Aufgrund des geringen Unterschiedes kann aber das vorliegende Resultat als typischerweise korrekt angesehen werden. Abweichungen, welche sich beispielsweise durch individuell unterschiedliche Fahrweisen ergeben dürften wesentlich bedeutender sein.

Bemerkenswert ist, dass der Zweiplätzer Smart gleich viel Umweltbelastung erzeugt wie z.B. der Fünfpfänger Corsa Automat. Bezogen auf die Personentransportkapazität – und nicht auf Fahrzeugkilometer – schneidet der Smart sehr schlecht ab.

Am meisten Umweltbelastung erzeugt der Hiace mit über 70 Mio. MUBP. Der Hiace verfügt über die viel höhere Ladekapazität als eine Kleinlimousine. Der Vergleich mit anderen Fahrzeugen der Flotte, welche nicht so ausgeprägte Transporteigenschaften besitzt, ist daher nicht ganz statthaft. Dazu mehr im Folgenden.

⁶⁶ Ab EURO3 (=NEFZm) ist in der Messphase der *vollständige* Kaltstart enthalten, inkl. der ersten 40 Sekunden nach der Zündschlüsselbetätigung, welche beim EURO2 noch nicht erfasst werden.

Vergleichbarkeit der Fahrzeuge

Eine einheitliche Definition des Anwendungszweckes von Mobility-Fahrzeugen gestaltet sich schwierig. Neben Personen- und Gütertransport sind einige Fahrzeuge der Kategorie C ausdrücklich als 'Funcars' Bestandteil der Flotte. Bei diesen 'Transportainment'-Fahrzeugen dürfte die effektiv zurückgelegte Strecke für den Fahrer wenig Bedeutung haben. Im Vordergrund ist hier das Fahrerlebnis: die im Fahrzeug verbrachte Zeit sowie – vermutlich – die Beschleunigung, Motorengeräusch und die erreichbare Geschwindigkeit. Daneben dürften je nach persönlichen Neigungen auch fahrzeugexterne Faktoren wie Wetter, Reiz der durchfahrenen Landschaft sowie Publikum die Qualität und den Wert des Fahrerlebnisses wesentlich mitbestimmen. Der Hiace aus der Kategorie T ist dagegen eindeutig ein Transporter, dessen Hauptaufgabe der Gütertransport und nicht Personentransport ist.

Es ist kaum möglich, einen objektiven gemeinsamen Nenner für all die Funktionen der Mobility-Fahrzeuge zu finden⁶⁷. Deshalb werden hier die Resultate in Bezug auf den transparentesten, kleinsten gemeinsamen Nenner all dieser Funktionen – Fahrzeugkilometer – präsentiert.

Belastungen aus dem Treibstoffkonsum

Bemerkenswert ist, dass die Umweltbelastung zur *Bereitstellung* des Treibstoffs (Precombustion) grösser ist, als die Abgas-Belastungen bei der *Verbrennung* (alle Schadstoffe inkl. CO₂). Die Motoren sind bei modernen Fahrzeugen offenbar so sauber, dass die Herstellung des Brennstoffes umweltbelastender ist als seine Verbrennung. Die Umweltbelastung bei der Precombustion stammt hauptsächlich aus Verbrennungsabgasen (NO_x, SO_x, CO₂), aber auch Ausgasungen von NMVOC und Halon 1301⁶⁸. Die Precombustion allein macht bei den Fahrzeugmodellen zwischen 8% und 26% der Gesamtbelastung aus.

Belastungen aus Verkehrsunfällen

Die Verkehrsunfälle haben eine wesentliche Bedeutung. Je nach Fahrzeugmodell machen sie 12% bis 20% des Gesamtergebnisses aus.

⁶⁷ Die 'Zahlungsbereitschaft' der Kunden resp. die Preise als Mass für den geleisteten Wert all dieser Dienstleistungen wäre ein mögliches Vergleichskriterium. Es könnten 'Umweltbelastung pro Franken Fahrzeug-Dienstleistung' berechnet werden. Dies würde aber ein sehr unsicheres Element an zentraler Stelle der Bilanz einführen. Die 'Zahlungsbereitschaft der Kunden' ist genau genommen eine subjektive Grösse, welche starken Schwankungen der Konsumentenstimmung aber auch individueller Präferenzen unterworfen ist. Die Interpretation von Resultaten der Form 'Umweltbelastung pro ausgegebenen Franken' ist zudem äusserst anfällig für Missverständnisse.

⁶⁸ Die Erdölindustrie hat sich Ausnahmen zur internationalen Vereinbarung zur Elimination von ozonzerstörenden Substanzen (Montreal-Protokoll) ausbedungen und wird mittelfristig weiterhin zum Brandschutz benötigtes Halon 1301 (ODP: 16 R11-Äquivalente) einsetzen [ESU 1996].

In der Kategorie 'Unfälle' sind die Belastungen aus Verkehrsunfalltoten und Verkehrsunfallverletzten zusammengefasst. Für jedes Fahrzeug werden konstant 8.43 Mio. MUBP verbucht. Die Verkehrsunfalltoten machen dabei 70% dieser Belastung aus.

Belastungen durch Lärm

Die Belastung aus dem Lärm ist bei vielen Fahrzeugmodellen der wichtigste Einzelbeitrag, welcher die Bedeutung von andern wichtigen Beiträgen wie Kohlendioxid oder Treibstoff-Herstellung übertrifft. Lediglich bei Barchetta und Hiace ist die Treibstoff-Herstellung wesentlich belastender als der Lärm. Insbesondere bei den kleineren Fahrzeugen (Smart, Lupo, Astra, Micra, Kangoo) ist die Lärmbelastung sogar bedeutsamer als Kohlendioxid und Treibstoff-Herstellung zusammengenommen. Je nach Fahrzeugmodell macht die Belastung durch Lärm 16% bis 30% des Gesamtergebnisses aus.

Bedeutsam ist der Umstand, dass die Lärmbelastung stark davon abhängt, ob am Tag oder in der Nacht gefahren wird. Nachts ist der Hintergrundlärmpegel geringer als am Tag. Eine Nacht-Fahrt führt daher – trotz identischem Fahrzeuglärmwert – zu einer stärkeren Erhöhung des Mittelpegels L_{eq} . Zudem weisen Anwohner in der Nacht eine höhere Lärmempfindlichkeit auf. Wird eine Fahrt ausschliesslich während der Nacht absolviert (22h - 6 h) ist die Belastung über 5mal höher als bei einer reinen Tagesfahrt (6h-22h). In den Gesamtergebnissen wurde ein durchschnittlicher Nachtfahrtanteil von 7% angenommen. Dies bedeutet, dass der Beitrag durch Lärm 23% geringer als im präsentierten Resultat ausfallen kann, wenn Fahrten ausschliesslich während des Tages stattfinden; bzw. der Lärm-Beitrag auch um rund 400% (oder einen Faktor 5) erhöhen kann, wenn Fahrten ausschliesslich während der Nacht stattfinden.

<i>Modelle</i>	<i>Typenprüfwert</i> <i>Dezibel</i>	<i>Belastung pro 1km</i> <i>reine Nachtfahrt</i> <i>MUBP/Fzkm</i>	<i>Belastung pro 1km</i> <i>reine Tagesfahrt</i> <i>MUBP/Fzkm</i>	<i>Belastung pro 1km</i> <i>im Durchschnitt</i> <i>MUBP/Fzkm</i>
Smart Pl m	73	370.5	70.3	91.4
Smart Pr m	73	370.5	70.3	91.4
Smart Pl a	73	370.5	70.3	91.4
Punto	71	235.5	44.4	57.8
Corsa 3t	71	235.5	44.4	57.8
* VW Lupo	71	235.5	44.4	57.8
Micra	73.1	379.0	72.0	93.5
Golf	73	370.5	70.3	91.4
Astra	74	464.2	88.5	114.8
Corsa 5t	71	235.5	44.4	57.8
Corsa a	71	235.5	44.4	57.8
Combo	73	370.5	70.3	91.4
Kangoo	74	464.2	88.5	114.8
Mazda 323	72	295.5	55.9	72.7
Punto Cabr.	72.5	330.9	62.7	81.5
Astra Cabr.	73	370.5	70.3	91.4
Sintra	73	370.5	70.3	91.4
Previa	73	370.5	70.3	91.4
Serena	74	464.2	88.5	114.8
VW Beetle	73.5	414.8	78.9	102.4
Barchetta Cabr.	71	235.5	44.4	57.8
Vectra	72	295.5	55.9	72.7
Hiace	73	370.5	70.3	91.4
Ø PKW CH'99	73.6	428.4	81.5	105.8

Tab. 25 Typenprüfwerte und berechnete Lärmbelastung pro Fahrzeugkilometer bei reiner Nachtfahrt, reiner Tagesfahrt und im Durchschnitt (7% Nachtfahrten).

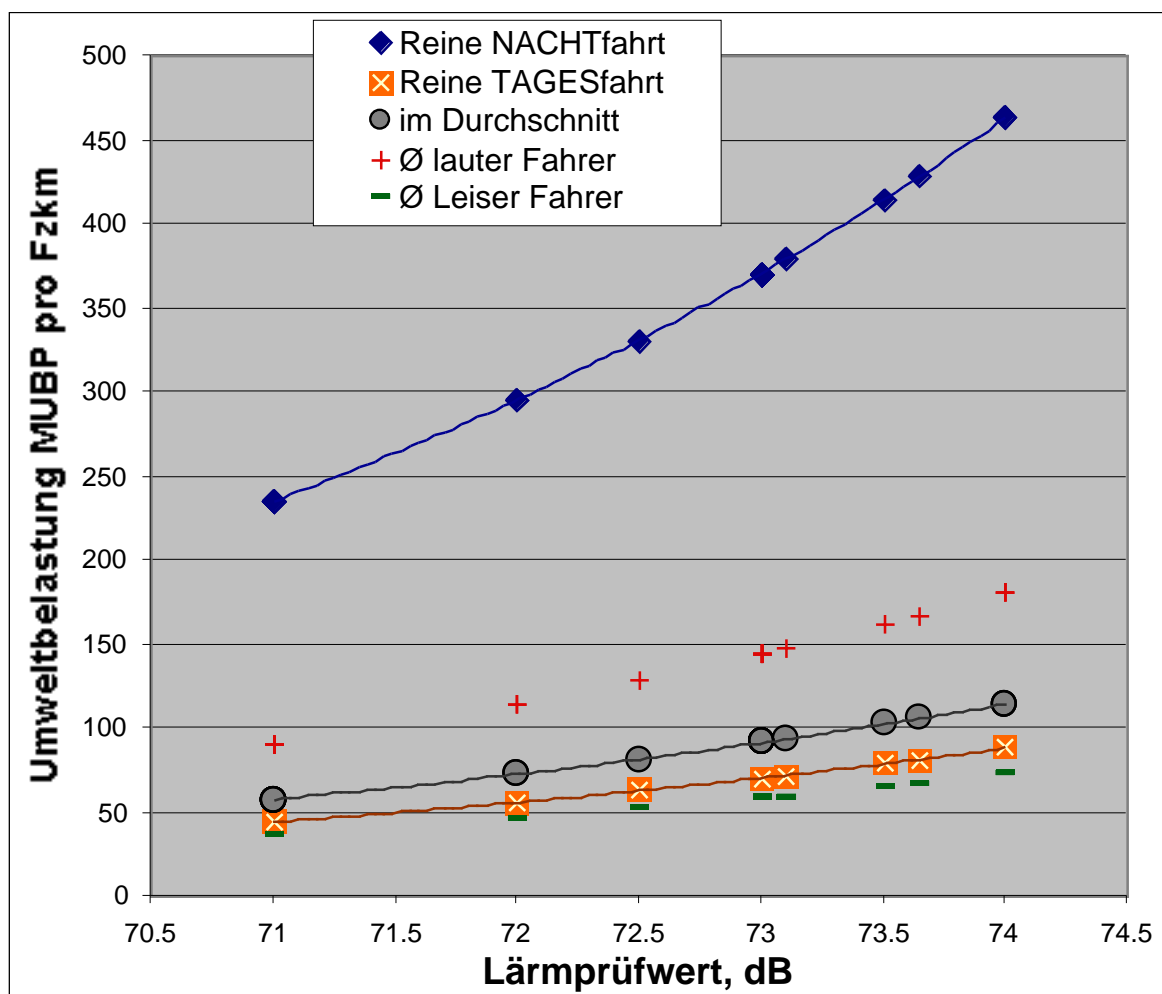


Fig. 30 Umweltbelastung pro Fzkm gegenüber dem Lärmprüfwert der betrachteten Fahrzeuge bei Fahrt in der Nacht, Fahrt am Tag und im Durchschnitt (= 7% der Strecke sind Nachtfahrten) mit Schwankungsbereich. Erkennbar ist auch die nicht-lineare, logarithmische Charakteristik der Dezibel-Skala.

Je nach individuellem Fahrverhalten kann der Fahrlärm leicht plus oder minus 2 dB von den hier verwendeten Werten für den Strassenlärmswert abweichen. Die Lärmbelastung in MUBP erhöht resp. verringert sich dann um +58% resp. -36%⁶⁹. Noch grösser als der Einfluss des individuellen Fahrverhaltens ist aber die Tatsache, ob während des Tages oder während der Nacht gefahren wird.

Selbst ein leises Fahrzeug (z.B. 71dB Lärmprüfwert) erzeugt – während der Nacht gefahren – mehr Belastung als ein lautes Fahrzeug (z.B. 74dB Lärmprüfwert), welches aber während des Tages gefahren wird. Dies gilt für alle betrachteten Fahrzeuge: Keines der leisen Fahrzeuge, ist in der Nacht weniger belastend als eines der lauten Fahrzeuge am Tag. In diesem Sinne ist es bedeutsamer, ob tags oder nachts gefahren wird und weniger, welchen Lärmwert das Fahrzeug aufweist oder auch wie lärmig das individuelle Fahrverhalten ist.

⁶⁹ Siehe Kurven 'Ø lauter Fahrer' und 'Ø leiser Fahrer'.

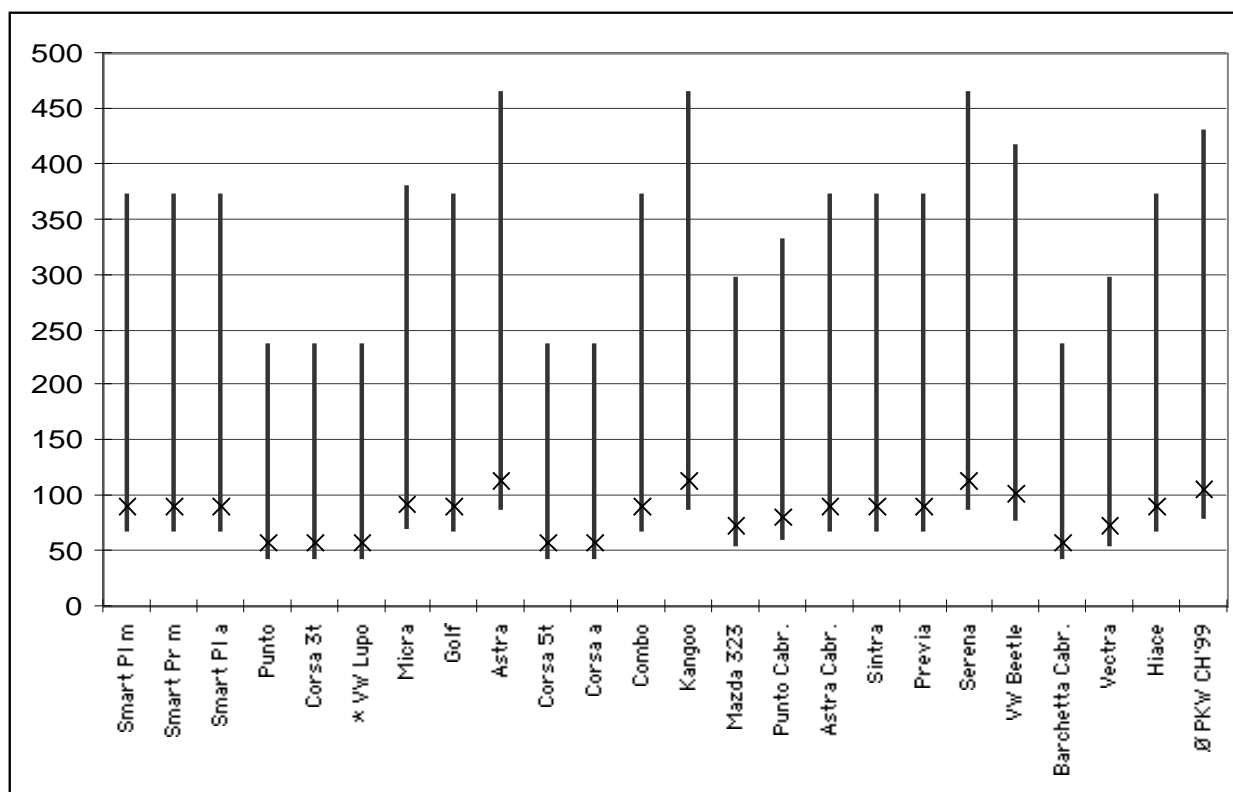


Fig. 31 Streuung der Lärm-Belastungswerte in MUBP/Fzkm in Abhängigkeit davon, ob während des Tages gefahren wird (unteres Ende der Linie) oder während der Nacht gefahren wird (oberes Ende der Linie). Das Kreuz gibt den in den Resultaten verwendete Lärm-Belastungsbeitrag bei einem mittleren Anteil von 7% Nachtfahrtstrecke an.

Mobility hat direkte und indirekte Möglichkeiten auf die Lärmentwicklung ihrer Fahrzeuge Einfluss zu nehmen. Indirekt kann Mobility ihre Kunden dazu anhalten, möglichst umweltschonend und damit auch lärmarm zu fahren, z.B. durch Fahrkurse. Eine Einflussnahme auf den entscheidenden Umstand – ob tags oder nachts gefahren wird – ist allerdings kaum in einer akzeptablen Form denkbar.

Direkt kann Mobility möglichst leise Fahrzeuge für ihre Flotte beschaffen. Schnell wirksam ist die Montage von leisen Pneus. Dadurch kann die Lärmbelastung bis zu 3 Dezibel gesenkt werden, was einer Halbierung der Lärmwirkung gleichkommt⁷⁰. Im Anhang C werden 48 Pnautypen aufgelistet, welche in Deutschland für den blauen Engel für lärmarme und kraftstoffsparende Reifen getestet wurden. Unten werden diejenigen Pneus aufgeführt, welche alle 'blauen Engel'-Kriterien erfüllen.

⁷⁰ Daneben werden bis zu 5% Treibstoff eingespart.

Grösse	Geprüfte Reifen-Typen	Modell	Geräusch dB (bei 80 km/h)	Rollwiderstand
Sommerreifen				
175/70R13	Michelin	Energy XT1	71	1.04
175/70R16	Continental	EcoContact EP	71	1.07
195/65R20	Yokohama	AVS TW-1	69	0.98
195/65R15	Michelin	Energy XH1	72	0.90
195/65R17	Dunlop	SP200E	72	1.02
195/65R19	Goodyear	NCT3 Touring	72	1.04
Winterreifen				
175/70R24	Falken	Eurowinter HS435	70	1.09
195/65R18	Continental	WinterContact TS770	72	0.91
195/65R26	Falken	Eurowinter HS 435	71	1.09

Tab. 26 Reifenmodelle, welche alle 'blauen Engel'-Kriterien für lärmarme und kraftstoffsparende Reifen erfüllen.

Belastungen aus der Fahrzeuginfrastruktur

In Zukunft werden PKW immer aufwendiger gebaut sein. Bordelektronik, Leichtbau, intelligente Komponenten sind Stichworte dazu. Die Bedeutung der Fahrzeuginfrastruktur kann daher in einer Ökobilanz künftig nicht vernachlässigt werden. Aber bereits in den betrachteten Fahrzeugen macht die Fahrzeuginfrastruktur insgesamt (d.h. Herstellung, Unterhalt und Entsorgung) 14% bis 17% der Gesamtbelastung aus.

Die Belastung der Fahrzeugherstellung stammt weitgehend aus den benötigten Materialien. Aber auch die Belastungen aus dem direkten Energieverbrauch der Fahrzeugfabrik – insbesondere Strom – sind wesentlich und nicht vernachlässigbar.

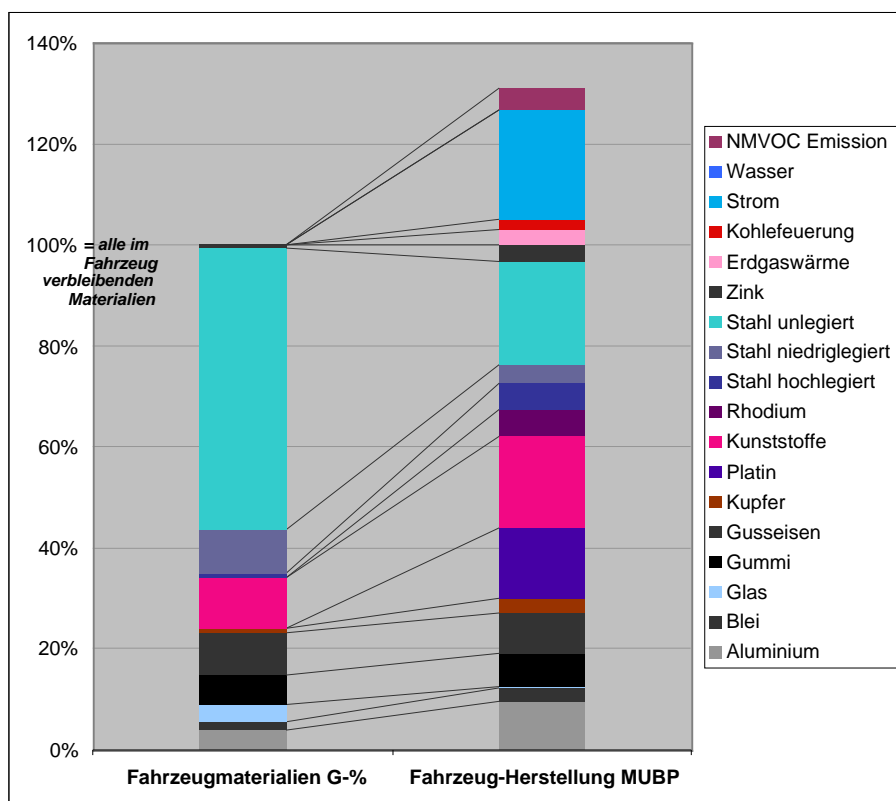


Fig. 32 Links die Zusammensetzung eines G-Kat. PKW von 1000kg Leergewicht (=100%) in Gewichtsprozent und die rechts die Umweltbelastung aus der Herstellung des PKWs (wobei 100% = Belastung aus den im Fahrzeug verbleibenden Materialien = 4 Mio. MUBP). Die Gesamtbelastung aus der Herstellung inkl. Betriebsaufwendungen der Fabrik beträgt 5.2 Mio. MUBP oder rund 31% mehr.

Bemerkenswert und vielleicht überraschend ist die ökologische Bedeutung gewisser Materialien. So machen Platin und Rhodium aus dem Katalysator von Benzinfahrzeugen einen wesentlichen Teil der Belastung aus der Fahrzeug-Infrastruktur aus; gewichtsmässig machen sie jedoch nur 0.0032 Promille des Fahrzeuges aus. Eine ähnliche, wenn auch nicht so drastische Überhöhung der ökologischen Bedeutung haben auch Zink, hochlegierter Stahl, Kupfer, Kunststoffe und Aluminium. Diese Materialien sind pro Kilogramm ökologisch aufwendiger als beispielsweise Glas oder unlegierter Stahl.

Belastungen aus Flächenverbrauch und Landschaftszerschneidung

Die Belastungen aus Flächenverbrauch und Landschaftszerschneidung wurden modellunspezifisch für jedes Fahrzeug gleich verbucht. Die Belastung aus der Zerschneidung ist dabei höher als aus dem Flächenverbrauch (3 Mio. MUBP vs. 0.38 Mio.MUBP). Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Strassenverkehr durch das Autobahnnetz weitgehend allein für die Landschaftszerschneidung verantwortlich ist, während beim Flächenverbrauch auch andere Belastungsquellen (Siedlungen) vorhanden sind, welche gesamtschweizerisch auch mehr ins Gewicht fallen. Das Resultat bedeutet nicht, dass Landschaftszerschneidung

gesamtschweizerisch das bedeutendere Problem ist als Flächenverbrauch. Aber Landschaftszerschneidung ist weitgehend ein Problem des motorisierten Strassenverkehrs.

Belastungen aus dem Import

Der Import der Fahrzeuge ist völlig untergeordnet und vernachlässigbar. Er macht im schlechtesten Fall (Serena, Import aus Fernost**) 0.016 Promille der Gesamtbelastung aus. Dies bedeutet, dass nicht davor zurückgeschreckt werden sollte, umweltschonende Fahrzeuge auch aus fernen Ländern zu importieren, wenn die Belastung während des Betriebs verringert wird.

Resultate Fahrzeugkategorien

Wie oben erläutert weisen die betrachteten Fahrzeuge unterschiedliche Funktionalität auf. Mobility trägt diesem Umstand Rechnung, indem nicht alle Fahrzeuge zu gleichen Konditionen vermietet werden. Kategorie S enthält nur den Zweiplätzer Smart. Kategorien A und B enthalten kleinere und mittlere Limousinen und Kombis. Kategorie C enthält grosse, bis neunplätzig Familienwagen und Freizeitautos ('Funcars' wie Cabrios und den VW Beetle). Kategorie T enthält den reinen Transporter Toyota Hiace. Mobility-Kunden sind bereit für die Fahrzeuge einer Kategorie gleiche Preise zu zahlen. Aufgrund der Zahlungsbereitschaft kann davon ausgegangen werden, dass diese Fahrzeuge vergleichbare Leistungen erbringen. In diesem Sinne sind nur Fahrzeugmodelle innerhalb derselben Kategorie vergleichbar.

	Preise Mobility Genossenschafter			Preise Normalnutzer		
	CHF/h	CHF/km bis 100km	CHF/km über 100km	CHF/h	CHF/km bis 100km	CHF/km über 100km
Kat. S	2.55	0.35	0.35	2.70	0.45	0.45
Kat. A	2.55	0.40	0.40	2.70	0.50	0.50
Kat. B	2.55	0.50	0.40	2.70	0.60	0.50
Kat. C	2.55	0.70	0.50	2.70	0.80	0.50
Kat. T	4.20	0.70	0.50	4.20	0.80	0.50

Tab. 27 Preise für Mobility-Fahrzeuge in 5 Kategorien (Preise ab Februar 2001).

CHF/km	Durchschnittlicher Preis pro km für Genossenschafter †
Kat. S	0.605
Kat. A	0.655
Kat. B	0.755
Kat. C	0.955
Kat. T	1.120

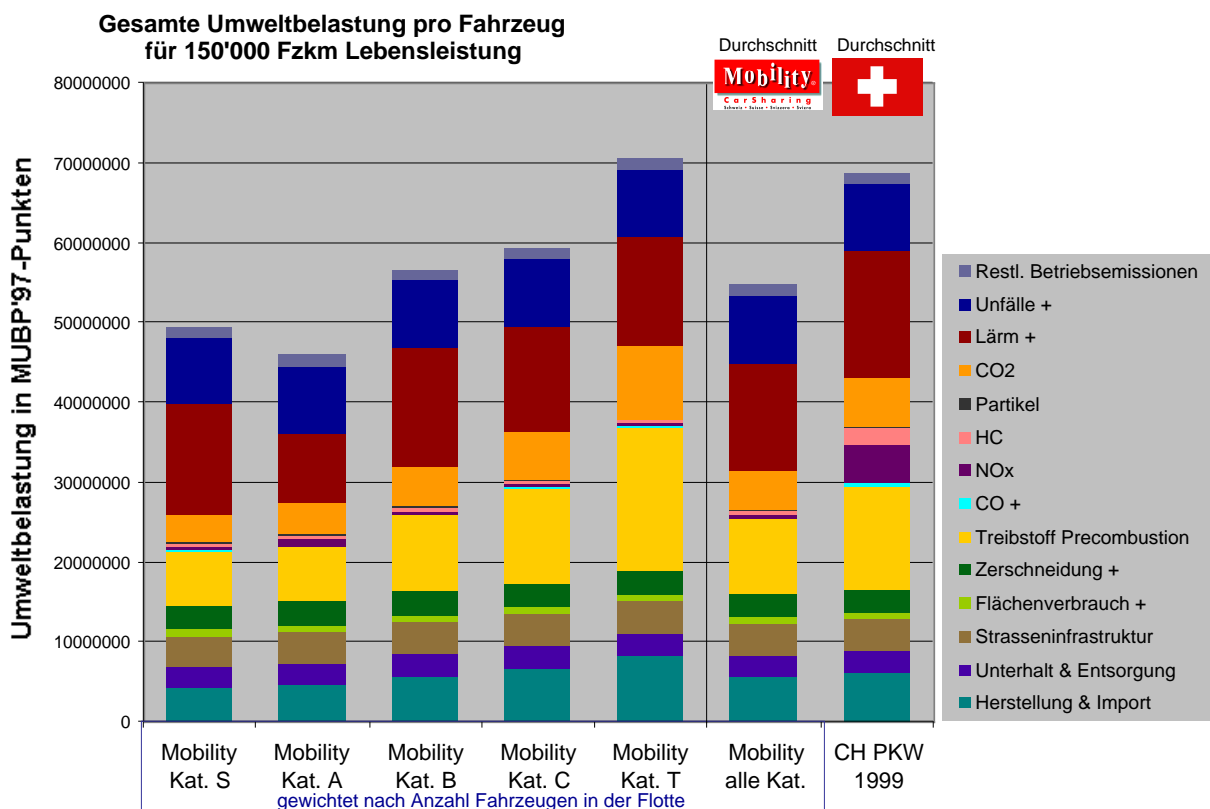
Tab. 28 Ungefähre, durchschnittliche Preise der Fahrzeug-Kategorien für Mobility -Genossenschafter. † Annahmen: Statistische Geschwindigkeit während der ganzen Reise 10km/h (= gesamt gefahrene Distanz : Reisezeit & Aufenthaltszeit)

Im folgenden werden die durchschnittlichen Resultate für diese Kategorien präsentiert. Die Ergebnisse pro Kategorie werden gemittelt über die Anzahl Modelle in der Kategorie⁷¹ für die aktuelle Flotte, Stand Sommer 2000 [Schmid 2000].

<i>Kat.</i>	<i>Modell</i>	<i>Anzahl in Flotte</i>	<i>Summe pro Kategorie</i>
S	Smart Pl m	17	
S	Smart Pr m	17	
S	Smart Pl a	17	50
A	Punto	51	
A	Corsa 3t	129	
A	* VW Lupo	75	
A	Micra	0	255
B	Golf	28	
B	Astra	668	
B	Corsa 5t	129	
B	Corsa a	129	
B	Combo	0	
B	Kangoo	0	
B	Mazda 323	0	954
C	Punto Cabr.	10	
C	Astra Cabr.	10	
C	Sintra	7	
C	Previa	10	
C	Serena	0	
C	VW Beetle	16	
C	Barchetta Cabr.	7	
C	Vectra	6	66
T	Hiace	27	27
	Summe	1352	

Tab. 29 Zusammensetzung der Mobility Flotte Stand Durchschnitt 2000 (gerundete Zahlen)

⁷¹ Besser wäre eine Mittelung über die effektiv mit jedem Fahrzeugmodell gefahrenen Kilometer. Diese Information war jedoch zum Zeitpunkt der Studie noch nicht erhältlich.



Ein Fahrzeug der Kategorie S erzeugt mit rund 50 Mio. MUBP mehr Umweltbelastung als ein Fahrzeug der Kategorie A. Abgesehen von dieser Ausnahme erzeugen die Fahrzeuge der nächstteureren Klasse im Schnitt auch mehr Umweltbelastung. Diese Ausnahme der Kategorie S ist vor allem auf einen im Vergleich zur Kategorie A hohen Lärmwert bei den Smart-Modellen zurückzuführen.

Die Resultate der Kat. A-Fahrzeuge sind dominiert vom dreitürigen Opel Corsa 3t, welcher rund die Hälfte aller Fahrzeuge dieser Kategorie ausmacht. Ein Fahrzeug der Kategorie A ist mit rund 46 Mio. MUBP etwa 33% weniger umweltbelastend als ein durchschnittlicher Schweizer PKW.

Die Resultate der Kat. B-Fahrzeuge sind dominiert vom Opel Astra, welcher rund 70% aller Fahrzeuge dieser Kategorie ausmacht und auch das häufigste Mobility-Modell überhaupt ist. Leider ist der Astra gerade das umweltbelastendste Fahrzeug der Kat. B und drückt daher das Resultat für die Kat. B-Fahrzeuge in die Höhe. Die vergleichsweise hohe Umweltbelastung des Astra ist auf einen relativ hohen Verbrauch (7.1l/100km) sowie auf ein hohen Lärmwert (74dB), welcher gerade dem gesetzlich zugelassenen Grenzwert entspricht, zurückzuführen. Zudem ist der Astra mit 1159kg Leergewicht das schwerste aller Kat. B-Fahrzeuge. Ein Fahrzeug der Kategorie B ist nur etwa 18% weniger umweltbelastend als ein durchschnittlicher Schweizer PKW.

Ein Fahrzeug der Kategorie C (Funcars und grosse Familienwagen) ist nur etwa 14% weniger umweltbelastend als ein durchschnittlicher Schweizer PKW, was unterhalb der Signifikanzgrenze liegt. Mit 66 Fahrzeugen stellt die Kategorie C 5% der Mobility-Flotte dar.

In der Kategorie T befindet sich nur der Transporter Hiace, eigentlich ein kleiner Lieferwagen. Dieser ist pro Fahrzeugkilometer gerade etwa gleich umweltbelastend wie ein durchschnittlicher Schweizer Personenwagen. Auf die Vergleichbarkeit der Fahrzeuge wurde bereits oben eingegangen. Der Hiace macht mit 27 Fahrzeugen nur 2% aller Fahrzeuge der Mobility-Flotte aus.

Mobility Durchschnittsfahrzeug

Im Durchschnitt, d.h. gemittelt über die Anzahl Fahrzeuge der Flotte, erzeugt ein Mobility-Fahrzeug rund 54.7 Mio. MUBP pro Leben. Ein durchschnittliches Fahrzeug auf den Schweizer Strassen 1999 erzeugt dagegen rund 68.7 Mio. MUBP. Ein Mobility-Fahrzeug erzeugt somit rund 20% weniger Umweltbelastung als ein durchschnittlicher Schweizer PKW.

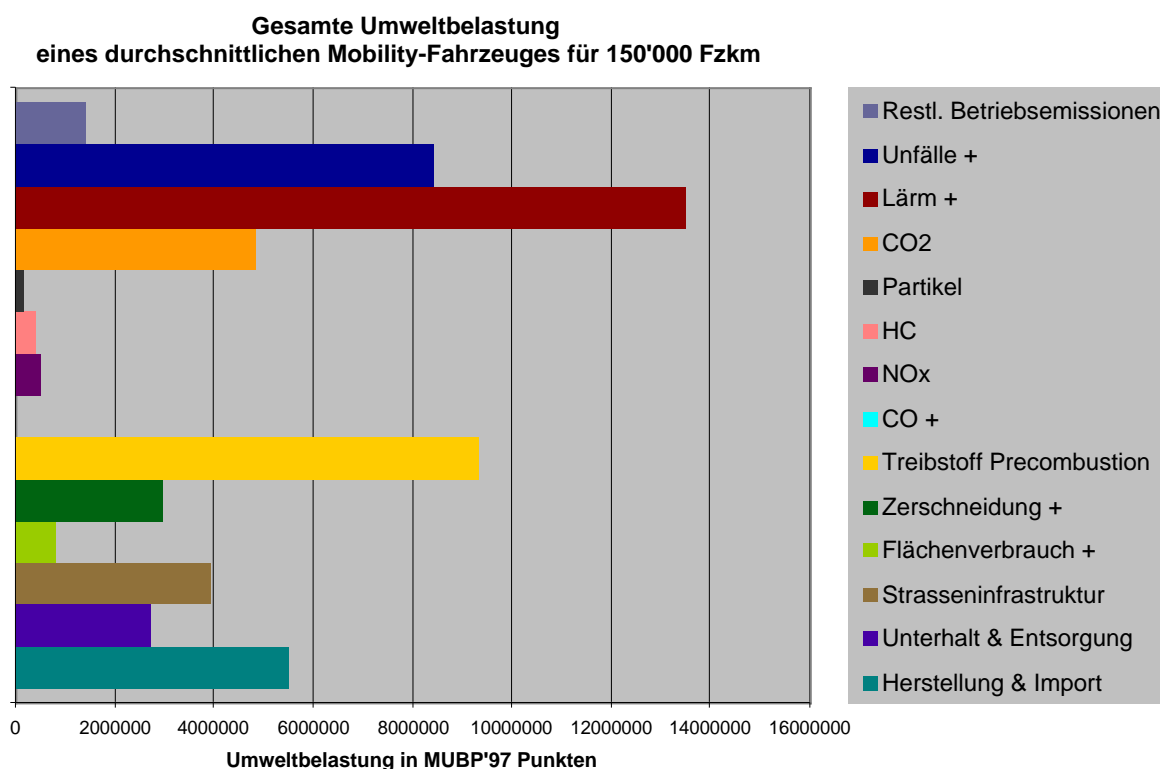


Fig. 33 Bedeutung der einzelnen Beiträge zur Gesamtumweltbelastung eines durchschnittlichen Mobility-Fahrzeuges.

Werden die Beiträge zur gesamten Umweltbelastung eines Mobility Fahrzeuges betrachtet ergeben sich – im Rahmen der Aussagegenauigkeit – folgende Ergebnisse:

Grosser Beitrag: Lärm, Unfälle, Treibstoff Precombustion

Mittlerer Beitrag: CO₂, Flächenzerschneidung, Infrastruktur,
Fz. Herstellung & Import

Kleiner Beitrag: Restl. Betriebesmissionen, HC, NO_x, PM10, CO

Die Streuung der Werte zwischen den Modellen ist besonders bedeutsam bei den Lärmbelastungen und beim Treibstoffverbrauch und damit der Treibstoff-Precombustion und den CO₂-Emissionen. Bemerkenswert ist, dass die Umweltbelastung zur *Bereitstellung* des Treibstoffs (Precombustion) grösser ist, als die Abgas-Belastungen bei der *Verbrennung* (Alle Schadstoffe inkl. CO₂).

Es bestätigen sich hier die Resultate der Vorstudie. Die Bedeutung der reglementierten Abgas-Schadstoffe sinkt bei modernen Fahrzeugen laufend. Der Beitrag zum Gesamtergebn schwankt bei den Modellen zwischen 1% und 9%. Es ist heute nicht mehr angebracht die Umweltschädlichkeit oder Umweltverträglichkeit von Fahrzeugen allein an ihren Abgaswerten messen zu wollen. Viel wichtiger sind heute die mit dem Treibstoffverbrauch verknüpften Aspekte der Precombustion, den Treibhausgasemissionen, sowie die nicht vom Treibstoff oder Motorenkonzept abhängigen Belastungen aus Unfällen und Lärm.

Die Aspekte Flächenverbrauch, Landschaftszerschneidung und Strasseninfrastruktur sind ebenfalls nicht vernachlässigbare Beiträge, welche auch durch das umweltschonendste Antriebskonzept (Zero Emission) nicht vermindert werden würden. Um diese Belastungen zu vermindern sind neuartige Fahrzeugkonzepte und Gesamtverkehrsansätze nötig.

Persönlicher Ökologischer Nachhaltigkeits-Check

Aus der MUBP'97-Methode ist auch ein ökologischer Nachhaltigkeits-Check ableitbar⁷². Die nachhaltig verträgliche Umweltbelastung pro Person und Jahr beträgt zur Zeit 4'710'000 MUBP⁷³. Diese Grösse kann als 'Ecoshare' bezeichnet und gibt an, wie gross die Umweltbelastung in einer nachhaltigen Gesellschaft pro Person maximal sein darf.

Die PKW-Modelle dieser Studie erzeugen pro Fzkm etwa 280 bis 470 MUBP. Mit einer durchschnittlichen Belegung von 2.1 Personen pro Fahrzeug bei Mobility [OECD 2000:59] ergibt das 130 bis 220 MUBP/pkm. Bei einem persönlichen Konsum von z.B. 10'000

⁷² Der Begriff 'Nachhaltigkeit' umfasst üblicherweise die Aspekte 'Ökologie', 'Ökonomie' und 'Gesellschaft'. MUBP kann dementsprechend nur Aussagen zu einem Teilaspekt der Nachhaltigkeit – der Ökologie – machen.

⁷³ In der originalen UBP'97-Methode gibt es 28 unabhängige kritische Zielwerte. In der MUBP'97-Methode kommen noch 5 unabhängige Zielwerte für Lärm, Landschaftszerschneidung, Flächenverbrauch, Verkehrsunfälle und Kohlenmonoxid dazu. In einer nachhaltigen Schweiz müssten alle 33 Zielwerte mindestens eingehalten werden. Ist dies der Fall, werden pro Jahr maximal $33 \cdot 10^{12}$ MUBP erzeugt. Bei 7 Mio. Einwohnern macht das 4'710'000 MUBP pro Person und Jahr. Bei einer wachsenden Bevölkerung sinkt der Ecoshare.

Personenkilometern pro Jahr ergibt dies 1.3 bis 2.2 Mio. MUBP oder 28% bis 47% des Ecoshares, welcher allein durch Automobilität aufgebraucht wird.

Bei einem durchschnittlichen Schweizer PKW (mit 460 MUBP/Fzkm) wird dagegen für 10'000pkm und einer typischen Belegung von 1.3 Personen pro Fahrzeug bereits etwa 75% des Ecoshares beansprucht. Alle anderen Bedürfnisse (Nahrung, Wohnen, Wärme & Energie, Freizeit etc.) dürften zusammen nicht mehr als die verbleibenden 25% des Ecoshares beanspruchen, soll die Lebensweise ökologisch nachhaltig sein. Die Dominanz des PKWs im Ecoshare-Verbrauch dürfte den meisten Menschen eher unausgewogen erscheinen, was aber eine Angelegenheit persönlicher Präferenzen und Prioritäten ist.

Mobility-Kunden fahren pro Jahr nur etwa rund 3000pkm mit PKWs. Dabei werden für rund 800pkm Mobility-Fahrzeuge eingesetzt; der Rest wird mit anderen PKWs gefahren [Mertens 2000:26]. Mobility-Kunden beanspruchen somit - je nach Fahrzeug und Belegung – durch ihre Automobilität nur etwa 11% bis 22% des Ecoshares (im Mittel 18%). Dies ist gegenüber dem durchschnittlichen Schweizer wesentlich besser.

Relevanz der neuen Methode MUBP'97

Die in der Resultat-Legende mit dem Suffix '+' gekennzeichneten Schadenskategorien wurden in MUBP'97 gegenüber der BUWAL-Methode UBP'97 neu eingeführt. Diese neuen Schadenskategorien allein machen bei den Fahrzeugmodellen zwischen 37% und 53% des Gesamtergebnisses aus. Wären die Fahrzeuge mit der herkömmlichen UBP'97-Methode bewertet worden, wären also zwischen 37% und 53% der Gesamtbelastung der Fahrzeuge *nicht erfasst* worden. Dies rechtfertigt in Retrospekt die Erweiterungen der MUBP'97-Methode.

Insbesondere die fahrzeugspezifisch erfasste Schadenskategorie 'Lärm' führt bei einigen Fahrzeugen (Smart, Astra, Kangoo) auch zu Rangverlusten gegenüber der Bewertung mit UBP'97 allein.

Blauer Engel für Car-Sharing-Betriebe

Der 'Blaue Engel' ist ein Umweltgütezeichen, welches in Deutschland für relativ umweltschonende Produkte vergeben wird. Neu können auch Car-Sharing-Betriebe mit dem 'Blauen Engel' ausgezeichnet werden (RAL-UZ 100). Im Juli 2000 waren 8 Car-Sharing-Betriebe mit dem Gütesiegel ausgezeichnet. Sie verpflichten sich zur Einhaltung folgender Kriterien: Die *bestehende* Flotte soll mindestens EURO2-Abgasnormen erfüllen und maximal 165g Kohlendioxid pro Fzkm emittieren. *Neu beschaffte* Fahrzeuge sollen mindestens die EURO4-Norm erfüllen (wird 2005 allgemein eingeführt und ist ab 2006 wirksam) und einen Lärm-Typenprüfwert von maximal 71dB(A) aufweisen [BE 1999].

Es wird überdies empfohlen, folgende weitere Kriterien zu beachten:

- Recyclingkonzept (Recyclingpotential) mit Recyclinganteil von mindestens 85%
- umweltverträglicher Stoffeinsatz bei der Produktion des Fahrzeuges
- Ökoaudit wird vom Hersteller durchgeführt.



Fig. 34 Der 'Blaue Engel' für Car Sharing

Anforderungen	Gilt für	Grenzwert	Messnorm
CO ₂ -Emissionen	Fahrzeuge der ganzen Flotte	165 g/km	nach RL 93/116/EWG
Schadstoff-emissionen	Neu beschaffte Fahrzeuge	EURO4 ⁷⁴ (2005)	Zulassung nach Richtlinie98/69/EG
Lärmemission (Fahrgeräusch-Typprüfwert)	Neu beschaffte Fahrzeuge	71 dB(A)	

Tab. 30 'Blaue Engel'-Kriterien für Car-Sharing-Betriebe

Die Flotte von Mobility Schweiz erfüllt das Kriterium für die bestehende Flotte knapp⁷⁵ mit 162g Kohlendioxid pro Fzkm (Grenzwert Blauer Engel 165 g/km). Der Schweizer Durchschnitts-PKW erreicht dagegen 200g CO₂/km.

Von den bestehenden Fahrzeugen würden vermutlich⁷⁶ alle drei Corsa-Modelle und der Lupo sogar die Kriterien für Neuanschaffungen erfüllen.

Korrelationen

Es kann interessant sein herauszufinden, ob es einige zentrale Parameter gibt, welche die Umweltbelastung bestimmen oder damit korreliert sind. Wenn diese Parameter bekannt sind, können sie für eine schnelle Grobanalyse von Fahrzeug-Modellen dienen. Die Beurteilung von einigen wenigen Parametern, welche in guter Näherung auf die gesamte Umweltbelastung

⁷⁴ maximal 1.0 g CO, 0.1g HC und 0.08g NOx pro Fzkm für Benzinfahrzeuge

⁷⁵ Über dem Grenzwert von 165g/km sind in absteigender Reihenfolge: Hiace, Previa, Sintra, Serena, VW Beetle, Barchetta Cabr., Astra Cabr., Combo, Corsa a, Mazda 323, Vectra, Kangoo und Astra.

⁷⁶ Die Angaben der bestehende Modelle beziehen sich auf einen EURO2/NEFZ-Testzyklus, welche nicht mit dem EURO4/NEFZm-Zyklus vergleichbar ist.

schliessen lassen, gestaltet sich einfacher und schneller, als eine vollständige Analyse und kann zur Schnellbeurteilung verwendet werden.

Korrelationen mit Einzel-Parametern

Im folgenden wird jeweils für die Parameter Treibstoffverbrauch, Hubraum und Leergewicht eine Korrelationsgraphik gezeigt. Dabei wird die Umweltbelastung der Fahrzeugmodelle gegen den Parameter aufgetragen. Jeder Punkt entspricht einem Fahrzeugmodell. Über diese Punkteschar kann eine Korrelations-Kurve angepasst werden. Hier wird ein Polynom dritten Grades verwendet.

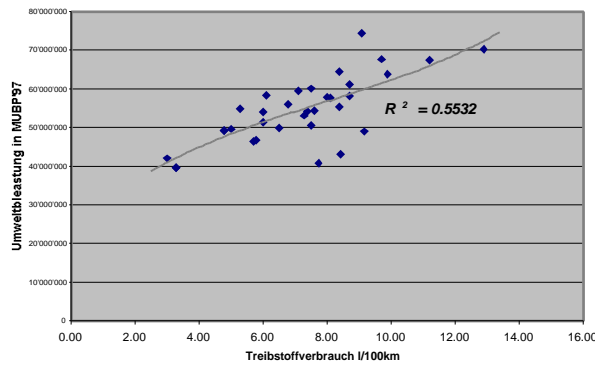


Fig. 35 Korrelationsgraphik Umweltbelastung der Fahrzeugmodelle gegen den Parameter Treibstoffverbrauch

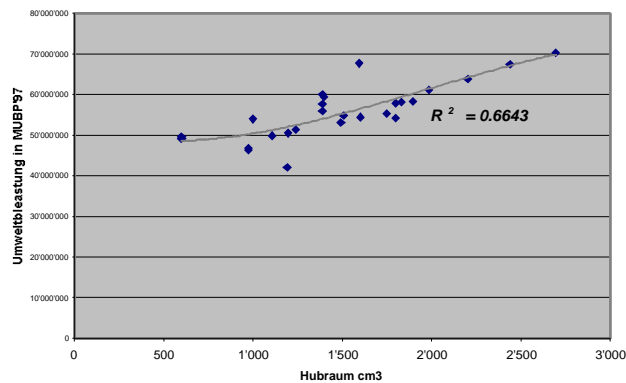


Fig. 36 Korrelationsgraphik Umweltbelastung der Fahrzeugmodelle gegen den Parameter Hubraum

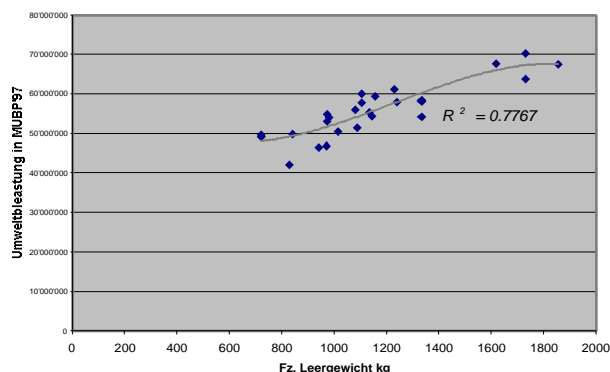


Fig. 37 Korrelationsgraphik Umweltbelastung der Fahrzeugmodelle gegen den Parameter Leergewicht.

Die Korrelationen mit den Parametern Treibstoffverbrauch, Hubraum oder Leergewicht sind nicht befriedigend. Die Güte der Korrelation der Werte⁷⁷ ist zu gering um zuverlässige Prognosen aus zur Gesamtbelastung zu machen. Für einen bestimmten Wert des Parameters variiert die Umweltbelastung in einem Bereich von 20% bis 50%. Das ist zu gross um eine annähernd zuverlässige Vorhersage zu machen. Die beste Korrelation ergibt sich mit dem Parameter 'Leergewicht'. Dies mag überraschen, da die verbauten Massen per se in der Umweltbilanz nur eine kleine Rolle spielen. Aber anscheinend ist das Fahrzeuggewicht stark korreliert mit anderen einflussreichen Grössen wie Verbrauch, Hubraum oder auch Lärm.

Korrelationen mit zwei Parametern

Da eine Vorhersage der Umweltbelastung durch einen Parameter nicht befriedigend möglich ist, soll nun die Korrelation mit zwei Parametern versucht werden. Dabei werden die zwei Parameter auf der x- und y-Achse aufgetragen. Jedes Fahrzeug wird wie schon vorher durch einen Punkt repräsentiert, wobei die Grösse des Punktes der Umweltbelastung des Fahrzeuges entspricht⁷⁸.

Als erstes Parameter-Paar wird das Fahrzeuggewicht und der Hubraum gewählt, welche vorhin die besten Korrelationen mit der Umweltbelastung ergaben.

⁷⁷ Ausgedrückt durch den Korrelationskoeffizienten R^2 .

⁷⁸ Um die Unterschiede zwischen den Modellen deutlich zu machen, wird nicht die absolute Umweltbelastung dargestellt, sondern die Differenz der Umweltbelastung zum umweltschonendsten Modell (VW Lupo). Der Durchmesser der Kreise entspricht jeweils dieser Differenz. Dadurch wird der Unterschied nochmals deutlicher, als wenn - an sich korrekter - der Betrag die Fläche des Kreis darstellen würde. Da der VW Lupo einen Nullkreis erhält wird er nicht dargestellt.

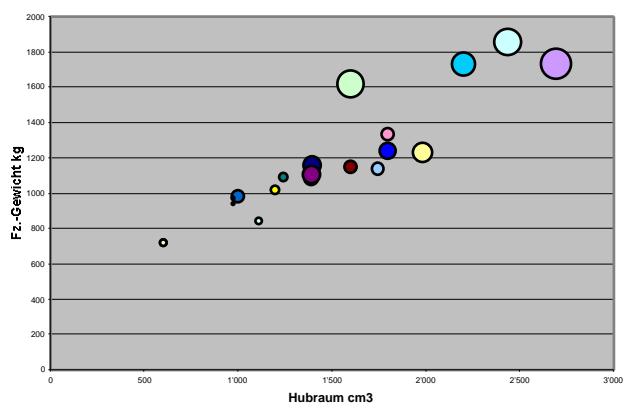


Fig. 38 Umweltbelastung der Fahrzeugmodelle in Abhängigkeit der Parameter Leergewicht und Hubraum.

Werden die Kreisgrößen betrachtet ergibt sich kein stetiger Verlauf. Es ist hier nicht möglich über die Graphik ein einfaches, homogenes Feld ansteigender Umweltbelastung einzuzeichnen.

Offenbar ist der Hubraum und das Gewicht selber stark korreliert, da die Punkteschar entlang einer Linie konzentriert ist. Dies ist hier unerwünscht. Es bedeutet, dass die gewählten Parameter nicht unabhängig voneinander sind, bzw. von der Bilanz her ähnlichen Informationsgehalt tragen. Hier sollen aber möglichst zwei unabhängige Parameter gefunden werden, welche eine hohe Diskriminierung der Fahrzeugmodelle erlauben.

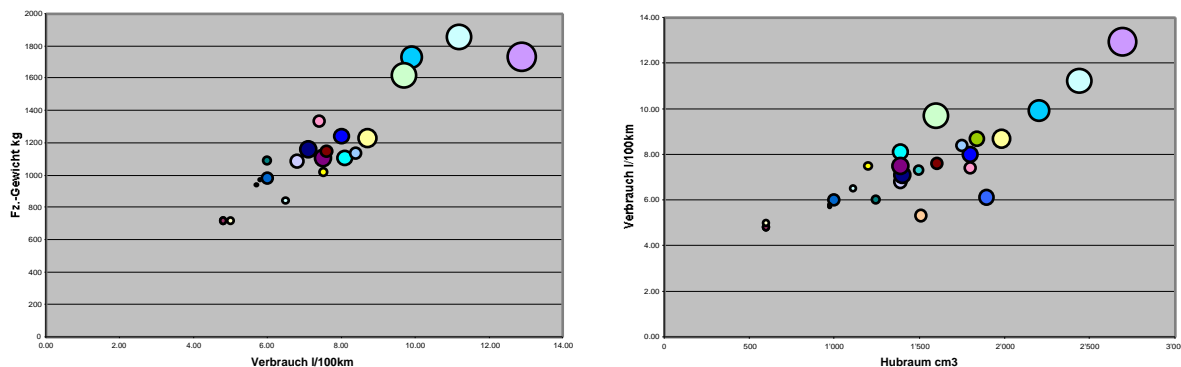


Fig. 39 Umweltbelastung der Fahrzeugmodelle in Abhängigkeit der Parameter Leergewicht und Treibstoffverbrauch resp. Treibstoffverbrauch gegen Hubraum.

Die Felder 'Fahrzeuggewicht gegen Treibstoffverbrauch' und 'Treibstoffverbrauch gegen Hubraum' ergeben ein ähnliches Bild. Auch diese Parameterpaare ergeben keinen stetigen Verlauf der Umweltbelastung und sind zu stark miteinander selbst korreliert.

Es wird ein neuer Parameter, der Lärmtestwert in Dezibel, herangezogen. Das Feld 'Fahrzeuggewicht gegen Lärmwert' vermag die verschiedenen Fahrzeuge besser zu diskriminieren: es wird ein breit verteiltes Feld aufgespannt.

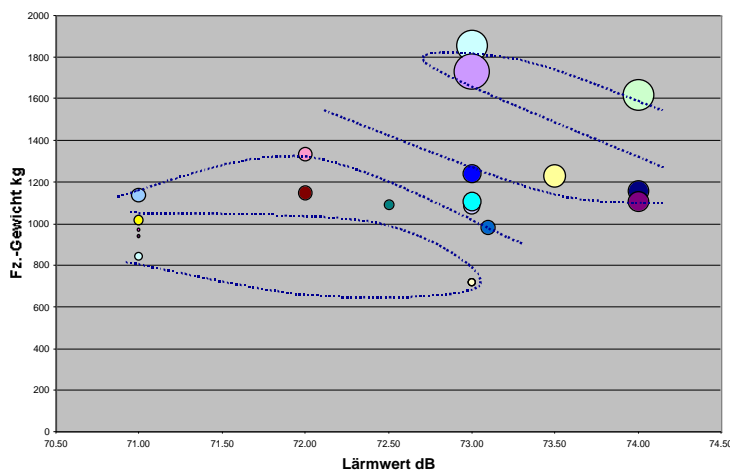


Fig. 40 Umweltbelastung der Fahrzeugmodelle in Abhängigkeit der Parameter Leergewicht und Lärmwert.

Aber der Verlauf der Umweltbelastung ist immer noch zu inhomogen um als einfaches Vorhersageinstrument zu dienen. Die eingezeichneten Linien gleicher Umweltbelastung⁷⁹ haben einen zu unübersichtlichen Verlauf.

Dies bessert sich, wenn das Feld 'Treibstoffverbrauch gegen Lärmwert' betrachtet wird.

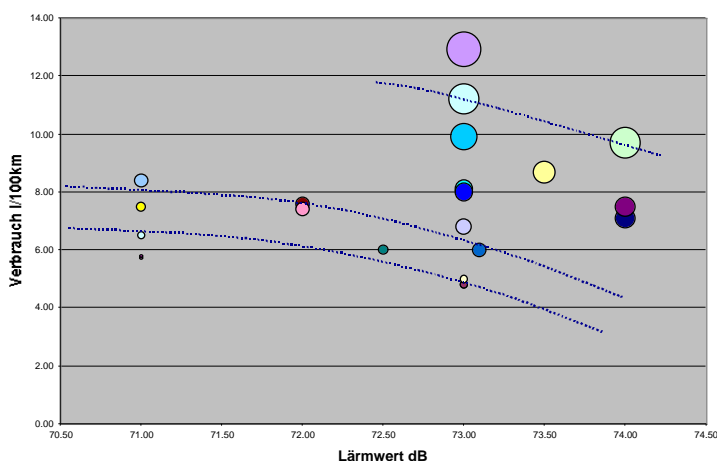


Fig. 41 Umweltbelastung der Fahrzeugmodelle in Abhängigkeit der Parameter Verbrauch und Lärmwert.

Es ergibt sich ein einfacher, stetiger Verlauf der Iso-Umweltbelastungslinien (=Linien gleicher Umweltbelastung). Die Parameter Treibstoffverbrauch und Lärmwert wären demnach für eine rasche a priori Beurteilung der Gesamt-Umweltbelastung von Fahrzeugmodellen geeignet.

Noch besser sieht aber das Feld 'Hubraum gegen Lärmwert' aus. Das Feld ist weiter aufgespannt als bei 'Treibstoffverbrauch gegen Lärmwert'. Es diskriminiert die einzelnen Fahrzeugmodelle daher besser, was hier vorzuziehen ist.

⁷⁹ Die Kurven sind approximativ von Hand eingezeichnet und nicht das Resultat einer mathematisch exakten Regression.

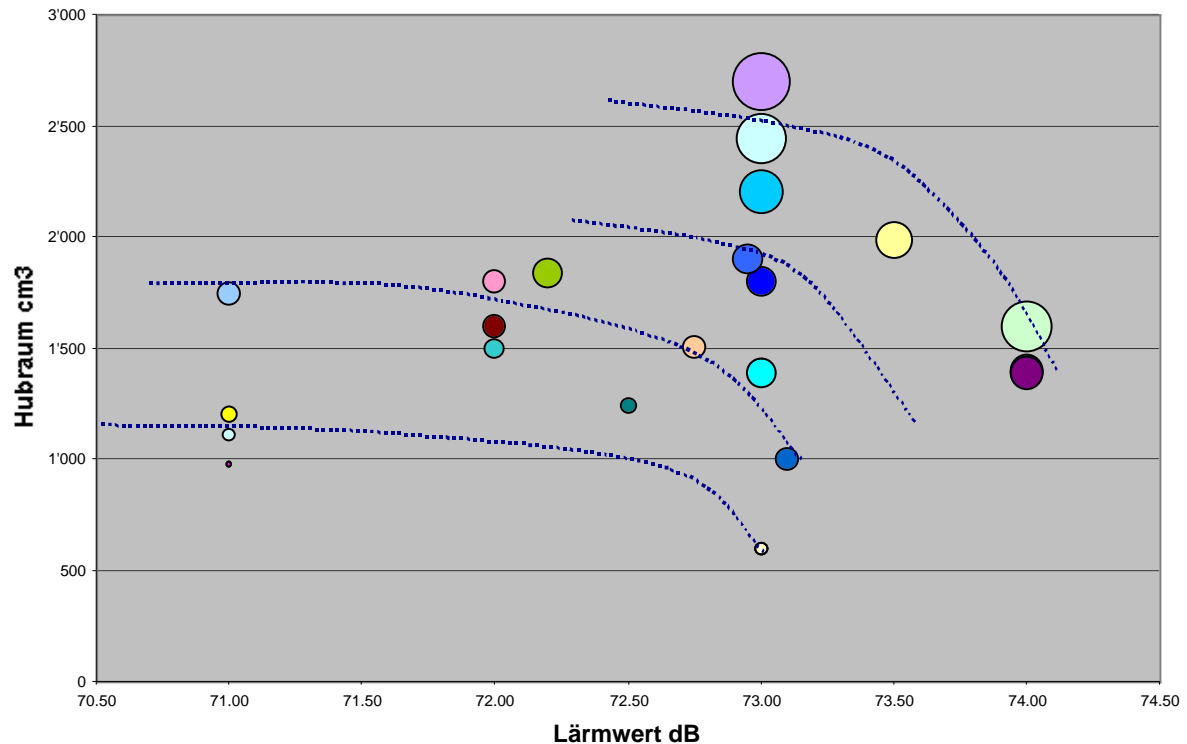


Fig. 42 Umweltbelastung der Fahrzeugmodelle in Abhängigkeit der Parameter Hubraum und Lärmwert.

Die Parameter 'Hubraum' und 'Lärmwert' können zusammen für eine rasche a priori Beurteilung der voraussichtlichen Gesamt-Umweltbelastung von Fahrzeugmodellen verwendet werden.

Da Hubraum und Treibstoffverbrauch einigermassen miteinander korreliert sind fließt auch der Treibstoffverbrauch indirekt in die Beurteilung mit ein. Dieselfahrzeuge weisen jedoch bei konstantem Hubraum signifikant kleinere Verbrauchswerte auf als Benzinfahrzeuge (s. unten). Die vorliegende a priori Beurteilung soll daher nur für Benzinfahrzeuge angewendet werden.

Wichtig: Da diese Analyse nur Benzinfahrzeuge betrachtet hat, darf sie nicht zur a priori Beurteilung von Dieselfahrzeugen herangezogen werden.

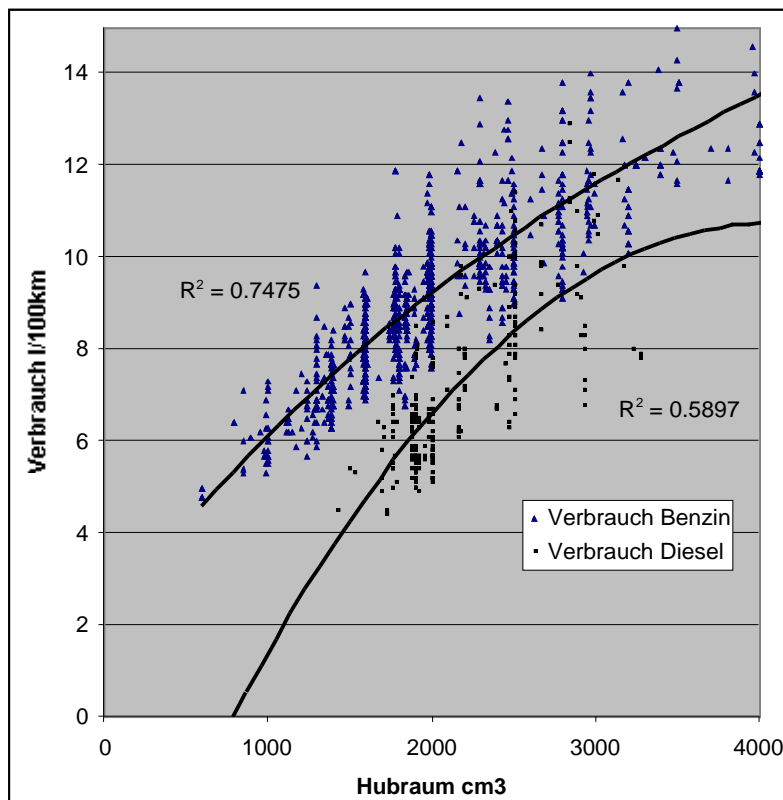


Fig. 43 Korrelationsgraphik 'Hubraum gegen Treibstoffverbrauch' für Benzin- und Dieselfahrzeuge. Dieselfahrzeuge sind nicht vergleichbar mit Benzinfahrzeugen und bilden einen eigenen Cluster.

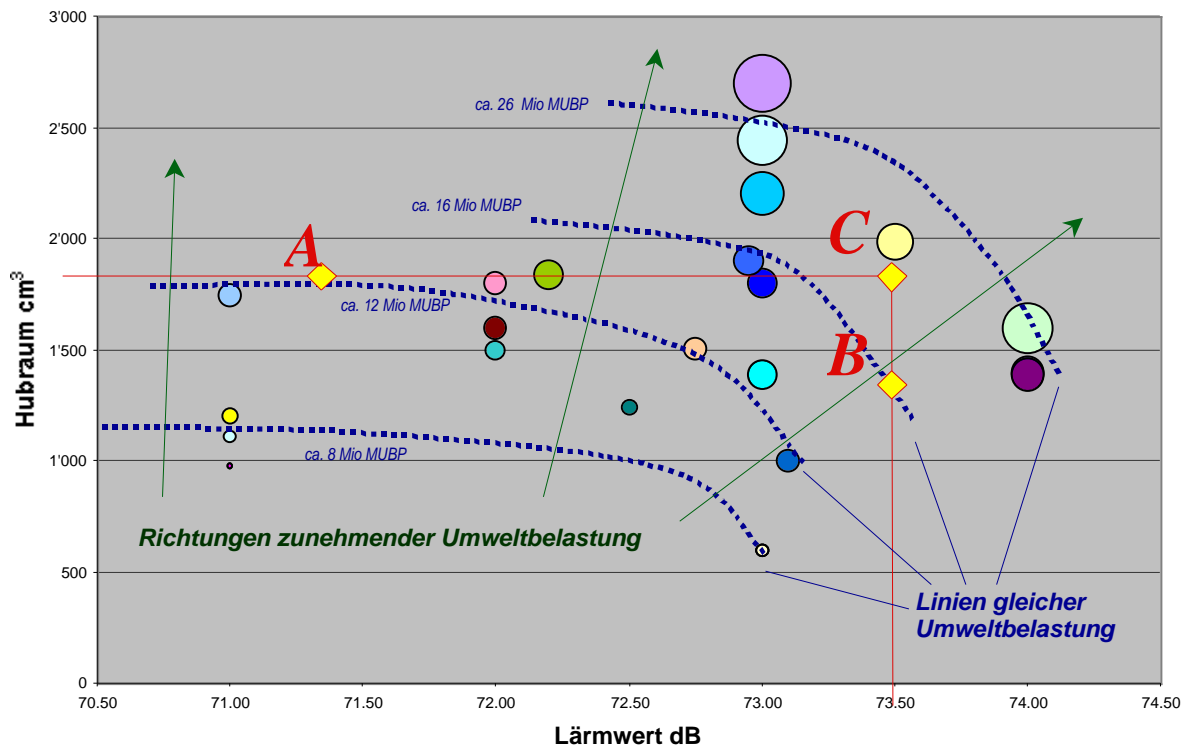


Fig. 44 Nomogramm zur schnellen a priori Beurteilung der Gesamt-Umweltbelastung von modernen Benzin-PKW.

Verwendung: Betrachten wir drei Fahrzeuge (A, B und C) mit den Hubraumwerten (1800, 1400 resp. 1800 cm³) und den Lärmwerten (71.3, 73.5 resp. 73.5 dB). Aus dem Korrelationsfeld lässt sich ablesen, dass bei den beiden Fahrzeugen A und C mit identischem Hubraum, das Fahrzeug A (1800, 71.3) voraussichtlich ökologisch besser abschneidet als C (1800, 73.5), da A einen tieferen Lärmwert besitzt. Ähnlich ist bei den beiden Fahrzeugen B und C mit identischem Lärmwert, voraussichtlich das Fahrzeug B (1400, 73.5) ökologisch besser als C (1800, 73.5), da B einen kleineren Hubraum besitzt. Sowohl A als auch B sind also besser als C. Aber ist nun A besser als B oder B besser als A? Aus der Graphik lässt sich ablesen, dass B auf einer höheren Iso-Umweltbelastungslinie (punktierter Linien) liegt (ca. 16 Mio. MUBP) als A (ca 12 Mio. MUBP). Fahrzeug A wird also voraussichtlich eine geringere ökologische Gesamtbelastung aufweisen als B.

Die Rangfolge der Fahrzeugmodelle ist demnach 'C ist belastender als B ist belastender als A'.
Nochmals: Diese a priori Abschätzung gilt nur für Benzinfahrzeuge.

Korrelation mit Resultaten der VCS-Liste

Die Beurteilungen der in der VCS-Liste aufgeführten Modelle [VCS 2000] können verglichen werden mit den Resultaten der vorliegenden ausführlichen Ökobilanzierung. Die vergebenen Punkte in der VCS-Liste stehen für die Umweltgüte eines Auto-Modelles: Je höher die Umweltbelastung eines Modells desto *weniger* VCS-Punkte werden vergeben. VCS-Punkte sind Umweltgütepunkte. In der vorliegenden Ökobilanz nach MUBP'97 werden Punkte für *Belastungen* vergeben werden: Je höher die Umweltbelastung eines Modells desto mehr MUBP-Punkte werden vergeben. MUBP-Punkte sind Umweltbelastungspunkte. Die Korrelation VCS-Punkte gegen MUBP-Punkte sollte also eine negative sein.

<i>Modell</i>	<i>Umweltgütepunkte nach VCS-Liste</i>
Smart Pl m	67.4
Smart Pr m	67.4
Smart Pl a	–
Punto	57.6
Corsa 3t	67.7
* VW Lupo	78.1
Micra	52.5
Golf	56.6
Astra	47.4
Corsa 5t	67.7
Corsa a	60
Combo	44.1
Kangoo	40.7
Mazda 323	41.9
Punto Cabr.	52.7
Astra Cabr.	45.2
Sintra	–
Previa	31.5
Serena	20.4
VW Beetle	37.7
Barchetta Cabr.	–
Vectra	47.8
Hiace	–

Tab. 31 Bewertung der in dieser Studie betrachteten Fahrzeugmodelle gemäss VCS-Liste [VCS 2000]

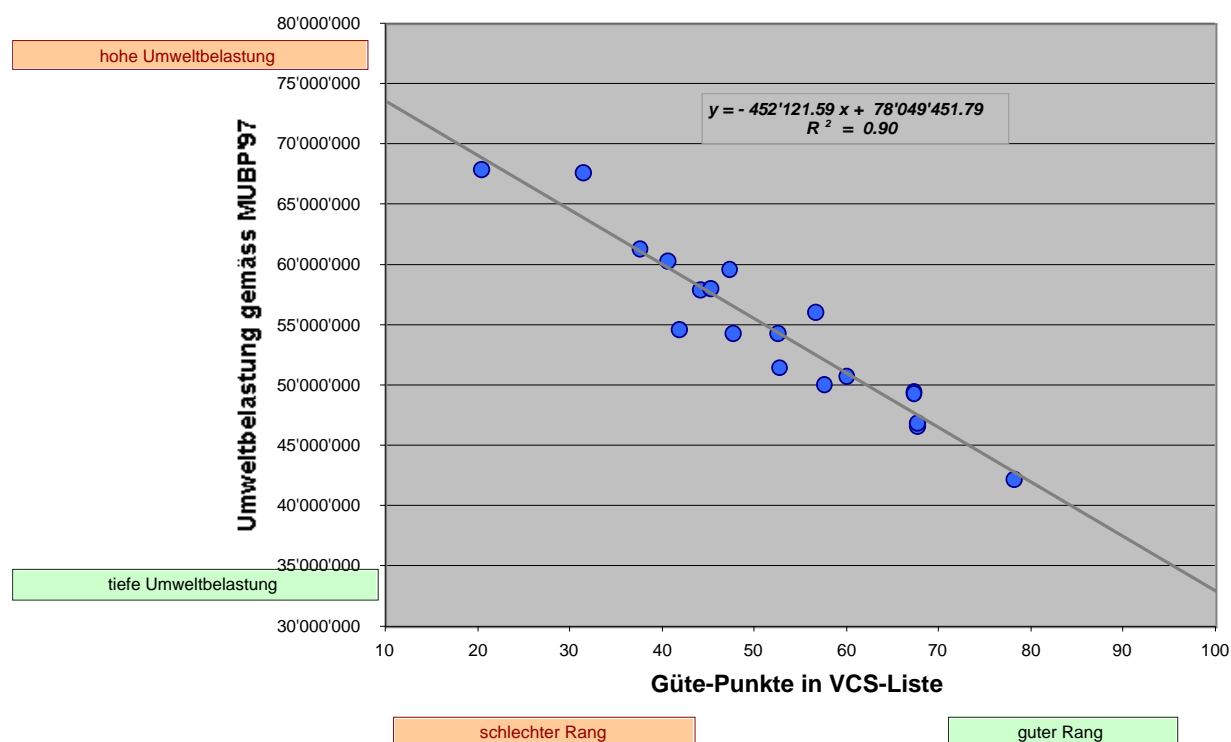


Fig. 45 Korrelation der Bewertungen der Fahrzeugmodelle nach [VCS 2000] und nach MUBP'97.

Die Korrelation ist für die vorhandenen 19 Fahrzeuge relativ gut ($R^2 = 0.9$) und quasi negativ linear. In der VCS-Liste kann das beste Fahrzeug maximal 100 Punkte erreichen⁸⁰. Ein solches (hypothetisches) Fahrzeug würde aber immer noch voraussichtlich 33 Mio. MUBP pro Leben erzeugen. Die Maximalpunktzahl der VCS-Liste suggeriert, dass 100 VCS-Punkte das 'bestmögliche Fahrzeug' bezeichnen. Beispielsweise erdgasbetriebene Fahrzeuge würden aber leicht Werte erreichen, welche unter 33 Mio. MUBP liegen und daher sehr wahrscheinlich über dem Maximum von 100 VCS-Punkten zu liegen kommen sollten. Sobald solche 'besser-als-die-Besten'-Fahrzeuge betrachtet werden sollen, muss die Methodik der VCS-Liste geändert werden, um eine faire Unterscheidung dieser Fahrzeuge zu erlauben. Bei der MUBP-Methode ist es hingegen ohne weiteres möglich Erdgas- oder auch Elektrofahrzeuge zu betrachten. Die MUBP-Bewertungsmethode ist grundsätzlich nicht auf ein spezifisches Motorenkonzept ausgerichtet und damit wertneutraler.

⁸⁰ Das aktuell beste Modell ist mit 78.1 Punkten der VW Lupo TDI 3l

Kritik

MUBP ist subjektiv**

MUBP ist auf PKW zugeschnitten, öV kommt zu gut weg, da z.B. Unfälle oder Lärm von Zug nicht berücksichtigt wird** mach ich ja nicht** drum heisst die Methode auch Mobility-UBP, weil damit Fahrzeuge von Mobility Car Sharing bewertet werden sollen. Eine Ausdehnung welche z.B. Lärmbelastungen von Zügen berücksichtigt ist prinzipiell jedoch möglich und mit dem gewählten Vorgehen kompatibel. Keine ÖV-Fahrzeuge betrachtet.**

Unsicherheiten

Bei einer Ökobilanz werden eine Vielzahl von Daten verrechnet. Diese besitzen eine mehr oder weniger grosse Fehlerschranke. Generell gilt, dass in heutigen Ökobilanzen die Daten kaum so genau bekannt sind, dass kleine Unterschiede der Resultate als signifikant gelten können. Man sollte sich als davor hüten, aus kleinen Vorsprüngen im Bereich < 20% eine wesentliche ökologische Überlegenheit ableiten zu wollen. Auf die Quellen der wichtigsten Unsicherheiten soll im folgenden hingewiesen werden.

Unsicherheiten im Inventar

Die betrachteten Fahrzeuge wurden nach vorhandenen Informationen bilanziert. Der Treibstoffverbrauch hat sich als zentral herausgestellt. Dieser wurde aufgrund von standardisierten Testfahrzyklen bilanziert. Im realen Betrieb können diese Werte je nach Fahrweise bis zu 20% über- oder unterschritten werden.

Bei der Lärmbelastung wurde angenommen, dass eine Fahrt am wahrscheinlichsten auf den Strassen mit hohem Verkehrsaufkommen stattfindet, d.h. es wurde eine 'statistische Durchschnitts-Fahrt' gemäss dem Schweizer Verkehrsaufkommen bilanziert. Insbesondere wurde angenommen, dass 7% der Fahrtstrecke in der Nacht abgefahren wird. Dies ist bedeutsam, da die Lärmbelastung in der Nacht ca. 5mal schwerer wiegt als am Tag. Findet eine Fahrt nur nachts statt, ist die Lärmbelastung um rund 400% höher als im ausgewiesenen Durchschnitt. Auch bei der Lärmbelastung wurden standardisierte Typenprüfwerte verwendet, um die Fahrzeugschallpegel im Verkehr abzuschätzen. Diese Werte können je nach individueller Fahrweise bedeutend abweichen.

Unsicherheiten der Bewertung

Die Bewertung stützt sich auf eine Auswahl von Umweltbelastungen. Gewisse Umweltbelastungen wurden in UBP/MUBP'97 nicht bewertet (z.B. Dioxine). Die Gewichtungsfaktoren sind abhängig von der aktuellen Belastungssituation (aktuelle Fracht F) und der als kritisch erachteten Belastungssituation (kritische Fracht F_k). Die kritische Fracht wird aus Zielsetzungen der schweizerischen Umweltpolitik abgeleitet. Diese Zielsetzungen sind oft das Produkt eines politischen Seilziehens. Die politischen Entscheidungen für einen Zielwert sind sehr subjektiv und basieren oft auf einer uneinheitlichen Abwägung, was die zu schützenden Güter betrifft.

Jede Umweltbelastung wird in UBP/MUBP'97 gleichberechtigt behandelt, d.h. alle verwendeten Zielsetzungen sind aufgrund des Bewertungsvorgehens gleich wichtig. Es kommt nicht zum Ausdruck, dass das Unterschreiten gewisser Belastungen Priorität hätte. So wird beispielsweise das Einhalten der Klimakonvention als Ganzes gleich wichtig erachtet wie das Einhalten der kritischen Fracht der Nickelemissionen in den Boden.

Ausblick

**

Literatur

- Angst et al. 1998 P. Angst, S. Grauwiler, R. Müller, "Lärmübersichtskataster (LUK) des Kantons Zürich", Schweizer Ingenieur und Architekt Nr 36 (1998), p.648-651.
- BFE 2000 Bundesamt für Energie (BFE), "energie extra", Ausgabe 6/2000, p.6: Artikel "Alpenkonvention gegen Verkehrslawine"
- BFS 1994 Bundesamt für Statistik, "Gesamtstatistik Schweiz 1994", Bern, <http://www.statistik.admin.ch/ch150/ch94.gif>
- BFS 1997 BFS, "Die Strasse wird sicherer – Pressemitteilung zur Statistik Strassenverkehrsunfälle Schweiz 1996", 15. Mai 1997, <http://www.admin.ch/bfs/news/archiv97/dp97040.htm>
- BFU 2000 R. Allenbach, C. Dähler-Sturny, S. Siegrist, "Unfallstatistik 2000", Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern, 2000, <http://www.bfu.ch/forschung/statistik/2000/index.html>
- Braunschweig et al. 1993 A. Braunschweig, R. Müller-Wenk "Ökobilanzen für Unternehmungen", Bern 1993.

- BUPO 1993 "Sicherheit im Strassenverkehr", Expertengruppe Verkehrssicherheit des Bundesamtes für Polizeiwesen, Bericht vom 15. Dezember 1993
- BUWAL 1987 BUWAL, "Computermodell zur Berechnung von Strassenlärm, StL-86". Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 60. Bern 1987.
- BUWAL 1991 BUWAL, "Strassenlärmmodell für überbaute Gebiete", Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 15, Bern 1991
- BUWAL 1994 BUWAL, "Umweltbericht Schweiz 1993 – Zur Lage der Umwelt in der Schweiz", Bern, 1994
- BUWAL 1995 BUWAL, "Luftschadstoffe des Strassenverkehrs 1950-2010", Schriftenreihe Umwelt SRU. Nr. 255, Bern, 1995
- BUWAL 1998 G. Brand, A. Scheidegger, O. Schwank, A. Braunschweig, "Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 1997", BUWAL Schriftenreihe Umwelt Nr. 297, ÖBU, Februar 1998
- BUWAL 2000b BUWAL, "Entwicklung der schweizerischen Gesetzgebung im Bereich der Abgasemissionen von motorisierten Strassenfahrzeugen, der periodischen Nachkontrolle von Motorfahrzeugen und der Treibstoffqualität", Bern, Januar 2000,
http://www.buwal.ch/luft/d/pdf/v_ean.pdf
- BUWAL 2000a BUWAL, "Vom Menschen verursachte Luftschadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900 bis 2010 – Kohlenmonoxid", Bern, 2000,
http://www.buwal.ch/luft/d/pdf/e_e_co.pdf
- BUWAL et al. 1996 BUWAL, BFS, "Umwelt in der Schweiz – Kapitel 16: Lärm", Bern, November 1996,
<http://www.buwal.ch/d/themen/umwelt/laerm/dk16u00.pdf>
- BUWAL et al. 1999 BUWAL, Bundesamt für Raumplanung (BRP) (Hrsg.) "Landschaftskonzept Schweiz – Kurzfassung", Bern, März 1999
- Daimler Chrysler 1999 Umweltbericht 1999 von Daimler Chrysler,
http://www.daimlerchrysler.de/environ/report99/produkt/design2_g.htm
- DAL 2000 Deutscher Arbeitsring für Lärmbekämpfung e.V., "Lärm-ABC", Düsseldorf, 2000, http://dalaerm.de/abc/abc_ah.htm#Energ
- EFD 2000 Eidg. Forstdirektion, BUWAL, "Forstpolitik", Januar 2000,
http://www.buwal.ch/forst/facts/d3_2.pdf
- EMPA 1997 K. Heutschi, "Neues EMPA-Modell für Strassenlärm – Teil Quellenbeschreibung", EMPA Bericht Nr. 156'479 / int. 511.1773, Januar 1997,
<http://www.empa.ch/deutsch/fachber/abt177/laerm/que-www.pdf>

- ESU 1996 R.Frischknecht, P.Suter, U.Bollens, S.Bosshart, M.Ciot, L.Ciseri, G.Doka, R.Hirschier, A.Martin, R.Dones, U.Gantner, "Ökoinventare von Energiesystemen", Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt (ESU), ETH Zürich und PSI, Villigen, 3.Auflage, Juli 1996
- Focus 2000a "Sparsamer Dieselmotor - Der Drei-Liter-Lupo", Focus Online, Auto & Verkehr, Test & Technik, Alternative Antriebe, <http://focus.de/D/DL/DLB/DLB01/DLB01A/dlb01a.htm>
- Focus 2000b Focus Fahrzeugdatenbank, 2000, <http://focus.de/D/DL/DLA/DLAA/DLAAA/dlaaa.htm?snr=808&modus=masse>
- Heutschi 2000 K. Heutschi, "Lärmbekämpfung – Strassenverkehrslärm", ETH ISI, Januar 2000, <http://www.isi.ee.ethz.ch/~heutschi/nc-3000.htm>
- Hoffmann 1999 R. Hoffmann, "25 Jahre Lärmbekämpfung – eine Bilanz", Schlussvortrag vor dem Akustischen Kolloquium der ETH Zürich am 30. Juni 1999 von Robert Hofmann, Leiter Abteilung Akustik/Lärmbekämpfung, EMPA Dübendorf, <http://www.empa.ch/deutsch/fachber/abt177/news/hofmann.pdf>
- Hugenin 2000 R. Hugenin, "Vision Zero - Verkehr ohne Gefahr", Beitrag am Symposium "Vision Zero" 4./5. Mai 2000, Rüslikon ZH, http://www.vision-zero.com/die_vision.htm
- Infras 1995 M.Maibach, D. Peter, B.Seiler, "Ökoinventar Transporte: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und für den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen – Technischer Schlussbericht", INFRAS, Zürich, 1.Auflage, Dezember 1995
- Koellner 1999 T. Koellner, "Life-Cycle Impact Assessment for Land Use. Effect Assessment Taking the Attribute Biodiversity into Account", submitted to the Journal of Cleaner Production. April 1999
- KPAG 1999 Kantonspolizei Aargau, Unfallstatistik, Unfälle nach Tageszeit, <http://www.ag.ch/kantonspolizei/images/stat99/Vesta13.gif>
- Mahrer 2000 T. Mahrer, "Perspektiven einer schweizerischen Verkehrssicherheitspolitik", Beitrag am Symposium "Vision Zero" 4./5. Mai 2000, Rüslikon ZH, <http://www.vision-zero.com/perspektiven.htm>
- Mertens 2000 R. Mertens, "Ökobilanz Mobility", FAU
- Müller-Wenk 1999 R. Müller-Wenk "Life-Cycle Impact Assessment of Road Transport Noise", Institut für Wirtschaft und Ökologie IWÖ, Universität St.Gallen, Diskussionsbeitrag Nr. 77, <http://www.iwoe.unisg.ch/files/db77.pdf>

NZZ 2000	Neue Zürcher Zeitung, "Zerschnittene Lebensräume wieder verbinden - Die Schweiz auf dem Weg zu einer naturverträglichen Strassenplanung?", 30.08.2000 Nr.201/69
OECD 2000	OECD, "Environmentally Sustainable Transport, futures, strategies and best practice – Synthesis Report", EST Conference 4.–6. October 2000, Vienna, Austria
Oliva 1998	C. Oliva, "Belastungen der Bevölkerung durch Flug- und Strassenlärm", Berlin 1998
Quotidien 1999	Le Quotidien, "Où est fabriquée votre voiture ? ", November 1999, http://www.lequotidienauto.com/mag/991115/origineauto/default.asp
Schmid 2000	persönliche Mitteilung von Peter Schmid, Flottenmanager Mobility Schweiz vom 18 Aug. 2000
SGW 1999	Schweizerische Gesellschaft für Wildtierbiologie (SGW), BUWAL, Schweizerische Vogelwarte Sempach, 1999: Das grossräumige Wildwechselsystem und die wichtigsten Wildtierkorridore der Schweiz, Bezugsquelle: Schweizerische Vogelwarte Sempach, 6204 Sempach, Tel. 041 462 97 00, Fax 041 462 97 10.
TCS 2000	TCS Fahrzeugdatenbank, 2000, http://www.tcs.ch/WEBTCS/TCSitech.nsf/
Teufel et al. 1991	D. Teufel, R. Lippolt, T. Wagner, "Lebenszeitverluste durch Strassenverkehrsunfälle in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1989", UPI Umwelt- und Prognose-Institut Heidelberg e.V., UPI-Bericht Nr. 22, Dezember 1991, http://www-2.informatik.umu.se/adfc/dfd/dfd-201.html und http://www.upi-institut.de/
UBA 1995	Umweltbundesamt, "Verteilung der Fahrgeräushtypprüfwerte – Stand 1995", UBA Berlin, http://www.umweltbundesamt.org/dzu/Y00411.html
UBA 1999	Umweltbundesamt, "Lärmarme Reifen" Letzte Aktualisierung: 30.11.1999, UBA Berlin, http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/reifen.htm
UPI 2000	"PC-Programm WinMobil", UPI-Bericht 45, UPI Umwelt- und Prognose - Institut e.V., 2000, http://www.upi-institut.de/upi45.htm
VCA 2000	British Vehicle Certification Agency, 'New Car Fuel Consumption & Emission Figures', Edition June 2000, http://www.vcacarfueldata.org.uk/vehicles.xls

- VDA 1999 "Kraftstoffverbrauch der deutschen Personenkraftwagen Modelljahr 2000 (Stand: September 1999)", Hrsg.: Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA), <http://www.vda.de/de/aktuell/kraftstoffverbrauch/pdf/vda-kraftstoff-2000.pdf>
- VW 1999 "Ökologisches aus Wolfsburg: Der Dreiliter-Lupo", <http://www.auto-news.de/auto/vw99lu3l.htm>
- CORINAIR 1997 CORINAIR (Core Inventory of Air Emissions in Europe), EMEP, Atmospheric Emission Inventory Guidebook, Sector 'Road Transport', 2nd Ed., 1997 <http://themes.eea.eu.int/binary/g/group07.pdf>
- VCS 2000 Kurt Egli, Urs Geiser, Philipp Hadorn (Red.), "VCS-Auto-Umweltliste – Leitfaden zum ökologisch bewussten Autokauf", Verkehrsclub der Schweiz, Energie 2000, Ausgabe 2000/ 2001, http://www.vcs-ate.ch/download/de/Auto_ULd.pdf
- IFEU 2000 Institut für Energie- und Umweltforschung IFEU, "Gutachterliche Stellungnahme des IFEU: Aktualisierung der Bewertungskriterien der VCD-Auto-Umweltliste", Heidelberg, Mai 2000, http://www.ifeu.de/v_vcdlis.htm
- Mettier 2000 T. Mettier, "Der Vergleich von Schutzgütern – Ausgewählte Resultate einer Panel-Befragung", Vortrag im 9. Diskussionsforum Ökobilanzen vom 4. Dezember 1998, ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.
- Jungbluth 2000 N. Jungbluth, "Umweltfolgen des Nahrungsmittelkonsums: Beurteilung von Produktmerkmalen auf Grundlage einer modularen Ökobilanz", Dissertation No. 13499, ETH Zürich, 2000, <http://www.uns.umnw.ethz.ch/pers/jungbluth/publication.html>
- Goedkoop et al. 1999 M. Goedkoop, R. Spriensma, R. Müller-Wenk, P. Hofstetter, T. Koellner, T. Mettier, A. Braunschweig, R. Frischknecht, R. Heijungs, E. Lindeijer et al., "The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Assessment – Methodology Report", Pré Consultants, Ammersfoort, Holland, Oktober 1999, Bericht im PDF-Format: <http://www.pre.nl/eco-indicator99/ei99-reports.html>
- Goedkoop 1995 M. Goedkoop, "The Eco-indicator 95 – Final Report"⁸¹, Universität Leiden (CML); Pré Consultants, Ammersfoort; Netherlands agency for energy and the environment (NOVEM), Utrecht; et al., 1995

⁸¹ Eine sehr lesbare, kurze Beschreibung des methodischen Vorgehens beim Eco-indicator95 findet sich im Internet unter: <http://www.pre.nl/eco-ind.html>

- CML 1992 R. Heijungs et al., "Environmental life cycle assessment of products - Backgrounds", Universität Leiden CML, NOVEM, RVIM, Netherlands, Oktober 1992
- BE 1999 Blauer Engel, "Car Sharing RAL-UZ 100", Ausgabe: Juni 1999, <http://www.blauer-engel.de/Produkte/uz/100-ef.htm>
- BE 2000 Blauer Engel, "Lärmarme und kraftstoffsparende Kraftfahrzeugreifen RAL-UZ 89 ", Ausgabe: Januar 2000, <http://www.blauer-engel.de/Produkte/uz/089-ef.htm>

Anhang A Lärmformeln

Altes Rechenmodell zur Voraussage von Strassenverkehrs-Lärm EMPA 86

Heute stützen sich Aussagen zu Strassenverkehrslärm immer häufiger auf Berechnungen. Im Jahre 1986 hat die EMPA bereits ein Rechenmodell für Strassenverkehrslärm (StL-86) erstellt [BUWAL 1987]. Das Modell hat sich in der Praxis gut bewährt und ist vielerorts quasi als Standard angenommen worden. Die StL-86 zu Grunde liegenden Quelldaten basieren auf Messungen Anfangs der 80er Jahre.

Das Rechenmodell prognostiziert Schallpegel aufgrund der Angaben der Verkehrsdichte (N) und der gefahrenen Geschwindigkeit (v).

N1	Durchschnittliche stündliche Anzahl Durchfahrten von Fahrzeugen der Kategorie 1 (= PKWs, Lieferwagen, Mofas) [Fz/h]
N2	Durchschnittliche stündliche Anzahl Durchfahrten von Fahrzeugen der Kategorie 2 (= LKWs, Busse, Traktoren, Motorräder) [Fz/h]
v1, v2	Geschwindigkeit der Fahrzeuge in km/h
i	Steigung der Strasse in %
log	ist die Logarithmus-Funktion zur Basis 10

Vereinfachende Annahmen in [Müller-Wenk 1999:19]:

- a) N1 + N2 sei höher als 100 Fz/h ⁸² **!!
- b) Strassenoberfläche sei 'normal' ⁸³ Die Anzahl der Fahrzeuge sei dieselbe in beiden Fahrrichtungen

Berechnung des Mittelpegels L_{eq} :

Prognostizierter Gesamt-Dauerpegel⁸⁴:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{LE1}{10}} + 10^{\frac{LE2}{10}} \right)$$

Gleichung 1

Teilbeitrag (Dauerpegel) von PKWs etc.:

⁸² Darunter kommen andere Formeln zur Anwendung. Bei den betrachteten Strassensituationen wird die einschränkende Bedingung erfüllt.

⁸³ Für andere Strassenoberflächen gibt es Korrekturbeiträge.

⁸⁴ Die Formel addiert die Teilbeiträge LE1 und LE2, so dass die Schallenergie erhalten bleibt.

$$LE1 = E1 + 10 \cdot \log(N1) \quad \text{Gleichung 2}$$

Teilbeitrag (Dauerpegel) von LKWs etc.:

$$LE2 = E2 + 10 \cdot \log(N2) \quad \text{Gleichung 3}$$

Maximaler Pegel einer Einzeldurchfahrt von PKWs etc.:

$$E1 = \max \left[\begin{array}{l} 12.8 + 19.5 \cdot \log(v_1) \\ 45 + 0.8 \cdot (0.5 \cdot i - 2) \end{array} \right] \quad \text{Gleichung 4}$$

Maximaler Pegel einer Einzeldurchfahrt von LKWs etc.:

$$E2 = \max \left[\begin{array}{l} 34.4 + 13.3 \cdot \log(v_2) \\ 56 + 0.6 \cdot (0.5 \cdot i - 1.5) \end{array} \right] \quad \text{Gleichung 5}$$

[Müller-Wenk 1999] berechnet mit diesem Rechenmodell die durchschnittlichen Lärmsituationen auf vier verschiedenen Schweizer Strassentypen. Die Angaben zu den Strassentypen werden unterschieden für Tag- und Nachtsituationen.

Art der Strasse	<i>Autobahn</i>	<i>Autostrasse/ HVS ausserorts</i>	<i>verkehrsreiche Strassen innerorts</i>	<i>übrige Strassen inner/ ausserorts</i>
Länge km	1560	15683	3790	58967
Geschw. v, km/h	110	70	45	60
TAG 6-22h				
N1, Fz/h	1116.0	143.0	518.0	25.0
N2, Fz/h	108.0	13.0	35.0	2.0
Total, Fz/h	1224.0	156.0	553.0	27.0
Steigung %	0%	0%	0%	0%
NACHT 22-6h				
N1, Fz/h	165	21	77	4
N2, Fz/h	7.7	1.0	2.5	0.2
Total, Fz/h	172.7	22.0	79.5	4.2
Steigung %	0%	0%	0%	0%

Tab. 32 Stündliche Durchfahrtwerte für vier Strassennetztypen Tags und Nachts. Aus Gesamtverkehrsstatistik nach [Müller-Wenk 1999].

Zusätzlicher Lärm durch ein einzelnes Fahrzeug

Durch Erhöhung der Fahrzeugdichten N1 um eine Einheit (+1 Fz/h) kann berechnet werden, um wieviel sich die Dauerpegel gesamtschweizerisch durch ein zusätzliches Fahrzeug erhöhen. Diese marginale Pegel-Erhöhung wird als DeltaLeq (ΔL_{eq}) bezeichnet. Da die zusätzliche Fahrzeug-Einheit zudem zusätzliche Fahrzeugkilometer zurücklegt, kann die marginale Pegel-

Erhöhung DeltaLeq diesen zusätzlichen Fahrzeugkilometern angelastet werden. Diese spezifischen Pegelerhöhungen pro Fzkm werden über das gesamte Strassennetz der Schweiz gemittelt⁸⁵.

Die so ermittelten Werte beziehen sich aber nur auf ein *durchschnittliches* Fahrzeug, wie es vom Lärmmodell vorgegeben wurde. Im folgenden wird erst ein analoges, aber neueres Lärmmodell vorgestellt und danach das zusätzliche, durchschnittliche Fahrzeug durch ein *spezifisches* Fahrzeug-Modell mit eigener Lärmcharakteristik ersetzt. Dadurch können fahrzeugmodellspezifische DeltaLeq-Werte erhalten werden.

Neues Strassenverkehrs-Lärmmodell EMPA 1997

Die markanten Entwicklungen im Bereich des Automobilbaus und die neuen Erkenntnisse hinsichtlich der Berechnung der Schallausbreitung haben es der EMPA angezeigt erscheinen lassen, das alte Strassenlärmmodell StL-86 zu revidieren und neu zu formulieren. 1993 hat die EMPA ein mehrjähriges Forschungs- und Entwicklungsprojekt zum Themenkreis Strassenverkehrslärm gestartet.

Basierend auf einer umfangreichen Messkampagne wurde der Quellenteil des EMPA-Strassenlärmmodells StL-86 überarbeitet und neu formuliert⁸⁶. Dazu wurden in den Kategorien Personenwagen (Kat.1) und Lastwagen (Kat.2) Einzelvorbeifahrtmessungen am realen Verkehr vorgenommen. Durch gleichzeitige Messung der Geschwindigkeit und des maximalen Pegels konnte für konstante Fahrweise in der Ebene pro Fahrzeugkategorie ein Zusammenhang zwischen gefahrener Geschwindigkeit und Emissionspegel eines durchschnittlichen Fahrzeugs bestimmt werden. Ergänzende Messungen des Rollgeräuschs erlaubten schliesslich eine Auftrennung des Gesamtgeräuschs in einen vorwiegend vom Motor abhängigen Teil (Antriebsgeräusch) und einen vom Abrollen des Reifens auf der Fahrbahn herrührenden Teil (Rollgeräusch).

⁸⁵ Dieses Vorgehen ist notwendig, da im allgemeinen Fall nicht genau bekannt ist, wo ein Fahrzeug fährt.

⁸⁶ Mit Quellenteil sind die Variablen E1 und E2 für die maximalen Vorbeifahrtpegel gemeint.

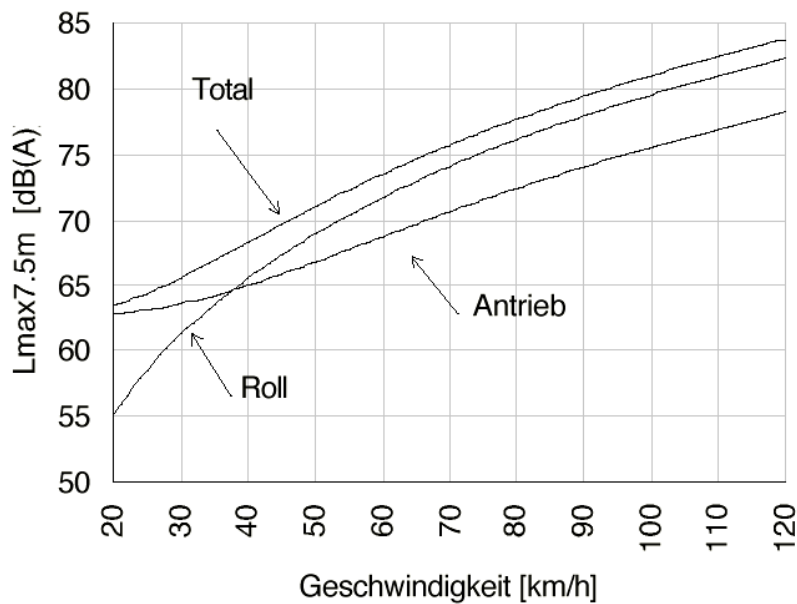


Fig. 46 maximale Vorbeifahrtpegel von Personenwagen in Funktion der Geschwindigkeit für konstante Fahrweise in der Ebene mit der Unterteilung in Antrieb- und Rollgeräusch [Heutschi 2000]

Maximaler Pegel einer Einzeldurchfahrt von PKWs etc.:

$$E1 = 10 \cdot \log\left(10^{(L1Antrieb + \Delta s)10} + 10^{(L1Roll + \Delta B)10}\right) \quad \text{Gleichung 6}$$

Maximaler Pegel einer Einzeldurchfahrt von LKWs etc.:

$$E2 = 10 \cdot \log\left(10^{(L2Antrieb + \Delta s)10} + 10^{(L2Roll + \Delta B)10}\right) \quad \text{Gleichung 7}$$

Die Korrekturbeiträge Δs und ΔB für Steigung resp. Bodenbeläge werden hier weiter nicht beachtet. Die Formeln für die Teilpegelbeiträge für Antrieb- und Rollgeräusch folgen unten. Die Variable v bezeichnet wiederum die Geschwindigkeit der Fahrzeuge in km/h.

Beitrag Antriebsgeräusch einer Einzeldurchfahrt von PKWs etc.:

$$L1Antrieb = 62.7 + 10 \cdot \log\left(1 + \left(\frac{v}{44}\right)^{3.5}\right) \quad \text{Gleichung 8}$$

Beitrag Rollgeräusch einer Einzeldurchfahrt von PKWs etc.:

$$L1Roll = 9.5 + 35 \cdot \log(v) \quad \text{Gleichung 9}$$

Beitrag Antriebsgeräusch einer Einzeldurchfahrt von PKWs etc.:

$$L2Antrieb = 76.9 + 10 \cdot \log(1 + (v/56)^{3.5})$$

Gleichung 10

Beitrag Rollgeräusch einer Einzeldurchfahrt von LKWs etc.:

$$L2Roll = 18.5 + 35 \cdot \log(v)$$

Gleichung 11

Mittelpegelberechnung

Zur Berechnung der marginalen Lärmpegelerhöhung durch ein einzelnes zusätzliches Fahrzeug ist es wie oben erläutert nötig im Lärmmodell ein zusätzliches Fahrzeug miteinzuberechnen (+1 Fz/h). Wenn dieses zusätzliche Fahrzeug nicht ein durchschnittliches, sondern ein bestimmtes Fahrzeugmodell sein soll, muss zuerst bekannt sein, wie die Pegelerhöhung einer bestimmten, bewegten Schallquelle vor dem Hintergrundpegel einer Vielzahl von durchschnittlichen, bewegten Schallquellen berechnet werden soll. Dazu geht man davon aus, dass die gesamte Schallenergie eines diskontinuierlichen Geräusches während eines Zeitraums T die gleiche Wirkung hat, wie die eines kontinuierlichen Geräusches gleicher Energie. Ein Dauerschallpegel X, welcher ein Geräusch mit der Dauer D beschreibt, ist energetisch gleichwertig zu einem Geräusch, welches nur die halbe Dauer (D/2) hat, dafür aber einen 3 dB (= $10 \cdot \log 2$) höheren Schallpegel aufweist. Für bewegte Schallquellen mit variablem Pegel ist die Schallwirkung des dynamischen, an- und nachher abschwellenden Geräusches analog zu der Wirkung eines konstanten Geräusches von der Dauer t_i und mit einem Schallpegel, welcher dem *maximalen* Schallpegel L_{peak} des Vorbeifahreignisses entspricht [DAL 2000]. Die Dauer t_i berechnet sich aus der Zeit, welche das diskontinuierliche Geräusch benötigt, um die Spitze des maximalen Schallpegels zu durchlaufen; genauer der Dauer der Ereignis-Abfolge ($L_{peak}-10dB \rightarrow L_{peak} \rightarrow L_{peak}-10dB$).

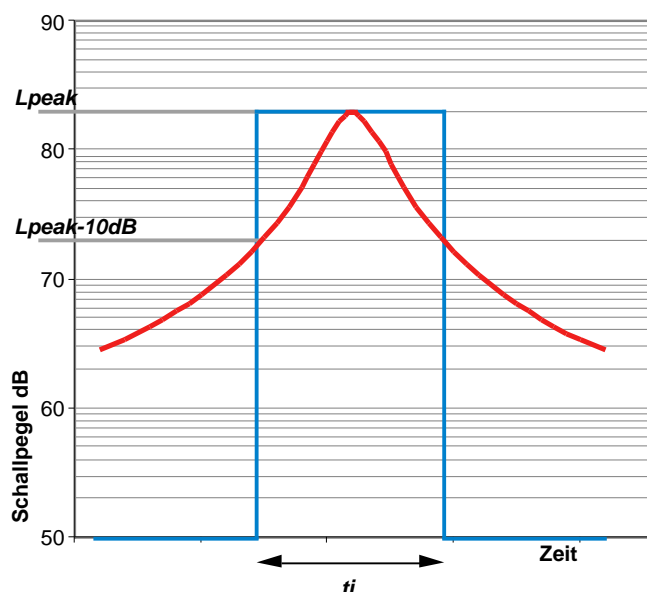


Fig. 47 Die Kurve gibt den Pegel-Verlauf einer sich am Empfänger vorbeibewegenden Schallquelle mit Maximalpegel L_{peak} an. Der Rechteckpuls entspricht einem energie- und wirkungsidentischen Schallereignis mit konstantem Pegel beim Empfänger.

Die allgemeine Formel zur Berechnung des L_{eq} lautet:

$$L_{eq} = \frac{q}{\log(2)} \cdot \log\left(\frac{t_i}{T} \cdot 10^{(L_{peak} \cdot \log(2)/q)}\right) \quad \text{Gleichung 12}$$

Dabei bedeuten

L_{eq} = energieäquivalenter Dauerschallpegel über eine Messzeit T in dB, in Deutschland wird der L_{eq} üblicherweise als Mittelungspegel L_m bezeichnet.

L_{peak} = maximaler Schallpegel des Einzelereignisses in dB

T = Beobachtungszeitraum in Sekunden (z.B. 1h = 3600s)

t_i = Dauer des Einzelereignisses in Sekunden, während welcher der Maximalpegel um nicht mehr als 10 dB unterschritten wird. D.h. Dauer des Ereignis-Abfolge ($L_{peak} - 10\text{dB} \rightarrow L_{peak} \rightarrow L_{peak} - 10\text{dB}$); ist abhängig von L_{peak} , der Fahrzeuggeschwindigkeit und vom Messabstand.

q = Äquivalenz- oder Halbierungsparameter. Er gibt an, welche Pegeländerung einer Verdoppelung oder Halbierung der Wirkzeit eines konstanten Pegels äquivalent sein soll. International üblich ist $q=3$ ⁸⁷, das entspricht der postulierten Energie-Äquivalenz.

⁸⁷ Genauer $q=3.013 = 10 \cdot \log(2)$. Damit ist $q/\log(2)$ gleich 10

\log ist die Logarithmus-Funktion zur Basis 10

somit

$$L_{eq} = 10 \cdot \log\left(\frac{t_i}{T} \cdot 10^{L_{peak}/10}\right) \quad \text{Gleichung 13}$$

Beziehungsweise für N Fahrzeuge:

$$L_{eq}(N) = 10 \cdot \log\left(\frac{t_i}{T} \cdot N \cdot 10^{L_{peak}/10}\right) \quad \text{Gleichung 14}$$

Wie oben erläutert lassen sich aus fahrzeugspezifischen Maximalwerten L_{peak} die fahrzeugspezifischen DeltaLeq-Werte berechnen. Wenn während einer Stunde N durchschnittliche Fahrzeuge mit Maximalpegel L_{peak} und 1 bestimmtes Fahrzeug mit Maximalpegel L_{spec} durchfahren berechnet sich der Mittelpegel zu:

$$L_{eq}(N+1) = 10 \cdot \log\left(\frac{t_i}{T} \cdot \left(N \cdot 10^{L_{peak}/10} + 10^{L_{spec}/10}\right)\right) \quad \text{Gleichung 15}$$

Der zusätzliche Lärm durch ein bestimmtes Fahrzeug ergibt sich das aus der Differenz:

$$DeltaLeq = L_{eq}(N+1) - L_{eq}(N) \quad \text{Gleichung 16}$$

Anhang B Aufteilung der HC-Emissionen

<i>Species or group of species weighth-%</i>	<i>Benzin 3-Weg-Kat.</i>	<i>Diesel</i>
Ethane	1.8	1
Propane	1	1
n-Butane	5.5	2
i-Butane	1.5	
n-Pentane	3.2	2
i-Pentane	7	
Hexane	6	
Heptane	5	
Octane	7	
Nonane	2	
Alkanes C>10	3	30
Ethylene	7	12
Acetylene	4.5	4
Propylene	2.5	3
Methylacetylene	0.2	
1-Butene	1.5	
1,3 Butadiene	0.5	2
2-Butene	0.5	
1-Pentene	0.5	
2-Pentene	1	1
1-Hexene	0.4	
1,3 Hexene	0.4	
Alkanes C>7	0.2	2
Benzene	3.5	2
Toluene	7	1.5
o-Xylene	2	0.5
m,p-Xylene	4	1.5
Ethylbenzene	1.5	0.5
Styrene	0.5	
1,2,3-Trimethylbenzene	1	
1,2,4-Trimethylbenzene	4	
1,3,5-Trimethylbenzene	2	
Other aromatic compounds C9	3	
Aromatic compounds C>10	6	20
Formaldehyde	1.1	6
Acetaldehyde	0.5	2
Other Aldehydes C4	0.2	1.5
Acrolein	0.2	1.5
Benzaldehyde	0.3	0.5
Acetone	1	1.5

Kohlenwasserstoffe HC setzen sich aus einer ganzen Reihe verschiedener Substanzen zusammen. Die Zusammenstellung oben stammt aus [CORINAIR 1997]. Diese Substanzen haben unterschiedliche, auch humantoxische Wirkungen. Sie werden aber in der UBP'97-Methode nur aufgrund ihres Sommersmogpotentials (Ozonbildung) als einfache Summe bewertet (ein einziger Ökofaktor für NMVOC).

Es gibt jedoch Ökobilanz-Bewertungsmethoden, welche für NMVOC-Substanzen differenzierende Bewertung vornehmen. So zum Beispiel:

- **CML'92** [CML 1992]
- **Ecoindicator'95+, EI95+** [Jungbluth 2000]
- **Ecoindicator'99, EI99** [Goedkoop et al. 1999]

Diese Methoden geben für fast alle der oben aufgeführten Substanzen einzelne Bewertungsfaktoren an. Daneben wird auch für den Summenparameter 'NMVOC' ein Bewertungsfaktor angegeben. Damit ist es möglich abzuschätzen, wie hoch die Ökofaktoren für NMVOC-Einzelsubstanzen $\ddot{O}F_i$ in der UBP/MUBP-Methode ausfallen müssten, wenn die Methode jede Einzelsubstanz i und nicht nur NMVOC pauschal bewerten würde. Die Ökofaktoren für NMVOC-Einzelsubstanzen $\ddot{O}F_i$ würden sich nach untiger Formel berechnen:

$$\ddot{O}F_i = \frac{\ddot{O}F_{NMVOC}}{BF_{NMVOC}} \cdot BF_i$$

$\ddot{O}F_i$ MUBP/UBP-Ökofaktor für eine NMVOC-Einzelsubstanz i

$\ddot{O}F_{NMVOC}$ MUBP/UBP-Ökofaktor für NMVOC-Summenparameter

BF_{NMVOC} Bewertungsfaktor für NMVOC-Summenparameter aus anderer Methode

BF_i Bewertungsfaktor für eine NMVOC-Einzelsubstanz i aus anderer Methode

Werden die Kohlenwasserstoff-Profile aus [CORINAIR 1997] mit so hergeleiteten Bewertungsfaktoren gewichtet und mit der Bewertung der UBP-Methode verglichen, ergibt sich folgendes Bild.

Umweltbelastung durch NMVOC	<i>Benzin 3-Weg-Kat.</i>	<i>Diesel</i>
Bewertung mit einem einzigen Ökofaktor gemäss UBP'97	100%	100%
Bewertung mit differenzierten Ökofaktoren analog zu CML'92	134%	135%
Bewertung mit differenzierten Ökofaktoren analog zu EI95+	154%	150%
Bewertung mit differenzierten Ökofaktoren analog zu EI99	109%	115%

Tab. 33 Erhöhung der bewerteten Umweltbelastung aus HC-Emissionen von Benzin- und Diesel-Fahrzeugen, wenn in UBP'97 NMVOC-Einzelsubstanzen analog zu anderen Ökobilanz-Bewertungsmethoden differenziert bewertet würden.

Die differenzierte Gewichtung der Kohlenwasserstoff-Einzelsubstanzen ergibt bei allen Bewertungsmethoden eine höhere Belastung, als wenn sie als NMVOC-Summe bewertet

werden. Die HC-Emissionen werden dabei um 9% bis maximal 54% höher bewertet. Die Unterschiede zwischen Benzin und Diesel sind relativ unbedeutend, d.h. die Belastung durch HC-Abgase würden bei beiden Treibstoffen etwa gleich stark erhöht werden.

Die HC-Abgas-Emissionen machen jedoch nur einen untergeordneten Beitrag zur Gesamtbelastung der hier untersuchten Fahrzeugmodelle aus (am stärksten beim Punto mit 2.6% der Gesamtbelastung, bzw. 3.1% beim Durchschnitts-PKW Schweiz 1999). **Die Differenzierung der HC-Abgase würde das Gesamtergebnis um maximal 1.7% erhöhen und hat somit kaum spürbaren Einfluss auf das Gesamtergebnis.** Bei der Betrachtung von Fahrzeugen mit alternativen Treibstoffen mit unterschiedlichen NMVOC-Profilen kann das jedoch ändern. Auch um konsistent zur originalen UBP'97-Methode zu bleiben, werden in der MUBP'97-Methode HC-Emissionen wie dort als Summe bewertet.

Anhang C Lärmarme Pneus

In Deutschland wird seit 1997 für lärmarme und treibstoffsparende Pneus ein Umweltzeichen ('blauer Engel', RAL-Umweltzeichen 89) vergeben. Die Pneus müssen Mindestanforderungen für **Lärmtestwert** (max. 72dB bei 80km/h) und **Rollwiderstand** (C_R kleiner 1.1) erfüllen.

Ergänzend wurden auch Anforderungen für **Maximalgewicht** (Ressourcenschonung, max. 7 resp. 9kg Gewicht), für **Nassbremsweg** und für **Aquaplaninggeschwindigkeit** aufgestellt [BE 2000].

Von 48 im Auftrag des UBA getesteten Reifen haben 6 Sommerpneus und 3 Winterpneus die Anforderungen erfüllen können (Stand 1999) [UBA 1999].

Unten sind die Testresultate aufgeführt. Die Testresultate werden gruppiert für verschiedene Reifengrößen und Winter-/Sommerreifen ausgeführt. Die Daten sind sortiert nach 1.) aufsteigendem Lärmwert und 2.) nach aufsteigendem Rollwiderstand. Werte, welche die RAL-Kriterien erfüllen, sind fett gedruckt. Einzelne der geprüften Reifentypen werden möglicherweise auch nicht mehr produziert.

Zur tatsächlichen Vergabe des 'blauen Engels' ist zudem ein Antrag des Herstellers nötig. Die Reifenhersteller haben bisher – vermutlich aus politischen Gründen – nur sehr zurückhaltend Anträge gestellt. Bisher hat lediglich der Dunlop SP Sport 200 E⁸⁸ effektiv den 'blauen Engel' erhalten (Stand Januar 2001).



Fig. 48 Der 'Blaue Engel' für lärmarme und treibstoffsparende Pneus (RAL-Umweltzeichen 89)

⁸⁸ Dunlop SP Sport 200 E - Reifen der Baureihe 175/60 R15 81V, 175/80 R14 88H, 195/60 R15 88V, 195/65 R15 91H, 195/65 R15 91V, 205/60 R15 91V, 205/65 R15 94V, 185/65 R14 86H, 195/60 R15 88H

Eine aktuelle Liste der 'Blauer Engel'-Zeichenanwender findet sich unter <http://www.blauer-engel.de/Produkte/uz/089-za.htm>

Sommerreifen

Grösse	Geprüfte Reifen-Typen Reifen, welche alle 'Blauer Engel'- Kriterien erfüllen sind fett gedruckt.		Rollwiderstand (cR=1,10)	Masse (m=7/9 kg)	Geräusch (L=72dB(A))	Nassbremsen (sB[m])	Aquaplaning (vA[km/h])
175/70R18	Marshal	Radial 772	1,19	6,99	70	50,88	102,4
175/70R13	Michelin	Energy XT1	1,04	6,43	71	41,58	100,8
175/70R16	Continental	EcoContact EP	1,07	6,10	71	41,90	101,2
175/70R24	Ohtsu	EN 702	1,13	6,46	71	46,36	93,6
175/70R21	Avon	Enviro CR322	1,15	7,02	71	45,14	97,2
175/70R22	Hankook	Radial 884	1,19	7,51	71	44,72	98,9
175/70R19	Vredestein	Sprint+ T70	1,31	6,84	71	44,40	97,4
175/70R14	Pirelli	P2000	1,16	6,70	72	42,72	102,5
175/70R17	Goodyear	GT2	1,21	6,79	73	45,04	100,1
175/70R15	Dunlop	SP10e	1,26	6,79	73	41,84	103,5
175/70R20	Pneumant	P72	1,29	6,80	73	44,94	96,7
175/70R23	Matador	MP 12	1,30	6,90	73	46,42	104,5
195/65R20	Yokohama	AVS TW-1	0,98	8,57	69	44,52	91,8
195/65R24	Hankook	Radial 866	0,96	9,23	70	47,80	95,2
195/65R21	Firestone	Firehawk 680	1,11	8,92	71	45,15	95,0
195/65R23	Avon	Turbospeed CR338	1,13	9,13	71	45,47	97,6
195/65R26	Marshal	Power Racer 65V	1,18	10,50	71	49,25	95,8
195/65R15	Michelin	Energy XH1	0,90	8,23	72	41,18	91,8
195/65R17	Dunlop	SP200E	1,02	8,92	72	41,13	98,4
195/65R19	Goodyear	NCT3 Touring	1,04	8,60	72	44,42	98,4
195/65R18	Continental	EcoContact CP	1,11	9,18	72	42,80	91,9
195/65R25	Falken	ZIEX650	1,14	9,03	72	45,92	96,7
195/65R22	Pneumant	P500	1,22	9,18	72	47,35	96,8
195/65R16	Pirelli	P4000	1,23	8,84	72	46,95	96,4

Tab. 34 'Blaue Engel'-Kriterien Testwerte der im Auftrag des UBA getesteten Sommerreifen

Winterreifen

Grösse	Geprüfte Reifen-Typen Reifen, welche alle 'Blauer Engel'- Kriterien erfüllen sind fett gedruckt.		Rollwiderstand	Masse	Geräusch	Nassbremsen	Aquaplaning
			(cR=1,20)	(m=7/9,2 kg)	(L=72dB(A))	(sB[m])	(vA[km/h])
175/70R18	Marshal	Power Grip 749	1,20	7,15	69	49,34	90,4
175/70R21	Avon	Turbogrip CR 45	1,33	7,10	69	54,12	97,3
175/70R24	Falken	Eurowinter HS435	1,09	6,71	70	48,24	96,9
175/70R15	Dunlop	WinterSport M2	1,25	7,06	70	46,38	96,6
175/70R20	Firestone	FW900	1,26	6,84	71	48,12	89,5
175/70R19	Vredestein	Snowtrac	1,13	7,04	72	46,06	94,3
175/70R17	Goodyear	UltraGrip 5	1,15	6,79	72	49,42	97,5
175/70R23	Matador	MP55 Plus	1,36	6,80	72	49,60	93,6
175/70R16	Continental	WinterContact TS760	1,01	6,26	73	48,02	98,9
175/70R13	Michelin	XM+S Alpin	1,08	6,43	73	47,90	88,6
175/70R22	Toyo	910 +Silica	1,29	7,15	73	47,46	103
175/70R14	Pirelli	W160 Direzional	1,28	6,71	74	49,74	96,4
195/65R16	Pirelli	W210 Asimmetrico	1,05	8,72	70	43,96	86,0
195/65R20	Marshal	Power Grip 749	1,05	9,41	70	45,05	90,8
195/65R22	Vredestein	Wintrac	1,10	9,38	70	45,47	95,2
195/65R23	Avon	Turbogrip CR 55	1,24	9,63	70	48,62	101,2
195/65R19	Goodyear	Eagle Ultra Grip	1,09	9,29	71	45,04	101,6
195/65R26	Falken	Eurowinter HS 435	1,09	8,88	71	44,10	104,2
195/65R17	Dunlop	WinterSport M2	1,22	9,74	71	45,91	91,1
195/65R18	Continental	WinterContact TS770	0,91	8,11	72	42,88	94,8
195/65R24	Bridgestone	WT 12	1,09	9,21	72	46,54	95,5
195/65R21	Firestone	FW 900	1,22	10,34	72	44,86	89,8
195/65R15	Michelin	XM+S 330	1,04	9,96	74	44,93	90,2
195/65R25	Toyo	910 + Silica	1,11	9,07	75	45,15	97,0

Tab. 35 'Blaue Engel'-Kriterien Testwerte der im Auftrag des UBA getesteten Winterreifen