



Öko-Bilanzen von Fahrzeugen

Dieter Teufel
Petra Bauer
Rainer Lippold
Sabine Braunfeld
Kurt Schmitt

UPI-Bericht Nr. 25

6. Auflage

Mai 1999

ÖKO-Bilanzen von Fahrzeugen

Die im folgenden dargestellten Werte sind die Ergebnisse von Untersuchungen des UPI-Instituts über die Umweltverträglichkeit der Gesamtprozeßkette Kraftfahrzeug. Untersucht wurden dabei folgende Stationen:

- A Rohstoffgewinnung
- B Rohstofftransport
- C Produktion des Kraftfahrzeugs
- D Betrieb des Kraftfahrzeugs
- E Entsorgung des Kraftfahrzeugs

Die Werte sind umgerechnet auf einen durchschnittlichen Mittelklassewagen mit einer durchschnittlichen Jahreslaufleistung von 13 000 km und einer gesamten Einsatzdauer von 10 Jahren.

Tabelle 1 zeigt die zugrunde gelegte stoffliche Zusammensetzung des betrachteten durchschnittlichen Fahrzeugs:

| | |
|-------------------|------|
| Stahl | 0,75 |
| Aluminium | 0,07 |
| Kupfer | 0,01 |
| andere NE-Metalle | 0,01 |
| Kunststoffe | 0,27 |
| Reifen | 0,04 |
| Gesamt-Gewicht | 1,16 |

Tabelle 1: Stoffzusammensetzung des PKW; Tonnen/PKW

Zusätzlich zu der in Tabelle 1 dargestellten Stoffzusammensetzung wird für die metallischen Bestandteile ein Ersatzbedarf für Reparaturen und Ausbesserungen während der Laufzeit in Höhe von 7,5 % des im Fahrzeug enthaltenen Materials angenommen. Für die Reifen wird eine mittlere Laufleistung von 40 000 km zugrunde gelegt.

A Rohstoffgewinnung

Tabelle A.1 zeigt den Energieverbrauch, die Emissionen und die Abfälle ¹⁾ bei der Gewinnung der für die Produktion eines PKW benötigten Rohstoffe.

Um die verschiedenen Schadstoff-Emissionen quantitativ miteinander vergleichen zu können, wird zusätzlich die kritische oder belastete Luftmenge berechnet. Dazu werden die Schadstoffemissionen (außer CO₂) durch den gesetzlich zulässigen Konzentrationsgrenzwert in der Atemluft dividiert und dadurch die Luftmenge errechnet, die durch die Emissionen bis zum gesetzlich zulässigen Grenzwert belastet wird. Die so erhaltenen kritischen Luftmengen der einzelnen Schadstoffe können addiert werden, wodurch sich eine Gesamtsumme belasteter Luft ergibt, die unterschiedlich gefährliche Emissionen quantitativ vergleichbar macht.

| | | |
|-------------------------------|-------------------------|--------|
| Primärenergie | t SKE/PKW | 3,6 |
| CO ₂ | t/PKW | 9,6 |
| SO ₂ | kg/PKW | 9,1 |
| NO _x | kg/PKW | 11,4 |
| Staub | kg/PKW | 1,6 |
| CO | kg/PKW | 30,5 |
| C _x H _y | kg/PKW | 21,1 |
| Belastete Luft | Mio m ³ /PKW | 422 |
| Abfälle: | | |
| Abraum | kg/PKW | 23 400 |
| Schlacke | kg/PKW | 1 600 |
| Abfälle gesamt | kg/PKW | 25 000 |

Tab. A.2: Primärenergieverbrauch und Emissionen bei der Rohstoffgewinnung für einen Pkw

B Rohstofftransporte

Die Rohstoffe müssen vom Ort ihres Abbaus über Zwischenschritte der Verarbeitung bis zu den Produktionsstätten der Kraftfahrzeuge transportiert werden. Tabelle B.1 zeigt den dabei entstehenden Energieverbrauch und die freigesetzten Emissionen pro PKW.

¹⁾ Abfälle nach Knisch, Harald, Müll von Anfang an, Müllmagazin, Berlin, 1/1991

| | | |
|-------------------------------|-------------------------|------|
| Primärenergie | t SKE/PKW | 0,8 |
| CO ₂ | t/PKW | 1,8 |
| SO ₂ | kg/PKW | 14,9 |
| NO _x | kg/PKW | 22,0 |
| Staub | kg/PKW | 1,6 |
| CO | kg/PKW | 10,2 |
| C _x H _y | kg/PKW | 4,2 |
| Belastete Luft | Mio m ³ /PKW | 425 |
| Rohöl in Weltmeere | Liter/PKW | 13 |

Tab. B.1: Primärenergieverbrauch und Emissionen beim Rohstofftransport

C Produktion des PKW

Tabelle C.1 zeigt den Energieverbrauch und die Emissionen bei der Produktion eines PKW inklusiv Ersatzbedarf (Reparaturen, Reifen).

| | | |
|-------------------------------|-------------------------|-------|
| Primärenergie | t SKE/PKW | 2,1 |
| CO ₂ | t/PKW | 3,5 |
| SO ₂ | kg/PKW | 2,7 |
| NO _x | kg/PKW | 4,2 |
| Staub | kg/PKW | 0,4 |
| CO | kg/PKW | 0,7 |
| C _x H _y | kg/PKW | 0,4 |
| Belastete Luft | Mio m ³ /PKW | 75 |
| Abfälle | kg/PKW | 1 500 |

Tabelle C.1: Energieverbrauch und Emissionen bei der Produktion eines PKW

D Betrieb des Autos

Bei dem betrachteten Fahrzeug (Mittelklassewagen mit regeltem 3-Weg-Katalysator, einem Verbrauch von 10 Liter bleifreien Normalbenzins auf 100 km, einer Gesamtfahrleistung von 130 000 km über 10 Jahre) ergeben sich folgender Primärenergieverbrauch und Emissionen während des 10-jährigen Betriebs:

| | | |
|--|-------------------------|--------|
| Primärenergie | t SKE/PKW | 16,3 |
| CO ₂ | t/PKW | 44,3 |
| SO ₂ | kg/PKW | 4,8 |
| NO _x | kg/PKW | 46,8 |
| Staub | kg/PKW | 0,2 |
| CO | kg/PKW | 325 |
| C _x H _y | kg/PKW | 36 |
| Belastete Luft | Mio m ³ /PKW | 1 016 |
| Benzolemission | g/PKW | 6 500 |
| Formaldehydemission u.a. Aldehydeg/PKW | | 203 |
| Fahrbahnabrieb | g/PKW | 17 500 |
| Reifenabrieb | g/PKW | 750 |
| Bremsabrieb | g/PKW | 150 |
| Bleiemission | g/PKW | 85 |
| Chromemission | g/PKW | 0,2 |
| Kupferemission | g/PKW | 4,3 |
| Nickelemission | g/PKW | 1,2 |
| Zinkemission | g/PKW | 0,8 |
| Abwässer in Grundwasser bzw. Boden: | | |
| Mineralöl | Liter/PKW | 1,1 |
| Cadmium | g/PKW | 0,4 |
| Chrom | g/PKW | 0,7 |
| Kupfer | g/PKW | 6,6 |
| Blei | g/PKW | 14,1 |
| Zink | g/PKW | 24,6 |

Tab. D.1: Energieverbrauch und Emissionen während des Betriebs des PKW

E Entsorgung des PKW

Tabelle E.1 zeigt die bei durchschnittlicher Entsorgung des PKW anfallenden Energieverbrauch und Emissionen.

| | | |
|--------------------------------|-------------------------|-------|
| Primärenergie | t SKE/PKW | 0,14 |
| CO ₂ | t/PKW | 0,43 |
| SO ₂ | kg/PKW | 1,24 |
| NO _x | kg/PKW | 5,07 |
| Staub | kg/PKW | 0,43 |
| CO | kg/PKW | 1,80 |
| C _x H _y | kg/PKW | 0,89 |
| Belastete Luft | Mio m ³ /PKW | 102 |
| Shredderabfälle | kg/PKW | 200 |
| PCB in Abfällen | g/PKW | 30 |
| Kohlenwasserstoffe in Abfällen | g/PKW | 8 400 |
| Abfälle gesamt | kg/PKW | 200 |

Tab. E.1: Primärenergieverbrauch und Emissionen bei der Entsorgung des PKW

F Weitere Umweltbelastungen durch das Auto

Schäden an Leben und Gesundheit:

Normalerweise werden als Personenschäden durch den Verkehr nur die durch Verkehrsunfälle verunglückten Personen gezählt. Umfangreiche epidemiologische Untersuchungen in den letzten Jahren zeigen jedoch, daß auch durch die Schadstoffemissionen des Verkehrs Schäden an Gesundheit und Leben von Menschen entstehen. Die Zahl der durch Emissionen des Verkehrs in der Bundesrepublik Deutschland pro Jahr Getöteten liegt etwa fünfmal so hoch wie die in amtlichen Statistiken allein betrachtete Zahl der durch Unfälle Getöteten. Tabelle F2 zeigt zusammengefaßt die in der Bundesrepublik Deutschland durch den Kraftfahrzeugverkehr verursachten Gesundheitsschäden.

| | Fälle | Einheit |
|--|---------------|------------------------|
| Todesfälle, Partikel ² | 25 500 | Todesfälle/Jahr |
| Todesfälle, Lungenkrebs ³ | 8 700 | Todesfälle/Jahr |
| Todesfälle, Herzinfarkt ⁴ | 2 000 | Todesfälle/Jahr |
| Todesfälle, Sommersmog ⁵ | 1 900 | Todesfälle/Jahr |
| Todesfälle, Unfälle | 8 758 | Todesfälle/Jahr |
| Todesfälle, gesamt | 47 000 | Todesfälle/Jahr |
| | | |
| Schwerverletzte, Unfälle | 116 456 | Verunglückte/Jahr |
| Leichtverletzte, Unfälle | 376 702 | Verunglückte/Jahr |
| Chronische Bronchitis (Erw.) | 218 000 | Krankheitsfälle/Jahr |
| Invaliditätsfälle d.Chron. Bronchitis | 110 | Invaliditätsfälle/Jahr |
| Husten/Auswurf (Erw.) | 92 400 000 | Tage/Jahr |
| Bronchitis (Kinder) | 313 000 | Krankheitsfälle/Jahr |
| Wiederholt Husten (Kinder) | 1 440 000 | Krankheitsfälle/Jahr |
| Hospitalisation (Atemwege, ohne Krebs) | 600 | Hospitalisationen/Jahr |
| Hospitalisation (Atemwege, ohne Krebs) | 9 200 | Pflegetage/Jahr |
| Hospitalisation (kardiovaskulär) | 600 | Hospitalisationen/Jahr |
| Hospitalisation (kardiovaskulär) | 8 200 | Pflegetage/Jahr |
| Arbeitsunfähigkeit, ohne Krebs | 24 600 000 | Tage /Jahr |
| Asthmatiker- Tage mit Attacken | 14 000 000 | Tage/Jahr |
| - Tage mit Bronchodilatoren | 15 000 000 | Tage/Jahr |

Tabelle F2: Gesundheitsschäden durch den Kraftfahrzeugverkehr in der Bundesrepublik Deutschland pro Jahr, 1996

Unfälle:

In der Bundesrepublik Deutschland werden jedes Jahr über 8 000 Menschen im Straßenverkehr getötet und über eine halbe Million verletzt. Um dieses Risiko auf ein einzelnes Auto umrechnen zu können, kann die durch Straßenverkehrsunfälle verlorene Lebenszeit als Maß herangezogen werden. ⁶

² UPI-Bericht 43, „Externe Gesundheitskosten des Verkehrs in der Bundesrepublik Deutschland“, Berechnung der durch Verkehrsemissionen verursachten Todes- und Krankheitsfälle und volkswirtschaftlichen Kosten, Juni 1997

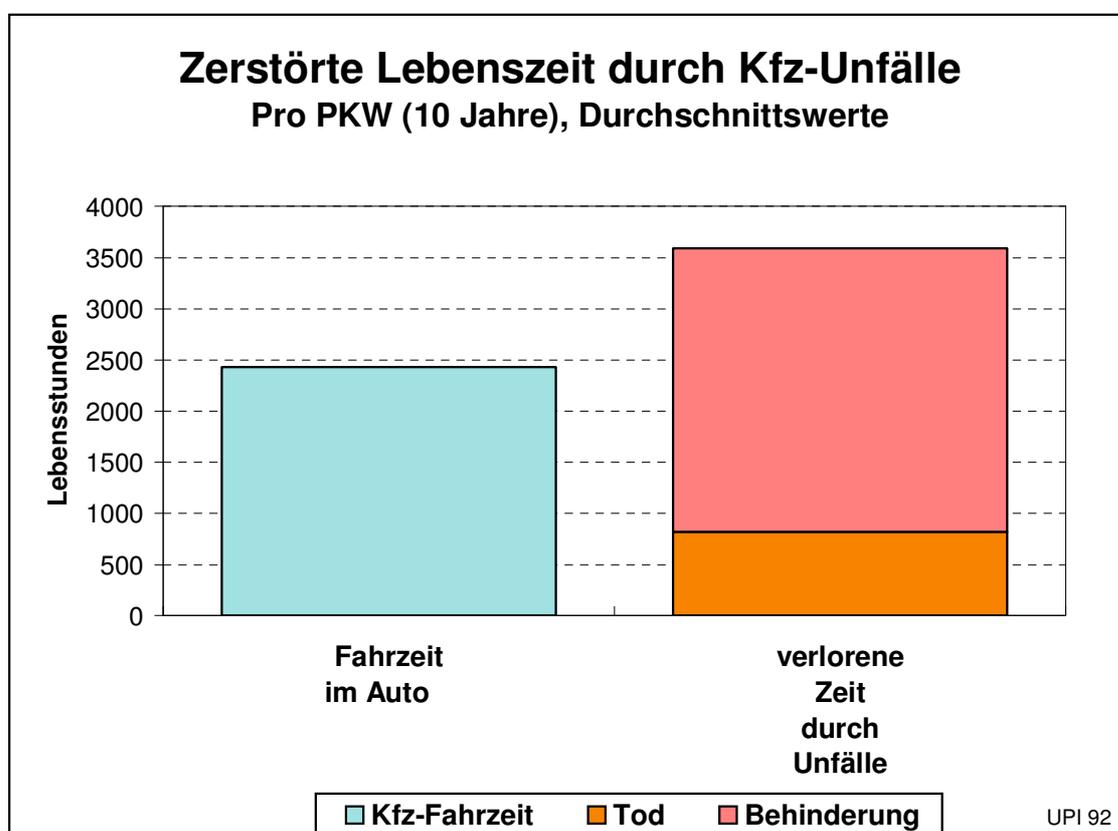
³ UPI-Bericht Nr. 44, "Krebsrisiko durch Benzol und Dieselrußpartikel an Straßen", 3. Auflage Juli 1998

⁴ UPI-Bericht Nr. 46, „Kostenumschichtung im Gesundheitswesen durch Anwendung des Verursacherprinzips - Vorschläge für eine Finanzreform im Gesundheitswesen“ Berechnung der volkswirtschaftlichen Kosten durch Tabak, Alkohol, Kfz-Verkehr u.a., Vorschläge für Gesundheitsabgaben, 2. Aufl. Januar 1999

⁵ UPI-Bericht Nr. 47, „Neue medizinische Erkenntnisse über die gesundheitlichen Auswirkungen von Sommersmog, Berechnung der durch Ozon verursachten Todesfälle in der Bundesrepublik Deutschland“, Mai 1999

⁶ siehe UPI-Bericht Nr. 22 "Lebenszeitverluste durch Kfz-Unfälle", 1991

Wird bei den durch einen Unfall Getöteten die Differenz zwischen Lebensalter zum Zeitpunkt des Unfalls und durchschnittlicher normaler Lebenserwartung als verlorene Lebenszeit zugrunde gelegt, läßt sich errechnen, wieviel Lebenszeit durch den Tod der Verkehrstopfer insgesamt zerstört wird. Entsprechend kann bei Unfallopfern, die eine länger dauernde oder bleibende Behinderung erleiden, die Zeitdauer des Lebens mit der Behinderung errechnet werden. Legt man das so ermittelte Unfallrisiko auf einen durchschnittlichen PKW um, ergibt sich, daß im statistischen Durchschnitt pro PKW 820 Stunden Lebenszeit durch Unfalltod zerstört und 2 800 Stunden Lebenszeit mit Behinderungen durch Unfallverletzungen verursacht werden. Im Vergleich dazu wird ein PKW während einer 10-jährigen Nutzungsdauer zusammen im Durchschnitt 2 400 Stunden gefahren (siehe Grafik "Zerstörte Lebenszeit durch Kfz-Unfälle").



Wenn in der Bundesrepublik Deutschland keine grundlegende Änderung der Verkehrspolitik erfolgt, wird in Zukunft jedes 100. heute geborene Kind im Laufe seines Lebens durch einen Autounfall getötet und 2 von je 3 Kindern im Laufe ihres Lebens durch einen Autounfall verletzt werden.

Jeder 450. zugelassene PKW verursacht während seiner Laufzeit einen Verkehrsunfall-toten, jeder 100. einen Behinderten und jeder 7. PKW einen Verletzten.

Alle 50 Minuten verläßt heute ein Auto die Fließbänder der deutschen Automobilindustrie, das einen Menschen durch einen Unfall töten wird. Alle 50 Sekunden wird ein Auto produziert, welches einen Menschen verletzen wird.

Durch die pro Dauerarbeitsplatz (über 45 Jahre) in der Automobilindustrie produzierten Autos entstehen durch Unfälle 25 Verletzte und 2 Behinderte. Je 3 Dauerarbeitsplätze in der Automobilindustrie verliert ein Mensch im Straßenverkehr sein Leben.

Waldschäden:

Die Emissionen des Straßenverkehrs sind, gewichtet nach ihrer Schädlichkeit, im Jahr 1995 zu etwa 60 % Ursache der Luftverschmutzung. Während die Anteile der Kraftwerke, der Industrie und der Haushalte schon in der Vergangenheit absanken und auch in Zukunft weiter absinken werden, wird der Anteil des Kraftfahrzeugverkehrs weiter zunehmen. Auch bei den für das Waldsterben besonders relevanten säurebildenden Schadstoffen (Stickoxide und Schwefeldioxid) lag der Anteil des Verkehrs im Jahr 1995 bei 55 % mit ebenfalls deutlich steigender Tendenz. Gleiches gilt für die Kohlenwasserstoff-Emissionen, die zusammen mit den Stickoxid-Emissionen (65 % Verkehrsanteil) für die Entstehung von photochemischem Smog verantwortlich sind.

In den letzten Jahren sind in der Bundesrepublik Deutschland rund 60 Prozent der Waldfläche geschädigt. Die Grafik "Waldschäden BRD " zeigt die Entwicklung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland von 1983 bis 1998.

Rechnet man die Waldschäden auf die Verursacher um, ergibt sich, daß im Durchschnitt jeder PKW für die Erkrankung von bisher ca. 30 Bäumen und das Absterben von bisher 3 Bäumen verantwortlich ist.⁷

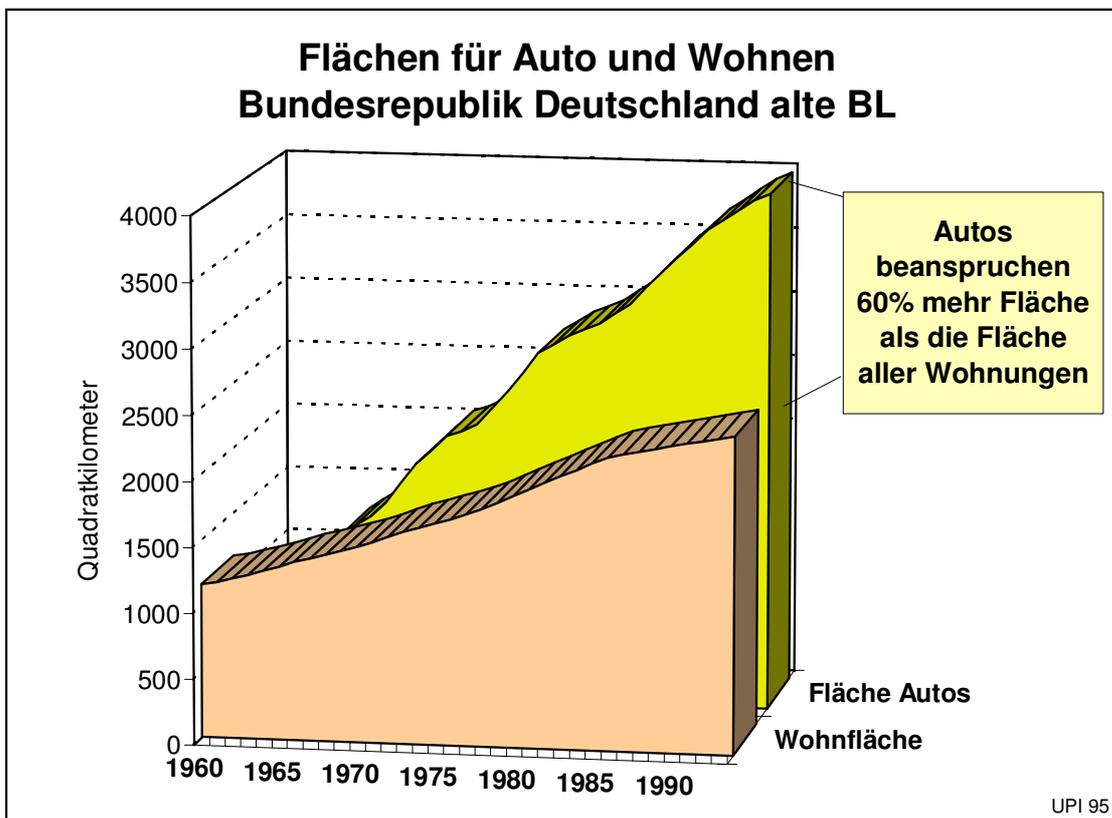
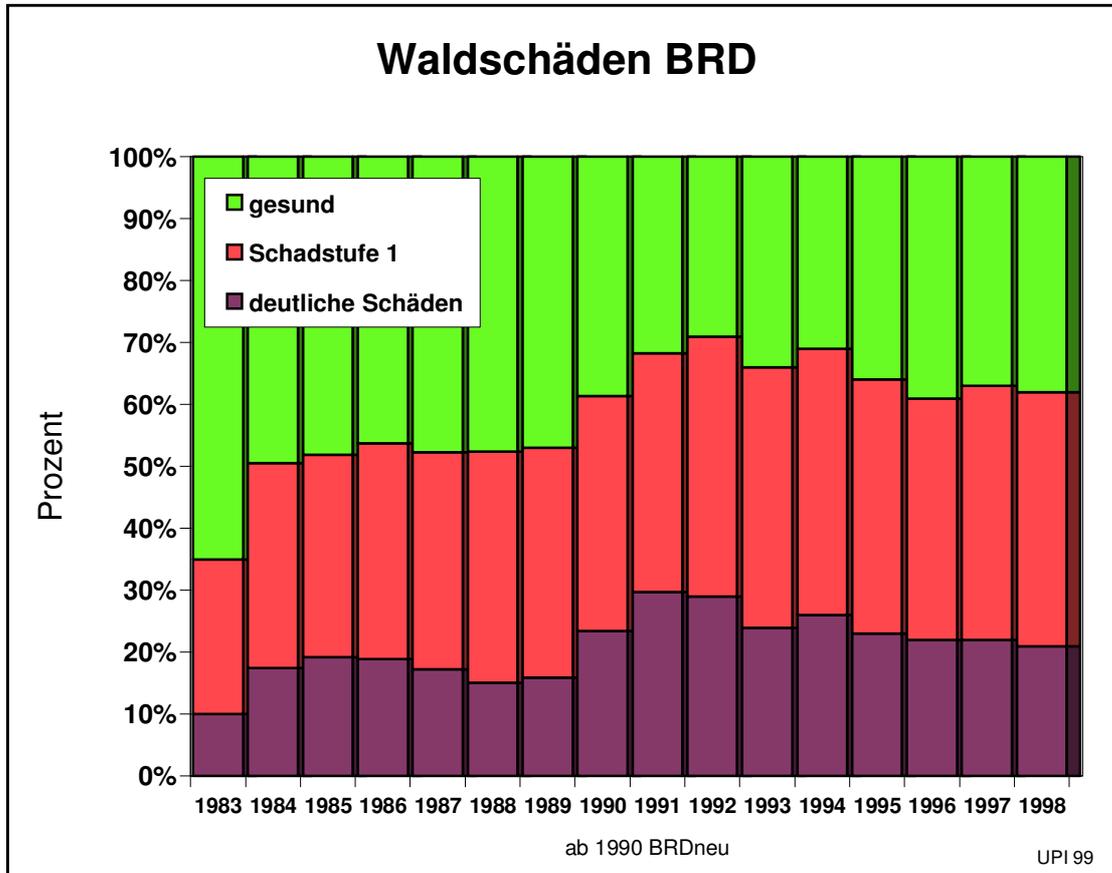
Flächenverbrauch und Flächenversiegelung:

Heute liegt der Flächenverbrauch, den alle Autos in den alten Bundesländern zum Fahren und vor allem zum Parken benötigen, mit 3 800 km² um 60 % höher als die gesamte Wohnfläche aller Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland. (s. Grafik "Flächen für Auto und Wohnen, Bundesrepublik Deutschland"). Gezählt wurde dabei nur die von Autos zum Fahren und Parken beanspruchte Fläche. Die Straßenflächen sind etwa doppelt so groß. Rechnet man die asphaltierte bzw. betonierte Straßenfläche in der BRD auf die

⁷

Gezählt wurden dabei nur Bäume mit einem Alter über 20 Jahre

Kraftfahrzeuge um, ergibt sich, daß bisher pro PKW etwa 200 Quadratmeter Fläche asphaltiert bzw. betoniert wurden.



Getötete Tiere:

Durch den Kraftfahrzeugverkehr wird eine große Zahl von Tieren beim Überqueren von Straßen getötet. In den alten Bundesländern sind dies pro Jahr u.a. mindestens 70 000 Rehe, 120 000 Hasen, 200 000 Igel und 1 200 000 Singvögel. Noch größer ist die Zahl getöteter Amphibien, Kleinsäuger oder Insekten wie Schmetterlinge, Käfer und Libellen. Rechnet man nur die höheren Tiere (Wirbeltiere), werden pro PKW im Laufe seiner Fahrleistung mindestens 3 bis 4 höhere Tiere getötet.

Lärm:

In den alten Bundesländern fühlen sich über zwei Drittel der Bevölkerung durch Straßenverkehrslärm belästigt. Statistisch umgerechnet belästigt ein PKW ca. einen Einwohner.

Treibhauseffekt

Der Kfz-Verkehr hat in der Bundesrepublik einen Anteil von 31,6 % an den gesamten CO₂-Emissionen (Tabelle F.1). Die in manchen Veröffentlichungen genannte Zahl von 17 % Anteil⁸ berücksichtigt nur die direkten Emissionen durch Verbrennung des Treibstoffs im Fahrzeug.

| | Mio t CO ₂ /a |
|---|--------------------------|
| Treibstoffverbrauch | 138,8 |
| Treibstoff indirekte Emissionen (Raffinerie, Erdölgewinnung etc.) | 22,6 |
| Ölverbrauch Kfz incl. indirekte Emission | 4,2 |
| Produktion Kfz | 39,4 |
| Reifenverbrauch | 4,5 |
| Bitumen Straßenbau und Unterhalt | 9,3 |
| Zement Straßen- und Garagenbau | 15,8 |
| Straßenbeleuchtung (Kfz-Anteil) | 0,4 |
| sonst. Strom (Ampeln, Tunnelentlüftung etc.) | 0,2 |
| Kfz Waschen, Pflege, Werkstatt | 1,6 |
| Summe CO₂ durch Kfz BRD | 237,0 |
| CO ₂ alle Quellen BRD | 750,0 |
| Anteil Kfz an Gesamtemission | 31,6 % |

⁸ z.B. Umweltbundesamt, Jahresbericht 1989, Berlin, 1990

Tabelle F.2: CO₂-Gesamtemissionen des Systems Kfz-Verkehr BRD alte Bundesländer, 1989; UPI-Berechnungen

Externe volkswirtschaftliche Kosten:

Rechnet man die quantifizierbaren externen volkswirtschaftlichen Kosten durch die Umweltbelastung des Kraftfahrzeugverkehrs auf das einzelne Kraftfahrzeug um, ergibt sich, daß ein durchschnittlicher PKW mindestens rund 6 000 DM ökologische und soziale Kosten pro Jahr, verursacht, die nicht durch Steuereinnahmen abgedeckt sind⁹. Über die Dauer seiner Laufzeit von 10 Jahren sind es 60 000 DM ungedeckte externe Kosten. Darin noch nicht enthalten sind zukünftige Kosten z.B. durch den Treibhauseffekt.

Nur zum Vergleich: Die quantifizierbaren externen Kosten in Höhe von ca. 6 000 DM pro PKW und Jahr entsprechen demselben Betrag, den es kosten würde, jedem der auf das Auto verzichtet, jedes Jahr eine ganzjährige Netzkarte für den öffentlichen Nahverkehr, alle 5 Jahre ein gutes Fahrrad zu 1 000 DM und zusätzlich jedes Jahr rund 15 000 Bahnkilometer 1. Klasse zu schenken.

Z Zusammenfassung

Tabelle Z.1 zeigt zusammengefaßt den Energieverbrauch und die Emissionen in den 5 Stationen des Autolebens:

⁹ siehe UPI-Bericht Nr. 21 "Umweltwirkungen von Finanzinstrumenten im Verkehrsbereich und externe Kosten des Verkehrs", 4.erw. Aufl. Juli 1994

| | | |
|--|-------------------------|--------|
| Primärenergie | t SKE/PKW | 22,9 |
| CO ₂ | t/PKW | 59,7 |
| SO ₂ | kg/PKW | 32,8 |
| NO _x | kg/PKW | 89,5 |
| Staub | kg/PKW | 4,2 |
| CO | kg/PKW | 368,1 |
| C _x H _y | kg/PKW | 62,9 |
| Belastete Luft | Mio m ³ /PKW | 2 040 |
| Benzolemission | g/PKW | 6 500 |
| Formaldehydemission u.a. | g/PKW | 203,1 |
| Fahrbahnabrieb | g/PKW | 17 500 |
| Reifenabrieb | g/PKW | 750,0 |
| Bremsabrieb | g/PKW | 150,0 |
| Bleiemission | g/PKW | 85,8 |
| Chromemission | g/PKW | 0,2 |
| Kupferemission | g/PKW | 4,3 |
| Nickelemission | g/PKW | 1,2 |
| Zinkemission | g/PKW | 0,8 |
| Platinemission | mg/PKW | 1,3 |
| Abwässer in Grundwasser bzw. Boden: | | |
| Rohöl in Weltmeere | Liter/PKW | 13,0 |
| Mineralöl in BRD | Liter/PKW | 1,1 |
| Cadmium | g/PKW | 0,4 |
| Chrom | g/PKW | 0,7 |
| Kupfer | g/PKW | 6,6 |
| Blei | g/PKW | 14,1 |
| Zink | g/PKW | 24,6 |
| Abfälle: | | |
| Abraum | t/PKW | 23,4 |
| Schlacke | t/PKW | 1,6 |
| sonst. Abfälle | t/PKW | 1,5 |
| Shredderabfälle | t/PKW | 0,2 |
| PCB in Shredderabfällen | g/PKW | 30 |
| Kohlenwasserstoffe in Shredderabfällen | g/PKW | 8 400 |
| Abfälle gesamt | t/PKW | 26,5 |

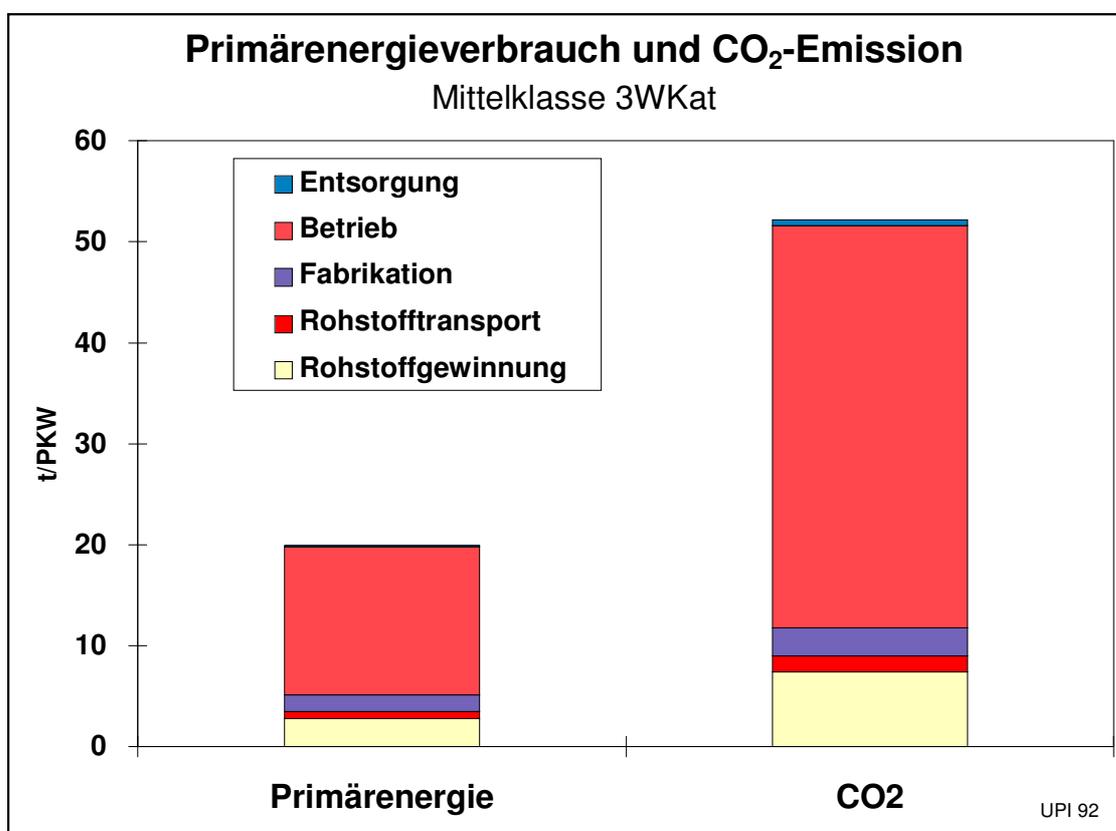
Tab. Z.1: Primärenergieverbrauch und Emissionen der gesamten Prozeßkette PKW; pro PKW

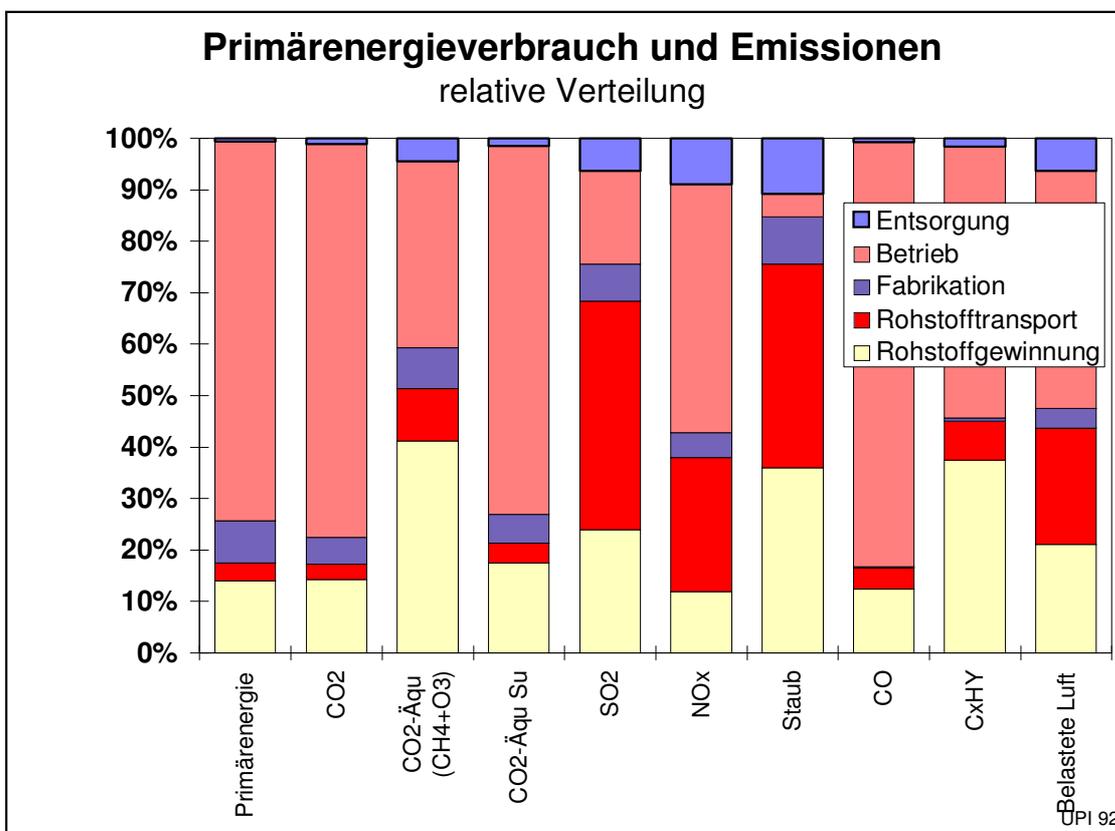
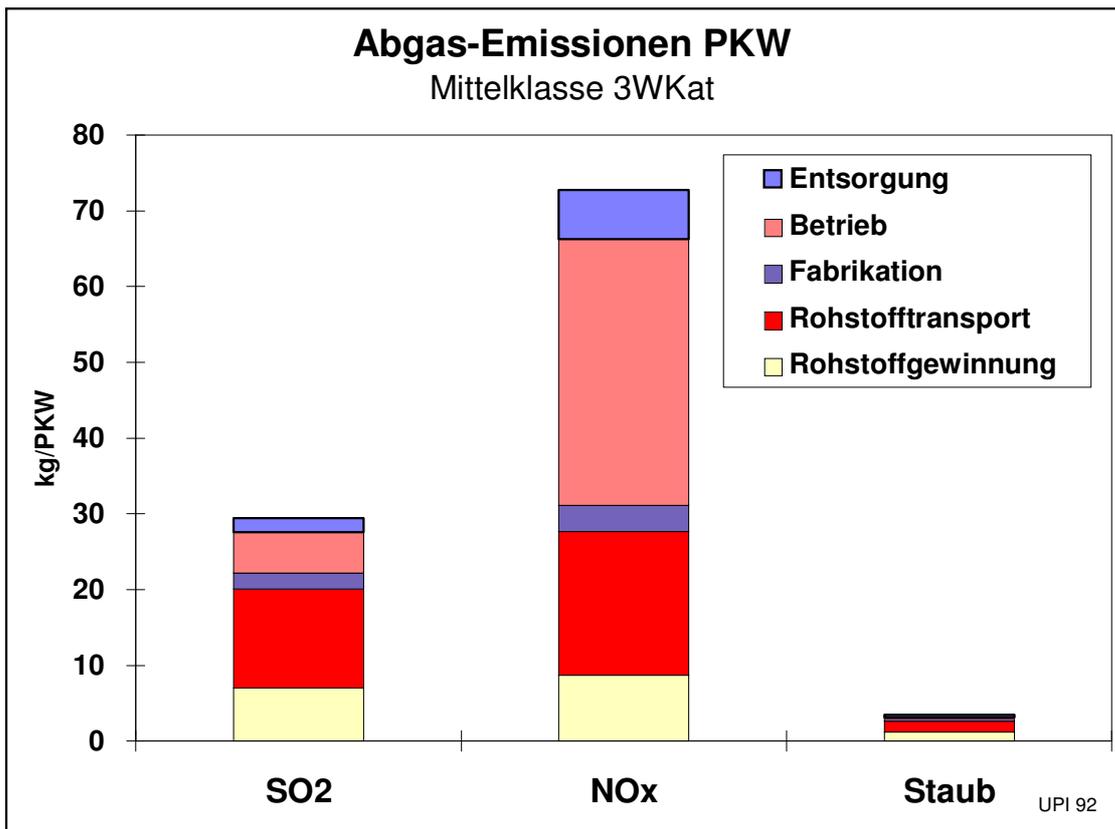
Die Verteilung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen auf die 5 Stationen des Autolebens zeigt die Grafik "Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen eines PKW".

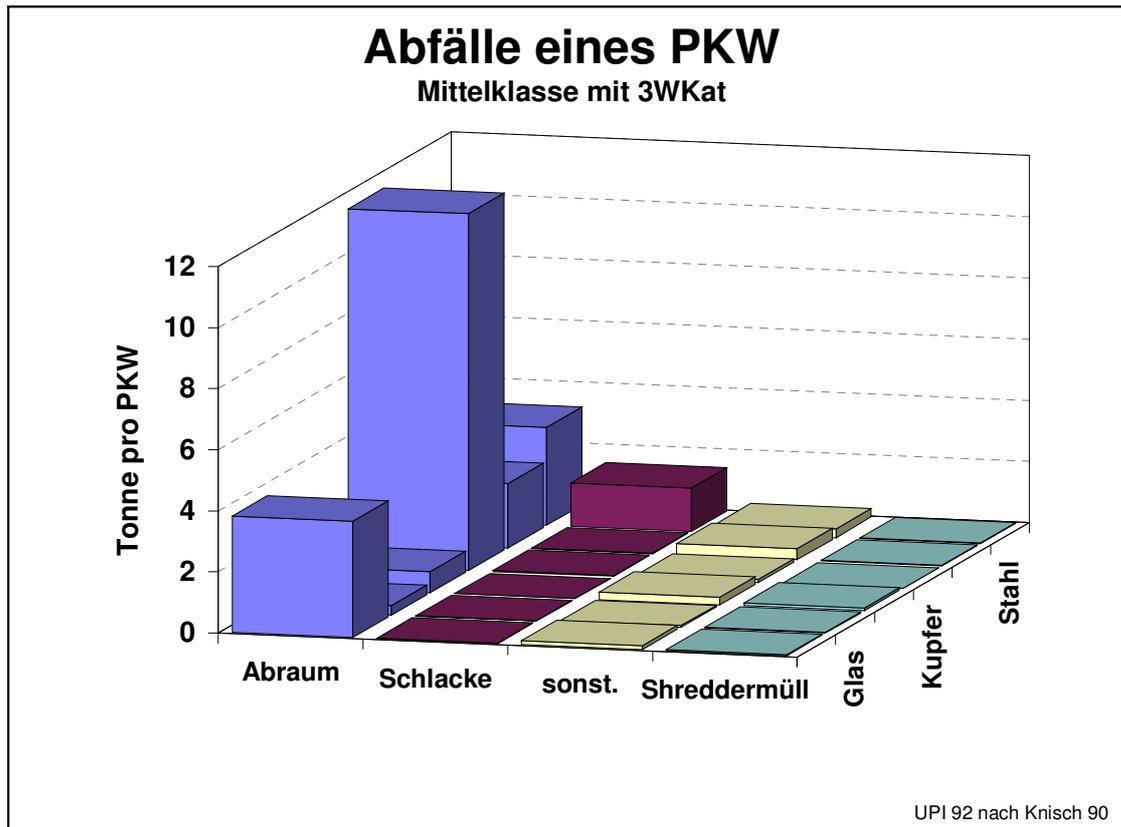
Die Verteilung der Schadstoffemissionen der 5 Stationen eines Autolebens zeigt die Grafik "Abgasemissionen PKW".

Die relative Verteilung der in allen 5 Stationen betrachteten Ressourcenverbräuche und Emissionen zeigt die Grafik "Energieverbrauch und Emissionen eines PKW, relative Verteilung".

Die Summe der Abfälle, die bei Produktion und Betrieb eines PKW anfallen, liegt bei ca. 26,5 t. Die Grafik "Abfälle eines PKW" zeigt die Verteilung der Abfälle auf die verschiedenen Stationen und verwendeten Materialien.







Öko-Bilanzen verschiedener Fahrzeuge

Um die Unterschiede in den Umweltauswirkungen verschiedener Fahrzeugarten zu ermitteln, wurden im Auftrag von Greenpeace Ökobilanzen von folgenden 6 Fahrzeugarten erstellt:

Großer PKW: Mercedes 500-SEL als Vertreter der S-Klasse von Mercedes. Um genaue Eingangsdaten für die Materialzusammensetzung der Fahrzeuge zu erhalten, wurden die Hersteller mit Schreiben vom 18.8.1993 um entsprechende Angaben gebeten. Leider beantwortete die Mercedes Benz AG dieses Schreiben und entsprechende Telefonate nicht. Die Materialzusammensetzung des 500-SEL wurde deshalb auf der Basis anderer Fahrzeugtypen geschätzt und auf das höhere Gewicht hochgerechnet. Es wurde angenommen, daß das Fahrzeug keine FCKW-haltige Klimaanlage enthält.

Mittelklasse-PKW: Als Beispiel für einen Mittelklasse-PKW wurde der VW-Golf III gewählt.

Sparmobil: Um zu testen, wie die Ökobilanz bei einem von Greenpeace vorgeschlagenen 2,5-Liter-Auto aussehen würde, wurde die Ökobilanz für einen maximal 500 Kilogramm schweren PKW mit einem Benzin-Verbrauch von 2,5 l auf 100 km ermittelt. Das Fahrzeug soll eine maximale Leistung von 30 KW und eine Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h haben. Die Materialzusammensetzung wurde in Richtung Energieeinsparung optimiert.

Ökomobil: Als Fahrzeug, welches die Eigenschaften

- Wetterschutz,
- 2-Sitzer,
- Elektro-Antrieb kombiniert mit Muskelkraft

in einem Fahrzeug vereint, wurde das von einer Schweizer Firma entwickelte TWIKE in die Untersuchung aufgenommen.¹⁰⁾ Das TWIKE ist ein neuartiges Fahrzeug, das in der Schweiz als dreirädriges Motorrad zugelassen ist und mit Fahrausweis für Autos oder Motorräder gefahren werden darf. Es besitzt einen Elektromotor mit Nickel-Cadmium-Akkumulatoren, die in zwei Stunden aufladbar sind. Parallel zum Elektromotor ist die Muskelkraft der Fahrzeug-Insassen für die Fortbewegung nutzbar. Das TWIKE ist so konzipiert, daß es bei der Entsorgung leicht mechanisch in recycelbare Komponenten

zerlegt werden kann.

Elektro-Fahrrad: Das leichteste Elektro-Fahrzeug ist ein Elektro-Fahrrad. Es handelt sich um ein normales Fahrrad, welches das Fahren z.B. am Hang mit einem kleinen Elektromotor und einem Ni-Cd-Akkumulator unterstützt. Elektro-Fahrräder werden bisher von zwei Herstellern angeboten.

Fahrrad: Als normales Fahrrad wurde ein hochwertiges Trekking-Rad mit 21 Gängen untersucht.

Tabelle G-1 zeigt die Materialzusammensetzung der untersuchten Fahrzeugarten, die angenommene Fahrleistung, Nutzungsdauer und den technischen Energieverbrauch.

| | | 500 SEL | Golf III | Sparmobil | TWIKE | E-Fahrrad | Fahrrad |
|--------------------|------------|---------|----------|-----------|-------|-----------|---------|
| Stahl | t/Fahrzeug | 1,27 | 0,70 | 0,24 | 0,033 | 0,0134 | 0,0110 |
| Aluminium | t/Fahrzeug | 0,13 | 0,07 | 0,03 | 0,079 | 0,0072 | 0,0010 |
| Kupfer | t/Fahrzeug | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,006 | 0,00025 | 0,0001 |
| and.NE-Metalle | t/Fahrzeug | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,070 | 0,00475 | 0,0010 |
| Kunststoffe | t/Fahrzeug | 0,49 | 0,27 | 0,20 | 0,048 | 0,0028 | 0,0005 |
| Reifen | t/Fahrzeug | 0,07 | 0,04 | 0,02 | 0,005 | 0,0016 | 0,0012 |
| Ges.Gewicht | t/Fahrzeug | 2,000 | 1,102 | 0,500 | 0,241 | 0,030 | 0,015 |
| Laufdauer Fahrzeug | km | 160000 | 130000 | 80000 | 80000 | 60000 | 40000 |
| Laufdauer Reifen | km | 40000 | 40000 | 40000 | 20000 | 12000 | 12000 |
| Fahrleistung | km/a | 16000 | 13000 | 8000 | 8000 | 6000 | 4000 |
| Nutzungsdauer | a | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Benzinverbrauch | l/100 km | 13,5 | 9 | 2,5 | | | |
| Stromverbrauch | kWh/100km | | | | 4 | 1 | |

Tabelle G-1: Grunddaten der untersuchten Fahrzeuge

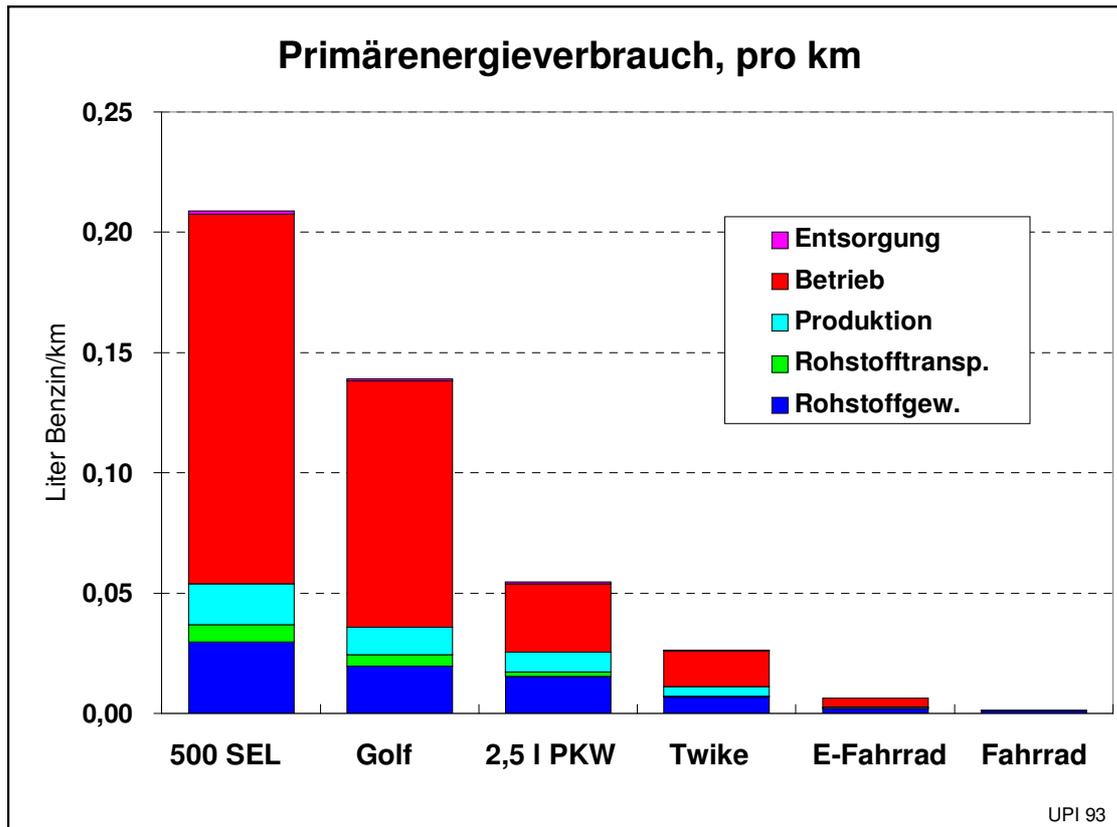
Der biologische Energieverbrauch bei den ganz oder teilweise muskelgetriebenen Fahrzeugen wurde nicht gezählt, da dieser über die Photosynthese der Nahrungspflanzen CO₂-neutral und umweltfreundlich gedeckt wird.

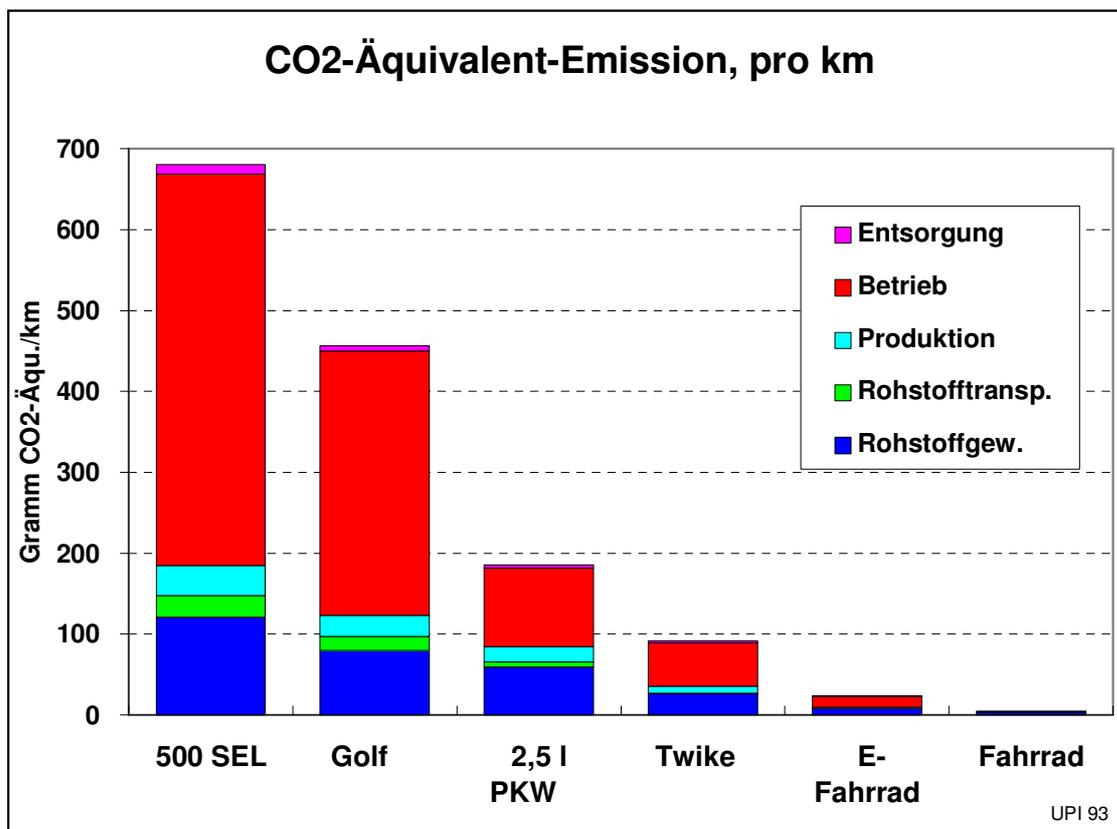
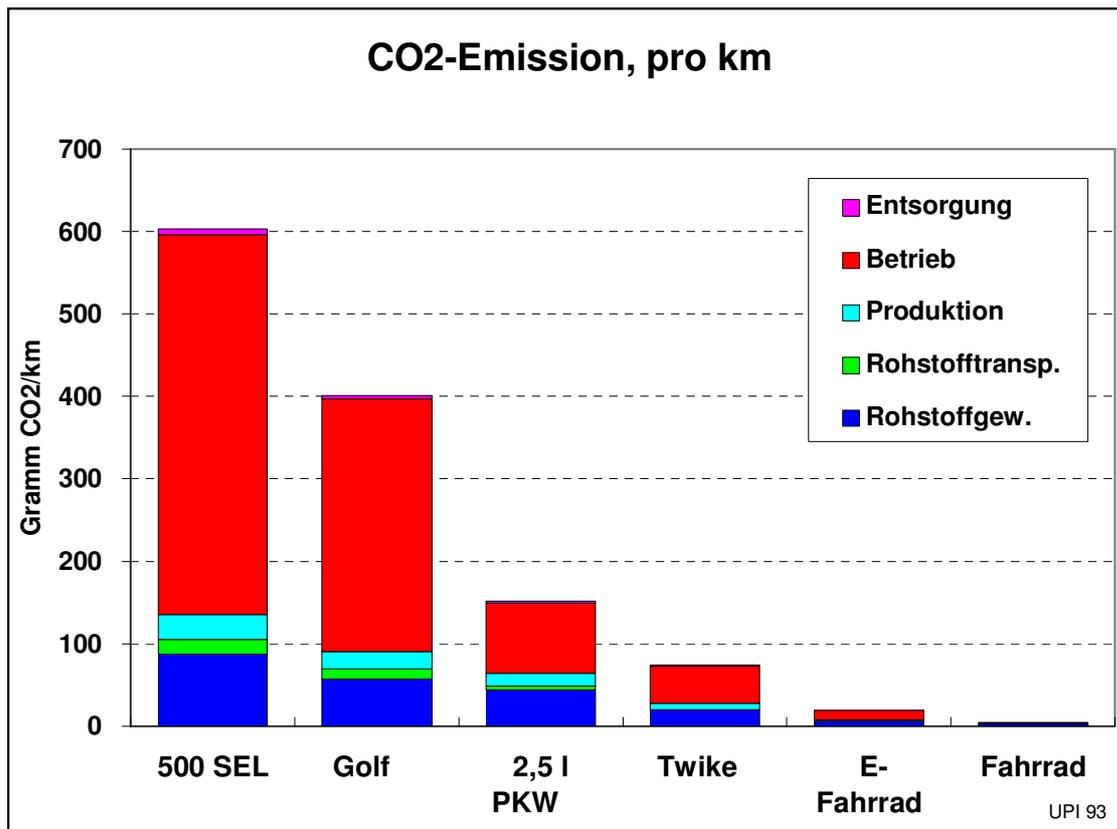
¹⁰ TWIKE, Die nachhaltige Mobilität nimmt Gestalt an, TWIKE-AG, CH-4460 Gelterkinden,

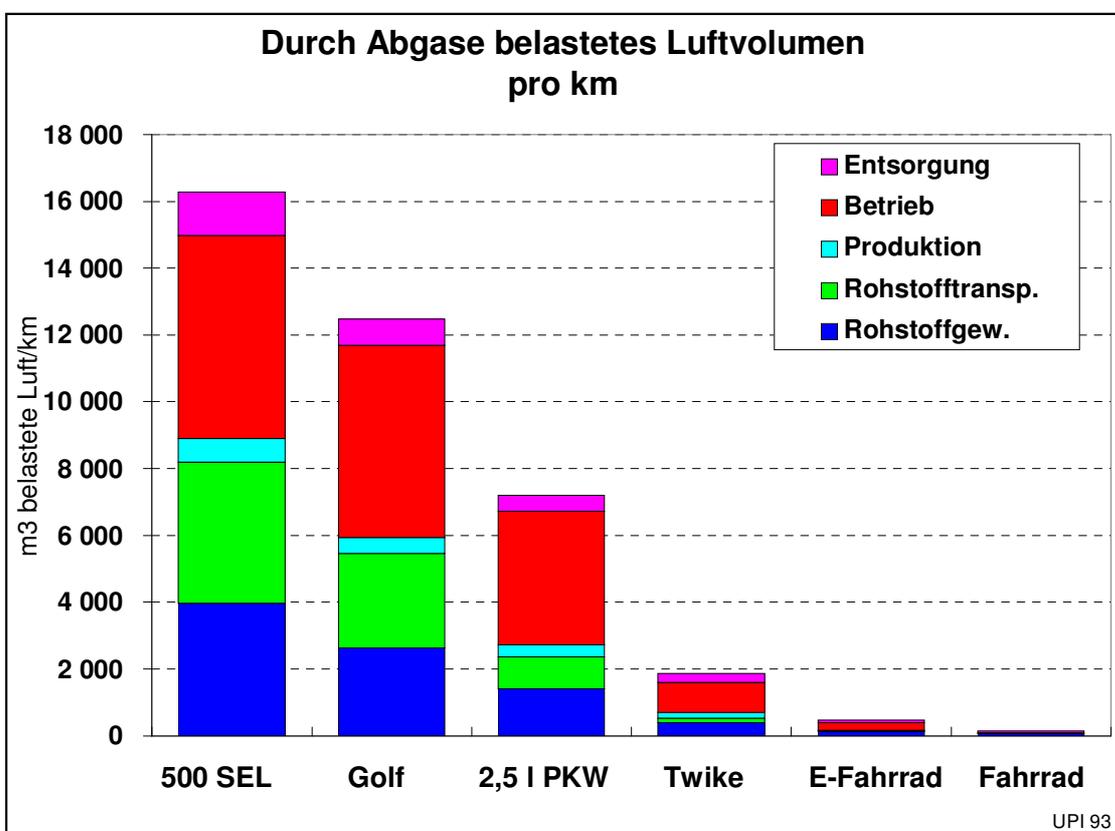
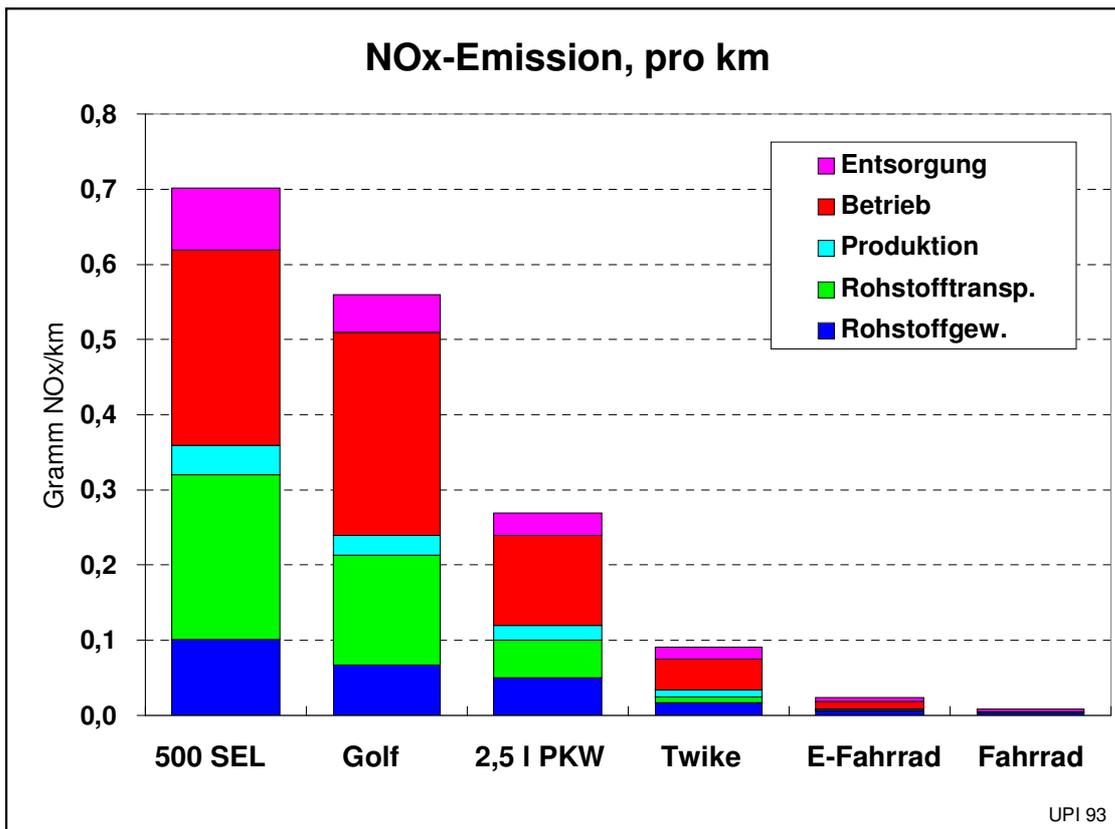
Bei der Berechnung der Umweltauswirkungen des Stromverbrauchs wurde der Durchschnitt der heutigen Stromerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland zugrunde gelegt.

Die nachfolgenden 5 Grafiken zeigen für die 6 untersuchten Fahrzeugarten bei gleicher Fahrleistung im Vergleich

- den Primärenergieverbrauch, umgerechnet in Liter Benzin pro Fahrzeugkilometer
- die CO₂-Emission in Gramm CO₂ pro Fahrzeugkilometer
- die Klimabeeinträchtigung durch das jeweilige Fahrzeug, umgerechnet in Gramm CO₂-Äquivalent pro Fahrzeugkilometer. Darin enthalten sind die Klimawirkungen von CO₂, Methan und Ozon, umgerechnet in die äquivalente Menge CO₂. FCKW's wurden nicht berücksichtigt, da unterstellt wurde, daß die Produktion inzwischen FCKW-frei erfolgt und keine FCKW-haltigen Klimaanlage installiert sind.
- die Stickoxid-Emission in Gramm NO_x pro Fahrzeugkilometer als wichtigste Schadstoffkomponente und
- das durch Abgase belastete Luftvolumen in Kubikmeter Luft, das pro Fahrzeugkilometer bis zu den gesetzlich zulässigen Grenzwerten für Stickoxide, Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid und Staub belastet werden.

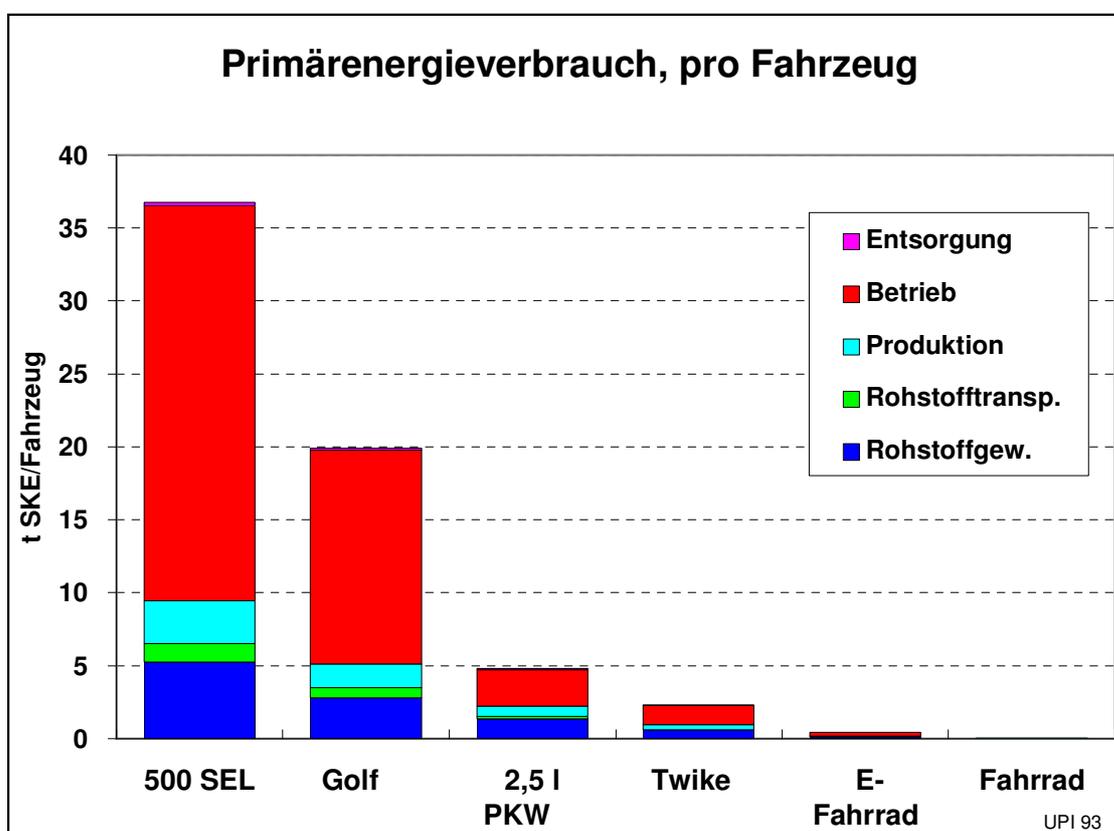


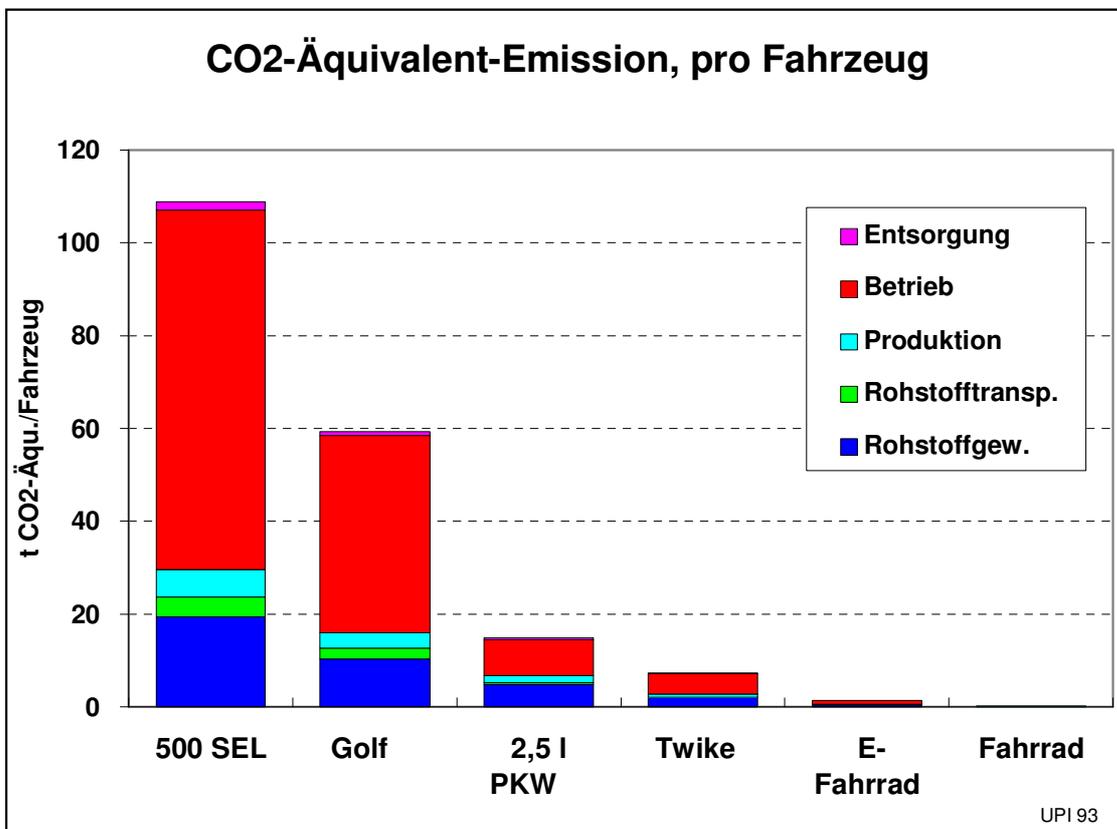
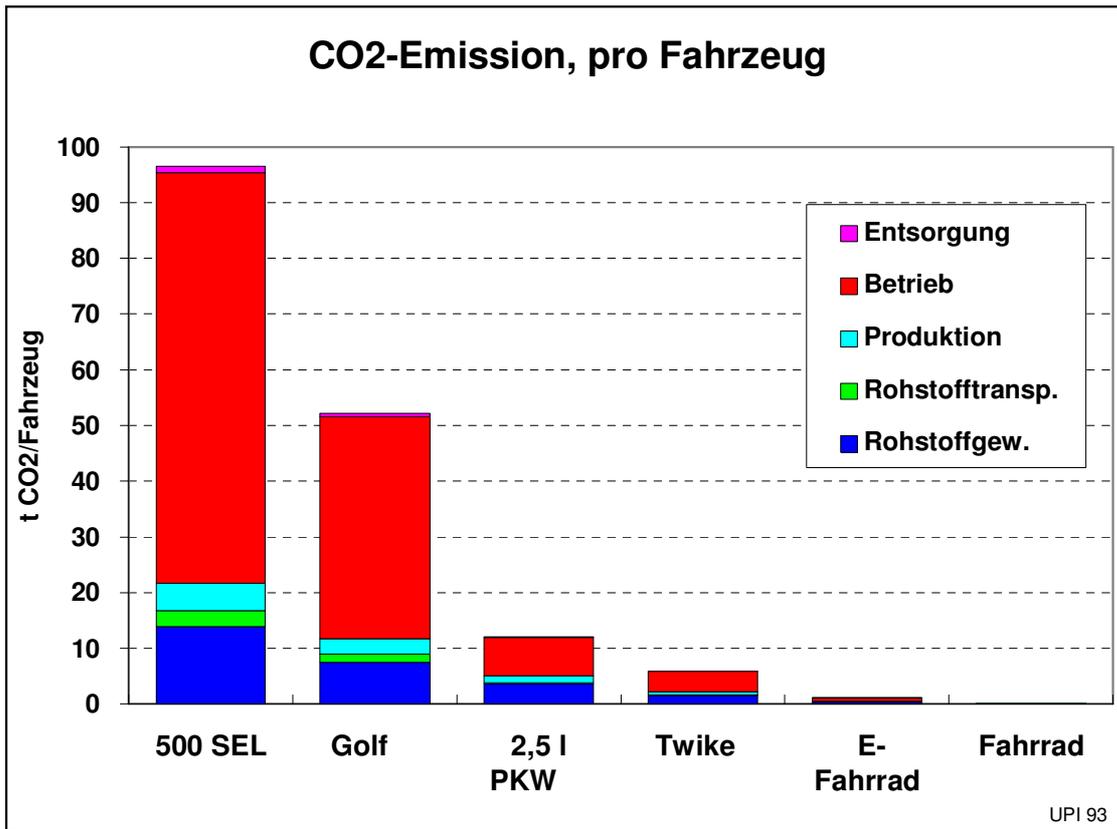


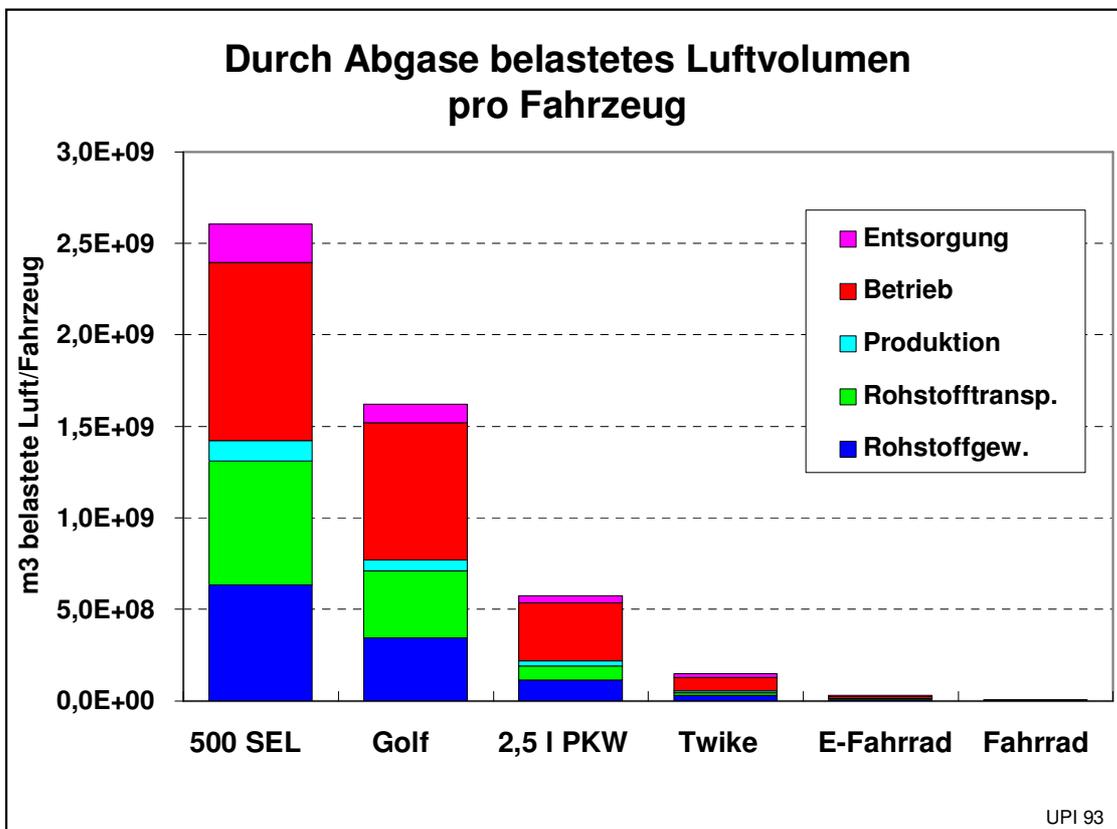
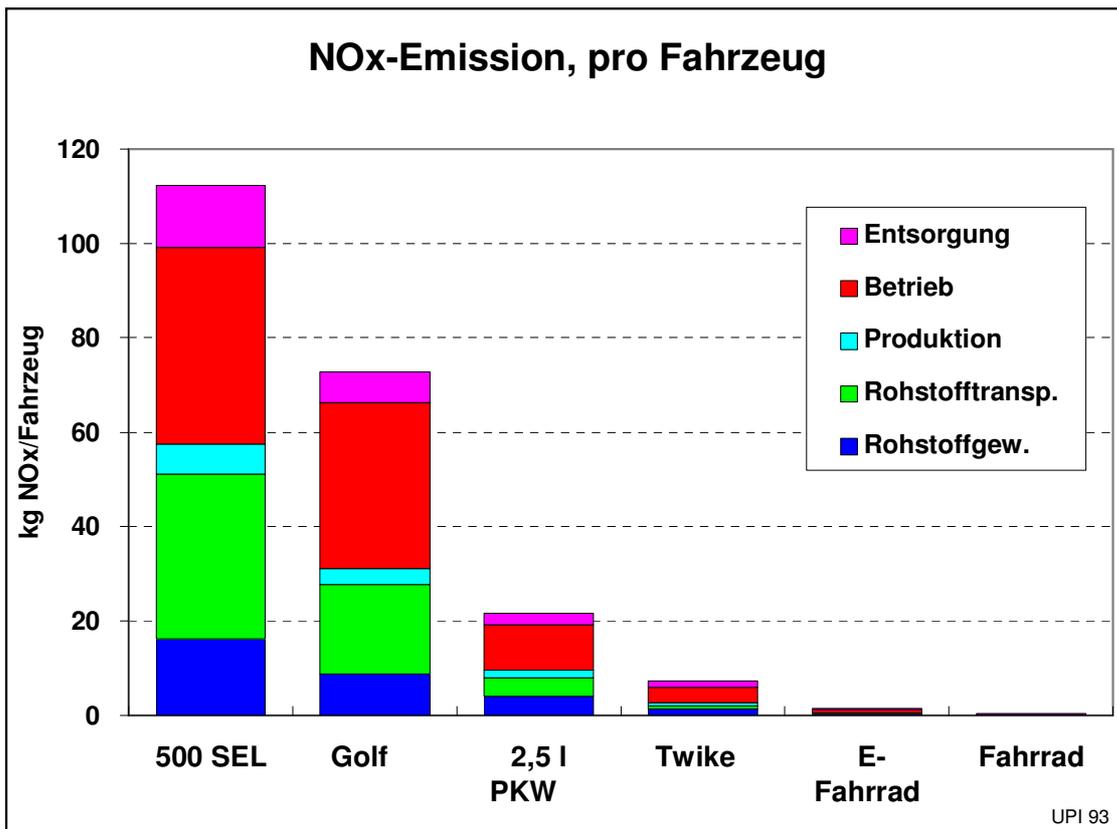


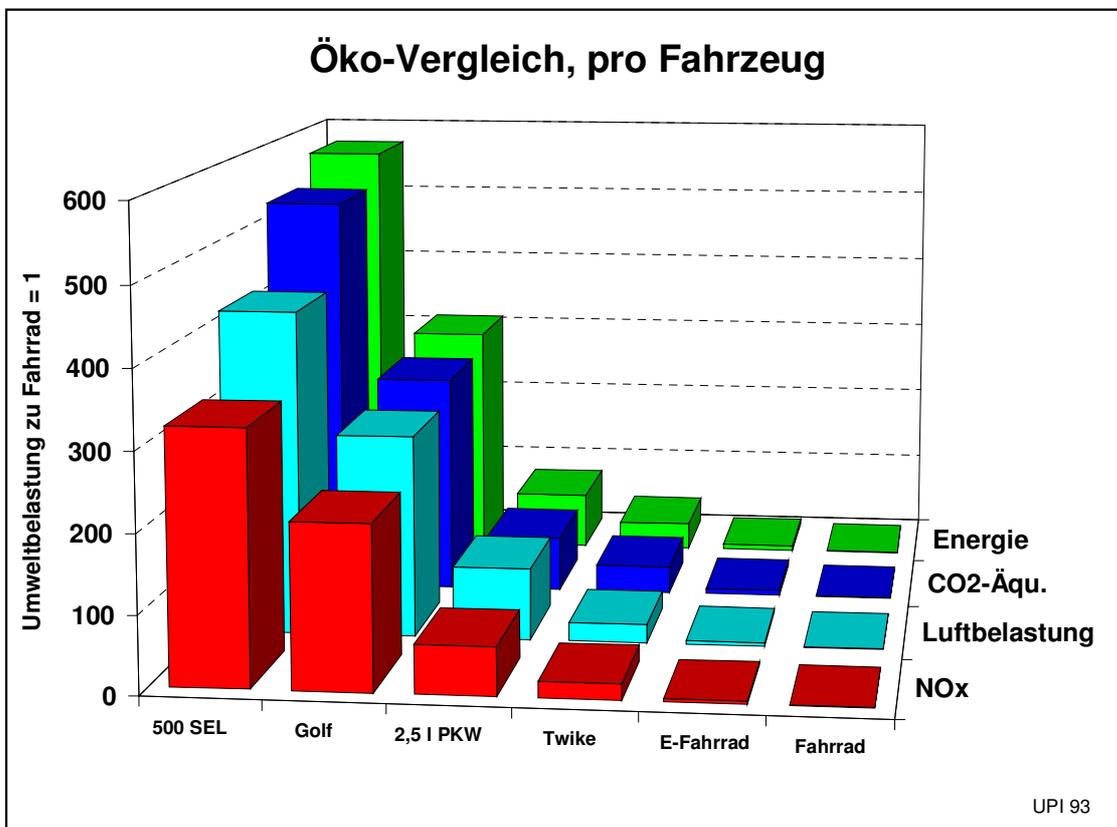
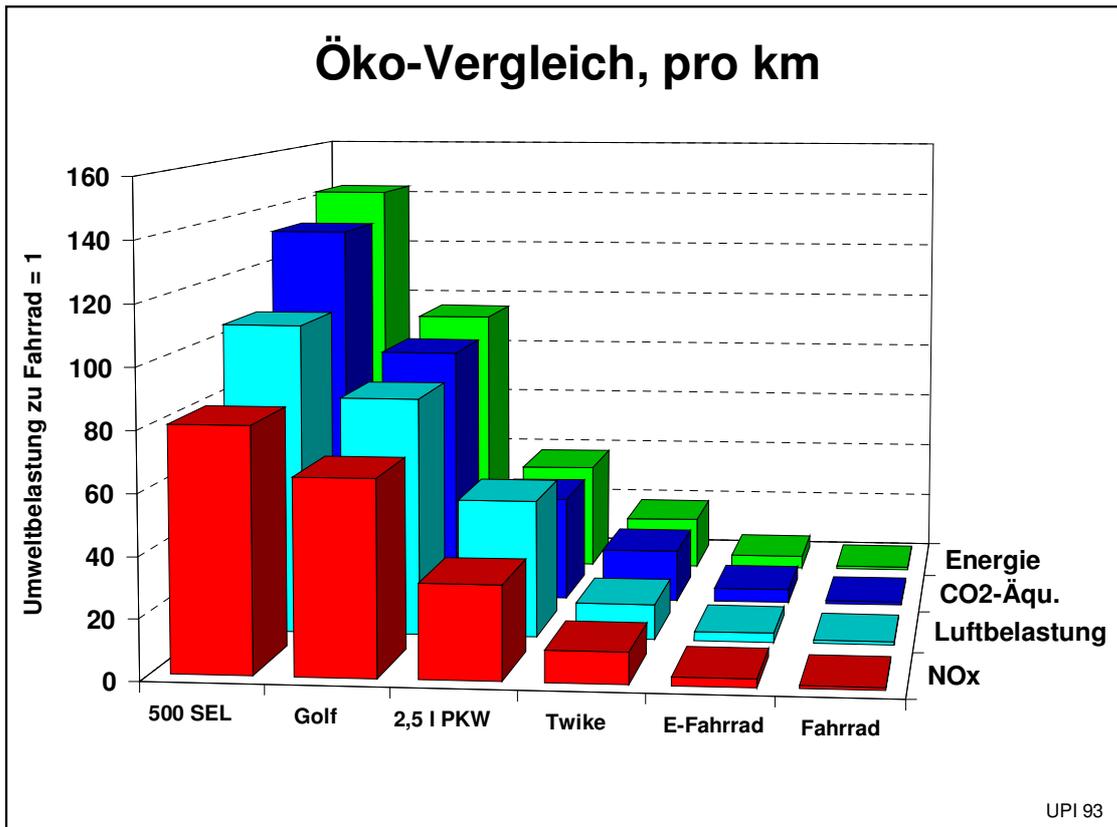
Die nächsten 5 Grafiken zeigen dieselben Umwelt-Parameter, umgerechnet auf das einzelne Fahrzeug. Dabei ist die unterschiedlich angenommene Fahrleistung der Fahrzeuge mit eingerechnet.

Als Zusammenfassung zeigen die Grafiken "Ökovergleich, pro Kilometer" und "Ökovergleich, pro Fahrzeug" den Vergleich der Umweltauswirkungen der untersuchten Fahrzeuge. Als Standard ist dabei jeweils die Umweltbelastung des umweltfreundlichsten Fahrzeugs, des Fahrrads, als 1 gesetzt. Die Umweltauswirkungen der anderen Fahrzeuge sind als Vielfaches dieses Wertes angegeben. Aus der Grafik "Öko-Vergleich pro Kilometer" geht z.B. hervor, daß bei gleicher Verkehrsleistung die Nutzung eines Elektro-Fahrrads die Umwelt 4-mal soviel mit Treibhausgasen (CO₂-Äqu.), ein 2,5-Liter-PKW 36-mal soviel und ein 500-SEL 132-mal soviel belastet wie ein Fahrrad.









Ein Auto und die Atmosphäre ...

Was bedeutet eigentlich eine Energiemenge von 20 Tonnen Steinkohleeinheiten (SKE), die ein durchschnittliches Auto (hier der untersuchte Golf) während seiner Nutzungsdauer verbraucht? 20 t SKE, das entspricht dem Energieinhalt von 20 Tonnen oder 8 m³ Steinkohle oder 18 000 Litern Benzin.

| |
|------------------------|
| 8 m³ |
|------------------------|

Diese Energiemenge wird pro PKW zur Herstellung und zum Transport der Rohstoffe, zur Fabrikation des Fahrzeugs und beim Autofahren im Motor verbrannt. Dabei verbindet sich der in den Brennstoffen (Erdöl, Kohle, Gas) enthaltene Kohlenstoff mit dem Sauerstoff der Luft pro PKW zu insgesamt 52 000 kg Kohlendioxid (CO₂). das man nicht sieht, das nicht flüssig oder fest ist, sondern sich als Gas in der allgemeinen Luft befindet.

| | |
|--|---|
| 1 m ³ Wasser wiegt 1 t = 1 000 kg | 1 m ³ Luft wiegt etwa 1,3 kg |
| 1 m ³ Benzin wiegt ca. 750 kg | CO ₂ wiegt 2 kg pro m ³ |

Da man sich 52 000 kg Kohlendioxid nicht gut vorstellen kann, ist es sinnvoll, Umrechnungen vorzunehmen.¹¹

52 000 kg CO₂ sind 26 000 m³ reines CO₂-Gas.

FAZIT Nr. 1:

Aus 20 t SKE werden 26 000 m³ CO₂, das entspricht dem Rauminhalt von z.B. 50 Einfamilienhäusern.

| |
|-----------------------------|
| 26 000 m³ |
|-----------------------------|

Reines CO₂ ist ein Gift für Natur und für Menschen. Der Mensch stirbt schon bei einer CO₂-Anreicherung der Luft von 8 %. Das heißt:

FAZIT Nr. 2:

Würde man 26 000 m³ reines CO₂ so in der Luft verteilen, daß es noch immer für den Menschen tödlich wirkt, so belastete man 325 000 m³ Luft, also 325 000 Luft-Würfel mit einer jeweiligen Kantenlänge von 1 m x 1 m x 1 m.

| |
|------------------------------|
| 325 000 m³ |
|------------------------------|

¹¹ die folgenden Rechnungen beruhen auf einer Idee von Karl-Peter Hasenkamp

In der Bundesrepublik Deutschland wird jährlich vom Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung eine Liste von gefährlichen Stoffen herausgegeben, die 500 Substanzen aufführt. Für jede dieser Substanzen gibt es einen sogenannten MAK-Wert (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration). CO₂ ist in dieser MAK-Liste aufgeführt. CO₂ darf in der Luft am Arbeitsplatz höchstens in einer Konzentration von 5 000 ppm (parts per million) = 0,5 Vol.% vorkommen.

FAZIT Nr. 3

Die durch ein Auto produzierte CO₂-Menge reicht aus, um 5 200 000 m³ Luft so zu verunreinigen, daß diese Luft nicht mehr als Atemluft am Arbeitsplatz akzeptiert wird. 5 200 000 m³ entsprechen einem großen Würfel mit einer Kantenlänge von 170 m.

5 200 000 m³

Im Zusammenhang mit der mittlerweile auf allen politischen Ebenen weltweit diskutierten Klimaproblematik ist die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre Ausgangspunkt aller Betrachtungen. Der augenblicklich durchschnittliche Wert in der gesamten Atmosphäre liegt bei ca. 350 ppm = 0,035 Vol.% = 350 Teile CO₂ auf 1 Million Teile übriger Luft.

FAZIT Nr. 4:

Die CO₂-Menge eines Autos schafft es, jährlich 74 Mio. m³ Luft, einem Würfel mit einer Kantenlänge von 420 m, vom heute schon bedenklichen CO₂-Wert von 350 ppm auf 700 ppm zu verdoppeln. Die Wissenschaft ist sich weltweit einig, daß eine CO₂-Konzentration in der Luft von 700 ppm verheerende Folgen für den Globus haben wird (Meeresspiegelanstieg, Temperaturerhöhung, Stürme, Trockenheit, klimabedingtes Waldsterben etc.).

74 000 000 m³

FAZIT Nr. 5:

Und wenn man sich fragt, wieviel m³ Luft durch einen PKW mit zusätzlichem CO₂ so angereichert werden, daß der heutige CO₂-Anteil von 350 ppm auf 365 ppm erhöht wird, also dem Anteil, den die Klimawissenschaftler für das Jahr 2000 erwarten, so ist festzuhalten, daß ein PKW für immerhin jährlich 1,7 Milliarden m³ verantwortlich ist. Dies ist ein Würfel mit einer Kantenlänge von 2 600 m.

1 700 000 000 m³

FAZIT Nr. 6:

Das sind die Zahlen für einen einzelnen durchschnittlichen PKW. In der Bundesrepublik Deutschland gibt es aber inzwischen 40 Millionen Autos, mit steigender Tendenz. Diese 40 Millionen Autos tragen die Verantwortung zur Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Erdatmosphäre bis zum Jahr 2000 in 68 000 000 000 000 000 m³ oder 68 000 000 km³ Luft, das ist ein Würfel mit einer Kantenlänge von 408 km. Die Erdatmosphäre hat aber nur eine Dicke von maximal 20 km, wobei nach oben hin die Atembarkeit der Luft stark abnimmt. Bei normaler Dichte atembare Luft von 1,3 g/Liter paßt die gesamte Luft der Erdatmosphäre zwischen Erd- bzw. Meeresboden und 10 km Höhe. 68 000 000 km³ entsprechen deshalb realistisch einem Quader von 10 km Höhe über einer Fläche von 6,8 Millionen km² oder 2 600 km Länge und 2 600 km Breite.

| |
|---|
| 68 000 000 000 000 000 m³ |
|---|

FAZIT Nr. 7:

Die gesamte Bundesrepublik Deutschland besitzt aber nur eine Fläche von 360 000 km². Die Luft über der Fläche unseres Landes könnte also nur 2 Millionen Autos verkraften. Und dies auch nur, wenn außer Autos keine anderen Energieverbraucher CO₂ freisetzen würden. Da Autos heute etwa ein Drittel der gesamten CO₂-Emissionen verursachen, sind wir Deutschen für den Anstieg der CO₂-Konzentrationen in rund 200 000 000 km³ Luft verantwortlich. Dies ist die Luft über der 60-fachen Fläche unseres Landes.

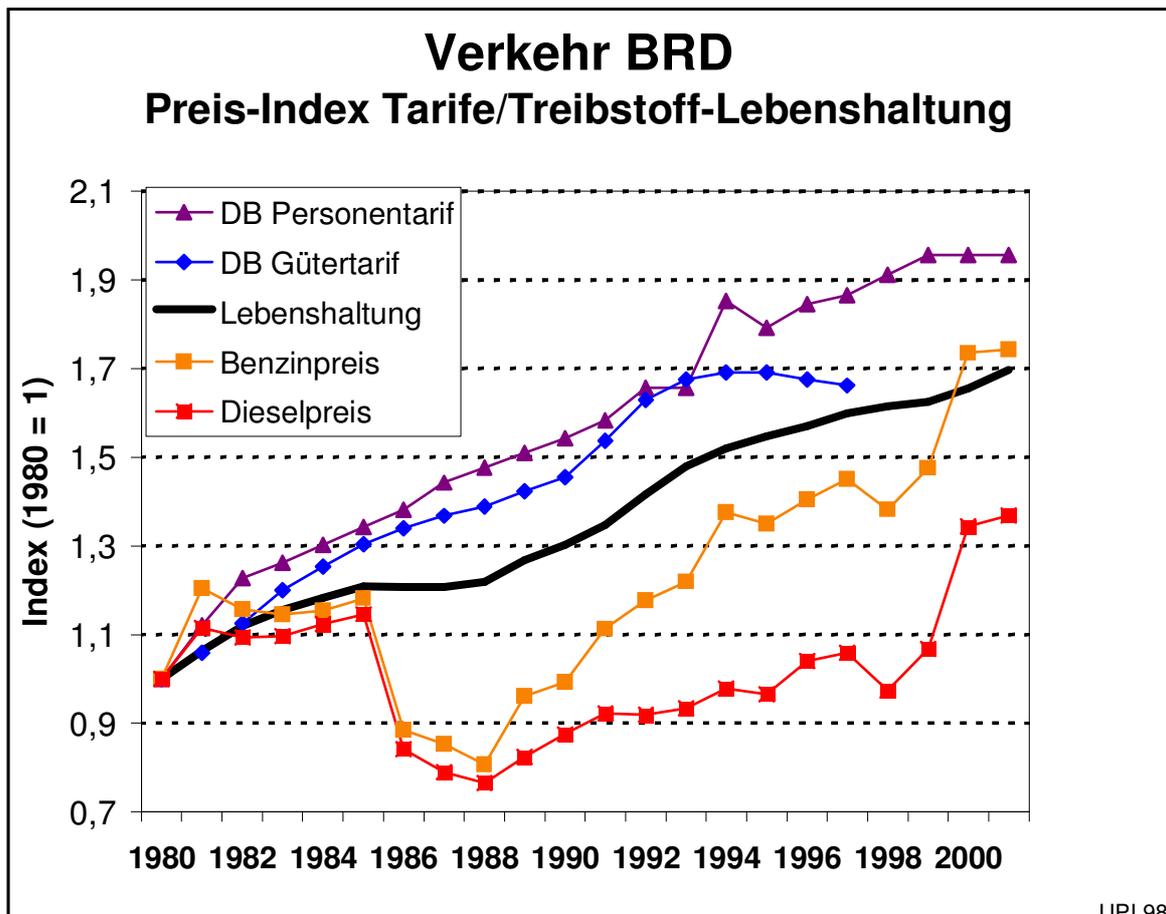
| |
|--|
| 200 000 000 000 000 000 m³ oder 200 000 000 km³ |
|--|

Mögliche Nebenwirkungen der Einführung sparsamer Autos

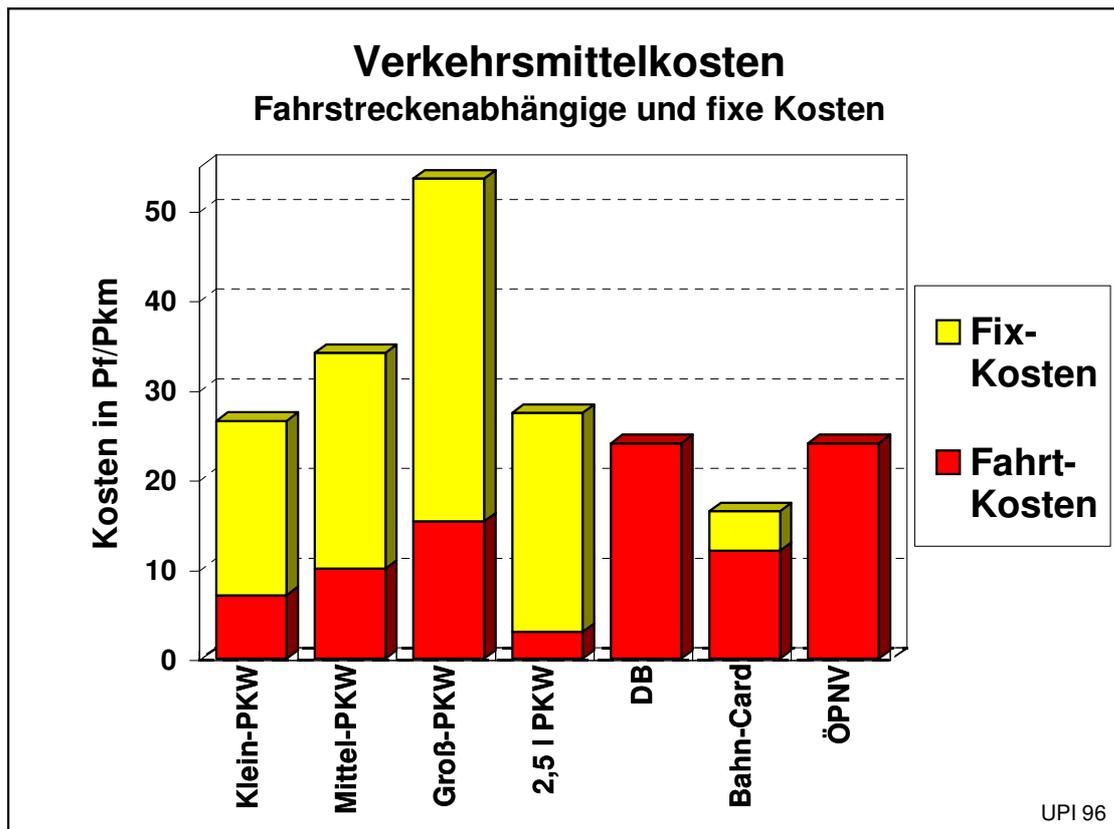
Bei einer Reduzierung des Treibstoffverbrauchs von PKW durch ordnungsrechtliche Maßnahmen (z.B. Festlegung von Grenzwerten für den Flottenverbrauch) und der Einführung neuer, sparsamer Fahrzeuge durch Marketingmaßnahmen (z.B. 2,5-Liter-Auto) müssen mögliche Nebenwirkungen in Form einer Erhöhung der Fahrleistungen durch Verbilligung der Treibstoffkosten beachtet werden.

Das Bild "Personenverkehr BRD - Preisindex Tarife/Benzin und Lebenshaltung" zeigt die Kostenentwicklung im Personenverkehr der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) im letzten Jahrzehnt im Vergleich zur allgemeinen Preisentwicklung. Aus dem Bild

ist ersichtlich, daß sich der Benzinpreis (als Hauptkomponente der fahrleistungsabhängigen Kosten des PKW-Verkehrs) auch mit der neuen Mineralölsteuererhöhung 1994 niedriger als die allgemeinen Lebenshaltungskosten entwickelte. Im Gegensatz dazu nahmen die Tarife der Bundesbahn deutlich stärker zu als die allgemeinen Lebenshaltungskosten. Die Preissignale weisen also in die falsche Richtung.



Die Bereitschaft zum Umsteigen auf den Öffentlichen Verkehr hängt u.a. von den vorliegenden Kostenstrukturen ab. Die Grafik "Verkehrsmittelkosten - Fahrstreckenabhängige und fixe Kosten" zeigt die Gesamtkosten verschiedener Verkehrsmittel, umgerechnet als Durchschnittskosten in Pfennig pro gefahrenem Personenkilometer. Daraus ist ersichtlich, daß der öffentliche Verkehr mit etwa 24 Pfennig/Personenkilometer Gesamtkosten in der Regel insgesamt billiger ist als der Autoverkehr mit Kosten zwischen 22 und 50 Pfennig/Pkm. (Die Kosten wurden für PKW bei durchschnittlicher Besetzung mit von 1,4 Personen pro Fahrzeug berechnet. Fahren mehr Personen im Auto, reduzieren sich die Fahrkosten pro Person entsprechend linear).

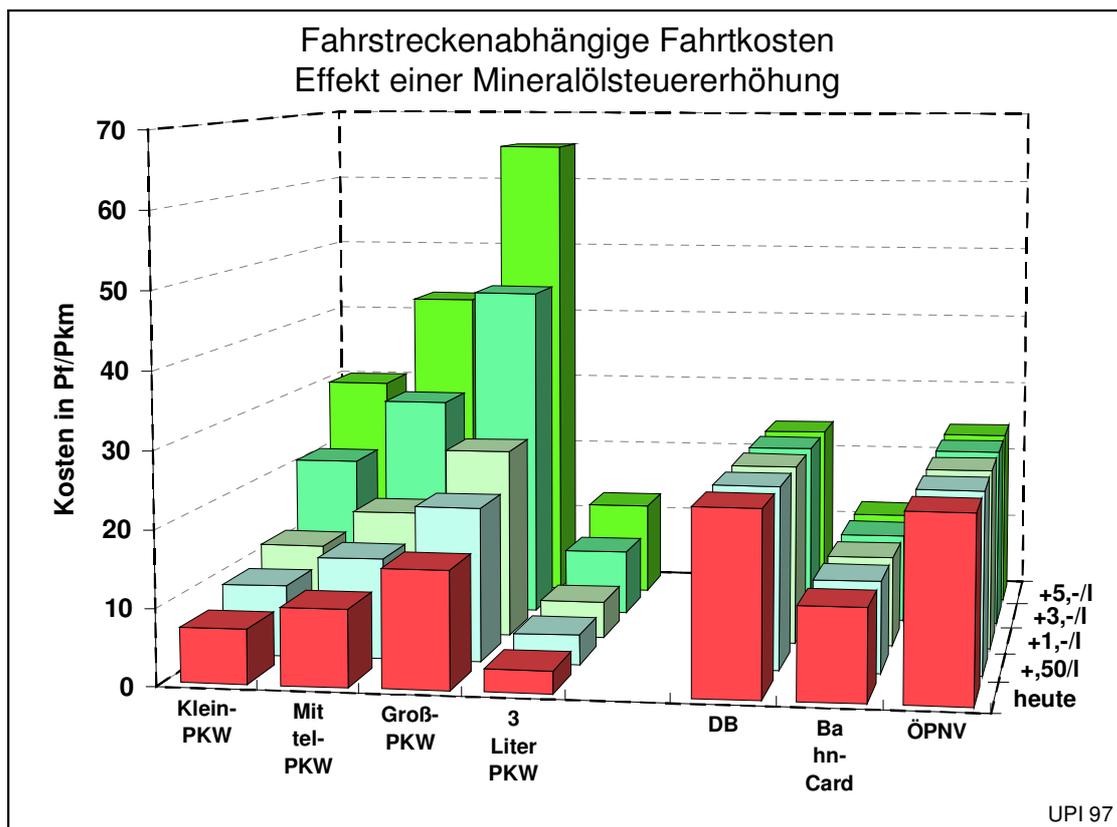


Das eigentliche Problem sind jedoch die fahrtstreckenabhängigen (oder variablen) Kosten, die ein Nutzer für die Fahrt mit dem PKW oder dem öffentlichen Verkehr pro gefahrenem Kilometer tatsächlich zahlen muß. Diese liegen im öffentlichen Verkehr deutlich höher als beim PKW. Die Ursache liegt darin, daß beim Auto der überwiegende Teil der gesamten anfallenden Kosten Fix-Kosten sind, die unabhängig davon anfallen, wieviele Kilometer mit dem Auto gefahren werden (Anschaffung des Autos, Kfz-Steuer, Kfz-Versicherung usw.). Die variablen Kosten hingegen, die in Abhängigkeit von der tatsächlich gefahrenen Fahrtstrecke anfallen (im wesentlichen die Treibstoffkosten), stellen beim Auto nur einen kleinen Teil der Gesamtkosten dar.

Dies führt zu der unbefriedigenden Situation, daß bei der konkreten Entscheidung, mit welchem Verkehrsmittel eine Fahrt zurückgelegt werden soll, die Kostensituation in den meisten Fällen eindeutig für das Auto spricht, sofern es einmal angeschafft wurde und die fixen Kosten dafür bezahlt sind. Solange diese ungleiche Kostensituation nicht eindeutig zugunsten des umweltfreundlichen öffentlichen Verkehrs geändert wird, läßt sich eine Trend-Umkehr und ein ins Gewicht fallendes Umsteigen vom Individual- auf den öffentlichen Verkehr nicht erreichen. Bleibt diese Kostenstruktur, wird auch in Zukunft der gesamte Zuwachs des Verkehrsgeschehens nur in den motorisierten Individualverkehr fließen und der Anteil des öffentlichen Verkehrs eine immer geringere Rolle spielen.

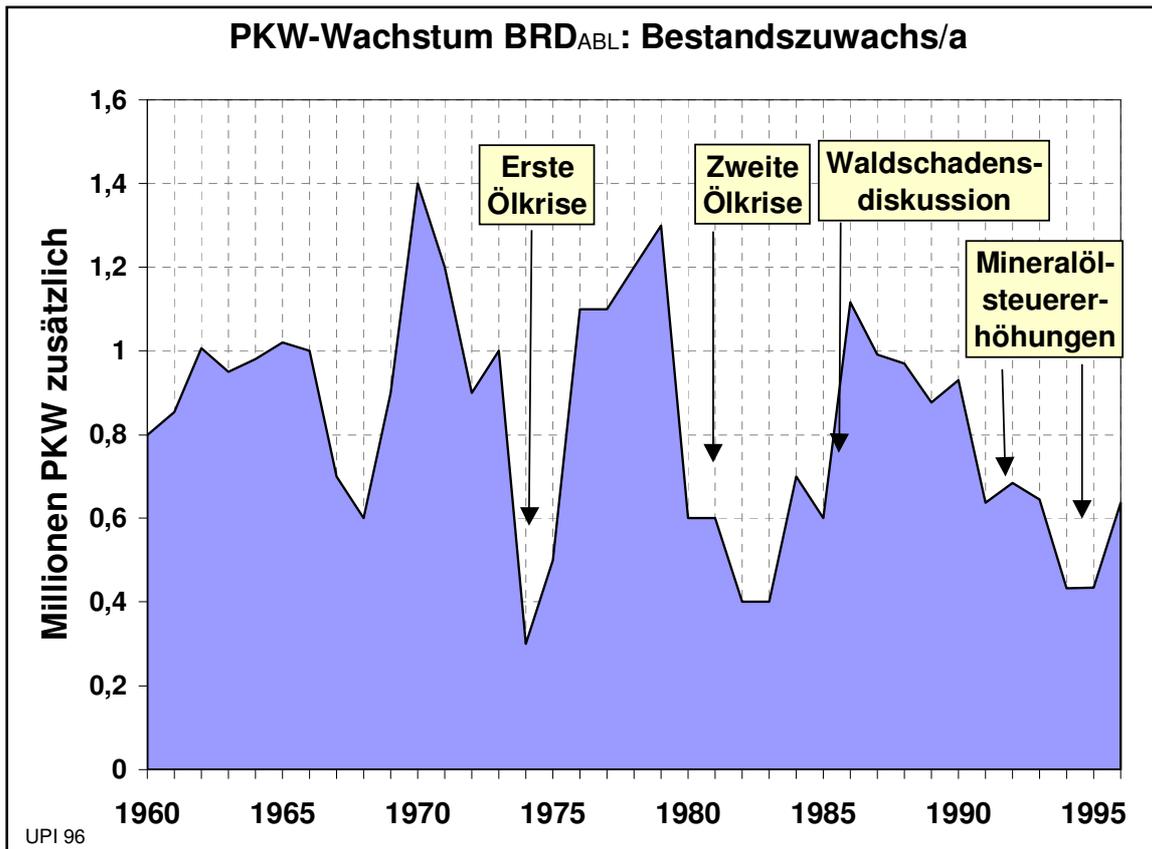
Die Grafik "Verkehrsmittelkosten - Effekt einer Mineralölsteuerverhöhung" zeigt die Höhe der fahrtstreckenabhängigen Kosten bei unterschiedlicher Erhöhung der Mineralölsteuer.

Es ist ersichtlich, daß die fahrstreckenabhängigen Kosten bei Kleinwagen erst bei einer Benzinpreiserhöhung von ca. 2,- DM/l in den Bereich der fahrstreckenabhängigen Kosten bei einem Halbprißpaß der Bundesbahn kommen. Mit neuen Fahrzeugkonzepten wie dem 2,5 Liter Auto würde man sogar noch bei einem Aufschlag von 3,- DM auf den Liter Benzin billiger fahren als mit der Bundesbahn. Erst bei 5,-DM/l Mineralölsteuererhöhung ergibt sich für alle Autotypen ein eindeutiges Preissignal zum Umsteigen auf die Bahn.



Der Effekt des Katalysator-Autos für die Luftverschmutzung wurde in der Vergangenheit weitgehend durch die Zunahme der Fahrleistungen, der Erhöhung der Fahrgeschwindigkeiten, der Leistungssteigerung der Neuwagen und der Zunahme der PKW-Zahl kompensiert.

Dabei hatte die Einführung des "schadstoffarmen" Autos selbst einen wichtigen psychologischen Effekt: man konnte sich wieder mit gutem Gewissen ein Auto kaufen. Bild "PKW-Wachstum BRD, Bestandszuwachs pro Jahr" zeigt die Entwicklung der PKW-Zahlen in den alten Bundesländern. Der Rückgang des PKW-Wachstums Anfang der achtziger Jahre (2. Ölkrise, Waldsterbensdiskussion) wurde durch den Kat-Boom voll kompensiert.

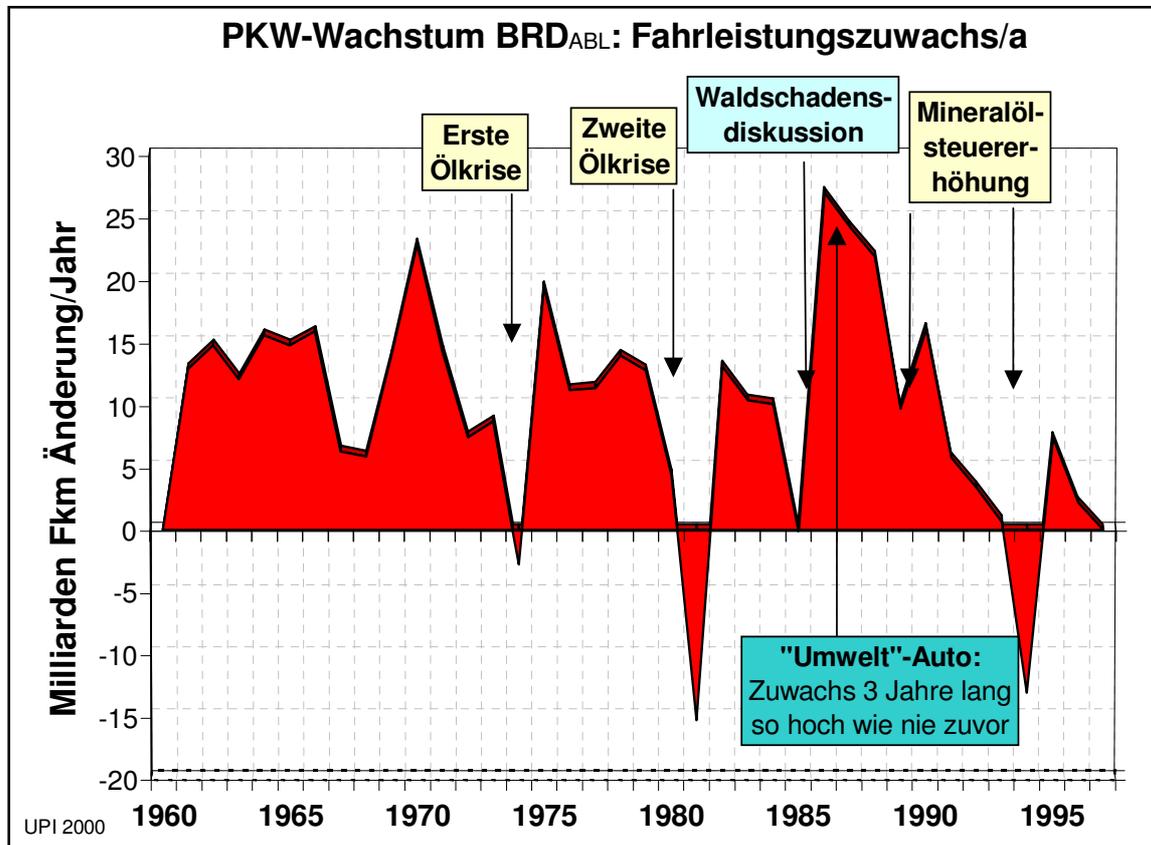


Die Grafik "PKW-Wachstum BRD/alt, Fahrleistungszuwachs pro Jahr" zeigt die jährlichen Änderungen der PKW-Fahrleistung in der BRD/alt. Hier zeigen sich die Effekte der Benzinpreiserhöhungen und die psychologischen Effekte der Waldsterbens-Diskussion und der Einführung des Katalysator-Autos noch deutlich stärker als am Bestandszuwachs. Durch die Einführung des in vielen Köpfen als "umweltfreundlich" wahrgenommenen Katalysator-Autos 1985 ging die durch die Waldsterbens-Diskussion ausgelöste Stagnation in der Fahrleistung mit einem Schlag zu Ende und **erreichte einen Fahrleistungszuwachs, der so hoch war wie noch nie zuvor.**

Es ist zu erwarten, daß die Einführung eines 2,5-Liter Autos zu einem ähnlichen und eventuell noch gravierenderen Wachstumsimpuls für den motorisierten Straßenverkehr führen wird. Das mit dem Fahrzeug verbundene gute "Öko"-Gewissen wäre wahrscheinlich noch ausgeprägter als beim Kat-Auto, da das Fahrzeug von außen (Größe, Gewicht etc.) als "Öko"-Auto erkennbar wäre. Auch der Wachstumsimpuls für die Automobilwirtschaft wäre wahrscheinlich größer, da 2,5-Liter Autos vornehmlich als Zweit- oder Drittfahrzeug angeschafft würden und so den ins Stocken geratenen Absatzmarkt vergrößern könnten.

Für den Nutzer eines 2,5-Liter Autos würden sich die fahrleistungsabhängigen Fahrtkosten bei mittlerer Besetzung (1,4 Personen/PKW) **auf 3 Pfennig/km reduzieren und wären damit viermal billiger als das Bahnfahren mit BahnCard !** Dies würde einen

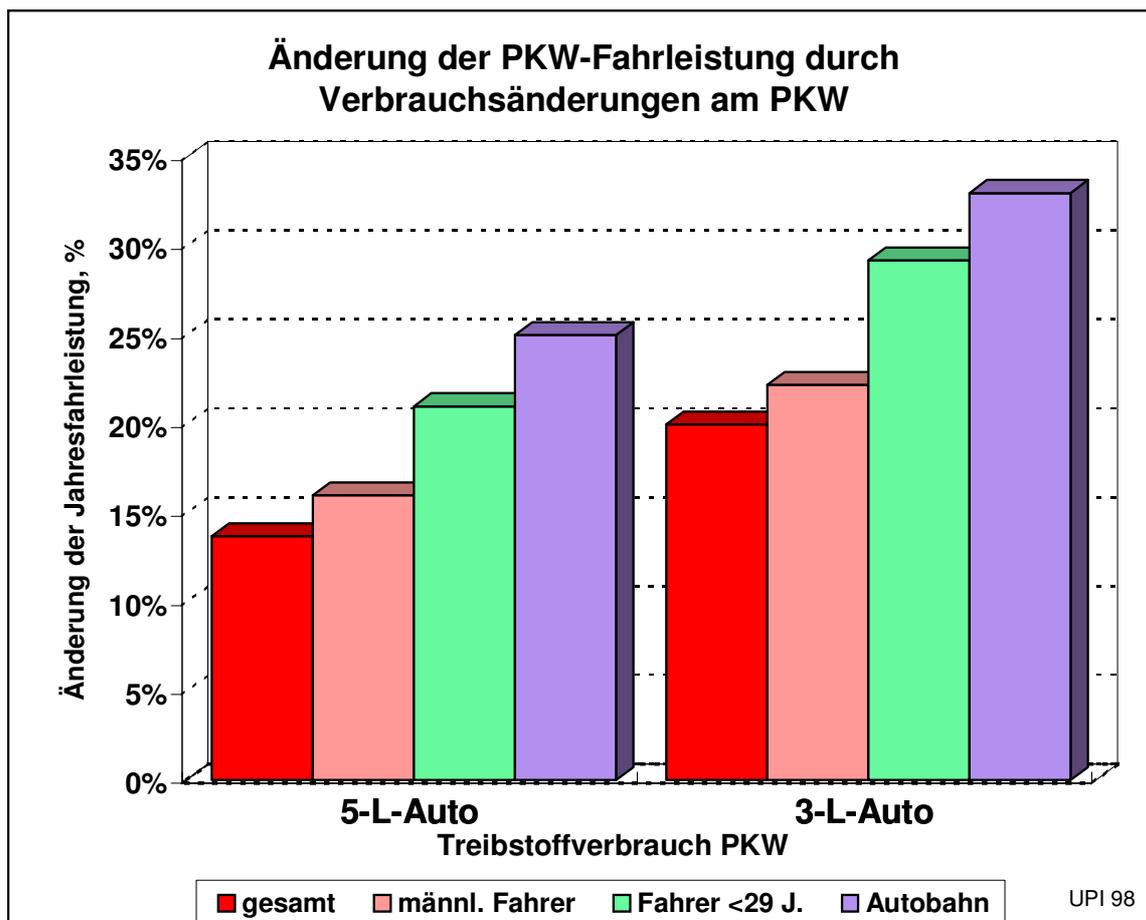
weiteren Wachstumsschub des Autoverkehrs mit all seinen Flächen-, Stau-, Unfall-, Lärm- und Emissionsproblemen bringen, die die positiven Effekte des 2,5-Liter-Autos bei weitem kompensieren würden.



Ähnliches gilt für die von der Bundesregierung geplante Reduzierung des Treibstoffverbrauchs durch die Festlegung von Grenzwerten für den Flottenverbrauch. Wird der spezifische Treibstoffverbrauch des einzelnen Fahrzeugs z.B. durch einen Flottenverbrauchsgrenzwert von 5 Liter pro 100 km im Vergleich zu heute knapp halbiert, halbieren sich auch die fahrleistungsabhängigen Kosten. Es ist möglich, die dadurch ausgelösten Fahrleistungszunahmen zu prognostizieren.¹²⁾ Die Grafik "Verbrauchsänderungen PKW - Änderung der PKW-Fahrleistung" zeigt die Ergebnisse. Durch eine Halbierung des durchschnittlichen Treibstoffverbrauchs und damit der durchschnittlichen Treibstoffkosten ist eine Erhöhung der Gesamtjahresfahrleistung um ca. 14 % zu erwarten. Überdurchschnittlich zunehmen würde die Fahrleistung von männlichen Fahrern (+ 16 %), von Fahrern unter 29 Jahren (+ 21 %) und auf Autobahnen (+ 25 %). Dies würde zu einer Beschleunigung des Verkehrsinfarkts, zu einer Zunahme der NO_x-Emissionen und zu einer Zunahme von Unfällen führen.

¹²⁾

UPI-Bericht 21 "Umweltwirkungen von Finanzinstrumenten im Verkehrsbereich", i.A. des Ministeriums für Stadtentwicklung und Verkehr NRW, 4.erw. Aufl. Juli 1994



Lösbar ist das Problem nur, wenn der Treibstoffpreis stufenweise über z.B. ein Jahrzehnt erhöht wird. In diesem Fall sinkt die Fahrleistung aller Fahrzeuge und sparsame Fahrzeuge werden von der Automobilwirtschaft von selbst (und ohne die beschriebenen Rückkopplungseffekte) auf den Markt gebracht. Eine Verdoppelung der Treibstoffpreise würde die Fahrleistungen z.B. um ca. 25 % und den Treibstoffverbrauch und damit die CO₂-Emissionen aus dem PKW-verkehr um ca. 40 % verringern.

Dieter Teufel, Petra Bauer, Rainer Lippold, Kurt Schmitt
September 1993/Mai 1999