



# **Systematischer Vergleich konkreter Fahrten im Personenverkehr im Hinblick auf umwelt- und klimarelevante Wirkungen verschiedener Verkehrsmittel**

von

V. Schmid, M. Wacker

Institut für Straßen- und Verkehrswesen,  
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik (ISV-VuV),  
Universität Stuttgart, Seidenstraße 36, 70174 Stuttgart

I. Kürbis, W. Krewitt, R. Friedrich

Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER),  
Universität Stuttgart, Heßbrühlstraße 49a, 70565 Stuttgart

Förderkennzeichen: PEF 498 001 / BWA 20016

Die Arbeiten des Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung werden mit  
Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert.

Februar 2001

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>Verzeichnis der Abbildungen.....</b>	<b>V</b>
<b>Verzeichnis der Tabellen.....</b>	<b>VI</b>
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Summary .....</b>	<b>X</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Vorgehensweise .....</b>	<b>5</b>
<b>3 Festlegung der zu untersuchenden Fahrten.....</b>	<b>7</b>
3.1 Planungsaufgaben.....	7
3.2 Fahrtzwecke .....	7
3.3 Ausgewählte Räume.....	9
3.3.1 Verkehr im Ballungsraum .....	9
3.3.2 Verkehr im ländlichen Raum.....	10
3.3.3 Regionalverkehr.....	12
3.3.4 Personenfernverkehr innerhalb Baden-Württembergs.....	13
3.4 Konkrete Relationen und Verkehrsmittel.....	14
3.4.1 Verkehr im Ballungsraum - Stuttgart.....	14
3.4.2 Verkehr im Ballungsraum – Freiburg i. Br.....	20
3.4.3 Verkehr im ländlichen Raum – Ravensburg/Friedrichshafen.....	23
3.4.4 Verkehr im ländlichen Raum – Tuttlingen .....	28
3.4.5 Regionalverkehr.....	31
<b>4 Untersuchte Entstehungs- und Wirkungskomponenten .....</b>	<b>41</b>
4.1 Allgemein.....	41
4.2 Untersuchte Wirkungskomponenten .....	42
4.2.1 Energieaufwendungen.....	42
4.2.2 Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) .....	42
4.2.3 Stickoxide (NO <sub>x</sub> ) .....	43

4.2.4 Kohlenmonoxid (CO) .....	44
4.2.5 Methan (CH <sub>4</sub> ) .....	44
4.2.6 Kohlenwasserstoffe (VOC) .....	45
4.2.7 Benzol.....	45
4.2.8 Partikel.....	46
4.3 Untersuchte Entstehungskomponenten.....	46
<b>5 Berechnung der direkten Energieaufwendungen und Emissionen</b> .....	<b>49</b>
5.1 Straßenfahrzeuge .....	49
5.1.1 Methodischer Ansatz .....	49
5.1.2 Fahrzeugdaten.....	50
5.1.3 Streckendaten.....	54
5.1.4 Einflussfaktoren für Kaltstartzuschläge, Verdampfungsemissionen und Tankatmung nach Motorabstellen .....	56
5.2 Schienenfahrzeuge .....	58
5.2.1 Fahrdynamische Grundlagen.....	58
5.2.2 Simulationsrechnung .....	63
5.2.3 Datengrundlage .....	68
5.2.4 Erläuterungen zu den Ergebnissen der Simulationsrechnung .....	75
5.2.5 Ermittlung der Emissionen der dieselgetriebenen Schienenfahrzeuge.....	77
<b>6 Berechnung der indirekten Energieaufwendungen und Emissionen</b> .....	<b>78</b>
6.1 Methodischer Ansatz .....	78
6.2 Kraftstoff- und Energiebereitstellung.....	80
6.2.1 Kraftstoffe (Benzin, Diesel) .....	81
6.2.2 Strombereitstellung.....	82
6.3 Fahrzeugbereitstellung .....	84
6.3.1 Bilanzrahmen und Methodik .....	84
6.3.2 Fahrzeugtypen.....	86
6.3.3 Zusammenstellung der Aufwendungen für die Fahrzeugbereitstellung .....	91
6.4 Infrastrukturbereitstellung .....	92

6.4.1	Bilanzrahmen und Methodik .....	93
6.4.2	Infrastrukturtypen.....	96
6.4.3	Zusammenstellung der Aufwendungen für die Infrastrukturbereitstellung	103
6.5	Zusammenfassung der Berechnung der indirekten Energieaufwendungen und Emissionen.....	107
<b>7</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>109</b>
7.1.1	Aufbau und Darstellung der Ergebnisdiagramme .....	109
7.2	Beschreibung der Ergebnisse.....	113
7.2.1	Verkehr im Ballungsraum - Stuttgart.....	113
7.2.2	S-West – Möhringen-Freibad (Relation 02) .....	118
7.2.3	Leinfelden – Hauptbahnhof (Relation 03) .....	119
7.2.4	Verkehr im Ballungsraum – Freiburg i. Br.....	122
7.2.5	Verkehr im ländlichen Raum – Ravensburg/Friedrichshafen.....	124
7.2.6	Verkehr im ländlichen Raum – Tuttlingen .....	130
7.2.7	Regionalverkehr – Region Stuttgart (Schorndorf/Stuttgart) .....	137
7.2.8	Personenfernverkehr innerhalb Baden-Württembergs.....	153
7.3	Überprüfung des Einflusses der untersuchten Randbedingungen.....	156
7.3.1	Besetzungsgrad der Fahrzeuge.....	156
7.3.2	Unterschiedliche Wegelängen bei verschiedenen Verkehrsmitteln .....	159
7.3.3	Berücksichtigung von Vor- und Nachläufen mit anderen Verkehrsmitteln	162
7.3.4	Unterschiedliche Betriebszustände zu verschiedenen Tageszeiten .....	164
7.3.5	Einfluss der Energiebereitstellung .....	166
7.3.6	Einfluss der Fahrzeugbereitstellung und der Infrastrukturbereitstellung ...	169
7.3.7	Variation der verwendeten Fahrzeuge.....	172
7.4	Fazit .....	174
7.4.1	Aussagen im Vergleich Individualverkehr/öffentlicher Verkehr .....	174
7.4.2	Aussagen im Vergleich öffentlicher Verkehr/öffentlicher Verkehr .....	176
7.4.3	Aussagen im Vergleich Individualverkehr/Individualverkehr .....	177
7.4.4	Aussagen aus der Berücksichtigung der vorgelagerten Prozesse.....	177
7.5	Schlussbemerkung .....	178

<b>8</b>	<b>Literatur- und Kartenverzeichnis.....</b>	<b>180</b>
8.1	Literaturverzeichnis.....	180
8.2	Kartenverzeichnis .....	182

## **Anhang**

Diagramme

Tabellen

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 3-1: Stuttgart-Möhringen – Berliner Platz (Relation 01) .....	15
Abbildung 3-2: S-West – Möhringen-Freibad (Relation 02) .....	17
Abbildung 3-3: Leinfelden – Hauptbahnhof (Relation 03) .....	19
Abbildung 3-4: Freiburg-Rieselfeld – Freiburg-Zentrum (Relation 04) .....	20
Abbildung 3-5: Freiburg-Rieselfeld – Schauinsland (Relation 05) .....	21
Abbildung 3-6: Gottenheim – Freiburg-Zentrum (Relation 06) .....	23
Abbildung 3-7: Schlier – Ravensburg-Zentrum (Relation 07) .....	24
Abbildung 3-8: Schlier – Ravensburg-Sport (Relation 08) .....	25
Abbildung 3-9: Schlier – Friedrichshafen (Relation 09) .....	26
Abbildung 3-10: Bärenthal – Tuttlingen (Relation 10) .....	29
Abbildung 3-11: Schorndorf – Stuttgart-Berliner Platz (Relation 11) .....	31
Abbildung 3-12: Rudersberg – Stuttgart-Berliner Platz (Relation 12) .....	33
Abbildung 3-13: S-West – Rudersberg (Relation 13) .....	35
Abbildung 3-14: Stuttgart-Möhringen – Mannheim-Zentrum (Relation 14) .....	36
Abbildung 3-15: Mannheim – Basel (Relation 15) .....	38
Abbildung 3-16: Freiburg – Lindau (Relation 16) .....	39
Abbildung 4-1: Untersuchte Entstehungskomponenten und die jeweils bearbeitenden Institute .....	47
Abbildung 6-1: Hauptprozesse einer Transportdienstleistung .....	79
Abbildung 7-1: Beispiel für die Darstellung der Ergebnisse (nach Entstehungskomponenten differenziert) .....	110
Abbildung 7-2: Beispiel für die Darstellung der Ergebnisse (nach Verkehrsmitteln differenziert) .....	112

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 5-1. Verkehrsleistungsanteile der Pkw-Fahrzeugschichten 1999 (nach HB EFA 1.1) .....	52
Tabelle 5-2: Verkehrsleistungsanteile der Linienbus-Fahrzeugschichten 1999 (nach HB EFA 1.1) (Lbus: Linienbus; SMW: Schwere Motorwagen) .....	53
Tabelle 5-3: Längsneigungsklassen und Eingabewerte .....	55
Tabelle 5-4: Verkehrssituationen des Handbuchs für Emissionsfaktoren .....	55
Tabelle 5-5: Standzeiten der einzelnen Fahrtzwecke .....	57
Tabelle 5-6: Zuordnung von Strecken und Zügen .....	65
Tabelle 5-7: Wagenzugkonfigurationen für Regionalexpress Schorndorf – Stuttgart (Lokomotive: Baureihe 110) .....	66
Tabelle 5-8: Wagenzugkonfigurationen Regionalexpress Ravensburg – Friedrichshafen (Lokomotive: Baureihe 218) .....	67
Tabelle 5-9: InterRegio-Wagenzugkonfiguration .....	67
Tabelle 5-10: Wagenzugkonfiguration für Regionalexpress Freiburg i. Br. – Basel Bad Bf. ....	68
Tabelle 5-11: Daten der Triebwagen und Triebfahrzeuge (1) .....	69
Tabelle 5-12: Daten der Triebwagen und Triebfahrzeuge (2) .....	70
Tabelle 5-13: Wagendaten (1) .....	71
Tabelle 5-14: Wagendaten (2) .....	71
Tabelle 6-1. Ermittelte Sachbilanzgrößen zur Kraftstoffbereitstellung .....	81
Tabelle 6-2: Strombezug der Bahnsysteme und ermittelte Sachbilanzgrößen zur Strombereitstellung frei Fahrleitung .....	83
Tabelle 6-3: Fahrzeugtypen mit Kenndaten und ermittelten Sachbilanzgrößen pro Fzkm .....	91
Tabelle 6-4: Fahrzeugtypen mit Kenndaten und ermittelten Sachbilanzgrößen pro Fzkm (ff) .....	92
Tabelle 6-5: Bilanzierte Teilaggregate der Straßen .....	98
Tabelle 6-6: Bilanzierte Teilaggregate der Schienenwege .....	99
Tabelle 6-7: Ermittelte Sachbilanzgrößen zur Infrastrukturbereitstellung (Bahn) .....	104
Tabelle 6-8. Ermittelte Sachbilanzgrößen zur Infrastrukturbereitstellung (Straße) .....	106

Tabelle 7-1: Vergleich durchschnittliche Auslastung zwischen ursprünglicher Berechnung und Modellrechnung (Relation 10) .....	131
Tabelle 7-2: Vergleich der Wegelängen der einzelnen Varianten.....	159
Tabelle 7-3: Emissionen durch Energiebereitstellung bei verschiedenen Strommischen .....	169



## Zusammenfassung

Die Beurteilung verkehrsplanerischer Maßnahmen zur Verringerung der Umweltbelastungen erfolgte in der Vergangenheit anhand pauschaler, auf die Verkehrsleistung bezogener Durchschnittsfaktoren. Gegen die Verwendung dieser Faktoren spricht, dass mit ihnen z.B. unterschiedliche Wegelängen bei einzelnen Verkehrsmitteln, Vor- und Nachläufe mit anderen Verkehrsmitteln und v.a. schwankende Auslastungsgrade nicht berücksichtigt werden.

Deshalb sollen mit einem den berichtenden Instituten zur Verfügung stehenden Instrumentarium die Energieaufwendungen und Emissionen, die bei konkreten Fahrten von einem Ausgangspunkt A zu einem Zielpunkt B mit verschiedenen Verkehrsmitteln entstehen, so exakt wie möglich ermittelt und verglichen werden. Neben den direkten, antriebsbedingten Energieaufwendungen und Emissionen werden auch indirekte Energieaufwendungen und Emissionen für die Energie-, die Infrastruktur- und die Fahrzeugbereitstellung ermittelt.

Die ausgewählten, konkreten Fahrten stellen für Baden-Württemberg typische Planungsaufgaben dar. So werden Relationen im Berufs- und Ausbildungsverkehr, im Einkaufsverkehr, Freizeitverkehr sowie im Geschäftsreiseverkehr untersucht in den Ballungsräumen Stuttgart und Freiburg, im Regionalverkehr zwischen Schorndorf und Stuttgart sowie Mannheim und Stuttgart, im ländlichen Raum zwischen Ravensburg und Friedrichshafen sowie im Donautal bei Tuttlingen und im Personenfernverkehr innerhalb Baden-Württembergs zwischen Mannheim und Basel sowie Freiburg und Lindau.

Die Ergebnisse der Studie bestätigen in vielen Fällen die allgemein vertretene These, wonach der öffentliche Verkehr umweltfreundlicher ist als der Individualverkehr. Die Stadtbahn- und S-Bahn-Systeme in den untersuchten Ballungsräumen erweisen sich klar als die umweltfreundlichsten Verkehrsmittel. Allerdings wird der ÖV unter einer Reihe von Randbedingungen hinsichtlich seiner umweltrelevanten Wirkungen deutlich ungünstiger als der Individualverkehr. Dies ist vor allem bei geringen Auslastungen im ländlichen Raum der Fall.

Für die Beseitigung dieser Schwachstellen des ÖV, die teils im fahrzeugtechnischen, teils im verkehrsplanerischen Bereich, aber auch in vorgelagerten Prozessen wie der Energiebereitstellung liegen, werden einige Maßnahmen aufgezeigt. Ein hoher Stellenwert kommt hier den fahrzeugtechnischen Verbesserungen von Schienen- wie Straßenverkehrsmitteln zu. Dies ist vor allem unter dem Gesichtspunkt der zu erwartenden

fahrzeugtechnischen Verbesserungen im Individualverkehr für den Vergleich der Verkehrsmittel von Bedeutung.

Die Ergebnisse können allerdings lediglich für die Beurteilung von Maßnahmen der Verkehrsplanung, des Fahrzeugeinsatzes und der Energiebereitstellung hinsichtlich ihrer umweltrelevanten Wirkungen verwendet werden, und nicht als Entscheidungsgrundlage für einzelne Nutzer bei der Frage nach dem jeweils umweltfreundlichsten Verkehrsmittel.

Bemerkenswert sind die z.T. sehr geringen Abstände zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln, die dazu anregen sollten, bei der Diskussion um das umweltfreundlichste Verkehrsmittel jeweils den Einfluss der hier untersuchten Faktoren zu bedenken und weniger vorschnell allgemein verbreitete Meinungen zu vertreten.

## Summary

In the past the evaluation of traffic planning measures intended to reduce environmental pollution has been done with the help of general average emission units calculations (based on traffic performance). A series of arguments have been raised against the usage of these factors due to the fact that differences in travel length for different modes of transportation, pre-trip and post-trip travels as well as differences in vehicle capacity utilisation are not taken into consideration.

For this reason with the help of the instruments at their disposal the reporting institutes intend to furnish an appropriate evaluation and an accurate comparison of the energy consumption and emissions occurring in real travels from point A to point B using different means of transportation. Along with the direct energy consumption and emissions occurring for the actuation of the vehicles an evaluation of the indirectly occurring energy consumption and emissions spent for the provision of energy, infrastructure and vehicles will be conducted.

The selected real trips represent typical planning tasks for the state of Baden-Württemberg. To this end, we investigate transportation needs for commuter traffic, for educational needs, shopping, business and leisure traffic in the metropolitan areas of Stuttgart and Freiburg, of the regional traffic between Schorndorf and Stuttgart, as well as Mannheim and Stuttgart, of the rural areas Ravensburg/Friedrichshafen along with the region of the Danube valley nearby Tuttlingen. The long-distance passenger traffic in the state of Baden-Württemberg between Mannheim and Basel and Freiburg and Lindau are also part of this examination.

The results of the study confirm in many cases the generally accepted opinion that public transportation is more environmentally friendly than individual transportation. The city rail and the rapid rail transit systems in the examined urban areas are definitely the most environmentally friendly modes of transportation. However under certain conditions public transportation becomes less environmentally friendly with respect to environmentally relevant effects in comparison to individual transportation. This is mainly the case in rural areas characterised by a low degree of occupancy.

In order to eliminate these weak points of public transportation that occur partly in the sector of vehicle technology and partly in the transportation planning sector but also in the preliminary process of energy provision a series of measures is presented. A major aspect of these measures is the technological improvement of rail bound and road bound vehicles. The importance of this measure is obvious especially against the

background of the technological improvements of the vehicles for individual transportation. These improvements are of major importance for the comparison between the different modes of transportation.

However the obtained results can only be used for the evaluation of transportation planning measures with respect to their environmentally relevant effects and not as a basis for decisions of individual users on the vehicle with the highest degree of environmental friendliness.

The sometimes indeed very small distances between the different modes of transportation should induce discussions in which the influence of the factors examined in this study are taken into consideration and in which the premature acceptance of generally valid opinions is avoided.

# 1 Einleitung

Bei der Verringerung der durch den Personenverkehr verursachten Umweltbelastungen mittels verkehrsplanerischer Maßnahmen gilt als zentrale Strategie die Verlagerung von im motorisierten Individualverkehr erbrachter Verkehrsleistung auf öffentliche Verkehrsmittel. Auch der Generalverkehrsplan Baden-Württemberg 2010<sup>1</sup> setzt sehr stark auf diese Strategie. So soll sich bei einem Wachstum der gesamten Personenverkehrsleistung (ohne Luftverkehr) um 21% der Anteil der Bahn (Fernverkehr) am gesamten Personenverkehr von 3,8 % in 1990 auf 8,7% in 2010 (Gestaltungsszenario) erhöhen. Der Anteil des öffentlichen Personennahverkehrs (Straße und Schiene) soll allerdings nur von 6,9% in 1990 auf 7,6% in 2010 steigen.

Die Wirkungen dieser Maßnahmen wurden in der Vergangenheit anhand pauschaler, auf die Verkehrsleistung bezogener Durchschnittsfaktoren beurteilt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen vermitteln jedoch oftmals ein verzerrtes, nicht wirklichkeitsgetreues Bild, da eine Reihe von Aspekten mit diesen, die durchschnittlichen Verhältnisse beschreibenden Energieverbrauchs- und Emissionsfaktoren nicht berücksichtigt werden können.

Dabei ist insbesondere von folgenden Einflussgrößen ein nennenswerter Einfluss zu erwarten:

- Der Besetzungsgrad ist vor allem im öffentlichen Verkehr zwischen Haupt- und Nebenverkehrszeiten starken Schwankungen unterworfen.
- Eine konkrete Transportaufgabe (Fahrt) führt bei den einzelnen Verkehrsmitteln zu unterschiedlichen Wegelängen (Umwege).
- Vor- und Nachläufe mit anderen Verkehrsmitteln müssen berücksichtigt werden.
- Die einzelnen Fahrten finden auf der selben Relation zu unterschiedlichen Tageszeiten vor allem im Individualverkehr mit sehr unterschiedlichen Betriebszuständen statt, wenn in der Hauptverkehrszeit z.B. Überlastungen und Stauungen auftreten.

Aus folgenden Einflussgrößen ergeben sich weitere Unterschiede:

- Bereitstellung der Mineralölprodukte,

---

<sup>1</sup> VERKEHRSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1995)

- Zusammensetzung des Kraftwerkparks, der die Strombereitstellung im Falle der Elektrotraktion zugrunde liegt,
- nicht antriebsbedingter Energieaufwand für die Produktion, die Instandhaltung und die Entsorgung der Verkehrsmittel sowie
- nicht antriebsbedingter Energieaufwand für den Bau, den Betrieb und die Unterhaltung der Verkehrswege.

Aufgabe des vorliegenden Forschungsvorhabens ist es, durch eine exakte Abbildung konkreter Transportaufgaben von einem Ausgangsort A zu einem Zielort B einen Vergleich verschiedener Verkehrssysteme hinsichtlich des kumulierten Energieaufwandes und der kumulierten umwelt- und klimarelevanten Emissionen durchzuführen, um einen Beitrag zur Klärung der oben angesprochenen Punkte zu liefern.

Hierzu steht den Bearbeitern ein Instrumentarium zur Verfügung, das es erlaubt, sowohl direkte - antriebsbedingte - Energieaufwendungen und Emissionen zu ermitteln, als auch indirekte Energieaufwendungen und Emissionen zu berücksichtigen, wie die Energiebereitstellung, die Fahrzeugbereitstellung und die Infrastrukturbereitstellung.

Der Vergleich zwischen den Verkehrsmitteln erfolgt anhand der jeweils für die Fahrt einer Person notwendigen Energieaufwendungen und der damit verbundenen Emissionen.

Die zu untersuchenden konkreten Fahrten sollen für Baden-Württemberg ausgewählte Situationen abbilden. Es werden Fahrten in verschiedenen Räumen (Ballungsraum, ländlicher Raum, Regionalverkehr) für verschiedene Transportaufgaben (Berufsverkehr, Einkaufsverkehr, Freizeitverkehr) untersucht. Hierbei werden die tatsächlich auf den einzelnen Relationen vorhandenen Verkehrssysteme unter möglichst realistischer Abbildung der aktuellen Randbedingungen untersucht. In Parametervariationen werden dann für ausgewählte Relationen mögliche zukünftige Situationen und Randbedingungen berücksichtigt, wie z.B. verbesserte Pkw-Antriebskonzepte, andere Schienenfahrzeuge oder höhere Auslastungen der Fahrzeuge.

Als Ergebnis soll überprüft werden, wie stark der Einfluss der genannten Größen ist, wo bei den einzelnen Verkehrssystemen die relevanten Schwachstellen zu lokalisieren sind, und ob tradierte Planungsvorstellungen bezüglich der umwelt- und klimarelevanten Wirkungen des Verkehrs überdacht werden müssen.

Nach dieser Einleitung gliedert sich der Bericht in folgende Kapitel:

Kapitel 2 bis 4 des Berichts widmen sich dem methodischen Grundkonzept. In Kapitel 2 wird zunächst die generelle Vorgehensweise bei der Bearbeitung dieses Forschungsvorhabens beschrieben. Dies betrifft sowohl den inhaltlichen Ansatz des Forschungsvorhabens als auch die formale Aufgliederung in die einzelnen Arbeitspakete und deren Bearbeitung. Die Abkehr von der Verwendung pauschaler Emissionsfaktoren führt dazu, dass konkrete Transportaufgaben definiert werden müssen. In Kapitel 3 werden daher zunächst die Planungsaufgaben, in deren Rahmen die Fahrten stattfinden, vorgestellt, die Transportaufgaben erläutert, die ausgewählten Räume vorgestellt und deren Auswahl begründet, die konkreten Relationen beschrieben und die jeweils untersuchten Verkehrsmittel aufgeführt.

In Kapitel 4 werden die untersuchten Entstehungs- und Wirkungskomponenten vorgestellt.

Die Wirkungsweise der untersuchten Wirkungskomponenten (Energieaufwendungen, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, VOC, Benzol, Partikel) wird als Überblick dargestellt, differenziert nach lokalen, regionalen und globalen Wirkungen.

Danach werden die sogenannten Entstehungskomponenten erläutert. Hier wird differenziert nach Energieaufwendungen und Emissionen, die direkt am Fahrzeug anfallen, jenen, die durch die Energiebereitstellung und jenen die durch die Bereitstellung der Fahrzeuge und der Infrastruktur verursacht werden.

In den Kapiteln 5 und 6 wird die Methodik der Berechnungen vorgestellt, und zwar in Kapitel 5 bezüglich der direkten Energieaufwendungen und Emissionen für die Straßen- und die Schienenfahrzeuge, und in Kapitel 6 bezüglich der indirekten Energieaufwendungen und Emissionen, d.h. der Energie-, Fahrzeug- und Infrastrukturbereitstellung.

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens finden sich in Kapitel 7 und 8. Hierzu wird in Kapitel 7 zunächst die Art der Ergebnispräsentation formal erläutert, während in Kapitel 8 die Ergebnisse für die einzelnen Planungsaufgaben vergleichend diskutiert werden.

Das Forschungsvorhaben wurde gemeinsam bearbeitet vom Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Lehrstuhl Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik (ISV-VuV) der Universität Stuttgart (Federführung) und dem Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart. Mit der Berechnung der direkten Energieaufwendungen der Schienenfahrzeuge wurde das Institut für Schienenfahrzeuge und maschinelle Bahnanlagen der Universität Hannover beauftragt.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass sich die in dieser Studie erarbeiteten Ergebnisse nicht als Grundlage für die individuelle Verkehrsmittelwahlentscheidung eines Einzelnen eignen, der für eine Fahrt von A nach B das umweltfreundlichste Verkehrsmittel nutzen will. Solange man davon ausgehen kann, dass öffentliche Verkehrsmittel unabhängig davon verkehren, ob Fahrgäste vorhanden sind oder nicht, sind die öffentlichen Verkehrsmittel immer die umweltfreundlichere Alternative, da in diesem Fall die entsprechende Pkw-Fahrt ja gar nicht stattfindet. Die durch den Transport einer zusätzlichen Person im ÖV verursachten zusätzlichen Energieaufwendungen und Emissionen sind so marginal, dass sie, zumindest bei den hier untersuchten Verkehrsmitteln, von den von einer Pkw-Fahrt verursachten Energieaufwendungen und Emissionen in jedem Fall übertroffen werden. Die hier erarbeiteten Ergebnisse sollen allerdings Grundlage und Hilfestellung verkehrsplanerischer und verkehrspolitischer Entscheidungen sein, bei denen es darum geht, ob Fahrten im öffentlichen Verkehr überhaupt angeboten werden sollen und wenn ja, in welcher Form diese so umweltfreundlich als möglich durchgeführt werden können. Damit können auch konkret Schwachstellen im ÖPNV-System aufgedeckt werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass der öffentliche Personennahverkehr nicht automatisch – quasi per definitionem – umweltfreundlicher sein muss als die Nutzung des privaten Pkw.



## 2 Vorgehensweise

Um wie in der Einleitung beschrieben, konkrete Fahrten des Personenverkehrs auf Relationen von einem Ort A zu einem Ort B vergleichen zu können, müssen diese Fahrten zuvor nach einer speziellen Systematik festgelegt werden.

Eine allgemeine Repräsentativität der Relationen für sämtliche Beförderungsfälle in Baden-Württemberg zu erreichen, ist unmöglich. Dennoch wurde versucht, für Baden-Württemberg ‚typische‘ Situationen zu definieren. Deren Auswahl erfolgte so, dass die größtmögliche Bandbreite der Wirkungen der Einflussgrößen abgedeckt wird.

Zunächst werden über den Begriff der Planungsaufgabe Verkehre in unterschiedlich strukturierten Räumen definiert. Jeder dieser allgemein definierten Räume wird beispielhaft durch konkrete Räume in Baden-Württemberg belegt. Mit der Auswahl der konkreten Räume soll jeweils versucht werden, einen typischen oder auch neuen und in Fachkreisen diskutierten Ansatz der Verkehrsplanung untersuchen zu können.

Außerdem werden Fahrtzwecke definiert, die der Anlass für die einzelnen untersuchten Fahrten auf einer Relation sein sollen. Die Fahrtzwecke werden in der Betrachtung der Fahrten so umgesetzt, dass davon ausgegangen wird, dass Fahrten in einem bestimmten Zeitfenster alle mehrheitlich dem selben Fahrtzweck dienen. Die Auswahl der Fahrtzwecke erfolgt nun dahingehend, dass alle über den Tag wichtigen Zeitfenster abgedeckt sind. Damit ist es möglich, die über diese Zeitfenster variierenden, real vorliegenden Gegebenheiten, d.h. die Auslastungen der Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs und die Verkehrszustände auf den Straßen zu untersuchen.

Die Auswahl der konkreten Relationen innerhalb der zu untersuchenden Räume erfolgt unter der Vorgabe, dass die ausgewählte Fahrt für möglichst viele in diesem Raum vorkommende Fahrten exemplarisch sein kann. So wurden die Startpunkte in Gebiete, in denen auch real viele Fahrten beginnen (Wohngebiete), gelegt und die Zielpunkte in Gebiete, die auch real Ziele für viele Fahrten bereithalten (Arbeitsplätze, Einkaufsmöglichkeiten etc.).

Für diese so örtlich und zeitlich exakt definierten Fahrten werden nun unterschiedliche Fahrtenketten von Haustür zu Haustür definiert, basierend auf den für diese Fahrten real existierenden und praktizierten Möglichkeiten.

Dann erfolgt eine umfangreiche Berechnung der für diese Fahrten notwendigen Energieaufwendungen und der dabei anfallenden Emissionen, wobei neben den direkten,

am Fahrzeug anfallenden auch die indirekten Energieaufwendungen und Emissionen (Energiebereitstellung, Bau, Unterhaltung und Entsorgung von Infrastruktur und Fahrzeugen) Berücksichtigung finden.

Als Grundlage für diese Berechnungen wird deshalb eine umfangreiche Datensammlung der bestimmenden Einflussgrößen durchgeführt:

- Länge und Topographie der befahrenen Verkehrswege,
- Fahrtverlauf der einzelnen Verkehrsmittel (Verkehrszustände),
- tatsächlich eingesetzte Fahrzeuge,
- Auslastung der jeweiligen Verkehrsmittel,
- Bereitstellung der Endenergie für die verschiedenen Verkehrsträger,
- Herstellung, Betrieb und Instandhaltung der Verkehrsinfrastruktur,
- Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung der Verkehrsmittel.

Mit diesen Daten werden nun die Energieaufwendungen und Emissionen berechnet, die für den Transport einer Person von A nach B benötigt werden, bzw. dieser Fahrt angelastet werden können.

Als Ergebnis werden dann die kumulierten Energieaufwendungen und Emissionen für die verschiedenen Verkehrsmittelvarianten für einen Transportvorgang nebeneinander gestellt, aufgeteilt entweder nach direkten Aufwendungen und Aufwendungen für Energie-, Fahrzeug- und Infrastrukturbereitstellung oder bei Fahrten, an denen mehrere Verkehrsmittel beteiligt sind (gebrochene Verkehre), auch aufgeteilt nach verschiedenen Verkehrsmitteln.

Anhand dieser Ergebnisse lassen sich nun Aussagen darüber treffen, welcher Energieverbrauch und welche Emissionen wirklich mit dem Transport einer Person mit den verschiedenen Verkehrsmitteln in Verbindung stehen, wie groß die Unterschiede zueinander sind, und welche Einflussgrößen letztendlich ausschlaggebend für das ermittelte Ergebnis sind.

## 3 Festlegung der zu untersuchenden Fahrten

### 3.1 Planungsaufgaben

Für die Festlegung der zu untersuchenden Fahrten werden zuerst verschiedene Planungsaufgaben definiert, die Verkehre in unterschiedlich strukturierten Räumen darstellen sollen:

- Verkehr im Ballungsraum:  
Diese Bezeichnung steht für Transportvorgänge im Zentrum eines größeren Ballungsraumes, hauptsächlich vom Stadtrand in die Innenstadt, bzw. vom näheren Umland in die Innenstadt.
- Verkehr im ländlichen Raum:  
Fahrten in deutlich ländlich strukturierten Räumen, abseits der großen Ballungsräume. Die Fahrten orientieren sich allerdings mit ihren Zielen, um die Beispielhaftigkeit der Fahrt zu gewährleisten, ebenfalls an den jeweiligen Mittel- oder Oberzentren der Räume.
- Regionalverkehr:  
Gemeint sind Fahrten innerhalb einer Region bzw. zwischen Zentren, die in einer gewissen Funktion zueinander stehen, aber nicht mehr demselben Ballungsraum zugerechnet werden.
- Personenfernverkehr innerhalb Baden-Württembergs:  
Fahrten im Fernverkehr (über 150 km einfache Distanz) innerhalb Baden-Württembergs bzw. zu Zielen knapp hinter den Landesgrenzen, sowohl entlang von wichtigen, überregional bedeutsamen Hauptachsen als auch im eher ländlich strukturierten Raum.

### 3.2 Fahrtzwecke

Um unterschiedliche verkehrliche Randbedingungen, die über den Tag wechselnde Auslastung im öffentlichen Verkehr und die tageszeitlichen Schwankungen der Verkehrsstärken auf den Straßen in der Untersuchung berücksichtigen zu können, ist es notwendig, die Berechnungen für unterschiedliche Tageszeiten durchzuführen. Dies

kann erreicht werden, indem der Motivation für die einzelne Fahrt jeweils unterschiedliche Fahrtzwecke hinterlegt werden, die typisiert zu unterschiedlichen Tageszeiten durchgeführt werden. Um diese Fahrten zeitlich zu fixieren, wurden jeweils Anfang und Ende der Aktivität definiert, z.B. Arbeiten von 8:00 Uhr bis 16:30 Uhr. Somit müssen die Fahrten so gewählt werden, dass die betrachtete Person um 8:00 Uhr an ihrem Ziel, in diesem Falle dem Arbeitsplatz, ankommt, und von dort um 16:30 Uhr wieder abfährt.

Die Zeitfenster für die einzelnen Fahrtzwecke wurden folgendermaßen definiert:

- Beruf- und Ausbildungsverkehr (**B+A**)  
Ankunft am Ziel: 08:00 Uhr  
Abfahrt vom Ziel: 16:30 Uhr
- Einkaufsverkehr (**E**)  
Ankunft am Ziel: 10:00 Uhr  
Abfahrt vom Ziel: 12:00 Uhr
- Freizeitverkehr (**F**)  
Ankunft am Ziel: 19:30 Uhr  
Abfahrt vom Ziel: 22:30 Uhr
- sonntägliche Wochenendaktivität (**S**)  
Ankunft am Ziel: 11:00 Uhr  
Abfahrt vom Ziel: 17:00 Uhr
- Geschäftsreiseverkehr früh (**GF**)  
Ankunft: so früh als möglich bzw. 09:00 Uhr  
Abfahrt: 16:30 Uhr
- Geschäftsreiseverkehr spät (**GS**)  
Ankunft: 11:00 Uhr  
Abfahrt: 14:00 Uhr

Mit diesen so definierten Fahrtzwecken finden die nun real vorkommenden, typischen Randbedingungen Eingang in die Untersuchung.

Der Fall **B+A** steht aufgrund der hohen Verkehrsnachfrage für Fahrten mit den höchsten Auslastungen im ÖV und gleichzeitig für Verkehrszustände auf den Straßen mit den stärksten Störungen im Verkehrsablauf.

**E** sind Fahrten mit geringen Auslastungen tagsüber und üblicherweise ungestörtem Verkehrsablauf auf den Straßen.

**F** bildet die Tagesrandzeiten ab. Mit den hier vorherrschenden i.d.R. sehr geringen Auslastungen im ÖV sind diese Fahrten häufig Gegenstand verkehrsplanerischer Überlegungen und Diskussionen (Betriebsende des Regelbetriebs).

**S** soll Umstände abbilden, die sonst selten Eingang in verkehrsplanerische Überlegungen finden, den Wochenendverkehr. In Anbetracht der Tatsache, dass der Sonntag nach wie vor der Wochentag mit den höchsten Verkehrsleistungen ist, ergeben sich hier interessante Aspekte für die Diskussion über die Verlagerung von Fahrten des Freizeitverkehrs vom Individual- zum öffentlichen Verkehr.

**GF** ist ein Fahrtzweck der speziell für Fahrten über größere Distanzen der Planungsaufgaben ‚Personenfernverkehr innerhalb Baden-Württembergs‘ und ‚Regionalverkehr‘ definiert wurde. Er stellt für diese Planungsaufgaben den Fahrtzweck während der Hauptverkehrszeiten dar. Aufgrund der großen hier untersuchten Streckenlängen und den daraus resultierenden langen Fahrtzeiten liegt allerdings meist nicht die gesamte Fahrt in der Hauptverkehrszeit.

**GS** entspricht dem eben erläuterten Fahrtzweck GF mit dem Unterschied, dass hier versucht wurde, den zeitlichen Schwerpunkt der Fahrt in die Nebenverkehrszeiten zu legen.

### **3.3 Ausgewählte Räume**

#### **3.3.1 Verkehr im Ballungsraum**

##### **3.3.1.1 Stuttgart**

Der Raum Stuttgart ist der größte Ballungsraum in Baden-Württemberg. Er wurde für die Untersuchung ausgewählt, um mit dem Stadtbahnsystem der Stuttgarter Straßenbahnen AG (SSB) eines der modernsten eher „U-Bahn“-orientierten schienengebundenen Nahverkehrssysteme der Welt betrachten zu können. Zur Kontrolle und Eichung der am Modell berechneten Ergebnisse konnten in Stuttgart durch die Kooperation mit der SSB Onboard-Messungen in den Stadtbahnen durchgeführt werden. Dies ist insbesondere in Bezug auf die Beurteilung der Bremsenergieerückspeisung, die in Stuttgart

aufgrund der Topographie mit extremen Höhenunterschieden von besonderer Bedeutung ist, von Interesse, da der Verdacht besteht, dass diese bei der Modellierung i.d.R. zu gering bewertet wird.

Auch die Stuttgarter S-Bahn kann in diesem Raum auf einer Relation als Alternative zur Stadtbahn in die Untersuchung miteinbezogen werden.

### **3.3.1.2 Freiburg i. Br.**

Zur Abbildung eines zweiten, kleineren Ballungsraums mit einer kleineren Großstadt als Mittelpunkt wurde die Stadt Freiburg i. Br. ausgewählt. Freiburg ist mit 200.000 Einwohnern die viertgrößte Stadt Baden-Württembergs und besitzt ebenfalls ein modernes, allerdings eher „Straßenbahn“-orientiertes Stadtbahnsystem, wobei im Unterschied zu Stuttgart Niederflurwagen eingesetzt werden. Eine Reihe von in der Fachwelt mit großem Interesse aufgenommenen verkehrsplanerischen Ansätzen machen den Raum Freiburg für die Untersuchung interessant. So setzte der Regio-Verkehrsverbund Freiburg (RVF) schon vor Jahren innovative Akzente in der Tarifgestaltung (RegioKarte) und die Freiburger Verkehrs AG (VAG) versucht in neuen Stadtteilen frühzeitig eine schienengebundene ÖV-Alternative zum Pkw anzubieten.

Seit 1997 betreibt die VAG zusammen mit der Südwestdeutschen Verkehrs AG (SWEG) die Breisgau-S-Bahn, bei der mit modernen Leichtbau-Nahverkehrsdieselmotoren (ADtranz Regio-Shuttle) auf einer alten Nebenbahnstrecke ein modernes Betriebskonzept mit großem Erfolg umgesetzt wird.

## **3.3.2 Verkehr im ländlichen Raum**

### **3.3.2.1 Ravensburg – Friedrichshafen**

Die große Zahl von hochqualifizierten Arbeitsplätzen in Friedrichshafen und Umgebung und die Tatsache, dass sich die dort Beschäftigten vermehrt im ländlichen Raum Oberschwabens ansiedeln (z.T. weit hinter Ravensburg), führt dazu, dass es zu den Hauptverkehrszeiten auf der B30 zwischen Ravensburg und Friedrichshafen vermehrt zu Überlastungen kommt, und die seit 1993 verkehrende Gaisbockbahn der Bodensee-Oberschwaben-Bahn GmbH (BOB), die von den Kommunen Friedrichshafen, Ravensburg und Meckenbeuren sowie den jeweiligen Landkreisen getragen wird, mehr als 2400 Personen/Werktag als Fahrgäste in ihren Regio-Shuttles befördern kann. Da ur-

sprünglich lediglich 1000 Fahrgäste/Tag prognostiziert waren, gilt die Gaisbockbahn als großer Erfolg.

Die Gaisbockbahn ist somit ein Vorläufer für das Prinzip der sog. Reaktivierung bzw. in diesem Falle der Revitalisierung eines schienengebundenen Nahverkehrsangebots. Sie hat mit Hilfe eines neuen Betriebskonzeptes, zusätzlichen Haltestellen und modernen Fahrzeugen erhebliche Fahrgaststeigerungen zu verzeichnen, und ist deswegen ein lohnendes Untersuchungsobjekt.

Die für den ländlichen Raum typische Flächenerschließung mittels eines Regionalbuskonzeptes ist auch hier gegeben, weshalb der Vorlauf zu den Zügen in der Untersuchung mit Regionalbussen der DB-ZugBus Regionalverkehr Alb-Bodensee GmbH (RAB) erfolgt.

### **3.3.2.2 Donautal (Tuttlingen)**

Im Donautal bei Tuttlingen wurde 1990 das ‚Donautalkonzept‘ realisiert, das darin besteht, dass bisher von den Umlandgemeinden nach Tuttlingen führende durchgängige Buslinien der SüdBadenBus GmbH (SBG) gebrochen werden, und diese als Zubringer zu einem zwischen Fridingen und Tuttlingen verkehrenden Regio-Shuttle der Hohenzollerischen Landesbahn (HzL) fungieren. Die Attraktivität dieses hauptsächlich vom Schülerverkehr genutzten Angebotes wurde noch durch einen neuen, direkt am Schulzentrum Tuttlingen gelegenen Bahnhofsteig gesteigert, so dass sich die Fahrzeit für viele Fahrgäste erheblich (bis zu einem Drittel) gegenüber dem reinen Bustransport reduzierte. Nach wie vor verkehren auch noch Busse, die die Umlandgemeinden durchgängig mit Tuttlingen verbinden und mit in die Untersuchung einbezogen wurden.

Dieses Prinzip der Bündelung von Verkehrsströmen auf einer Achse und deren Verlagerung von mehreren einzelnen Bussen auf ein Schienenfahrzeug stellt ein Hauptprinzip vieler in den letzten Jahren neu aufgestellter ÖV-Konzepte dar, weshalb der Raum Donautal in die Untersuchung aufgenommen wurde.

### **3.3.3 Regionalverkehr**

#### **3.3.3.1 Region Stuttgart (Schorndorf – Stuttgart)**

Die Region Stuttgart ist die größte Region in Baden-Württemberg und mit dem Verband Region Stuttgart Modellregion für einen Regionalverband mit eigenem Parlament und erweiterten Verwaltungskompetenzen. Der Verband Region Stuttgart ist Träger des S-Bahn-Verkehrs, der bei dieser Planungsaufgabe anhand der ausgewählten Relationen untersucht werden soll.

Der Raum wurde in die Untersuchung aufgenommen, um mit dem Stuttgarter S-Bahn-System ein klassisches, radiales S-Bahn-Konzept betrachten zu können, das sechs Linien im Zentrum auf einer Stammstrecke vereinigt. Neben den z.Zt. im Dienste befindlichen S-Bahn-Triebwagen ET420, die auch in München und Frankfurt im Einsatz sind, werden seit kurzem auch die neuen ET423 eingesetzt. Da diese im Gegensatz zu den alten Fahrzeugen so wie die Stuttgarter Stadtbahn über ein Bremsenergierückspeisungssystem verfügen und auch die Stuttgarter S-Bahn enorme Höhenunterschiede zu überwinden hat, wurden auch sie in die Untersuchung einbezogen.

Parallel zu den S-Bahnen, aber mit weniger Halten verkehrende herkömmliche Regionalexpress-Züge der Deutschen Bahn AG werden ebenfalls untersucht.

Die Relation Rudersberg-Schorndorf erlaubt es, die Wieslaufalbahn der Württembergischen Eisenbahngesellschaft (WEG), die seit 1995 mit modernem Betriebskonzept und ebenfalls mit Regio-Shuttles im Auftrag des Zweckverband Verkehrsverband Wieslaufalbahn (ZVVW) zwischen Rudersberg und Schorndorf verkehrt, in die Untersuchung einzubeziehen. Diese Bahn steht stellvertretend für das Prinzip der Aufwertung bzw. Reaktivierung von nahezu oder vollständig stillgelegten Nebenbahnen, die sich in der Peripherie eines Ballungsraumes vor allem als Zubringer zu einem großen S-Bahn-Netz einer großen Nachfrage erfreuen. Im Jahr 1999 beförderte die Wieslaufalbahn mit bis zu 4900 Fahrgästen pro Tag annähernd viermal so viele Passagiere wie die Deutsche Bundesbahn vor der Abgabe der Strecke an den ZVVW und übertraf mit 892 000 Fahrgästen pro Jahr alle Prognosen.

#### **3.3.3.2 Stuttgart – Mannheim**

Seit Inbetriebnahme der ICE-Neubaustrecke der Deutschen Bahn AG zwischen Stuttgart (559.000 Einwohner) und Mannheim (319.000 Einwohner) sind diese beiden größten Städte Baden-Württembergs im öffentlichen Verkehr auf eine zeitliche Distanz zu-



sammengerückt, die zu zum S-Bahn-Verkehr vergleichbaren Reisezeiten führt. Der ICE benötigt für diese Strecke knapp 40 Minuten, für die in der Planungsaufgaben ‚Regionalverkehr‘ ebenfalls untersuchte Relation Stuttgart – Schorndorf benötigt die S-Bahn 35 Minuten.

Aus diesem Grund und aufgrund der hierdurch mittlerweile tatsächlich stattfindenden täglichen Pendlerverkehre zwischen den beiden Städten wurde diese Relation als extremes, aber reales Beispiel für die Planungsaufgabe ‚Regionalverkehr‘ ausgewählt. Als Beispiel für die, durch die ICE-Verbindung entstandenen, vielfältigen zusätzlichen Beziehungen sei der rege Arbeitskräfteaustausch der ehemaligen SüdwestLB (heute Teil der Landesbank Baden-Württemberg) zwischen ihrem Stuttgarter, direkt neben dem Hauptbahnhof liegenden, und ihrem Mannheimer, ebenfalls zentral gelegenen, Standort erwähnt.

Die diese beiden Zentren verbindenden Autobahnen A81 und A6 sind sehr stauanfällig und zählen mit einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) von rund 90.000 Kfz (A6) bzw. knapp 100.000 Kfz (A81) zu den mit am höchsten belasteten Autobahnen in Baden-Württemberg<sup>2</sup>.

### **3.3.4 Personenfernverkehr innerhalb Baden-Württembergs**

#### **3.3.4.1 Mannheim – Basel**

Mannheim als Zentrum der Region am Rhein-Neckar-Dreieck und Basel als Zentrum der Region am Dreiländereck Frankreich-Schweiz-Deutschland sind beides bedeutende Wirtschaftsstandorte, unter anderem für die chemische Industrie. Zwischen ihnen werden Fahrten mit den Fahrtzwecken Geschäftsreiseverkehr früh und spät untersucht.

Die Relation Mannheim-Basel weist mit rund 250 km einfacher Strecke die größte Distanz zwischen zwei bedeutenden in bzw. am Rande von Baden-Württemberg gelegenen Zentren auf. Sie ist daher hervorragend für die Planungsaufgabe Fahrten im Fernverkehr innerhalb Baden-Württembergs geeignet.

Mannheim und Basel sind durch eine direkt geführte Autobahnverbindung (A6, A5) und eine ebenfalls direkt verlaufende Bahnverbindung, die im Fernverkehr alle zwei Stunden durch einen ICE und stündlich durch einen IC/EC bedient wird, verbunden.

---

<sup>2</sup> LANDESAMT FÜR STRASSENWESEN, BADEN WÜRTTEMBERG (1999)

Die betrachteten Autobahnen gehören ebenfalls zu den am höchsten belasteten Autobahnen Baden-Württembergs (Mannheim-Karlsruhe: DTV 90.000 Kfz; Karlsruhe-Freiburg: DTV 65.000 Kfz; Freiburg-Basel: DTV 40.000 Kfz)

### **3.3.4.2 Freiburg – Lindau**

Eine Verbindung im Fernverkehr innerhalb Baden-Württembergs abseits der großen Autobahn- und ICE-Korridore stellt die Verbindung zwischen Freiburg i. Br. und Lindau am Bodensee dar. Auch wenn zwischen diesen zwei Städten keine ausgeprägten Beziehungen bestehen, so bietet diese Relation doch einige verkehrsplanerisch interessante Ansatzpunkte.

So macht der Einsatz des Neigetechnikzuges NeiTech VT 611 der Firma ADtranz auf der Strecke zwischen Basel Badischer Bahnhof und Lindau diese Relation, unabhängig von den technischen Problemen beim Einsatz dieses Fahrzeugs, für eine Untersuchung interessant. Der Einsatz dieses auf dieser Teilstrecke durchgehenden Zuges ist auch der Grund dafür, dass diese streckenmäßig deutlich längere Verbindung über Basel nun für den Fahrgast attraktiver ist als die kürzere Verbindung über Neustadt (Schwarzwald), Donaueschingen und Radolfzell.

Der Ausbau der Bundesstraße B31, die im Zuge der IV-Route liegt, ist auf vielen Abschnitten häufiger Gegenstand von Diskussionen über Ausbaupläne. Sie wird z.Zt. bzw. wurde in jüngster Zeit an mehreren Stellen ausgebaut. Diese Route über Titisee-Neustadt, Überlingen und Friedrichshafen ist mit 186 km einfacher Strecke rund 85 km kürzer als die ÖV-Strecke. Damit ist hier ein interessanter Vergleich möglich, bei dem die beiden Strecken nicht, wie in den meisten übrigen untersuchten Fällen, nahezu parallel laufen.

## **3.4 Konkrete Relationen und Verkehrsmittel**

### **3.4.1 Verkehr im Ballungsraum - Stuttgart**

#### **3.4.1.1 Möhringen – Berliner Platz (Relation 01)**

Für die Relation zur Abbildung der Fahrtzwecke Beruf+Ausbildung, Einkaufen und Freizeit (B+A, E, F) des Verkehrs im Ballungsraum Stuttgart wurde als Startpunkt ein

Wohnhaus in der Hieberstraße im Stuttgarter Stadtteil Möhringen ausgewählt. Die Hieberstrasse liegt in einem Wohngebiet, das fußläufig von der Stadtbahnhaltestelle ‚Möhringen Bahnhof‘ erreicht werden kann, von der aus die Stadtbahnlinien U5 und U6 ins Zentrum von Stuttgart fahren. Auf der Relation ‚Möhringen - Berliner Platz‘ (s. Abbildung 3-1) ist ein beträchtlicher Höhenunterschied zu überwinden. Dies ist für die Beurteilung der Bremsenergieerückspeisung von Vorteil.



Abbildung 3-1: Stuttgart-Möhringen – Berliner Platz (Relation 01)

Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass viele Ziele in der Stadt nur mit Umsteigen zu erreichen sind, wurde der Hauptlauf mit der U5/U6 bis zum Charlottenplatz noch um einen Nachlauf mit der U4 bis zum Berliner Platz (Stadtbahnhaltestelle ‚Berliner Platz (Hohe Straße)‘) erweitert. Im Bereich um diese Haltestelle gibt es eine Reihe von großen Arbeitgebern (Landesgirokasse, AOK, Teile der Universität), Einkaufs- und Freizeitmöglichkeiten (Bosch-Areal, Liederhalle).

Die Strecke des IV verläuft über die B27, der Hauptzufahrtsradialen zum Zentrum Stuttgart aus Richtung Süden, auf der in den Hauptverkehrszeiten regelmäßig Überlas-

tungen auftreten, durch den Tunnel unter dem Schloßplatz hindurch zum Berliner Platz, wo mehrere Tiefgaragen Parkmöglichkeiten bieten.

Da eine Stadtbahn, um auf der untersuchten Relation fahren zu können, auch in der Gegenrichtung zum Startpunkt fahren muss, wurden in einer zusätzlichen Berechnung diese Fahrten in Gegenrichtung berücksichtigt. Es besteht die Vermutung, dass diese Fahrten deutlich schlechter ausgelastet sind, als die Fahrten in der Hauptrichtung (z.B. morgens stadteinwärts, abends stadtauswärts), so dass das Ergebnis der Stadtbahn durch die Hineinnahme der Gegenrichtung schlechter ausfallen dürfte.

Beim Pkw gibt es keine solchen Gegenrichtungsfahrten, er wird am Ziel abgestellt und bleibt dort bis zur Rückfahrt, so dass ihm Infrastrukturaufwendungen für den notwendigen Parkplatz angelastet werden.

Um zu überprüfen, welche Auswirkungen die Zusammensetzung der bereitgestellten elektrischen Energie hat, wurden für die drei Relationen im Ballungsraum Stuttgart Parametervariationen berechnet, bei denen der lokal vorhandene Strommix (Kernenergieanteil 90%) zum einen gegen den durchschnittlichen Strommix von Deutschland, der lediglich knapp 30% Kernenergieanteil besitzt, und zum anderen gegen den Strommix von Nordrhein-Westfalen (NRW), wo überhaupt keine Energie aus Kernkraft gewonnen wird, ausgetauscht wurde.

Um den Einfluss der Entwicklung bei der Pkw-Antriebstechnik zu untersuchen, wurden als Parametervariation die Pkw-Fahrten für Fahrzeuge der Euro4-Abgasnorm berechnet (siehe dazu Kapitel 5.1.2.2).

Die detaillierten Wegeketten der untersuchten Varianten sehen demnach folgendermaßen aus:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung (Hieberstraße) bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Tiefgarage Bereich Berliner Platz), zu Fuß bis zum Ziel
- **Stadtbahn:** zu Fuß von der Wohnung (Hieberstraße) bis 'Möhringen Bf.', mit der U5/U6 u. U4 über 'Charlottenplatz' bis 'Berliner Platz (Hohe Straße)', zu Fuß bis zum Ziel

#### 3.4.1.2 S-West – Möhringen-Freibad (Relation 02)

Zur Untersuchung der 'Sonntäglichen Wochenendaktivität' (S) im Ballungsraum Stuttgart wurde eine Fahrt von einem Wohnstandort in der Stuttgarter Innenstadt zu einer

Freizeitaktivität außerhalb des Stadtzentrums (Wandern, Baden etc.) gewählt (s. Abbildung 3-2). So wurde als Ziel das Möhringer Freibad (Stadtbahnhaltestelle ‚Möhringen Freibad‘) (Stadtbahnlinie U5) festgelegt, das eines der größten und beliebtesten Freibäder Stuttgarts ist.



Abbildung 3-2: S-West – Möhringen-Freibad (Relation 02)

Der Startpunkt wurde nun umgekehrt in die Stadt verlegt, und zwar wiederum in die Nähe des Berliner Platzes, wo im Bereich ‚Am Bollwerk‘ erst vor kurzem eine neue, große Wohnanlage errichtet wurde (Stadtbahnhaltestelle ‚Berliner Platz (Hohe Straße‘).

So entspricht diese Relation zum größten Teil der Relation 01, so dass zum einen wiederum die selben Argumente für diese Strecke bezüglich des Höhenunterschiedes zum Tragen kommen und außerdem weitere Vergleichsmöglichkeiten geschaffen werden.

Die Strecke des IV entspricht zu großen Teilen der Strecke der Relation 01, endet aber nicht in Möhringen, sondern geht darüber hinaus bis zum südlich von Möhringen gelegenen Parkplatz des Möhringer Freibads.

Detaillierte Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz Möhringen-Freibad, zu Fuß bis zum Ziel
- **Stadtbahn:** zu Fuß von der Wohnung bis 'Berliner Platz (Hohe Straße)', mit der U4 bis 'Charlottenplatz', mit der U5 bis 'Möhringen-Freibad', zu Fuß bis zum Ziel

### 3.4.1.3 Leinfelden – Hauptbahnhof (Relation 03)

Mit der Relation ‚Leinfelden – Hauptbahnhof‘ soll einem weiteren Fall von Verkehr im Ballungsraum Rechnung getragen werden, nämlich dem Verkehr aus dem Umland in die Kernstadt (Fahrtzwecke: B+A, E) (s. Abbildung 3-3). Leinfelden-Echterdingen ist die nächste sich in südwestlicher Richtung an Stuttgart anschließende Gemeinde.

Die Untersuchung dieser Relation schafft durch eine Erweiterung der Relation 01 weitere Vergleichsmöglichkeiten. Zudem besteht von Leinfelden aus mit der S-Bahn eine weitere Möglichkeit, mit öffentlichen Verkehrsmitteln die Innenstadt zu erreichen, so dass ein unmittelbarer Vergleich zwischen Stadtbahn und S-Bahn möglich ist.

Der Start der Relation ist in dem Wohngebiet in der Buchenwaldstraße in Leinfelden, fußläufig entfernt von der Endhaltestelle der Stadtbahn (Starthaltestelle: ‚Leinfelden Bf.‘).

Um für beide öffentlichen Verkehrsmittel einen Zielpunkt mit vergleichbarer Erreichbarkeit zu schaffen, wurde das Ziel in die Nähe des Stuttgart Hauptbahnhofs gelegt (Zielhaltestelle: ‚Stuttgart Hbf.‘), wo sich zahlreiche Einkaufsmöglichkeiten und Arbeitsplätze (samt Parkmöglichkeiten in Parkhäusern und Tiefgaragen) befinden.





Abbildung 3-3: Leinfelden – Hauptbahnhof (Relation 03)

Detaillierte Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Bereich Hbf.), zu Fuß bis zum Ziel
- **Stadtbahn:** zu Fuß/mit dem Fahrrad von der Wohnung bis 'Leinfelden Bf.', mit der U5 bis 'Hbf.', zu Fuß bis zum Ziel
- **S-Bahn:** zu Fuß/mit dem Fahrrad von der Wohnung bis 'Leinfelden Bf.', mit der S2/S3 bis 'Hbf.', zu Fuß bis zum Ziel

Als Parametervariation wurde diese Relation zusätzlich noch mit dem vor kurzem in Dienst gestellten S-Bahn-Fahrzeug ET 423 berechnet, das wie die Stuttgarter Stadtbahn über ein Bremsenergie-rückspeisungssystem verfügt. Da zum Zeitpunkt der Berechnungen keine empirisch überprüften und von der DBRegio verifizierten Daten zur Verfügung standen, wurden die Simulationen mit Daten durchgeführt, die vom Hersteller (ADtranz Mannheim) geliefert wurden.

### 3.4.2 Verkehr im Ballungsraum – Freiburg i. Br.

#### 3.4.2.1 Freiburg-Rieselfeld – Freiburg-Zentrum (Relation 04)

Für die Hauptrelation im Ballungsraum Freiburg i. Br. (Fahrtszweck: B+A, E, F) wurde als Startpunkt eine Wohnung im erst zum Teil fertig gestellten Wohngebiet Rieselfeld ausgewählt (s. Abbildung 3-4).

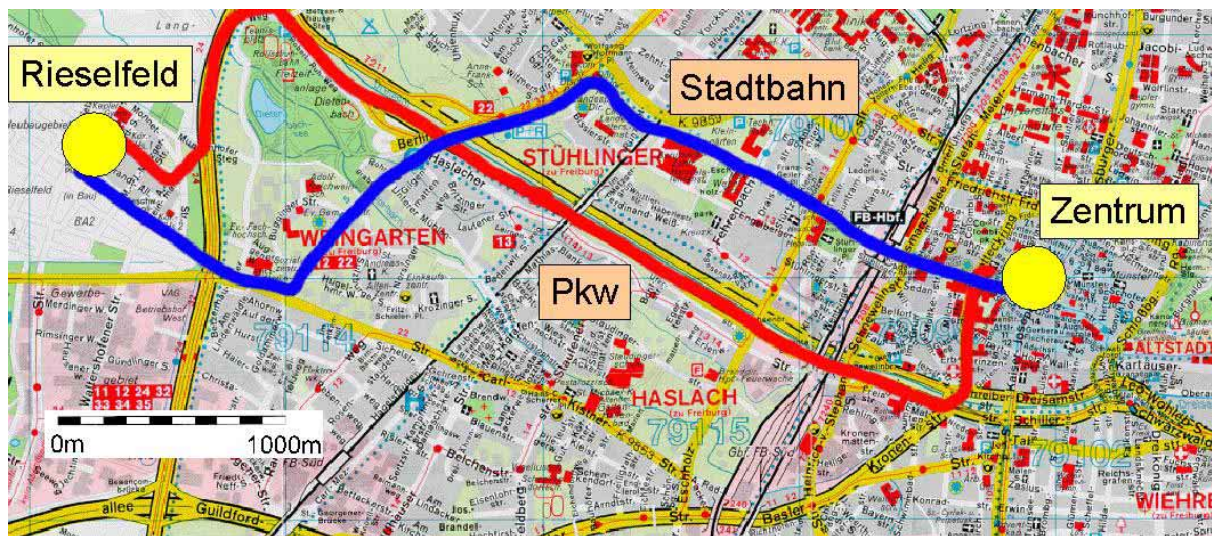


Abbildung 3-4: Freiburg-Rieselfeld – Freiburg-Zentrum (Relation 04)

Der am Rande der Stadt liegende Stadtteil befindet sich seit 1994 im Bau und soll bis 2004 Wohnraum für 10.000 bis 12.000 Menschen bieten. Die Planung dieses Stadtteils verfolgt hohe ökologische Ansprüche. Um das Entstehen einer reinen ‚Schlafstadt‘ zu verhindern, sollen von Anfang an wichtige Infrastruktureinrichtungen im Quartier vorhanden sein. Interessant aus verkehrlicher Sicht ist, dass den Neubürgern des Rieselfelds möglichst früh (nämlich seit 1998) die Stadtbahn als Alternative zum Pkw zur Verfügung stehen sollte.

Als Startpunkt wurde eine Wohnung in der Willy-Brandt-Straße ausgewählt (Stadtbahnhaltestelle: ‚Maria-von-Rudloff-Platz‘). Von dort fährt die Stadtbahnlinie 6 bis ins Zentrum (Zielhaltestelle: ‚Bertoldsbrunnen‘), wo es viele Arbeits-, Ausbildungs-, Einkaufs- und Freizeitmöglichkeiten gibt.

Die Route des IV führt über die Besanconallee und den Autobahzubringer B31a ins Zentrum zur innerhalb des Altstadttrings gelegenen Rotteck-Tiefgarage.



Detaillierte Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Rotteck-Tiefgarage), zu Fuß bis zum Ziel
- **Stadtbahn:** zu Fuß von der Wohnung bis 'Maria-von-Rudloff-Platz', mit der Stadtbahn 6 bis 'Bertoldsbrunnen', zu Fuß bis zum Ziel

### 3.4.2.2 Freiburg-Rieselfeld – Schauinsland (Relation 05)

Die ‚Sonntägliche Wochenendaktivität‘ (S) startet wieder am schon bekannten Startpunkt im Wohngebiet Rieselfeld und führt zur Talstation der Bahn auf den Schauinsland (s. Abbildung 3-5). Der Schauinsland stellt als Hausberg Freiburgs eines der beliebtesten Naherholungsziele der Region dar, das zudem noch einfach und schnell mit öffentlichen Verkehrsmitteln erreicht werden kann.

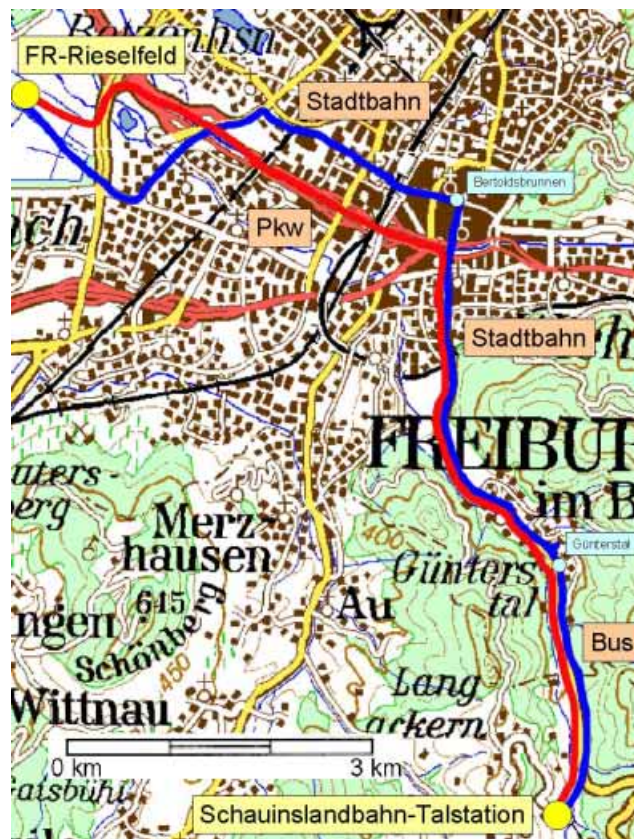


Abbildung 3-5: Freiburg-Rieselfeld – Schauinsland (Relation 05)

Die ÖV-Route startet wieder an der Stadtbahnhaltestelle ‚Maria-von Rudloff-Platz‘ mit der Stadtbahnlinie 6. Im Zentrum muss an der Haltestelle ‚Bertoldsbrunnen‘ in die Stadtbahnlinie 4 umgestiegen werden. An der Endhaltestelle der Linie 4 ‚Freiburg-Günterstal Dorfstraße‘ muss nochmals umgestiegen werden, und zwar in die Buslinie

21, mit der man bis zu deren Endstation, der Haltestelle ‚Schauinslandbahn-Talstation‘, fährt.

Die Route des IV führt über die schon erwähnte Strecke zuerst bis ins Zentrum und dann über die L124 und die Straße Im Bohrer durch das zu Freiburg gehörende Dorf Günterstal bis zum Dorf Horben gehörenden Parkplatz an der Schauinslandbahn-Talstation.

Detaillierte Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz-Schauinslandbahn, zu Fuß bis zum Ziel
- **Stadtbahn + Bus:** zu Fuß von der Wohnung bis ‚Maria-von-Rudloff-Platz‘, mit der Stadtbahn 6 bis ‚Bertoldsbrunnen‘, mit der Stadtbahn 4 ‚FR-Günterstal Dorfstraße‘, mit dem Bus 21 bis ‚Horben, Schauinslandbahn-Talstation‘, zu Fuß bis zum Ziel

### 3.4.2.3 Gottenheim – Freiburg-Zentrum (Relation 06)

Auch im Ballungsraum Freiburg soll eine Fahrt aus dem Umland, und zwar aus der Gemeinde Gottenheim in die Kernstadt Freiburg, untersucht werden (Fahrzwecke B+A, E) (s. Abbildung 3-6). In diesem Zusammenhang soll die 1997 in Betrieb gegangene Breisgau-S-Bahn einbezogen werden.

Die Breisgau-S-Bahn wird von der Südwestdeutschen Verkehrs AG (SWEG) sowie der Betreiberin des Freiburger ÖPNV, der Freiburger Verkehrs AG (VAG), seit 1997 auf der Nebenbahnstrecke zwischen Freiburg und Breisach mit neun Regio-Shuttle Diesel-Leichttriebwagen der Firma ADtranz betrieben und verzeichnete hierdurch bereits im ersten Betriebsjahr eine Steigerung der Fahrgastzahlen um 38%.

Der Startpunkt liegt in der Gartenstraße, einem Wohngebiet in Gottenheim. Von dort beginnt die ÖV-Route an der Starthaltestelle ‚Gottenheim Bf.‘ mit der Breisgau-S-Bahn bis Freiburg Hbf. Ein kurzer Nachlauf mit der Stadtbahn führt zum Zielpunkt im Zentrum von Freiburg (Zielhaltestelle ‚Bertoldsbrunnen‘).



Abbildung 3-6: Gottenheim – Freiburg-Zentrum (Relation 06)

Die Route des IV verläuft über die L115 von Gottenheim durch das Dorf Umkirch zur B31a und weiter wie bei Relation 04 über die Kronenbrücken ins Zentrum in die Rotteckgarage.

Detaillierte Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Rotteckgarage), zu Fuß bis zum Ziel
- **S-Bahn + Stadtbahn:** zu Fuß/mit dem Fahrrad von der Wohnung bis 'Gottenheim Bf.', mit der Breisgau-S-Bahn bis 'Hbf.', mit den Stadtbahnen 1/4/5/6 bis 'Bertholdsbrunnen', zu Fuß bis zum Ziel

### 3.4.3 Verkehr im ländlichen Raum – Ravensburg/Friedrichshafen

#### 3.4.3.1 Schlier – Ravensburg-Zentrum (Relation 07)

Als Ausgangsort aller Relationen im Raum Ravensburg/Friedrichshafen wurde die Gemeinde Schlier ausgewählt, deren 3600 Einwohner sich auf 30 Weiler verteilen. Der Startpunkt liegt im in der Nähe von Ravensburg liegenden Hauptort Schlier (Starthaltestelle 'Schlier Post') im Mozartweg (s. Abbildung 3-7).





Abbildung 3-7: Schlier – Ravensburg-Zentrum (Relation 07)

In Schlier haben sich viele Menschen niedergelassen, die in Ravensburg oder Friedrichshafen arbeiten und dann dort auch einkaufen oder Freizeitaktivitäten nachgehen. Schlier ist über eine Buslinie (Nr. 7535) der DB-ZugBus Regionalverkehr Alb-Bodensee GmbH (RAB) an Ravensburg und den dortigen Bahnhof angeschlossen.

Der Zielpunkt der ersten Relation dieses Raumes (Fahrtzwecke: B+A, E, F) liegt im Zentrum der ehemaligen Freien Reichsstadt Ravensburg, die als Mittelzentrum viele Arbeitsplätze (im Zentrum vor allem im Dienstleistungssektor), Einkaufs- und Freizeitmöglichkeiten bietet (Zielhaltestelle: ‚Ravensburg Wilhelmstr.‘).

Die Routen des ÖV sowie des IV führen von Schlier über die L325 in die Ravensburger Wilhelmstraße, wobei für den IV das Parkhaus Gänsbühl am Altstadtring als Parkplatz ausgewählt wurde.

Detaillierte Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkhaus Gänsbühl (RV-Zentrum), zu Fuß bis zum Ziel
- **Bus:** zu Fuß von der Wohnung bis ‚Schlier Post‘, mit dem Bus 7535 bis ‚Ravensburg Wilhelmstr.‘, zu Fuß bis zum Ziel

### 3.4.3.2 Schlier – Ravensburg-Sport (Relation 08)

Mit der Relation ‚Schlier – Ravensburg-Sport‘ wird noch eine ‚Abendliche Sport-Freizeitaktivität‘ (F-Sport) untersucht (s. Abbildung 3-8). Hierzu wurde als Zielort das Sportgelände beim Schulzentrum zwischen Ravensburg und Weingarten an der Martinus-Straße ausgewählt. Dort befinden sich ein Sportplatz, Tennisanlagen, ein Eisschießplatz und eine Reithalle.



Abbildung 3-8: Schlier – Ravensburg-Sport (Relation 08)

Der Startpunkt liegt wieder in Schlier. Die ÖV-Verbindung erfolgt erneut mit der Regionalbuslinie 7535 bis zur Haltestelle ‚Ravensburg Wilhelmstraße‘. Von dort zu Fuß bis zur nahegelegenen Haltestelle ‚Ravensburg Gartenstr.‘ und weiter mit Buslinie 3 des Stadt-Umland-Verkehrs Ravensburg/Weingarten (ebenfalls betrieben von der RAB) bis zur Zielhaltestelle ‚Ravensburg Dreiländerring‘.

Die Route des IV führt wie zuvor über die L325 zum Knotenpunkt Wilhelmstr./Gartenstr. in Ravensburg, dann weiter über die Gartenstraße und die Straße Am Sonnenbüchel bis zu einem Parkplatz am Sportgelände.



Detaillierte Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz beim Sportgelände, zu Fuß bis zum Ziel
- **Bus:** zu Fuß von der Wohnung bis 'Schlier Post', mit dem Bus 7535 bis 'Ravensburg Wilhelmstr.', zu Fuß zur Haltestelle 'Ravensburg Gartenstr.' mit dem Bus 3 bis 'Ravensburg Dreiländerring', zu Fuß bis zum Ziel

### 3.4.3.3 Schlier – Friedrichshafen (Relation 09)

Die Hauptrelation im Raum Ravensburg/Friedrichshafen (Fahrtzwecke: B+A, E, F) berücksichtigt das Verkehrsmittel, das den Ausschlag für die Auswahl dieses Raumes gab: die Gaisbockbahn der Bodensee-Oberschwaben-Bahn GmbH (s. Abbildung 3-9).

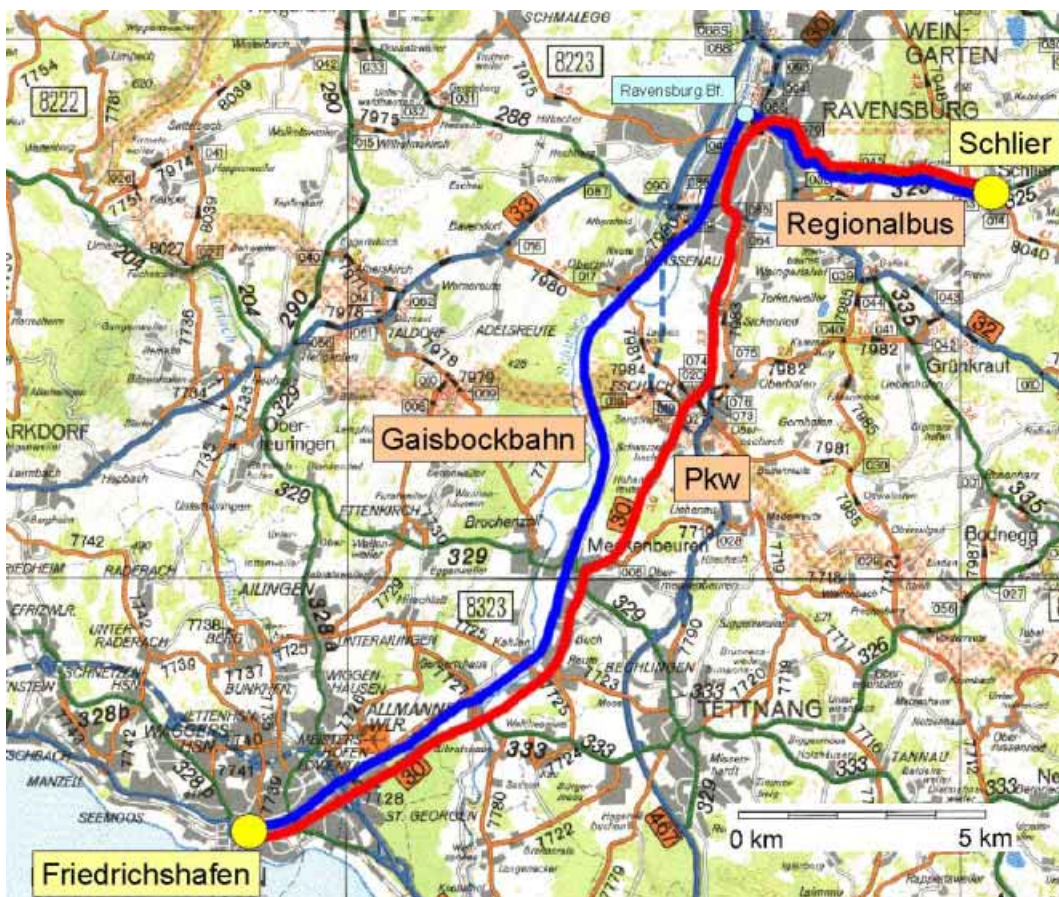


Abbildung 3-9: Schlier – Friedrichshafen (Relation 09)

Der Startpunkt der Relation (Fahrtzwecke: B+A, E, F) liegt wieder in Schlier, der Zielpunkt im Zentrum von Friedrichshafen (Zielhaltestelle 'Friedrichshafen Stadtbahnhof'), wo neben Arbeitsplätzen im Dienstleistungssektor auch Arbeitsplätze in der Industrie

(Werk 1 der MTU Friedrichshafen GmbH, 5-10 min zu Fuß vom Stadtbahnhof) erreicht werden können. Auch Einkaufs- und Freizeitmöglichkeiten sind dort vorhanden.

Die ÖV-Route beginnt wieder mit der RAB-Regionalbuslinie 7535, diesmal bis zum Ravensburger Omnibusbahnhof, direkt am Bahnhof gelegen. Dort muss in die Bahn umgestiegen werden. Zur Verfügung stehen Verbindungen mit der schon erwähnten Gaisbockbahn, die zwischen Aulendorf und Friedrichshafen mit ADtranz Regio-Shuttles verkehrt, und zwischen Ravensburg und Friedrichshafen an 6 weiteren Haltepunkten stoppt. Zusätzlich verkehrt noch ein Regionalexpress der Deutschen Bahn AG, ein Diesellok bespannter herkömmlicher Personenzug, der lediglich in Meckenbeuren hält und auch in die Untersuchung miteinbezogen wurde. Der dort auch verkehrende Inter-Regio ist nicht schneller als der RE und kostet gleichviel, so dass er nicht auch noch untersucht wurde. Vom Friedrichshafener Stadtbahnhof aus können die vorgesehenen Ziele fußläufig erreicht werden.

Da die beiden Schienenverkehrsmittel Regio-Shuttle und Regionalexpress mit unterschiedlichen Betriebskonzepten verkehren, wurde in einer Parametervariation der Einsatz eines Regio-Shuttles mit Betriebskonzept und Fahrgastzahlen des Regionalexpress berechnet. Entsprechend den Fahrgastzahlen wurde dabei die sonst übliche Doppeltraktion auf eine Dreifachtraktion erweitert.

Um den Einfluss der Entwicklung bei der Antriebstechnik zu untersuchen, wurden als Parametervariation die Pkw- und die Busfahrten für Fahrzeuge der Euro4-Abgasnorm berechnet. Für die Schienenfahrzeuge konnte diese Variation mangels Datengrundlagen leider nicht durchgeführt werden. (siehe dazu Kapitel 5.1.2.2).

Die IV-Route verläuft wieder über die L325 von Schlier bis Ravensburg, weiter auf die B30 und durch Meckenbeuren bis Friedrichshafen. Zielpunkt ist das Parkhaus beim Stadtbahnhof.

Detaillierte Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Tiefgarage FN-Stadtbahnhof), zu Fuß bis zum Ziel
- **Bus + Regio-Shuttle:** zu Fuß von der Wohnung bis 'Schlier Post', mit dem Bus 7535 bis 'Ravensburg, Bahnhof', mit der Gaisbockbahn bis 'Friedrichshafen Stadtbahnhof', zu Fuß bis zum Ziel
- **Bus + Regionalexpress:** zu Fuß von der Wohnung bis 'Schlier Post', mit dem Bus 7535 bis 'Ravensburg, Bahnhof', mit dem Regionalexpress bis 'Friedrichshafen Stadtbahnhof', zu Fuß bis zum Ziel

#### 3.4.4 Verkehr im ländlichen Raum – Tuttlingen

##### 3.4.4.1 Bärenthal – Tuttlingen (Relation 10)

Im Raum Donautal (Tuttlingen) wurde der Startpunkt der hier untersuchten Relation (Fahrtzwecke: Beruf, Ausbildung, E, F) in das Dorf Bärenthal und hier in die Gartenstraße gelegt (Starthaltestelle: ‚Bärenthal Rathaus‘). Bärenthal hat 500 Einwohner und ist ein staatlich anerkannter Erholungsort. Er ist zum Unterzentrum Fridingen sowie zum Mittelzentrum der Region, Tuttlingen, orientiert (s. Abbildung 3-10).



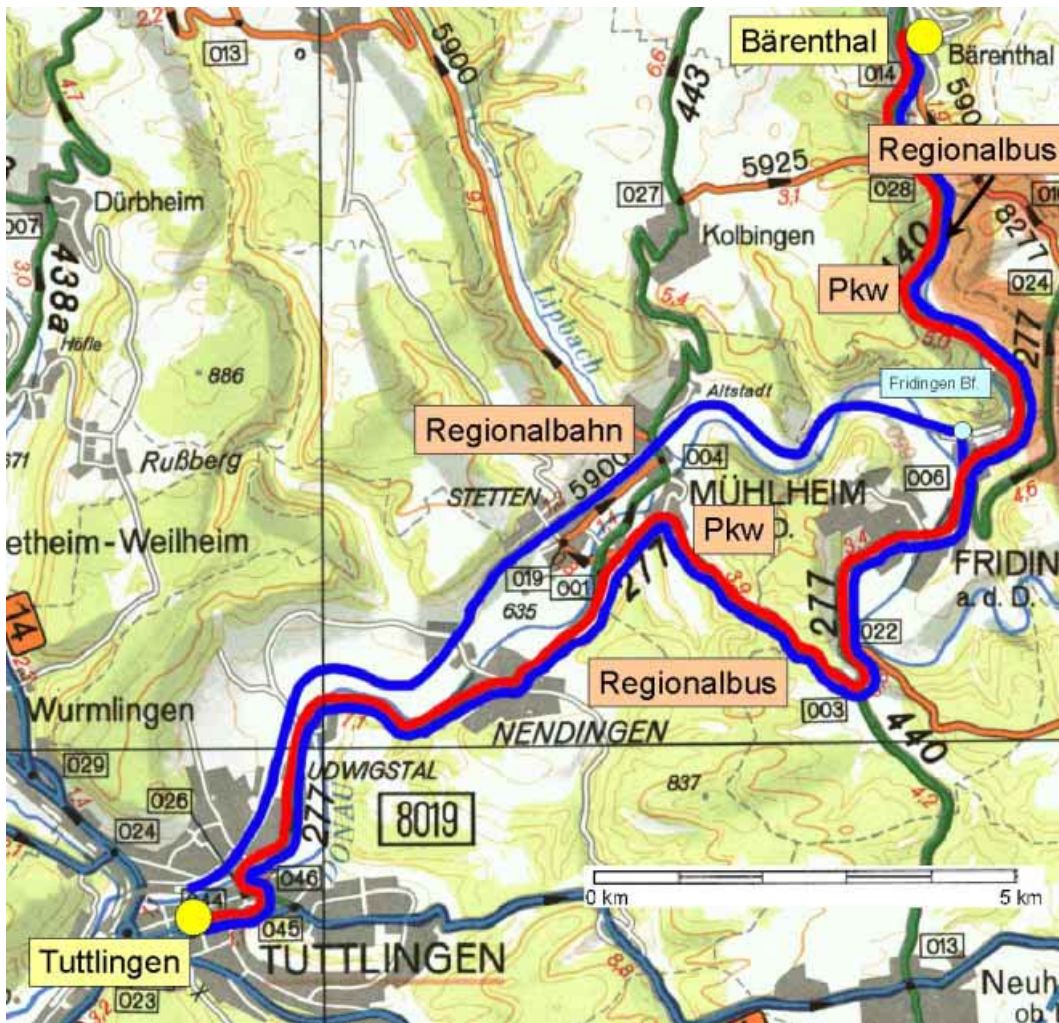


Abbildung 3-10: Bärenthal – Tuttlingen (Relation 10)

In Tuttlingen, wohin der Zielpunkt gelegt wurde (Zielhaltestelle: ‚Tuttlingen Zentrum‘ (Bahn) bzw. ‚Tuttlingen Stadtgarten‘ (Bus) gibt es viele Arbeitsplätze im Dienstleistungssektor sowie im produzierenden Gewerbe. Tuttlingen besitzt ein großes Bildungszentrum, u.a. mit mehreren Gymnasien. Die meisten Schüler aus Bärenthal, die weiterführende Schulen besuchen, müssen täglich nach Tuttlingen. Des weiteren gibt es ein großes Angebot an Einkaufs- sowie Freizeitmöglichkeiten.

Bei der Erhebung der Fahrgastzahlen im ÖV wurde deutlich, dass der Fahrtzweck Beruf+Ausbildung als Bezeichnung für die Situation während der morgendlichen und abendlichen Hauptverkehrszeit hier so nicht verwendet werden kann. Die mit Abstand größte Beförderungsleistung wird von den öffentlichen Verkehrsmitteln in diesem Raum im Ausbildungsverkehr erbracht. Diese Verkehre finden aber in der Hinrichtung morgens (7-8 Uhr) und in der Rückrichtung mittags (12-13 Uhr) statt. Bei einer Beibehaltung der bisherigen Zuordnungen wäre dieser Hauptstrom hälftig morgens dem Berufs-

verkehr und mittags dem Einkaufsverkehr zugeordnet worden, was zu einer unrealistischen Darstellung geführt hätte. Deshalb wurde in dieser Relation zusätzlich der Fahrtzweck ‚Ausbildung‘ untersucht (Hin: ca. 8 Uhr, Rück: ca. 12 Uhr, entsprechend den verkehrenden Verkehrsmitteln). Auch dann war es noch schwierig, die gezählten Auslastungen sinnvoll den Fahrtzwecken zuzuordnen, so dass eine Modellrechnung erstellt wurde, die unterschiedliche, über den Tag hinweg angetroffene Auslastungen sinnvoll kombiniert, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten.

Für die Verbindung mit dem öffentlichen Verkehr gibt es auf dieser Relation drei Möglichkeiten. Die erste ist jene, die der Anlass war, diesen Raum für die Untersuchung auszuwählen: das Donautalkonzept, das einen Bahnverkehr entlang der Hauptachse des Donautals von Fridingen bis Tuttlingen und Busse als Zubringer zu den Bahnhöfen vorsieht.

Bei dieser Relation fährt der Regionalbus der SüdBadenBus GmbH (SBG) (Linie-Nr. 7450) von Bärental über die L440 bis zum Fridinger Bahnhof, wo direkter Anschluss an die Regionalbahn nach Tuttlingen besteht. Diese Bahn fährt im Auftrag des Landratsamtes Tuttlingen, der Betrieb wird von der Hohenzollerischen Landesbahn (HzL) mit ADtranz Regio-Shuttles durchgeführt. Schon vor dem Tuttlinger Bahnhof wurde ein weiterer Haltpunkt (Tuttlingen Zentrum) direkt am Bildungszentrum eingerichtet. Von dort erreicht man auch die Tuttlinger Innenstadt fußläufig in 5-10 Minuten, deutlich schneller als vom Bahnhof aus.

Die zweite Möglichkeit, mit öffentlichen Verkehrsmitteln nach Tuttlingen zu gelangen, sind ebenfalls die Busse der SBG-Linie 7450, die nach ihrem Halt am Fridinger Bahnhof parallel zur Bahn, allerdings mit einem topographisch bedingten Umweg, auf der L277 über Mülheim und Nendingen auch nach Tuttlingen weiterfahren. Dort fahren sie über den im Zentrum gelegenen Busbahnhof weiter zur Haltestelle ‚Tuttlingen Stadtgarten‘, die als Zielhaltestelle der reinen Bus-Verbindung festgelegt wurde, da sie die der Bahn-Haltestelle ‚Tuttlingen Zentrum‘ am nächsten gelegene Bushaltestelle ist.

Als dritte Möglichkeit, mit Hilfe von öffentlichen Verkehrsmitteln Tuttlingen zu erreichen, wurde eine Park+Ride-Verbindung untersucht, bei der der Zulauf zur Bahn am Fridinger Bahnhof mit dem Pkw von Bärental erfolgt. Für diese Variante wurden lediglich die Werte für mit einer Person besetzte Pkw ermittelt.

Die IV-Route verläuft ähnlich der reinen Bus-Verbindung von Bärental über die L440 bis Fridingen und weiter über die L277 über Mülheim und Nendingen bis Tuttlingen. Der Parkplatz befindet sich gegenüber der Innenstadt auf der anderen Donauseite auf

dem Festplatz, der als Parkplatz benutzt werden kann. Dieser Platz liegt unweit (200m) der beiden untersuchten ÖV-Haltestellen.

Detaillierte Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Festplatz), zu Fuß bis zum Ziel
- **Bus + Regio-Shuttle:** zu Fuß bis 'Bärenthal Rathaus', mit dem Bus 7450 bis 'Fridingen Bf.', mit der Regionalbahn bis 'Tuttlingen Zentrum', zu Fuß bis zum Ziel
- **Bus:** zu Fuß bis 'Bärenthal Rathaus', mit dem Bus 7450 bis 'Stadtgarten Tuttlingen', zu Fuß bis zum Ziel
- **Pkw + Regio-Shuttle (P+R):** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis 'Fridingen Bf.', mit der Regionalbahn bis 'Tuttlingen Zentrum', zu Fuß bis zum Ziel

### 3.4.5 Regionalverkehr

#### 3.4.5.1 Schorndorf – Stuttgart-Berliner Platz (Relation 11)

Bei der Betrachtung des Regionalverkehrs in der Region Stuttgart wurde als Startpunkt der ersten Relation (Fahrzwecke: B+A, F) ein Wohngebiet im Süden der Stadt Schorndorf ausgewählt. Schorndorf ist mit knapp 40.000 Einwohner ein Mittelzentrum in der Region Stuttgart und markiert als Endhaltestelle der S-Bahnlinie 2 den äußeren Rand des S-Bahn-Bereichs von Stuttgart. Von Aalen kommend hält auch eine Regionalexpresslinie in Schorndorf, die mit konventionellen, E-Lok bespannten Zügen die Strecke nach Stuttgart aufgrund weniger Halte schneller zurücklegt (s. Abbildung 3-11).



Abbildung 3-11: Schorndorf – Stuttgart-Berliner Platz (Relation 11)

Das ausgewählte Wohngebiet, der Rehhaldenweg (Starthaltestelle: ‚Lindenweg‘) ist ein verdichtetes Wohngebiet, in dem auch einige Hochhäuser stehen, und das über eine Buslinie an den Schorndorfer Bahnhof angeschlossen ist. Da davon ausgegangen

werden kann, dass die wenigsten Personen in fußläufiger Entfernung zu einem Bahnhof wohnen, kann die Relation mit dem so gewählten Busvorlauf als exemplarisch für einen großen Teil von Fahrtbeziehungen angesehen werden.

Als Zielpunkte wurde, um wiederum einen Nachlauf zum Transport bis zum Hauptbahnhof zu berücksichtigen, wie bei der Relation 01 in Stuttgart der Berliner Platz gewählt (Zielhaltestelle: ‚Berliner Platz (Liederhalle)‘).

Die Route des ÖV sieht also folgendermaßen aus: Mit dem Bus vom Wohngebiet bis zum Schorndorfer Bahnhof, von dort mit S-Bahn oder Regionalexpress bis zum Stuttgarter Hauptbahnhof, dann noch zwei Haltestellen weit mit der Stadtbahn. Auf dieser und den folgenden zwei Relationen im Regionalverkehr der Region Stuttgart wurde ebenfalls wieder als Parametervariation die Simulation mit den Daten des neuen S-Bahn-Fahrzeuges ET 423 durchgeführt. Als Vorlauf ohne Energieverbrauch und Emissionen wurde auf dieser Relation auch die Variante mit dem Fahrrad als Zubringer zum Bahnhof untersucht (Bike+Ride).

Die Route des IV verläuft vom Rehhaldenweg über die Schlichtener, Stuttgarter Straße und über die AS ‚Schorndorf-West‘ auf die B29, weiter auf die B14 und schließlich am Stuttgarter Charlottenplatz auf die B27, unter dem Schloßplatz hindurch auf die Schloßstr. und zum Berliner Platz.

Detaillierte Wegekettens:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz Tiefgarage (Bereich Berliner Platz), zu Fuß bis zum Ziel
- **Bus + S-Bahn + Stadtbahn:** zu Fuß von der Wohnung bis ‚Lindenweg‘, mit dem Bus 242 bis ‚Schorndorf Bf.‘, mit der S2 bis ‚Hbf.‘, mit der U9/U14 bis ‚Berliner Platz (Liederhalle)‘, zu Fuß bis zum Ziel
- **Bus + Regionalexpress + Stadtbahn:** zu Fuß von der Wohnung bis ‚Lindenweg‘, mit dem Bus 242 bis ‚Schorndorf Bf.‘, mit dem RE bis ‚Hbf.‘, mit der U9/U14 bis ‚Berliner Platz (Liederhalle)‘, zu Fuß bis zum Ziel
- **Fahrrad + S-Bahn + Stadtbahn:** mit dem Fahrrad von der Wohnung bis ‚Schorndorf Bf.‘, mit der S2 bis ‚Hbf.‘, mit der U9/U14 bis ‚Berliner Platz (Liederhalle)‘, zu Fuß bis zum Ziel
- **Fahrrad + Regionalexpress + Stadtbahn:** mit dem Fahrrad von der Wohnung bis ‚Schorndorf Bf.‘, mit dem RE bis ‚Hbf.‘, mit der U9/U14 bis ‚Berliner Platz (Liederhalle)‘, zu Fuß bis zum Ziel



### 3.4.5.2 Rudersberg – Stuttgart-Berliner Platz (Relation 12)

Die Gemeinde Rudersberg (11.000 Einwohner inkl. Teillorte) liegt nördlich von Schorndorf. Mit einem Startpunkt im Rudersberger Wohngebiet im Nelkenweg (Fahrtszwecke: B+A, F) lässt sich die Wieslaufalbahn in die Untersuchung einbeziehen. Die Wieslaufalbahn ist eine reaktivierte Nebenbahn von Rudersberg bis Schorndorf, die seit einigen Jahren von der Württembergischen Eisenbahngesellschaft (WEG) u.a. mit ADtranz Regio-Shuttles sehr erfolgreich betrieben wird. Die Bahn ist in Schorndorf mit der S-Bahn von und nach Stuttgart vertaktet (s. Abbildung 3-12).

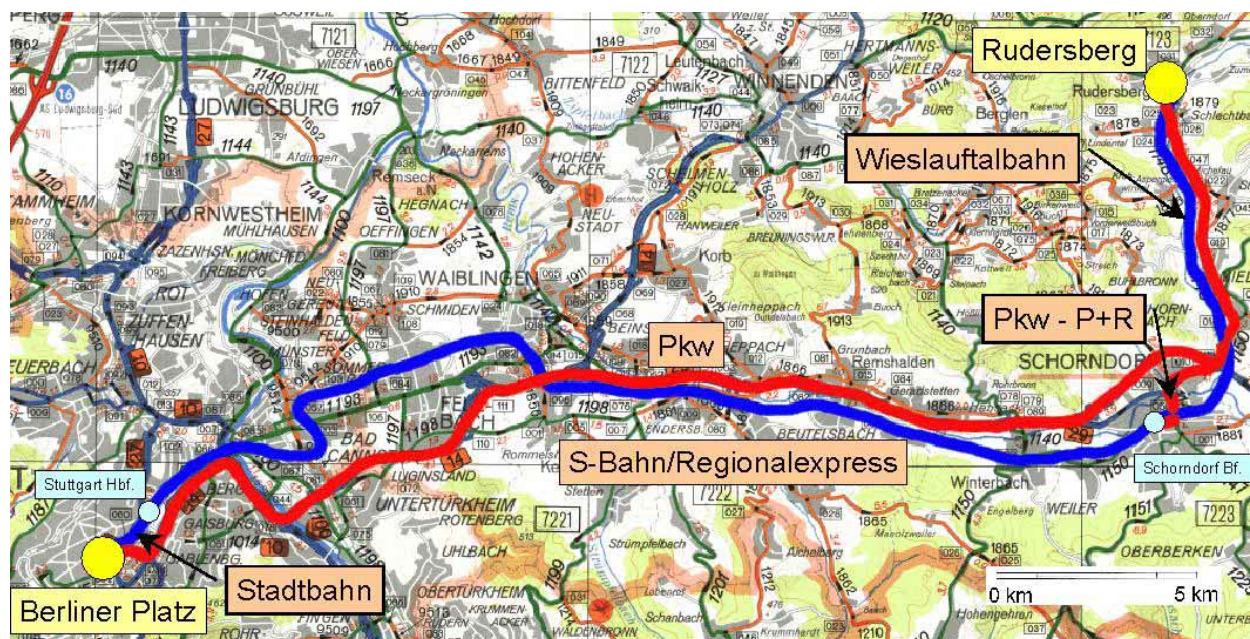


Abbildung 3-12: Rudersberg – Stuttgart-Berliner Platz (Relation 12)

Das ausgewählte Wohngebiet liegt in fußläufiger Entfernung von der Starthaltestelle ‚Rudersberg Bf.‘. Als Zielpunkt wurde wiederum der Berliner Platz (Zielhaltestelle: ‚Berliner Platz (Liederhalle)‘ in Stuttgart gewählt.

Die ÖV-Route verläuft also mit der Wieslaufalbahn bis Schorndorf Bf., von dort weiter wie bei Relation 11 mit S-Bahn, RE und Stadtbahn zum Berliner Platz.

Die IV-Route von Rudersberg führt über die L1148 durch Schlechtbach, Michelau, Miedelsbach und Haubersbronn über die AS ‚Schorndorf-Mitte‘ auf die B29, danach weiter wie bei Relation 11 bis Berliner Platz.

Als weitere Variante wurde auch noch eine Park-and-Ride-Relation untersucht, bei der der Vorlauf von Rudersberg bis Schorndorf mit dem Pkw erfolgt, von dort dann weiter wie bei Relation 11, mit S-Bahn, RE und Stadtbahn zum Berliner Platz.

Um den Einfluss der Entwicklung bei der Pkw-Antriebstechnik zu untersuchen, wurden als Parametervariation die Pkw-Fahrten für Fahrzeuge der Euro4-Abgasnorm berechnet (siehe dazu Kapitel 5.1.2.2).

Detaillierte Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Tiefgarage Bereich Berliner Platz), zu Fuß bis zum Ziel
- **Regio-Shuttle + S-Bahn + Stadtbahn:** zu Fuß von der Wohnung bis 'Rudersberg Bf.', mit der Wieslauffalbahn bis 'Schorndorf Bf.', mit der S2 bis 'Hbf.', mit der U9/U14 bis 'Berliner Platz (Liederhalle)', zu Fuß bis zum Ziel
- **Regio-Shuttle + Regionalexpress + Stadtbahn:** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis 'Schorndorf Bf.', mit der S2 bis 'Hbf.', mit der U9/U14 bis 'Berliner Platz (Liederhalle)', zu Fuß bis zum Ziel
- **Pkw + S-Bahn + Stadtbahn (P+R):** zu Fuß von der Wohnung bis 'Rudersberg Bf.', mit der Wieslauffalbahn bis 'Schorndorf Bf.', mit dem RE bis 'Hbf.', mit der U9/U14 bis 'Berliner Platz (Liederhalle)', zu Fuß bis zum Ziel
- **Pkw + Regionalexpress + Stadtbahn (P+R):** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis 'Schorndorf Bf.', mit dem RE bis 'Hbf.', mit der U9/U14 bis 'Berliner Platz (Liederhalle)', zu Fuß bis zum Ziel

### 3.4.5.3 S-West – Rudersberg (Relation 13)

Die letzte Relation in diesem Raum stellt eine Umkehrung der vorigen Relation 12 – „Rudersberg – Stuttgart-Berliner Platz“ dar, diesmal soll allerdings eine sonntägliche Wochenendaktivität (Fahrtzweck: S) dargestellt werden, weshalb der Startpunkt wie bei der entsprechenden Relation 02 im Ballungsraum Stuttgart in die Wohnanlage ‚Am Bollwerk‘ am Berliner Platz gelegt wurde (s. Abbildung 3-13).

Der Zielpunkt befindet sich nun umgekehrt in Rudersberg, das als Ausgangspunkt für sonntägliche Wanderungen im Welzheimer Wald angesehen werden kann.

Ein Hauptunterschied zur Relation 12 ergibt sich, neben einer anderen Fahrgastauslastung, aus der Tatsache, dass die Wieslauffalbahn am Wochenende mangels Nachfrage nicht verkehrt, und die Verbindung von Schorndorf bis Rudersberg deshalb mit einem Regionalbus der RegionalBus Stuttgart GmbH (RBS) erfolgt.



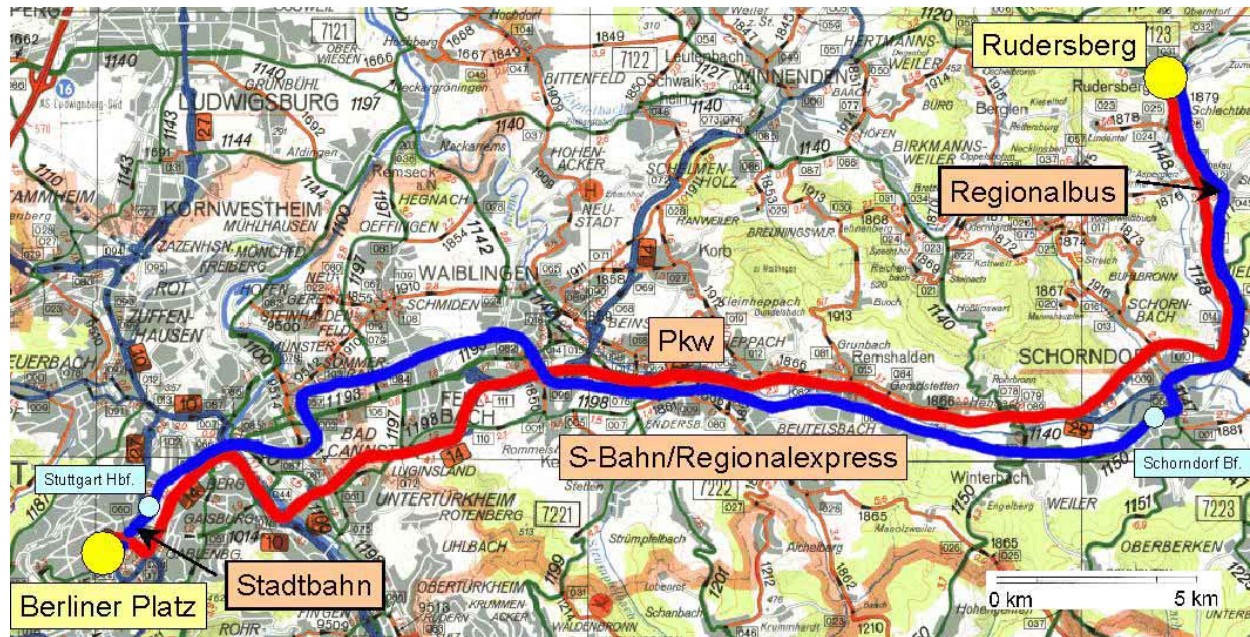


Abbildung 3-13: S-West – Rudersberg (Relation 13)

Detaillierte Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Rudersberg)
- **Stadtbahn + S-Bahn + Bus:** zu Fuß von der Wohnung bis 'Berliner Platz (Liederhalle)', mit der U9/U14 bis 'Hbf.', mit der S-Bahn bis 'Schorndorf Bf.', mit dem Regionalbus 228 bis 'Rudersberg Bf.', zu Fuß bis zum Ziel
- **Stadtbahn + Regionalexpress + Bus:** zu Fuß von der Wohnung bis 'Berliner Platz (Liederhalle)', mit der U9/U14 bis 'Hbf.', mit dem RE bis 'Schorndorf Bf.', mit dem Regionalbus 228 bis 'Rudersberg Bf.', zu Fuß bis zum Ziel

#### 3.4.5.4 Stuttgart-Möhringen – Mannheim-Zentrum (Relation 14)

Als Startpunkt der Relation von Stuttgart-Möhringen nach Mannheim-Zentrum wurde das bereits von Relation 01 bekannte Wohnhaus in der Hieberstraße in Stuttgart-Möhringen gewählt. Die Starthaltestelle ist somit also wieder 'Möhringen Bf.' (s. Abbildung 3-14). Damit ergibt sich im ÖV ein Vorlauf mit der Stadtbahn zum ICE.

In Mannheim liegt der Zielpunkt im Stadtzentrum in den L-, M- und N-Quadranten sowie in der Schwetzingen Stadt, so dass die Ziele für die untersuchten Fahrtzwecke B+A, GS und F fußläufig vom Hauptbahnhof zu erreichen sind. Die Zielhaltestelle für diese Relation ist also 'Mannheim Hbf.'.

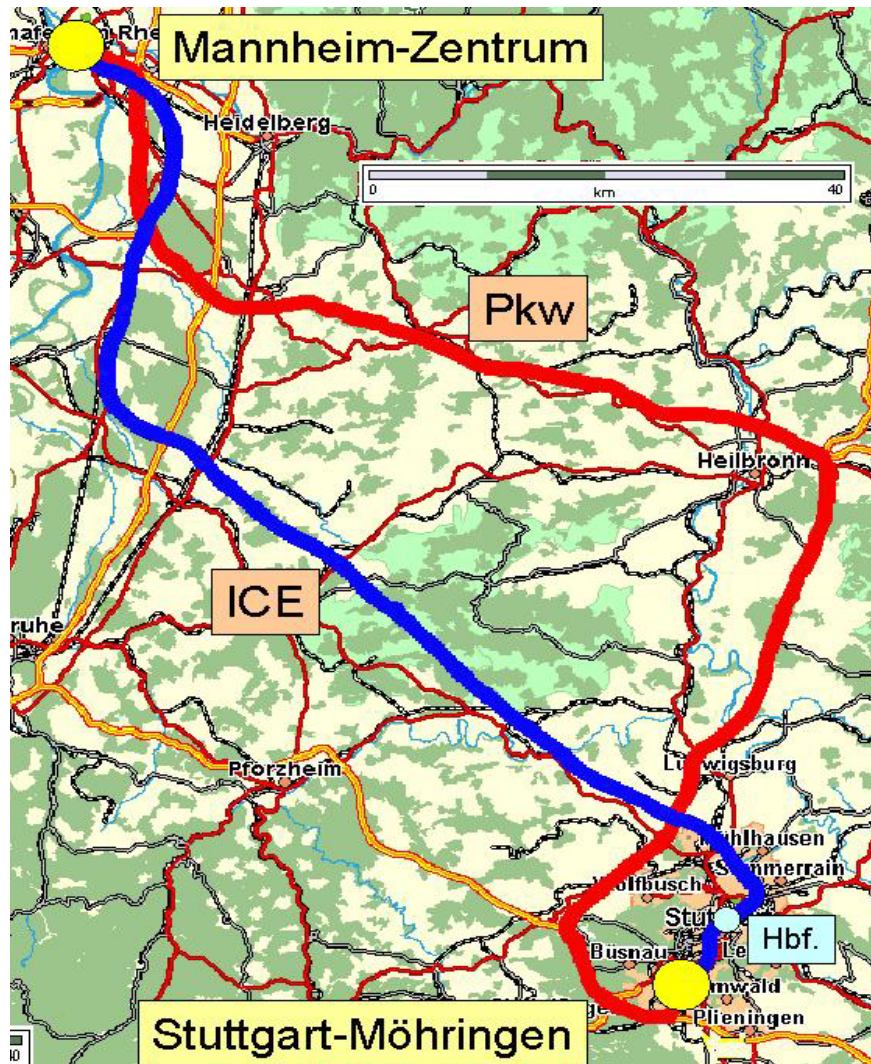


Abbildung 3-14: Stuttgart-Möhringen – Mannheim-Zentrum (Relation 14)

Die ÖV-Route beginnt wieder mit der Stadtbahn von ‚Möhringen Bf.‘ bis zum Stuttgarter Hauptbahnhof. Von dort geht es weiter mit einem ICE1 bis zur Zielhaltestelle ‚Mannheim Hbf.‘.

Auf dieser Bahnstrecke verkehren ebenfalls lokbespannte Inter-Regio-Züge, die auf dieser Relation nur 10 Minuten länger unterwegs sind als der ICE. Dies macht sie für viele Fahrgäste angesichts des deutlich billigeren Fahrpreises zu einer interessanten Alternative zum ICE. Da der hier verkehrende Inter-Regio-Zug aber rund 50% weniger Sitzplätze als der ICE hat, wurde kein realer, sondern ein fiktiver Inter-Regio-Zug mit derselben Sitzplatzkapazität wie der ICE1 als Ersatz für den ICE als Parametervariation untersucht.



Als weitere Parametervariation wurde bei dieser Relation der auf dieser Strecke ebenfalls, wenn auch nicht für die konkreten, hier untersuchten Fahrten, eingesetzte ICE2 untersucht.

Die IV-Route führt von der Hieberstraße durch Möhringen hindurch über die Anschlussstelle ‚Vaihingen-Möhringen‘ auf die A8, über das Dreieck Leonberg weiter auf die A81, am Kreuz Weinsberg auf die A6 und über die Kreuze Walldorf und Mannheim nach Mannheim, wo sie über die Augustaanlagen in die Mannheimer Innenstadt zum Ziel führt.

Um den Einfluss der Entwicklung bei der Pkw-Abgasreinigung zu untersuchen, wurden als Parametervariation die Pkw-Fahrten für Fahrzeuge der Euro4-Abgasnorm berechnet (5.1.2.2).

Detaillierte Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung (Hieberstraße) bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Tiefgarage Mannheim-Zentrum), zu Fuß bis zum Ziel.
- **Stadtbahn + ICE1:** zu Fuß von der Wohnung (Hieberstraße) bis ‚Möhringen Bf.‘, mit der U5/U6 bis ‚Stgt.-Hbf.‘, mit dem ICE1 bis ‚MA-Hbf.‘, zu Fuß bis zum Ziel.
- **Stadtbahn + ICE2:** zu Fuß von der Wohnung (Hieberstr.) bis ‚Möhringen Bf.‘, mit der U5/U6 bis ‚Stgt.-Hbf.‘, mit dem ICE2 bis ‚MA-Hbf.‘, zu Fuß bis zum Ziel
- **Stadtbahn + IR:** zu Fuß von der Wohnung (Hieberstraße) bis ‚Möhringen Bf.‘, mit der U5/U6 bis ‚Stgt.-Hbf.‘, mit dem IR bis ‚MA-Hbf.‘, zu Fuß bis zum Ziel
- Personenfernverkehr innerhalb Baden-Württembergs

### 3.4.5.5 Mannheim – Basel

Diese in Mannheim beginnende Relation hat als Startpunkt eine Wohnung in der Gontardstraße im Mannheimer Stadtteil Lindenhof. Dieser ruhige, in Nähe von Schlossgarten und Rhein gelegene Stadtteil ist ein beliebtes Wohnquartier, insbesondere da es vom Mannheimer Hauptbahnhof aus in zehn Minuten fußläufig zu erreichen ist. Starthaltestelle ist also ‚Mannheim Hbf.‘.

Der Zielpunkt für die untersuchten Fahrtzwecke GF und GS liegt im Zentrum Basels, das sich in fußläufiger Entfernung vom ‚Bahnhof Basel SBB‘, der Zielhaltestelle, befindet. Dort gibt es eine Vielzahl von möglichen Zielen für die Fahrtzwecke GS und GF (s. Abbildung 3-15).



Abbildung 3-15: Mannheim – Basel (Relation 15)

Die ÖV-Strecke entspricht einer Fahrt mit einem ICE1 von Mannheim Hbf. nach Bf. Basel SBB.

Die IV-Strecke verläuft vom Stadtteil Lindenhof über die B37 und die A656 zum AK Mannheim, von dort auf die A6 bis zum Kreuz Walldorf, auf die A5, weiter bis zum Grenzübergang Weil am Rhein und bis zur Tiefgarage ‚Kantonsspital‘ am Cityring im Zentrum Basels.

Detaillierte Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung (Gontardstraße) bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Tiefgarage ‚Kantonsspital‘ Basel-Zentrum), zu Fuß bis zum Ziel
- **Stadtbahn + ICE1:** zu Fuß von der Wohnung (Gontardstraße) bis ‚Mannheim Hbf.‘, mit dem ICE1 bis ‚Bf. Basel SBB‘, zu Fuß bis zum Ziel

### 3.4.5.6 Freiburg – Lindau

In Freiburg liegt der Startpunkt, wie schon bei den Relationen 04 und 05, im Stadtteil Rieselfeld in der Willy-Brandt-Straße. Starthaltestelle ist also wiederum ‚Maria-von-Rudloff-Platz‘.

Das Ziel dieser Relation liegt in der Innenstadt von Lindau, auf der Lindauer Insel in fußläufiger Entfernung vom Hauptbahnhof. Zielhaltestelle ist demnach ‚Lindau Hbf.‘ (siehe Abbildung 3-16).



Abbildung 3-16: Freiburg – Lindau (Relation 16)

Die ÖV-Strecke führt vom ‚Maria-von-Rudloff-Platz‘ mit der Freiburger Stadtbahn zum Hauptbahnhof. Von dort weiter mit dem Regionalexpress bis Basel, Badischer Bahnhof. Dort besteht Anschluss an den Regionalexpress nach Lindau Hbf. Für diese letzte Strecke wird der Neigetechnikzug VT611 von ADtranz eingesetzt.

Die IV-Strecke nimmt eine völlig andere Route und führt durch die Freiburger Innenstadt hindurch auf der B31 über Hinterzarten, durchs Höllental, an Titisee-Neustadt vorbei über die AS Geisingen auf die A81. Auf dieser geht es weiter bis zum Kreuz Hegau, von dort auf die A98, die nach Stockach wieder in die B31 übergeht. Auf der neu ausgebauten B31 führt die Strecke nach Überlingen und weiter über Friedrichshafen bis zum Parkplatz auf der Lindauer Insel.

Detaillierte Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung (Willy-Brandt-Straße.) bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Parkplatz Lindau-Insel), zu Fuß bis zum Ziel
- **Stadtbahn + 2xRegionalexpress:** zu Fuß von der Wohnung (Willy-Brandt-Straße) bis ‚Maria-von-Rudloff-Platz‘, mit der Stadtbahn 6 bis ‚Freiburg Hbf.‘, mit dem Regio-

nalexpress bis ‚Basel Bad. Bf.‘, mit dem Regionalexpress (NeiTech VT611) bis ‚Lindau Hbf.‘, zu Fuß bis zum Ziel

## 4 Untersuchte Entstehungs- und Wirkungskomponenten

### 4.1 Allgemein

Der Vergleich der umwelt- und klimarelevanten Wirkungen erfolgt mittels der Berechnung der durch die konkrete Fahrt entstehenden bzw. der ihr anzulastenden Energieaufwendungen und Emissionen. Im Ganzen werden acht verschiedene, sogenannte Wirkungskomponenten berechnet. Diese acht Wirkungskomponenten und ihre Relevanz bezüglich globaler, regionaler und lokaler Wirkungen werden in Kapitel 4.2 dargestellt.

Die einzelnen Wirkungskomponenten werden differenziert nach vier sogenannten Entstehungskomponenten, die Aufschluss darüber geben, ob die jeweilige Wirkungskomponente direkt am Fahrzeug anfällt oder aus einem vorgelagerten Prozess der Energie-, Infrastruktur- oder Fahrzeugbereitstellung resultiert, berechnet. Kapitel 4.3 vermittelt eine Übersicht über die genaue Aufteilung der untersuchten Entstehungskomponenten und gibt an, durch welches der beteiligten Institute die Berechnung erfolgte.

Die Bewertung der verschiedenen Verkehrsmittel erfolgt ausschließlich aufgrund der umwelt- und klimarelevanten Wirkungen. Trotzdem werden zu rein informativen Gründen auch der Zeitaufwand und die Kosten, die durch die Benutzung der jeweiligen Verkehrsmittel entstehen, ermittelt. Im IV werden sowohl die Vollkosten die zusätzlich Kfz-Steuer, Versicherung, Wertverlust, Verzinsung des Kapitals, Reparaturen etc. berücksichtigen, berechnet, als auch die rein variablen Kosten, die allein durch die tatsächliche Nutzung des Pkw entstehen. Im ÖV wurden jeweils die Kosten eines Einzelfahrscheines als auch die anteiligen Kosten einer Fahrt bei der Benützung einer Jahresfahrkarte angegeben.

**[Die Tabelle mit diesem Kostenvergleich befindet sich am Ende des Anhangs und kann durch einen Mausklick auf diesen Satz direkt erreicht werden.](#)**

## 4.2 Untersuchte Wirkungskomponenten

### 4.2.1 Energieaufwendungen

Die erste zu untersuchende Komponente der konkreten Fahrten stellen die jeweiligen Energieaufwendungen dar. Zwar stellen die Energieaufwendungen für einen Transportvorgang keine direkte umwelt- oder klimarelevante Wirkung dar, denn nur die durch den Verbrauch bestimmter Energieträger entstehenden Stoffe können solche Wirkungen entfalten.

Die Energieaufwendungen sind trotzdem von Interesse, da sie in der Regel bei der Beurteilung und dem Vergleich von Verkehrsmitteln die am einfachsten zu messende Größe und deshalb auch die am häufigsten verwendete Bezugsgröße sind. Die Menge der entstehenden Emissionen hat meist einen quantitativen Bezug zu den Energieaufwendungen. Allerdings ist dieser Bezug sehr stark von der Art des betrachteten Verkehrsmittels und dem eingesetzten Energieträger abhängig. In einzelnen Fällen, z.B. Verdampfungsemissionen, können Emissionen auch unabhängig von den Energieaufwendungen entstehen.

Ein weiterer Grund für die Betrachtung des Energieaufwandes ist die Endlichkeit der Ressourcen von einigen der zum Einsatz kommenden Energieträgern, und die damit verbundene Notwendigkeit des sparsamen Umganges mit Energie.

### 4.2.2 Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

CO<sub>2</sub> hat keine lokale, d.h. die Gesundheit des Menschen direkt beeinträchtigende Wirkung. Ebenso besitzt CO<sub>2</sub> keine regionalen Wirkungen (Sommersog, Versauerung der Böden und der Gewässer etc.).

Die relevanten Wirkungen des CO<sub>2</sub> liegen einzig im globalen Bereich. Die Anreicherung des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Erdatmosphäre resultiert im wesentlichen aus Verbrennungsprozessen. Die anthropogenen CO<sub>2</sub> - Emissionen, von denen in Baden-Württemberg 1998 28% durch den Verkehr verursacht wurden<sup>3</sup>, sind dabei hauptverantwortlich für den Konzentrationsanstieg<sup>4</sup>. Dieser Anstieg führt zu einer globalen Erwärmung der Erdatmosphäre, dem sogenannten ‚Treibhauseffekt‘, verbunden mit dem erhöhten Risiko

---

<sup>3</sup> FRIEDRICH et al. (2000)

<sup>4</sup> INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (1995)

von Naturkatastrophen wie Unwetter, Orkanen, Überschwemmungen und der Gefahr des Anstiegs des Meeresspiegels durch das Abschmelzen der Polarkappen.

Aufgrund der Tatsache, dass letztendlich das in der Atmosphäre angereicherte CO<sub>2</sub> klimaschädigend wirkt, genügt es nicht, nur die unmittelbar bei der Verbrennung, z.B. während der Fahrt eines Pkw, freigesetzten Emissionen zu betrachten. Vielmehr wird davon ausgegangen, dass alle übrigen entstandenen Kohlenstoff enthaltenden Verbindungen nach einer gewissen Zeit in die energetisch niedrigste Verbindung CO<sub>2</sub> zerfallen. Die auch in dieser Studie verwendete Angabe über die entstandene CO<sub>2</sub>-Menge bezeichnet diese Endmenge, und ist daher als CO<sub>2</sub>-Freisetzung zu bezeichnen. Eben aufgrund der Annahme, dass alle im verbrannten Kraftstoff enthaltenen Kohlenstoffatome sich irgendwann mit zwei Sauerstoffatomen zu einem CO<sub>2</sub>-Molekül verbinden, wird CO<sub>2</sub> direkt proportional zur Menge des verbrannten Kraftstoffs berechnet.

#### **4.2.3 Stickoxide (NO<sub>x</sub>)**

Unter dem Begriff NO<sub>x</sub> werden verschiedene Verbindungen aus Stickstoff und Sauerstoff zusammen gefasst. Vorwiegend emittiert, vor allem durch Dieselmotoren von Nutzfahrzeugen, wird das Stickstoffmonoxid (NO), das allerdings von geringerem Interesse ist. Es wird an der Atmosphäre jedoch leicht zu dem wesentlich aggressiveren Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) oxidiert. Stickstoffdioxid ist wasserlöslich und reagiert sauer und oxidierend.

Lokal wirkt es als ein starkes Reizgas, das Schleimhäute und Atemtrakt angreift<sup>5</sup>.

Eine regional bedeutsame Wirkung des NO<sub>2</sub> ist, dass es bei Vorhandensein von Kohlenwasserstoffen (VOC) und starker Sonneneinstrahlung die bodennahe Ozonbildung begünstigt. Das hierbei entstehende Ozon wiederum greift als starkes Oxidationsmittel Gewebe und Schleimhäute des Menschen an, wirkt also lokal, mit einem Schwerpunkt der Wirkung auf die Lunge. Ozon ist unter den Luftschadstoffen das aggressivste Reizgas<sup>6</sup>.

Des Weiteren tragen die Stickoxide zur Versauerung des Regens (,saurer Regen') und damit der Böden und Gewässer bei (zusammen mit SO<sub>2</sub>), sowie zu erhöhtem Stickstoffeintrag in Böden und Gewässer. Dies führt zu einer Überdüngung der Pflanzen, nitrophile Pflanzen (z.B. Brennnesseln) reagieren mit Überwachstum, stickstoffarme

---

<sup>5</sup> BRAUER (1996)

<sup>6</sup> BLIEFERT (1997)

Ökosysteme (z.B. Hochmoore und Trockenrasen) werden geschädigt, es kommt zu einem Artenungleichgewicht und einer Verringerung der Biodiversität<sup>7</sup>.

Ca. 59% der anthropogenen NO<sub>x</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg stammten 1998 aus dem Verkehrsbereich<sup>3</sup>.

#### 4.2.4 Kohlenmonoxid (CO)

Das vor allem bei unvollständigen Verbrennungen auftretende Kohlenmonoxid (CO) ist eine typische Komponente von Kraftfahrzeugabgasen. Sein Ausstoß konnte durch den Einsatz des Katalysators extrem reduziert werden, so dass es heute in relevanten Mengen im Verkehrsbereich nur noch in der Kaltstartphase von Otto-Motoren emittiert wird. Der Anteil des Verkehrsbereichs an den CO-Emissionen in Baden-Württemberg betrug 1998 45%<sup>3</sup>.

CO wirkt lediglich lokal. Es ist von seiner Hauptwirkung her ein Blutgift, das den lebensnotwendigen Sauerstofftransport durch das Hämoglobin blockiert, da seine Affinität zum Hämoglobin etwa 240 mal so groß ist wie die des Sauerstoffs. Als erste Wirkungen gelten Beeinträchtigungen der Herztätigkeit und der Konzentrationsleistung<sup>5</sup>.

#### 4.2.5 Methan (CH<sub>4</sub>)

Methan (CH<sub>4</sub>) ist einer der bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehenden Kohlenwasserstoffe und hat mit 20 - 25 % den größten Anteil an der Menge der von modernen Verbrennungsmotoren emittierten Kohlenwasserstoffe. Zwar emittieren moderne Motoren weniger CH<sub>4</sub> als ältere, doch war der Rückgang bei den übrigen Kohlenwasserstoffen weitaus stärker, so dass sich der Anteil des CH<sub>4</sub> erhöhte. Beträchtliche Mengen fallen auch während der Kaltstartphase des Motors an<sup>8</sup>.

Die Wirkung von Methan ist ebenso wie die des CO<sub>2</sub> lediglich globaler Art. Wie CO<sub>2</sub> ist Methan ein Treibhausgas, das die Erwärmung der Erdatmosphäre, den Treibhauseffekt, mit den oben beschriebenen Folgen unterstützt. Der Anteil von Methan am gesamten Treibhauseffekt beträgt 5%. Zwar wird mengenmäßig weitaus weniger Methan emittiert, doch ist seine klimaschädigende Wirkung ca. 25 mal höher als die des CO<sub>2</sub>.

---

<sup>7</sup> KULL (2000)

<sup>8</sup> UMWELTBUNDESAMT (1999)



#### 4.2.6 Kohlenwasserstoffe (VOC)

Die Kohlenwasserstoffe stellen den weitaus größten Teil der organisch-chemischen Gase in atmosphärischer Luft. Sie treten vor allem im Einwirkungsbereich des Kraftverkehrs, von Raffinerien, von petrochemischen Anlagen, Tanklagern und Tankstellen, sowie bei der Verwendung von Lösemitteln auf.

Die Kohlenwasserstoffe (VOC, in Deutschland meist als HC bezeichnet) enthalten u.a. Methan (siehe 4.2.5) und Benzol (siehe 4.2.7), als die zwei wichtigsten Komponenten bezüglich Anteil und Wirkung.

Kohlenwasserstoffe wirken lokal und regional, lediglich Methan wirkt ausschließlich global.

Lokal können sie, abhängig von der Konzentration, den menschlichen Organismus schädigen, und zwar das Herz-Kreislauf-System, das Immunsystem und die Haut (halogenierte Kohlenwasserstoffe) sowie Leber und Niere (aliphatische und cyclische Kohlenwasserstoffe). Krebserregend wirken vor allem Benzol, aber auch die aliphatischen und cyclischen Kohlenwasserstoffe<sup>5</sup>.

Regional wirken Kohlenwasserstoffe, indem einige ihrer Abbauprodukte (RO<sub>2</sub>-Radikale) bei starker Sonneneinstrahlung in besonders starkem Maße an Stelle von Ozon mit NO zu NO<sub>2</sub> verbinden. Als Folge davon bleibt eine entsprechend größere Menge des bei Sonneneinstrahlung immer entstehenden troposphärischen Ozons erhalten und die Ozon-Konzentration steigt über den normalen photostationären Gleichgewichtswert an (Sommersmog).

1998 stammten 24% der anthropogenen Kohlenwasserstoffemissionen (ohne Methan) in Baden-Württemberg aus dem Verkehrsbereich<sup>3</sup>.

Beträchtliche Mengen VOC werden, neben den Emissionen während der Fahrt, auch durch Verdampfung des heißen Motors nach dem Abstellen („hot soak losses“) sowie durch Tankatmung freigesetzt.

#### 4.2.7 Benzol

Benzol gehört zur Gruppe der Kohlenwasserstoffe, wobei alle sich vom Benzol ableitenden Verbindungen aromatische Kohlenwasserstoffe genannt werden. Sie sind mittel bis sehr gut wasserlöslich und besitzen fast alle eine hohe Flüchtigkeit. Benzol wird vorwiegend als Lösemittel und Zwischenprodukt in der chemischen Industrie bei der

Herstellung organischer Produkte, Pflanzenschutzmittel, Farbstoffe etc. sowie als Treibstoffzusatz eingesetzt. Letzteres gilt vor allem seit dem Verbot von verbleitem Benzin.

Der überwiegende Teil (ca. 85%) des jährlich in Deutschland in die Umwelt gelangenden Benzols stammt aus dem Kraftfahrzeugverkehr<sup>5</sup>. Ein beträchtlicher Teil wird während der Kaltstartphase emittiert, allerdings werden nicht unerhebliche Mengen Benzol, wie auch bei den übrigen Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen (NMVOC od. NMHC), auch durch Verdampfung des heißen Motors nach dem Abstellen („hot soak losses“) sowie durch Tankatmung freigesetzt.

Benzol wirkt lokal. Es gilt als stark krebserregend.

#### **4.2.8      Partikel**

Bei der Betrachtung der Belastung der atmosphärischen Luft mit Schwebstaub sind vor allem die Teilchen (Partikel) mit einem Durchmesser von bis zu 10µg (PM10), die als lungengängig gelten, von Interesse. Sie machen rund 85% des Gesamtstaubs aus. Die wichtigsten Komponenten des Schwebstaubs sind Schwermetalle und aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH = polycyclic aromatic hydrocarbons).

Die PAH entstehen bei unvollständigen Verbrennungen und sind bei der Betrachtung des Kraftfahrzeugverkehrs von besonderer Bedeutung. Sie werden im Verkehr fast ausschließlich von Dieselmotoren emittiert, 36% der anthropogenen PM10-Emissionen stammten 1998 in Baden-Württemberg aus dem Verkehrswesen<sup>3</sup>.

PAH gelten als krebserregend (Lungenkrebs).

### **4.3      Untersuchte Entstehungskomponenten**

Bei der Ermittlung der umwelt- und klimarelevanten Wirkungskomponenten werden nicht nur die direkt am Fahrzeug anfallenden Energieaufwendungen und Emissionen berücksichtigt. Auch sog. indirekte Energieaufwendungen und Emissionen, die aus der Energiebereitstellung sowie der Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung sowohl der Fahrzeuge als auch der Infrastruktur (Fahrwege, Abstellanlagen, Haltestellen...) resultieren, finden Berücksichtigung. Die einzelnen, von diesen verschiedenen Prozessen verursachten Energieaufwendungen und Emissionen werden im Folgenden als Entstehungskomponenten bezeichnet.

Abbildung 4-1 zeigt die untersuchten Entstehungskomponenten und die jeweils bearbeitenden Institute.

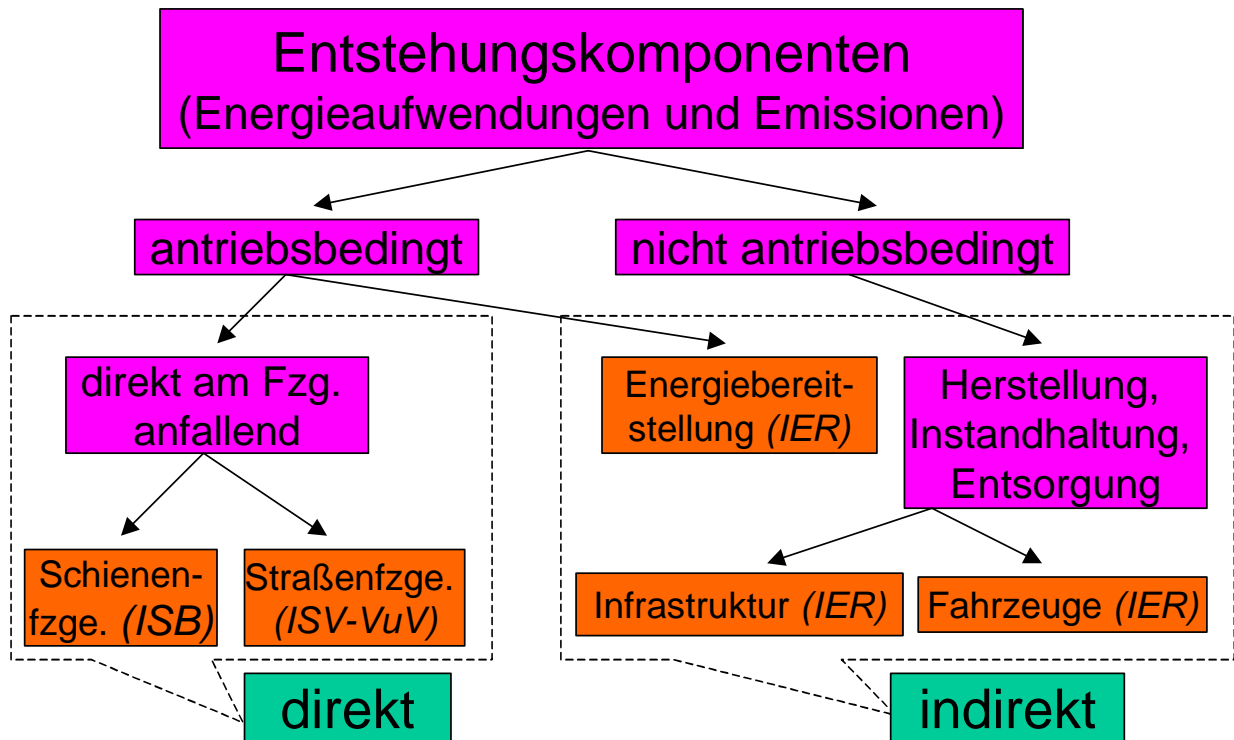


Abbildung 4-1: Untersuchte Entstehungskomponenten und die jeweils bearbeitenden Institute

Die berücksichtigten Entstehungskomponenten teilen sich grundsätzlich in die zwei Gruppen der antriebsbedingten und der nicht antriebsbedingten Energieaufwendungen und Emissionen auf.

Zu den Antriebsbedingten gehören diejenigen, die direkt am Fahrzeug anfallen. Dies sind der Kraftstoff, der z.B. im Motor eines Pkw verbrannt wird, die Emissionen, die dieses Fahrzeug emittiert, oder der Strom, den z.B. eine Stadtbahn am Stromabnehmer aus der Oberleitung zieht. Diese Entstehungskomponenten werden unter dem Begriff der direkten Energieaufwendungen und Emissionen zusammengefasst.

Weiterhin gehören zu den Antriebsbedingten alle Energieaufwendungen und Emissionen, die durch die Bereitstellung der Antriebsenergie verursacht werden. Dies sind die Verluste gegenüber der eingesetzten Primärenergie bei der Stromherstellung im Kraftwerk und die dabei anfallenden Emissionen sowie bei den Mineralölprodukten die Leitungsverluste und die Energieaufwendungen und Emissionen bei der Mineralölgewinnung, in der Raffinerie und beim Transport zu den Tankstellen.

Neben diesen antriebsbedingten werden die nicht antriebsbedingten Entstehungskomponenten untersucht. Es sind dies alle Energieaufwendungen und Emissionen, die aus der Herstellung, der Instandhaltung und der Entsorgung der Fahrzeuge und der Infrastruktur resultieren.

Die aus der Energiebereitstellung und die aus der Herstellung, Instandhaltung und Entsorgen der Fahrzeuge sowie der Infrastruktur herrührenden Entstehungskomponenten werden unter dem Begriff der indirekten Energieaufwendungen und Emissionen zusammengefasst.

Die direkt am Straßenfahrzeug anfallenden Energieaufwendungen und Emissionen wurden am Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik der Universität Stuttgart (ISV-VuV) berechnet. Mit der Berechnung der direkten Energieaufwendungen der Schienenfahrzeuge wurde das Institut für Schienenbahnen und maschinelle Bahnanlagen bzw. nach dessen Auflösung das Institut für Maschinenelemente, Konstruktionstechnik und Tribologie, beide Universität Hannover (ISB) beauftragt. Die zugehörigen direkten Emissionen wurden vom Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik der Universität Stuttgart (ISV-VuV) berechnet. Die Ermittlung der indirekten Entstehungskomponenten oblag dem Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart.

## 5 Berechnung der direkten Energieaufwendungen und Emissionen

### 5.1 Straßenfahrzeuge

#### 5.1.1 Methodischer Ansatz

Ziel der Berechnung der direkten Energieaufwendungen und Emissionen der Straßenfahrzeuge ist die Bereitstellung von Absolutwerten der einzelnen untersuchten Komponenten in MJ, g bzw. mg für die Beförderung einer Person auf der jeweiligen Relation vom Start- zum Zielort und wieder zurück. Die Ergebnisse sind differenziert nach der Kategorie der untersuchten Fahrzeuge (Pkw mit Otto-Motor oder Diesel-Motor, Linienbus), Hin- und Rückfahrt sowie Besetzungsgrad des Pkw. Der Ansatz dieser Untersuchung sieht vor, die tatsächlich in der Realität vorkommenden Randbedingungen einer konkreten Fahrt möglichst exakt abzubilden.

Hierzu werden zunächst auf Basis des Handbuchs für Emissionsfaktoren (HB-EFA) (Version 1.2) des Umweltbundesamtes die direkten Energieaufwendungen und Emissionen für die jeweilige Fahrt der zu untersuchenden Kraftfahrzeuge berechnet und anschließend auf die Beförderung einer Person umgerechnet. Der üblicherweise angenommene durchschnittliche Besetzungsgrad von Pkw in Höhe von 1,2 kann bei einer konkreten Fahrt allerdings nie angetroffen werden. Deshalb werden jeweils Werte für die Fahrt eines Pkw mit einer Besetzung von 1, 2, 3 oder 4 Personen ermittelt.

Bei den Linienbussen werden die für die Fahrt zwischen zwei Haltestellen notwendigen Energieaufwendungen und die damit verbundenen Emissionen berechnet und durch die Anzahl der sich jeweils zu dieser Zeit real im Bus befindenden Fahrgäste geteilt. Die Fahrgastzahlen beruhen meist auf Angaben der Verkehrsunternehmen, z.T. wurden aber auch eigene Erhebungen durchgeführt. Die so ermittelten pro-Kopf-Werte im Haltestellenabschnitt werden darauf zum Gesamtergebnis der Relation aufaddiert.

Die eigentliche Emissionsberechnung wurde durchgeführt mit Hilfe einer Datenbank-anwendung auf Basis der Standardsoftware Microsoft® Access 97.

Das Handbuch für Emissionsfaktoren liefert Energieverbrauchs- und Emissionsfaktoren pro km in Abhängigkeit von folgenden Parametern:

- Emissionsart: „warme“ Emissionsfaktoren, Kaltstartzuschläge, Verdampfungsemissionen (nach Motorabstellen und/oder infolge Tankatmung).
- Fahrzeugkategorie: Pkw, Lieferwagen, Schwere Nutzfahrzeuge, Reisebusse, Liniensebusse, Motorräder, Mofa.
- Bezugsjahr für die Festlegung der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte in Deutschland: 1980 - 2020.
- Komponenten: mittlerer Kraftstoffverbrauch, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, VOC, Benzol, Partikel, etc.
- Verkehrssituation: z.B. Autobahn ohne Tempolimit, Verkehrsstärken < 1400 Kfz/h je Fahrstreifen; außerorts, guter Ausbaugrad, gleichmäßig kurvig; Innerort-Hauptverkehrsstraße, vorfahrtberechtigt, mittlere Störungen; Innerortsstraßen, Stop+Go; etc.
- Längsneigung der Straße: -6%, -4%, -2%, 0%, 2%, 4%, 6%.
- Einflussfaktoren für Kaltstartzuschläge: Umgebungstemperatur, Fahrlängenverteilung, Standzeitenverteilung, Fahrmustermix.
- Einflussfaktoren für Verdampfungsemissionen und Tankatmung nach Motorabstellen: Fahrlängenverteilung, Standzeitenverteilung, Einfluss der Umgebungstemperatur.

In den folgenden Kapiteln 5.1.2 Fahrzeugdaten, 5.1.3 Streckendaten sowie 5.1.4 Einflussfaktoren für Kaltstartzuschläge, Verdampfungsemissionen und Tankatmung nach Motorabstellen wird erläutert, welche Eingangswerte für die einzelnen Parameter bei den Berechnungen verwendet wurden und wie sie ermittelt bzw. welche Annahmen getroffen wurden.

## **5.1.2 Fahrzeugdaten**

### **5.1.2.1 Allgemein**

Das Handbuch für Emissionsfaktoren differenziert die verwendeten Fahrzeugkategorien nach folgenden Parametern:

- Antriebskonzept: z.B. Otto-Motor-GKat/EURO1, Diesel-Motor /EURO2 etc.

- Pkw: Hubraum: <1,4l, 1,4l-2l, >2l
- Linienbusse: zulässiges Gesamtgewicht:  $\leq 20$  t,  $> 20$  t

Die Kombination aus Antriebskonzept und Hubraum bzw. zulässigem Gesamtgewicht definiert eine sog. Fahrzeugschicht.

Es wurde gemäß des Ansatzes der Untersuchung versucht, eine konkret vorkommende Fahrt so exakt als möglich abzubilden. Daher wurden keine Durchschnittswerte für die heutige oder eine zukünftige Fahrzeug-Flotte in Deutschland verwendet, sondern Vorgaben, die, so exakt es das Handbuch zulässt, ein Fahrzeug beschreiben, d.h. es werden ein konkretes Fahrzeugkonzept und eine Hubraumklasse festgelegt.

Bei den Pkw wurde getrennt für Otto- und Dieselmotoren diejenige Fahrzeugschicht ausgewählt, die im Bezugsjahr 1999 den höchsten Anteil an der deutschen Pkw-Flotte hatte.

Bei den Bussen wurde über alle Relationen erhoben, welche Busse von den Verkehrsunternehmen konkret eingesetzt werden. Danach wurde die am häufigsten vorkommende Fahrzeugschicht als Grundlage der weiteren Berechnungen ausgewählt.

### 5.1.2.2 Pkw

Die Auswertung der im Handbuch für Emissionsfaktoren für 1999 angenommenen Zusammensetzungen für die deutsche Pkw-Flotte ergab, dass bei mit Ottomotor betriebenen Fahrzeugen jeweils die EURO2-Fahrzeuge mit einem Hubraum zwischen 1,4 und 2l mit 25% auf Autobahnen (AB), 20% auf Außerortsstraßen (ao) und 18% auf Innerortsstraßen (io) den größten Verkehrsleistungsanteil haben (vgl. Tabelle 5-1). Somit wurde festgelegt, die Emissionsfaktoren dieser Fahrzeugschicht den weiteren Berechnungen zugrunde zu legen.

Bei den mit Dieselmotor betriebenen Fahrzeugen nehmen die EURO2-Fahrzeuge (1,4 - 2l) mit 6,67% der Gesamt-Pkw-Verkehrsleistung zwar nur auf der Autobahn den Spitzenplatz ein, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten wurde aber auch hier die Fahrzeugschicht EURO2 (1,4 - 2l) für die weiteren Berechnungen ausgewählt.

Diese Auswertung und Festlegung erfolgte noch mit dem Handbuch für Emissionsfaktoren Version 1.1, da die Version 1.2 erst im April 1999 erschien. In Version 1.1 wurden

für das Jahr 1999 in der Bezeichnung der Fahrzeugkonzepte noch keine ergänzenden Differenzierungen nach EURO3 und EURO4 vorgenommen.

Die Berechnungen erfolgten allerdings mit den aktuellen Emissionsfaktoren aus Version 1.2.

FzKat	Bezugsjahr	Konzept	Grössenklasse	AB	ao	io
PKW	1999	GKat/EURO2	1,4-2L	25,36%	20,06%	18,22%
PKW	1999	GKatvorEURO2	1,4-2L	14,27%	17,23%	16,18%
PKW	1999	Konv	<1,4L	13,33%	18,20%	18,45%
PKW	1999	GKat<91	1,4-2L	12,09%	15,99%	15,98%
PKW	1999	Konv	1,4-2L	9,25%	19,77%	20,19%
PKW	1999	GKat/EURO2	>2L	7,86%	2,65%	3,10%
PKW	1999	GKat/EURO2	<1,4L	7,35%	9,20%	8,78%
PKW	1999	Diesel/EURO2	1,4-2L	6,67%	5,76%	6,15%
PKW	1999	Diesel_XXIII/FAV1	1,4-2L	6,25%	7,19%	6,96%
PKW	1999	GKatvorEURO2	>2L	4,97%	3,18%	3,10%
PKW	1999	GKatvorEURO2	<1,4L	4,70%	8,44%	8,27%
PKW	1999	Diesel/EURO2	>2L	4,11%	2,24%	2,47%
PKW	1999	GKat<91	>2L	3,52%	3,21%	3,51%
PKW	1999	Diesel_XXIII/FAV1	>2L	3,49%	3,16%	2,85%
PKW	1999	GKat<91	<1,4L	1,89%	3,33%	3,61%
PKW	1999	Diesel_konv	1,4-2L	1,78%	2,90%	3,70%
PKW	1999	Konv	>2L	1,37%	1,69%	1,09%
PKW	1999	Diesel_konv	>2L	1,14%	0,65%	2,42%

Tabelle 5-1. Verkehrsleistungsanteile der Pkw-Fahrzeugschichten 1999  
(nach HB EFA 1.1)

Um zukünftige Entwicklungen der Fahrzeugtechnik in die Vergleiche mit aufzunehmen, wurden bei einigen Relationen (01, 09, 12 und 14) die Pkw-Fahrten mit Emissionsfaktoren ergänzend nach der EU-Abgasnorm EURO4 berechnet, deren Einführung für die Jahre 2005/6 geplant ist. Diese Faktoren beruhen auf weiteren technischen Verbesserungen der Fahrzeuge, aber auch auf einer veränderten Kraftstoffqualität.

### 5.1.2.3 Busse

Die Recherche bei den Verkehrsunternehmen, die die untersuchten Buslinien bedienen, ergab, dass sich auf diesen Linien folgende Fahrzeuge im Einsatz befinden:

Kässbohrer Setra:

S 315 SL, 16t zul. GG, EURO 2-Zulassung



- S 315 GT, 16t zul. GG, EURO 2-Zulassung
- S 315 UL, 14t zul. GG, EURO 2-Zulassung
- S 215 SL, 16t zul. GG, EURO 1-Zulassung
- S 215 UL, 16-17,3 t zul. GG, EURO 1-Zulassung

Mercedes-Benz:

- O 405, 16,9 t zul. GG, EURO 2-Zulassung
- O 405 N2, 13,4 t zul. GG, EURO 2-Zulassung
- O 405 N, 13,4 t zul. GG, EURO 1-Zulassung

Als Grundlage der weiteren Berechnung wurde deshalb ein Linienbus mit EURO 2-Zulassung und weniger als 20t zulässigem Gesamtgewicht festgelegt: Diese Fahrzeugschicht hat zudem nach Handbuch für Emissionsfaktoren Version 1.2 im Bezugsjahr 1999 mit 36% Verkehrsleistungsanteil auf Autobahnen (AB), 34% auf Außerortsstraßen (ao) und 27% auf Innerortsstraßen (io) die jeweils größten Anteile an der Gesamtverkehrsleistung (vgl. Tabelle 5-2).

FzKat	Bezugsjahr	Konzept	Größenklasse	AB	ao	io
<b>LBus</b>	<b>1999</b>	<b>SMW/Euro2</b>	<b>&lt;20t</b>	<b>36%</b>	<b>34%</b>	<b>27%</b>
LBus	1999	SMW/80er_Jahre	<20t	36%	34%	27%
LBus	1999	SMW/Euro1	<20t	20%	19%	15%
LBus	1999	SMW/70er_Jahre	<20t	2%	2%	2%
LBus	1999	SMW D-Ost	<20t	2%	2%	1%
LBus	1999	SMW/80er_Jahre	>20t	1%	4%	10%
LBus	1999	SMW/Euro2	>20t	1%	4%	10%
LBus	1999	SMW/Euro1	>20t	1%	2%	6%
LBus	1999	SMW D-Ost	>20t	0%	0%	1%
LBus	1999	SMW/70er_Jahre	>20t	0%	0%	1%

Tabelle 5-2: Verkehrsleistungsanteile der Linienbus-Fahrzeugschichten 1999 (nach HB EFA 1.1) (Lbus: Linienbus; SMW: Schwere Motorwagen)

Analog zu den Pkw wurden in der Parametervariation EURO4 auch die in diesen Relationen vorkommenden Busse mit den entsprechenden EURO4-Emissionsfaktoren berechnet.

### 5.1.3 Streckendaten

#### 5.1.3.1 Allgemein

Zur Berechnung der Gesamtemissionen einer Fahrt sind folgende Streckendaten als Eingangsparameter notwendig:

- Streckenlängen,
- Längsneigungen der Straße,
- Verkehrssituationen.

Die einzelnen Fahrtstrecken der Relationen wurden in Teilstrecken mit gleicher Längsneigung und mit gleicher Verkehrssituation aufgeteilt. Mit Hilfe des Handbuchs für Emissionsfaktoren können nun Emissionsfaktoren für die jeweilige Teilstrecke ermittelt werden (Einheit: g/km). Diese Faktoren wurden danach mit der Länge der jeweiligen Teilstrecken multipliziert. Die Summe aller dieser Produkte einer Relation ist die Gesamtemission einer Fahrt auf dieser Relation.

#### 5.1.3.2 Streckenlängen, Längsneigungen

Der größte Teil der bei den untersuchten Relationen befahrenen Strecken befindet sich im klassifizierten Straßennetz (Autobahnen, Bundes-, Landes- und Kreisstraßen). Für diese Straßen konnten, sofern sie sich in der Baulast des Landes Baden-Württemberg befinden, Angaben über die Streckenlänge, die Längsneigung der Straßen und die Verkehrsstärke aus der Straßendatenbank des Landesamtes für Straßenwesen, Baden-Württemberg, verwendet werden.

Für klassifizierte Straßen in der Baulast von Kommunen (Stuttgart, Freiburg, Mannheim) sowie kommunale Straßen wurden diese Daten mit Hilfe von entsprechenden Messeinrichtungen selbst erhoben.

Da das Handbuch für Emissionsfaktoren als Eingangsparameter für die Längsneigung nur die Werte -6%, -4%, -2%, 0%, 2%, 4% und 6% akzeptiert, wurden die gemessenen Längsneigungen in Klassen nach Tabelle 5-3 eingeteilt

<b>Längsneigungsklassen</b>	<b>Eingabewert</b>
< -5%	-6%
-5% - -3.1%	-4%
-3% - -1.1%	-2%
-1% - 0.9%	0%
1% - 2.9%	2%
3% - 4.9%	4%
>4.9%	6%

Tabelle 5-3: Längsneigungsklassen und Eingabewerte

### 5.1.3.3 Verkehrssituationen

Zur Beschreibung des jeweiligen Verkehrsablaufs, der einen wesentlichen Einfluss auf die Emissionen hat, stehen im Handbuch für Emissionsfaktoren eine Reihe von vordefinierten Verkehrssituationen zur Auswahl (vgl. Tabelle 5-4).

<b>Autobahn-Regelsituationen:</b>	
AB>120	ohne Tempolimit, Verkehrsstärken < 1400 Kfz/h je Fahrstreifen
AB_120	T 120, Verkehrsstärken < 1400 Kfz/h je Fahrstr.
AB_100	T 100, Verkehrsstärken < 1400 Kfz/h je Fahrstr.
AB_80	T 80, Verkehrsstärken < 1500 Kfz/h je Fahrstr.
AB_60	T 60, Verkehrsstärken < 1500 Kfz/h je Fahrstr.
AB>120_gebunden	ohne TL, Verkehrsstärken > 1400 Kfz/h je Fahrstr.
AB_120_gebunden	T 120, Verkehrsstärken > 1400 Kfz/h je Fahrstr.
AB_100_gebunden	T 100, Verkehrsstärken > 1400 Kfz/h je Fahrstr.
AB_80_gebunden	T 80, Verkehrsstärken > 1500 Kfz/h je Fahrstr.
AB_60_gebunden	T 60, Verkehrsstärken > 1500 Kfz/h je Fahrstr.
AB_Baust1	Autobahn Baustelle zweistreifig
AB_Baust2	Autobahn Baustelle eng, einstreifig
AB_Stop+Go	Autobahn Stop+Go
<b>Ausserorts-Regelsituationen:</b>	
AO_1	guter Ausbaugrad, gerade
AO_2	guter Ausbaugrad, gleichm. kurvig
AO_3	ungleichmäßig kurvig
<b>Innerorts-Regelsituationen:</b>	
IO_HVS>50_1	HVS, TL>50, geringe Störungen
IO_HVS>50_2	HVS, TL>50, mittlere Störungen
IO_HVS>50_3	HVS, TL>50, starke Störungen
IO_HVS1	Ortsdurchfahrt, vorfahrtberecht., ohne Störungen
IO_HVS2	HVS, vorfahrtberechtigt, geringe Störungen

Tabelle 5-4: Verkehrssituationen des Handbuchs für Emissionsfaktoren

Die Zuordnung einer Verkehrssituation gemäß dem Handbuch für Emissionsfaktoren zu einem realen Streckenabschnitt ist nach wie vor ein Problem, das auch in der Fachwelt stark diskutiert wird<sup>9</sup>. Die einzige Möglichkeit, Emissionsfaktoren des Handbuches völlig korrekt zuzuordnen, ist, von jeder Strecke zu jeder interessierenden Zeit ein Geschwindigkeits- und ein Beschleunigungsprofil der dort verkehrenden Fahrzeuge zu erstellen.

Dies ist in der Praxis fast nie möglich. So war dies im vorliegenden Forschungsvorhaben war dies aufgrund der Vielzahl von untersuchten Relationen und Tageszeiten im gesetzten Zeit- und Kostenrahmen ebenfalls nicht leistbar.

Die zur Verfügung stehenden Verkehrssituationen werden aber, neben der exakten quantitativen Definition über Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, auch durch qualitative Beschreibungen illustriert, die zur Zuordnung der Verkehrssituationen herangezogen wurden. Die Festlegung der Verkehrssituationen für einen Streckenabschnitt zu der jeweiligen Tageszeit erfolgte in enger Abstimmung mit den jeweils für diesen Streckenabschnitten zuständigen Abteilungen der kommunalen Stadtplanungs- bzw. Tiefbauämter sowie mit den Geschäftsbereichen Betrieb der zuständigen Straßenbauämter.

Bei den Autobahnen erfolgte die Zuordnung mit Hilfe von Daten des Landesamtes für Straßenwesen über Verkehrsstärken und Geschwindigkeitsbeschränkungen sowie mit Hilfe von typisierten Ganglinien<sup>10</sup>.

Die Festlegung der für die Emissionsberechnung besonders relevanten Stop&Go-Verkehrssituationen erfolgte mit Hilfe einer Auswertung der Radio-Verkehrsmeldungen der Landesmeldestelle Baden-Württemberg über einen Zeitraum von vier Wochen.

## **5.1.4 Einflussfaktoren für Kaltstartzuschläge, Verdampfungsemissionen und Tankatmung nach Motorabstellen**

### **5.1.4.1 Allgemein**

Neben den bis jetzt beschriebenen, sogenannten „warmen“ Emissionsfaktoren, mit denen die fahrtstreckenabhängigen Emissionen während des Motorbetriebs im warmen

---

<sup>9</sup>BECKER & RICHTER (1998)

<sup>10</sup> LAFFONT (1998)

Betriebszustand ermittelt werden, wird das Ergebnis noch mit Zuschlägen für den Kaltstart und die Verdampfungsemissionen und Tankatmung nach Motorabstellen beaufschlagt.

#### 5.1.4.2 Einflussfaktoren für Kaltstartzuschläge

Folgende Einflussfaktoren sind für die Berechnung notwendig:

- Umgebungstemperatur beim Startvorgang: Es wurde die Einstellung ‚JahresØ‘ gewählt, bei der mittlere Temperaturtagesganglinien (bevölkerungsgewichtet) unterstellt werden und die Emissionsfaktoren der vier Jahreszeiten mit je 25% gewichtet werden.
- Fahrtweiten anschließend an den Startvorgang: Es wurde die Einstellung ‚>4km‘ gewählt, da die Fahrstrecken aller untersuchten Relationen länger als 4km sind. Dabei wird der Startzuschlag zu 100% unterstellt, wobei die Hauptanteile auf den ersten 2km emittiert werden.
- Standzeiten (als Näherung für die Motortemperatur beim Starten): Die Motortemperatur ist abhängig von der vorangegangenen Standzeit des Fahrzeugs. Deshalb ist (als Näherung) eine Standzeit bzw. eine Standzeitenverteilung aus den Vorgaben des Handbuchs für Emissionsfaktoren auszuwählen. Es wurden die in Tabelle 5:5 angegebenen Standzeiten gewählt.

Fahrtzweck	Standzeit vor der Hinfahrt	Standzeit nach der Hinfahrt	Standzeit vor der Rückfahrt	Standzeit nach der Rückfahrt
Beruf + Ausbildung	>8h	>8h	>8h	>8h
Einkauf	>8h	2-3h	2-3h	>8h
Freizeit	2-3h	2-3h	2-3h	>8h
Sonntag	>8h	>8h	>8h	>8h
Geschäftsreiseverkehr früh	>8h	>8h	>8h	>8h
Geschäftsreiseverkehr spät	>8h	2-3h	2-3h	>8h

Tabelle 5-5: Standzeiten der einzelnen Fahrtzwecke

- Fahrmuster: Die Startzuschläge sind abhängig von den zugrundeliegenden "warmen" Emissionsfaktoren. Es wurde das Fahrmuster ‚D-IO-KS‘ (=Deutschland- Innerorts-Kaltstart), welches einen speziellen Fahrmustermixtyp für Wohnbereiche darstellt ausgewählt, weil alle Fahrten in Wohnbereichen beginnen.

Die Startzuschläge werden in g/Startvorgang und Fahrzeug ermittelt.

### 5.1.4.3 Einflussfaktoren für Verdampfungsemissionen und Tankatmung nach Motorabstellen

Für die Ermittlung der Verdampfungsemissionen nach Motorabstellen (= Heiß- bzw. Warm-Abstellen) sind Standzeiten und Fahrtweiten anzugeben. Es wurden dieselben Einflussfaktoren, wie für die Ermittlung der Startzuschläge gewählt (s. Kapitel 5.1.4.2). Es werden lediglich VOC emittiert (Einheit: g/Abstellvorgang und Fahrzeug).

Für die Ermittlung der Emissionen durch Tankatmung nach Motorabstellen (gelegentlich auch als "Verdunstungsemissionen" bezeichnet) sind Umgebungstemperaturen zu wählen. Es wurden dieselben Einflussfaktoren wie für die Ermittlung der Startzuschläge gewählt (s. Kapitel 5.1.4.2). ). Es werden lediglich VOC emittiert (Einheit: g/Fahrzeug und Tag).

## 5.2 Schienenfahrzeuge

### 5.2.1 Fahrdynamische Grundlagen

Für den Bewegungsverlauf eines Zuges sind die Zug- und Bremskräfte sowie die wirkenden Fahrwiderstände entscheidend. Mit der Kenntnis darüber, wie sich diese Größen verhalten, lassen sich die Fahrzeit und der Energieverbrauch einer Zugfahrt ermitteln.

#### 5.2.1.1.1 Kinetik

In einer fundierten Widerstandsformel treten alle Anteile des Fahrwiderstandes, gegliedert nach ihrer physikalischen Ursache, auf. Die fahrdynamische Grundgleichung für die Ermittlung des Bewegungswiderstandes eines Zuges setzt sich wie folgt zusammen:

$$Z = W_{\text{Lauf}} + W_{\text{Strecke}} + W_{\text{Beschl}} \quad \text{Gleichung 1}$$

mit:  $Z$  ..... Zugkraft in N

$W_{\text{Lauf}}$  ..... Laufwiderstand in N

$W_{\text{Strecke}}$  ..... Streckenwiderstand in N

$W_{\text{Beschl}}$  ..... Beschleunigungswiderstand in N.

Der Laufwiderstand des Zuges ist abhängig von fahrzeugspezifischen Kenngrößen und wird nach folgender Formel ermittelt:

$$W_{Lauf} = W_R + W_v + W_L \quad \text{Gleichung 2}$$

- mit:  $W_{Lauf}$  ..... Laufwiderstand in N  
 $W_R$  ..... Rollwiderstand in N  
 $W_v$  ..... Dämpfungswiderstand in N  
 $W_L$  ..... Luftwiderstand in N.

Bei den drei Komponenten handelt es sich um den Rollwiderstand

$$W_R = m \cdot g \cdot c_f, \quad \text{Gleichung 3}$$

- mit  $W_R$  ..... Rollwiderstand in N  
 $m$  ..... Masse des Zuges in kg  
 $g$  ..... Erdbeschleunigung (9,81 m/s<sup>2</sup>)  
 $c_f$  ..... Rollwiderstandsbeiwert, dimensionslos,

den geschwindigkeitsabhängigen Dämpfungswiderstand, der häufig vernachlässigbar klein ist,

$$W_v \approx 0 \quad \text{Gleichung 4}$$

und den Luftwiderstand

$$W_L = \frac{1}{2} \cdot A_{Norm} \cdot \rho_{Luft} \cdot c_l \cdot (v + v_{Wind})^2 \quad \text{Gleichung 5}$$

- mit  $W_L$  ..... Luftwiderstand in N  
 $A_{Norm}$  ..... Norm-Querschnittsfläche in m<sup>2</sup> (= 10 m<sup>2</sup>)  
 $\rho_{Luft}$  ..... spezifische Luftdichte in kg/m<sup>3</sup>  
 $c_l$  ..... Luftwiderstandsbeiwert, dimensionslos  
 $v$  ..... Fahrgeschwindigkeit in m/s  
 $v_{Wind}$  ..... Gegenwind in m/s.

Vielfach wird der Laufwiderstand auch als quadratische Funktion der Geschwindigkeit formuliert, wobei der konstante Term den Rollwiderstand, der lineare Term den Dämpfungswiderstand und der quadratische Term den Luftwiderstand darstellt:

$$W_{Lauf} = W_a + W_b \cdot v + W_c \cdot (v + v_{Wind})^2 \quad \text{Gleichung 6}$$

- mit  $W_{Lauf}$  ..... Laufwiderstand in N  
 $W_a$ ..... konstanter Term, Rollwiderstand in N,  
 $W_b$ ..... Koeffizient des linearen Anteils (Dämpfungswiderstand) in Ns/m  
 $W_c$ ..... Koeffizient des quadratischen Anteils (Luftwiderstand) in Ns<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>  
 $v$ ..... Fahrgeschwindigkeit in m/s  
 $v_{Wind}$ ..... Gegenwind in m/s.

Als Gegenwind wird für die vorliegenden Rechnungen pauschal der in der Fahrsimulation übliche Wert von 15 km/h eingesetzt.

Der Streckenwiderstand ist abhängig von den Neigungsverhältnissen, dem Bogenradius sowie von der Lage, der Länge und der Form der Tunnel:

$$W_{Strecke} = W_{Neig} + W_{Krü} + W_T \quad \text{Gleichung 7}$$

- mit  $W_{Strecke}$ .... Streckenwiderstand in N  
 $W_{Neig}$ ..... Neigungswiderstand in N  
 $W_{Krü}$ ..... Krümmungswiderstand in N  
 $W_T$ ..... Tunnelwiderstand in N.

Der Neigungswiderstand wird nach der Formel

$$W_{Neig} = m \cdot g \cdot s \quad \text{Gleichung 8}$$

- mit  $W_{Neig}$ ..... Neigungswiderstand in N  
 $m$  ..... Masse des Zuges in kg  
 $g$  ..... Erdbeschleunigung (9,81 m/s<sup>2</sup>)  
 $s$ ..... Neigung in m/m

berechnet.

Der Krümmungswiderstand wird nach der empirisch ermittelten Formel von PROTOPAPADAKIS bestimmt:

$$W_{Krü} = \frac{\mu}{R} \cdot (0,72 \cdot 2s + 0,47 \cdot 2a) \cdot m \cdot g \quad \text{Gleichung 9}$$

- mit  $W_{Krü}$ ..... Krümmungswiderstand in N  
 $\mu$  ..... Reibwert zwischen Rad und Schiene, dimensionslos  
 $R$ ..... Bogenradius in m.



- 2s..... Laufkreisabstand in m
- 2a ..... Achsabstand in m
- m ..... Masse des Zuges in kg
- g ..... Erdbeschleunigung (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Tunnelstrecken liegen bei den durchzuführenden Simulationsrechnungen im Nahverkehr nur auf Stadt- und S-Bahnstrecken im Innenstadtbereich vor. Der Tunnelwiderstand ist quadratisch von der Fahrgeschwindigkeit abhängig und bei den gefahrenen relativ geringen Geschwindigkeiten vernachlässigbar klein. Deshalb bleibt er bei der Simulation unberücksichtigt.

Bei den Simulationsrechnungen im Fernverkehr wird der Tunnelwiderstand pauschal durch die Erhöhung des Luftwiderstandes um den Faktor 1,4 in den Tunnelabschnitten der Strecke berücksichtigt.

Während der Beschleunigungs- und Bremsphasen müssen auch die rotierenden Massen beschleunigt bzw. abgebremst werden. Die Berücksichtigung der dazu notwendigen Kräfte erfolgt mit Hilfe des Massenfaktors, der aus dem Verhältnis zwischen der Gesamtmasse und der Trägheitswirkung der rotierenden Teile bestimmt wird. Damit ergibt sich der Beschleunigungswiderstand zu

$$W_{Beschl} = m \cdot (1 + \rho_{rot}) \cdot a_{trans} \quad \text{Gleichung 10}$$

- mit  $W_{Beschl}$ ..... Beschleunigungswiderstand in N
- m ..... Masse des Zuges in kg
- $\rho_{rot}$ ..... Zuschlag für rotierende Massen in kg/kg
- $a_{trans}$  ..... translatorische Beschleunigung in m/s<sup>2</sup>.

Die translatorische Beschleunigung kann somit nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$a_{trans} = \frac{Z - (W_{Lauf} + W_{Strecke})}{m \cdot (1 + \rho_{rot})} \quad \text{Gleichung 11}$$

- mit  $a_{trans}$  ..... translatorische Beschleunigung des Zuges in m/s<sup>2</sup>
- Z ..... Zugkraft in N
- $W_{Lauf}$  ..... Laufwiderstand in N
- $W_{Strecke}$ ..... Streckenwiderstand in N

$m$  ..... Masse des Zuges in kg

$\rho_{rot}$ ..... Zuschlag für rotierende Massen in kg/kg.

Für die Bremsvorgänge wird die wirkende Verzögerung  $a_{trans} = a_{brems}$  aus der durch den Zug aufgebrachten Bremskraft und dem streckenseitigen Widerstand berechnet. Der Laufwiderstand wird als zur Bremskraft beitragend betrachtet und entfällt deshalb bei der Berechnung der Bremsverzögerung:

$$a_{brems} = \frac{Z - W_{Strecke}}{m \cdot (1 + \rho_{rot})} \quad \text{Gleichung 12}$$

mit  $a_{brems}$ ... translatorische Beschleunigung des Zuges beim Bremsen in m/s<sup>2</sup>

$Z$  ..... Zugkraft (hier Bremskraft, Vorzeichen negativ) in N

$W_{Strecke}$  Streckenwiderstand in N

$m$  ..... Masse des Zuges in kg

$\rho_{rot}$ ..... Zuschlag für rotierende Massen in kg/kg.

Bremst ein Zug in einem Gefälle, so ist sein Bremsweg länger als in der Ebene. In einer Steigung verkürzt sich der Bremsweg dagegen.

Die zwischen Rad und Schiene übertragbare Zugkraft wird nach der empirisch ermittelten Formel von CURTIUS-KNIFFLER für trockene Schiene berechnet:

$$Z_{üb} = \sum Q_{antr} \cdot g \cdot \left( 0,161 + \frac{2,08}{v + 12,22} \right) \quad \text{Gleichung 13}$$

mit  $Z_{üb}$ ..... Übertragbare Zugkraft in N

$\sum Q_{antr}$  ..... Summe der Radaufstandskräfte aller angetriebenen Achsen in N

$g$  ..... Erdbeschleunigung (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$v$ ..... Fahrgeschwindigkeit in m/s.

Übersteigt die rechnerisch aufzubringende Zugkraft die übertragbare Zugkraft, so wird in der Simulation nur die übertragbare Zugkraft als tatsächlich wirkend angenommen. Gleiches gilt für die Bremsvorgänge.

Der Zug wird als homogenes Masseband betrachtet.

Die Fahrgastmasse wird mit  $m_{FG} = 75$  kg angenommen.

### 5.2.1.2 Kinematik

Der Zusammenhang zwischen der Positionsänderung des Zuges und seiner Geschwindigkeit wird auf einem Streckenabschnitt zwischen zwei Punkten n und n+1 durch die Beziehungen

$$s_{n+1} = s_n + \int_{v_n}^{v_{n+1}} \frac{v}{a_{trans}(v)} \cdot dv \quad \text{Gleichung 14}$$

bzw.

$$v_{n+1} = v_n + \int_{s_n}^{s_{n+1}} \frac{a_{trans}(s)}{v} \cdot ds \quad \text{Gleichung 15}$$

beschrieben. In Abhängigkeit von der Zeit lauten die entsprechenden Beziehungen

$$s_{n+1} = s_n + \int_{t_n}^{t_{n+1}} v(t) \cdot dt \quad \text{Gleichung 16}$$

und

$$v_{n+1} = v_n + \int_{t_n}^{t_{n+1}} a_{trans}(t) \cdot dt \quad \text{Gleichung 17}$$

- mit s..... Positionsangabe in m
- v..... Geschwindigkeit in m/s
- a<sub>trans</sub>..... translatorische Beschleunigung in m/s<sup>2</sup>
- t ..... Zeit in s.

Dabei stellt a<sub>trans</sub> die resultierende translatorische Beschleunigung des Zuges dar, die sich aus allen angreifenden Kräften ergibt.

## 5.2.2 Simulationsrechnung

### 5.2.2.1 Lösung der Bewegungsgleichung

Die numerische Lösung der Bewegungsgleichungen 14 bis 17 erfolgt im Programm FASIM nach dem Verfahren von RUNGE-KUTTA mit automatischer Schrittweitenkon-

trolle. Im Normalfall wird das Wegschrittverfahren eingesetzt. Bei kleinen Geschwindigkeiten (unterhalb 9 km/h) kommt das Zeitschrittverfahren zur Anwendung. Geschwindigkeitsschritte werden zum genauen Sprung auf vorgegebene Zielgeschwindigkeiten eingesetzt, beispielsweise am Ende des Beschleunigungsvorgangs zum exakten Erreichen der Streckenhöchstgeschwindigkeit.

#### **5.2.2.2 Strecken und Züge**

Tabelle 5-6 zeigt, für welche Strecken und Züge die Simulationsrechnungen durchgeführt wurden.

Strecke	Züge
Stadtbahn Stuttgart: Leinfelden – Möhringen – Charlottenplatz – Berliner Platz	Stadtbahn DT 8, Einzeltraktion
Stadtbahn Stuttgart: Hauptbahnhof – Berliner Platz	Stadtbahn DT 8, Einzeltraktion
Leinfelden - Stuttgart Hauptbahnhof	S-Bahn ET 420, Doppel- und Dreifachtraktion S-Bahn ET 423, Doppel- und Dreifachtraktion
Schorndorf – Stuttgart Hauptbahnhof	S-Bahn ET 420, Einzel-, Doppel- und Dreifachtraktion S-Bahn ET 423, Einzel-, Doppel- und Dreifachtraktion Regionalexpress mit BR 110 und div. Wagenzügen
Rudersberg – Schorndorf	Regio-Shuttle RS 1, Einzel-, Doppel- und Dreifachtraktion
Stadtbahn Freiburg i. Br.: Rieselfeld – Hauptbahnhof – Bertoldsbrunnen – Günterstahl	Stadtbahn GT 8 Z, Einzeltraktion
Gottenheim – Freiburg i. Br. Hbf	Regio-Shuttle RS 1, Doppel-, Drei- und Vierfachtraktion
Ravensburg – Friedrichshafen	Regionalexpress mit BR 218 und div. Wagenzügen Regionalexpress VT 628.4 / 928.4 Regio-Shuttle RS 1, Doppel- und Dreifachtraktion
Fridingen – Tuttlingen	Regio-Shuttle RS 1, Doppeltraktion
Stuttgart – Mannheim	ICE 1, ICE 2, InterRegio mit BR 120 und div. Wagenzügen
Mannheim – Basel SBB	ICE 1, ICE 2
Freiburg i.Br. – Basel Bad Bf	Regionalexpress mit BR 110 und div. Wagenzügen
Basel Bad Bf. - Lindau	Regionalexpress, bestehend aus VT 611 in Doppeltraktion

Tabelle 5-6: Zuordnung von Strecken und Zügen

### 5.2.2.3 Zugkonfiguration der lokbespannten Züge

Die Regionalexpress-Züge Schorndorf - Stuttgart und Ravensburg - Friedrichshafen weisen für die einzelnen Auslastungen unterschiedliche Konfigurationen der Wagenzüge auf, die in Tabelle 5-7 und in Tabelle 5-8 ausgewiesen werden.

Richtung	Auslastung	Anzahl	Art des Wagens	Gattung
Hin	B + A	7	Nahverkehrswagen 2. Klasse	Bnrzb
		2	Nahverkehrswagen 1./2. Klasse	ABnrzb
	F	2	Doppelstockwagen 2. Klasse	DBz 751
		1	Doppelstockwagen 1./2. Klasse	DABz 756
		1	Steuerwagen Doppelstock 2. Klasse	DBbzf 761
	S	3	Nahverkehrswagen 2. Klasse	Bnrzb
1		Nahverkehrswagen 1./2. Klasse	ABnrzb	
1		Steuerwagen 2. Klasse	BDnrzf 740	
Rück	B + A	3	Nahverkehrswagen 2. Klasse	Bnrzb
		1	Nahverkehrswagen 1./2. Klasse	ABnrzb
		2	Doppelstockwagen 2. Klasse	DBz 751
		1	Doppelstockwagen 1./2. Klasse	DABz 756
		1	Steuerwagen Doppelstock 2. Klasse	DBbzf 761
	F	3	Nahverkehrswagen 2. Klasse	Bnrzb
		1	Nahverkehrswagen 1./2. Klasse	ABnrzb
	S	3	Nahverkehrswagen 2. Klasse	Bnrzb
		1	Nahverkehrswagen 1./2. Klasse	ABnrzb
1		Steuerwagen 2. Klasse	BDnrzf 740	

Tabelle 5-7: Wagenzugkonfigurationen für Regionalexpress Schorndorf – Stuttgart  
(Lokomotive: Baureihe 110)

Richtung	Auslastung	Anzahl	Art des Wagens	Gattung
Hin	B + A	3	Nahverkehrswagen 2. Klasse	Bnrzb
		1	Nahverkehrswagen 1./2. Klasse	ABnrzb
		1	Steuerwagen 2. Klasse	BDnrzf 740
	E	2	Nahverkehrswagen 2. Klasse	Bnrzb
		2	Nahverkehrswagen 1./2. Klasse	ABnrzb
		1	Steuerwagen 2. Klasse	BDnrzf 740
	F	2	Nahverkehrswagen 2. Klasse	Bnrzb
		1	Nahverkehrswagen 1./2. Klasse	ABnrzb
		1	Steuerwagen 2. Klasse	BDnrzf 740
Rück	B + A	2	Nahverkehrswagen 2. Klasse	Bnrzb
		1	Nahverkehrswagen 1./2. Klasse	ABnrzb
		1	Steuerwagen 2. Klasse	BDnrzf 740
	E	2	Nahverkehrswagen 2. Klasse	Bnrzb
		1	Nahverkehrswagen 1./2. Klasse	ABnrzb
		1	Steuerwagen 2. Klasse	BDnrzf 740
	F	1	Verbrennungstriebwagen (keine Lok)	VT 628.4 / 928.4

Tabelle 5-8: Wagenzugkonfigurationen Regionalexpress Ravensburg – Friedrichshafen (Lokomotive: Baureihe 218)

Die Fahrten des InterRegio auf der Strecke Stuttgart – Mannheim werden als Alternative zu den Fahrten der ICE-Züge betrachtet. Daher werden auch die Fahrgastzahlen des ICE zu Grunde gelegt. Das wiederum erfordert längere als die herkömmlichen InterRegio-Züge. Aus diesem Grund wird für die theoretische Betrachtung ein Zug mit zwölf Wagen in folgender Konfiguration gebildet (Lokomotive: Baureihe 120) (s. Tabelle 5-9).

Anzahl	Art des Wagens	Gattung
2	InterRegio 1. Klasse	Aimz 260
1	Bistro-Wagen / 1. Klasse	Arbuim 262
9	InterRegio 2. Klasse	Bimz 263

Tabelle 5-9: InterRegio-Wagenzugkonfiguration

Die Regionalexpress-Züge Freiburg – Basel weisen für die einzelnen Fahrtzwecke unterschiedliche Konfigurationen der Wagenzüge auf. Diese werden im Folgenden aufgelistet (Lokomotive Baureihe 110) (s. Tabelle 5-10).

Richtung	Fahrtzweck	Anzahl	Art des Wagens	Gattung
Hin	GF	3	Nahverkehrswagen 2. Klasse	Bnrzb
		1	Nahverkehrswagen 1./2. Klasse	ABnrzb
	GS	7	Nahverkehrswagen 2. Klasse	Bnrzb
		1	Nahverkehrswagen 1./2. Klasse	ABnrzb
Rück	GF	1	Nahverkehrswagen 2. Klasse	Bnrzb
		1	Nahverkehrswagen 2. Klasse mit Fahrradbeförderung	Bnrzd
		1	Gepäckwagen	Dm
		3	Doppelstockwagen 2. Klasse	DBuz
		1	Nahverkehrswagen 1./2. Klasse	ABnrzb
	GS	3	Nahverkehrswagen 2. Klasse	Bnrzb
		2	Nahverkehrswagen 1./2. Klasse	ABnrzb

Tabelle 5-10: Wagenzugkonfiguration für Regionalexpress Freiburg i. Br. – Basel Bad Bf.

### 5.2.3 Datengrundlage

Die Fahrzeugdaten, die den Simulationsrechnungen zugrunde gelegt wurden, stammen größtenteils aus Angaben der Hersteller, der Betreiber oder aus am ISB vorhandenen Datenbeständen. Da jedoch nicht sämtliche Datensätze vollständig waren, wurden die fehlenden Werte in Absprache mit dem ISV-VuV von vergleichbaren Fahrzeugen übernommen oder innerhalb eines plausiblen Bereichs abgeschätzt. Die für die Simulation verwendeten Fahrzeugdaten sind in Tabelle 5-11 bis Tabelle 5-14 aufgeführt.



Fahrzeug	DT 8	ET 420	ET423	GT 8 Z	RS 1	BR 110	BR 218	VT 628.4/928.4
Länge [m]	39	67,4	67,4	33,5	24,46	16,49	16,4	45,4
Fahrzeugmasse [t]	69	138	105	39,4	32,81	85	78	70,4
Zuschlag für rotierende Massen [%]	10	8,4	7,05	17,5	4	15,2	5,14	5
Sitzplätze	112	194	192	84	76	0	0	146
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	80	120	140	62	120	150	140	120
Rollwiderstand $W_a$ [N]	1692	2301	1701	2080	644	2330	1790	800
v-prop. Widerstandskoeffizient $W_b$ [Ns/m]	0	0	61,236	0	0	0	43,56	27,36
Luftwiderstandskoeffizient $W_c$ [Ns <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	3,455	5,31	4,834	3,84	3,063	3,629	3,331	3,358
Getriebewirkungsgrad $\eta_G$	0,96	0,98	Kennfeld	0,96	0,97	Kennfeld	Kennfeld	Kennfeld
Motorwirkungsgrad Antrieb $\eta_{Mot, antr}$	0,9	0,97	Kennfeld	0,9	0,31	Kennfeld	Kennfeld	Kennfeld
Motorwirkungsgrad Rückspeisung $\eta_{Mot, rück}$	0,833	-	Kennfeld	0,833	-	-	-	-
Motorleistung [kW]	888	2350	2400	520	456	3700	ca. 1840	485

Tabelle 5-11: Daten der Triebwagen und Triebfahrzeuge (1)

Fahrzeug	BR 120	ICE 1 (12 MW)	ICE 2 (Halbzug)	VT 611
Länge [m]	17,2	359	205,45	51,75
Fahrzeugmasse [t]	84	852	413,7	93
Zuschlag für rotierende Massen [%]	11,1	8,0	8,0	6,0
Sitzplätze	0	685	384	148
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	200	280	280	160
Rollwiderstand $W_a$ [N]	1320	6120	2971	1594
v-prop. Widerstandskoeffizient $W_b$ [Ns/m]	0	130,3	69,1	67,31
Luftwiderstandskoeffizient $W_c$ [Ns <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	3,63	11,57	8,64	3,76
Getriebewirkungsgrad $\eta_G$	Kennfeld	Kennfeld	Kennfeld	Kennfeld
Motorwirkungsgrad Antrieb $\eta_{Mot, antr}$	Kennfeld	Kennfeld	Kennfeld	Kennfeld
Motorwirkungsgrad Rückspeisung $\eta_{Mot, rück}$	Kennfeld	Kennfeld	Kennfeld	-
Nenn-Motorleistung [kW]	5600	9600	9600	2 x 540

Tabelle 5-12: Daten der Triebwagen und Triebfahrzeuge (2)

	Doppelstockwagen			Einstöckige Wagen		
Wagengattung	DBz 751	DABz 756	DBbfz 761	Bnrzb	ABnrzb	BDnrzf 740
Länge [m]	26,8	26,8	27,27	26,4	26,4	26,4
Masse [t]	46	46	48	29,5	29,5	31
Zuschlag rot. Massen [%]	4,5	4,5	4,3	7,1	7,1	6,8
Sitzplätze	151	123	101	96	75	64
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	140	140	140	140	140	140
Rollwiderstand $W_a$ [N]	451	451	471	289	289	304
v-prop. Widerstandskoeffizient $W_b$ [Ns/m]	4,41	4,41	4,41	2,94	2,94	2,94
Luftwiderstandskoeffizient $W_c$ [Ns <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	1,023	1,023	4,183 (am Zugende)	0,735	0,735 bzw. 3,274 (am Zugende)	2,768 (am Zugende)

Tabelle 5-13: Wagendaten (1)

Wagengattung	Dm	DBuz	Bnrzb	Bnrz	ABnrzb	Aimz 260	Bimz 263	Arbuim 262
Länge [m]	26,4	26,8	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4
Masse [t]	33	44	29,5	29,0	29,5	40	41	48
Zuschlag rot. Massen [%]	7,1	4,5	7,1	7,1	7,1	8,0	8,0	8,0
Sitzplätze	0	126	96	80	75	50	60	40
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	140	140	140	140	140	200	200	200
Rollwiderstand $W_a$ [N]	324	432	289	284	289	353	362	424
v-prop. Widerstandskoeffizient $W_b$ [Ns/m]	2,94	4,41	2,94	2,94	2,94	0	0	0
Luftwiderstandskoeffizient $W_c$ [Ns <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	0,735	1,023	0,735	0,735	0,735 bzw. 3,274 (am Zugende)	0,735	0,735	0,735

Tabelle 5-14: Wagendaten (2)

### 5.2.3.1.1 Wirkungsgrade des Antriebs

Für die Simulation wird der Wirkungsgrad zwischen dem Stromabnehmer (bzw. dem Tank bei Dieselfahrzeugen) und der Schiene grundsätzlich durch das Produkt des Motorwirkungsgrades  $\eta_{\text{Mot, antr}}$  und des Getriebewirkungsgrades  $\eta_{\text{G}}$  modelliert, so dass sich folgender Zusammenhang zwischen der aufgenommenen Leistung  $P_{\text{auf}}$  und der Leistung am Rad  $P_{\text{Rad}}$  ergibt:

$$P_{\text{Rad}} = P_{\text{auf}} \cdot \eta_{\text{antr, ges}} \quad \text{Gleichung 18}$$

mit

$$\eta_{\text{antr, ges}} = \eta_{\text{Mot, antr}} \cdot \eta_{\text{G}} \quad \text{Gleichung 19}$$

Hierbei repräsentiert der Motorwirkungsgrad das gesamte Wirkungsgradverhalten des Antriebs bis zur Abtriebswelle des Motors. Bei elektrischen Antrieben sind darin auch der Transformator und eventuell vorhandene Stromrichter enthalten. Der Motorwirkungsgrad variiert mit dem aktuellen Arbeitspunkt des Motors. Der Getriebewirkungsgrad ist dagegen als konstant anzusehen.

Verlässliche Angaben über Wirkungsgrade sind sehr schwer erhältlich. Sie können letztlich nur aus Messungen stammen. Derartige Messwerte liegen aber nur für die wenigsten Fahrzeuge vor. Deshalb waren in diesem Punkt einige Annahmen zu treffen, die im folgenden beschrieben werden.

Am einfachsten war die Situation für die Lokomotive BR 218 und den Triebwagen VT 628.4 / 928.4. Für diese Fahrzeuge existieren Kennfelder, die den Kraftstoffverbrauch in g/s in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Zugkraft am Rad angeben. Aus diesen kann mit dem spezifischen Heizwert von Dieselmotorkraftstoff in Höhe von 42,7 MJ/kg jeweils die mit dem Kraftstoff aufgenommene Leistung berechnet werden. Auf diese Weise kann der Wirkungsgrad als Funktion von Zugkraft und Geschwindigkeit gebildet und ebenfalls in einem Kennfeld abgelegt werden.

Ein gemessenes Kennfeld wird auch für die elektrische Lokomotive BR 110 verwendet. Es stammt von BR 111, deren Antriebsanlage derjenigen von BR 110 sehr ähnlich ist.

Für den S-Bahn-Triebzug ET 423 liegt ein vom Hersteller auf theoretischem Wege ermitteltes Wirkungsgradkennfeld  $\eta_{\text{Mot, antr}}(Z, v)$  vor.

Für alle weiteren Fahrzeuge liegen keine Kennfelder vor, so dass hier mit pauschalen, konstanten Wirkungsgraden operiert werden muss.

Für den GT 8 Z der Freiburger Verkehrs AG wurden vom Betreiber der Getriebewirkungsgrad mit  $\eta_G = 0,96$  und der Motorwirkungsgrad mit  $\eta_{\text{Mot, antr}} = 0,9$  angegeben. Diese Werte werden auch für den DT 8 der Stuttgarter Straßenbahnen AG verwendet.

Für den ET 420 wird der vom Hersteller einzeln aufgeführte Getriebewirkungsgrad des ET 423 in Höhe von  $\eta_G = 0,98$  übernommen. Der Motorwirkungsgrad wird aus den Wirkungsgraden von Transformator und Elektromotor gebildet. Hierfür werden der Literatur die Werte  $\eta_{\text{Trafo}} = 0,97$  und  $\eta_{\text{E-Mot}} = 0,91$  entnommen, so dass sich ein Gesamt-Motorwirkungsgrad  $\eta_{\text{Mot, antr}} = 0,883$  ergibt.

Für den Regio-Shuttle RS 1 waren keine Angaben erhältlich. Daher wurde pauschal ein Gesamtwirkungsgrad  $\eta_{\text{ges, antr}} = 0,3$  gesetzt. Er wurde etwas höher gewählt als der durchschnittliche Wirkungsgrad des VT 628.4, der durch Proberechnungen ermittelt wurde. Der VT 628.4 stellt ein vergleichsweise modernes Dieselfahrzeug dar. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die jüngere Konstruktion des RS 1 energetisch nochmals etwas günstiger ist. Der Gesamtwirkungsgrad des RS 1 wurde aufgeteilt in  $\eta_G = 0,97$  und  $\eta_{\text{Mot, antr}} = 0,31$ .

Für den ICE 1 ist ein gemessenes Wirkungsgradkennfeld vorhanden. Es wird auch für den ICE 2 verwendet, dessen Antriebsanlage nahezu identisch mit derjenigen des ICE 1 ist.

Für die elektrische Lokomotive BR 120 ist ebenfalls ein gemessenes Kennfeld vorhanden.

Der VT 611 bildet wegen seines hydrodynamischen Getriebes hinsichtlich der Beschreibung des Wirkungsgrades eine Ausnahme. Hier ist zusätzlich der Wirkungsgrad  $\eta_{\text{hydr}}$  der hydrodynamischen Kraftübertragung zu berücksichtigen, so dass der Gesamtwirkungsgrad als Produkt dreier Einzelwirkungsgrade beschrieben wird.

$$\eta_{\text{antr, ges}} = \eta_{\text{Mot, antr}} \cdot \eta_{\text{hydr}} \cdot \eta_G, \quad \text{Gleichung 20}$$

wobei  $\eta_G$  den Wirkungsgrad des mechanischen Achsgetriebes beschreibt. Die erforderlichen Angaben wurden vom Hersteller für beide Getriebe (hydrodynamisch und mechanisch) gemeinsam in Form eines interpolationsfähigen Kennfeldes zur Verfügung gestellt. Für den Dieselmotor lag ebenfalls ein Kennfeld aus Veröffentlichungen des betreffenden Herstellers vor. Da in den Kennfeldern zusätzlich der Energieverbrauch für die Hilfsbetriebe des Zuges bilanziert wird, wurde dieser beim VT 611 als einzigem der untersuchten Züge in die Simulation mit einbezogen.

### 5.2.3.1.2 Wirkungsgrad der Energierückspeisung

Fahrzeuge mit Drehstromantrieb bieten die Möglichkeit der Energierückspeisung beim Bremsen. Der Zusammenhang zwischen der ans Netz abgegebenen Leistung  $P_{ab}$  und der elektrischen Bremsleistung am Rad  $P_{Br, Rad}$  wird modelliert als

$$P_{ab} = P_{Br, Rad} \cdot \eta_{rück, ges} \quad \text{Gleichung 21}$$

mit

$$\eta_{rück, ges} = \eta_{Mot, rück} \cdot \eta_G, \quad \text{Gleichung 22}$$

wobei der Motorwirkungsgrad der Rückspeisung  $\eta_{Mot, rück}$  wiederum vom Arbeitspunkt des Motors abhängig ist.

Von den untersuchten Fahrzeugen können nur der DT 8, der GT 8 Z, der ET 423, der ICE 1, der ICE 2 und die Lok BR 120 Bremsenergie ins Netz zurückspeisen.

Für den ET 423 liegt wiederum ein theoretisch ermitteltes Kennfeld  $\eta_{Mot, rück}(B, v)$  vor. Für den DT 8 und den GT 8 Z sind keine Daten vorhanden. Für beide Fahrzeuge wird ein Gesamtwirkungsgrad der Rückspeisung  $\eta_{rück, ges} = 0,8$  gewählt, was den Erfahrungen mit anderen Drehstromantrieben, beispielsweise dem des ICE 1, entspricht. Daraus ergibt sich unter Verrechnung mit dem Getriebewirkungsgrad  $\eta_G = 0,96$  ein Motorwirkungsgrad der Rückspeisung  $\eta_{Mot, rück} = 0,833$ .

Für den ICE 1 und BR 120 liegen empirisch ermittelte Wirkungsgradkennfelder für die Energierückspeisung vor. Der ICE 2 wird wiederum wie der ICE 1 behandelt.

### 5.2.3.1.3 Bremsverzögerung

Die der Simulation zugrundegelegten Bremsverzögerungen der Züge werden, soweit vorhanden, den Angaben der Hersteller oder Betreiber entnommen. Nicht vorhandene Werte werden aus der Erfahrung und durch Vergleich mit ähnlichen Fahrzeugen abgeschätzt. Die Bremsverzögerung  $0,5 \text{ m/s}^2$  des ICE und des IR entspricht der auf Strecken mit bis zu  $12,5 \text{ ‰}$  Steigung anzuwendenden Bremsverzögerung der Linienzugbeeinflussung für derartige Züge.

### 5.2.3.2 Streckendaten

Für die Simulationsrechnungen waren folgende Informationen über die Streckenverläufe erforderlich:

- Kilometrierung,
- Längsneigung,
- Bogenradius,
- zulässige Höchstgeschwindigkeit sowie
- Positionen der Bahnhöfe und Haltepunkte.

Für die Strecken der DB AG lagen die Daten im Format der EDV-lesbaren Streckenprotokolle der DB vor, das auch für das Programm FASIM verwendet wird. Eine Ausnahme bildet die Strecke Nr. 4751 von Schorndorf nach Rudersberg. Hier standen die Daten nur in Form eines historischen Streckenplans zur Verfügung, aus dem sie herausgelesen sowie mittels eines am ISB vorhandenen Programms manuell in den Rechner eingegeben und in das DB-Format überführt wurden.

Ähnlich verhielt es sich mit den Streckendaten der Stuttgarter und der Freiburger Stadtbahn. In beiden Fällen lagen freilich detaillierte Streckenpläne vor, denen die Daten entnommen und ebenfalls in das DB-Format überführt werden konnten.

Für einige Strecken (ICE-Strecken, Freiburg – Lindau) waren aus betriebsinternen Gründen der DB AG ab einem bestimmten Zeitpunkt keine EDV-lesbaren Streckenprotokolle mehr zu erhalten. Deshalb wurden die Streckenverläufe aus frei zugänglichen Quellen (ältere Streckenpläne, Vermessungskarten u.a.) abgeschätzt.

## **5.2.4 Erläuterungen zu den Ergebnissen der Simulationsrechnung**

### **5.2.4.1 Straffe Fahrweise gegenüber realer Fahrweise**

Die Simulationsrechnungen bilden die sogenannte straffe Fahrweise ab. Sie ist durch drei aufeinanderfolgende Phasen gekennzeichnet:

1. Beschleunigen mit maximaler Zugkraft
2. Fahren mit Höchstgeschwindigkeit bis zum Beginn des Bremsvorgangs
3. Bremsen mit der vorgesehenen Betriebsbremsverzögerung

In der Praxis wird die Höchstgeschwindigkeit jedoch häufig nicht bis zum Beginn der Bremsung gehalten, sondern die Zugkraft wird bald nach dem Beschleunigungsvor-

gang abgeschaltet, so dass der Zug unter geringem Geschwindigkeitsrückgang bis zum Einsatzpunkt der Bremse rollt. Diese Fahrweise hat eine geringe Fahrzeitverlängerung zur Folge, die aber nicht zu Verspätungen im Fahrplan führt. Sie spart jedoch erheblich Energie. Um möglichst realitätsnahe Ergebnisse zu erhalten, wurden deshalb die aus der Simulation der straffen Fahrweise erhaltenen Energiemengen um 10 % reduziert. Die Reduzierung um 10 % erfolgte aus der Erfahrung aus vorangegangenen Forschungsvorhaben des ISB und aus Messungen im ICE-Betrieb.

#### **5.2.4.2 Fahrgastzahlen, Vorgehen zur Energieberechnung**

Für alle durchzuführenden Simulationsrechnungen lagen aus Fahrgastzählungen haltestellenscharfe Fahrgastzahlen vor. Hierdurch wurde es erforderlich, die Rechnungen in einem ersten Schritt jeweils einzeln von einer Haltestelle zur nächsten durchzuführen und den berechneten Energieverbrauch auf die Beförderung einer Person zu beziehen. Im zweiten Schritt wurden die Energieverbräuche der einzelnen Fahrten zwischen den Haltestellen aufaddiert und auf diese Weise wurde der Energieverbrauch für die Fahrt einer Person über die gesamte Strecke erhalten.

#### **5.2.4.3 Leer fahrender Zug**

Bei der Berechnung der Energie pro Fahrgast würde für den Fall des leer fahrenden Zuges fiktiv die Personenzahl 1 angenommen. Somit erschiene die Gesamtenergie der Fahrt auch als Energie pro Fahrgast.

#### **5.2.4.4 Gegenrichtung**

Auf der Strecken im Ballungsraum Stuttgart wurde zusätzlich zur betrachteten Hauptrichtung auch der Energiebedarf für eine Fahrt etwa zur gleichen Zeit in der Gegenrichtung ermittelt. Für die Auslastung B+A geschah dies durch Simulationsrechnungen mit den entsprechenden Fahrgastzahlen. Für die weiteren Auslastungen wurden keine eigenen Simulationen mehr durchgeführt. Es kamen stattdessen die Energiewerte von Simulationen auf derselben Strecke mit ähnlichen Fahrgastzahlen zur Anwendung. Die gesuchte personenspezifische Energie wurde dann jeweils durch Division durch die Fahrgastzahl der betrachteten Gegenrichtung erhalten.



Das beschriebene Vorgehen ist zulässig, weil nur geringfügig unterschiedliche Fahrgastzahlen den Gesamt-Energieverbrauch der Fahrt kaum beeinflussen, denn die Gesamtmasse des Zuges ändert sich nur wenig. Die Unterschiede des personenspezifischen Energieverbrauchs zwischen den einzelnen Auslastungen sind vielmehr dadurch bedingt, dass die für alle Auslastungen etwa gleiche Gesamtenergie durch sehr unterschiedliche Fahrgastzahlen geteilt wird.

### **5.2.5 Ermittlung der Emissionen der dieselgetriebenen Schienenfahrzeuge**

Die Emissionen der dieselgetriebenen Schienenfahrzeuge wurden mit Hilfe von Emissionsfaktoren, basierend auf dem jeweiligen Energieverbrauch eines Fahrzeuges auf einem Streckenabschnitt, ermittelt.

Für die dieselgetriebene Lokomotive BR 218 und den Triebwagen VT 628.4/928.4 konnte auf Emissionsfaktoren aus externen Veröffentlichungen zurückgegriffen werden<sup>11</sup>.

Für die Triebwagen Regio-Shuttle RS1 und NeiTech VT611 lagen solche Faktoren nicht vor. Für diese beiden Fahrzeuge konnten entsprechende Emissionsfaktoren für den Streckenbetrieb nach ISO 8178-4, A-Zyklus, entsprechend dem 13-Punkte-Test nach ECE R 49 direkt von den jeweiligen Herstellern erhalten werden.

---

<sup>11</sup> SCHULZ & BRANDT (1998)

## 6 Berechnung der indirekten Energieaufwendungen und Emissionen

### 6.1 Methodischer Ansatz

Die mit der Erfüllung einer Transportaufgabe verbundenen kumulierten Energieaufwände und Emissionen werden basierend auf der Methodik der Ökobilanzierung ermittelt. Hierfür wird im wesentlichen das Instrument der Prozeßkettenanalyse verwendet, womit ausgehend vom Endprodukt bzw. der Dienstleistung über ein Netzwerk der vorgelagerten Prozessstufen die jeweiligen Energie- und Stoffströme systematisch erfasst werden. Ergänzend zur Prozeßkettenanalyse wird das in der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung verwendete und um die Bilanzierung von Energie- und Stoffströmen erweiterte Verfahren der Input-Output-Analyse verwendet. Die Verknüpfung der mit der Prozesskettenanalyse erfassten Energie- und Stoffströme mit den entsprechenden Sachbilanzdaten der ÖKOINVENTARE FÜR ENERGIESYSTEME [FRISCHKNECHT R. et al., 1996] ermöglicht somit, die mit einer Transportaufgabe verbundenen kumulierten Emissionen und den kumulierten Energieaufwand zu ermitteln.

Ziel der Bilanzierung ist eine möglichst vollständige Erfassung der einem Produkt oder einer Dienstleistung anzulastenden Umweltwirkungen, um einen konsistenten Vergleich der Transportaufgaben zu ermöglichen. Als Sachbilanzgrößen werden in dieser Studie der kumulierte Energieaufwand und die kumulierten umwelt- und klimarelevanten Emissionen CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC, NMVOC, CH<sub>4</sub>, Benzol und Partikel betrachtet. Entsprechend der VDI Richtlinie 4600 zur Berechnung des kumulierten Energieaufwandes (KEA) werden die fossilen Energieträger mit ihrem unteren Heizwert und der Einsatz von Uran zur Stromerzeugung mit dem thermischen Nutzungsgrad der Kernkraftwerke zzgl. der bei der Bereitstellung der Uranbrennstäbe anfallenden Fertigungsverluste angesetzt. Umgerechnet auf das der Umwelt entnommene Uran ergibt dies einen rechnerischen 'Heizwert' von 0,46 TJ/kg Uran für die heute bei der Stromerzeugung aus Uran vorliegenden Bedingungen.

Die funktionale Einheit wird für die vorliegende Bilanzierung als das Erbringen der Transportdienstleistung einer Person für definierte Relationen und Fahrzwecke (Transportaufgabe) beschrieben und gewährleistet als Bezugsbasis die Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Für die Bereitstellung einer Transportdienstleistung als Produkt des Prozesses Fahrzeugbetrieb sind neben dem Einsatz der Betriebsenergie auch Aufwendungen im Zusammenhang mit der Infrastruktur- und Fahrzeugnutzung notwendig. Diese sogenannten indirekten Aufwendungen bilden jeweils ein eigenes Prozessnetzwerk und sind in Abbildung 6-1 vereinfacht dargestellt.

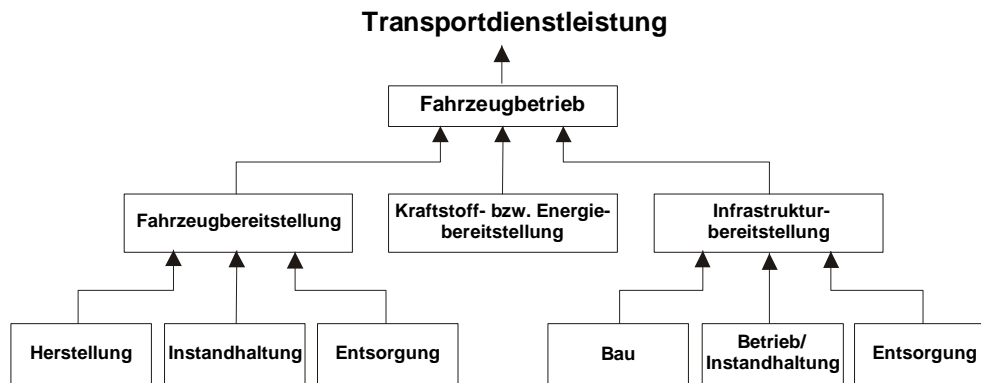


Abbildung 6-1: Hauptprozesse einer Transportdienstleistung

Für die Bilanzierung der konkreten Transportaufgaben werden so weit möglich die lokalen Verhältnisse berücksichtigt, um die differierenden Material- und Energieaufwendungen aufgrund der örtlichen Einflussgrößen wie Fahrzeugtyp, Regelquerschnitt, sowie Strecken- und Fahrgastauslastung möglichst exakt zu erfassen.

Die Verwendung des Hybrid-Ansatzes in der Bilanzierung bedeutet, dass die Prozesskettenanalyse um eine Analyse von sogenannten Input-Output-Tabellen ergänzt wird. Grundlage der Input-Output-Analyse sind Input-Output-Tabellen, die für die Bundesrepublik Deutschland vom Statistischen Bundesamt erstellt werden und die Aktivitäten einer Volkswirtschaft innerhalb eines Zeitraums in aggregierter Form darstellen. Diese Input-Output-Tabellen unterscheiden verschiedene Produktionsbereiche, deren Produktionswerte in der Regel in monetären Einheiten angegeben werden. Mit der Input-Output-Analyse lassen sich nun unter bestimmten Annahmen die Produktionswerte ermitteln, die alle Produktionsbereiche jeweils einbringen müssen, damit ein bestimmter Output bereitgestellt werden kann. Aus diesen kumulierten Produktionswerten werden dann in einem zweiten Schritt die gewünschten Sachbilanzgrößen ermittelt. Da Input-Output-Tabellen alle wirtschaftlichen Aktivitäten einer Volkswirtschaft enthalten, werden prinzipiell alle anzulastenden Produktionsvorgänge berücksichtigt. In der Analyse stellen die Produktionsbereiche eine Mittelung über eine Vielzahl technischer Prozesse dar, und Aktivitäten vorgelagerter Produktionsvorgänge werden über monetäre Einheiten zugewiesen.

Ziel der vorliegenden Bilanzierung ist jedoch die detaillierte Bilanzierung einzelner Produkte/Systeme, bei der die dem Bilanzobjekt anzulastenden Produktionsvorgänge über physikalische Gesetzmäßigkeiten ermittelt werden. Somit wird die Input-Output-Analyse nur für sektortypische Produkte angewendet bzw. als Ergänzung der Prozesskettenanalyse dienen. Im Rahmen der Fahrzeugbilanzierung sind vor allem die zwei Sektoren 'Straßenfahrzeuge' sowie 'Stahl- und Leichtmetallerzeugnisse und Schienenfahrzeuge' und für die Bilanzierung von Infrastrukturbereitstellungen der Sektor 'Hoch- und Tiefbauleistungen' verwendet worden.

Die Bilanzierung wird mit der am IER entwickelten Software BALANCE 2.1 zur Ökobilanzierung mittels Prozeßkettenanalyse und Hybridbilanz durchgeführt. Mit der Bereitstellung der in dieser Studie erarbeiteten Datenbank sind die bilanzierten Bestandteile für die Abbildung der Transportaufgaben vollständig nachvollziehbar. Das Programm beinhaltet als Datenbasis die Sachbilanzdaten der Energie- und Stoffströme aus ÖKO-INVENTARE FÜR ENERGIESYSTEME<sup>12</sup>.

Durch die Verwendung eines modularen Aufbaus ist vom Basismaterial ausgehend bis hin zur Bilanzierung der relationsrelevanten Transportaufgaben, wie sie in den Tabellenblättern als Ergebnis dargestellt sind, der Weg der Bilanzierung zurückzuverfolgen. Hierbei ist die Bilanzierung schrittweise zum eingesetzten Produkt hin vorgenommen. Dies bedeutet, dass mit der Datenbasis der Ökoinventare komplexe Materialien und Produkte zu Teilaggregaten bilanziert worden sind, aus denen dann beispielsweise die vollständige Infrastruktur modular aufgebaut wurde und anschließend unter Berücksichtigung der spezifischen Strecken- und Fahrgastauslastung für die Relationen bilanziert worden ist.

## 6.2 Kraftstoff- und Energiebereitstellung

Bei den antriebsbedingten Emissionen sind neben den direkten Emissionen, die lokal am Fahrzeug entstehen, auch indirekte Emissionen und Energieaufwendungen zu berücksichtigen. Dies betrifft die Kraftstoffbereitstellung für Pkw bzw. Dieseltraktion und von Strom für elektrisch betriebene Bahnen.

Da mit der Bereitstellung von elektrischer Energie aufgrund des lokal differierenden Energieträgereinsatzes unterschiedlich hohe Emissionen verbunden sind, wird bei den

---

<sup>12</sup> FRISCHKNECHT et al. (1996)

elektrifizierten Bahnsystemen der jeweilige Strom-Mix berücksichtigt. Darüber hinaus wird die Sensivität der Ergebnisse mit der Variation des Strom-Mix analysiert.

Mittels der Emissionen aus der Bereitstellung einer Kilowattstunde elektrischer Energie bzw. eines Liters Kraftstoff und den zuvor berechneten direkten Energieverbräuchen der jeweiligen Fahrzeuge während der konkreten Fahrten werden die Aufwendungen und Emissionen, die durch die Energiebereitstellung verursacht werden, für den Transport einer Person berechnet.

### 6.2.1 Kraftstoffe (Benzin, Diesel)

Im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Benzin- und Dieseldieselkraftstoff muss Energie für die Exploration, die Förderung und den Transport von Rohöl, für Aufbereitung des Rohöls sowie für die Verteilung des Kraftstoffs eingesetzt werden. Hierbei werden klima- und umweltrelevante Emissionen freigesetzt.

Die mit der Bereitstellung von Diesel und Benzin ab Regionallager verbundenen Emissionen und Energieaufwendungen wurden auf Grundlage der Daten des ÖKOINVENTARS FÜR ENERGIESYSTEME<sup>12</sup> durch eine Prozeßkettenanalyse bilanziert. Da die Entnahme von Kraftstoffen für Endverbraucher aber an der Tankstelle stattfindet, ist für den Weg vom Kraftstofflager zur Tankstelle sowie für die infrastrukturellen Einrichtungen der Tankstelle die Hybridbilanz benutzt worden, da diese stattgefundenen Vorleistungen sonst nicht mit berücksichtigt worden wären.

In Tabelle 6-1 sind die für die Kraftstoffbereitstellung frei Endverbraucher ermittelten Sachbilanzgrößen aufgelistet. Aufgrund des energieintensiveren Herstellungsverfahrens ist die Bereitstellung von Benzin mit höheren Emissionen und Energieaufwendungen verbunden als die von Dieseldieselkraftstoffen.

Sachbilanzgröße	Kraftstoffe frei Endverbraucher	
	Diesel [MJ]	Benzin [MJ]
KEA [MJ]	1,23	1,33
CO <sub>2</sub> [g]	14	23
NO <sub>x</sub> [mg]	76	92
CO [mg]	26	27
CH <sub>4</sub> [mg]	108	119
VOC [mg]	309	331
Benzol [mg]	0,23	2,28
Partikel [mg]	10	15

Tabelle 6-1. Ermittelte Sachbilanzgrößen zur Kraftstoffbereitstellung

## 6.2.2 Strombereitstellung

Die Bilanzierung der Strombereitstellung erfolgt auf der Grundlage von Daten der Ökoinventare für Energiesysteme und eigenen Erhebungen, unter Berücksichtigung der jeweils zur Stromerzeugung eingesetzten Energieträger<sup>131415</sup>. Die mit der Strombereitstellung verbundenen Aufwendungen beziehen sich auf die Bereitstellung frei Fahrleitung, womit neben Umspannungsverlusten auch die Verteilungsverluste aufgrund der Transformation auf die Betriebsspannung und der Einspeisung in das Fahrleitungsnetz berücksichtigt sind. Diese Umspann- und Verteilungsverluste sind nicht unerheblich und betragen beispielsweise im Stuttgarter Fahrleitungsnetz 8-14 %.

In der Tabelle 6-2 sind die in dieser Studie bilanzierten Strom-Mixe mit Angabe der Stromerzeugung nach Energieträgern zum Bezugsjahr 1995 aufgelistet.

Die Stromversorgung der Stadtbahnsysteme wird durch die örtlichen Stromversorgungsunternehmen abgedeckt. Die Strombereitstellung für die Stuttgarter Stadtbahn erfolgt durch die Neckarwerke Stuttgart AG (NWS), die Strom zu einem hohen Anteil aus Kernenergie erzeugt. Im Freiburger Raum wird die Stadtbahn von der Freiburger Energie- und Wasserversorgungs AG versorgt, die jedoch nur zu 1,4 % Eigenerzeuger von Strom aus Erd- und Deponiegas ist. Der mit über 98 % hohe Anteil von Fremdstrombezug ist über den Strom-Mix für Baden-Württemberg bilanziert, da aufgrund der Liberalisierung der Strommärkte die Angabe eines eindeutigen Strombezugs nicht möglich ist.

Für den Strombezug der Deutschen Bahn AG, der aus bahneigenen Stromerzeugungsanlagen und aus dem öffentlichen Netz erfolgt, wird in dieser Studie der Strom-Mix von Baden-Württemberg zugrunde gelegt.

Da in Baden-Württemberg und insbesondere in Stuttgart der Strom zu einem hohen Anteil aus Kernenergie erzeugt wird, werden im Rahmen der Parametervariation zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Relationsergebnisse auf andere Regionen zusätzlich der Strom-Mix des Länderdurchschnitt in Deutschland und der ohne Kernenergie erzeugte Strom des Landes Nordrhein-Westfalen bilanziert. Die mit der Strombereitstellung ermittelten Emissionen und Energieaufwendungen der relationsrelevanten Strom-Mixe sind in Tabelle 6-2 pro MJ Strombereitstellung frei Fahrleitung aufgelistet.

---

<sup>13</sup> VDEW-STATISTIK (1995)

<sup>14</sup> VWEW (1997)

<sup>15</sup> WIRTSCHAFTSMINISTERIUM (1998)

Strombezug der Bahnsysteme mit Angabe zur Stromerzeugung nach Energieträgern im Jahr 1995						
Bahnsystem		Stadtbahn Stuttgart	Stadtbahn Freiburg	Eisenbahn Baden-Württemberg	Parametervariation "Strom-Mix" für ausgewählte Bahnrelationen	
Strombezug		Technische Werke der Stadt Stuttgart AG	Freiburger Energie und Wasserversorgung AG	Strom-Mix Baden-Württemberg	Strom-Mix Nordrhein-Westfalen	Länderdurchschnitt Deutschland
Energieträger	Kernenergie	89,6 %	keine Angabe	58,1 %	-	28,8 %
	Steinkohle	1,9 %	keine Angabe	25,9 %	38,1 %	27,5 %
	Wasser	2,1 %	keine Angabe	9,2 %	0,5 %	4,5 %
	Erdgas	1,6 %	0,8 %	4,5 %	7,4 %	7,7 %
	Heizöl	0,3 %	keine Angabe	1,7 %	0,3 %	1,5 %
	sonstiges (hauptsächlichlicher Energieträger)	1,3 % (Müll)	0,6 % (Deponiegas)	0,6 % (Müll)	53,7 % (Braunkohle)	30,00% (Braunkohle)
<b>Fremdstrombezug</b>		3,2 %	98,6 %	Bilanz nur für Eigenerzeugung	Bilanz nur für Eigenerzeugung	Bilanz nur für Eigenerzeugung
Quelle zu Angaben der Stromerzeugung		VDEW- Statistik, 1995	VDEW- Statistik, 1995	Energiebericht' 97, Wirtschaftsministerium	Energiebericht' 97, Wirtschaftsministerium	Die Elektrizitätswirtschaft in der Bundesrepublik
Aufwendungen pro MJ Strombereitstellung frei Fahrleitung						
Sachbilanzgrößen	KEA [MJ]	3,91	3,57	3,58	3,61	3,58
	CO <sub>2</sub> [g]	20	99	97	352	228
	NO <sub>x</sub> [mg]	32	114	110	440	290
	CO [mg]	12	28	27	58	44
	CH <sub>4</sub> [mg]	69	407	403	596	449
	VOC [mg]	77	427	423	612	470
	Benzol [mg]	0,03	0,09	0,08	0,10	0,11
	Partikel [mg]	18	70	70	215	141
	Kollektivdosis [PersS]	1,24E-09	7,98E-10	8,10E-10	0,00E+00	4,01E-10

Tabelle 6-2: Strombezug der Bahnsysteme und ermittelte Sachbilanzgrößen zur Strombereitstellung frei Fahrleitung

Bei den in dieser Studie betrachteten Sachbilanzgrößen werden für die mit hohem Kernenergieanteil erzeugten Strom-Mixe geringe Emissionen ermittelt. Damit im Vergleich der Strombereitstellung die für die Kernenergie relevante Emissionsgröße der Radioaktivität nicht unberücksichtigt bleibt, wird an dieser Stelle die Bilanz um eine Sachbilanzgröße erweitert. Für die Berücksichtigung der ausschließlich mit der Kernenergie verbundenen Emission von radioaktiver Strahlung wird die humanbiologisch relevante Wirkungsgröße 'Kollektivdosis in Personensievert' verwendet. Die Ermittlung

der durch den Normalbetrieb eines Kernkraftwerkes verursachten Kollektivdosis erfolgt auf Grundlage der Angaben pro TWh Stromerzeugung<sup>16</sup>.

## 6.3 Fahrzeugbereitstellung

Die im Personenverkehr genutzten Fahrzeuge zeigen systembedingt deutliche Unterschiede in ihrer Größe und Materialzusammensetzung. Darüber hinaus werden die mit der Fahrzeugbereitstellung verbundenen Aufwendungen maßgeblich vom Fahrzeugtyp und der damit erbrachten Gesamtfahrleistung während der Lebensdauer des Fahrzeugs beeinflusst.

### 6.3.1 Bilanzrahmen und Methodik

In der Studie werden der kumulierte Energieaufwand und die kumulierten Emissionen für die Fahrzeugbereitstellung während des Lebensweges eines Fahrzeuges über die spezifische Lebensfahrleistung auf die Basis eines Fahrzeugkilometers linear verteilt. Mittels Fahrgastauslastung und Streckenlänge der definierten Transportaufgaben kann somit einer Person eine anteilige Aufwendung der Fahrzeugbereitstellung zugerechnet werden. Die Verteilung der Aufwendungen der Pkw-Bereitstellung werden für die vier Besetzungsgrade - eine bis vier Personen - ermittelt.

Der in der Bilanz abzubildende Lebensweg eines Fahrzeuges umfasst die drei Phasen der Herstellung, des Betriebs und der Entsorgung. Neben dem für die Fahrzeugnutzung notwendigen Kraftstoff bzw. Strom, der in dieser Studie für die Relationen separat ausgewiesen wird, sind in der Betriebsphase Aufwendungen für die Instandhaltung notwendig. Hierzu zählen Betriebsmittel und Verschleißmaterialien, die während der angenommenen Lebensdauer verbraucht werden und in dieser Studie ebenfalls linear auf die Basis eines gefahrenen Fahrzeugkilometers zugerechnet werden.

#### 6.3.1.1 Herstellung

Die mit der Herstellungsphase der Fahrzeuge verbundenen Aufwendungen sind mit der Hybrid-Bilanz ermittelt worden. Die entscheidenden Stoffströme, die aus dem Materialverbrauch und dem Energieverbrauch während des Herstellungsprozess resultieren,

---

<sup>16</sup> FRIEDRICH & KREWITT (1997)



sind mittels der Prozeßkettenanalyse erfasst. Ergänzend wurde für die Berücksichtigung von Vorleistungen, wie beispielsweise die Entwicklungsprozesse und die Produktionsstraßen, die Input-Output-Analyse angewandt. Insofern Herstellerangaben ausschließlich für die Materialzusammensetzung der Fahrzeuge zur Verfügung gestellt werden konnten, ist der Energieverbrauch mittels des sektortypischen Energieaufwandes nach Energieträgern ermittelt worden und anschließend über eine Prozesskettenanalyse bilanziert worden. Die Verwendung der erweiterten Input-Output-Tabellen im Rahmen der Fahrzeugbilanzierung ermöglicht eine gute Erfassung der Vorleistungen und eine Ermittlung der Energieaufwendungen des Produktionsbereiches, da die Sektoren 'Straßenfahrzeuge' und 'Stahl u. Schienenfahrzeuge' das Produkt Fahrzeug als sektortypisch abbilden.

Der Bilanzrahmen umfasst auch den Transport des Fahrzeuges vom Hersteller zum Einsatzort.

### **6.3.1.2 Instandhaltung**

Im Rahmen der Instandhaltung sind die in der Nutzungsphase eines Fahrzeuges anfallenden Materialverbräuche mittels der Prozesskettenanalyse bilanziert. Hierzu gehören die Bereitstellung der Materialien wie auch deren Entsorgung, was insbesondere für das in Sonderverbrennungsanlagen zu entsorgende Altöl von Bedeutung ist.

Datengrundlage der Verbrauchsmaterialien für die einzelnen Fahrzeuge bildet das ÖKOINVENTAR TRANSPORT<sup>12</sup>. Für die Stadtbahn Stuttgart konnten vom Betreiber Angaben zu den Instandhaltungsaufwendungen zur Verfügung gestellt werden.

Insgesamt wird die Berücksichtigung der Instandhaltungsphase in der Bilanz unterschätzt, da Aufwendungen aus Vorleistungen wie die Nutzung von Werkstätten unberücksichtigt bleiben. Eine Erfassung dieser Aufwendungen ist im Rahmen dieser Studie jedoch nicht möglich, da hierfür umfangreiche Primärdatenerhebungen notwendig sind. Darüber hinaus ist eine Abschätzung mittels Input-Output-Tabellen nicht möglich, da seitens der Betreiber die notwendigen Daten nicht verfügbar sind.

### **6.3.1.3 Entsorgung**

Insbesondere für die Schienenfahrzeuge ist die Verfolgung der Entsorgungsphase problematisch. Die in den Tabelle 6-3 und Tabelle 6-3: Fahrzeugtypen mit Kenndaten und ermittelten Sachbilanzgrößen pro Fzkm

aufgeführte Lebensdauer der Fahrzeuge bezieht sich auf den von den Betreibern angegebenen Abschreibungszeitraum und ist nicht unmittelbar mit einer Entsorgung gleich zu setzen. Teilweise werden die Fahrzeuge je nach Finanzlage der Betreiber auch noch über ihren Abschreibungszeitraum hinaus genutzt. Ein Großteil der Schienenfahrzeuge wird an ausländische Betreiber verkauft oder verschenkt und den örtlichen Verkehrssystemen baulich angepasst. Neuerdings ist auch im Inland der Trend einer vollständigen Modernisierung von Altfahrzeugen zu verzeichnen, wobei im wesentlichen der aus Stahl konstruierte Wagenkasten weiter genutzt wird.

Für die Berücksichtigung der Entsorgungsphase werden in dieser Studie die Nicht-Metall-Materialien aus der Zusammensetzung des Fahrzeugs erfasst und als Abfall mit Entsorgung in einer Reaktordeponie bilanziert. Nach Angaben des Ökoinventar Transporte sind die Energieverbräuche für die Zerlegung der Fahrzeuge zu vernachlässigen, da diese beispielsweise für den Pkw im Vergleich zum gesamten Primärenergieverbrauch bei ca. 2,5 Promille liegen.

### **6.3.2 Fahrzeugtypen**

Die mit Herstellung, Unterhalt und Entsorgung eines Fahrzeuges verbundenen Energie- und Stoffströme basieren auf Hersteller- und Betreiberangaben und auf dem ÖKOINVENTAR TRANSPORTE<sup>17</sup>. Für die neueren - im Ökoinventar nicht verfügbaren - Fahrzeugtypen Stadtbahn und Regio-Shuttle konnte die Materialzusammensetzung über Hersteller- und Betreiberangaben erhoben werden. Die Bilanzierung der Fahrzeuge ist allgemein mit guter Datenqualität erfasst und abgebildet. Eine Ausnahme stellt die Bilanzierung der im Relationsraum Stuttgart eingesetzten S-Bahn und des neuen Fahrzeugtyps NeiTech im Raum Basel-Lindau dar, die aufgrund fehlender Daten nur angenähert durchgeführt werden konnte.

Angaben zur Jahreslaufleistung und Nutzungsdauer gelten als entscheidende Größe für die Ermittlung der Aufwendungen pro Fahrzeugkilometer und wurden von den Betreibern für alle Fahrzeuge bereitgestellt. Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Zurechnung der anteiligen Aufwendung der Fahrzeugbereitstellung pro Person ist die Fahrgastauslastung des Fahrzeuges zum jeweiligen Fahrtzweck. Für einen Großteil der Relationen wurden Fahrgastzählungen von den Betreibern zur Verfügung gestellt. Bei fehlender Datenlage wurden eigene Erhebungen vom Institut für Straßen- und Verkehrswesen durchgeführt, so dass für alle Relationen Fahrgastzahlen vorlagen. Die

---

<sup>17</sup> MAIBACH ET AL. (1995)

teilweise in Abhängigkeit vom Fahrtzweck variierende Zugkonfiguration konnte ebenfalls von den Betreibern oder durch Eigenerhebung ermittelt werden.

### 6.3.2.1 Lokomotiven

Bei den lokbespannten Zügen auf der Relation Ravensburg-Friedrichshafen wird eine Diesellok des Typs BR 218 eingesetzt. Im Relationsraum Schorndorf-Stuttgart werden die Doppelstockwagen und Nahverkehrswagen sowie im Relationsraum Freiburg-Basel die Regionalbahn von einer Elektro-Lok des Typs BR 110 angetrieben. Die BR 110 mit einem Gewicht von 87 t und Baujahr 1956-1963 und die 72 t schwere BR 218 mit Baujahr 1968-79 repräsentieren den heutigen zum Teil sehr alten Lokomotivpark im Regionalverkehr. Aufgrund der heute nicht mehr verfügbaren Daten über die Materialzusammensetzung erfolgt wiederum eine gewichtsangepasste Bilanzierung über einen vergleichbaren Fahrzeugtyp aus der Datenbasis ÖKOINVENTAR TRANSPORTE<sup>17</sup>. Hierbei handelt es sich um Daten für den neueren Schweizer Elektro-Lok Typ RE4/4 460, die aufgrund des elektroloktypischen höheren Aluminium- und Kunststoffanteil gegebenenfalls zu einer Ermittlung etwas erhöhter Aufwendungen als für die in der Studie relevanten Lokomotiven führen. Für die Bilanzierung der Diesellok wurde der durch die elektrische Einrichtung bedingte hohe Kupferanteil einer Elektro-Lok herausgenommen und insgesamt der Materialzusammensetzung angepasst. Die höheren Instandhaltungsaufwendungen für Diesel-Loks sind mit einem Zuschlagsfaktor berücksichtigt<sup>18</sup>.

### 6.3.2.2 Personenzugwagen

Auf der Strecke Schorndorf-Stuttgart werden im Rahmen der Regionalverbindung sowohl Doppelstockwagen als auch Reisezugwagen eingesetzt. Die Durchführung der Fahrt von Stuttgart nach Mannheim ist neben dem Angebot über den im Fernverkehr eingesetzten ICE auch mit dem InterRegio als E-Lok angetriebene Personenzugwagen möglich und wird vergleichend bilanziert. Im Relationsraum Ravensburg-Friedrichshafen wird die Strecke ausschließlich mit konventionellen Reisezugwagen mit Diesel-Lok bedient. Die Doppelstock- und Reisezugwagen sind unter Zugrundelegen der Input-Daten des Ökoinventars bilanziert. Ein 48 t schwerer Reisezugwagen hat eine Beförderungskapazität von 60 Sitzplätzen. Die Fahrzeugkonzeption der Doppel-

---

<sup>18</sup> STEKELER (1996)

stockwagen schließt neben Sitzplätzen auch Stehplätze mit ein, so dass hier eine sehr hohe Kapazität von insgesamt 337 Plätzen erreicht wird, wovon 210 Stehplätze sind. Dieser neuere Fahrzeugtyp zeichnet sich in der Materialzusammensetzung durch einen höheren Aluminiumanteil aus. Für die Relation Stuttgart-Mannheim mit dem InterRegiozug ist in der Bilanz die höhere Jahresfahrleistung der Personenzugwagen im Vergleich zum Regionalzug berücksichtigt. Für die derzeit noch unbekanntem Unterhaltsaufwendungen ist die Datengrundlage eines Regionalzugs herangezogen worden.

### **6.3.2.3 ICE**

Auf den Relationen Stuttgart-Mannheim und Mannheim-Basel wird für diese Strecken des Fernverkehrs der Hochgeschwindigkeitszug InterCityExpress eingesetzt. Mit 12 Wagen erreicht die eingesetzte Zugkonfiguration mit zwei Triebköpfen ein Gewicht von 660 t und gibt neben Service-Einrichtungen für den Fernverkehr, wie beispielsweise einem Zugrestaurant-Wagen, ein Platzangebot für 656 Fahrgäste. Aufgrund der Höchstgeschwindigkeit von 280 km/h und dem ausschließlichen Einsatz im Fernverkehr wird die sehr hohe Fahrleistung von ca. 500.000 Fzkm/a erreicht. Die Bilanzierung der Aufwendungen aus der ICE-Bereitstellung erfolgte in Ergänzung um den Hybrid-Ansatz auf Basis des Ökoinventars, das den ICE des Typs 2 entspricht.

### **6.3.2.4 NeiTech**

Bei dem von ADtranz neu entwickelten Fahrzeugtyp NeiTech handelt es sich um Triebzüge mit Verbrennungsmotor der Baureihe 611/612. Dieser Zug wird vorrangig im Regionalverkehr, wie auf der Relation Basel-Lindau eingesetzt, und zeichnet sich durch die kurvenangepasste Wagenkastensteuerung aus, die eine höhere Fahrgeschwindigkeit unter Beibehaltung des Fahrkomforts für Fahrgäste in kurvenreicher Streckenführung ermöglicht. Mit einem Gewicht von 104 t besteht ein Platzangebot von 112 Plätzen der 2. Klasse, 23 Plätzen der 1. Klasse sowie 13 Klappsitzen. Da Angaben über die Materialzusammensetzung des NeiTech nicht verfügbar waren, erfolgte eine Annäherung der Energie- und Materialaufwendungen über eine gewichtsspezifische Anpassung an Personenzüge und Antriebswagen.

### **6.3.2.5 Regio-Shuttle**

Der Leichtverbrennungstriebwagen Regio-Shuttle RS1 wird auf den Relationen Ruedersberg-Schorndorf, Gottenheim-Freiburg, Fridingen-Tuttlingen und Ravensburg-Friedrichshafen eingesetzt. Dieses von ADtranz neu entwickelte Fahrzeugkonzept kommt seit 1996 als einteiliger Zweirichtungstriebwagen überwiegend im Süddeutschen Raum zum Einsatz und dort insbesondere auf reaktivierten Strecken und beim Ausbau von bestehenden Verbindungen außerhalb der Ballungsgebiete. Der bezeichnete Regio-Shuttle in Niederflurbauweise hat Raum für 76 Sitz- und 83 Stehplätze und ein Leergewicht von 40 t. Die Bilanzierung der Aufwendungen erfolgte für die Materialzusammensetzung nach Herstellerangaben von ADtranz und wegen fehlender Angaben über die Instandhaltung aus Ableitungen von Instandhaltungsdaten der Diesellok und der Personenzugwagen.

### **6.3.2.6 S-Bahn**

Für die S-Bahn Stuttgart werden elektrische Triebzüge der Baureihe 420/421 eingesetzt. Eine Zugeinheit - als Kurzzug bezeichnet - besteht aus zwei Endwagen der Baureihe 420 mit Führerständen und einem Mittelwagen der Baureihe 421. Für Zeiten hohen Fahrgastaufkommens werden zwei Einheiten zu einem Vollzug und drei Einheiten zu einem Langzug zusammengestellt. Jeder Kurzzug mit einem Leergewicht von 139 t hat 194 Sitzplätze, die sich auf 177 Sitze der 2. Klasse und 17 der 1. Klasse aufteilen, sowie 254 Stehplätze. Da Angaben über die Materialzusammensetzung der S-Bahn nicht verfügbar waren erfolgte eine Annäherung der Energie- und Materialaufwendungen über eine gewichtsspezifische Anpassung an die Bilanzierung der Stadtbahn DT 8.10.

### **6.3.2.7 Stadtbahn**

Der Doppeltriebwagen DT 8.10 wird als Zweirichtungswagen im Stuttgarter Stadtbahnnetz eingesetzt. Das in Stahlleichtbauweise konstruierte Fahrzeug hat ein Leergewicht von 56 t und weist aus Komfortgründen mit 110 Sitz- und 132 Stehplätzen eine vergleichsweise hohe Anzahl von Sitzplätzen auf. Von der Stuttgarter Straßenbahnen AG (SSB) wurden detaillierte Angaben über die Materialzusammensetzung und die Instandhaltung zur Verfügung gestellt, die mit sehr guter Datenqualität eine Bilanzierung eines modernen Stadtbahnfahrzeuges ermöglichen.

Der Stadtbahn Typ GT 8 Z wird im Relationsraum der Stadt Freiburg eingesetzt. Dieser Stadtbahntyp fährt als Zweirichtungsfahrzeug in einfacher Traktion und weist bei einem Leergewicht von 39,4 t eine Beförderungskapazität von 205 Sitz- und Stehplätzen auf. Da Angaben über die Materialzusammensetzung der GT 8Z nicht zur Verfügung gestellt werden konnten, jedoch eine technische Vergleichbarkeit mit dem Stadtbahntyp GT 8.10 besteht, ist in der Studie die Freiburger Bahn über eine gewichtsproportionale Anpassung an die Material- und Energieaufwendungen der Stuttgarter Stadtbahn bilanziert worden.

### **6.3.2.8 Omnibus**

Auf den Relationen werden Busse von Mercedes-Benz des Typs O405 N2 und von Setra-Kaessbohrer der Typen S215 SL, S315 NF, S315 SL, S315 GT und S315 UL eingesetzt. Diese Bustypen unterscheiden sich je nach Konzeptionsbau als Regional-, Überland- oder Linienbus im wesentlichen in ihrer Ausstattung und somit ihrem Angebot an Sitz- und Stehplätzen. In Tabelle 6-3: Fahrzeugtypen mit Kenndaten und ermittelten Sachbilanzgrößen pro Fzkm

ist die Beförderungskapazität des Niederflur-Linienbus O405 N2, der aufgrund der Datenverfügbarkeit der Bilanzierung zugrunde gelegt wurde, in der zweitürigen Variante und einem Angebot von 34 Sitz- und 68 Stehplätzen angegeben. Da hinsichtlich des Gesamtgewichts der aufgeführten Bustypen keine Unterschiede bestehen, ist für die Busbereitstellung die Bilanzierung eines einzelnen Bustyps ausreichend.

### **6.3.2.9 Personenkraftwagen**

Mit den Angaben aus dem ÖKOINVENTAR TRANSPORTE<sup>17</sup> wird ein einzelner 1 t schwerer Personenwagen bilanziert, der aufgrund der Datenerhebung den Technikstand von 1993 repräsentiert. Bei einem systembedingten Vergleich der Verkehrsmittel ist zu berücksichtigen, dass ein einzelner Pkw in der Bewertung nicht uneingeschränkt für die gesamte vielfältige Fahrzeugflotte herangezogen werden kann. Die Berücksichtigung zukunftsweisender technischer Entwicklungen, wie beispielsweise die Leichtbauweise oder andere Antriebssysteme, ist damit nicht möglich. Bei einer Vielzahl neuerer Entwicklungen ist hinsichtlich der Fahrzeugherstellung jedoch aufgrund des Einsatzes von Materialkomponenten höherer Qualität generell nicht mit niedrigeren Aufwendungen zu rechnen. Weitere Fahrzeugtypen können hier nur so mit einbezogen werden, dass, unter Annahme einer ähnlichen Materialzusammensetzung die Material- und Energiemengen proportional dem Gewicht angepasst werden.

### 6.3.3 Zusammenstellung der Aufwendungen für die Fahrzeugbereitstellung

Die relationsrelevanten Fahrzeugtypen sind in den Tabelle 6-3 und Tabelle 6-3: Fahrzeugtypen mit Kenndaten und ermittelten Sachbilanzgrößen pro Fzkm

zusammenfassend mit Angaben zu Fahrzeugkenndaten und den ermittelten Sachbilanzgrößen auf Basis eines Fahrzeugkilometers aufgelistet.

Fahrzeugtyp	Lok		Personenzugwagen			Triebzüge	
	Elektro BR110	Diesel BR218	Interregio-zug	Regional-zug	Doppelstock-wagen	ICE 12-Wagen	NeiTech 1er Traktion
<b>Kenndaten</b>							
<b>Platzangebot</b> (Sitz-Stehplätze)	-	-	60	60	337	656	148
<b>Jahreslaufleistung</b> [Fzkm/a]	200.000	200.000	200.000	150.000	150.000	500.000	150.000
<b>Lebensdauer</b> [a]	40	40	40	40	40	40	40
<b>Gewicht</b> [t]	87	72	48	48	40	660	104
<b>Sachbilanzgröße pro Fzkm</b>							
<b>KEA</b> [MJ]	1,62	1,22	1,03	1,29	1,25	10,75	2,62
<b>CO<sub>2</sub></b> [g]	112	85	66	84	81	712	175
<b>NO<sub>x</sub></b> [mg]	217	165	163	204	214	1839	397
<b>CO</b> [mg]	790	629	420	549	499	4329	1190
<b>CH<sub>4</sub></b> [mg]	364	282	210	269	253	2166	566
<b>VOC</b> [mg]	505	391	372	465	468	3967	912
<b>Benzol</b> [mg]	0,75	0,60	0,25	0,29	0,27	1,88	0,81
<b>Partikel</b> [mg]	186	153	109	140	128	990	298

Tabelle 6-3: Fahrzeugtypen mit Kenndaten und ermittelten Sachbilanzgrößen pro Fzkm

Fahrzeugtyp	Triebzüge		Stadtbahn		Kraftfahrzeuge	
	Regio-Shuttle 1erTraktion	S-Bahn 420/421 Kurzzug	DT 8.10 Stuttgart	GT8Z Freiburg	Omnibus	Pkw
<b>Kenndaten</b>						
Platzangebot (Sitz-Stehplätze)	164	448	242	205	102	5
Jahreslaufleistung [Fzkm/a]	100.000	150.000	90.000	60.000	70.000	15.000
Lebensdauer [a]	40	40	30	30	14	10
Gewicht [t]	40	139	56	39	50	1
<b>Sachbilanzgröße pro Fzkm</b>						
KEA [MJ]	1,82	3,63	3,28	3,44	2,46	1,08
CO <sub>2</sub> [g]	123	243	219	230	167	70
NO <sub>x</sub> [mg]	252	490	442	464	378	164
CO [mg]	832	2096	1891	1985	702	293
CH <sub>4</sub> [mg]	397	875	789	829	501	201
VOC [mg]	591	1169	1055	1107	800	360
Benzol [mg]	0,38	0,63	0,57	0,60	1,25	0,56
Partikel [mg]	219	537	485	509	219	101

Tabelle 6-4: Fahrzeugtypen mit Kenndaten und ermittelten Sachbilanzgrößen pro Fzkm (ff)

Die Bilanzierung für die schienengebundenen Verkehrsmittel mit nach Fahrtzweck variierender Zugkonfiguration erfolgt aus der Kombination der Aufwendungen für die entsprechenden Fahrzeugtypen. Hiervon betroffen sind die Regionalbahn sowie der Inter-Regio mit Reisezug- und Doppelstockwagen sowie die S-Bahn und der Regio-Shuttle.

Für die Bilanzierung der konkreten Fahrten werden die in der obenstehenden Tabelle Aufwendungen aus der Fahrzeugbereitstellung unter Berücksichtigung der tatsächlichen Fahrgastauslastung für einen einzelnen Fahrgast ermittelt.

## 6.4 Infrastrukturbereitstellung

Bau, Betrieb und Instandhaltung von Verkehrsinfrastrukturanlagen erfordern große Materialbewegungen und Materialeinsätze. Damit verbunden sind ein entsprechend großer Energieaufwand sowie daraus resultierende Emissionen.

Die Höhe des Energieaufwandes und der Emissionen im Zusammenhang mit dem Bau, Betrieb und der Instandhaltung der Verkehrsinfrastruktur hängt u.a. von dem be-



trachteten Verkehrssystem, der Bauweise der Verkehrswege sowie insbesondere von der Streckenbelastung ab. Somit ergeben sich bei der Betrachtung konkreter Strecken zum Teil erhebliche Abweichungen gegenüber Durchschnittswerten. Die Berechnung der Aufwendungen orientiert sich daher an den konkret betrachteten Strecken.

#### **6.4.1 Bilanzrahmen und Methodik**

Hinsichtlich der Schienen- und Straßeninfrastruktur umfasst der Bilanzrahmen dieser Studie die entsprechenden Anlagenaggregate Erdbau, Oberbau, Kunstbauten, Streckenausrüstung wie Fahrleitung u. Signal/Kommunikationsanlagen während der Phasen Bau, Betrieb/Instandhaltung und Entsorgung.

In Anlehnung der Bilanzierung zur Fahrzeugbereitstellung wird die Phase der Entsorgung für solche Materialien berücksichtigt, für die nach heutigem Stand keine Möglichkeit eines Recycling besteht. Darüber hinaus wird in dieser Studie die Annahme getroffen, die mit der Wiederaufbereitung verbundenen Aufwendungen dem aufbereiteten Produkt anzulasten. Mit diesem Ansatz wird davon ausgegangen, dass die zukünftig zu entsorgenden Materialien einem Recycling zugeführt werden und die - zum Teil vor Jahrzehnten - bereits verbauten Materialien nicht recycelt worden sind. Für einzelne, neu gebaute Straßenabschnitte kann dies unzutreffend sein, allerdings ist mit keiner entscheidenden Einschränkung zu rechnen.

Weiterhin wird systembedingt für den Individualverkehr die Abstellnotwendigkeit mit der Zurechnung eines Stellplatzes sowie für den öffentlichen Verkehr die Infrastruktur für erforderliche Ein-, Um- und Aussteigevorgänge berücksichtigt.

Als Bilanzmethodik kommt neben der Prozeßkettenanalyse für die Verkehrswege insbesondere die Input-Output-Analyse für solche Infrastruktureinrichtungen zur Anwendung, für die notwendige Daten über Material- und Energieträgereinsatz nicht verfügbar sind.

##### **6.4.1.1 Verkehrswege**

Über den Lebensweg des Verkehrsweges wird der Material- und Energieträgereinsatz für die einzelnen Aggregate der Straßenverkehrs- bzw. Schienenwege mittels Prozeßkettenanalyse ermittelt und linear über deren durchschnittliche Nutzungsdauer abgeschrieben.

Für die Straßeninfrastruktur sind die Aufwendungen entsprechend der unterschiedlichen Belastung des Straßenoberbaus durch Fahrzeuge einem Pkw zuzuordnen. Auf der Basis der Methodik zur Bestimmung der Wegekosten für den Straßenverkehr<sup>19</sup> werden mittels des streckenspezifischen durchschnittlichen täglichen Verkehrsaufkommens und der Fahrzeugart die infrastrukturbedingten Emissionen und Energieaufwendungen für einen Pkw ermittelt. Bei diesem Zuweisungsschlüssel wird der Mehrbelastung der Infrastruktur durch Lkw Rechnung getragen. Dabei werden einem Lkw um den Faktor 4,6 höhere Aufwendungen im Vergleich zu einem Pkw zugeordnet. Der Mehrbelastung der Infrastruktur durch Busse wird mit dem Faktor 1,9 Rechnung getragen. Die Umlegung der Aufwendungen auf einzelne Personen erfolgt für Transportaufgaben im öffentlichen Personenverkehr mittels der konkreten Fahrgastauslastungen zum Zeitpunkt des jeweiligen Fahrtzweckes. Bei der Berechnung der Aufwendungen pro Person im Individualverkehr werden die Ergebnisse für die vier möglichen Besetzungsgrade von einer bis vier Personen ermittelt.

Für eine Bahnstrecke werden die jährlichen Material- und Energieträgeraufwendungen mit Hilfe der spezifischen Streckenbelastung einer einzelnen Zugfahrt zugeordnet. Hiermit kommt die Beanspruchung der Schienenwege durch das Gesamtgewicht eines Zuges zum Ausdruck. Die einer einzelnen Zugfahrt zugeordneten Aufwendungen sind daher proportional zum Zuggewicht. Anschließend können die aus der Infrastruktur resultierenden Aufwendungen pro Zugfahrt mittels der vom Fahrtzweck abhängigen Fahrgastauslastung dem Transport einer Person zugeordnet werden.

#### **6.4.1.2 Kunstbauten**

In der Studie sind ausschließlich die material- und energieintensiven Tunnelbauten berücksichtigt. Für die Bilanzierung der Tunnelbauwerke wurde die Methodik der Hybridbilanz angewendet, da diese Methode auf der Basis der den Tiefbauämtern allgemein verfügbaren Daten neben der Bilanzierung des Materialeinsatzes auch eine Berücksichtigung des Energieeinsatzes sowie direkter Vorleistungen ermöglicht. Über eine Abschätzung des sektortypischen Einsatzes von Energieträgern mittels Input-Output-Tabellen sind anschließend die Energie- und Materialaufwendungen wiederum über eine Prozeßkettenanalyse bilanziert worden. Darüber hinaus wurden die Energieverbräuche, die in Straßentunnels während der Betriebsphase für Beleuchtung und Belüftung anfallen, ebenfalls erfasst.

---

<sup>19</sup> BUNDESVERKEHRSMINISTERIUM (1992)

Da in der Eigenerhebung von Infrastrukturdaten im Straßenverkehr insbesondere die Daten für kleinere Brückenbauwerke im innerstädtischen Raum nicht eindeutig ermittelt werden konnten, ist aus Gründen der Gewährleistung eines einheitlichen Bilanzrahmens die Bilanzierung dieser Kunstbauwerke in den Relationen 01-13 nicht enthalten. Für die Relationen 14-16, die vorrangig im Fern- und Regionalverkehr stattfinden, sind hingegen Brückenbauwerke, insofern sie eine Mindestlänge von 25 m erreichen, erfasst. Hiermit sind die aufgrund der Streckenführung bedeutenden Brückenbauten auf Autobahnen sowie Bahntrassen im Bilanzrahmen enthalten. Die Bilanzmethodik enthält analog zur Bilanzierung von Tunnelbauwerken die Prozesskettenanalyse für Materialaufwendungen und den Hybrid-Ansatz für vorgelagerte Leistungen sowie Energieaufwendungen.

#### **6.4.1.3 Pkw-Stellplätze**

Die Bilanzierung der Parkhausstellfläche für Personenkraftwagen erfolgt mittels der Baukosten über Input-Output-Analyse mit Verwendung des Sektors zu Hoch- und Tiefbaumaßnahmen, wobei der daraus abgeschätzte Energieträgereinsatz über die Prozesskettenanalyse bilanziert ist. Ein offener Stellplatz wird aufgrund des vergleichbaren Oberbaus als Straßenkategorie Anliegerstraße bilanziert, jedoch mit Ansatz einer höheren Nutzungsdauer und ohne Instandhaltungsaufwendungen.

Bei der Berücksichtigung von Stellplätzen für Pkw ist der Abstellvorgang am Quell- und Zielort hinsichtlich der unterschiedlichen Randbedingungen der Vorhaltung des Stellplatzes prinzipiell zu unterscheiden.

Am Wohnort ist eine permanente Abstellmöglichkeit notwendig. Analog zu der Aufteilung der aus der Fahrzeugbereitstellung resultierenden Aufwendungen sind auch diejenigen aus der Stellplatzbereitstellung in Abhängigkeit von der Weglänge einer Fahrt zuzurechnen. Hierfür werden die mit der Stellplatzbereitstellung verbundenen jährlichen Aufwendungen zur Jahresfahrleistung eines Pkw in Bezug gesetzt und als Stellplatzaufwendungen pro Fzkm ausgewiesen.

Am Zielort der Relation findet hingegen nur eine temporäre Nutzung einer Abstellmöglichkeit statt. Die Berücksichtigung eines innerstädtischen Parkhauses oder eines offenen Stellplatzes ist von den örtlichen Gegebenheiten des jeweiligen Relationsraums abhängig und durch Ortsbegehungen festgelegt. Die Zurechnung der aus dem Parkhaus bzw. einem Stellplatz resultierenden Aufwendungen erfolgt über die in dem Fahrtzweck definierte Aufenthaltszeit am Zielort.

#### **6.4.1.4 Haltestellen**

In der Bilanzierung sind ausschließlich Haltestellen für den schienengebundenen Verkehr berücksichtigt. Für die mit dem Bus durchgeführten Teilrelationen sind keine Haltestellen berücksichtigt, da für einen Großteil dieser Teilrelationen ein Busstop im Straßenraum stattfindet und Gehsteige als Warteraum für Fahrgäste dienen, womit außer einem Haltestellenschild keine zusätzlichen infrastrukturellen Einrichtungen zu berücksichtigen sind.

Die Berücksichtigung der baulichen Infrastruktur für Ein-, Um- und Aussteigevorgänge der Bahn erfolgt aufgrund der verfügbaren Daten über Input-Output-Tabellen mit Bilanz der Energieträger mittels einer Prozeßkettenanalyse, womit der Bau sowie die bauliche Instandhaltung erfasst sind. Darüber hinaus sind für die Bahnstrecken auch der Betrieb mit Energieverbrauch für Beleuchtung und Fahrkartenautomatenbetrieb berücksichtigt. Für die Stadtbahnstrecken sind Daten über den Energieverbrauch während des Betriebs nicht verfügbar, womit in der Bilanz die ermittelten Aufwendungen pro Fahrgast insbesondere für Tunnelhaltepunkte insgesamt noch zu gering sind.

Die Zurechnung der ermittelten Aufwendungen einer Haltestelle für die Benutzung durch einen Fahrgast erfolgt anhand des durchschnittlichen täglichen Fahrgastaufkommens an dieser Haltestelle.

### **6.4.2 Infrastrukturtypen**

Nachfolgend werden die bilanzierten Infrastrukturtypen Straßen, Bahnstrecken, Stadtbahnstrecken sowie die infrastrukturellen Einrichtungen wie Kunstbauten, Pkw-Stellplätze und Haltestellen mit Darstellung der verwendeten Datenbasis beschrieben.

#### **6.4.2.1 Straßen**

Vom Landesamt für Straßenwesen des Landes Baden-Württemberg konnten für den Außerorts-Bereich Daten über den Straßenoberbau aus der Straßendatenbank genutzt werden. Diese sind durch Eigenerhebung für innerstädtische Straßen ergänzt worden, hauptsächlich in den Ballungsräumen Stuttgart und Freiburg, da diese Kommunen anstelle des Landes der Baulastträger der innerörtlichen Bundes- und Landesstrassen sind. Da einige Daten aus Aufwandsgründen nicht vor Ort erhoben werden konnten (z.B. Straßenaufbau), wurden die Straßen in Kategorien typisiert. Demnach sind der Typ Außerortsstraße und die beiden innerörtlichen Typen Hauptverkehrs- und Er-

schließungsstraße jeweils mit den Angaben zu Fahrstreifenanzahl, Fahrbahnaufbautyp und Tunnelführung erfasst. Der Ausbau einer Hauptverkehrsstraße mit zwei Fahrstreifen pro Fahrtrichtung ist mit dem Querschnitt einer entsprechenden Außerortsstraße vergleichbar und in dieser Studie nicht zusätzlich ausgewiesen.

Die Festlegung des Straßenoberbaus erfolgt in Anlehnung an ein Standardwerk zur Straßenbautechnik<sup>20</sup>, die der Fahrstreifenanzahlen nach den Richtlinien für die Anlage von Straßen<sup>21</sup>. Die Bilanz der Tunnelstrecken erfolgt unter Verwendung der Angaben über Tunnelbauwerke und Brückenbauwerke (vgl. 6.4.1.2 Kunstbauten), mit denen der Rohbau ohne Straßenaufbau erfasst ist. Der Oberbau der tunnelgeführten Strecken ist dann mit den Daten über oberirdisch geführte Straßen - ohne Erdbau - bilanziert. Die Berücksichtigung der Streckenausrüstung sowie der Instandhaltungsaufwendungen erfolgte aus Angaben der Vorgängerstudie [STEKELER, 1996].

Die Verkehrsstärke als wichtige Größe bei der Zurechnung der Aufwendungen pro Fahrzeug wird ebenfalls vom Landesamt für Straßenwesen aus den Ergebnissen von Dauerzählstellen und manuellen Straßenverkehrszählungen bereitgestellt. Für den Stadtbereich Stuttgart werden DTV-Werte aus den Zählungen der Landeshauptstadt Stuttgart verwertet.

In der nachstehenden Tabelle 6-5 sind die in dieser Bilanz erfassten Teilaggregate der Straßen aufgelistet.

---

<sup>20</sup> WENDEHORST (1994)

<sup>21</sup> FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR DAS STRASSENWESEN (1996)

Erdbau	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieaufwand zur Herstellung des Erdplanums</li> </ul>
Oberbau	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialaufwendung aus Unterbau, Tragschicht, Deckschicht</li> <li>• Energieträgereinsatz für Einbau der Oberbauschichten</li> </ul>
Streckenausrüstung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialaufwendungen für Leitplankenpfosten, Lichtmasten, Entwässerung, Verkehrszeichen, Lärmschutz</li> <li>• Energieträgereinsatz für Aufstellung der Streckenausrüstung wird gering eingeschätzt und aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt</li> </ul>
Betrieb u. Instandhaltung der Straßeninfrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialeinsatz für bauliche Unterhaltungsarbeiten</li> <li>• Energieträgereinsatz für Lichtsignalanlagen, Straßenbeleuchtung, Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge für den Straßenunterhalt</li> </ul>

Tabelle 6-5: Bilanzierte Teilaggregate der Straßen

#### 6.4.2.2 Bahnstrecken

Im Zuge der neuen Bahnanbindung von peripheren Wohnquartieren sind bereits stillgelegte und zu einem Teil eingleisig geführte Bahnstrecken reaktiviert worden. Dies betrifft die Relationen Rudersberg-Schorndorf, Gottenheim-Freiburg und Fridingen-Tuttlingen. Da außer der neu aufgenommenen Verbindung im wesentlichen kein überregionaler Personenverkehr oder Güterverkehr stattfindet, ist die Streckenbelastung auf diesen Linien sehr niedrig. Auf den zweigleisig geführten Strecken wird auch Güterverkehr abgewickelt, so dass auf diesen Streckenabschnitten aufgrund der höheren Streckenbelastung die einem Zug anzurechnenden Aufwendungen generell bedeutend geringer sind.

Für den Oberbau der Bahnstrecken sind Holz-, Eisen- und Betonschwellen bilanziert worden. Die Streckenabschnitte sind nicht in einheitlicher Oberbauart erstellt worden, sondern zeigen auch auf relativ kurzen Streckenabschnitten den Einsatz aller drei Schwellenarten. Da von der Bahn über den jeweiligen Einsatz des Oberbautyps keine Daten verfügbar sind, erfolgt die Bilanzierung nach Angaben über den durchschnittlichen Einsatz der Oberbauarten für Nebenfernstrecken<sup>18</sup>, womit dann ein sogenannter Oberbaumix bilanziert wird. Eine Ausnahme stellt die Wieslaufalbahn dar, wo ausschließlich Eisenschwellen verbaut worden sind. Die Relationen des Fernverkehrs

Stuttgart-Mannheim, Mannheim-Basel sowie für Freiburg-Lindau Basel entsprechen Hauptstrecken, die für eine hohe Streckenbelastung ausgelegt und überwiegend in neuerer Bauweise erstellt sind. Hierfür ist entsprechend der Oberbautyp mit Betonschwellen bilanziert<sup>18</sup>. Die Ermittlung des zugehörigen Materialeinsatzes für die Bahnquerschnitte erfolgt in Anlehnung an ein Grundlagenwerk der Bahntechnik<sup>22</sup>.

Für die Gleisverlegung ist der Dieselkraftstoffverbrauch eines Schnellumbauzug bilanziert<sup>18</sup>. Der Materialeinsatz für Streckenausrüstungen liegt für zweigleisige Neubaustrecken mit Berücksichtigung von Fahrleitungen sowie Signal- und Kommunikationsanlagen vor<sup>23</sup>. Für nicht elektrifizierte Strecken ist entsprechend der Materialeinsatz für die Fahrleitungen herausgenommen.

Die in der Bilanz berücksichtigten Teilaggregate der Schienenwege sind in Tabelle 6-6 zusammengestellt.

Erdbau	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieaufwand zur Herstellung des Erdplanums</li> </ul>
Oberbau	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialaufwendung aus Schwellen, Schienen, Kleineisen Mineraltragschicht, Schotter</li> <li>• Energieaufwendung für die Gleisverlegung</li> </ul>
Streckenausrüstung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialaufwendung aus Signal- u. Kommunikationsanlagen</li> <li>• Materialaufwendung aus Fahrleitungen für elektrifizierte Strecken</li> <li>• Energieträgereinsatz für Aufstellung der Streckenausrüstung wird gering eingeschätzt und aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt</li> </ul>
Betrieb u. Instandhaltung der Schieneninfrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieverbrauch für Weichenheizung</li> <li>• Energieverbrauch für Gleisdurcharbeitung des Holzschwellentyps</li> </ul>

Tabelle 6-6: Bilanzierte Teilaggregate der Schienenwege

Der für die Benutzung der einem Fahrzeug anzulastenden Schieneninfrastruktur wichtige Faktor der Streckenbelastung ist für den Personenverkehr aus Fahrplänen ermittelt

<sup>22</sup> FIEDLER (1991)

<sup>23</sup> STEIERWALD (1994)

worden. Die Berücksichtigung der Streckenbelastung durch Güterverkehr erfolgt für die relevanten Strecken nach Auskunft der Deutschen Bahn AG.

### **6.4.2.3 Stadtbahnstrecken**

Von der Stuttgarter Straßenbahnen AG sind umfangreiche Materialien zur Verfügung gestellt worden, die mit Ausnahme der Streckenausrüstung und des Energieverbrauchs für den Haltestellenbetrieb eine nahezu vollständige Bilanzierung ermöglichen.

Im Streckennetz der Stadtbahn Stuttgart wird der Oberbautyp mit Holzschwellen als Standardoberbau sowohl auf offenen Strecken als auch auf Tunnelstrecken verwendet. Rillenschienen werden in straßengeführten Bereichen, insbesondere in Knotenpunktsbereichen, eingesetzt. Da die Entsorgung der Holzschwellen als Sondermüll sehr kostenintensiv ist und der Oberbautyp Rasenbahnkörper eine hohe Bürgerakzeptanz zeigt, wird auf neu geplanten Strecken der derzeitige Standardtyp vom Rasenbahnkörper abgelöst werden. Mittels der zur Verfügung gestellten Regelquerschnitte und Linienverlaufplänen sind die auf den relevanten Strecken eingesetzten Oberbauarten detailliert erfasst und bilanziert.

Aus Tabelle 6-7 wird deutlich, dass die aus dem Oberbau mit Holzschwellen resultierenden Aufwendungen aufgrund ihrer Entsorgung vergleichsweise hoch sind. Mit dem aus Beton mit Längsbalken auf Tragplatte konstruierten Rasenbahnkörper sind die geringsten Emissionen und Energieaufwände verbunden.

Das Streckennetz der Freiburger Stadtbahn wird ausschließlich oberirdisch auf Rasenbahnkörper geführt. Die Bilanzierung erfolgt durch lineare Umrechnung der in Stuttgart für Normalspur ermittelten Werte auf die in Freiburg eingesetzte Meterspur.

Die in der Bilanz berücksichtigten Teilaggregate der Schienenwege sind in Tabelle 6-7 zusammengestellt.

### **6.4.2.4 Kunstbauten**

Mit der Bilanzierung je eines konkreten Straßen- und Stadtbahntunnels werden Basisdaten zur Verfügung gestellt, die in der Studie für eine Abschätzung der mit Tunnelbauwerken verbundenen Aufwendungen benutzt werden. Die Bilanzierung der Tunnelbauwerke basiert auf Unterlagen des Tiefbauamtes der Stadt Stuttgart.



Exemplarisch für Straßentunnel wurde der 1998 fertiggestellte Österfeldtunnel in Stuttgart-Vaihingen bilanziert. Dieser 430 m lange in bergmännischer Bauweise aufgefahrte und in Spritzbetonbauweise ausgeführte Tunnel ist bei  $98\text{m}^2$  Ausbruchquerschnitt für zwei Fahrstreifen mit einer Bemessungsverkehrsstärke von 25.000 Fahrzeugen pro Tag dimensioniert. Die Baukosten des Rohbaus belaufen sich auf 22 Millionen DM. In der Planung sind für den jährlichen Energieaufwand für Beleuchtung und Belüftung 50.000 DM veranschlagt, wobei aufgrund der Auslegung als Längsbelüftung keine Abgasbehandlung vorgesehen ist. Auf der Grundlage dieser Daten wurden die Aufwendungen je 1m Straßentunnel berechnet. Da die mit einem Tunnel verbundenen Aufwendungen auch von der Länge des Bauwerks abhängen, handelt es sich hier um exemplarische Angaben, die in Extremfällen mit sehr langen oder kurzen Tunnelbauwerken zu Abweichungen führen können.

Als Beispiel für einen Bahntunnel wurde der Stadtbahntunnel Neue Weinsteige in Stuttgart bilanziert. Der 712 m lange und ebenfalls in bergmännischer Bauweise aufgefahrte und in Spritzbeton ausgeführte Tunnel hat mit  $67\text{m}^2$  einen kleineren Ausbruchquerschnitt als der Österfeldtunnel. Er wurde mit einem Masse-Feder-System aus Betonteilen über elastischen Lagern ausgeführt, um weitestgehend eine Übertragung von Schwingungen in den Baugrund zu verhindern. Die Rohbaukosten belaufen sich auf ca. 26 Millionen DM. Die verbauten Materialien wurden anhand eines typischen Regelquerschnitts ermittelt. Eine Übertragung der pro Tunnelmeter ermittelten Aufwendungen für diesen Tunnel auf andere Tunnel erfolgt durch eine lineare Umrechnung, die sich am Tunnelquerschnitt orientiert.

Die Bilanzierung von Brückenbauwerken erfolgt für die Materialaufwendungen<sup>18</sup>. Brückenbauwerke für Bahnstrecken werden in die Bauarten Stahlbrücken, Verbundbrücken und Massivbrücken eingeteilt. Entsprechend der Zusammensetzung des Brückenbestands der Deutschen Bahn mit 25 % Stahl-, 29 % Verbund- und 46 % Massivbrücken sind die Aufwendungen für einen durchschnittlichen Brückentyp ermittelt und bilanziert, da bei der Datenerhebung die Brückenbauweise nicht aufgenommen werden konnte. Die Kosten liegen nach Angaben des Tiefbauamts Stuttgart für Straßenbrücken bei durchschnittlich 40.000 DM pro Brückenmeter und für Bahnstrecken bei ca. 24.000 DM pro Brückenmeter. Dies ist unter Berücksichtigung der bereits erfassten Materialien in der Bilanz für vorgelagerte Aufwendungen als Grundlage herangezogen worden.

Im Rahmen der Bilanzierung von Kunstbauten ist zu berücksichtigen, dass es in einzelnen Fällen zu Abweichungen von der Annahme dieser durchschnittlichen Aufwendung kommen kann. Eine Abschätzung dieser infrastrukturellen Aufwendung vervoll-

ständig jedoch insbesondere für die Fernrelationen (14-16) den Bilanzrahmen, so dass die Abweichungen im Vergleich zu einer Vernachlässigung als gering einzustufen sind.

#### **6.4.2.5 Pkw-Stellplätze**

Die durchschnittlichen Kosten eines Parkhauses sind auf Basis sieben verschiedener Parkhäuser, zu denen Angaben im Internet veröffentlicht sind, auf 20.000 DM pro Stellplatz festgelegt. Unter Auslegung einer 50-jährigen Nutzungszeit sowie eines 20-stündigen Parkhausbetriebes betragen die einem stündlichen Abstellvorgang zuzurechnenden Kosten 0,058 DM.

Der in Anlehnung an den Oberbau einer Erschließungsstraße bilanzierte offene Stellplatz hat eine fünfzigjährige Nutzungsdauer und umfasst eine Stellplatzfläche von  $2,5 * 5 \text{ m}^2$ . Wiederum sind die Aufwendungen auf eine Stunde linear herunter gerechnet (im Zeit- und Kostenrahmen der vorliegenden Studie).

Die Anrechnung der Nutzung einer infrastrukturellen Einrichtung über Kosten wird mit dem Ansatz der Hybrid-Bilanz ermittelt, d.h. auf Basis der in den Input-Output-Tabellen verfügbaren Aufwendungen pro monetärer Einheit [DM] aus dem Wirtschaftssektor 'Hoch- und Tiefbaumassnahmen'.

#### **6.4.2.6 Haltestellen**

Die Aufwendungen pro Fahrgast sind exemplarisch für die Haltestellentypen Bahnhofstestelle sowie unter- und oberirdische Stadtbahnhaltestellen bilanziert und den Relationen entsprechend für die Ein-, Aus- und gegebenenfalls Umsteigevorgänge zugeteilt.

Für das Streckennetz der Deutschen Bahn sind aus Datenschutzgründen keine Angaben über Haltestellen verfügbar. Exemplarisch für Bahnhofstestellen ist die Haltestelle in Rudersberg bilanziert, der - mit Ausnahme der Hauptbahnhöfe - in der Dimensionierung und technischen Ausstattung mit den relationsrelevanten Haltestellen vergleichbar ist. Da die Bilanzierung der Hauptbahnhöfe zu komplex gewesen wäre, werden vereinfachend die Werte von Rudersberg auch hierfür angenommen.

Je Nutzung zum Ein-, Aus- oder Umsteigen sind für die Infrastrukturbereitstellung 0,0179 DM zu berücksichtigen.

Für die Strecken des Stuttgarter Stadtbahnnetzes sind Daten für Bau und bauliche Instandhaltung von oberirdischen Haltestellen und Tunnelhaltestellen vorhanden, die auch auf das Freiburger Stadtbahnsystem übertragbar sind. Die einem Fahrgast anzulastenden Kosten betragen je einmaliger Benutzung durchschnittlich 0,0124 DM für oberirdische als Hochbahnsteig ausgeführte Haltestellen und für Tunnelhaltestellen 0,0135 DM. Die geringe Differenz zwischen den material- und energieintensiven Tunnelbauten und den oberirdischen Haltepunkten bei der Betrachtung der Aufwendungen pro Fahrgast resultiert aus dem bedeutend höheren Fahrgastaufkommen an Tunnelhaltestellen.

Die Ermittlung der Energieaufwendungen und Emissionen für Haltestellen auf monetärere Basis erfolgt analog zu der für die Berücksichtigung einer Pkw-Stellfläche über die Hybrid-Bilanz.

#### **6.4.3 Zusammenstellung der Aufwendungen für die Infrastrukturbereitstellung**

In Tabelle 6-7 und Tabelle 6-8 sind die bilanzierten Schienen- und Straßenstrecken mit den damit verbundenen täglichen Aufwendungen für einen Meter Weglänge aufgelistet. Die Sachbilanzgrößen für die Bereitstellung eines Stellplatzes beziehen sich jeweils auf die stündliche Nutzung. Die Sachbilanzgrößen für die Bereitstellung einer Haltestelle repräsentieren die mit der Bewertung der Haltestelleninfrastruktur verbundenen Aufwendungen durch einen Fahrgast.

Infrastrukturbereitstellung				Sachbilanzgrößen							
				1 m Wegbereitstellung pro Tag							
System	Oberbautyp	Führung	Anzahl Gleise	KEA	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	VOC	Benzol	Partikel
				[MJ]	[g]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]
Bahn	Nebenstrecken (Holz-, Eisen-, Beton- Schwellen-Mix)	offen	1	0,98	44	202	600	211	373	0,13	201
			2	1,85	82	357	1178	406	688	0,25	392
		Tunnel	1	5,35	447	1167	3054	1284	1822	0,82	895
			2	8,41	687	1807	4862	2018	2864	1,29	1434
	Hauptstrecken Betonschwellen	offen	2	1,96	111	382	1245	437	714	0,25	423
		Tunnel	2	8,52	717	1832	4930	2048	2890	1,29	1465
Brücke		2	9,17	636	1480	1480	2328	3047	1,23	2117	
Stadtbahn	Holzschwelle	offen	2	2,38	124	413	1098	432	809	0,36	366
		Tunnel	2	7,43	599	1552	3889	1667	2476	1,15	1163
	Rillenschiene	offen	2	2,25	134	421	1308	484	791	0,32	460
	Rasenbahnkörper	offen	2	1,99	128	417	1265	454	734	0,26	433
	Rasenb.1m-Spur	offen	2	1,74	112	363	1102	396	639	0,22	377
Haltestellentyp		Haltestellenbenutzung pro Fahrgast									
Bahn-Haltestelle		-	0,16	18	37	54	40	52	0,23	18	
Stadtbahn-Haltestelle	Hochbahnsteig, oberirdisch	0,07	7	18	35	17	24	0,01	7		
	Tunnel	0,07	8	19	38	18	26	0,01	8		

Tabelle 6-7: Ermittelte Sachbilanzgrößen zur Infrastrukturbereitstellung (Bahn)

Die Nebenstrecken der Bahn mit dem Schwellen-Mix zeigen teilweise aufgrund der verwendeten Materialien einschließlich Eisenschwellen etwas niedrigere Energieaufwendungen und Emissionen als Strecken des Fernverkehrs mit Betonschwellen.

Die Stadtbahnstrecken mit Holzschwellen zeigen eine schlechtere Bilanz als die mit Längsbalken auf Tragplatten konstruierten Rasenbahnkörper, da insbesondere der Prozess der Entsorgung der teerölgetränkten Holzschwellen einen erheblichen Anteil an den Emissionen trägt. Parallel zu dieser Bilanz auf Basis von klima- und umweltrelevanter Emissionen läuft auch die Kostenbilanz für die Betreiber, die aufgrund der Entsorgungskosten einen Einsatz diesen Typs mit Holzschwellen auf neu zu planenden Stuttgarter Stadtbahnstrecken zukünftig nicht mehr verwenden.

Der Vergleich von Stadtbahnstrecken und Bahnstrecken zeigt für Stadtbahnstrecken des Typs Rasenbahnkörper geringfügig höhere Aufwendungen als die für Bahnstrecken mit Betonschwellen. Dies liegt an einem etwas höheren Einsatz von Beton, der im Rasenbahnkörper neben Längsbalken auch Tragplatten aus Beton beinhaltet, die aus Gründen des Schallschutzes verbaut werden.

Infrastrukturbereitstellung				Sachbilanzgrößen								
				1 m Wegbereitstellung pro Tag								
System	Straßen-kategorie	Führung	Anzahl Fahrstreifen	KEA	CO2	NOx	CO	CH4	VOC	Benzol	Partikel	
				[MJ]	[g]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	
Straße	Erschliessungsstraßen	offen	2	0,96	41	92	254	142	5889	0,14	139	
	Hauptverkehrsstraßen	offen	2	1,10	49	110	315	168	7221	0,16	179	
		Tunnel	2	37,63	1588	2791	6987	5667	13589	2,16	2651	
	Ausserortsstraßen	offen	2	1,26	57	126	409	201	9606	0,19	229	
			4	2,10	89	208	437	287	10023	0,32	324	
		Tunnel	2	37,79	1597	2807	7080	5700	15975	2,18	2701	
			4	71,51	3014	5302	13113	10736	22123	4,12	5021	
		Brücke	2	11,05	963	2152	6638	2680	12767	1,53	2171	
			4	20,71	1810	4057	12274	4997	16028	2,87	4015	
	Autobahn	offen	4	3,52	162	358	1174	565	27426	0,55	670	
			6	3,85	178	401	1190	598	27499	0,62	729	
		Tunnel	4	105,81	4472	7865	19854	15963	45258	6,15	7591	
			6	128,06	5412	9517	23873	19296	49153	7,42	9135	
		Brücke	4	30,95	2698	6030	18617	7506	36276	4,30	6108	
			6	37,15	3258	7290	22371	9028	38246	5,18	7334	
	Autobahn (Betondecke)	offen	4	5,03	503	1250	1649	960	27906	0,67	896	
			6	5,65	587	1474	1761	1074	28075	0,76	1001	
		Tunnel	4	107,31	4813	8757	20329	16359	45739	6,27	7817	
			6	129,86	5821	10590	24444	19772	49729	7,56	9406	
		Brücke	4	32,45	3039	6923	19092	7902	36756	4,42	6334	
			6	38,95	3668	8363	22942	9503	38822	5,32	7606	
	<b>Pkw-Stellplatztyp</b>		<b>Pkw-Stellplatz Nutzung pro Stunde</b>									
	Stellplatz, asphaltiert, oberirdisch				0,05	5	13	26	12	18	0,01	5
	Parkhaus				0,31	34	83	164	79	114	0,06	33

Tabelle 6-8. Ermittelte Sachbilanzgrößen zur Infrastrukturbereitstellung (Straße)

Entsprechend der Straßenkategorie und des damit verbundenen Regelquerschnitts verlaufen auch die ermittelten Emissionen und Aufwendungen für die Straßen. Die Aufwendungen für Autobahnen mit Betondecke, wie sie auf der A5 zum Einsatz kommt, zeigen in der Bilanz höhere Emissionen und Energieaufwendungen. Im Ver-

gleich zu Brücken und vor allem tunnelgeführten Streckenbereichen sind diese Unterschiede in der Deckenbauweise aber sehr gering.

Insgesamt zeigen die ermittelten Aufwendungen für die oberirdisch geführten Verkehrswege für straßen- und schienengeführte Strecken bezüglich der Sachbilanzgrößen einen vergleichbaren Wertebereich, wobei die ermittelten Emissionen und Energieaufwände für Straßen generell niedrigere Werte aufzeigen. Eine Ausnahme stellen die mit der Straßenbereitstellung verbunden hohen VOC-Emissionen dar, die aus der straßentypischen Verwendung von Alkydharzlack für die Fahrbahnmarkierung resultieren. Bei den Tunneln treten jedoch bei den Straßen höhere Aufwendungen auf, da hier der energieintensive Betrieb mit Beleuchtung und Belüftung zu hohen Emissionen führt.

Ein wichtiger Punkt ist die Berücksichtigung der Haltestellenbenutzung durch Fahrgäste des öffentlichen Verkehr und der Abstellvorgang von Pkw. Insbesondere bei relativ kurzen Relationen trägt die Zurechnung eines Stellplatzes wesentlich zu den aus der Infrastrukturbereitstellung resultierenden Aufwendungen bei. Der Einbezug der Haltestellen bei der Bilanzierung der Infrastruktur zeigt ein ähnliches Bild. Die Einrichtungen für die notwendigen Ein-, Aus- und Umsteigevorgänge der Fahrgäste sind im Vergleich zu den Schienenstrecken mit bedeutenden Emissionen und Energieverbräuchen verbunden.

Bei dem in dieser Studie verfolgten Ansatz zur Betrachtung der Aufwendungen pro Person sind in einem weiteren Schritt die Streckenbelastung und damit die einem Fahrzeug bzw. einem Zug anzurechnenden Aufwendungen berücksichtigt. Diese ermittelten Aufwendungen aus der Infrastrukturbereitstellung resultierend sind in der Abbildung der konkreten Relationen in den Endtabellen ausgewiesen.

## **6.5 Zusammenfassung der Berechnung der indirekten Energieaufwendungen und Emissionen**

In diesem Kapitel der Studie werden die mit einer Ortsveränderung einer Person verbundenen Aufwendungen hinsichtlich Infrastruktur- und Fahrzeugnutzung sowie Kraftstoff- und Energiebereitstellung für konkrete Fahrten bilanziert. Für die Ermittlung dieses sogenannten kumulierten Energieaufwandes und der kumulierten Emissionen ist die Methode der Prozeßkettenanalyse und das um die Bilanzierung von Energie- und Stoffströmen erweiterte Verfahren der Input-Output-Tabellen verwendet worden. Als Bilanzgrundlage für die Basismaterialien sind die ÖKOINVENTARE FÜR ENERGIE-

SYSTEME<sup>12</sup> benutzt worden. Neben der Berücksichtigung des ÖKOINVENTAR TRANSPORTS<sup>17</sup> für die bilanzrelevante Materialzusammensetzung einiger Fahrzeugtypen sind umfangreiche eigene Datenerhebungen vorgenommen worden, die zum Teil eine neue und eigenständige Bilanzgrundlage darstellen. Beispielsweise konnte in dieser Studie ein modernes Stadtbahnsystem vollständig bilanziert werden. Hierzu zählen die Stadtbahnfahrzeuge, die infrastrukturellen Einrichtungen wie Haltestellen sowie die oberirdisch und in Tunnel geführten Schienenwege.

Für die elektrifizierten Bahnsysteme ist der Strombezug bei der Ermittlung der antriebsbedingten Emissionen entscheidend, da mit der Bereitstellung von elektrischer Energie aufgrund des lokal differierenden Energieträgereinsatzes unterschiedlich hohe Emissionen verbunden sind. Für die antriebsbedingten Aufwendungen der Straßen- und dieselangetriebenen Schienenfahrzeuge ist der fahrzeugspezifische Kraftstoffverbrauch für die Ermittlung der indirekten Aufwendungen entscheidend.

Die Bereitstellung von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs zeigt aufgrund deren Nutzung mit hoher Lebenslaufleistung generell geringere Aufwendungen pro Fahrgast als der individuell genutzte Personenkraftwagen. Aber auch innerhalb der Bilanzierung der eingesetzten Schienenfahrzeuge führt die je nach Betreiber variierende effektive Nutzung des einzelnen Fahrzeuges bei der Betrachtung der aus der Fahrzeugbereitstellung resultierenden Aufwendungen pro Person zu differierenden Ergebnissen. Die hohe Beförderungskapazität der neuen, relativ leichten Fahrzeugkonzepte, die zum Teil durch Einbezug von Stehplätzen erreicht wird, zeigt sehr große Möglichkeiten für eine weitere Reduzierung der mit der Fahrzeugbereitstellung verbundenen Emissionen und Energieaufwände auf. Zu einem großen Teil wird die Auslastung der Beförderungskapazität jedoch nur zu Zeiten des Berufs- und Ausbildungsverkehrs erreicht. Insbesondere auf den Nebenstrecken ist das geringe Fahrgastaufkommen in Schwachzeiten nicht durch eine weitere Anpassung der Fahrzeugkonfiguration auszugleichen.

Die mit der Infrastrukturbereitstellung verbundenen Aufwendungen pro Fahrgast variieren auf den betrachteten Strecken bedeutend, da diese im wesentlichen von den lokalen Verhältnissen der Strecken- und Fahrgastauslastung bestimmt werden. Aufgrund der hohen Auslastung der Straßen sind die Emissionen und Energieaufwände für den Straßenverkehr hier allgemein niedriger als im schienengebundenen Verkehr, wobei das Verhältnis örtlich sehr differenziert ist. Neben der Bilanzierung der Schienenwege und der Straßen sind in dieser Studie mit der weiteren Berücksichtigung von Haltestellen und Pkw-Stellplätzen bedeutende emissionsrelevante Infrastruktureinrichtungen erfasst.



## 7 Ergebnisse

### Allgemeines

Das Kapitel 7 „Ergebnisse“ gliedert sich in folgende Unterkapitel:

- Kapitel 7.1 „Allgemeines“  
Neben einer Übersicht über dieses Ergebniskapitel werden insbesondere der Aufbau und die Darstellung der im Anhang aufgeführten Ergebnisdiagramme erläutert.
- Kapitel 7.2 „Beschreibung der Ergebnisse“  
Hier werden die berechneten Ergebnisse ausführlich beschrieben. Es wird in der Regel das erste der Diagramme der Relationen beschrieben, danach wird nur noch auf die relativen Änderungen zum ersten Diagramm eingegangen. Dies erfolgt für alle Relationen und Diagramme. Es werden die Ergebnisse und deren Besonderheiten im einzelnen erläutert.
- Kapitel 7.3 „Überprüfung des Einflusses der untersuchten Randbedingungen“  
Geordnet nach den eingangs genannten Randbedingungen („Einfluss der Fahrgastauslastung“, „Einfluss des Strommixes“, etc.) werden hier anhand von ausgewählten Relationen die Einflüsse dieser Parameter überprüft und anhand der gewonnenen Ergebnisse die Bandbreite dieser Einflüsse dargestellt.
- Kapitel 7.4 „Fazit“  
Aus den ermittelten Ergebnissen und deren Diskussion werden mehrere Hauptausagen der Studie formuliert, die sich so neu ergeben bzw. bestätigt haben.
- Kapitel 7.5 „Schlussbemerkung“  
Mit den „Schlussbemerkungen“ erfolgt eine knappe Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse der Studie.

#### 7.1.1 Aufbau und Darstellung der Ergebnisdiagramme

Für jeden bei einer Relation untersuchten Fahrtzweck findet sich im Anhang dieses Berichts eine Seite mit einer zusammenfassenden grafischen Darstellung der Ergebnisse. Es handelt sich jeweils um das Ergebnis der gesamten Fahrt, d.h. um die Summe aus Hin- und Rückfahrt. Abbildung 7-1 zeigt dies beispielhaft für die Relation 11.

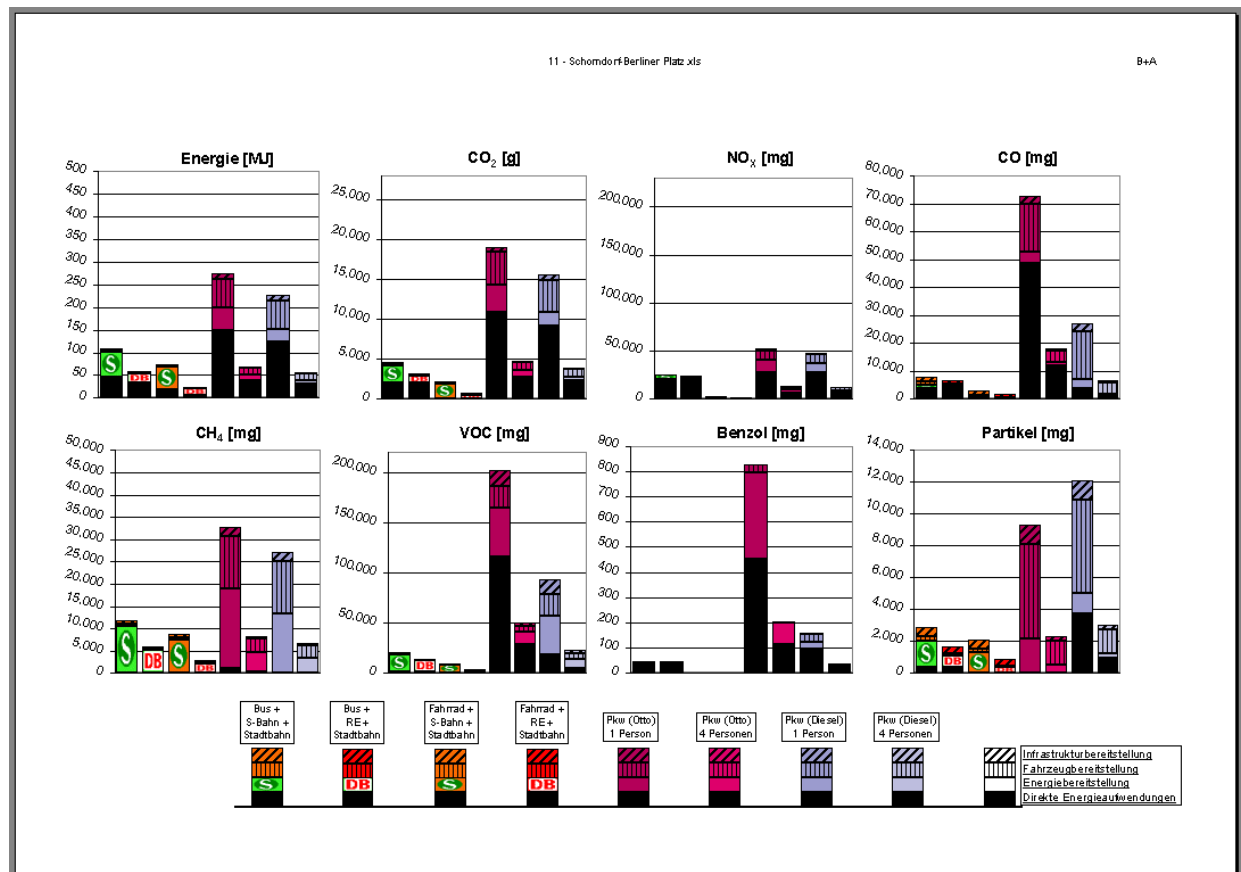


Abbildung 7-1: Beispiel für die Darstellung der Ergebnisse (nach Entstehungskomponenten differenziert)

Diese Ergebnisseiten sind dem Leser beim Studieren des Berichtes am Bildschirm leicht zugänglich, da sie über einen Klick auf die jeweilige Kapitelüberschrift im Text verlinkt sind, und so jederzeit einfach zum Text hinzu aufgerufen werden können. Durch einen Klick auf die Überschrift des Diagramms springt das Dokument zurück in den Text.

Über die Ergebnisseite ist über einen weiteren Klick auf das Wort Tabelle auch ein direkter Sprung zur tabellarischen Darstellung der differenzierten Teilergebnisse möglich. Um die Unterschiede zwischen Hin- und Rückfahrt darzustellen, werden bei Relation 01 exemplarisch auch die nach Hin- und Rückfahrt differenzierten Ergebnistabellen dargestellt. Da diese Relation mit die größten Höhenunterschiede zwischen Start und Ziel aufweist, ist sie für die differenzierte Betrachtung der Hin- und Rückfahrt von besonderem Interesse.

In der Kopfzeile jeder dieser Seiten (s. Abbildung 7-1) finden sich in der Mitte Nummer und Name der untersuchten Relation sowie evtl. Hinweise auf die hier dargestellte Parametervariation. Rechts steht der Hinweis auf den untersuchten Fahrtzweck.

Auf jeder Seite befinden sich acht Säulendiagramme, je eines für die acht untersuchten Wirkungskomponenten Energieaufwand, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, VOC, Benzol und Partikel.

Jede Säule in diesen Diagrammen steht für eine konkrete Fahrt mit einem Verkehrsmittel bzw. für eine konkrete Fahrtenkette. Für die Fahrten des Individualverkehrs wurden jeweils 4 Säulen mit den Ergebnissen für die mit einer bzw. vier Personen besetzten Fahrzeuge mit Otto- bzw. Dieselmotor dargestellt. In der Diskussion der Ergebnisse werden die Abkürzungen 1P für Pkw mit einer Person bzw. 4P für Pkw mit vier Personen verwendet.

Die einzelnen Säulen selber setzen sich aus vier Schichten zusammen. Sie verdeutlichen die Entstehung der Wirkungskomponenten. Hierbei steht die unterste Schicht (schwarz) für die direkt am Fahrzeug anfallenden Aufwendungen. Die zweite Schicht (farbig, z.T. mit Symbol) steht für die zusätzlich für die Energiebereitstellung zu berücksichtigenden Aufwendungen. Diese beiden Schichten zusammen ergeben also den für die Durchführung der Fahrt notwendigen Primärenergieeinsatz und die entsprechend anfallenden Emissionen. Die dritte Schicht (senkrecht schraffiert) steht für die Aufwendungen der Fahrzeugbereitstellung und die vierte (schräg schraffiert) für jene der Infrastrukturbereitstellung.

Bei Relationen, bei denen sich einzelne Fahrten aus Fahrtenketten von mehreren Transportmitteln zusammensetzen, wurde eine weitere Diagrammseite angelegt, auf der die Schichten der Säulen jeweils für die Summe der Entstehungskomponenten eines der beteiligten Verkehrsmittel stehen (siehe Abbildung 7-2).

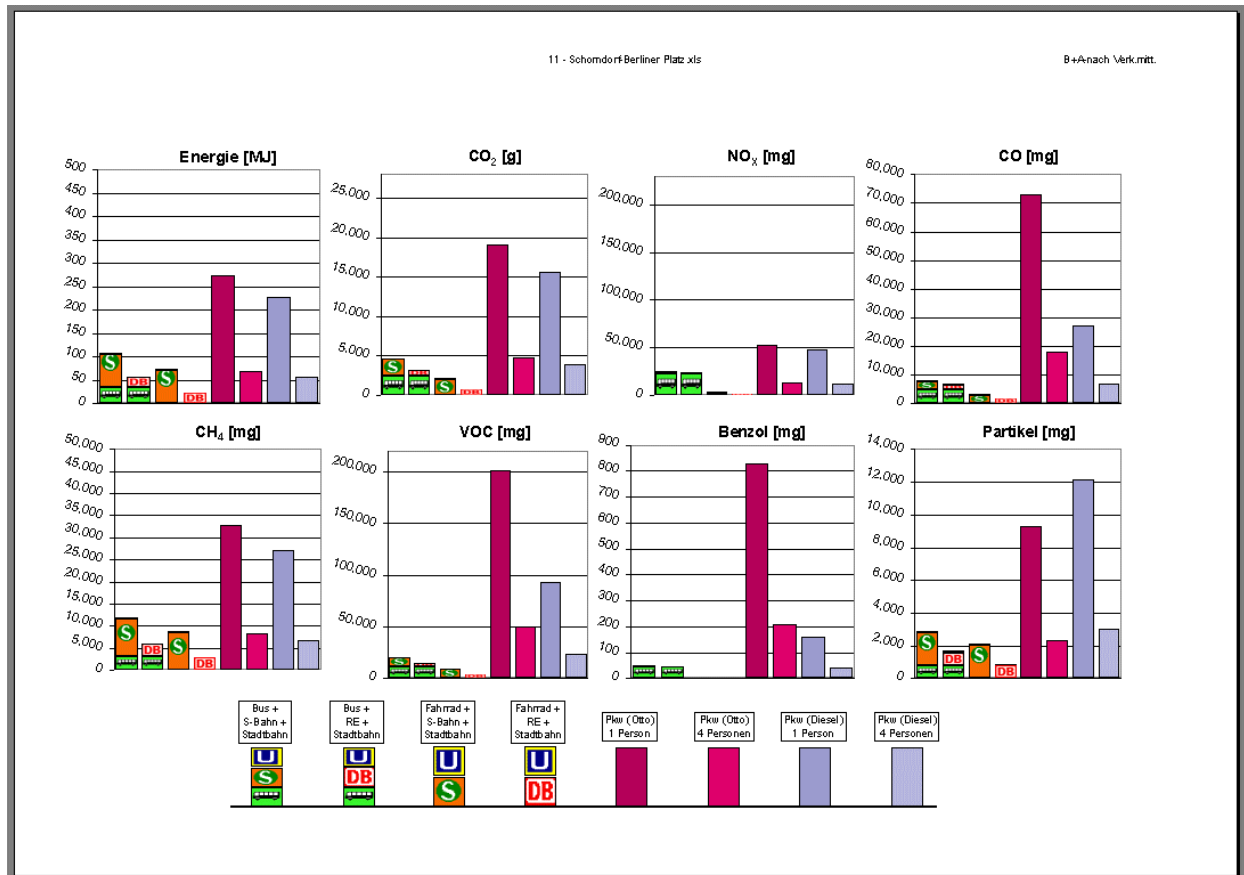


Abbildung 7-2: Beispiel für die Darstellung der Ergebnisse (nach Verkehrsmitteln differenziert)

Welche Verkehrsmittel bzw. Verkehrsmittelkombinationen im Einzelfall untersucht wurden, ist den jeweiligen Legenden zu entnehmen.

Die Ergebnisse sind in folgenden Einheiten angegeben:

- Energieaufwand: Megajoule [MJ]
- CO<sub>2</sub>-Ausstoß: Gramm [g]
- Übrige Emissionen: Milligramm [mg]

Die Hochachsen der Diagramme einer Wirkungskomponente sind innerhalb einer Relation auf denselben Maximalwert skaliert. Lediglich bei Relation 10 (Bärenthal - Tuttlingen) war dies nicht in allen Fällen möglich, da hier die Ergebnisse so starke Unterschiede aufweisen, dass eine sinnvolle Darstellung der zweit- und drittgrößten Ergebnisse nicht möglich gewesen wäre. Dies ist im Text noch einmal separat vermerkt.

## 7.2 Beschreibung der Ergebnisse

### 7.2.1 Verkehr im Ballungsraum - Stuttgart

#### 7.2.1.1 Möhringen – Berliner Platz (Relation 01)

##### B+A

Bei allen untersuchten Wirkungskomponenten erreicht die Stadtbahn deutlich günstigere Werte als die untersuchten Pkw, unabhängig von deren Besetzungsgrad. So wird bei der Stadtbahn nur 1/50 der Menge an CO<sub>2</sub> eines mit einer Person besetzten Pkws mit Ottomotor freigesetzt. Dieser Pkw erreicht auch bei fast allen Kategorien die höchsten Werte, gefolgt vom mit einer Person besetzten Diesel-Pkw. Danach folgen die jeweils mit 4 Personen besetzten Otto- und Diesel-Pkw.

Nur bei den Schadstoffen CO und Benzol ergibt sich ein anderes Ergebnis, hier ist der Diesel-Pkw mit einer Person sogar besser als der Otto-Pkw mit vier Personen.

Der mit vier Personen besetzte Diesel-Pkw erreicht die besten Werte der Pkw, diese betragen allerdings immer noch das Sechsfache (CO<sub>2</sub>) bzw. mehr als das Doppelte (Partikel) der Werte der Stadtbahn.

Lediglich bei den Partikeln haben die Diesel-Pkw höhere Werte als die jeweiligen Otto-Pkw, die allerdings nur 15-20 % unter den Diesel-Werten liegen. Dies ist angesichts der Tatsache, dass ein nicht direkt einspritzender Otto-Motor überhaupt keine Partikel direkt emittiert, ein überraschend geringer Abstand, der darauf zurückzuführen ist, dass v.a. die Fahrzeugbereitstellung sehr hohe Partikelemissionen mit sich bringt.

Bei der Stadtbahn ist zu bemerken, dass sie im Verhältnis zur aufgewendeten Energie deutlich weniger CO<sub>2</sub> emittiert. Dies ist auf den sehr hohen Anteil von Kernenergie (90%) bei der Bereitstellung des Stroms in Stuttgart zurückzuführen.

Es fällt auf, dass die Stadtbahn im Vergleich zu den übrigen Stoffen unverhältnismäßig hohe Partikelemissionen aufweist. Diese stammen zum größten Teil aus der Infrastrukturbereitstellung.

Allgemein ist gut zu erkennen, dass bei der Stadtbahn die Werte für die Infrastrukturbereitstellung die Werte der Fahrzeugbereitstellung übersteigen. Dies ist nachzuvollzie-

hen, da ÖV-Fahrzeuge sehr stark genutzt werden, der eigene Fahrweg im Gegensatz dazu aber eine verhältnismäßig geringere Auslastung aufweist.

Bei den Pkw verhält es sich umgekehrt. Der Fahrweg, die Straße, ist sehr stark ausgelastet, während ein typischer Pkw den größten Teil des Tages nicht genutzt wird. Entsprechend zeigt sich bei den Ergebnissen, dass die Fahrzeugbereitstellung die Infrastrukturbereitstellung überwiegt.

## E

Aufgrund der schlechteren Auslastung weist die Stadtbahn nun höhere Werte auf, die allerdings bei den meisten Kategorien immer noch deutlich besser sind als die der Pkw. Für diese ergeben sich nun aufgrund der besseren Verkehrsverhältnisse leicht günstigere Werte als zuvor.

Lediglich beim Energieverbrauch ist der Diesel-Pkw (4P) nun etwas günstiger als die Stadtbahn, doch setzt er immer noch mehr als das Dreifache an CO<sub>2</sub> frei als die Stadtbahn. Auch der Otto-Pkw (4P) hat insgesamt nur wenig höhere Energieaufwendungen als die Stadtbahn. Bei den Partikeln liegen beide Pkw (4P) nur knapp schlechter als die Stadtbahn.

Die anderen Reihungen bleiben gleich.

## E

Die Auslastung der Stadtbahn ist noch einmal geringer als zuvor. Dadurch hat sie nun auch insgesamt höhere Energieaufwendungen als der Otto-Pkw (4P).

Bei den Otto-Pkw zeigen sich nun um 40% geringere CO-Emissionen als beim Fahrtzweck B+A. Dies liegt an der kürzer angesetzten Standzeit des Fahrzeuges. Beim Fahrtzweck B+A wurde davon ausgegangen, dass das Fahrzeug mindestens 8 Std. zuvor gestanden hat und somit der Motor sehr stark abgekühlt ist. Beim Fahrtzweck F wird angenommen, dass das Fahrzeug vor Antritt der Hinfahrt bereits an diesem Tag gefahren worden ist. Die Rückfahrt erfolgt ebenfalls bereits nach drei Stunden. Somit kühlt der Motor weniger stark ab, der Kaltstarteffekt ist weniger stark ausgeprägt und die CO-Emissionen sinken.

Auch die Partikelemissionen der Stadtbahn haben zugenommen, so dass nun der Otto-Pkw (4P) besser ist und der Diesel-Pkw (4P) gleichauf mit der Stadtbahn.

Ansonsten ändert sich an den Reihungen nichts, lediglich der Otto-Pkw (4P) ist aus dem genannten Grund nun leicht besser als der Diesel-Pkw (1P).

### **B+A, E, F (inkl. Gegenrichtung)**

Die Berücksichtigung der Gegenfahrten führt zu keinen relevanten Unterschieden. Die Fahrten der Gegenrichtung sind also gar nicht so viel schlechter ausgelastet, als die eigentlich untersuchten. Im Gegenteil, zu den morgendlichen Schwachlastzeiten sind die Ergebnisse mit Einbeziehung der Gegenrichtung für die Stadtbahn sogar besser als diejenigen ohne.

### **B+A (Strommix-Deutschland)**

Die Parametervariation, die für die Bereitstellung der elektrischen Energie den durchschnittlichen Deutschland-Mix annimmt (28% Kernenergieanteil), führt zu einem etwas geringeren Energieverbrauch der Stadtbahn. Dies ist auf den schlechteren Wirkungsgrad der Atomkraftwerke zurückzuführen. Bei allen Emissionen sind nun allerdings für die Stadtbahn höhere Werte zu verzeichnen, die jedoch bei keiner der untersuchten Komponenten eine Größenordnung erreichen, die zu einer anderen Reihung der Verkehrsmittel führen würde. Der Otto-Pkw (1P) emittiert immer noch mehr als die 13fache Menge an CO<sub>2</sub> als die Stadtbahn, und auch der Wert des besten Pkw, des Diesel-Pkw (4P), ist noch mehr als doppelt so hoch.

### **E (Strommix-Deutschland)**

Durch den zuvor schon beobachteten schlechteren Auslastungsgrad der Stadtbahn im Einkaufsverkehr wird sie nun sowohl im Energieverbrauch, als auch bei CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> und Partikeln schlechter als der Diesel-Pkw (4P).

Bei CH<sub>4</sub> ist sie mit dem Otto-Pkw (4P) gleichauf, bei Partikeln sogar deutlich schlechter als dieser.

Allerdings ist der Abstand zu den mit einer Person besetzten Pkw immer noch sehr groß. Bis auf die Partikel sind deren Werte immer noch rund viermal so hoch wie die der Stadtbahn.

### **F (Strommix-Deutschland)**

Es ergibt sich nahezu dasselbe Ergebnis wie im Einkaufsverkehr.

### **B+A, E, F (Strommix-Deutschland) (inkl. Gegenrichtung)**

Der Einbezug der Rückrichtung bringt auch bei dieser Parametervariation keine signifikanten Effekte.

### **B+A (Strommix-NRW)**

Die Emissionen der Stadtbahn werden bei Verwendung eines Strommixes ganz ohne Kernenergie noch einmal höher. Lediglich der Energiebedarf geht wie schon zuvor geringfügig zurück.

Die Stadtbahn hat im Vergleich mit den anderen Verkehrsmitteln zwar immer noch die günstigsten Werte, im Vergleich zum tatsächlichen Energiemix sind die Werte nun aber deutlich höher, bei der Freisetzung von CO<sub>2</sub> z.B. um das Vier- bis Fünffache.

In der Reihung der Verkehrsmittel ändert sich mit Ausnahme der Partikel, bei denen die Stadtbahn nun gleichauf mit dem Otto-Pkw (4P) liegt, nichts.

### **E, F (Strommix-NRW)**

Durch die höheren Emissionen aus dem veränderten Strommix und die geringere Auslastung ist die Stadtbahn nun beim Energieverbrauch schlechter als der Diesel-Pkw (4P), bei CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und besonders deutlich bei den Partikeln ist sie sogar schlechter als beide mit vier Personen besetzten Pkw.

Der Abstand zu den mit einer Personen besetzten Pkw ist allerdings immer noch deutlich.

### **B+A, E, F (Strommix-NRW) (inkl. Gegenrichtung)**

Wiederum bringt die Berücksichtigung der Gegenrichtung keine signifikanten Änderungen.

### **B+A – EURO4**

Als Ausblick auf die zukünftige Entwicklung der Antriebstechnik der Pkw wurde als weitere Parametervariation diese Relation auch mit Fahrzeugen berechnet, die die Schadstoffgrenzwerte nach EURO4 einhalten.

Dadurch kommen die Pkw bei Energieaufwendungen und CO<sub>2</sub> auf Werte, die bei den Otto-Pkw um 30%, bei den Diesel-Pkw um 20% geringer sind als bei den EURO2-Fahrzeugen.



Die NO<sub>x</sub>-Emissionen reduzieren sich um 40-45%.

Einer der größten Unterschiede ist bei CO zu beobachten. Durch den fast völligen Wegfall des Kaltstarteffekts fügen sich die CO-Werte nun in das bei den Energieaufwendungen und den meisten anderen Emissionen ansonsten übliche Verhältnis zwischen Otto- und Diesel-Pkw.

Die CH<sub>4</sub>-Emissionen reduzieren sich um 30% (Otto-Pkw) bzw. 15% (Diesel-Pkw).

Enorme Rückgänge sind auch bei VOC und Benzol zu erkennen, diese Werte sinken durch geringere Verdampfungsverluste und geringere Tankatmung um über 50%.

Bei den Partikeln betragen die Rückgänge bei Otto-Pkw 15% und bei Diesel-Pkw 25%.

Im Vergleich aller untersuchter Verkehrsmittel ergeben sich aufgrund des klar besseren Ergebnisses der Stadtbahn auch durch die moderneren Fahrzeugen keine Veränderungen in der Reihung der Verkehrsmittel.

#### E – EURO4

Im schwächer ausgelasteten Einkaufsverkehr kann der Diesel-Pkw (4P) bei den Energieaufwendungen ein günstigeres Ergebnis als die Stadtbahn verbuchen.

Bei den übrigen Emissionen, die bei der Stadtbahn aufgrund des hohen Atomstromanteils in Stuttgart sowieso sehr gering sind, ergeben sich keine Veränderung in der Reihung.

Lediglich bei den Partikeln können die Pkw (4P) nun mit der Stadtbahn gleich ziehen, wobei die Unterschiede bei dieser, überwiegend von den nicht antriebsbedingten Effekten bestimmten Wirkungskomponente, schon zuvor nicht besonders ausgeprägt waren.

#### F – EURO4

Die Pkw (4P) kommen nun bei den Energieaufwendungen auf ein knapp besseres Ergebnis als die Stadtbahn. Auch bei CO ziehen sie nun gleich und das Ergebnis bei den Partikeln ist jetzt etwas günstiger.

## 7.2.2 S-West – Möhringen-Freibad (Relation 02)

### S

Die Stadtbahn erreicht beim Energieverbrauch erstaunlich hohe Werte. Sie ist zwar nicht das schlechteste Verkehrsmittel, doch schon mit zwei Personen wären die Pkw hier besser. Bei CH<sub>4</sub> und Partikeln haben die Pkw (4P) günstigere Werte als die Stadtbahn, bei CO nur der Diesel-Pkw (4P). Bei den anderen Kategorien ist die Stadtbahn nun doch wenig günstiger als die Pkw (4P). Mit Ausnahme der Partikel sind allerdings die Unterschiede zwischen der Stadtbahn und dem mit einer Person besetzten Pkw immer noch deutlich. Verantwortlich für diese veränderten Reihungen ist insbesondere die geringe Auslastung am Sonntag. Zusätzlich verstärkt wird dieser Effekt dadurch, dass die betrachtete Freizeiteinrichtung (das Möhringer Freibad) noch einige Haltestellen weiter außerhalb der Stadt liegt, als der zuvor betrachtete Möhringer Bahnhof. Je weiter entfernt vom Zentrum, desto geringer der Auslastungsgrad der Bahn, weshalb dieser zusätzliche Streckenabschnitt das Ergebnis überproportional verschlechtert.

Bei dieser Relation überwiegen bei der Stadtbahn ausnahmsweise die Aufwendungen und Emissionen für die Fahrzeugbereitstellung die der Infrastrukturbereitstellung. Dies liegt an der sehr geringen Auslastung auf dem betrachteten Abschnitt ab Haltestelle Riedsee, d.h. im oberirdischen, flachen Streckenabschnitt. Hierdurch werden die Werte für die Fahrzeugbereitstellung sehr hoch. Die Werte für die Infrastrukturbereitstellung steigen nicht im gleichen Umfang, da die Aufwendungen für diesen schlecht ausgelasteten Abschnitt weit geringer sind (oberirdische Führung) als für den zuvor befahrenen Tunnelabschnitt, der eine sehr hohe Auslastung und somit geringe Anteile pro Person aufweist.

### S (inkl. Gegenrichtung)

Der Einbezug der Gegenrichtung führt zu keiner veränderten Aussage, die Reihung der Verkehrsmittel bleibt gleich. Die Werte nehmen sogar eher noch ab. Dies liegt wiederum daran, dass die miteinbezogenen Gegenrichtungen offensichtlich besser ausgelastet sind als die Hauptrichtung. Am Sonntag ist dieses Ergebnis allerdings nicht besonders verwunderlich, da sich hier allgemein keine so stark gerichteten Verkehrsströme ausmachen lassen wie werktags.

### 7.2.3 Leinfelden – Hauptbahnhof (Relation 03)

#### B+A

Die Stadtbahn und die auf dieser Relation ebenfalls untersuchte S-Bahn unterscheiden sich nicht nur im Fahrzeug, sie fahren auch auf unterschiedlichen Strecken, haben unterschiedliche Auslastungsgrade und werden mit einem unterschiedlichen Strommix berechnet. So liegt der Stadtbahn der Stuttgarter Strommix mit 90% Kernenergie zugrunde, während die S-Bahn mit dem Baden-Württemberg-Strommix mit 60% Kernenergie berechnet wird. Die S-Bahn verfügt außerdem nicht über die Möglichkeit zur Rückspeisung der Bremsenergie ins Netz.

Trotzdem liegen beide Verkehrsmittel bei den notwendigen Energieaufwendungen auf dieser Relation nahezu gleich auf und weisen dabei zusammen mit dem Diesel-Pkw (4P) die günstigsten Werte auf. Der Otto-Pkw (4P) liegt etwas ungünstiger.

CO<sub>2</sub> setzt die S-Bahn insgesamt lediglich die Hälfte der Menge des Diesel-Pkw (4P) frei, die Stadtbahn liegt noch einmal ungefähr bei der Hälfte des Wertes der S-Bahn.

NO<sub>x</sub> wird von beiden öffentlichen Verkehrsmitteln in ungefähr gleicher Menge emittiert. Dabei weisen sie die deutlich günstigsten Werte auf. Bei der Stadtbahn kommt hier der größte Teil aus der Infrastrukturbereitstellung (Tunnel), bei der S-Bahn aus der Energiebereitstellung (höherer Anteil fossiler Energieträger). Der Tunnel der S-Bahn wirkt sich aufgrund der hohen Beförderungsleistung der S-Bahn nicht so stark aus.

Die Pkw kommen in der Summe jeweils auf den ungefähr gleichen Wert. Zwar sind die direkten Emissionen des Diesel-Pkw höher als die des Otto-Pkw, doch führt der höhere NO<sub>x</sub>-Ausstoß bei der Energiebereitstellung von Benzin am Ende sogar zu einem leicht höheren Wert des Otto-Pkw.

Bei CO besteht wieder die übliche Reihung der unterschiedlichen Verkehrsmittel. Der Diesel-Pkw (4P) ist sogar leicht günstiger als die Stadtbahn, da bei dieser wieder der hohe Infrastrukturbereitstellungsanteil zu Buche schlägt. Die S-Bahn emittiert insgesamt weniger als halb so viel wie die Stadtbahn.

CH<sub>4</sub> wird von der Stadtbahn am wenigsten emittiert, ungefähr halb so viel wie von der S-Bahn, die sogar etwas ungünstiger ist als der Diesel-Pkw (4P). Der höhere Anteil fossiler Energieträger bei der Stromerzeugung für die S-Bahn wirkt sich hier wieder aus.

Bei VOC und Benzol sind die öffentlichen Verkehrsmittel die deutlich günstigsten.

Auch bei den Partikeln fällt wieder der hohe Infrastrukturbereitstellungsanteil bei der Stadtbahn auf, durch den sie sogar etwas ungünstiger als der Otto-Pkw (4P) wird. Die S-Bahn ist mit geringem Abstand zum Otto-Pkw (4P) das günstigste Verkehrsmittel.

## E

Der schlechtere Auslastungsgrad führt hier nun dazu, dass die mit vier Personen besetzten Pkw den geringsten Energieverbrauch haben, die S-Bahn sogar schlechter ist als ein mit zwei Personen besetzter Otto-Pkw (fast gleichauf mit dem Diesel-Pkw (1P)).

Auch beim CO<sub>2</sub> ist die S-Bahn nun schlechter als die Pkw (4P), die Stadtbahn ist hier allerdings noch das günstigste Verkehrsmittel.

Bei den übrigen Kategorien steigen die Werte der öffentlichen Verkehrsmittel entsprechend, so dass insbesondere die S-Bahn bei NO<sub>x</sub>, VOC und CO in den Bereich der Pkw (4P) kommt (bei CO liegt die Stadtbahn sogar noch höher), bei CH<sub>4</sub> liegt sie sogar über dem Diesel-Pkw (1P), bei Partikeln etwa bei dem mit zwei Personen besetzten Diesel-Pkw.

Lediglich bei Benzol sind die Werte der öffentlichen Verkehrsmittel verschwindend gering.

## B+A (inkl. Gegenrichtung)

Die Berücksichtigung der Gegenrichtung bringt wie schon zuvor keine wesentlichen neuen Erkenntnisse. Aufgrund der geringeren Auslastung verschlechtert sich das Ergebnis der öffentlichen Verkehrsmittel ein wenig, aber nicht relevant.

## E (inkl. Gegenrichtung)

Bei dieser Fahrt verbessert sich das Ergebnis durch das Einbeziehen der Gegenrichtung sogar. Dies liegt vor allem daran, dass in der Gegenrichtung zum um ca. 10:00 Uhr am Hauptbahnhof eintreffenden S-Bahn-Zug eine S-Bahn betrachtet wird, die durch die um 9:45 Uhr am peripher gelegenen Vaihinger Universitätscampus beginnenden Vorlesungen sehr stark ausgelastet ist. Allgemein lässt sich sagen, dass die Verkehrsströme in diesem Bereich auch entgegen der Lastrichtung so stark sind, dass die Betrachtung der Gegenrichtung zu keinem relevant schlechteren Ergebnis führt.

## B+A (mit ET423)

Die Berechnungen für den neuen S-Bahn-Triebwagen ET423 zeigen bei den notwendigen Energieaufwendungen ein sehr hohes Einsparpotenzial. Der ET423 ist deutlich

leichter, wodurch der Rollwiderstand reduziert wird. Auch der Luftwiderstand sowie der rotierende Massenzuschlag sind geringer. Die modernen Motoren des ET423 haben weniger Verluste als die alten ET420. All dies trägt neben der Rückspeisemöglichkeit zum deutlich geringeren Energieverbrauch bei. Allerdings ist dazu zu sagen, dass die Berechnungen aufgrund von Daten des Herstellers ADtranz erfolgten, die auf Nachfrage von dessen Auftraggeber, der DB Regio nicht bestätigt werden konnten, da zu diesem Zeitpunkt für DB Regio noch keine Möglichkeit bestanden hatte, das Fahrzeug selbst zu prüfen.

Die direkten Energieaufwendungen sind etwa um das 2,5-fache geringer als der der alten S-Bahn-Fahrzeuge ET420. Dementsprechend liegen auch die übrigen Werte deutlich unter denen des ET420, wodurch die neue S-Bahn in allen Kategorien zum eindeutig günstigsten Verkehrsmittel wird.

Von Bedeutung für den sehr geringen Verbrauch der neuen S-Bahn ist, dass auf der Strecke zwischen Hauptbahnhof und der Haltestelle Universität ein Höhenunterschied von rund 220m zu überwinden ist, wodurch bei der Talfahrt durch die Bremsenergie-rückspeisung sehr viel Energie gespart werden kann. Die separaten Werte für Berg- und Talfahrt belegen dies, die Fahrt von Leinfelden zum Hauptbahnhof benötigt in der Summe fast gar keine Energie aus dem Netz.

### **E (mit ET423)**

Der Effekt der neuen S-Bahn macht sich nun auch bei geringerer Fahrgastauslastung bemerkbar, so dass der ET423 bei Energieverbrauch, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und Partikel zumindest wieder im Bereich der mit vier Personen besetzten Pkw liegt.

Der Effekt des neuen S-Bahn-Fahrzeugen macht sich allerdings bei CO kaum bemerkbar, da hier die Anteile aus der Infrastrukturbereitstellung überwiegen, und diese beiden Fahrzeugen gleich angelastet werden.

### **B+A, E (inkl. Gegenrichtung) (mit ET423)**

Die Berücksichtigung der Gegenrichtung bringt keine zusätzlichen Erkenntnisse, die öffentlichen Verkehrsmittel verschlechtern sich im Falle B+A ein wenig, im Fall E verbessern sie sich ein wenig, woraus aber keine relevanten Unterschieden resultieren.

## 7.2.4 Verkehr im Ballungsraum – Freiburg i. Br.

### 7.2.4.1 Freiburg-Rieselfeld – Freiburg-Zentrum (Relation 04)

#### B+A

Bei der differenzierten Betrachtung der Entstehung des Energieverbrauchs und der Emissionen der Stadtbahn fällt auf, dass der aus der Infrastrukturbereitstellung resultierende Anteil im Verhältnis zur Stuttgarter Stadtbahn deutlich geringer ist. Dies erklärt sich aus der einfacheren Bauweise der Freiburger Stadtbahn, die im gesamten Netz auf Tunnel verzichtet.

Die Betrachtung der Freiburger Stadtbahn zeigt grundsätzlich dieselben Ergebnisse wie auch schon die Relationen 01 – 03 in Stuttgart:

Die Stadtbahn ist in allen Kategorien das günstigste Verkehrsmittel, allerdings ist der Abstand zu den mit vier Personen besetzten Pkw beim Energieverbrauch, bei CH<sub>4</sub> und Partikeln sehr gering.

Wiederum überwiegen bei den indirekten Energieaufwendungen und Emissionen bei der Stadtbahn die Infrastrukturbereitstellung, bei den Pkw die Fahrzeugbereitstellung.

Auch die Reihung der Pkw untereinander bleibt gleich. Bei CO ist der Diesel-Pkw (1P) allerdings nun deutlich besser als der Otto-Pkw (4P). Die Fahrtstrecke in dieser Relation ist nur ungefähr halb so lang wie diejenige in der Relation 01. Dadurch fällt das während der Kaltstartphase vom Otto-Pkw in großer Menge emittierte CO gegenüber dem während des warmen Betriebszustandes emittierten CO stärker ins Gewicht. Dies macht in der Summe den Diesel-Pkw günstiger.

#### E

Die Betrachtung des Fahrtzwecks Einkaufen bringt kaum Veränderungen, da die Auslastung der Stadtbahn sich nur geringfügig ändert. Jedoch sind diese Verschiebungen marginal.

#### E

Aufgrund der schlechten Auslastung des ÖV im Freizeitverkehr übersteigen die notwendigen Energieaufwendungen die CH<sub>4</sub>- und die Partikelemissionen der Stadtbahn

nun die Werte der Pkw (4P). Auch bei CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO und VOC liegen die Werte der Stadtbahn nun im Bereich der Pkw (4P).

#### **7.2.4.2 Freiburg-Rieselfeld – Schauinsland (Relation 05)**

##### **S (nach Entstehungskomponenten) / S (nach Verkehrsmitteln)**

Bei dieser Relation ist im öffentlichen Verkehr eine kombinierte Fahrtenkette aus Stadtbahn und Bus zu betrachten.

Der öffentliche Verkehr ist etwas umweltfreundlicher als die Pkw (1P). Die Werte von Energieaufwand, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und Partikel liegen im Bereich der Pkw (1P) bzw. knapp darunter.

Bei NO<sub>x</sub> ist der öffentliche Verkehr fast ausschließlich aufgrund der Emissionen des Busses das ungünstigste Verkehrsmittel mit Emissionen, die 50% über denen der Pkw (1P) liegen.

Bei CO (Kaltstartproblematik), VOC und Benzol weist der Otto-Pkw (1P) die mit Abstand höchsten Werte auf. Der öffentliche Verkehr liegt im Bereich des Otto-Pkw (4P) bzw. sogar noch darunter (Benzol).

Großen Anteil an diesem z.T. sehr knappen Ergebnis trägt der Bus, der vor allem bei CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, VOC und Benzol einen deutlich höheren Anteil zum Gesamtergebnis beiträgt, als es seinem Anteil an der Gesamtstrecke (30%) entspricht. Dies liegt zum einen daran, dass mit zunehmender Entfernung vom Zentrum die Fahrgastzahlen abnehmen, die hohen NO<sub>x</sub>-Emissionen zum anderen sind wiederum der Fahrzeugtechnik des Busses anzulasten.

#### **7.2.4.3 Gottenheim – Freiburg-Zentrum (Relation 06)**

##### **B+A (nach Entstehungskomponenten) / B+A (nach Verkehrsmitteln)**

Die Fahrtenkette des öffentlichen Verkehrs, bestehend aus der dieselbetriebenen Breisgau-S-Bahn (Regio-Shuttle) und der Stadtbahn, ist deutlich das günstigste Verkehrsmittel. Lediglich bei NO<sub>x</sub> und Partikeln werden Werte im Bereich der Pkw (4P) erreicht. Die hohen NO<sub>x</sub> – Emissionen erklären sich aus der bekannten Problematik der Nutzfahrzeug-Dieselmotoren. Der hohe Partikelwert resultiert aus der Infrastrukturbereitstellung. Hier wirkt sich insbesondere die relativ geringe Auslastung der Strecke von

Gottenheim nach Freiburg Hbf., auf der lediglich die Fahrzeuge der Breisgau-S-Bahn unterwegs sind, aus.

Aufgrund des sehr kurzen Nachlaufs mit der Stadtbahn vom Hauptbahnhof bis in die Stadtmitte spielt der Anteil der Stadtbahn am Gesamtergebnis praktisch keine Rolle. Dies unterstreicht auch die sehr günstige, da zentrumsnahe Lage des Freiburger Hauptbahnhofs.

### E (nach Entstehungskomponenten) / E (nach Verkehrsmitteln)

Der Auslastungseffekt im schwächer besetzten Einkaufsverkehr macht sich wieder bemerkbar, allerdings nicht sehr stark. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen des öffentlichen Verkehrs übersteigen nun die Werte der Pkw (4P), auch die CO-Emissionen liegen knapp über denen des Diesel-Pkw (4P). Der Auslastungseffekt wirkt sich aus deshalb schwächer aus, weil die Konfiguration der Breisgau-S-Bahn der jeweiligen Fahrgastnachfrage angepasst wird. So bilden im Fall B+A 3 bzw. 4 Regio-Shuttles einen Zug, während im Fall E jeweils ein Fahrzeug weniger genutzt wird.

## **7.2.5 Verkehr im ländlichen Raum – Ravensburg/Friedrichshafen**

### **7.2.5.1 Schlier – Ravensburg-Zentrum (Relation 07)**

#### B+A

Bei dieser Relation wird der Bus nicht als Zubringer zum bzw. Nachlauf vom schienengebundenen Verkehr betrachtet. Vielmehr ist die Relation Schlier – Ravensburg-Zentrum eine reine Busrelation. Dementsprechend erreicht der Bus hier auch sehr gute Auslastungsgrade, wodurch er in fast allen Kategorien das günstigste Verkehrsmittel ist. Lediglich bei NO<sub>x</sub> liegen die Werte des Busses, wie auch bei den schon untersuchten dieselgetriebenen öffentlichen Verkehrsmitteln, ganz knapp über den Werten des Diesel-Pkw (4P).

Energieverbrauch und somit auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Busses liegen bei rund 30% der Werte der Pkw (4P), bei den übrigen Emissionen (abgesehen von NO<sub>x</sub>) sind die Abstände noch deutlicher.



## E

Der Auslastungseffekt zeigt sich auch hier, wenngleich auch keineswegs so stark wie auf der in Freiburg untersuchten Busverbindung. Die Werte des Busses sind nun ungefähr doppelt so hoch wie im Fall B+A. Bei NO<sub>x</sub> liegt der Bus nun im Bereich der Diesel-Pkw (2P), bei Energieverbrauch und CO<sub>2</sub> liegt er jetzt bei 60% der Werte der Pkw (4P).

Bei den übrigen Schadstoffen ist der Bus ebenfalls immer noch das günstigste Verkehrsmittel.

Bei der Betrachtung der Entstehung der einzelnen Wirkungskomponenten fällt auf, dass bei Energieverbrauch, CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>-, CO- und Benzol-Emissionen klar der direkte Bereich den deutlich größten Beitrag verursacht. Die Energiebereitstellung dominiert lediglich bei CH<sub>4</sub> und VOC. Einzig bei den Partikeln trägt die Infrastrukturbereitstellung einen relevanten Anteil zum Gesamtergebnis bei.

Es fällt auf, dass sich bei der Betrachtung von Fahrzeugbereitstellung und Infrastrukturbereitstellung beim Bus ein anderes Bild ergibt als bei den schienengebundenen Verkehrsmitteln. Im Gegensatz zu diesen dominiert beim Bus die Fahrzeugbereitstellung, wenn auch auf sehr geringem Niveau. Zwar ist ein Bus natürlich weit besser ausgelastet als ein Pkw, doch sind die Anlastungen der Infrastrukturbereitstellung im Straßenverkehr aufgrund der hohen Auslastungen so gering, dass selbst die relativ niedrigen Fahrzeugbereitstellungswerte des Busses noch höher sind. Lediglich bei den VOC übertrifft wie bei allen Straßenfahrzeugen auf dieser Relation die Infrastrukturbereitstellung die Fahrzeugbereitstellung.

## E

Die schlechte Auslastung im abendlichen Freizeitverkehr bringt den Bus bei Energieverbrauch, CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> in den Bereich der Pkw (2-3P).

Bei CO liegt der Bus auf Höhe des Diesel-Pkw (2P).

Bei Partikeln liegt der Bus etwas ungünstiger als die Pkw (4P).

Lediglich bei NO<sub>x</sub> erreicht der Bus nun Werte um 30% (Otto) bzw. 55% (Diesel) über den Werten des Pkw (1P).

Von NO<sub>x</sub> abgesehen bleibt aber auch in diesem Fall der Pkw (1P) das ungünstigste Verkehrsmittel.

### 7.2.5.2 Schlier – Ravensburg-Sportplatz (Relation 08)

#### F-Sport

Die abendliche Sport-Freizeitaktivität, die kein Ziel im Zentrum ansteuert, sondern Umsteigen und die Weiterfahrt mit einer innerstädtischen Buslinie notwendig macht, führt zu keinen qualitativ anderen Ergebnissen als Fall F bei Relation 07.

### 7.2.5.3 Schlier – Friedrichshafen (Relation 09)

#### B+A (nach Entstehungskomponenten) / B+A (nach Verkehrsmitteln)

Bei dieser kombinierten Bus+Schiene-Relation im ländlichen Raum lässt sich generell feststellen, dass im Falle B+A die Pkw (1P) am ungünstigsten sind und die ÖV-Kombination bei den meisten Komponenten im Bereich der Pkw (4P) liegen.

Im Vorgriff auf die Differenzierung nach Verkehrsmitteln im öffentlichen Verkehr kann man sagen, dass der Bus im Vorlauf außer im Fall F keinen nennenswerten Beitrag zum Gesamtergebnis bringt.

Einzig bei NO<sub>x</sub> erreichen die ÖV-Kombinationen dem Pkw (Otto-Motor) (1P) vergleichbare Werte.

Der Vergleich der öffentlichen Verkehrsmittel untereinander zeigt, dass das Regio-Shuttle fast doppelt so viel Energie benötigt. Dies liegt allerdings hauptsächlich an den unterschiedlichen Betriebskonzepten. Der Regionalexpress hält zwischen Ravensburg und Friedrichshafen lediglich zweimal, während das Regio-Shuttle auch an z.T. für die Gaisbockbahn neu eingerichteten Haltepunkten insgesamt sechsmal zwischen den beiden Städten hält. Diese dreifache Zahl an Anfahrvorgängen ist eine der Ursachen für den höheren Energieverbrauch des Regio-Shuttles. Zudem ist der Regionalexpress sehr gut ausgelastet.

Bei den übrigen Schadstoffen zeigen sich aber typische Unterschiede zwischen den beiden Fahrzeugen. Obwohl das Regio-Shuttle fast doppelt so viel Energie benötigt, sind die NO<sub>x</sub>-, VOC- und Partikel-Emissionen nahezu gleich, die CO- und Benzol-Emissionen des Regionalexpresses sogar doppelt so hoch. Hier zeigt sich deutlich der Unterschied in der Antriebstechnik zwischen dem Regionalexpress mit einer älteren Lokomotive der Baureihe 218 und dem Regio-Shuttle mit moderner Lkw-Motorentchnik.

### E (nach Entstehungskomponenten) / E (nach Verkehrsmitteln)

Bei der schwächer ausgelasteten Verbindung im Fall E sind die ÖV-Kombinationen bei Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoss nun deutlich ungünstiger als die Pkw (4P).

Beim NO<sub>x</sub> haben die öffentlichen Verkehrsmittel nun mehr als doppelt so hohe Werte wie die Pkw (1P). Hier fallen wiederum besonders die verschiedenen Motoren der beiden öffentlichen Verkehrsmittel auf, obwohl das Regio-Shuttle immer noch mehr Energie verbraucht, sind nun auch die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Regionalexpress höher. Bei CO ist er nun sogar über dem Otto-Pkw (2P), der Benzol-Wert des Regionalexpress ist nun höher als der des Diesel-Pkw (1P).

### F (nach Entstehungskomponenten) / F (nach Verkehrsmitteln)

Aufgrund der nun sehr viel schlechteren Auslastung erreichen Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen des öffentlichen Verkehrs nun Werte im Bereich der Pkw (1P). Auch der Bus trägt nun einen nennenswerten Anteil zum Gesamtergebnis bei. Rund 20% des Gesamtwertes stammt bei diesen Komponenten vom Bus.

Die NO<sub>x</sub>-Werte des ÖV liegen nun bei dem drei- bis vierfachen der Werte der Pkw (1P). Das Verhältnis zwischen Regio-Shuttle und Regionalexpress verschlechtert sich zu Ungunsten des Regionalexpress, obwohl bei diesem auf der Rückfahrt von Friedrichshafen aufgrund der geringen Nachfrage nur noch ein VT628-Dieselmotortriebwagen zum Einsatz kommt. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen sind um 50% höher, die CO-Emissionen sind gar mehr als dreimal so hoch wie die des Regio-Shuttle.

Sowohl bei CO als auch bei Partikeln ist der Regionalexpress nun das deutlich ungünstigste Verkehrsmittel. Das Regio-Shuttle ist bei den Partikeln immer noch günstiger als die Pkw (1P), während es bei CO weiterhin die Größenordnung des Otto-Pkw (2P) und des Diesel-Pkw (1P) erreicht.

### B+A - Regio-Shuttle als Regionalexpress (nach Entstehungskomponenten) / B+A - Regio-Shuttle als Regionalexpress (nach Verkehrsmitteln)

Bei der Parametervariation, bei der das Regio-Shuttle mit dem Betriebskonzept und den Fahrgastzahlen des Regionalexpress verkehrt (im Fall B+A aufgrund der hohen Fahrgastzahlen in Dreifachtraktion statt wie sonst in Doppeltraktion) zeigt sich, dass das Regio-Shuttle, das bisher rund doppelt so viel Energie wie der Regionalexpress verbrauchte, nun knapp 30% weniger als dieser benötigt.

Auch bei allen anderen Wirkungskomponenten zeigt sich die überlegene Antriebstechnik des Regio-Shuttle deutlich. Bei allen Schadstoffen, auch bei solchen, bei denen der Regionalexpress zuvor klar günstigere Werte erreichte, emittiert das Regio-Shuttle nun weniger als dieser.

Außer bei NO<sub>x</sub> (hier emittiert es noch rund 35% mehr als die Pkw (4P)) ist das Regio-Shuttle bei allen Wirkungskomponenten das umweltfreundlichste Verkehrsmittel.

### **E - Regio-Shuttle als Regionalexpress (nach Entstehungskomponenten)**

#### **/ E - Regio-Shuttle als Regionalexpress (nach Verkehrsmitteln)**

In Fall E ändert sich an der Reihenfolge zwischen Regio-Shuttle und Regionalexpress nichts. Der Vorsprung des Regio-Shuttle wird allerdings noch deutlicher.

Bei Energieaufwand, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> und Partikeln erreicht das Regio-Shuttle nun Werte im Bereich der Pkw (4P), welche bisher allein die günstigsten Werte erreichten.

Bei VOC und Benzol ist das Regio-Shuttle nun sogar das Verkehrsmittel mit den günstigsten Werten.

Lediglich bei NO<sub>x</sub> sind die Pkw (4P) immer noch besser.

### **F - Regio-Shuttle als Regionalexpress (nach Entstehungskomponenten)**

#### **/ F - Regio-Shuttle als Regionalexpress (nach Verkehrsmitteln)**

Im Fall F ändert sich zum vorhergehenden Fall nicht viel. Zwar ist auch hier das Regio-Shuttle bei allen Wirkungskomponenten besser als der Regionalexpress, doch ist der Unterschied nicht mehr so ausgeprägt. Dies liegt u.a. auch daran, dass der Regionalexpress auf der Rückfahrt auch nur mit einem VT628-Dieseltreibwagen verkehrt.

Die Pkw (4P) behalten klar die günstigsten Werte.

### **B+A – EURO4 (nach Entstehungskomponenten)**

#### **/ B+A – EURO4 (nach Verkehrsmitteln)**

Der Vergleich der Verkehrsmittel unter Einbeziehung der Pkw mit Antriebskonzept nach EURO4 bringt hier deutlich geringere Verbesserungen für die Pkw als bei der Stuttgarter Relation 01. Im Vergleich zur Stuttgarter Relation ist die hier untersuchte rund doppelt so lang, wodurch Verminderungen bei Einmalzuschlägen weniger stark ins Gewicht fallen. Außerdem war die Relation 01 zumindest im Fall B+A von starken Störungen im Verkehrsfluss geprägt. Dies ist bei Relation 09 anders, und stellt einen Grund für die geringeren Reduktionen dar.

Auch der bei dieser Relation zum Einsatz kommende Bus wurde mit den Emissionsfaktoren für EURO4 berechnet.

Bei beiden Pkw liegen die Rückgänge bei Energieaufwendungen, CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> bei unter 10%. Ähnlich verhält es sich mit CO und VOC bei den Diesel-Fahrzeugen und mit den Partikeln bei den Otto-Fahrzeugen. Dies ist zumindest bei den Partikeln lediglich auf die geringeren Energieaufwendungen und die damit verbundenen geringeren Energiebereitstellungsemissionen zurückzuführen.

Relevante Rückgänge sind bei den NO<sub>x</sub>-Emissionen beider Fahrzeuge zu verzeichnen, die um 30-35% sinken, und bei Benzol, um fast 40% zurückgehen.

Die CO-Emissionen des Otto-Pkw reduzieren sich aufgrund des fast fehlenden Kaltstarteffekts um über 50%, die VOC-Emissionen um über 30%.

Die Partikel-Emissionen der Diesel-Pkw reduzieren sich um über 15%.

Der Bus kann enorme Rückgänge bei den No<sub>x</sub>-Emissionen vorweisen, diese Werte sinken im Gesamtergebnis um fast 50%. CO-Emissionen gehen um 20% zurück. Die Emissionen Kohlenwasserstoffe CH<sub>4</sub>, VOC und Benzol reduzieren sich im Gesamtergebnis weniger stark, da hier, trotz eines Rückgangs der direkten Emissionen um 30%, die indirekten Entstehungskomponenten überwiegen. Dies zeigt sich noch stärker bei den Partikeln. Hier gehen zwar die direkten Emissionen um über 80% zurück, das Gesamtergebnis reduziert sich allerdings lediglich um 20%.

Im Vergleich aller Verkehrsmittel untereinander verändert sich bei NO<sub>x</sub> die Reihung der Verkehrsmittel, wo nun beide Pkw (1P) günstiger sind als der ÖV.

Bei CO ist nun auch der Otto-Pkw (4P) günstiger als der Regionalexpress.

Bei CH<sub>4</sub>, VOC und Benzol verändert sich nichts Grundlegendes, lediglich der Otto-Pkw kann zu den übrigen Verkehrsmitteln etwas aufschließen.

### [E – EURO4 \(nach Entstehungskomponenten\)](#)

### [/ E – EURO4 \(nach Verkehrsmitteln\)](#)

Im Fall E sind die Werte des öffentlichen Verkehrs bei NO<sub>x</sub> nun dreimal so hoch wie die der Pkw (1P).

Durch die starken Verbesserungen des Otto-Pkw bei CO ist der Regionalexpress jetzt das ungünstigste Verkehrsmittel.

Bei den übrigen Wirkungskomponenten verringern die Pkw (1P) den Abstand zum ÖV, doch ergeben sich keine Unterschiede in der Reihung.

### F – EURO4 (nach Entstehungskomponenten)

### / F – EURO4 (nach Verkehrsmitteln)

Grundsätzliche Veränderungen ergeben sich bei diesem Fall keine.

Bei NO<sub>x</sub> bleibt das Verhältnis zwischen IV und ÖV bestehen, auch wenn durch sinkende NO<sub>x</sub>-Emissionen des Busses und der Pkw das Gesamtniveau sinkt.

Bei CO kann der Otto-Pkw (1P) nun zum Regio-Shuttle aufschließen, der Regionalexpress bleibt klar am ungünstigsten.

Bei VOC und Benzol verkürzt der Otto-Pkw (1P) den Abstand zum Regionalexpress, bleibt aber das ungünstigste Verkehrsmittel.

## **7.2.6 Verkehr im ländlichen Raum – Tuttlingen**

### **7.2.6.1 Bärenthal – Tuttlingen (Relation 10)**

Wie schon in Kapitel 3.4.4.1 angeführt, ist es bei dieser Relation notwendig, eine Differenzierung zwischen reinem Berufsverkehr (aus darstellungstechnischen Gründen weiterhin mit B+A abgekürzt) und dem Ausbildungsverkehr vorzunehmen, da der Ausbildungsverkehr (Schüler) den mit Abstand größten Anteil an der gesamten Fahrgastanzahl hat. Bei der üblichen Betrachtung wären diese Ströme aber auf der Hinfahrt dem Berufsverkehr (8 Uhr) und auf der Rückfahrt dem Einkaufsverkehr (12 Uhr) zugerechnet worden, was die tatsächliche Situation verzerrt hätte.

Zudem konnte bei der vor Ort durchgeführten Zählung zwar auf der Hinfahrt ein Bus mit Schülern und Berufstätigen gezählt werden, der Bus, der die Schüler wieder zurückbringt, jedoch nicht. Beim Fall ‚Bus + Regio-Shuttle‘ wurden zwei Hinfahrten gezählt: eine nur mit Schülern, die andere fast ausschließlich mit Berufstätigen.

Deshalb wurde eine sog. Modellrechnung mit modifizierten Fahrgastzahlen durchgeführt, die für die Fahrtzwecke B+A und Ausbildung des Falls ‚Bus‘ (durchgehende Busverbindung von Bärenthal bis Tuttlingen) jeweils aufgrund der Zählergebnisse realistisch erscheinende Fahrgastzahlen für einen Bus im Berufsverkehr (Hin+Rück) und einen Bus im Ausbildungsverkehr (Hin+Rück) verwendet. Tabelle 7-1 zeigt im Ver-

gleich zwischen der ursprünglichen Berechnung und der Modellrechnung die jeweils zugrunde liegende durchschnittliche Auslastung über die gesamte Fahrtstrecke von Bärenthal nach Tuttlingen.

		durchschnittliche Auslastung [%]		
		Bus		
		Hin+Rück	Hin	Rück
B+A	ursprünglich	54%	91%	17%
	Modellrechnung	17%	17%	17%
Ausbildung	ursprünglich	48%	91%	5%
	Modellrechnung	82%	82%	82%
E	ursprünglich	8%	11%	5%
	Modellrechnung	8%	11%	5%
F	ursprünglich	3%	3%	3%
	Modellrechnung	3%	3%	3%

Tabelle 7-1: Vergleich durchschnittliche Auslastung zwischen ursprünglicher Berechnung und Modellrechnung (Relation 10)

Aufgrund der modifizierten Fahrgastzahlen wird der Fall ‚Bus‘ erst bei der Diskussion der Modellrechnung berücksichtigt, und wird deshalb in den ersten Diagrammen nicht dargestellt.

Bei der Modellrechnung wurde keine einheitliche Skalierung vorgenommen, da aufgrund der sehr großen Unterschiede keine sinnvolle Darstellung möglich gewesen wäre.

### B+A (nach Entstehungskomponenten) / B+A (nach Verkehrsmitteln)

Alle drei ÖV-Varianten sind im Energieverbrauch und beim CO<sub>2</sub>-Ausstoß um ca. 30% ungünstiger als das ungünstigste IV-Verkehrsmittel, der Otto-Pkw (1P). Die schlechtesten Werte erzielt die Variante ‚Park+Ride mit Otto-Pkw. Die ist auf den gegenüber Dieselmotoren höheren Energieverbrauch der Otto-Motoren zurückzuführen.

Bei NO<sub>x</sub> sind die Werte des öffentlichen Verkehrs fünf- bis sechsmal mal schlechter als die der Pkw (1P). Das schlechteste Verkehrsmittel ist die Bus-Bahn-Kombination, da der Bus trotz ähnlich hohen Energieverbrauchs fast die dreifache Menge NO<sub>x</sub> emittiert. Wieder zeigt sich die NO<sub>x</sub>-Problematik bei großen Dieselmotoren.

Beim CO entsteht ein differenziertes Bild. Am ungünstigsten ist die Variante ‚P+R mit Otto-Pkw‘, gefolgt vom Otto-Pkw (1P). Die Fahrt mit dem Otto-Pkw von Bärenthal bis Tuttlingen emittiert lediglich ca. 20% mehr CO als die Fahrt bis Fridingen. Dies zeigt



wieder, dass CO hauptsächlich beim Kaltstart der Otto-Pkw entsteht. Die übrigen ÖV-Verkehrsmittel haben leicht höhere Werte als der Diesel-Pkw (1P).

Bei CH<sub>4</sub> liegen alle drei ÖV-Varianten vor dem Otto-Pkw (1P), welcher bei VOC und Benzol die deutlich schlechtesten Werte erreicht, gefolgt von ‚P+R mit Otto-Pkw‘.

Bei den P+R-Verbindungen entstehen die meisten VOC-Emissionen durch die Pkw. Beim Bus und dem Regio-Shuttle sind diese insbesondere unter Berücksichtigung der zurückgelegten Wegstrecke eher gering. Bei diesen entstehen sie im wesentlichen im Zuge der Energiebereitstellung von Dieselmotoren, während bei den Pkw ein großer Teil dieser Emissionen aus der Infrastrukturbereitstellung herrührt (bei Otto-Pkw über ein Drittel, bei Diesel-Pkw über die Hälfte). Speziell bei Otto-Pkw wird auch sehr viel VOC direkt emittiert, ca. vier- bis fünfmal so viel wie bei Diesel-Pkw.

Bei Benzol erreicht wiederum der Otto-Pkw (1P) die deutlich höchsten Werte. Der Vergleich zum Diesel-Pkw (1P) zeigt nun aber deutlich den Einfluss der Wegstrecke. So erreicht der Diesel-Pkw auf der längeren Distanz von Bärental nach Tuttlingen nur ein Fünftel der Emission des Otto-Pkw, während es auf der kürzeren Distanz, der P+R-Relation von Bärental nach Fridingen ein Viertel ist. Dies liegt an den fixen Zuschlägen für Verdampfung des heißen Motors nach dem Abstellen („hot soak losses“) sowie Tankatmung.

Bei den Partikeln sind die ‚Park+Ride-Verbindungen‘ zusammen mit dem Diesel (1P) am ungünstigsten, dicht gefolgt von Bus+Regio-Shuttle und Otto-Pkw (1P).

### [Ausbildung \(nach Entstehungskomponenten\)](#)

#### [/ Ausbildung \(nach Verkehrsmitteln\)](#)

Im bei dieser Relation separat betrachteten Fall Ausbildung zeigt sich nun, dass der öffentliche Verkehr, wie häufig im ländlichen Raum, sein größtes Fahrgastaufkommen im Schülerverkehr hat (captive riders). So ist das Betriebskonzept des Regio-Shuttles sowie der neu eingerichtete Haltepunkt ‚Tuttlingen-Zentrum‘ (direkt am Schulzentrum) auch stark auf den Schülerverkehr ausgerichtet, wenngleich die Zeiten, zu denen das Regio-Shuttle verkehrt und die Lage der Haltestellen durchaus auch eine Alternative für Berufstätige darstellen.

So erreicht die Kombination Bus+Regio-Shuttle im Energieverbrauch und beim CO<sub>2</sub>-Austoß nun geringere Werte als die Pkw (4P). Ca. ein Viertel wird dabei vom Bus verursacht.



Die ‚Park+Ride-Kombinationen‘ sind deutlich schlechter als die reine ÖV-Variante und kommen in der Summe auf Ergebnisse wie die Pkw (2P). Rund drei Viertel des Gesamtergebnisses stammen von den Pkw.

NO<sub>x</sub> zeigt wieder die Hauptproblematik von Bussen und Dieseltriebwagen. Alle drei reinen bzw. gebrochenen ÖV-Verkehre liegen im Bereich zwischen Pkw (1P) und Pkw (2P), wobei der Bus auf der kurzen Zulaufstrecke von Bärental bis Fridingen weniger als die Hälfte der Werte der parallel im Zulauf zum P+R fahrenden Pkw erreicht.

Bei CO, das beim Kaltstart entsteht, ist der Otto-Pkw (1P) wieder das eindeutig ungünstigste Verkehrsmittel. Da diese Emissionen auch in voller Höhe auf der kurzen P+R-Fahrt anfallen, kommt die P+R-Kombination (Otto-Pkw) auf ungefähr denselben Wert wie der Otto-Pkw (1P). Dies zeigt andererseits auch wieder, dass der Otto-Pkw (1P) im warmen Betriebszustand auf der Fahrt von Fridingen bis Tuttlingen nur äußerst geringe Mengen emittiert, eben vergleichbar mit den Werten des Regio-Shuttle, das ja Auslastungswerte von deutlich über 100% auf dieser Fahrt aufweist. Die übrigen ÖV-Verbindungen liegen im Bereich des Otto-Pkw (2P) und des Diesel-Pkw (4P). Eindeutig die günstigsten Verkehrsmittel sind hier die reine ÖV-Variante und der Diesel-Pkw (4P).

Bei den Stoffen CH<sub>4</sub>, VOC und Benzol ist jeweils der Otto-Pkw (1P) klar das ungünstigste Verkehrsmittel. Bus+Regio-Shuttle ist das Günstigste. Die Ergebnisse der P+R-Relationen werden zum überwiegenden Teil von den eingesetzten Pkw bestimmt und liegen im Bereich der jeweiligen Pkw (2 bzw. 3 P). Wiederum zeigen sich die sehr hohen Benzol-Emissionen des Otto-Pkw.

Der Diesel-Pkw (1P) ist bei den Partikeln das ungünstigste Verkehrsmittel. Die reine ÖV-Variante stellt hier klar das günstigste Verkehrsmittel dar.

### [E \(nach Entstehungskomponenten\) / E \(nach Verkehrsmitteln\)](#)

Der Fahrtzweck Einkaufen stellt die für den ÖV ungünstigste Konstellation dar.

So sind der Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen der drei ÖV-Verbindungen annähernd doppelt so hoch wie die des Nächstplatzierten, des Otto-Pkw (1P). Von diesen dreien ist wiederum die Variante P+R mit Otto-Pkw die ungünstigste. Zwei Drittel des Gesamtergebnisses sind direkte Energieaufwendungen und Emissionen. Das schlechte Ergebnis des ÖV ist hauptsächlich auf das Regio-Shuttle zurückzuführen, das 95% (bei P+R 80%) zum Gesamtergebnis beiträgt.

Bei NO<sub>x</sub> erreicht der ÖV das 7-8fache der Werte des nächstplatzierten Otto-Pkw (1P). Das Regio-Shuttle ist hier sogar für 98% der NO<sub>x</sub>-Emissionen verantwortlich. 90% der Emissionen sind direkte Emissionen.

Lediglich durch den Kaltstarteffekt haben die reine ÖV-Variante und die P+R-Kombination (Diesel-Pkw) geringere CO-Emissionen als der Otto-Pkw (1P). Die P+R-Kombination (Otto-Pkw) ist mit fast doppelt so hohen Werten wie die beiden anderen ÖV-Verbindungen das klar ungünstigste Verkehrsmittel.

Wiederum fast doppelt so hoch wie der Otto-Pkw (1P) sind die Werte der ÖV-Varianten bei CH<sub>4</sub>, was überwiegend aus der Bereitstellung des Dieselmotorkraftstoffs herrührt. Ungünstigstes Verkehrsmittel ist P+R mit Otto-Pkw.

Bei VOC ist die Kraftstoffbereitstellung wieder die größte Emissionsquelle beim ÖV, allerdings schlägt auch die Infrastrukturbereitstellung stark zu Buche. Allerdings entstehen auch bei der Fahrt des Otto-Pkw (1P) so hohe Emissionen, dass diese Variante und die P+R-Variante (Otto-Pkw) die ungünstigsten Verkehrsmittel darstellen. P+R (Diesel-Pkw) erreicht um 15% geringere Werte, Bus+Regio-Shuttle erreicht ein Drittel geringere Werte. Bei den P+R-Varianten erreichen die Pkw auf dem kurzen Vorlauf von Bärenthal nach Fridingen 20 bis 25 mal höhere Werte als der parallel fahrende Bus.

Das mit Abstand ungünstigste Verkehrsmittel bei Benzol ist der Otto-Pkw (1P), gefolgt von der P+R-Variante (Otto-Pkw). Die reine ÖV-Variante liegt im Bereich des Otto-Pkw (4P) und des Diesel-Pkw (1P). Die P+R-Variante (Diesel-Pkw) ist etwas schlechter. Günstigstes Verkehrsmittel ist der Diesel-Pkw (4P).

Doppelt so schlecht wie das ungünstigste IV-Verkehrsmittel, der Diesel-Pkw (1P), schneiden bei den Partikeln alle drei ÖV-Varianten ab. Dies ist zum überwiegenden Teil auf die Infrastrukturbereitstellung des Schienenwegs zurück zu führen.

### [F \(nach Entstehungskomponenten\) / F \(nach Verkehrsmitteln\)](#)

Im abendlichen Freizeitverkehr verkehrt das Regio-Shuttle mangels Nachfrage nicht mehr. Somit bleibt für diesen Fahrtzweck als Alternative zum Pkw einzig der Bus. Da dieses Verkehrsmittel aber aus den schon erwähnten Gründen erst bei der Modellrechnung diskutiert wird, unterbleibt die Diskussion.

## **B+A-MODELLRECHNUNG (nach Entstehungskomponenten)**

### **/ B+A-MODELLRECHNUNG (nach Verkehrsmitteln)**

Bei der Modellrechnung wurden lediglich die Fahrgastzahlen der reinen Bus-Variante variiert, weshalb bei der Diskussion der folgenden Diagramme auch nur auf das Ergebnis dieser Variante eingegangen wird.

Der Bus ist in allen Fällen das günstigste ÖV-Verkehrsmittel. Seine Werte liegen bei Energieverbrauch, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und CH<sub>4</sub> bei der Hälfte der Werte der übrigen ÖV-Varianten. Zu 80% sind dies, von CH<sub>4</sub> abgesehen, direkte Emissionen. Außer bei NO<sub>x</sub> kommt er in diesen Kategorien allerdings auch nur auf Werte, die höchstens knapp besser sind als die der Pkw (1P). Das Regio-Shuttle ist außerhalb des Ausbildungsverkehrs sehr schlecht ausgelastet, zumal seine Kapazität beibehalten wird, d.h. es fährt den ganzen Tag über in Doppeltraktion. Der Bus stellt hier die dem Fahrgastaufkommen besser angepaßte Kapazität zur Verfügung.

Bei CO ist die P+R-Variante (Otto-Pkw) am ungünstigsten, der Bus kommt auf Werte, die bei der Hälfte der Werte der beiden anderen ÖV-Varianten, allerdings immer noch über denen des Diesel-Pkw (1P) liegen.

Die P+R-Variante (Diesel-Pkw) ist bei den Partikeln die ungünstigste Variante, gefolgt von P+R mit Otto-Pkw und der Bus+Regio-Shuttle-Variante. Der Bus ist hier auch das günstigste ÖV-Verkehrsmittel, kommt aber auch nur auf Werte im Bereich der Pkw (2P).

Lediglich bei VOC und Benzol bleibt der Otto-Pkw (1P) das ungünstigste Verkehrsmittel aufgrund der Infrastrukturbereitstellung (VOC) und der Energiebereitstellung (Benzol). Die Bus+Regio-Shuttle-Kombination liegt knapp 50% über den VOC-Werten des Busses. Lediglich bei Benzol kommen die beiden Varianten auf dasselbe Ergebnis.

Allerdings bleiben auch hier die Pkw (4P) immer die günstigsten Verkehrsmittel.

## **Ausbildung-MODELLRECHNUNG (nach Entstehungskomponenten)**

### **/ Ausbildung-MODELLRECHNUNG (nach Verkehrsmitteln)**

Im Fall Ausbildung, bei dem der ÖV seine besten Auslastungsgrade verzeichnet, liegen beide reinen ÖV-Varianten bei den meisten Wirkungskomponenten gleichauf. Dies gilt für Energieverbrauch, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und Partikel.

Bei allen Komponenten, außer NO<sub>x</sub>, sind die Abstände zu den P+R-Varianten deutlich. Bei NO<sub>x</sub> ist der Bus 20% günstiger als die Bus+Regio-Shuttle-Kombination, dafür sind seine CO-Werte um 20% höher. Die Pkw (4P) bleiben hier allerdings am günstigsten.

Bei VOC und Benzol erreicht der Bus Werte, die ca. doppelt so hoch sind, wie die der Bus+Regio-Shuttle-Kombination. Allerdings sind die Abstände zu den hier jeweils ungünstigsten Verkehrsmitteln, den Varianten an denen Otto-Pkw beteiligt sind enorm. Diese Verkehrsmittel emittieren ein Mehrfaches der reinen ÖV-Varianten.

Einzig bei den Partikeln ist der Bus das günstigste ÖV-Verkehrsmittel und 1,5 (Otto) bzw. 2 mal (Diesel) besser als die Pkw (1P).

### **E-MODELLRECHNUNG (nach Entstehungskomponenten)**

#### **/ E-MODELLRECHNUNG (nach Verkehrsmitteln)**

Bei diesen noch schwächer als im Fall B+A ausgelasteten Fahrtzwecken ist der Bus fast immer günstiger als die übrigen ÖV-Varianten, allerdings meist trotzdem nicht besser als die Pkw (1P). Lediglich bei CO, VOC und Benzol ist der Otto-Pkw (1P) schlechter als der Bus, und ebenfalls nur bei diesen Komponenten kann die Regio-Shuttle-Bus-Kombination leichte bis deutliche (Benzol) Vorteile gegenüber dem Bus verbuchen.

### **F-MODELLRECHNUNG (nach Entstehungskomponenten)**

#### **/ F-MODELLRECHNUNG (nach Verkehrsmitteln)**

Die Ergebnisse des ÖV im abendlichen Freizeitverkehr sind aus ökologischer Sicht sehr schlecht. Nicht ohne Grund wird das Regio-Shuttle um diese Zeit nicht mehr eingesetzt. Der Bus erreicht hier Werte die beim 2-3-fachen der Ergebnisse des Otto-Pkw (1P) liegen, und beim 2-5-fachen der Werte des Diesel-Pkw (1P). Noch schlechter ist die Bilanz bei den NO<sub>x</sub>-Emissionen. Hier emittiert der Bus das 11fache der Menge, die die Pkw (1P) emittieren.

Lediglich bei VOC und Benzol kommt der Otto-Pkw (1P) nahe an das Ergebnis des Busses heran, der aber auch hier immer noch am ungünstigsten ist.

## 7.2.7 Regionalverkehr – Region Stuttgart (Schorndorf/Stuttgart)

### 7.2.7.1 Schorndorf – Stuttgart-Berliner Platz (Relation 11)

Bei dieser Relation werden vier ÖV-Varianten untersucht, wobei zu beachten ist, dass zwischen der S-Bahn und dem Regionalexpress nicht nur Unterschiede bezüglich der eingesetzten Fahrzeuge bestehen, sondern den beiden Fahrten auch ein anderes Betriebskonzept unterliegt. So hält die S-Bahn zwischen Schorndorf und Stuttgart-Hbf an 13 Haltepunkten, während der Regionalexpress nur dreimal hält.

Im Vorlauf zum Schorndorfer Bahnhof wurde eine Variante mit dem Fahrrad untersucht. Diesem wurden keinerlei Energieaufwendungen und Emissionen angelastet, d.h. dass auf die Bilanzierung der Fahrzeugbereitstellung des Fahrrades verzichtet wurde. Das ist natürlich wieder kritisch!

#### B+A (nach Entstehungskomponenten) / B+A (nach Verkehrsmitteln)

Im Fall B+A sind die ÖV-Varianten immer deutlich besser als die Pkw. Lediglich die Pkw (4P) erreichen in einigen Fällen günstigere Werte. Der direkte Vergleich der Betrachtung der reinen S-Bahn-Strecke mit der Regionalexpressstrecke zeigt, dass die Werte der S-Bahn doppelt so hoch sind wie die des Regionalexpress. Allerdings tragen beide Verkehrsmittel bei einigen Wirkungskomponenten nur in verschwindend geringem Umfang zum Gesamtergebnis bei. Der Bus trägt bei NO<sub>x</sub>, Benzol und auch bei CO Teile zum Gesamtergebnis bei, die über seinem Streckenanteil von 10% liegen. Der Anteil der Stadtbahn am Gesamtergebnis kann durchweg vernachlässigt werden.

Bei Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen kommen die S-Bahn-Varianten auf Werte, die leicht über den beiden Pkw (4P) liegen. Der Regionalexpress liegt bei einem Drittel der Werte der S-Bahn. 20-30% des Regionalexpress-Ergebnisses resultieren vom Bus. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sind im Verhältnis dazu bei den elektrisch betriebenen Verkehrsmitteln wieder geringer, da sich hier der in Baden-Württemberg gegebene Atomstromanteil von über 60% bei der Strombereitstellung bemerkbar macht. Dementsprechend ist der Anteil des Busse an den CO<sub>2</sub>-Emissionen höher.

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen der ÖV-Varianten liegen bei der Hälfte der Werte der Pkw (4P) und sind zu 50-70% vom Bus verursacht.

Auch die CO-Emissionen der ÖV-Varianten werden zu 20-30% vom Bus emittiert, allerdings erreichen hier die anderen IV-Verkehrsmittel um ein Vielfaches höhere Werte (z.B. PKW (1P) 18-mal höher).

Die Energiebereitstellung verursacht beim CH<sub>4</sub> über 90% der Emissionen des ÖV. Bei der S-Bahn-Variante teilen sich diese Anteile wie folgt auf: S-Bahn 94%, Bus 6%. Bei der Regionalexpress-Variante verursacht der Bus 16% der Emissionen. Durch diesen hohen Energiebereitstellungsanteil liegen die S-Bahn-Varianten leicht über den Pkw (4P). Am günstigsten sind die Regionalexpress-Varianten.

Bei VOC ist der öffentliche Verkehr klar am günstigsten. Die geringen Mengen, die überhaupt emittiert werden, stammen zu 15-35% vom Bus.

Die Benzol-Emissionen der elektrisch betriebenen Verkehrsmittel sind gering, hier emittiert der Bus über 70% der Gesamtemission, allerdings bleiben die ÖV-Varianten die klar günstigsten Verkehrsmittel.

Wiederum die Energiebereitstellung und auch zu gewissen Teilen die Infrastrukturbereitstellung bringen die Partikel-Emissionen der S-Bahn in die Nähe der Pkw (4P). Die Werte des Regionalexpress sind wiederum ungefähr halb so hoch, was diese Varianten zu den günstigsten macht. Die Anteile des dieselbetriebenen Busses am Gesamtergebnis sind nicht relevant höher als beim Energieverbrauch.

Überraschend ist, dass der sonst beim schienengebundenen Verkehr hohe Einfluss der Infrastrukturbereitstellung hier mit Ausnahme der Partikel, wo der Einfluss aber auch sehr begrenzt bleibt, vernachlässigbar gering ist. Dies zeugt von einer hohen Auslastung dieser Bahnstrecke.

### **F (nach Entstehungskomponenten) / F (nach Verkehrsmitteln)**

Aufgrund der schlechten Auslastung der öffentlichen Verkehrsmittel im abendlichen Freizeitverkehr sind die ÖV-Kombinationen, vor allem jenen mit Busbeteiligung, nun deutlich schlechter. Sie kommen nun auf Werte im Bereich der Pkw (2-3P) bzw. liegen nur noch knapp unter den Pkw (1P) (Energieverbrauch, CH<sub>4</sub>). Der Bus hat nun einen deutlich höheren Anteil am Gesamtergebnis, als es seinem Streckenanteil entspricht.

Der Energieverbrauch der Bus-Kombinationen liegt nur noch knapp unter den Pkw (1P). Die Fahrrad-Kombinationen (Schienenverkehrsmittel mit Fahrrad statt mit Bus im Vorlauf) liegen ca. 20% niedriger und sind somit nur leicht ungünstiger als die Pkw (2P). Wieder begründet durch den hohen Atomstrom-Anteil sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Schienenverkehrsmittel deutlich geringer. Sie liegen bei den Fahrrad-

Kombinationen im Bereich der Pkw (4P). Bei den Bus-Varianten hat der Bus einen Anteil von 40%, wodurch diese Varianten auf Werte im Bereich der Pkw (2P) kommen.

Bei den NO<sub>x</sub>-Emissionen fällt das Ergebnis für den Bus erwartungsgemäß besonders schlecht aus. Während die Fahrrad-Kombinationen sogar noch unter den Werten der Pkw (4P) liegen, und damit die günstigsten Varianten darstellen, sind die Werte der Bus-Kombinationen nur 30% geringer als die der Pkw (1P).

Bei CO kommen die Bus-Kombinationen auf fast doppelt so hohe Werte wie die Fahrrad-Kombinationen, und sind damit schlechter als der Otto-Pkw (4P).

Starke Emissionen bei der Energiebereitstellung führen bei CH<sub>4</sub> dazu, dass nun auch die elektrisch betriebenen Verkehrsmittel einen relevanten Anteil zum Ergebnis beitragen, das bei den Bus-Kombinationen rund 20% unter den Werten des Otto-Pkw (1P) liegt. Die Fahrradkombinationen liegen knapp 20% unter den Bus-Kombinationen.

Bei VOC und Benzol ist der Otto-Pkw (1P) klar das ungünstigste Verkehrsmittel. Der Bus trägt über 40% zum Gesamtergebnis der Buskombinationen bei, wodurch diese allerdings immer noch lediglich auf Werte zwischen den beiden Pkw (4P) kommen. Die Werte der Fahrrad-Kombinationen sind ungefähr halb so hoch.

Bei der Wirkungskomponente Partikel liegen die Bus-Kombinationen 25% unter den Otto-Pkw (1P). Dies ist auf hohe Emissionen aus der Energiebereitstellung für alle ÖV-Verkehrsmittel sowie auf einen hier etwas stärker zu Buche schlagenden Infrastrukturbereitstellungsanteil zurückzuführen. Die Fahrradkombinationen liegen wieder rund 20% unter den Werten der Buskombination, gleichauf bzw. etwas günstiger als die Pkw (2P).

Wiederum interessant ist, dass außer bei CO und Partikeln der Einfluss der Infrastrukturbereitstellung bei den ÖV-Varianten kaum von Relevanz und auch in den genannten Wirkungskomponenten nicht ausschlaggebend ist.

### [B+A-Strommix Deutschland \(nach Entstehungskomponenten\) /](#)

### [B+A-Strommix Deutschland \(nach Verkehrsmitteln\)](#)

Die Betrachtung der Stromerzeugung mit dem Deutschlandmix (ca. 30% Atomstromanteil) bringt keine nennenswerten Unterschiede. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der elektrisch betriebenen Verkehrsmittel steigen etwas an, wodurch die S-Bahn-Bus-Variante nun schlechter ist als die beiden Pkw (4P).



Die einzige weitere Änderung von Relevanz ist bei den Partikeln festzustellen. Die beiden S-Bahn-Varianten, die zuvor mit den Pkw (4P) gleichauf lagen, sind nun leicht ungünstiger. Die günstigsten Verkehrsmittel sind hier immer noch die Regionalexpress-Varianten.

Die NO<sub>x</sub>-Werte der Bus-Kombinationen steigen fast auf das Doppelte, sie bleiben aber günstiger als die Pkw (4P). Der Bus trägt hier mit 30-50% seinen größten Anteil zum Gesamtergebnis bei.

Bei den übrigen Wirkungskomponenten sind unbedeutende Änderungen zu verzeichnen, z.T. auch deshalb, weil das Gesamtergebnis der ÖV-Varianten zuvor schon äußerst gering war im Vergleich zum IV.

### **F-Strommix Deutschland (nach Entstehungskomponenten) /**

### **F-Strommix Deutschland (nach Verkehrsmitteln)**

Im Freizeitverkehr sind durch die Betrachtung des Deutschland-Mixes nur bei einzelnen Komponenten relevante Änderungen festzustellen.

Allerdings steigen die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Buskombinationen um fast 70% und die der Fahrradkombinationen um mehr als das Doppelte, so dass alle ÖV-Varianten nun zwischen den Pkw (2P) und den Pkw (1P) liegen.

Auch die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Schienenverkehrsmittel nehmen um fast das Doppelte zu, so dass der Anteil des Busses am Gesamtergebnis auf 65% sinkt.

Auch bei den Partikeln gibt es Veränderungen. Sie nehmen bei den ÖV-Varianten um 50-60% zu, so dass die Bus-Kombinationen nun ungünstiger sind als der Otto-Pkw (1P).

### **B+A-Strommix NRW (nach Entstehungskomponenten) /**

### **B+A-Strommix NRW (nach Verkehrsmitteln)**

Die Zugrundelegung des Strommixes von Nordrhein-Westfalen (0% Atomstrom) für die Energiebereitstellung führt zu einigen Änderungen in der Reihung der Verkehrsmittel. Dennoch hat der Bus außer bei NO<sub>x</sub> keinen relevanten Anteil am Gesamtergebnis.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der steigen gegenüber dem Baden-Württemberg-Strommix sowohl bei den S-Bahn-Varianten als auch bei den Regionalexpress-Varianten auf das Dreifache. Dies führt dazu, dass die S-Bahn-Varianten nun ungünstiger sind als die



Pkw (4P) und ungefähr im Bereich der Pkw (3P) liegen. Die Regionalexpress-Varianten bleiben günstiger als die Pkw (4P).

Die Partikelemissionen von S-Bahn und Regionalexpress steigen ebenfalls fast um das Dreifache. Die schlechteste ÖV-Variante, die S-Bahn+Bus-Kombination, bei der der Bus jetzt nur noch einen Anteil von 50% hat, liegt nun im Bereich der Pkw (4P).

Auch die Partikelemissionen der Schienenverkehrsmittel steigen auf das Doppelte, so dass die S-Bahn-Varianten nun im Bereich der Pkw (2P) liegen.

### **F-Strommix NRW (nach Entstehungskomponenten) /**

### **F-Strommix NRW (nach Verkehrsmitteln)**

Die Überlagerung des veränderten Strommixes mit dem Effekt der geringen Fahrgastauslastung im abendlichen Freizeitverkehr führt dazu, dass bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen die Bus-Kombinationen nun ungünstiger werden wie die Pkw (1P). Die Fahrradkombinationen liegen knapp unter den Pkw (1P).

Bei NO<sub>x</sub> nehmen die Bus-Kombinationen um rund ein Drittel zu, wodurch sie in den Bereich der Pkw (1P) gelangen. Der Anteil des Busses beträgt hier nun noch 60%. Die Werte der Fahrrad-Kombinationen steigen um das Dreifache und sind nun ungünstiger als die der Pkw (4P).

Auch bei CH<sub>4</sub> steigen die Werte der ÖV-Varianten um 40%, wodurch die Bus-Kombinationen nun auch ungünstiger werden als die Pkw (1P).

Ein ähnlicher Effekt lässt sich bei den Partikeln beobachten, wo die Bus-Kombinationen nun auch über dem Diesel-Pkw (1P) liegen, während die Fahrradkombinationen knapp darunter bleiben.

### **B+A mit ET423 (nach Entstehungskomponenten) /**

### **B+A mit ET423 (nach Verkehrsmitteln)**

Der ermittelte direkte Energieverbrauch der neuen S-Bahn ET423 ist, ähnlich wie bei Relation 03, weniger als halb so hoch wie der Energieverbrauch der alten S-Bahn. Somit ist auch der Gesamtenergieverbrauch fast um die Hälfte geringer als bei den alten Bahnen. Da der Bus, außer bei NO<sub>x</sub>, keine relevanten Anteile zum Gesamtergebnis beiträgt, gilt dies auch für die Fahrrad-Kombinationen. Allerdings muss wiederum darauf hingewiesen werden, dass die verwendeten Herstellerangaben nicht von der DB-Regio überprüft werden konnten.

Der Energieverbrauch der S-Bahn wird zwar geringer, ist aber immer noch um fast 50% höher als derjenige des Regionalexpress. Alle ÖV-Varianten sind nun klar die günstigsten Verkehrsmittel.

Dasselbe gilt für die CO<sub>2</sub>-Emissionen, allerdings aufgrund des hohen Atomstromanteils noch ausgeprägter. Alle ÖV-Varianten sind hier günstiger als die Pkw (4P).

Bei NO<sub>x</sub>, CO, VOC und Benzol können die veränderten Ergebnisse der S-Bahn vernachlässigt werden, da die ÖV-Varianten auch schon zuvor die klar günstigsten Verkehrsmittel waren.

Die CH<sub>4</sub>-Emissionen erfahren einen deutlichen Rückgang (ebenfalls fast um die Hälfte), was dazu führt, dass auch die S-Bahn-Varianten nun günstiger sind als die Pkw (4P).

Auch bei den Partikeln ist ein deutlicher, wenn auch nicht ganz so starker Rückgang zu verzeichnen. Auch hier sind nun alle ÖV-Varianten günstiger als die Pkw (4P).

#### [F mit ET423 \(nach Entstehungskomponenten\) /](#)

#### [F mit ET423 \(nach Verkehrsmitteln\)](#)

Das zuvor im Freizeitverkehr aufgrund der verhältnismäßig schlechteren Auslastung des Regionalexpress relativ ausgeglichene Ergebnis der beiden ÖV-Hauptlaufverkehrsmittel verschiebt sich durch den Einsatz des neuen S-Bahn-Fahrzeugs ET423 deutlich zugunsten der S-Bahn-Varianten.

Der Energieverbrauch der S-Bahn-Kombinationen sinkt nun auf ein Drittel (Bus-Kombinationen) bzw. die Hälfte (Fahrrad-Kombinationen) des Verbrauchs der Regionalexpressvariante ab. Die S-Bahn-Fahrradkombination liegt nun im Bereich der Pkw (3P), die S-Bahn-Bus-Variante liegt im Bereich der Pkw (2P).

Ein ähnlich starker Rückgang zeigt sich bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen, wobei die Fahrrad-S-Bahn-Kombination hier nun klar zum günstigsten Verkehrsmittel wird. Die Bus-Varianten bleiben ungünstiger als die Pkw (4P).

Die Veränderungen bei den Kategorien NO<sub>x</sub>, CO, VOC und Benzol sind nicht relevant.

Die CH<sub>4</sub>-Emissionen sinken bei der S-Bahn-Bus-Kombination um 35%, so dass sie nun im Bereich der Pkw (2P) liegen. Bei den Fahrrad-Kombinationen sinken die Emissionen auf die Hälfte, womit die Fahrrad-S-Bahn-Kombination nur noch wenig ungünstiger ist als die Pkw (4P).

Die Rückgänge bei den Partikel-Emissionen sind ähnlich stark wie bei Energieverbrauch und CH<sub>4</sub>, die S-Bahn-Bus-Kombination kommt damit in den Bereich des Otto-Pkw (2P), die S-Bahn-Fahrrad-Kombination liegt nun gleichauf mit dem Diesel-Pkw (4P).

### **7.2.7.2 Rudersberg – Stuttgart-Berliner Platz (Relation 12)**

Diese Relation unterscheidet sich von der vorherigen lediglich durch unterschiedliche Vorläufe. So wurde zum einen eine reine ÖV-Variante mit dem Regio-Shuttle der WieslautalBahn als Zubringer zum Schorndorfer Bahnhof untersucht, zum andern auch die Möglichkeit des Park+Ride, und zwar sowohl mit einem Otto als auch einem Diesel-Pkw. Im Hauptlauf finden wieder die S-Bahn und der Regionalexpress Berücksichtigung. Der Nachlauf mit der Stuttgarter Stadtbahn zum Berliner Platz ist wiederum in keinem der untersuchten Fälle von Relevanz und wird deshalb nicht weiter diskutiert.

#### **B+A (nach Entstehungskomponenten) / B+A (nach Verkehrsmitteln)**

Allgemein lässt sich sagen, dass die reinen ÖV-Varianten in diesem Fall die günstigsten Verkehrsmittel darstellen. Wieder ist der Unterschied zwischen dem Regionalexpress und der S-Bahn klar zu erkennen. Der Anteil, den das Regio-Shuttle zum Gesamtergebnis beiträgt, ist allerdings weit geringer als der des Busses bei Relation 11. Die ungünstigsten Verkehrsmittel sind fast durchweg die Pkw (1P), bei CO und Benzol übertreffen die Otto-Pkw-P+R-Varianten noch den Diesel-Pkw (1P). Die P+R-Varianten liegen in der Regel etwas ungünstiger als die jeweiligen Pkw (4P).

Die Regionalexpress-Variante verbraucht klar am wenigsten Energie, die S-Bahn-Variante hat einen mehr als doppelt so hohen Energieverbrauch und liegt damit im Bereich der Pkw (4P). Das Regio-Shuttle verursacht in der Regionalexpress-Variante rund ein Drittel, bei der S-Bahn-Variante ein Sechstel des Energieverbrauchs. Die P+R-Varianten liegen 20-80% über den jeweiligen Pkw (4P).

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der elektrisch betriebenen Verkehrsmittel sind beim Vergleich mit dem Pkw wiederum verhältnismäßig geringer als der Energieverbrauch. Somit ist der Wert der S-Bahn-Variante doppelt so günstig wie die der Pkw (4P). Die Regionalexpress-Variante ist entsprechend noch einmal günstiger. Die P+R-Varianten liegen nun im Bereich der Pkw (4P).

Aufgrund des Dieselantriebes wird der überwiegende Teil der NO<sub>x</sub>-Emissionen bei den ÖV-Varianten vom Regio-Shuttle verursacht, womit das Gesamtergebnis bei 60% der Werte der Pkw (4P) liegt. Die P+R-Varianten sind etwas günstiger als die Pkw (4P).

Auch beim CO stammen die überwiegenden Emissionen im ÖV vom Regio-Shuttle, trotzdem sind beide Varianten mit Regio-Shuttle günstiger als der Diesel-Pkw (4P). Das ungünstigste Verkehrsmittel ist wie stets bei CO der Otto-Pkw (1P), gefolgt von den P+R-Varianten mit Otto-Pkw. Die Werte dieser Verkehrsmittel-Varianten sind sechs- bis 10mal höher als die der ÖV-Varianten.

Die Regionalexpress-Variante ist auch bei CH<sub>4</sub> die günstigste, während die S-Bahn-Variante mit den Pkw (4P) gleichauf liegt. Die P+R-Varianten liegen z.T. gleichauf mit den Pkw (4P) bzw. sind bis zu doppelt so ungünstig.

Bei den VOC-Emissionen sind wiederum die reinen ÖV-Varianten die günstigsten Verkehrsmittel. Sie emittieren die Hälfte (S-Bahn-Variante) bzw. lediglich ein Viertel (Regionalexpress-Variante) der VOC-Menge des nächstplatzierten Diesel-Pkw (4P). Die P+R-Varianten liegen leicht über den jeweiligen Pkw (4P). Ungünstigstes Verkehrsmittel ist der Otto-Pkw (1P), der fast das 20- bzw. sogar 40fache der VOC-Menge der reinen ÖV-Varianten emittiert. Der Diesel-Pkw (1P) emittiert ungefähr halb so viel wie der Otto-Pkw (1P).

Bei den Benzol-Emissionen sind die Unterschiede noch größer. Die reinen ÖV-Varianten sind wiederum die günstigsten Verkehrsmittel gefolgt vom Diesel-Pkw (4P), der die fünffache Menge emittiert. Die P+R-Varianten mit Diesel-Pkw sind etwas günstiger als der Diesel-Pkw (1P), während diejenigen mit Otto-Pkw im Bereich des Otto-Pkw (3P) liegen.

Das Bild bei den Partikeln ist aufgrund des verhältnismäßig hohen Ausstoßes des Regio-Shuttles weniger eindeutig. Die Regionalexpress-Variante ist am günstigsten, gefolgt von der S-Bahn-Variante, die allerdings gleichauf mit dem Otto-Pkw (4P) liegt. Etwas höhere Partikel-Emissionen entstehen bei der Fahrt des Diesel-Pkw (4P), die P+R-Varianten liegen nochmals darüber. Drei bis vier mal so hohe Werte verzeichnen wiederum die Pkw (1P), wobei hier der Diesel-Pkw (1P) am ungünstigsten ist.

### [F \(nach Entstehungskomponenten\) / F \(nach Verkehrsmitteln\)](#)

Auch im abendlichen Freizeitverkehr bleiben trotz der geringeren Auslastung der öffentlichen Verkehrsmittel die Pkw (1P) die ungünstigsten Verkehrsmittel. Allerdings hat sich der Abstand beträchtlich verringert. Alle ÖV-Varianten liegen sehr dicht beieinander. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Anteil des Hauptlaufs hier

der. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Anteil des Hauptlaufs hier überwiegt und die Unterschiede, die durch die unterschiedlichen Verkehrsmittel im Vorlauf entstehen, nun von geringerer Bedeutung sind. Dies ist insbesondere im Vergleich mit dem bei Relation 11 im Vorlauf verkehrenden Bus von Interesse. Die ÖV-Varianten liegen bei den meisten Wirkungskomponenten zwischen den Pkw (4P) und den Pkw (1P). Die günstigsten Verkehrsmittel sind fast durchgängig die Pkw (4P).

Die ÖV-Varianten erreichen im Energieverbrauch einen Wert von durchschnittlich 75% der Pkw (1P), bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen sind es atomstrombedingt sogar lediglich 50%. S-Bahn und Regionalexpress haben aufgrund verhältnismäßig geringerer Auslastungen des Regionalexpress nun vergleichbare Werte. Das Regio-Shuttle und die Pkw-Fahrten beim P+R haben am Gesamtergebnis jeweils einen Anteil von 25% (Energieverbrauch) bzw. 50% (CO<sub>2</sub>).

Die NO<sub>x</sub>-Werte der reinen ÖV-Varianten liegen erwartungsgemäß aufgrund des Dieselmotors im Regio-Shuttle höher als die der P+R-Varianten, doch liegen diese immer noch lediglich bei 75% der Pkw (1P).

Auch bei CO zeigt sich das bekannte Bild, dass die Fahrten, an denen Otto-Pkw (1P) beteiligt sind, am ungünstigsten sind. Die ÖV-Varianten sind aufgrund der schlechteren Auslastung nun schlechter als der Otto-Pkw (4P), am günstigsten ist der Diesel-Pkw (4P).

CH<sub>4</sub> zeigt dasselbe Ergebnis wie Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>, die ÖV-Varianten liegen dicht beieinander bei 70% der Werte der Pkw (1P). Die Pkw (4P) sind am günstigsten.

VOC-Emissionen werden wieder überwiegend von den Otto-Pkw verursacht. Die reinen ÖV-Varianten liegen etwas über dem Diesel-Pkw (4P), die P+R-Varianten im Bereich des Otto-Pkw (4P). Die höchsten Emissionen, die bis zum Fünffachen der Werte der ÖV-Varianten reichen, weist der Otto-Pkw (1P) auf.

Bei Benzol liegen die reinen ÖV-Varianten mit dem Diesel-Pkw (4P) gleichauf. Die Werte des Diesel-Pkw (1P) und des Otto-Pkw (4P) sind rund fünfmal höher. Die P+R-Varianten mit Otto-Pkw liegen darüber, die P+R-Varianten mit Diesel-Pkw liegen darunter. Ungünstigstes Verkehrsmittel ist wieder der Otto-Pkw (1P) mit fast fünfmal höheren Emissionen als die zuletzt genannten, somit also mit fast 25mal höheren Emissionen als die günstigsten Verkehrsmittel.

Bei Partikeln ist das Bild recht einheitlich. Alle ÖV-Verkehrsmittel liegen dicht beieinander bei 75% des Wertes des Otto-Pkw (1P) und 55% des Wertes des Diesel-Pkw (1P).

### [B+A mit ET423 \(nach Entstehungskomponenten\) /](#)

#### [B+A mit ET423 \(nach Verkehrsmitteln\)](#)

Durch den Einsatz des neuen S-Bahn-Fahrzeuges ET423 kommt es wie schon in Relation 11 zu einer Halbierung des Energieverbrauchs der S-Bahn. Dies ist nur in einigen Kategorien von Relevanz (Energieverbrauch, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Partikel), da bei den anderen der Anteil der S-Bahn am Gesamtergebnis sehr gering ist.

Der Energieverbrauch der Regio-Shuttle+S-Bahn-Variante reduziert sich somit um 40%, wodurch diese Variante zur zweitgünstigsten nach der Regionalexpress-Variante wird. Die P+R-Varianten sind zwar immer noch ungünstiger als die Pkw (4P), der Abstand hat sich jedoch deutlich verringert.

Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Regio-Shuttle+S-Bahn-Variante reduziert sich lediglich um 30%, da der Anteil der S-Bahn hier von vornherein aufgrund des hohen Atomstromanteils geringer war. Auch war diese Variante zuvor schon günstiger als die Pkw (4P), der Abstand hat sich nun noch vergrößert. Bei den P+R-Varianten bewirkt die neue S-Bahn nun, dass die Diesel-Pkw+S-Bahn-Kombination günstiger ist als der Otto-Pkw (4P) und die Otto-Pkw+Regionalexpress-Kombination.

Die CH<sub>4</sub>-Emissionen reduzieren sich ebenfalls um ca. 30%, wodurch auch hier die Regio-Shuttle+S-Bahn-Variante nun günstiger ist als beide Pkw (4P). Die S-Bahn-P+R-Varianten rücken nahe an die Regionalexpress-P+R-Varianten sowie an die Pkw (4P) heran.

Auch die Partikel-Emissionen der Regio-Shuttle+S-Bahn-Variante gehen um rund 20% zurück, was hier zur Folge hat, dass diese Variante auf Platz zwei vor die Pkw (4P) kommt, und die P+R-Varianten enger zusammen rücken.

### [F mit ET423 \(nach Entstehungskomponenten\) /](#)

#### [F mit ET423 \(nach Verkehrsmitteln\)](#)

Da mit den alten S-Bahn-Fahrzeugen im Freizeitverkehr alle sechs ÖV-Varianten auf hohem Niveau dicht beieinander lagen, wirkt sich das neue S-Bahn-Fahrzeug in den meisten Kategorien deutlich zugunsten der S-Bahn-Varianten aus.

Der Energieverbrauch der drei S-Bahn-Varianten sinkt um ca. 35%, wodurch diese in den Bereich der Pkw (2P) kommen.

Deutliche Verbesserungen für die S-Bahn ergeben sich auch bei CH<sub>4</sub> und Partikeln. Bei diesen Wirkungskomponenten kommen die S-Bahn-Varianten nun auch in den Bereich der Pkw (2P).

### **B+A – EURO4 (nach Entstehungskomponenten)**

#### **/ B+A – EURO4 (nach Verkehrsmitteln)**

Der Rückgang der Energieaufwendungen und Emissionen durch den Einsatz der EURO4-Fahrzeuge entspricht in etwa den Ergebnissen von Relation 09.

Beim Vergleich aller Fahrzeuge untereinander können bei NO<sub>x</sub> vor allem die P+R-Varianten und die Pkw (4P) zu den übrigen ÖV-Varianten aufschließen.

Bei CO verbessern sich die Otto-Pkw stark, an der Reihung ändert sich dadurch aber nichts.

Dasselbe gilt für VOC und Benzol.

### **F – EURO4 (nach Entstehungskomponenten)**

#### **/ F – EURO4 (nach Verkehrsmitteln)**

Im Fall F verbessern sich die Pkw bei NO<sub>x</sub> nun so sehr, dass bei dieser Wirkungskomponente die reinen ÖV-Varianten zum ungünstigsten Verkehrsmittel werden. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass das Regio-Shuttle mangels Daten nicht nach EURO4 variiert wurde.

Bei CO können nun auch die P+R-Varianten mit Otto-Pkw zu den reinen ÖV-Varianten aufschließen.

### 7.2.7.3 S-West – Rudersberg (Relation 13)

#### S (nach Entstehungskomponenten) /

#### S (nach Verkehrsmitteln)

Bei der sonntäglichen Wochenendaktivität (Wandern im Welzheimer Wald bei Rudersberg) verkehrt zwischen Schorndorf und Rudersberg ein Regionalbus, da die Wieslaufalbahn am Wochenende nicht verkehrt.

Die ÖV-Varianten haben auf dieser Relation immer geringere Emissionen als die Pkw (1P), aber meist höhere als die Pkw (4P), zumindest als die Diesel-Pkw (4P).

Die ÖV-Varianten haben Energieaufwendungen im Bereich der Pkw (2P), wobei die Regionalexpress-Variante knapp 30% geringere Werte aufweist als die S-Bahn-Variante. Der Bus trägt zum Ergebnis der S-Bahn-Variante 20-25% bei. Dies entspricht auch seinem Anteil an der Wegstrecke (23%).

Bei CO<sub>2</sub> liegen die ÖV-Varianten sehr knapp über den Pkw (4P). Der Anteil des Busses beträgt hier aufgrund des hohen Atomstromanteils der Elektrotraktion mindestens 35-40%.

Bei NO<sub>x</sub> liegen beide ÖV-Varianten nahezu gleichauf und sind etwas schlechter als die Pkw (3P). Für diese Emissionen ist der Bus zu 80% verantwortlich.

Ähnlich, wenn auch nicht ganz so ausgeprägt, verhält es sich bei CO, wo die ÖV-Varianten günstiger als der Otto-Pkw (4P) sind, aber immer deutlich höhere Werte wie der Diesel-Pkw (4P) erreichen.

Bei VOC und Benzol liegen die ÖV-Varianten mit dem Diesel-Pkw (4P) gleichauf. Wiederum stammen 40-50% (VOC) bzw. fast alle Emissionen (Benzol) vom Bus.

Partikelemissionen verursachen die ÖV-Varianten ungefähr so viele wie der Otto-Pkw (2P) und der Diesel-Pkw (3P).



### S mit ET 423(nach Entstehungskomponenten) / S mit ET 423 (nach Verkehrsmitteln)

Durch den Einsatz des neuen S-Bahn-Fahrzeuges ET 423 rücken die ÖV-Varianten eng zusammen, die S-Bahn-Variante ist immer besser, zumindest gleichauf mit dem Regionalexpress.

An der grundsätzlichen Reihung der Verkehrsmittel ändert sich dadurch auf dieser Relation allerdings nichts.

#### **7.2.7.4 Stuttgart – Mannheim (Relation 14)**

### B+A (nach Entstehungskomponenten) / B+A (nach Verkehrsmitteln)

Bei dieser Relation wird deutlich, dass sowohl bei allen untersuchten Fällen als auch bei allen Wirkungskomponenten der Einfluss des Vorlaufs mit der Stadtbahn vernachlässigbar gering ist.

Bei allen Wirkungskomponenten sind die Pkw (1P) klar die ungünstigsten Verkehrsmittel. Die ÖV-Variante kommt in der Regel auf Werte, die in aller Regel nur 20 bis 25% der Werte der Pkw betragen und bei VOC sowie Benzol sogar noch deutlich niedriger liegen.

Bei den Energieaufwendungen kommt der öffentliche Verkehr auf Werte, die im Bereich der Pkw (4P) liegen bzw. sogar leicht ungünstiger sind.

Die CO<sub>2</sub>-Freisetzung des öffentlichen Verkehrs liegt, bedingt durch den Atomstromanteil von rund 60%, ungefähr bei der Hälfte des Wertes des Otto-Pkw (4P). Die Diesel-Pkw haben wie immer einen um rund 10-15% geringeren Energieaufwand als die Otto-Pkw.

Bei NO<sub>x</sub> liegt der öffentliche Verkehr noch günstiger. Durch ihn werden nur rund ein Drittel der Emissionen der Pkw (4P) verursacht. Mehr als die Hälfte entfällt dabei beim öffentlichen Verkehr auf die Infrastrukturbereitstellung.

Die CO- und CH<sub>4</sub>-Emissionen des öffentlichen Verkehrs liegen im Bereich der Werte der Pkw (4P) bzw. leicht darüber (CH<sub>4</sub>).

Die VOC- und Benzol-Emissionen des öffentlichen Verkehrs sind, wie bereits erwähnt, sehr gering. Die VOC-Emissionen liegen bei der Hälfte, die Emissionen bei Benzol bei

lediglich 10% des Wertes des Diesel-Pkw (4P). Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Diesel-Pkw bereits lediglich 40% der VOC-Emissionen und sogar nur 20% der Benzol-Emissionen des Otto-Pkw verursacht.

Bei den Partikeln liegt der ÖV wieder leicht über den Werten des Diesel-Pkw (4P).

Zu bemerken ist, dass der Infrastrukturanteil der Pkw nun auf einen fast verschwindend geringen Anteil geschrumpft ist. Die bisher stark ins Gewicht fallenden Energieaufwendungen und Emissionen aus der Parkplatzbereitstellung werden auf dieser weit längeren Relation unbedeutend. Zudem die Autobahnen, als wesentlicher Bestandteil der Infrastruktur sehr stark ausgelastet sind, was den einer einzelnen Fahrt anzulastenden Anteil ebenfalls verringert.

### **GS (nach Entstehungskomponenten) / GS (nach Verkehrsmitteln)**

Der öffentliche Verkehr erreicht aufgrund der zur Tagesmitte geringeren Auslastung des ICE nun Werte, die rund doppelt so hoch sind wie im Fall B+A. Die Pkw (1P) bleiben allerdings klar die ungünstigsten Verkehrsmittel.

Interessant ist, dass der Energieaufwand und die meisten Emissionen der Pkw gegenüber dem Fall B+A um rund 20% zugenommen haben. Dies ist darauf zurückzuführen, dass aufgrund der hohen Verkehrsstärke im morgendlichen Berufsverkehr auf sehr vielen Streckenabschnitten von gebundenem Verkehr ausgegangen wurde. Dieser verursacht bei den hohen Geschwindigkeiten auf den Autobahnen deutlich geringere Energieaufwendungen als der freie Verkehr, der im Fall GS auf vielen Abschnitten angenommen wurde.

Der öffentliche Verkehr verursacht nun knapp die Hälfte der Energieaufwendungen der Pkw (1P).

Bei CO<sub>2</sub> liegt er im Bereich der Pkw (4P).

Bei CO und Benzol ist der öffentliche Verkehr klar schlechter als die Pkw (4P) und kommt auf Werte im Bereich der Pkw (2-3P). Dasselbe Ergebnis ergibt sich für die Partikel.

Bei VOC und Benzol weist der öffentliche Verkehr nach wie vor die geringsten Emissionen aller Verkehrsmittel auf.

### F (nach Entstehungskomponenten) / F (nach Verkehrsmitteln)

Die im öffentlichen Verkehr vermeintlich schlecht ausgelasteten Fahrten im abendlichen Freizeitverkehr erweisen sich als überraschend stark besetzt. Dies dürfte daran liegen, dass viele Fernreisende erst im Laufe des Abends an ihr Ziel gelangen und so die Züge zumindest auf der Hinfahrt dieser Relation noch sehr hoch ausgelastet sind. So kommt der öffentliche Verkehr nur auf Werte knapp über denen des Falls B+A.

Die Pkw kommen aufgrund von noch mehr Streckenabschnitten mit freiem Verkehr auf Werte, die noch einmal 5% über denen des Falls GS liegen.

In der Gesamtbetrachtung kommen alle Verkehrsmittel auf etwas höhere Werte als im Fall B+A, die Verhältnisse zwischen dem öffentlichen und dem Individualverkehr bleiben allerdings fast gleich.

### B+A mit ICE2 und InterRegio (nach Entstehungskomponenten) / B+A mit ICE2 und InterRegio (nach Verkehrsmitteln)

In dieser Parametervariation der Relation 14 wurden zusätzlich ein ICE2 und ein modifizierter InterRegio-Zug in die Betrachtung miteinbezogen. Der ICE2 besteht aus zwei Halbzügen, die jeder einen Triebkopf besitzen. Um mit dem Inter-Regio dieselbe Sitzplatzanzahl wie der ICE1 zur Verfügung stellen zu können, wurde für die Berechnung ein fiktiver Zug mit 12 Waggons zusammengestellt, da ein InterRegio auf der Strecke Stuttgart-Mannheim normalerweise nur mit 8 Waggons verkehrt.

Grundlegende Unterschiede in der Reihung der Verkehrsmittel ergeben sich durch diese Parametervariation nicht. Die drei ÖV-Varianten liegen meist dicht beieinander.

Lediglich bei den Wirkungskomponenten Energieaufwand, CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> lassen sich etwas deutlichere Unterschiede zwischen den drei Zügen ausmachen.

Der ICE2 kommt auf rund 10-15% höhere Werte als der ICE 1. Zwar ist die Antriebstechnik der beiden Züge nahezu identisch, doch ist der ICE2 etwas schwerer als der ICE1, trotz dessen schwererer Mittelwagen. Der ICE2 hat zwar mehr Sitzplätze, so dass er pro Sitzplatz gerechnet günstiger ist als der ICE1, bei Annahme derselben Fahrgastanzahl ergibt sich aber dieses etwas schlechtere Ergebnis für den ICE2.

Die Werte des InterRegios sind 15-20% geringer als die des ICE1. Dies ist auf die deutlich niedrigere Spitzengeschwindigkeit des InterRegios von 200 Km/h gegenüber 250 Km/h des ICE1 zurückzuführen. Trotz dieser niedrigeren Spitzengeschwindigkeit

und eines zusätzlichen Halts benötigt der real verkehrende InterRegio doch nur 48 Minuten gegenüber 38 Minuten des ICE für die einfache Fahrt.

### **GS mit ICE2 und InterRegio (nach Entstehungskomponenten)**

#### **/ GS mit ICE2 und InterRegio (nach Verkehrsmitteln)**

Die Verhältnisse zwischen den Werten der Züge sind gleich wie im Fall B+A, liegen absolut aber auf höherem Niveau.

Ein Unterschied zum Fall B+A ergibt sich allerdings bei CO und den Partikeln. Bei diesen beiden Wirkungskomponenten wird das Gesamtergebnis von den nicht antriebsbedingten Anteilen bestimmt, vor allem von der Infrastrukturbereitstellung. Diese wird bei allen drei Zügen gleich angelastet. Doch die Komponente der Fahrzeugbereitstellung, die beim InterRegio aufgrund der geringeren Jahresfahrleistung um ein Drittel höher liegt als beim ICE, verschlechtert das Gesamtergebnis für diesen nun so, dass er zumindest bei CO den ungünstigsten Wert der drei Schienenverkehrsmittel erreicht.

### **F mit ICE2 und InterRegio (nach Entstehungskomponenten)**

#### **/ F mit ICE2 und InterRegio (nach Verkehrsmitteln)**

Aufgrund der schon beschriebenen Ähnlichkeit der Ergebnisse von Fall F und Fall B+A im Basisfall ergeben sich aus dieser Betrachtung keine neuen Gesichtspunkte.

### **B+A – EURO4 (nach Entstehungskomponenten)**

#### **/ B+A – EURO4 (nach Verkehrsmitteln)**

Die Betrachtung der EURO4-Pkw bestätigt die bisher schon mit dieser Parametervariation gewonnenen Erkenntnisse. Bei einzelnen Wirkungskomponenten sind beträchtliche Rückgänge zu verzeichnen. Da es sich hierbei jedoch oft um Einzelzuschläge, wie den Kaltstartzuschlag, handelt, wirken sich diese Reduktionen aufgrund der großen Länge dieser Relation nicht mehr so stark aus, so dass sich hier schwächere Rückgänge als bei den zuvor betrachteten Relationen ergeben.

Der Rückgang bei NOx bleibt allerdings bei rund 35%.

Die CO-Emissionen beim Otto-Pkw sinken nun auf 25% des EURO2-Wertes. Seine Benzol-Emissionen reduzieren sich nur noch um 30%, die VOC-Emissionen um knapp über 20%.

Die Benzol- und die Partikel-Emissionen des Diesel-Pkw sinken um knapp 20%.

Die Änderungen bei allen anderen Wirkungskomponenten liegen unter 10%.

An der Reihung der Verkehrsmittel ändert sich durch diese Parametervariation aber nichts, die Pkw (1P) bleiben bei allen Wirkungskomponenten die ungünstigsten Verkehrsmittel. Sie können lediglich den Unterschied zum ÖV verringern.

### GS – EURO4 (nach Entstehungskomponenten)

#### / GS – EURO4 (nach Verkehrsmitteln)

Bei NO<sub>x</sub> liegen nun beide Pkw (4P) durch den Rückgang der Emissionen im Bereich des ÖV. Ansonsten ändert sich nichts Grundlegendes.

### F – EURO4 (nach Entstehungskomponenten)

#### / F – EURO4 (nach Verkehrsmitteln)

Aufgrund der schon beschriebenen Ähnlichkeit der Ergebnisse von Fall F und Fall B+A im Basisfall ergeben sich aus dieser Parametervariation keine neuen Gesichtspunkte.

## **7.2.8 Personenfernverkehr innerhalb Baden-Württembergs**

### **7.2.8.1 Mannheim – Basel**

#### GF

Der ICE erreicht auf dieser Relation ein ungünstigeres Verhältnis zum Individualverkehr als auf der Relation Stuttgart - Mannheim im Fall B+A, der dort die hohe Auslastung repräsentiert. Trotzdem bleiben die Pkw (1P) klar die ungünstigsten Verkehrsmittel.

Die Energieaufwendungen des ICE liegen nun rund ein Drittel über denen des Otto-Pkw (4P). Dies liegt an der zunehmend schlechteren Auslastung des Zuges, je weiter er nach Basel kommt.

Die CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>-, VOC- und Benzol-Emissionen sind zwar immer deutlich geringer als die der Pkw (4P), doch werden bei CO, CH<sub>4</sub> und Partikeln nur noch Werte im Bereich der Pkw (2-3P) erzielt.

#### GS

Die Auslastung des ICE ist bei dieser Fahrt noch einmal schlechter als im beschriebenen Fall GF zwischen Basel und Lindau, so dass der Energieaufwand nun zwischen den Werten der beiden Pkw (2P) liegt.

Bei CO<sub>2</sub> und VOC liegt er mit den Pkw (4P) nun fast gleich auf, die Ergebnisse bei CO, CH<sub>4</sub> und Partikeln sind entsprechend schlechter.

Lediglich bei NO<sub>x</sub> ist der ICE noch knapp, bei Benzol jedoch immer noch deutlich das günstigste Verkehrsmittel.

Bei den Fahrten des IV ist aufgrund der größeren Anteile freien Verkehrsflusses ein um rund 10% höherer Energieaufwand festzustellen. Die meisten Emissionen variieren entsprechend.

### 7.2.8.2 Freiburg i.Br. – Lindau

#### GF (nach Entstehungskomponenten) / GF (nach Verkehrsmitteln)

#### GS (nach Entstehungskomponenten) / GS (nach Verkehrsmitteln)

Bei Relation 14 werden Regionalexpresszüge als Alternative zum Pkw untersucht. Der Abschnitt von Basel bis Lindau ist von besonderem Interesse, da hier der Neigetechnikzug VT611 zum Einsatz kommt. Der Vorlauf mit der Freiburger Stadtbahn tritt beim Gesamtergebnis nie auch nur annähernd in Erscheinung.

Die aus dem von einer E-Lok gezogenen Regionalexpress zwischen Freiburg und Basel und dem dieselgetriebenen VT611 zwischen Basel und Lindau bestehende ÖV-Variante schneidet generell relativ schlecht ab. In Abhängigkeit von der Auslastung ist sie zum Teil schlechter als die Pkw (1P), bei einigen Wirkungskomponenten ist sie sogar immer deutlich schlechter als die Pkw (1P). Dies beruht zu einem großen Teil auf der fast um 50% längeren Wegstrecke des ÖV, auf die bereits in Kapitel 3.3.4.2 eingegangen wurde.

Auch bei dieser sehr langen Relation (die einfache Fahrt dauert bis zu drei Stunden und 45 Minuten) liegen die Zeitfenster nicht klar innerhalb oder außerhalb der Hauptverkehrszeit, so dass beim Fall GS höhere Fahrgastzahlen zu beobachten sind als bei Fall GF, der ja eigentlich die hohe Auslastung repräsentieren soll. Zudem verkehrt im Fall GS als Zubringer zum NeiTech von Freiburg aus ein Regionalexpress, der unterwegs nur zweimal, und nicht wie die sonstigen Züge auf dieser Strecke 10 bis 15 mal, hält. Dies hat natürlich deutlich geringere Energieaufwendungen und Emissionen zur Folge.

Die Energieaufwendungen im Fall GF sind bei der ÖV-Variante knapp am höchsten, wobei hier der elektrisch gezogene Regionalexpress im Verhältnis zum Streckenanteil

doppelt so hohe Werte aufweist wie der NeiTech. Im Fall GS hat der NeiTech aufgrund besserer Fahrgastauslastung um 10% geringere Werte als im Fall GF und der Regionalexpress kommt durch die geringere Anzahl an Zwischenhalten und einer hohen Fahrgastauslastung nur noch auf ein Drittel der vorherigen Werte. So erreicht der öffentliche Verkehr hier ein Gesamtergebnis, das knapp günstiger ist als der Diesel-Pkw (1P). Im GS erreicht der Regionalexpress nun bei den einzelnen Wirkungskomponenten Werte, die seinem Anteil an der Gesamtstrecke entsprechen.

Aufgrund des hohen Atomstromanteils kommt bei GF die ÖV-Variante bei CO<sub>2</sub> in den Bereich des Diesel-Pkw (1P), der Otto-Pkw (1P) ist am ungünstigsten. Bei GS ist die CO<sub>2</sub>-Freisetzung noch etwas geringer, die Pkw (2P) bleiben aber günstiger als der ÖV. Dies ist dadurch begründet, dass beim Energieaufwand der Regionalexpress die größten Rückgänge zu verzeichnen hat, der schon im Fall GF nur für 25% der CO<sub>2</sub>-Freisetzung verantwortlich war.

Bei NO<sub>x</sub> schneidet der öffentliche Verkehr sehr schlecht ab. In beiden untersuchten Fällen sind seine Werte, zu 98% verursacht durch den NeiTech-Dieseltreibwagen, um das Vierfache höher als jene des Individualverkehrs.

Auch bei CO ist der öffentliche Verkehr in beiden Fällen das ungünstigste Verkehrsmittel, wenn auch mit Werten, die lediglich um 50% (GF) bzw. 35% (GS) über denen des Individualverkehrs liegen. Auch für diese Werte ist zu über 90% der NeiTech verantwortlich, wobei allerdings die Infrastrukturbereitstellung den höchsten Anteil am Gesamtergebnis trägt. Am Verhältnis zwischen Otto- und Diesel-Pkw kann man noch einmal klar erkennen, dass auf einer langen Strecke der die kurzen Relationen entscheidende Kaltstartzuschlag nur noch eine untergeordnete Rolle spielt, und sich somit das bei den meisten übrigen Wirkungskomponenten vorherrschende Verhältnis einstellt.

Auch beim wie immer stark von der Energiebereitstellung bestimmten CH<sub>4</sub> liegen die Werte des öffentlichen Verkehrs im Bereich der Pkw (1P) (bei GF knapp über dem Otto-Pkw (1P), bei GS knapp unter dem Diesel-Pkw (1P)).

Lediglich bei VOC und Benzol können die Werte des öffentlichen Verkehrs als gut bezeichnet werden. Sie liegen im Bereich der Otto-Pkw (4P). Der Diesel-Pkw (4) ist allerdings auch hier klar das günstigste Verkehrsmittel.

Bei den Partikel zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim CO, der öffentliche Verkehr ist 50% (GF) bzw. 20% (GS) schlechter als das schlechteste IV-Verkehrsmittel (hier der Diesel-Pkw (1P)). Dies ist zu über 50% durch die Infrastrukturbereitstellung verursacht. Auch die Partikel werden zu über 90% vom NeiTech verursacht. Dies liegt nicht nur am

Dieselmotor liegt, sondern auch an der Infrastrukturbereitstellung, die aufgrund der gegenüber der Strecke Freiburg-Basel geringeren Streckenauslastung, höhere Werte aufweist

## **7.3 Überprüfung des Einflusses der untersuchten Randbedingungen**

Die Reihung der verschiedenen Verkehrsmittel hinsichtlich ihrer umweltrelevanten Wirkungen hängt von einer Reihe von Einflussgrößen ab. In diesem Kapitel werden die Auswirkungen der in der Einleitung angeführten vermuteten Einflussgrößen auf die ermittelten Ergebnisse untersucht und dargestellt. Jede Einflussgröße wird anhand von verschiedenen Relationen, bei denen sie von besonderem Interesse ist, diskutiert. Dabei wird insbesondere die Bandbreite ihres Einflusses dargestellt.

### **7.3.1 Besetzungsgrad der Fahrzeuge**

Der Besetzungsgrad der untersuchten Fahrzeuge ist einer der wichtigsten Einflussfaktoren für das jeweilige Gesamtergebnis. Dies ist schon aus der Berechnungsmethodik ersichtlich. Bei allen vier Entstehungskomponenten wird der jeweils berechnete Wert am Ende durch den Besetzungsgrad des Fahrzeuges geteilt, der dadurch einen großen, direkten Einfluss auf das jeweilige Endergebnis hat.

Um die Auswirkungen der unterschiedlichen, über den Tag verteilten Besetzungsgrade zu untersuchen, sind deren Schwankungen von Interesse. Bei der Beurteilung des Einflusses des realen Besetzungsgrades auf das Gesamtergebnis ist aber immer auch das Verhältnis der Ergebnisse der einzelnen Verkehrsmittel zueinander zu berücksichtigen, da eine große Schwankung des Besetzungsgrades u.U. von geringer Bedeutung ist, wenn einzelne Verkehrsmittel ohnedies die klar günstigeren Werte erreichen. Andererseits kann es natürlich auch dazu führen, dass sich die Reihung der Verkehrsmittel gerade durch diese Schwankung grundsätzlich ändert.

Um die Schwankungen darzustellen, werden im Folgenden die jeweils maximal aufgetretenen Besetzungsgrade als 100% angenommen.

Bei den Pkw-Fahrten ist der Einfluss des Besetzungsgrades trivial. Das untersuchte Maximum liegt bei 4 Personen, das Minimum somit bei 25% dieses Wertes, eben eine



Person. Geht man von einer standardmäßigen Besetzung eines Pkw mit einer Person aus, so kann das Endergebnis durch die Variation des Besetzungsgrades also auf bis zu 25% dieses Wertes gesenkt werden.

Bei den untersuchten Strecken der Stuttgarter Stadtbahn konnte festgestellt werden, dass die Fahrzeuge über den ganzen Tag hinweg relativ gut ausgelastet sind. Die niedrigsten Besetzungsgrade lagen, über die ganze Fahrt betrachtet, im Schnitt bei 40-50% der während der Hauptverkehrszeit angetroffenen Werte. Dies ist zwar keine geringe Schwankung, doch ist die Stadtbahn generell so viel besser als der Pkw, so dass sich hierdurch keine grundsätzliche Änderung der Reihung der Verkehrsmittel ergibt. Ähnlich verhält es sich bei der Freiburger Stadtbahn. Bei den Fahrten im Ballungsraum wirkt sich die Schwankung der tatsächlich vorkommenden Besetzungsgrade also nicht entscheidend auf das Gesamtergebnis aus. Auch die Überlegung, dass für jede hoch ausgelastete Fahrt in der jeweiligen Lastrichtung eine, möglicherweise schwach ausgelastete, Fahrt in der Gegenrichtung nötig ist, die das Gesamtergebnis eventuell relevant verschlechtern könnte, hat sich nicht bestätigt. Im Ballungsraum Stuttgart hat sich gezeigt, dass zu allen untersuchten Zeiten auch die Fahrten auf der zeitgleichen Fahrt in Gegenrichtung wenigstens so gut ausgelastet sind, dass sich dadurch keine relevante Verschlechterung des Ergebnisses ergibt.

Die Stuttgarter S-Bahn weist auf der untersuchten Relation von Schorndorf nach Stuttgart in der abendlichen Nebenverkehrszeit eine Nachfrage auf, die bei 25%, am Sonntag sogar nur bei 20% der im Fall B+A erreichten Werte liegen. Allerdings kann die S-Bahn auf solche Schwankungen in gewisser Weise flexibel reagieren, indem je nach Fahrgastaufkommen ein, zwei oder drei Triebwagen zu einem Kurz-, Voll- oder Langzug kombiniert werden. Die niedrigsten Besetzungsgrade pro Triebwagen sinken so nur noch auf 40-50% der maximalen Werte ab. Trotzdem wird so das in der Hauptverkehrszeit klar günstigste Verkehrsmittel, die S-Bahn, in der Nebenverkehrszeit bei Energieaufwand und CH<sub>4</sub> beispielsweise ungünstiger als ein Pkw mit zwei Personen. Bei den meisten anderen Komponenten werden Werte im Bereich der Pkw mit vier Personen erreicht.

Betrachtet man allerdings nicht nur die S-Bahn, sondern nimmt noch den Schorndorfer Stadtbus im Vorlauf mit hinzu, so verschlechtern sich die Ergebnisse für den öffentlichen Verkehr. Der Stadtbus kommt im abendlichen Freizeitverkehr nur noch auf 15% seines Besetzungsgrades zur Hauptverkehrszeit. Das Verkehrsmittel Bus kann nicht auf diese Schwankungen reagieren, es verkehrt den ganzen Tag über ein Standardlinienbus. Dies führt dazu, dass der Bus, der gemessen an der Transportweite lediglich einen Anteil von 10% an der Gesamtstrecke hat, nun 40% der CO<sub>2</sub> und 80% der NO<sub>x</sub>-

Emissionen zum Gesamtergebnis der Bus+S-Bahn-Variante beiträgt. Bei NO<sub>x</sub> führt dies dazu, dass der ÖV nun schlechter ist als ein mit zwei Personen besetzter Pkw.

Die Wieslaufalbahn, im Zulauf zur S-Bahn, kommt im abendlichen Freizeitverkehr im Schnitt auch nur noch auf eine Nachfrage von 17% des Maximalwertes, doch durch die Variation der Zuglänge von einem bis drei Regio-Shuttle-Triebwagen fällt der Besetzungsgrad pro Triebwagen lediglich auf 25% der Werte der Hauptverkehrszeit ab. Die hohe Auslastung in der Hauptverkehrszeit trotz der Zuglänge von drei Regio-Shuttle-Triebwagen belegt die Attraktivität dieses Verkehrsmittels. So trägt es in der Hauptverkehrszeit lediglich 17% zu den Gesamtenergieaufwendungen bei, obwohl sein Streckenanteil bei 25% liegt. Eben diesen Anteil von 25% am Gesamtenergieaufwand hat es am abendlichen Freizeitverkehr.

Den Extremfall bezüglich der Schwankungen der Besetzungsgrade stellen die untersuchten ÖV-Verbindungen im oberen Donautal von Bärental nach Tuttlingen dar. Die hier verkehrenden Verkehrsmittel Regio-Shuttle und Bus sind im Ausbildungsverkehr zwar sehr hoch ausgelastet, werden ansonsten aber nur wenig bis fast gar nicht genutzt. Auch wird zu allen Tageszeiten dieselbe Fahrzeuggröße verwendet. Das Regio-Shuttle verkehrt aus betrieblichen Gründen den ganzen Tag über in Doppeltraktion. Der immer eingesetzte Standardlinienbus erreicht abends nur noch knapp 4% des maximal vorliegenden Besetzungsgrades. Dies führt dazu, dass der ÖV im Ausbildungsverkehr zwar bessere Werte als der mit vier Personen besetzte Pkw erreicht, bei allen übrigen Fahrten aber stets höchstens gleich gut ist wie der mit einer Person besetzte Pkw. Das Regio-Shuttle ist außerhalb des Ausbildungsverkehrs sogar immer schlechter als der Pkw. Besonders extrem sind die Werte des Busses im abendlichen Freizeitverkehr. Hier erreicht er das drei- bis vierfache der Werte der Pkw (1P), bei NO<sub>x</sub> das Zehnfache.

Ein anderes Beispiel ist allerdings der Bus vom Dorf Schlier nach Ravensburg, der abends zwar auch nur noch rund 15% des maximalen täglichen Wertes erreicht, dies allerdings immer noch auf so hohem Niveau, dass seine Werte (von NO<sub>x</sub> abgesehen) immer noch besser sind, als die eines mit zwei Personen besetzten Pkw.

Der ICE hat auf den untersuchten Strecken Schwankungen des Besetzungsgrades der, ähnlich wie bei der Stuttgarter Stadtbahn, über die verschiedenen Fahrtzwecke betrachtet, relativ ausgeglichen ist. So werden lediglich zur Tagesmitte Energieaufwendungen und Emissionswerte erreicht, die bei etwas unter 50% der maximalen Werte liegen. Damit liegt der ICE Stuttgart-Mannheim mit seinen besten Besetzungsgraden im Ge-

samtergebnis im Bereich der Pkw (4P) bzw. besser. Zu den Schwachlastzeiten kommt er nur noch auf Werte im Bereich der Pkw (2-3P).

### 7.3.2 Unterschiedliche Wegelängen bei verschiedenen Verkehrsmitteln

Ein Argument, das gegen die Verwendung von auf die Verkehrsleistung bezogenen Emissionsfaktoren spricht, sind die unterschiedlichen Wegelängen, die je nach Verkehrsmittel für denselben Transportvorgang von A nach B zurückgelegt werden müssen.

Aus der Betrachtung der in dieser Studie untersuchten Relationen lässt sich folgern, dass die Differenzen der Wegelängen in der Regel eher gering sind (s. Tabelle 7-2). Dies hängt natürlich stark mit der hier getroffenen Auswahl der Relationen zusammen. Doch war die Zielstellung der Studie, wie schon zu Beginn erläutert, eine möglichst hohe Repräsentativität der Relationen für viele Fahrten. Umständlich zu nutzende, in der Praxis auch tatsächlich wenig nachgefragte ‚Über-Eck-Beziehungen‘ schieden daher von vornherein in der Betrachtung aus.

alle Angaben in km (Summe aus Hin und Rück)	Pkw	Stadtbahn (evtl. mit Bus)	S-Bahn (evtl. mit Stadtbahn, Bus, Regio-Shuttle)	Regio-Shuttle/RE (evtl. mit Stadtbahn, Bus)	ICE (evtl. mit Stadtbahn)	Bus	P+R
01 - Stuttgart-Möhringen - S-Berliner Platz	100%	76%					
02 - S-West - S-Möhringen-Freibad	100%	95%					
03 - Leinfelden - S-Hbf.	100%	83%	103%				
04 - Freiburg-Rieselfeld - FR-Zentrum	100%	83%					
05 - FR-Rieselfeld - Schauinsland	100%	96%					
06 - Gottenheim - FR-Zentrum	100%	96%					
07 - Schlier - Ravensburg-Zentrum	100%					100%	
08 - Schlier - Ravensburg-Sport	100%					100%	
09 - Schlier - Friedrichshafen	100%			98%			
10 - Bärental - Tuttlingen	100%			75%		107%	75%
11 - Schorndorf - S-Berliner Platz	100%		121%	121%			
12 - Rudersberg - S-Berliner Platz	100%		111%	111%			107%
13 - Stgt.-West - Rudersberg	100%		107%	107%			
14 - Stuttgart-Mannheim	100%				80%		
15 - Mannheim-Basel	100%				102%		
16 - Freiburg-Lindau	100%			145%			

Tabelle 7-2: Vergleich der Wegelängen der einzelnen Varianten

Doch lassen sich auch an den untersuchten Relationen einige Grundtendenzen klar erkennen.

So sind im Ballungsraum die Wegelängen der Stadtbahnfahrten um ca. 10-20% kürzer als die des Individualverkehrs. Einzig die Stuttgarter S-Bahn verzeichnet bei den Relationen im Ballungsraum eine etwas längere Wegelänge (3%) als der Individualverkehr, was mit den schwierigen topographischen Verhältnissen im Stuttgarter Talkessel zu erklären ist.

Im ländlichen Raum unterscheidet sich die Wegelänge der kurzen Busrelation von Schlier nach Ravensburg überhaupt nicht von der des Individualverkehrs. Nimmt man noch die Bahnstrecke nach Friedrichshafen hinzu, so ergeben sich leichte Vorteile für den öffentlichen Verkehr (um 2% kürzer).

Gravierend ist der Unterschied auf der Strecke Bärenthal-Tuttlingen: Hier hat die Bahn eine um 25% kürzere Wegelänge als der straßengebundene Verkehr. Dies liegt an der Topographie des oberen Donautals. Während die Bahn den direkten Weg entlang des Flusses nimmt, muss der Straßenverkehr eine weite Kehre über eine Anhöhe ausfahren. Zwar ist dieses Beispiel extrem, doch ist es in gewisser Weise bezeichnend für aus dem 19. Jahrhundert stammende Bahntrassierungen, die damals, noch ohne die heutige Straßenkonkurrenz und mit weitaus weniger als den heutigen Zwangspunkten, Linienführungen realisieren konnten, die dem direkten Weg am nächsten kommen. Ebenfalls typisch ist der Vergleich zwischen Bus und Individualverkehr. Die Strecke des Busses ist 7% länger, was damit zu erklären ist, dass der Bus an einigen Stellen die IV-Route verlässt, um abseits gelegene Haltestellen anzufahren, z.B. den Bahnhof Fridingen.

Im Regionalverkehr von Schorndorf/Rudersberg nach Stuttgart lässt sich eine längere Wegelänge des öffentlichen Verkehrs ausmachen (ca. 10-20% länger). Dies kann damit erklärt werden, dass die Bahn systembedingt alle entlang einer Erschließungsachse liegenden Siedlungen anfahren muss, wogegen die Straße teilweise den direkten Weg nehmen kann, da der Individualverkehr keine Anschlussstelle im direkten Siedlungsgebiet benötigt.

Die folgenden, deutlich längeren Relationen 14, 15 und 16 sind differenziert zu betrachten.

Die Relation Stuttgart-Mannheim (Relation 14), die traditionell eine Fernverkehrsrelation ist, aber aufgrund ihrer heutigen, durch die ICE-Verbindung möglich gewordenen Nutzung auch für den täglichen Berufsverkehr in dieser Studie als Regionalverkehrsre-

lation eingestuft wurde, zeigt eine um 20% kürzere Wegelänge für die Bahn. Der Grund dafür ist leicht nachzuvollziehen. Während die Autobahn über Heilbronn führt, um ihrer regionalen Verbindungsfunktion zwischen Heilbronn und Stuttgart gerecht zu werden, wurde die als reine Fernverkehrsverbindung gebaute ICE-Neubaustrecke auf dem direkten Weg durch den Kraichgau gebaut, ohne Heilbronn zu bedienen. Das Ergebnis ist, dass hierdurch die Relation Stuttgart-Mannheim heute als regionale Verbindung angesehen werden kann (ein Beispiel ist der Austausch der Arbeitskräfte der Landesbank Baden-Württemberg zwischen ihren Standorten Mannheim und Stuttgart).

Zwischen Mannheim und Basel (Relation 15) ist die Strecke der Bahn um 2% länger als die des Individualverkehrs. Beide Verkehrsmittel laufen die ganze Zeit über nahezu parallel mit der Folge, dass sich auch die Gesamtstrecke fast nicht unterscheidet.

Den größten Unterschied aller Relationen gibt es bei der Relation Freiburg – Lindau (Relation 16). Hier ist die Weglänge der Bahn um 45% länger als die des Individualverkehrs. Die beiden Verkehrsmittel nehmen auf einem großen Teil der Relation auch völlig unterschiedliche Strecken. Da die Bahnstrecke durch den Schwarzwald über Donaueschingen, parallel zur Straßenverbindung, nur sehr umständlich mit zweimaligem Umsteigen zu befahren ist, wurde die komfortablere und schneller Verbindung über Basel, Bad. Bf. gewählt, auf der, sobald die technischen Probleme behoben sind, die Neigetechnikzüge VT611 verkehren. Diese Verbindung ist schneller, obwohl sie eine deutlich länger Wegstrecke aufweist. Für den IV ist die direkte Verbindung über Titisee-Neustadt zwar auch nicht besonders komfortabel, aber kürzer und nicht schlechter als über die Autobahn bis Basel und dann weiter über die mittlerweile zum Teil zweistreifig fertiggestellte Hochrheinautobahn. Die eher schlechten Ergebnisse des öffentlichen Verkehrs resultieren stark aus dieser Umwegfahrt. Diese Relation zeigt, wie wenig aussagekräftig Vergleiche von rein auf den Personenkilometer bezogenen Emissionsfaktoren sein können, da bei einem derartigen Vergleich hier der öffentliche Verkehr weitaus besser abgeschnitten hätte.

Die Ergebnisse für die untersuchten Relationen zeigen, dass insgesamt der Einfluss der Wegelängen nicht so bedeutend ist, wie zunächst angenommen. Insbesondere die Schienenverkehrsmittel im Ballungsraum haben meist kürzere Wegstrecken als der vergleichbare Individualverkehr. Allerdings können vereinzelt Fälle auftreten, bei denen die Berücksichtigung der Weglänge ausschlaggebend für die Reihung der Verkehrsmittel sein kann.

### 7.3.3 Berücksichtigung von Vor- und Nachläufen mit anderen Verkehrsmitteln

Vor- und Nachläufe, die im gebrochenen Verkehr notwendig sind, um dasjenige Verkehrsmittel zu erreichen, mit dem der größte Teil der Strecke zurückgelegt wird, d.h. die Fahrt zu und von einem bestimmten zu untersuchenden Verkehrsmittel mit einem anderen Verkehrsmittel vom eigentlichen Startpunkt her bzw. zum Zielpunkt hin sind insbesondere bei der Beurteilung von schienengebundenen Verkehrsmitteln von erheblicher Bedeutung. Die Bahnhöfe liegen vor allem im ländlichen Raum häufig peripher, doch auch im städtischen Umfeld liegen in fußläufiger Entfernung vom Bahnhof eines Fernverkehrsmittels selten große Wohnstandorte. Somit sind also bei einer Vielzahl von Relationen andere Verkehrsmittel nötig, die die Verbindung z.B. zum und vom Bahnhof herstellen. Häufig sind dies Busse, in größeren Städten auch Stadtbahnen.

Die Einflüsse dieser Vor- und Nachläufe sollen exemplarisch an den Relationen 11-13 zwischen Schorndorf/Rudersberg und Stuttgart-Berliner Platz dargestellt werden.

Auf der Relation 11 zwischen Schorndorf und Stuttgart erreicht die S-Bahn im Falle B+A leicht höhere Werte der Energieaufwendungen als der mit vier Personen besetzten Pkw. An diesem Ergebnis hat der Schorndorfer Stadtbus, dessen Weglänge ein Zehntel der Strecke der S-Bahn ausmacht, einen Anteil von lediglich 6%.

Dieses Verhältnis ändert sich im schwach ausgelasteten Freizeitverkehr. Der öffentliche Verkehr kommt hier auf Energieaufwendungen, die nur wenig unter denen der mit einer Person besetzten Pkw sind. Der Busvorlauf hat nun einen Anteil von 20%. Bei NO<sub>x</sub> ist der Bus mit einem Anteil von 80% fast der ausschließliche Emittent. Die Variante, in der der Bus durch den umweltfreundlichen Zubringer Fahrrad ersetzt wurde, zeigt dass der öffentliche Verkehr ohne Bus bei NO<sub>x</sub> geringere Werte als der mit vier Personen besetzte Pkw erreicht. Ein Ersatz des Busses in diesem Fall durch ein umweltfreundlicheres Verkehrsmittel würde die Reihung der Verkehrsmittel bei NO<sub>x</sub> also relevant verändern.

Der kurze Nachlauf mit der Stadtbahn in Stuttgart vom Hauptbahnhof zum Berliner Platz kann in sämtlichen untersuchten Fällen völlig vernachlässigt werden. Dies kann als allgemeingültig angesehen werden. Da diese Fahrten meist am Hauptbahnhof beginnen und ihr Ziel (Arbeitsplätze, Einkaufsmöglichkeiten, Freizeitmöglichkeiten) oft schon nach kurzer Fahrt im Innenstadtbereich finden, d.h. Abschnitte mit in der Regel hohen Fahrgastzahlen befahren, sind hier allgemein keine das Ergebnis gravierend verändernden Werte zu erwarten. Dieselbe Aussage kann übrigens auch für den Bahn-

Fernverkehr getroffen werden. Bei keiner der untersuchten Relationen spielte der Vorlauf mit der Stadtbahn eine Rolle.

Auf der Relation 12 von Rudersberg nach Stuttgart hat das Regio-Shuttle auf der WieslautalBahn im Vorlauf zur S-Bahn und dem Regionalexpress einen Streckenanteil von ca. 25% an der Gesamtstrecke. Gemessen daran ist der Anteil des Energieaufwands für den Betrieb des Regio-Shuttle im Vergleich zur S-Bahn im Fall B+A mit 16% sogar geringer.

Doch auch im für den öffentlichen Verkehr oft problematischen Fall F erreicht hier das Regio-Shuttle im Verhältnis zum Streckenanteil Werte, die vergleichbar mit denen von S-Bahn und dem Regionalexpress sind, so dass der öffentliche Verkehr in der Summe immer noch besser als ein mit einer Person besetzter Pkw ist. Lediglich bei den NO<sub>x</sub>-, den VOC- (auch bei Benzol) und den CO-Emissionen steuert das Regio-Shuttle, typisch für einen großen Dieselmotor, relevante Anteile zum Gesamtergebnis bei. Doch bleibt auch bei diesen Komponenten der reine öffentliche Verkehr stets besser als der mit einer Person besetzte Pkw.

Park+Ride macht nach dieser Untersuchung auf der Relation Rudersberg-Stuttgart aus ökologischer Sicht keinen Sinn. Der Pkw als Vorlauf zum Hauptverkehrsmittel S-Bahn oder RE erreicht im Fall B+A in den meisten Kategorien ein mehrfaches der Werte des Regio-Shuttle, doch auch im Fall F sind die Werte des Pkw meist noch höher als die des ÖV-Vorlaufs. Lediglich bei NO<sub>x</sub> erreicht das Regio-Shuttle schlechtere Werte. Die Kaltstartproblematik, d.h. ein großer Teil der Emissionen entsteht während der Warmlaufphase des Motors unabhängig von der Fahrtweite, wird bei der Komponente CO besonders deutlich. Hier sind die Emissionen allein des Pkw-Vorlaufs zum Bahnhof in allen Fällen höher als die Gesamtwerte aller ÖV-Varianten sowie des mit einer Person besetzten Diesel-Pkw. Außerdem müssen natürlich auch einem P+R-Pkw die vollen Infrastrukturaufwendungen von je einem Stellplatz am Startpunkt und am P+R-Parkplatz angelastet werden.

Die Sonntags-Relation 13 von Stuttgart nach Rudersberg zeigt, dass auch im sonntäglichen Freizeitverkehr der Bus Auslastungen erreichen kann, die zumindest bei den Energieaufwendungen zu Ergebnissen führen, die im Verhältnis zum Streckenanteil vergleichbar mit denen der S-Bahn sind. Problematisch bleiben allerdings die NO<sub>x</sub>-Emissionen.

Die untersuchten Relationen zeigen, dass vor allem im abendlichen Freizeitverkehr selbst ein kurzer Vorlauf mit dieselmotorbetriebenen Verkehrsmitteln bei der wichtigen Wirkungskomponente NO<sub>x</sub> einen so starken Einfluss auf das Gesamtergebnis hat,

dass der öffentliche Verkehr auf Werte nahe denen des mit einer Person besetzten Pkw kommt.

#### **7.3.4 Unterschiedliche Betriebszustände zu verschiedenen Tageszeiten**

Eine Fahrt mit einem Pkw von einem Punkt A nach B wird zu unterschiedlichen Tageszeiten in Abhängigkeit von der Verkehrssituation auf den zu befahrenden Straßen mit sehr unterschiedlichen Betriebszuständen des Fahrzeugs erfolgen. So kann in den Abendstunden eine Strecke schnell und ohne Störungen befahrbar sein, zur Hauptverkehrszeit ist die Strecke möglicherweise überlastet und die Fahrzeuge bewegen sich im Stop&Go-Tempo.

Diese unterschiedlichen Verkehrssituationen beeinflussen den Betriebszustand des Fahrzeugs und verändern somit seinen Energieverbrauch und sein Emissionsverhalten. Sie sind beim Vergleich unterschiedlicher Verkehrsmittel daher unbedingt zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass grundsätzlich unterschieden werden muss, ob es zur Hauptverkehrszeit auf einer Fahrt lediglich zu Störungen im Verkehrsablauf kommt oder ob wirklich ein Zusammenbruch des Verkehrsflusses erfolgt, und die Fahrzeuge sich im Stop&Go-Tempo bewegen.

Echte Stop&Go-Verkehrssituationen konnten bei den untersuchten Relationen lediglich bei den Relationen im Ballungsraum festgestellt werden. Dies hatte aber auch erhebliche Auswirkungen.

So ist der Energieaufwand für die Fahrt eines Pkw mit Ottomotor im Ballungsraum Stuttgart von Möhringen zum Berliner Platz (Relation 01) im Fall B+A um mehr als 50% höher also bei der unbeeinflussten Fahrt im Fall F. Die Benzol-Emissionen steigen um ebenfalls 50% und die CO-Emissionen nehmen gar um das Doppelte zu. Bei den Diesel-Pkw steigen der Energieaufwand, die NOx-, Benzol- und Partikel-Emissionen um rund 20%. Die CO-Emissionen nehmen ebenfalls um mehr als das Doppelte zu.

Im Raum Freiburg sind die Stauzustände nicht so stark ausgeprägt, so dass hier der Energieaufwand für die Fahrt eines Pkw mit Otto-Pkw vom Stadtteil Rieselfeld ins Zentrum im Fall B+A lediglich um 20% höher liegt als im Fall F. Die Benzol-Emissionen steigen ebenfalls um ca. 20%, während die NOx-Emissionen fast gleich bleiben. Die CO-Emissionen steigen um 30%. Bei den Diesel-Pkw sind die Zuwächse wiederum etwas geringer. Energieaufwand, NOx- und Benzolemissionen steigen um rund 15%,



die Partikel-Emissionen um 25%. Die CO-Emissionen nehmen allerdings, basierend auf einer geringen Ausgangsgröße, um mehr als das Dreifache zu.

Auf den Relationen im ländlichen Raum sowie im Regionalverkehr sind die Steigerungen deutlich geringer, teils, weil auch in der Hauptverkehrszeit der Verkehrsablauf nicht so gestört ist wie im Ballungsraum (dies trifft auf den ländlichen Raum zu), teils weil durch die deutlich längeren Relationen ein kurzer Stop&Go-Abschnitt weniger stark ins Gewicht fällt (Regionalverkehr). So steigt der Energieaufwand für die Fahrten beider Pkw im Raum Ravensburg/Friedrichshafen im Fall B+A lediglich um rund 10-15% gegenüber Fall F, die NOx-Emissionen steigen noch weniger, Benzol nimmt um bis zu 30% zu. Lediglich beim Otto-Pkw steigen die CO-Emissionen wieder um mehr als 50%.

Im Raum Tuttlingen und für die Fahrten von Schorndorf/Rudersberg nach Stuttgart sind die Schwankungen nochmals geringer.

Bei den Autobahn sind es weniger die Stop&Go-Abschnitte, die sich stark auf das Gesamtergebnis auswirken, als vielmehr der Unterschied zwischen gebundenem und freiem Verkehr bei hohen Geschwindigkeiten.

Bei der Fahrt von Stuttgart nach Mannheim wurden sowohl bei der Fahrt zwischen 6:30 Uhr und 8:00 Uhr als auch bei der Fahrt zwischen 9:30 Uhr und 11:00 Uhr keine Stop&Go-Situationen vorgefunden. In beiden Fällen wurden auf den meisten Abschnitten Geschwindigkeiten über 120 km/h angenommen. Die Fahrten unterscheiden sich lediglich dadurch, dass die frühere Fahrt überwiegend mit gebundenen, die spätere mit freien Verkehrszuständen berechnet wurde.

Der Pkw mit Otto-Motor hat dabei bei der Fahrt im gebundenen Verkehr einen um ca. 30 % geringeren Energieaufwand als bei der Fahrt im freien Verkehr. Die NOx-Emissionen reduzieren sich um mehr als 40%, die Benzolemissionen um 20% und die CO-Emissionen immer noch um 10%.

Bei Diesel-Pkw liegen die Reduktionen für alle Wirkungskomponenten zwischen 10 und 20 %.

Ein weiterer interessanter Effekt ist, dass Diesel-Fahrzeuge, die in der Regel um 10-20% geringere Energieaufwendungen haben, im gebundenen Verkehr von ihrem Vorsprung einbüßen. In Ausnahmen verbrauchte der Otto-Pkw hier sogar weniger als der Diesel-Pkw.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass unterschiedliche Betriebszustände der Straßenfahrzeuge zu starken Schwankungen der Energieaufwendungen und Emis-

sionen führen können, hauptsächlich beim Vorliegen von Stop&Go-Verkehrssituationen. Diese Verkehrssituationen traten allerdings nur in den Ballungsräumen auf, wo der öffentliche Verkehr ohnehin bereits einen deutlichen Vorsprung vor dem Individualverkehr hat. Im ländlichen Raum ist der Einfluss der unterschiedlichen Betriebszustände geringer, wodurch sich auch hier die Reihung der Verkehrsmittel durch die unterschiedlichen Verkehrssituationen nicht entscheidend ändert.

### **7.3.5 Einfluss der Energiebereitstellung**

Die vorgelagerten Prozesse, die notwendig sind, um die Energie einem Verkehrsmittel vor Ort zur Verfügung zu stellen, verursachen z. T. erhebliche zusätzliche Energieaufwendungen und Emissionen. Hierbei ist grundsätzlich zu unterscheiden, ob das Verkehrsmittel durch die Verbrennung von Mineralölprodukten (Benzin, Diesel) oder mit elektrischer Energie betrieben wird.

Mit Mineralölprodukten betrieben werden in dieser Studie sowohl die Verkehrsmittel des Individualverkehrs (Pkw mit Otto- oder Diesel-Motor), als auch die mit Diesel betriebenen ÖV-Verkehrsmittel Bus, Dieseltriebwagen (Regio-Shuttle, NeiTech) und diesellokbespannter Zug.

Der sog. kumulierte Energieaufwand, also die Menge an Energie, die in einen Prozess Eingang finden muss, damit nach Abzug aller Verluste am Ende des Prozesses die notwendige direkte Energie am Fahrzeug zur Verfügung steht, liegt bei Benzin und Diesel lediglich um 23% (Benzin) und 33% (Diesel) über dem direkten Energieaufwand.

Bei Fahrten mit Benzin-Pkw machen somit die Energieaufwendungen, die im Laufe des Prozesses der Energiebereitstellung anfallen, knapp 20% des Gesamtergebnisses aus. Bei Diesel-Pkw-Fahrten beträgt dieser Anteil lediglich 12-13%. Zwar ist der kumulierte Energieaufwand für die Dieselpreparierung höher, der Diesel-Motor selbst benötigt allerdings weniger Energie als der Otto-Motor. Da die Aufwendungen für die Infrastruktur- und Fahrzeugbereitstellung aber gleich hoch sind nimmt der Anteil der Energiebereitstellung am Gesamtergebnis ab.

Weitere nennenswerte Einflüsse der Energiebereitstellung von Benzin und Diesel auf das Gesamtergebnis bei Pkw werden nachfolgend diskutiert.

Bei den Pkw mit Otto-Motor beträgt der Anteil der im Zuge der Energiebereitstellung freigesetzten  $\text{NO}_x$ -Emissionen 30-40% des Gesamtergebnisses. Dies führt dazu, dass ein Pkw mit Otto-Pkw trotz geringerer direkter  $\text{NO}_x$ -Emissionen im Gesamtergebnis in der Regel mehr, zumindest aber gleichviel  $\text{NO}_x$ -Emissionen verursacht wie ein Pkw mit

Dieselmotor. Beim Diesel-Pkw beträgt der Anteil der Energiebereitstellung lediglich rund 20% des Gesamtergebnisses.

Von besonderem Interesse ist die Energiebereitstellung bei CH<sub>4</sub>. Bei diesem klimawirksamen Schadstoff beträgt der Anteil der während der Energiebereitstellung anfallenden Emissionen beim Otto-Pkw 60%, beim Diesel-Pkw 50% und ist somit in beiden Fällen die wichtigste Entstehungskomponente.

Weiterhin hat die Energiebereitstellung einen hohen Anteil am Gesamtergebnis des Otto-Pkw bei den Benzol-Emissionen, wo sie rund 35% beträgt. Dieser Anteil ist jedoch differenziert zu betrachten, da der Schadstoff Benzol lediglich lokal, d.h. direkt am Emissionsort, Wirkungen zeigt.

Bei mit Diesel betriebenen Bussen liegt der Anteil des durch die Energiebereitstellung zusätzlich verursachten Energieaufwandes bei 15% des Gesamtergebnisses. Er ist damit höher als bei Diesel-Pkw. Dies liegt an den geringeren Fahrzeugbereitstellungswerten des Busses gegenüber denen des Pkw. Bei NO<sub>x</sub> spielt die Energiebereitstellung aufgrund der hohen direkten Emissionen von Dieselmotoren bei Nutzfahrzeugen nur eine untergeordnete Rolle (unter 10%). Anders jedoch bei CH<sub>4</sub>. Hier dominiert der Energiebereitstellungsanteil mit 80% das Gesamtergebnis. Auch bei VOC ist dieser Anteil mit 50-60% der größte.

Beim Regio-Shuttle haben die durch die Energiebereitstellung verursachten Emissionen einzig bei den CH<sub>4</sub>-Emissionen (40%) sowie bei den VOC-Emissionen (50%) nennenswerte Anteile am Gesamtergebnis.

Bei den mit elektrischer Energie betriebenen Verkehrsmitteln (Stadtbahnen, S-Bahn, RE, ICE) ist die Berücksichtigung der Energiebereitstellung von weit höherer Bedeutung. Hier muss das 3,6 bis 3,9fache der Energie, die später direkt am Fahrzeug benötigt wird, zu Beginn des Prozesses als Primärenergie aufgewendet werden. Somit betragen die Energieaufwendungen während des Prozesses der Energiebereitstellung also das 2,6 bis 2,9fache der direkt am Fahrzeug benötigten Energie.

Die Energiebereitstellung hat somit bei den Energieaufwendungen der Stuttgarter und Freiburger Stadtbahnen einen Anteil von 60% am Gesamtergebnis. Bei der Stuttgarter S-Bahn und dem in der Region Stuttgart untersuchten Regionalexpress liegt der Anteil sogar bei fast 70%. Am Gesamtergebnis des ICE beträgt der Energiebereitstellungsanteil 60%.

Der Anteil der Energiebereitstellung am Gesamtergebnis der einzelnen Emissionen hängt sehr stark von den zur Stromherstellung verwendeten Primärenergieträgern ab. Für die Stuttgarter Stadtbahn wurde ein Kernenergieanteil von 90% berücksichtigt. Die übrigen elektrisch betriebenen Verkehrsmittel wurden mit dem für Baden-Württemberg üblichen Kernenergieanteil von knapp 60% berechnet. Um den Einfluss der unterschiedlichen Energiebereitstellung zu verdeutlichen, wurden die Verkehrsmittel im Raum Stuttgart zusätzlich in einer Parametervariation mit dem durchschnittlichen Strommix von Deutschland (knapp 30% Kernenergieanteil) und dem Strommix von Nordrhein-Westfalen (keine Kernenergie) berechnet. Der jeweils nicht aus Kernkraft gewonnene Energieanteil wird fast ausschließlich aus Kohle gewonnen. Die einzigen nennenswerten weiteren Energieträger sind Wasser (Baden-Württemberg: 9%) und Erdgas (D und NRW: ca. 7,5%).

Direkte Emissionen entstehen bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen keine. Somit können die Emissionen der Energiebereitstellung nur in Relation zur Infrastruktur- und Fahrzeugbereitstellung gesetzt werden.

Der Energiebereitstellungsanteil an der gesamten CO<sub>2</sub>-Freisetzung beträgt bei der Stuttgarter Stadtbahn knapp 20%, bei der Freiburger Stadtbahn 60%. Dieser große Unterschied ist vor allem auf den Unterschied im Atomstromanteil zurückzuführen, aber auch auf die weit weniger aufwendige Freiburger Infrastruktur (keine Tunnel). Bei der Stuttgarter S-Bahn und dem untersuchten Regionalexpress liegen diese Anteile bei 70 bis 90%, beim ICE bei 65%.

Bei NO<sub>x</sub> liegt der Energiebereitstellungsanteil bei der Stuttgarter S-Bahn bei 75%, beim Regionalexpress bei 50 bis 60% und beim ICE bei 45%. Bei der Stuttgarter Stadtbahn beträgt er wiederum lediglich 10-20%.

Von größter Bedeutung ist die Energiebereitstellung bei CH<sub>4</sub>. Bei der Stuttgarter S-Bahn und beim Regionalexpress erreicht dieser einen Anteil von über 80%. Dies führt dazu, dass die S-Bahn bei schwach ausgelasteten Fahrten auf einigen Relation im Gesamtergebnis auf Werte vergleichbar denen des Pkw (1P) kommt. Beim ICE liegen diese Anteile bei knapp 70%.

Auch bei den Partikeln ist die Energiebereitstellung von großer Bedeutung. Knapp 60% beträgt der Anteil bei der Stuttgarter S-Bahn und beim Regionalexpress. Beim ICE macht die Energiebereitstellungskomponente lediglich ein Drittel aus.

Durch die Variation des Strommixes verändern sich die einzelnen durch die Energiebereitstellung verursachten Emissionen jeweils wie in Tabelle 7-3 angegeben (jeweils bezogen auf die Werte des Deutschland-Strommixes – Kernenergieanteil 30%).

	Kernenergieanteil			
	90%	60%	30%	0%
	S	B-W	D	NRW
CO <sub>2</sub>	9%	43%	100%	154%
NO <sub>x</sub>	11%	38%	100%	152%
CO	27%	61%	100%	132%
CH <sub>4</sub>	15%	90%	100%	133%
VOC	16%	90%	100%	130%
Benzol	27%	73%	100%	91%
Partikel	13%	50%	100%	152%

Tabelle 7-3: Emissionen durch Energiebereitstellung bei verschiedenen Strommixen

Bei der Stuttgarter Stadtbahn ist der Unterschied zwischen dem realen Strommix (90% Kernenergie) und den Variationen (30%, 0% Kernenergie) so groß, dass es bei den Fahrtzwecken in den Nebenverkehrszeiten zu einer solchen Verschlechterung des Ergebnisses bei CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und Partikeln kommt, dass die Stadtbahn auf Werte im Bereich der Pkw (4P) kommt bzw. sogar noch schlechter wird.

Bei der Stuttgarter S-Bahn (60% Kernenergie) ist der Unterschied nicht so groß. Jedoch kommt auch hier die S-Bahn, die zuvor bei den klimarelevanten Komponenten CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> klar günstiger war als die Pkw (4P), ohne Kernenergie nur noch auf Werte im Bereich der Pkw (3P) und schlechter. Bei den Partikeln liegen die Werte sogar bei den Pkw (2P).

Zum Einfluss Energiebereitstellung kann festgestellt werden, dass bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen dies die entscheidende Einflussgröße ist. Deshalb ist der Strommix von großer Bedeutung. Für eine Reduktion der klimawirksamen Emissionen muss darauf geachtet werden, dass bei einem Ersatz von Atomenergie durch Alternativen, dies nicht durch den in Deutschland momentan einzigen weiteren relevanten Energieträger Kohle erfolgen sollte.

### 7.3.6 Einfluss der Fahrzeugbereitstellung und der Infrastrukturbereitstellung

Bezüglich des Einflusses der Fahrzeug- und der Infrastrukturbereitstellung, also der nicht antriebsbedingten Energieaufwendungen und Emissionen, können zwei grundsätzliche Effekte festgehalten werden.

Im schienengebundenen öffentlichen Verkehr überwiegen die Energieaufwendungen für die Infrastrukturbereitstellung die der Fahrzeugbereitstellung in der Regel um das Zwei- bis Vierfache. Dies ist leicht nachzuvollziehen, da ein Fahrzeug des öffentlichen Verkehrs normalerweise von morgens bis abends im Einsatz ist, also zumindest zeitlich sehr gut ausgelastet ist, wogegen die Trassen der Schienenverkehrsmittel insbesondere im Vergleich zu Straßen nur relativ gering ausgelastet sind.

Im Straßenverkehr, und zwar sowohl im Individualverkehr als auch im mit Bussen durchgeführten öffentlichen Verkehr dominiert bei den Energieaufwendungen die Fahrzeug- über die Infrastrukturbereitstellung, und zwar in der Regel um das Vierfache. Dieser Wert kann auf Relationen, bei denen die Infrastruktur durchgängig eine hohe Auslastung aufweist, aber auch auf das Acht- bis Zehnfache ansteigen. Auch dies ist leicht nachzuvollziehen. Ein Pkw ist im Durchschnitt schlecht ausgelastet und steht den größten Teil des Tages. Straßen sind dagegen meist sehr hoch ausgelastet. Gerade in Ballungsräumen befinden sich viele Straßen an der Leistungsfähigkeitsgrenze, so dass auch in den Nebenverkehrszeiten hohe Verkehrsstärken beobachtet werden können.

Einen nennenswerten Anteil zur Infrastrukturbereitstellung des Individualverkehrs trägt allerdings die Bereitstellung der Stellplätze für das Abstellen des Pkw an der Quelle und am Ziel bei. So entfällt bei den Fahrten im Raum Stuttgart ca. die Hälfte der Infrastrukturaufwendungen des Individualverkehrs auf die Stellplätze, vor allem, weil davon ausgegangen wird, dass der Pkw am Ziel im Zentrum von Stuttgart in einer Tiefgarage oder einem Parkhaus abgestellt wird.

Auf den betrachteten Langstreckenrelationen (z.B. Stuttgart-Mannheim, hin und zurück 286km) fallen diese Aufwendungen für Stellplätze weit weniger ins Gewicht, so dass hier die Infrastrukturbereitstellung sogar auf ein Zwanzigstel der Fahrzeugbereitstellung sinkt.

Bei Bussen ist das Verhältnis zwischen Fahrzeug- und Infrastrukturbereitstellung ähnlich.

Der Anteil der nicht antriebsbedingten Energieaufwendungen beträgt bei Fahrten mit dem Otto-Pkw 20-25% am Gesamtergebnis, bei Diesel-Pkw aufgrund des geringeren direkten Energieverbrauchs 30-35%. Bei den Bussen liegt dieser Anteil zumeist unter 10%.

Nachfolgend werden diejenigen nicht antriebsbedingten Emissionen der Pkw diskutiert, die von besonderer Bedeutung sind.

Die CO-Emissionen aus der Fahrzeugbereitstellung tragen bei den Pkw einen großen Teil zum Gesamtergebnis bei. Bei Pkw mit Otto-Motor ist dieser Anteil aufgrund der hohen CO-Emissionen beim Kaltstarteffekt eher geringer, kann bei längeren Fahrten (ab ca. 60km) aber bis zu 35% ausmachen. Bei Diesel-Pkw kommen knapp 70% der CO-Emissionen aus der Fahrzeugbereitstellung.

Die CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Fahrzeugbereitstellung tragen bei Pkw mit Otto-Motor 35%, bei Diesel-Pkw sogar 45% zum Gesamtergebnis bei.

Auch die Partikel-Emissionen sind bei den nicht antriebsbedingten Emissionen von großer Bedeutung. Bei Otto-Pkw kommen 60%, bei Diesel-Pkw 50% des Gesamtergebnisses aus der Fahrzeugbereitstellung.

Bei Bussen spielen die nicht antriebsbedingten Wirkungskomponenten meist eine eher geringe Rolle. Lediglich bei Fahrten mit sehr geringen Auslastungen ist die Fahrzeugbereitstellung von Bedeutung für die Energieaufwendungen (10%), die CH<sub>4</sub>-Emissionen (20%) und die Partikel-Emissionen (30%).

Bei den untersuchten Stadtbahnsystemen haben die nicht antriebsbedingten Energieaufwendungen einen Anteil von 15-20% am Gesamtergebnis, bei der Stuttgarter S-Bahn sind es, aufgrund der hohen Auslastung, lediglich 5-10%.

Bei den untersuchten Regio-Shuttle-Strecken sind die Ergebnisse sehr unterschiedlich. Bei der Breisgau-S-Bahn in Freiburg haben die nicht antriebsbedingten Energieaufwendungen einen Anteil von 35%, bei der Gaisbockbahn zwischen Ravensburg und Friedrichshafen sind es aufgrund der deutlich höheren Streckenauslastung lediglich 10-12%. Hier fahren neben den Regio-Shuttles auch Regionalexpress- und Inter-Regio-Züge.

Die nicht antriebsbedingten Energieaufwendungen der untersuchten ICE-Fahrten sind ebenfalls gering. Sie liegen zwischen 15 und 20%.

Bei der Stuttgarter Stadtbahn überwiegen aufgrund des hohen Anteils von emissionsarmem Atomstrom bei allen Emissionen die nicht antriebsbedingten Anteile. Dadurch werden bei den CO-, CH<sub>4</sub>- und Partikelemissionen Werte erreicht, die für den Vergleich der Gesamtergebnisse ohne nennenswerten Einfluss. Vor allem bei den Partikelemissionen, bei denen die Infrastrukturbereitstellung 75% am Gesamtergebnis ausmacht, erreicht die Stadtbahn auf der Relation Leinfelden-Berliner Platz im Fall E dadurch Werte im Bereich der Pkw (2P) und darüber.

Bei der Stuttgarter S-Bahn ist der Anteil der nicht antriebsbedingten Emissionen schon allein aufgrund der höheren Emissionen aus der Energiebereitstellung deutlich geringer. Bei CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> beträgt der Anteil 10%, bei NO<sub>x</sub> sind es 25%. Einzig bei CO steigt der Anteil auf über 80%. Dadurch liegt hier die S-Bahn im Fall F im Bereich der Pkw (4P).

Der Regionalexpress weist generell etwas höhere Anteile der nicht antriebsbedingten Emissionen auf, die aber zu keinem grundsätzlich anderen Ergebnis führen.

Die Regio-Shuttle-Verbindungen Breisgau-S-Bahn und Wieslaufalbahn weisen vor allem bei den CH<sub>4</sub>- (60%), den CO- und den Partikelemissionen (80-85%) einen relevanten Anteil der nicht antriebsbedingten Entstehungskomponenten am Gesamtergebnis auf.

Beim ICE ist der Anteil der nicht antriebsbedingten Emissionen bei der Wirkungskomponente CH<sub>4</sub> (30%) und den Partikelemissionen (66%) zwar geringer, doch entfallen 95% der CO-Emissionen auf diese Entstehungskomponente. Bei allen drei Wirkungskomponenten stammen diese Anteile fast ausschließlich aus der Infrastrukturbereitstellung.

### **7.3.7 Variation der verwendeten Fahrzeuge**

#### **7.3.7.1 ET423 statt ET420 bei der Stuttgarter S-Bahn**

Das mittlerweile in Stuttgart und einigen anderen deutschen Städten eingesetzte neue S-Bahn-Fahrzeug ET423 benötigt für den Betrieb nach den Berechnungen im Rahmen dieser Studie deutlich weniger Energie als das bisher verwendete Fahrzeug ET420. Auf den untersuchten Relationen Leinfelden-Hauptbahnhof und Schorndorf-Hauptbahnhof ergab sich eine Ersparnis von rund 55%.

Diese deutliche Energieeinsparung ist zum einen auf das wesentlich geringere Gewicht des ET423 zurückzuführen. Zudem sind der Luftwiderstand und der Zuschlag für die rotierende Masse geringer. Ebenso haben die moderneren Motoren des ET423 einen höheren Wirkungsgrad. Ein weiterer, vor allem für die Region Stuttgart mit ihren topographisch bedingten großen Höhenunterschieden sehr wichtiger Aspekt, ist die Möglichkeit der Rückspeisung von Bremsenergie ins Netz, die beim ET420 nicht vorhanden ist.



Die Auswirkungen dieser technischen Verbesserungen zeigen sich bei der Betrachtung des Streckenabschnitts zwischen den Haltestellen Schwabstraße und Universität, auf dem auf einer Länge von 5km rund 200m Höhenunterschied überwunden werden müssen. Bei der Bergfahrt benötigt der ET423 rund 25% weniger Energie als der ET420. Bei der Talfahrt führt die Energierückspeisung dazu, dass der ET423 doppelt so viel Energie ins Netz zurück speist, wie der ET420 auf derselben Fahrt benötigt.

Da ein elektrisch betriebenes Fahrzeug natürlich keine direkten Emissionen verursacht, wirkt sich dieser geringe Energieverbrauch besonders bei den Wirkungskomponenten mit hohem Energiebereitstellungsanteil aus. CO<sub>2</sub> entsteht somit deutlich weniger, bei einem geringeren Atomstromanteil und entsprechend mehr Energie aus Kohle wird dieser Effekt umso deutlicher. Dies gilt ebenfalls für die klimawirksamen CH<sub>4</sub>-Emissionen.

### 7.3.7.2 EURO4-Pkw und –Busse statt EURO2-Pkw und –Busse

Die Untersuchung modernerer Antriebskonzepte bei den Straßenfahrzeugen (EURO4) zeigt zum Teil beträchtliche Rückgänge bei den untersuchten Wirkungskomponenten. Allerdings geht ein großer Teil der Rückgänge auf die Verminderung von einmalig anfallenden Zuschlägen (Kaltstartzuschlag, hot soak losses etc.) zurück, so dass diese Effekte umso weniger ins Gewicht fallen, je länger die Fahrtstrecke ist.

Große Rückgänge sind bei den NO<sub>x</sub>-Emissionen zu verzeichnen. Diese Emissionen reduzieren sich bei allen betrachteten Pkw um rund 35% im Gesamtergebnis, bei kurzen Strecken bis zu 45%. Da einem Bus geringere nicht antriebsbedingte Entstehungskomponenten angerechnet werden, wirkt sich hier die Entwicklung beim Antriebskonzept umso stärker aus. So sind Rückgänge bei den NO<sub>x</sub>-Emissionen um **über 40%** zu erkennen.

Die massive Reduktion des Kaltstarteffekts lässt die CO-Emissionen des Otto-Pkw stark sinken. In Abhängigkeit von der Länge der Relation beträgt dieser Rückgang 25 - 50% des EURO2-Wertes.

Die VOC- und die Benzolemissionen reduzieren sich bei den Otto-Pkw ebenfalls in Abhängigkeit von der Fahrtweite um 20 - 30% (VOC) und 30 - 40% (Benzol).

Die Verringerung der Partikelemissionen fällt im Gesamtergebnis aufgrund des hohen Anteils nicht antriebsbedingter Komponenten deutlich schwächer aus, als es der Rückgang der direkten Emissionen zunächst erwarten lässt. So gehen diese direkten

Emissionen bei Diesel-Pkw um 60% und bei Bussen um über 80% zurück, im Gesamtergebnis ergeben sich allerdings lediglich Reduktionen um 20%.

Energieaufwendungen und CO<sub>2</sub> reduzieren sich lediglich bei kurzen Strecken um 20-30%, bei den längeren untersuchten Relationen liegt die Minderung bei unter 10%.

### **7.3.7.3 ICE2 und modifizierter InterRegio-Zug statt ICE1**

Der Einsatz eines ICE2 auf der Strecke Mannheim-Stuttgart führt zu rund 10-15% höheren Energieaufwendungen als beim ICE1. Zwar benötigt der schwerere ICE2 pro Sitzplatz weniger Energie, doch besitzt er auch mehr Sitzplätze, so dass bei gleicher Fahrgastzahl der ICE1 in der Summe weniger Energie pro Fahrgast benötigt.

Der InterRegio als Ersatz des ICE, mit einer langsameren Reisegeschwindigkeit und damit einer um rund 20% längeren Fahrtzeit benötigt 15-20% weniger Energie bei einer vergleichbaren Sitzplatzanzahl.

## **7.4 Fazit**

### **7.4.1 Aussagen im Vergleich Individualverkehr/öffentlicher Verkehr**

Im Ballungsraum kann uneingeschränkt festgestellt werden, dass der öffentlichen Nahverkehr mit den untersuchten elektrisch betriebenen Stadtbahnsystemen klar das umweltfreundlichste Verkehrsmittel darstellt. Die Besetzungsgrade sind auch in den Nebenverkehrszeiten so hoch, dass Pkw mit dem maximalen Besetzungsgrad allenfalls gleichwertige Ergebnisse erzielen können. Beim Vergleich der Emissionen verstärkt der hohe Kernenergieanteil bei der Stromherstellung noch das positive Ergebnis des öffentlichen Verkehrs. Da in Stuttgart der Kernenergieanteil noch höher ist, tritt dieser Effekt in Stuttgart stärker in Erscheinung als in Freiburg.

Im Regionalverkehr ist ebenfalls der S-Bahn- und Regionalexpress-Hauptlauf des öffentlichen Verkehrs zu den Hauptverkehrszeiten klar das günstigste Verkehrsmittel. In den Nebenverkehrszeiten, z.B. am Abend, ist sein Ergebnis zwar deutlich schlechter, doch muss der Pkw mit zwei bzw. drei Personen besetzt sein, um auf vergleichbare Werte zu kommen.

In ländlichen Gebieten, aber auch am Rande des Ballungsraums und der Region Stuttgart erfolgt die Flächenerschließung meist mit Bussen. Mit den tagsüber meist üblichen hohen Besetzungsgraden ist der Bus günstiger als der Pkw. Im abendlichen Freizeitverkehr sind die Fahrzeugauslastungen zum Teil jedoch so gering, dass der mit einer Person besetzte Pkw ökologisch klar besser ist. Der Bus kommt teilweise auf das Zehnfache der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Pkw. Doch auch Schienenverkehrsmittel können bei geringer Auslastung deutlich ungünstigere Ergebnisse als der mit einer Person besetzte Pkw erzielen.

Schienengebundene Verkehrsmittel können Schwankungen der Besetzungsgrade allerdings z.T. durch eine Anpassung der Gefäßgröße ausgleichen (Einfach- statt Doppel- oder Dreifachtraktion bei Triebwagen). Der Standardlinienbus stellt jedoch auf vielen Strecken das kleinste verwendete Fahrzeug dar, das auch verkehrt, wenn ein Pkw zum Transport der Fahrgäste ausreichen würde.

Aus ökologischen Gründen können Busfahrten mit sehr geringen Besetzungsgraden nicht gerechtfertigt werden. Vielmehr sollte darüber nachgedacht werden, wie solche Buskurse zu den Nebenverkehrszeiten durch Fahrten mit dem Fahrgastaufkommen angepassteren, kleineren Fahrzeugen ersetzt werden können. Flexible ÖV-Bediensysteme (Rufbus, Anrufsammeltaxi) können ebenfalls eine Maßnahme sein, um das Ergebnis des öffentlichen Verkehrs zu verbessern, zumal durch die große Verfügbarkeit von Kommunikations- und Mobilitätsdienstleistungen der Zugang zu diesem Verkehrssystem heute deutlich erleichtert ist.

Aber auch im Individualverkehr gibt es Möglichkeiten, durch geeignete verkehrsplanerische Maßnahmen, die umwelt- und klimarelevanten Wirkungen des Verkehrs zu vermindern. Die durchgängige Betrachtung des mit vier Personen besetzten Pkw, der an den täglich im Individualverkehr durchgeführten Fahrten einen zugegebenermaßen eher geringen Anteil hat, mag im ersten Moment eher ungewöhnlich, ja unnötig erscheinen. Macht man sich allerdings bewusst, bei wie vielen der untersuchten Fälle der mit vier Personen besetzte Pkw (und hier speziell der Diesel-Pkw) bei fast allen Wirkungskomponenten das günstigste Verkehrsmittel ist, wird die Wichtigkeit von Maßnahmen zur Erhöhung des Besetzungsgrades (z.B. dynamische Mitfahrzentralen) deutlich.

Im Fernverkehr ist der untersuchte ICE in allen Fällen klar besser als der mit einer Person besetzte Pkw. Bei schwach ausgelasteten Fahrten des ICE kann der mit vier Personen besetzte Pkw allerdings auf ähnliche Werte kommen.

Jedoch kann auch auf längeren Relationen je nach untersuchter Strecke und dabei eingesetzter Technik der schienengebundenen öffentlichen Verkehrs durchaus

schlechter sein als der mit einer Personen besetzte Pkw. Ein Beispiel hierfür ist die untersuchte Strecke Freiburg-Lindau, wo sich dies bei der Wirkungskomponente NO<sub>x</sub> besonders deutlich zeigt.

#### **7.4.2 Aussagen im Vergleich öffentlicher Verkehr/öffentlicher Verkehr**

Beim Vergleich der ÖV-Verkehrsmittel im Regionalverkehr bzw. beim Verkehr im ländlichen Raum untereinander kann festgestellt werden, dass bei einer entsprechenden Nachfrage schienengebundene Verkehrsmittel äußerst umweltfreundliche Verkehrsmittel sind. Der Vergleich zwischen Bus und Schiene ist nur begrenzt möglich, weil die Randbedingungen hinsichtlich der Fahrgastzahlen zum großen Teil unterschiedlich sind. Bei geringer Fahrgastnachfrage und niedrigen Besetzungsgraden ist der Bus in der Regel günstiger als die Schiene. Schienenverkehrsmittel benötigen höhere Fahrgastzahlen und sind vor allem dann als günstiger zu beurteilen, wenn eine stärkere Verlagerung von Fahrgästen vom Individualverkehr auf den schienengebundenen öffentlichen Verkehr zu erwarten ist, als im rein mit dem Bus betriebenen öffentlichen Verkehr.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis der Studie ist, dass im Vergleich zwischen Bus und Bahn die Fahrzeugtechnik eine große Rolle spielt. So sind moderne Dieseltriebwagen, die durch den Einsatz von Lkw-Motoren nicht nur Herstellungskosten sparen, sondern auch von der weiter entwickelten, emissionsmindernden Lkw-Motorentechnik profitieren, dem Bus, allerdings nur bei entsprechender Auslastung der Bahn, absolut vergleichbar.

Das Hauptproblem aller dieselbetriebener Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr, unabhängig ob Straße oder Schiene, sind allerdings die extrem hohen NO<sub>x</sub>-Emissionen. Selbst wenn die ÖFFENTLICHEN VERKEHRS-Varianten klar günstigere Werte bei Energieaufwendungen und CO<sub>2</sub> verzeichnen können, sind ihre Ergebnisse bei den NO<sub>x</sub>-Emissionen meist schlechter. Auch die direkten Partikelemissionen sind bei diesen Fahrzeugen sehr hoch. Dies wird sich durch die Einführung modernerer Antriebskonzepte (EURO3, EURO4) aber beträchtlich verbessern.

Auch elektrisch betriebene Schienenfahrzeuge besitzen, wie die Dieseltriebwagen, ein beachtliches Verbesserungspotential im technischen Bereich. So benötigt das neue S-Bahn-Fahrzeug ET423 in Stuttgart aufgrund eines geringeren Gewichts, geringerer Luft- und Rollwiderstände und vor allem aufgrund der im bewegten Gelände der Region Stuttgart besonders relevanten Technik der Bremsenergieerückspeisung lediglich halb so viel Energie, wie die bisherigen ET420.

Allerdings sind auch beim Individualverkehr weitere Verbesserungen zu erwarten (EURO3, EURO4), so dass fahrzeugtechnische Verbesserungen im öffentlichen Verkehr dringend nötig sind, will er seinen momentanen Vorsprung im Wettbewerb um das umweltfreundlichste Verkehrsmittel erhalten.

#### **7.4.3 Aussagen im Vergleich Individualverkehr/Individualverkehr**

Beim Vergleich der beiden Pkw untereinander zeigt sich, dass der Diesel-Pkw grundsätzlich rund 25% weniger Energie benötigt als der Otto-Pkw. Dies wirkt sich natürlich direkt auf die entsprechende CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus. Zwar emittiert der Diesel-Pkw mehr NO<sub>x</sub> und wesentlich mehr Partikel, doch gleichen sich durch die Berücksichtigung der vorgelagerten Prozesse diese Ergebnisse stark an. Der Diesel-Pkw emittiert bei allen übrigen Emissionen klar, zum Teil beträchtlich weniger als der Otto-Pkw. Der Otto-Pkw ist durch den Kaltstarteffekt Hauptemittent von CO. Ebenfalls sind seine VOC-Emissionen doppelt so hoch, die Benzol-Emissionen sogar um ein Mehrfaches höher als die des Diesel-Pkw.

Durch moderne Fahrzeugkonzepte (EURO3, EURO4) werden sich die Emissionen der heute noch problematischen Schadstoffe NO<sub>x</sub>, Partikel, Benzol, VOC und CO (aus dem Kaltstarteffekt) allerdings deutlich reduzieren.

Der Energieverbrauch und somit die klimawirksame Freisetzung von CO<sub>2</sub> werden sich allerdings nur geringfügig verringern. Die technischen Fortschritte in der Fahrzeugentwicklung werden sogar zu großen Teilen durch höhere Motorleistungen, ein höheres Gewicht bei Neuwagen und die verstärkte Verwendung von Klimaanlage kompensiert. Somit wird sich das Hauptinteresse zukünftiger Betrachtungen der Umweltbilanz auf die CO<sub>2</sub>-Freisetzung und ursächlich damit zusammenhängend auf den Energieverbrauch richten.

#### **7.4.4 Aussagen aus der Berücksichtigung der vorgelagerten Prozesse**

Bei den elektrisch betriebenen Fahrzeugen muss angemerkt werden, dass für die Gesamtbilanz der umwelt- und klimarelevanten Wirkungen die vorgelagerten Prozesse der Energiebereitstellung entscheidend sind. So wird bei der Berechnung der S-Bahn-Fahrten mit einem Atomstromanteil von 30% (Deutschlandmix) doppelt so viel des klimawirksamen Gases CO<sub>2</sub> freigesetzt, wie bei der Berechnung mit dem in Baden-Württemberg vorherrschenden Atomstromanteil von knapp 60%. Bei einem völligen Verzicht auf Kernenergie würde sogar die dreifache Menge CO<sub>2</sub> freigesetzt. Es ist also zu berücksichtigen, dass ein Ausweichen von Atomstrom auf Strom aus Kohlekraftwer-

ken (Kohle und Kernkraft sind die einzigen relevanten Energieträger in Deutschland, alle übrigen haben im höchsten Fall jeweils einen Anteil von 10%) beträchtliche klimaschädigende Wirkungen nach sich zöge.

Allgemein sind die vorgelagerten Prozesse der Energie-, Infrastruktur- und Fahrzeugbereitstellung oftmals von entscheidender Bedeutung für das Gesamtergebnis. So haben bei den Pkw die Partikelemissionen aus der Fahrzeugbereitstellung den mit Abstand größten Anteil am Gesamtergebnis. Dies hat zur Folge, dass der Otto-Pkw, der direkt überhaupt deutlich weniger Partikel emittiert, im Gesamtergebnis nur geringfügig weniger Partikelemissionen verursacht als der Diesel-Pkw. Ähnlich verhält es sich bei NO<sub>x</sub> und CO, bei denen ebenfalls die Emissionen aus der Fahrzeugbereitstellung einen beträchtlichen Anteil am Gesamtergebnis ausmachen. Bei den schienengebundenen Verkehrsmitteln sind die Emissionen aus der Infrastrukturbereitstellung wichtiger als jene aus der Fahrzeugbereitstellung. Bei CO und Partikeln können diese auf schwach ausgelasteten Strecken bis zu 50% des Gesamtergebnisses ausmachen. Bei der Beurteilung dieser Emissionen ist allerdings zu berücksichtigen, dass CO und Partikel ausschließlich lokal wirksame Emissionen sind, so dass in vorgelagerten Prozessen emittiertes CO oder Partikel andere Folgen nach sich ziehen als direkt im Straßenraum auftretende Emissionen.

Anders verhält es sich bei CH<sub>4</sub>. Das Gesamtergebnis der CH<sub>4</sub>-Emissionen wird fast ausschließlich von der Energiebereitstellung bestimmt. Die direkten Emissionen spielen hier praktisch keine Rolle. Da CH<sub>4</sub> aber ein stark klimawirksames, also global wirkendes Gas ist, sind diese indirekten Emissionen in ihrer Wirkung gleich wie die direkten Emissionen zu beurteilen.

## 7.5 Schlussbemerkung

In dieser Studie wurde an einer Vielzahl von Einzelbeispielen unter zusätzlicher Berücksichtigung von Energie-, Infrastruktur- und Fahrzeugbereitstellung untersucht, welches Verkehrsmittel unter unterschiedlichen Randbedingungen das umweltfreundlichste ist. Die allgemein vertretene These, wonach der öffentliche Verkehr umweltfreundlicher als der Individualverkehr ist, hat sich in vielen Fällen bestätigt.

Es gibt aber eine Reihe von Randbedingungen mit beträchtlichen Auswirkungen auf das Gesamtergebnis, durch die der öffentliche Verkehr deutlich ungünstiger hinsichtlich seiner umwelt- und klimarelevanten Wirkungen als der Individualverkehr wird. Dies ist vor allem bei geringen Auslastungen im ländlichen Raum der Fall.

Die Ursachen hierfür liegen teils im fahrzeugtechnischen, teils im verkehrsplanerischen Bereich, einige aber auch in vorgelagerten Prozessen, wie der Energiebereitstellung. Für einige wurden Maßnahmen aufgezeigt, mit denen die entscheidenden Schwachstellen beseitigt werden können.

Die Ergebnisse eignen sich allerdings nur als Basis für die Beurteilung umweltrelevanter Wirkungen verkehrsplanerischer Entscheidungen. Sie können nicht als Entscheidungshilfe für den einzelnen Nutzer bei der Suche nach dem für ihn aktuell umweltfreundlichsten Verkehrsmittel verstanden werden.

Diese Studie zeigt neue und bestätigt auch alte Trends bezüglich der Reihung der Verkehrsmittel hinsichtlich ihrer Umweltfreundlichkeit. Bemerkenswert sind allerdings die z.T. sehr geringen Abstände zwischen den Ergebnissen der einzelnen Verkehrsmittel und die immer wieder vorkommenden Ausnahmen. Sie sollten dazu anregen, in der Diskussion um das richtige, umweltfreundlichste Verkehrsmittel weniger vorschnell allgemein verbreitete Meinungen zu vertreten, sondern von Fall zu Fall den Einfluss der hier untersuchten Faktoren zu bedenken.

## 8 Literatur- und Kartenverzeichnis

### 8.1 Literaturverzeichnis

BECKER U., F. RICHTER (1998): Die neuen Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr: Was können Sie damit tun und was dürfen Sie damit keinesfalls tun?. - Straßenverkehrstechnik 11/98, 578 – 585.

BLIEFERT, C. (1997): Umweltchemie.- 2. Aufl., 510 S. Wiley-VCH, Weinheim

BRAUER, H. (Hrsg.) (1996): Emissionen und ihre Wirkungen. – 1. Aufl., 842 S. Springer, Berlin; Heidelberg; New York – In: BRAUER, H.; (Hrsg.) (1996-1997): Handbuch des Umweltschutzes und der Umwelttechnik, Bd. 1. Springer, Berlin; Heidelberg; New York

BUNDESVERKEHRSMINISTERIUM [Hrsg.] (1992): Bericht über die Kosten der Wege des Eisenbahn-, Straßen- und Binnenschiffsverkehrs in der Bundesrepublik Deutschland. Deutsches Institut für Wirtschaftsförderung, - In: Beiträge zur Strukturforchung, Heft 134.

FIEDLER J. (1991): Grundlagen der Bahntechnik, Eisenbahnen, S-, U- und Straßenbahnen. - 3. Auflage, Düsseldorf.

FRIEDRICH R., W. KREWITT (1997): Umwelt- und Gesundheitsschäden durch die Stromerzeugung. - Springer, Berlin, Heidelberg.

FRIEDRICH, R., R. KRÜGER, B. WICKERT, J. KÜHLWEIN (2000): Luftschadstoffemissionen des Straßen- und Luftverkehrs - In: Arbeitsgruppe Luftreinhaltung der Universität Stuttgart - ALS; (Hrsg.): ALS Jahresbericht 2000; Stuttgart, 2001, (in Vorb.)

FRISCHKNECHT R. et al. (1996): Ökoinventare für Energiesysteme, Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. - 3. Auflage, ETH Zürich.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (1995): Climate Change 1995 – IPCC Second Assessment Report. - 63 S., IPCC, Genf



KULL, U. (2000): Wirkung von Stickoxiden auf die Vegetation. - In: Arbeitsgruppe Luftreinhaltung der Universität Stuttgart - ALS; (Hrsg.): ALS Jahresbericht 2000; Stuttgart, 2001, (in Vorb.)

LAFFONT, S. et al. (1998): Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1998 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen. - In: Berichte der Bundesanstalt für das Straßenwesen – Verkehrstechnik, Heft V73, Wirtschaftsverlag NW, Bergisch Gladbach, 1999

LANDESAMT FÜR STRASSENWESEN, BADEN WÜRTTEMBERG (1999): Automatische Straßenverkehrszählungen in Baden-Württemberg, Ergebnisse Jahr 1999.

MAIBACH M. et al. (1995): Ökoinventar Transporte, Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen. - 1. Auflage, INFRAS AG, Bern.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR DAS STRAßENWESEN (1996): RAS-Q - Richtlinie für die Anlage von Straßen, Teil Querschnitte. - 146 S., FGSV Verlag, Köln.

SCHULZ, T., A. BRANDT (1998): Emissionsmodellierung des mit Verbrennungsmotoren betriebenen Schienenverkehrs. – EI-Eisenbahningenieur (49) 5/98, 60-65

STEKELER, J. (1996): Ermittlung des kumulierten Energieaufwands und der kumulierten Emissionen der Infrastruktur- und der Fahrzeugbereitstellung im Güterverkehr. Arbeitspapier. Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart

STEIERWALD G. et al. (1994): Verkehr, Systemvergleich für unterschiedliche Prozessabläufe und Transportketten hinsichtlich des Energieeinsatzes und klimarelevanter Emissionen im Güterverkehr. - In: Studienprogramme der Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages, Band 4/II, Teilstudie C, Economica-Verlag, Bonn.

UMWELTBUNDESAMT (1995): Handbuch für Emissionsfaktoren. - Version 1.1. INFRAS AG, Bern

UMWELTBUNDESAMT (1999): Handbuch für Emissionsfaktoren. - Version 1.2. INFRAS AG, Bern

VDEW-Statistik (1995): Leistung und Arbeit. - Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m.b.H. - VVEW, Frankfurt.

VERKEHRSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1995): Generalverkehrsplan Baden-Württemberg 1995. 191 S. Selbstverlag, Stuttgart

VWEW [Hrsg.] (1997): Die Elektrizitätswirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland 1995, 47. Bericht. - Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m.b.H. – VWEW, Frankfurt.

WENDEHORST, R. (1994): Bautechnische Zahlentafeln. - 26. Auflage, Teubner, Stuttgart

WIRTSCHAFTSMINISTERIUM [Hrsg.] (1998): Energiebericht'97. - Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart.

## **8.2 Kartenverzeichnis**

LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, Amtliche Topgraphische Karten, CD-ROM (Abbildung 3-5, Abbildung 3-6, Abbildung 3-7, Abbildung 3-8, Abbildung 3-9)

LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, Straßenbauamtskarte Donaueschingen (Abbildung 3-10)

LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, Straßenbauamtskarte Schorndorf (Abbildung 3-3, Abbildung 3-11, Abbildung 3-12, Abbildung 3-13)

RVA-VERLAG, Euro-Stadtplan Freiburg i. Br. (Abbildung 3-4)

STADTMESSUNGSAMT STUTTGART, Amtliche Stadtkarte Landeshauptstadt Stuttgart (Abbildung 3-1, Abbildung 3-2)

TELEATLAS, Intelligent Maps (Abbildung 3-14, Abbildung 3-15, Abbildung 3-16)



# **Systematischer Vergleich konkreter Fahrten im Personenverkehr im Hinblick auf umwelt- und klimarelevante Wirkungen verschiedener Verkehrsmittel**

## **Anhang**

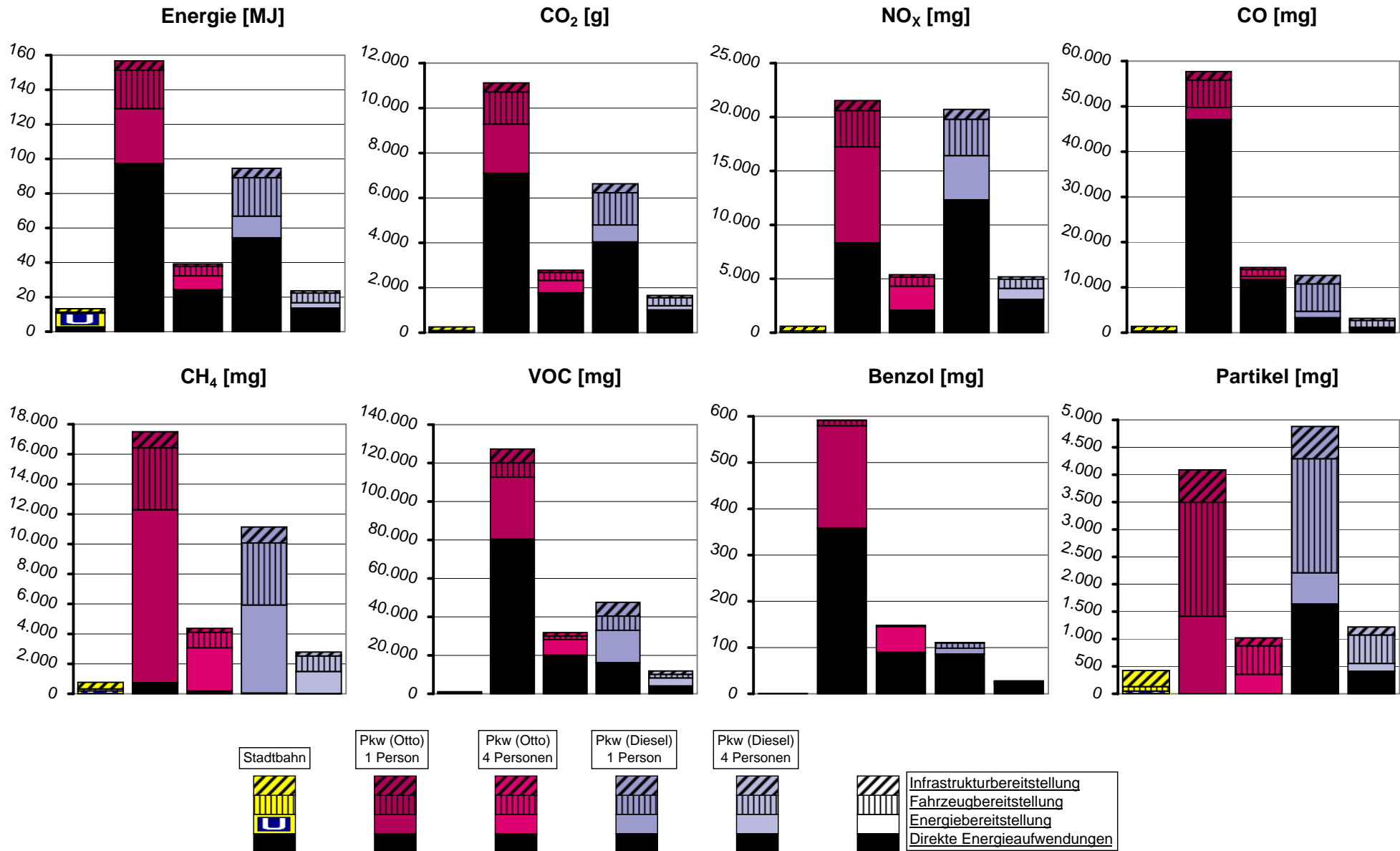
### **Diagramme**

### **Tabellen**

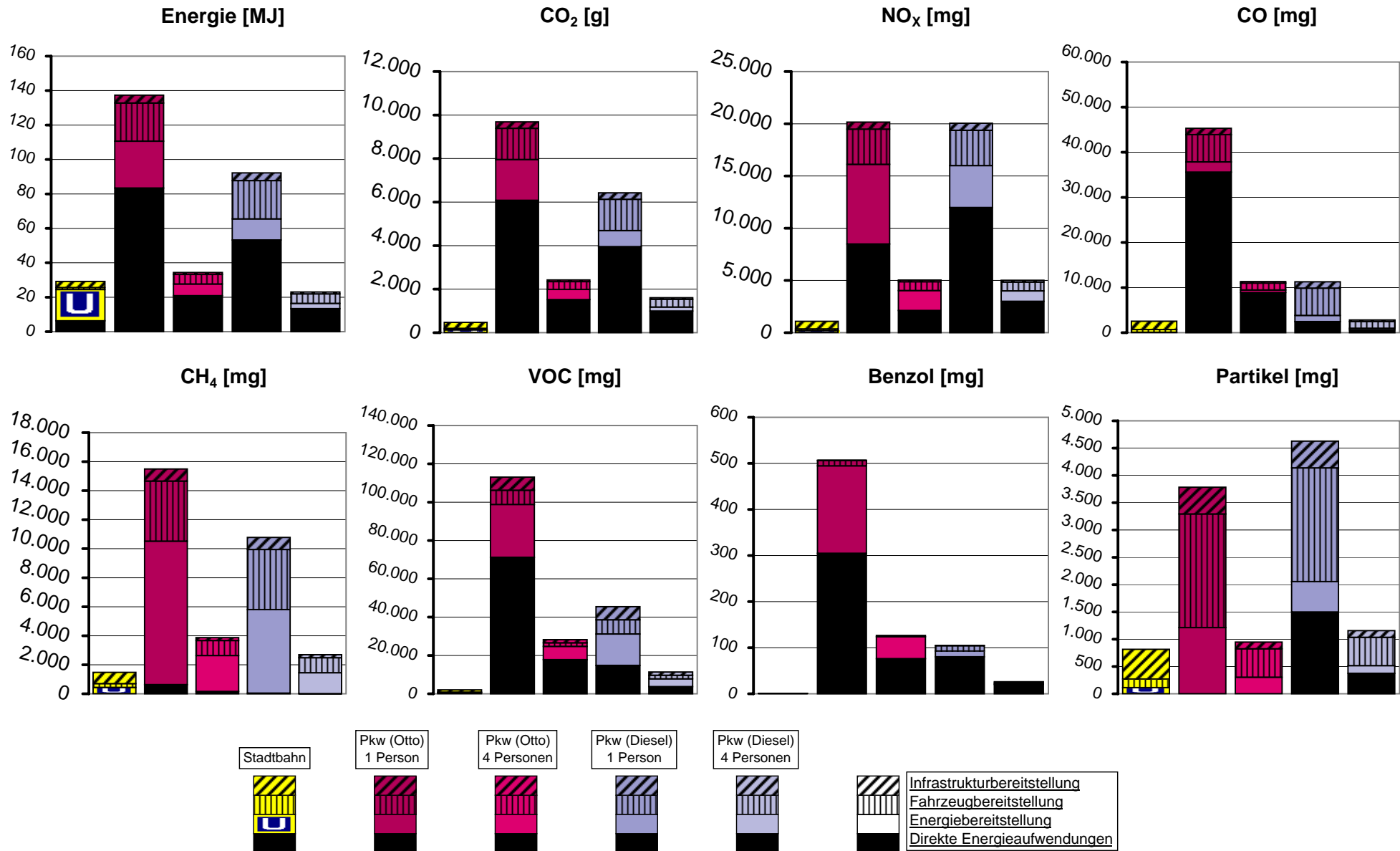
Institut für Straßen- und Verkehrswesen  
- Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik (ISV-VuV),  
Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER),  
Universität Stuttgart

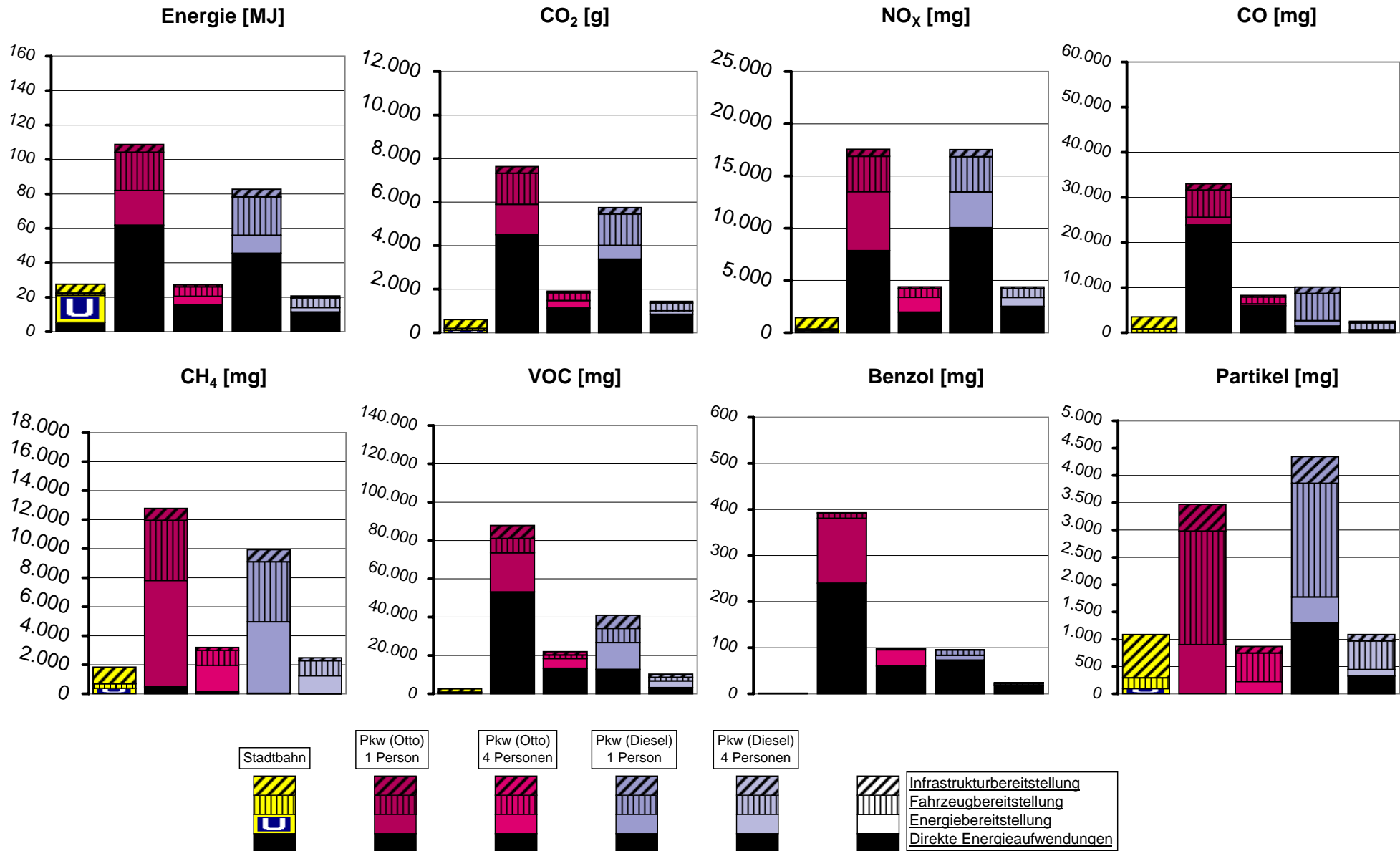
Förderkennzeichen: PEF 498 001 / BWA 20016

Februar 2001

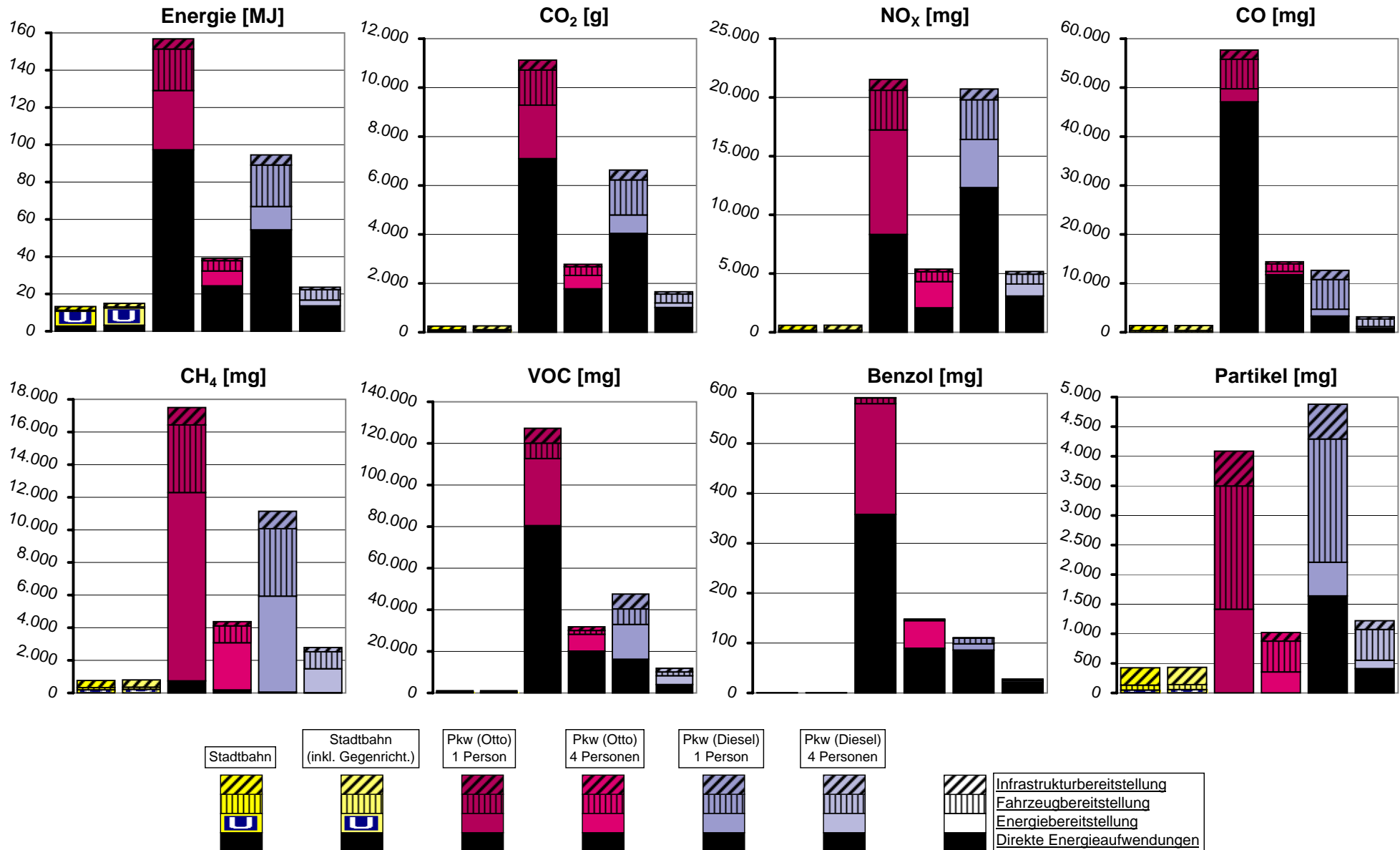


zur Tabelle: Hin Rück Hin+Rück

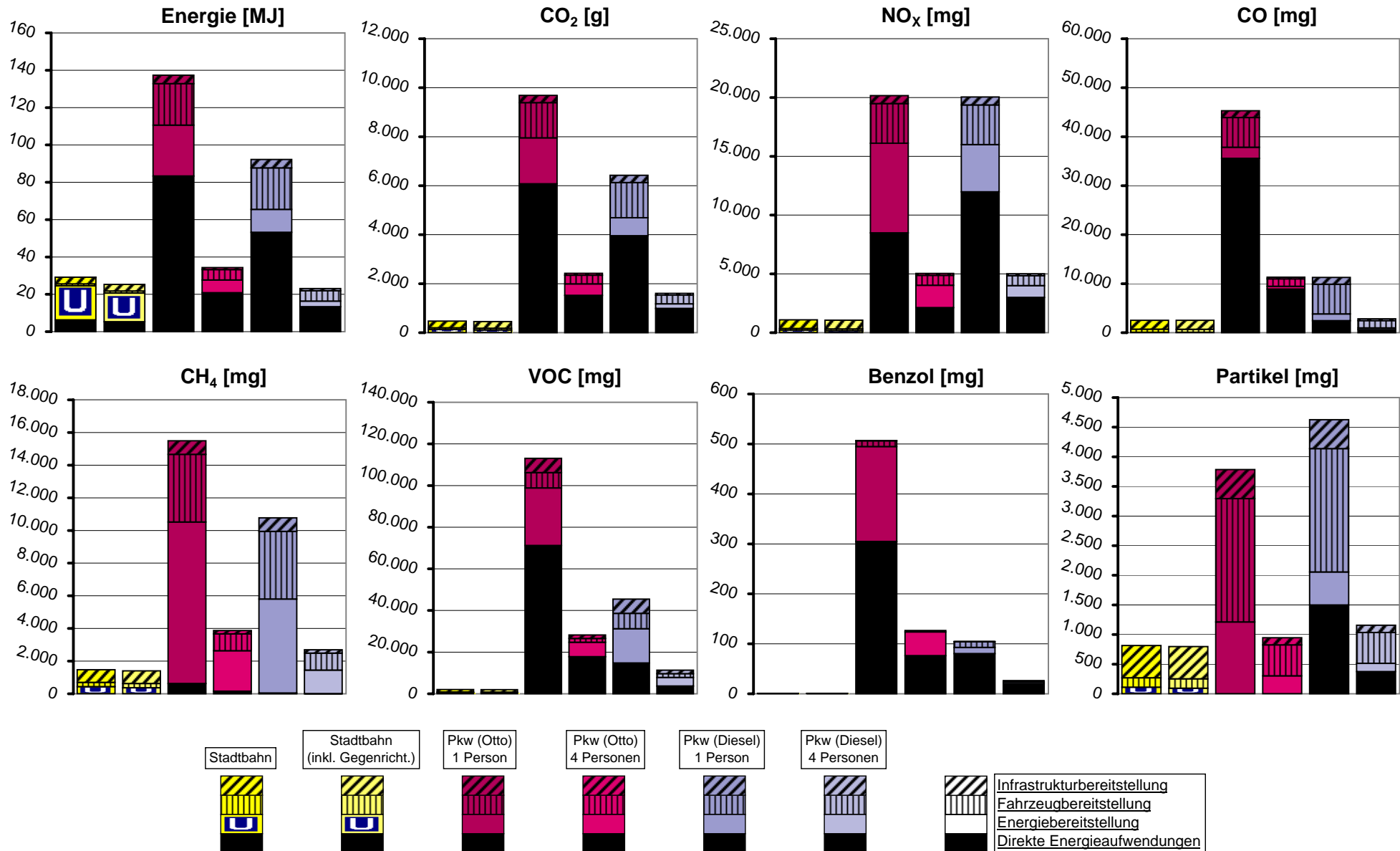




zur Tabelle: Hin Rück Hin+Rück

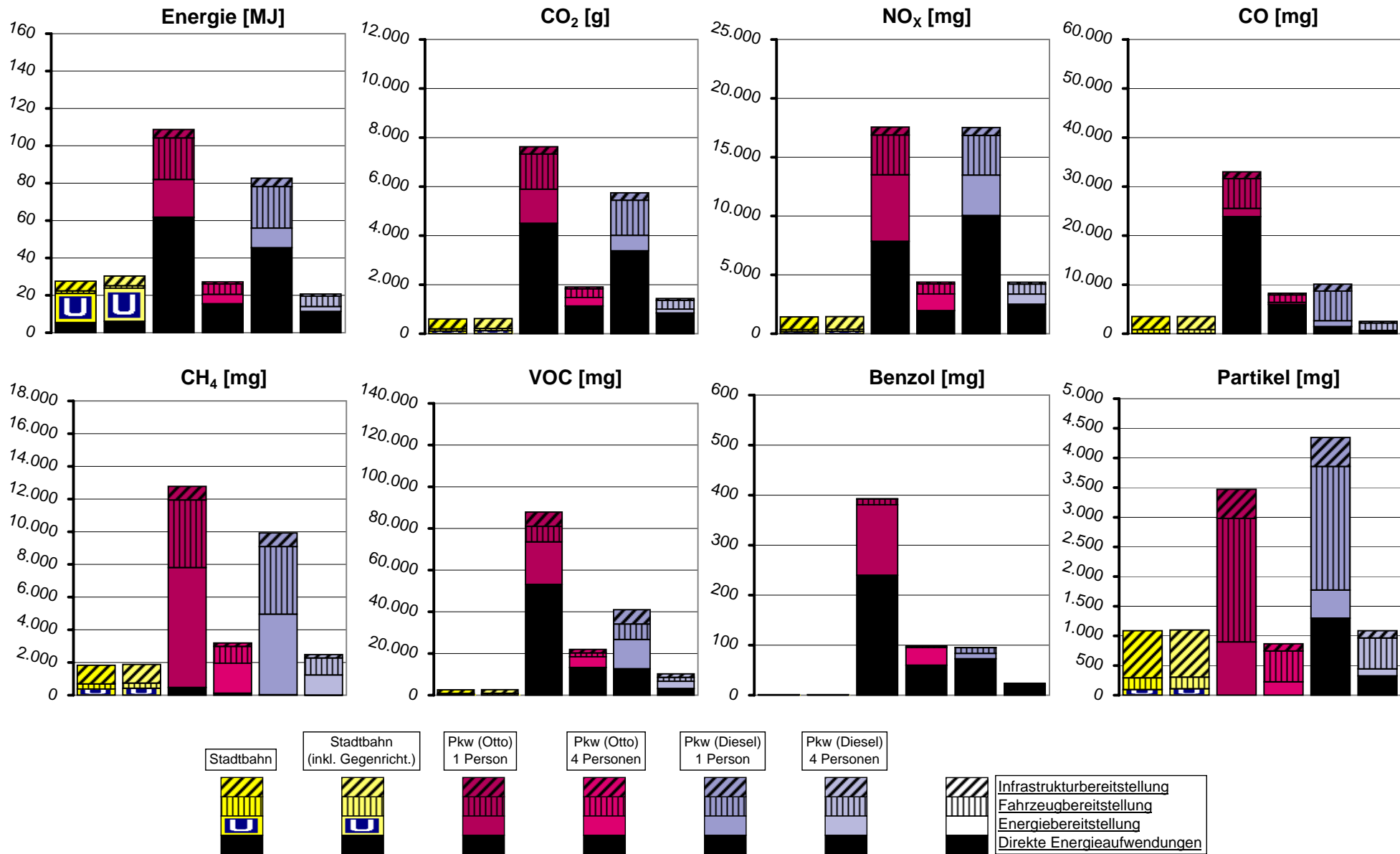


zur Tabelle: Hin Rück Hin+Rück

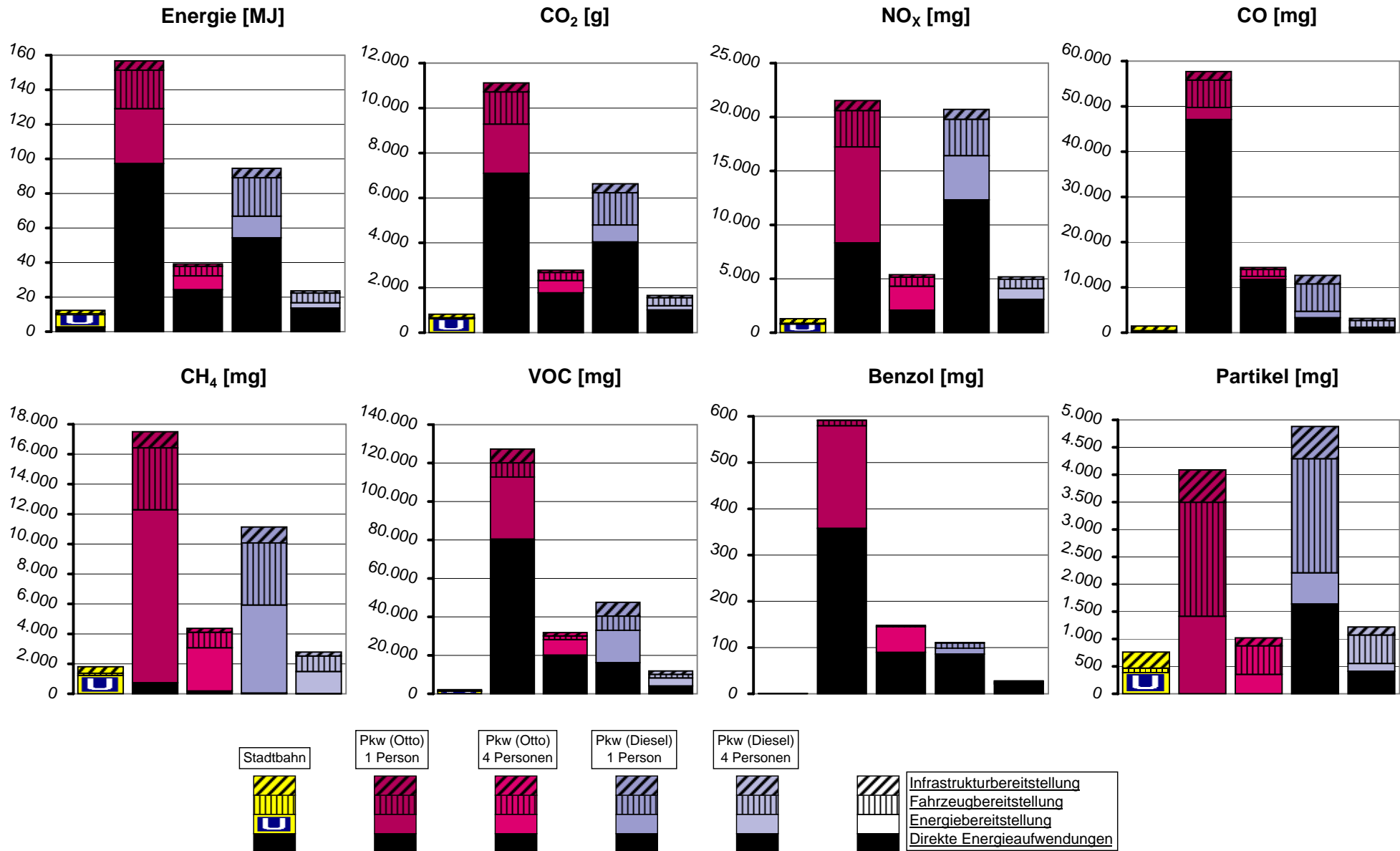




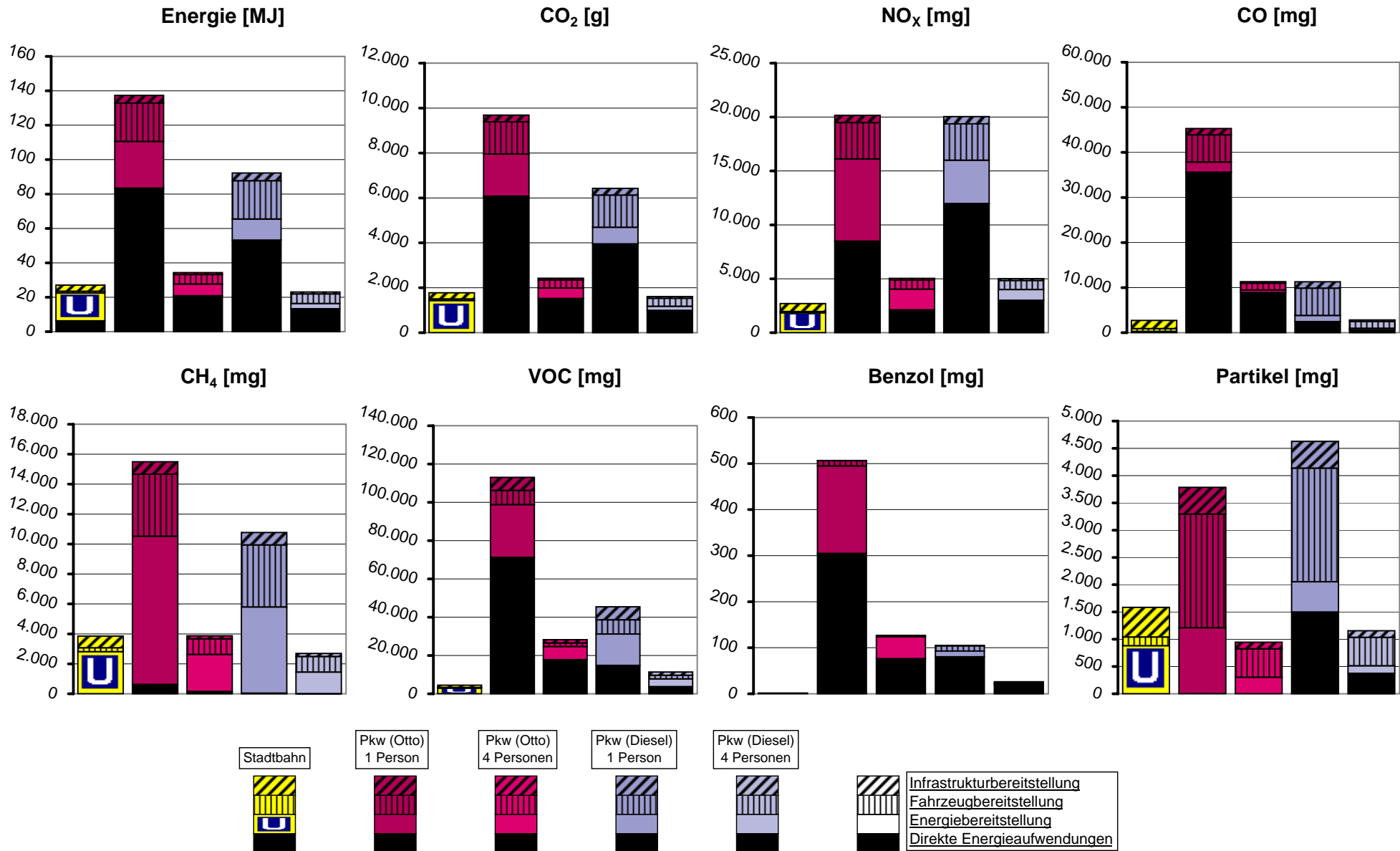
zur Tabelle: Hin Rück Hin+Rück



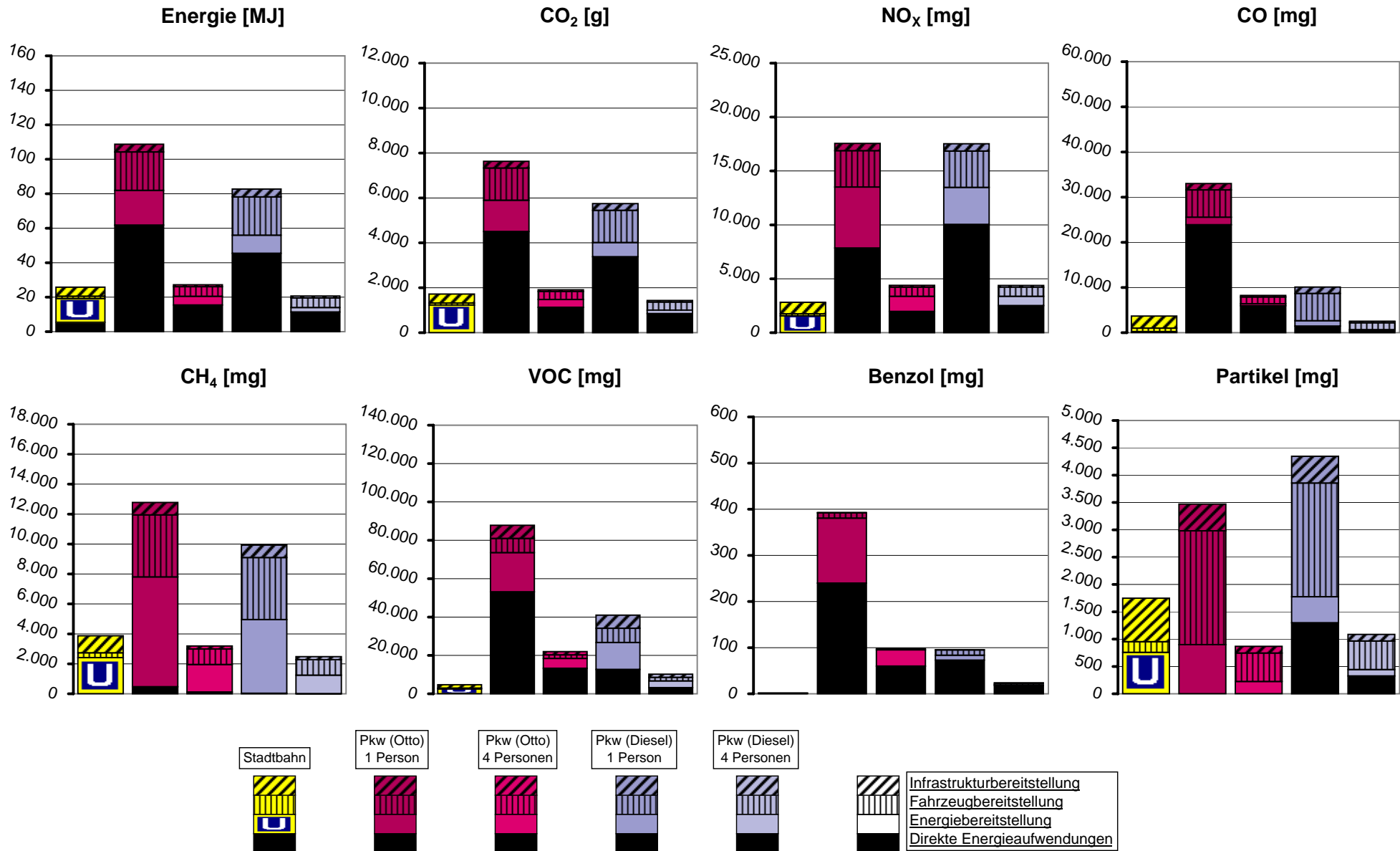
zur Tabelle



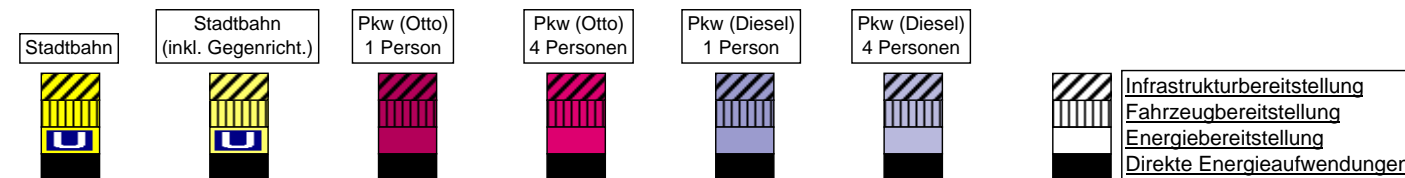
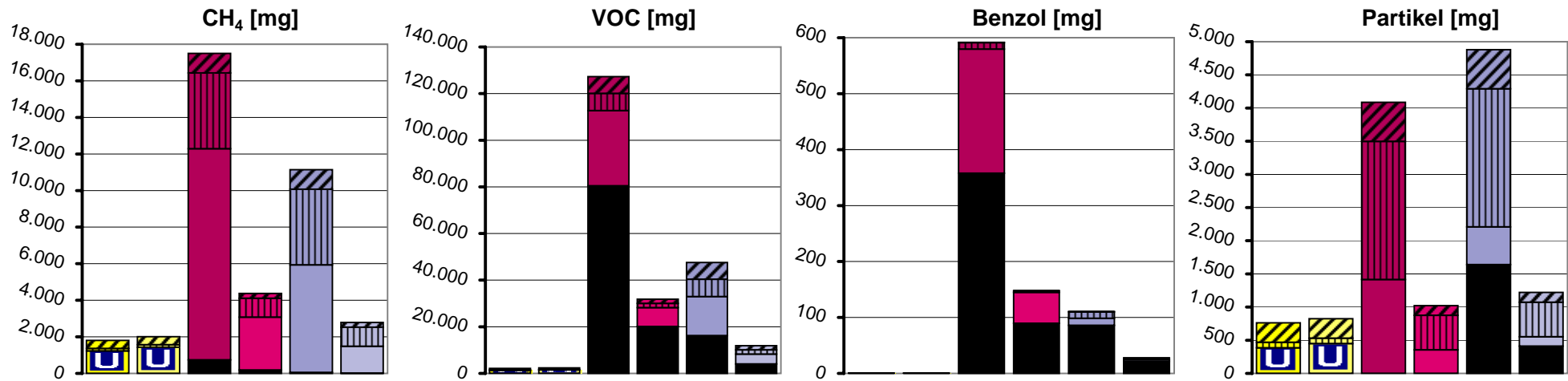
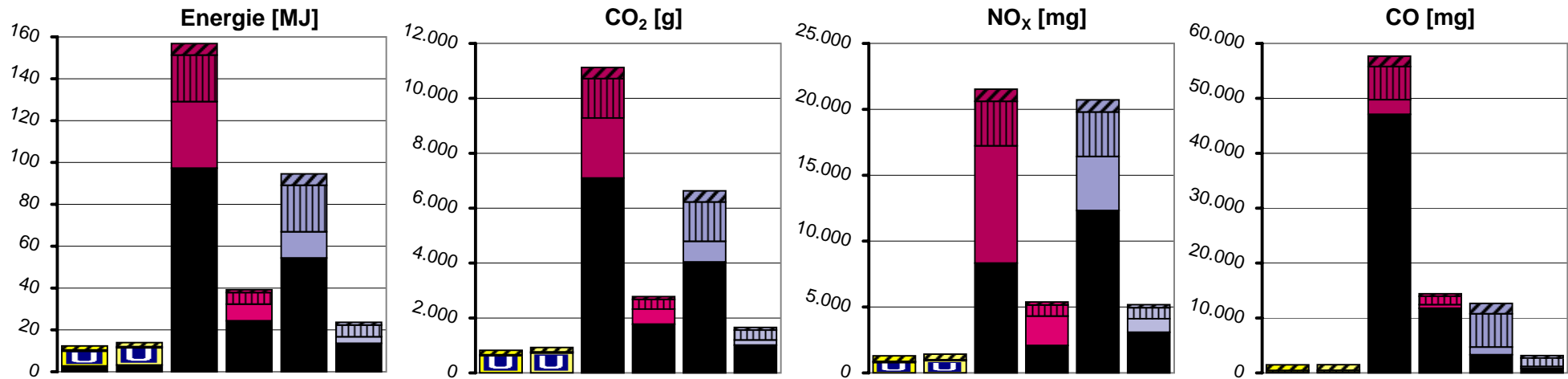
zur Tabelle



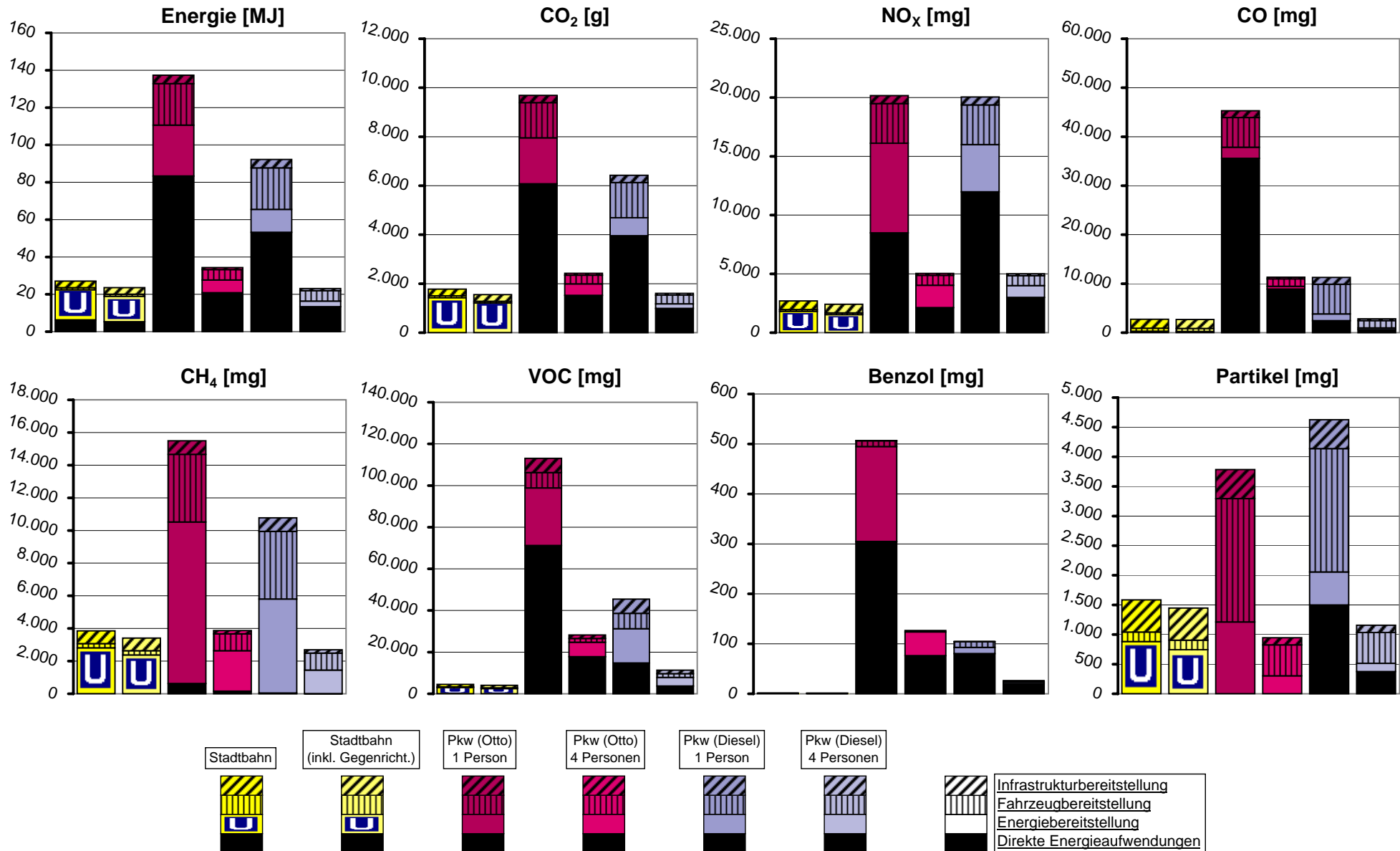
zur Tabelle



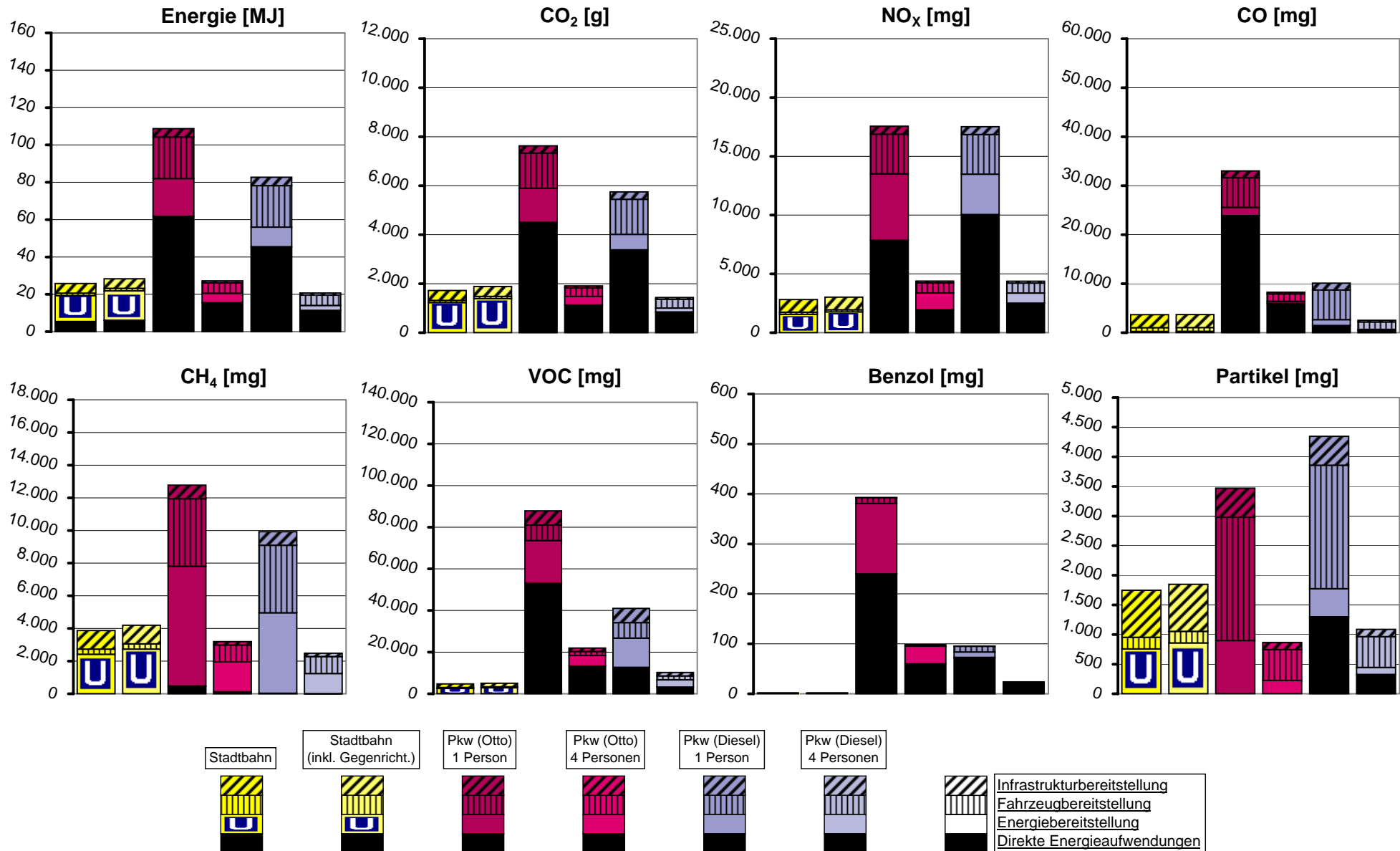
zur Tabelle



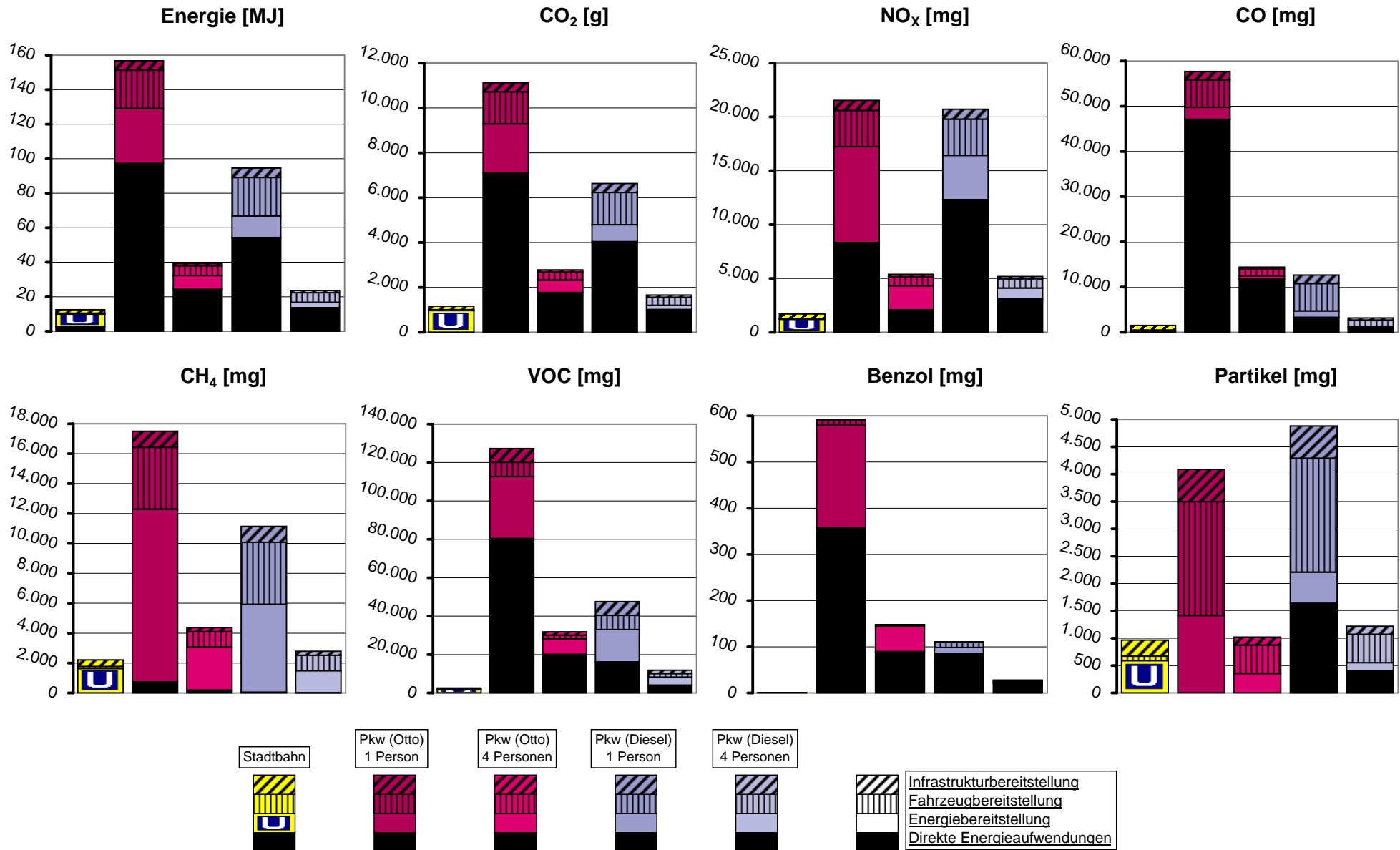
zur Tabelle



zur Tabelle

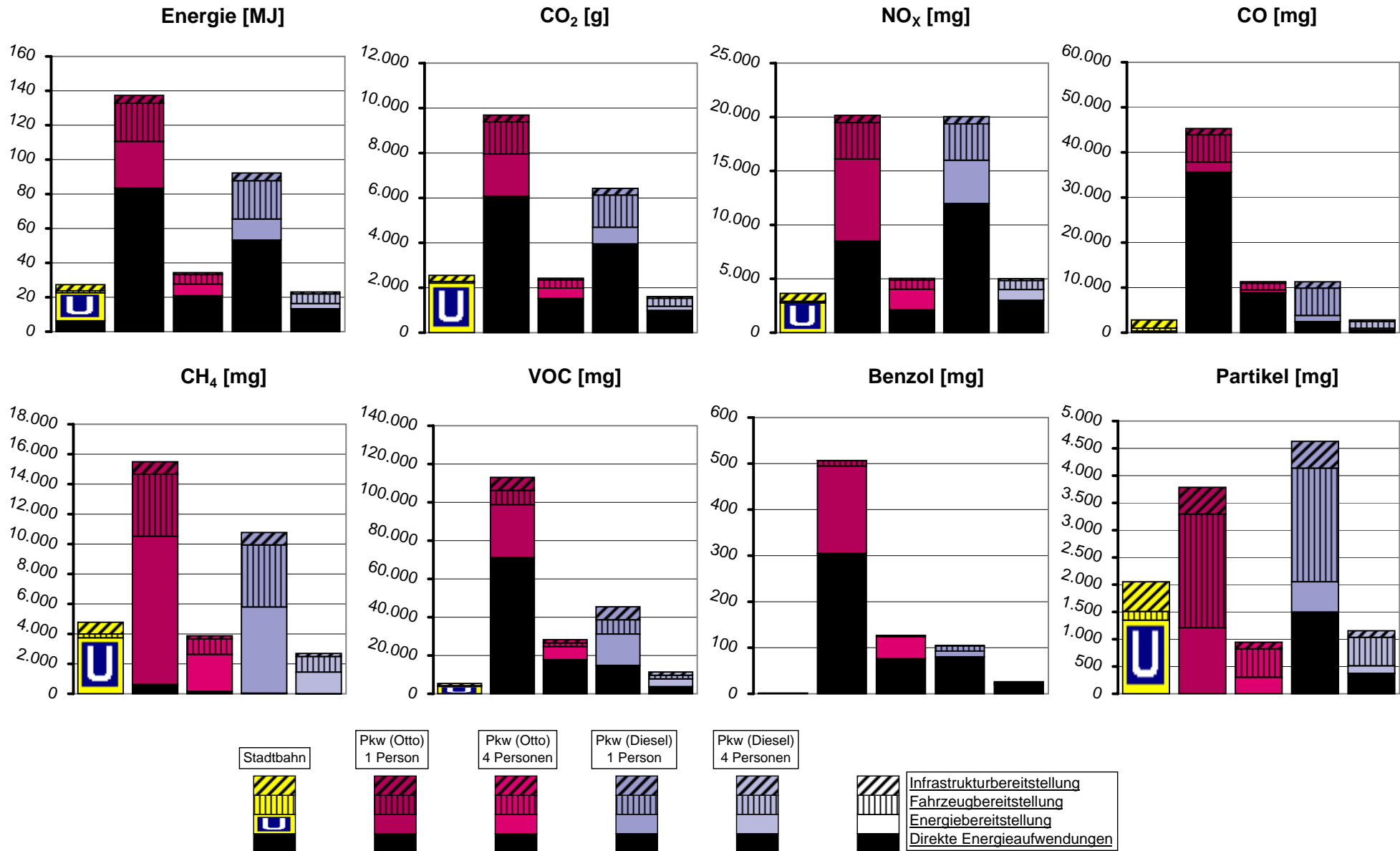


zur Tabelle

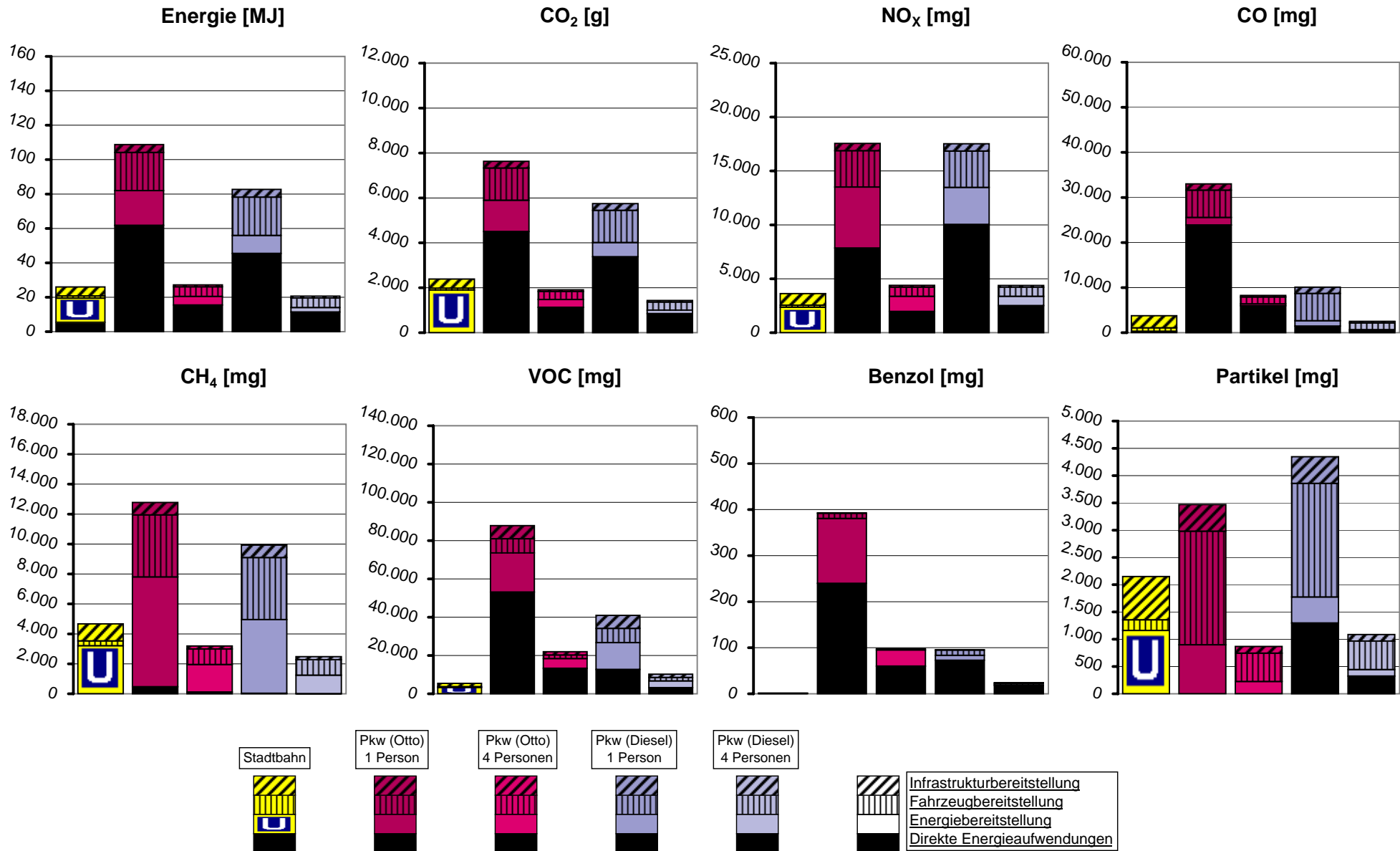




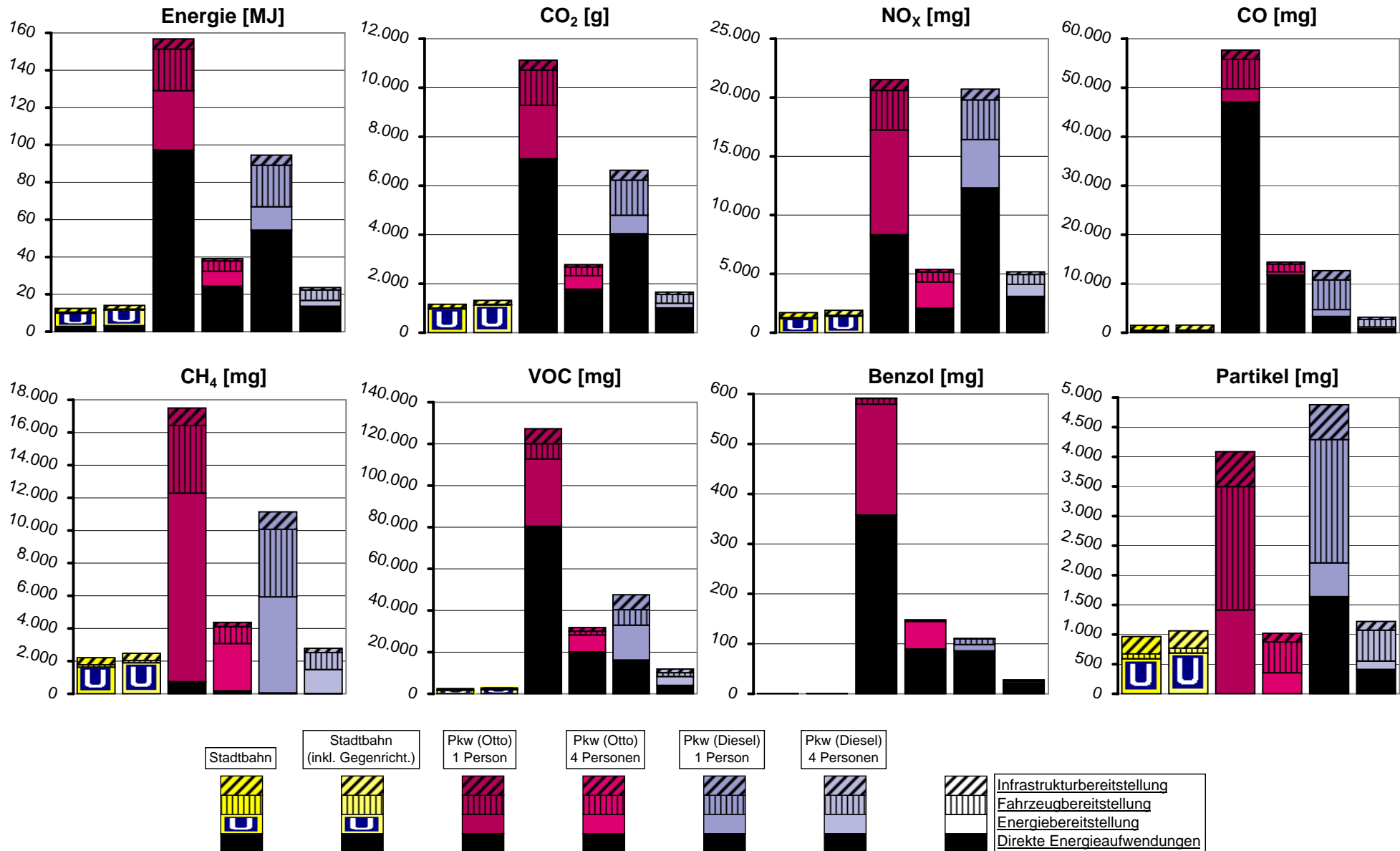
zur Tabelle



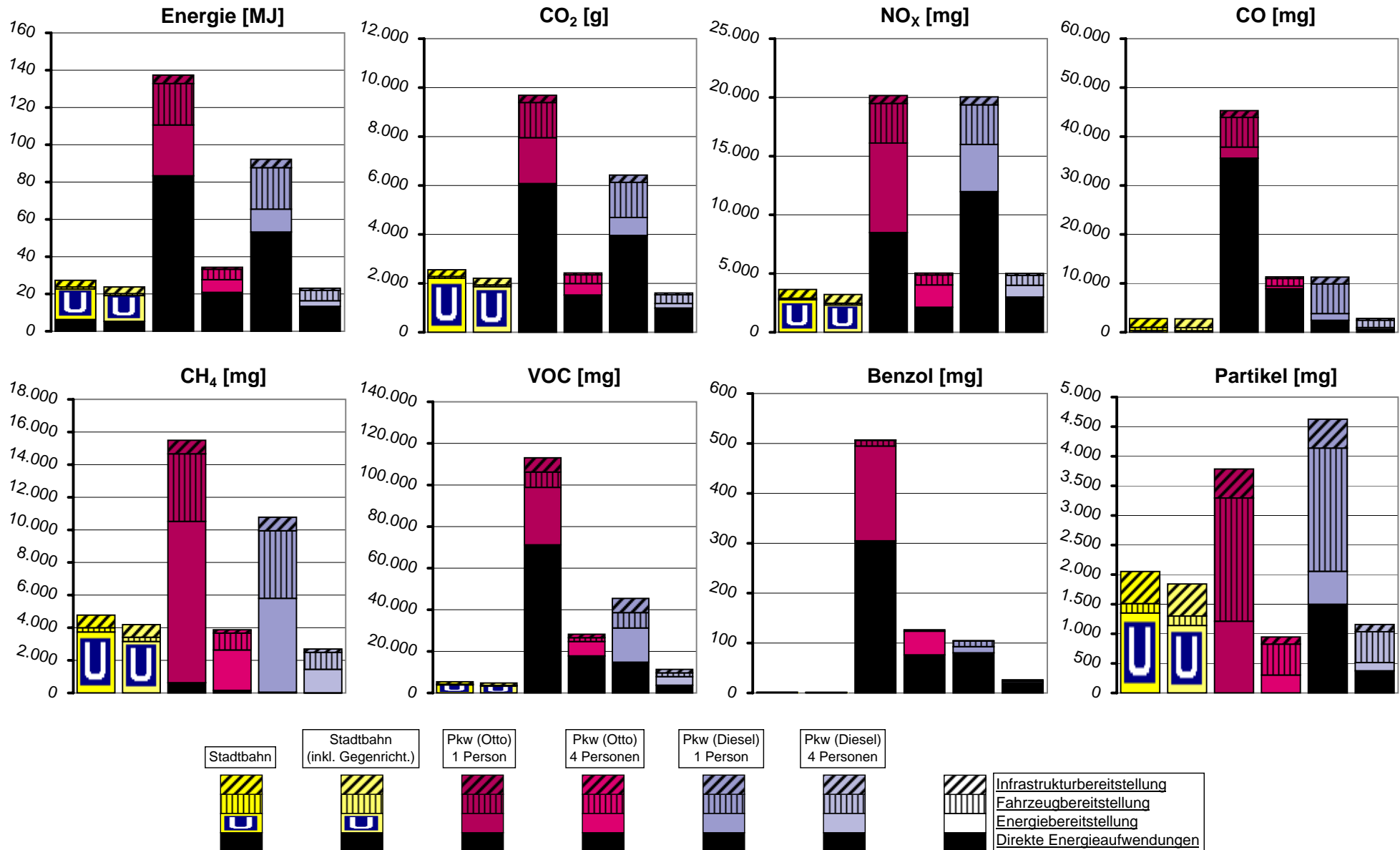
zur Tabelle



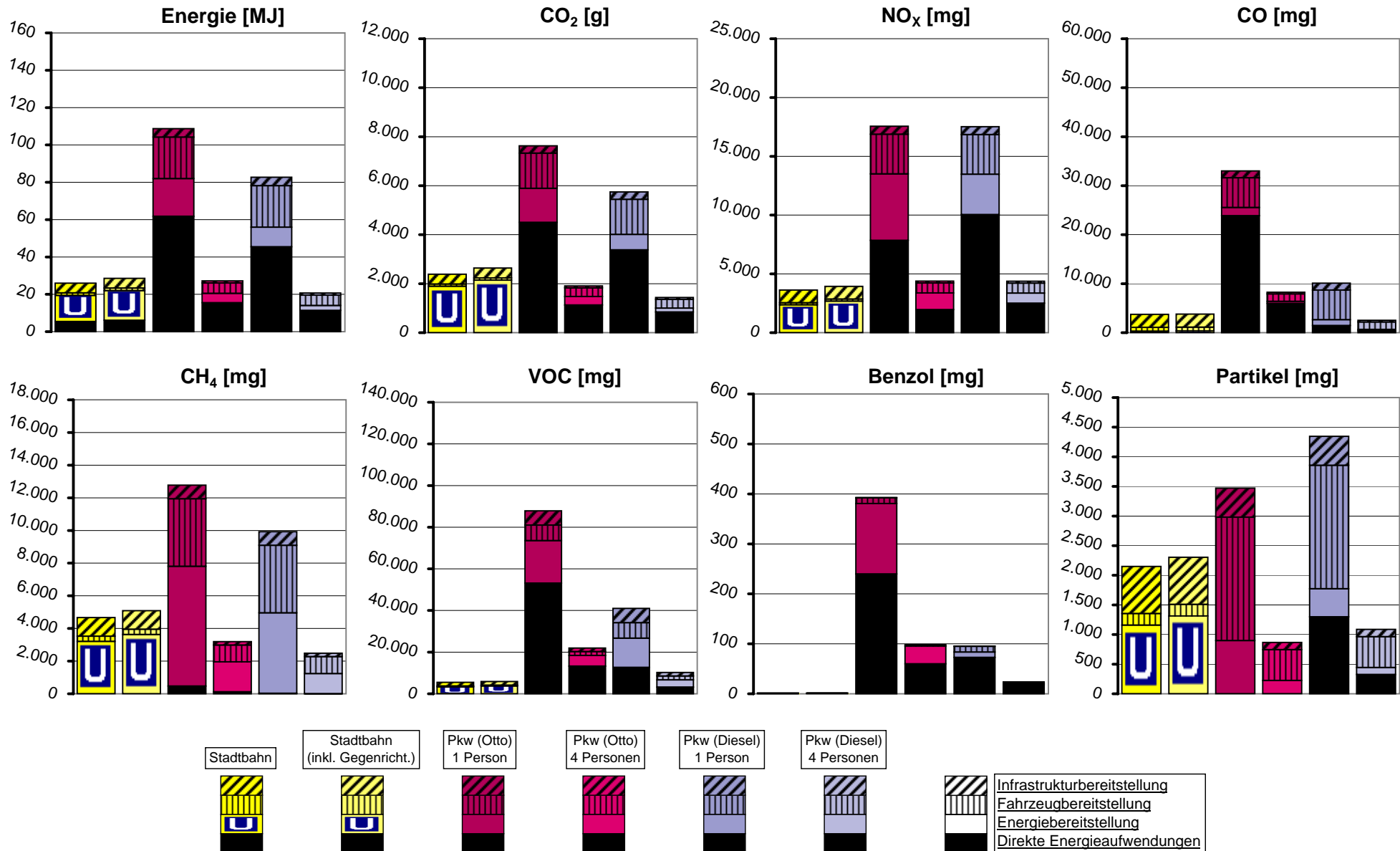
zur Tabelle



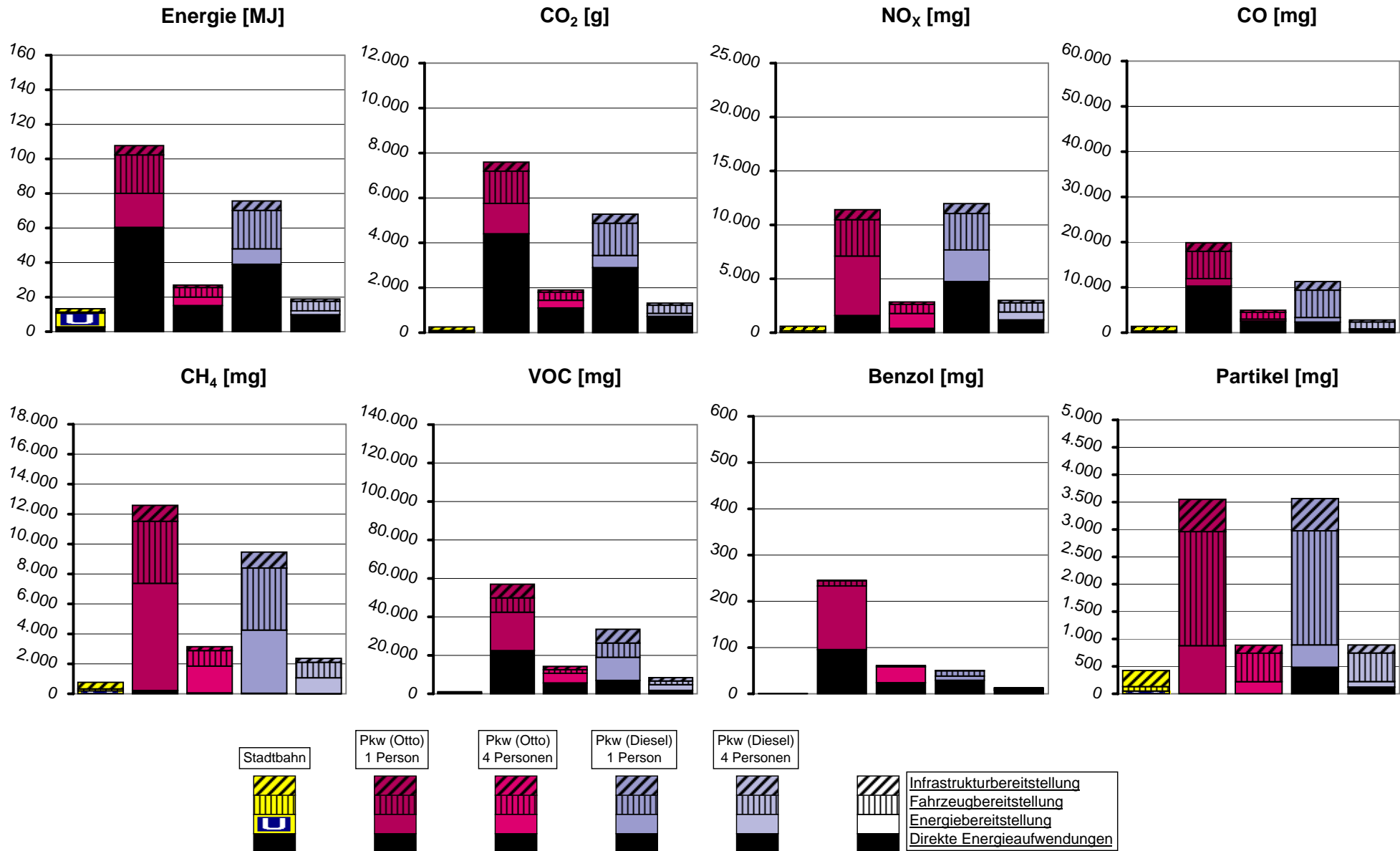
zur Tabelle



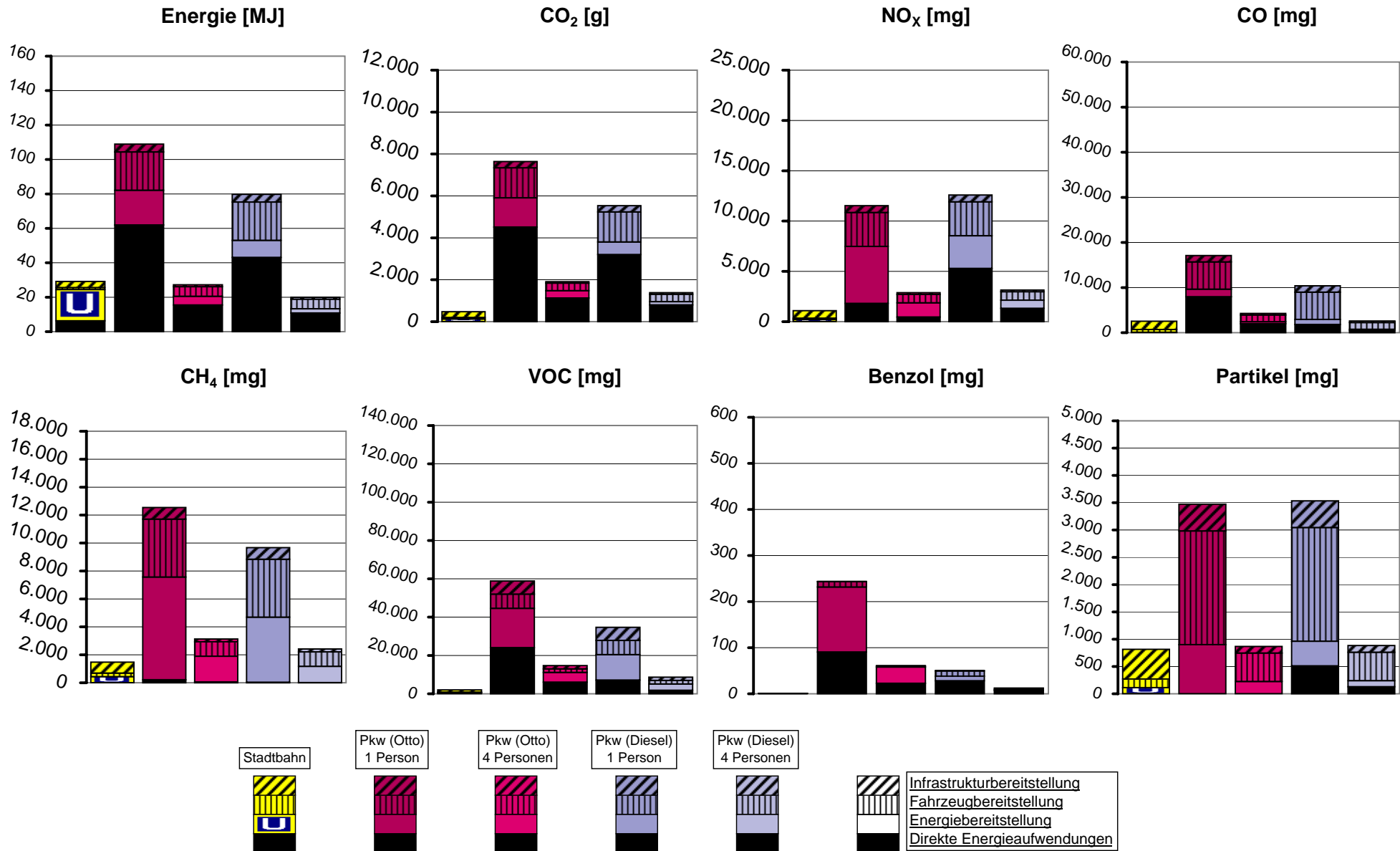
zur Tabelle



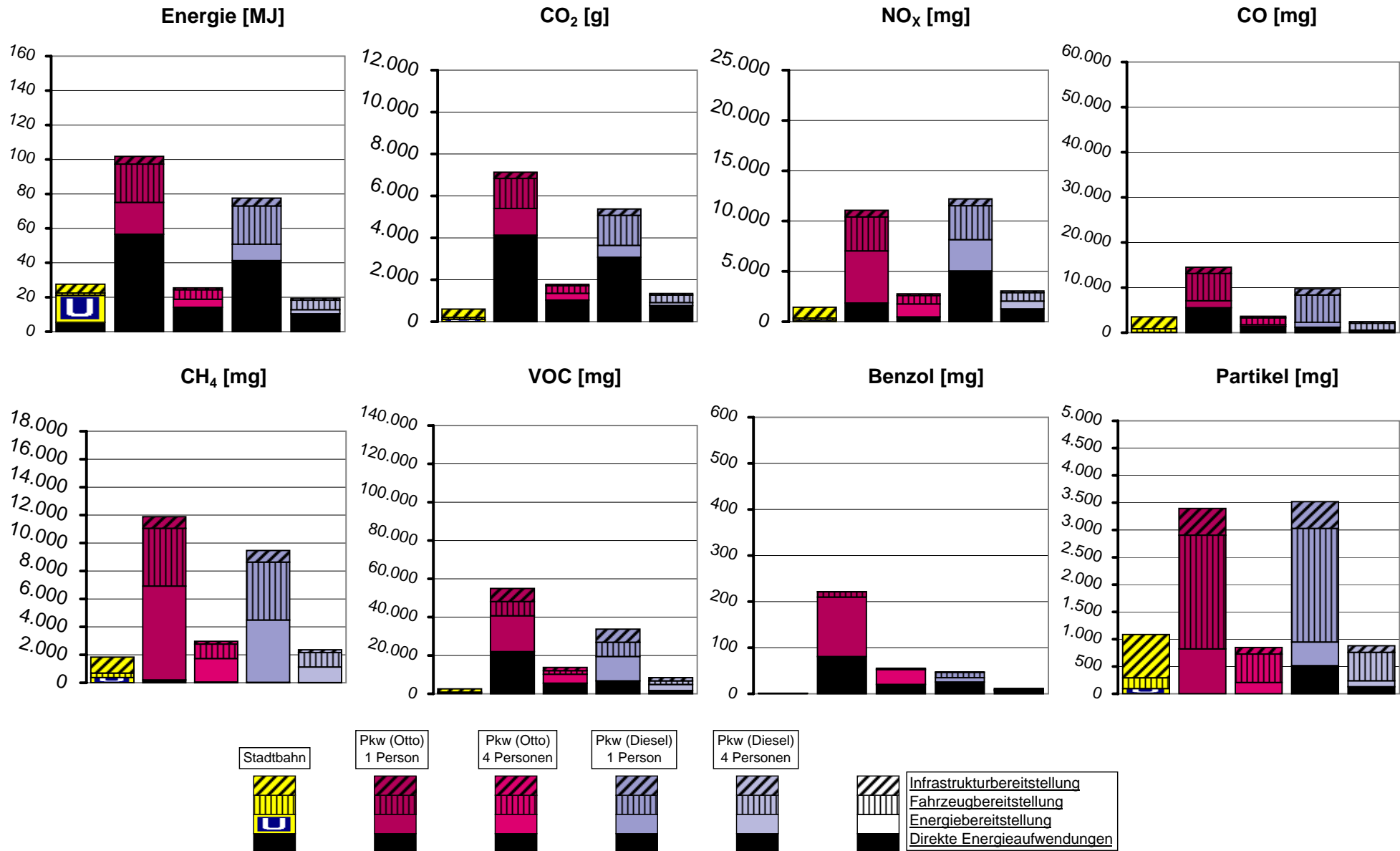
zur Tabelle



zur Tabelle

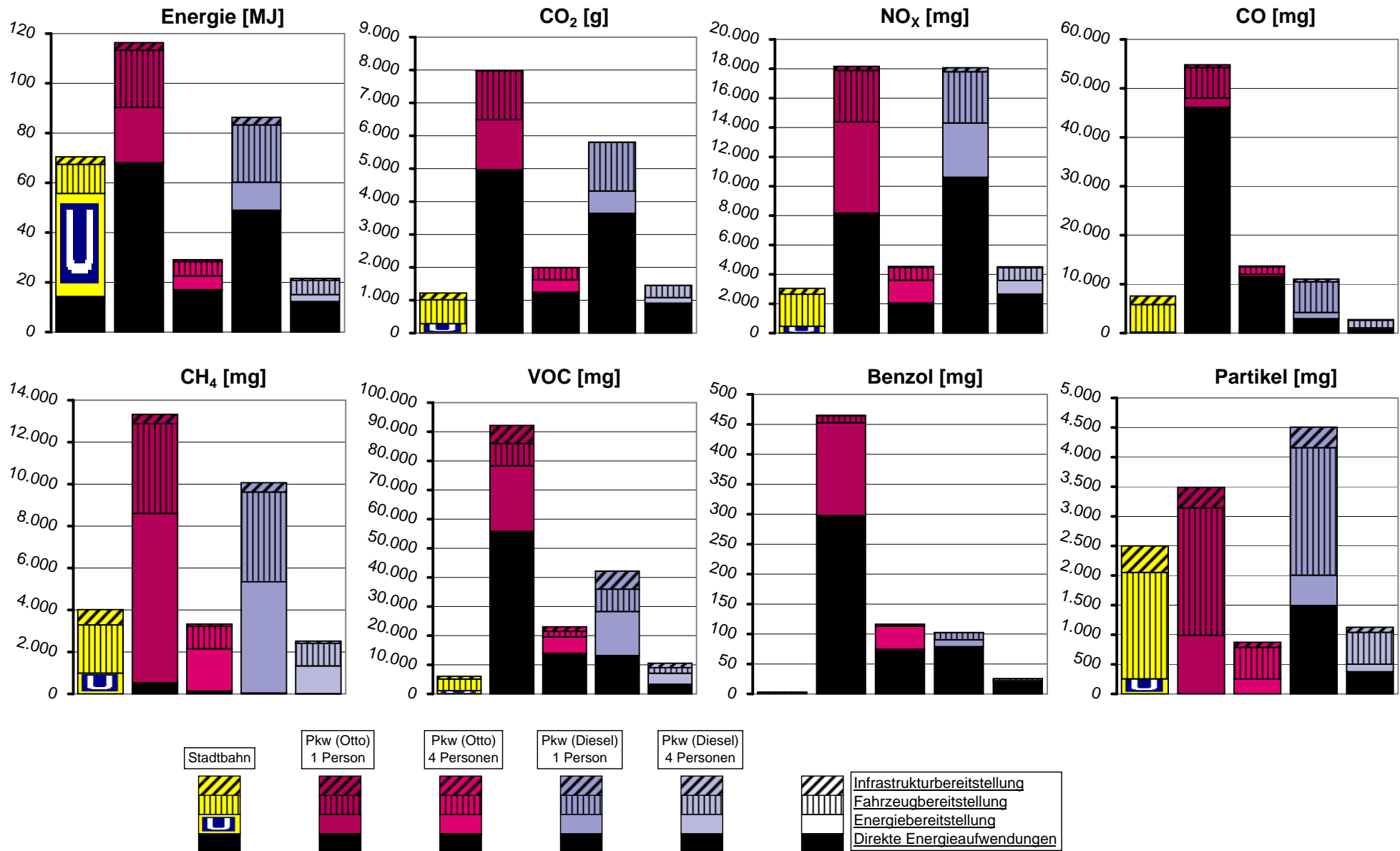


zur Tabelle

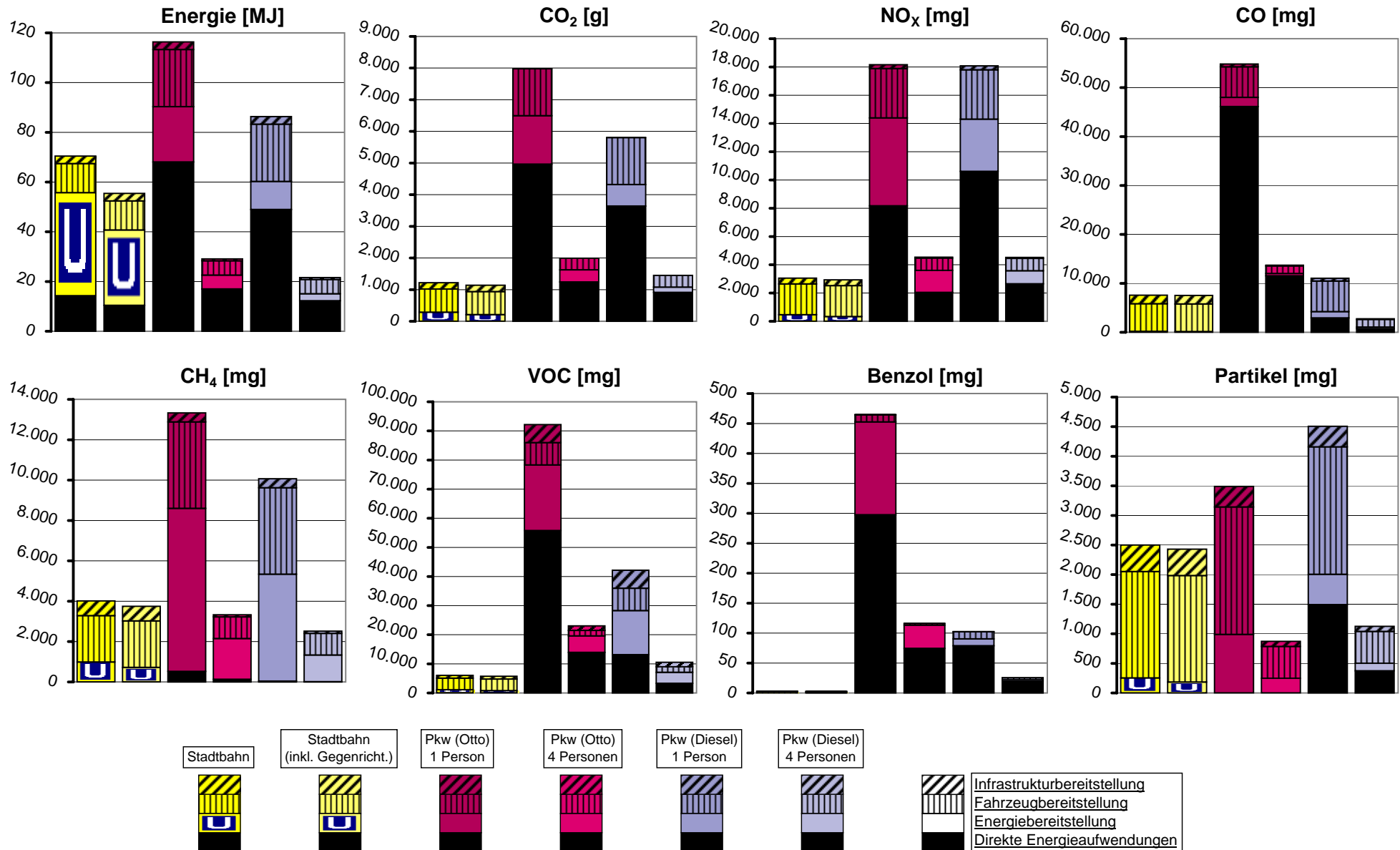




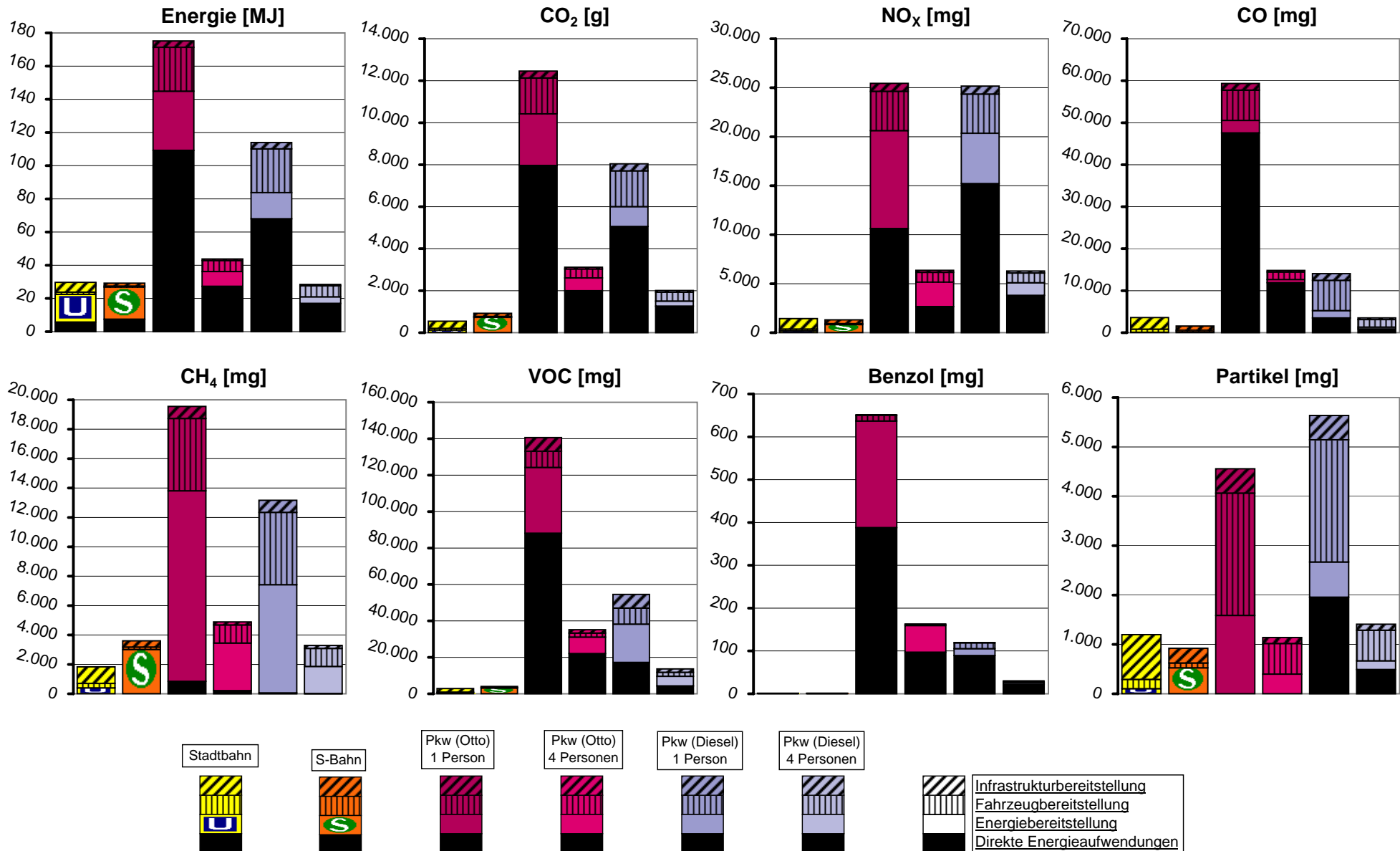
zur Tabelle



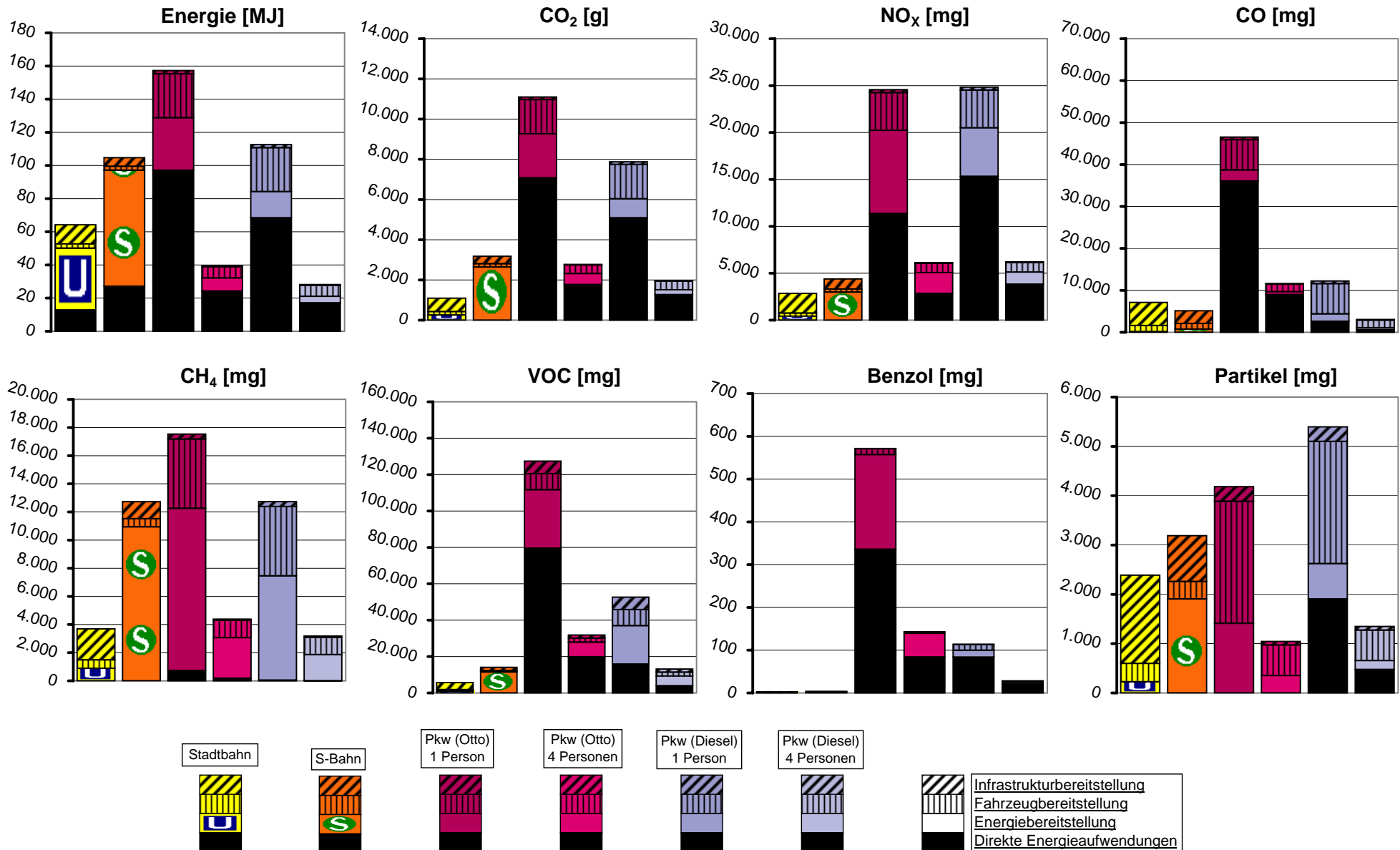
zur Tabelle



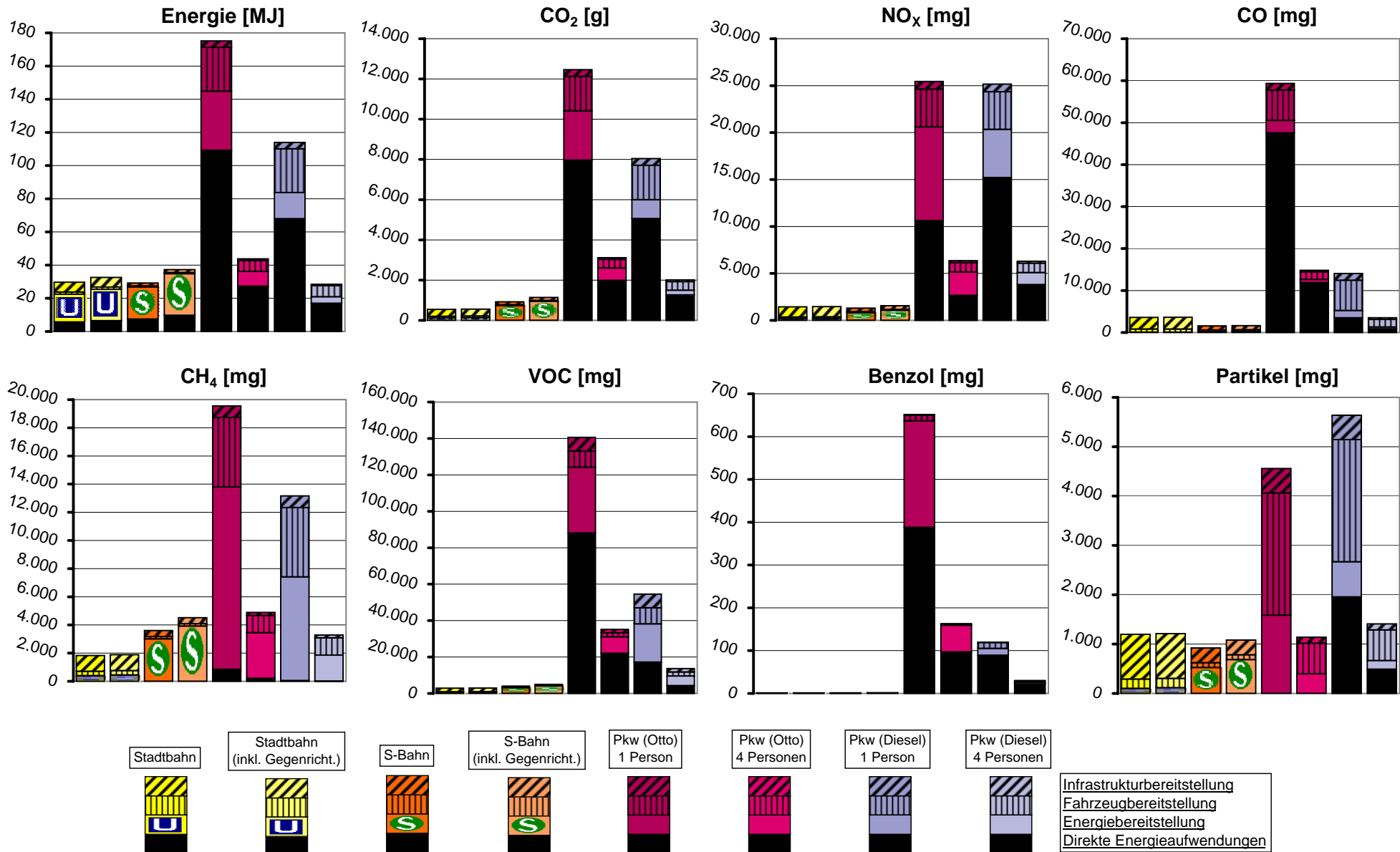
zur Tabelle



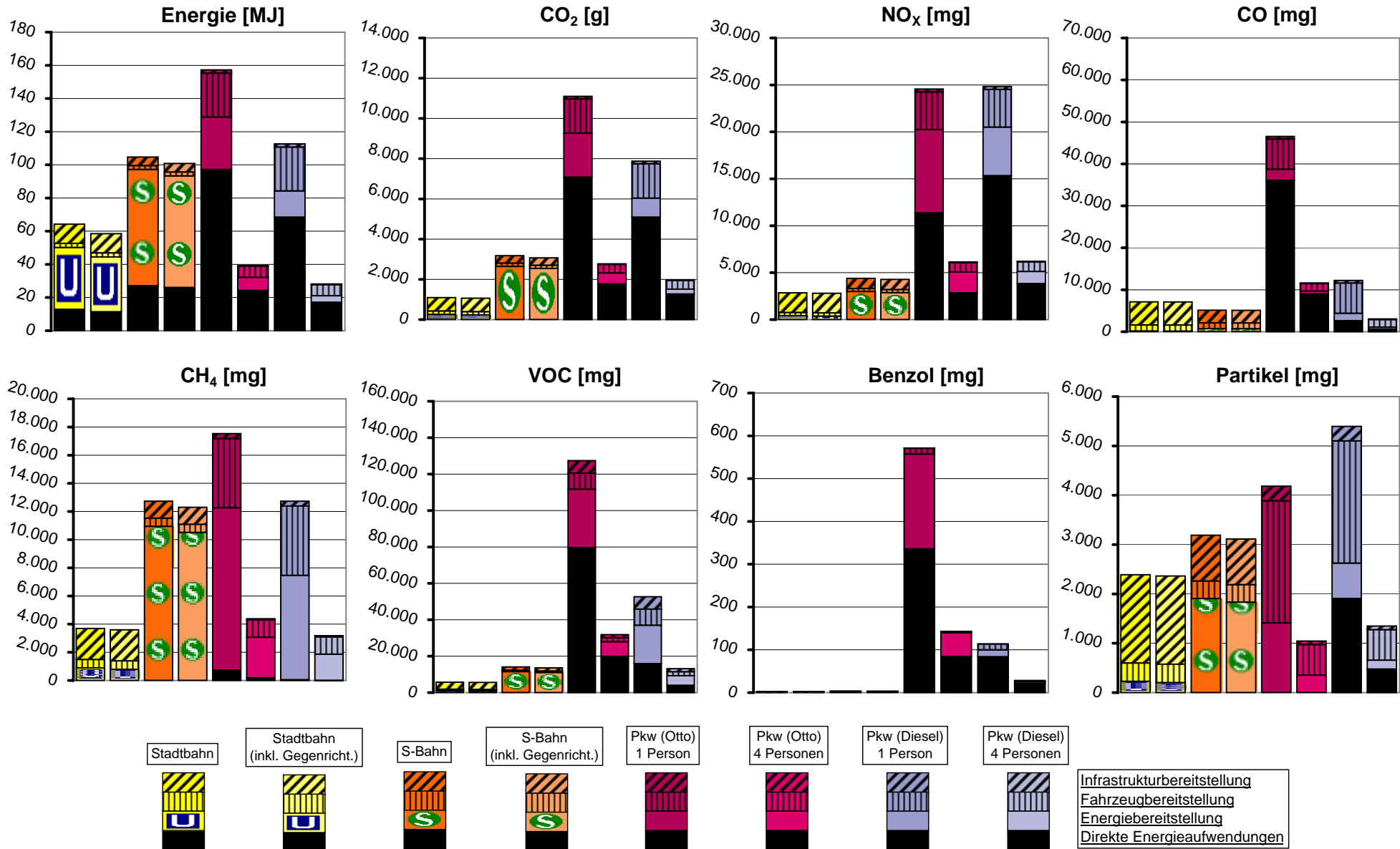
zur Tabelle



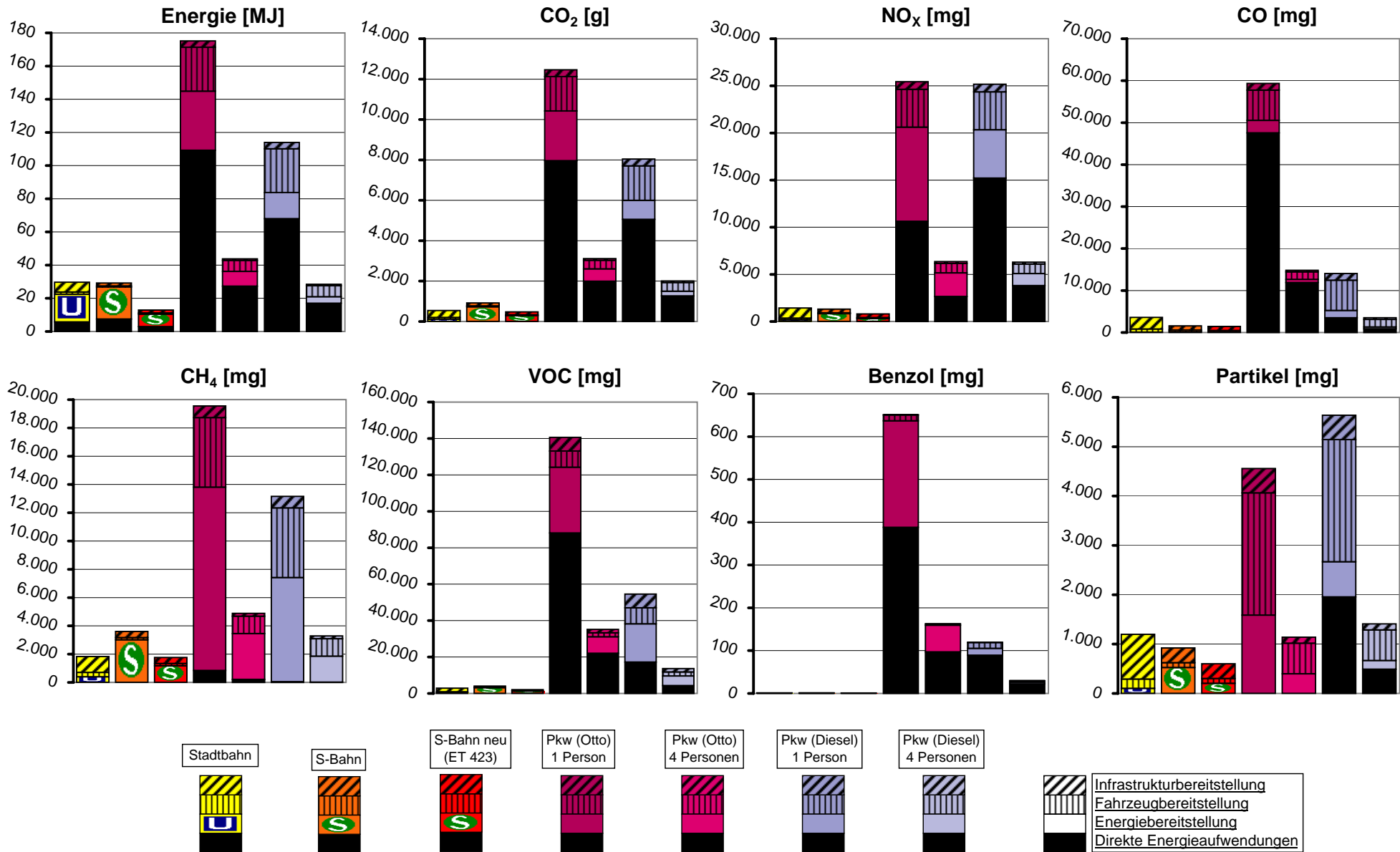
zur Tabelle



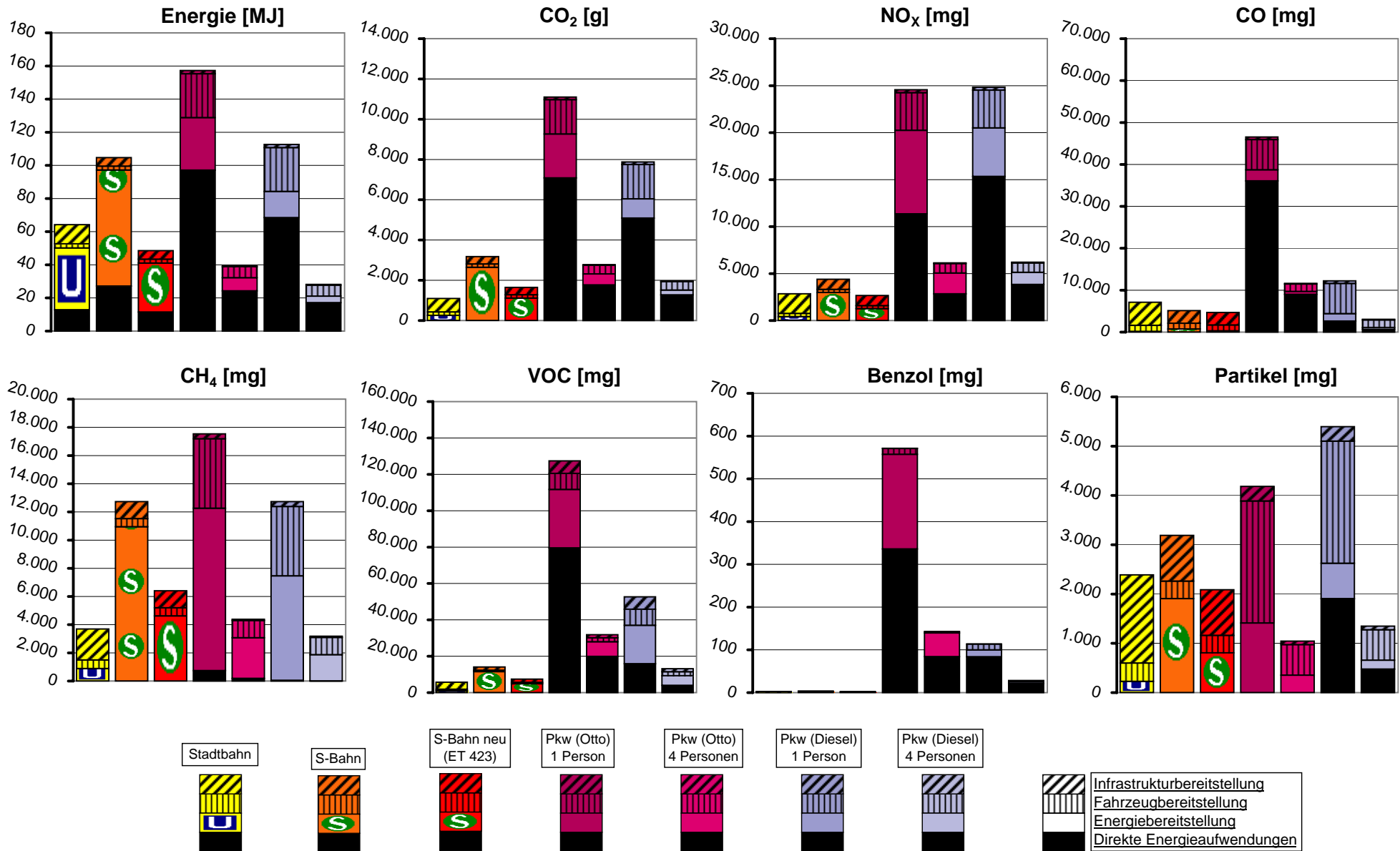
zur Tabelle



zur Tabelle



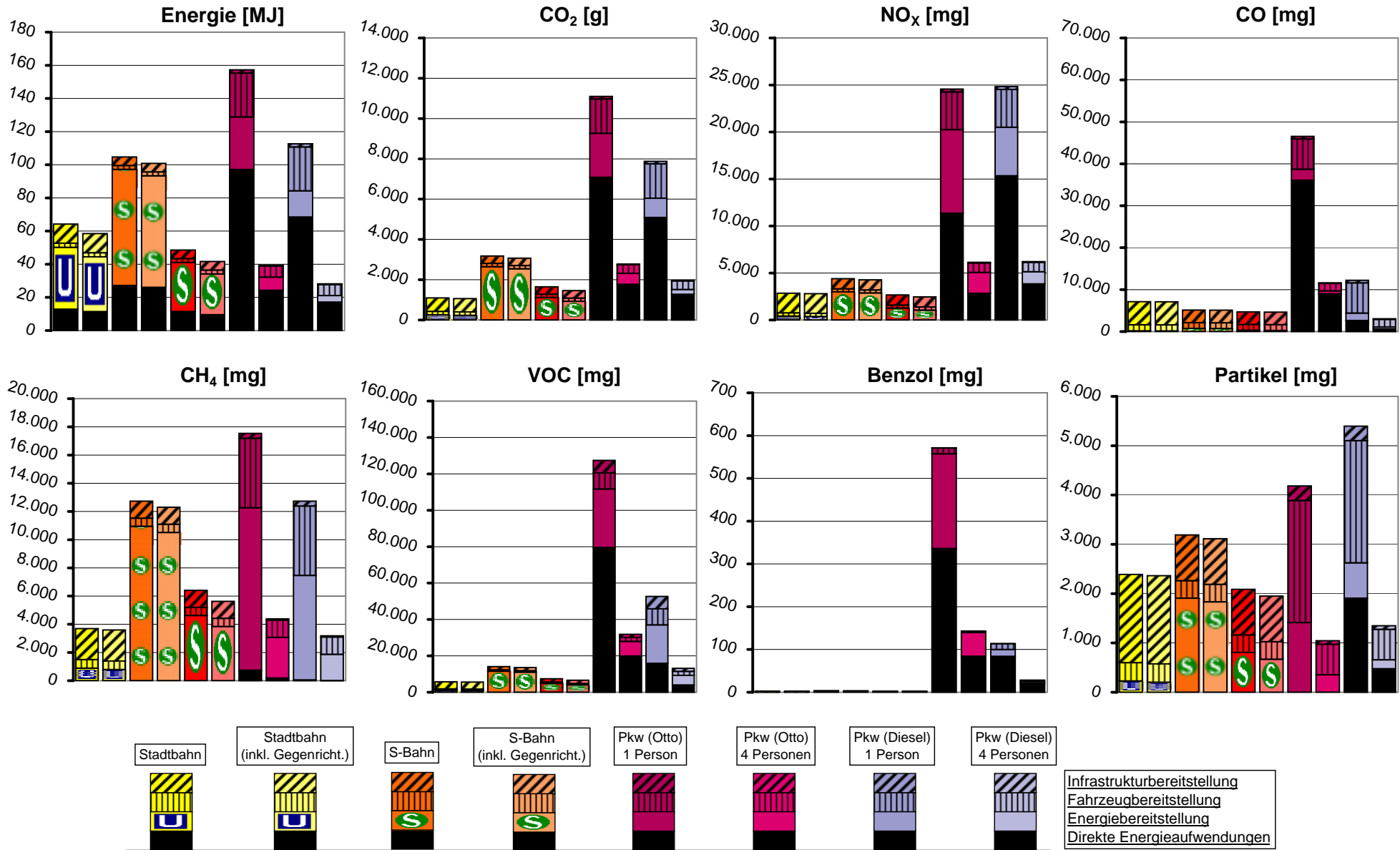
zur Tabelle



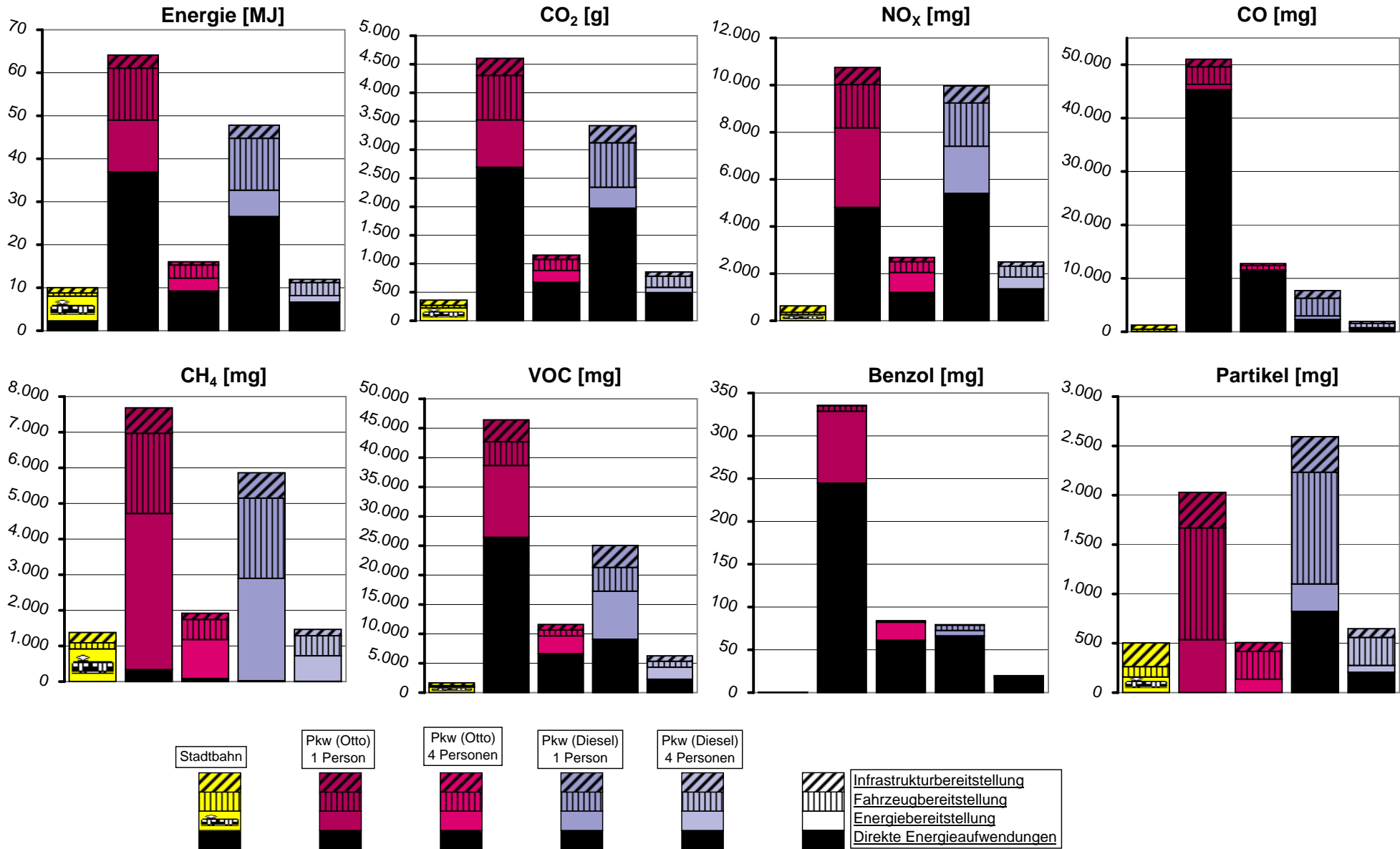




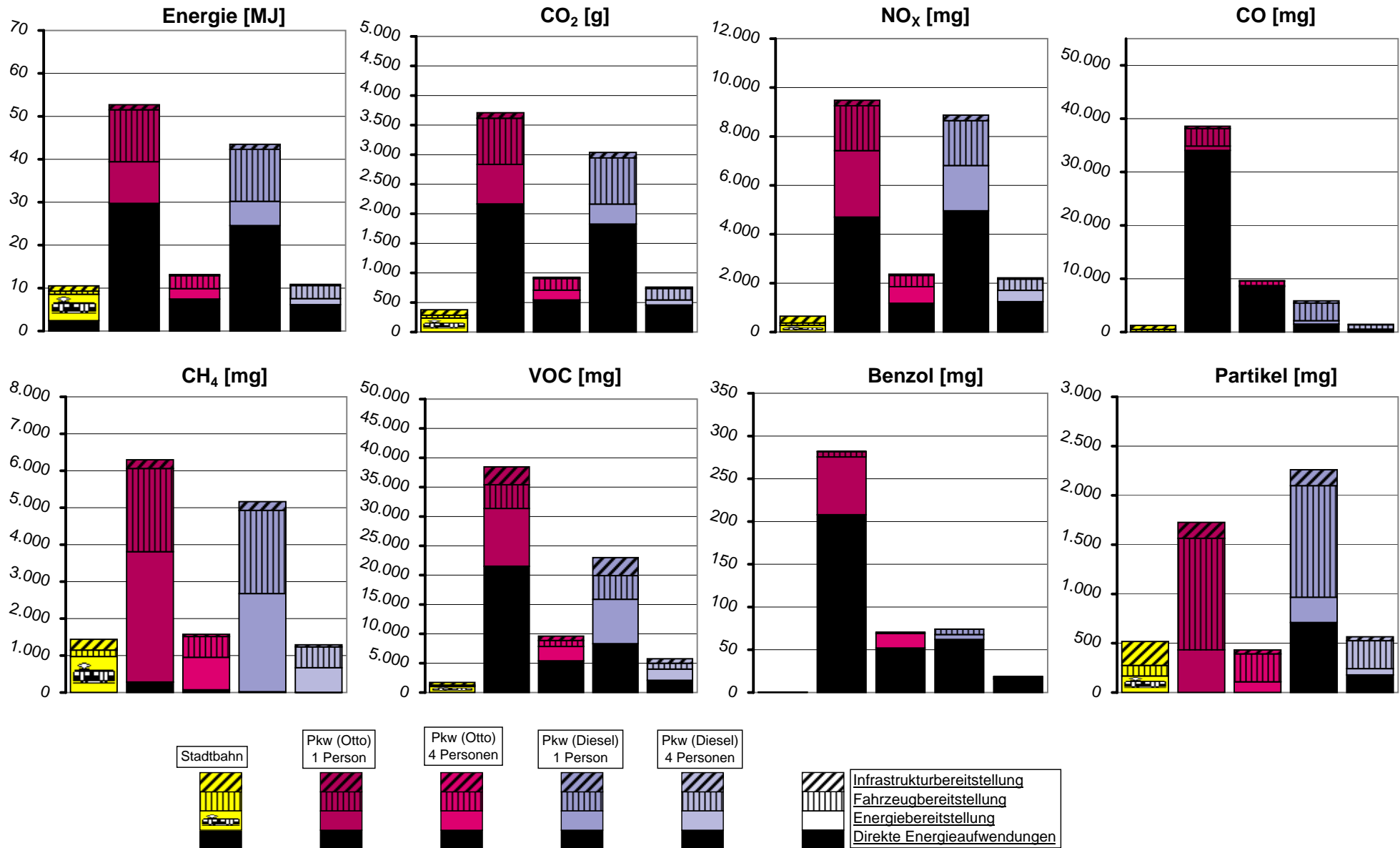
zur Tabelle



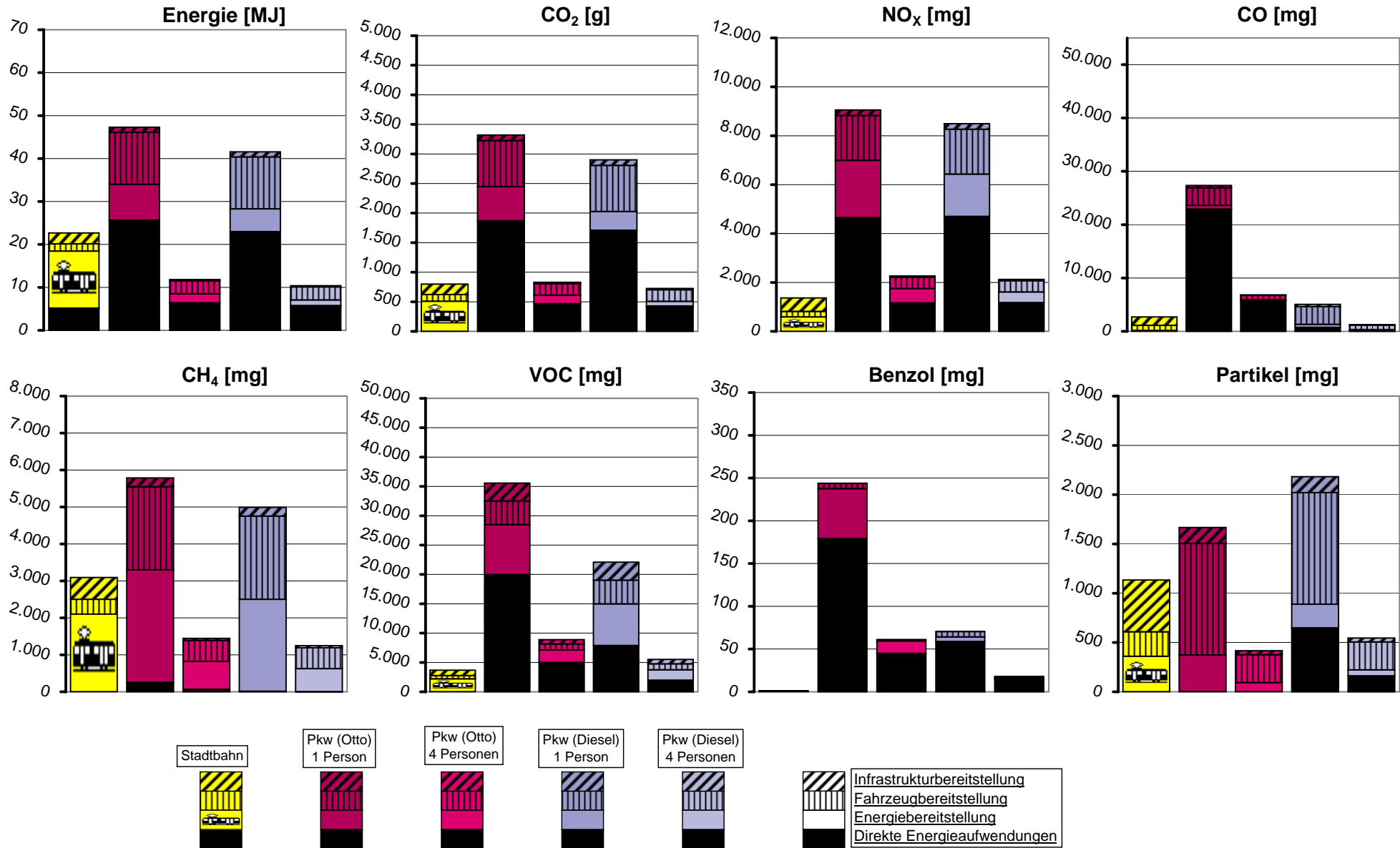
zur Tabelle



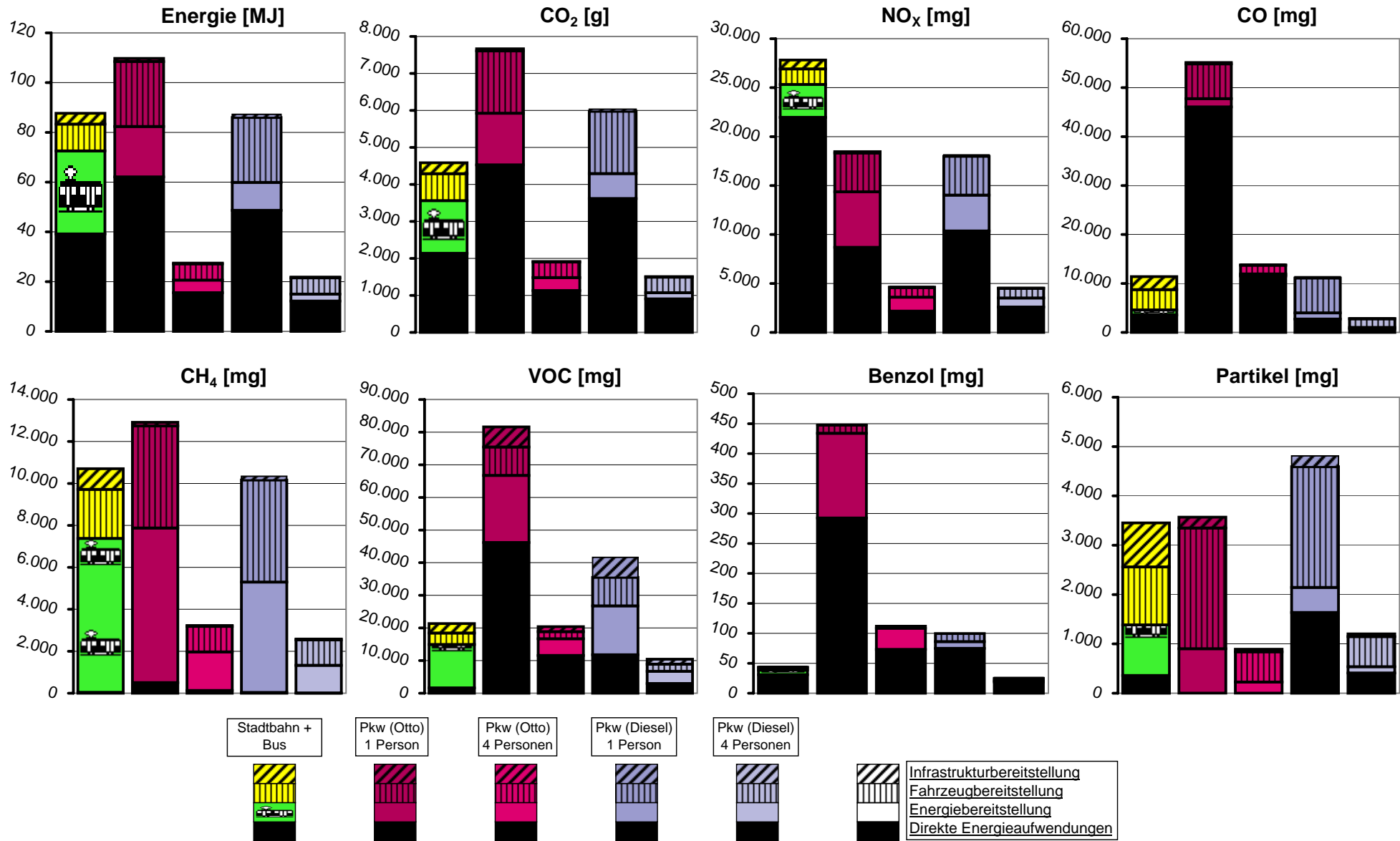
zur Tabelle



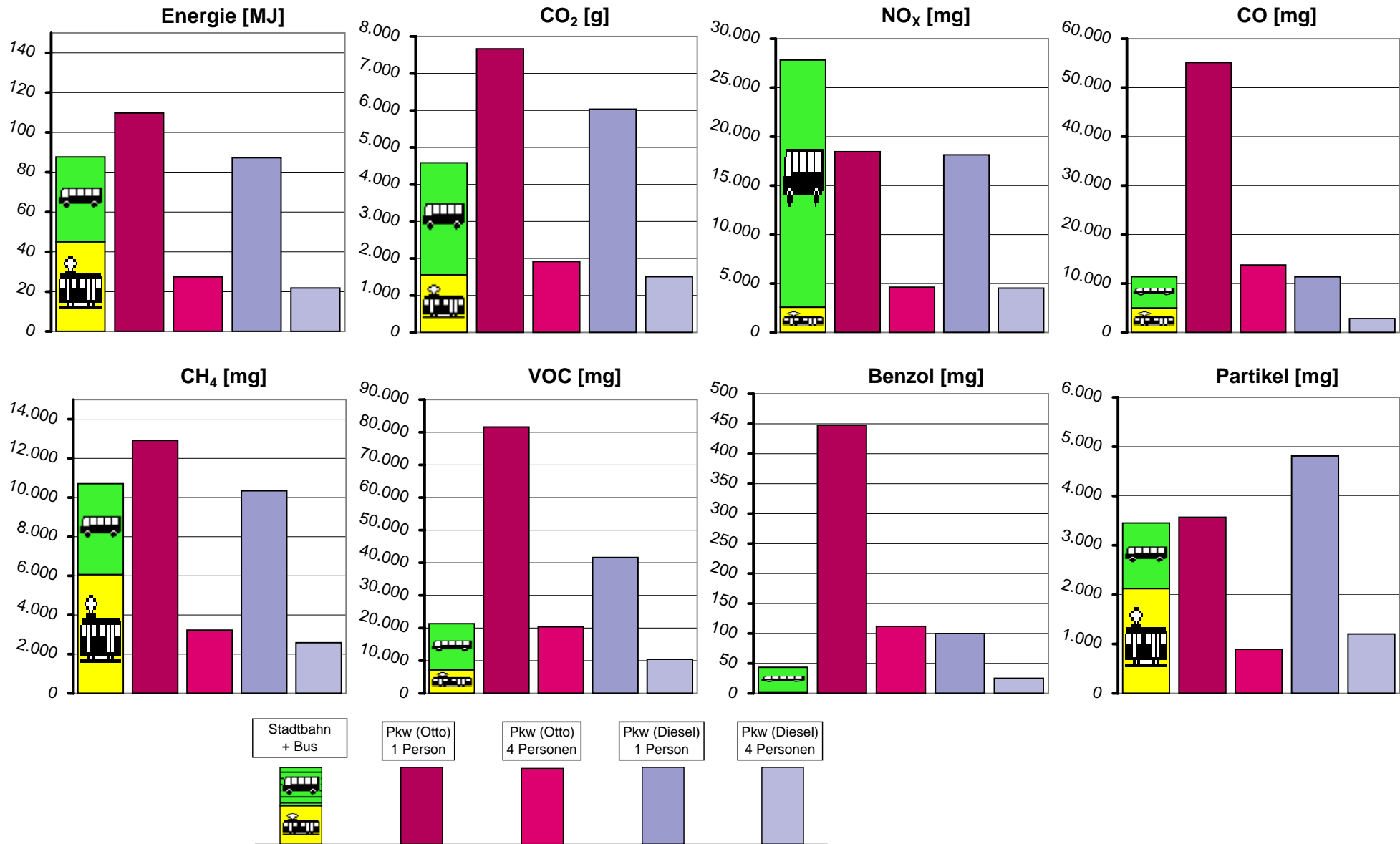
zur Tabelle



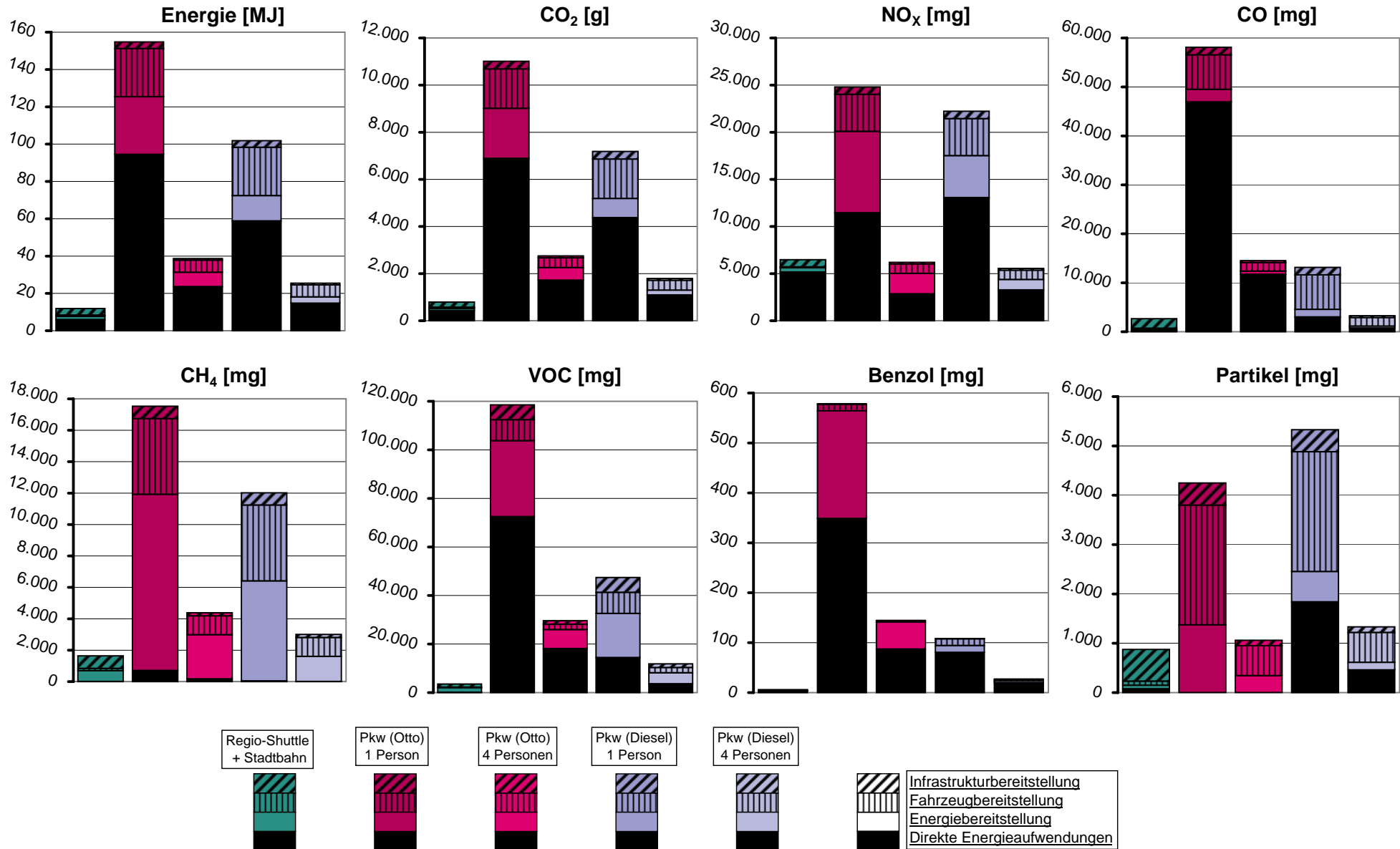
zur Tabelle



zur Tabelle

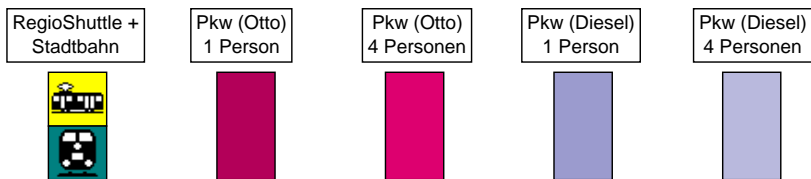
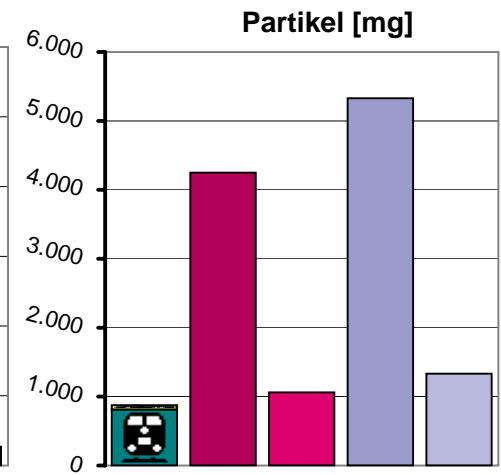
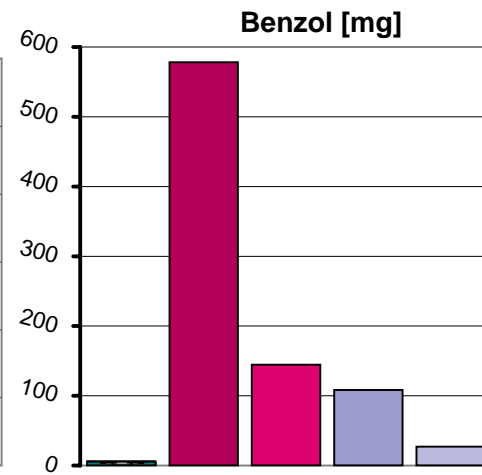
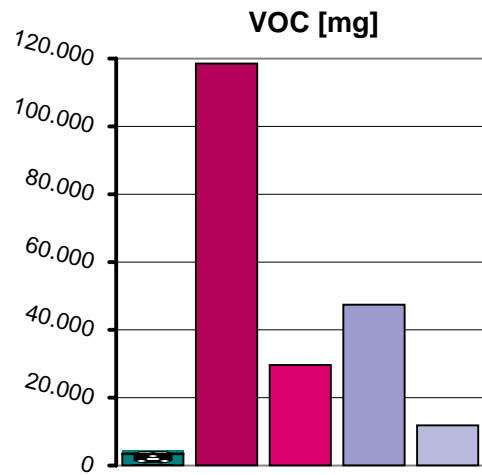
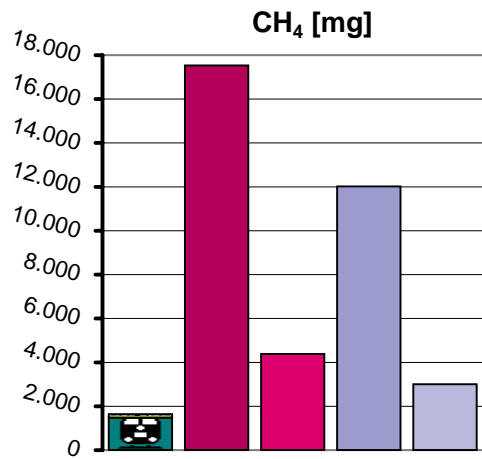
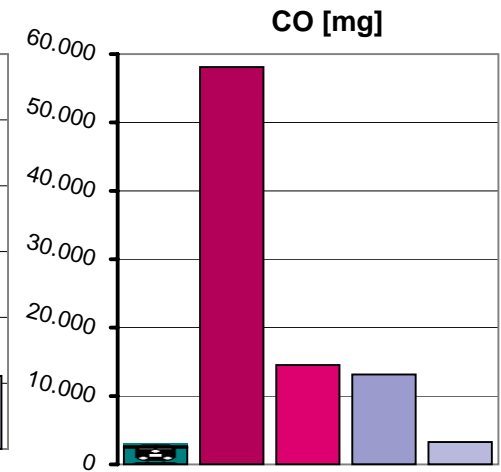
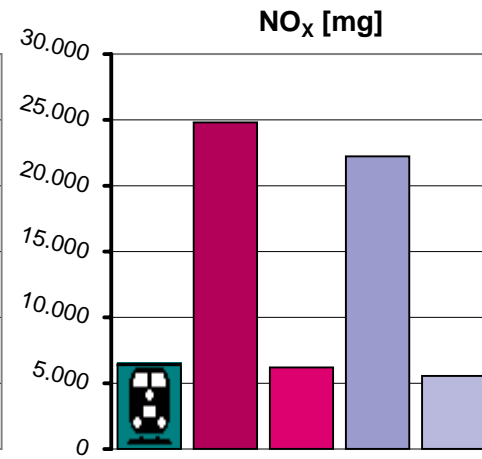
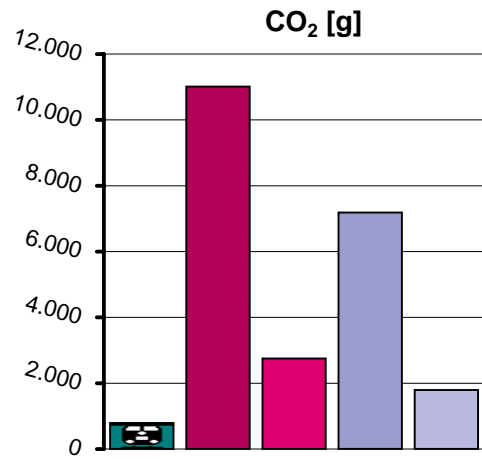
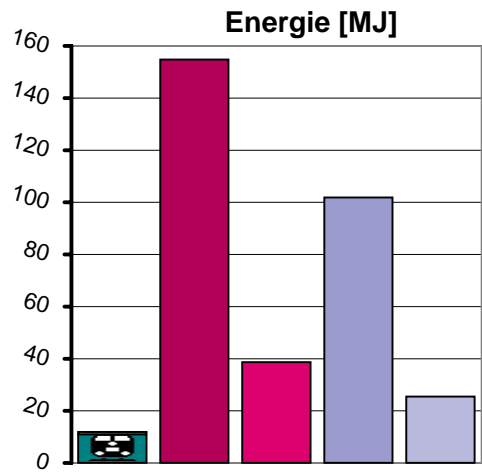


zur Tabelle

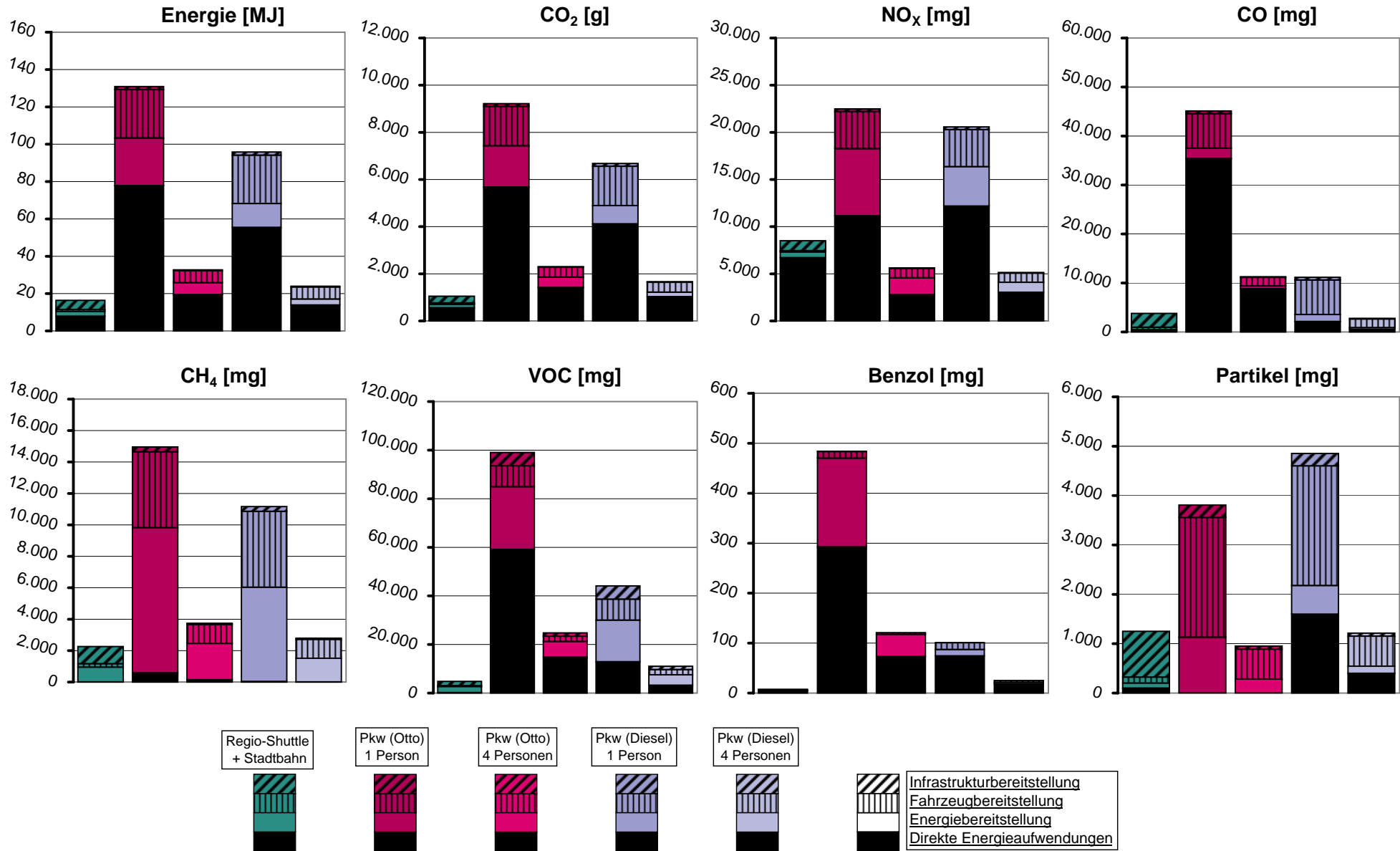




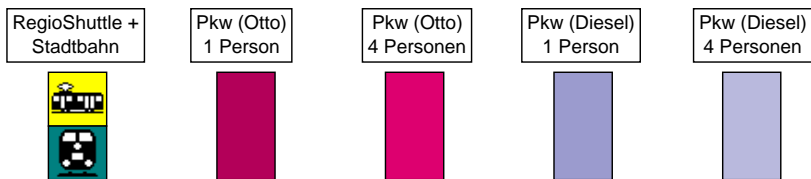
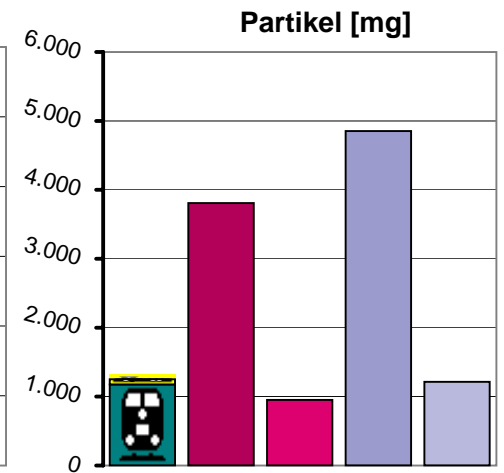
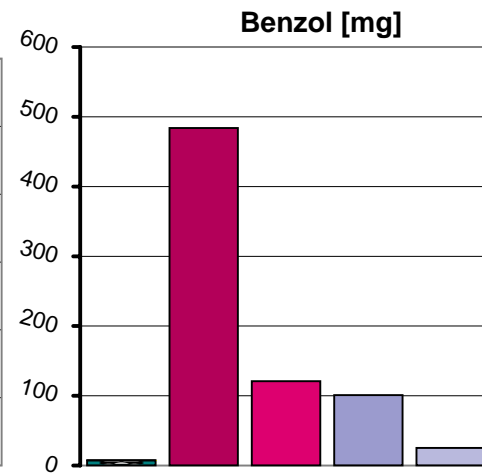
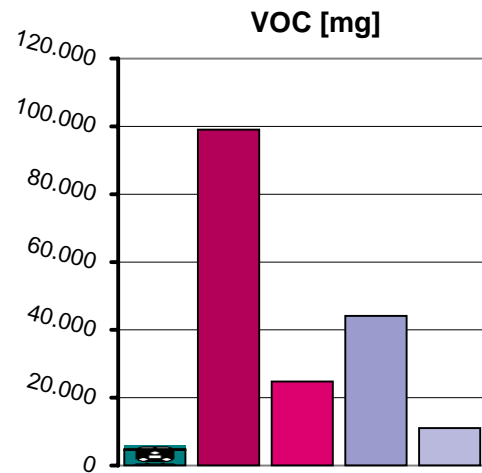
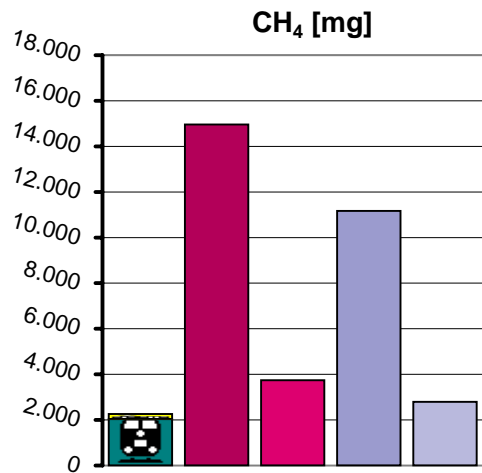
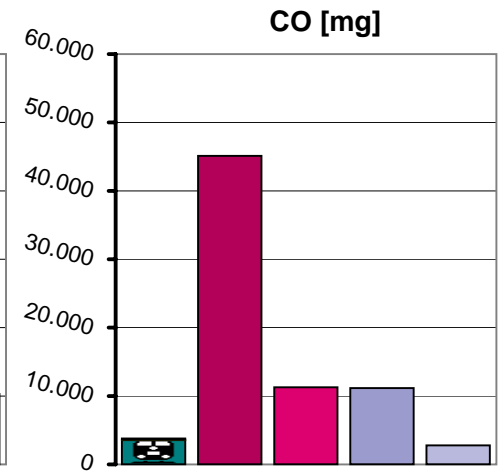
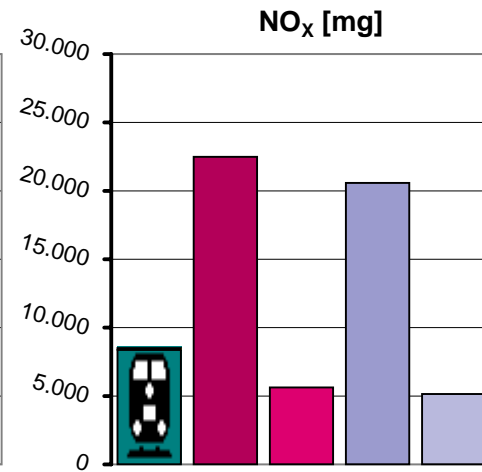
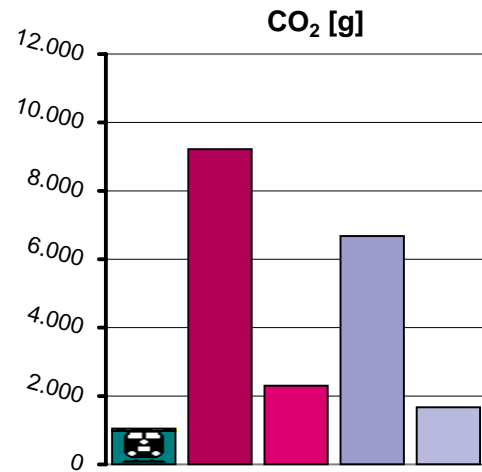
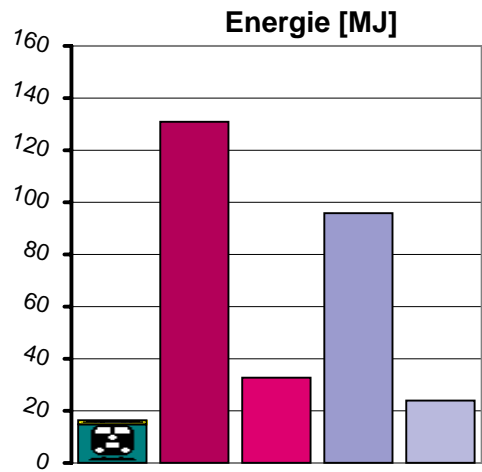
zur Tabelle

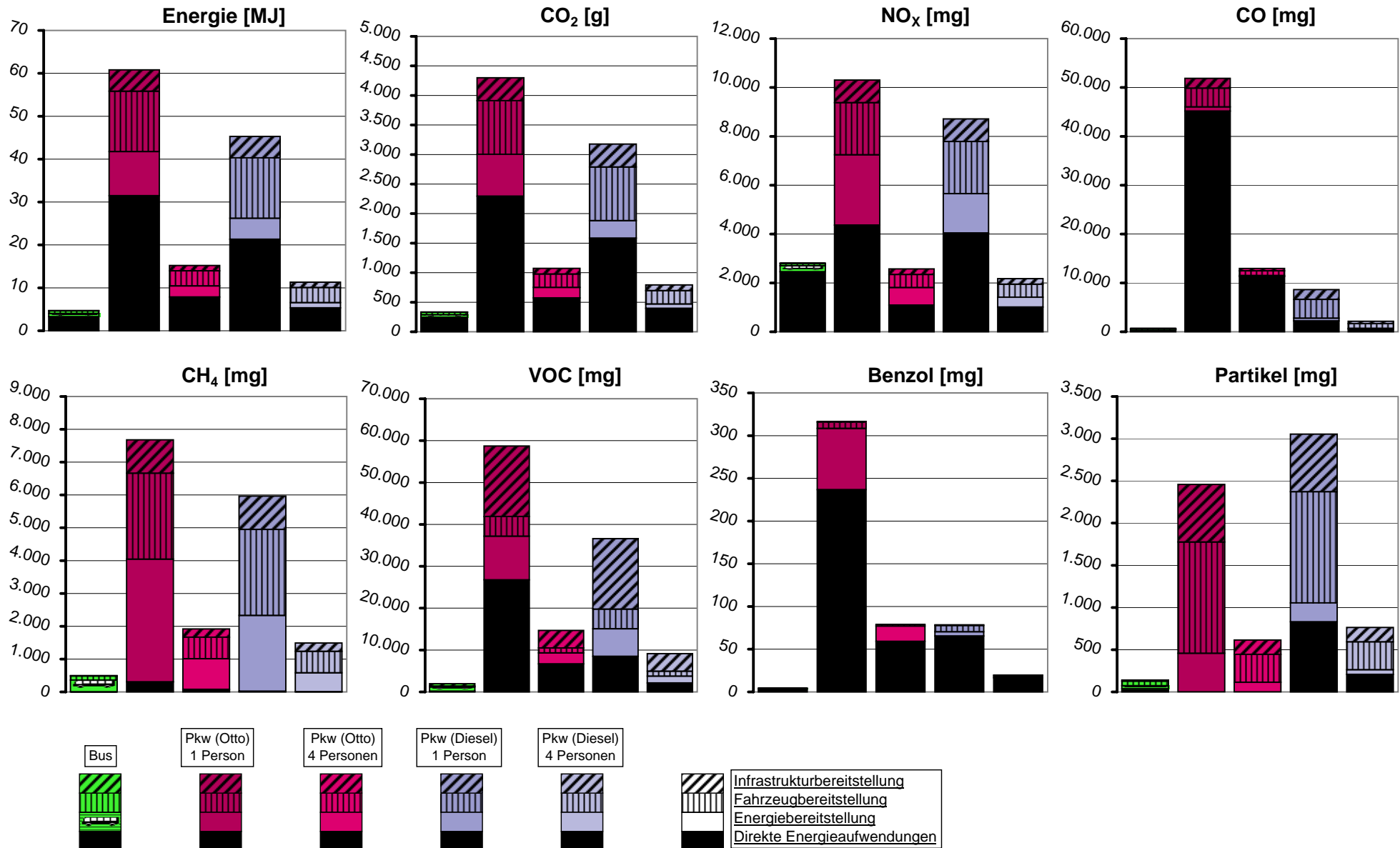


zur Tabelle

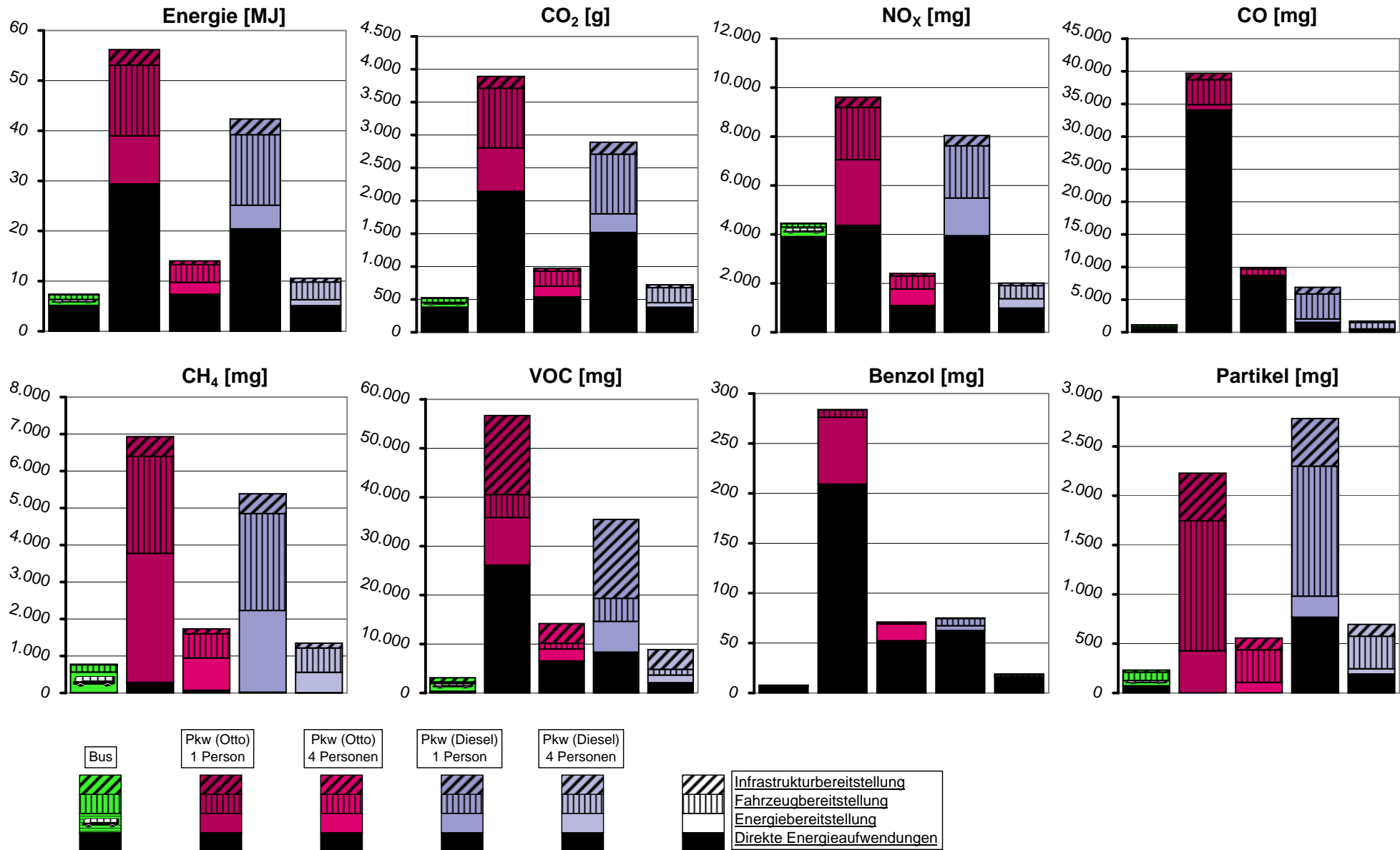


zur Tabelle

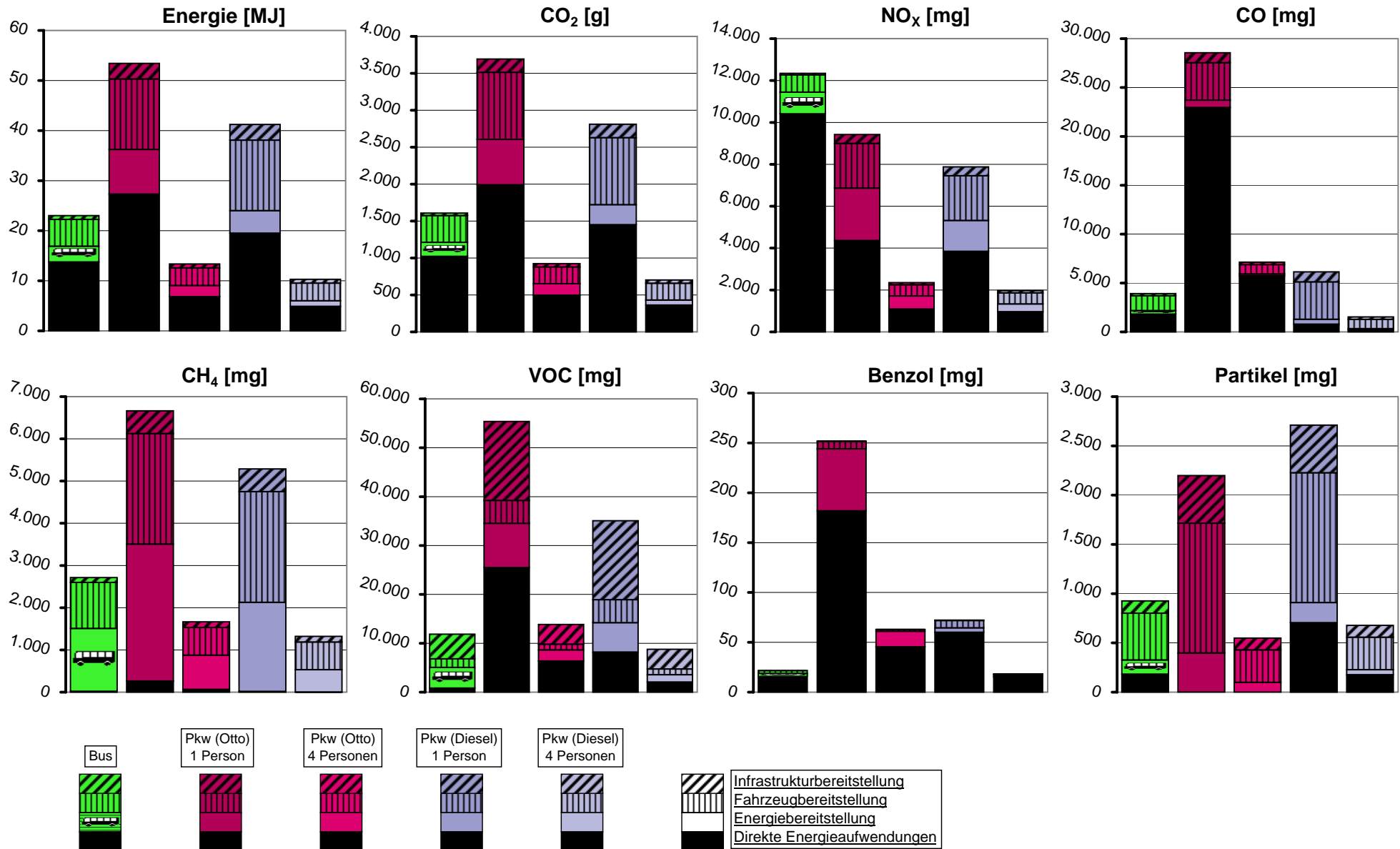




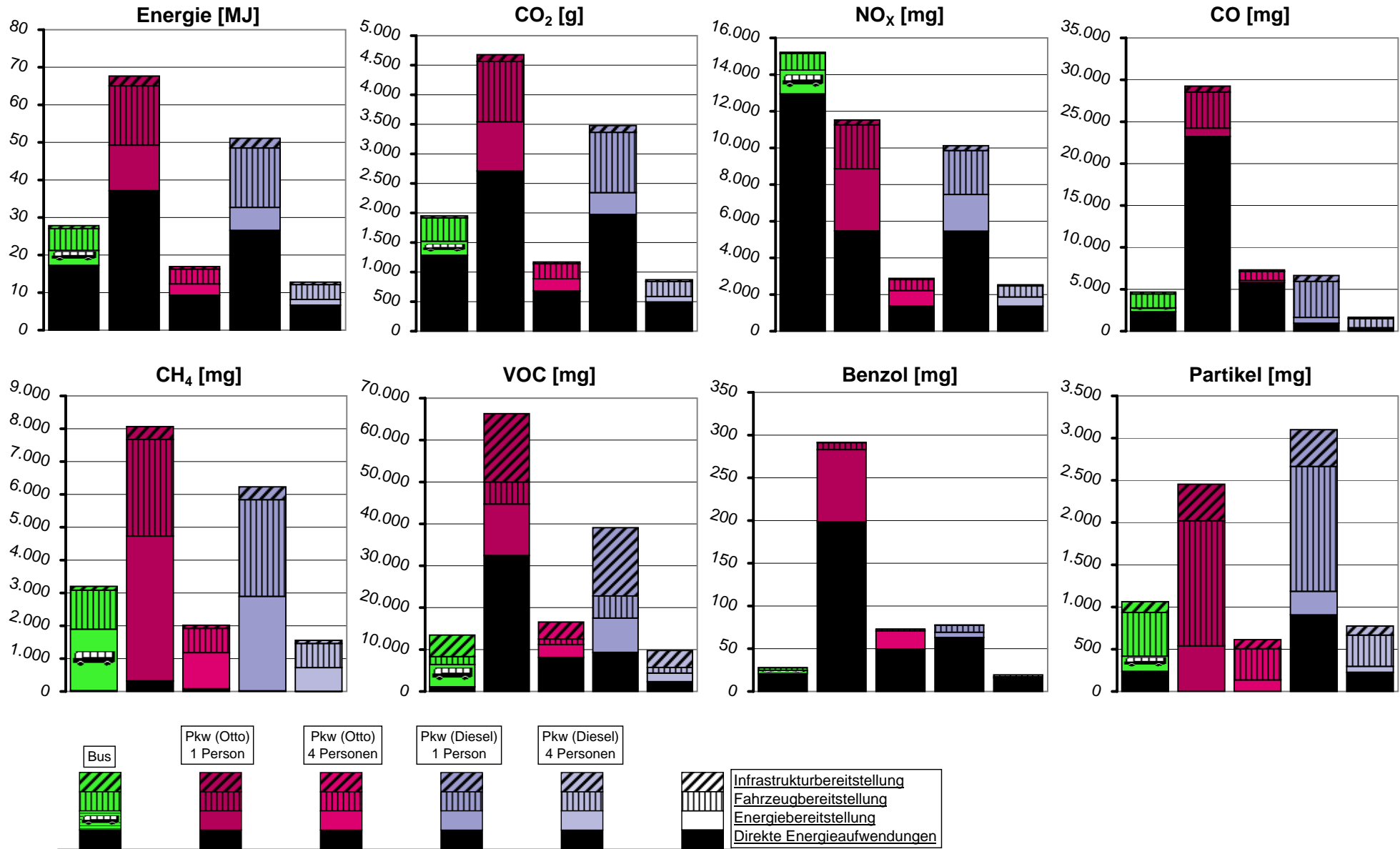
zur Tabelle



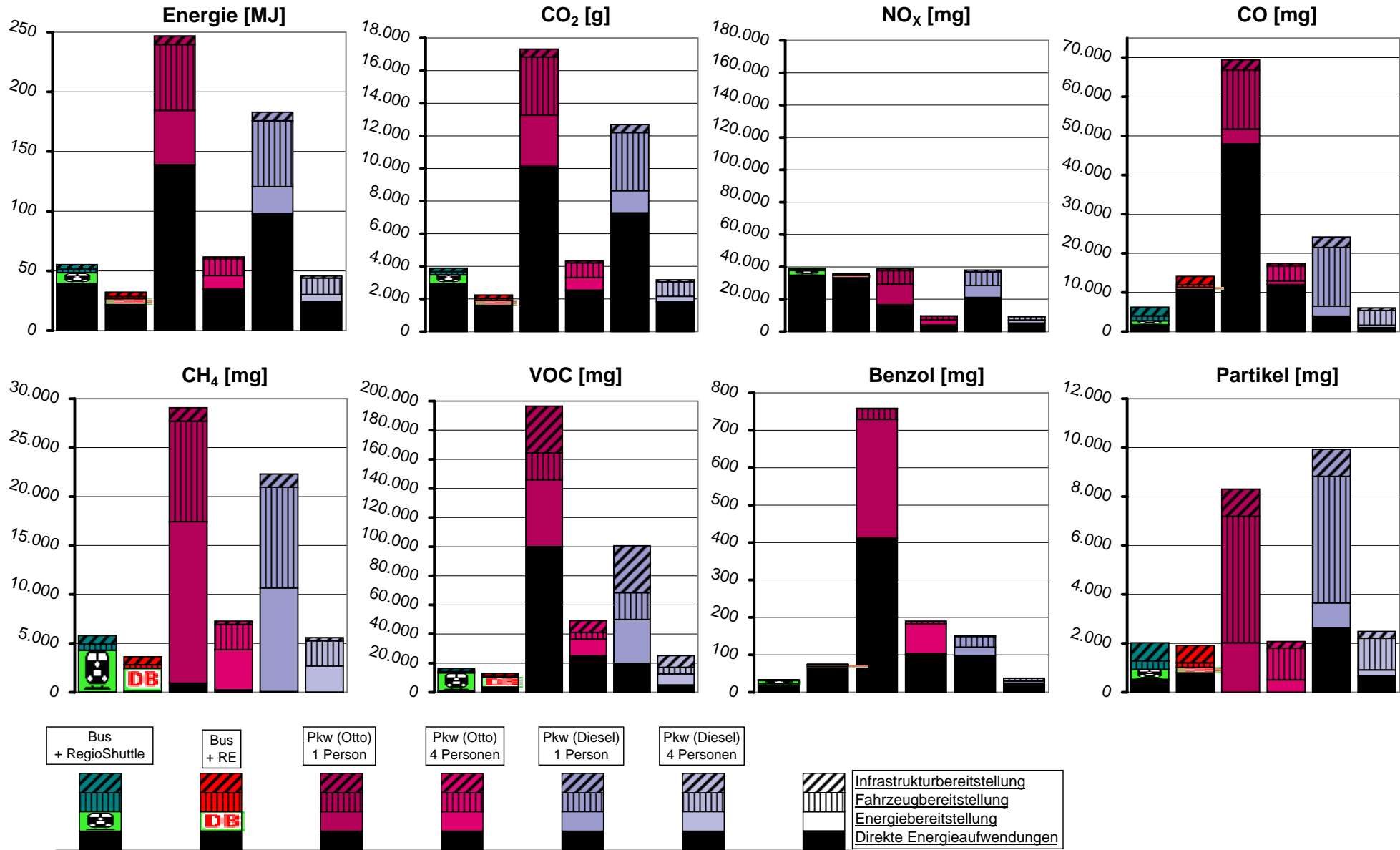
zur Tabelle



zur Tabelle

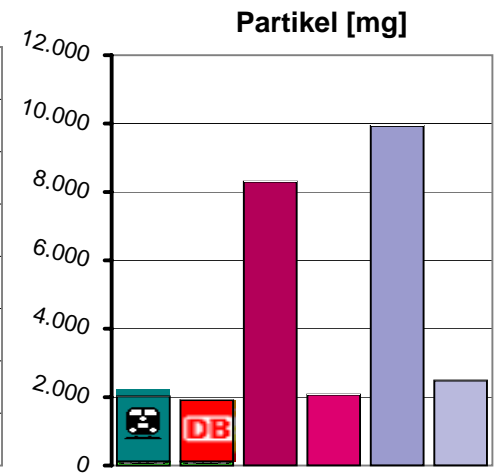
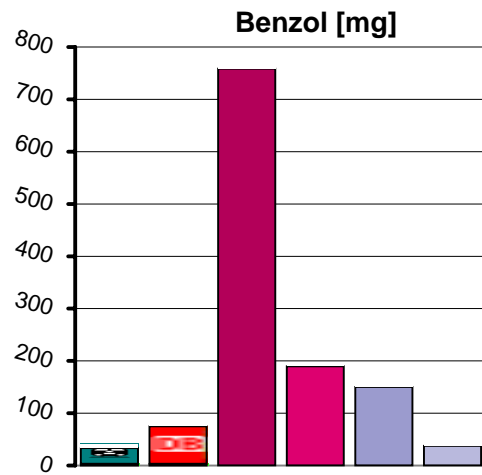
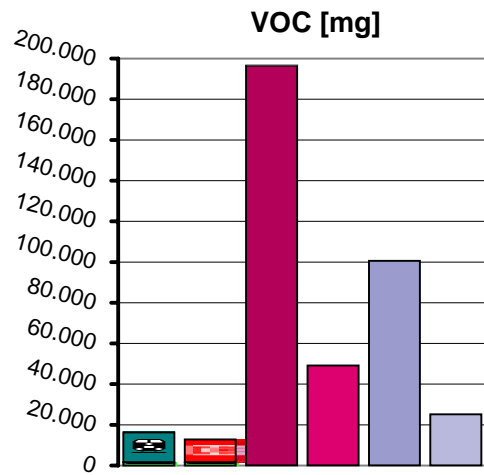
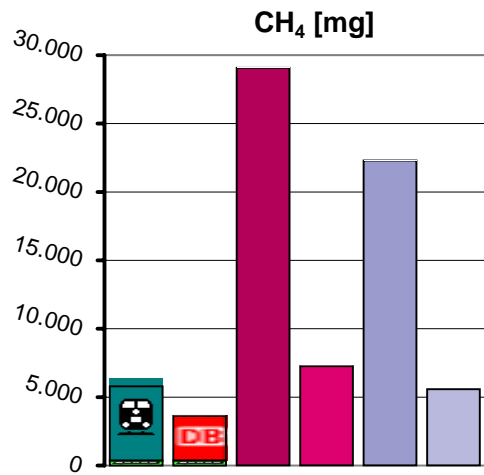
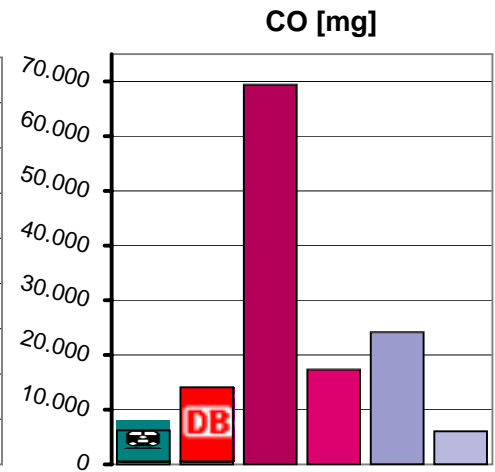
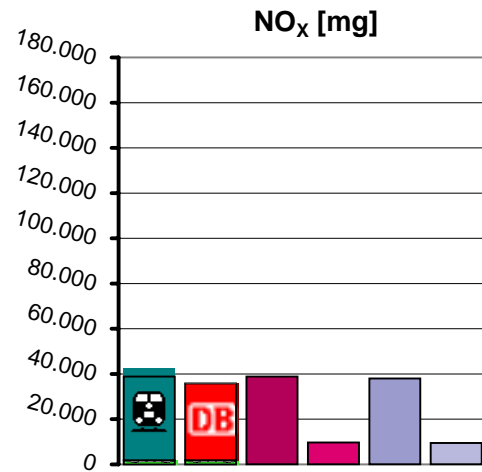
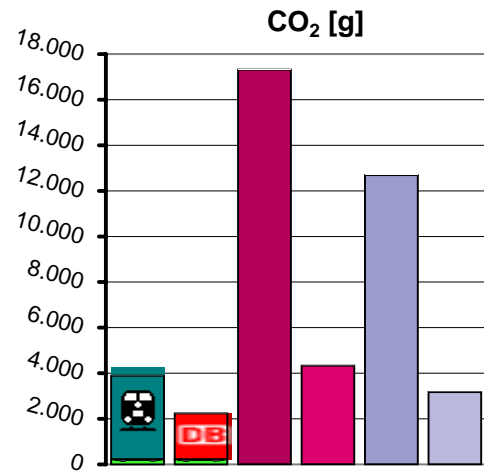
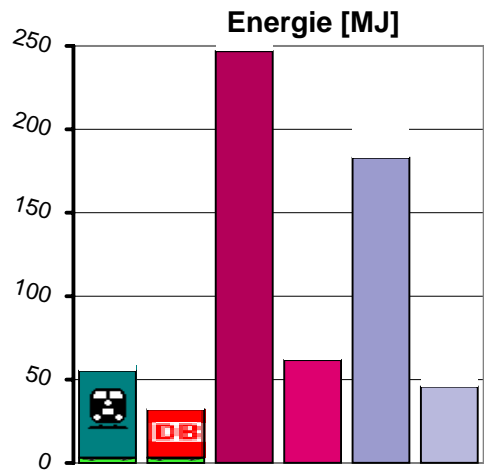


zur Tabelle

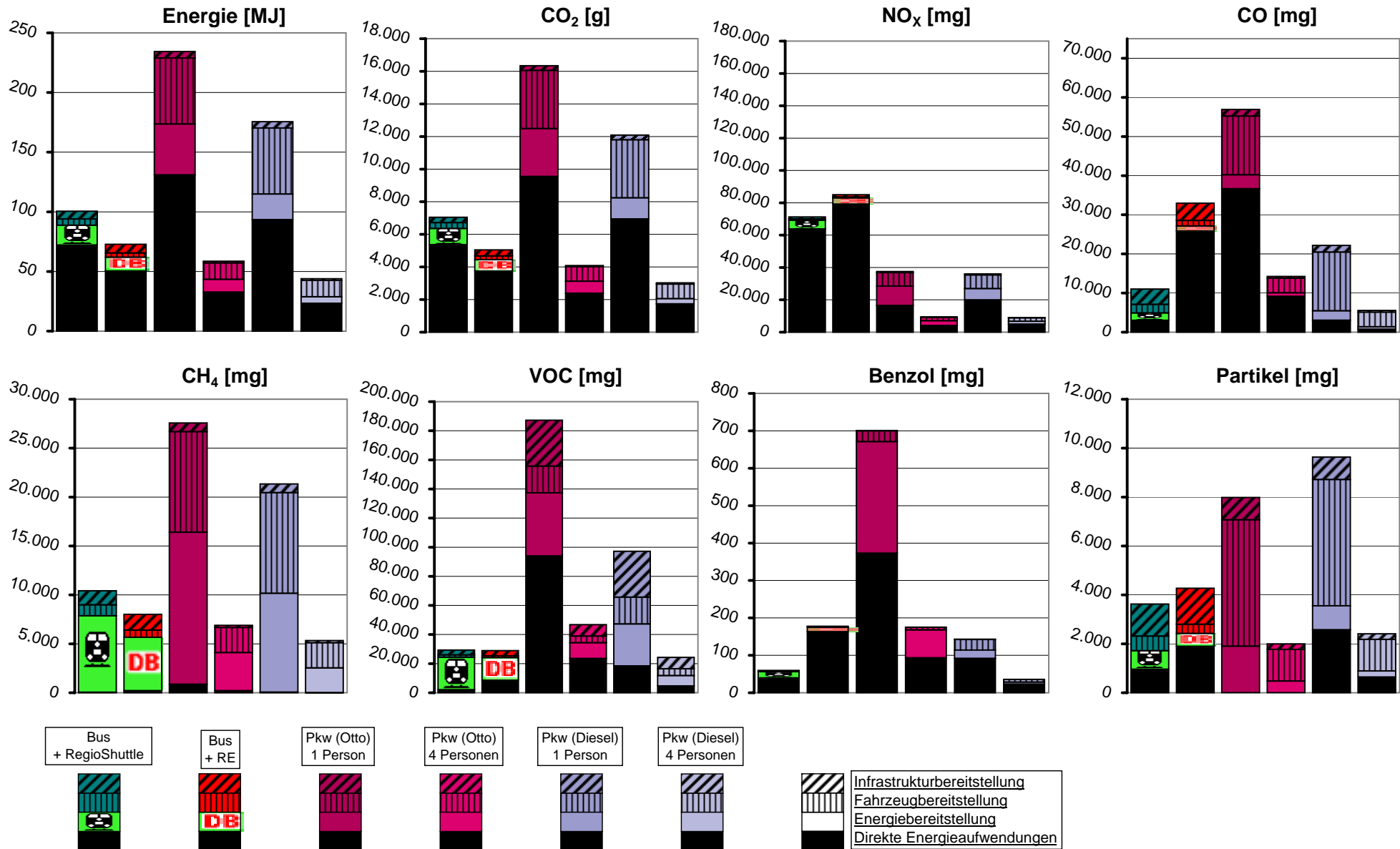




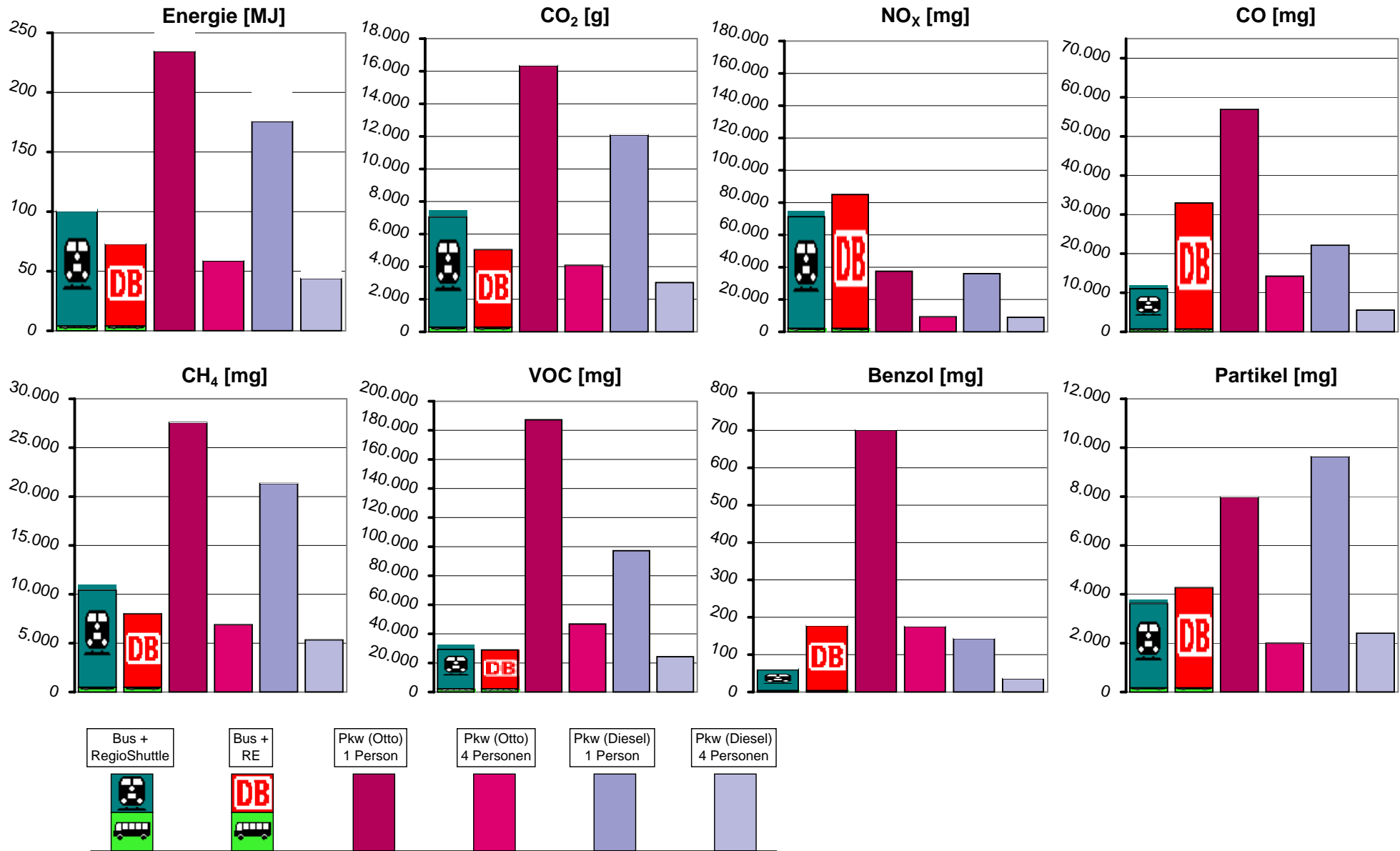
zur Tabelle



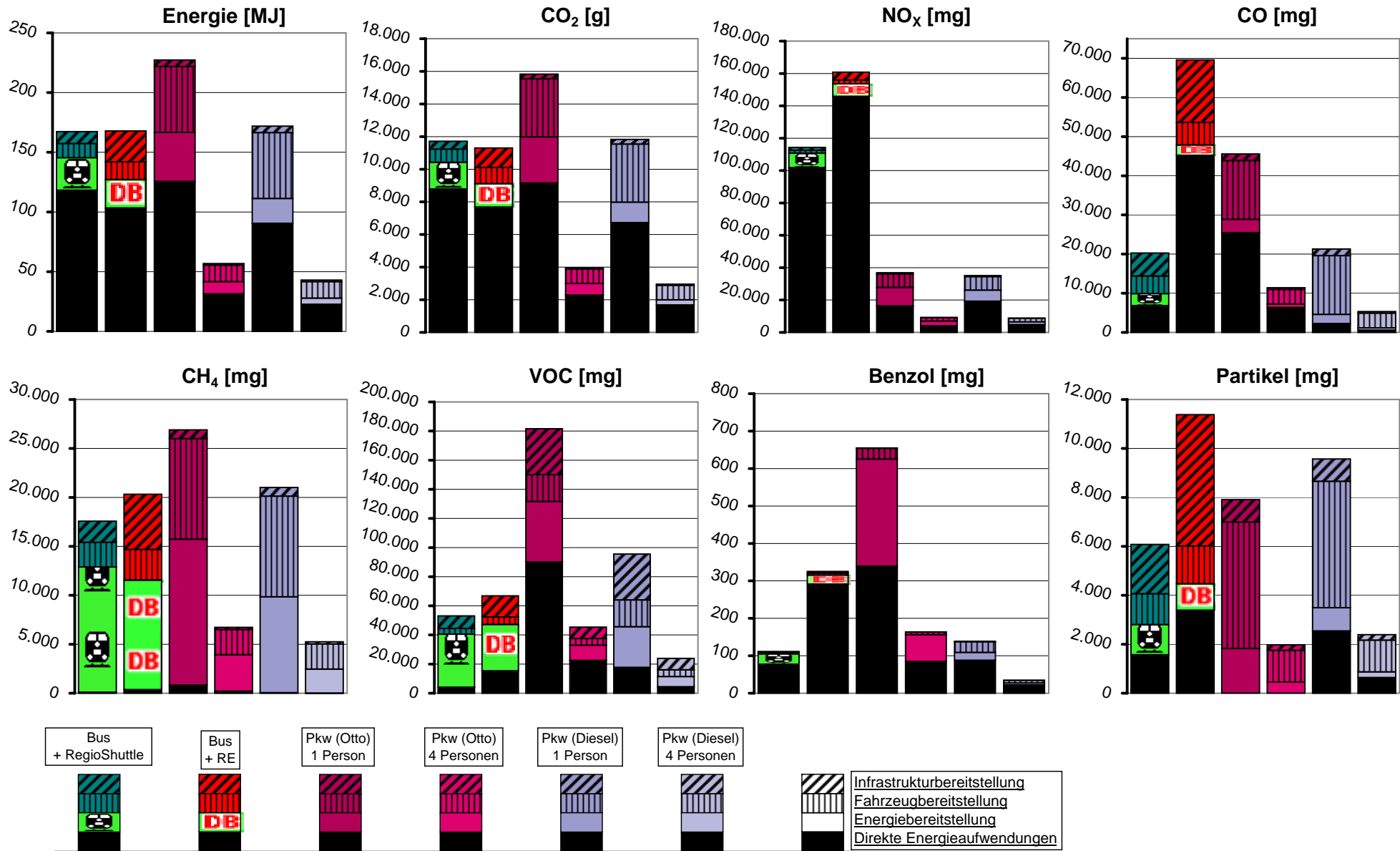
zur Tabelle



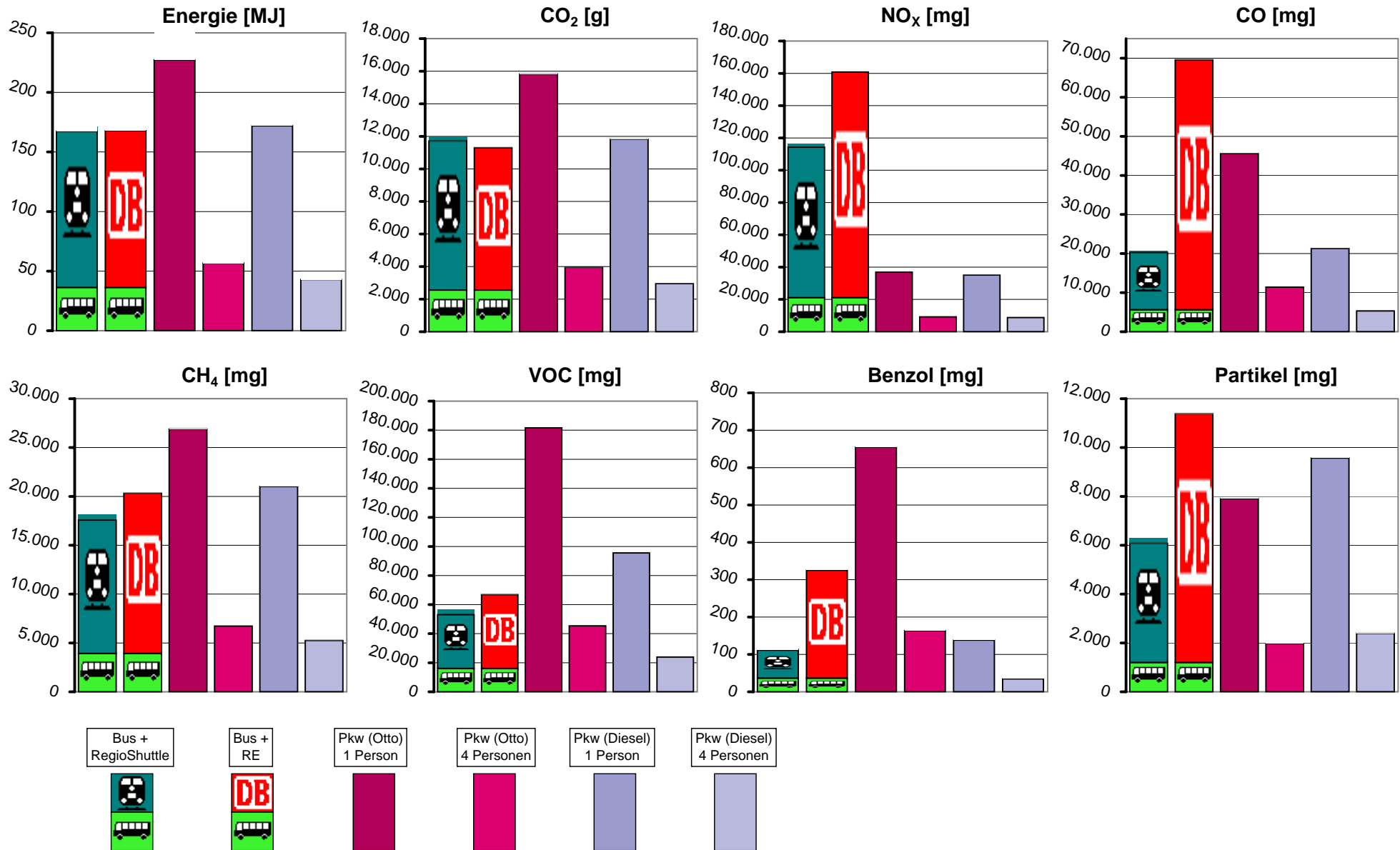
zur Tabelle



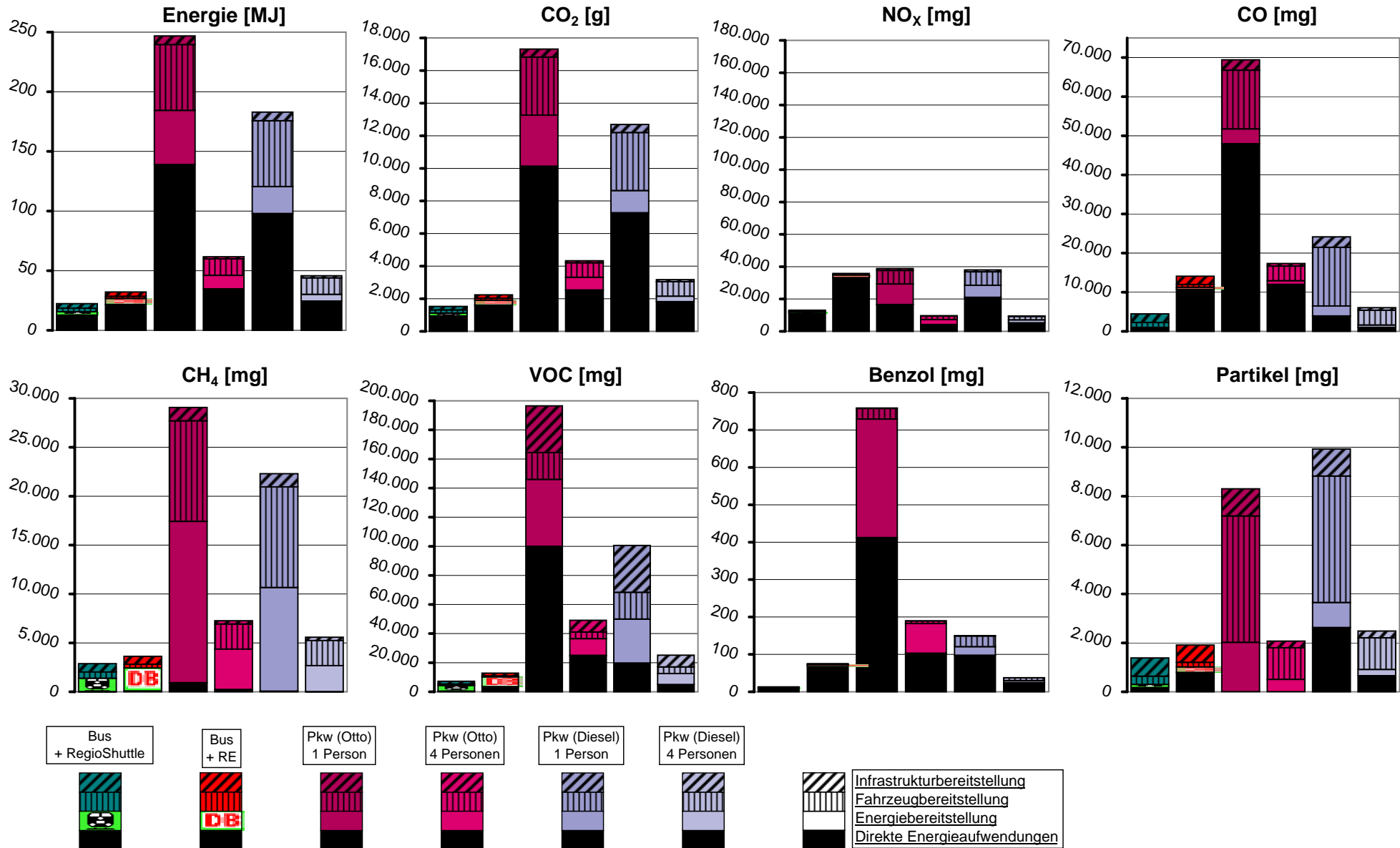
zur Tabelle



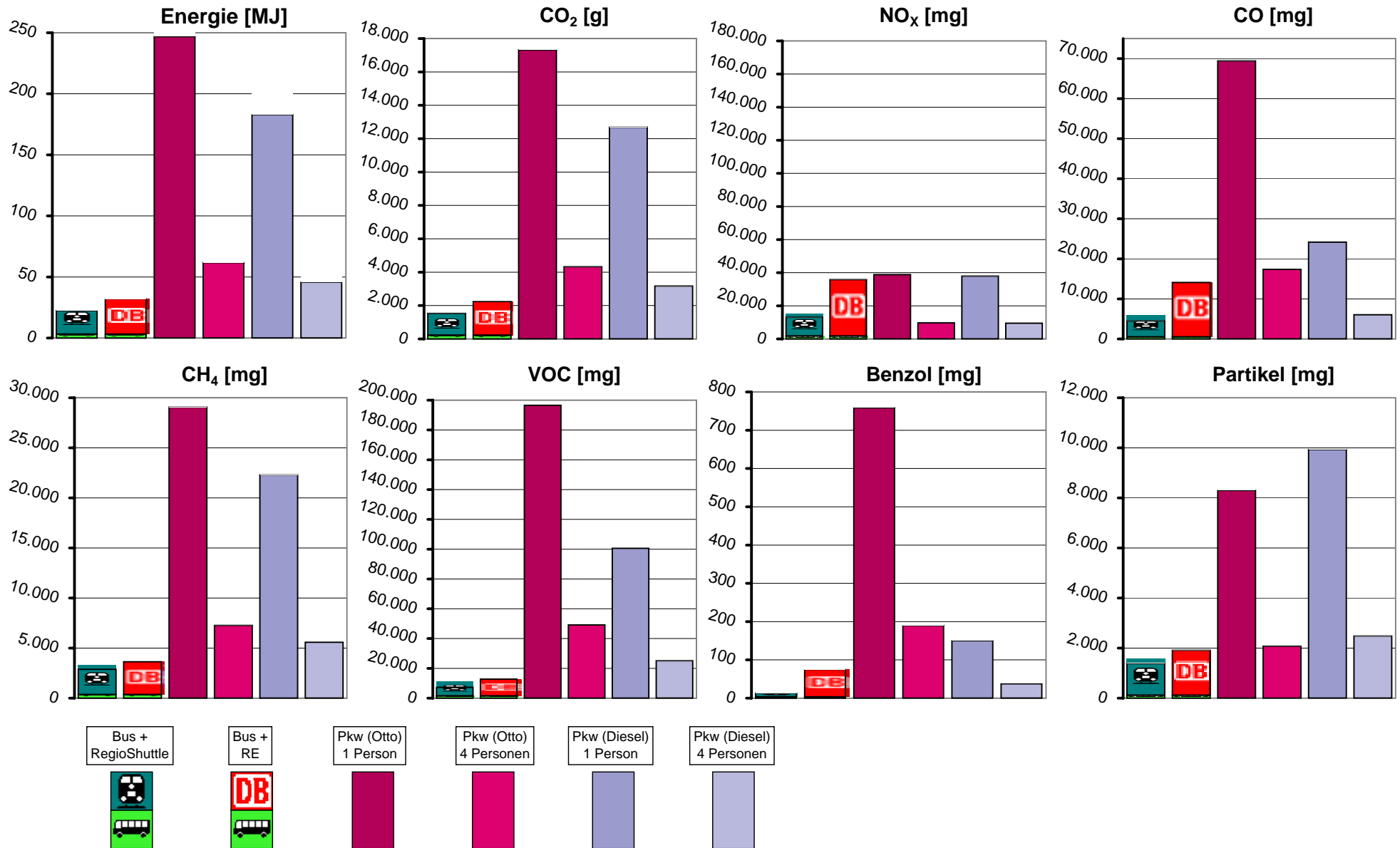
zur Tabelle



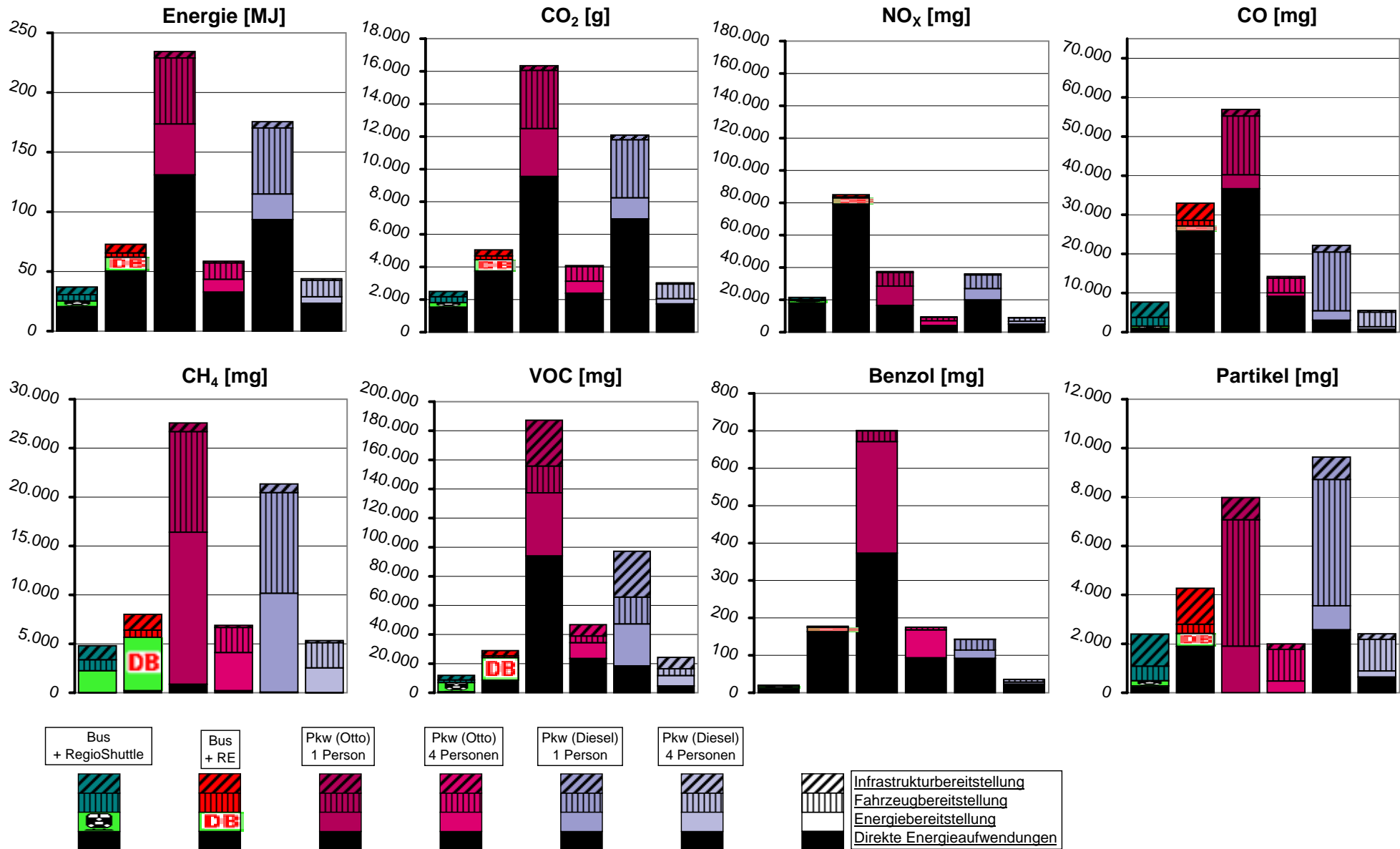
zur Tabelle



zur Tabelle

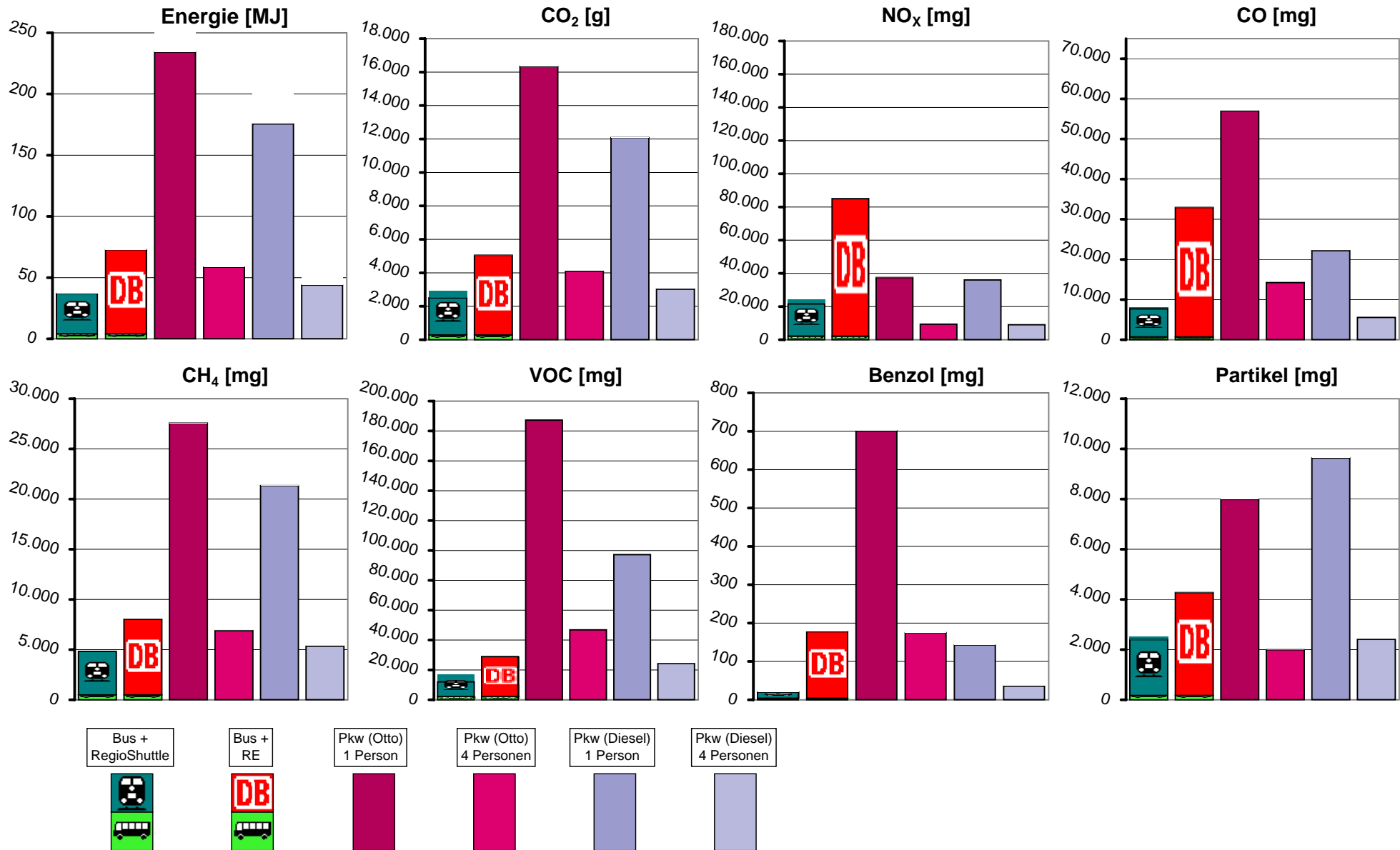


zur Tabelle

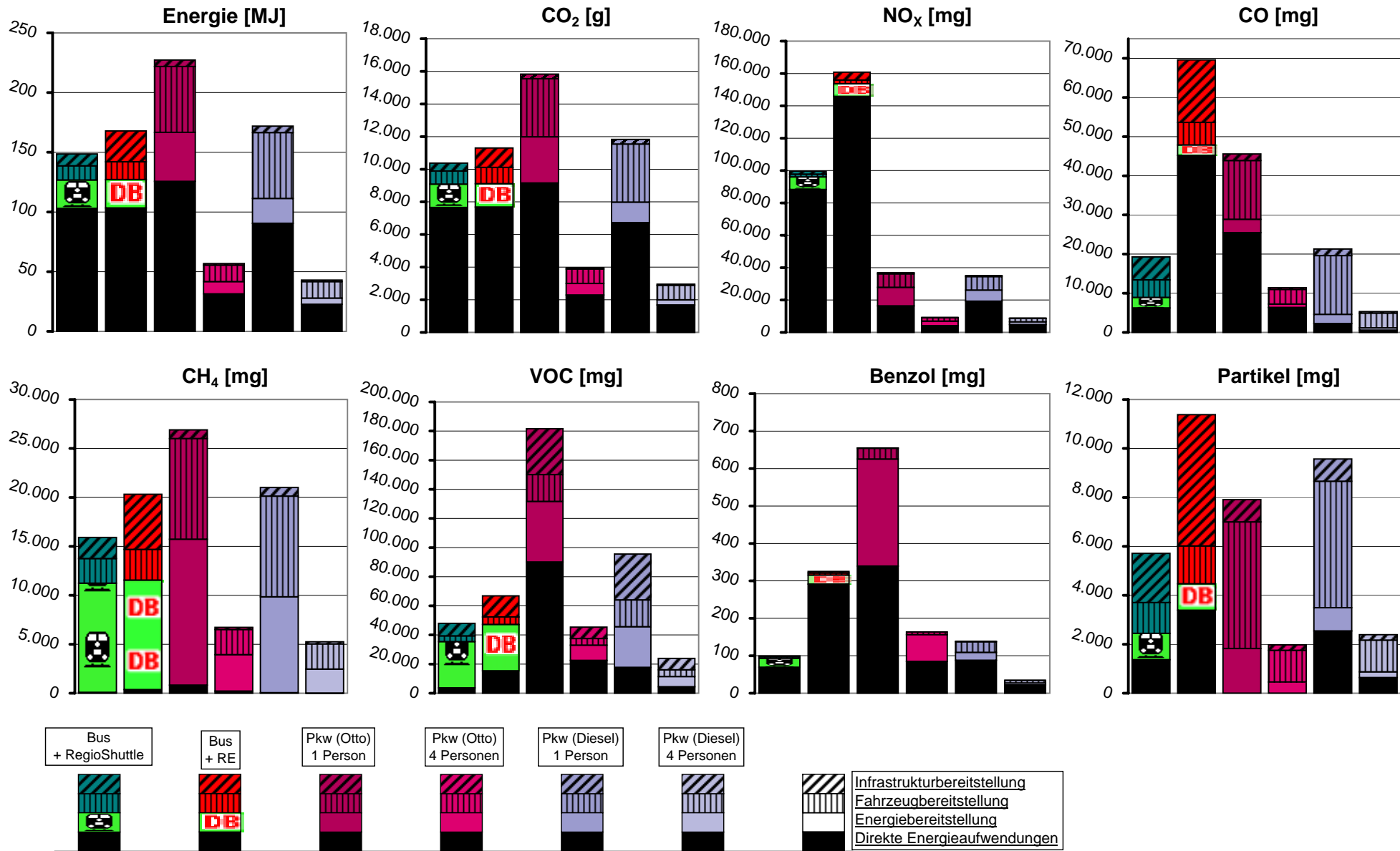




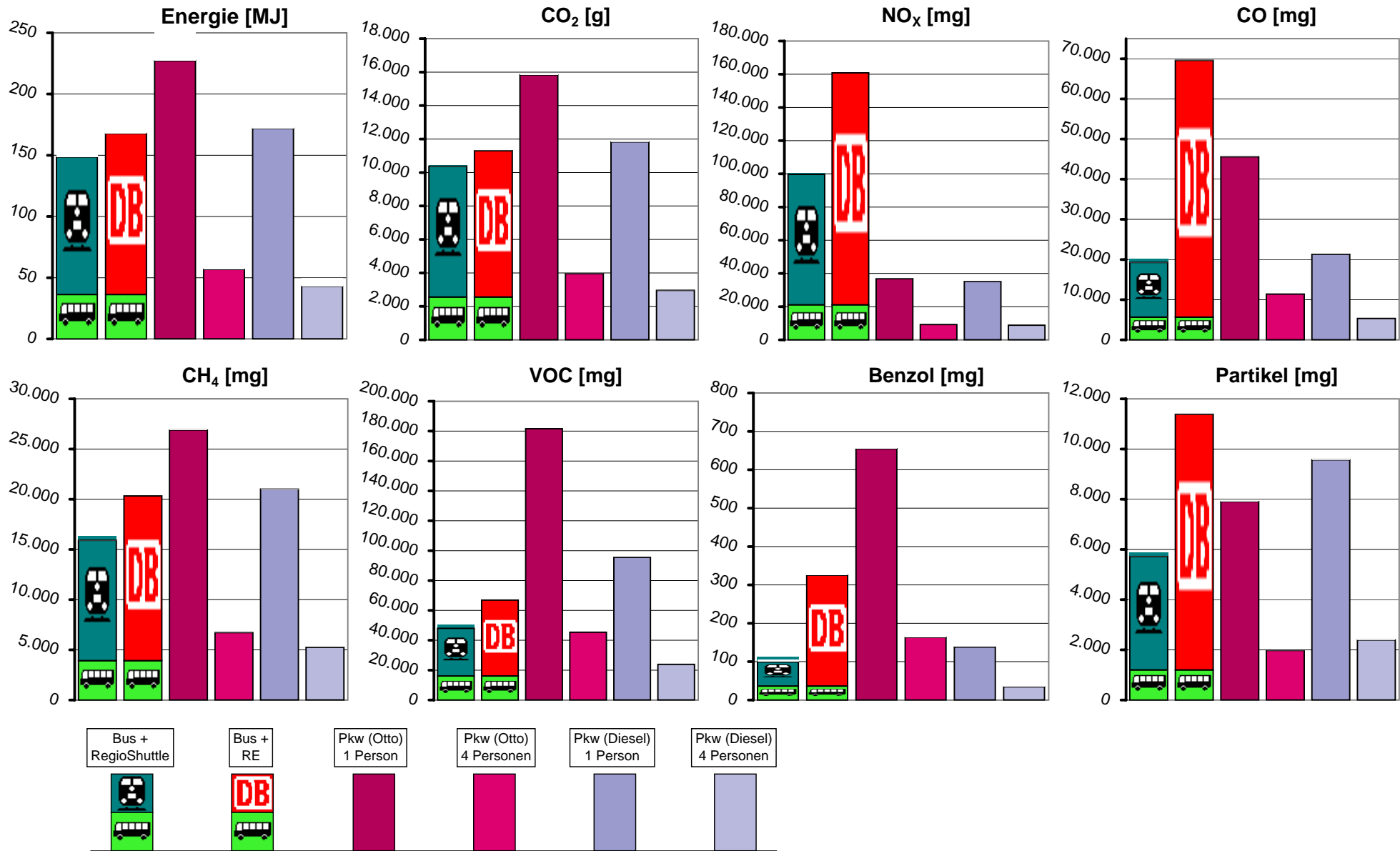
zur Tabelle



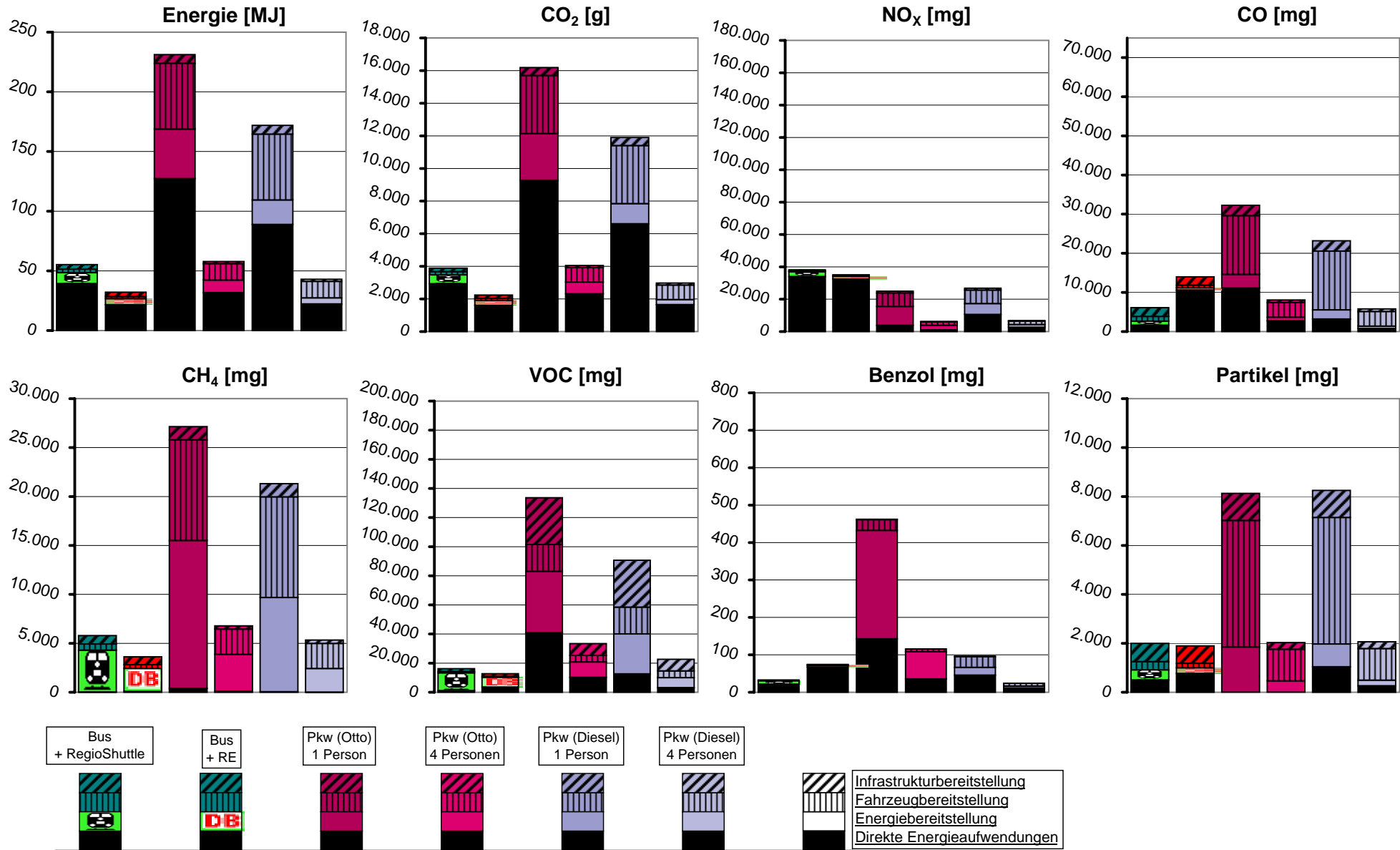
zur Tabelle



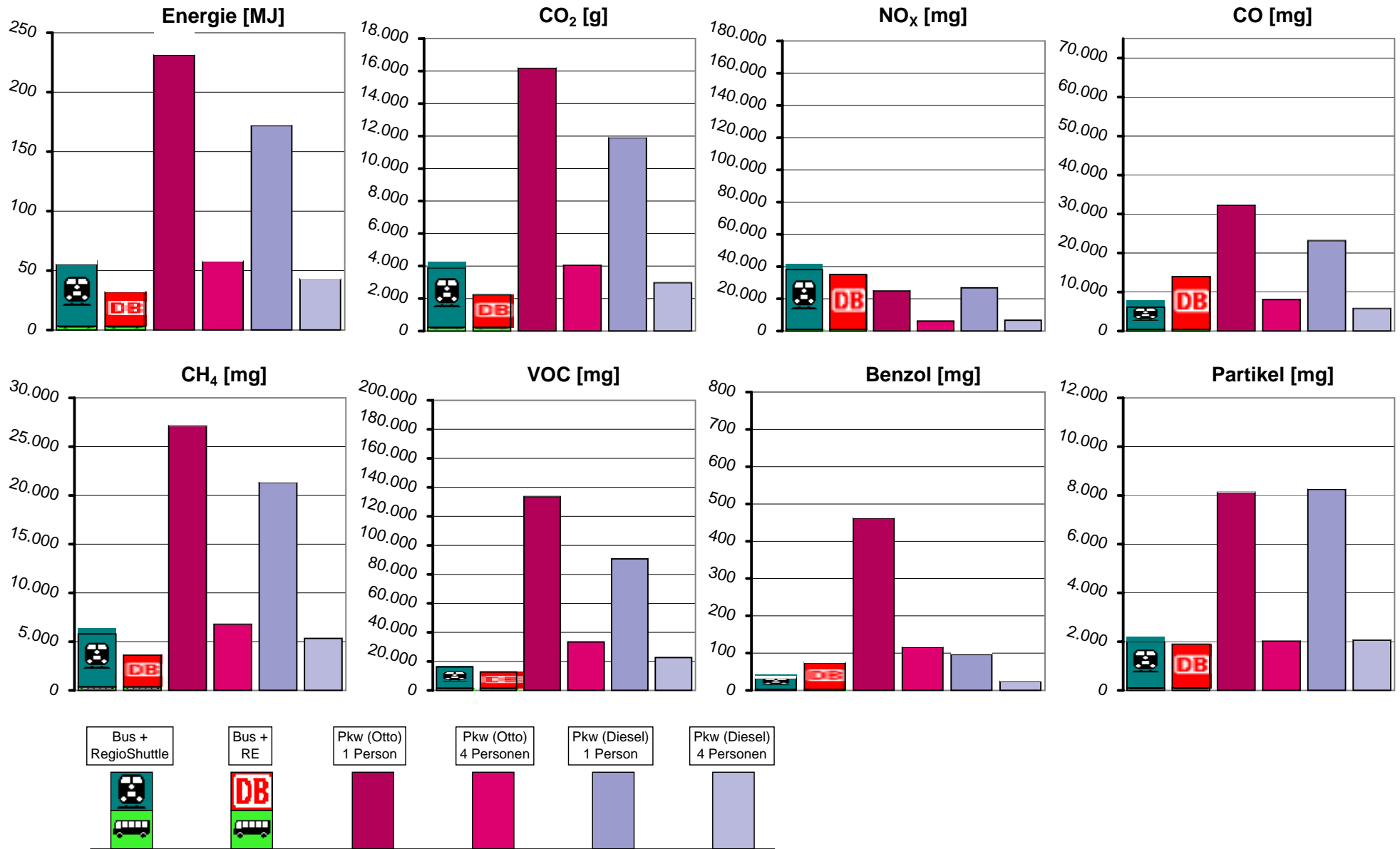
zur Tabelle



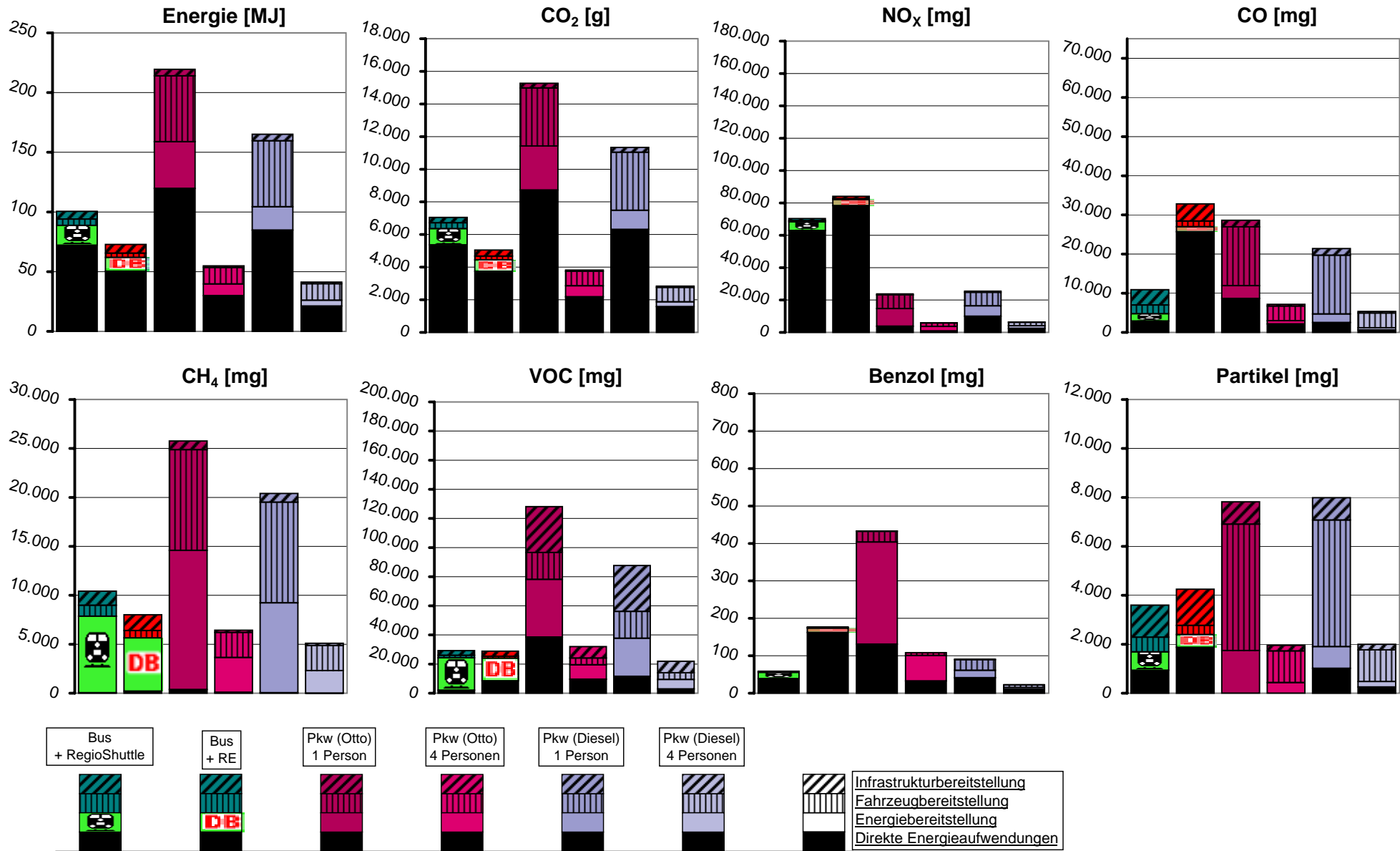
zur Tabelle



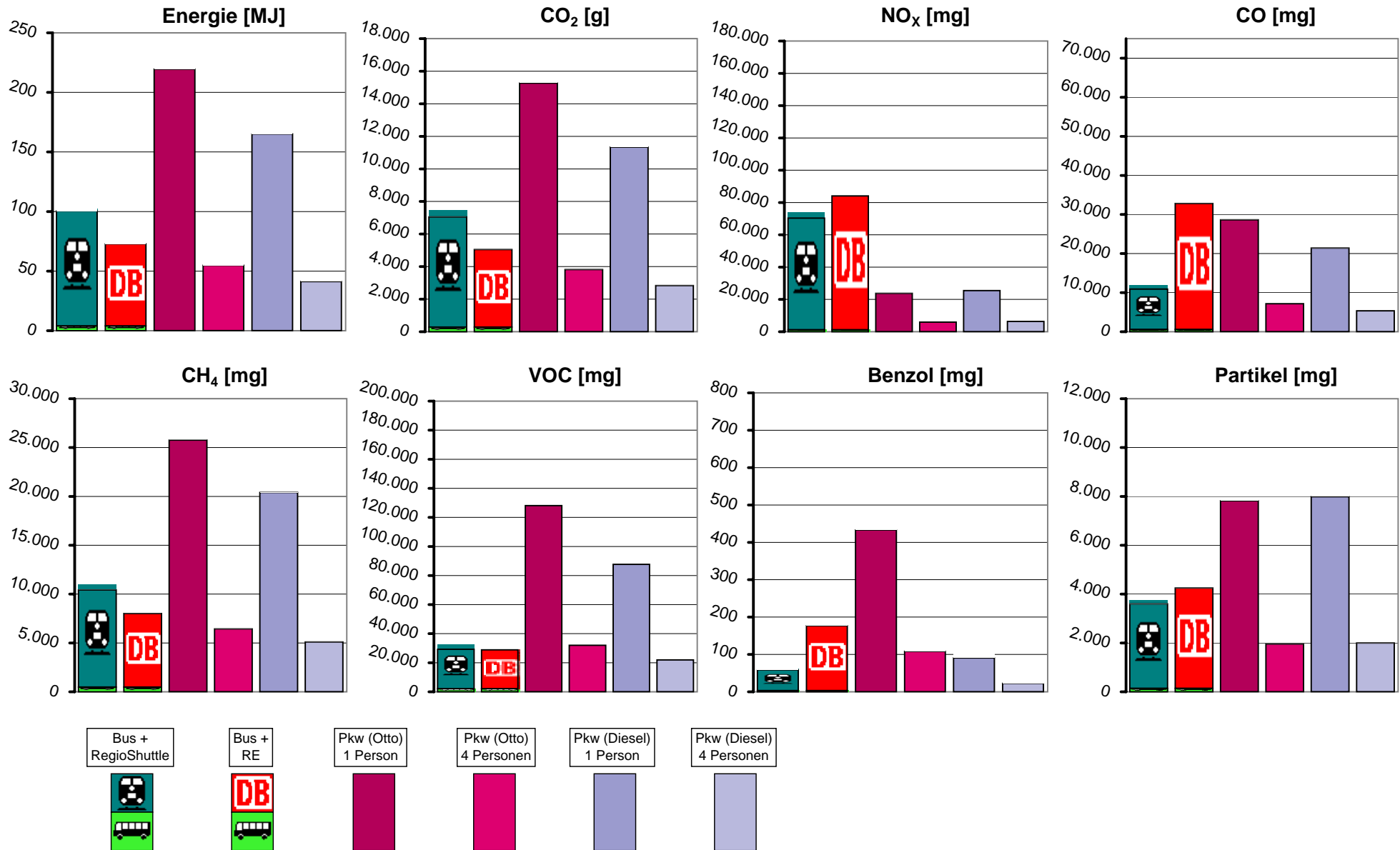
zur Tabelle



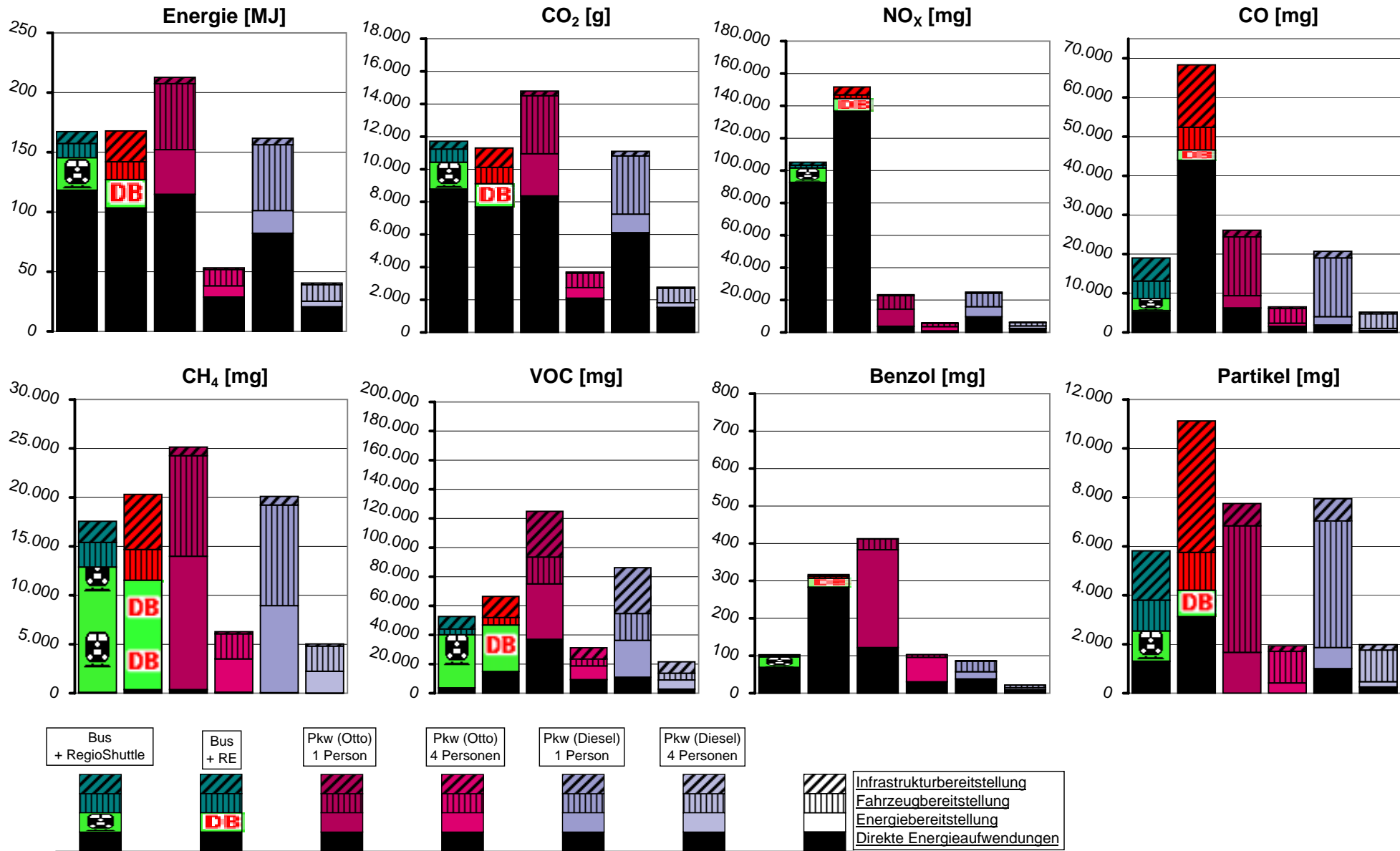
zur Tabelle



zur Tabelle

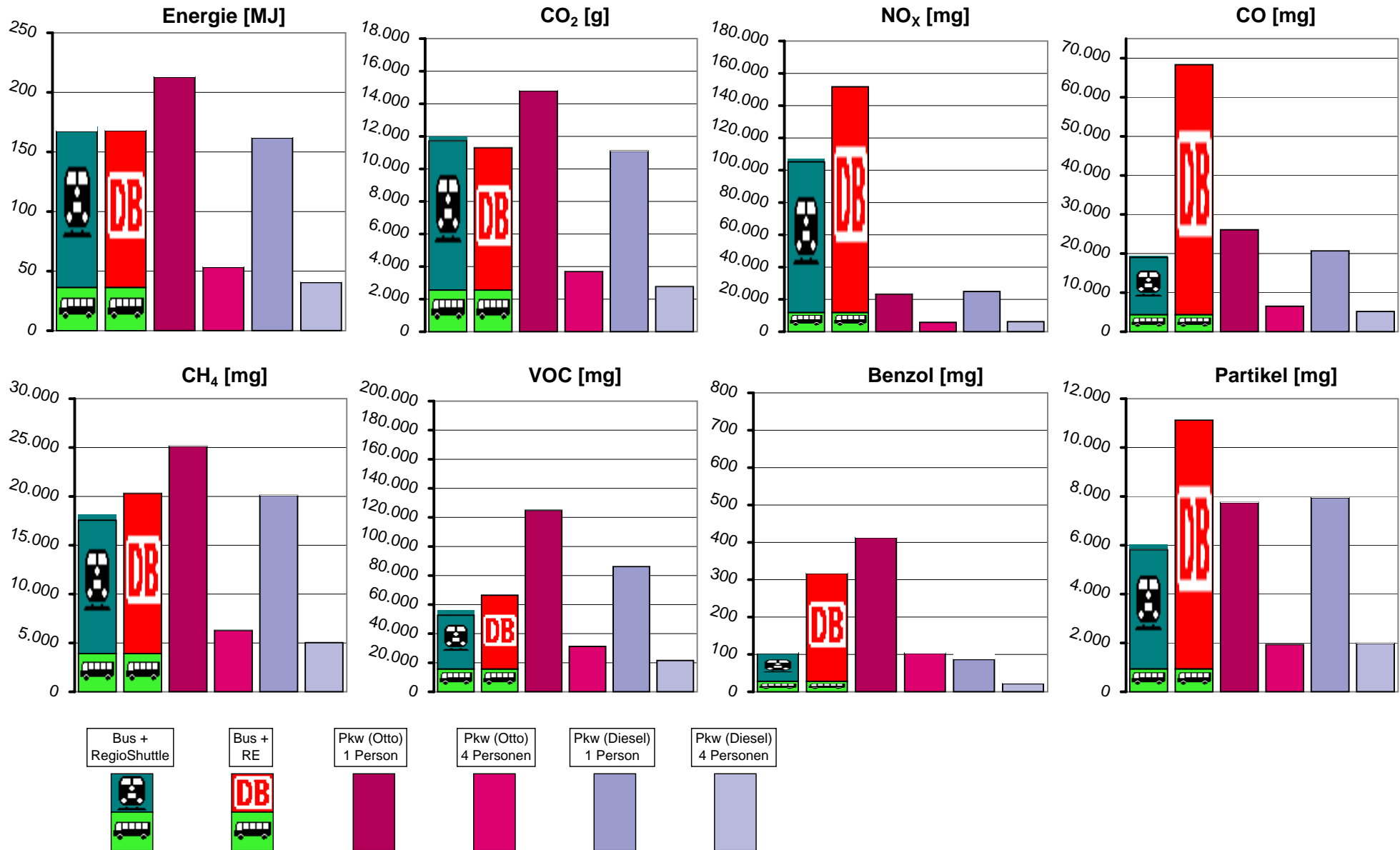


zur Tabelle

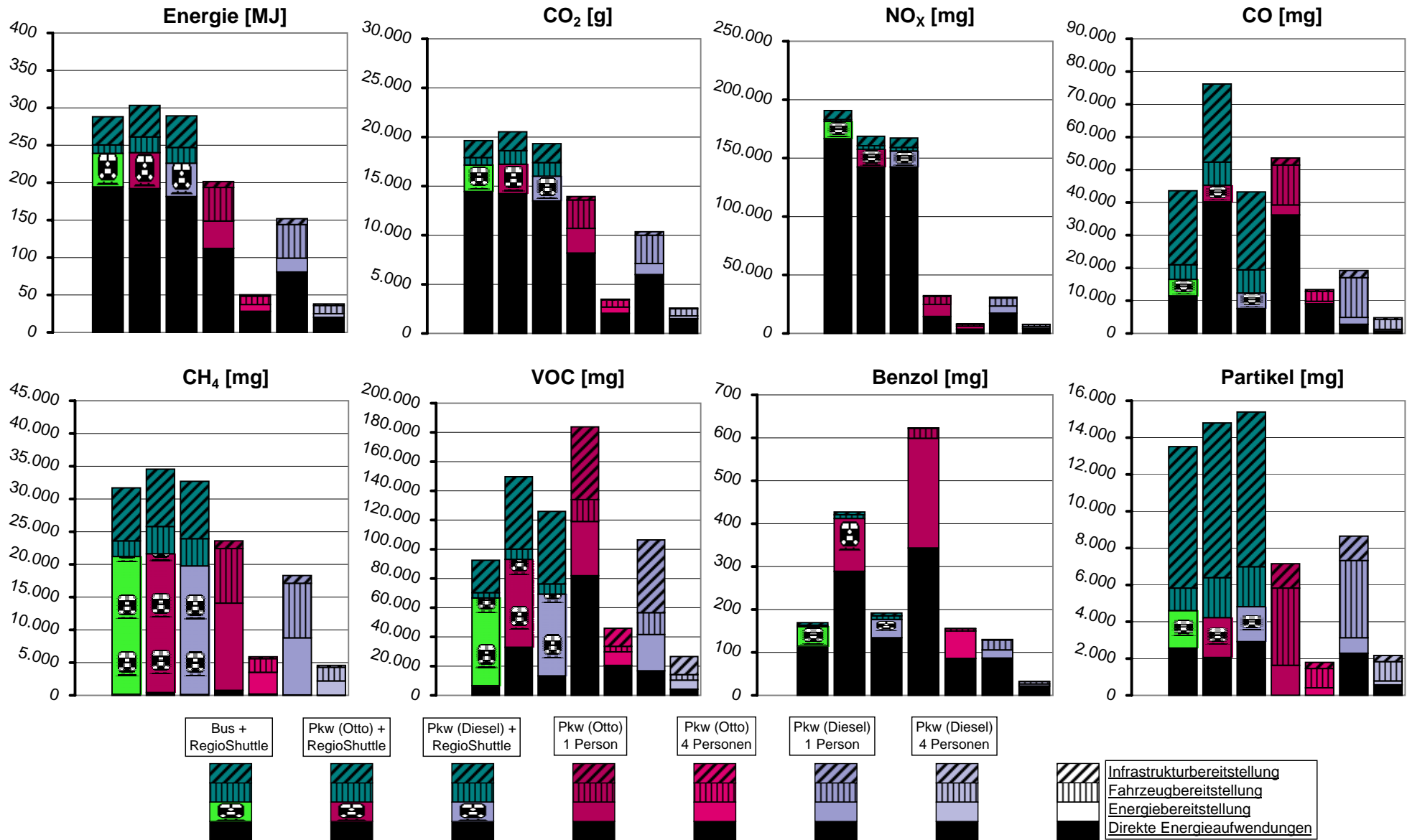




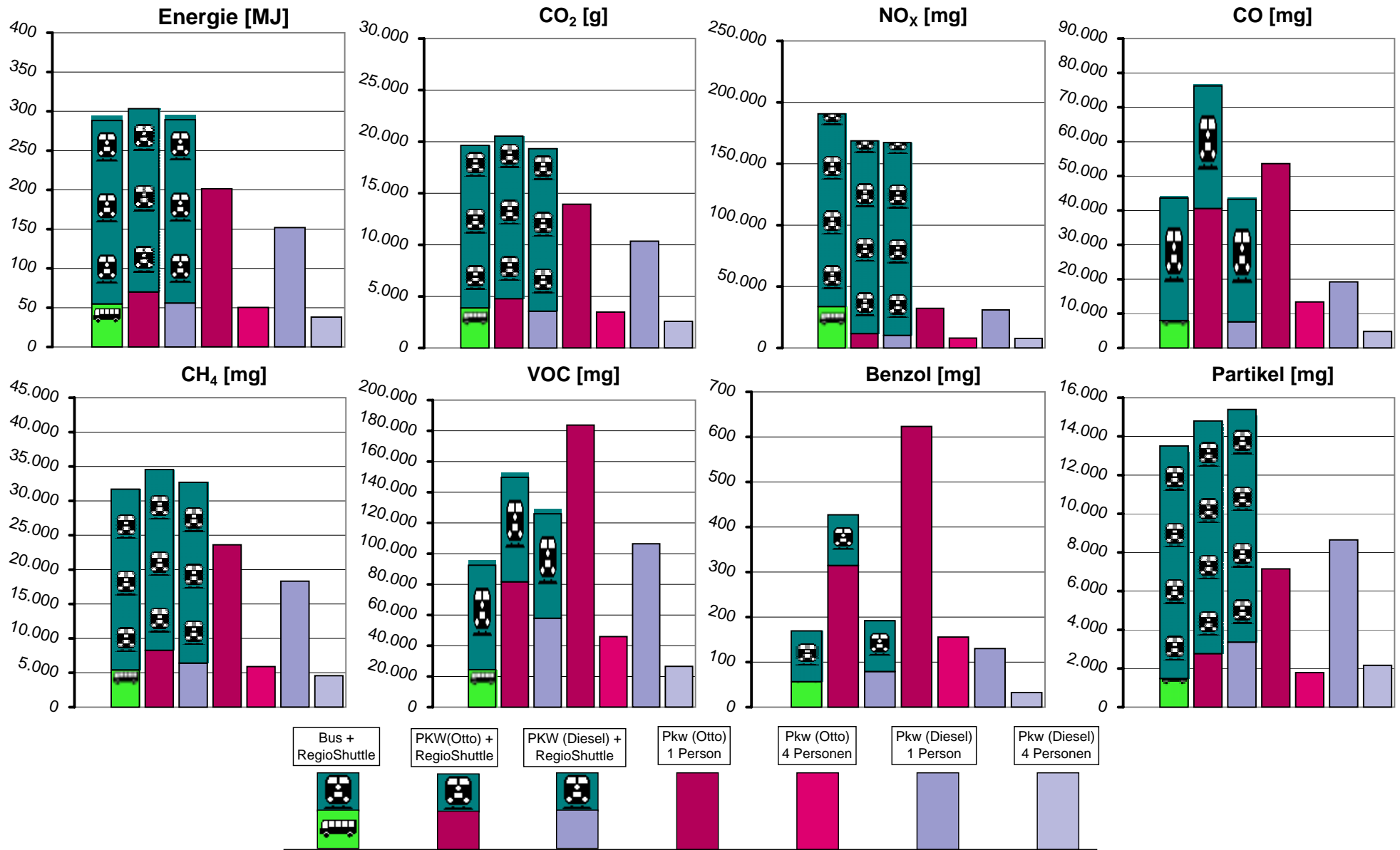
zur Tabelle



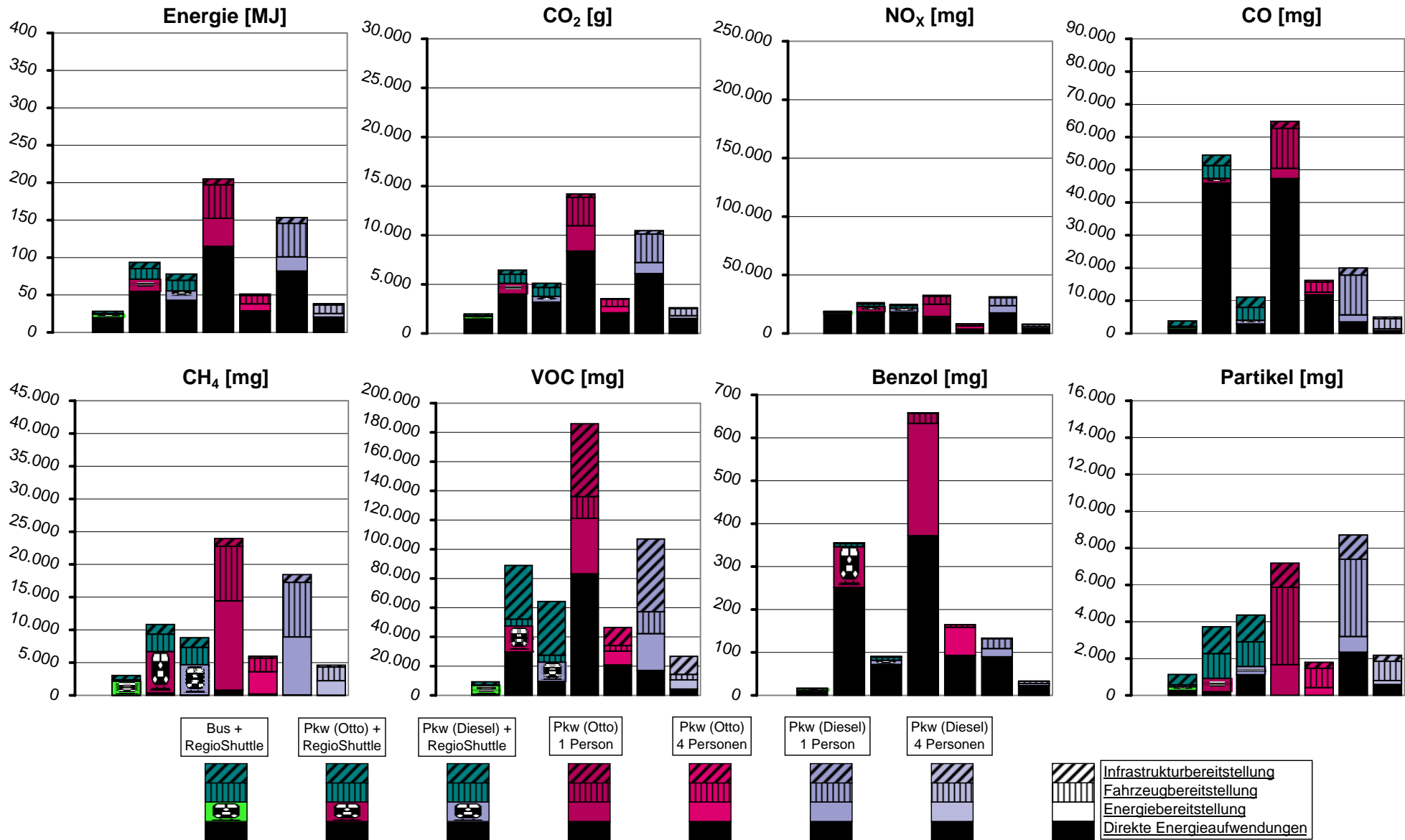
zur Tabelle



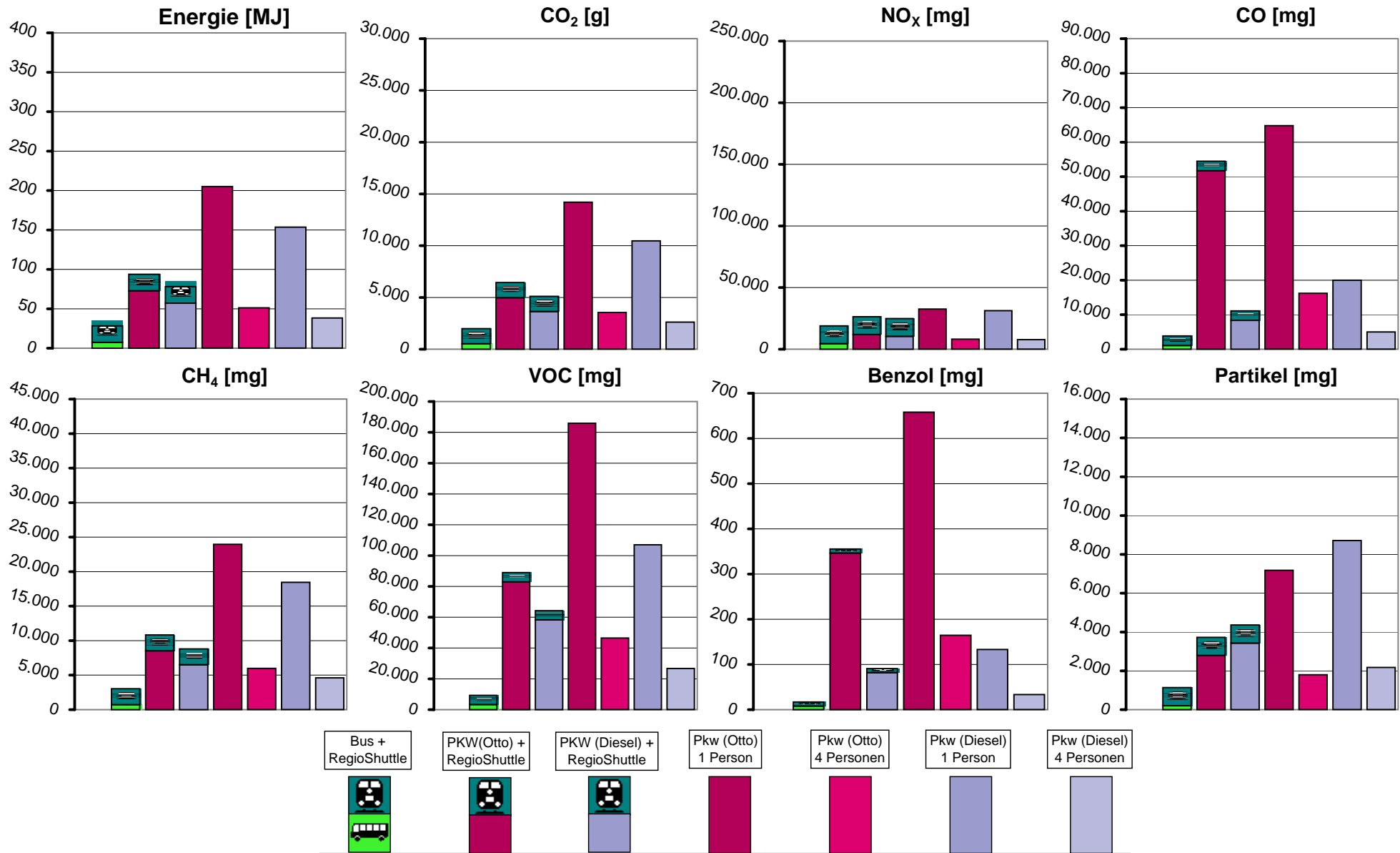
zur Tabelle



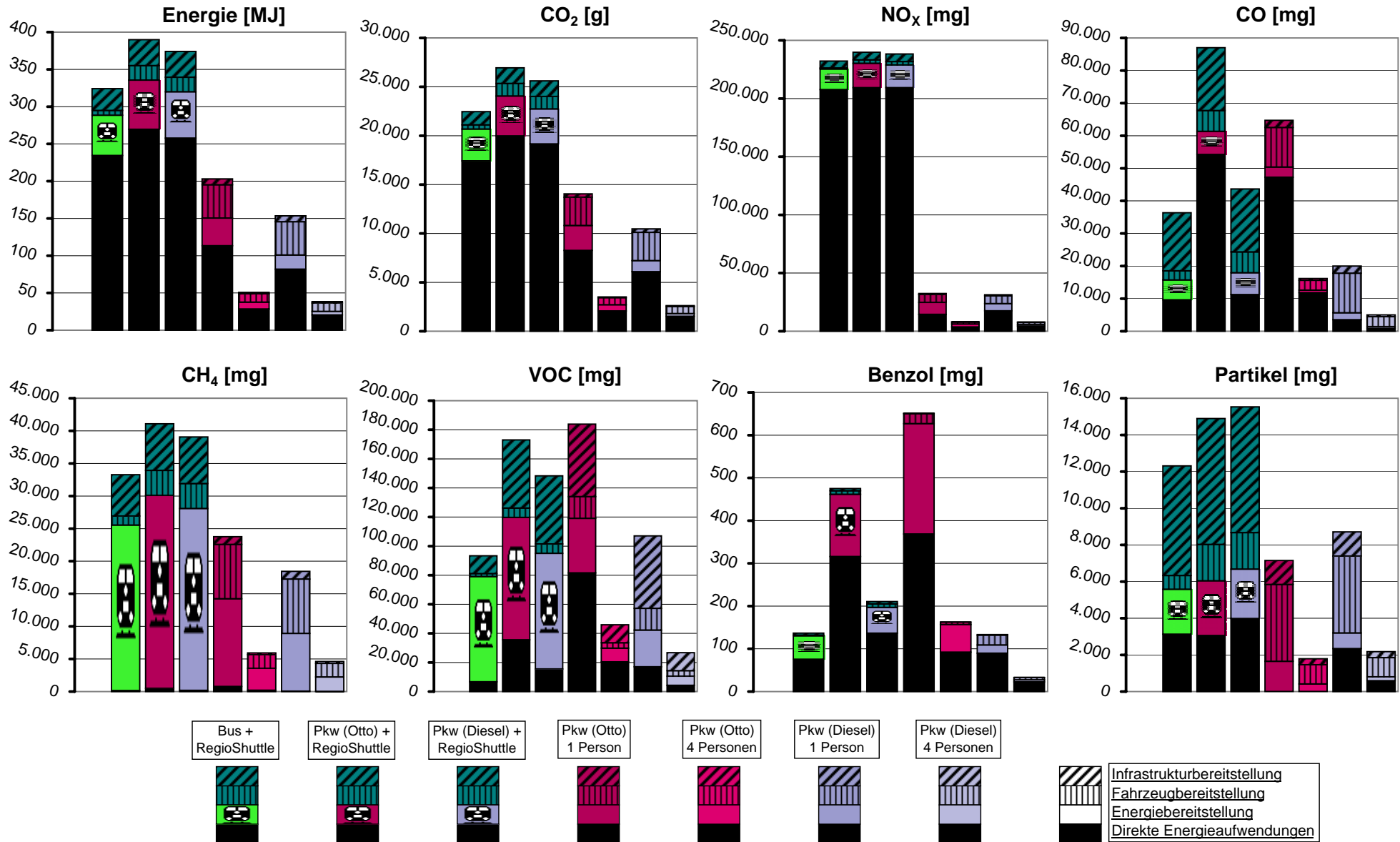
zur Tabelle



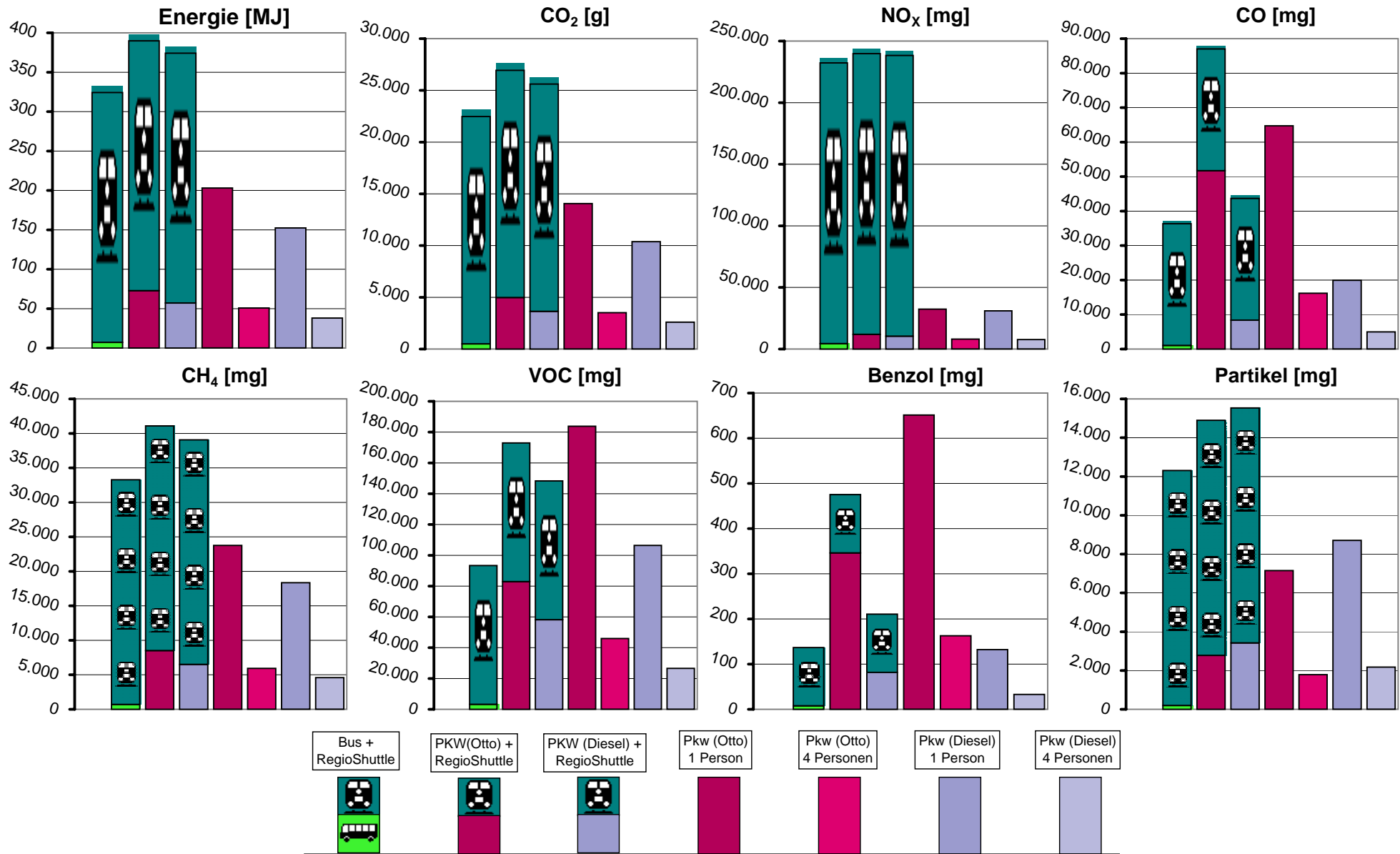
zur Tabelle



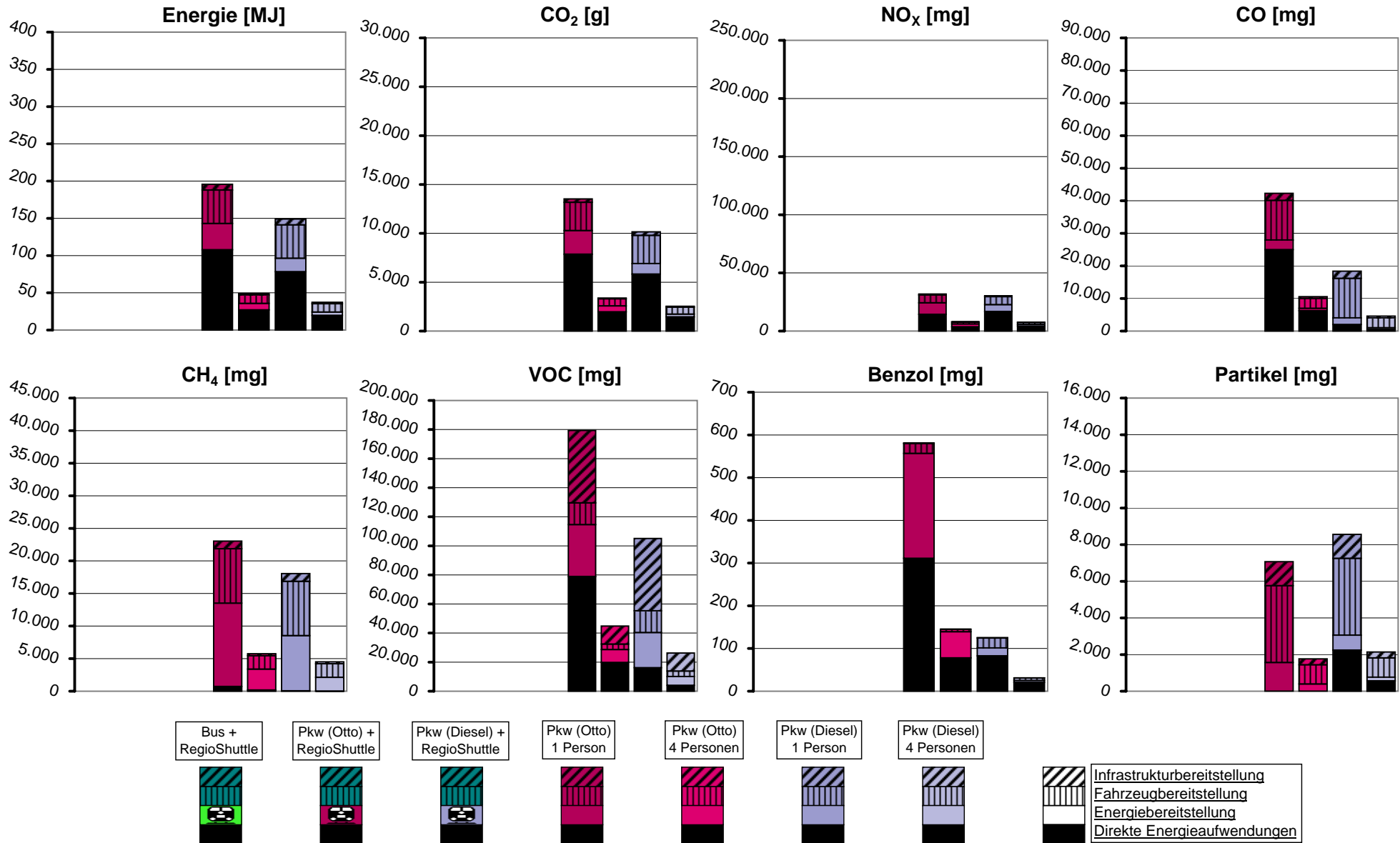
zur Tabelle



zur Tabelle

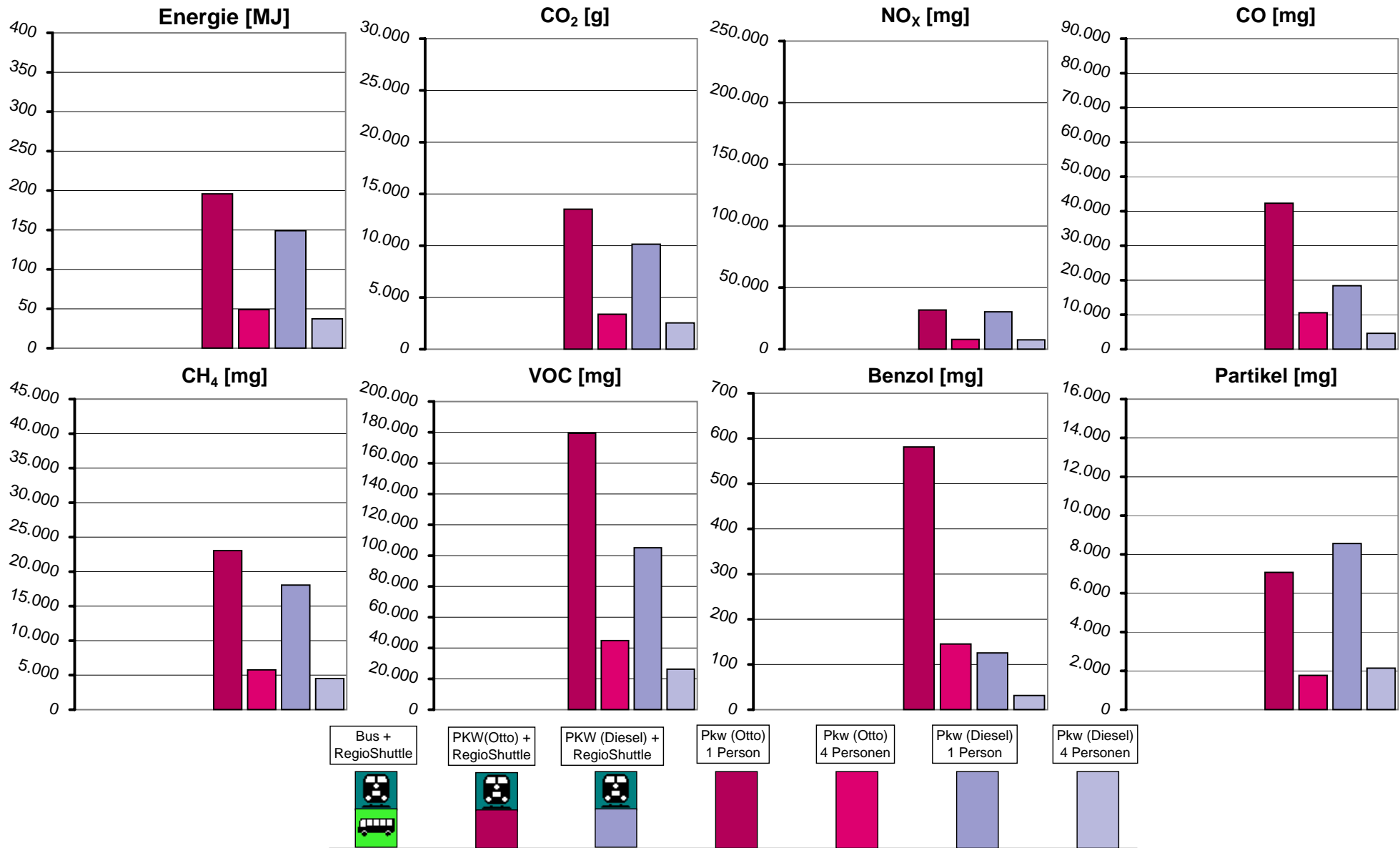


zur Tabelle

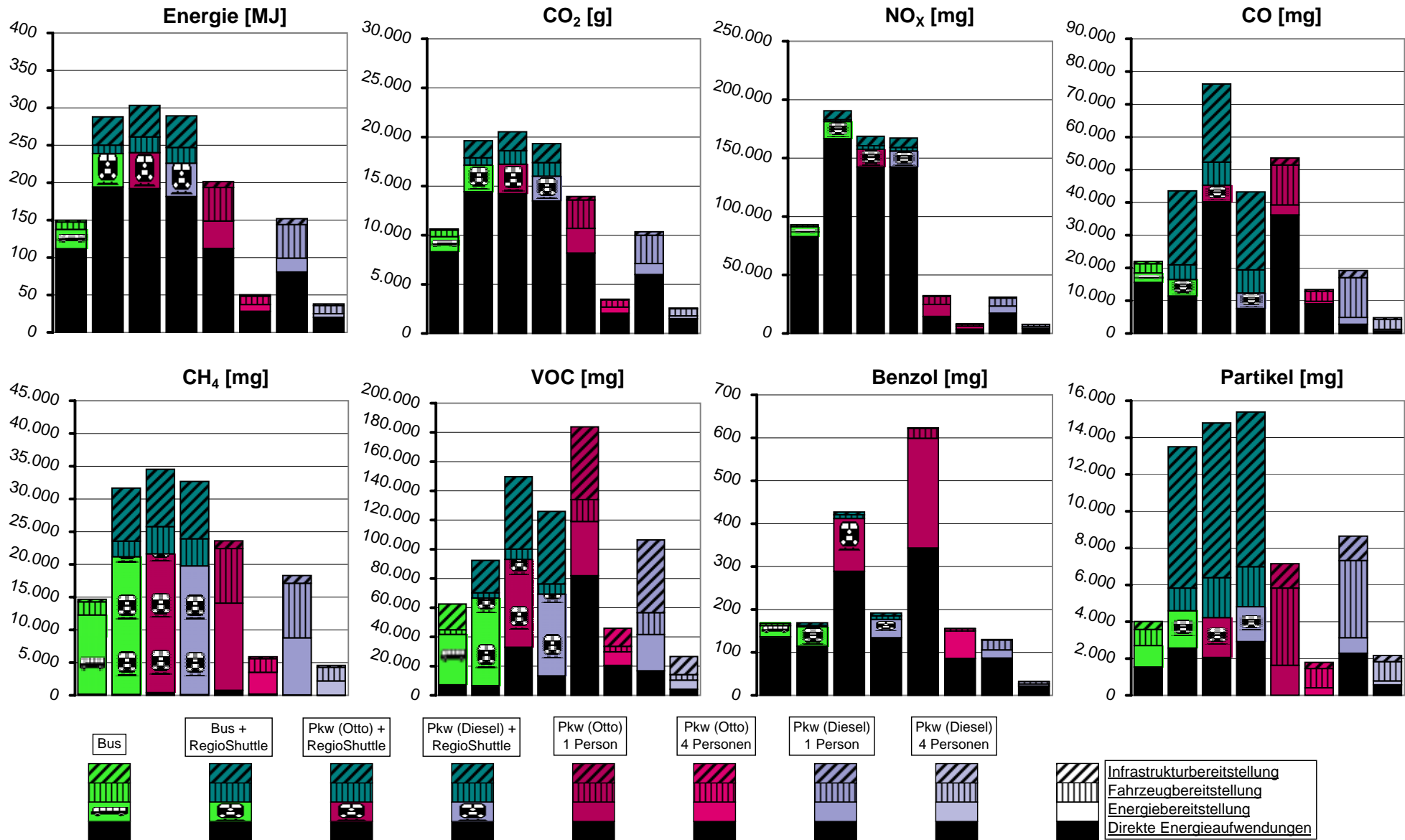




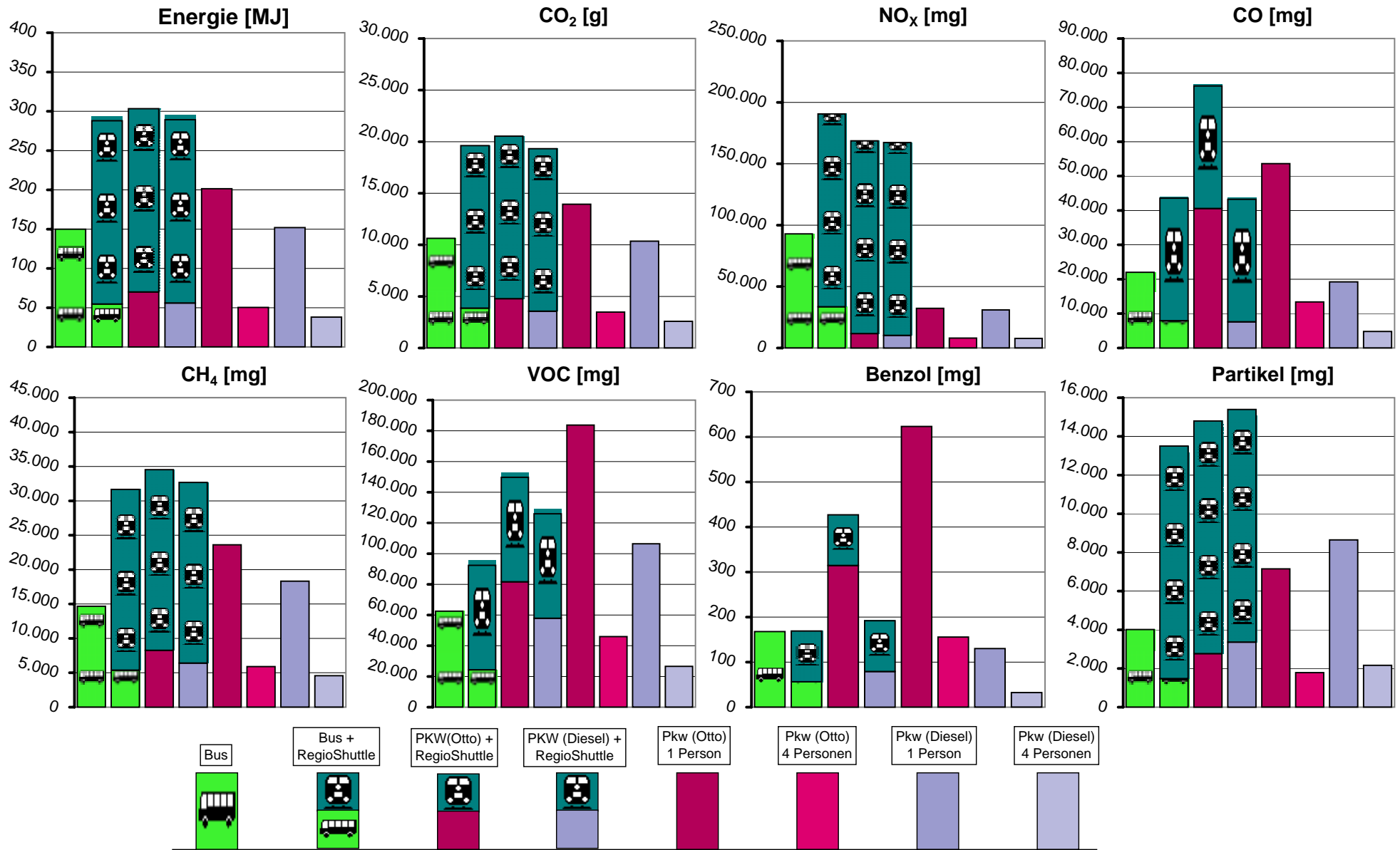
zur Tabelle



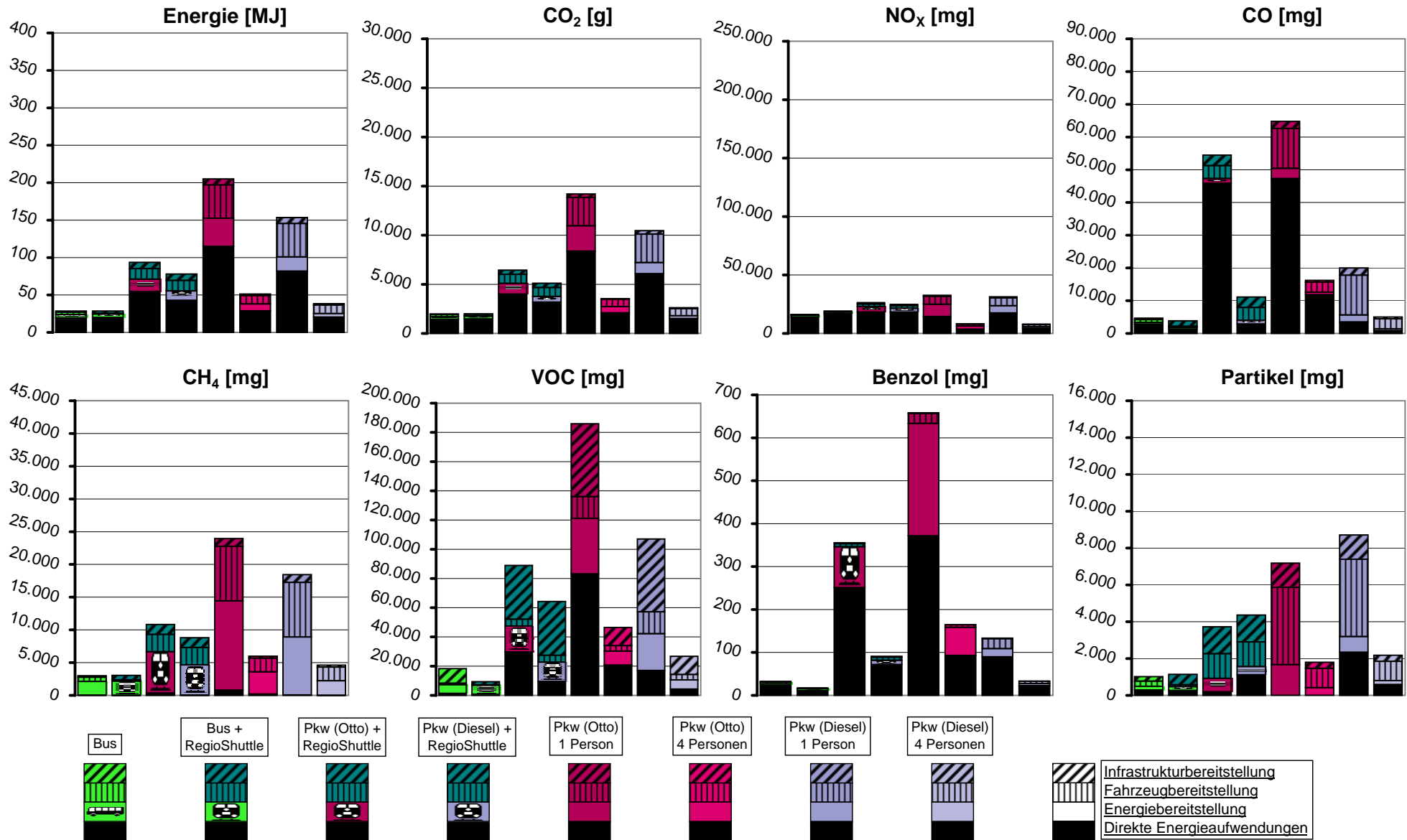
zur Tabelle



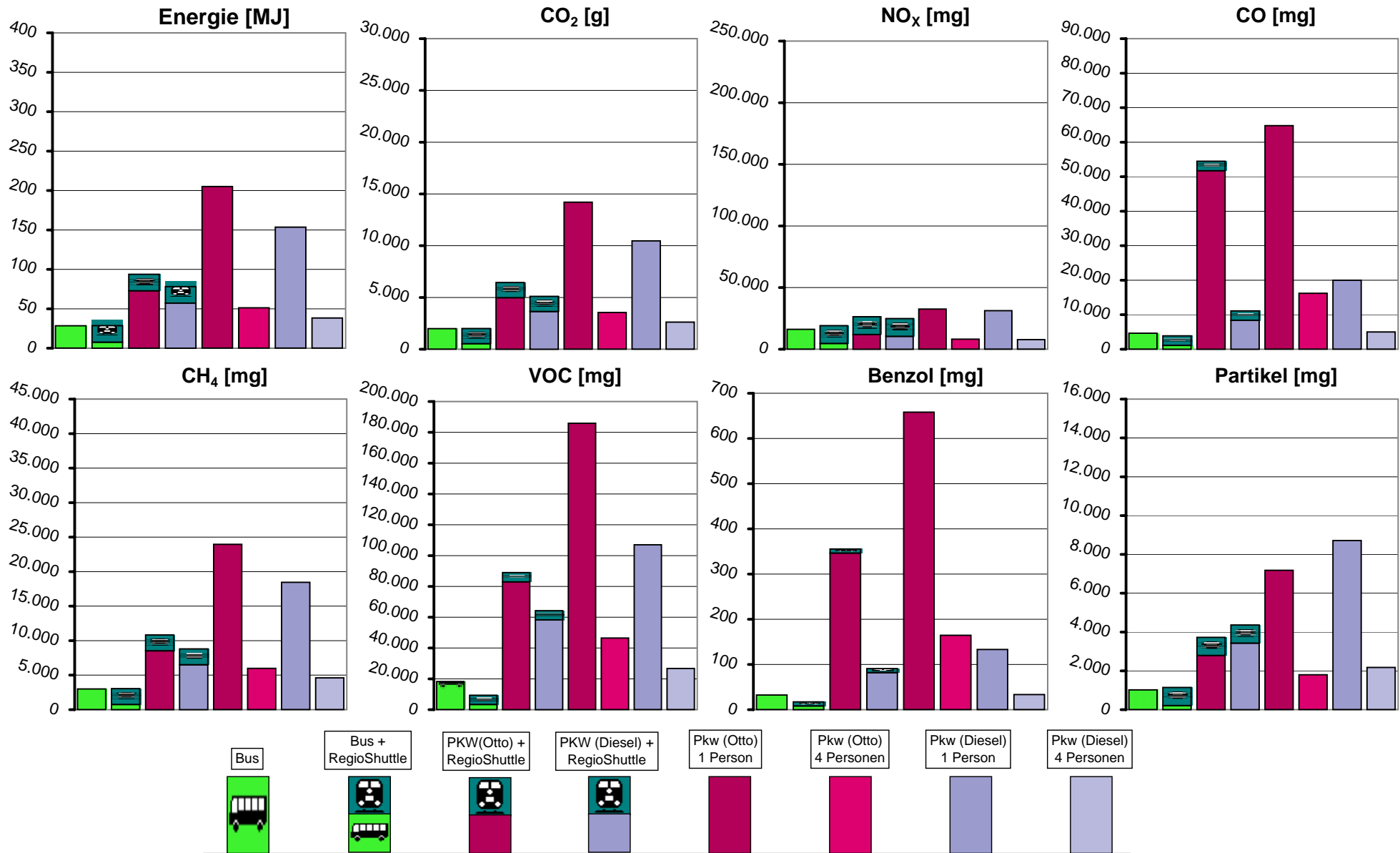
zur Tabelle



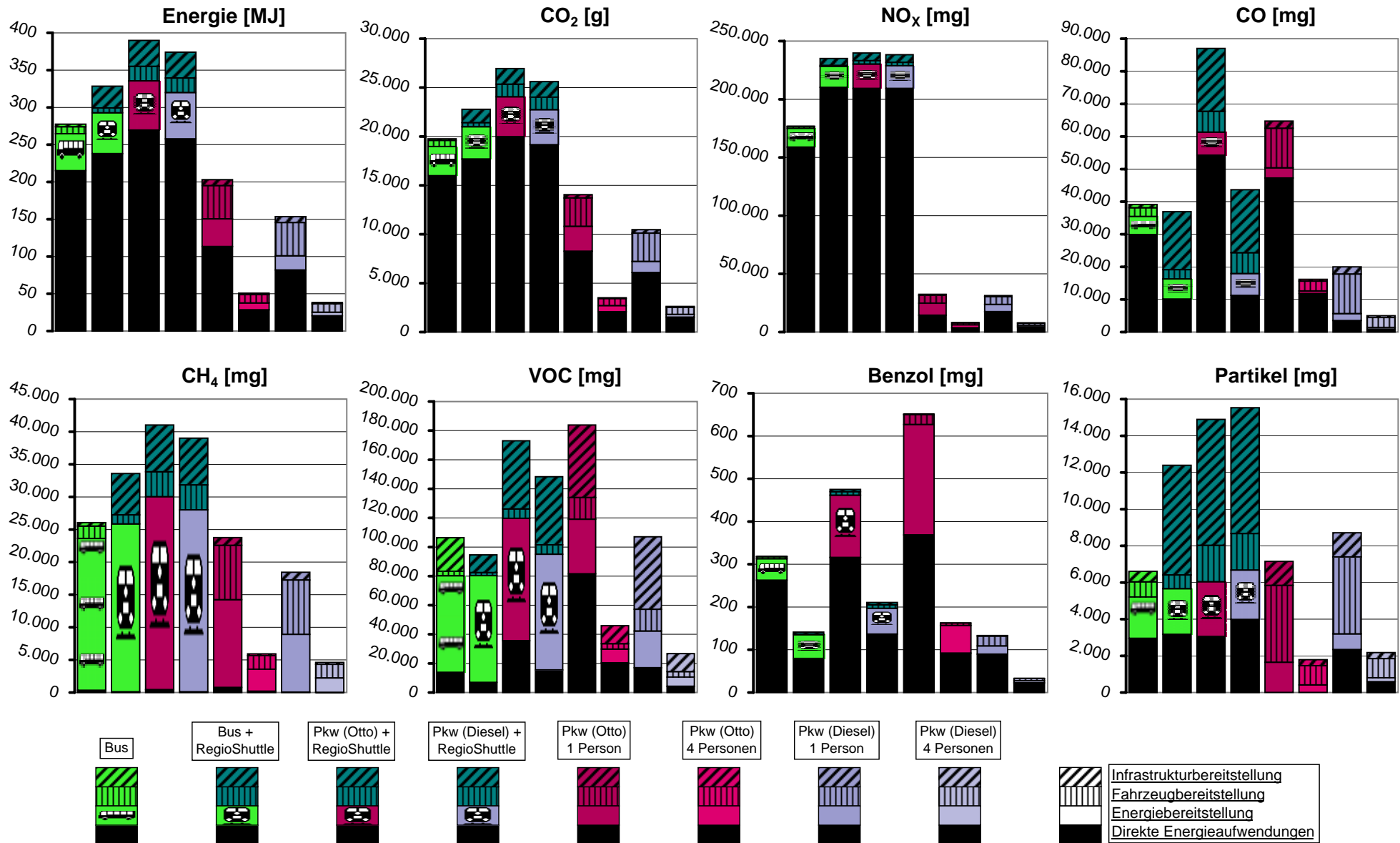
zur Tabelle



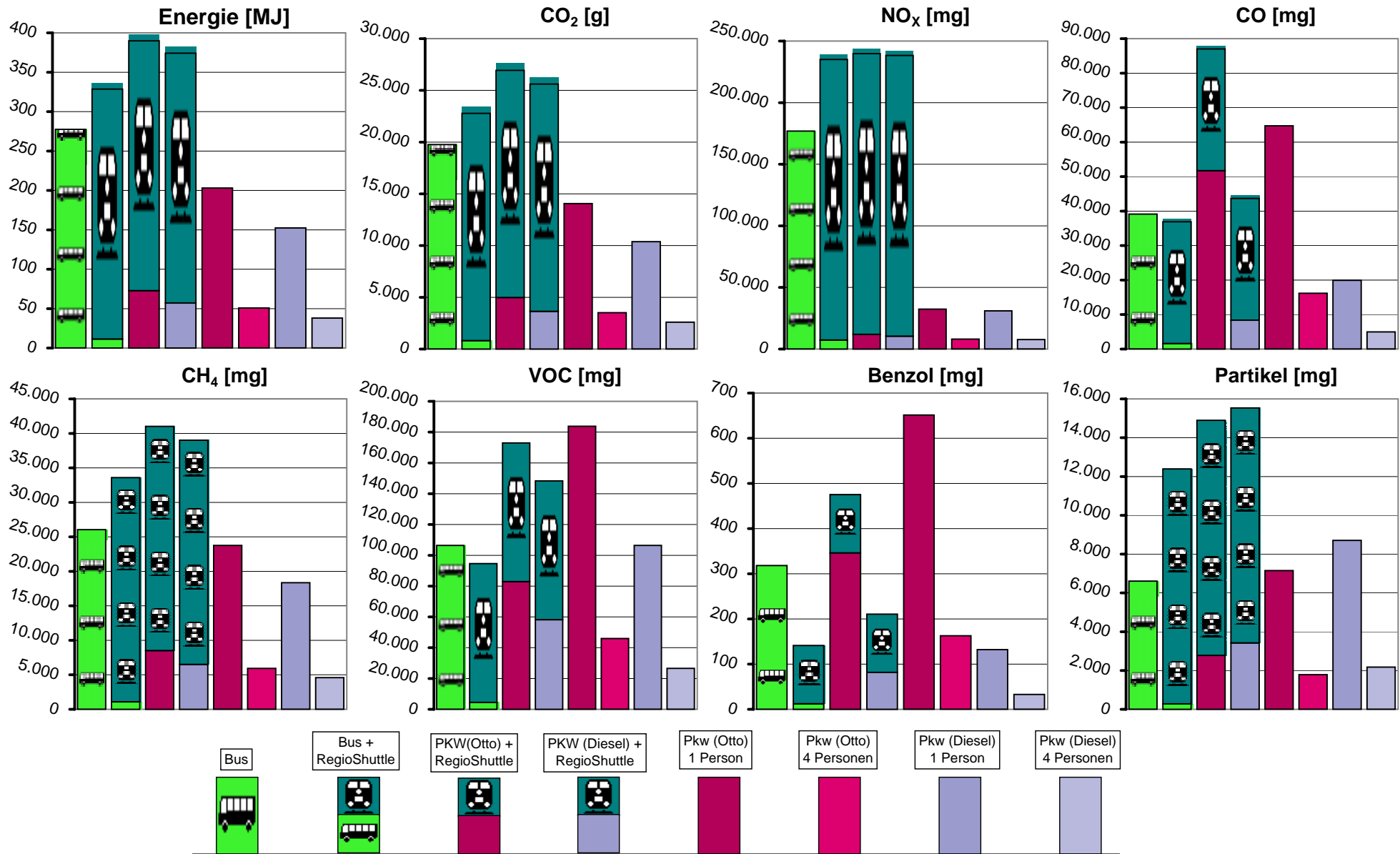
zur Tabelle



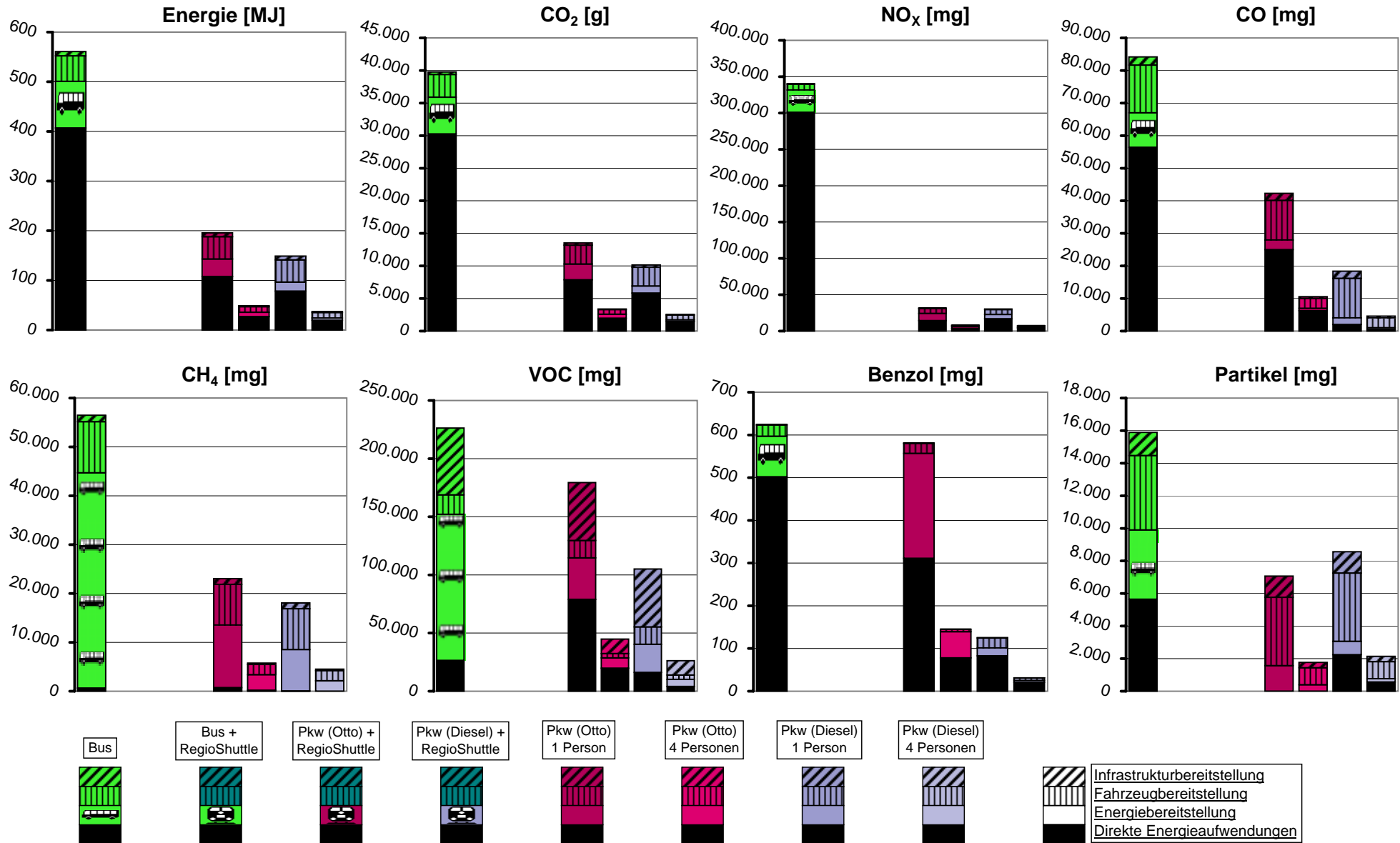
zur Tabelle



zur Tabelle

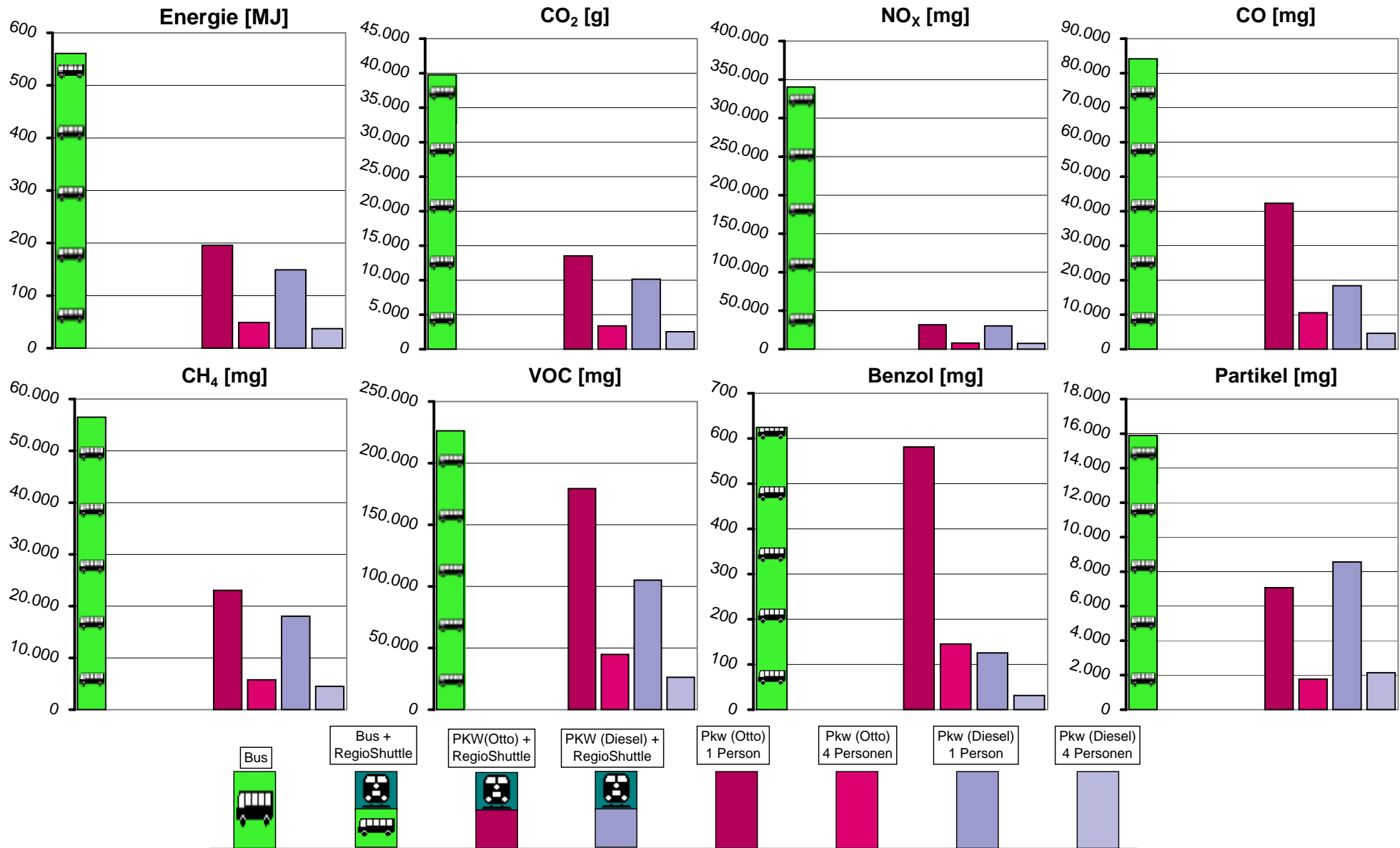


zur Tabelle

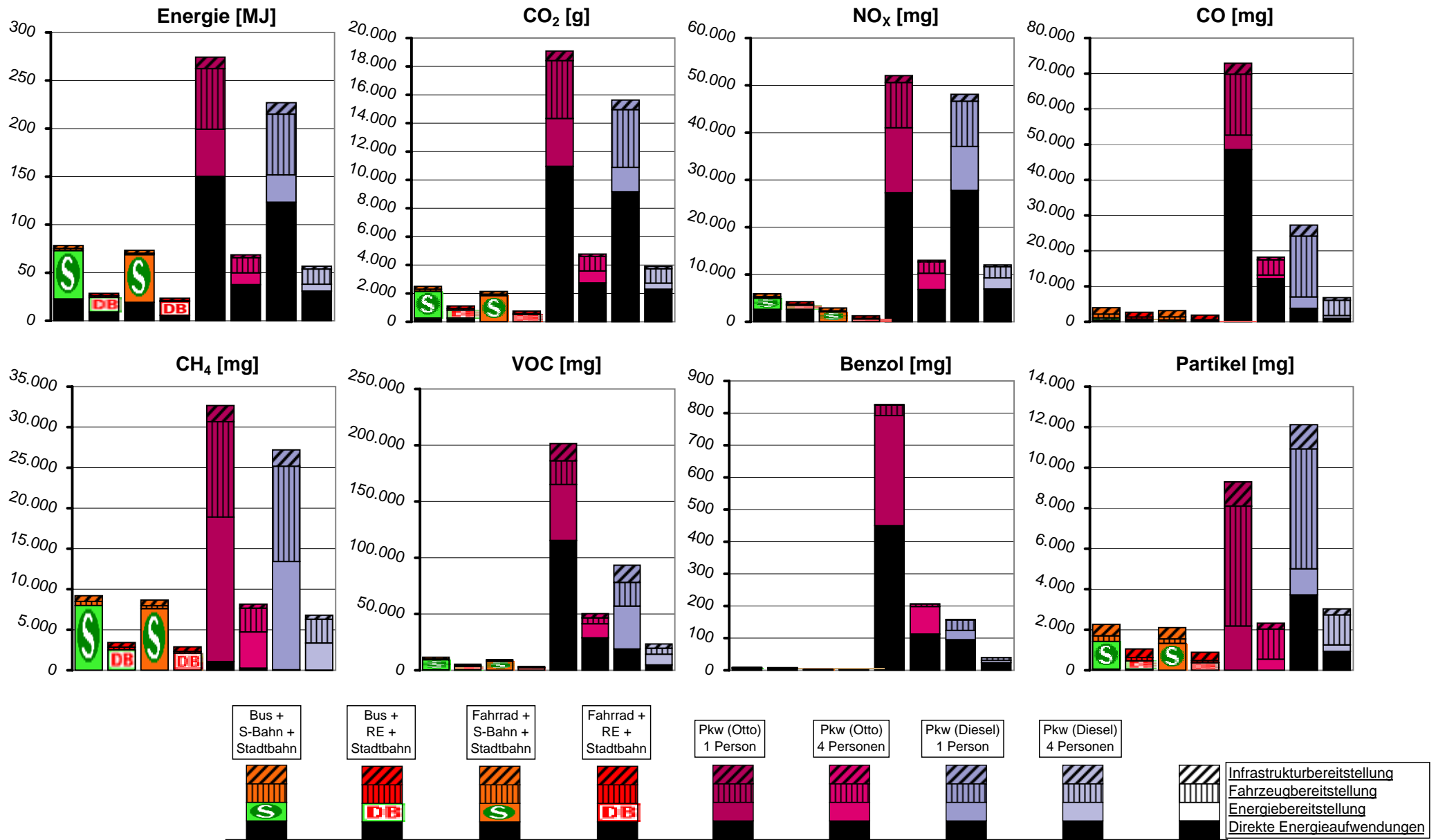




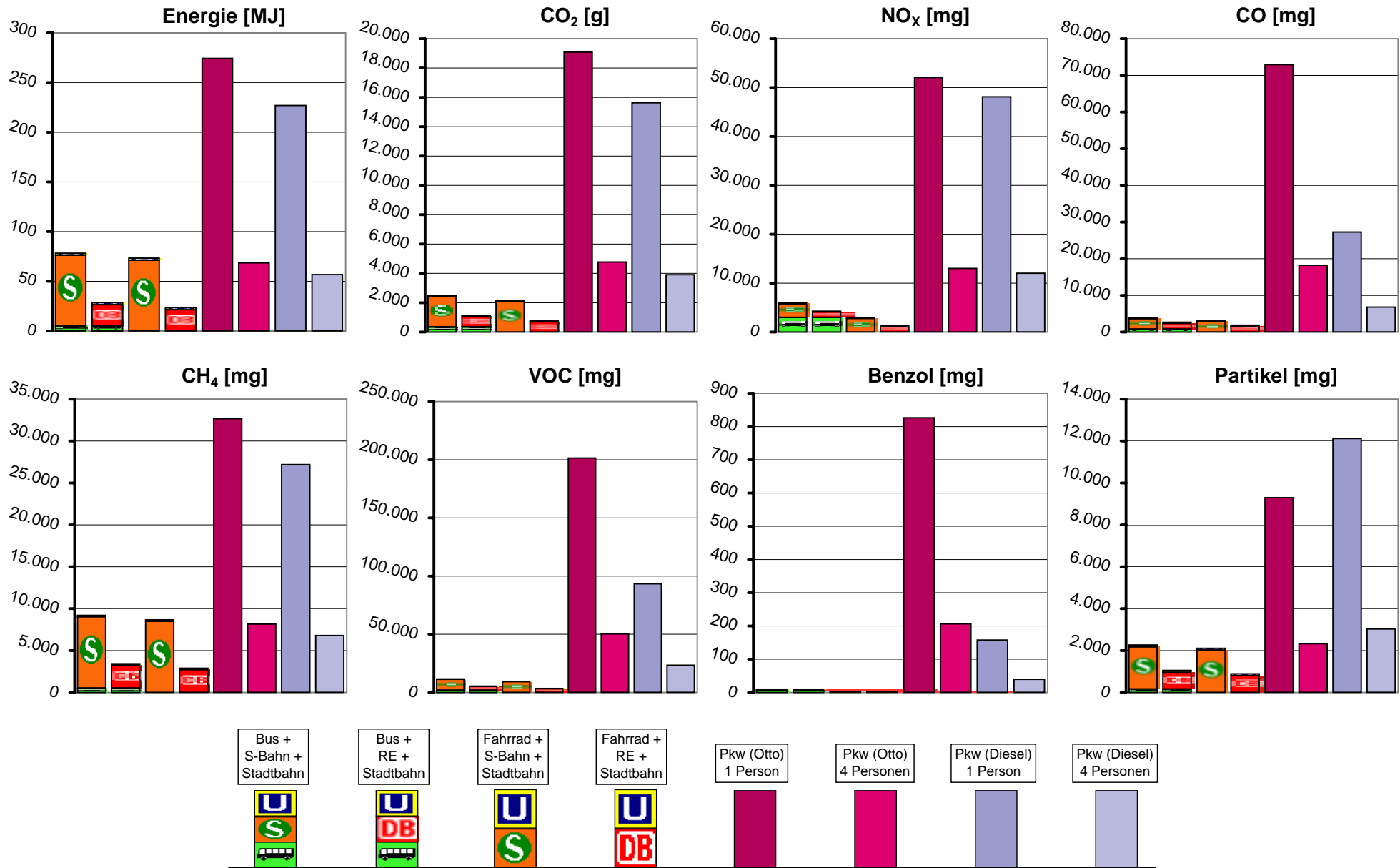
zur Tabelle



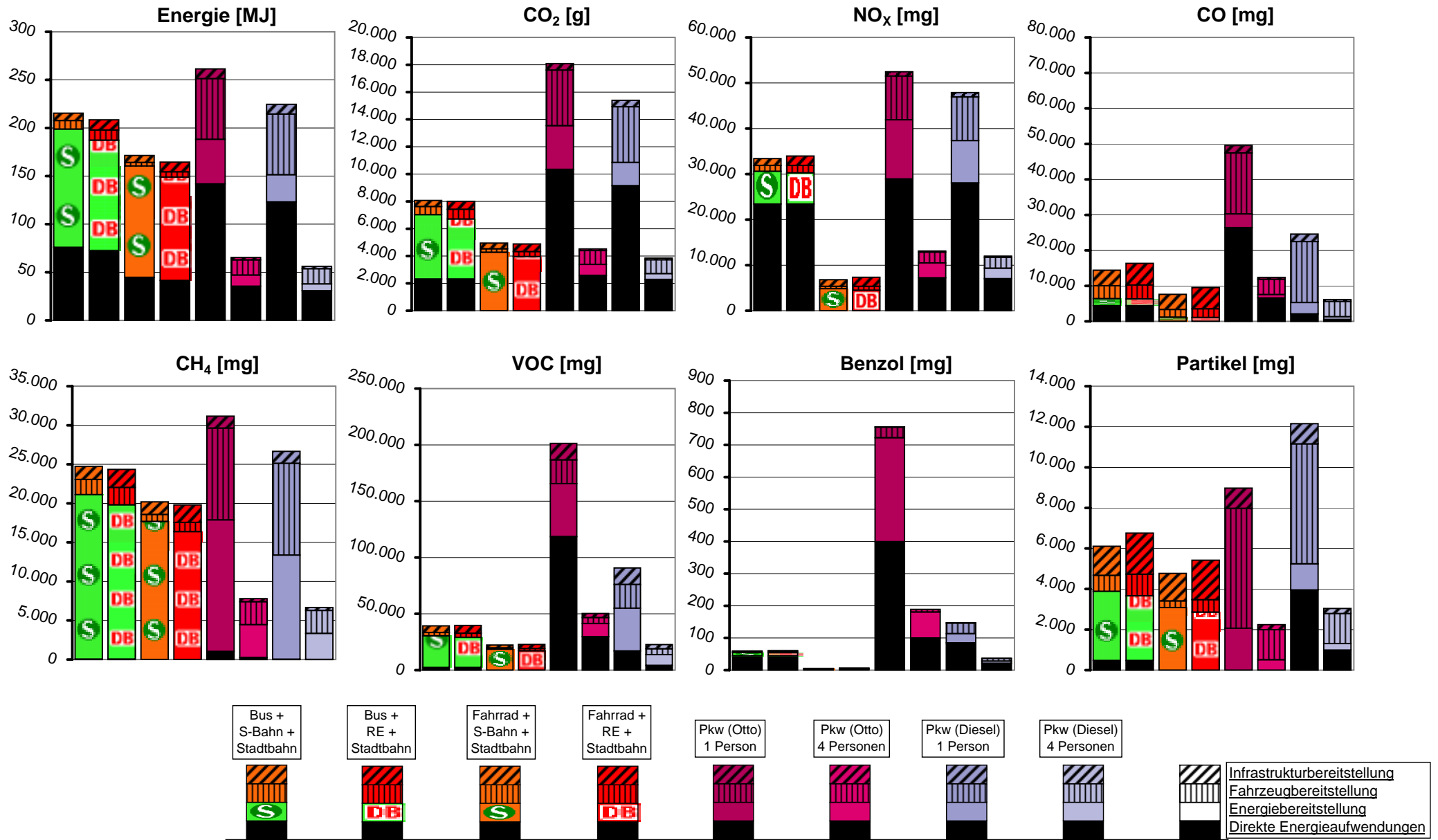
zur Tabelle



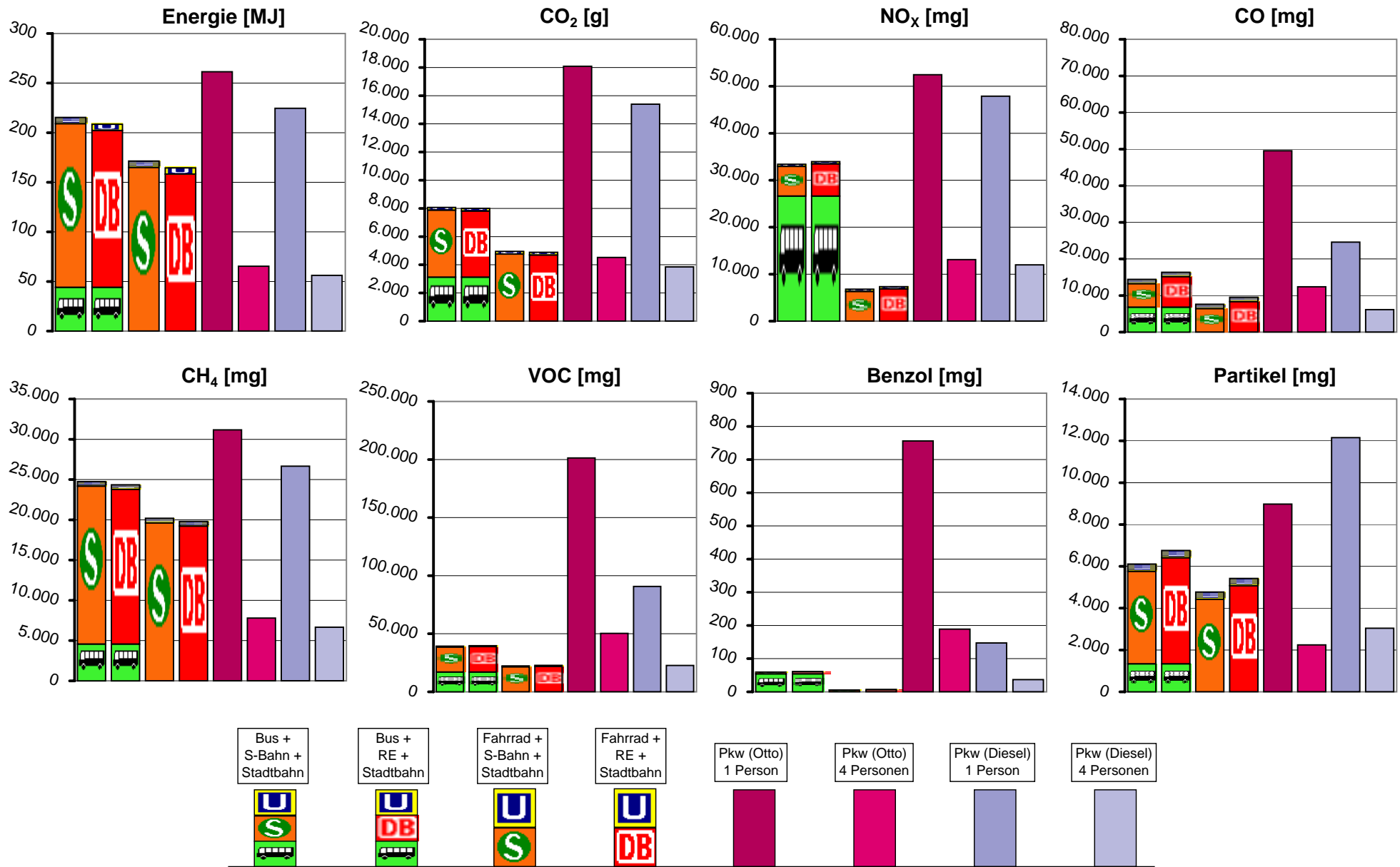
zur Tabelle



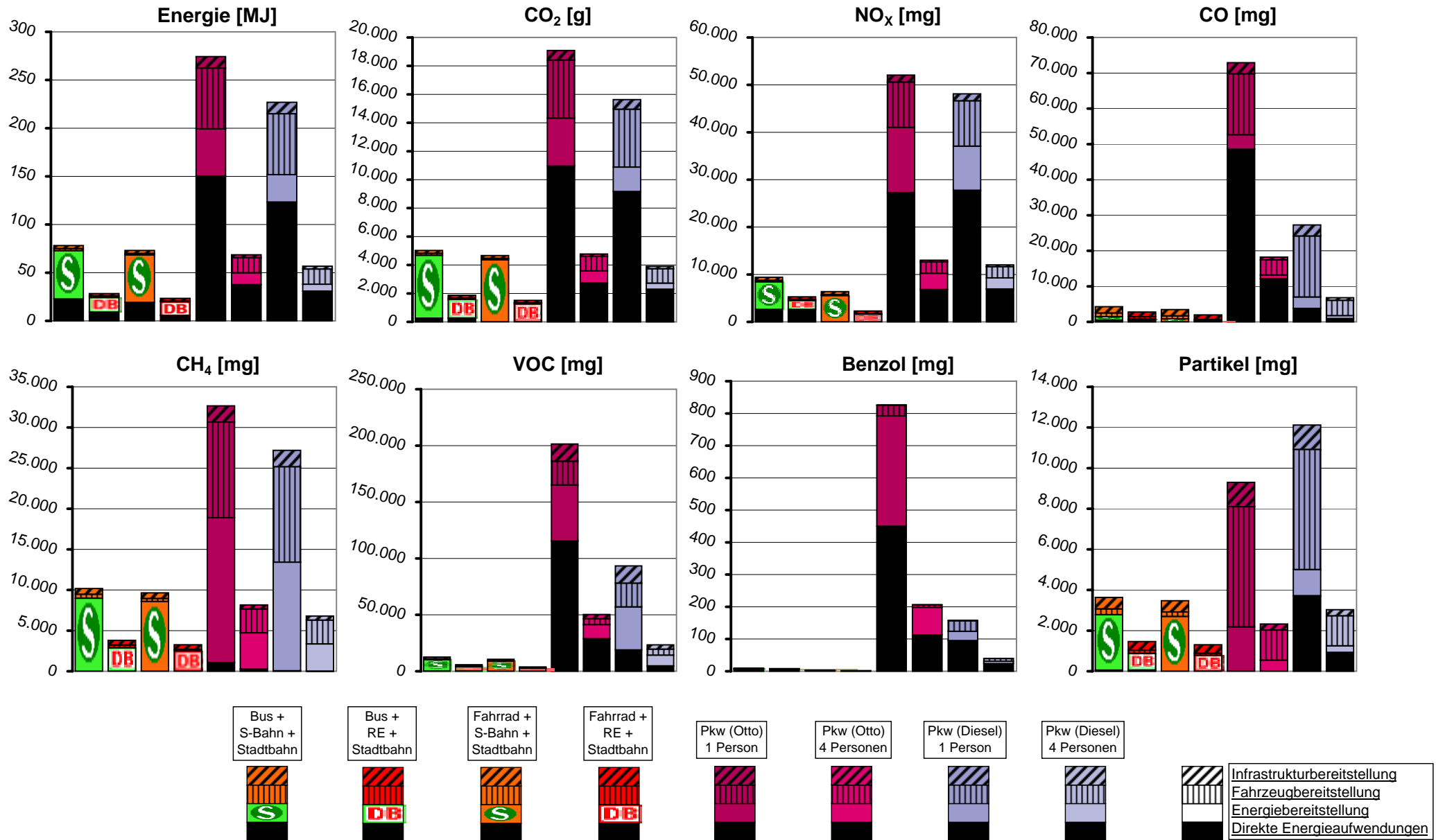
zur Tabelle



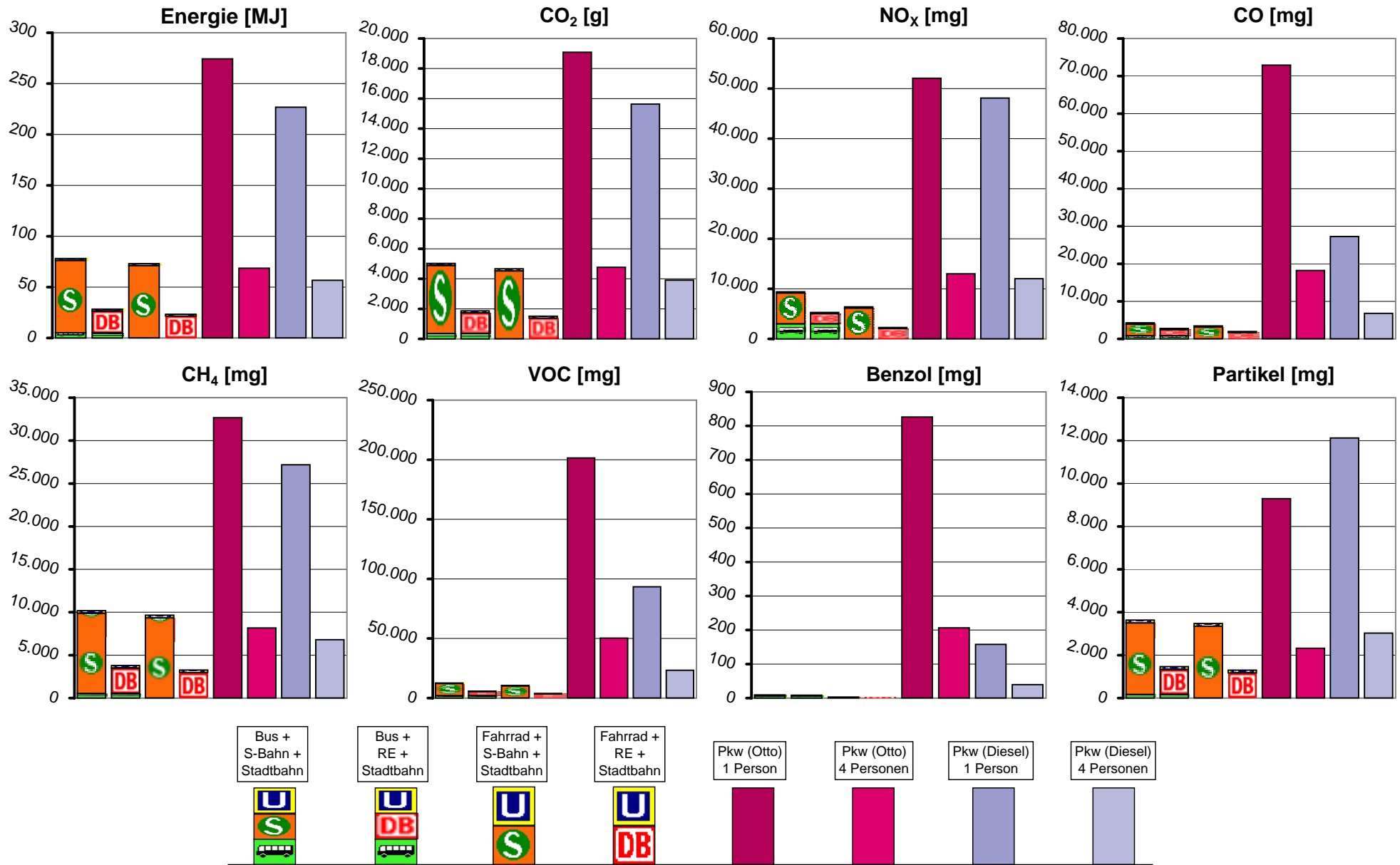
zur Tabelle



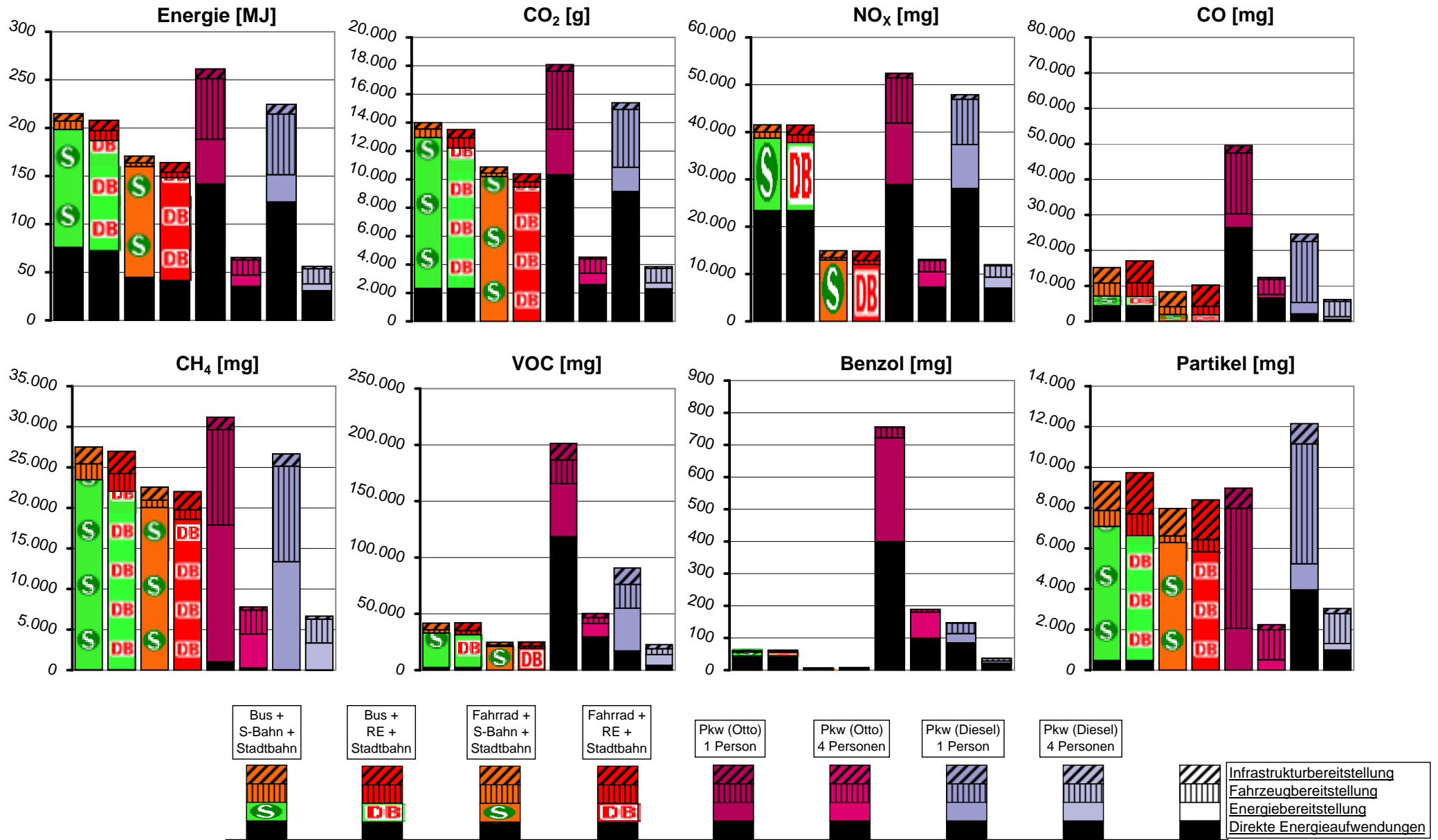
zur Tabelle



zur Tabelle

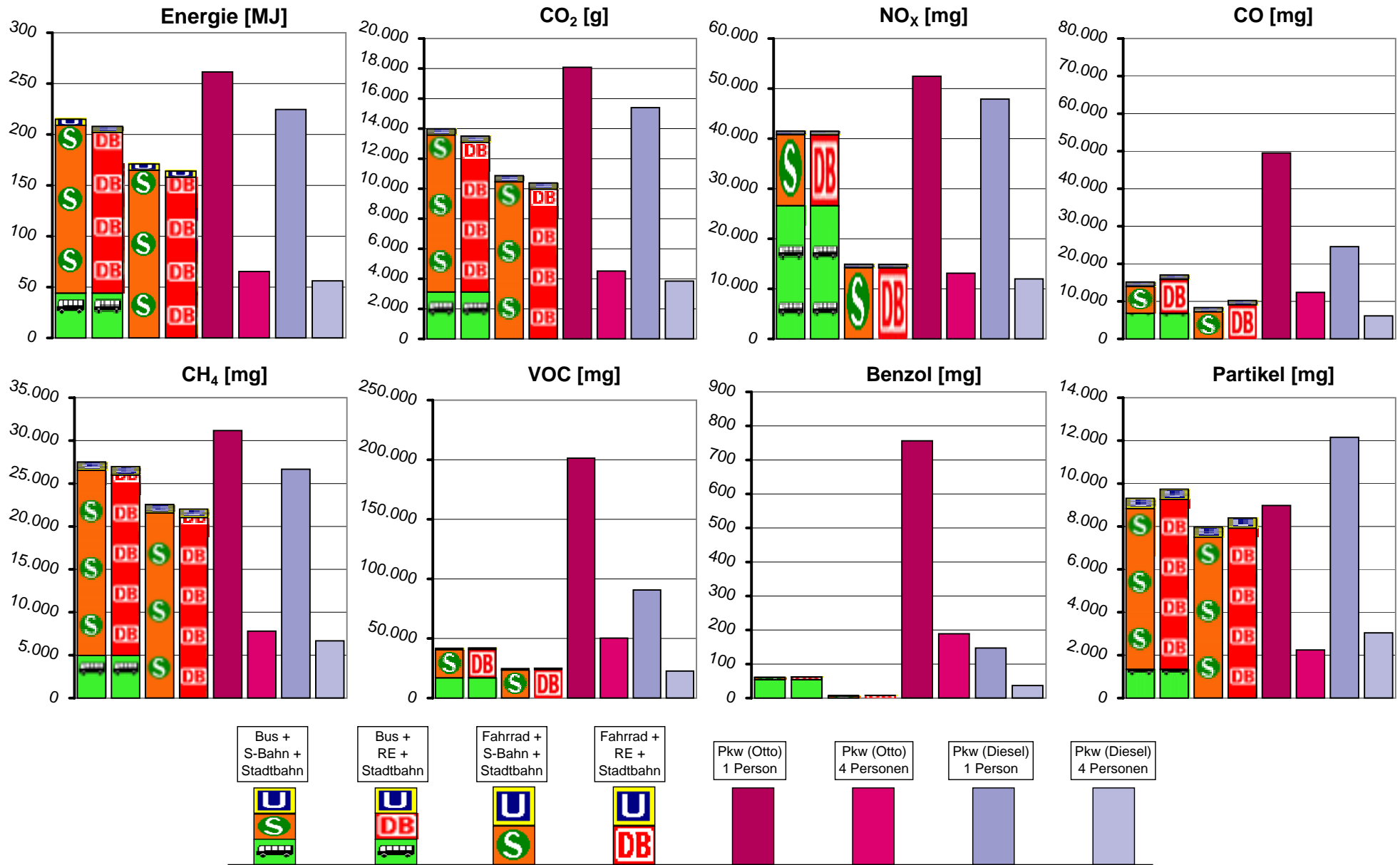


zur Tabelle

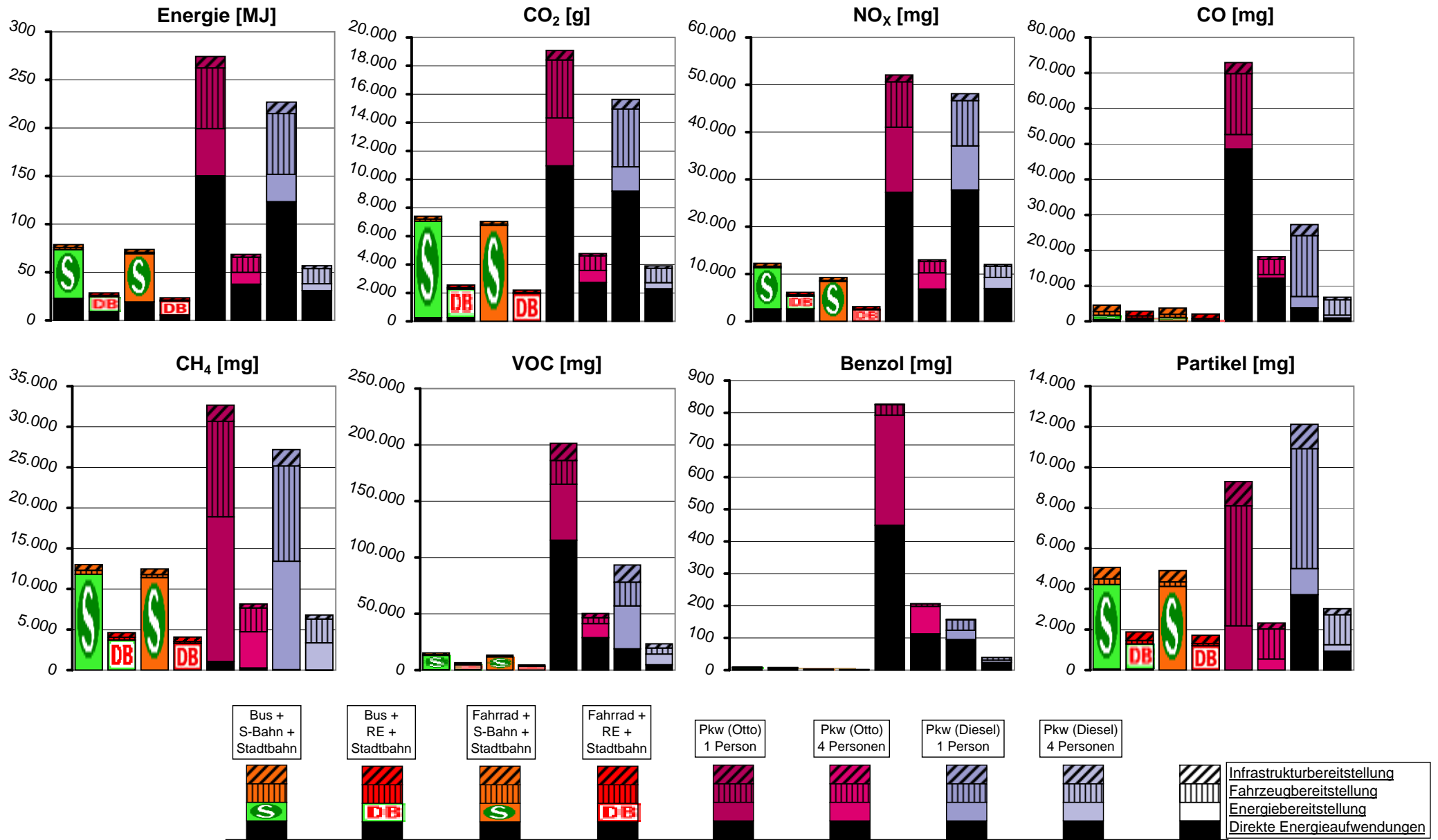




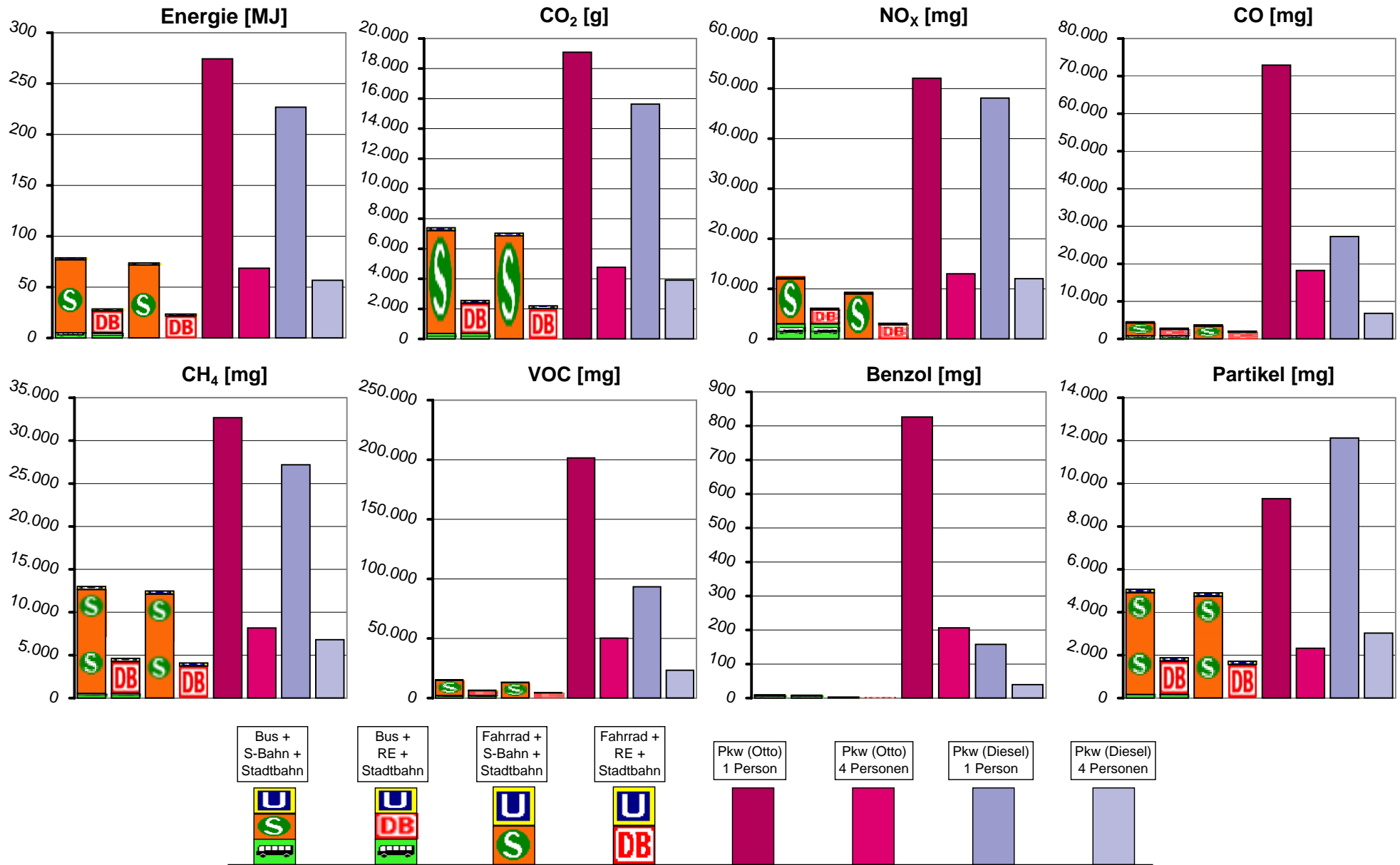
zur Tabelle



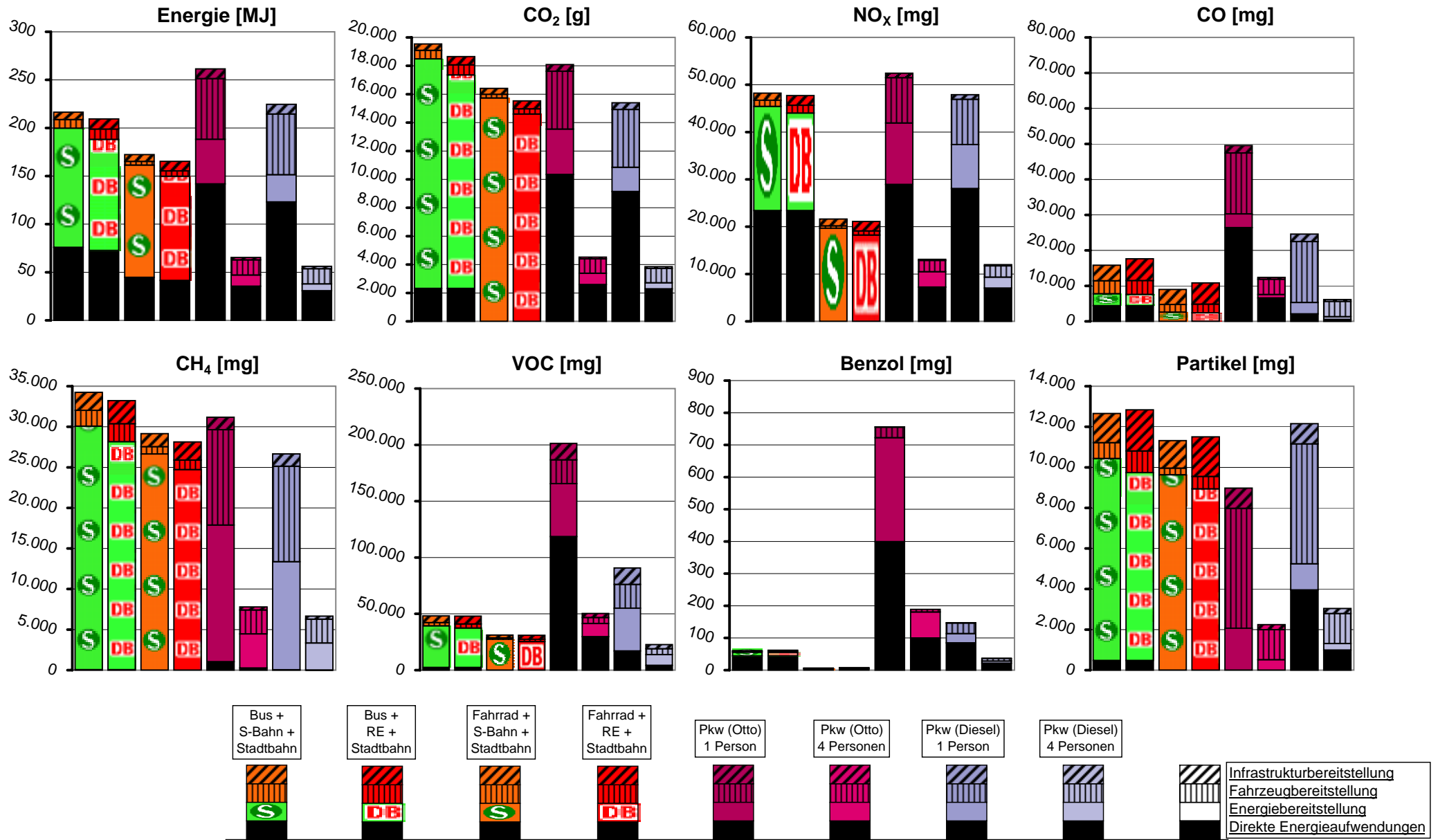
zur Tabelle



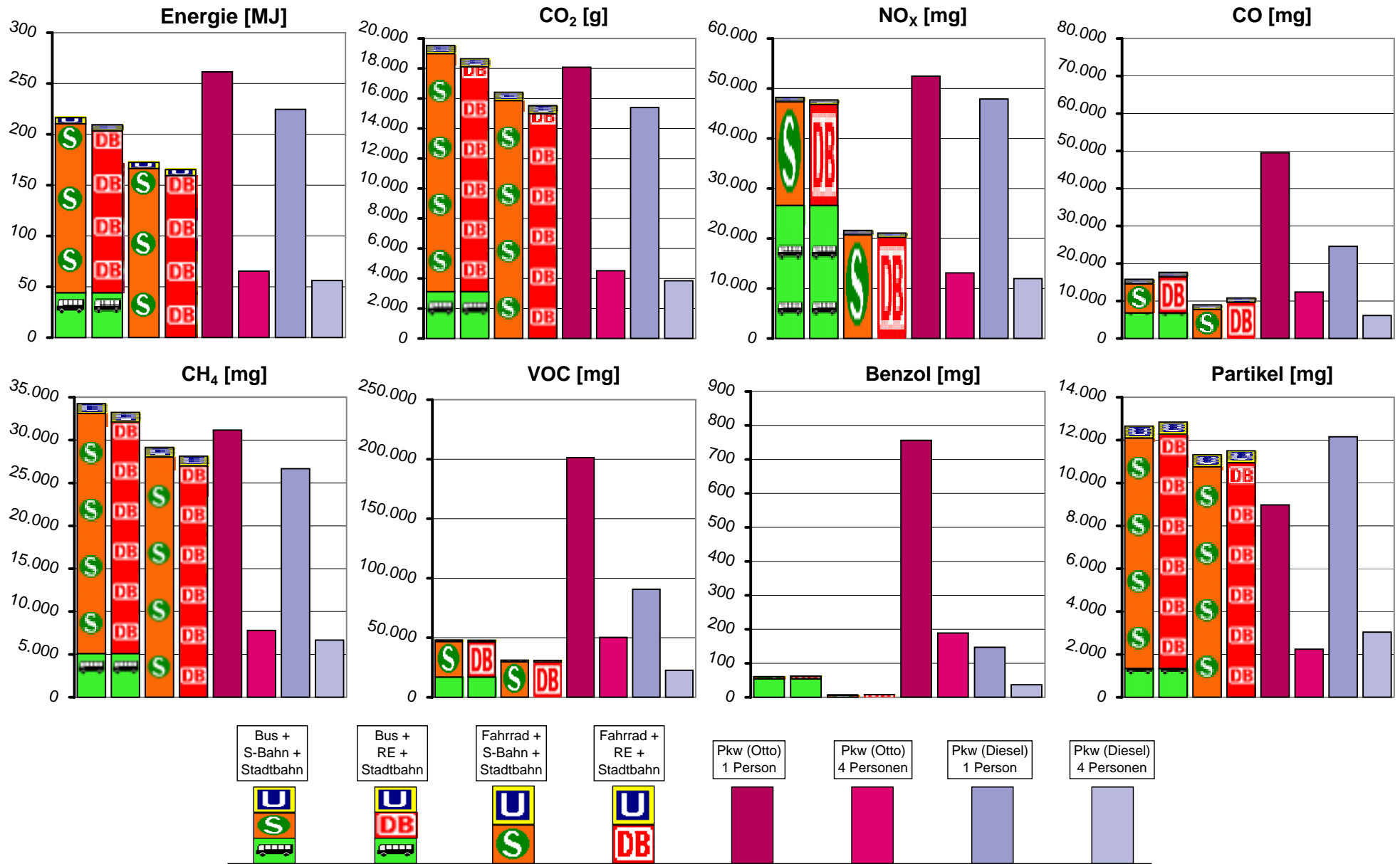
zur Tabelle



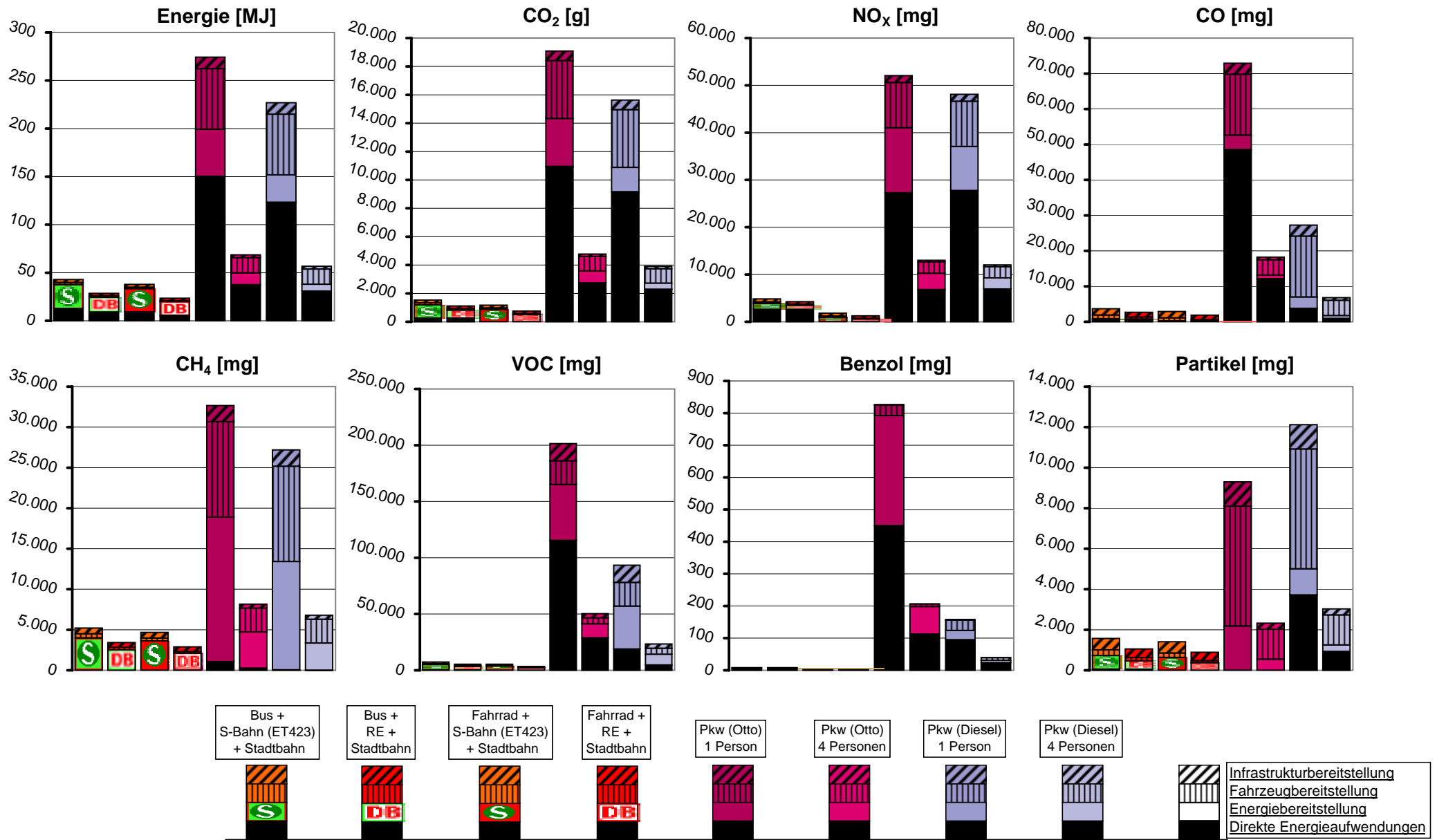
zur Tabelle



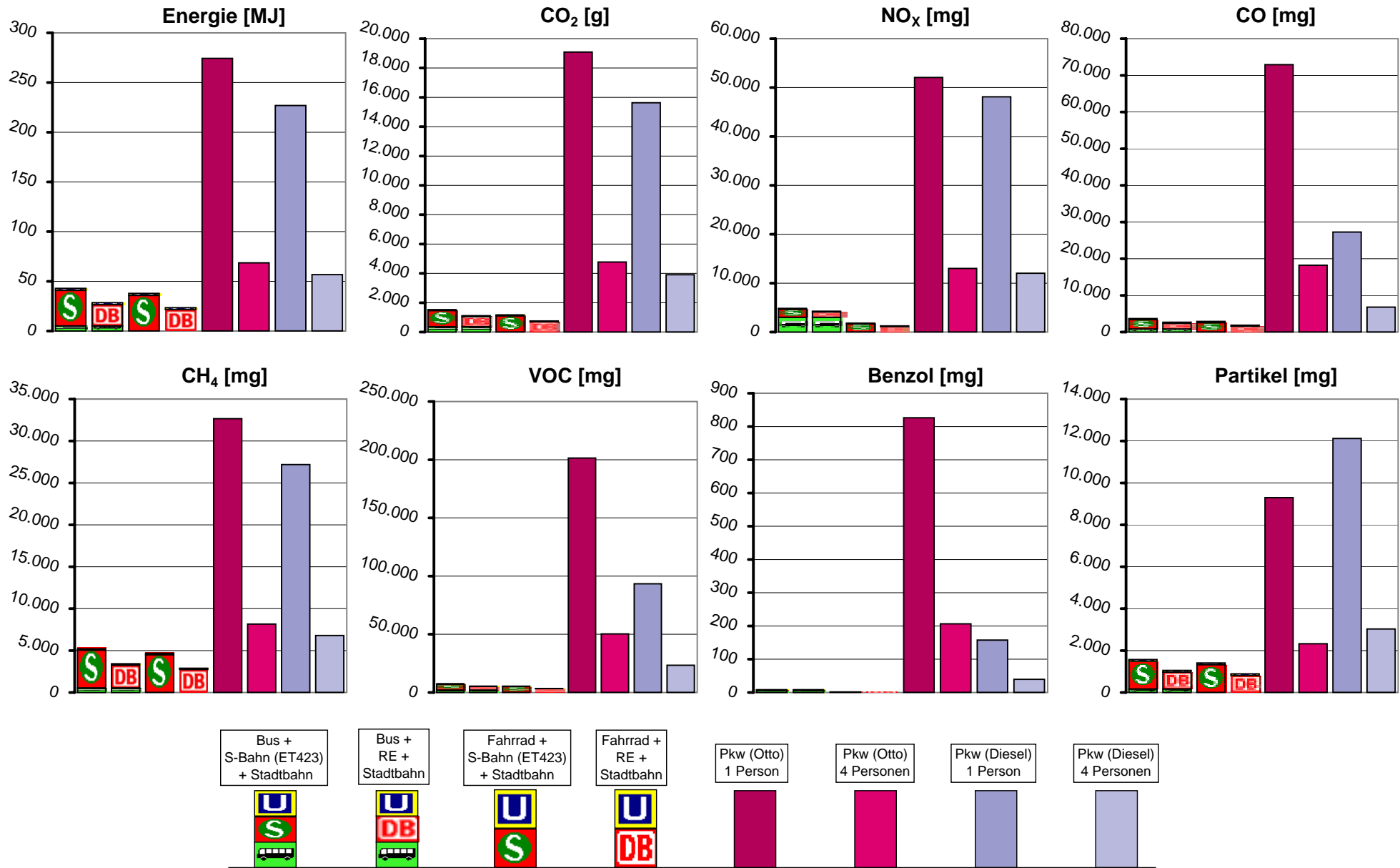
zur Tabelle



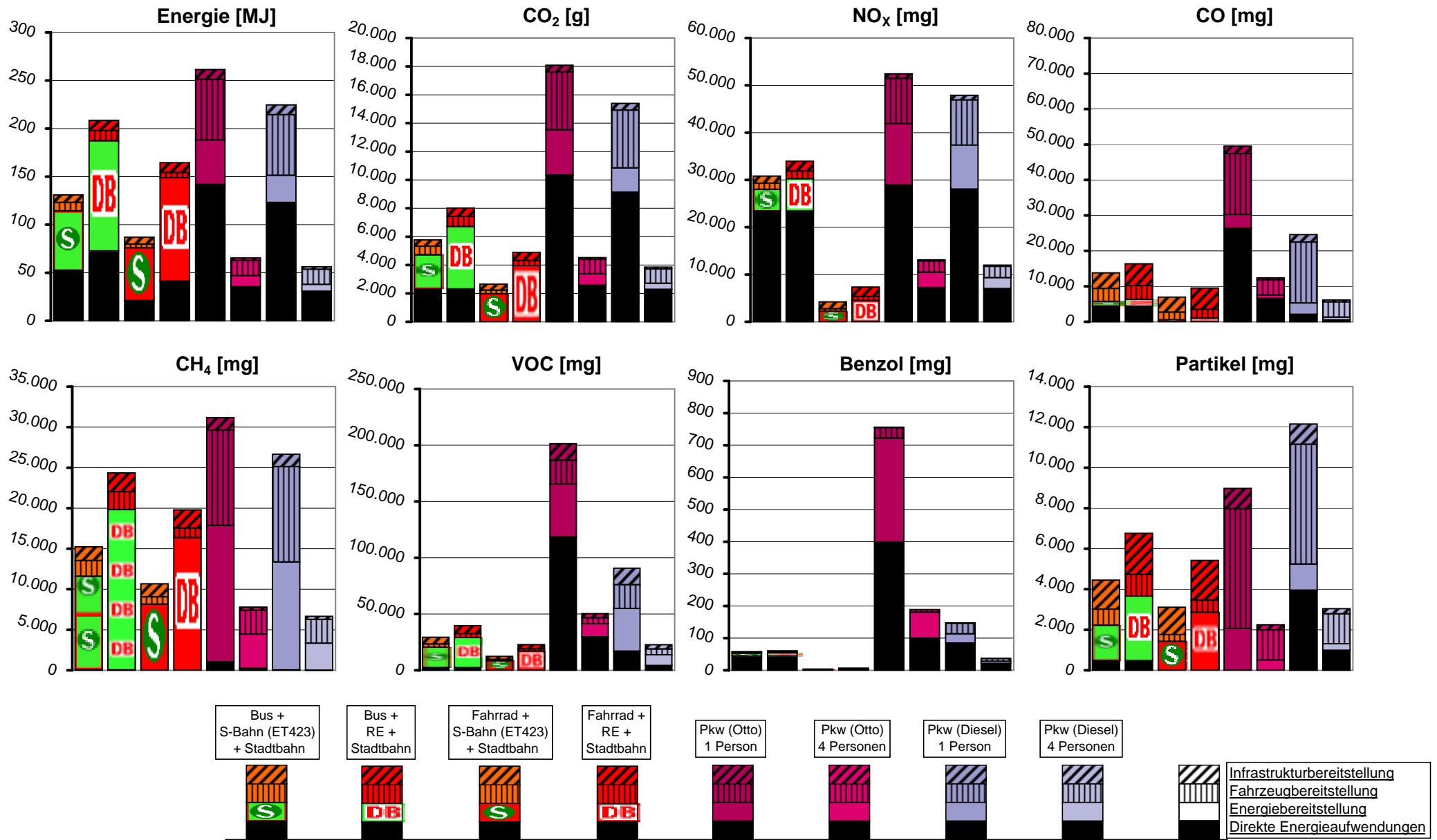
zur Tabelle



zur Tabelle

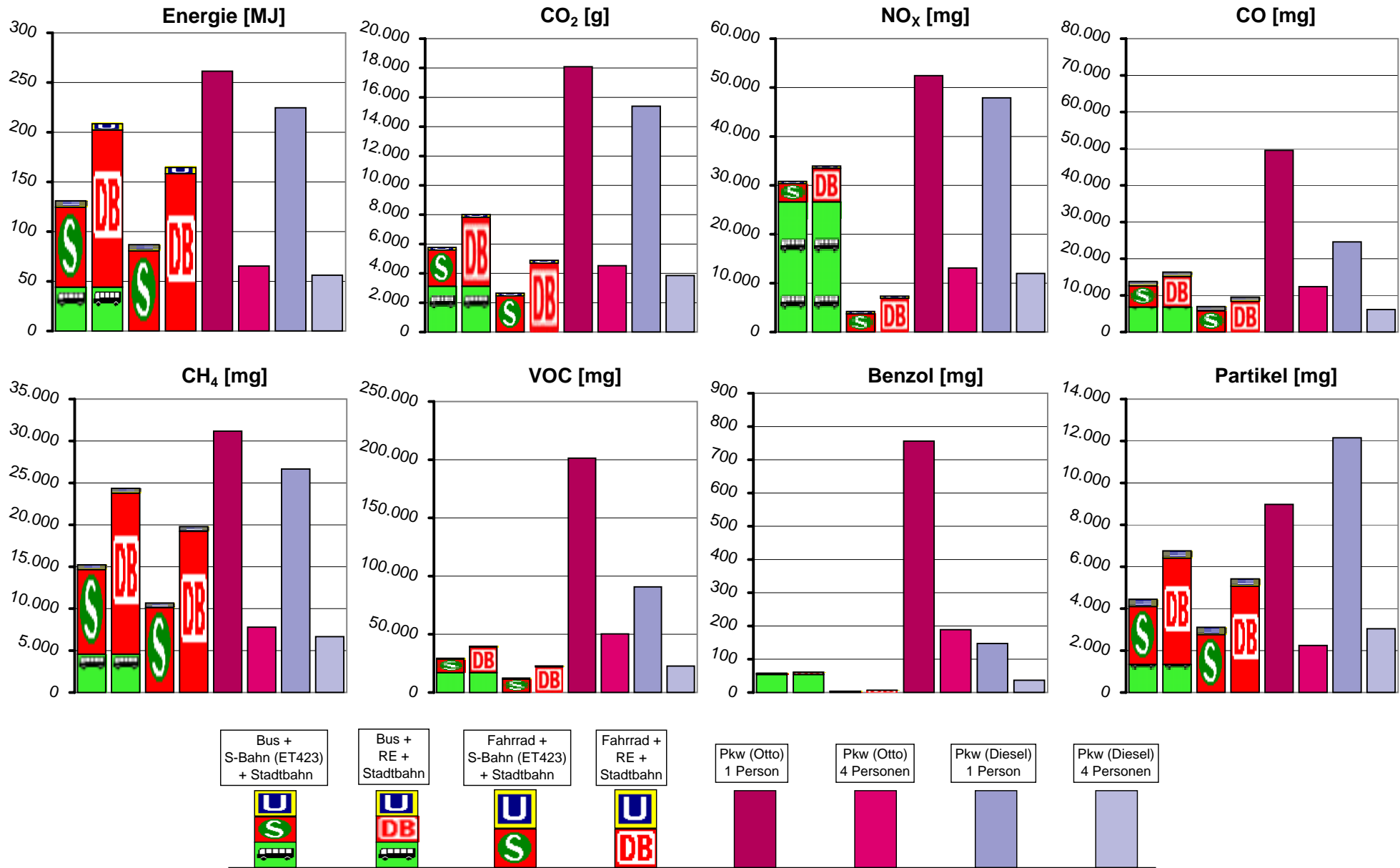


zur Tabelle

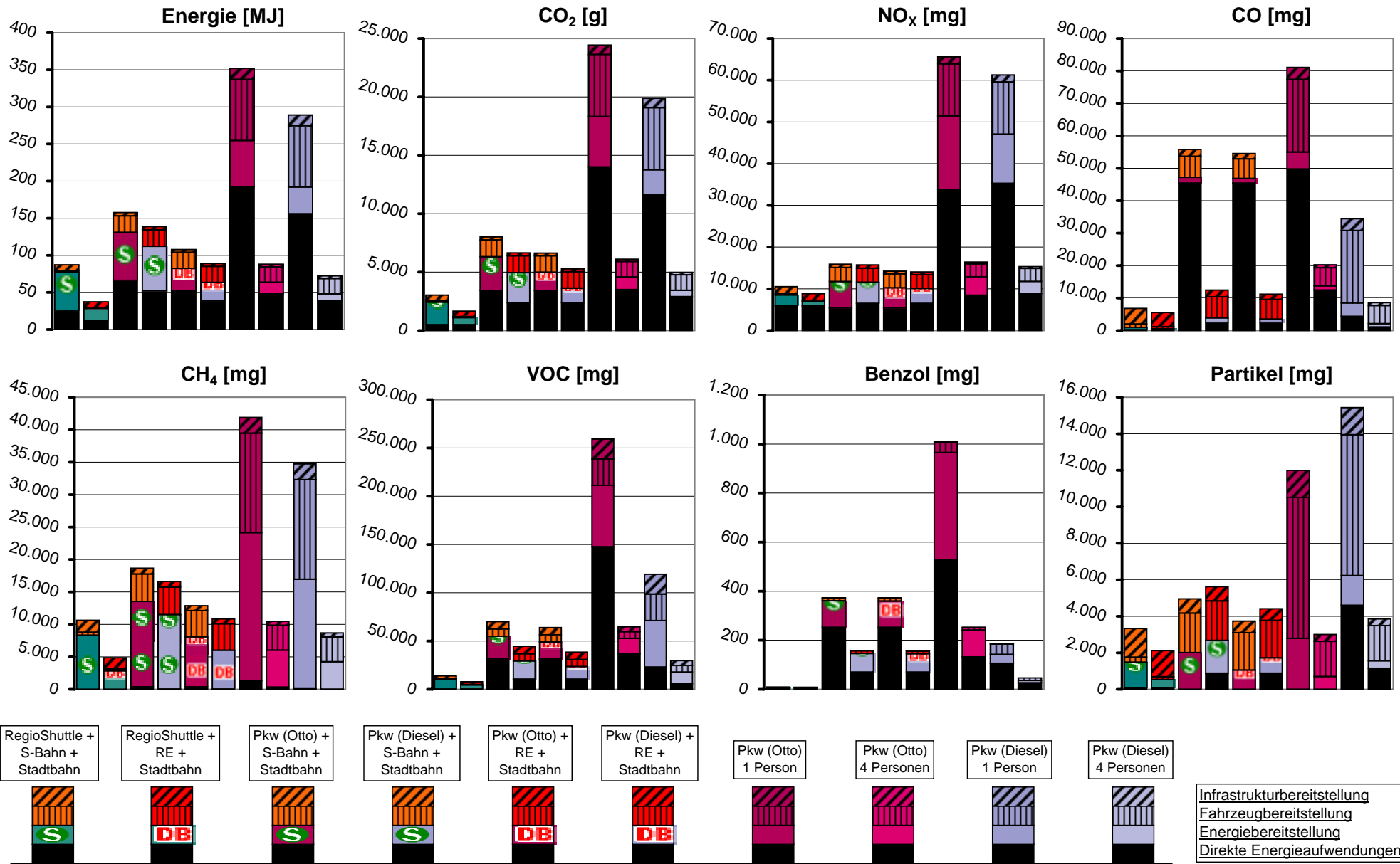




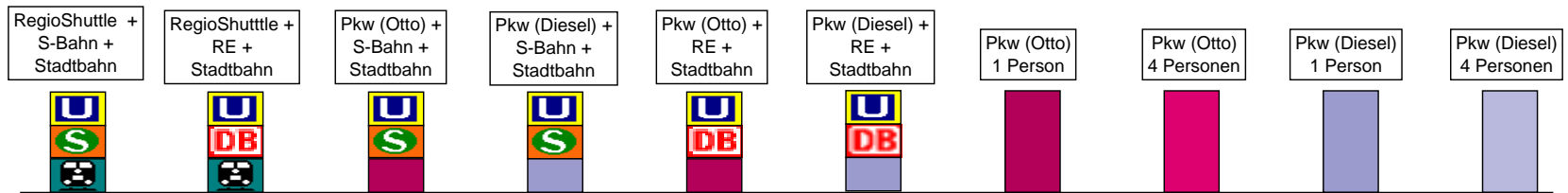
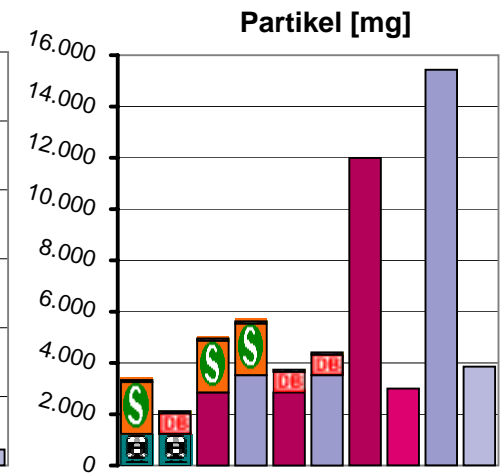
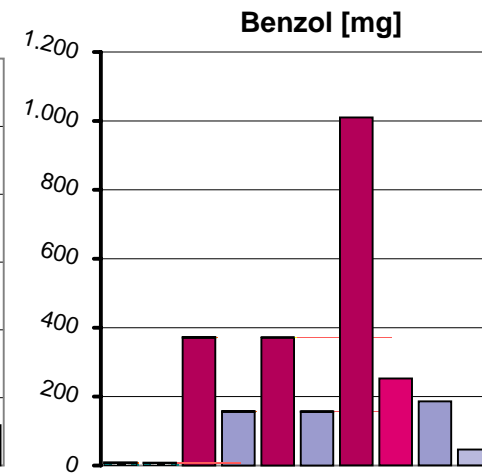
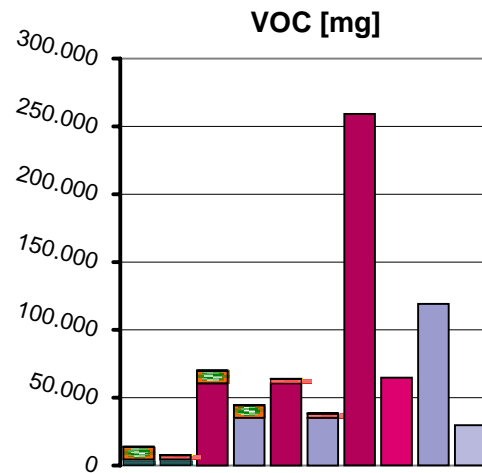
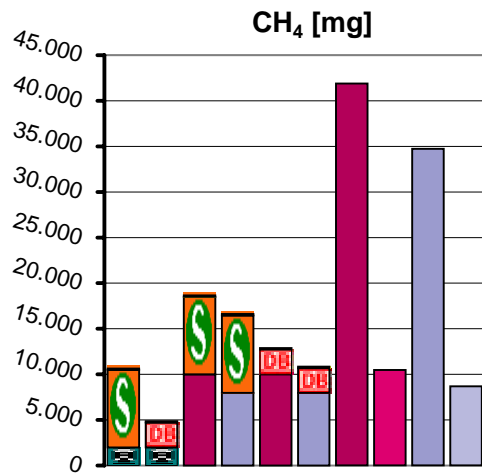
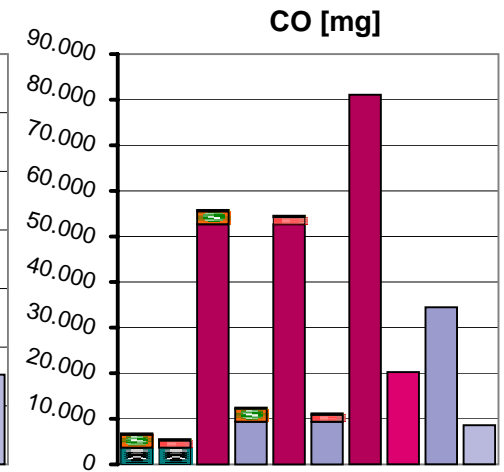
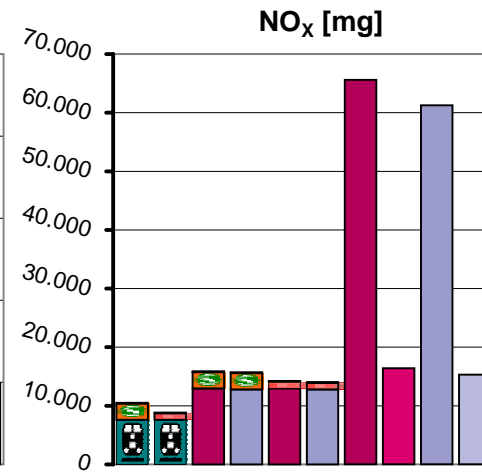
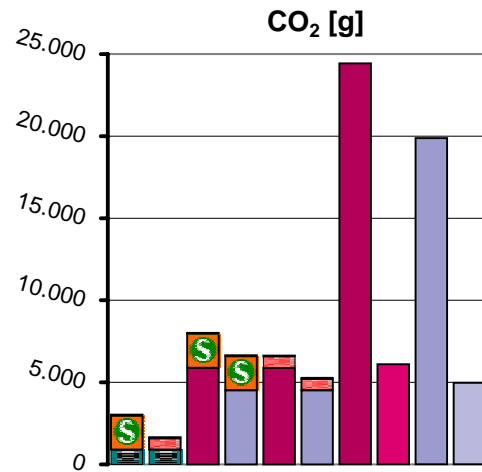
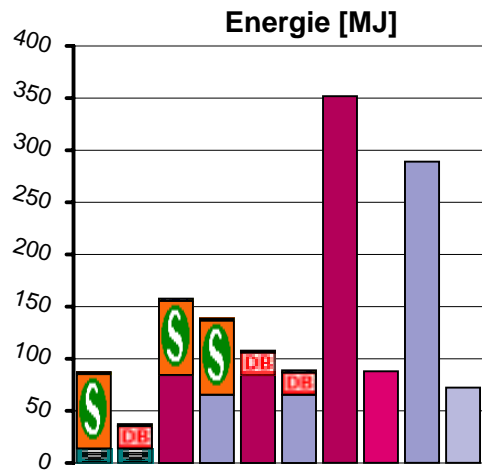
zur Tabelle



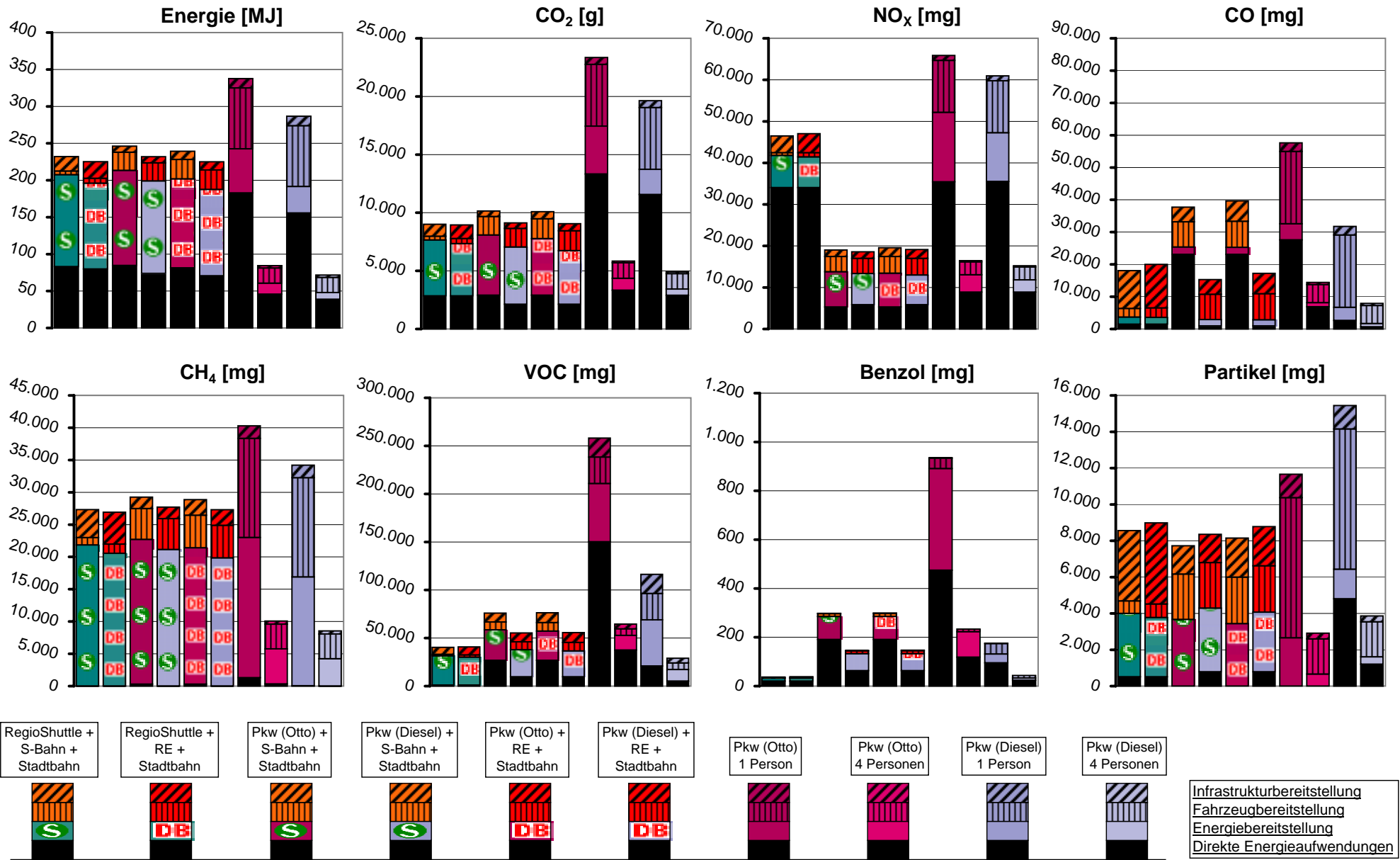
zur Tabelle



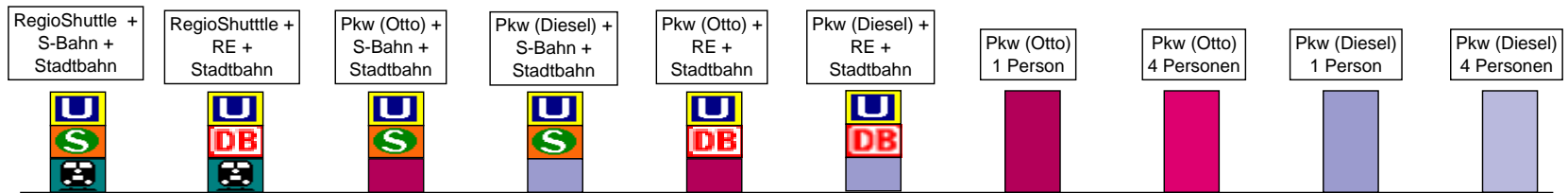
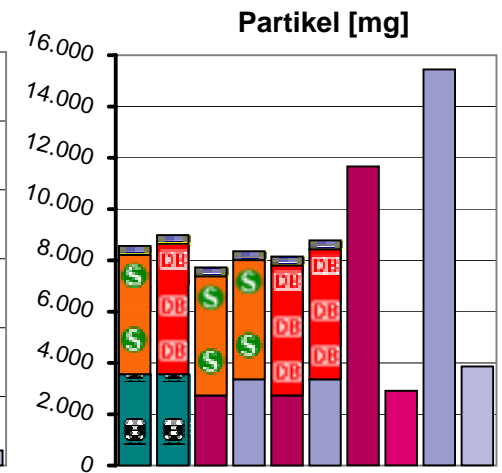
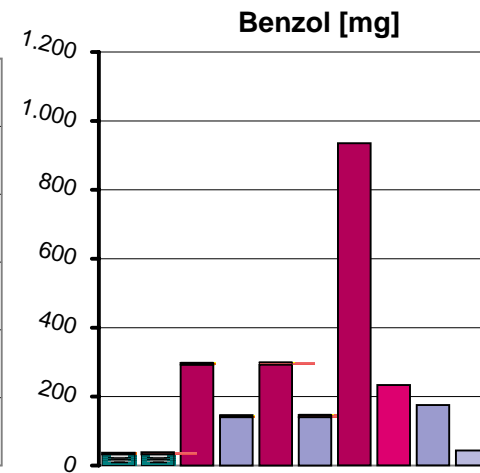
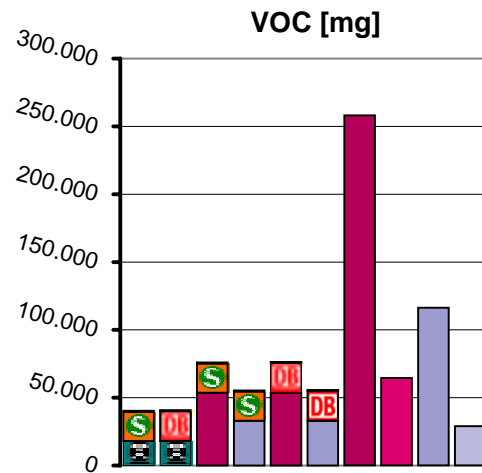
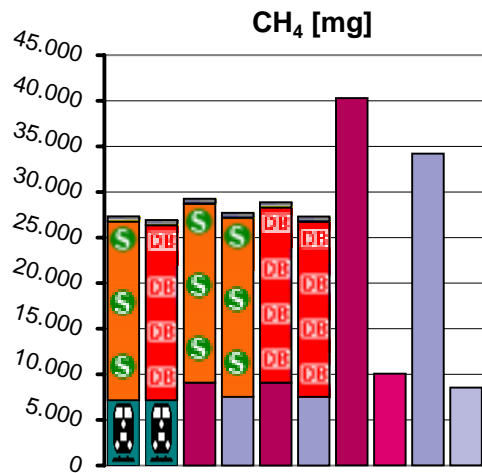
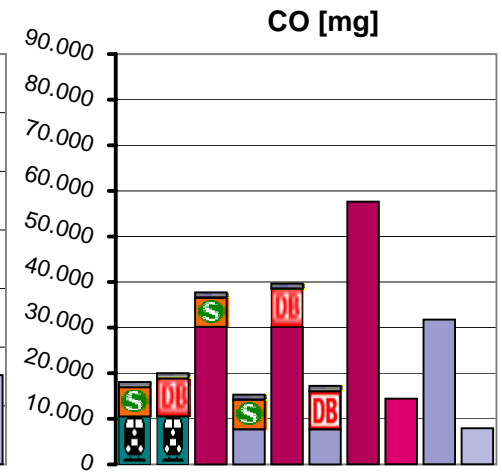
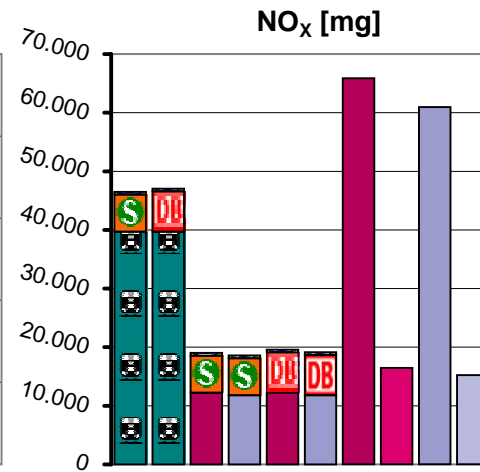
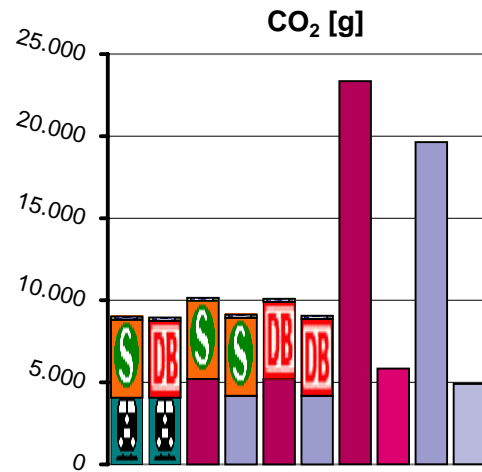
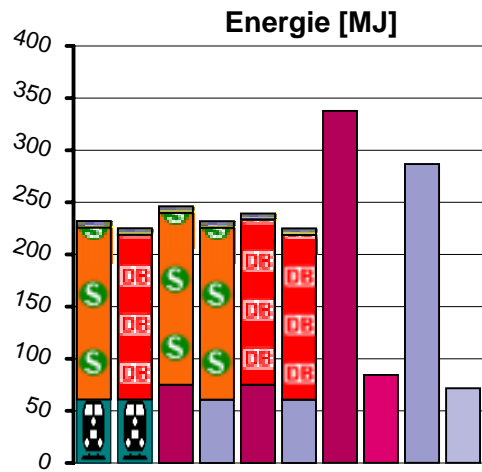
zur Tabelle



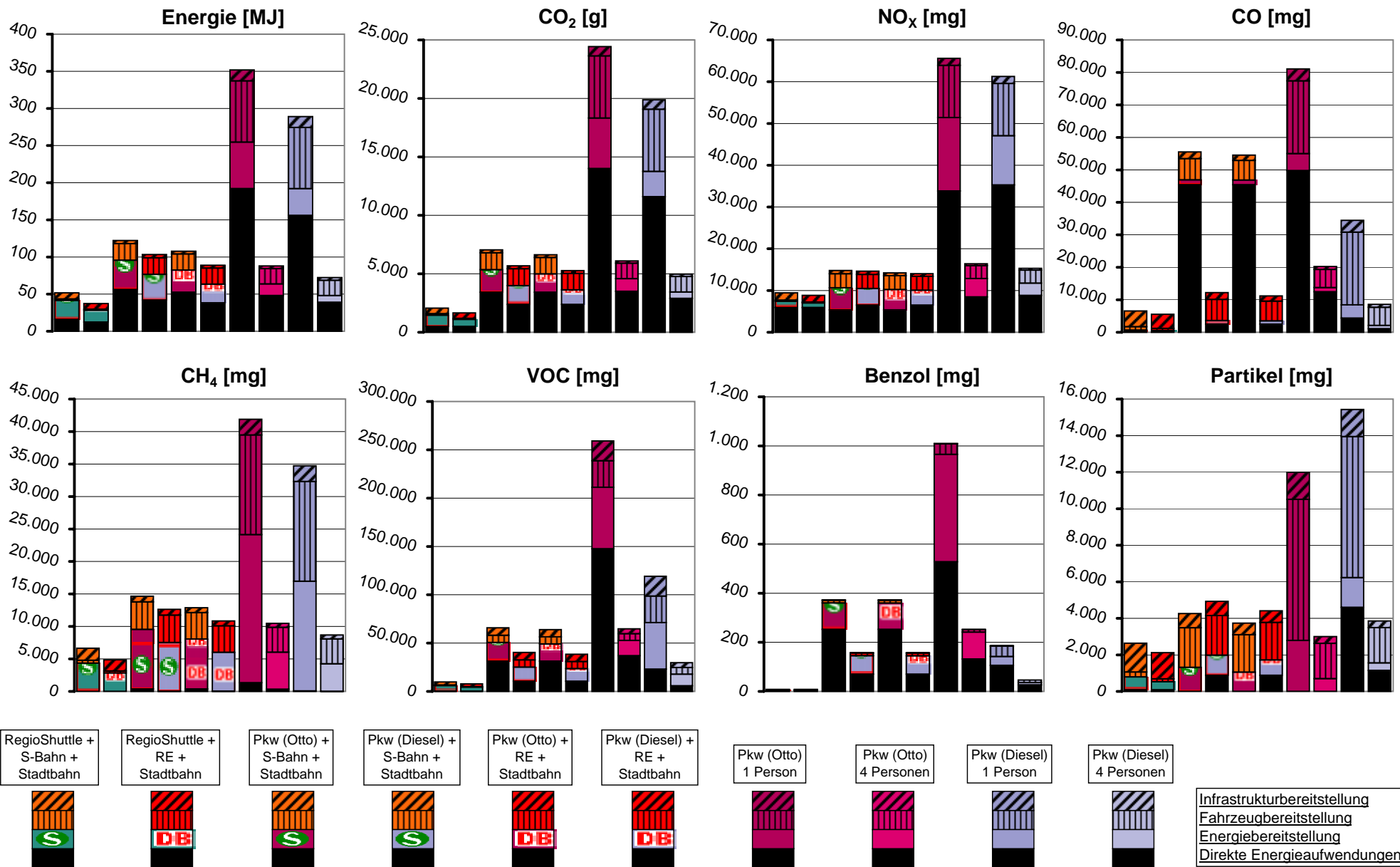
zur Tabelle



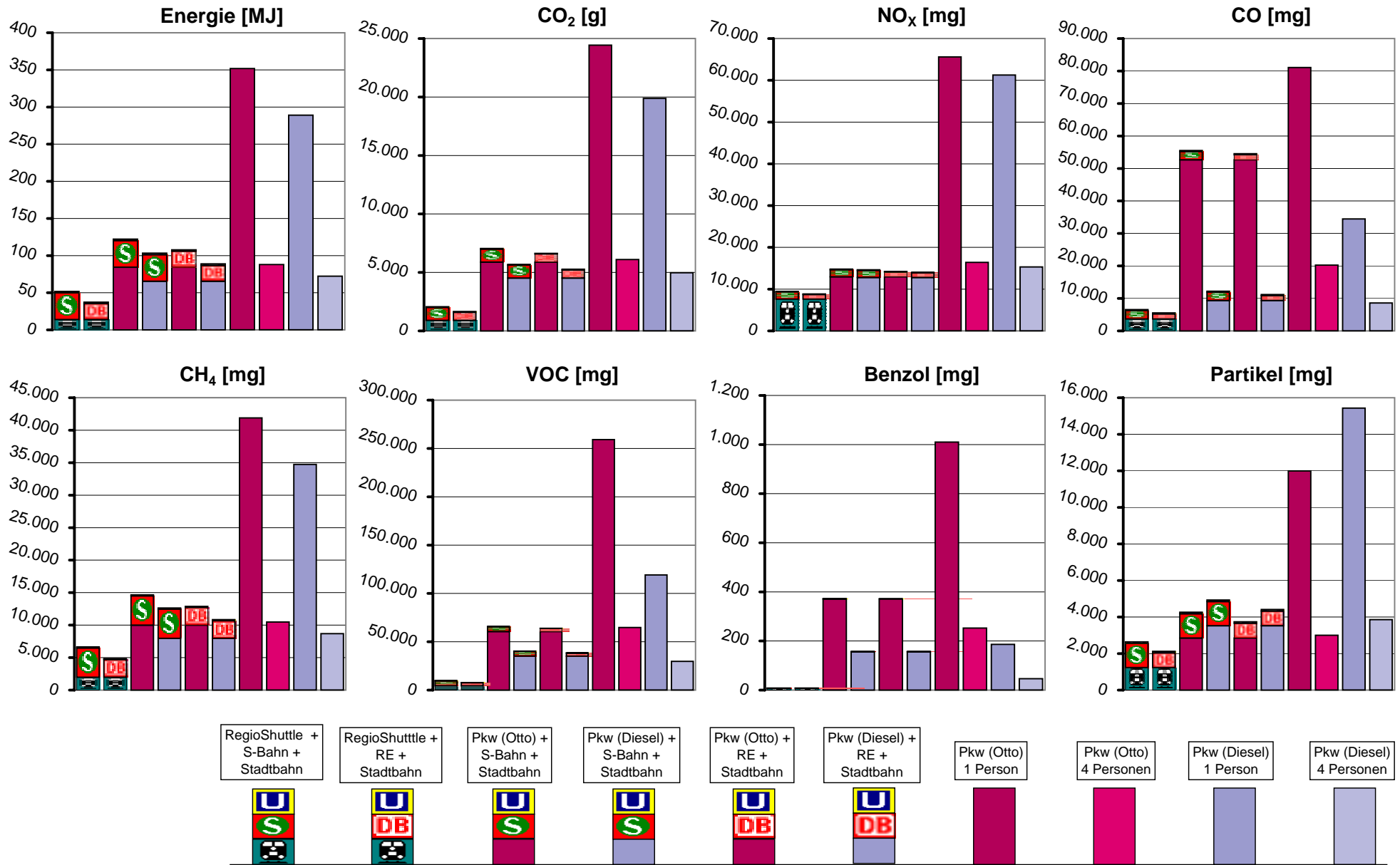
zur Tabelle



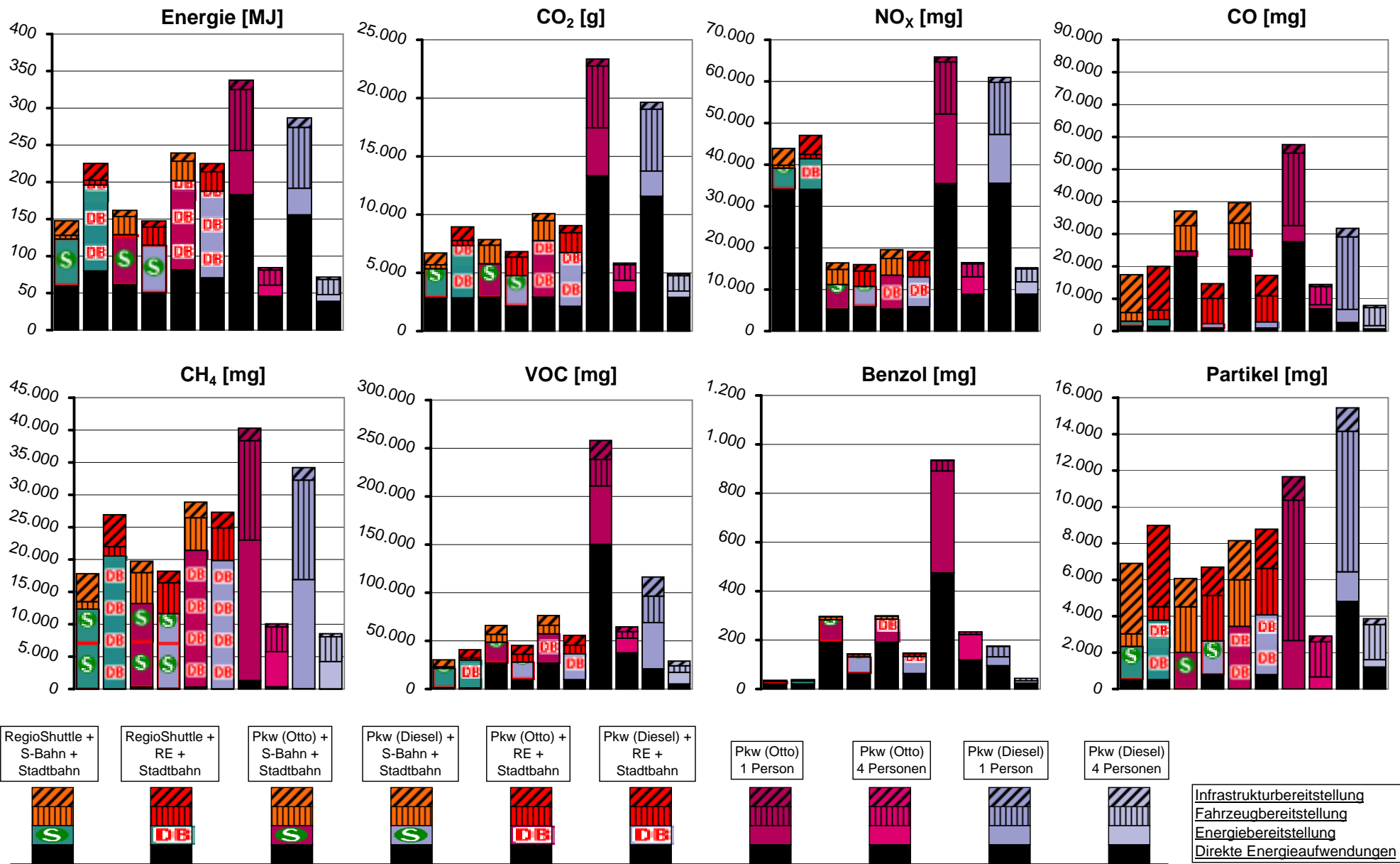
zur Tabelle



zur Tabelle

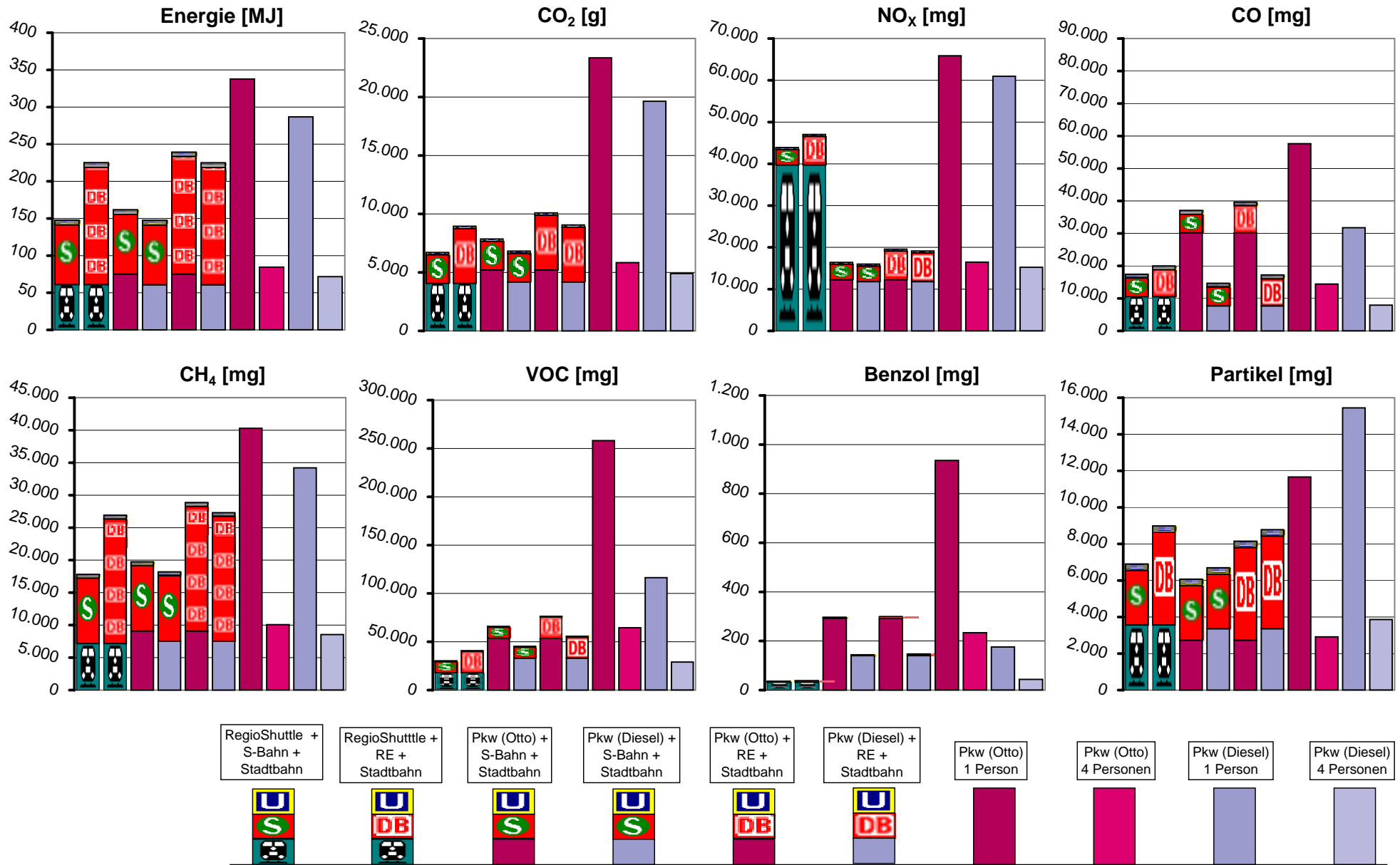


zur Tabelle

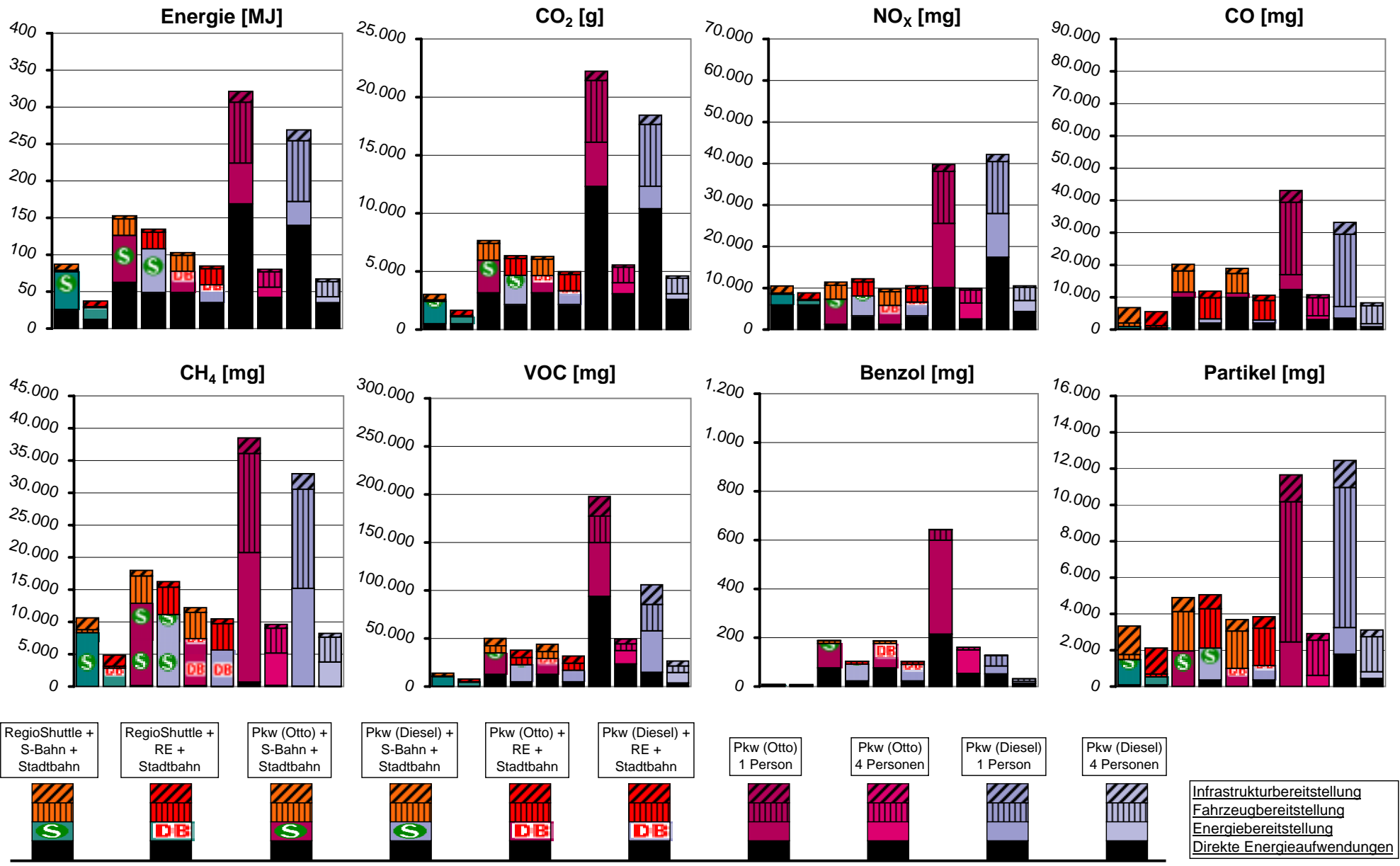




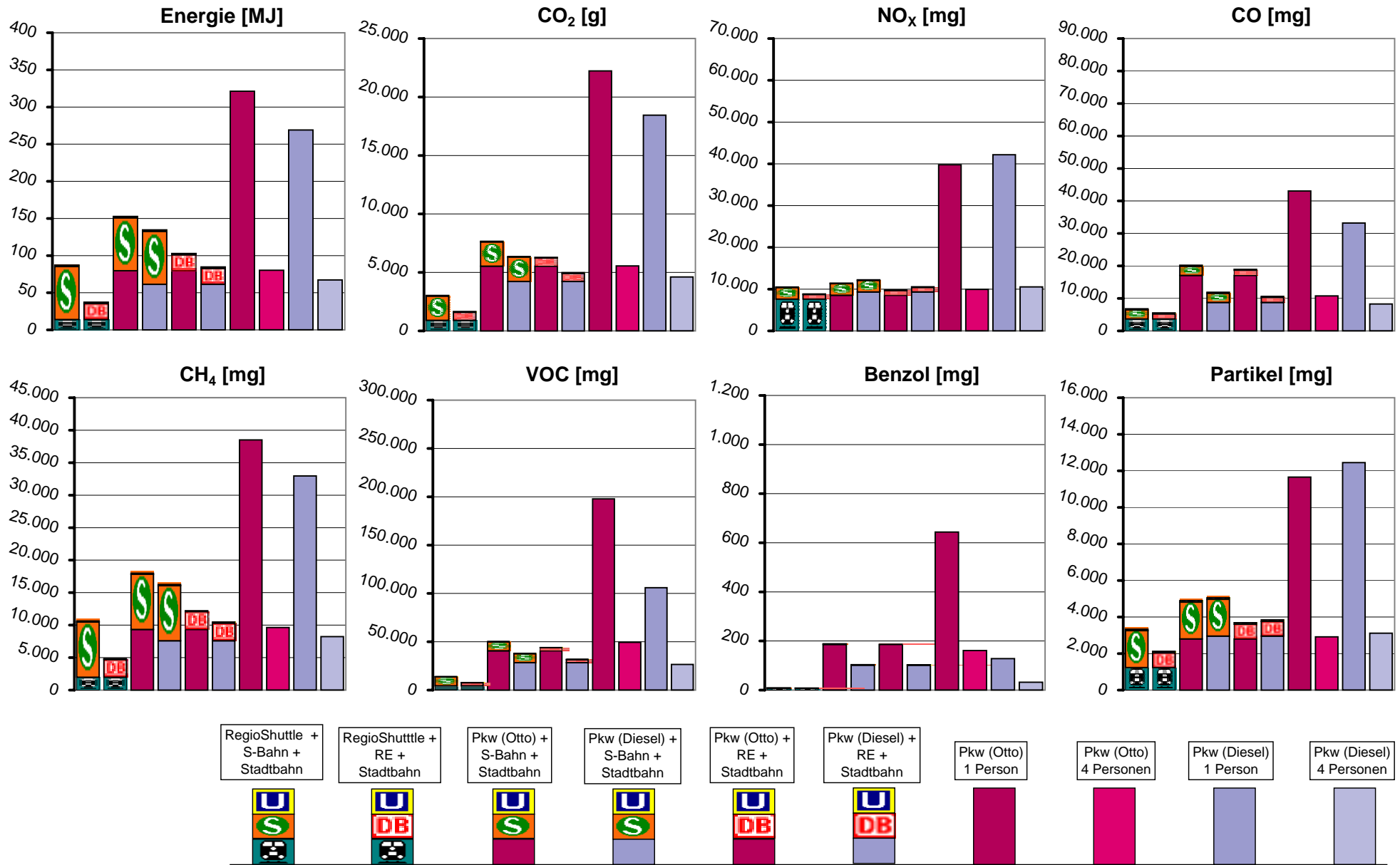
zur Tabelle



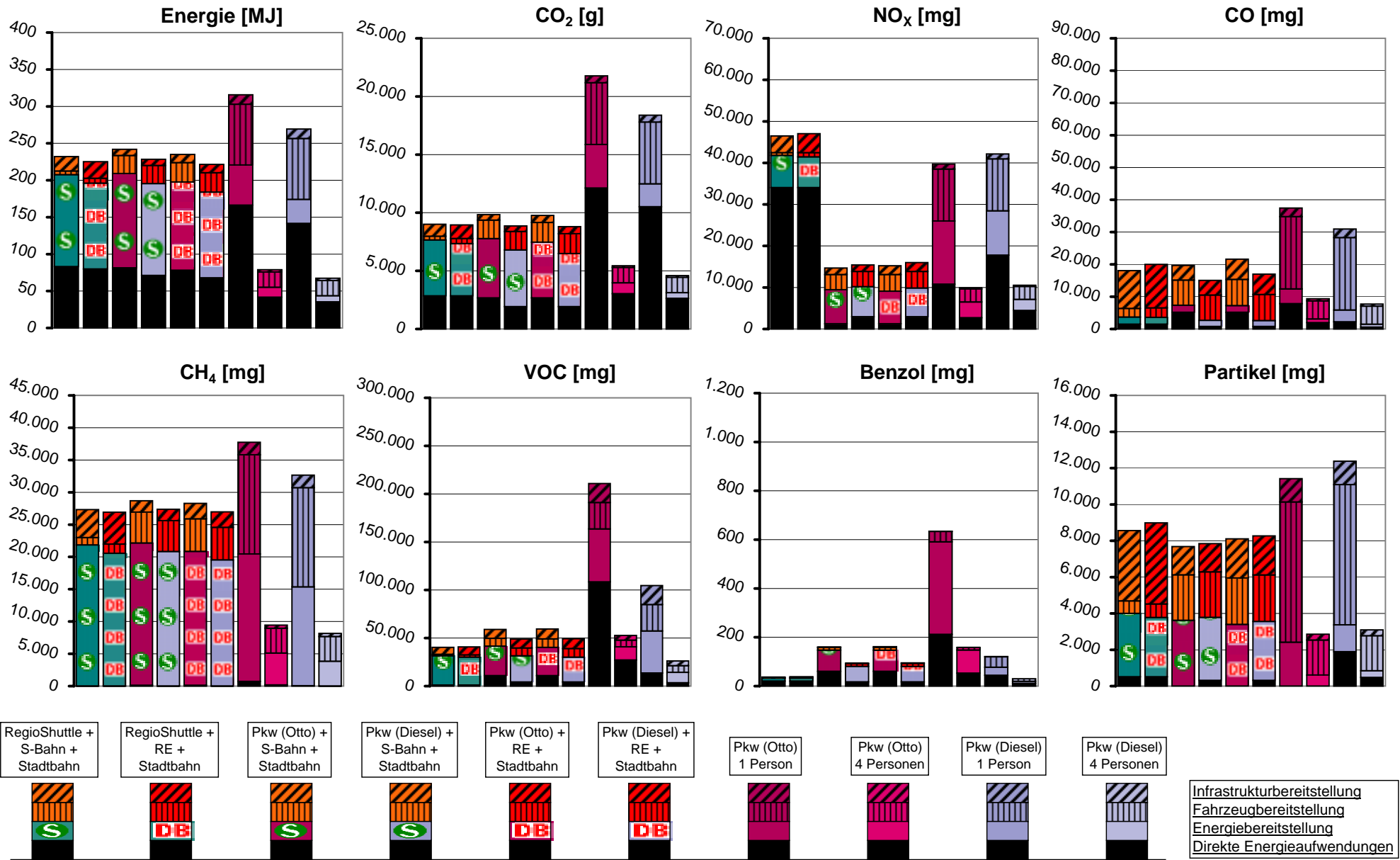
zur Tabelle



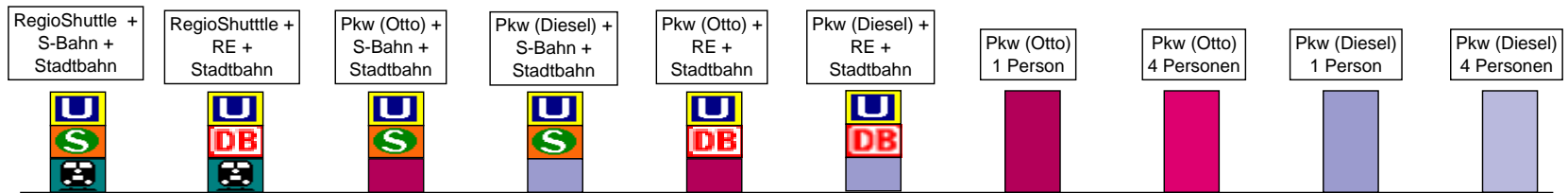
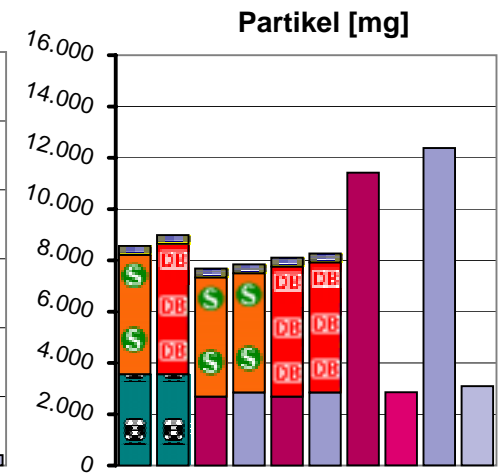
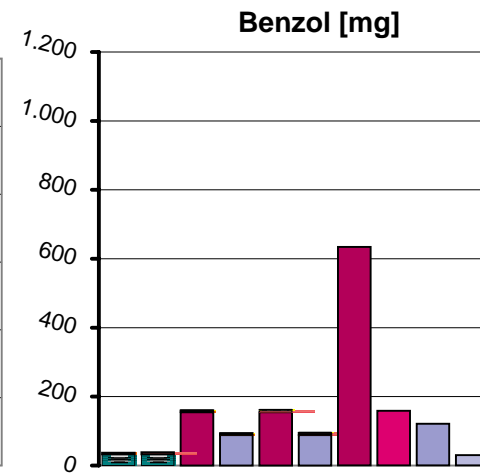
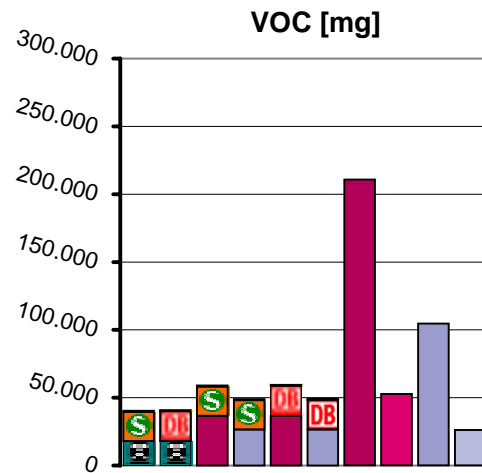
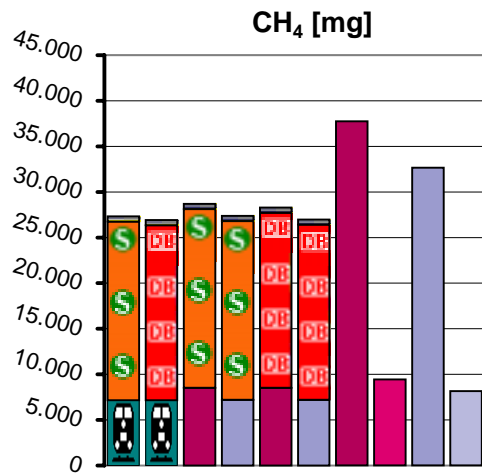
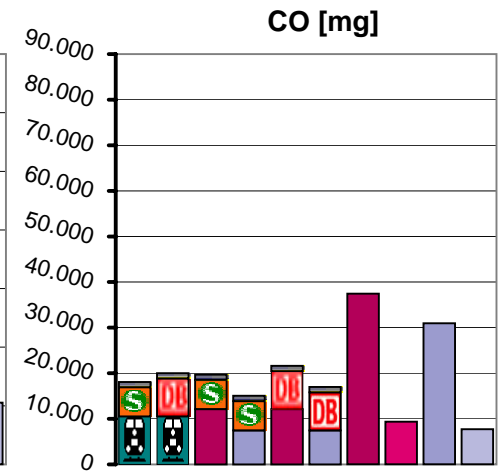
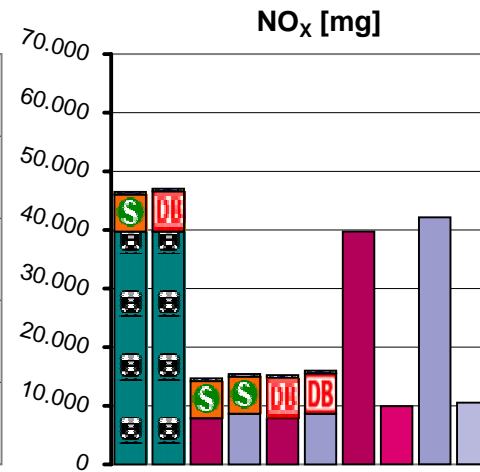
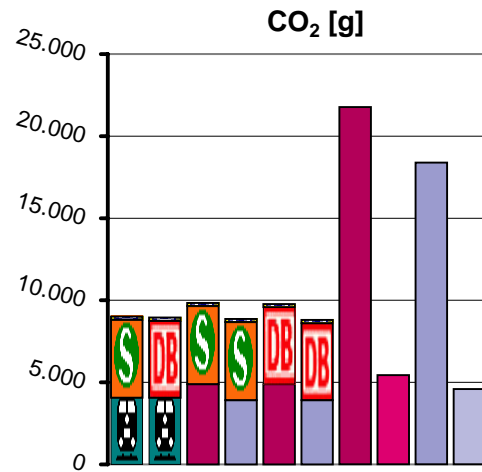
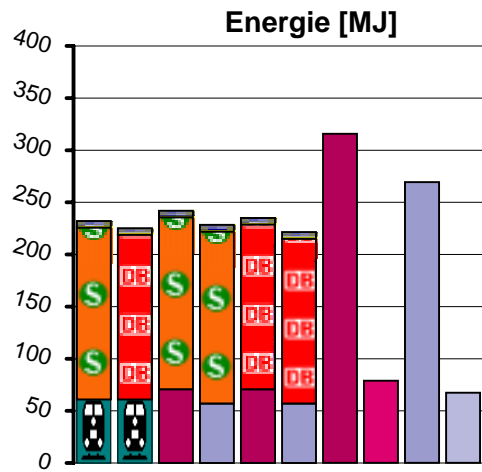
zur Tabelle



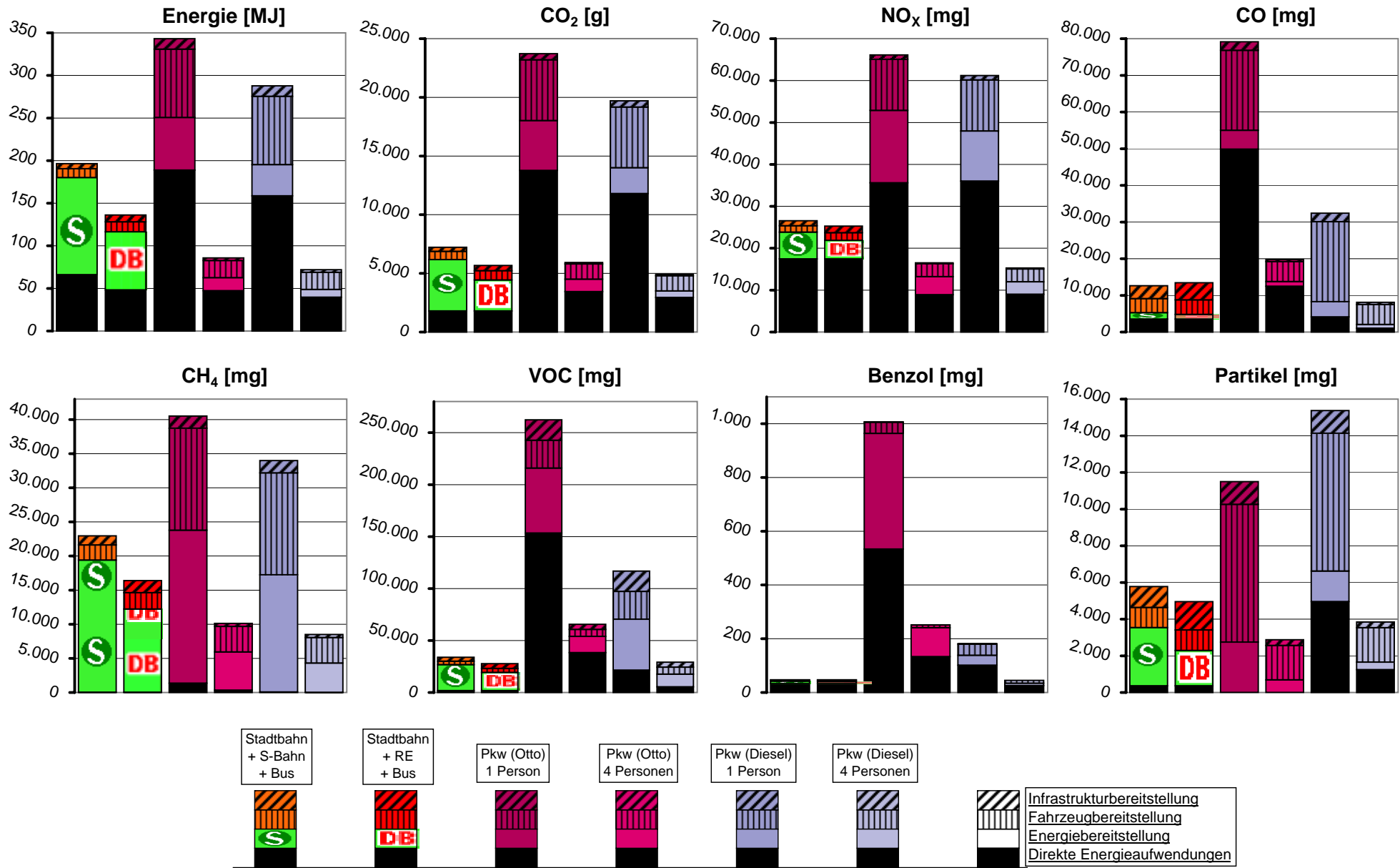
zur Tabelle



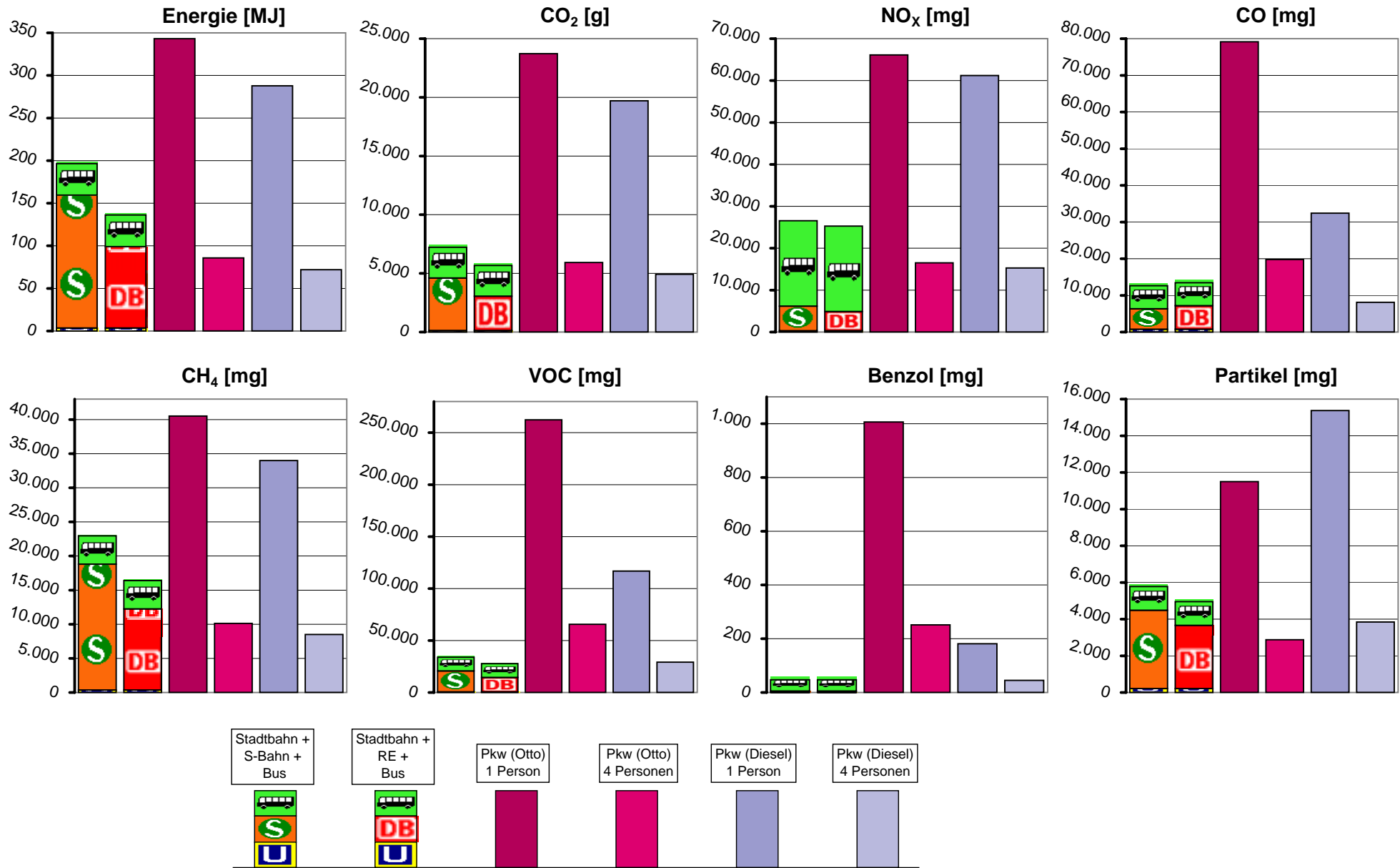
zur Tabelle



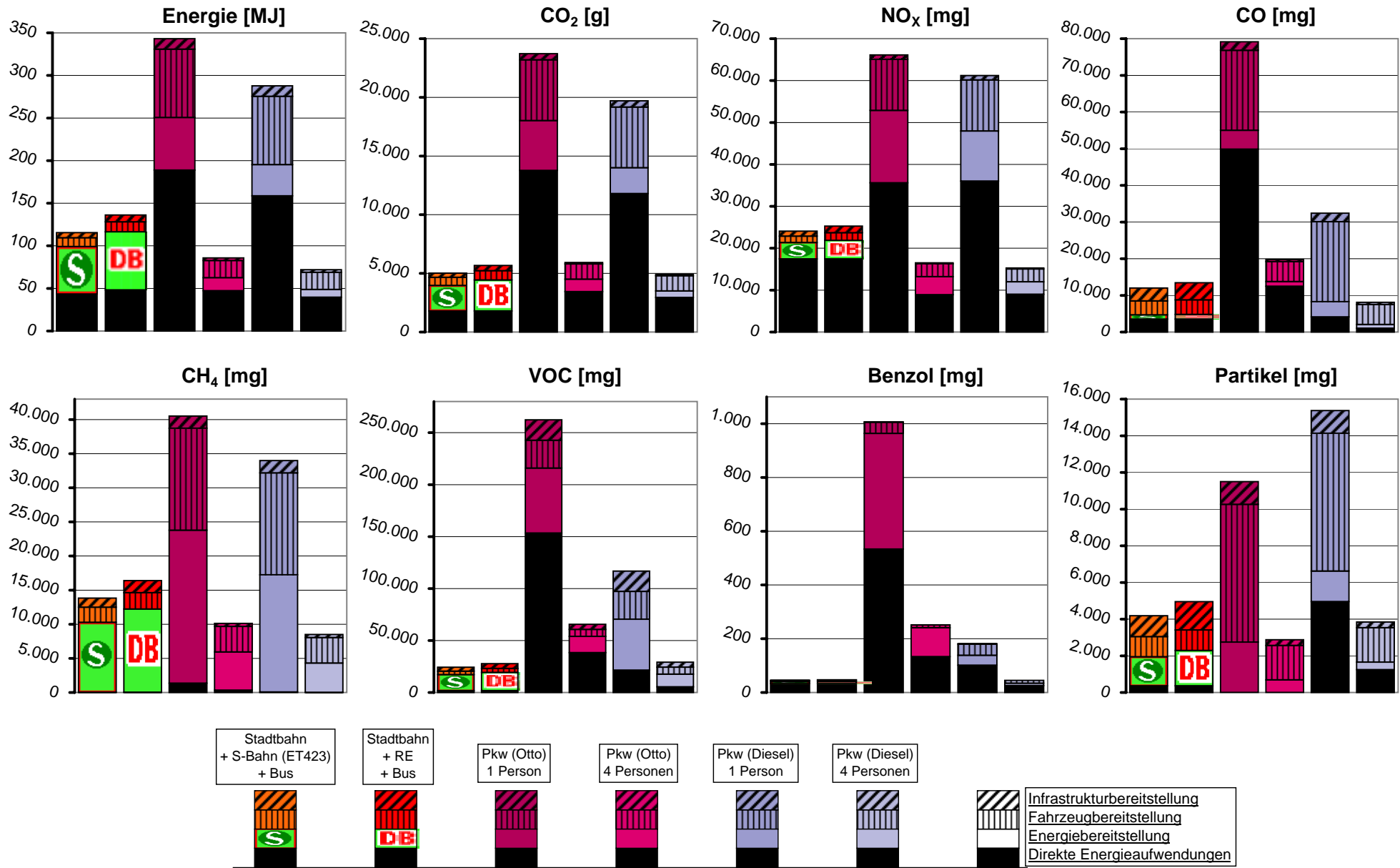
zur Tabelle



zur Tabelle

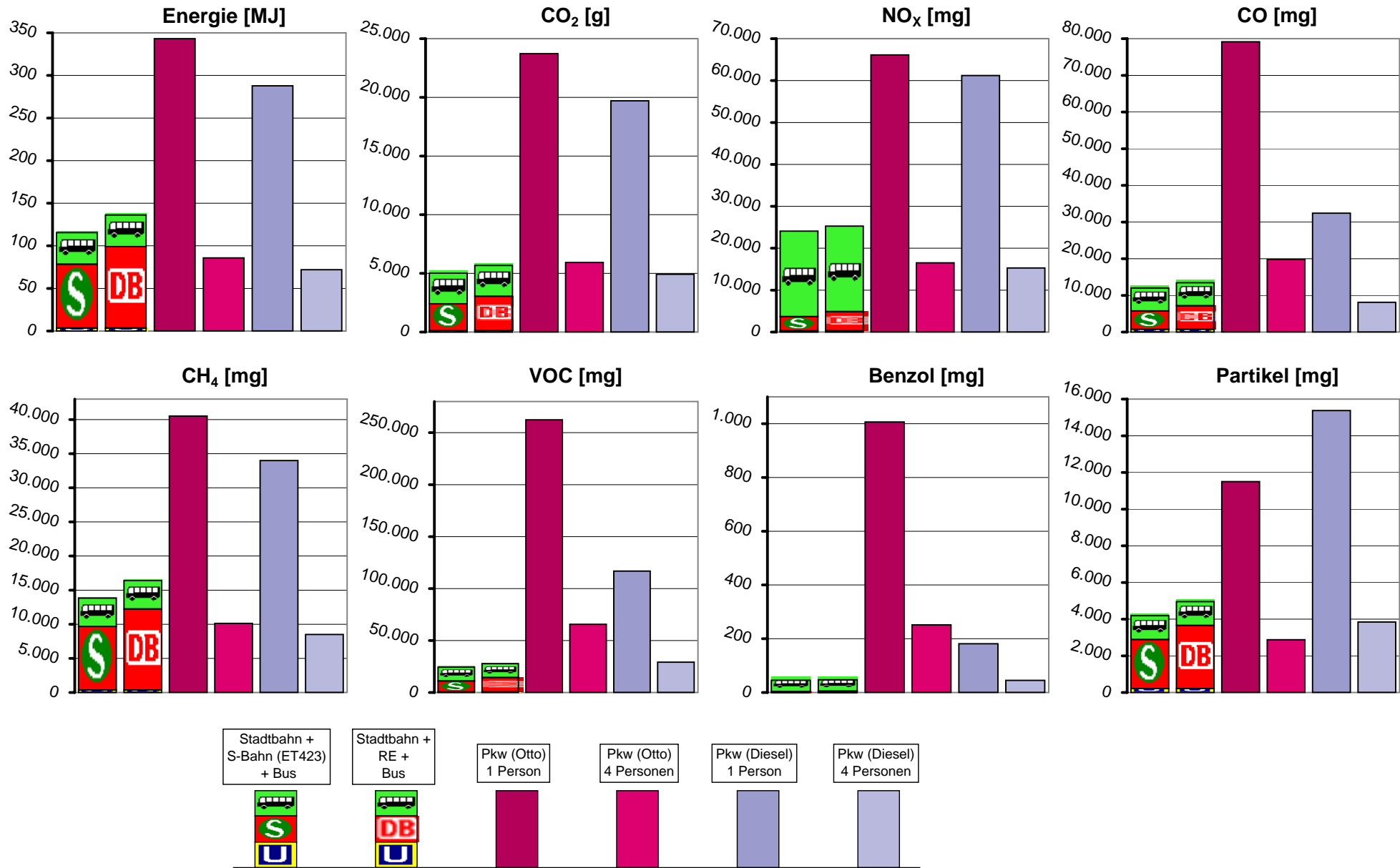


zur Tabelle

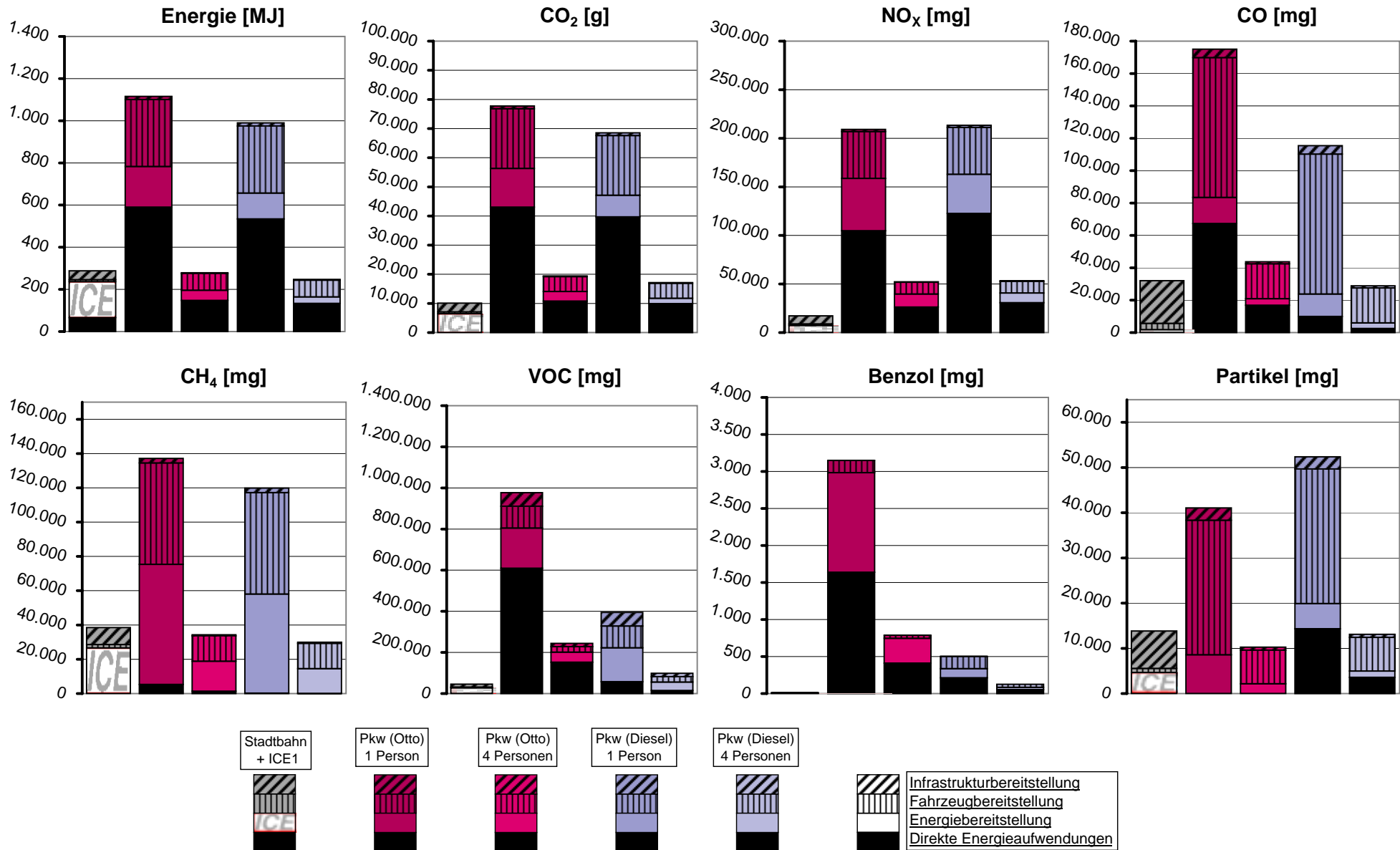




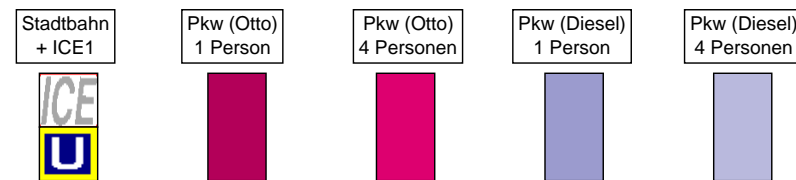
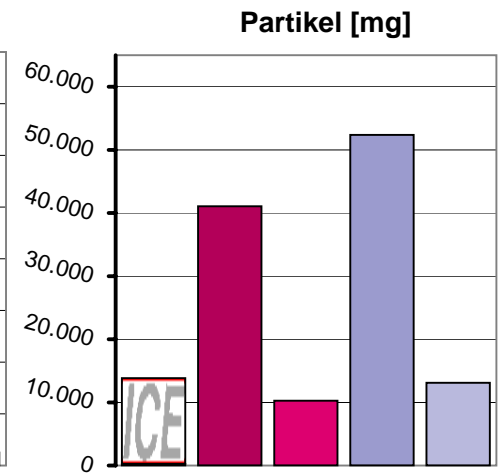
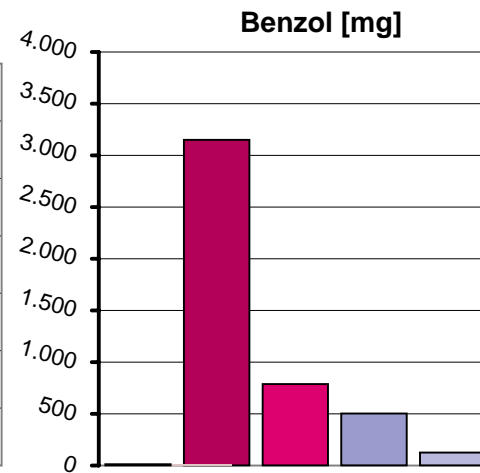
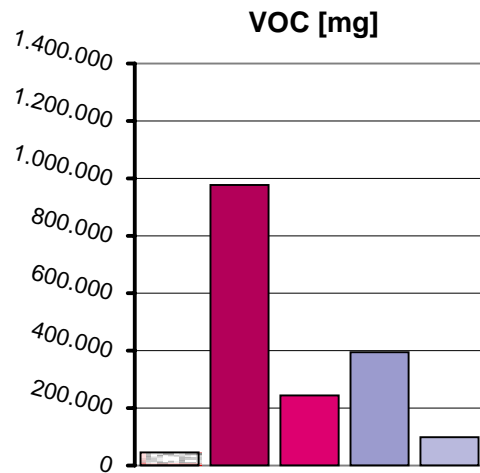
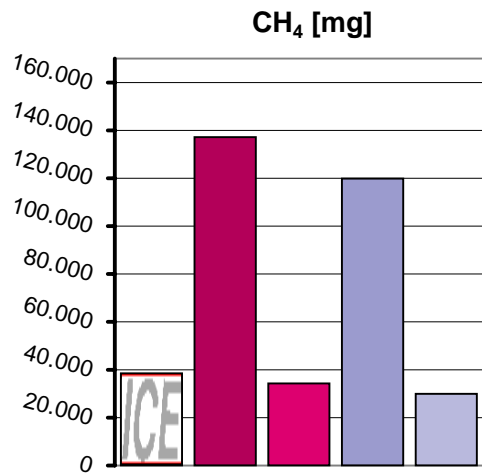
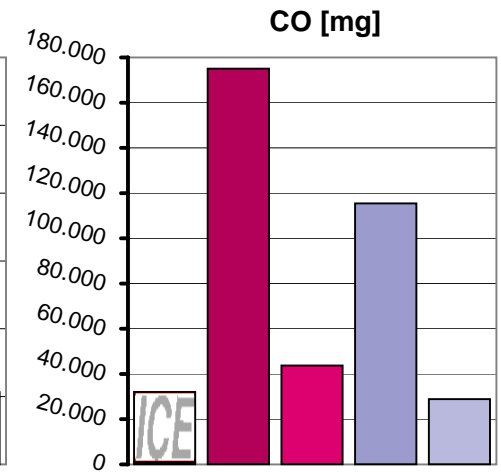
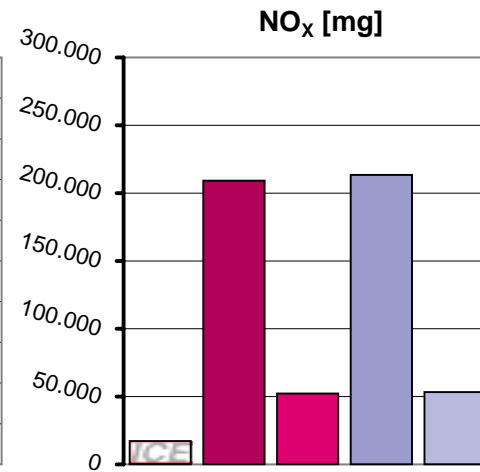
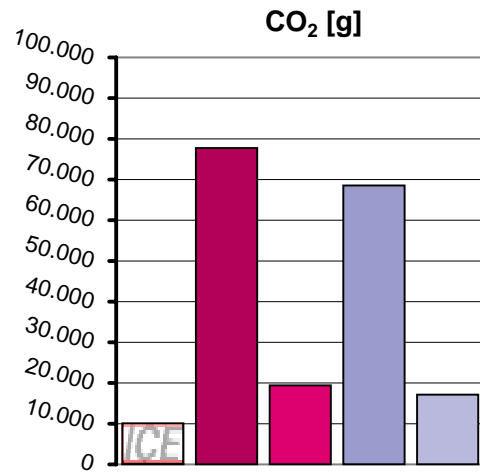
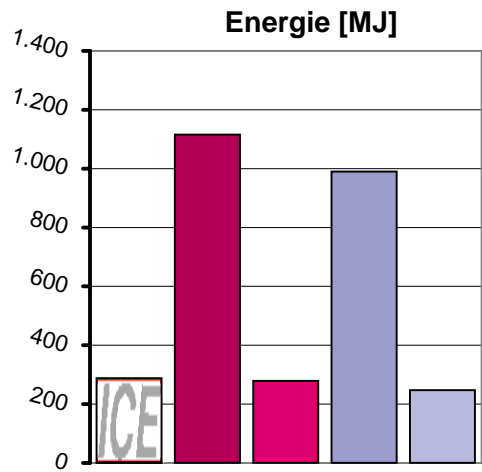
zur Tabelle



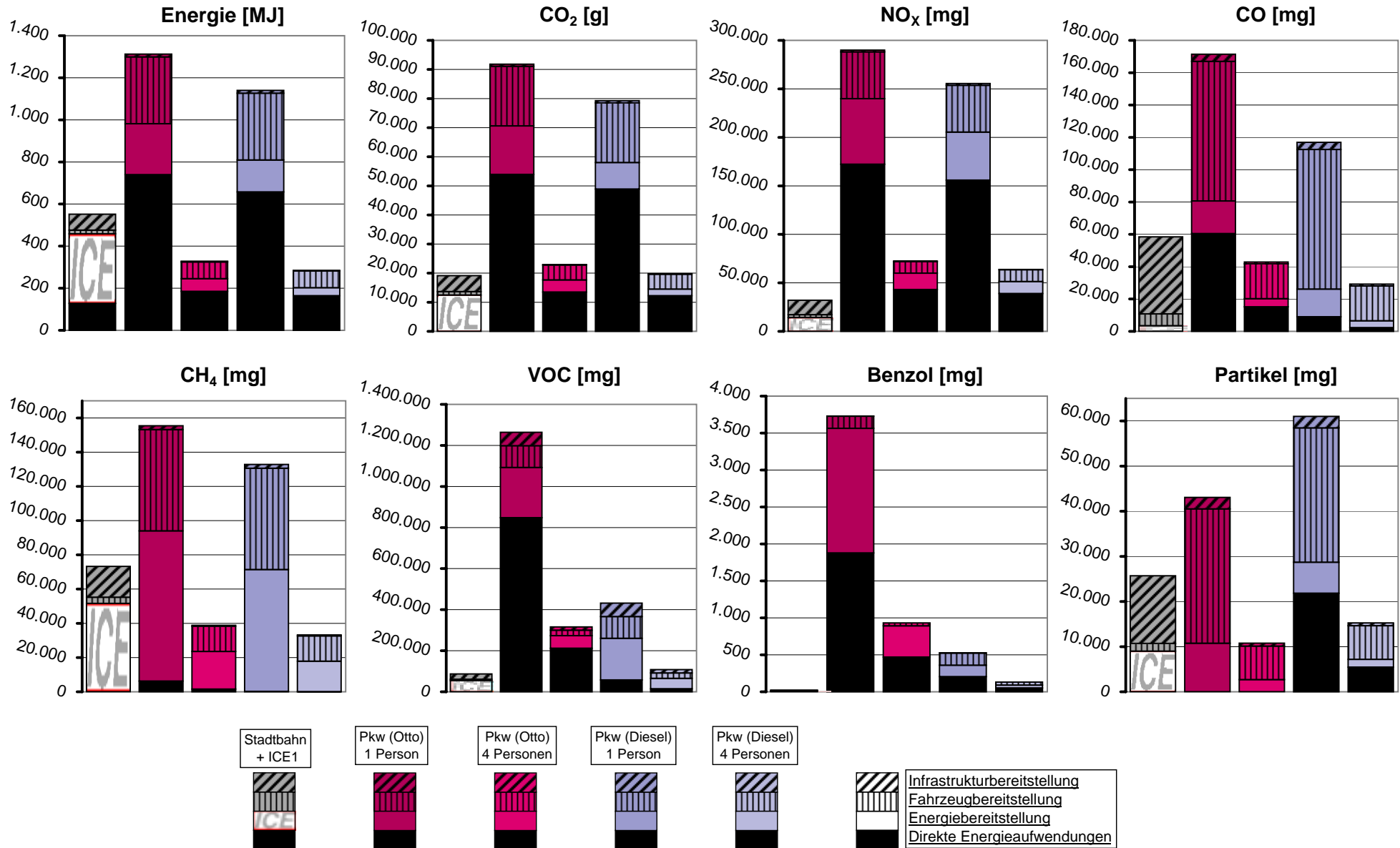
zur Tabelle



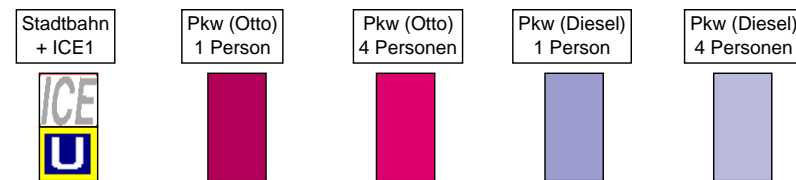
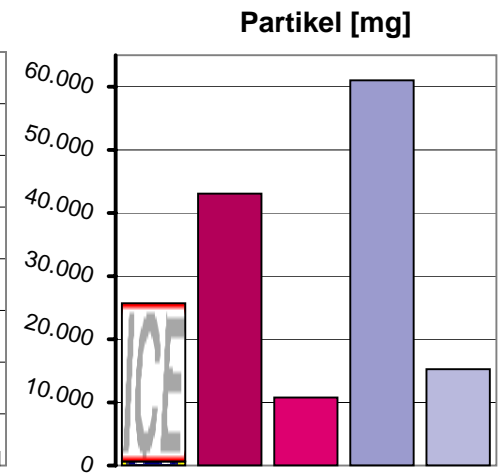
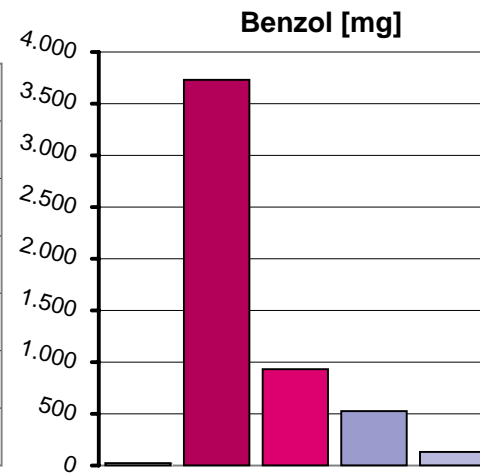
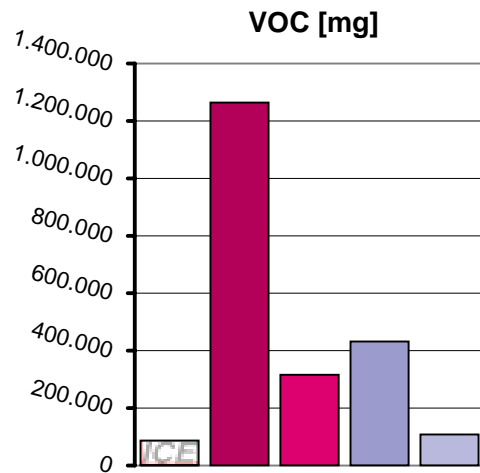
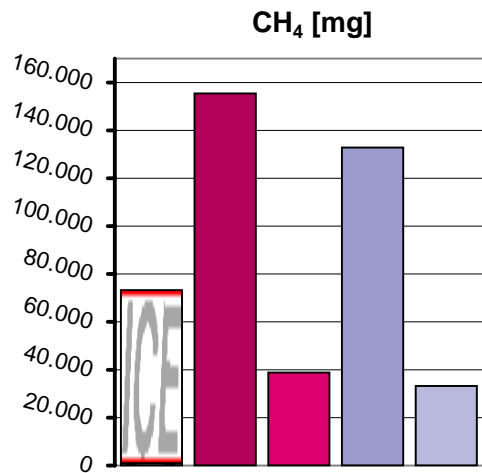
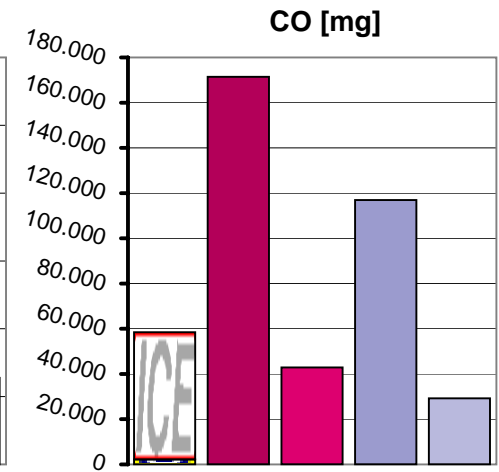
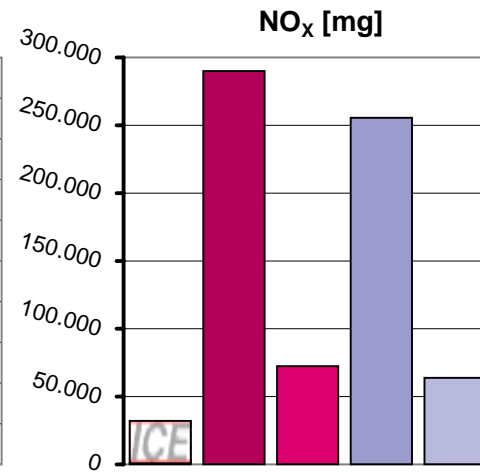
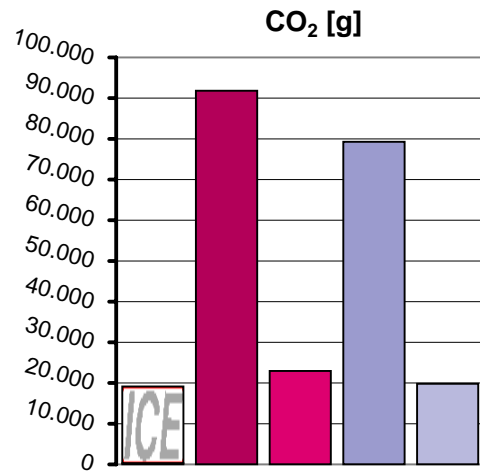
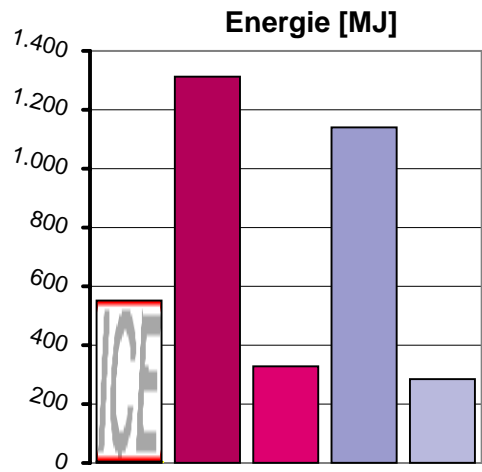
zur Tabelle



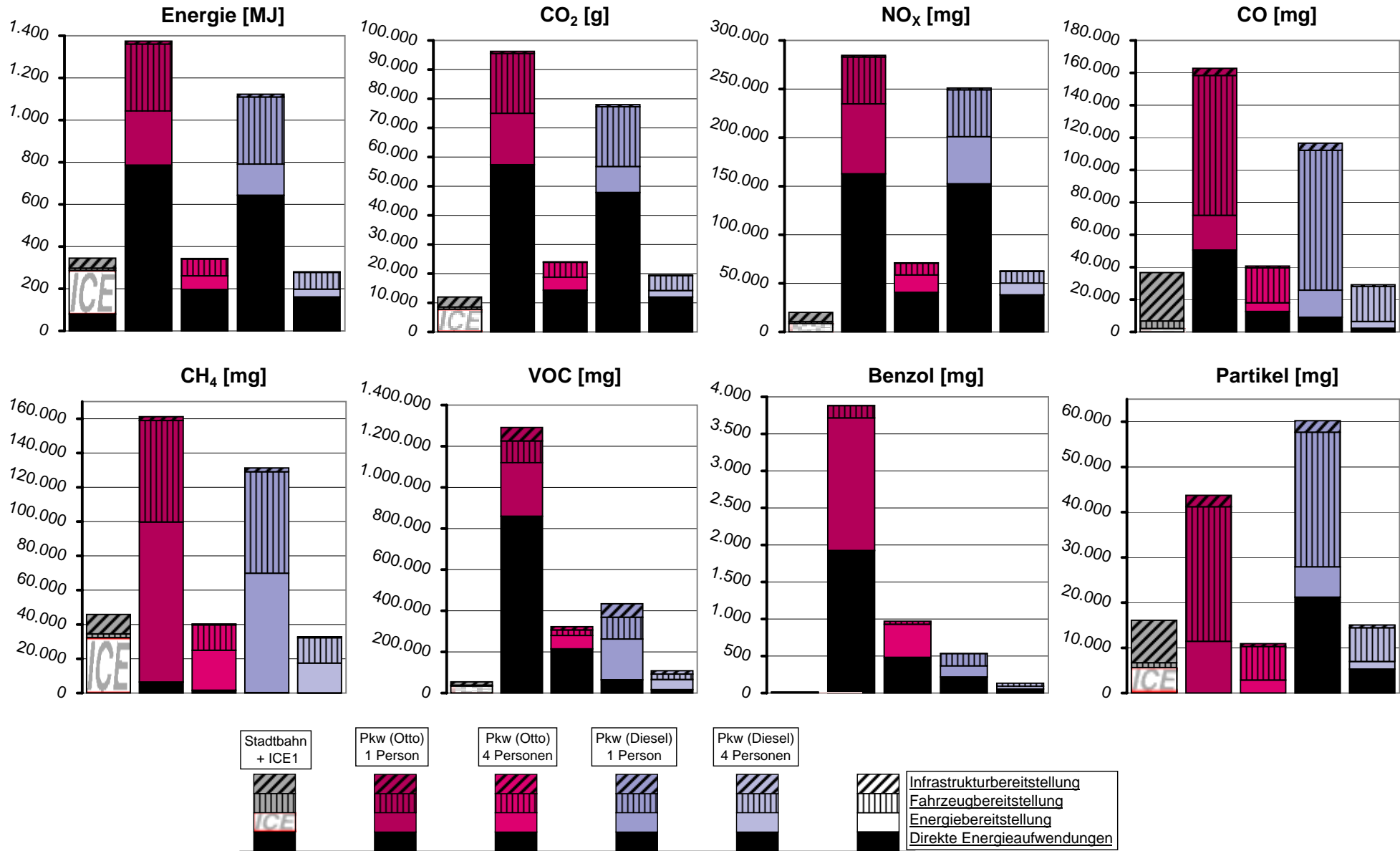
zur Tabelle



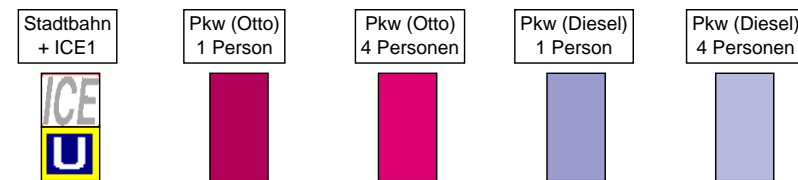
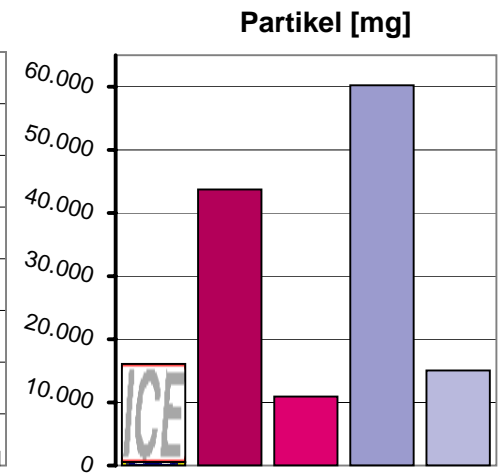
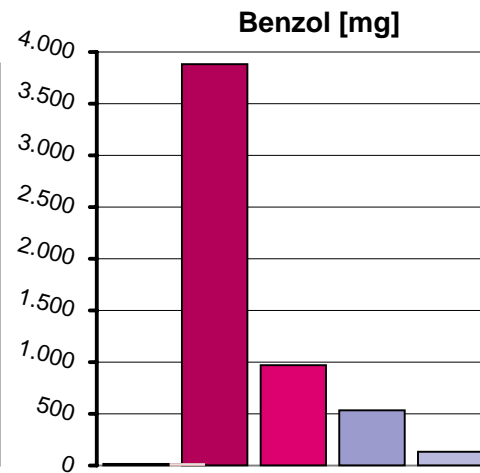
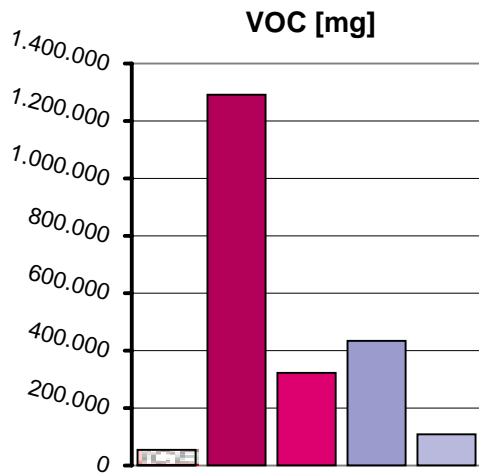
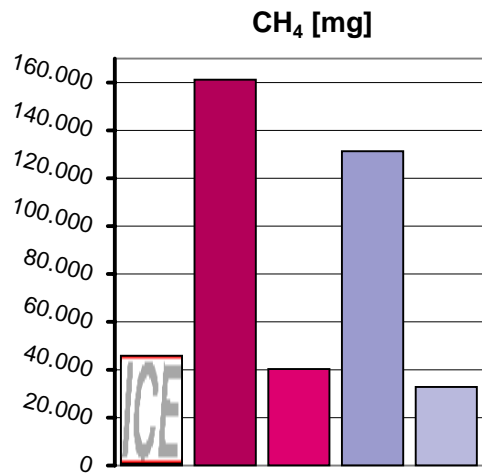
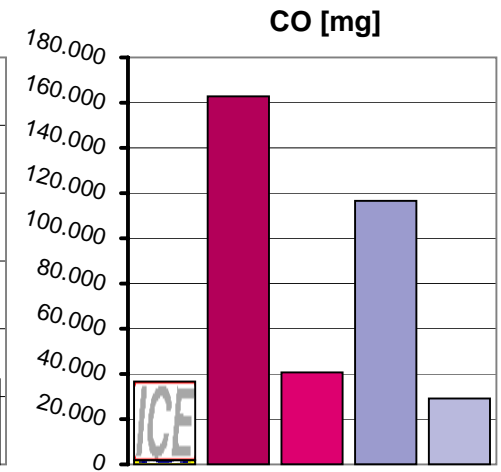
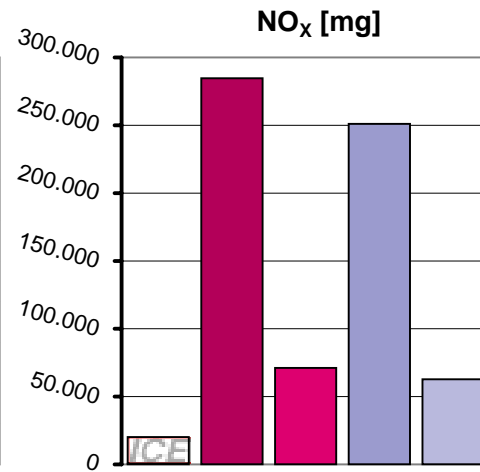
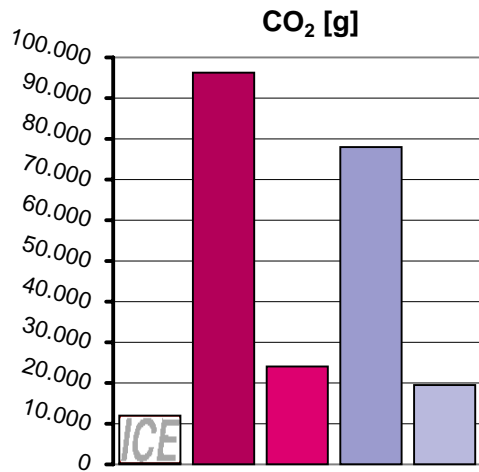
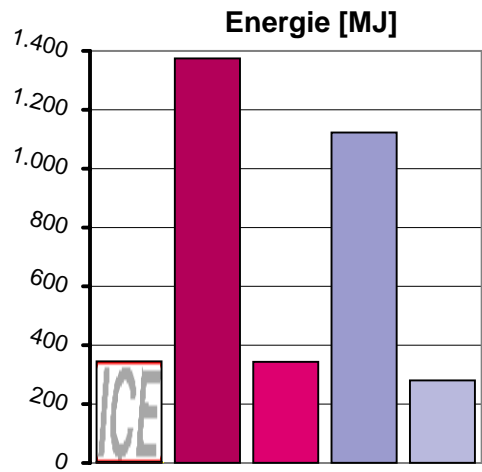
zur Tabelle



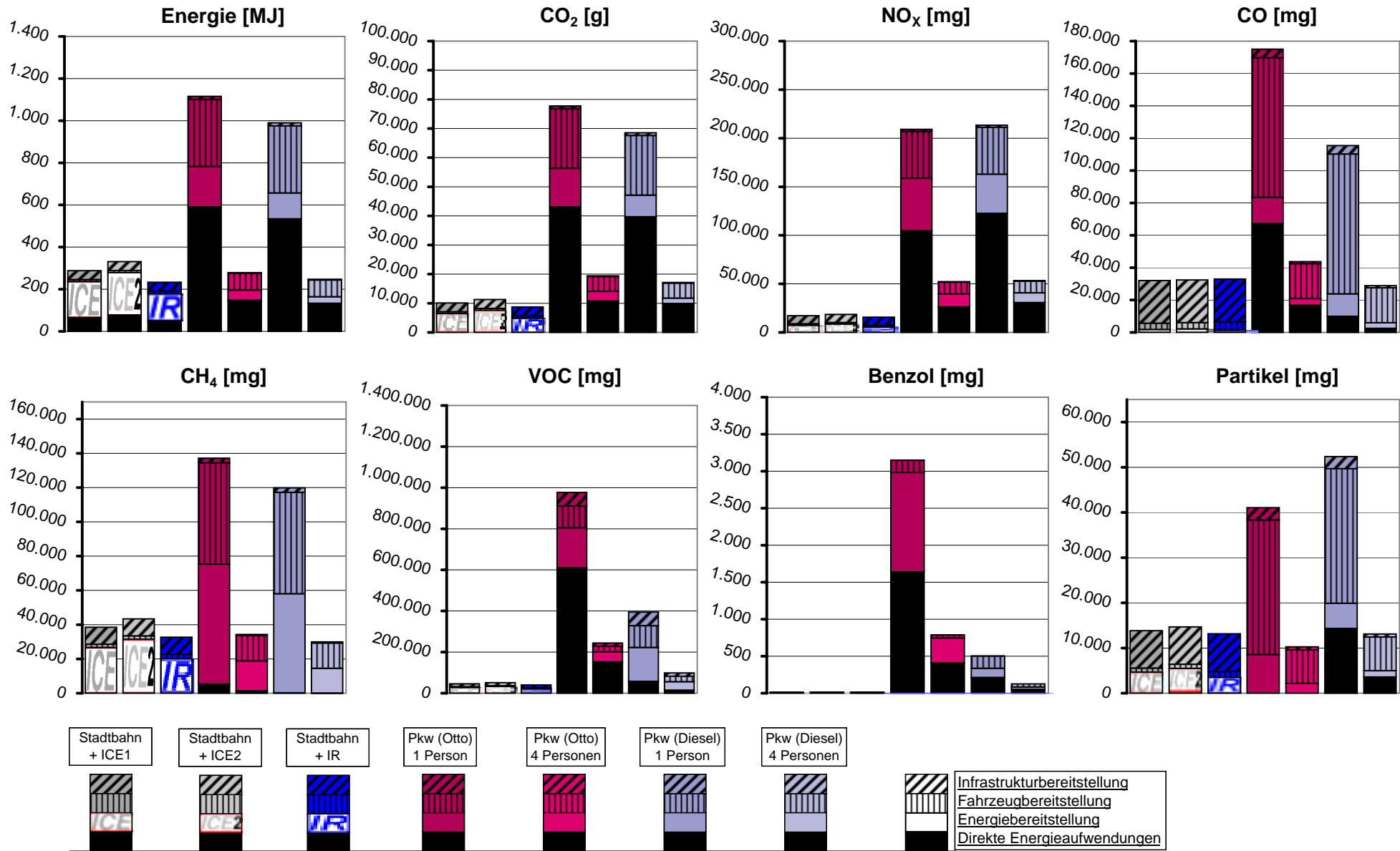
zur Tabelle



zur Tabelle

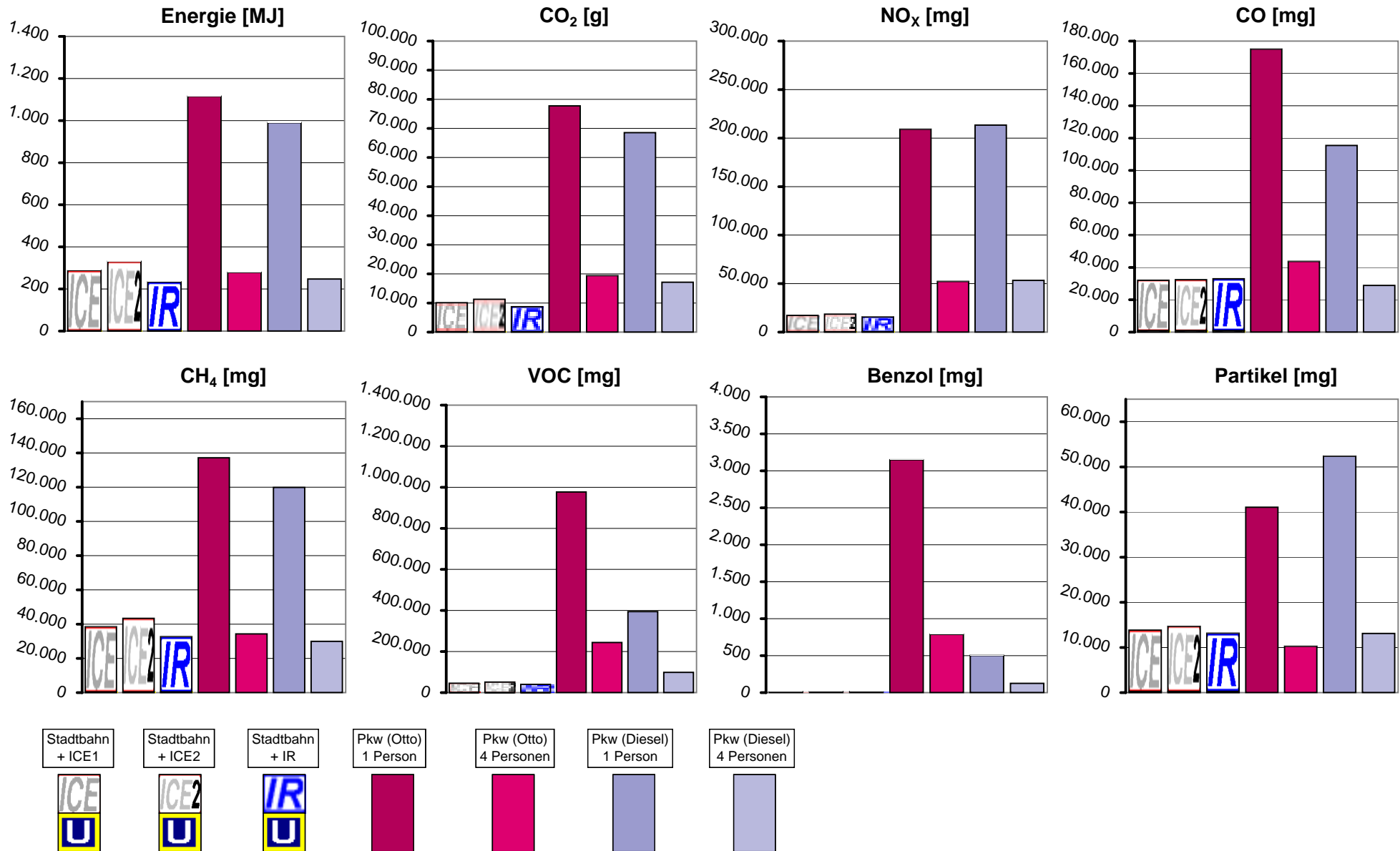


zur Tabelle

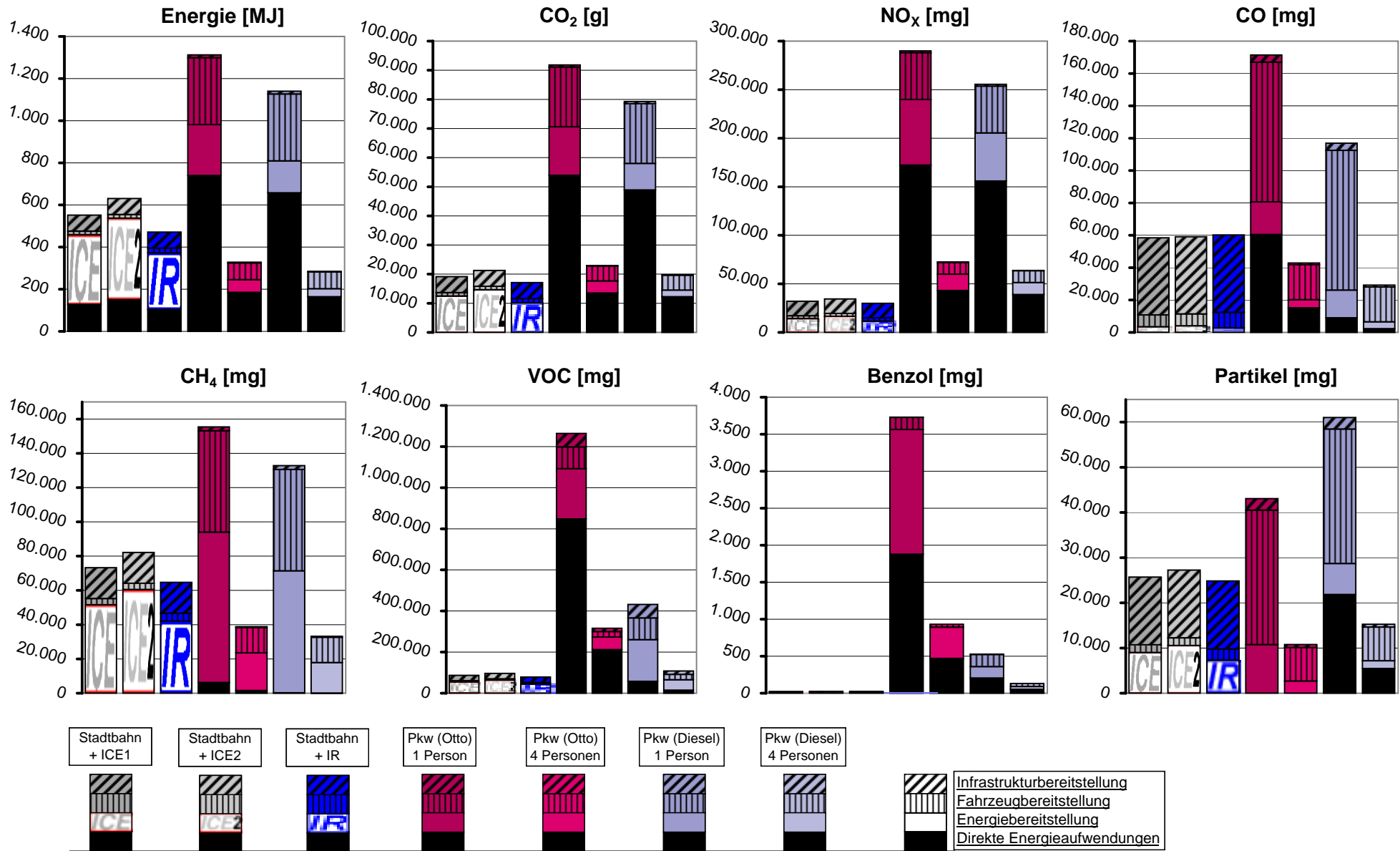




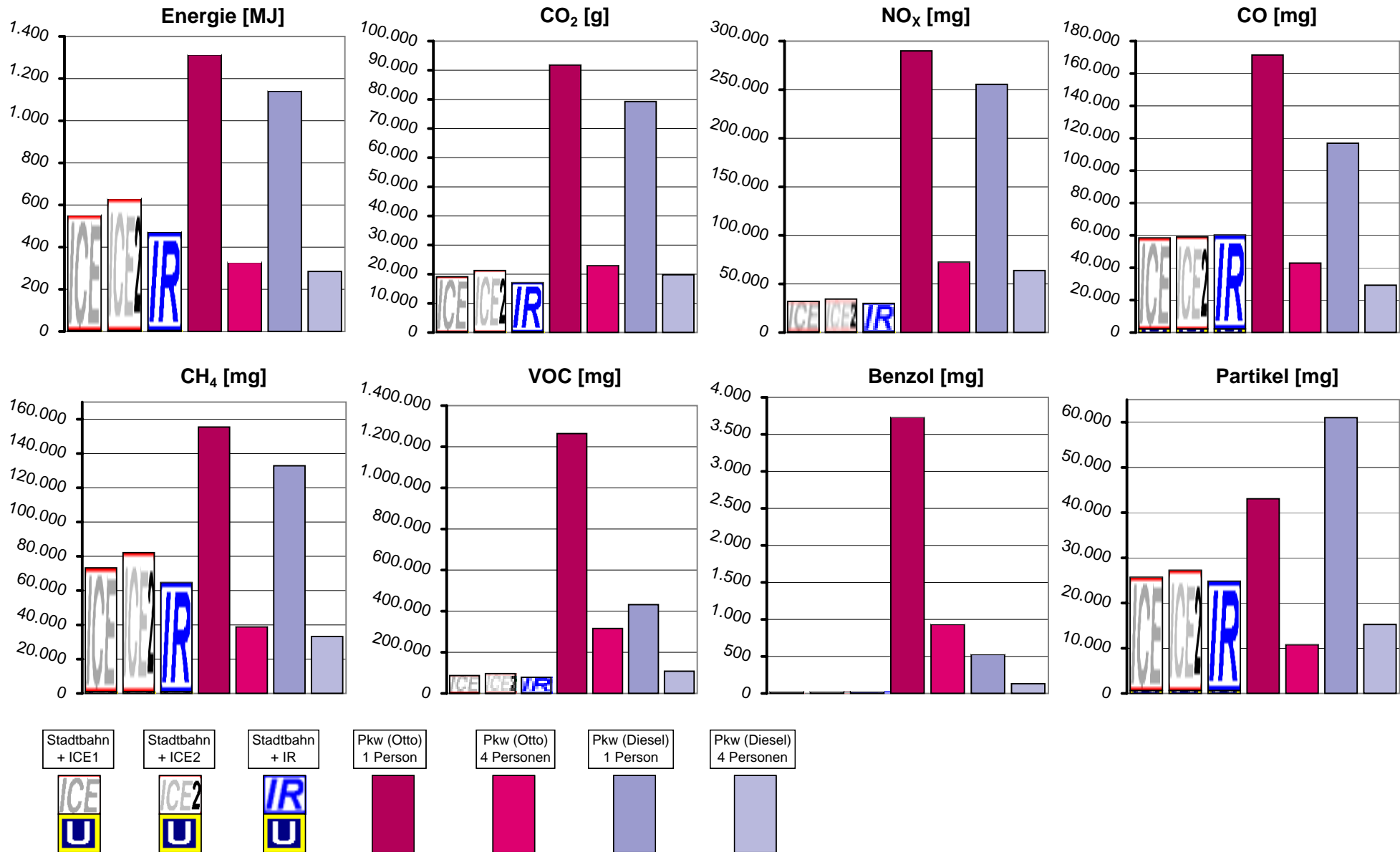
zur Tabelle



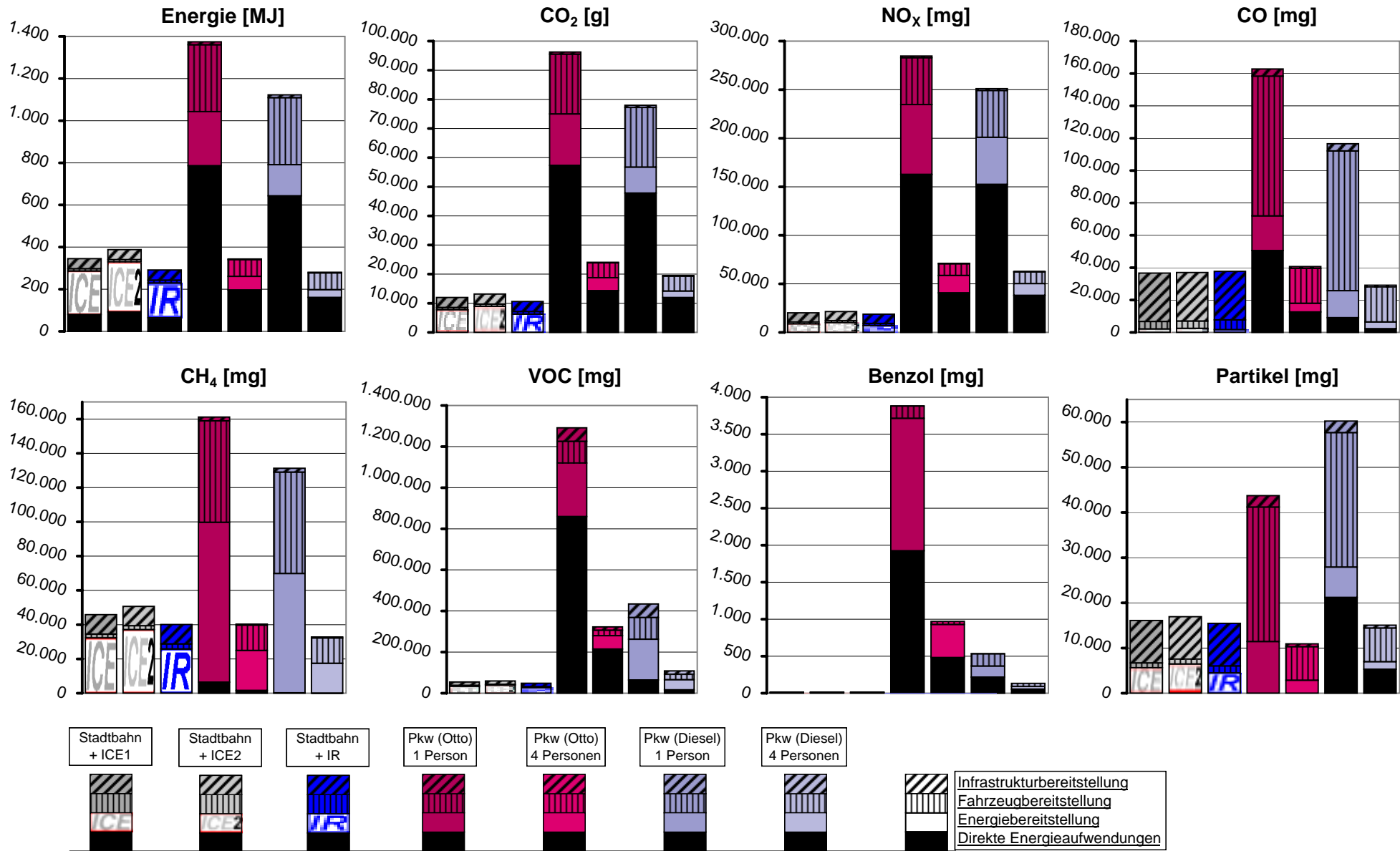
zur Tabelle



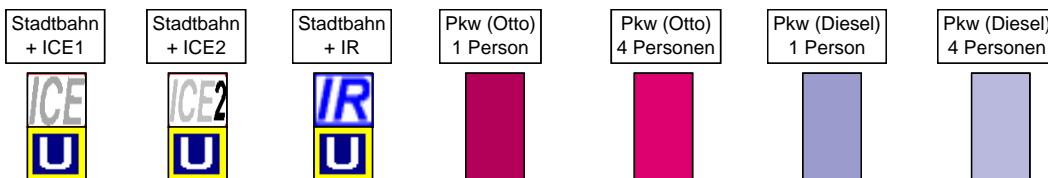
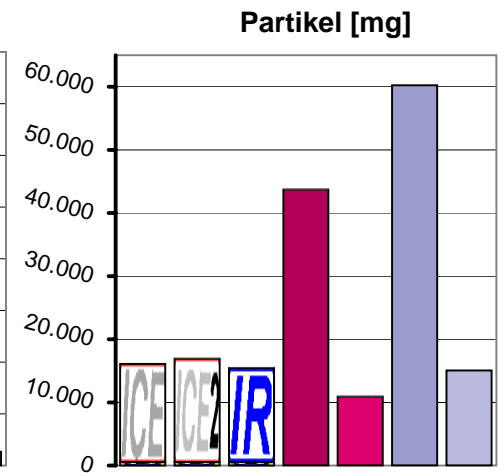
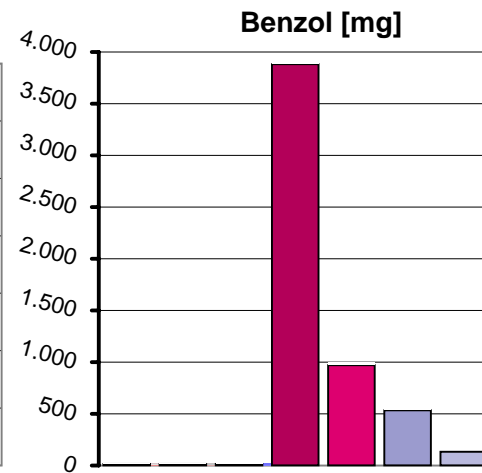
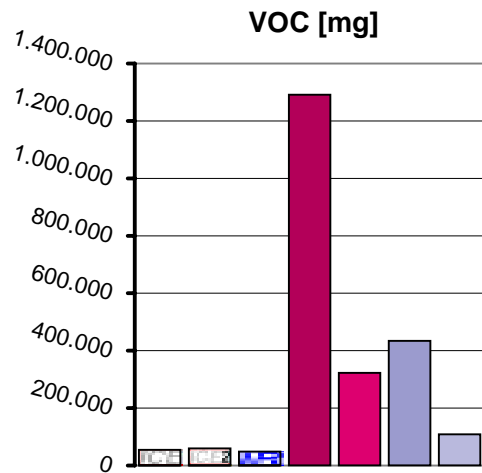
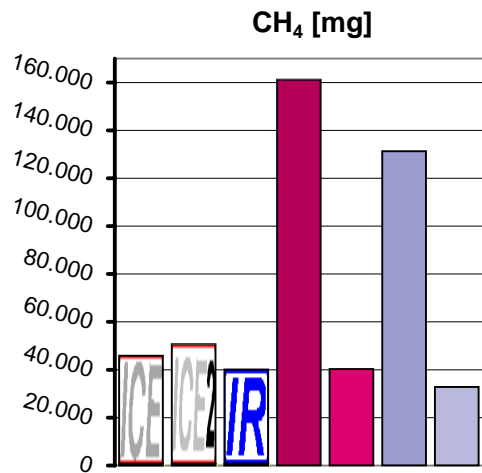
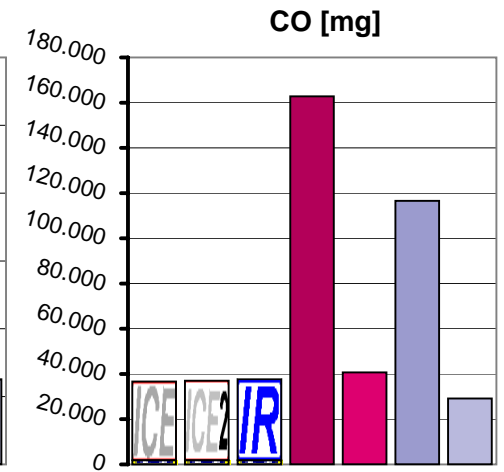
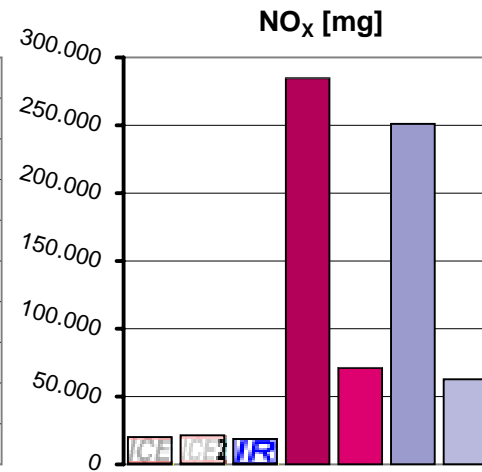
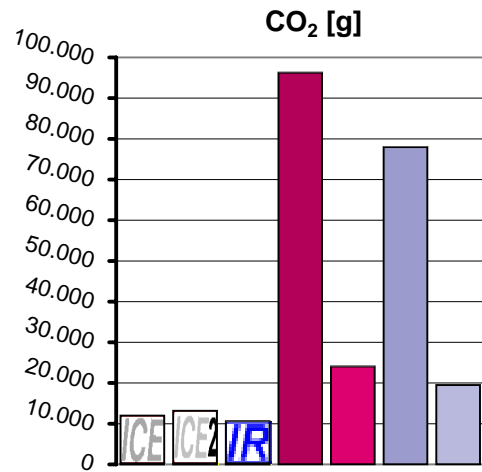
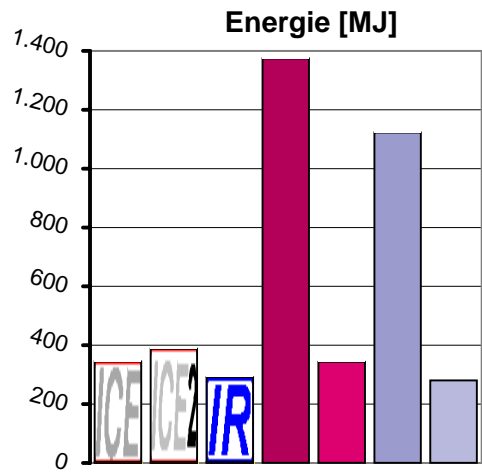
zur Tabelle



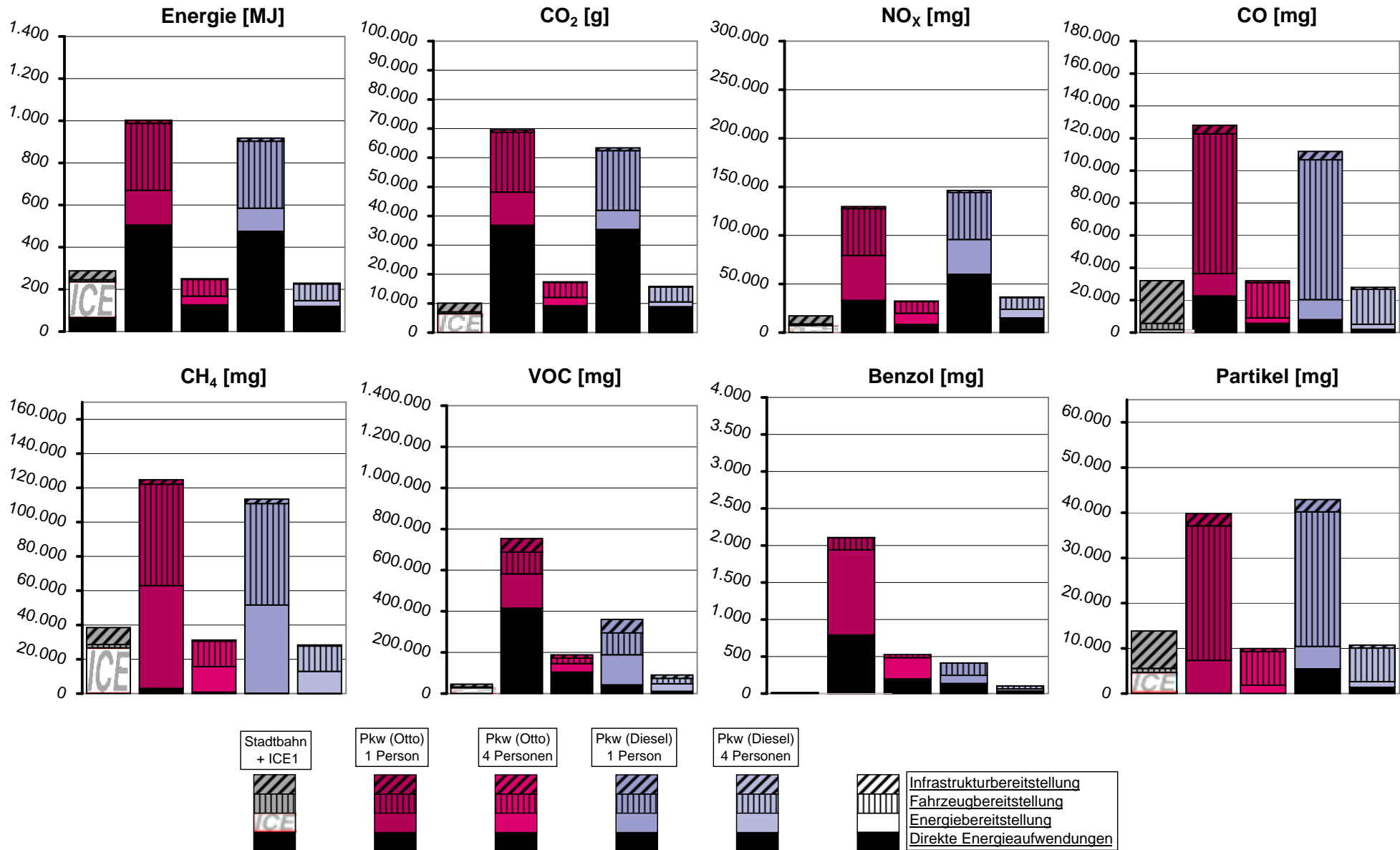
zur Tabelle



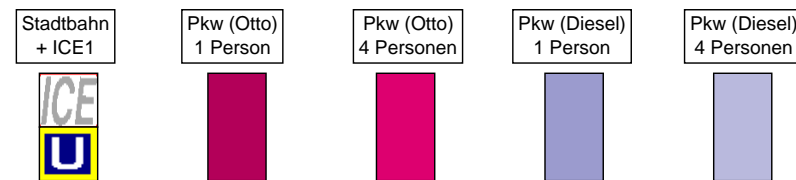
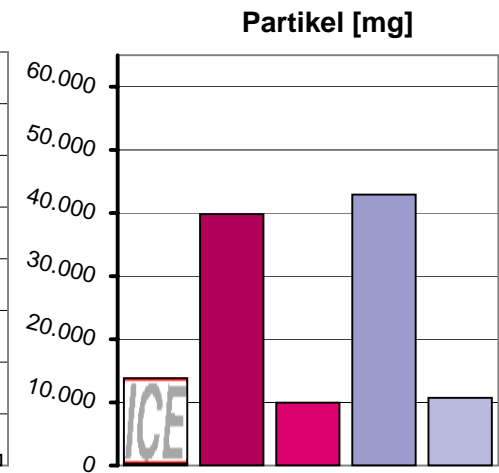
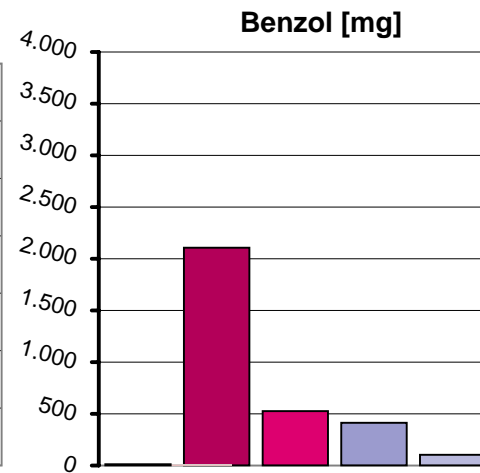
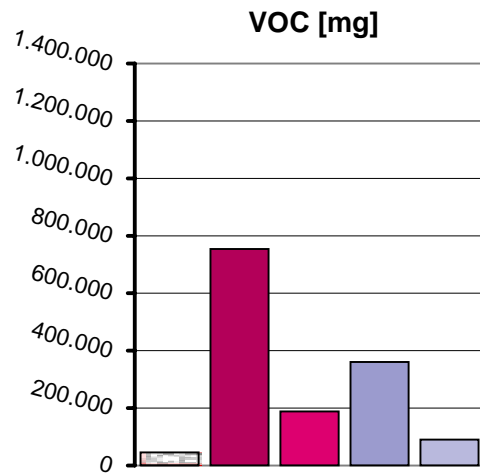
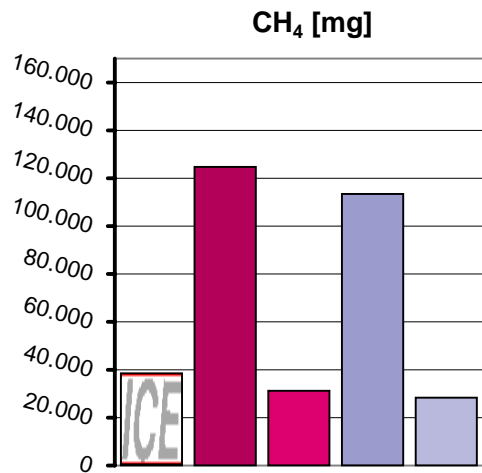
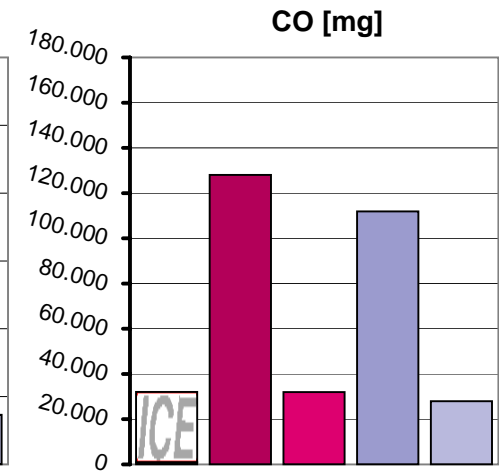
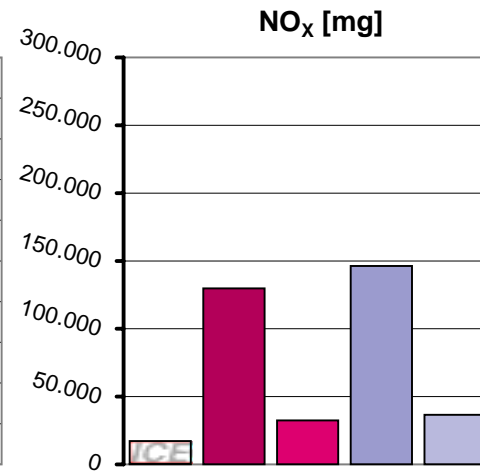
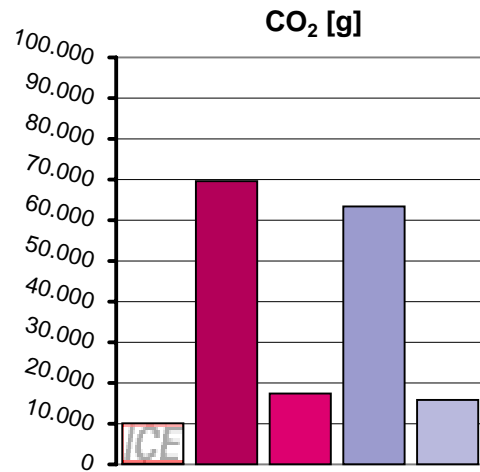
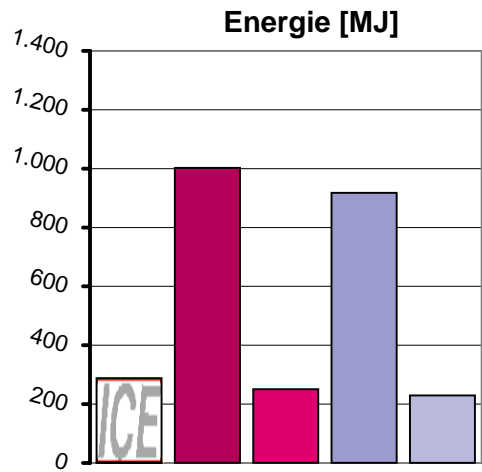
zur Tabelle



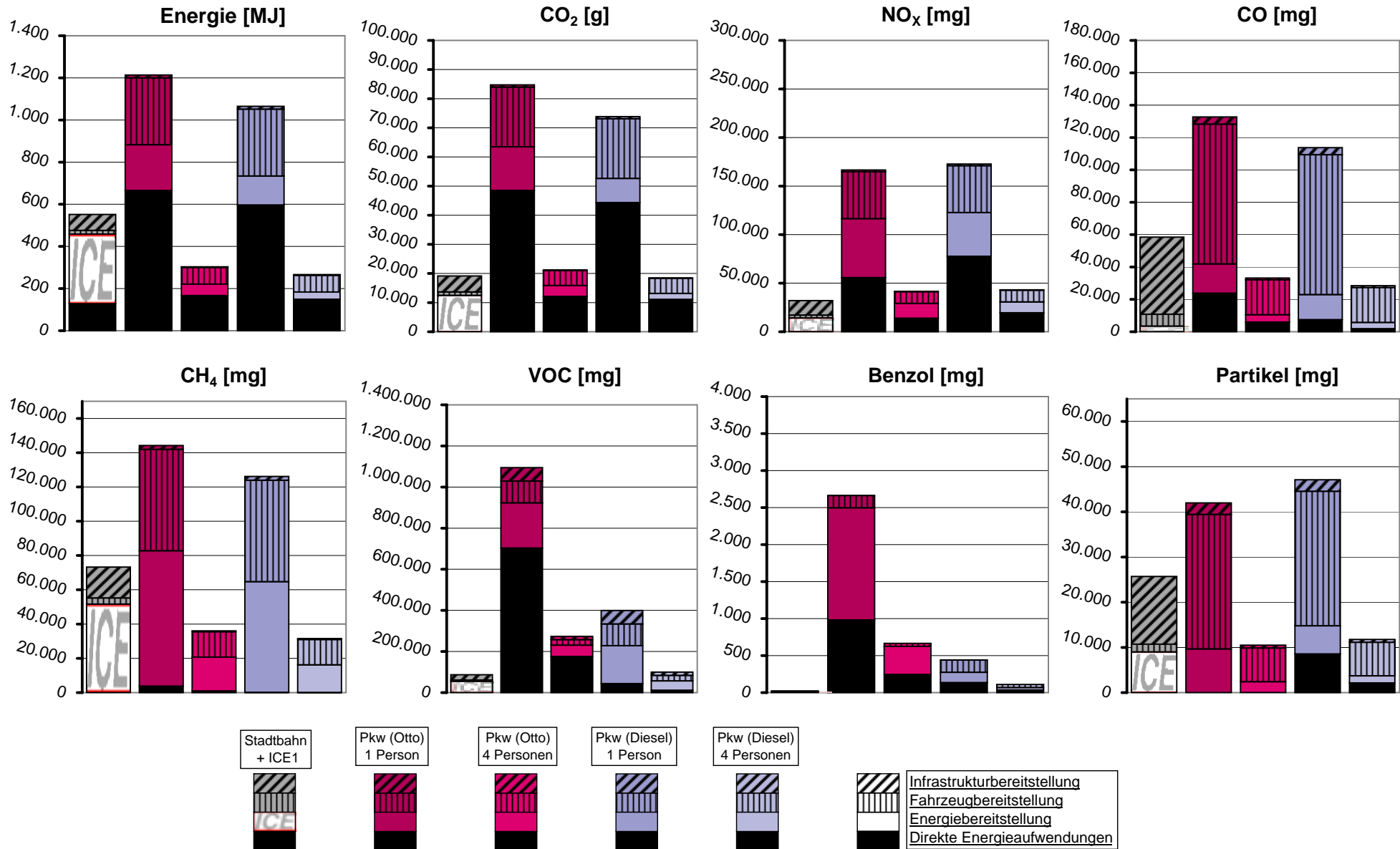
zur Tabelle



zur Tabelle

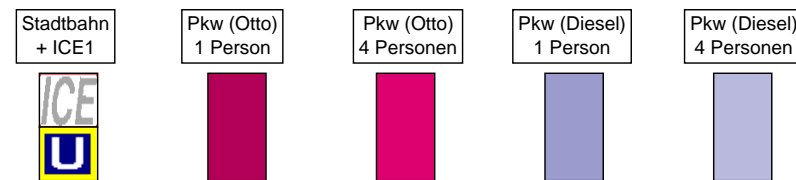
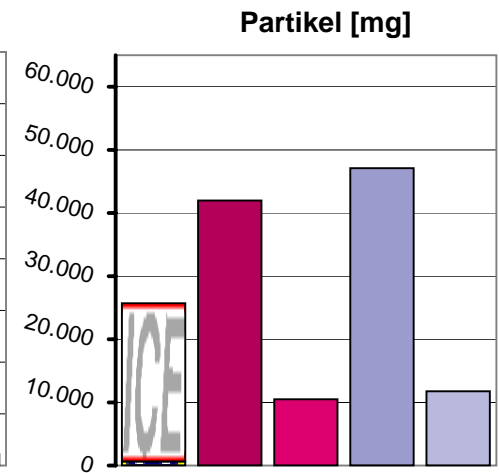
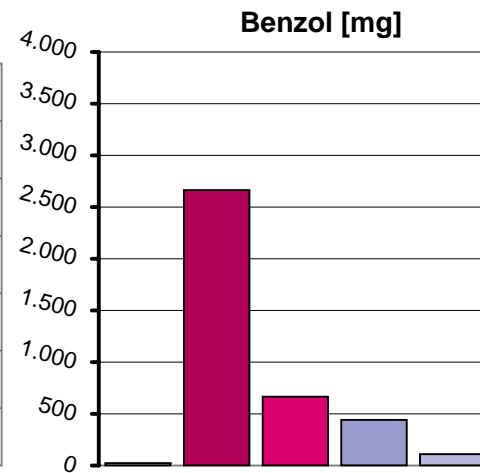
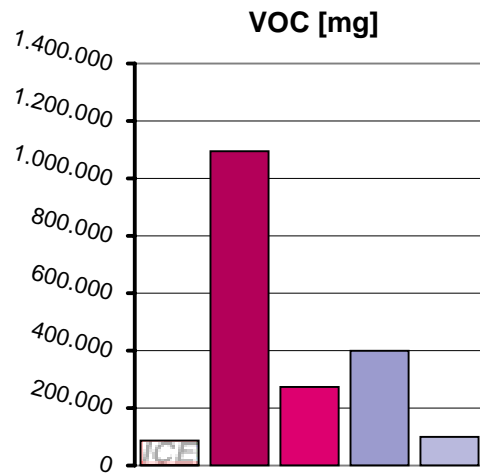
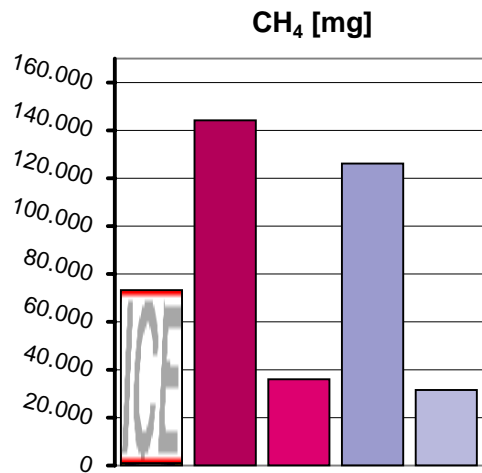
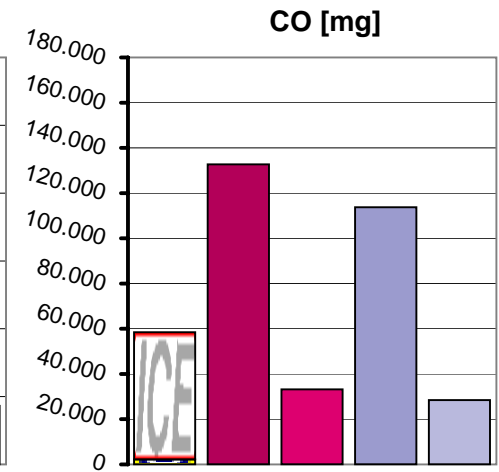
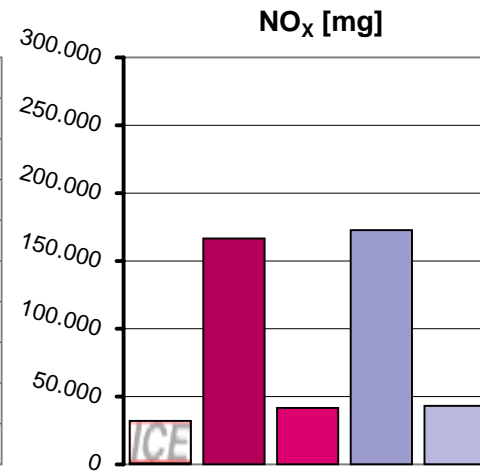
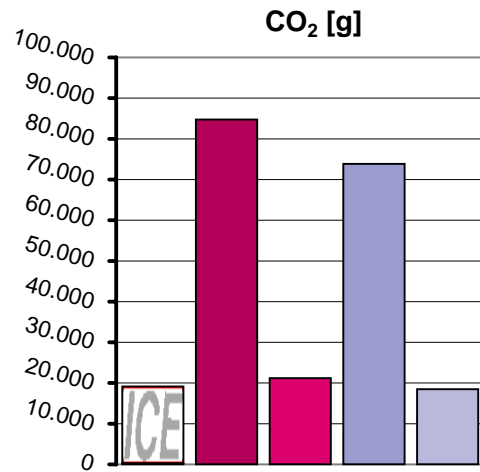
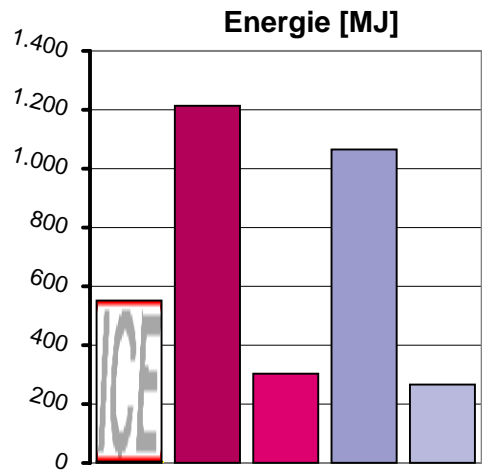


zur Tabelle

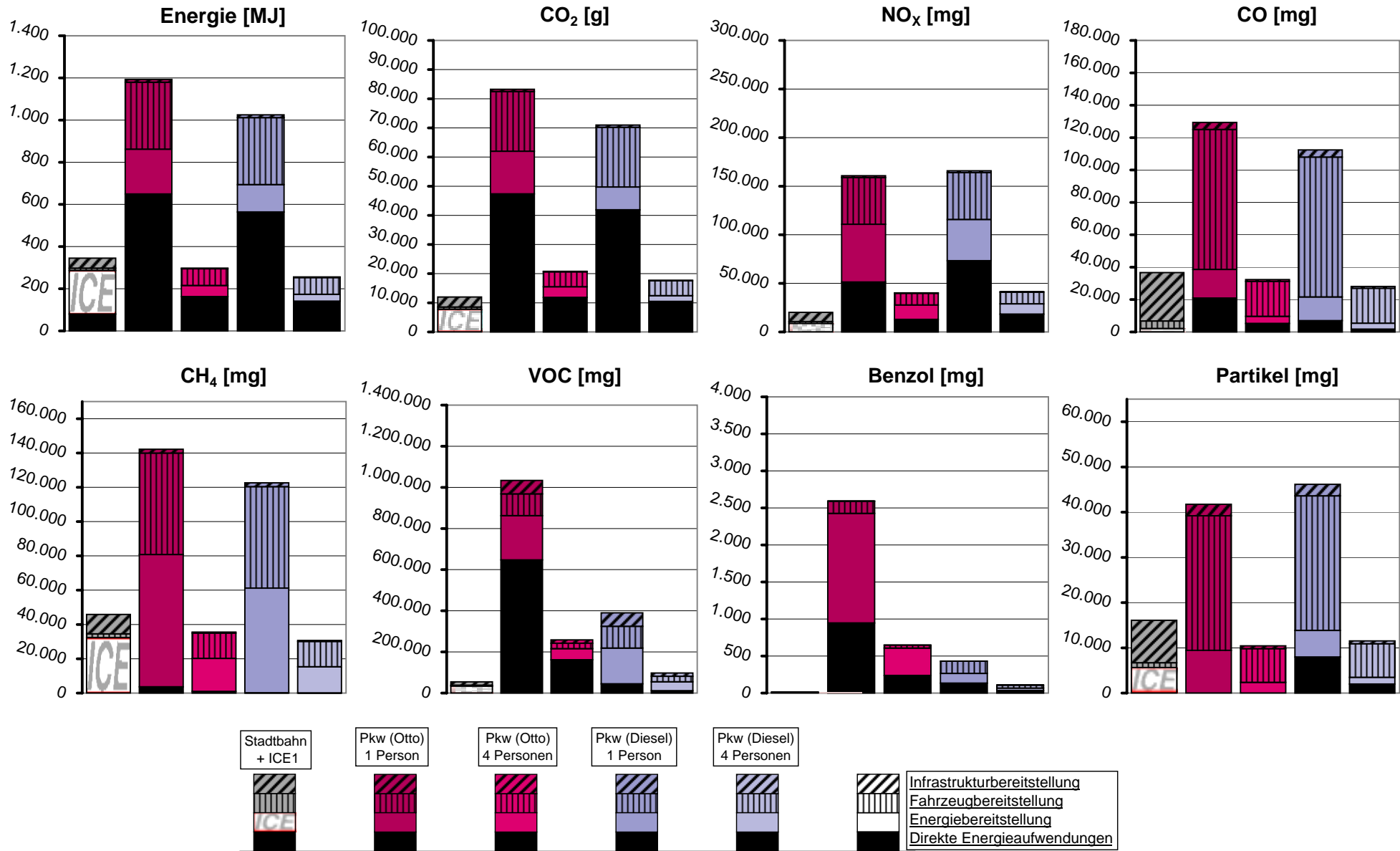




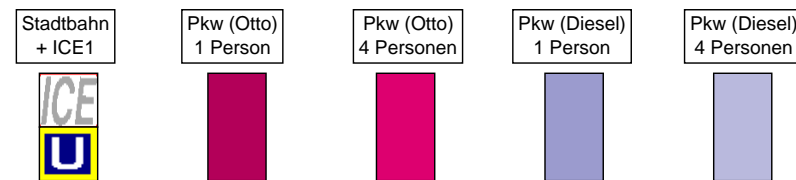
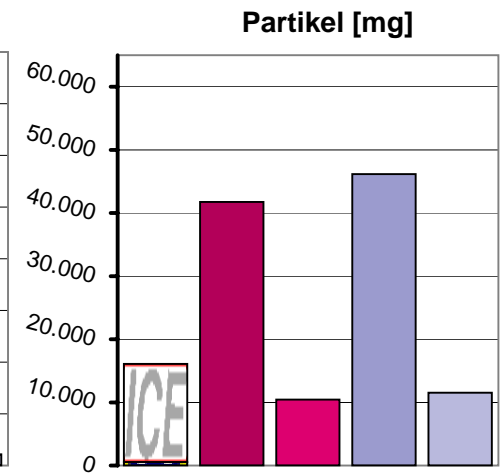
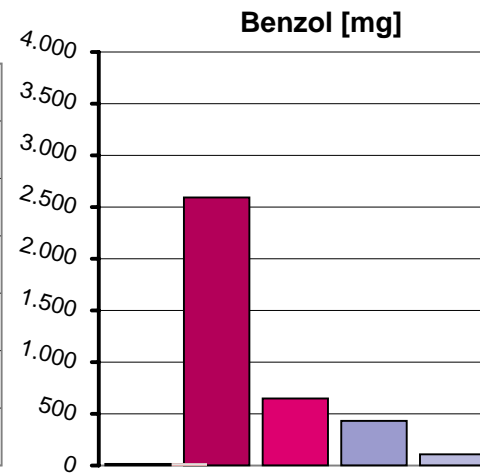
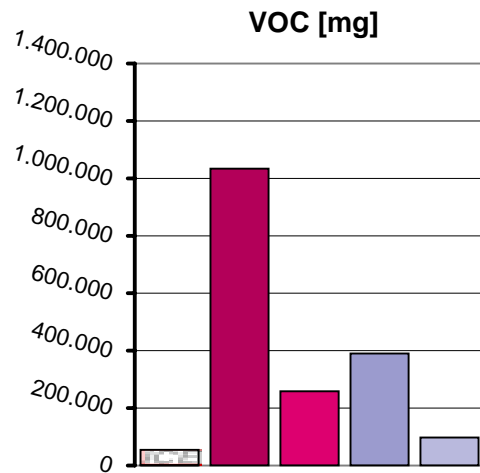
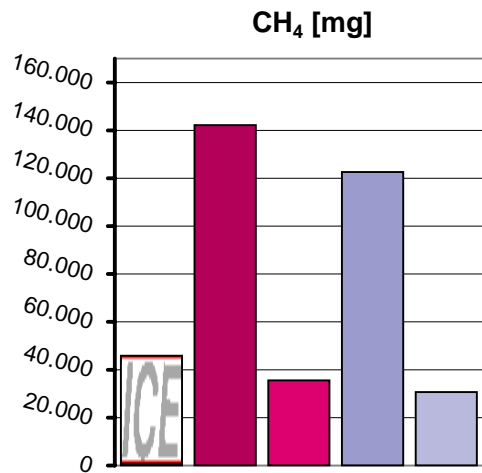
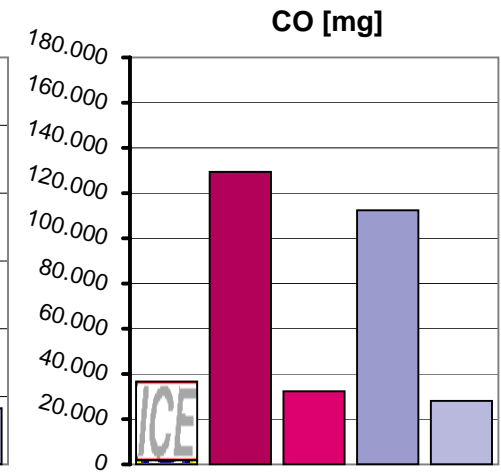
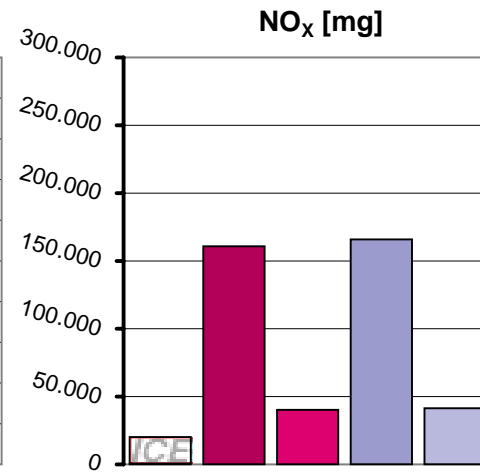
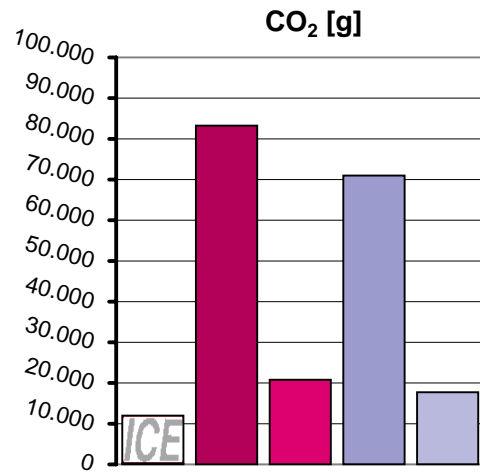
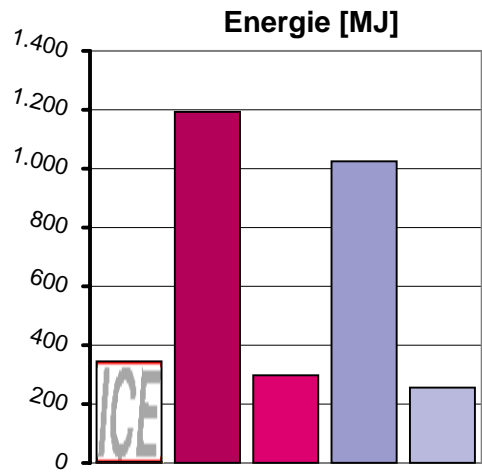
zur Tabelle



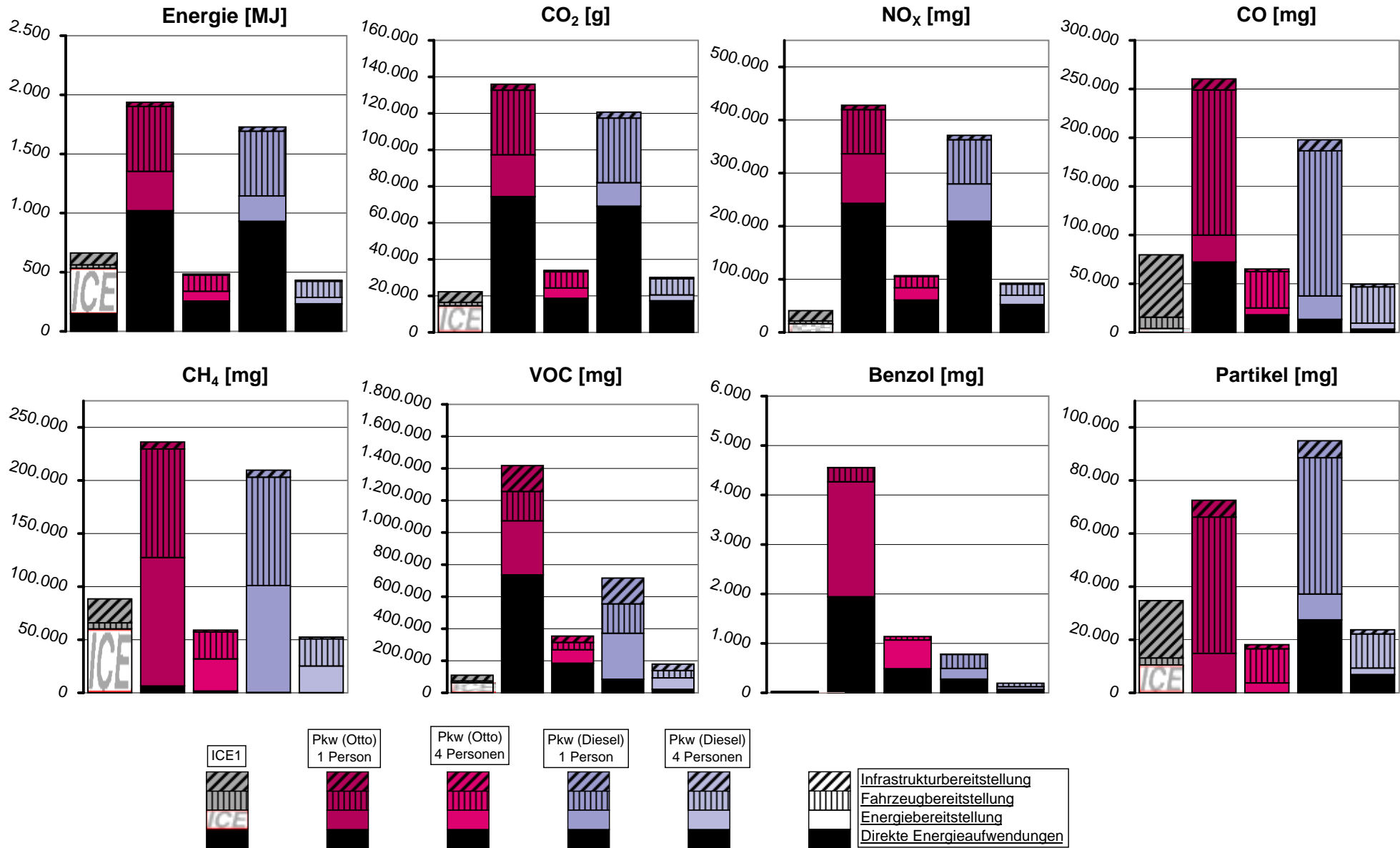
zur Tabelle



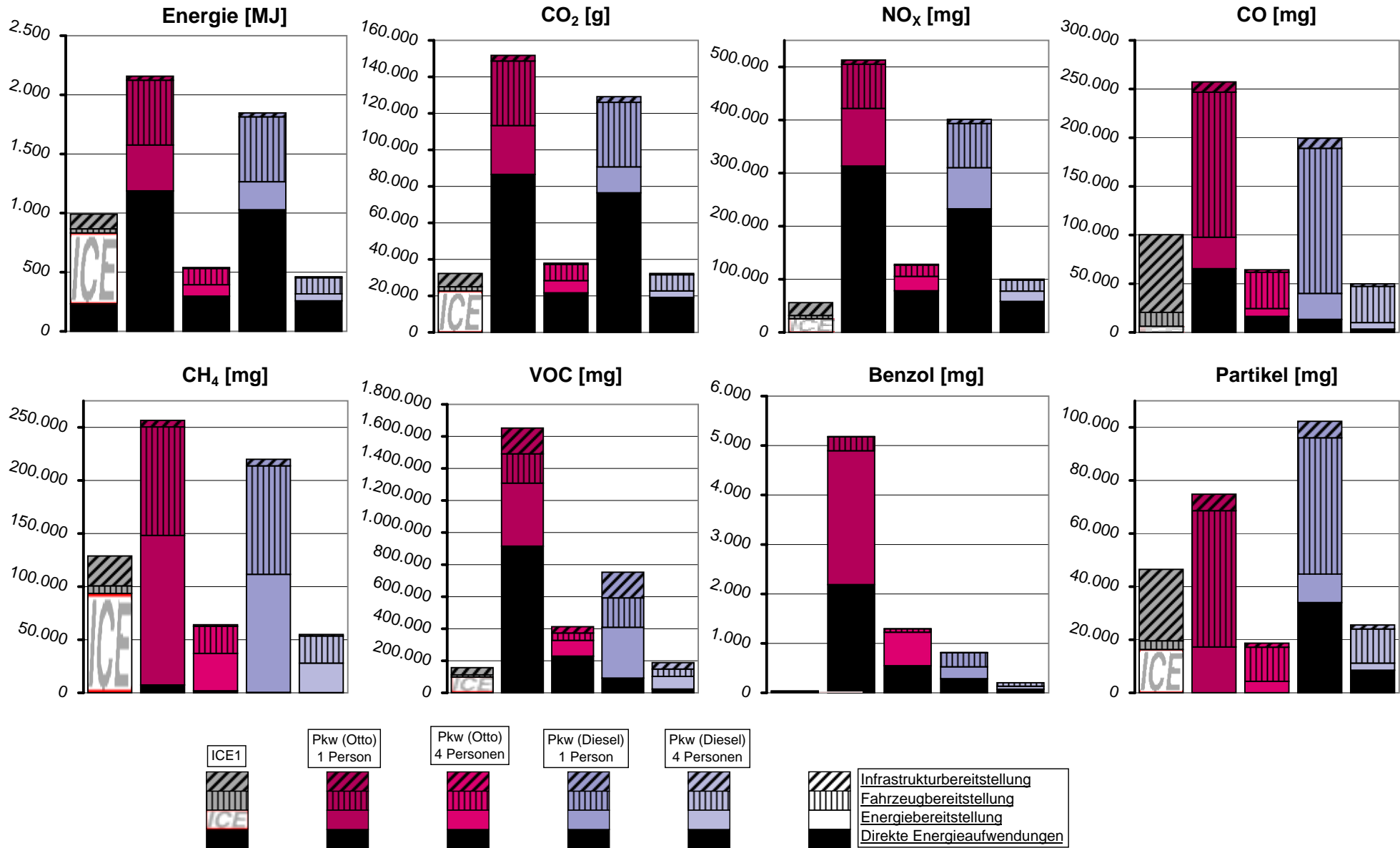
zur Tabelle



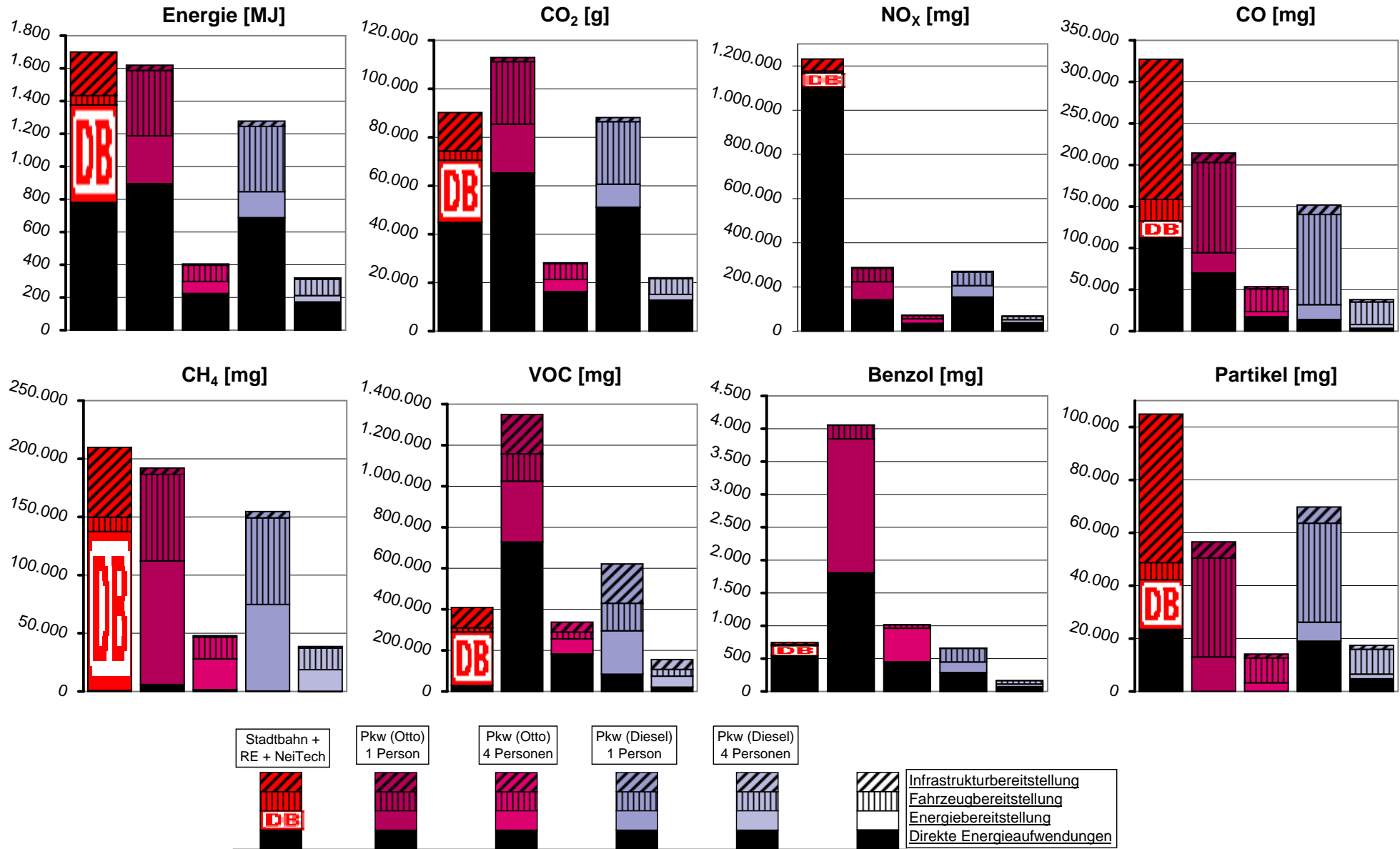
zur Tabelle



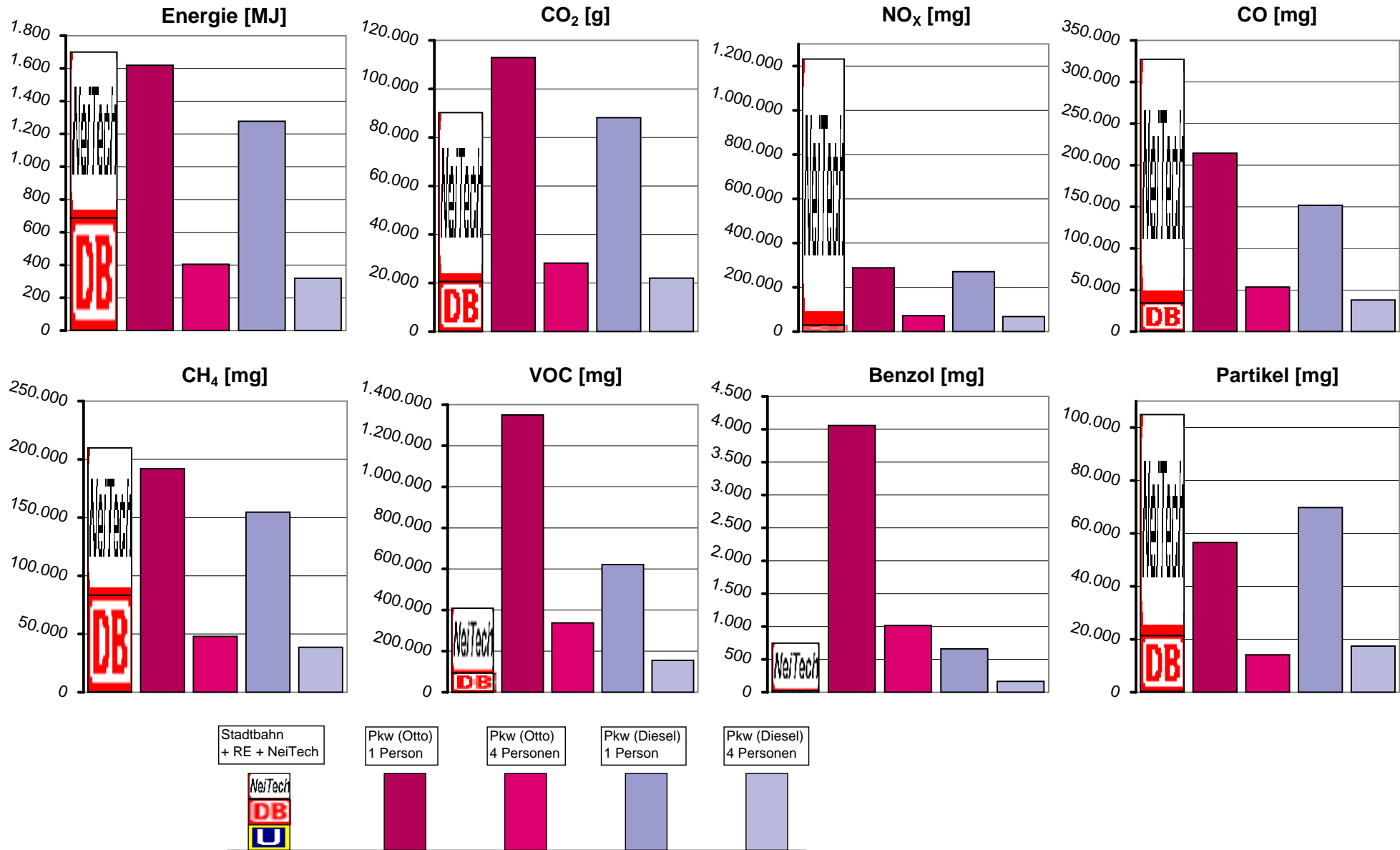
zur Tabelle



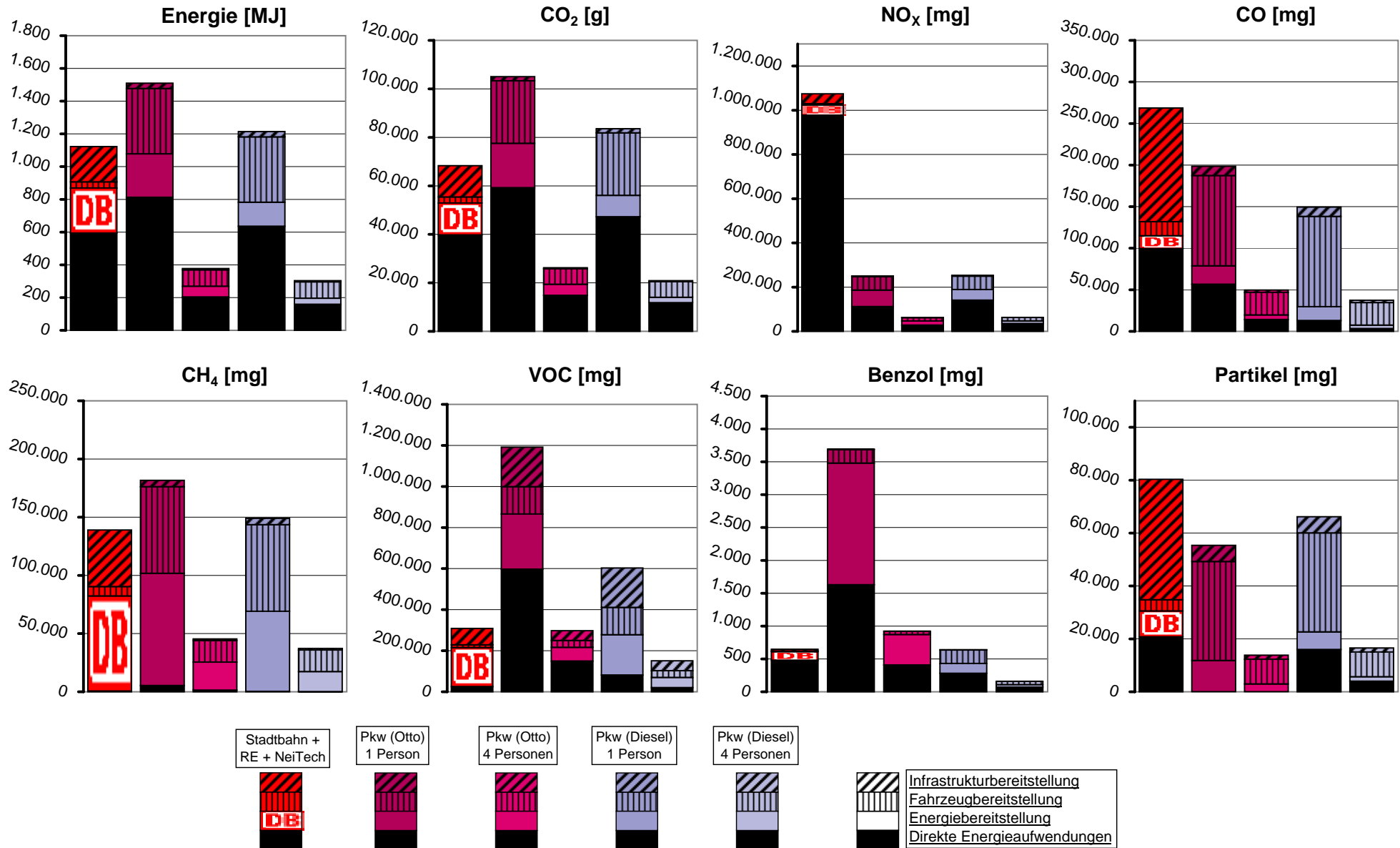
zur Tabelle



zur Tabelle

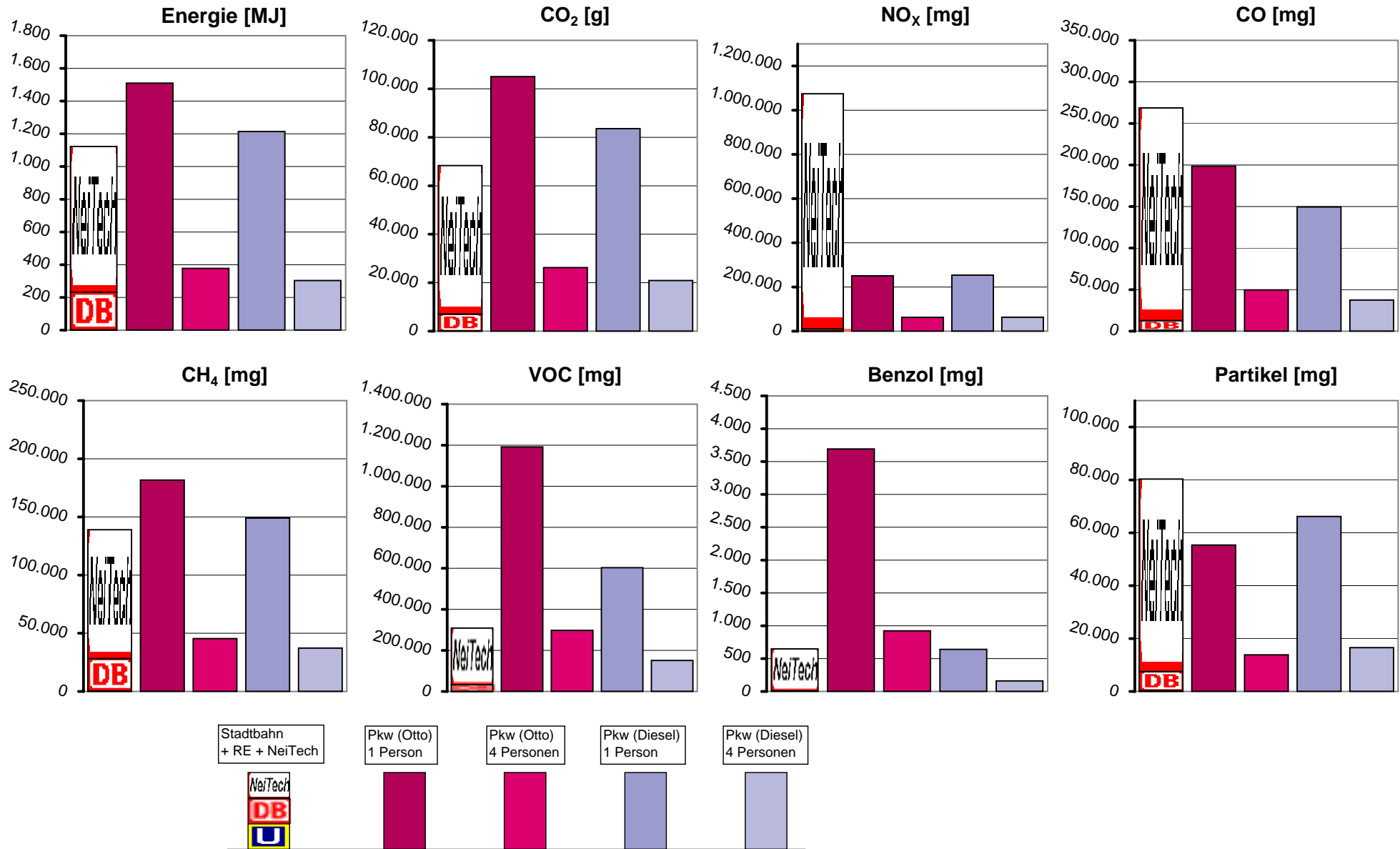


zur Tabelle





zur Tabelle







Relation 01		Energieaufwendungen (MJ)															CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					Kollektivdosis (PersSV)					
Möhrenweg - Berliner Platz	Hinf+Rück	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	Energiebereitstellung
		man-ueff	fsf	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahrzeuge	Infrastuktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed		Fahrzeuge	Infrastuktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahrzeuge	Infrastuktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed		Fahrzeuge	Infrastuktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahrzeuge	Infrastuktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed		Fahrzeuge	Infrastuktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahrzeuge	Infrastuktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed		Fahrzeuge	Infrastuktur										
B+A	Stadtbahn	0,0	2,7	8,0	10,7	0,6	2,0	13,3	0	55	55	37	161	253	0	88	88	75	428	591	0	34	34	321	1029	1383	0	189	189	134	444	767	0	211	211	179	887	1077	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0	49	49	82	295	425	3,40E-09						
	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	0,0	3,2	9,3	12,4	0,6	2,0	15,0	0	64	64	37	161	262	0	102	102	75	428	605	0	39	39	321	1029	1389	0	220	220	134	444	798	0	246	246	179	887	1112	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0	56	56	82	295	433	3,95E-09						
	Pkw 1P	2226,1	97,3	31,8	129,1	22,2	5,5	156,8	7093	2189	9293	1434	406	11262	4324	8902	17226	3373	930	21530	47086	2654	49740	6044	1909	527694	736	11550	12298	4141	1073	17499	80457	32223	112690	7418	7199	127297	357,8	221,8	579,6	11,5	0,7	591,8	0	1414	1414	2082	590	4096	0,00E+00						
	Pkw 2P	1117,0	46,6	15,9	64,5	11,1	2,7	78,4	3547	1095	4641	717	203	5561	4162	4451	8613	1687	465	10765	23543	1327	24870	3022	985	28847	369	5775	6143	2070	536	3750	40228	16111	56340	2709	3399	63640	178,9	110,9	289,8	5,8	0,4	285,9	0	737	737	1041	295	2043	0,00E+00						
	Pkw 3P	744,7	32,4	10,6	43,0	7,4	1,8	52,3	2364	730	3094	478	135	18960	1436	3708	2275	2967	5742	1124	310	5177	15695	885	19590	2015	636	19231	245	3850	4095	1390	358	5833	26819	10741	37560	2473	2400	42432	119,3	73,9	193,2	3,8	0,2	197,3	0	471	471	694	197	1362	0,00E+00				
Pkw 4P	558,5	24,3	7,9	32,3	5,6	1,4	39,2	1773	547	2321	359	101	2781	2081	2226	4306	843	233	5382	11771	684	12435	1511	477	14423	184	2887	3071	1035	268	4375	20114	8056	28170	1855	1800	31824	89,4	55,4	144,9	2,9	0,2	148,0	0	353	353	521	148	1022	0,00E+00							
U	Stadtbahn	0,0	6,3	18,2	24,5	1,1	3,6	29,1	0	136	136	72	276	473	0	292	292	145	744	1059	0	77	77	519	1836	2533	0	433	433	259	782	1474	0	484	484	346	1221	2050	0,0	0,2	0,2	0,2	0,6	1,0	0	111	111	159	544	814	7,77E-09						
	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	0,0	5,3	15,4	20,7	1,1	3,6	25,3	0	106	106	72	276	454	0	170	170	145	744	1059	0	65	65	619	1836	2521	0	366	366	259	782	1466	0	408	408	346	1221	1974	0,0	0,2	0,2	0,2	0,6	0,9	0	94	94	159	544	797	6,56E-09						
	Pkw 1P	1915,8	83,3	27,2	110,8	22,2	4,6	137,4	6076	1876	7952	1434	302	8688	8486	7626	16111	3373	680	20185	35775	2274	37849	6044	1416	45309	624	8884	10518	4141	335	15494	71195	27804	36799	7418	6858	113078	304,7	190,0	494,8	11,5	0,6	506,7	0	1211	1211	2082	491	3784	0,00E+00						
	Pkw 2P	956,9	41,7	13,6	53,3	11,1	2,3	68,7	3038	938	3976	717	151	4844	4243	3813	8056	1687	340	10993	17788	1137	18925	3022	708	22655	312	4847	5269	2070	419	7747	35598	13902	49399	3709	3429	56638	152,3	95,0	247,3	5,8	0,3	253,4	0	666	666	1041	245	1892	0,00E+00						
	Pkw 3P	637,9	27,8	9,1	36,9	7,4	1,5	45,8	2025	625	2651	478	101	3229	2828	2542	5370	1124	227	6722	11858	758	12616	2015	472	15103	208	3298	3506	1380	278	5165	23732	9201	32933	2473	2286	37692	101,6	63,3	164,9	3,8	0,2	168,9	0	404	404	694	164	1261	0,00E+00						
Pkw 4P	478,5	20,8	6,8	27,6	5,6	1,1	34,3	1519	469	1988	359	76	2422	2121	1907	4028	843	170	5041	8934	588	8462	1511	384	11327	156	2474	2629	1035	209	3873	17799	6901	24700	1855	1718	22289	76,2	47,5	123,7	2,9	0,1	126,7	0	303	303	521	123	846	0,00E+00							
L	Stadtbahn	0,0	5,4	15,6	21,0	1,3	5,2	27,5	0	108	108	89	406	617	0	173	173	179	1081	1432	0	67	67	784	2678	3509	0	372	372	319	1144	1835	0	416	416	426	1756	2598	0,0	0,2	0,2	0,2	0,6	1,2	0	95	95	196	795	1087	5,67E-09						
	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	0,0	6,1	17,7	23,8	1,3	5,2	30,3	0	122	122	89	406	617	0	196	196	179	1081	1455	0	75	75	784	2678	3518	0	421	421	319	1144	1884	0	470	470	426	1756	2653	0,0	0,2	0,2	0,2	0,8	1,3	0	108	108	196	795	1099	7,55E-09						
	Pkw 1P	1418,6	61,8	20,2	82,0	22,2	4,6	108,7	4504	1380	5885	1434	302	7631	7849	5653	13502	3373	680	17568	23875	1888	25560	6044	1416	33021	469	7334	7803	4141	835	12779	53101	20461	73562	7418	6858	87830	239,8	140,8	380,6	11,5	0,6	392,7	0	898	898	2082	491	3471	0,00E+00						
	Pkw 2P	709,3	30,9	10,1	41,0	11,1	2,3	54,4	2252	695	2947	717	151	3815	3925	2826	6751	1687	340	8778	11937	543	12760	3022	708	16510	235	3667	3902	2070	418	6389	26551	10231	36761	3709	3429	43919	119,9	70,4	190,3	5,8	0,3	190,4	0	449	449	1041	245	1735	0,00E+00						
	Pkw 3P	472,9	20,6	6,7	27,3	7,4	1,5	36,2	1501	463	1965	478	101	2644	2616	1884	4501	1124	227	5852	7958	562	8520	2015	472	11007	156	2445	2601	1380	278	4860	17700	6820	24521	2473	2286	29280	79,9	46,9	126,9	3,8	0,2	136,9	0	299	299	694	164	1157	0,00E+00						
Pkw 4P	354,7	15,4	5,0	20,5	5,6	1,1	27,2	1126	348	1474	359	76	1908	1862	1413	3375	843	170	4389	5969	421	6390	1511	384	8265	117	1834	1951	1035	209	3195	13275	5115	18391	1855	1715	21960	60,0	35,2	95,2	2,9	0,1	98,2	0	224	224	321	123	868	0,00E+00							

Relation 01 Mehringen - Berliner Platz Diel/Mix Hiv/Rück		Wegelänge [km]	Energieaufwendungen [MJ]															CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					Kollektivdosiz (PersSV) Energiebereitstellung					
			antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	
			an-wart-fst	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahrzeuge	Infrastuktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahrzeuge		Infrastuktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahrzeuge	Infrastuktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahrzeuge		Infrastuktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahrzeuge	Infrastuktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahrzeuge		Infrastuktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahrzeuge	Infrastuktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahrzeuge		Infrastuktur											
B+A	Stadtbahn	0,0	2,7	7,1	9,8	0,6	2,0	14,0	0	625	625	37	161	623	0	794	794	75	428	1297	0	119	119	321	1029	1468	0	1228	1228	134	444	1806	0	1286	1286	179	687	2152	0,0	0,3	0,3	0,1	0,3	0,7	0	385	385	82	295	762	1,10E+09							
	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	0,0	3,2	8,2	11,4	0,6	2,0	14,0	0	726	726	37	161	925	0	923	923	75	428	1426	0	139	139	321	1029	1468	0	1428	1428	134	444	2007	0	1496	1496	179	687	2362	0,0	0,3	0,3	0,1	0,3	0,8	0	448	448	82	295	825	1,28E+09							
	Pkw 1P	2236,1	97,3	31,8	129,1	22,2	5,5	156,8	7093	2189	9293	1434	406	11123	8324	8902	17226	3373	930	21630	47086	2654	49740	6044	1909	527694	736	11550	12298	4141	1073	17499	80457	32223	112690	7418	7199	127297	357,8	221,8	579,6	11,5	0,7	691,8	0	1414	1414	2082	590	4096	0,00E+00							
	Pkw 2P	1117,0	46,6	15,9	64,5	11,1	2,7	78,4	3547	1095	4641	717	203	5561	4163	4451	8610	1687	465	10765	23543	1327	24870	3022	955	28847	369	5775	6143	2070	536	8750	40228	16111	56340	2709	3999	63640	178,9	110,9	289,8	5,8	0,4	285,9	0	737	737	1041	295	2440	0,00E+00							
	Pkw 3P	744,7	32,4	10,6	43,0	7,4	1,8	52,3	2364	730	3094	478	135	3708	2775	2967	5742	1124	310	7147	15695	885	16950	2015	636	19231	245	3850	4095	1390	358	5833	28919	10741	37560	2473	2400	42432	119,3	73,9	193,2	3,8	0,2	197,3	0	471	471	694	197	1362	0,00E+00							
LU	Stadtbahn	558,6	24,3	7,9	32,3	5,6	1,4	39,2	1773	547	2321	359	101	2781	2081	2226	4306	843	233	5382	11771	684	12435	1511	477	14423	184	2887	3071	1035	268	4375	20114	8056	28170	1855	1800	31824	89,4	55,4	144,9	2,9	0,2	148,0	0	353	353	521	148	1022	0,00E+00							
	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	1271,9	54,3	12,5	68,8	22,2	5,5	94,6	4038	754	4792	1434	406	8532	12314	4101	18415	3373	930	20719	3599	1414	4713	6044	1909	52868	48	5862	5929	4141	1073	11143	16174	18700	32444	7418	7199	47961	85,7	12,7	98,4	11,5	0,7	110,7	1639	569	2208	2082	590	4890	0,00E+00							
	Pkw 1P	638,9	27,2	9,3	33,4	11,1	2,7	47,3	2019	377	2396	717	203	3316	1917	2051	3039	1697	465	10380	1650	707	2356	3022	955	6333	24	2941	2956	2070	536	5571	8987	8385	19473	3709	3999	23780	42,9	6,4	49,2	5,8	0,4	55,3	820	294	1104	1041	295	2440	0,00E+00							
	Pkw 2P	424,0	18,1	4,2	22,3	7,4	1,8	31,5	1346	251	1597	478	135	2211	1405	1367	5472	1124	310	6906	1100	471	1571	2015	636	4222	16	1961	1976	1390	358	3714	5381	5590	10981	2473	2400	15854	26,6	4,2	32,8	3,8	0,2	36,9	546	190	736	694	197	1627	0,00E+00							
	Pkw 3P	318,0	13,6	3,1	16,7	5,6	1,4	23,6	1010	188	1198	359	101	1858	3079	1025	4104	843	233	5180	825	353	1178	1511	477	3167	12	1470	1482	1035	268	2786	4043	4193	8236	1855	1800	11890	21,4	3,2	24,6	2,9	0,2	27,7	410	142	552	148	1220	0,00E+00								
LL	Stadtbahn	0,0	6,3	18,1	22,4	1,1	3,6	27,1	0	1429	1429	72	276	1777	0	1516	1516	145	744	2705	0	273	273	519	1838	2728	0	2910	2910	259	782	3851	0	2343	2343	346	1221	4509	0,0	0,7	0,7	0,2	0,6	1,4	0	851	851	159	544	1447	2,12E+09							
	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	0,0	5,3	15,6	19,9	1,1	3,6	23,6	0	1206	1206	72	276	1554	0	1533	1533	145	744	2422	0	230	230	619	1836	2696	0	2372	2372	259	782	3413	0	2484	2484	346	1221	4050	0,0	0,6	0,6	0,2	0,6	1,3	0	744	744	159	544	1447	2,12E+09							
	Pkw 1P	1915,8	83,3	27,2	110,8	22,2	4,6	137,4	6076	1876	7952	1434	302	8698	8486	7626	16111	3373	680	20185	3575	2274	37849	6044	1416	45309	624	8884	10518	4141	335	15494	17195	27804	38799	7418	6858	113078	304,7	190,0	494,8	11,5	0,6	506,7	0	1211	1211	2082	491	3784	0,00E+00							
	Pkw 2P	969,9	41,7	13,6	55,3	11,1	2,3	68,7	3038	938	3976	717	151	4844	4243	3813	8056	1697	340	10993	17788	1137	18925	3022	708	22655	312	4947	5269	2070	419	7747	35598	13922	49399	3709	3429	56638	152,3	95,0	247,3	5,8	0,3	253,4	0	666	666	1041	245	1892	0,00E+00							
	Pkw 3P	637,9	27,8	9,1	36,9	7,4	1,5	45,8	2025	625	2651	478	101	3229	2828	2542	5370	1124	227	6722	11858	758	12616	2015	472	15103	208	3298	3506	1380	278	5165	23732	9201	32933	2473	2286	37692	101,6	63,3	164,9	3,8	0,2	168,9	0	404	404	694	164	1261	0,00E+00							
LL	Stadtbahn	478,5	20,8	6,8	27,6	5,6	1,1	34,3	1519	469	1988	359	76	2422	2121	1907	4028	843	170	5041	8934	588	8462	1511	354	11327	156	2474	2629	1035	209	3873	17799	6901	24700	1855	1715	28289	76,2	47,5	123,7	2,9	0,1	126,7	0	303	303	521	123	846	0,00E+00							
	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	1245,0	53,2	12,3	65,4	22,2	4,6	92,2	3953	738	4691	1434	302	8427	11977	4014	15991	3373	680	20045	2438	1384	3221	6044	1416	11282	41	5757	5738	4141	335	10774	14772	15416	31188	7418	6858	45464	80,2	12,4	92,6	11,5	0,6	104,7	1438	557	2354	2082	491	4527	0,00E+00							
	Pkw 1P	622,5	26,6	6,1	32,7	11,1	2,3	46,1	1976	369	2345	717	151	3214	2888	2007	7996	1687	340	10023	1819	692	1911	3022	708	5641	20	2879	2899	2070	419	5387	7386	8208	15594	3709	3429	27232	40,1	6,2	46,3	5,8	0,3	52,4	749	278	1027	1041	245	2314	0,00E+00							
	Pkw 2P	415,0	17,7	4,1	21,8	7,4	1,6	30,7	1318	246	1564	478	101	2142	3992	1338	5330	1124	227	6682	813	461	1274	2015	472	3761	14	1919	1933	1380	278	3591	4924	5472	10396	2473	2286	15155	26,7	4,1	30,9	3,8	0,2	34,9	499	186	695	694	164	1542	0,00E+00							
	Pkw 3P	311,3	13,3	3,1	18,4	5,6	1,1	23,1	988	154	1173	359	76	1807	2994	1004	3988	843	170	5011	809	346	955	1511	354	2820	0	1439	1450	1035	209	2694	3693	4104	7797	1855	1715	11368	20,1	3,1	23,2	2,9	0,1	26,2	374	139	514	321	1737	0,00E+00								
LL	Stadtbahn	0,0	5,4	13,9	19,3	1,3	5,2	25,8	0	1227	1227	89	406	1722	0	1560	1560	179	1081	2819	0	234	234	784	2873	3877	0	2414	2414	319	1144	3876	0	2528	2528	426	1756	4711	0,0	0,6	0,6	0,2	0,6	1,6	0	757	757	196	795	1748	2,18E+09							
	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	0,0	6,1	15,7	21,8	1,3	5,2	28,3	0	1389	1389	89	406	1884	0	1766	1766	179	1081	3025	0	265	265	784	2878	3708	0	2732	2732	319	1144	4195	0	2862	2862	426	1756	5044	0,0	0,7	0,7	0,2	0,8	1,7	0	857	857	196	795	1848	2,44E+09							
	Pkw 1P	1418,6	61,8	20,2	82,0	22,2	4,6	108,7	4504	1380	5885	1434	302	7631	7849	5853	13502	3373	680	17568	23875	1888	25560	6044	1416	33021	469	7334	7803	4141	335	12779	53101	20461	73562	7418	685																					

Relation 01 Mehringen - Berliner Platz NW+SW Hiv+Rück		Weg- länge [km]	Energieaufwendungen [MJ]															CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					Kollektivdosis [PersSV]  Energiebereitstellung					
			antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	
			an-wart-fst	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahr-zeuge	Infrast-ruktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahr-zeuge		Infrast-ruktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahr-zeuge	Infrast-ruktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahr-zeuge		Infrast-ruktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahr-zeuge	Infrast-ruktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahr-zeuge		Infrast-ruktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahr-zeuge	Infrast-ruktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahr-zeuge		Infrast-ruktur	direkt	Energ.bereit	Σ antr.-bed	Fahr-zeuge	Infrast-ruktur						
B+A	Stadtbahn	0,0	2,7	7,1	9,9	0,6	2,0	12,4	0	964	864	37	161	1162	0	1204	1204	78	428	1707	0	158	158	321	1029	1508	0	1632	1632	134	444	2210	0	1677	1677	179	887	2643	0,0	0,3	0,3	0,1	0,3	0,7	0	590	590	82	295	867	3,40E-09							
	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	0,0	3,2	8,3	11,5	0,6	2,0	14,1	0	1121	1121	37	161	1319	0	1400	1400	78	428	1903	0	184	184	321	1029	1533	0	1898	1898	134	444	2476	0	1950	1950	179	887	2816	0,0	0,3	0,3	0,1	0,3	0,7	0	686	686	82	295	1063	3,95E-09							
	Pkw 1P	2236,1	97,3	31,8	129,1	22,2	5,5	156,8	7093	2189	9293	1434	406	11123	8324	8902	17226	3373	930	21530	47086	2654	49740	6044	1909	87694	736	11550	12298	4141	1073	17499	80457	32223	112690	7418	7199	127297	357,8	221,8	579,6	11,5	0,7	691,8	0	1414	1414	2082	590	4096	0,00E+00							
	Pkw 2P	1117,0	46,6	15,9	64,5	11,1	2,7	78,4	3547	1095	4641	717	203	5561	4163	4451	8610	1687	465	10765	23543	1327	24870	3022	955	28847	369	5775	6143	2070	536	3750	40228	16111	56340	2709	3999	63640	178,9	110,9	289,8	5,8	0,4	285,9	0	737	737	1041	294	2440	0,00E+00							
	Pkw 3P	744,7	32,4	10,6	43,0	7,4	1,8	52,3	2364	730	3094	478	135	3708	2775	2967	5722	1124	310	7147	15695	885	16950	2015	636	19231	245	3850	4095	1390	358	5833	62819	10741	37560	2473	2400	42432	119,3	73,9	193,2	3,8	0,2	197,3	0	471	471	694	197	1362	0,00E+00							
LU	Stadtbahn	0,0	6,3	18,4	25,6	1,1	3,6	27,3	0	2295	2295	72	276	2553	0	2756	2756	145	744	3645	0	362	362	619	1636	2617	0	3724	3724	259	782	4755	0	3837	3837	346	1221	5403	0,0	0,6	0,6	0,2	0,6	1,4	0	1353	1353	159	544	2653	7,77E-09							
	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	0,0	5,3	15,8	19,1	1,1	3,6	23,8	0	1862	1862	72	276	2210	0	2325	2325	145	744	3214	0	305	305	619	1636	2761	0	3152	3152	259	782	4193	0	3238	3238	346	1221	4805	0,0	0,5	0,5	0,2	0,6	1,3	0	1138	1138	159	544	1942	6,56E-09							
	Pkw 1P	1915,8	83,3	27,2	110,8	22,2	4,6	137,4	6076	1876	7952	1434	302	8688	6486	7626	16111	3373	880	20185	35775	2274	37849	6044	1416	45309	624	8884	10518	4141	335	15494	27804	98799	7418	6858	113078	304,7	190,0	494,8	11,5	0,6	506,7	0	1211	1211	2082	491	3784	0,00E+00								
	Pkw 2P	956,9	41,7	13,6	55,3	11,1	2,3	68,7	3038	938	3976	717	151	4844	4243	3813	8056	1687	340	10993	17788	1137	18925	3022	708	22655	312	4847	5269	2070	419	7747	35598	13902	49399	3709	3429	56638	152,3	95,0	247,3	5,8	0,3	253,4	0	666	666	1041	245	1892	0,00E+00							
	Pkw 3P	637,9	27,8	9,1	36,9	7,4	1,5	45,8	2025	625	2651	478	101	3229	2828	2542	5370	1124	227	6722	11858	758	12616	2015	472	15103	208	3298	3506	1380	278	5115	23732	9201	32933	2473	2286	37692	101,6	63,3	164,9	3,8	0,2	168,9	0	404	404	694	164	1261	0,00E+00							
LL	Stadtbahn	0,0	5,4	14,0	19,4	1,3	5,2	26,0	0	1894	1894	89	406	2639	0	2365	2365	179	1081	3626	0	311	311	784	2678	3763	0	3207	3207	319	1144	4670	0	3295	3295	426	1756	5478	0,0	0,5	0,5	0,2	0,6	1,6	0	1153	1153	196	795	2151	6,67E-09							
	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	0,0	6,1	15,9	22,0	1,3	5,2	28,5	0	2144	2144	89	406	2839	0	2678	2678	179	1081	3937	0	352	352	784	2678	3794	0	3630	3630	319	1144	5093	0	3730	3730	426	1756	5913	0,0	0,6	0,6	0,2	0,8	1,7	0	1312	1312	196	795	2304	7,55E-09							
	Pkw 1P	1418,6	61,8	20,2	82,0	22,3	4,6	108,7	4504	1390	5895	1434	302	7631	5849	6853	13552	3373	880	17566	28975	1888	25560	6044	1416	33021	469	7334	7803	4141	835	12779	53101	20461	73562	7418	6858	87633	239,8	140,8	380,6	11,5	0,6	392,7	0	898	898	2082	491	3471	0,00E+00							
	Pkw 2P	709,3	30,9	10,1	41,0	11,1	2,3	54,4	2252	695	2947	717	151	3815	3925	2826	6751	1687	340	8778	11937	543	12760	3022	708	16510	235	3667	3902	2070	418	6389	26551	10231	36761	3709	3429	43919	119,9	70,4	190,3	5,8	0,3	196,4	0	449	449	1041	245	1735	0,00E+00							
	Pkw 3P	472,9	20,6	6,7	27,3	7,4	1,5	36,2	1501	463	1965	478	101	2644	2616	1884	4501	1124	227	5852	7958	562	8520	2015	472	11007	156	2445	2601	1380	278	4600	17700	6820	24521	2473	2286	29280	79,9	46,9	126,9	3,8	0,2	130,9	0	299	299	694	164	1157	0,00E+00							
L	Stadtbahn	0,0	5,4	14,0	19,4	1,3	5,2	26,0	0	1894	1894	89	406	2639	0	2365	2365	179	1081	3626	0	311	311	784	2678	3763	0	3207	3207	319	1144	4670	0	3295	3295	426	1756	5478	0,0	0,5	0,5	0,2	0,6	1,6	0	1153	1153	196	795	2151	6,67E-09							
	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	0,0	6,1	15,9	22,0	1,3	5,2	28,5	0	2144	2144	89	406	2839	0	2678	2678	179	1081	3937	0	352	352	784	2678	3794	0	3630	3630	319	1144	5093	0	3730	3730	426	1756	5913	0,0	0,6	0,6	0,2	0,8	1,7	0	1312	1312	196	795	2304	7,55E-09							
	Pkw 1P	1064,3	45,5	10,5	65,8	22,2	4,6	92,7	3379	631	4010	1434	302	9746	10040	3432	13471	3373	880	17626	1459	1183	2842	6044	1416	31012	31	4922	4953	4141	835	9929	12676	14033	26711	7418	6898	40987	72,8	10,6	83,4	11,5	0,6	95,5	1298	476	1773	2082	491	4346	0,00E+00							
	Pkw 2P	532,1	22,7	5,2	28,0	11,1	2,3	41,4	1690	315	2005	471	151	2873	3020	1716	6738	1687	340	8763	729	591	1321	3022	708	5051	16	2461	2476	2070	418	4964	6339	7016	13356	3709	3429	20494	36,4	5,3	41,7	5,8	0,3	47,8	649	238	867	1041	245	2173	0,00E+00							
	Pkw 3P	354,8	15,2	3,5	18,6	7,4	1,5	27,6	1126	210	1337	478	101	1915	3347	1144	4490	1124	227	5842	486	394	881	2015	472	3367	10	1641	1651	1380	278	3310	4226	4678	8904	2473	2286	13662	24,3	3,5	27,8	3,8	0,2	31,8	433	159	591	694	164	1449	0,00E+00							
Pkw 4P	266,1	11,4	2,6	14,0	5,6	1,1	20,7	845	158	1002	359	76	1437	2510	858	3368	843	170	4381	385	296	660	151	354	2526	8	1230	1238	1035	209	2482	3170	3508	6878	1856	1715	10247	18,2	2,7	20,9	2,9	0,1	23,0	324	119	443	521	123	1087	0,00E+00								

Relation 01 Mehringen - Berliner Platz EURO4 Hiv+Rück		Weg- länge [km]	Energieaufwendungen [MJ]															CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					Kollektivdosis (PersV) antriebsbedingt Energiebereitstellung					
			antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	
			an-wart- fkt	direkt	Energ. bereit.	Σ antr- bed	Fahr- zeuge	Infrast- ruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr- bed	Fahr- zeuge		Infrast- ruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr- bed	Fahr- zeuge	Infrast- ruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr- bed	Fahr- zeuge		Infrast- ruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr- bed	Fahr- zeuge	Infrast- ruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr- bed	Fahr- zeuge		Infrast- ruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr- bed	Fahr- zeuge	Infrast- ruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr- bed	Fahr- zeuge		Infrast- ruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr- bed	Fahr- zeuge	Infrast- ruktur		direkt	Energ. bereit.	Σ antr- bed		Fahr- zeuge
B+A	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	16	0,0	2,7	8,0	10,7	0,6	2,0	13,3	0	65	65	37	161	253	0	88	88	75	428	591	0	34	34	321	1029	1383	0	189	189	134	444	767	0	211	211	179	887	1077	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0	49	49	82	295	425	3,40E-09						
		16	0,0	3,2	9,3	12,4	0,6	2,0	15,0	0	64	64	37	161	262	0	102	102	75	428	605	0	39	39	321	1029	1389	0	220	220	134	444	798	0	246	246	179	887	1112	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0	56	56	82	295	433	3,95E-09						
		16	1385,0	60,3	19,7	80,0	22,2	5,5	107,7	4397	1357	5755	1434	406	7594	1583	5510	7102	3373	930	11406	10279	1646	11926	6044	1909	13878	215	7160	7375	4141	1073	12589	22427	19876	42403	7418	7199	57020	35,5	137,5	233,0	11,5	0,7	245,2	0	876	876	2082	580	3549	0,00E+00						
		16	692,5	30,2	9,9	40,0	11,1	2,7	53,9	2199	679	2977	717	203	3797	792	2759	3551	1687	465	5703	5140	823	5862	3022	955	3933	109	3550	3658	2070	536	6294	11214	9868	21202	3769	3999	28510	47,7	68,7	116,5	5,8	0,4	122,6	0	438	438	1041	295	1775	0,00E+00						
		16	461,7	20,1	6,6	26,7	7,4	1,8	35,9	1466	452	1918	478	135	2551	528	1840	2367	1124	310	3802	3426	549	3975	2015	636	2628	72	2387	2458	1390	358	4196	7476	6959	14134	2473	2400	19007	31,8	45,8	77,7	3,8	0,2	61,7	0	292	292	694	197	1183	0,00E+00						
L	Stadtbahn	21	346,2	15,1	4,9	20,0	5,6	1,4	26,9	1099	339	1439	359	101	1899	396	1380	1776	843	233	2852	2670	411	2981	1511	477	4870	54	1790	1844	1035	268	3147	5607	4994	10601	1855	1800	14256	23,9	34,4	58,2	2,9	0,2	61,3	0	219	219	521	148	887	0,00E+00						
		21	111,9	38,9	9,0	47,9	22,2	5,5	75,6	2895	840	3436	1434	406	5276	4731	2940	7671	3373	980	11975	2321	1014	3535	8044	1909	11288	30	4217	4247	4141	1073	3461	6653	12024	18957	7418	7199	3574	29,0	9,1	36,1	11,5	0,7	50,3	484	408	891	2082	580	3584	0,00E+00						
		21	456,0	19,5	4,5	24,0	11,1	2,7	37,8	1448	270	1718	717	203	2638	2365	1470	3836	1697	465	5987	1160	507	1697	3022	955	3644	15	2198	2194	2070	536	4730	3467	8012	9478	3709	3699	16787	14,5	4,6	19,0	5,8	0,4	25,2	242	294	446	1041	295	1782	0,00E+00						
		21	304,0	13,0	3,0	16,0	7,4	1,8	25,2	965	180	1145	478	135	1759	1577	880	2557	1124	310	3992	374	336	1112	2015	636	2763	10	1406	1416	1390	358	3154	2411	4008	6319	2473	2400	14191	9,7	3,0	12,7	3,8	0,2	16,8	161	136	297	694	197	1188	0,00E+00						
		21	228,0	9,7	2,2	12,0	5,6	1,4	18,9	724	135	859	359	101	1319	1183	795	1918	843	233	2994	580	253	834	1511	477	2822	8	1054	1062	1035	268	2365	1733	3006	4739	1855	1800	8394	7,2	2,3	8,5	2,9	0,2	12,6	121	102	223	521	148	891	0,00E+00						
L	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	16	0,0	6,3	18,2	24,5	1,1	3,6	29,1	0	136	136	72	276	473	0	292	292	145	744	1059	0	77	77	619	1836	2523	0	433	433	259	782	1474	0	484	484	346	1221	2050	0,0	0,2	0,2	0,2	0,6	1,0	0	111	111	159	544	814	7,77E-09						
		16	0,0	5,3	15,4	20,7	1,1	3,6	25,3	0	106	106	72	276	454	0	170	170	145	744	1059	0	65	65	619	1836	2521	0	366	366	259	782	1406	0	408	408	346	1221	1974	0,0	0,2	0,2	0,2	0,6	0,9	0	94	94	159	544	797	6,56E-09						
		16	1421,6	61,9	20,2	82,1	22,2	4,8	108,9	4514	1393	5907	1434	406	7643	1812	5865	7477	3373	880	11530	7842	1699	9631	6044	1416	17092	217	7349	7566	4141	335	12542	24075	20505	44580	7418	6858	58958	90,5	141,1	231,5	11,5	0,6	243,7	0	900	900	2082	491	3473	0,00E+00						
		16	710,8	31,0	10,1	41,1	11,1	2,3	54,5	2257	697	2953	717	151	3927	806	2832	3738	1697	340	5766	3971	645	4816	3022	708	8646	109	3679	3763	2070	419	6271	12038	10252	22290	3709	3429	29429	45,3	79,8	115,8	5,8	0,3	121,9	0	450	450	1041	245	1736	0,00E+00						
		16	473,9	20,6	6,7	27,4	7,4	1,5	36,3	1505	464	1969	478	101	2548	604	1888	2492	1124	227	3843	2847	563	3210	2015	472	5697	72	2450	2522	1380	278	4181	8025	6835	14860	2473	2286	19619	30,2	47,0	77,2	3,8	0,2	81,2	0	300	300	694	164	1158	0,00E+00						
L	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	21	355,4	15,5	5,1	20,5	5,6	1,1	27,2	1128	348	1477	359	76	1911	453	1416	1869	843	170	2833	1986	422	2408	1511	354	4273	54	1837	1892	1035	209	3136	6019	5126	11448	1855	1718	14714	22,6	35,3	57,9	2,9	0,1	60,9	0	225	225	521	123	868	0,00E+00						
		21	1008,6	43,1	9,9	53,0	22,2	4,8	79,8	3202	938	3300	1434	406	4536	5284	3252	8539	3373	880	12390	1813	1121	2334	6044	1416	10394	29	4664	4694	4141	835	3669	7119	13299	23418	7418	6858	24694	28,0	10,1	38,1	11,5	0,6	50,2	511	451	982	2082	491	3335	0,00E+00						
		21	504,3	21,5	5,0	26,5	11,1	2,3	39,9	1601	299	1900	717	151	2768	2642	1626	4268	1687	340	5906	506	561	1467	3022	708	5197	15	2332	2347	2070	418	4535	3560	6949	10209	3709	3429	17347	14,0	5,0	19,0	5,8	0,3	25,1	255	225	481	1041	245	1767	0,00E+00						
		21	336,2	14,4	3,3	17,7	7,4	1,5	26,6	1067	199	1267	478	101	1845	1761	1084	2845	1124	227	4197	604	374	978	2015	472	3465	10	1555	1565	1390	278	3223	2373	4433	6906	2473	2286	11566	9,3	3,4	12,7	3,8	0,2	16,7	170	150	321	694	164	1178	0,00E+00						
		21	252,2	10,8	2,5	13,3	5,6	1,1	19,9	801	149	850	359	76	1384	1321	813	2134	843	170	3148	453	280	733	1511	354	2399	7	1168	1173	1035	209	2417	1780	3329	5104	1855	1715	8674	7,0	2,5	8,5	2,9	0,1	12,5	128	113	240	321	123	884	0,00E+00						
21	0,0	5,4	15,6	21,0	1,3	5,2	27,5	0	108	108	89	406	617	0	173	173	179	1081	1432	0	67	67	784	2678	3518	0	421	421	319	1144	1684	0	470	470	426	1756	2653	0,0	0,2	0,2	0,2	0,8	1,3	0	108	108	196	796	1099	7,55E-09								
L	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	16	1298,7	56,5	18,5	75,0	22,2	4,8	101,9	4123	1273	5396	1434	406	7133	1851	5175	7028	3373	880	11080	5516	1543	7059	6044	1416	14519	199	6714	6913	4141	835	11888	21974	18732	40708	7418	6858	54982	80,7	128,9	209,8	11,5	0,6	221,7	0	822	822	2082	491	3395	0,00E+00						
		16	648,9	28,3	9,2	37,5	11,1	2,3	50,9	2062	636	2698	717	151	3666	826	2568	3513	1687	340	5540	2758	772	3529	3022	708	7260	99	3387	3456	2070	418	5944	10987	9396	20353	3709	3429	27491	40,3	64,5	104,8	5,8	0,3	110,8	0	411	411	1041	245	1697	0,00E+00						
		16	432,9	18,8	6,2	25,0	7,4	1,5	33,9	1374	424	1799	478	101	2378	617	1725	2342	1124	227	3693	1839	514	2353	2015	472	4840	66	2238	2304	1390	278	3963	7325	6244	13569	2473	2286	18327	26,9	43,0	69,9	3,8	0,2	73,9	0	274	274	694	164	1132	0,00E+00						
		16	324,7	14,1	4,6	18,8	5,6	1,1	25,5	1031	318	1349	359	76	1793	463	1294	1757	843	170	2779	396	765	1511	354	2630	50	1679	1728	1035	209	2372	5493	4883	10178	1855	1715	113748	20,2	32,2	52,4	2,9	0,1	55,4	0	205	205	321	1									

Relation 02 S-West - Möhringen-Freibad		Wegelänge [km]	Energieaufwendungen [MJ]										CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					Kollektivdos [PersSv]				
			antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E.-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E.-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E.-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E.-SAMT						
			zus.-auf- fß	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge		Infrastr. uktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge		Infrastr. uktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge		Infrastr. uktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge		Infrastr. uktur		direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge
Ö	Stadtbahn Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	21	0,0	14,3	41,4	55,7	11,7	3,0	70,4	0	288	288	729	203	1217	0	459	459	2188	408	3053	0	176	176	8649	1748	7573	0	986	986	2301	730	4017	0	1102	1102	3962	975	6039	0,0	0,5	0,5	1,8	0,5	2,8	0	253	253	1798	448	2499	1,26874E-08
		1562,7	66,0	22,2	90,3	23,0	3,1	116,4	4982	1531	6493	1493	3	7978	8168	6227	14395	3488	281	18164	46131	1857	47988	6250	598	54836	522	8079	8601	4281	448	13330	55745	22539	78284	7670	6236	52191	297,4	155,1	452,6	11,9	0,3	464,8	0	989	989	2153	348	3490	0	
		781,3	34,0	11,1	45,1	11,5	1,6	58,2	2481	766	3247	741	2	3393	4084	3113	7197	1744	141	9352	23066	928	23994	3125	299	27418	261	4039	4330	2141	224	6565	27973	11269	39142	3935	3118	46096	148,7	77,8	228,3	6,0	0,2	232,4	0	494	494	1077	174	1745	0	
		520,9	22,7	7,4	30,1	7,7	1,0	38,8	1654	510	2164	494	1	2660	2723	2078	4798	1163	94	6055	15377	619	15996	2083	199	18279	174	2693	2867	1427	149	4443	18582	7513	26095	2557	2079	30730	99,1	51,7	150,9	4,0	0,1	154,9	0	330	330	718	116	1163	0	
		390,7	17,0	5,6	22,6	5,7	0,8	29,1	1240	383	1623	371	1	1995	2042	1557	3599	872	70	4541	11533	484	11997	1562	150	13709	131	2020	2150	1070	112	3333	13936	5635	19571	1918	1559	23048	74,4	38,6	113,1	3,0	0,1	116,2	0	247	247	538	87	872	0	
		1146,3	49,0	11,3	60,2	23,0	3,1	86,3	3690	679	4319	1483	3	5805	10610	8946	14307	3488	281	18076	2932	1274	4206	6250	598	11054	39	5301	5340	4261	448	10069	13151	15115	25268	7670	6236	42172	76,8	11,5	90,2	11,9	0,3	102,4	1493	512	2005	2153	348	4546	0	
373,2	24,5	5,8	30,1	11,5	1,6	43,2	1920	340	2159	741	2	2902	3309	1948	7153	1744	141	9308	1469	637	2103	3125	299	3527	19	2650	2670	2141	224	5036	6976	7557	14133	3835	3118	21096	38,4	5,7	45,1	6,0	0,2	51,2	748	256	1002	1077	174	2253	0			
382,1	16,3	3,8	20,1	7,7	1,0	28,8	1213	226	1440	494	1	1935	3537	1232	4769	1163	94	6025	977	425	1402	2083	199	3685	13	1767	1780	1427	149	3356	4384	5036	9422	2557	2079	14057	26,3	3,8	30,1	4,0	0,1	34,1	498	171	668	718	116	1502	0			
286,6	12,2	2,8	15,1	5,7	0,8	21,6	910	170	1080	371	1	1451	2863	924	3577	872	70	4519	733	319	1052	1562	150	2764	10	1325	1335	1070	112	2517	3288	3779	7066	1918	1559	10543	19,7	2,9	22,6	3,0	0,1	25,6	373	128	501	538	87	1127	0			



Relation 03 Leinfelden - Hauptbahnhof		Wege- länge [km]	Energieaufwendungen (MJ)															CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					Kollektivdosis [Pars/SV]
			antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E. SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E. SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E. SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E. SAMT							
			scale-stor [t]	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge		Infrastruktur	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge		Infrastruktur	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge		Infrastruktur	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge		Infrastruktur						
BA	Stadtbahn	Stadtbahn	25	0,0	5,8	16,7	22,5	1,3	5,9	29,7	0	115	115	85	345	545	0	185	185	172	1079	1436	0	71	71	736	2810	3617	0	398	398	307	1129	1834	0	445	445	410	2016	2871	0	0	0	0	1	1	0	102	102	189	908	1199	7,13794E-09
		Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	25	0,0	6,5	16,9	25,4	1,3	5,9	32,8	0	130	130	85	345	561	0	209	209	172	1079	1460	0	81	81	736	2810	3626	0	450	450	307	1129	1886	0	503	503	410	2016	2929	0	0	0	0	1	1	0	115	115	189	908	1212	8,07323E-09
	S-Bahn	S-Bahn	30	0,0	7,5	19,3	26,7	0,7	1,8	29,2	0	728	728	44	149	921	0	823	823	90	396	1308	0	200	200	384	993	1577	0	302	302	160	434	3607	0	3161	3161	214	630	4005	0	1	1	0	1	1	0	525	525	98	299	922	4,66268E-09
		S-Bahn inkl. Gegenrichtung	30	0,0	9,7	25,1	34,8	0,7	1,8	37,3	0	948	948	44	149	1141	0	1072	1072	90	396	1557	0	261	261	384	993	1637	0	3924	3924	160	434	4519	0	4118	4118	214	630	4962	0	1	1	0	1	2	0	684	684	98	299	1081	5,27364E-09
	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423)	30	0,0	1,2	3,0	4,1	0,7	1,8	6,6	0	113	113	44	149	306	0	128	128	90	396	613	0	31	31	384	993	1407	0	467	467	160	434	1062	0	490	490	214	630	1335	0,0	0,1	0,1	0,1	0,7	0,9	0	81	81	98	299	479	6,04827E-09
		S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	30	0,0	4,9	12,6	17,5	0,7	1,8	20,0	0	477	477	44	149	670	0	539	539	90	396	1024	0	131	131	384	993	1508	0	1974	1974	160	434	2569	0	2071	2071	214	630	2915	0,0	0,4	0,4	0,1	0,7	1,2	0	344	344	98	299	742	7,87972E-09
	DraisE EuroZ	Pkw 1P	31	2507,5	109,2	35,7	144,9	26,4	3,8	175,1	7961	2457	10419	1706	337	12462	10624	8992	20616	4012	816	25444	47561	2979	50540	7188	1615	59343	842	12963	13806	4925	824	19555	88055	36167	124223	8823	7572	140618	387,8	248,9	636,7	13,7	0,7	651,1	0	1587	1587	2477	495	4558	0
		Pkw 2P	31	1253,8	54,6	17,8	72,4	13,2	1,9	87,6	3981	1229	5209	853	169	6231	5312	4996	10308	2006	408	12722	23780	1490	25270	3954	807	29672	421	6482	6963	2462	412	9777	44028	16083	62111	4411	3786	70308	193,9	124,5	318,4	6,8	0,3	325,5	0	793	793	1238	247	2779	0
	DraisE EuroZ	Pkw 3P	31	835,8	36,4	13,9	48,3	8,8	1,3	58,4	2654	819	3473	589	112	4154	3541	3331	6872	1337	272	8481	13954	993	16947	2395	538	19781	281	4321	4692	1642	275	6518	29362	12058	41407	2941	2524	48872	129,3	83,0	212,2	4,6	0,2	217,0	0	529	529	826	165	1519	0
		Pkw 4P	31	626,9	27,3	8,9	36,2	6,6	1,0	43,8	1990	614	2695	426	84	3115	2656	2498	5154	1003	204	6361	11890	745	12935	1797	404	14838	211	3241	3451	1231	206	4889	22014	9042	31055	2206	1893	35154	97,0	62,2	159,2	3,4	0,2	162,8	0	397	397	619	124	1140	0
DraisE EuroZ	Pkw 1P	31	1952,1	68,0	15,7	83,7	26,4	3,8	114,0	5055	943	5999	1706	337	8041	15208	5134	20342	4012	816	25170	3482	1770	5252	7188	1615	14055	52	7363	7415	4925	824	13164	17189	20993	38182	8823	7572	54576	89,2	15,9	105,1	13,7	0,7	119,5	1956	712	2667	2477	495	5639	0	
	Pkw 2P	31	796,1	34,0	7,8	41,8	13,2	1,9	57,0	2528	472	2999	853	169	4021	7604	2567	10171	2006	408	12585	1741	885	2626	3694	807	7028	26	3681	3707	2462	412	6582	8594	10496	19091	4411	3786	27288	44,6	8,0	52,6	6,8	0,3	59,7	978	356	1334	1238	247	2819	0	
DraisE EuroZ	Pkw 3P	31	530,7	22,7	5,2	27,9	8,8	1,3	38,0	1685	314	2000	569	112	2680	9069	1711	6781	1337	272	8390	1161	590	1751	2396	538	4685	17	2454	2472	1642	275	4388	5730	6998	12727	2941	2524	18192	29,7	5,3	35,0	4,6	0,2	39,8	652	237	889	826	165	1880	0	
	Pkw 4P	31	398,0	17,0	3,9	20,9	6,6	1,0	28,5	1264	236	1500	426	84	2010	3802	1283	5085	1003	204	6293	871	442	1313	1797	404	3514	13	1841	1854	1231	206	3291	4297	5248	9545	2206	1893	13644	22,3	4,0	26,3	3,4	0,2	29,9	489	176	667	619	124	1410	0	
LU	Stadtbahn	Stadtbahn	25	0,0	12,8	37,3	50,1	2,8	11,6	64,2	0	267	267	188	670	1095	0	413	413	338	2099	2850	0	159	159	1448	5507	7113	0	888	888	604	2206	3698	0	991	991	808	3936	5735	0	0	0	0	2	3	0	227	227	371	1792	2390	1,59174E-08
		Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	25	0,0	11,4	33,0	44,4	2,5	11,6	58,5	0	228	228	168	670	1065	0	366	366	338	2099	2803	0	141	141	1448	5507	7095	0	788	788	604	2206	3597	0	878	878	808	3936	5622	0	0	0	0	2	3	0	201	201	371	1792	2364	1,40984E-08
	S-Bahn	S-Bahn	30	0,0	27,1	70,0	97,2	2,4	5,2	104,7	0	2645	2645	161	371	3177	0	2990	2990	324	1085	4399	0	728	728	1386	3010	5125	0	10945	10945	579	1211	12735	0	11485	11485	773	1814	14072	0	2	2	0	1	4	0	1907	1907	355	927	3190	1,03976E-08
		S-Bahn inkl. Gegenrichtung	30	0,0	26,1	67,2	93,3	2,4	5,2	100,9	0	2540	2540	161	371	3072	0	2871	2871	324	1085	4280	0	699	699	1386	3010	5096	0	10510	10510	579	1211	12299	0	11028	11028	773	1814	13615	0	2	2	0	1	4	0	1831	1831	355	927	3114	9,20946E-09
	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423)	30	0,0	11,5	29,6	41,0	2,4	5,2	48,6	0	1116	1116	161	371	1648	0	1262	1262	324	1085	2671	0	307	307	1386	3010	4704	0	4620	4620	579	1211	6159	0	4847	4847	773	1814	7435	0,0	0,9	0,9	0,4	1,2	2,5	0	805	805	355	927	2088	2,19783E-08
		S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	30	0,0	10,8	27,9	38,7	2,4	5,2	46,3	0	1055	1055	161	371	1587	0	1192	1192	324	1085	2601	0	290	290	1386	3010	4667	0	4364	4364	579	1211	6104	0	4579	4579	773	1814	7167	0,0	0,8	0,8	0,4	1,2	2,4	0	781	781	355	927	2043	2,11035E-08
	DraisE EuroZ	Pkw 1P	31	2229,8	97,1	31,7	128,8	26,4	2,0	157,3	7080	2185	9285	1706	330	11101	11357	8885	20242	4012	316	24570	36071	2649	39271	7188	629	46638	735	11528	12262	4925	824	17536	79513	32161	111674	8823	6890	127387	336,0	221,3	557,4	13,7	0,3	571,4	0	1411	1411	2477	295	4183	0
		Pkw 2P	31	1114,9	48,5	15,9	64,4	13,2	1,0	78,6	3540	1093	4632	853	65	5550	5678	4443	10121	2006	158	12285	18036	1325	19360	3594	314	23269	367	5764	6131	2462	174	8768	39757	16081	59837	4411	3445	63694	166,0	110,7	278,7	6,8	0,2	285,7	0	706	706	1238	148	2093	0
	DraisE EuroZ	Pkw 3P	31	743,3	32,4	10,6	42,9	8,8	0,7	52,4	2360	728	3098	589	43	3700	3786	2962	6747	1337	105	8190	12024	883	1907	2396	210	11613	245	3843	4087	1642	116	3845	26504	10720	37228	2941	2297	42462	112,0	73,											

Relation 03 Leinfelden - Hauptbahnhof ET423 Hin+Rück		Wege- länge [km]	Energieaufwendungen (MJ)															CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					Kollektivdosis [Pars/SV] Energiebereitstellung
			antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E. SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E. SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E. SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E. SAMT							
			scale-stor	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge		Infrastruktur	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge		Infrastruktur	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge		Infrastruktur	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge		Infrastruktur						
BA	Stadtbahn		0,0	5,8	16,7	22,5	1,3	5,9	29,7	0	115	115	85	345	545	0	185	185	172	1079	1436	0	71	71	736	2810	3617	0	398	398	307	1129	1834	0	445	445	410	2016	2871	0	0	0	0	0	1	1	0	102	102	189	908	1199	7,13794E-09
	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung		0,0	6,5	16,9	25,4	1,3	5,9	32,8	0	130	130	85	345	561	0	209	209	172	1079	1460	0	81	81	736	2810	3626	0	450	450	307	1129	1886	0	503	503	410	2016	2929	0	0	0	0	0	1	1	0	115	115	189	908	1212	8,07323E-09
	S-Bahn		0,0	7,5	19,3	26,7	0,7	1,8	29,2	0	728	728	44	149	921	0	823	823	90	396	1308	0	200	200	384	993	1577	0	3012	3012	160	434	3607	0	3161	3161	214	630	4005	0	1	1	0	1	1	1	0	525	525	98	299	922	4,66268E-09
	S-Bahn inkl. Gegenrichtung		0,0	9,7	25,1	34,8	0,7	1,8	37,3	0	948	948	44	149	1141	0	1072	1072	90	396	1557	0	261	261	384	993	1637	0	3924	3924	160	434	4519	0	4118	4118	214	630	4962	0	1	1	0	1	2	2	0	684	684	98	299	1081	5,27364E-09
	S-Bahn (ET423)		0,0	2,9	7,5	10,4	0,7	1,8	12,9	0	284	284	44	149	477	0	321	321	90	396	806	0	78	78	384	993	1454	0	1175	1175	160	434	1769	0	1233	1233	214	630	2077	0,0	0,2	0,2	0,1	0,7	1,0	1,0	0	205	205	98	299	602	6,04827E-09
	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung		0,0	3,6	9,3	12,9	0,7	1,8	15,4	0	352	352	44	149	545	0	398	398	90	396	883	0	97	97	384	993	1473	0	1457	1457	160	434	2052	0	1529	1529	214	630	2374	0,0	0,3	0,3	0,1	0,7	1,1	1,1	0	254	254	98	299	652	7,87972E-09
	Pkw 1P		2507,5	109,2	35,7	144,9	26,4	3,8	175,1	7961	2457	10419	1706	337	12462	10624	8992	20616	4012	816	25444	47561	2979	50540	7188	1615	59343	842	12963	13806	4925	824	19555	88055	36167	124223	8823	7572	140618	387,8	248,9	636,7	13,7	0,7	651,1	0	1587	1587	2477	495	4558	0	
	Pkw 2P		1253,8	54,6	17,8	72,4	13,2	1,9	87,6	3981	1229	5209	853	169	6231	5312	4996	10308	2006	408	12722	23780	1490	25270	3554	807	29672	421	6482	6903	2462	412	9777	44028	18083	62111	4411	3786	70308	193,9	124,5	318,4	6,8	0,3	325,5	0	793	793	1238	247	2279	0	
	Pkw 3P		835,8	36,4	11,9	48,3	8,8	1,3	58,4	2654	819	3473	589	112	4154	3541	3331	6872	1337	272	8481	13954	993	16847	2395	538	19781	261	4321	4692	1642	275	6518	29362	12056	41407	2941	2524	46872	129,3	83,0	212,2	4,6	0,2	217,0	0	529	529	826	165	1519	0	
	Pkw 4P		629,5	27,3	8,9	36,2	6,6	1,0	43,8	1990	614	2605	426	84	3115	3956	2498	5154	1003	204	6361	11890	745	12935	1797	404	14838	211	3241	3451	1231	206	4889	22014	9042	31055	2206	1893	35154	97,0	62,2	159,2	3,4	0,2	162,8	0	397	397	619	124	1140	0	
Pkw 1P		1952,1	68,0	15,7	83,7	26,4	3,8	114,0	5055	943	5999	1706	337	8041	15208	5134	20342	4012	816	25170	3482	1770	5252	7188	1615	14055	52	7363	7415	4925	824	13164	17189	20993	38182	8823	7572	54576	88,2	15,9	105,1	13,7	0,7	119,5	1956	712	2667	2477	495	5639	0		
Pkw 2P		796,1	34,0	7,8	41,8	13,2	1,9	57,0	2528	472	2999	853	169	4021	7604	2567	10171	2006	408	12585	1741	885	2626	3594	807	7028	26	3681	3707	2462	412	6582	8594	10496	19091	4411	3786	27288	44,6	8,0	52,6	6,8	0,3	59,7	978	356	1334	1238	247	2819	0		
Pkw 3P		530,7	22,7	5,2	27,9	8,8	1,3	38,0	1685	314	2000	569	112	2680	3069	1711	6781	1337	272	8390	1161	590	1751	2396	538	4685	17	2454	2472	1642	275	4388	5730	6998	12727	2941	2524	18192	29,7	5,3	35,0	4,6	0,2	39,8	652	237	889	826	165	1880	0		
Pkw 4P		398,0	17,0	3,9	20,9	6,6	1,0	28,5	1264	236	1500	426	84	2010	3802	1283	5085	1003	204	6293	871	442	1313	1797	404	3514	13	1841	1854	1231	206	3291	4297	5248	9545	2206	1893	13644	22,3	4,0	26,3	3,4	0,2	29,9	489	176	667	619	124	1410	0		
LU	Stadtbahn		0,0	12,8	37,3	50,1	2,6	11,6	64,2	0	267	267	168	670	1095	0	413	413	338	2099	2850	0	159	159	1448	5507	7113	0	888	888	604	2206	3698	0	991	991	808	3936	5735	0	0	0	0	0	2	3	0	227	227	371	1792	2390	1,59174E-08
	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung		0,0	11,4	33,0	44,4	2,5	11,6	58,5	0	228	228	168	670	1065	0	366	366	338	2099	2803	0	141	141	1448	5507	7095	0	788	788	604	2206	3597	0	878	878	808	3936	5622	0	0	0	0	0	2	3	0	201	201	371	1792	2364	1,40984E-08
	S-Bahn		0,0	27,1	70,0	97,2	2,4	5,2	104,7	0	2645	2645	161	371	3177	0	2990	2990	324	1085	4399	0	728	728	1386	3010	5125	0	10945	10945	579	1211	12735	0	11485	11485	773	1814	14072	0	2	2	0	1	4	4	0	1907	1907	355	927	3190	1,03976E-08
	S-Bahn inkl. Gegenrichtung		0,0	26,1	67,2	93,3	2,4	5,2	100,9	0	2540	2540	161	371	3072	0	2871	2871	324	1085	4280	0	699	699	1386	3010	5096	0	10510	10510	579	1211	12299	0	11028	11028	773	1814	13615	0	2	2	0	1	4	4	0	1831	1831	355	927	3114	9,20946E-09
	S-Bahn (ET423)		0,0	11,5	29,6	41,0	2,4	5,2	48,6	0	1116	1116	161	371	1648	0	1262	1262	324	1085	2671	0	307	307	1386	3010	4704	0	4620	4620	579	1211	6409	0	4847	4847	773	1814	7435	0,0	0,9	0,9	0,4	1,2	2,5	2,5	0	805	805	355	927	2088	2,19763E-08
	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung		0,0	9,5	24,6	34,1	2,4	5,2	41,6	0	928	928	161	371	1459	0	1048	1048	324	1085	2458	0	255	255	1386	3010	4652	0	3838	3838	579	1211	5628	0	4028	4028	773	1814	6615	0,0	0,7	0,7	0,4	1,2	2,3	2,3	0	669	669	355	927	1952	2,11035E-08
	Pkw 1P		2229,8	97,1	31,7	128,8	26,4	2,0	157,3	7080	2185	9285	1706	330	11101	11357	8885	20242	4012	316	24570	36071	2649	39271	7188	629	46638	735	11528	12262	4925	349	17336	79513	32161	111674	8823	6890	127387	336,0	221,3	557,4	13,7	0,3	571,4	0	1411	1411	2477	295	4183	0	
	Pkw 2P		1114,9	48,5	15,9	64,4	13,2	1,0	78,6	3540	1093	4632	853	65	5550	5678	4443	10121	2006	158	12285	18036	1325	19360	3594	314	23269	367	5764	6131	2462	174	8768	39757	16081	55837	4411	3445	63694	166,0	110,7	278,7	6,8	0,2	285,7	0	706	706	1238	148	2093	0	
	Pkw 3P		743,3	32,4	10,6	42,9	8,8	0,7	52,4	2360	728	3098	589	43	3700	3786	2262	6747	1337	105	8190	12024	883	13907	2396	210	11513	245	3843	4087	1642	116	3845	26504	10720	37228	2941	2297	42462	112,0	73,8	185,8	4,6	0,1	190,5	0	470	470	826	98	1394	0	
	Pkw 4P		557,6	24,3	7,9	32,2	6,6	0,5	39,3	1770	546	2316	426	33	2775	2839	2221	5060	1003	79	6143	9018	662	9890	1797	157	11634	164	2862	3096	1231	87	4394	19878	8040	27919	2206	1723	31847	84,0	55,3	139,3	3,4	0,1	142,9	0	353	353	619	74	1046	0	
Pkw 1P		1603,1	68,5	15,8	84,3	26,4	2,0	112,7	5090	950	6040	1706	330	7876	15335	5169	20504	4012	316	24832	2623	1782	4405	7188	629	12222	45	7413	7459	4925	349	12382	15833	21137	36971	8823	6890	52684	83,7	16,0	99,8	13,7	0,3	113,8	1907	717	2624	2477	295	5396	0		
Pkw 2P		801,6	34,2																																																		

Relation 04		FR-Reselfeld - FR-Zentrum		Weglänge [km]	Energieaufwendungen [MJ]										CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Pantkoll [mg]					Kollektivdosis [PersSV]								
Hin+Rück	Strassenbahn	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.G.E. SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.G.E. SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.G.E. SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.G.E. SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.G.E. SAMT	Energiebereitstellung	
		Kraftwerk (el)	direkt		Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrast. uktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.		Fahrzeuge	Infrast. uktur	Σ G.G.E. SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrast. uktur	Σ G.G.E. SAMT	direkt		Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrast. uktur	Σ G.G.E. SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrast. uktur		Σ G.G.E. SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrast. uktur	Σ G.G.E. SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.		Fahrzeuge	Infrast. uktur	Σ G.G.E. SAMT										
B A	Strassenbahn	10	0,0	2,3	5,8	8,1	0,7	1,2	10,0	0	223	223	48	92	363	0	258	258	96	276	630	0	63	63	411	762	1236	0	916	916	171	291	1379	0	962	962	229	458	1649	0,0	0,2	0,2	0,1	0,2	0,5	0	157	157	105	241	504	1,79877E-08						
		Pkw 1P	847,7	36,9	12,1	49,0	12,1	3,1	64,1	2692	831	3522	780	302	4604	4811	3378	8189	1834	730	10763	45296	1007	46303	3286	1443	51032	335	4383	4718	2251	715	7684	26419	12227	38646	4033	3753	46433	244,6	84,2	328,8	6,3	0,5	335,6	0	536	536	1132	361	2030	0						
		Pkw 2P	423,9	18,6	6,0	24,5	6,0	1,5	32,1	1346	415	1761	390	151	2302	2405	1689	4094	917	365	5376	22648	504	23152	1643	721	25516	168	2191	2359	1126	367	3842	13209	6114	19323	2017	1877	23216	122,3	42,1	164,4	3,1	0,3	167,8	0	268	268	566	181	1015	0						
		Pkw 3P	282,6	12,3	4,0	16,3	4,0	1,0	21,4	897	277	1174	260	101	1538	1604	1128	2730	611	243	3584	15059	336	14544	1095	461	17011	112	1461	1673	750	238	2561	8906	4076	12882	1344	1251	15478	81,5	28,1	109,6	2,1	0,2	111,9	0	179	179	377	120	677	0						
		Pkw 4P	211,9	9,2	3,0	12,2	3,0	0,8	16,0	673	208	881	195	75	1151	1203	844	2047	459	182	2688	11324	252	11576	822	361	12758	84	1096	1179	563	179	1921	6605	3057	9662	1008	938	11608	61,2	21,0	82,2	1,6	0,1	83,9	0	134	134	283	90	507	0						
E	Strassenbahn	10	0,0	2,4	6,2	8,5	0,7	1,3	10,5	0	236	236	48	93	378	0	274	274	97	279	650	0	67	67	416	771	1254	0	972	972	174	294	1440	0	1021	1021	232	463	1716	0,0	0,2	0,2	0,1	0,2	0,5	0	167	167	107	244	518	1,90799E-08						
		Pkw 1P	882,2	29,7	9,7	39,4	12,1	1,2	52,7	2166	669	2834	780	95	3709	4699	2718	7418	1834	230	9482	34043	811	34854	3286	1443	46737	357	4383	4740	2251	715	5863	9060	18194	12255	4033	3072	38460	207,8	67,7	275,5	6,3	0,2	292,0	0	432	432	1132	361	1726	0						
		Pkw 2P	441,1	14,9	4,9	19,7	6,0	0,6	26,3	1093	334	1417	390	47	1855	2350	1359	3709	917	115	4741	17022	408	17427	1643	728	19298	140	1763	1904	1126	367	3149	10758	4620	15878	2017	1836	19230	103,9	33,9	137,8	3,1	0,1	141,0	0	216	216	566	81	683	0						
		Pkw 3P	227,4	9,8	3,2	13,1	4,0	0,4	17,8	722	223	945	260	32	1238	1566	908	2473	611	77	3161	11348	270	11618	1095	152	12866	94	1176	1269	750	80	2099	7172	3280	10452	1344	1024	12820	69,3	22,6	91,8	2,1	0,1	94,0	0	144	144	377	54	575	0						
		Pkw 4P	170,5	7,4	2,4	9,9	3,0	0,3	13,2	541	167	709	195	24	927	1175	680	1854	459	57	2370	8511	203	8713	822	114	9649	70	882	952	563	60	1574	5379	2460	7839	1008	768	9615	51,9	16,9	68,9	1,6	0,1	70,5	0	108	108	283	41	431	0						
L	Strassenbahn	10	0,0	5,2	13,3	18,4	1,7	2,6	22,7	0	510	510	112	177	798	0	590	590	226	551	1367	0	144	144	966	1596	2706	0	2098	2098	403	591	3091	0	2203	2203	539	941	3683	0,0	0,5	0,5	0,3	0,3	1,1	0	360	360	248	527	1135	4,11748E-08						
		Pkw 1P	588,6	25,8	8,4	34,0	12,1	1,2	47,3	1869	577	2446	780	95	3305	4648	2346	8993	1834	230	9057	22915	699	23614	3286	1443	27357	254	3043	3297	2251	715	5787	19976	8490	28465	4033	3072	35770	179,1	58,4	237,6	6,3	0,2	244,0	0	372	372	1132	361	1667	0						
		Pkw 2P	294,3	12,9	4,2	17,0	6,0	0,6	23,6	934	289	1223	390	47	1660	2324	1173	3497	917	115	4559	11458	350	11907	1643	728	13679	127	1521	1649	1126	367	2804	9988	4245	14533	2017	1836	17765	89,6	29,2	118,8	3,1	0,1	122,0	0	186	186	566	81	633	0						
		Pkw 3P	196,2	8,5	2,8	11,3	4,0	0,4	15,8	623	192	815	260	32	1107	1549	782	2331	611	77	3019	7638	233	7671	1095	152	9119	85	1014	1099	750	80	1929	6659	2830	9488	1344	1024	11857	59,7	19,5	79,2	2,1	0,1	81,3	0	124	124	377	54	556	0						
		Pkw 4P	147,2	6,4	2,1	8,5	3,0	0,3	11,8	467	144	611	195	24	830	1162	586	1748	459	57	2264	5729	175	5904	822	114	6839	64	761	824	563	60	1447	4994	2122	7116	1008	768	8893	44,8	14,6	59,4	1,6	0,1	61,0	0	93	93	283	41	417	0						

zurück zum ersten Diagramm der Relation

Relation 05 FR-Reisefeld - Schaarstend-Talstation Hin+Rück		Weglänge [km]	Energieaufwendungen [MJ]										CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					Kollektivdosis [PersSV]  Energiebereitstellung				
			antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ G.E.	antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ G.E.	antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ G.E.	antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ G.E.	antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ G.E.	antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ G.E.	antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ G.E.	antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ G.E.										
			kann sein	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.		Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt	Energ. bereit.		Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt		Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur		direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge		Infrastruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.		Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt	Energ. bereit.		Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt		Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur						
S	Straßenbahn	17	0,0	10,4	26,8	37,2	3,6	4,2	44,9	0	1027	1027	243	286	1556	0	1191	1191	489	893	2572	0	291	291	2093	2596	4979	0	4230	4230	874	958	6062	0	4441	4441	1167	1529	7138	0	1	1	1	1	2	0	726	726	536	859	2122	8,30186E-08
	Bus	7	672,4	28,7	6,6	35,3	7,2	0,2	42,7	2135	398	2533	486	9	3029	21981	2168	24129	1104	21	25254	3556	747	4303	2049	60	6412	39	3109	3148	1462	32	4642	1625	8866	10490	2335	1371	14196	31	7	38	4	0	41	357	301	658	638	34	1330	0
	Σ Gesamt	24	672,4	39,1	33,4	72,5	10,8	4,4	87,7	2135	1426	3561	729	295	4584	21981	2168	24129	1104	21	25254	3556	1038	4594	4142	2656	11391	39	7339	7378	2336	990	10704	1625	13307	14932	3502	2900	21334	31	8	39	4	1	43	357	1027	1384	1174	893	3452	8,30186E-08
	Pkw 1P	1425,4	62,1	20,3	82,3	28,1	1,3	109,8	4526	1387	5923	1685	59	1666	4878	5680	14358	3963	147	18468	46052	1694	47746	7100	284	55131	504	7389	7874	4884	178	12916	46183	20559	86722	8715	6173	81610	292,4	141,5	433,9	13,5	0,2	447,7	0	902	902	2446	222	3970	0	
	Pkw 2P	1712,7	31,0	10,1	41,2	13,1	0,6	54,8	2263	688	2961	842	29	3833	4339	2940	7179	1982	74	9234	23026	847	23873	3550	142	27566	252	3695	3837	2432	89	6458	23982	10360	33361	4367	3397	49005	146,2	70,7	217,0	6,8	0,1	223,8	0	451	451	1293	111	1765	0	
Pkw 3P	475,1	20,7	6,8	27,4	8,7	0,4	36,6	1509	466	1974	562	20	2555	2893	1893	4786	1321	49	6156	15351	565	15915	2367	95	18377	168	2456	2625	1621	59	4305	15388	6853	22241	2905	2058	27203	97,5	47,2	144,6	4,5	0,1	149,2	0	301	301	815	74	1190	0		
Pkw 4P	356,4	15,5	5,1	20,6	6,5	0,3	27,4	1131	349	1481	421	15	1917	2170	1420	3590	991	37	4617	11513	423	11936	1775	71	13783	126	1842	1968	1216	45	3229	11541	5140	16681	2179	1543	20403	73,1	35,4	108,5	3,4	0,1	111,9	0	226	226	612	55	893	0		
Diesel (Bus/Truck)	Pkw 1P	1138,6	46,6	11,6	59,8	25,4	1,3	87,2	3615	675	4290	1695	59	6033	10352	3671	14023	3963	147	18133	2721	1498	3887	7100	284	11571	34	5265	5299	4864	178	10342	11745	15073	26758	8715	6173	41646	74,7	11,4	85,1	13,5	0,2	89,8	1634	509	2143	2446	222	4611	0	
	Pkw 2P	1585,3	24,3	8,6	29,9	13,1	0,6	43,6	1808	337	2145	642	29	3017	5176	1836	7011	1982	74	8067	1361	633	1993	3590	142	5686	17	2633	2650	2432	89	5171	5872	7506	13379	4367	3897	20823	37,4	5,7	43,1	6,8	0,1	49,9	817	255	1072	1223	111	2406	0	
	Pkw 3P	379,5	16,2	3,7	19,9	8,7	0,4	29,1	1205	225	1430	562	20	2011	3451	1224	4674	1321	49	6044	907	422	1329	2367	95	3790	11	1755	1766	1621	59	3447	3915	5004	8919	2905	2058	13882	24,9	3,8	28,7	4,5	0,1	33,3	545	170	714	815	74	1604	0	
	Pkw 4P	284,6	12,2	2,8	15,0	6,5	0,3	21,8	904	169	1072	421	15	1508	2588	918	3506	991	37	4533	680	316	997	1775	71	2843	8	1316	1325	1216	45	2585	2936	3753	6689	2179	1543	10411	18,7	2,8	21,5	3,4	0,1	25,0	409	127	536	612	55	1203	0	

Relation 06		Energieaufwendungen [MJ]															CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [µg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					Kollektivdosis [PersSV]
Gottentheim - FR-Zentrum	Weglänge [km]	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E.-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E.-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E.-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E.-SAMT	Energiebereitstellung						
		Konsum	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge		Infrastruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge		Infrastruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge		Infrastruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge			Infrastruktur					
B+A	S-Bahn	23	136,0	0,4	1,3	7,1	0,6	3,2	11,0	432	81	512	81	189	742	3162	436	5601	84	680	6365	226	151	377	275	1795	2448	4	629	633	152	718	1480	161	1793	1854	106	1187	3337	3	1	4	0	1	6	77	61	138	73	601	812	0
		1	0,0	0,1	0,4	0,5	0,1	0,3	0,9	0	14	14	5	34	53	0	16	16	10	85	111	0	4	4	43	181	228	0	58	58	18	82	158	0	60	60	24	101	205	0	0	0	0	0	10	10	11	42	63	1,12951E-09		
	Σ gesamt	25	136,0	0,5	1,7	7,7	0,7	3,5	11,9	432	95	526	96	223	795	5162	455	5617	94	765	6475	226	155	381	319	1976	2676	4	696	690	149	798	1638	161	1854	2015	220	1308	3542	3	1	4	0	1	6	77	71	148	84	644	875	1,12951E-09
	Straßenbahn	26	1084,9	47,2	15,4	62,7	12,9	1,8	77,4	3445	1063	4508	835	162	5506	5723	4323	10046	1965	383	12405	23472	1289	24761	3521	777	29058	352	5609	5961	2412	392	8785	36233	15648	51881	4321	3077	59279	174,4	107,7	282,1	6,7	0,3	289,1	0	687	687	1213	225	2124	0
		1	23,3	31,6	10,3	41,8	8,6	1,2	51,6	2296	709	3005	557	108	3670	3816	2982	6897	1310	262	8270	15648	859	16507	2347	518	19372	295	3739	3974	1608	262	5843	24155	10432	34587	2681	2051	39620	116,3	71,8	188,1	4,5	0,2	192,7	0	458	458	809	150	1416	0
	Σ gesamt	26	1193,7	78,8	25,7	104,5	21,5	3,0	129,0	5741	1772	7513	1442	216	9176	9539	7599	1717	322	12681	25012	1448	27238	3848	837	30956	354	6448	6975	2180	352	9228	34687	15680	52421	4372	3078	69309	191,7	179,4	470,2	11,2	0,5	481,8	0	1145	1145	2123	375	3540	0	
	S-Bahn	23	176,9	7,6	1,7	9,3	0,9	4,6	14,8	562	105	666	63	251	979	6714	570	7284	128	984	8376	294	197	490	423	2639	3552	5	818	823	202	1013	2038	210	2332	2542	300	1712	4554	4	2	6	0	1	7	101	79	180	111	885	1176	0
		1	0,0	0,3	0,9	1,2	0,1	0,3	1,6	0	30	30	5	34	69	0	35	35	10	85	130	0	9	9	43	181	233	0	125	125	18	82	226	0	132	132	24	121	277	0	0	0	0	0	0	22	22	11	42	75	2,46055E-09	
	Σ gesamt	25	176,9	7,9	2,6	10,5	1,0	4,9	16,4	562	135	697	68	284	1049	6714	606	7319	138	1049	8506	294	205	499	466	2821	3785	5	943	948	220	1095	2263	210	2463	2673	324	1833	4830	4	2	6	0	2	8	101	101	201	123	927	1251	2,46055E-09
	E	Straßenbahn	25	1788,4	77,9	25,4	103,3	25,9	1,7	130,9	5678	1753	7431	1671	118	9219	11148	7126	18272	3930	287	22489	35385	2125	37509	7042	567	45118	581	9245	9826	4824	309	14959	59144	25794	84938	8643	5473	99053	292,6	177,5	470,1	13,4	0,3	483,8	0	1132	1132	2426	250	3808
1			894,2	36,9	12,7	51,7	12,9	0,9	65,5	2839	876	3715	835	39	4610	5573	3563	8136	1965	144	11245	17852	1062	18755	3521	283	22559	291	4623	4913	2412	154	7480	29572	12897	42489	4321	2736	49527	146,3	88,8	235,1	6,7	0,1	241,9	0	586	586	1213	125	1904	0
Σ gesamt		26	1982,6	114,8	38,1	155,0	38,8	2,6	196,4	8517	2629	11146	1706	157	13829	16721	10689	19937	4195	323	34144	53237	4187	7584	10563	8502	47677	6342	10168	10843	5236	3639	17931	38691	13271	8629	10885	318,9	186,3	705,2	14,7	0,4	725,0	0	1718	1718	3639	375	5712	0		
S-Bahn		23	1447,1	19,5	6,4	25,8	6,5	0,4	32,7	1420	438	1858	418	29	2305	2786	1782	4568	983	72	5622	8646	531	9377	1760	142	11280	145	2311	2457	1206	77	3740	14784	6448	21234	2161	1368	24763	73,2	44,4	117,5	3,4	0,1	121,0	0	283	283	607	62	952	0
		1	1297,9	55,4	12,8	68,2	25,9	1,7	95,8	4121	789	4890	1671	118	6679	12179	4185	16363	3930	287	20561	2123	1443	3565	7042	567	11774	33	6002	6035	4824	309	11168	12884	17113	29987	8643	5473	44112	74,2	13,0	87,2	13,4	0,3	100,9	1697	580	2177	2426	250	4853	0
Σ gesamt		26	2745,0	75,0	19,2	94,0	22,4	0,8	128,5	5539	1227	6748	1805	146	9984	13906	11872	24261	4916	361	16346	19968	1267	21154	3527	1033	22954	6375	10179	10917	5250	388	16152	26997	13352	10823	13661	81,4	17,4	104,4	16,8	0,4	221,9	1704	1168	2397	2626	270	5353	0		
Straßenbahn		25	148,6	27,7	6,4	34,1	12,9	0,9	47,9	2060	385	2445	835	39	3339	6089	2092	8183	1965	144	10290	1061	721	1783	3521	283	5537	17	3001	3018	2412	154	5584	6442	8556	14988	4321	2736	22056	37,1	6,5	43,6	6,7	0,1	50,5	798	290	1089	1213	125	2427	0
		1	432,6	18,5	4,3	22,7	8,6	0,6	31,9	1374	256	1630	557	39	2226	4060	1365	5454	1310	96	6860	708	461	1198	2347	189	3725	11	2001	2012	1608	103	3723	4295	5704	9599	2881	1824	14704	24,7	4,3	29,1	4,5	0,1	33,6	532	193	726	809	83	1616	0
Σ gesamt		26	1919,2	46,2	10,7	56,8	21,5	1,5	79,8	3434	641	4075	974	78	5565	10149	3448	8198	2061	144	17150	17707	1232	2166	3568	292	7542	18	3002	3036	2424	168	6168	12138	14300	13687	5215	3156	26762	61,8	10,8	72,7	7,9	0,2	84,1	1330	473	1813	2042	333	6579	0

Relation 07		Weglänge [km]	Energieaufwendungen [MJ]															CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]				
Schüler - RV-Zentrum			antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E. SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E. SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E. SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E. SAMT						
Hin+Rück			Kraftstoff [g]	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ G.E. SAMT	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ G.E. SAMT	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ G.E. SAMT	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ G.E. SAMT	direkt	Energ. bereit	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ G.E. SAMT				
			13	76,6	3,3	0,8	4,0	0,6	0,1	4,7	243	45	289	41	4	334	2457	247	2704	94	9	2807	406	85	491	174	25	691	4	354	358	125	13	496	174	1010	1184	199	579	1961	3	1	4	0	0	4	38	34	73	54	14	141
B+A	Bus	13	722,6	31,5	10,3	41,7	14,1	5,0	60,8	2294	708	3003	908	388	4299	4365	2880	7245	2135	925	10305	45172	859	46031	3826	2016	51872	307	3736	4043	2621	1014	7678	26765	10423	37188	4696	16841	58724	236,8	71,7	308,5	7,3	0,8	316,6	0	457	457	1318	683	2458	
	Pkw 1P		361,3	15,7	5,1	20,9	7,0	2,5	30,4	1147	354	1501	454	194	2148	1440	3622	1069	462	5152	22598	429	23015	1813	1038	25936	154	1868	2022	1311	507	3839	13383	5211	11894	2348	8420	29362	118,4	35,9	154,2	3,6	0,4	158,3	0	229	229	659	341	1229		
	Pkw 2P		240,9	10,5	3,4	13,9	4,7	1,7	20,3	765	236	1001	303	120	1433	1455	960	2415	712	308	3436	15057	286	15344	1275	672	17291	102	1245	1348	874	338	2559	8922	3474	12386	1465	5614	19575	78,9	23,9	102,8	2,4	0,3	105,5	0	152	152	439	228	819	
	Pkw 4P		180,7	7,9	2,6	10,4	3,5	1,2	15,2	574	177	751	227	97	1075	1091	720	1811	534	231	2576	11293	215	11508	956	504	12968	77	934	1011	655	254	1920	6991	2606	9297	1174	4210	14681	59,2	17,9	77,1	1,8	0,2	79,2	0	114	114	330	171	615	
	Pkw 1P		490,1	21,3	4,9	26,2	14,1	5,0	45,3	1585	296	1880	908	388	3176	4044	1609	5653	2135	925	8714	2232	555	2786	3826	2016	8628	22	2308	2330	2621	1014	5965	8501	6580	15081	4696	16841	36617	65,4	5,0	70,4	7,3	0,8	78,6	830	223	1053	1318	683	3054	
Pkw 2P		246,5	10,7	2,5	13,1	7,0	2,5	22,7	792	148	940	454	194	1588	2022	805	2827	1069	462	4357	1116	277	1393	1813	1038	4314	11	1154	1165	1311	507	2883	4250	3290	7547	2348	8420	18309	36,7	2,5	35,2	3,6	0,4	39,3	415	112	527	659	341	1527		
Pkw 4P		185,4	7,1	1,6	8,7	4,7	1,7	15,1	526	99	627	303	120	1056	1348	536	1894	712	308	2826	744	185	329	1275	672	2876	7	769	777	874	338	1988	2834	2193	5027	1665	5614	12206	21,8	1,7	23,5	2,4	0,3	25,2	277	74	351	439	228	1018		
Pkw 4P		124,8	5,3	1,2	6,6	3,5	1,2	11,3	396	74	470	227	97	794	1011	402	1413	534	231	2178	558	139	697	956	504	2157	6	577	582	655	254	1491	2125	1645	3770	1174	4210	9154	16,4	1,2	17,6	1,8	0,2	19,8	208	56	263	330	171	764		
LU	Bus	13	120,3	5,1	1,2	6,3	0,9	0,1	7,4	382	71	453	64	6	524	3906	388	4294	146	14	4454	697	134	830	271	39	1141	8	556	564	194	21	779	324	1586	1910	309	900	3119	6	1	7	0	0	8	72	54	125	84	22	232	
	Pkw 1P		674,7	29,4	9,6	39,0	14,1	3,1	56,2	2142	661	2804	908	182	3893	4365	2689	7054	2135	425	9614	34065	802	34867	3826	1029	39722	285	3488	3774	2621	538	6933	26111	9732	35843	4696	16159	56698	209,2	67,0	276,1	7,3	0,5	283,9	0	427	427	1318	483	2229	
	Pkw 2P		337,4	14,7	4,8	19,5	7,0	1,6	28,1	1071	331	1402	454	91	1847	2182	1344	3527	1069	212	4807	17032	401	17433	1813	515	15861	143	1744	1887	1311	269	3467	13056	4866	17822	2348	8079	28349	104,6	33,5	138,1	3,6	0,2	142,0	0	214	214	659	242	1114	
	Pkw 4P		224,9	9,8	3,2	13,0	4,7	1,0	18,7	714	220	935	303	61	1298	1455	896	2351	712	142	3226	11355	267	11622	1275	343	13241	95	1163	1258	874	179	2311	8704	3244	11948	1565	5386	18999	69,7	22,3	92,0	2,4	0,2	94,6	0	142	142	439	161	743	
	Pkw 1P		477,9	20,4	4,7	25,1	14,1	3,1	42,3	1517	283	1801	908	182	2890	3945	1541	5486	2135	425	8046	1508	531	2039	3826	1029	6894	19	2210	2229	2621	538	5388	8329	6302	14630	4696	16159	35485	62,5	4,8	67,3	7,3	0,5	75,1	767	214	981	1318	483	2783	
Pkw 2P		236,0	10,2	2,4	12,6	7,0	1,6	21,2	759	142	900	454	91	1445	1872	771	2743	1069	212	4023	754	266	1019	1813	515	3647	8	1105	1118	1311	269	2694	4164	3151	7315	2348	8079	17742	31,3	2,4	33,7	3,6	0,2	37,5	384	107	491	659	242	1391		
Pkw 4P		159,3	6,8	1,6	8,4	4,7	1,0	14,1	506	94	600	303	61	963	1315	514	1829	712	142	2882	593	177	860	1275	343	2298	6	737	745	874	179	1786	2776	2101	4877	1565	5386	11528	20,8	1,6	22,4	2,4	0,2	25,0	256	71	327	439	161	826		
Pkw 4P		119,5	5,1	1,2	6,3	3,5	0,8	10,6	379	71	450	227	45	723	886	385	1371	534	106	2012	377	133	510	956	257	1724	5	553	557	655	135	1347	2082	1575	3658	1174	4040	8871	15,6	1,2	16,8	1,8	0,1	18,8	192	53	245	330	121	696		
L	Bus	13	321,8	13,7	3,2	16,9	5,3	0,8	23,0	1022	191	1212	362	34	1609	10409	1038	11446	823	77	12345	1815	358	2172	1527	221	3920	20	1488	1508	1089	118	2715	823	4243	5066	1740	5064	11870	16	3	19	3	0	22	182	144	326	475	126	927	
	Pkw 1P		626,8	27,3	8,9	36,2	14,1	3,1	53,4	1990	614	2605	908	182	3694	4365	2498	6863	2135	425	9423	22958	745	23703	3826	1029	28558	264	3241	3504	2621	538	6664	25488	9041	34529	4696	16159	55384	181,8	62,2	244,1	7,3	0,5	251,8	0	397	397	1318	483	2198	
	Pkw 2P		313,4	13,6	4,5	18,1	7,0	1,6	26,7	995	307	1302	454	91	1847	2182	1249	3431	1069	212	4712	11479	372	11851	1813	515	14279	132	1620	1782	1311	269	3332	12744	4521	11265	2348	8079	27692	90,9	31,1	122,0	3,6	0,2	125,9	0	198	198	659	242	1099	
	Pkw 4P		209,9	9,1	3,0	12,1	4,7	1,0	17,8	663	205	868	303	61	1231	1455	833	2298	712	142	3141	7653	246	7901	1275	343	9519	89	1090	1168	874	179	2221	8496	3014	11510	1565	5386	18461	60,6	20,7	81,4	2,4	0,2	83,9	0	132	132	439	161	733	
	Pkw 1P		156,7	6,8	2,2	9,1	3,5	0,8	13,4	498	154	651	227	45	923	1091	624	1716	534	106	2356	5739	186	5926	956	257	7140	66	810	876	655	135	1686	6372	2260	8632	1174	4040	13846	45,5	15,6	61,0	1,8	0,1	63,0	0	99	99	330	121	550	
Pkw 2P		456,8	19,5	4,5	24,0	14,1	3,1	41,2	1450	271	1721	908	182	2810	3846	1473	5319	2135	425	7879	783	508	1291	3826	1029	6147	15	2112	2128	2621	538	5287	8192	6023	14215	4696	16159	35070	59,9	4,6	64,5	7,3	0,5	72,3	705	204	909	1318	483	2711		
Pkw 4P		226,4	9,8	2,3	12,0	7,0	1,6	20,6	725	135	861	454	91	1405	1923	736	2659	1069	212	3940	392	264	646	1813	515	3073	8	1056																								

zurück zum ersten Diagramm der Relation

Relation 08		Wegelänge [km]	Energieaufwendungen [MJ]															CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]				
Schüler - RV-Sport			antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT						
Hin-Rück			Klein-stoff [g]	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastruktur	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT				
LL	Dhwa (Eneol. Gd. 0,000000)	Bus	15	403,9	17,3	4,0	21,2	5,8	0,8	27,8	1282	239	1522	395	35	1951	12945	1302	14247	897	78	15222	2327	449	2776	1664	225	4665	26	1868	1894	1187	120	3201	1088	5326	6414	1896	5154	13464	21	4	25	3	0	28	236	181	417	518	128	1063
		Pkw 1P	852,6	37,1	12,1	49,3	15,8	2,6	67,7	2707	836	3543	1019	117	4679	5463	3397	8861	2397	271	11529	23218	1013	24231	4295	720	29247	322	4408	4730	2943	393	8065	32427	12297	44724	5272	16325	66321	198,3	84,6	282,9	8,2	0,4	291,5	0	540	540	1480	435	2455	
		Pkw 2P	426,3	18,6	6,1	24,6	7,9	1,3	33,8	1354	418	1771	510	59	2340	2732	1699	4430	1199	135	5764	11609	507	12116	2148	360	14624	161	2204	2365	1471	196	4033	16213	6149	22362	2636	8163	33160	99,2	42,3	141,8	4,1	0,2	145,8	0	270	270	740	218	1227	
		Pkw 3P	284,2	12,4	4,0	16,4	5,3	0,9	22,6	902	270	1181	340	39	1560	1821	1132	2954	799	90	3843	7739	336	8077	1432	240	9749	107	1469	1577	981	131	2688	10809	4098	14908	1757	5462	22107	66,1	28,2	94,3	2,7	0,1	97,2	0	180	180	493	145	818	
		Pkw 4P	213,2	9,3	3,0	12,3	3,9	0,7	16,9	677	209	886	265	29	1170	1368	849	2215	599	68	2882	5805	253	6058	1074	180	7312	81	1102	1182	736	98	2016	8107	3074	11181	1318	4081	16580	49,6	21,2	70,7	2,0	0,1	72,9	0	135	135	370	109	614	
		Pkw 1P	621,9	26,6	6,1	32,7	15,8	2,6	51,1	1975	369	2343	1019	117	3480	5451	2005	7456	2397	271	10124	945	691	1637	4295	720	6652	19	2876	2895	2943	393	6231	9297	8200	17498	5272	16325	39095	63,0	6,2	69,2	8,2	0,4	77,8	907	278	1185	1480	435	3100	
		Pkw 2P	311,0	13,3	3,1	16,3	7,9	1,3	25,6	987	184	1172	510	59	1740	2725	1003	3728	1199	135	5862	473	346	818	2148	360	3246	10	1438	1448	1471	196	3115	4649	4100	8749	2636	8163	19648	31,5	3,1	34,6	4,1	0,2	36,9	453	139	562	740	218	1559	
		Pkw 3P	207,3	8,9	2,0	10,9	5,3	0,9	17,0	656	193	751	340	39	1160	1317	868	2485	799	90	3375	315	230	546	1432	240	2217	6	959	965	981	131	2077	3099	2733	5833	1757	5462	19332	21,0	6,1	63,1	2,7	0,1	25,9	302	93	385	493	145	1033	
		Pkw 4P	155,5	6,6	1,5	8,2	3,9	0,7	12,8	494	92	586	265	29	870	1363	501	1864	599	68	2531	236	173	409	1074	180	1863	5	719	724	736	98	1558	2324	2050	4374	1318	4081	9774	15,8	1,6	17,3	2,0	0,1	19,5	227	70	296	370	109	775	

Relation 09		Energieaufwendungen [MJ]										CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]												
Schüler - Friedrichshafen		Weglänge [km]		antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ GE-SAMT		antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ GE-SAMT		antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ GE-SAMT		antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ GE-SAMT		antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ GE-SAMT		antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ GE-SAMT																
Hin+Rück		kon-/auf	direkt	Energ. bereit	Σ antrieb.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit	Σ antrieb.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit	Σ antrieb.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit	Σ antrieb.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit	Σ antrieb.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit	Σ antrieb.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT																
B+	RE	Bus	14	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	2	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	26	525	3	217	220	130	14	364	123	618	742	208	605	1555	2	0	3	0	0	3	26	21	47	57	15	110			
			39	875,0	37,4	8,6	46,0	2,3	3,8	52,1	2778	519	3297	156	213	3665	33215	2821	36037	320	752	37701	1056	212	10678	186	210	5691	25	4046	4071	504	848	5424	1038	11537	12575	750	1370	14694	20	9	28	0	1	30	498	391	889	278	735	1903		
			Σ Gesamt	52	921,9	39,4	9,1	48,5	2,9	3,9	55,3	2927	548	3475	199	217	3889	34728	2973	37700	418	762	38880	1717	1025	2742	1838	2236	6216	28	4263	4291	634	892	5768	1161	12155	13316	958	1975	16249	22	9	31	1	1	33	525	412	937	335	750	2022	
			RE	39	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	2	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	26	525	3	217	220	130	14	364	123	618	742	208	605	1555	2	0	3	0	0	3	26	21	47	57	15	110		
				Σ Gesamt	52	507,0	21,7	5,0	25,6	1,8	3,7	32,1	1610	300	1910	120	209	2239	33210	1635	34844	278	728	35850	10707	563	11270	695	2125	14080	86	2344	2430	377	824	3631	3573	6684	10258	618	1910	12786	68	5	73	1	1	75	790	227	1017	186	713	1916
				RE	39	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	2	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	26	525	3	217	220	130	14	364	123	618	742	208	605	1555	2	0	3	0	0	3	26	21	47	57	15	110	
					Σ Gesamt	52	507,0	21,7	5,0	25,6	1,8	3,7	32,1	1610	300	1910	120	209	2239	33210	1635	34844	278	728	35850	10707	563	11270	695	2125	14080	86	2344	2430	377	824	3631	3573	6684	10258	618	1910	12786	68	5	73	1	1	75	790	227	1017	186	713
			RE		39	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	2	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	26	525	3	217	220	130	14	364	123	618	742	208	605	1555	2	0	3	0	0	3	26	21	47	57	15	110	
					Σ Gesamt	52	507,0	21,7	5,0	25,6	1,8	3,7	32,1	1610	300	1910	120	209	2239	33210	1635	34844	278	728	35850	10707	563	11270	695	2125	14080	86	2344	2430	377	824	3631	3573	6684	10258	618	1910	12786	68	5	73	1	1	75	790	227	1017	186	713
				RE	39	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	2	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	26	525	3	217	220	130	14	364	123	618	742	208	605	1555	2	0	3	0	0	3	26	21	47	57	15	110	
Σ Gesamt	52	507,0			21,7	5,0	25,6	1,8	3,7	32,1	1610	300	1910	120	209	2239	33210	1635	34844	278	728	35850	10707	563	11270	695	2125	14080	86	2344	2430	377	824	3631	3573	6684	10258	618	1910	12786	68	5	73	1	1	75	790	227	1017	186	713	1916		
RE	39	46,9	2,0		0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	2	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	26	525	3	217	220	130	14	364	123	618	742	208	605	1555	2	0	3	0	0	3	26	21	47	57	15	110				
	Σ Gesamt	52	507,0		21,7	5,0	25,6	1,8	3,7	32,1	1610	300	1910	120	209	2239	33210	1635	34844	278	728	35850	10707	563	11270	695	2125	14080	86	2344	2430	377	824	3631	3573	6684	10258	618	1910	12786	68	5	73	1	1	75	790	227	1017	186	713	1916		
	RE	39	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	2	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	26	525	3	217	220	130	14	364	123	618	742	208	605	1555	2	0	3	0	0	3	26	21	47	57	15	110				
		Σ Gesamt	52	507,0	21,7	5,0	25,6	1,8	3,7	32,1	1610	300	1910	120	209	2239	33210	1635	34844	278	728	35850	10707	563	11270	695	2125	14080	86	2344	2430	377	824	3631	3573	6684	10258	618	1910	12786	68	5	73	1	1	75	790	227	1017	186	713	1916		
RE		39	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	2	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	26	525	3	217	220	130	14	364	123	618	742	208	605	1555	2	0	3	0	0	3	26	21	47	57	15	110				
		Σ Gesamt	52	507,0	21,7	5,0	25,6	1,8	3,7	32,1	1610	300	1910	120	209	2239	33210	1635	34844	278	728	35850	10707	563	11270	695	2125	14080	86	2344	2430	377	824	3631	3573	6684	10258	618	1910	12786	68	5	73	1	1	75	790	227	1017	186	713	1916		
	RE	39	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	2	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	26	525	3	217	220	130	14	364	123	618	742	208	605	1555	2	0	3	0	0	3	26	21	47	57	15	110				
		Σ Gesamt	52	507,0	21,7	5,0	25,6	1,8	3,7	32,1	1610	300	1910	120	209	2239	33210	1635	34844	278	728	35850	10707	563	11270	695	2125	14080	86	2344	2430	377	824	3631	3573	6684	10258	618	1910	12786	68	5	73	1	1	75	790	227	1017	186	713	1916		
RE		39	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	2	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	26	525	3	217	220	130	14	364	123	618	742	208	605	1555	2	0	3	0	0	3	26	21	47	57	15	110				
		Σ Gesamt	52	507,0	21,7	5,0	25,6	1,8	3,7	32,1	1610	300	1910	120	209	2239	33210	1635	34844	278	728	35850	10707	563	11270	695	2125	14080	86	2344	2430	377	824	3631	3573	6684	10258	618	1910	12786	68	5	73	1	1	75	790	227	1017	186	713	1916		
	RE	39	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	2	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	26	525	3	217	220	130	14	364	123	618	742	208	605	1555	2	0	3	0	0	3	26	21	47	57	15	110				
		Σ Gesamt	52	507,0	21,7	5,0	25,6	1,8	3,7	32,1	1610	300	1910	120	209	2239	33210	1635	34844	278	728	35850	10707	563	11270	695	2125	14080	86	2344	2430	377	824	3631	3573	6684	10258	618	1910	12786	68	5	73	1	1	75	790	227	1017	186	713	1916		
RE		39	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	2	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	26	525	3	217	220	130	14	364	123	618	742	208	605	1555	2	0	3	0	0	3	26	21	47	57	15	110				
		Σ Gesamt	52	507,0	21,7	5,0	25,6	1,8	3,7	32,1	1610	300	1910	120	209	2239	33210	1635	34844	278	728	35850	10707	563	11270	695	2125	14080	86	2344	2430	377	824	3631	3573	6684	10258	618	1910	12786	68	5	73	1	1	75	790	227	1017</					





Schüler - Friedrichshafen EUROA Hin/Rück		Weg- länge (km)	Energieaufwendungen [MJ]										CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]												
			antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt							
			kon- st/alt	direkt	Energ. bereit.	Σ an- trieb- ukur	Fahr- zeuge	Infras- trukt.	Σ GE- SAMT	kon- st/alt	direkt	Energ. bereit.	Σ an- trieb- ukur	Fahr- zeuge	Infras- trukt.	Σ GE- SAMT	kon- st/alt	direkt	Energ. bereit.	Σ an- trieb- ukur	Fahr- zeuge	Infras- trukt.	Σ GE- SAMT	kon- st/alt	direkt	Energ. bereit.	Σ an- trieb- ukur	Fahr- zeuge	Infras- trukt.	Σ GE- SAMT	kon- st/alt	direkt	Energ. bereit.	Σ an- trieb- ukur	Fahr- zeuge	Infras- trukt.	Σ GE- SAMT	kon- st/alt	direkt	Energ. bereit.	Σ an- trieb- ukur	Fahr- zeuge	Infras- trukt.	Σ GE- SAMT	kon- st/alt	direkt	Energ. bereit.	Σ an- trieb- ukur	Fahr- zeuge	Infras- trukt.	Σ GE- SAMT	kon- st/alt	direkt	Energ. bereit.	Σ an- trieb- ukur
B+A	Bus Stadtbahn	Gaisböckbahn	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	224	756	151	908	98	9	1015	158	52	210	183	26	419	26	217	219	130	14	363	86	618	705	208	605	1518	2	0	2	0	0	2	5	21	25	27	15	97					
		Σ Gesamt	875,0	37,4	8,6	46,0	2,3	3,8	52,1	2778	519	3207	156	213	3665	33215	1453	2707	320	752	3707	1056	210	5691	25	4046	4071	504	848	544	1038	11537	12575	750	1370	14694	20	9	28	0	1	30	498	391	889	278	735	1903							
	RE Gaisböckbahn	RE	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	224	756	151	908	98	9	1015	158	52	210	183	26	419	26	217	219	130	14	363	86	618	705	208	605	1518	2	0	2	0	0	2	5	21	25	27	15	97					
		Σ Gesamt	460,0	19,6	4,5	24,2	1,2	3,6	28,8	1461	273	1733	77	205	2015	31697	1483	33180	179	719	34078	10443	511	10954	512	2098	13565	83	2127	2210	247	810	3267	3450	6066	9516	410	1305	11231	66	5	70	0	1	72	764	206	869	129	698	1797				
	RE Gaisböckbahn	Pkw 1P	3290,9	127,2	41,6	168,7	55,2	7,3	231,2	3274	2983	12136	3851	495	16392	3629	11639	15468	8375	1175	25018	11114	2470	14885	15006	2686	32278	402	15100	15992	10290	1385	27147	40897	41228	83025	18417	32197	138640	142,5	289,3	432,4	28,6	1,2	462,2	0	1848	1948	5170	1112	8131				
		Σ Gesamt	1460,4	59,6	20,8	84,4	27,6	3,7	115,8	14637	1431	8098	1780	248	8096	1915	5819	7734	4188	587	12509	5557	1735	7292	7503	1342	18198	201	7650	7751	5140	682	1374	20445	21084	41512	9209	16099	86920	71,2	145,0	216,2	14,3	0,6	231,1	0	924	924	2585	556	4085				
	RE Gaisböckbahn	Pkw 3P	973,6	42,4	13,9	56,2	18,4	2,4	77,1	3091	954	4045	1187	165	5397	1276	3880	5156	2792	392	8339	3705	1157	4862	5002	895	10758	134	5033	5167	3427	455	9049	13632	14043	27675	6139	10732	44547	47,5	96,6	144,1	9,5	0,4	154,1	0	616	616	1723	371	2710				
		Σ Gesamt	730,2	31,8	10,4	42,2	13,8	1,8	57,8	2318	716	3034	890	124	4048	957	2910	3867	2094	294	6255	2779	868	3646	3751	671	8069	101	3775	3876	2570	341	6787	10224	10532	20756	4604	8049	33410	35,6	72,5	108,1	7,1	0,3	115,5	0	462	462	1293	278	2033				
	RE Gaisböckbahn	Pkw 4P	2081,2	86,9	20,5	109,4	55,2	7,3	171,3	6608	1233	7841	3561	495	11897	10569	6711	11280	8375	1175	26830	3203	2313	5516	15006	2686	32266	52	3624	3676	10290	1385	21321	32601	27441	40042	18417	32197	90857	45,7	20,9	66,5	28,6	1,2	96,3	1041	930	1971	5170	1112	8253				
		Σ Gesamt	1940,6	44,4	10,3	54,7	27,6	3,7	65,9	3304	617	3921	1780	248	5945	5288	3365	8840	4188	587	13415	1601	1157	2758	7503	1342	11609	26	4812	4838	5140	682	10660	5301	13720	20021	9209	16099	45329	22,9	10,4	33,3	14,3	0,6	48,1	520	466	985	2585	556	4197				
RE Gaisböckbahn	Pkw 1P	693,7	29,6	8,8	36,5	18,4	2,4	57,3	2203	411	2614	1187	165	3966	3523	2792	392	8943	1068	771	1839	5002	895	7735	17	3208	3225	3427	455	7107	4200	9147	13347	6139	10732	30219	15,2	6,9	22,2	9,5	0,4	32,1	347	310	657	1723	371	2751							
	Σ Gesamt	520,3	22,2	5,1	27,3	13,8	1,8	43,0	1652	308	1960	890	124	2974	2642	1678	4320	2094	294	6707	801	578	1379	3751	671	5802	13	2406	2419	2570	341	5330	3150	6860	10011	4604	8049	22664	11,4	5,2	16,6	7,1	0,3	24,1	260	233	493	1293	278	2063					
RE Gaisböckbahn	Bus	54,9	2,3	0,5	2,9	1,0	0,1	4,0	174	33	207	67	6	280	885	177	1062	153	14	1229	186	61	247	284	41	572	2	254	256	203	22	481	101	724	825	323	942	2090	2	1	2	1	0	3	5	25	30	88	23	142					
	Σ Gesamt	1633,8	69,8	16,1	85,9	4,2	6,4	96,5	5187	968	6156	286	328	6770	62023	5268	67291	587	1256	69134	2714	1816	4530	1937	3872	10339	47	7555	7602	925	1422	9949	1938	21543	23481	1376	2340	27197	37	16	53	1	2	56	930	730	1661	510	1288	3459					
RE Gaisböckbahn	RE	1124,1	48,0	11,1	59,1	2,6	7,2	68,8	3569	666	4235	169	363	4767	1780	885	1075	394	1406	82975	25517	1249	26766	1284	418	4368	32262	202	5198	5401	543	1593	7537	8431	14822	23252	902	2629	26784	160	11	171	1	2	174	1866	503	2368	285	1453	4106				
	Σ Gesamt	1179,0	50,4	11,6	62,0	3,5	7,3	72,8	3743	699	4442	236	369	5047	78335	3801	82137	547	1420	84104	25703	1310	27013	1412	4409	32834	205	5452	5657	746	1615	8018	8632	15545	24077	1226	3571	28874	162	12	174	1	2	177	1871	527	2398	373	1476	4248					
RE Gaisböckbahn	Pkw 1P	2749,1	119,7	39,1	158,8	55,2	5,5	219,5	8728	2694	11422	3561	288	15271	1302	10954	14756	8375	675	23806	8659	3266	11926	15006	1698	19280	377	14212	14589	10280	889	25758	38512	38651	78163	18417	31516	128098	130,9	272,9	403,8	28,6	0,9	433,2	0	1740	1740	5170	913	7283					
	Σ Gesamt	1374,5	59,8	19,6	79,4	27,6	2,7	109,2	4364	1347	5711	1780	144	7636	1901	5477	7378	4188	337	11903	4330	1633	5936	7503	849	14315	189	7106	7295	5140	445	10719	19256	19825	39081	9209	15758	64048	66,4	136,4	201,9	14,3	0,4	216,6	0	870	870	2585	456	3911					
RE Gaisböckbahn	Pkw 2P	916,4	39,9	13,0	52,9	18,4	1,8	73,2	2909	898	3807	1187	96	5090	1267	3651	4919	2792	225	7335	2886	1089	3975	5002	566	9543	126	4737	4863	3427	296	8586	12827	13217	28054	6139	10505	42699	43,6	91,0	134,6	9,5	0,3	144,4	0	580	580	1723	304	2608					
	Σ Gesamt	887,3	29,9	9,8	39,7	13,8	1,4	54,9	2182	674	2856	890	72	3818	950	2739	3689	2094	169	5951	2165	817	2981	3751	425	7158	94	3653	3647	2570	222	6440	8628	8913	19541	4604	7879	32024	32,7	68,2	100,9	7,1	0,2	108,3	0	435	435	1293	228	1956					
RE Gaisböckbahn	Pkw 1P	1986,8	84,8	19,6	104,4	55,2	5,5	165,1	8308	1177	7485	3561	288	11334	9999	6406	16405	8375	675	25455	2506	2208	4714	15006	1698	19280	46	9187	9233	10280	889	24043	37674	37730	18417	31516	87663	41,2	19,9	61,0	28,6	0,9	90,5	1017	888	1906	5170	913	7989						
	Σ Gesamt	993,4	42,4	9,8	52,2	27,6	2,7	82,5	3154	589	3743	1780	144	5667	4999	3203	8202	4188	337	12728	1253	1104	2357	7503	849	10709	23	4594	4617	5140	445	10201	5767	13098	18865	9209	15758	43831	20,6	9,9	30,5	14,3	0,4	45,2	509	444	953	2585	456	3994					
RE Gaisböckbahn	Pkw 2P	662,3	28,3	6,5	34,8	18,4	1,8	55,0	2103	392	2495	1187	96	3778	3333	2135	5468	2792	225	8485	835	796	1571	5002	566	7140	15	3062	3078	3427	296	6801	3845	6732	12577	6139	10505	29221	13,7	6,6	20,3	9,5	0,3	30,2	339	296	635	1723	304	2663					
	Σ Gesamt	496,7	21,2	4,9	26,1	13,8	1,4	41,3	1577	284	1871	890	72	2334	2500	1602	4101	2094	169	6384	827	952	1178	3751	425	5355	11	2297	2308	2570	222	5101	2883	6549	8453	4604	7879	21016	10,3	5,0	15,3	7,1	0,2	22,6	254	222	476	1293	228	1907					
RE Gaisböckbahn	Bus	567,5	24,2	5,6	29,9	5,6	0,8	36,2	1802	336	2138	379	36	2553	9156	1830	10986	860	80	11927	1901	631	2532	1597	231	4360	24	2625	2649	1140	123	3911	1019	7483	8502	1820	5297	15618	19	6	25	3	0	28	54	254	308	497	131	936					
	Σ Gesamt	2199,1	93,9	21																																																			







Relation 11 Schönholzer - Berliner Platz HIN+RÜCK		Weg- länge [km]	Energieaufwendungen [MJ]										CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Pantköl [mg]					Kollektivdosis (PersSV)				
			antriebsbedingt			nicht antriebsbedingt			Σ G.E.-SAMT	antriebsbedingt			nicht antriebsbedingt			Σ G.E.-SAMT	antriebsbedingt			nicht antriebsbedingt			Σ G.E.-SAMT	antriebsbedingt			nicht antriebsbedingt			Σ G.E.-SAMT	antriebsbedingt			nicht antriebsbedingt			Σ G.E.-SAMT	antriebsbedingt			nicht antriebsbedingt			Σ G.E.-SAMT	antriebsbedingt			nicht antriebsbedingt			Σ G.E.-SAMT	
			Kan-wahl	direkt	Energ. bereit.	Σ an-tri.-bed.	Fahr-zeuge	Infras-truktur		direkt	Energ. bereit.	Σ an-tri.-bed.	Fahr-zeuge	Infras-truktur	direkt		Energ. bereit.	Σ an-tri.-bed.	Fahr-zeuge	Infras-truktur	direkt	Energ. bereit.		Σ an-tri.-bed.	Fahr-zeuge	Infras-truktur	direkt	Energ. bereit.	Σ an-tri.-bed.		Fahr-zeuge	Infras-truktur	direkt	Energ. bereit.	Σ an-tri.-bed.	Fahr-zeuge		Infras-truktur	direkt	Energ. bereit.	Σ an-tri.-bed.	Fahr-zeuge	Infras-truktur		direkt	Energ. bereit.	Σ an-tri.-bed.	Fahr-zeuge	Infras-truktur	direkt		Energ. bereit.
B+A	Bus + S-Bahn + Stadtbahn	Bus	81,8	3,5	0,8	4,3	0,7	0,1	5,1	260	48	308	46	3	358	2827	264	2891	106	7	3003	505	91	596	196	19	811	6	378	385	140	10	535	270	1078	1348	223	432	2003	5	1	6	0	0	6	55	37	91	61	10	162	0
		S-Bahn	0,0	18,8	48,4	67,2	1,4	2,5	71,2	0	4286	4286	96	147	4629	0	5448	5448	193	514	6154	0	818	818	825	1498	3140	0	8428	8428	344	573	9345	0	8827	8827	460	923	10210	0	2	2	0	1	3	0	2643	2643	211	487	3341	1,52197E-07
		Stadtbahn	0,0	2,4	0,9	1,3	0,1	0,5	1,9	0	84	84	4	51	139	0	107	107	8	129	244	0	16	16	35	285	338	0	165	165	15	129	309	0	173	173	20	191	383	0	0	0	0	0	0	0	52	52	9	72	132	4,56698E-10
	Σ Gesamt	81,8	22,6	50,2	72,8	2,2	3,1	78,2	260	4418	4678	146	202	5028	2627	5882	1881	8445	306	6491	5005	925	1430	1056	1801	4287	6	8971	8977	499	713	10189	270	10078	10348	703	1545	12966	5	3	8	1	1	9	55	2731	2786	281	569	3636	1,52653E-07	
	Bus + RE + Stadtbahn	Bus	81,8	3,5	0,8	4,3	0,7	0,1	5,1	260	48	308	46	3	358	2827	264	2891	106	7	3003	505	91	596	196	19	811	6	378	385	140	10	535	270	1078	1348	223	432	2003	5	1	6	0	0	6	55	37	91	61	10	162	0
		RE	0,0	5,2	13,4	18,6	0,9	1,9	21,4	0	1185	1185	58	131	1374	0	1506	1506	139	397	2042	0	226	226	379	1036	1641	0	2330	2330	185	443	2959	0	2441	2441	315	685	3440	0	1	1	0	1	2	0	731	731	95	344	1171	4,20794E-08
		Stadtbahn	0,0	0,4	0,9	1,3	0,1	0,5	1,9	0	84	84	4	51	139	0	107	107	8	129	244	0	16	16	35	285	338	0	165	165	15	129	309	0	173	173	20	191	383	0	0	0	0	0	0	0	0	52	52	9	72	132
	Σ Gesamt	81,8	9,1	15,1	24,2	1,6	2,5	38,4	260	1317	1577	109	185	1871	2627	1876	4504	253	533	5289	505	333	838	610	1340	2788	6	2873	2880	340	583	3803	270	3692	3961	558	1307	5826	5	1	7	1	1	8	55	819	874	165	426	1465	4,2534E-08	
	S-Bahn + Stadtbahn	S-Bahn	0,0	18,8	48,4	67,2	1,4	2,5	71,2	0	4286	4286	96	147	4629	0	5448	5448	193	514	6154	0	818	818	825	1498	3140	0	8428	8428	344	573	9345	0	8827	8827	460	923	10210	0	2	2	0	1	3	0	2643	2643	211	487	3341	1,52197E-07
		Stadtbahn	0,0	0,4	0,9	1,3	0,1	0,5	1,9	0	84	84	4	51	139	0	107	107	8	129	244	0	16	16	35	285	338	0	165	165	15	129	309	0	173	173	20	191	383	0	0	0	0	0	0	0	52	52	9	72	132	4,56698E-10
		Σ Gesamt	0,0	19,2	49,4	68,5	1,5	3,1	73,1	0	4370	4370	100	199	4668	0	5554	5554	201	642	6398	0	834	834	860	1783	3477	0	8593	8593	359	702	9854	0	9000	9000	480	1113	10593	0	2	2	0	1	3	0	2695	2695	220	558	3474	1,52653E-07
	RE + Stadtbahn	RE	0,0	5,2	13,4	18,6	0,9	1,9	21,4	0	1185	1185	58	131	1374	0	1506	1506	139	397	2042	0	226	226	379	1036	1641	0	2330	2330	185	443	2959	0	2441	2441	315	685	3440	0	1	1	0	1	2	0	731	731	95	344	1171	4,20794E-08
Stadtbahn		0,0	0,4	0,9	1,3	0,1	0,5	1,9	0	84	84	4	51	139	0	107	107	8	129	244	0	16	16	35	285	338	0	165	165	15	129	309	0	173	173	20	191	383	0	0	0	0	0	0	0	52	52	9	72	132	4,56698E-10	
Σ Gesamt		0,0	5,6	14,3	19,9	0,9	2,5	23,3	0	1269	1269	62	182	1513	0	1613	1613	147	526	2286	0	242	242	414	1321	1978	0	2495	2495	200	573	3268	0	2613	2613	334	875	3823	0	1	1	0	1	2	0	783	783	104	416	1303	4,2534E-08	
L	Berechnung Kollektivdosis	Pkw 1P	3449,9	150,2	49,1	199,3	63,1	12,0	274,4	10992	3381	14333	4073	682	19088	27268	13745	40193	9590	1470	26262	48942	4099	52611	17164	3104	72909	1062	17833	18695	11759	2015	32689	115309	49753	165862	15345	201474	449,9	342,4	792,3	32,7	1,3	826,3	0	2183	2183	5914	1200	9296	0	
		Pkw 2P	1724,7	75,1	24,5	99,6	31,6	6,0	137,2	5476	1690	7166	2038	341	8544	13834	6870	20566	4790	735	26031	24271	2049	26320	8562	1052	36454	531	8916	9446	5879	1007	16334	57655	24976	82531	10533	7973	100737	224,9	171,2	395,2	16,4	0,6	413,1	0	1091	1091	2967	600	4646	0
		Pkw 3P	1149,8	50,1	16,4	66,4	21,0	4,0	91,5	3651	1127	4778	1358	227	6363	9089	4582	13671	3193	490	17354	16181	1366	17547	5721	1035	24303	354	5944	6298	3920	672	10890	38436	16584	55021	7022	5115	67158	150,0	114,1	264,1	10,9	0,4	275,4	0	728	728	1971	400	3099	0
	Berechnung Kollektivdosis	Pkw 4P	862,4	37,5	12,3	49,8	15,8	3,0	68,6	2738	845	3583	1018	171	4772	6817	3436	10253	2395	367	13015	12136	1025	13150	4291	776	18227	266	4458	4724	2940	504	8167	28927	12438	41265	5267	3836	50368	112,5	85,6	198,1	8,2	0,3	205,6	0	546	546	1478	300	2324	0
		Pkw 2P	2887,8	123,3	28,5	151,8	63,1	12,0	206,9	9169	2711	10880	4073	682	19088	27271	13711	40733	9590	1470	48112	3782	3210	6992	17164	3104	27260	59	13354	13413	11759	2015	27187	18919	38076	65895	21066	15345	93407	84,9	28,9	123,8	32,7	1,3	157,8	3718	1291	6009	5914	1200	12123	0
		Pkw 3P	1862,6	41,1	9,5	50,6	17,0	4,0	75,6	3056	970	3827	1358	227	5212	9250	4104	12354	3193	490	16037	1261	1070	2331	5721	1035	2007	20	4451	4471	3920	672	9062	6306	12892	18998	7022	5115	61136	31,6	9,6	41,3	10,9	0,4	52,6	1239	430	1670	1971	400	4041	0
	Berechnung Kollektivdosis	Pkw 4P	721,9	30,8	7,1	37,9	12,0	2,5	50,4	2292	428	2720	1018	171	3909	6938	3328	9266	2395	367	12028	948	802	1748	4291	776	6815	15	3339	3353	2940	504	6797	4730	9519	14249	5267	3836	23352	23,7	7,2	30,9	8,2	0,3	38,4	930	323	1252	1478	300	3031	0
		Bus	730,4	31,2	7,2	38,4	5,1	0,5	44,1	2319	433	2752	348	23	3123	23412	2355	25767	790	52	26609	4388	812	5200	1466	145	6811	56	3378	3433	1046	473	4952	2317	9831	11948	1670	3360	16978	44	7	51	3	0	64	474	327	801	456	80	1337	0
		Stadtbahn	0,0	43,6	112,5	156,1	3,4	5,4	164,9	0	9955	9955	226	276	10456	0	12653	12653	456	1061	14170	0	1900	1900	1951	3293	7143	0	19675	19675	814	1196	21585	0	20503	20503	1088	1971	23562	0	5	5	1	1	6	0	6139	6139	273	1082	7495	3,53514E-07
	Berechnung Kollektivdosis	S-Bahn	0,0	1,1	2,7	3,8	0,4	1,8	6,0	0	241	241	25	150	417	0	307	307	50	393	750	0	46	46	215	955	1216	0	475	475	90	413	977	0	497	497	120	625	1242	0	0	0	0	0	0	149	149	55	276	480	1,31265E-09	
		Stadtbahn	0,0	1,1	2,7	3,8	0,4	1,8	6,0	0	241	241	25	150	417	0	307	307	50	393	750	0	46	46	215	955	1216	0	475	475	90	413	977	0	497	497	120	625	1242	0	0	0	0	0	0	0	149	149	55	276	480	1,31265E-09
		Σ Gesamt	0,0	40,4	104,2	144,6	5,1	8,2	158,0	0	9221	9221	340	410	9971	0	11720	11720	810	1611	14141	0	1760	1760	2216	5045	9020	0	18132	18132	1082	1827	21041	0	18992	18992	1823	3025	23839	0	4	4	1	1	2	8	0	5687	5687	555	1678	7919
Berechnung Kollektivdosis																																																				



Relation 11  
Schmondorfer - Berliner Platz  
mit ET/ACZ  
HIN+RÜCK

Weg- länge [km]	Energieaufwendungen [MJ]										CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Pantköl [mg]					Kollektivdosis [PersSV] Energiebereitstellung					
	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt						nicht antriebsbedingt				
	Kan-wal-lil	direkt	Energ.bereit.	Σ an-tri.-bed.	Fahr-zeuge	Infras-truktur	Σ G.E.-SAMT	direkt	Energ.bereit.	Σ an-tri.-bed.	Fahr-zeuge	Infras-truktur	Σ G.E.-SAMT	direkt	Energ.bereit.	Σ an-tri.-bed.	Fahr-zeuge	Infras-truktur	Σ G.E.-SAMT	direkt	Energ.bereit.	Σ an-tri.-bed.	Fahr-zeuge	Infras-truktur	Σ G.E.-SAMT	direkt	Energ.bereit.	Σ an-tri.-bed.	Fahr-zeuge	Infras-truktur	Σ G.E.-SAMT	direkt	Energ.bereit.	Σ an-tri.-bed.	Fahr-zeuge	Infras-truktur	Σ G.E.-SAMT	direkt	Energ.bereit.	Σ an-tri.-bed.	Fahr-zeuge	Infras-truktur	Σ G.E.-SAMT								
Bus	81,8	3,5	0,8	4,3	0,7	0,1	5,1	260	48	308	46	3	358	2627	264	2891	106	7	3003	505	91	596	196	19	811	6	378	385	140	10	535	270	1078	1348	223	432	2003	5	1	6	0	0	6	55	37	91	61	10	162	0	
Σ Bahn	0,0	8,9	23,0	31,9	1,4	2,5	35,9	0	868	868	96	147	1111	0	882	882	193	514	1688	0	239	239	825	1498	2562	0	3593	3593	344	573	4511	0	3771	3771	460	923	5153	0	1	1	0	1	2	0	626	626	211	487	1324	7,21548E-08	
Stadtbahn	0,0	0,4	1,1	1,4	0,1	0,5	2,0	0	7	7	4	51	63	0	12	12	8	129	149	0	5	5	35	285	325	0	25	25	15	129	169	0	28	28	20	191	239	0	0	0	0	0	0	0	7	7	9	72	87	4,56968E-10	
Σ Gesamt	81,8	12,8	24,9	37,6	2,2	3,1	43,0	260	924	1184	146	202	1531	2627	1257	3884	306	649	4840	505	334	840	1056	1801	3697	6	3997	4003	499	713	5219	270	1078	1348	223	432	2003	5	1	6	0	0	6	55	37	91	61	10	162	0	
Bus	81,8	3,5	0,8	4,3	0,7	0,1	5,1	260	48	308	46	3	358	2627	264	2891	106	7	3003	505	91	596	196	19	811	6	378	385	140	10	535	270	1078	1348	223	432	2003	5	1	6	0	0	6	55	37	91	61	10	162	0	
Σ Bahn	0,0	8,9	23,0	31,9	1,4	2,5	35,9	0	868	868	96	147	1111	0	882	882	193	514	1688	0	239	239	825	1498	2562	0	3593	3593	344	573	4511	0	3771	3771	460	923	5153	0	1	1	0	1	2	0	626	626	211	487	1324	7,21548E-08	
Stadtbahn	0,0	0,4	1,1	1,4	0,1	0,5	2,0	0	7	7	4	51	63	0	12	12	8	129	149	0	5	5	35	285	325	0	25	25	15	129	169	0	28	28	20	191	239	0	0	0	0	0	0	0	7	7	9	72	87	4,56968E-10	
Σ Gesamt	81,8	12,8	24,9	37,6	2,2	3,1	43,0	260	924	1184	146	202	1531	2627	1257	3884	306	649	4840	505	334	840	1056	1801	3697	6	3997	4003	499	713	5219	270	1078	1348	223	432	2003	5	1	6	0	0	6	55	37	91	61	10	162	0	
RE	0,0	5,2	13,4	18,6	0,9	1,9	21,4	0	506	506	58	131	695	0	572	572	139	397	1109	0	139	139	379	1036	1555	0	2096	2096	185	443	2724	0	2199	2199	315	685	3198	0	0	0	1	2	0	365	365	95	344	805	4,20794E-08		
Stadtbahn	0,0	0,4	1,1	1,4	0,1	0,5	2,0	0	7	7	4	51	63	0	12	12	8	129	149	0	5	5	35	285	325	0	25	25	15	129	169	0	28	28	20	191	239	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	9	72	87	4,56968E-10
Σ Gesamt	0,0	5,6	14,5	20,0	0,9	2,5	23,5	0	514	514	62	182	758	0	584	584	147	526	1258	0	144	144	414	1321	1679	0	2121	2121	200	573	2894	0	2227	2227	334	875	3437	0	0	0	1	2	0	372	372	104	416	892	4,25354E-08		
PKW 1P	3449,9	150,2	49,1	199,3	63,1	12,0	274,4	10992	3381	14333	4073	882	19088	32768	13745	41013	9590	1470	52082	48942	4099	52611	17164	3104	72909	1062	17833	18895	11759	2015	32689	115309	49753	165862	15349	201474	489,9	342,4	792,3	32,7	1,3	826,3	0	2183	2183	5914	1200	9296	0		
PKW 2P	1724,7	75,1	24,5	99,6	31,6	6,0	137,2	5476	1690	7166	2038	341	8544	13834	4870	15056	4790	735	26031	24271	2049	26520	8652	1592	36454	531	8916	9448	5879	1007	16334	57655	24976	82531	10533	7973	100737	224,9	171,2	395,2	16,4	0,6	413,1	0	1091	1091	2967	600	4648	0	
PKW 3P	1149,8	50,1	16,4	66,4	21,0	4,0	91,5	3651	1127	4778	1358	227	6363	9089	4582	13671	3193	490	17354	16181	1366	17547	5721	1035	24303	354	5944	6298	3920	672	10890	38436	16584	55021	7022	5115	67158	150,0	114,1	264,1	10,9	0,4	275,4	0	728	728	1971	400	3099	0	
PKW 4P	862,4	37,5	12,3	49,8	15,8	3,0	68,6	2738	845	3583	1018	171	4772	6817	3436	10253	2395	367	13015	12136	1025	13160	4291	776	18277	266	4458	4724	2940	504	8167	28927	12438	41265	5267	3836	50368	112,5	85,6	198,1	8,2	0,3	205,6	0	546	546	1478	300	2324	0	
Σ Bahn	2887,8	123,3	28,5	151,8	63,1	12,0	265,9	9169	3171	10890	4073	882	19088	32768	13745	41013	9590	1470	52082	48942	4099	52611	17164	3104	72909	1062	17833	18895	11759	2015	32689	115309	49753	165862	15349	201474	489,9	342,4	792,3	32,7	1,3	826,3	0	2183	2183	5914	1200	9296	0		
PKW 1P	1443,9	61,1	22,3	75,9	31,6	6,0	113,4	4584	1556	5440	2038	341	7817	13876	4656	16531	4790	735	24056	1891	1605	3496	8582	15350	20	4451	4471	3920	672	9062	6306	12692	18998	7022	5115	31136	31,6	9,6	41,3	10,9	0,4	52,6	1239	430	1070	1971	400	4041	0		
PKW 2P	862,4	37,5	12,3	49,8	15,8	3,0	68,6	2738	845	3583	1018	171	4772	6817	3436	10253	2395	367	13015	12136	1025	13160	4291	776	18277	266	4458	4724	2940	504	8167	28927	12438	41265	5267	3836	50368	112,5	85,6	198,1	8,2	0,3	205,6	0	546	546	1478	300	2324	0	
PKW 3P	721,9	30,8	7,7	50,6	17,0	3,0	66,7	2292	428	2720	1018	171	3909	6938	3258	9266	2395	367	12028	948	802	1748	4291	776	6815	15	3339	3353	2040	504	6797	4730	1919	14249	5267	3836	23592	23,7	7,2	30,9	8,2	0,3	39,4	930	323	1252	1478	300	3031	0	
PKW 4P	730,4	31,2	7,2	38,4	5,1	0,5	44,1	2319	433	2752	348	23	3123	23412	2355	25787	790	52	26609	4388	812	5200	1466	145	6811	56	3378	3433	1046	80	4560	2317	9831	11948	1670	3360	16978	44	7	51	3	0	54	474	327	801	456	80	1337	0	
Σ Bahn	0,0	20,1	51,8	71,8	3,4	5,4	80,8	0	1955	1955	226	276	2457	0	2210	2210	456	1061	3726	0	538	538	1951	3293	5782	0	8091	8091	814	1196	10101	0	8490	8490	1088	1971	11549	0	2	2	1	1	3	0	1410	1410	273	1082	2765	1,62462E-07	
Stadtbahn	0,0	1,1	3,1	4,1	0,4	1,8	6,3	0	21	21	25	150	196	0	34	34	50	393	477	0	13	13	215	955	1183	0	73	73	90	413	576	0	82	82	120	625	826	0	0	0	0	0	0	19	19	55	276	350	1,31265E-09		
Σ Gesamt	730,4	52,3	62,0	114,3	8,9	7,7	131,0	2319	2409	4728	599	449	5776	23412	4599	28011	1296	1506	30813	4388	1363	5761	3631	4393	13775	56	11542	11597	1950	1689	15236	2317	18203	20519	2878	6966	29353	44	9	53	3	2	58	474	1755	2230	784	1438	4452	1,63774E-07	
Bus	730,4	31,2	7,2	38,4	5,1	0,5	44,1	2319	433	2752	348	23	3123	23412	2355	25787	790	52	26609	4388	812	5200	1466	145	6811	56	3378	3433	1046	80	4560	2317	9831	11948	1670	3360	16978	44	7	51	3	0	54	474	327	801	456	80	1337	0	
RE	0,0	40,6	104,3	148																																															





















Relation 15		Energieaufwendungen [MJ]															CO <sub>2</sub> [g]					NO <sub>x</sub> [mg]					CO [mg]					CH <sub>4</sub> [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					Kollektivdosis [PersSV]											
Mannheim - Basel	Hin-Rück	Wege- länge [km]	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E.-SAMT					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E.-SAMT					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E.-SAMT					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ G.E.-SAMT					Energiebereitstellung
			Kanalar- lat	direkt	Energ. bereit.	Σ antri- bed.	Fahr- zeuge	Infrarot- uktr.	direkt	Energ. bereit.	Σ antri- bed.	Fahr- zeuge	Infrarot- uktr.	Σ G.E.- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antri- bed.	Fahr- zeuge	Infrarot- uktr.	Σ G.E.- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antri- bed.	Fahr- zeuge	Infrarot- uktr.	Σ G.E.- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antri- bed.	Fahr- zeuge	Infrarot- uktr.	Σ G.E.- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antri- bed.	Fahr- zeuge	Infrarot- uktr.	Σ G.E.- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antri- bed.	Fahr- zeuge	Infrarot- uktr.	Σ G.E.- SAMT																			
G	UL	Dreisprache	ICET	514	0	149	385	534	29	101	663	0	14524	14524	1892	5846	22282	0	16417	16417	4884	19628	40927	0	3997	3997	11495	64152	79644	0	60105	60105	5751	22585	88440	0	63067	63067	10536	36560	110164	0	11	11	5	13	29	0	10474	10474	2630	21647	34750	1.2E-07									
					Pkw 1P	23420	1020	333	1353	548	36	1937	74367	22952	87310	35359	3332	136001	242961	93320	336282	85171	8385	427837	72142	27927	99988	145014	11362	260345	6349	121074	127422	102085	6673	236180	735489	1073277	182892	181699	1417868	1942	2325	4267	284	5	4556	0	14821	14821	51341	6398	72560	0.0E+00									
					Pkw 2P	11710	510	167	676	274	18	969	37179	11479	48655	17660	1666	68000	121461	46660	168141	41956	4192	213910	36971	13913	49984	74597	5681	133179	3174	40537	43711	51042	3336	118390	367744	108894	336638	91446	80965	708934	671	1162	2134	142	3	2278	0	7470	7470	25670	3199	35283	0.0E+00								
					Pkw 3P	7807	340	111	451	183	12	646	24786	7651	32437	11786	1111	45334	80987	31107	112094	27724	2795	142612	24047	9276	33323	49671	3787	86782	2116	40358	42474	34028	2224	78727	245163	112596	3675759	60964	53900	472623	647	775	1422	95	2	1519	0	4940	4940	17114	2133	24187	0.0E+00								
					Pkw 4P	5855	255	83	338	137	9	484	18589	6738	24327	8840	833	34000	60740	23330	84070	20793	2096	106959	18035	6957	24992	37254	2841	65086	1587	30398	31856	25251	1668	59045	183872	84447	286519	45723	40425	354467	486	581	1067	71	1	1139	0	3705	3705	12835	1600	18140	0.0E+00								
					Pkw 1P	21768	930	214	1144	548	36	1728	69115	12900	82013	35359	3332	136001	242961	93320	336282	85171	8385	427837	72142	27927	99988	145014	11362	260345	6349	121074	127422	102085	6673	236180	735489	1073277	182892	181699	1417868	1942	2325	4267	284	5	4556	0	14821	14821	51341	6398	72560	0.0E+00									
					Pkw 2P	10884	465	107	572	274	18	864	34557	6450	41007	17660	1666	68000	121461	46660	168141	41956	4192	185500	6620	12098	18718	74507	5681	98906	143	50333	50476	51042	3336	104654	42302	143512	195814	91446	80849	358109	137	109	246	142	3	381	13734	4866	18600	25670	3199	47470	0.0E+00								
					Pkw 3P	7256	310	71	381	163	12	576	23038	4300	27338	11786	1111	40236	69757	23897	93154	27724	2795	129672	4413	8065	12479	49671	3787	65937	95	33555	33651	34028	2224	69903	28201	99675	128376	60964	53900	238740	82	73	164	95	2	260	8156	3244	12400	17114	2133	31647	0.0E+00								
					Pkw 4P	5442	232	54	286	137	9	432	17278	3225	13954	8840	833	30176	62916	17547	88985	20793	2096	92754	3310	6049	3959	37254	2841	49453	72	25166	25238	25251	1668	52427	21161	71786	92907	45733	40425	179056	89	54	123	71	1	195	8867	2433	8300	10836	1600	23758	0.0E+00								
					Pkw 1P	27280	1187	388	1575	548	35	2158	86551	28716	113268	35359	3160	151786	312003	108624	421827	33177	7968	512866	65340	32380	97730	149014	10540	257284	7291	140929	148220	102085	6276	258581	814952	893183	1308139	182892	161131	1652158	2167	2706	4893	284	5	5182	0	17251	17251	51341	6232	74824	0.0E+00								
Pkw 2P	13630	593	194	787	274	17	1079	43276	13368	56634	17660	1560	75893	156602	54312	210914	41585	3984	258463	32670	16195	48865	74507	5270	128642	3646	70464	74110	51042	3138	128290	457476	195691	654067	91446	80585	826079	1093	1353	2446	142	3	2591	0	8626	8626	25670	3116	37412	0.0E+00													
Pkw 3P	8987	386	129	525	163	12	719	28850	8905	37756	11786	1053	50599	104401	36200	140609	27724	2656	170989	21780	10797	32577	48671	3513	85761	2430	48976	49407	34028	2092	85527	304984	131061	436045	60964	53710	550719	729	802	1631	95	2	1727	0	8750	8750	17114	2077	24941	0.0E+00													
Pkw 4P	6815	297	97	384	137	9	539	21638	8679	29317	8840	790	37947	78301	27156	105457	20793	1992	128240	16336	8997	24430	37254	2635	64391	1623	35292	37055	25051	1569	64145	229738	86264	327034	45723	40283	413040	547	677	1229	71	1	1295	0	4313	4313	13935	1568	18706	0.0E+00													
Pkw 1P	24063	1028	237	1265	548	35	1847	76400	14280	90660	35359	3160	129178	232481	77598	310070	83171	7968	401208	13246	26747	98992	149014	10540	199546	900	111277	111577	102085	6276	219938	81458	817280	408738	182892	161131	752761	286	240	526	284	5	815	33953	10758	44711	51341	6232	102284	0.0E+00													
Pkw 2P	12032	514	119	632	274	17	924	38200	7130	45330	17660	1560	84589	174821	36794	155030	41585	3984	200460	6622	13374	19396	74507	5270	99773	150	35638	35789	51042	3138	109969	45729	158640	204369	91446	80565	376380	143	120	263	142	3	407	16977	5379	22356	25670	3116	51142	0.0E+00													
Pkw 3P	10321	343	79	422	163	12	616	25467	4753	19220	11786	1053	43360	74784	25863	103397	27724	2656	133798	4416	8916	13331	49671	3513	66515	100	37392	37192	34028	2092	73313	30449	105760	136246	60964	53710	265020	95	80	175	95	2	272	11318	3386	14804	17114	2077	34095	0.0E+00													
Pkw 4P	8016	257	59	316	137	9	462	19100	3565	22665	8840	790	32295	58120	19397	77516	20793	1992	100302	3311	6687	9986	37254	2635	49886	75	27819	27894	25251	1569	54985	22864	79320	102184	45723	40283	188190	71	60	131	71	1	204	8488	2690	11178	12835	1558	25571	0.0E+00													



Nr	Relation Hin- und Rückfahrt	Verkehrsmittel	Reisezeit (freie Fahrt)		Reisezeit (Stau)	IV: variable Kosten ÖV: Zeitfahrkarte		IV: variable Kosten bei STAU ÖV: Zeitfahrkarte		IV: Gesamtkosten (abh. km) (inkl. Vorhaltungskosten) / ÖV: Einzelfahrschein
			Std.:Min.	Std.:Min.		DM	DM	DM	DM	
1	Stuttgart-Möhringen --> Stuttgart: Berliner Platz	Pkw (Benzin)	0:50	1:30	3,68	5,81	2,03	2,43	12,73	
		Pkw (Diesel)			2,03	2,43			12,73	
		Stadtbahn	1:06	2,43	7,20					
2	Stuttgart-West --> Stuttgart-Möhringen: Freibad	Pkw (Benzin)	0:50	0:50	4,05	4,05	2,18	2,18	13,33	
		Pkw (Diesel)			2,18	2,18			13,33	
		Stadtbahn	1:16	2,43	7,20					
3	Leinfelden --> Stuttgart: Hauptbahnhof	Pkw (Benzin)	0:58	1:48	5,79	6,51	3,06	3,07	18,79	
		Pkw (Diesel)			3,06	3,07			18,79	
		Stadtbahn	1:06	3,17	9,60					
		S-Bahn	0:58	3,17	9,60					
4	Freiburg-Rieselfeld --> Freiburg-Zentrum	Pkw (Benzin)	0:32	0:48	1,52	2,20	1,02	1,18	7,27	
		Pkw (Diesel)			1,02	1,18			7,27	
		Stadtbahn	0:48	1,62	3,40					
5	Freiburg-Rieselfeld --> Schauinsland	Pkw (Benzin)	1:00	1:00	3,70	3,70	2,18	2,18	15,15	
		Pkw (Diesel)			2,18	2,18			15,15	
		Stadtbahn + Bus	1:42	1,62	3,40					
6	Gottenheim --> Freiburg-Zentrum	Pkw (Benzin)	0:54	1:18	4,64	5,63	2,48	2,62	15,76	
		Pkw (Diesel)			2,48	2,62			15,76	
		S-Bahn + Stadtbahn	1:02	1,62	5,80					
7	Schlier --> Ravensburg-Zentrum	Pkw (Benzin)	0:28	0:28	1,64	1,89	0,86	0,94	7,88	
		Pkw (Diesel)			0,86	0,94			7,88	
		Bus	0:36	1,34	2,90					
8	Schlier --> Ravensburg: Sportplatz	Pkw (Benzin)	0:44	0:44	2,22	2,22	1,18	1,18	9,09	
		Pkw (Diesel)			1,18	1,18			9,09	
		Bus	1:52	2,09	3,50					
9	Schlier --> Friedrichshafen	Pkw (Benzin)	1:20	1:40	7,48	8,28	4,03	4,37	30,91	
		Pkw (Diesel)			4,03	4,37			30,91	
		Bus + RegioShuttle	1:56	4,64	8,90					
		Bus + RegionalExpress	1:56	4,64	8,90					
10	Bärenthal --> Tutlingen	Pkw (Benzin)	1:08	1:22	6,43	6,84	3,49	3,65	33,94	
		Pkw (Diesel)			3,49	3,65			33,94	
		Bus + RegioShuttle	1:12	5,37	9,20					
		Bus	1:42	4,09	8,50					
		Pkw (Benzin) + RegioShuttle (P&R)	1:02	1:02	5,65	13,29				
		Pkw (Diesel) + RegioShuttle (P&R)			4,52	13,29				
11	Schorndorf --> Stuttgart: Berliner Platz	Pkw (Benzin)	1:08	1:38	8,46	8,96	5,49	5,51	34,55	
		Pkw (Diesel)			5,49	5,51			34,55	
		Bus + S-Bahn + Stadtbahn	2:12	4,74	16,40					
		Bus + RegionalExpress + Stadtbahn	2:12	4,74	16,40					
		Fahrrad + S-Bahn + Stadtbahn	1:56	4,74	16,40					
		Fahrrad + RegionalExpress + Stadtbahn	1:56	4,74	16,40					
12	Rudersberg --> Stuttgart: Berliner Platz	Pkw (Benzin)	1:33	2:13	10,91	11,46	6,95	7,11	44,85	
		Pkw (Diesel)			6,95	7,11			44,85	
		RegioShuttle + S-Bahn + Stadtbahn	2:22	5,52	19,80					
		RegioShuttle + RegionalExpress + Stadtbahn	2:22	5,52	19,80					
		Pkw (Benzin) + S-Bahn + Stadtbahn (P&R)	2:08	2:18	4,74	26,70				
		Pkw (Diesel) + S-Bahn + Stadtbahn (P&R)			4,74	26,70				
		Pkw (Benzin) + RegionalExpress + Stadtbahn (P&R)	2:08	2:18	4,74	26,70				
		Pkw (Diesel) + RegionalExpress + Stadtbahn (P&R)			4,74	26,70				
13	Stuttgart-West --> Rudersberg	Pkw (Benzin)	1:35	1:35	11,26	11,26	7,09	7,09	46,06	
		Pkw (Diesel)			7,09	7,09			46,06	
		Stadtbahn + S-Bahn + Bus	2:46	5,52	19,80					
		Stadtbahn + RegionalExpress + Bus	2:46	5,52	19,80					
		Stadtbahn + ICE	2:46	8,37	79,20					
14	Stuttgart-Möhringen --> Mannheim	Pkw (Benzin)	2:58	4:58	35,07	46,76	23,85	29,29	173,34	
		Pkw (Diesel)			23,85	29,29			173,34	
		Stadtbahn + ICE	2:24	11,54	121,20					
		Stadtbahn + IR	2:46	8,37	79,20					
15	Mannheim --> Basel	Pkw (Benzin)	4:38	5:08	60,59	70,53	41,45	45,77	306,69	
		Pkw (Diesel)			41,45	45,77			306,69	
		ICE	4:38	15,48	184,00					
16	Freiburg-Rieselfeld --> Lindau	Pkw (Benzin)	5:53	6:33	48,32	53,19	28,33	30,57	226,68	
		Pkw (Diesel)			28,33	30,57			226,68	
		RE	8:16	12,17	120,00					

IV: Zugang 2min./Abgang 2min. ÖV: Zugang 4min./Abgang 4min. P+R: Zugang 2min./Umsteigen 4min./Abgang 4 min.	Kraftstoffpreis Benzin (DM/l):	Kraftstoffpreis Diesel (DM/l):	Zuschlag Schmierstoffe Otto-Motor:	Zuschlag Schmierstoffe Diesel-Motor:	Fahrten pro Monat mit Zeitfahrkarte	Durchschnittliche Kosten pro Pkw-km (Mittelwert nach ADAC-Autokostentabelle 1999 - eigene Berechnung):
	1,929	1,569	1%	2%	70	0,61 DM