



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

Inhaltsverzeichnis.....	I
Verzeichnis der Abbildungen.....	V
Verzeichnis der Tabellen.....	VI
Zusammenfassung	VIII
Summary	IX
1 Einleitung	1
2 Vorgehensweise	5
3 Festlegung der zu untersuchenden Fahrten.....	7
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.....	15
3.4.1 Verkehr im Ballungsraum - Stuttgart.....	15
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	27
3.4.5 Regionalverkehr.....	30
3.4.6 Personenfernverkehr innerhalb Baden-Württembergs.....	36
4 Untersuchte Entstehungs- und Wirkungskomponenten	39
4.1 Allgemein	39
4.2 Untersuchte Wirkungskomponenten	40
4.2.1 Energieaufwendungen.....	40
4.2.2 Kohlendioxid (CO ₂)	40

4.2.3 Stickoxide (NO _x)	41
4.2.4 Kohlenmonoxid (CO)	42
4.2.5 Methan (CH ₄)	42
4.2.6 Kohlenwasserstoffe (VOC)	43
4.2.7 Benzol	44
4.2.8 Partikel	44
4.3 Untersuchte Entstehungskomponenten	44
5 Berechnung der direkten Energieaufwendungen und Emissionen	47
5.1 Straßenfahrzeuge	47
5.1.1 Methodischer Ansatz	47
5.1.2 Fahrzeugdaten	49
5.1.3 Streckendaten	52
5.1.4 Einflussfaktoren für Kaltstartzuschläge, Verdampfungsemissionen und Tankatmung nach Motorabstellen	54
5.2 Schienenfahrzeuge	56
5.2.1 Fahrdynamische Grundlagen	56
5.2.2 Simulationsrechnung	61
5.2.3 Datengrundlage	65
5.2.4 Erläuterungen zu den Ergebnissen der Simulationsrechnung	72
5.2.5 Ermittlung der Emissionen der dieselgetriebenen Schienenfahrzeuge	74
6 Berechnung der indirekten Energieaufwendungen und Emissionen	75
6.1 Methodischer Ansatz	75
6.1.1 Technische Grundlage der Bilanzierung	77
6.2 Kraftstoff- und Energiebereitstellung	77
6.2.1 Kraftstoffe (Benzin, Diesel)	78
6.2.2 Strombereitstellung	79
6.3 Fahrzeugbereitstellung	82
6.3.1 Bilanzrahmen und Methodik	82
6.3.2 Fahrzeugtypen	84

6.3.3	Zusammenstellung der Aufwendungen für die Fahrzeugbereitstellung	89
6.4	Infrastrukturbereitstellung	90
6.4.1	Bilanzrahmen und Methodik	91
6.4.2	Infrastrukturtypen.....	94
6.4.3	Zusammenstellung der Aufwendungen für die Infrastrukturbereitstellung	101
6.5	Zusammenfassung der Berechnung der indirekten Energieaufwendungen und Emissionen.....	105
7	Ergebnisse	108
7.1	Allgemeines	108
7.1.1	Gliederung des Kapitels 7 „Ergebnisse“	108
7.1.2	Aufbau und Darstellung der Ergebnisdiagramme	108
7.2	Beschreibung der Ergebnisse.....	112
7.2.1	Verkehr im Ballungsraum - Stuttgart.....	112
7.2.2	S-West – Möhringen-Freibad (Relation 02)	117
7.2.3	Leinfelden – Hauptbahnhof (Relation 03)	118
7.2.4	Verkehr im Ballungsraum – Freiburg i. Br.....	121
7.2.5	Verkehr im ländlichen Raum – Ravensburg/Friedrichshafen.....	123
7.2.6	Verkehr im ländlichen Raum – Tuttlingen	129
7.2.7	Regionalverkehr – Region Stuttgart (Schorndorf/Stuttgart)	136
7.2.8	Personenfernverkehr innerhalb Baden-Württembergs.....	151
7.3	Überprüfung des Einflusses der untersuchten Randbedingungen.....	154
7.3.1	Besetzungsgrad der Fahrzeuge.....	154
7.3.2	Unterschiedliche Wegelängen bei verschiedenen Verkehrsmitteln	157
7.3.3	Berücksichtigung von Vor- und Nachläufen mit anderen Verkehrsmitteln	160
7.3.4	Unterschiedliche Betriebszustände zu verschiedenen Tageszeiten	162
7.3.5	Einfluss der Energiebereitstellung	164
7.3.6	Einfluss der Fahrzeugbereitstellung und der Infrastrukturbereitstellung ...	168
7.3.7	Variation der verwendeten Fahrzeuge.....	170
7.4	Fazit	172
7.4.1	Aussagen im Vergleich IV/ÖV	172

7.4.2 Aussagen im Vergleich ÖV/ÖV	174
7.4.3 Aussagen im Vergleich IV/IV	175
7.4.4 Aussagen aus der Berücksichtigung der vorgelagerten Prozesse	176
7.5 Schlussbemerkung	177
8 Literatur- und Kartenverzeichnis	178
8.1 Literaturverzeichnis	178
8.2 Kartenverzeichnis	180

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)	28
Abbildung 3-11: Schorndorf – Stuttgart-Berliner Platz (Relation 11).....	30
Abbildung 3-12: Rudersberg – Stuttgart-Berliner Platz (Relation 12)	32
Abbildung 3-13: S-West – Rudersberg (Relation 13).....	34
Abbildung 3-14: Stuttgart-Möhringen – Mannheim-Zentrum (Relation 14)	35
Abbildung 3-15: Mannheim – Basel (Relation 15)	37
Abbildung 3-16: Freiburg – Lindau (Relation 16)	38
Abbildung 4-1: Untersuchte Entstehungskomponenten und die jeweils bearbeitenden Institute.....	45
Abbildung 6-1: Hauptprozesse einer Transportdienstleistung	76
Abbildung 7-1: Beispiel für die Darstellung der Ergebnisse (nach Entstehungskomponenten differenziert).....	109
Abbildung 7-2: Beispiel für die Darstellung der Ergebnisse (nach Verkehrsmitteln differenziert)	111

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 5-1: Verkehrsleistungsanteile der Pkw-Fahrzeugschichten 1999 (nach HB EFA 1.1)	50
Tabelle 5-2: Verkehrsleistungsanteile der Linienbus-Fahrzeugschichten 1999 (nach HB EFA 1.1) (Lbus: Linienbus; SMW: Schwere Motorwagen)	51
Tabelle 5-3: Längsneigungsklassen und Eingabewerte	53
Tabelle 5-4: Verkehrssituationen des Handbuchs für Emissionsfaktoren.....	53
Tabelle 5-5: Standzeiten der einzelnen Fahrtzwecke	55
Tabelle 5-6: Zuordnung von Strecken und Zügen	62
Tabelle 5-7: Wagenzugkonfigurationen für Regionalexpress Schorndorf – Stuttgart (Lokomotive: Baureihe 110)	63
Tabelle 5-8: Wagenzugkonfigurationen Regionalexpress Ravensburg – Friedrichshafen (Lokomotive: Baureihe 218)	64
Tabelle 5-9: InterRegio-Wagenzugkonfiguration	64
Tabelle 5-10: Wagenzugkonfiguration für Regionalexpress Freiburg i. Br. – Basel Bad Bf.	65
Tabelle 5-11: Daten der Triebwagen und Triebfahrzeuge (1).....	66
Tabelle 5-12: Daten der Triebwagen und Triebfahrzeuge (2).....	67
Tabelle 5-13: Wagendaten (1).....	68
Tabelle 5-14: Wagendaten (2).....	68
Tabelle 6-1: Ermittelte Sachbilanzgrößen zur Kraftstoffbereitstellung	79
Tabelle 6-2: Strombezug der Bahnsysteme und ermittelte Sachbilanzgrößen zur Strombereitstellung frei Fahrleitung	81
Tabelle 6-3: Fahrzeugtypen mit Kenndaten und ermittelten Sachbilanzgrößen pro Fzkm	89
Tabelle 6-4: Fahrzeugtypen mit Kenndaten und ermittelten Sachbilanzgrößen pro Fzkm (ff)	90
Tabelle 6-5: Bilanzierte Teilaggregate der Straßen	96
Tabelle 6-6: Bilanzierte Teilaggregate der Schienenwege	97
Tabelle 6-7: Ermittelte Sachbilanzgrößen zur Infrastrukturbereitstellung (Bahn).....	102
Tabelle 6-8: Ermittelte Sachbilanzgrößen zur Infrastrukturbereitstellung (Strasse)	104

Tabelle 7-1: Vergleich durchschnittliche Auslastung zwischen ursprünglicher Berechnung und Modellrechnung (Relation 10)	130
Tabelle 7-2: Vergleich der Wegelängen der einzelnen Varianten.....	158
Tabelle 7-3: Emissionen durch Energiebereitstellung bei verschiedenen Strommischen	167

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 und im Freizeitverkehr untersucht in den Ballungsräumen Stuttgart und Freiburg, im Regionalverkehr zwischen Schorndorf und Stuttgart und im ländlichen Raum zwischen Ravensburg und Friedrichshafen sowie im Donautal bei Tuttlingen.

Das Ziel der Studie ist zu prüfen, ob traditionelle Verkehrsplanungsansätze in Bezug auf einen umweltfreundlichen Modal-Split überdacht werden müssen.

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 means of traffic, 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, (e. g. travels due to educational needs), shopping, and leisure traffic. Areas examined include the metropolitan areas Stuttgart and Freiburg, as well as regional routes between Schorndorf and Stuttgart, and the rural areas Ravensburg/Friedrichshafen along with the Danube valley nearby Tuttlingen.

Ultimately the reporting institutes intend to find out whether traditional planning ideas have to be revised with respect to an environmentally-friendly modal split.

1 Einleitung

Bei der Verringerung der durch den Personenverkehr verursachten Umweltbelastungen mittels verkehrsplanerische Maßnahmen gilt als zentrale Strategie die Verlagerung von im motorisierten Individualverkehr erbrachter Verkehrsleistung auf öffentliche Verkehrsmittel. Auch der Generalverkehrsplan Baden-Württemberg 2010¹ 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.

Weitere Unterschiede ergeben sich aus:

- Bereitstellung der Mineralölprodukte

¹ VERKEHRSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1995)

- Zusammensetzung des Kraftwerksparks, der der Strombereitstellung im Falle der Elektrotraktion zugrunde liegt
- Nicht antriebsbedingter Energieaufwand für die Produktion, die Instandhaltung und die Entsorgung der Verkehrsmittel
- 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 (Teil I des Berichts) gliedert sich der Bericht in drei weitere Hauptteile:

- Teil II: Beschreibung des methodischen Grundkonzepts (Kap. 2 bis 4)
- Teil III: Darstellung der Methodik der Berechnungen (Kap. 5 bis 7)
- Teil IV: Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse (Kap. 8 und 9)

Teil II (Kap. 2 bis 4) der Berichts widmet 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, CO₂, NO_x, CO, CH₄, 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 Teil III (Kapitel 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 Teil IV (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 können lediglich 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 öffentlichen Verkehr aufgedeckt werden.

Die Ergebnisse zeigen allerdings, 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 viel 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 von einer Person von A nach B benötigt, 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 wurden 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 (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.

Nicht zuletzt besteht durch die Auswahl dieses Raumes die Möglichkeit, Vergleiche mit Ergebnissen einer früheren Studie geringeren Detaillierungsgrades zu ziehen.

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 Gaisböckbahn 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 ursprünglich 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, dass 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 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 dem Umstand, dass die Wieslauftalbahn am Wochenende mangels Nachfrage nicht verkehrt, und die Verbindung von Schorndorf bis Rudersberg deshalb mit einem Regionalbus der RegionalBus Stuttgart GmbH (RBS) erfolgt.

n 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 Bahnhaltepunkt 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 6 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 Bremsenergie-rückspeichersystem 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 (ZVWV) 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 dann 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 ZVWV 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 zusammengedrückt, die 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-Württemberg².

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 gelege-

² LANDESAMT FÜR STRASSENWESEN, BADEN WÜRTTEMBERG (1999)

nen 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.

Diese beiden Zentren werden durch einen stündlich verkehrenden ICE und eine parallel laufende Autobahn (A6 und A5) verbunden.

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 Hieberstr. 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, was für die Beurteilung der Bremsenergieerückspeisung von Vorteil ist.



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 Relation wurde u.a. auch deshalb ausgewählt, um Auswirkungen von Veränderungen in der Berechnungsmethodik im Vergleich zu einer früheren Studie [FAHL U. et al., 1994], die dieselbe Relation untersuchte, beurteilen zu können.

Die Strecke des IV verläuft über die B27, der Hauptzufahrtsradialen zum Zentrum Stuttgart von Süden her, auf der in den Hauptverkehrszeiten regelmäßig Überlastungen 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 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.

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

Die detaillierten Wegeketten der untersuchten Varianten sehen demnach folgendermaßen aus:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung (Hieberstr.) bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Tiefgarage Bereich Berliner Platz), zu Fuß bis zum Ziel
- **Stadtbahn:** zu Fuß von der Wohnung 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 vom dortigen Bahnhof (Starthaltestelle: ‚Leinfelden Bhf.‘).

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)

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.

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 Stadt-

bahn 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. (Fahrtzweck: B+A, E, F) wurde als Startpunkt eine Wohnung im erst z.T. 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 soll.

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 Autobahnzubringer B31a ins Zentrum zur innerhalb des Altstadtrings gelegenen Rotteck-Tiefgarage.

Detaillierte Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Bereich Zentrum), 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 ‚FR-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 den Stadtbahnen 6 u. 4 und 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 9 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 (Bereich Zentrum), 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 'Bertoldsbrunnen', 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 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. Sie 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

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 befindet sich ein Sportplatz, Tennisanlagen, ein Eisschießplatz und eine Reithalle vorhanden.



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 nach 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 verkehrt, so wie die Breisgau-S-Bahn mit ADtranz Regio-Shuttles, 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 InterRegio 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 Pkw-Antriebstechnik zu untersuchen, wurden als Parametervariation die Pkw-Fahrten für Fahrzeuge der Euro4-Abgasnorm berechnet (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).

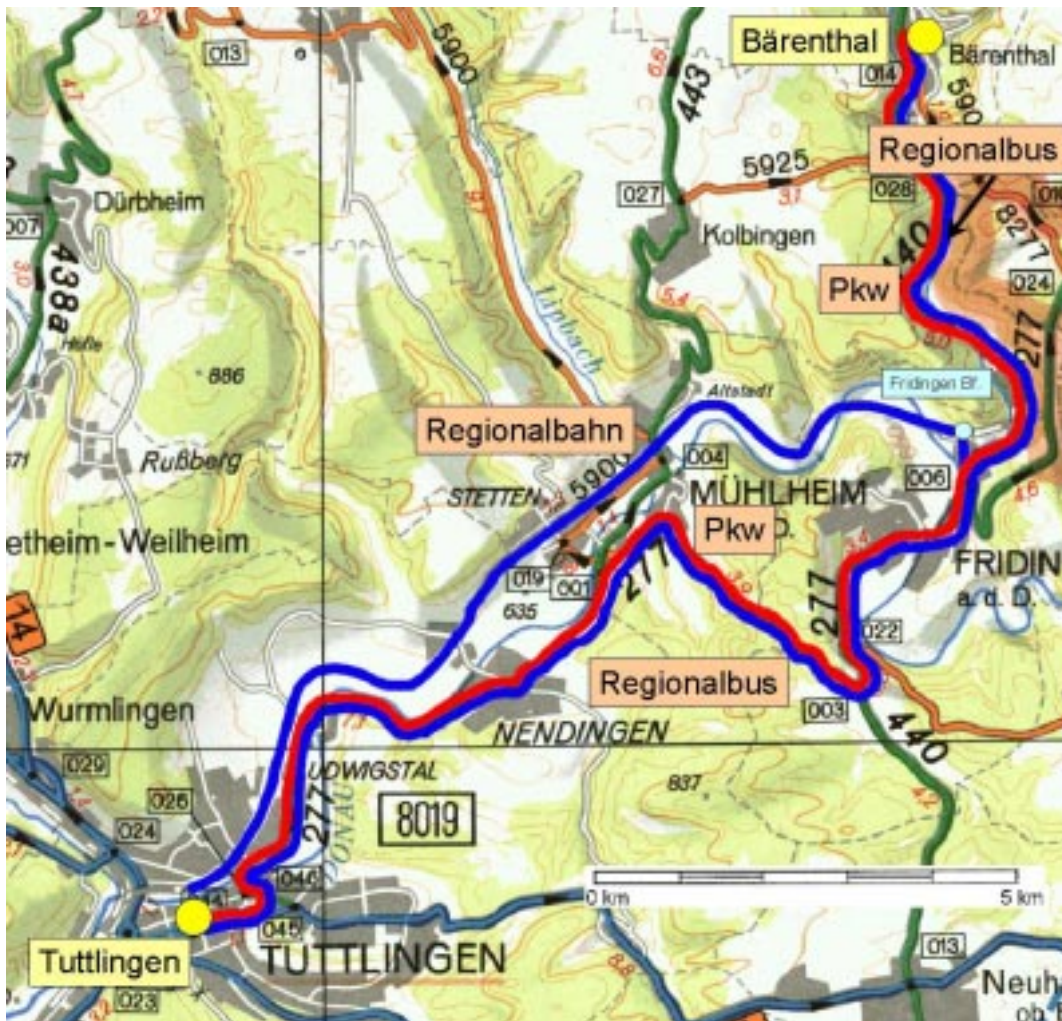


Abbildung 3-10: Bärenthal – Tuttlingen (Relation 10)

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 mor-

gens (7-8 Uhr) und in der Rückrichtung mittags (12-13 Uhr) statt. Bei einer Beibehaltung der bisherigen Zuordnungen wäre dieser Hauptstrom hälftig morgens dem Berufsverkehr 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 (Fahrtzwecke: 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. Da davon ausgegangen werden kann, dass die wenigsten Personen in fußläufiger Entfernung vom 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 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 2 Haltestellen weit mit der Stadtbahn. Auf dieser und den folgenden 2 Relationen im Regionalverkehr der Region Stuttgart wurde ebenfalls wieder als Parametervariation die Simulationen 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 und die Stuttgarter Strasse 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 Wegeketten:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (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. Teilorte) liegt nördlich von Schorndorf. Mit einem Startpunkt im Rudersberger Wohngebiet im Nelkenweg (Fahrtzwecke: 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 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 P+R-Relation (=Park+Ride) untersucht, bei der der Vorlauf von Rudersberg bis Schorndorf mit dem Pkw erfolgt, von dort dann weiter wie gehabt mit S-Bahn, RE und Stadtbahn.

Um den Einfluss der Entwicklung bei der Pkw-Antriebstechnik 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 bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Bereich Berliner Platz), zu Fuß bis zum Ziel
- **Regio-Shuttle + S-Bahn + Stadtbahn:** zu Fuß von der Wohnung bis 'Rudersberg Bf.', mit der Wieslaufalbahn 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 Wieslaufalbahn 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 (Fahrtzwecke: 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 dem Umstand, dass die Wieslaufalbahn 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 bis 'Hbf.', mit der S-Bahn bis 'Schorndorf Bf.', mit der Wieslautalbahn bis 'Rudersberg Bf.', zu Fuß bis zum Ziel
- **Stadtbahn + Regionalexpress + Bus:** zu Fuß von der Wohnung bis 'Berliner Platz (Liederhalle)', mit der U9 bis 'Hbf.', mit dem RE bis 'Schorndorf Bf.', mit der Wieslautalbahn 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 Hieberstr. 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-Quadraten 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.'.

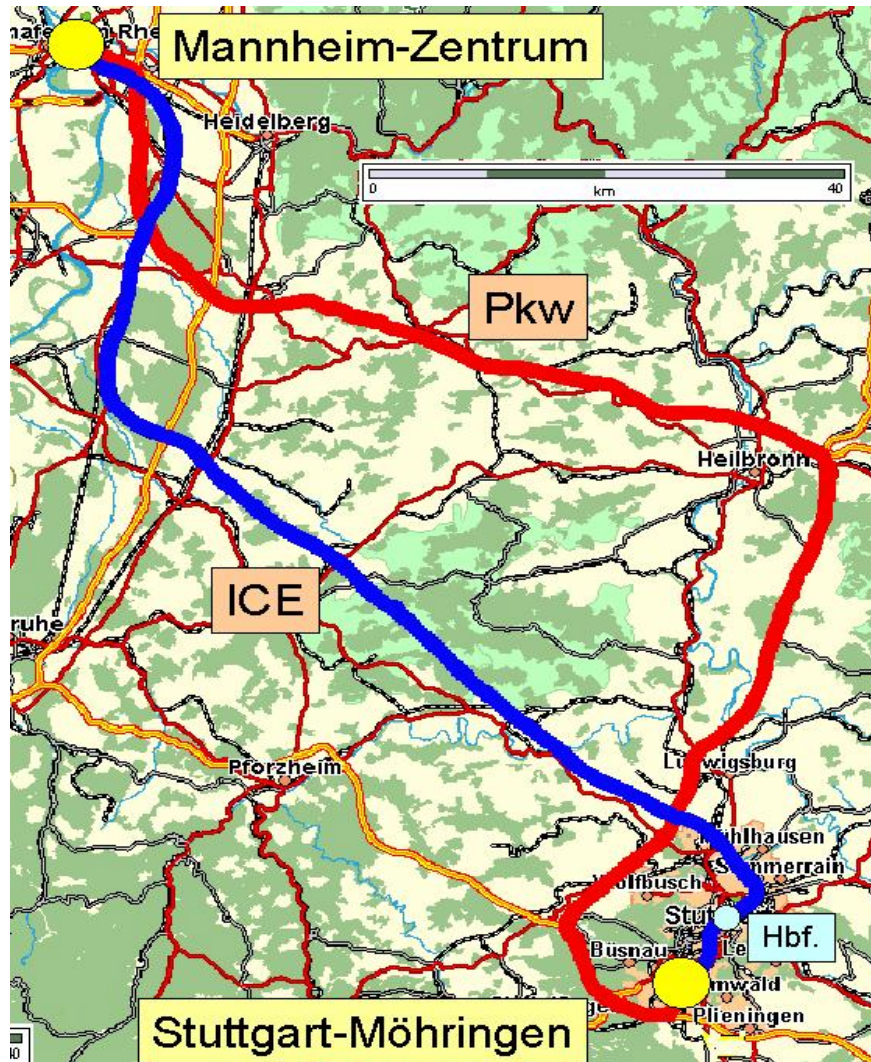


Abbildung 3-14: Stuttgart-Möhringen – Mannheim-Zentrum (Relation 14)

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 Hieberstr. 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-Antriebstechnik zu untersuchen, wurden als Parametervariation die Pkw-Fahrten für Fahrzeuge der Euro4-Abgasnorm berechnet (5.1.2.2).

Detaillierte Wegekette:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung (Hieberstr.) bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Tiefgarage Mannheim-Zentrum), zu Fuß bis zum Ziel (L, M, N)
- **Stadtbahn + ICE1:** zu Fuß von der Wohnung (Hieberstr.) bis ‚Möhringen Bf.‘, mit der U5 bis ‚Stgt.-Hbf.‘, mit dem ICE1 bis ‚MA-Hbf.‘, zu Fuß bis zum Ziel (L, M, N)
- **Stadtbahn + ICE2:** zu Fuß von der Wohnung (Hieberstr.) bis ‚Möhringen Bf.‘, mit der U5 bis ‚Stgt.-Hbf.‘, mit dem ICE2 bis ‚MA-Hbf.‘, zu Fuß bis zum Ziel (L, M, N)
- **Stadtbahn + IR:** zu Fuß von der Wohnung (Hieberstr.) bis ‚Möhringen Bf.‘, mit der U5 bis ‚Stgt.-Hbf.‘, mit dem IR bis ‚MA-Hbf.‘, zu Fuß bis zum Ziel (L, M, N)

3.4.6 Personenfernverkehr innerhalb Baden-Württembergs

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

3.4.6.2 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.‘.

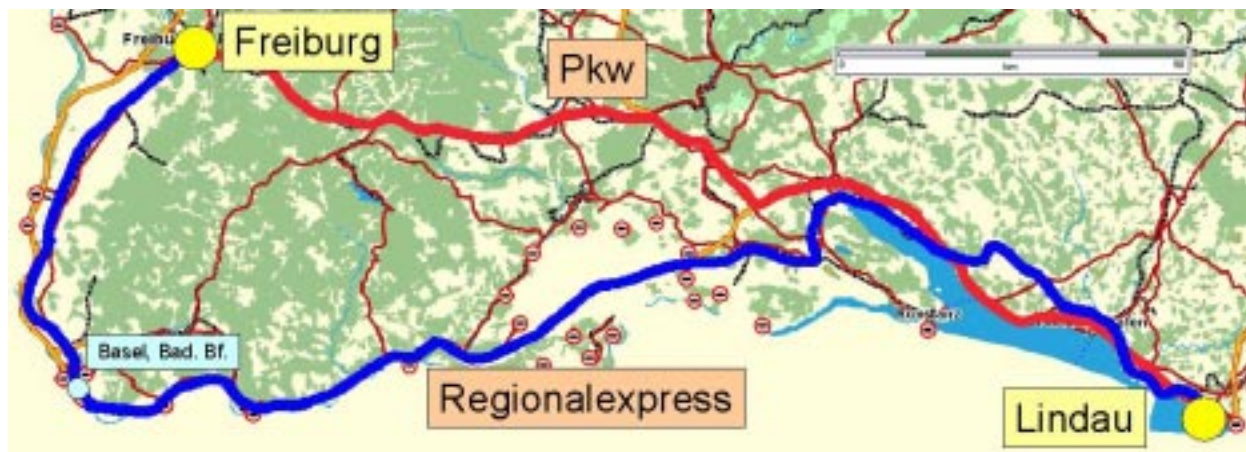


Abbildung 3-16: Freiburg – Lindau (Relation 16)

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 auf der B31 über Friedrichshafen bis zum Parkplatz auf der Lindauer Insel.

Detaillierte Wegekette:

- **Pkw:** zu Fuß von der Wohnung (Willy-Brandt-Str.) bis zum Pkw, mit dem Pkw bis zum Parkplatz (Parkplatz Lindau-Insel), zu Fuß bis zum Ziel (Innenstadt Lindau)
- **Stadtbahn + 2xRegionalexpress:** zu Fuß von der Wohnung (Willy-Brandt-Str.) bis ‚Maria-von-Rudloff-Platz‘, mit der Stadtbahn 6 bis ‚Freiburg Hbf.‘, mit dem Regionalexpress bis ‚Basel Bad. Bf.‘, mit dem Regionalexpress (NeiTech VT611) bis ‚Lindau Hbf.‘, zu Fuß bis zum Ziel (Innenstadt Lindau)

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 Kap. 4.2 dargestellt.

Die einzelnen Wirkungskomponenten werden differenziert nach vier sogenannte 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 wurden zu rein informativen Gründen auch der Zeitaufwand und die Kosten, die durch die Benutzung der jeweiligen Verkehrsmittel entstehen, ermittelt. Im IV wurden die sowohl die Vollkosten eines Pkw, also inklusive Kfz-Steuer, Versicherung, Wertverlust, Verzinsung des Kapitals, Reparaturen etc. angesetzt, als auch die rein variablen Kosten, die durch die tatsächliche Nutzung des einmal gekauften Pkw zusätzlich entstehen. Im ÖV wurden jeweils die Kosten eines Einzelfahrscheines als auch die anteiligen Kosten einer Fahrt bei der Benützung einer Jahresfahrkarte angegeben.

[Diese Tabelle 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 sind 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 natürlich 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 (CO₂)

CO₂ hat keine lokalen, d.h. die Gesundheit des Menschen direkt beeinträchtigende Wirkung. Ebenso besitzt CO₂ keine regionalen Wirkungen (Sommersog, Versauerung der Böden und der Gewässer etc.).

Die relevanten Wirkungen des CO₂ liegen einzig im globalen Bereich. Die Anreicherung des CO₂-Gehalts der Erdatmosphäre resultiert im wesentlichen aus Verbrennungsprozessen. Die anthropogenen Emissionen, von denen 28% in Baden-Württemberg 1998 durch den Verkehr verursacht wurden³, sind dabei hauptverantwortlich für den Konzentrationsanstieg⁴. Dieser Anstieg führt zu einer globalen Erwärmung der Erdatmosphäre, dem sogenannten ‚Treibhauseffekt‘, verbunden mit dem erhöhten Risiko von

³ FRIEDRICH et al. (2000)

⁴ INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (1995)

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

Aufgrund der Tatsache, dass letztendlich das in der Atmosphäre angereicherte CO_2 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_2 zerfallen. Die auch in dieser Studie verwendete Angabe über die entstandene CO_2 -Menge bezeichnet diese Endmenge, und kann daher als CO_2 -Freisetzung bezeichnet werden.

Eben aufgrund der Annahme, dass alle im verbrannten Kraftstoff enthaltenen Kohlenstoffatome sich irgendwann mit zwei Sauerstoffatomen zu einem CO_2 -Molekül verbinden, wird CO_2 direkt proportional zur Menge des verbrannten Kraftstoffs berechnet.

4.2.3 Stickoxide (NO_x)

Unter dem Begriff NO_x 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_2) oxidiert. Stickstoffdioxid ist wasserlöslich und reagiert sauer und oxidierend.

Lokal wirkt es als ein starkes Reizgas, das Schleimhäute und Atemtrakt angreift⁵.

Eine regional bedeutsame Wirkung des NO_2 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 Reizgas⁶.

Des weiteren tragen die Stickoxide zur Versauerung des Regens („saurer Regen“) und damit der Böden und Gewässer bei (zusammen mit SO_2), sowie zu erhöhtem Stick-

⁵ BRAUER (1996)

⁶ BLIEFERT (1997)

stoffeintrag in Böden und Gewässer. Dies führt zu einer Überdüngung der Pflanzen, nitrophile Pflanzen (z.B. Brennnesseln) reagieren mit Überwachstum, stickstoffarme Ökosysteme (z.B. Hochmoore und Trockenrasen) werden geschädigt, es kommt zu einem Artenungleichgewicht und einer Verringerung der Biodiversität⁷.

Ca. 59% der anthropogenen NO_x-Emissionen in Baden-Württemberg stammten 1998 aus dem Verkehrsbereich³.

4.2.4 Kohlenmonoxid (CO)

Das vor allem bei unvollständigen Verbrennungen auftretende Kohlenstoffmonoxid (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%³.

Die Höhe der CO-Konzentration in der Luft hängt stark von der Entfernung zum Kraftfahrzeugverkehr und dessen Dichte ab, in verkehrsreichen Straßen besteht eine direkte Korrelation.

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 Konzentrationsleistung⁵.

4.2.5 Methan (CH₄)

Methan (CH₄) 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 CH₄ als ältere, doch war der Rückgang bei den übrigen Kohlenwasserstoffen weitaus stärker, so dass sich der Anteil des CH₄ erhöhte. Beträchtliche Mengen fallen auch während der Kaltstartphase des Motors an⁸.

⁷ KULL (2000)

⁸ UMWELTBUNDESAMT (1999)

Die Wirkung von Methan ist ebenso wie CO₂ lediglich globaler Art. Wie CO₂ ist Methan ein Treibhausgas, das die Erwärmung der Erdatmosphäre, den Treibhauseffekt mit den oben beschriebenen Folgen unterstützt. Der Anteil des 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 CO₂.

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) beinhalten 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 (von Methan abgesehen).

Lokal können sie, abhängig von der Konzentration, den menschlichen Organismus schädigen, und zwar das Herz-Kreislaufsystem, das Immunsystem und die Haut (halogenierte Kohlenwasserstoffe), sowie Leber und Niere (aliphatische und cyclische Kohlenwasserstoffe). Krebserregend wirken vor allem das Benzol, aber auch die aliphatischen und cyclischen Kohlenwasserstoffe⁵.

Regional wirken Kohlenwasserstoffe, indem einige ihrer Abbauprodukte (RO₂-Radikale) bei starker Sonneneinstrahlung in besonders starkem Maße an Stelle von Ozon mit NO zu NO₂ reagieren. 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 Verkehrsbereich³.

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 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 Kraftfahrzeugverkehr⁵. 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 besondere Bedeutung. Sie werden im Verkehr fast ausschließlich von Dieselmotoren emittiert, 36% der anthropogenen PM10-Emissionen stammten 1998 in Baden-Württemberg aus dem Verkehrswesen³.

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.

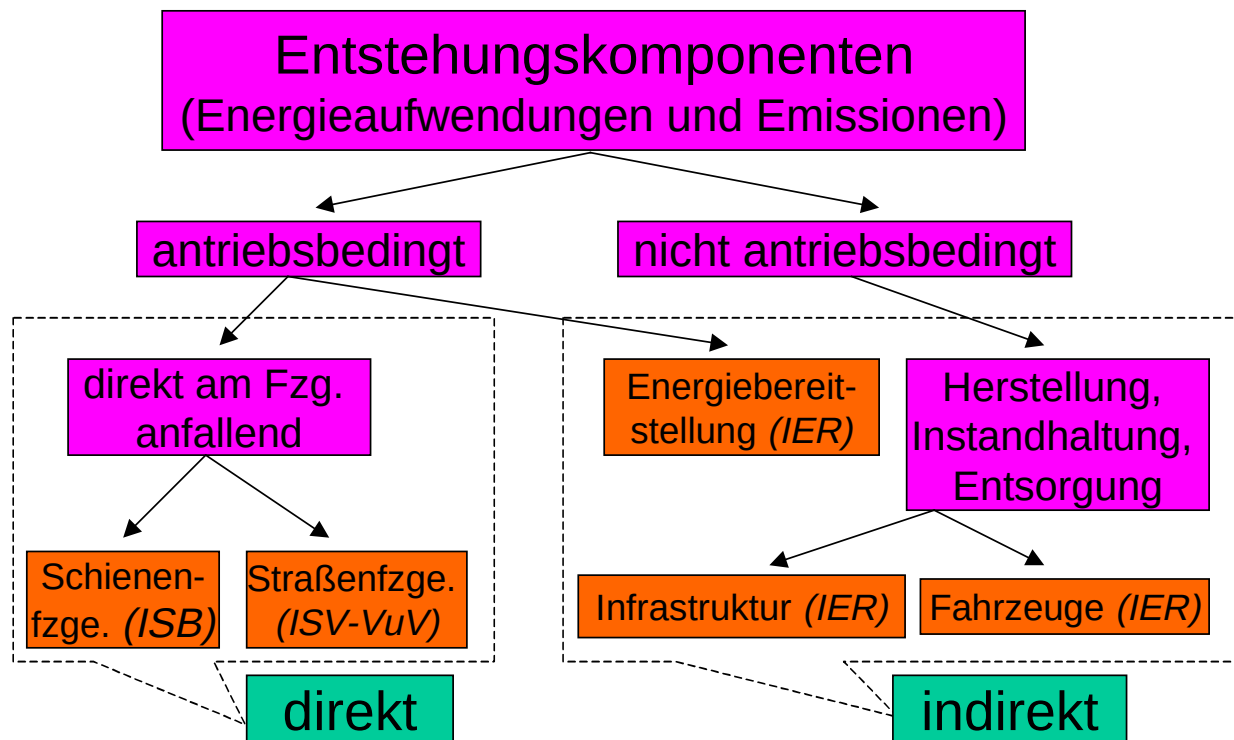


Abbildung 4-1: Untersuchte Entstehungskomponenten und die jeweils bearbeitenden Institute

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 und 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 wurden 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 und 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 und 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 wurden jeweils Werte für die Fahrt eines Pkw mit einer Besetzung von 1, 2, 3 oder 4 Personen ermittelt, wozu das Pkw-Ergebnis durch 1, 2, 3 oder 4 geteilt wird.

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

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

Das HB-EFA 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, Linienbusse, Motorräder, Mofa
- Bezugsjahr für die Festlegung der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte in Deutschland (1980 - 2020)
- Komponenten: mittlerer Kraftstoffverbrauch, CO₂, NO_x, CO, CH₄, 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, Fahrtlängenverteilung, Standzeitenverteilung, Fahrmustermix
- Einflussfaktoren für Verdampfungsemissionen und Tankatmung nach Motorabstellen: Fahrtlängenverteilung, Standzeitenverteilung, Einfluss der Umgebungstemperatur

In den folgenden Kapiteln 5.1.2 Fahrzeugdaten, 5.1.3 Streckendaten und 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
- Busse: zulässiges Gesamtgewicht: ≤ 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 wird ein konkretes Fahrzeugkonzept und eine Hubraumklasse festgelegt.

Bei den Pkw wurde getrennt für Otto- und Dieselmotoren die 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 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 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
LBus	1999	SMW/Euro2	<20t	36%	34%	27%
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)

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 den Längenangaben der 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- oder 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

Längsneigungsklassen	Eingabewert
< -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).

Autobahn-Regelsituationen:	
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
Ausserorts-Regelsituationen:	
AO_1	guter Ausbaugrad, gerade
AO_2	guter Ausbaugrad, gleichm. kurvig
AO_3	ungleichmäßig kurvig
Innerorts-Regelsituationen:	
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 Handbuch-Verkehrssituation zu einem realen Streckenabschnitt ist nach wie vor ein Problem, das auch in der Fachwelt stark diskutiert wird⁹. 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. Im vorliegenden Forschungsvorhaben war dies aufgrund der Vielzahl von untersuchten Relationen und Tageszeiten im gesetzten Zeit- und Kostenrahmen 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 Ganglinien¹⁰.

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 Betriebszustand ermittelt werden, wird das Ergebnis noch mit Zuschlägen für den Kalt-

⁹BECKER & RICHTER (1998)

¹⁰ LAFFONT (1998)

start und die Verdampfungsemissionen und Tankatmung nach Motorabstellen beaufschlagt.

5.1.4.2 Einflussfaktoren für Startzuschläge

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 Fahrtstrecken 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 HB-EWFA 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
Einkaufen	>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 abhängig von den zugrundeliegenden "warmen" Emissionsfaktoren. Es wurde das Fahrmuster ‚D-IO-KS‘, 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. 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. 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_{Lauf} Laufwiderstand in N

W_{Strecke} Streckenwiderstand in N

W_{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/s²)
 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 m² (= 10 m²)
 ρ_{Luft} spezifische Luftdichte in kg/m³
 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 Ns²/m²
 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/s²)
 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
 μ 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/s²)

Tunnelstrecken liegen bei den durchzuführenden Simulationsrechnungen nur auf Stadtbahnstrecken 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.

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

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

mit W_{Beschl} Beschleunigungswiderstand in N
 m Masse des Zuges in kg
 ρ_{rot} Zuschlag für rotierende Massen in kg/kg
 a_{trans} translatorische Beschleunigung in m/s²

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

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

mit a_{trans} translatorische Beschleunigung des Zuges in m/s²
 Z Zugkraft in N
 W_{Lauf} Laufwiderstand in N
 W_{Strecke} Streckenwiderstand in N
 m Masse des Zuges in kg
 ρ_{rot} Zuschlag für rotierende Massen in kg/kg

Für die Bremsvorgänge wird die wirkende Verzögerung $a_{\text{trans}} = a_{\text{brems}}$ 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.

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

mit a_{brems} ... translatorische Beschleunigung des Zuges beim Bremsen in m/s²
 Z Zugkraft (hier Bremskraft, Vorzeichen negativ) in N

W_{Strecke} Streckenwiderstand in N

m Masse des Zuges in kg

ρ_{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:

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

mit $Z_{\text{üb}}$ Übertragbare Zugkraft in N

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

g Erdbeschleunigung (9,81 m/s²)

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 im Nahverkehr mit $m_{\text{FG}} = 75 \text{ kg}$ 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

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

bzw.

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

beschrieben. In Abhängigkeit von der Zeit lauten die entsprechenden Beziehungen

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

Gleichung 16

und

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

Gleichung 17

mit s..... Positionsangabe in m
 v..... Geschwindigkeit in m/s
 a_{trans} translatorische Beschleunigung in m/s²
 t Zeit in s.

Dabei stellt a_{trans} 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 Schrittweitenkontrolle. 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 - 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	Bnrdz
		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. Widerstands-koeffizient W_b [Ns/m]	0	0	61,236	0	0	0	43,56	27,36
Luftwiderstands-koeffizient W_c [Ns ² /m ²]	3,455	5,31	4,834	3,84	3,063	3,629	3,331	3,358
Getriebewirkungs-grad η_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 ² /m ²]	3,63	11,57	8,64	3,76
Getriebewirkungsgrad η_G	Kennfeld	Kennfeld	Kennfeld	Kennfeld
Motorwirkungsgrad Antrieb $\eta_{\text{Mot, antr}}$	Kennfeld	Kennfeld	Kennfeld	Kennfeld
Motorwirkungsgrad Rückspeisung $\eta_{\text{Mot, rück}}$	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	DBbzf 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. Widerstands-koeffizient W_b [Ns/m]	4,41	4,41	4,41	2,94	2,94	2,94
Luftwiderstands-koeffizient W_c [Ns ² /m ²]	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. Widerstands-koeffizient W_b [Ns/m]	2,94	4,41	2,94	2,94	2,94	0	0	0
Luftwiderstands-koeffizient W_c [Ns ² /m ²]	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 η_G modelliert, so dass sich folgender Zusammenhang zwischen der aufgenommenen Leistung P_{auf} und der Leistung am Rad P_{Rad} ergibt:

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

mit

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

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 η_{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 η_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 wurden, soweit vorhanden, den Angaben der Hersteller oder Betreiber entnommen. Nicht vorhandene Werte wurden 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 % 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 werden¹¹.

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.

¹¹ 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 Stoffströme erweiterte Verfahren der Input-Output-Analyse verwendet. Die Verknüpfung der mit Prozesskette 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, CO₂, NO_x, VOC, NMVOC, CH₄, 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.

```
graph BT;
    H[Herstellung] --> FB[Fahrzeugbereitstellung];
    I[Instandhaltung] --> FB;
    E1[Entsorgung] --> FB;
    K[ Kraftstoff- bzw. Energie-  
bereitstellung ] --> FB;
    B[Bau] --> IB[Infrastruktur-  
bereitstellung];
    BI[Betrieb/  
Instandhaltung] --> IB;
    E2[Entsorgung] --> IB;
    FB --> T[Transportdienstleistung];
    K --> T;
    IB --> T;
```

The diagram illustrates the hierarchical structure of a Transport Service (Transportdienstleistung). It is composed of three main branches: Fahrzeugbereitstellung, Kraftstoff- bzw. Energiebereitstellung, and Infrastrukturbereitstellung. Fahrzeugbereitstellung is further divided into Herstellung, Instandhaltung, and Entsorgung. Infrastrukturbereitstellung is divided into Bau, Betrieb/Instandhaltung, and Entsorgung. All three main branches contribute to the overall 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.

76

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.

6.1.1 Technische Grundlage der Bilanzierung

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 ÖKOINVENTARE FÜR ENERGIESYSTEME¹².

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 Bahn.

¹² FRISCHKNECHT et al. (1996)

Da mit der Bereitstellung von elektrischer Energie aufgrund des lokal differierenden Energieträgereinsatzes unterschiedlich hohe Emissionen verbunden sind, wird bei den 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 Dieselmotorkraftstoff 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 ENERGIESYSTEME¹² 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 Dieselmotorkraftstoffen.

Sachbilanzgröße	Kraftstoffe frei Endverbraucher	
	Diesel [MJ]	Benzin [MJ]
KEA [MJ]	1,23	1,33
CO ₂ [g]	14	23
NO _x [mg]	76	92
CO [mg]	26	27
CH ₄ [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 Energieträger¹³¹⁴¹⁵. 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.

¹³ VDEW-STATISTIK (1995)

¹⁴ VWEW (1997)

¹⁵ WIRTSCHAFTSMINISTERIUM (1998)

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.

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 (hauptsächlich Energieträger)	1,3 % (Müll)	0,6 % (Deponiegas)	0,6 % (Müll)	53,7 % (Braunkohle)	30,00% (Braunkohle)
Fremdstrombezug		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 ₂ [g]	20	99	97	352	228
	NO _x [mg]	32	114	110	440	290
	CO [mg]	12	28	27	58	44
	CH ₄ [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 Stromerzeugung¹⁶.

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,

¹⁶ 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 TRANSPORTE¹². 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 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 ausländischen Betreiber verkauft oder verschenkt und den dort 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 TRANSPORT¹⁷. 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 der neue Fahrzeugtyp NeiTech im Raum Basel-Lindau dar, die aufgrund fehlender Daten angenähert werden mussten.

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

¹⁷ 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 TRANSPORTE¹⁷. 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 berücksichtigt¹⁸.

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 Ökoinventar bilanziert. Ein 48 t schwerer Reisezugwagen hat eine Beförderungskapazität von 60 Sitzplätzen. Die Fahrzeugkonzeption der Doppelstock-

¹⁸ STEKELER (1996)

wagen 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 Aluminium- Anteil 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 unbekannten 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, der auch als sogenanntes Flag-Schiff der Deutschen Bahn propagiert wird. 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 Einsatz für weit entfernte Ziele 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 entwickeltem Fahrzeugtyp NeiTech handelt es sich um Triebzüge mit Verbrennungsmotor der Baureihe 611/612. Dieser Zug wird vorrangig im Nahverkehr 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 2. Klasse und 17 der 1. Klasse aufteilen. 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 Sitzplätzen 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 der 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 TRANSPORTE¹⁷ 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 Tabelle 6-3 und in Tabelle 6-3: Fahrzeugtypen mit Kenndaten und ermittelten Sachbilanzgrößen pro Fzkm

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

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

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

Fahrzeugtyp	Triebzüge		Stadtbahn		Personenzugwagen	
	Regio-Shuttle 1erTraktion	S-Bahn 420/421 Kurzzug	DT 8.10 Stuttgart	GT8Z Freiburg	Omnibus	Pkw
Kenndaten						
Platzangebot (Sitz-Stehplätze)	164	448	242	205	ca. 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
Sachbilanzgröße pro Fzkm						
KEA [MJ]	1,82	3,63	3,28	3,44	2,46	1,08
CO₂ [g]	123	243	219	230	167	70
NO_x [mg]	252	490	442	464	378	164
CO [mg]	832	2096	1891	1985	702	293
CH₄ [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 verbunden Aufwendungen aus der Fahrzeugbereitstellung resultierend unter Berücksichtigung der tatsächlichen Fahrgastausastung 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 betrachteten 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 Prozeß-

kettenanalyse 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 Straßenverkehr¹⁹ 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 Energie-

¹⁹ BUNDESVERKEHRSMINISTERIUM (1992)

verbräuche, die in Straßentunnels während der Betriebsphase für Beleuchtung und Belüftung anfallen, ebenfalls erfasst.

Da in der Eigenerhebung von Infrastrukturdaten im Straßenverkehr insbesondere 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 beinhaltet 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 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 Stellplatz- Aufwendungen 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 der Parkhaus

bzw. 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 infrastrukturellen Einrichtungen 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 an-

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

Die Festlegung des Straßenoberbaus erfolgt in Anlehnung an ein Standardwerk zur Straßenbautechnik²⁰, die der Fahrstreifenanzahlen nach den Richtlinien für die Anlage von Straßen²¹. 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 und für den Stadtbereich Stuttgart durch Verwendung von DTV-Werten aus den Zählungen der Landeshauptstadt Stuttgart.

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

²⁰ WENDEHORST (1994)

²¹ FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR DAS STRASSENWESEN (1996)

Erdbau	• Energieaufwand zur Herstellung des Erdplanums
Oberbau	• Materialaufwendung aus Unterbau, Tragschicht, Deckschicht • Energieträgereinsatz für Einbau der Oberbauschichten
Streckenausrüstung	• Materialaufwendungen für Leitplanken-, pfosten, Lichtmasten, Entwässerung, Verkehrszeichen, Lärmschutz • Energieträgereinsatz für Aufstellung der Streckenausrüstung wird gering eingeschätzt und aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt
Betrieb- u. Instandhaltung der Straßeninfrastruktur	• Materialeinsatz für bauliche Unterhaltungsarbeiten • Energieträgereinsatz für Lichtsignalanlagen, Straßenbeleuchtung, Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge für den Straßenunterhalt

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 Nebenfernstrecken¹⁸, womit dann ein sogenannter Oberbaumix bilanziert wird. Eine Ausnahme stellt die Wieslautalbahn dar, auf dessen Strecken ausschließlich Eisenschwellen verbaut worden sind. Die Relationen des

Fernverkehrs über Stuttgart-Mannheim, Mannheim-Basel sowie für Freiburg-Lindau Basel entsprechen Hauptstrecken, die für eine hohe Streckenbelastung ausgelegt sind und überwiegend in neuerer Bauweise erstellt sind. Hierfür ist entsprechend der Oberbautyp mit Betonschwellen bilanziert¹⁸. Die Ermittlung des zugehörigen Materialeinsatzes für die Bahnquerschnitte erfolgt in Anlehnung an ein Grundlagenwerk der Bahntechnik²².

Für die Gleisverlegung ist der Dieselkraftstoffverbrauch eines Schnellumbauzug bilanziert¹⁸. Der Materialeinsatz für Streckenausrüstungen liegt für zweigleisige Neubaustrecken mit Berücksichtigung von Fahrleitungen sowie Signal- und Kommunikationsanlagen vor²³. 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	• Energieaufwand zur Herstellung des Erdplanums
Oberbau	• Materialaufwendung aus Schwellen, Schienen, Kleineisen Mineraltragschicht, Schotter • Energieaufwendung für die Gleisverlegung
Streckenausrüstung	• Materialaufwendung aus Signal- u. Kommunikationsanlagen • Materialaufwendung aus Fahrleitungen für elektrifizierte Strecken • Energieträgereinsatz für Aufstellung der Streckenausrüstung wird gering eingeschätzt und aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt
Betrieb- u. Instandhaltung der Schieneninfrastruktur	• Energieverbrauch für Weichenheizung • Energieverbrauch für Gleisdurcharbeitung des Holzschwellentyp

Tabelle 6-6: Bilanzierte Teilaggregate der Schienenwege

²² FIEDLER (1991)

²³ STEIERWALD (1994)

Der bei der Betrachtung eines Fahrzeuges anzulastenden Schieneninfrastruktur wichtige Faktor der Streckenbelastung ist für den Personenverkehr aus Fahrplänen ermittelt 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 Knotenpunktbereichen, 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 Linienverlaufsplänen 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. Für den 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 Tunnel-

bauwerken 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 aufgefahrene und in Spritzbetonbauweise ausgeführte Tunnel ist bei 98m^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 bei 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 aufgefahrene und in Spritzbeton ausgeführte Tunnel hat mit 67m^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 Materialaufwendungen¹⁸. Brückenbauwerke für Bahnstrecken werden in den 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 durchschnittlicher 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 vervollständigt 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.

Die Anrechnung der Nutzung einer infrastrukturellen Einrichtung über Kosten werden 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 Bahnhalttestellen 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 anzu- lastenden 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 monetäre 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 und Haltestelle beziehen sich jeweils auf die stündliche Nutzung bzw. auf die mit der Benutzung der Haltestelleninfrastruktur verbundenen Aufwendungen durch einen Fahrgast.

Infrastrukturbereitstellung				Sachbilanzgrößen							
				1 m Wegbereitstellung pro Tag							
System	Oberbautyp	Führung	Anzahl Gleise	KEA	CO ₂	NO _x	CO	CH ₄	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	5,95	439	946	4435	1549	1920	0,80	1379
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)

Bahnstrecken des Oberbautyp mit Schwellen-Mix zeigen aufgrund der verwendeten Materialien mit Eisenschwellen etwas niedrige 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 aufzeigt. Parallel zu dieser Bilanz auf Basis von klima- und umwelt-relevanter Emissionen läuft auch die Kostenbilanz für die Betreiber, die aufgrund der Entsorgungskosten einen Einssatz 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 in urbanem Raum 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]	[mg]
Straße	Erschliessungs-	offen	2	0,96	41	92	254	142	5889	0,14	139	
	Hauptverkehrs-	offen	2	1,10	49	110	315	168	7221	0,16	179	
		Tunnel	2	37,63	1588	2791	6987	5667	13589	2,16	2651	
	Ausserorts-	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	
Pkw-Stellplatztyp		Pkw-Stellplatz Nutzung pro Stunde										
Stellplatz,aphaltiert, 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 Straßenwege. Die Aufwendungen für Autobahnen mit Betondecke wie sie auf der A5 zum Einsatz kommt, zeigen in der Bilanz höhere Emissionen und Energieaufwendungen. Im Vergleich 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. Dies wird deutlich, wenn veranschaulicht wird, dass ein Stellplatz ausschließlich von einem einzigen Fahrzeug benutzt wird, während auf den Straßen täglich 20.000 Fahrzeuge die bereitgestellten Straßenwege nutzen. 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 mit bedeutenden Emissionen und Energieverbräuchen im Vergleich zu den Schienenstrecken 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-SYSTEME¹² benutzt worden. Neben der Berücksichtigung des ÖKOINVENTAR TRANSPORTS¹⁷ für die bilanzrelevante Materialzusammensetzung einiger Fahrzeugtypen sind umfangreiche 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 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

7.1 Allgemeines

7.1.1 Gliederung des Kapitels 7 „Ergebnisse“

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.

Überprüfung der aufgestellten Hypothesen:

Geordnet nach den eingangs genannten Randbedingungen („Einfluss der Fahrgastauslastung, des Strommixes etc.‘) werden hier anhand von ausgewählten Relationen die Einflüsse dieser Parameter überprüft und anhand der gewonnen Ergebnisse die Bandbreite dieser Einflüsse dargestellt.

Fazit:

Aus den ermittelten Ergebnissen und deren Diskussion werden mehrere Hauptaussagen der Studie formuliert, die sich so neu ergeben bzw. bestätigt haben.

Schlussbemerkung

7.1.2 Aufbau und Darstellung der Ergebnisdiagramme

Für jeden bei einer Relation untersuchten Fahrtzweck findet sich im Anhang an diesen Bericht 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.

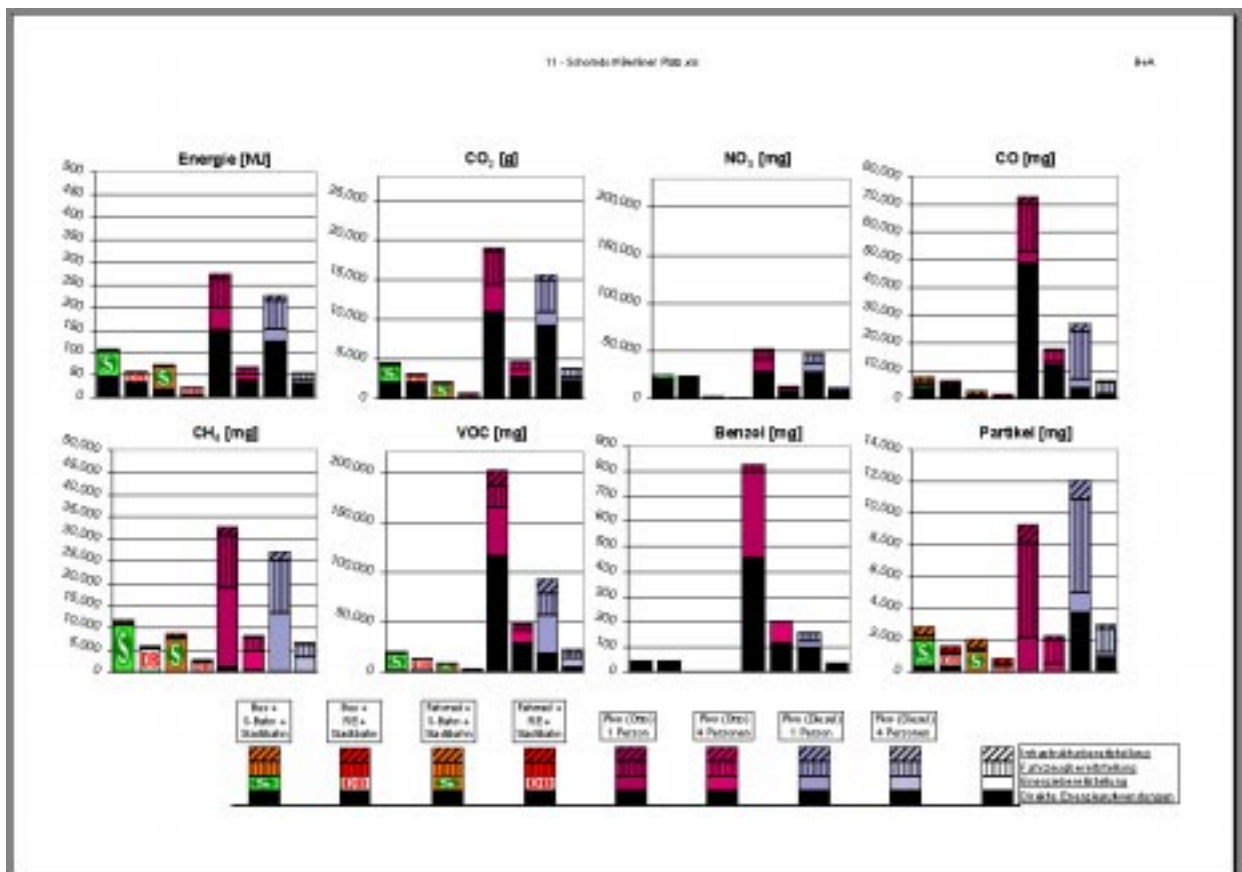


Abbildung 7-1: Beispiel für die Darstellung der Ergebnisse
(nach Entstehungskomponenten differenziert)

Diese Ergebnissseiten 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 Ergebnissseite 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) findet 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, CO₂, NO_x, CO, CH₄, 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 Emissionen. Die zweite Schicht (farbig, z.T. mit Symbol) steht für die zusätzlich für die Energiebereitstellung zu berücksichtigende Energie. 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, wurden zusätzlich für jeden Fall 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).

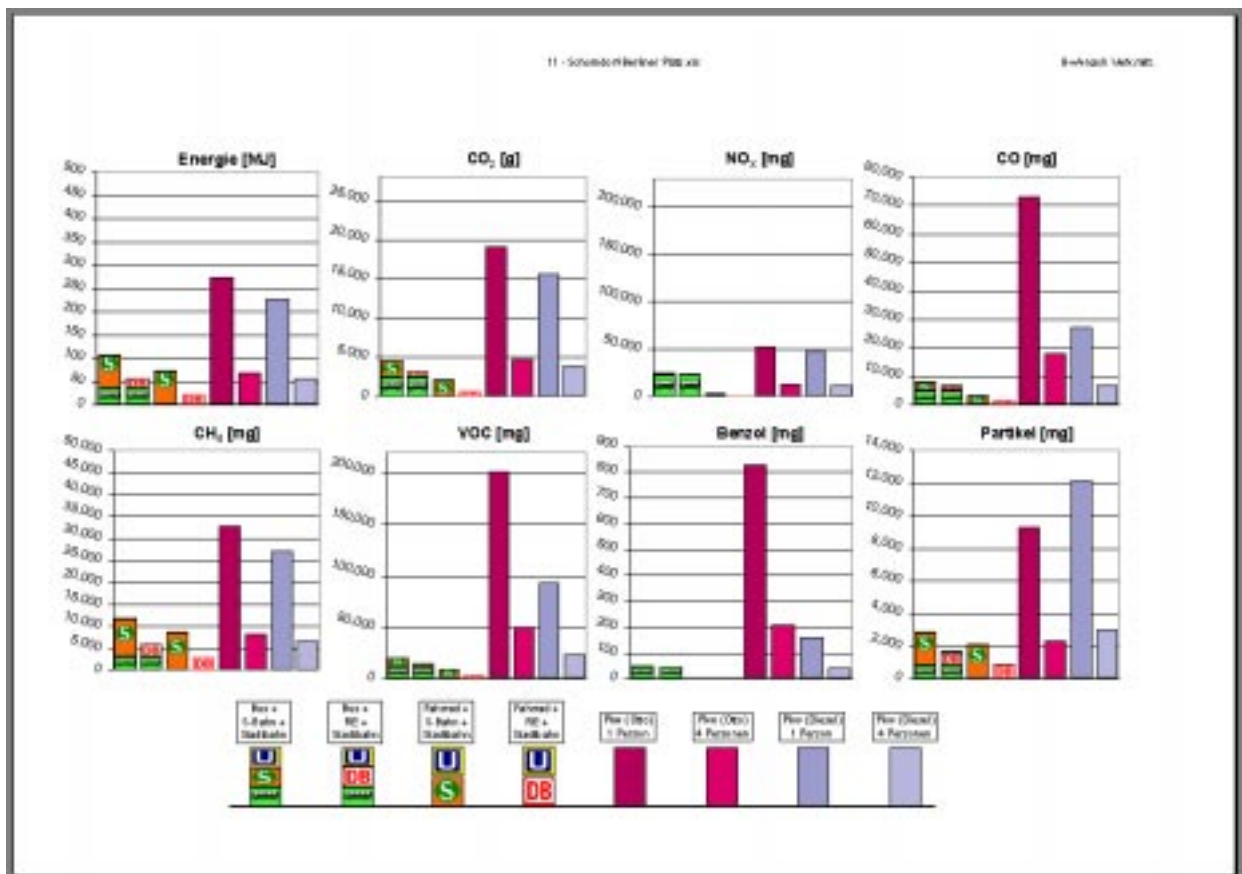


Abbildung 7-2: Beispiel für die Darstellung der Ergebnisse
(nach Verkehrsmitteln differenziert)

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

Die Ergebnisse sind in folgenden Einheiten angegeben:

- Energieaufwand: Megajoule [MJ]
- CO₂-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 CO₂ 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 (CO₂) 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 CO₂ 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 Fahrwege 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 CO₂ 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 und der Diesel-Pkw (4P) gleichauf mit der Stadtbahn ist.

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 CO₂ 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 CO₂, CO, CH₄ und Partikeln schlechter als der Diesel-Pkw (4P).

Bei CH₄ 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 dessen 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 CO₂ 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 CO₂, CH₄ 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 CO₂ auf Werte, die bei den Otto-Pkw um 30%, bei den Diesel-Pkw um 20% geringer sind als bei den EURO2-Fahrzeugen.

Die NO_x-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 Energieaufwendungen und den meisten anderen Emissionen ansonsten übliche Verhältnis zwischen Otto- und Diesel-Pkw.

Die CH₄-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 CH₄ 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.

CO₂ 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_x 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_x-Ausstoß bei der Energiebereitstellung von Benzin am Ende sogar zu einem leicht höheren Wert.

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.

CH₄ 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 CO₂ 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_x, VOC und CO in den Bereich der Pkw (4P) kommt (bei CO liegt die Stadtbahn sogar noch höher), bei CH₄ 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 Einsparpotential. 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, CO₂, CH₄ 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 bei den 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 Straßenbahn 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 Straßenbahn, 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 Straßenbahn ist in allen Kategorien das günstigste Verkehrsmittel, allerdings ist der Abstand zu den mit vier Personen besetzten Pkw beim Energieverbrauch, bei CH₄ und Partikeln sehr gering.

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

Auch die Reihung der Pkw untereinander bleibt gleich. Bei CO ist der Diesel-Pkw (1P) 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 Straßenbahn sich nur geringfügig ändert. Jedoch sind diese Verschiebungen marginal.

F

Aufgrund der schlechten Auslastung des ÖV im Freizeitverkehr übersteigen die notwendigen Energieaufwendungen die CH₄- und die Partikelemissionen der Straßenbahn

nun die Werte der Pkw (4P). Auch bei CO₂, NO_x, CO und VOC liegen die Werte der Straßenbahn 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 Verkehrs eine kombinierte Fahrtenkette aus Straßenbahn und Bus zu betrachten.

Der öffentliche Verkehr ist etwas umweltfreundlicher als die Pkw (1P). Die Werte von Energieaufwand, CO₂, CH₄ und Partikel liegen im Bereich der Pkw (1P) bzw. knapp darunter.

Bei NO_x ist der ÖV 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 ÖV 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 CO₂, NO_x, 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, was sich hier negativ für den Bus auswirkt. Die hohen NO_x-Emissionen sind allerdings 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_x und Partikeln werden Werte im Bereich der Pkw (4P) erreicht. Die hohen NO_x erklären sich aus der bekannten Problematik der Nutzfahrzeug-Dieselmotoren. Der hohe Partikelwert resultiert aus der Infrastrukturbereitstellung, wo sich insbesondere die relativ geringe Auslastung der Strecke von Gottenheim nach

Freiburg Hbf., auf der lediglich die Fahrzeuge der Breisgau-S-Bahn unterwegs sind, auswirkt.

Aufgrund des sehr kurzen Nachlaufs mit der Stadtbahn vom Hbf. 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_x-Emissionen des ÖV überstiegen 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 schienen- gebundenen Verkehr betrachtet wird. Vielmehr ist die Relation Schlier – Ravensburg-Zentrum eine reine Busrelation. Dementsprechend erreicht der Bus hier auch sehr gute Auslastungsgrade, was dazu führt, dass er in fast allen Kategorien das günstigste Verkehrsmittel ist. Lediglich bei NO_x liegen die Werte des Busses, wie auch bei den schon untersuchten dieselgetriebenen ÖV-Verkehrsmitteln, ganz knapp über den Werten des Diesel-Pkw (4P).

Energieverbrauch und somit auch die CO₂-Emissionen des Busses liegen bei rund 30% der Werte der Pkw (4P), bei den übrigen Emissionen (abgesehen von NO_x) 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 un-

gefähr doppelt so hoch wie im Fall B+A. Bei NO_x liegt der Bus nun im Bereich der Diesel-Pkw (2P), bei Energieverbrauch und CO₂ 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, CO₂-, NO_x-, CO- und Benzol-Emissionen klar der direkte Bereich den deutlich größten Beitrag verursacht. Die Energiebereitstellung dominiert lediglich bei CH₄ 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 besserer 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.

F

Die schlechte Auslastung im abendlichen Freizeitverkehr bringt den Bus bei Energieverbrauch, CO₂ und CH₄ 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_x erreicht der Bus nun Werte um 30% (Otto) bzw. 55% (Diesel) über den Werten des Pkw (1P).

Von NO_x 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 beinhaltet, 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 ÖV kann man sagen, dass der Bus im Vorlauf außer im Fall F keinen nennenswerten Beitrag zum Gesamtergebnis bringt.

Einzig bei NO_x erreichen die ÖV-Kombinationen dem Pkw (Otto-Motor) (1P) vergleichbare Werte.

Der Vergleich der ÖV-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_x-, 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 CO₂-Ausstoss nun deutlich ungünstiger als die Pkw (4P).

Beim NO_x 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_x-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 CO₂-Emissionen des ÖV 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_x-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_x-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_x (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, CO₂, CO, CH₄ 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_x 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, was ebenfalls ein Grund für die geringeren Reduktionen ist.

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

Bei beiden Pkw liegen die Rückgänge bei Energieaufwendungen, CO₂ und CH₄ 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_x-Emissionen beider Fahrzeuge zu verzeichnen, die um 30-35% die sinken, und bei Benzol, das um fast 40% zurückgeht.

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 NO_x vorweisen, diese Werte sinken im Gesamtergebnis um fast 50%. CO geht um 20% zurück. Die Kohlenwasserstoffe CH₄, VOC und Benzol reduzieren sich im Gesamtergebnis weniger stark, da hier, trotz eines Rückgang der direkten Emissionen um 30%, die indirekten Entstehungskomponenten überwiegen. Dies zeigt sich noch stärker bei den Partikeln, welche bei den direkten Emissionen um über 80% zurückgehen, das Gesamtergebnis reduziert sich allerdings lediglich um 20%.

Im Vergleich aller Verkehrsmittel untereinander verändert sich bei NO_x 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 CH₄, 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 ÖV bei NO_x 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_x bleibt das Verhältnis zwischen IV und ÖV bestehen, auch wenn durch sinkende NO_x-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) zugeordnet 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, sondern erst in der Modellrechnung.

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 bei CO₂-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‘, was auf den gegenüber Dieselmotoren höheren Energieverbrauch der Otto-Motoren zurückzuführen ist.

Bei NO_x sind die Werte des ÖV 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_x emittiert. Wieder zeigt sich die NO_x-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 CH₄ 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 ÖV, 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 CO₂-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_x 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 Bärenthal 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 das günstigste Verkehrsmittel sind hier die reine ÖV-Variante und der Diesel-Pkw (4P).

Bei den Stoffen CH₄, 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 CO₂-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_x erreicht der ÖV das 7-8fache der Werte des nächstplatzierten Otto-Pkw (1P). Das Regio-Shuttle ist hier sogar für 98% der NO_x-Emissionen verantwortlich. 90% der Emissionen sind direkte Emissionen.

Lediglich durch den Kaltstarteffekt liegen die reine ÖV-Variante und die P+R-Kombination (Diesel-Pkw) beim CO unter dem 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 CH₄, 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 20-25 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, CO₂, NO_x und CH₄ bei der Hälfte der Werte der übrigen ÖV-Varianten. Zu 80% sind dies, von CH₄ abgesehen, direkte Emissionen. Außer bei NO_x 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 passendere 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, CO₂, CH₄ und Partikel.

Bei allen Komponenten, außer NO_x, sind die Abstände zu den P+R-Varianten deutlich. Bei NO_x ist der Bus 20% günstiger als die Regio-Shuttle-Bus-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_x-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 ÖV 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.

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_x, 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 CO₂-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 resultiert vom Bus. Die CO₂-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 CO₂-Emissionen höher.

Die NO_x-Emissionen der ÖV-Varianten liegen bei der Hälfte der Werte der Pkw (4P) und sind zu 50-70% vom Bus verursacht.

Auch CO wird zu 20-30% vom Bus emittiert, erreichen die andern IV-Verkehrsmittel um ein Vielfaches höhere Werte (PKW (1P) 18-mal höher).

Die Energiebereitstellung verursacht beim CH₄ 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 ÖV 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, CH₄). 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 CO₂-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_x-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 CH₄ 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 Infrastruktur-bereitstellungsanteil 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-Dtld.-Mix \(nach Entstehungskomponenten\) /](#) [B+A-Dtld.-Mix \(nach Verkehrsmitteln\)](#)

Die Betrachtung der Stromerzeugung mit dem Deutschlandmix (ca. 30% Atomstromanteil) bringt keine nennenswerten Unterschiede. Die CO₂-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_x-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 ÖV.

F-Dtld.-Mix (nach Entstehungskomponenten) /

F-Dtld.-Mix (nach Verkehrsmitteln)

Im Freizeitverkehr sind durch die Betrachtung des Deutschland-Mixes nur bei einzelnen Komponenten relevante Änderungen festzustellen.

Allerdings steigen die CO₂-Emissionen der Buskombinationen um fast 70%, 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_x-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-NRW-Mix (nach Entstehungskomponenten) /

B+A-NRW-Mix (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_x keinen relevanten Anteil am Gesamtergebnis.

Die CO₂-Emissionen der S-Bahn-Varianten steigen gegenüber dem Baden-Württemberg-Strommix auf das Dreifache, 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 Partikel der Schienenverkehrsmittel steigen auf das Doppelte, so dass die S-Bahn-Varianten nun im Bereich der Pkw (2P) liegen.

F-NRW-Mix (nach Entstehungskomponenten) /

F-NRW-Mix (nach Verkehrsmitteln)

Die Überlagerung des veränderten Strommixes mit dem Effekt der geringen Fahrgastauslastung im abendlichen Freizeitverkehr führt dazu, dass bei den CO₂-Emissionen die Bus-Kombinationen nun ungünstiger werden wie die Pkw (1P). Die Fahrradkombinationen liegen knapp unter den Pkw (1P).

Bei NO_x nehmen die Bus-Kombinationen um rund ein Drittel zu, wodurch sie in den Bereich der Pkw (1P) gelangen. Der Anteil des Busses beträgt nun hier noch 60%. Die Werte der Fahrrad-Kombinationen steigen um das Dreifache und sind nun ungünstiger als die Pkw (4P).

Auch bei CH₄ 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, und die Fahrradkombinationen knapp darunter.

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_x, 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 CO₂-Emissionen, allerdings aufgrund des hohen Atomstromanteils noch ausgeprägter. Alle ÖV-Varianten sind hier günstiger als die Pkw (4P).

Bei NO_x, 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 CH₄-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 somit 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 CO₂-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_x, CO, VOC und Benzol sind nicht relevant.

Die CH₄-Emissionen sinken bei der S-Bahn-Bus-Kombination um 35%, so dass sie nun im Bereich der Pkw (2P) liegt. 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 CH₄, 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 Wieslaufalbahn als Zubringer zum Schorndorfer Bahnhof untersucht, zum andern auch die Möglichkeit des Park+Ride, und zwar sowohl mit einem Otto- also 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 CO₂-Emissionen der elektrisch betriebenen Verkehrsmittel sind 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_x-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 beim CH₄ 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 gleichauf mit dem Otto-Pkw (4P) liegt. Etwas höhere Partikel-Emissionen entstehen bei der Fahrt des Diesel-Pkw (4P), die P+R-Varianten liegen darüber. 3-4mal 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, was darauf zurückzuführen ist, 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 CO₂-Emissionen sind es atomstrombedingt sogar lediglich 50%. S-Bahn und Regionalexpress haben aufgrund verhältnismäßig geringerer Auslastun-

gen 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% (CO₂).

Die NO_x-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).

CH₄ zeigt dasselbe Ergebnis wie Energieverbrauch und CO₂, 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 5mal höher. Die Otto-P+R-Varianten liegen darüber, die Diesel-P+R-Varianten liegen darunter. Ungünstigstes Fahrzeug ist wieder der Otto-Pkw (1P) mit fast fünfmal höheren Emissionen als die eben genannten, somit also 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, CO₂, CH₄, 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 CO₂-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 CH₄-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 6 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 3 S-Bahn-Varianten sinkt um ca. 35%, wodurch diese in den Bereich der Pkw (2P) kommt.

Deutliche Verbesserungen für die S-Bahn ergeben sich auch bei CH₄ 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_x 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_x 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 Wieslautalbahn 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 CO₂ 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_x 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 ÖV auf Werte, die im Bereich der Pkw (4P) liegen bzw. sogar leicht ungünstiger sind.

Die CO₂-Freisetzung des ÖV 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_x liegt der ÖV noch günstiger. Durch ihn werden nur rund ein Drittel der Emissionen der Pkw (4P) verursacht. Mehr als die Hälfte entfällt dabei beim ÖV auf die Infrastrukturbereitstellung.

Die CO- und CH₄-Emissionen des ÖV liegen im Bereich der Werte der Pkw (4P) bzw. leicht darüber (CH₄).

Die VOC- und Benzol-Emissionen des ÖV sind wie bereits erwähnt sehr gering. Die VOC-Emissionen liegen bei der Hälfte, bei Benzol sind es 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 ÖV 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 geringer Energieaufwendungen als der freie Verkehr, der im Fall GS auf vielen Abschnitten angenommen wurde.

Der ÖV verursacht nun knapp die Hälfte der Energieaufwendungen der Pkw (1P).

Bei CO₂ liegt er im Bereich der Pkw (4P).

Bei CO und Benzol ist der ÖV 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 ÖV nach wie vor die geringsten Emissionen aller Verkehrsmittel auf.

F (nach Entstehungskomponenten) / F (nach Verkehrsmitteln)

Die 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 ÖV nur auf Werte knapp über denen des Falls B+A.

Die IV kommt aufgrund von noch mehr Streckenabschnitten mit freiem Verkehr auf Werte, die noch einmal 5% über denen des Falls GS liegen.

In der Gesamtbetrachtung kommen beide Verkehrsmittel auf etwas höhere Werte als im Fall B+A, die Verhältnisse zwischen den Verkehrsmitteln bleiben allerdings fast gleich.

B+A mit ICE2 und IR (nach Entstehungskomponenten) **/ B+A mit ICE2 und IR (nach Verkehrsmitteln)**

In dieser Parametervariation der Relation 14 wurden zusätzlich ein ICE2 und ein modifizierter Inter-Regio-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 Inter-Regio 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, CO₂ und CH₄ 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 aufgrund seiner zwei Triebköpfe 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 Inter-Regio sind 15-20% geringer als die des ICE1. Dies ist auf die deutlich niedrigere Spitzengeschwindigkeit der Inter-Regio von 200 Km/h gegenüber 250 Km/h des ICE1 zurückzuführen. Trotz dieser niedrigeren Spitzengeschwindigkeit und eines zusätzlichen Halts benötigt der real verkehrende Inter-Regio doch nur 48 min. gegenüber 38 min. des ICE für die einfache Fahrt.

GS mit ICE2 und IR (nach Entstehungskomponenten)

/ GS mit ICE2 und IR (nach Verkehrsmitteln)

Die Verhältnisse zwischen den Werten der Züge sind gleich wie 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 Inter-Regio 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 Schienenfahrzeuge erreicht.

F mit ICE2 und IR (nach Entstehungskomponenten)

/ F mit ICE2 und IR (nach Verkehrsmitteln)

Aufgrund der schon beschriebenen Ähnlichkeit der Ergebnisse von Fall F und Fall B+A 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 bei 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_x 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 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 IV 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 CO₂-, NO_x-, VOC- und Benzol-Emissionen sind zwar immer deutlich geringer als die der Pkw (4P), doch werden bei CO, CH₄ 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 zuvor, so dass der Energieaufwand nun zwischen den Werten der beiden Pkw (2P) liegt.

Bei CO₂ und VOC liegt er mit den Pkw (4P) nun fast gleich auf, die Ergebnisse bei CO, CH₄ und Partikeln sind entsprechend schlechter.

Lediglich bei NO_x 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 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 10-15 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 ÖV 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 CO₂ in den Bereich des Diesel-Pkw (1P), der Otto-Pkw (1P) ist am ungünstigsten. Bei GS ist die CO₂-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 CO₂-Freisetzung verantwortlich war.

Bei NO_x schneidet der ÖV sehr schlecht ab. In beiden untersuchten Fällen sind seine Werte, zu 98% verursacht durch den NeiTech-Dieseltriebwagen, um das Vierfache höher als jene des IV.

Auch bei CO ist der ÖV in beiden Fällen das ungünstigste Verkehrsmittel, wenn auch mit Werten, die lediglich um 50% (GF) bzw. 35% (GS) über denen des IV 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 CH₄ liegen die Werte des ÖV 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 ÖV 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 ÖV 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, was nicht nur am Dieselmotor liegt, sondern auch am Infrastrukturbereitstellungsanteil, der, aufgrund der gegenüber der Strecke Freiburg-Basel geringeren Streckenauslastung, höher liegt.

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 war, 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 Besetzungen 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 CH₄ 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 öffentli-

chen 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 CO₂ und 80% der NO_x-Emissionen zum Gesamtergebnis der Bus-S-Bahn-Variante beiträgt. Bei NO_x 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 Besetzung 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 am Gesamtenergieaufwand trägt es im abendlichen Freizeitverkehr bei.

Den Extremfall bezüglich der Schwankungen der Besetzungsgrade stellen die untersuchten ÖV-Verbindungen im oberen Donautal von Bärenthal 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_x 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_x abgesehen) immer noch besser sind, als die eines mit zwei Personen besetzten Pkw.

Der ICE hat auf den untersuchten Strecken Schwankung des Besetzungsgrades der, ähnlich wie bei der Stuttgarter Stadtbahn, über die gesamten Relationen betrachtet, relativ ausgeglichen ist. So werden lediglich zur Tagesmitte Werte erreicht, die bei etwas unter 50% der maximalen Werte liegen. Damit liegt der ICE Stuttgart-Mannheim mit seinen besten Besetzungsgraden 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 - Bärenthal - 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 IV. Nimmt man noch die Bahnstrecke nach Friedrichshafen hinzu, so ergeben sich leichte Vorteile für den ÖV (2%).

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, Linienfürhungen realisieren konnten, die dem direkten Weg am nächsten kommen. Ebenfalls typisch ist der Vergleich zwischen Bus und IV. 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 ÖV ausmachen (ca. 10-20% länger). Dies kann damit erklärt werden, dass die Bahn systembedingt jeweils die Zentren der entlang einer Erschließungsachse liegenden Siedlungen anfahren muss, wogegen die Straße teilweise den direkten Weg nehmen kann, da der IV keine Anschlussstelle im direkten Siedlungsgebiet benötigt.

Die folgenden, deutlich längeren Relationen 14, 15 und 16 sind differenziert zu betrachten.

Die Relation Stuttgart-Mannheim, 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 Regionalverkehrsrelation 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 ist die Strecke der Bahn um 2% länger als die des IV. 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. Hier ist die Weglänge der Bahn um 45% länger als die des IV. 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 ver-

kehren. 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 Hochrhein-autobahn. Die eher schlechten Ergebnisse des ÖV 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 ÖV 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 IV. 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 Stadtbuss, dessen Weglänge ein Zehntel der Strecke der S-Bahn ausmacht, einen Anteil von lediglich 6%.

Dieses Verhältnis ändert sich im schwach ausgelasteten Freizeitverkehr. Der ÖV 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_x 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 ÖV ohne Bus bei NO_x 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_x 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 Ergebnisse 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 Wieslaufalbahn im Vorlauf zur S-Bahn und dem RE 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 ÖV oft problematischen Fall F erreicht hier das Regio-Shuttle im Verhältnis zum Streckenanteil Werte, die vergleichbar mit denen von S-Bahn und RE sind, so dass der ÖV in der Summe immer noch besser als ein mit einer Person besetzter Pkw ist. Lediglich bei den NO_x-, 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 ÖV 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-Shuttles, doch auch im Fall F sind sie meist noch höher als die des ÖV-Vorlaufs. Lediglich bei NO_x erreicht das Regio-Shuttle schlechtere Werte. Die Kaltstartproblematik, d.h. ein großer Teil der Emissionen entsteht während der Warmlaufphase des Mo-

tors, 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 an Startpunkt und 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_x-Emissionen.

Die untersuchten Relationen zeigen, dass vor allem im abendlichen Freizeitverkehr selbst ein kurzer Vorlauf mit dieselmotorbetriebenen Verkehrsmitteln bei der wichtigen Wirkungskomponente NO_x einen so starken Einfluss auf das Gesamtergebnis hat, dass der ÖV 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 sogar 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 NO_x-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 %.

Eine 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 Emissionen führen können, hauptsächlich beim Vorliegen von Stop&Go-Verkehrssituationen. Diese Verkehrssituationen traten allerdings nur in den Ballungsräumen auf, wo der ÖV ohnehin bereits einen deutlichen Vorsprung vor dem IV 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 IV (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 NO_x -Emissionen 30-40% des Gesamtergebnisses. Dies führt dazu, dass ein Pkw mit Otto-Pkw trotz geringerer direkter NO_x -Emissionen im Gesamtergebnis in der Regel mehr, zumindest aber gleichviel 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_4 . 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_x spielt die Energiebereitstellung aufgrund der hohen direkten Emissionen von Dieselmotoren bei Nutzfahrzeugen nur eine untergeordnete Rolle (unter 10%). Anders jedoch bei CH_4 . 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_4 -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 RE 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 CO₂-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 RE liegen diese Anteile bei 70-90, beim ICE bei 65%.

Bei NO_x liegt der Energiebereitstellungsanteil bei der Stuttgarter S-Bahn bei 75%, beim RE bei 50-60% und beim ICE bei 45%. Bei der Stuttgarter Stadtbahn beträgt er wiederum lediglich 10-20%.

Von größter Bedeutung ist die Energiebereitstellung bei CH₄. Bei der Stuttgarter S-Bahn und beim RE erreicht dieser einen Anteil von über 80%, was dazu führt, 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 RE, die bei dieser Wirkungskomponente auf schwach ausgelasteten Fahrten Werte im Bereich der Pkw (2P) erreicht. Beim ICE macht die Energiebereitstellungskomponente lediglich ein Drittel aus.

Durch die Variation des Strommixes erhöhen 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 ₂	9%	43%	100%	154%
NO _x	11%	38%	100%	152%
CO	27%	61%	100%	132%
CH ₄	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 CO₂, CH₄ 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 CO₂ und CH₄ 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 ÖV überwiegen die Energieaufwendungen für die Infrastrukturbereitstellung die der Fahrzeugbereitstellung in der Regel um das 2-4fache. Dies ist leicht nachzuvollziehen, da ein Fahrzeug des ÖV 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 IV als auch im mit Bussen durchgeführten ÖV, dominiert bei den Energieaufwendungen die Fahrzeug- über die Infrastrukturbereitstellung, und zwar in der Regel um das 4fache. Dieser Wert kann auf Relationen, bei denen die Infrastruktur durchgängig eine hohe Auslastung aufweist, aber auch auf das 8-10fache 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 IV trägt allerdings die Bereitstellung der Stellplätze bei.

Die Aufwendungen für die Infrastrukturbereitstellung des IV wären noch weit geringer, wenn nicht auch die jeweiligen Stellplätze für das Abstellen des Pkw an der Quelle wie am Ziel berücksichtigt würden. So entfällt bei den Fahrten im Raum Stuttgart ca. die Hälfte der Infrastrukturaufwendungen des IV 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 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 (ca. 60km) aber bis zu 35% ausmachen. Bei Diesel-Pkw kommen knapp 70% der CO-Emissionen aus der Fahrzeugbereitstellung.

Die CH₄-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 CH₄-Emissionen (20%) und die Partikel-Emissionen (30%).

Bei den untersuchten Stadtbahnssystemen 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 Gaisböckbahn zwischen Ravensburg und Friedrichshafen sind es lediglich 10-12%, was sich aus der deutlich höheren Streckenauslastung erklärt. Hier fahren neben den Regio-Shuttles auch Regionalexpress- und InterRegio-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-, CH₄- und Partikelemissionen Werte erreicht, die für den Vergleich der Gesamtergebnisse von Belang sind. 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 CO₂ und CH₄ beträgt der Anteil 10%, bei NO_x sind es 25%. Einzig bei CO steigt der Anteil auf über 80%, was hier die S-Bahn im Fall F in den Bereich der Pkw (4P) bringt, ansonsten läge sie klar darunter.

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 CH₄- (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 CH₄ (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, das auch den Rollwiderstand reduziert, 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, für 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. CO₂ 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 CH₄-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_x-Emissionen zu verzeichnen. Diese Emissionen reduzieren sich bei allen betrachteten Fahrzeugen 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_x-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 CO₂ 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 Inter-Regio-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 Inter-Regio 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 IV/ÖV

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 öf-

fentlichen Verkehrs (ÖV), in Stuttgart mehr als in Freiburg, da in Stuttgart der Kernenergieanteil noch höher ist.

Im Regionalverkehr ist ebenfalls der S-Bahn- und Regionalexpress-Hauptlauf des ÖV 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_x-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 ÖV zu verbessern, zumal durch die große Verfügbarkeit von Kommunikations- und Mobilitätsdienstleistungen der Zugang zu diesem Verkehrssystem heute deutlich erleichtert ist.

Aber auch im IV 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 IV 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 ja nach untersuchter Strecke und dabei eingesetzter Technik der schienengebundenen ÖV 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 NOx besonders deutlich zeigt.

7.4.2 Aussagen im Vergleich ÖV/ÖV

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 (IV) auf den schienengebundenen ÖV zu erwarten ist, als im rein mit dem Bus betriebenen ÖV.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis der Studie ist, dass im Vergleich zwischen Bus und Bahn die Fahrzeugtechnik eine große Rolle spielt. So sind moderne Dieselmotoren, die durch den Einsatz von Lkw-Motoren nicht nur Herstellungskosten sparen, sondern auch von der weit entwickelten, emissionsmindernden Lkw-Motorentechnik profitieren, dem Bus, allerdings nur bei entsprechender Auslastung der Bahn, absolut vergleichbar.

Das Hauptproblem aller dieselmotriebener Fahrzeuge im ÖV, unabhängig ob Straße oder Schiene, sind allerdings die extrem hohen NOx-Emissionen. Selbst wenn die ÖV-Varianten klar günstigere Werte bei Energieaufwendungen und CO₂ verzeichnen können, sind ihre Ergebnisse bei den NOx-Emission 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 IV weitere Verbesserungen zu erwarten (EURO3, EURO4) so dass fahrzeugtechnische Verbesserungen im ÖV dringend nötig sind, will er seinen momentanen Vorsprung im Wettbewerb um das umweltfreundlichste Verkehrsmittel erhalten.

7.4.3 Aussagen im Vergleich IV/IV

Beim Vergleich der beiden Pkw untereinander zeigt sich, dass der Diesel-Pkw grundsätzlich rund 25% weniger Energie benötigt als der Otto-Pkw, was sich natürlich direkt auf die entsprechende CO₂-Freisetzung auswirkt. Zwar emittiert der Diesel-Pkw mehr NO_x 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 weniger, 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_x, Partikel, Benzol, VOC und CO (aus dem Kaltstarteffekt) allerdings deutlich reduzieren.

Der Energieverbrauch und somit die klimawirksame Freisetzung von CO₂ 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 CO₂-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_2 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_2 freigesetzt. Es ist also zu berücksichtigen, dass ein Ausweichen von Atomstrom auf Strom aus Kohlekraftwerken (Kohle und Kernkraft sind die einzigen relevanten Energieträger in Deutschland, alle übrigen haben höchstens 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, was zur Folge hat, 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_x und CO , bei denen ebenfalls die Emissionen aus der Fahrzeugbereitstellung einen beträchtlichen Anteil am Gesamtergebnis ausmachen. Bei den schienenengebundenen 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_4 . Das Gesamtergebnis der CH_4 -Emissionen wird fast ausschließlich von der Energiebereitstellung bestimmt. Die direkten Emissionen spielen hier praktisch keine Rolle. Da CH_4 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 ÖV 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 nie 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 Strukturforschung, 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

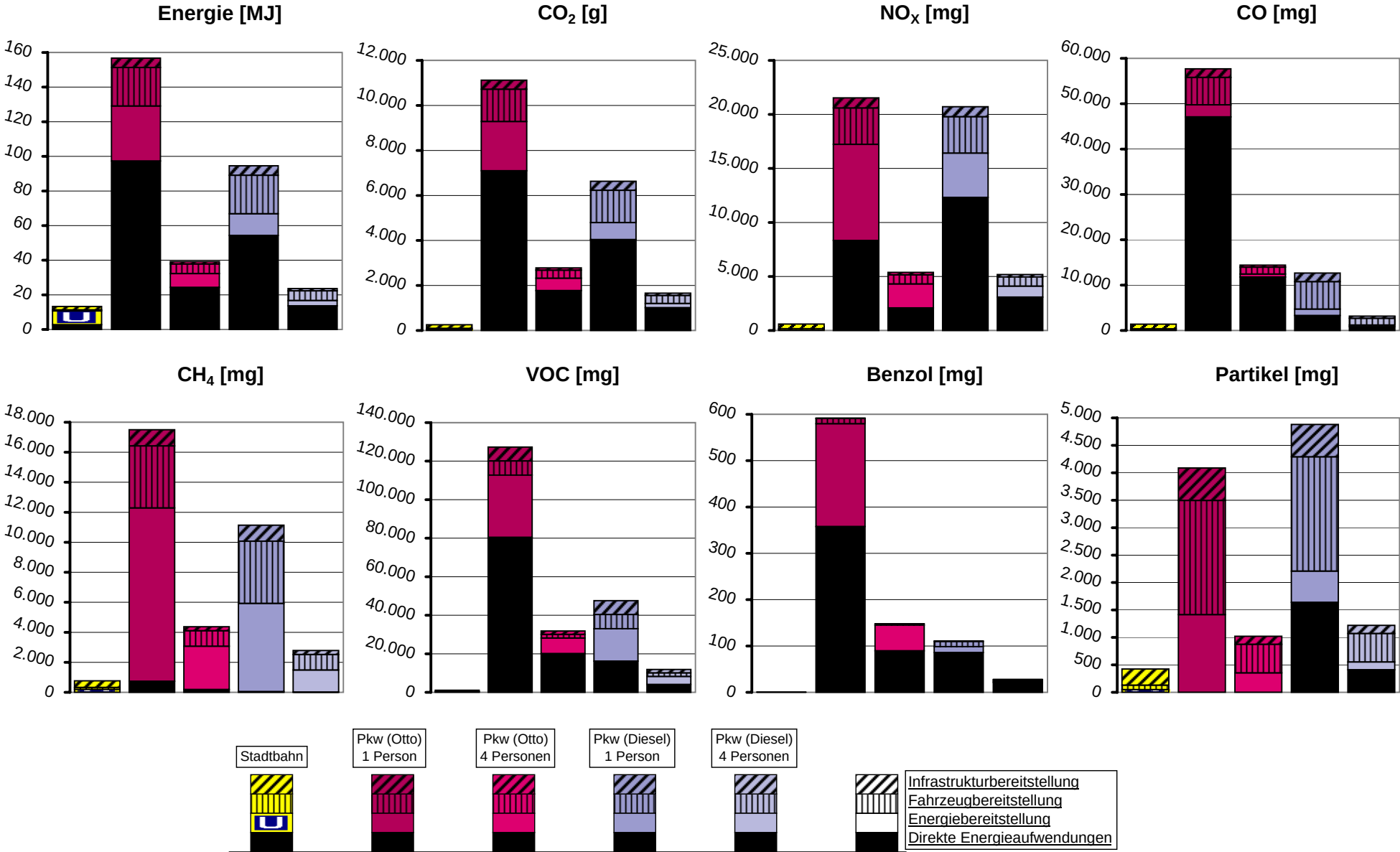
Diagramme

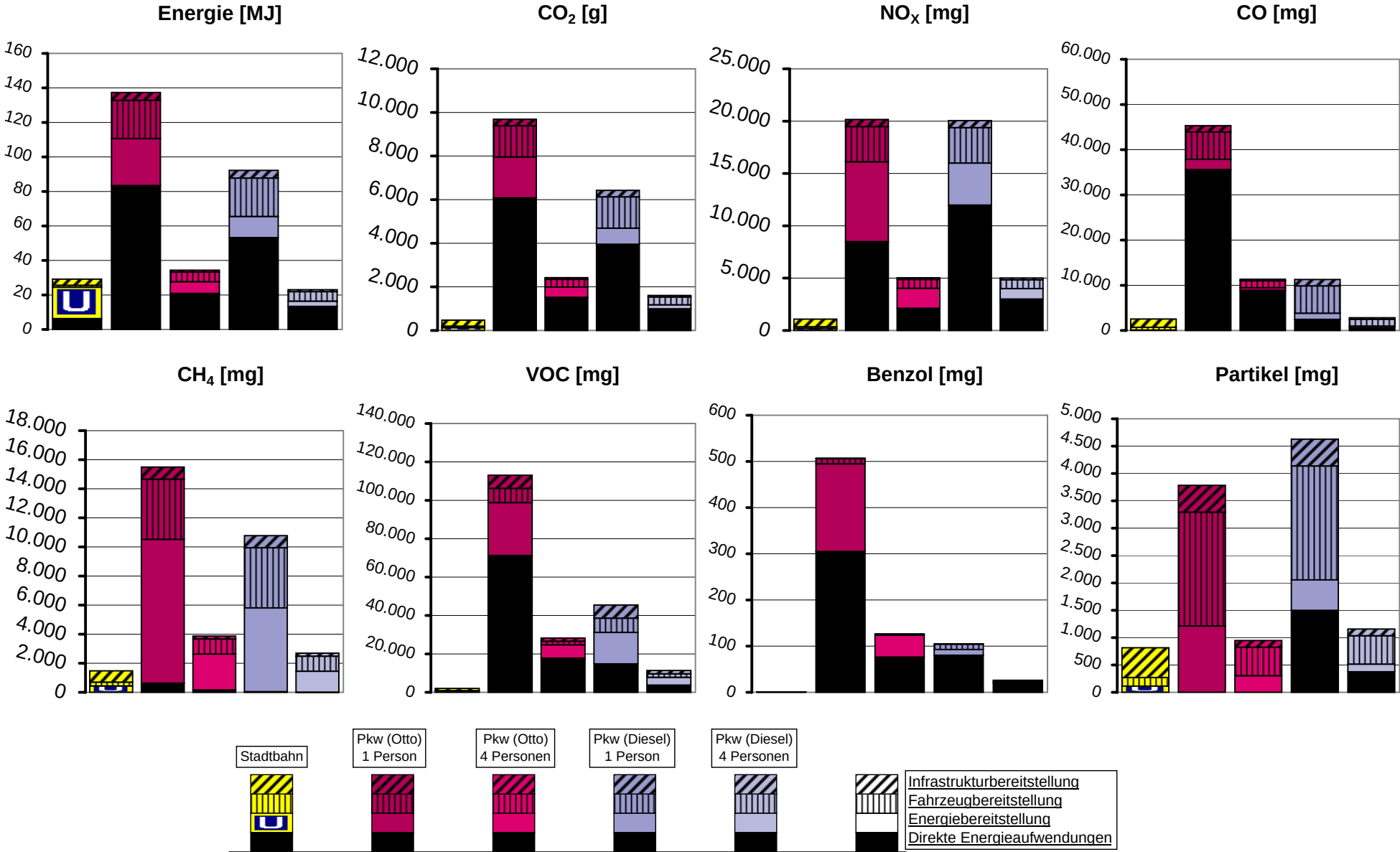
Tabellen

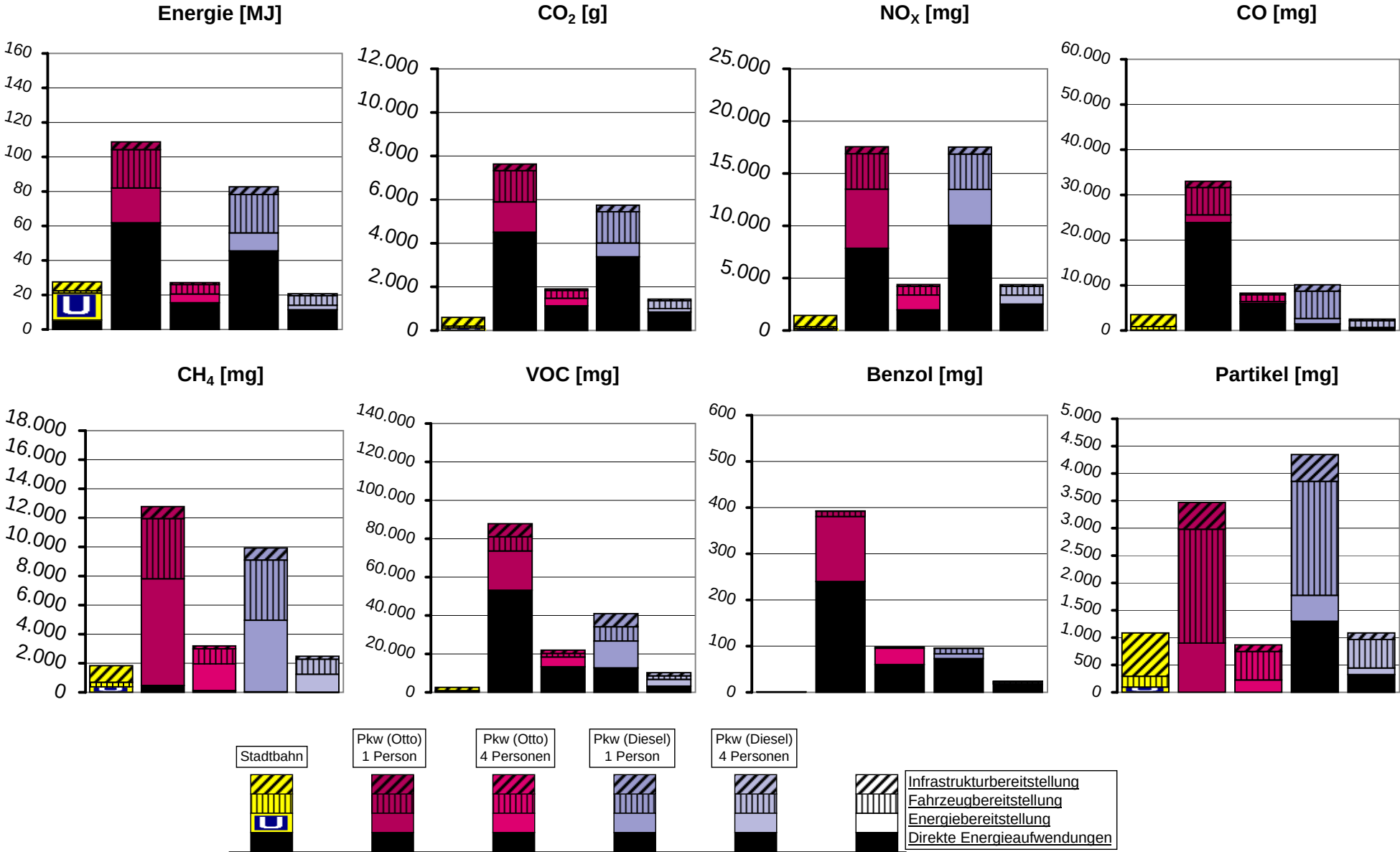
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
- Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik (ISV-VuV),
Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER),
Universität Stuttgart

Förderkennzeichen: PEF 498 001 / BWA 20016

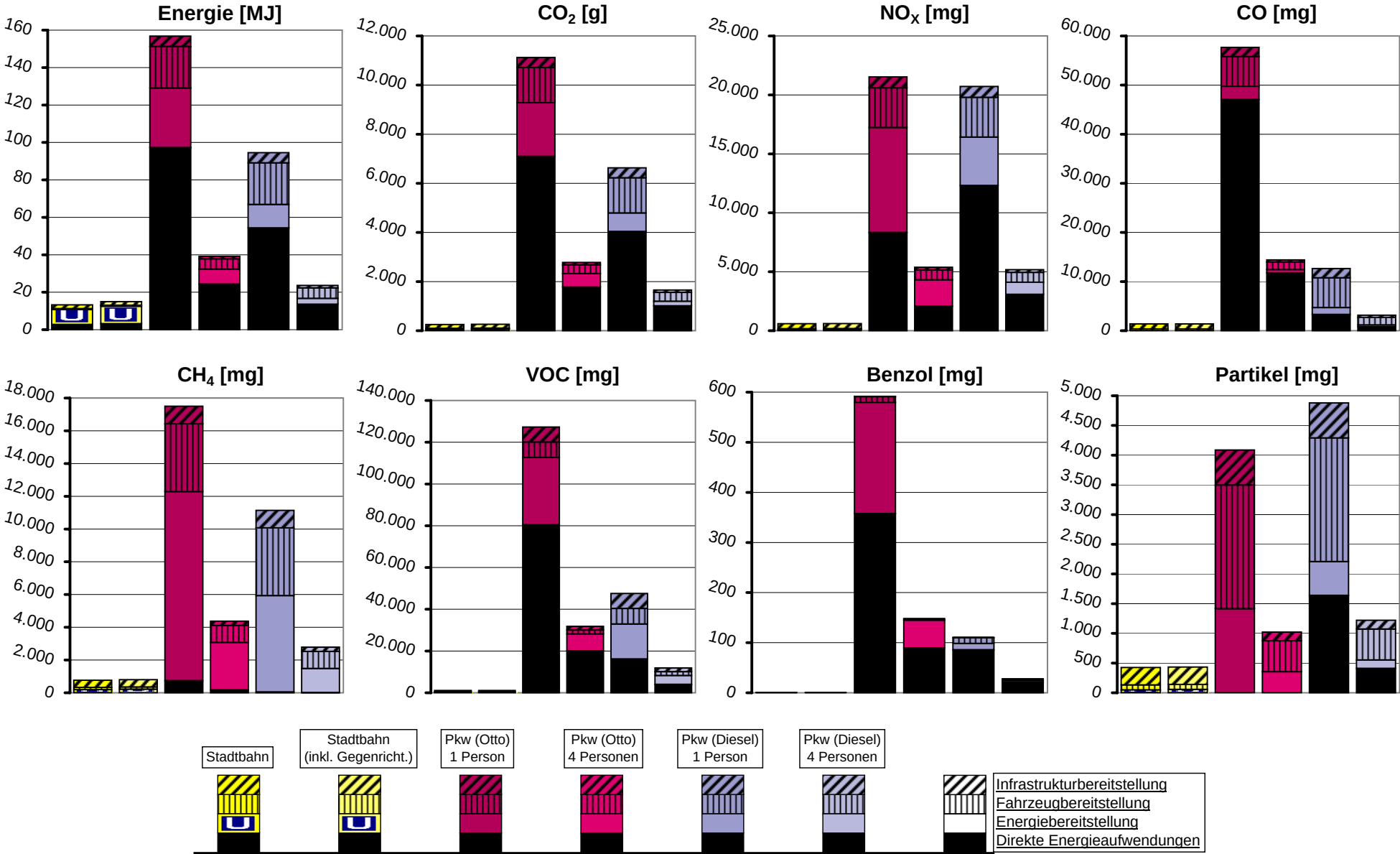
Februar 2001



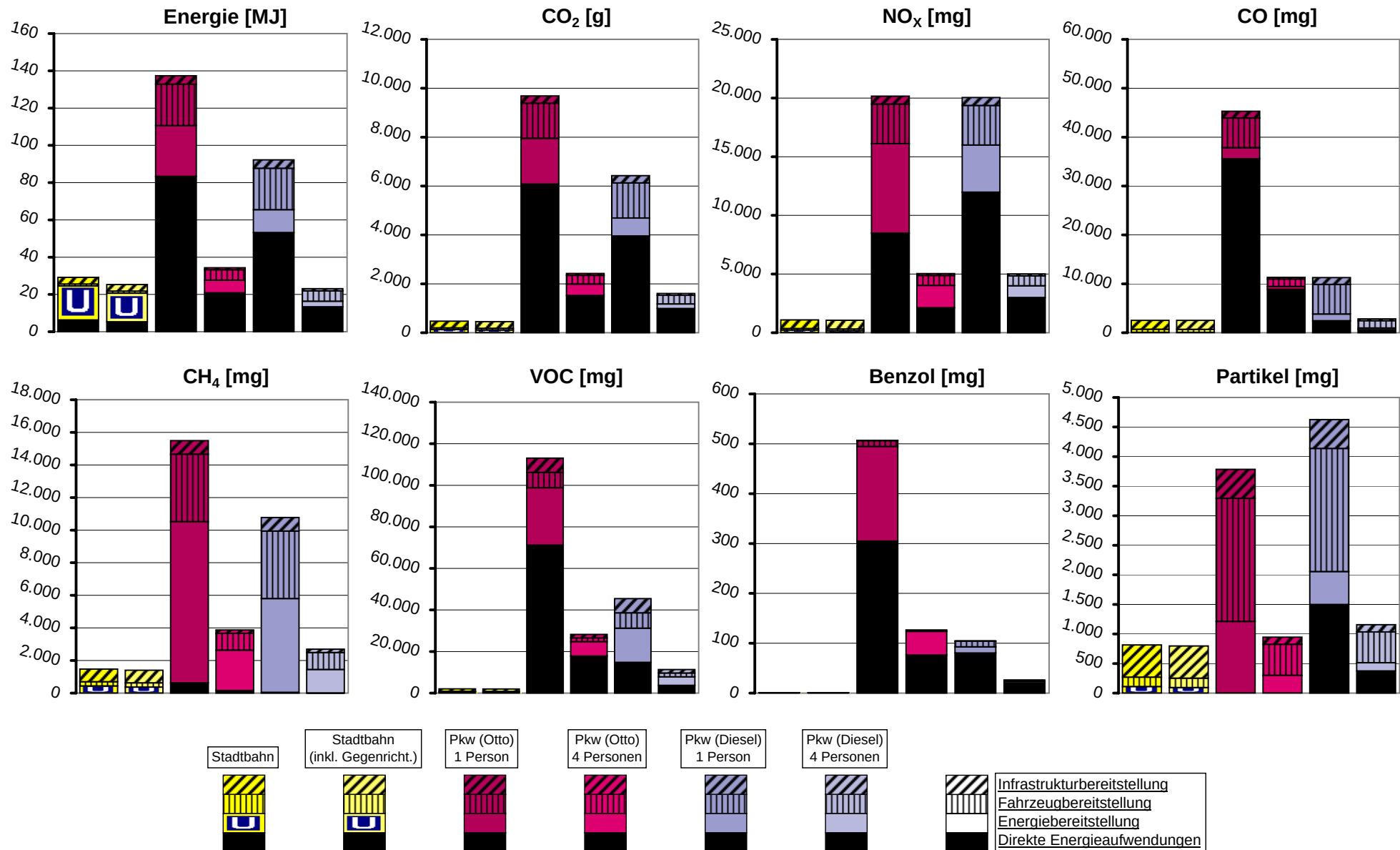


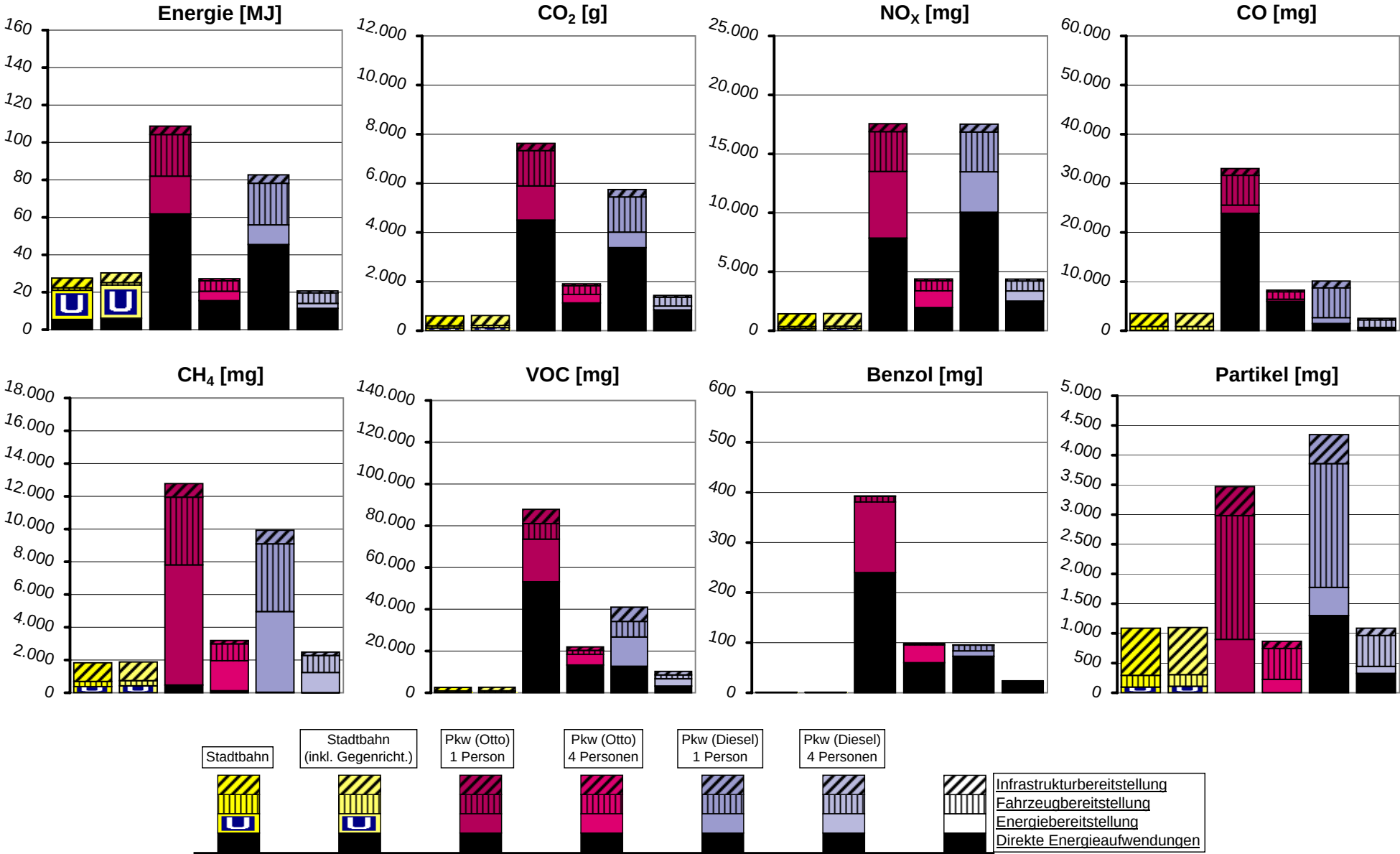


zur Tabelle: [Hin](#) [Rück](#) [Hin+Rück](#)

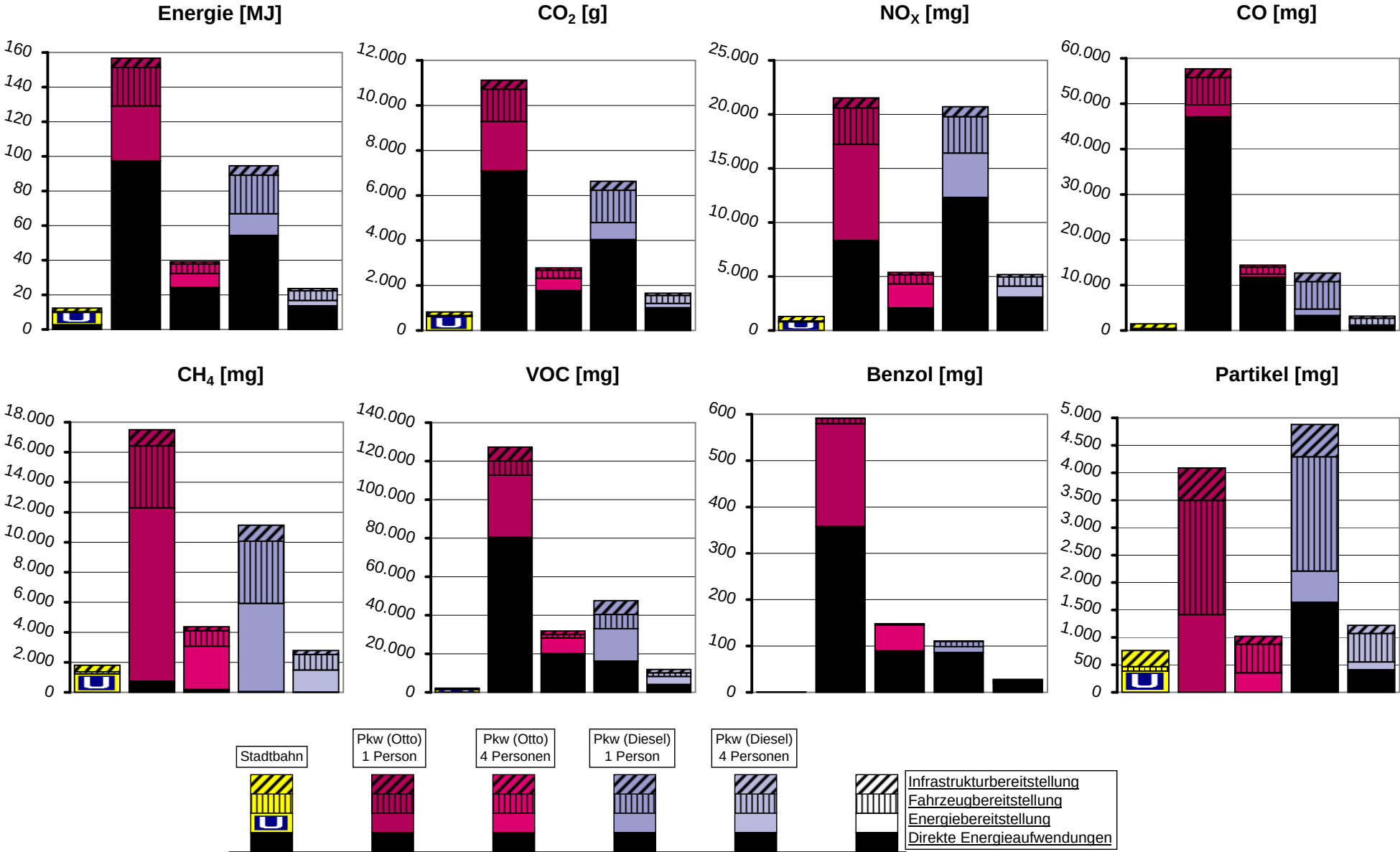


zur Tabelle: Hin Rück Hin+Rück

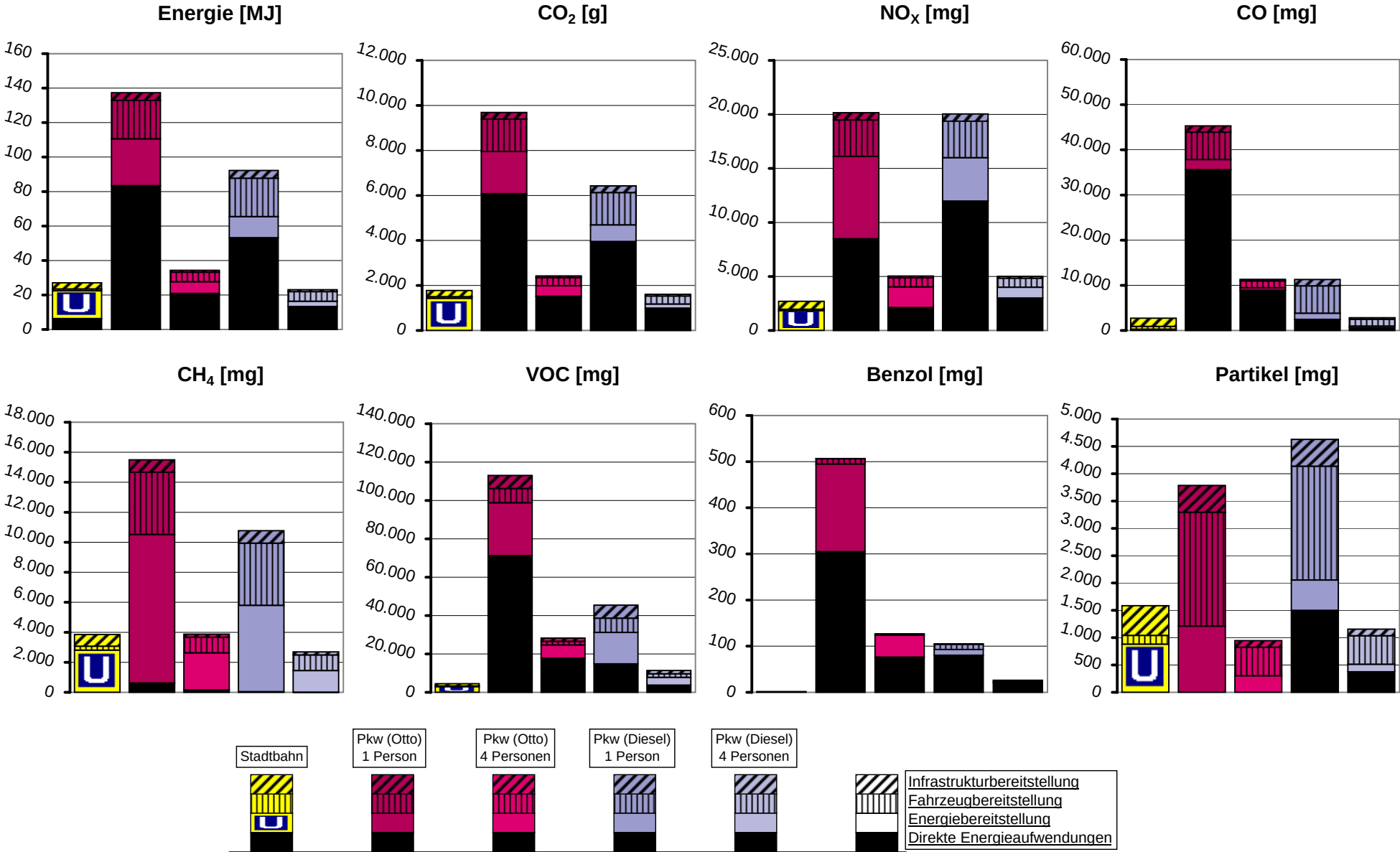




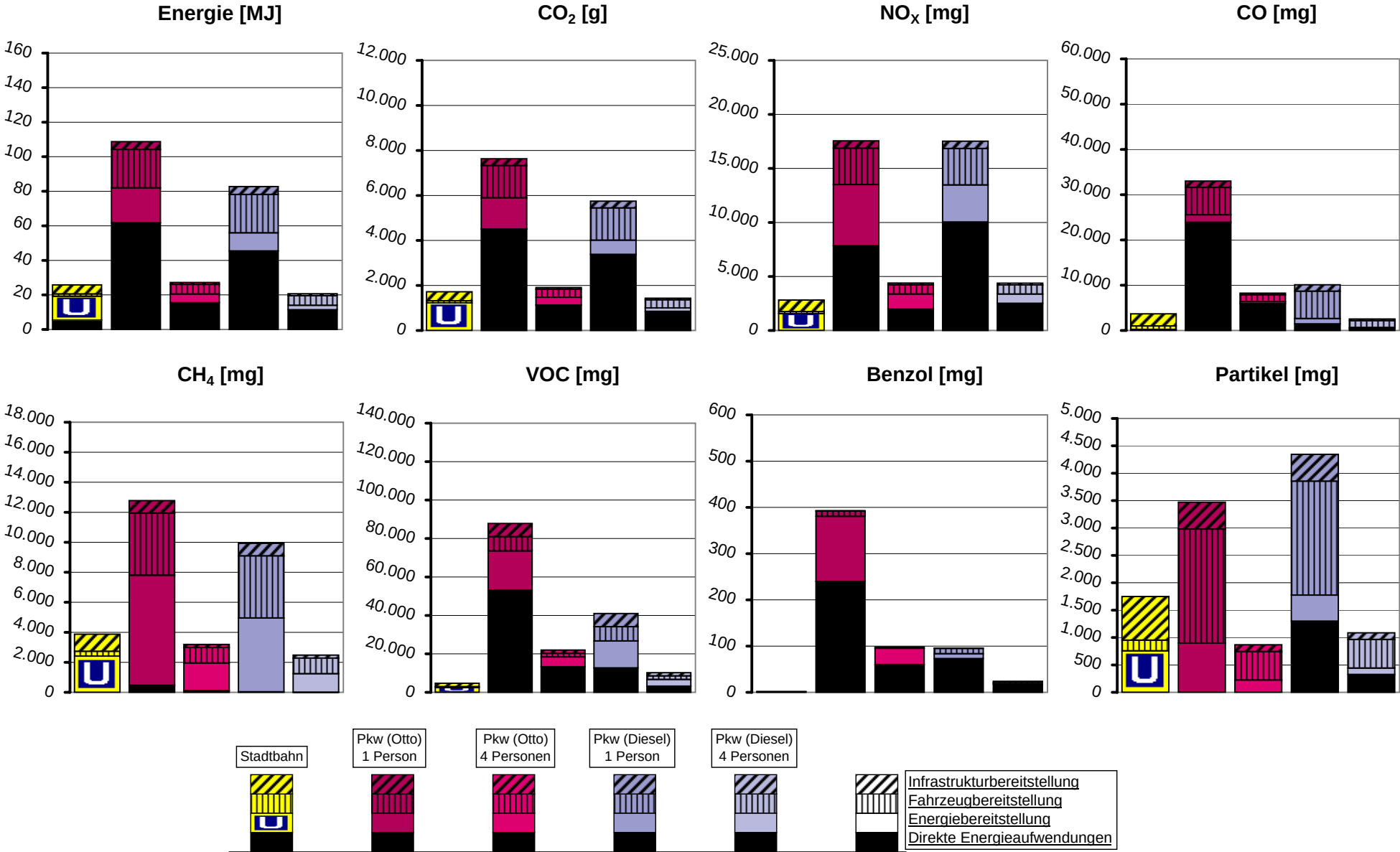
zur Tabelle



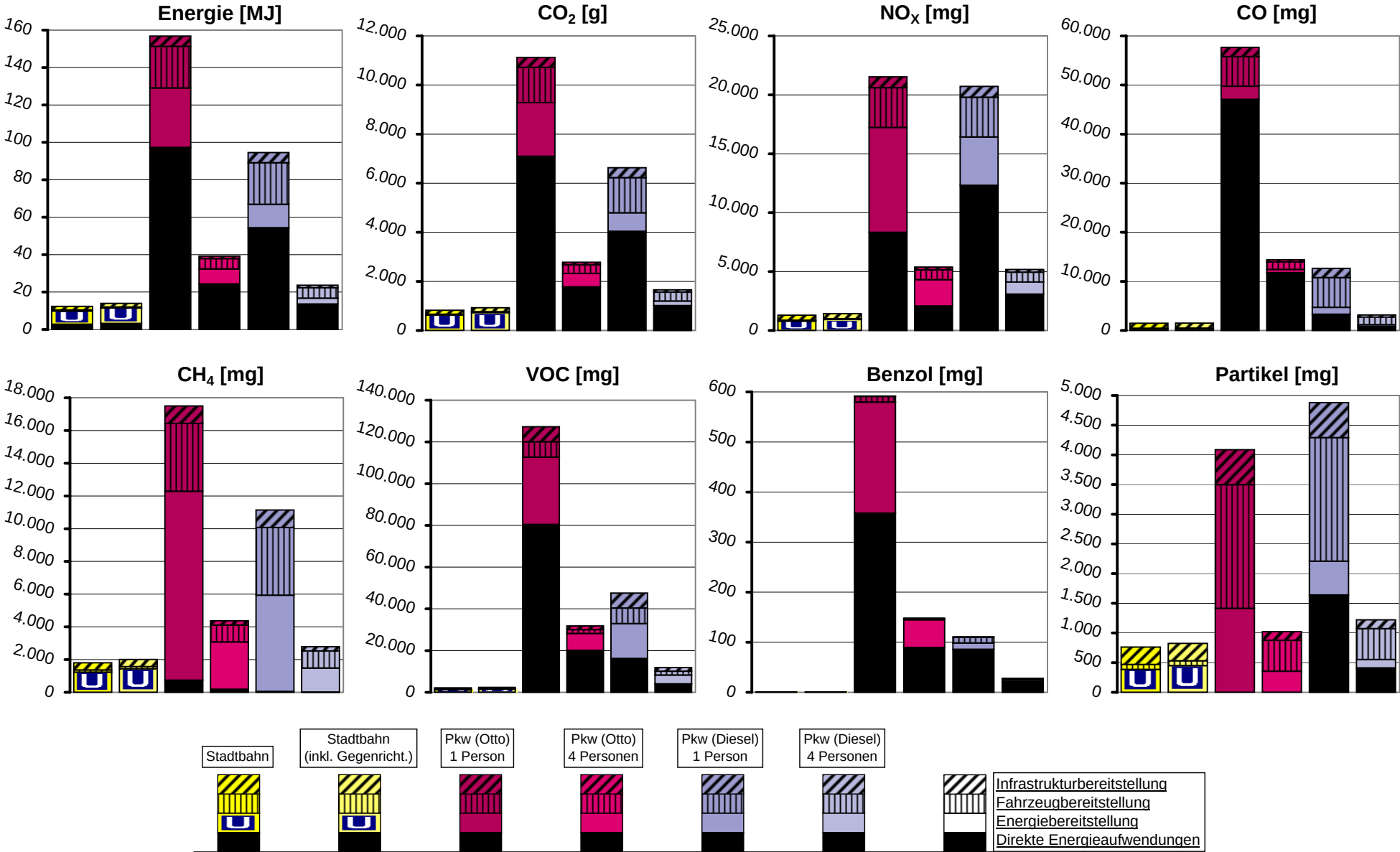
zur Tabelle



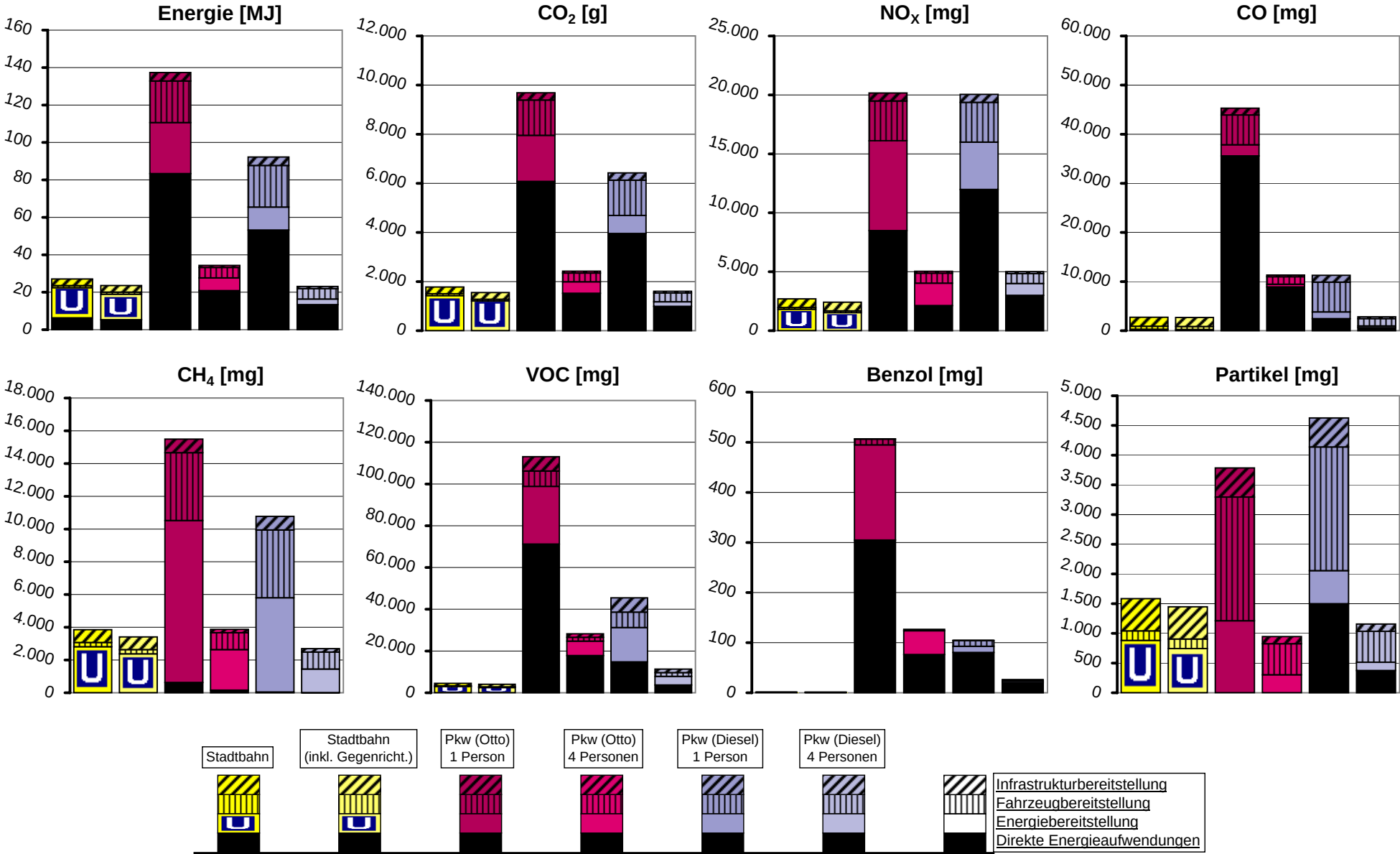
zur Tabelle



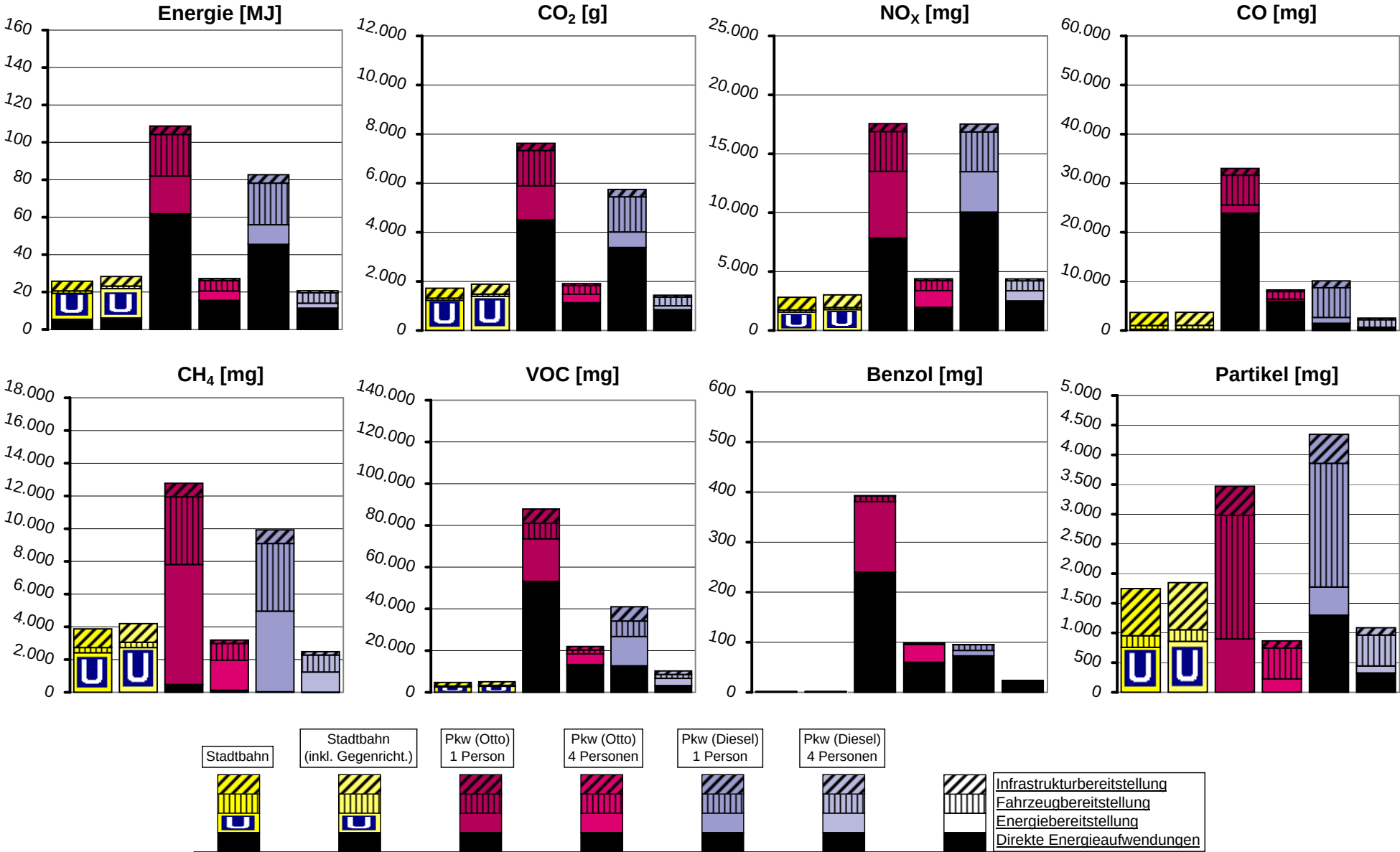
zur Tabelle



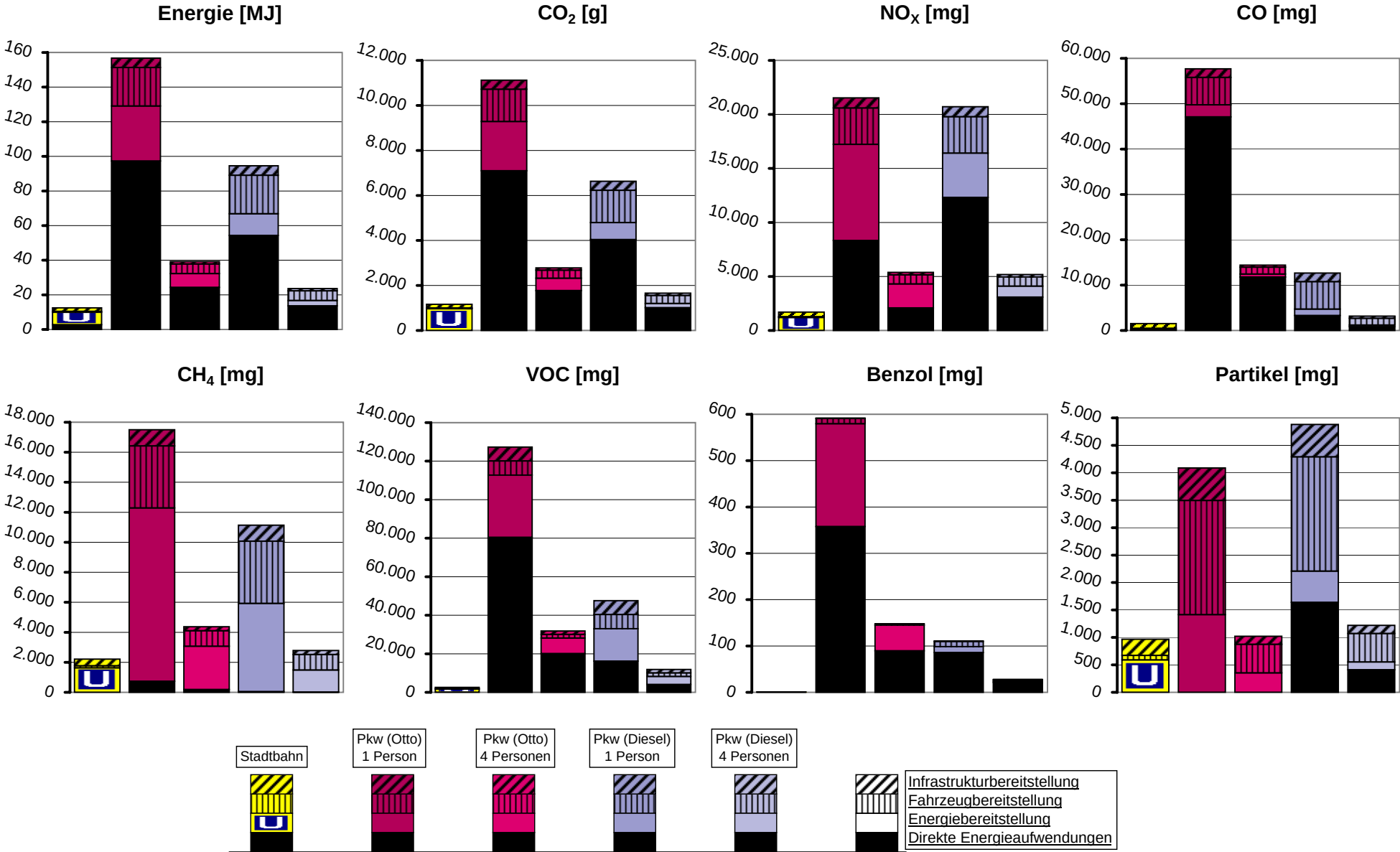
zur Tabelle

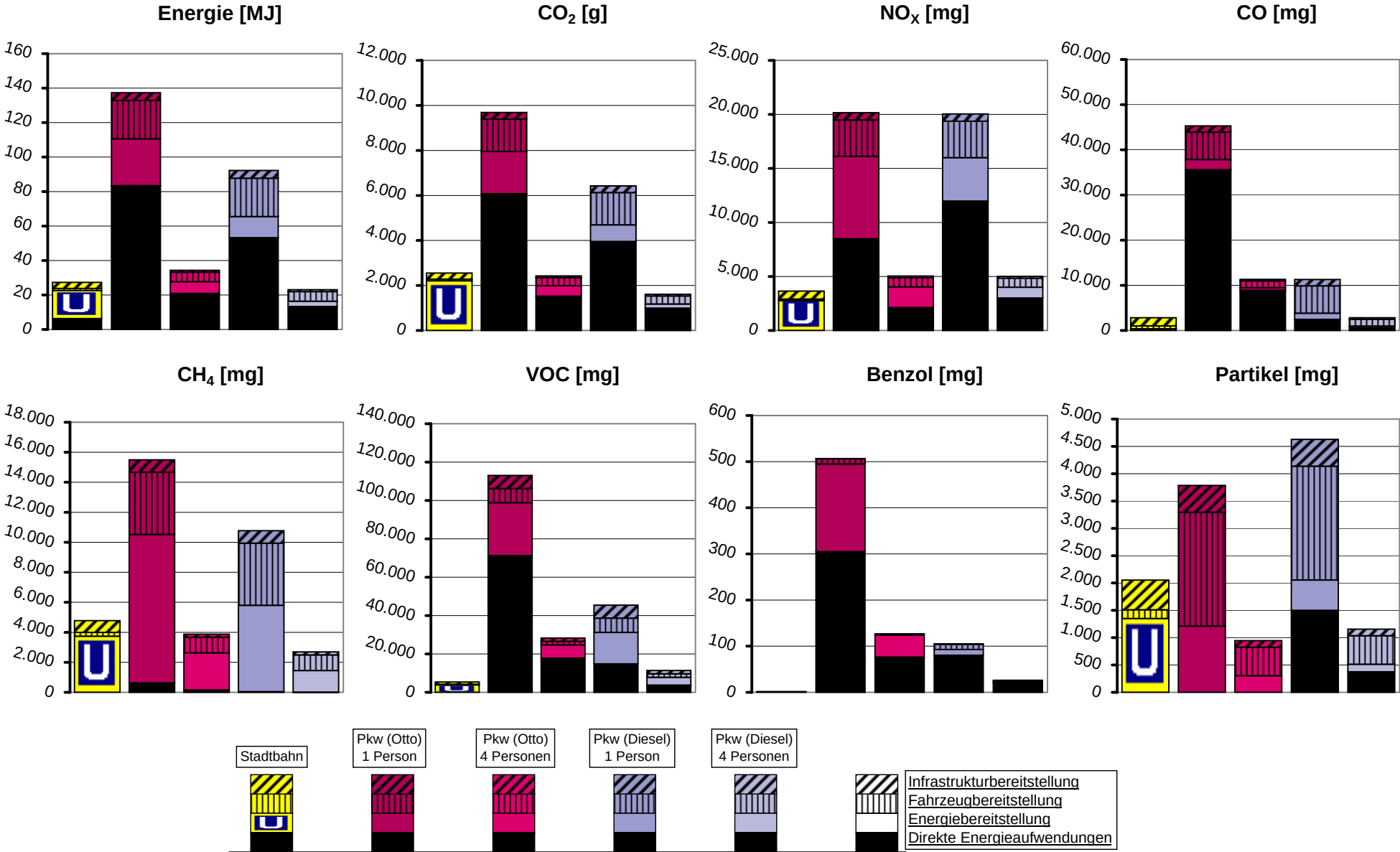


zur Tabelle

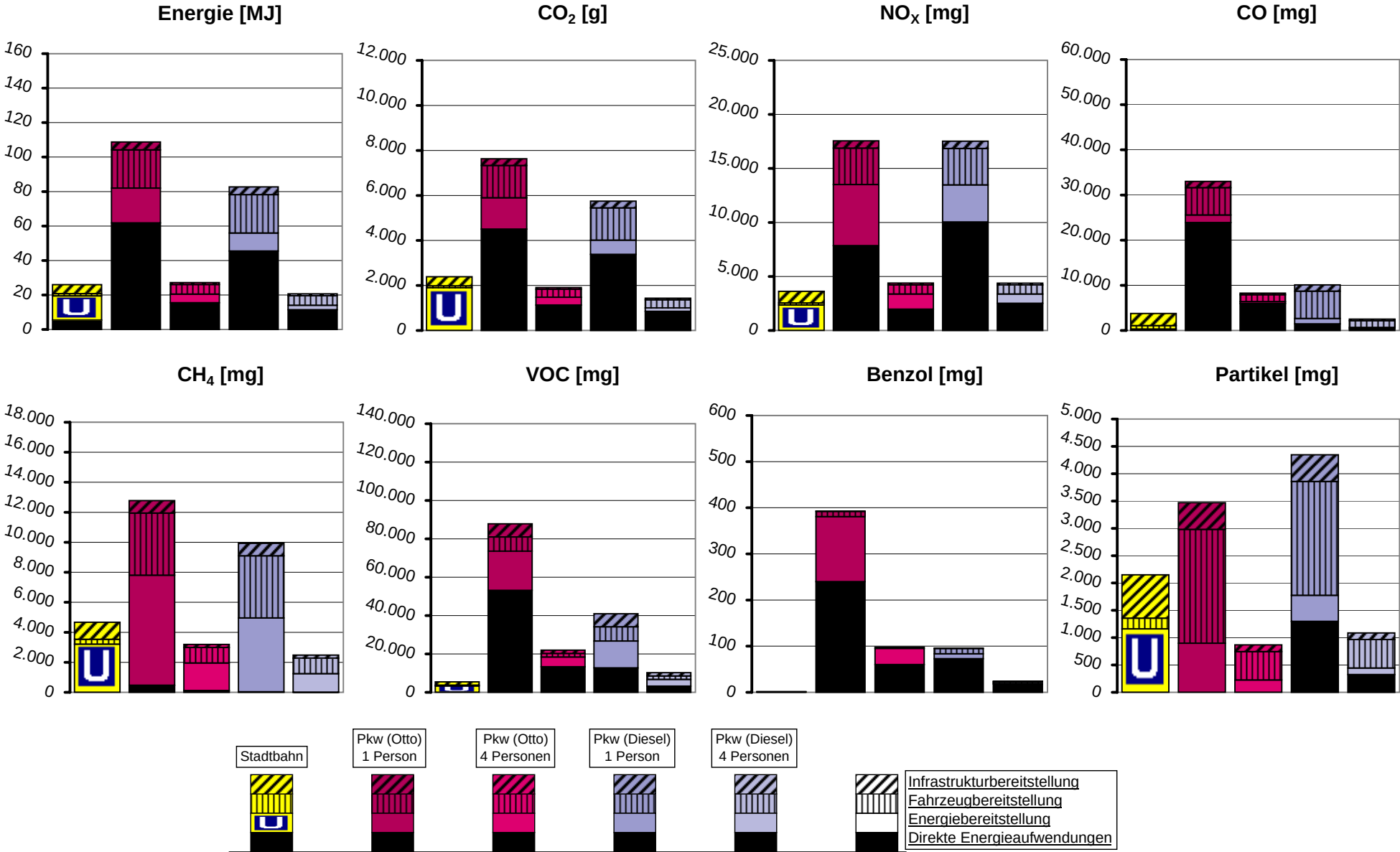


zur Tabelle

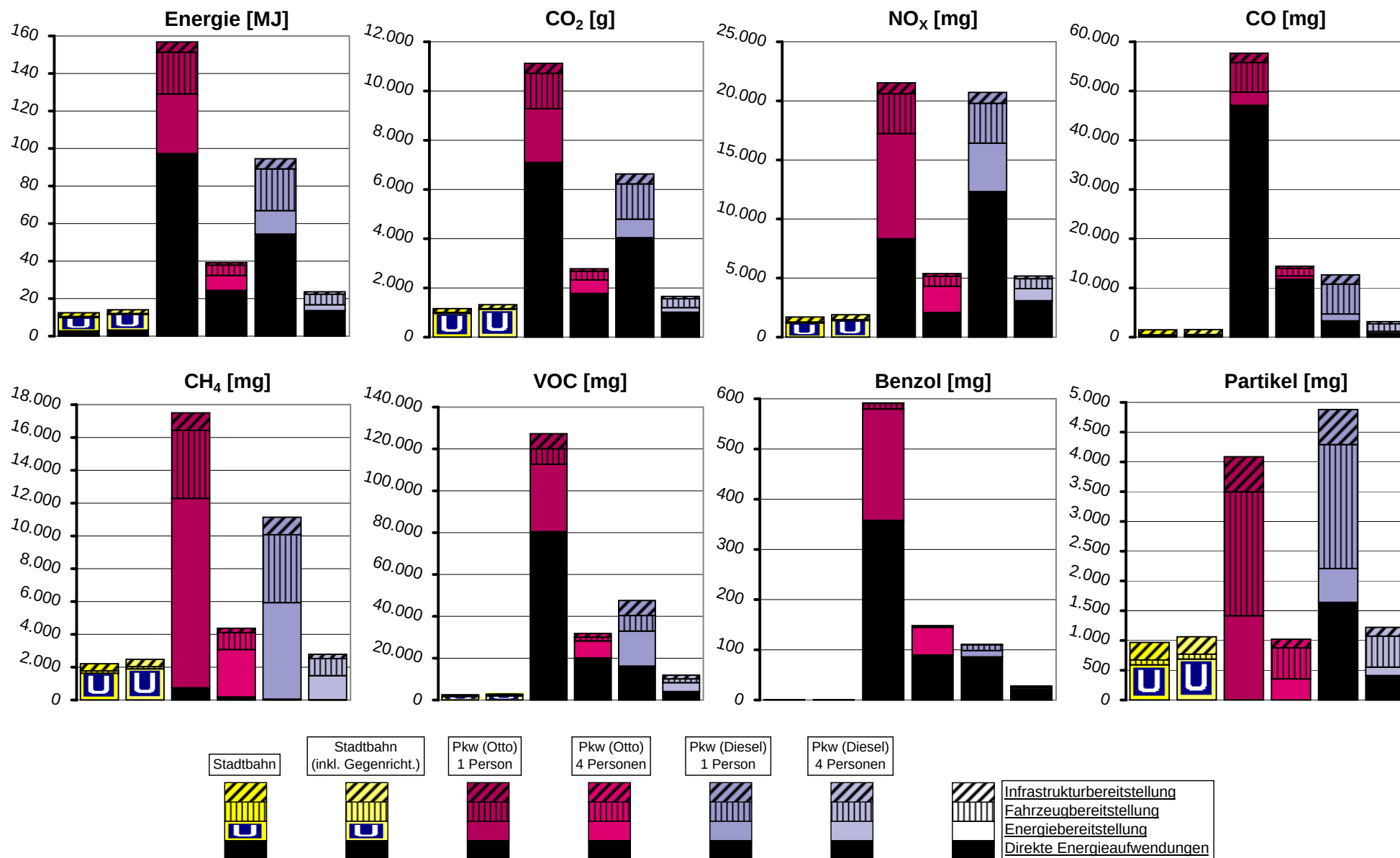




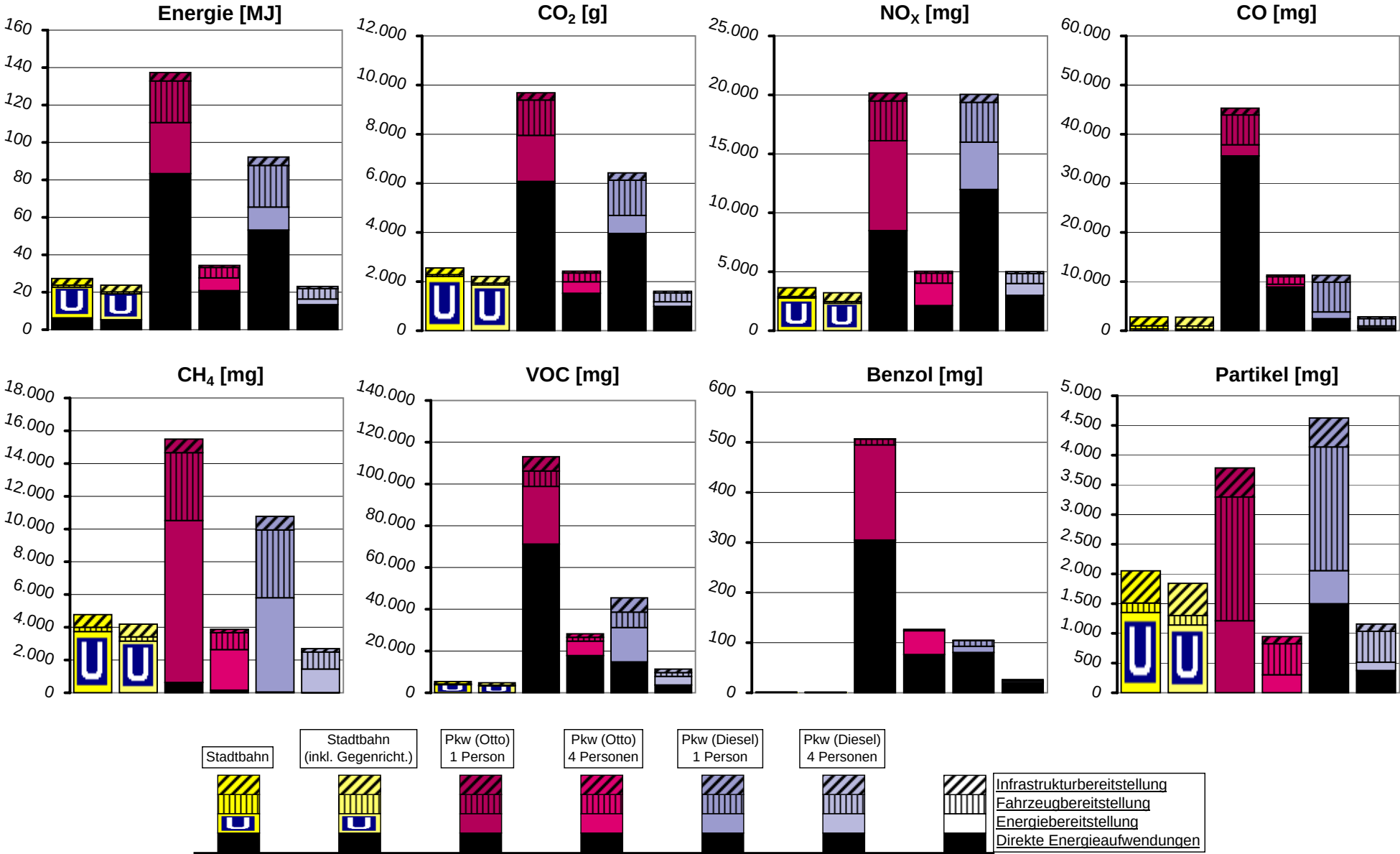
zur Tabelle



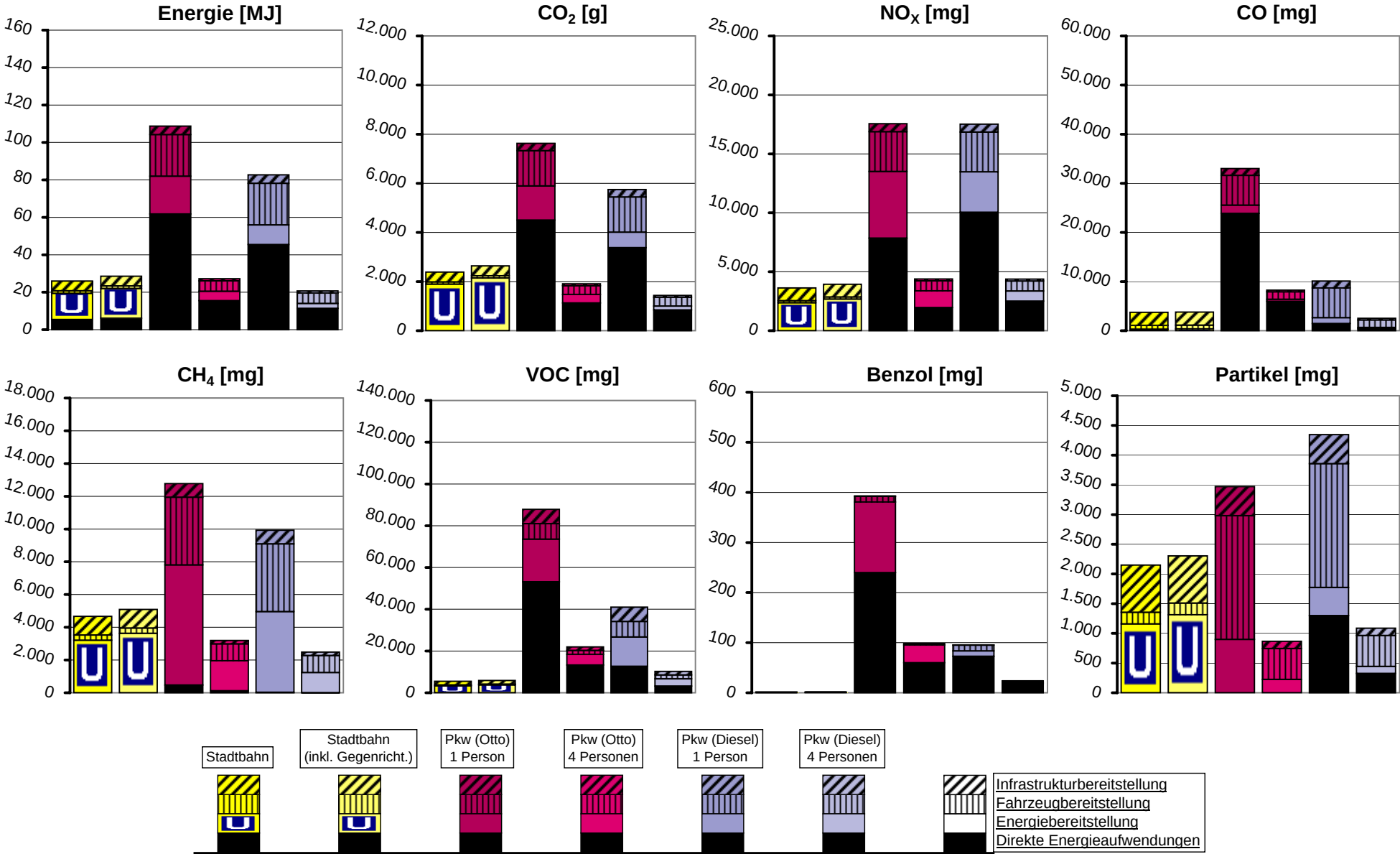
[zur Tabelle](#)



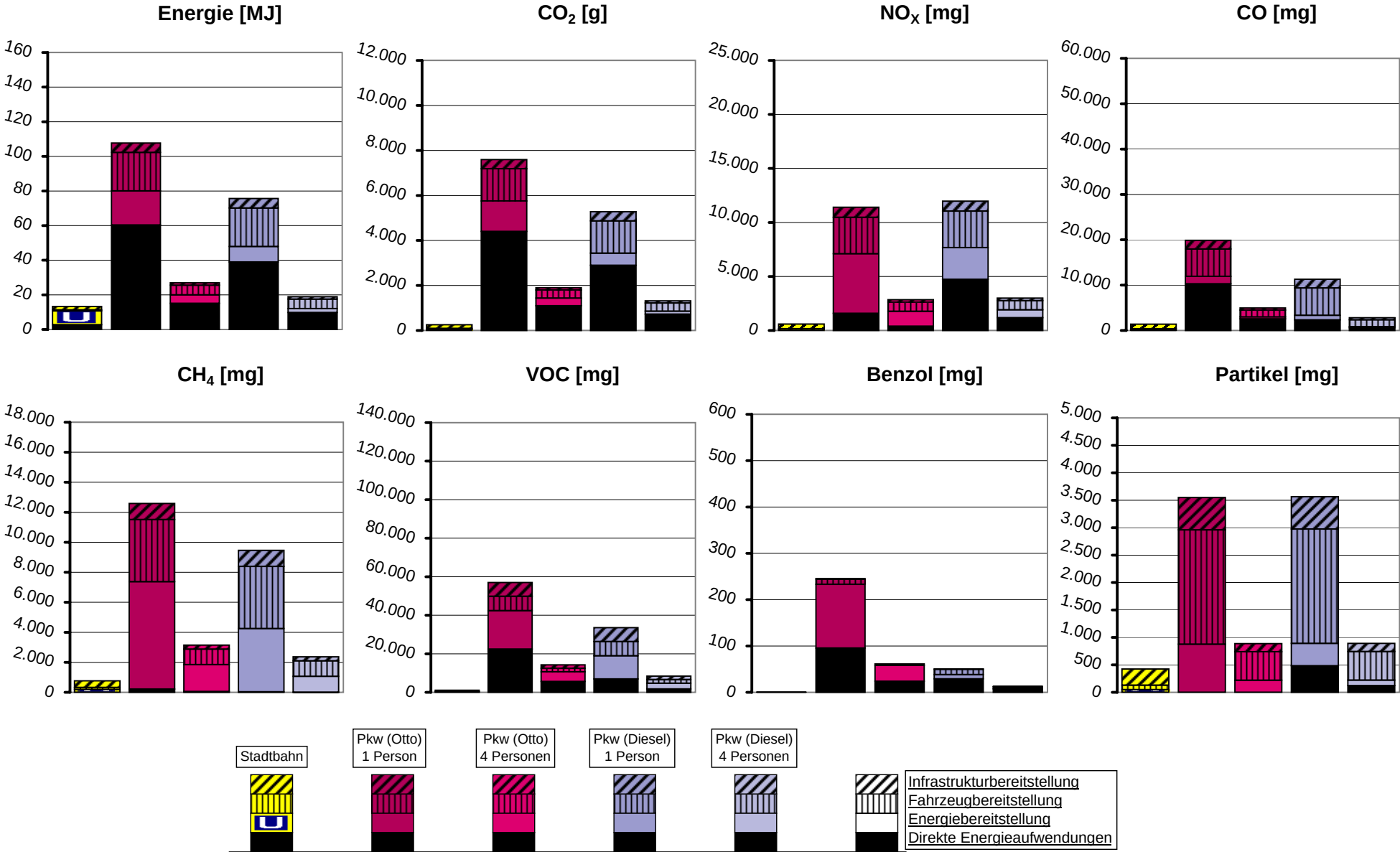
zur Tabelle



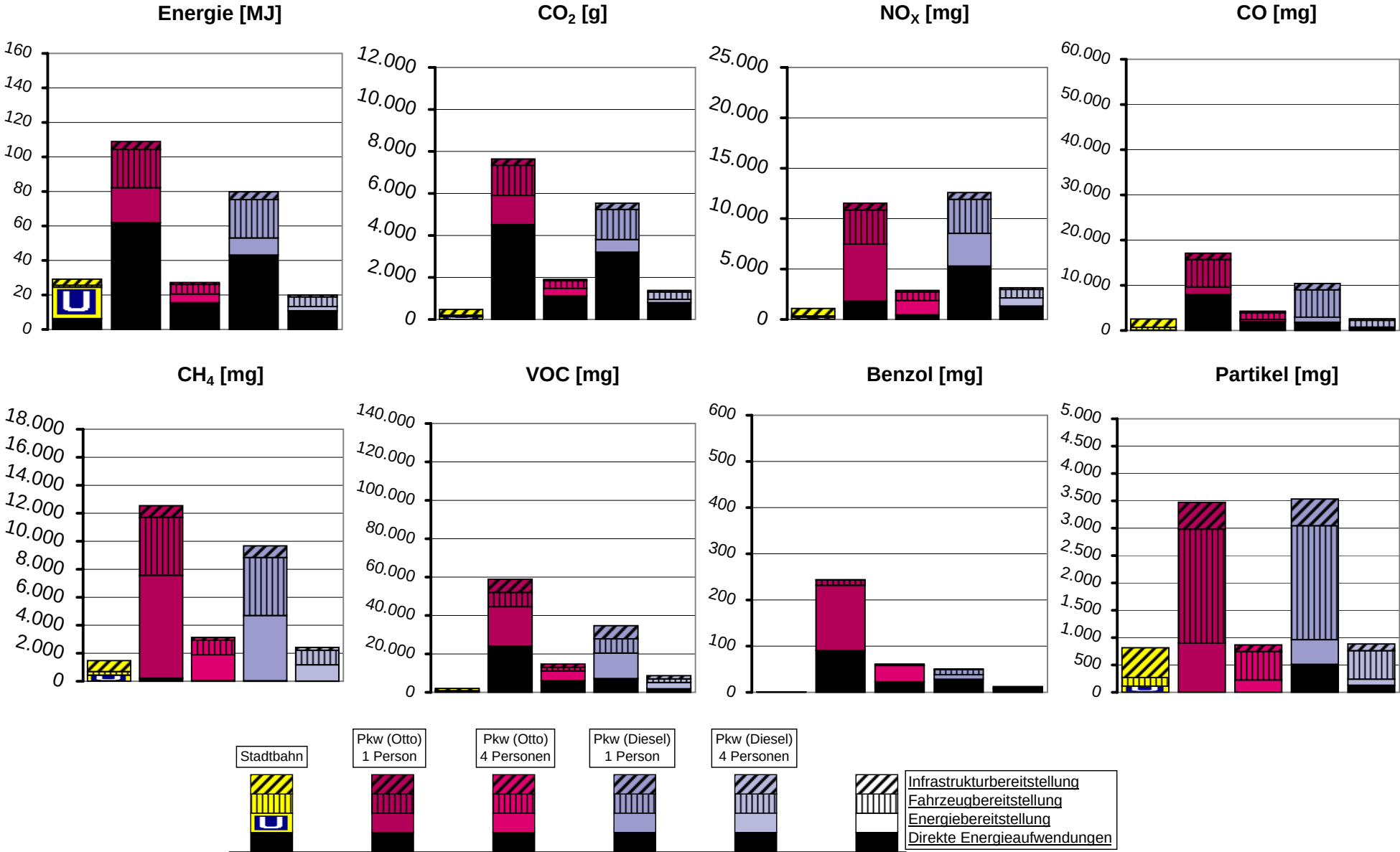
zur Tabelle



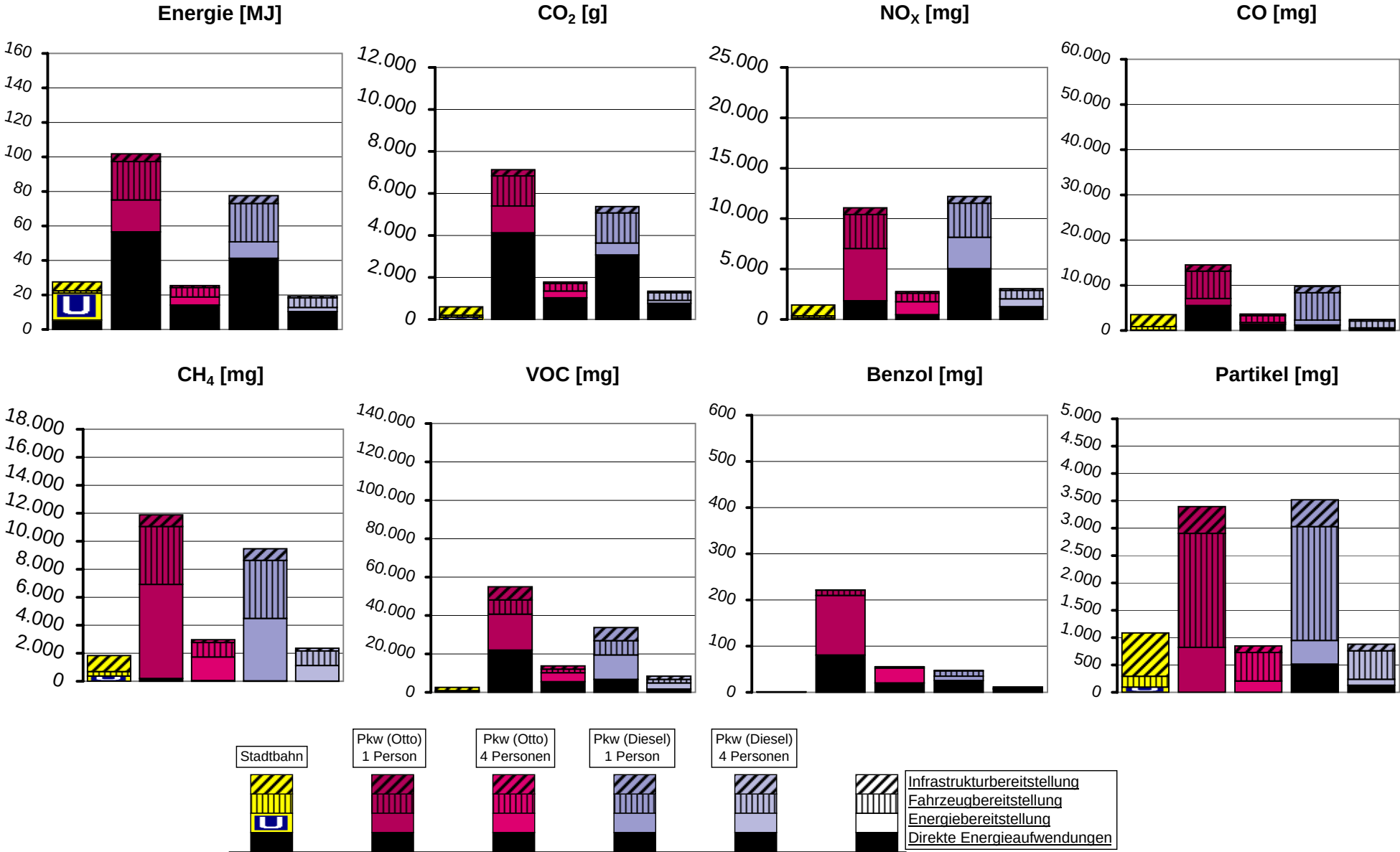
zur Tabelle



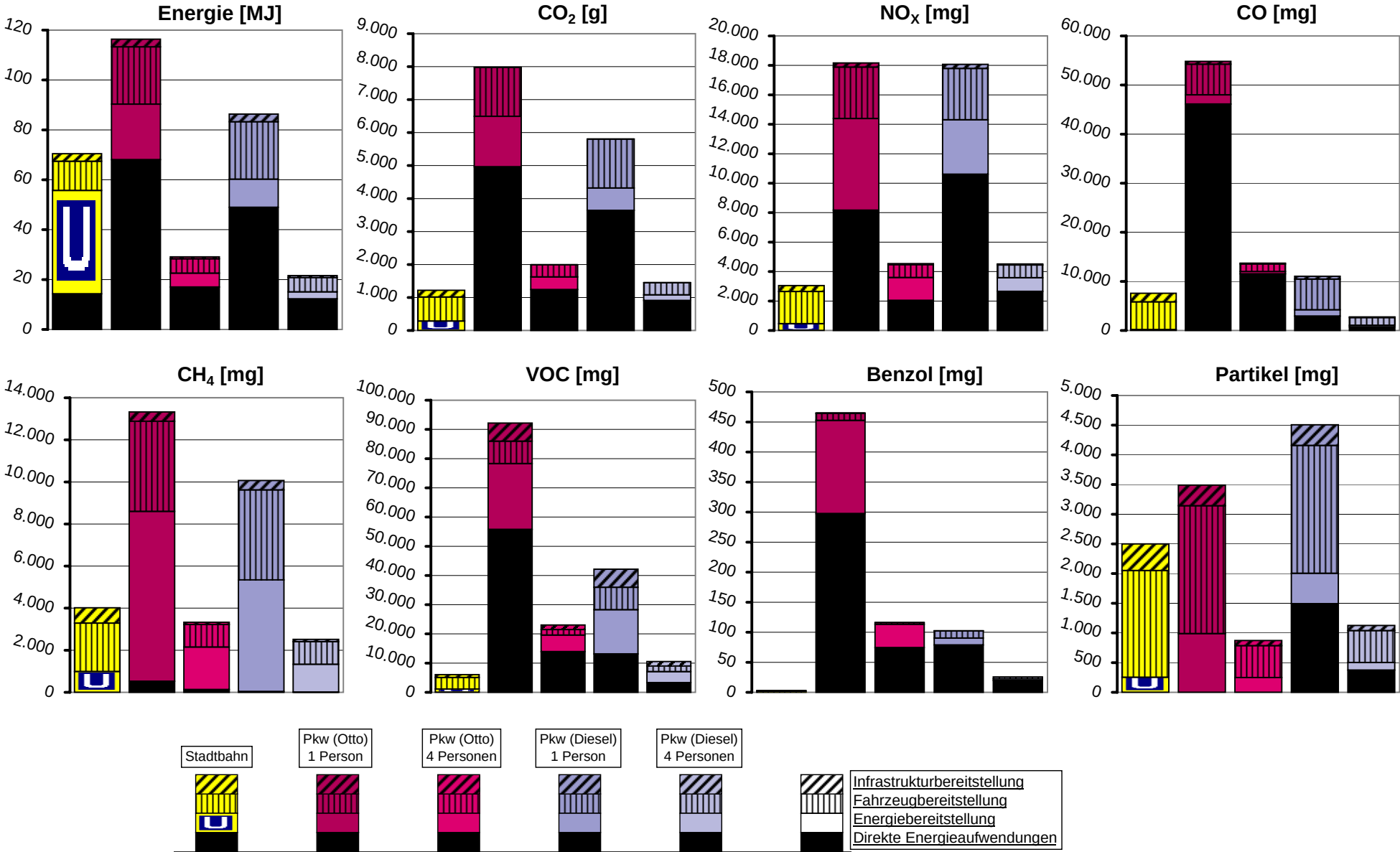
zur Tabelle



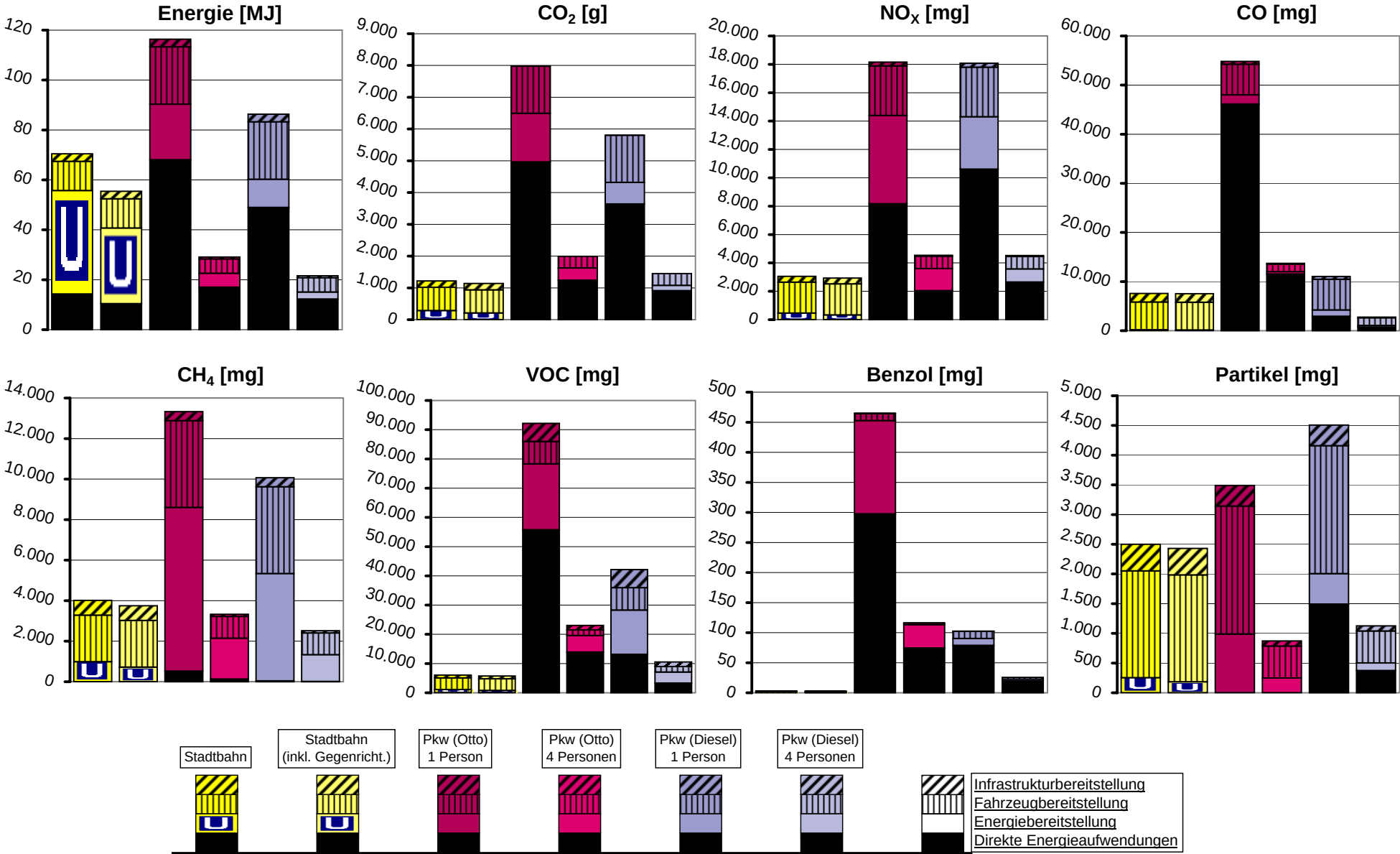
zur Tabelle



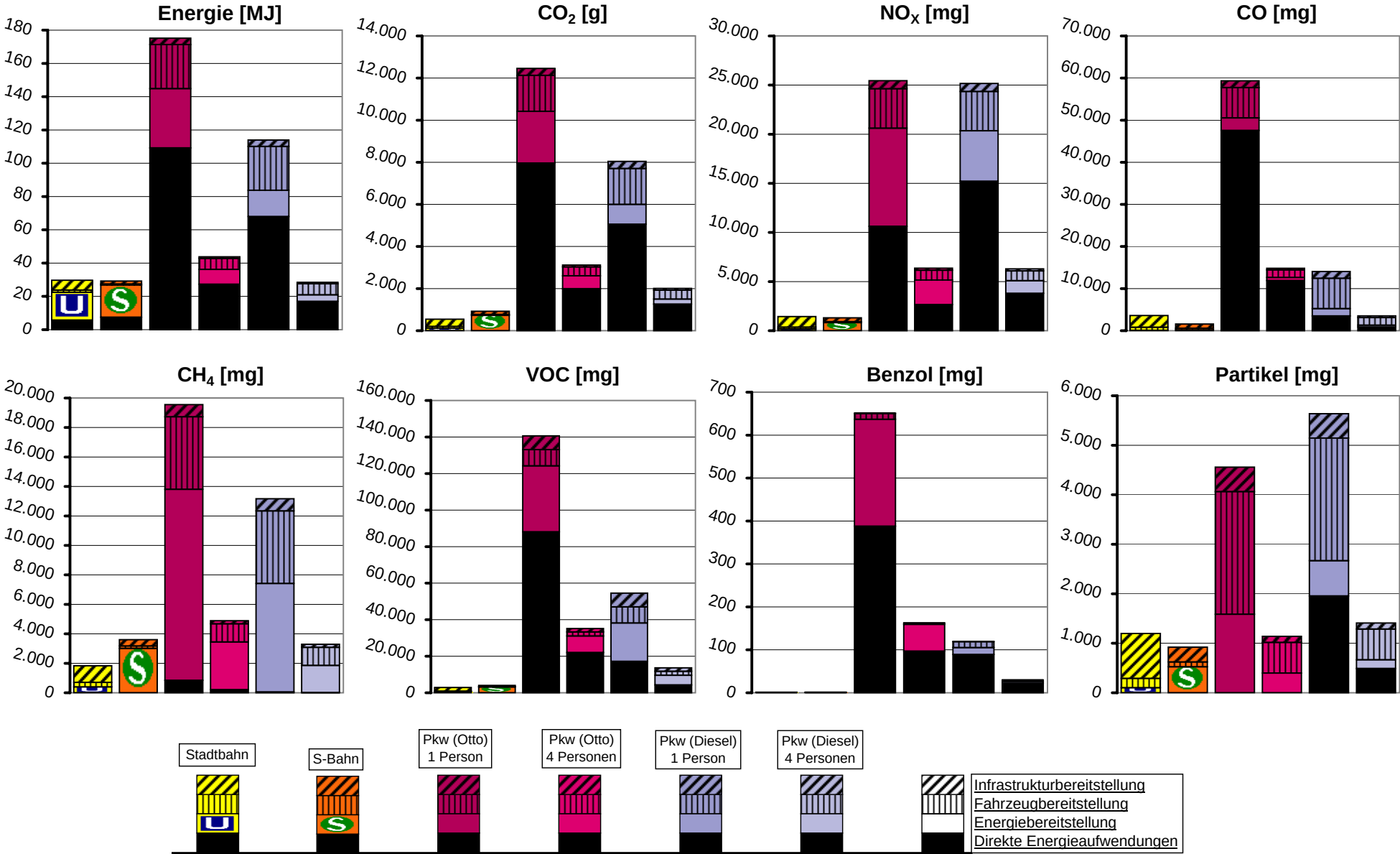
zur Tabelle



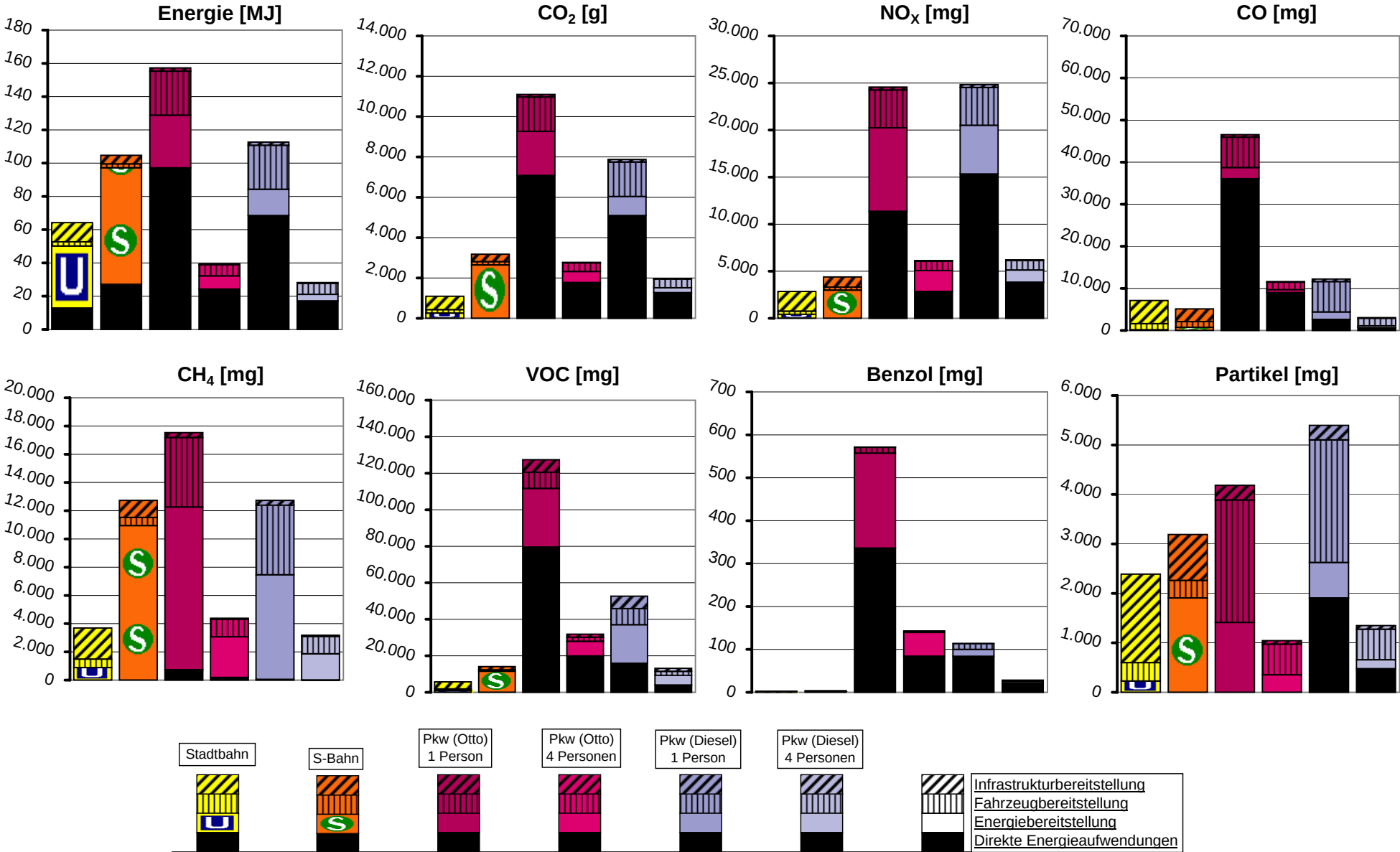
zur Tabelle



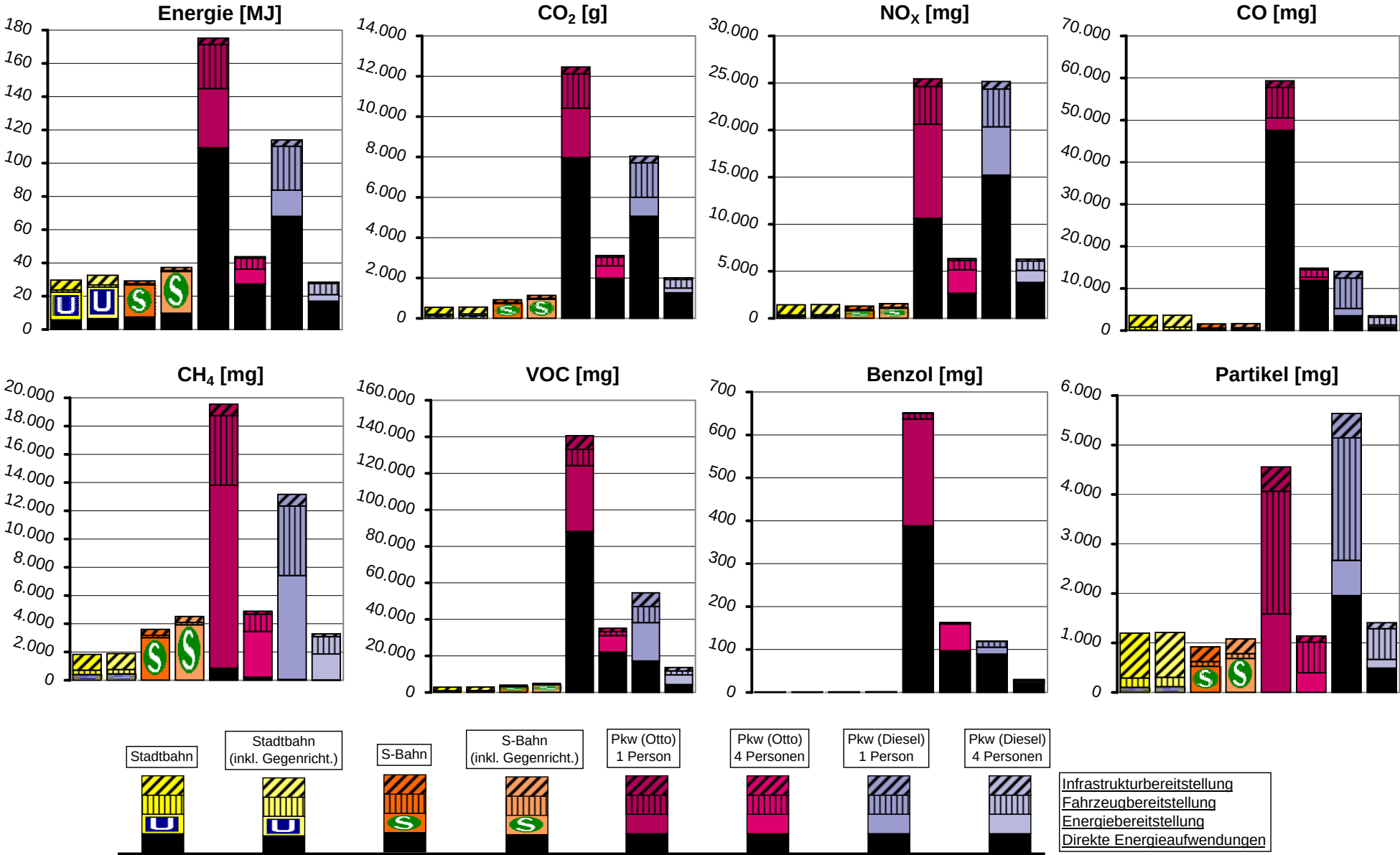
zur Tabelle



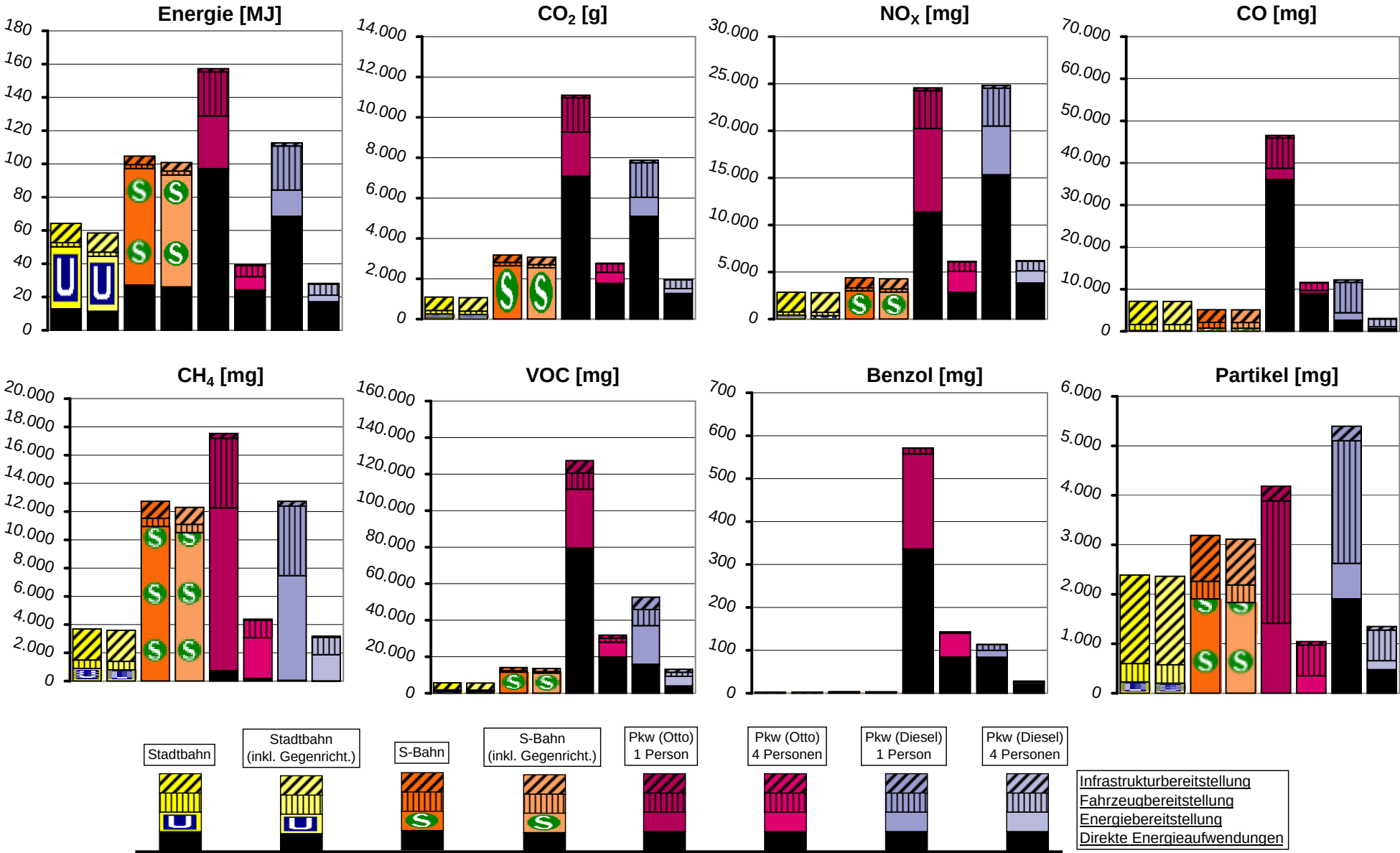
zur Tabelle



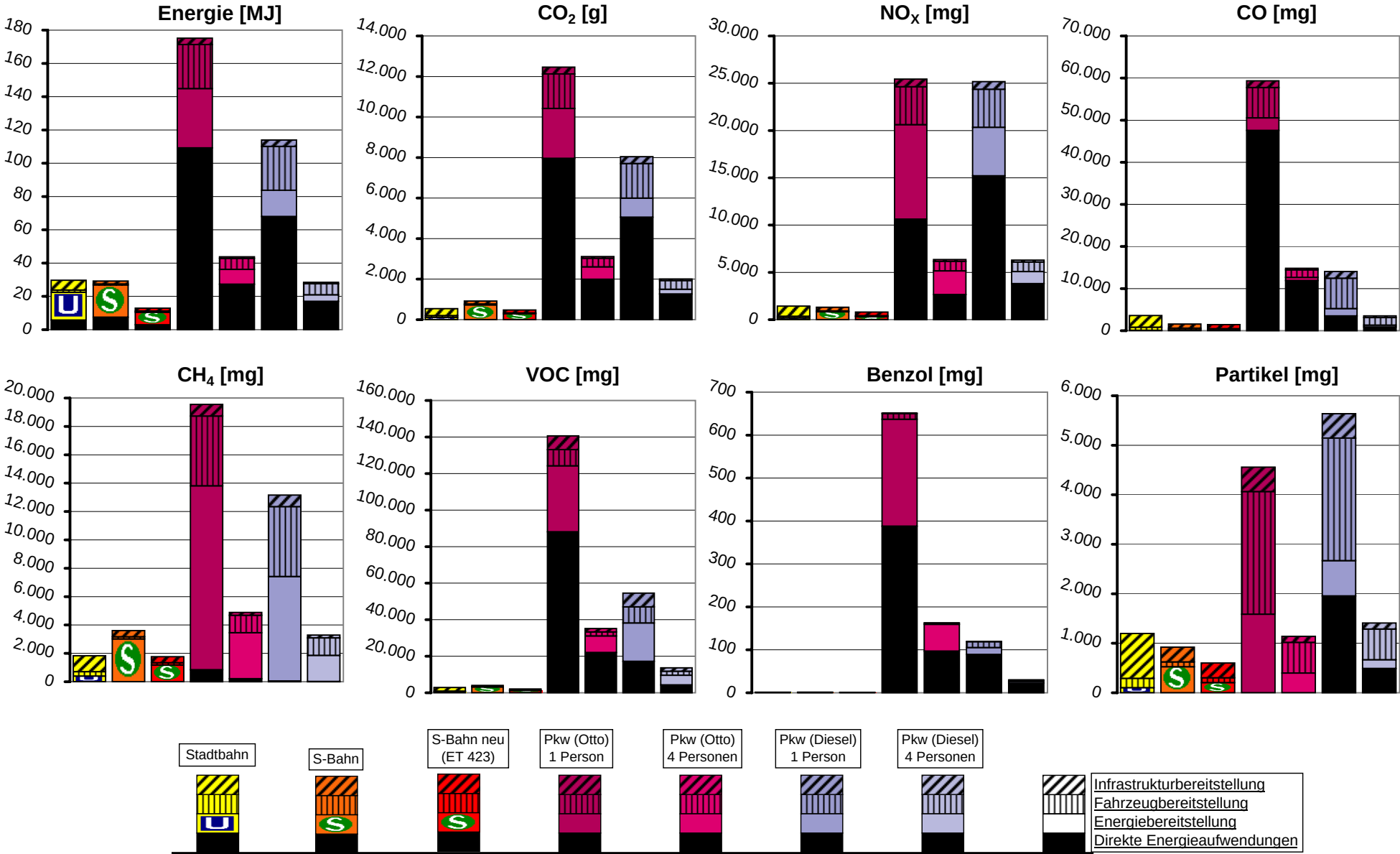
zur Tabelle



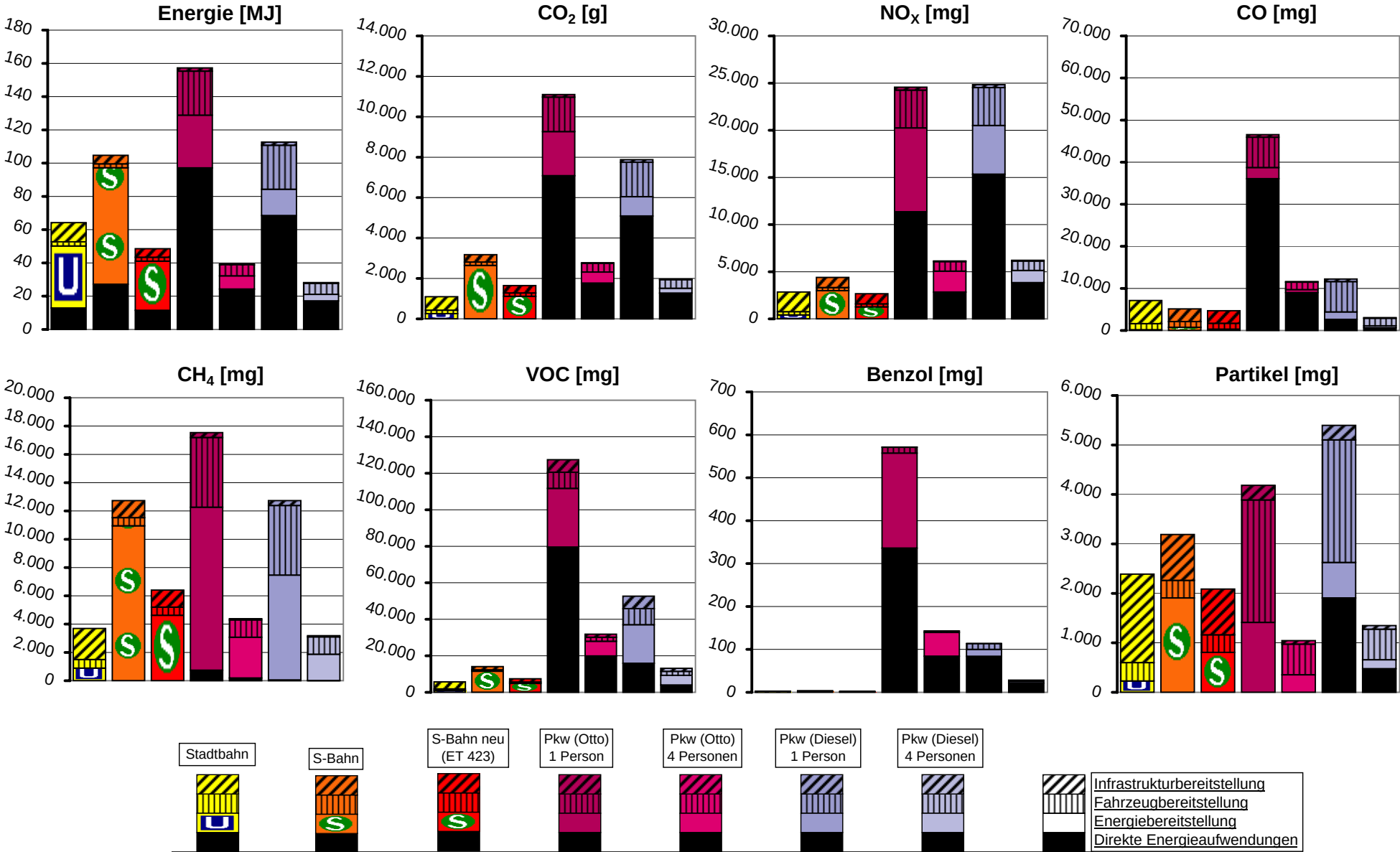
zur Tabelle



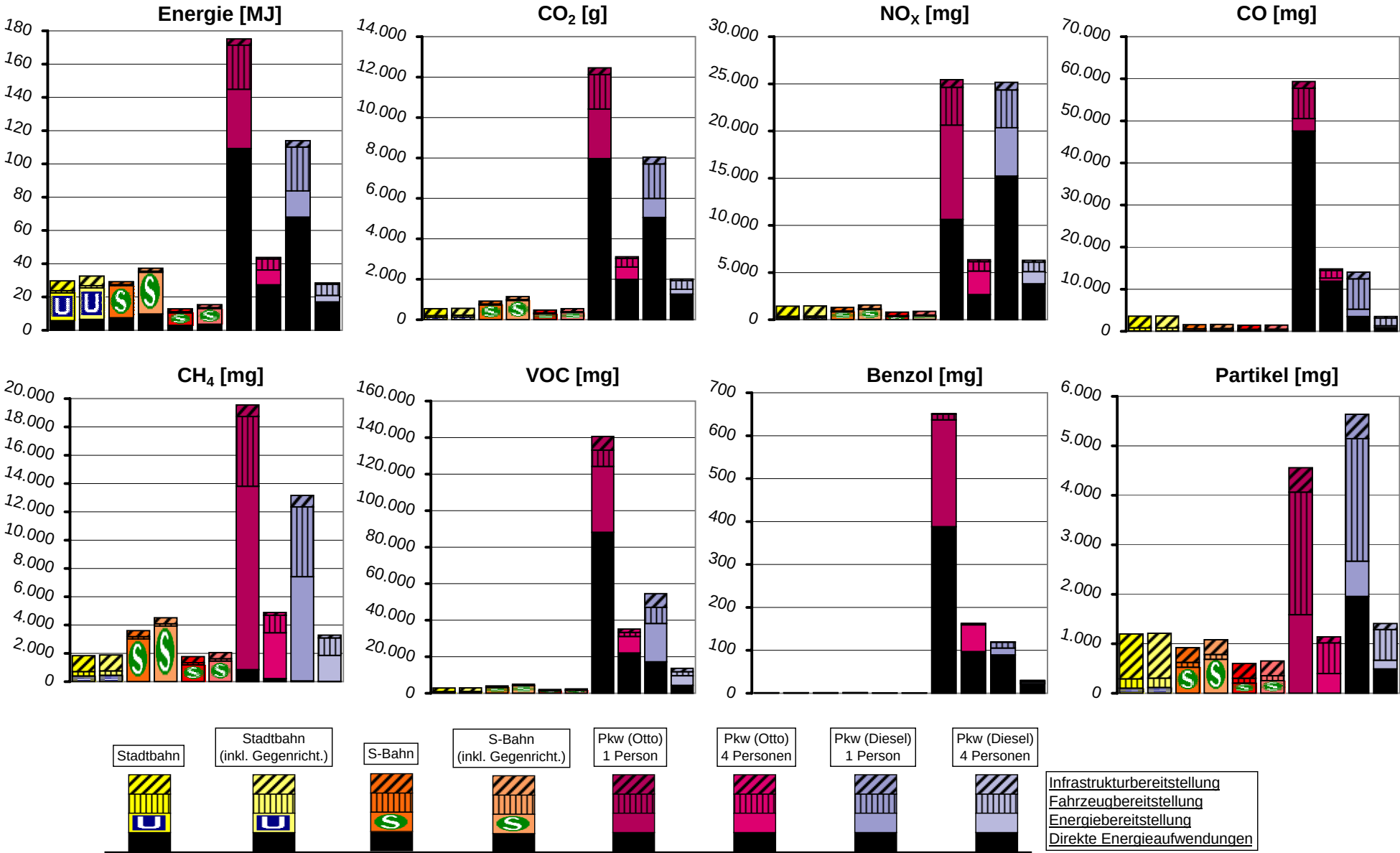
zur Tabelle



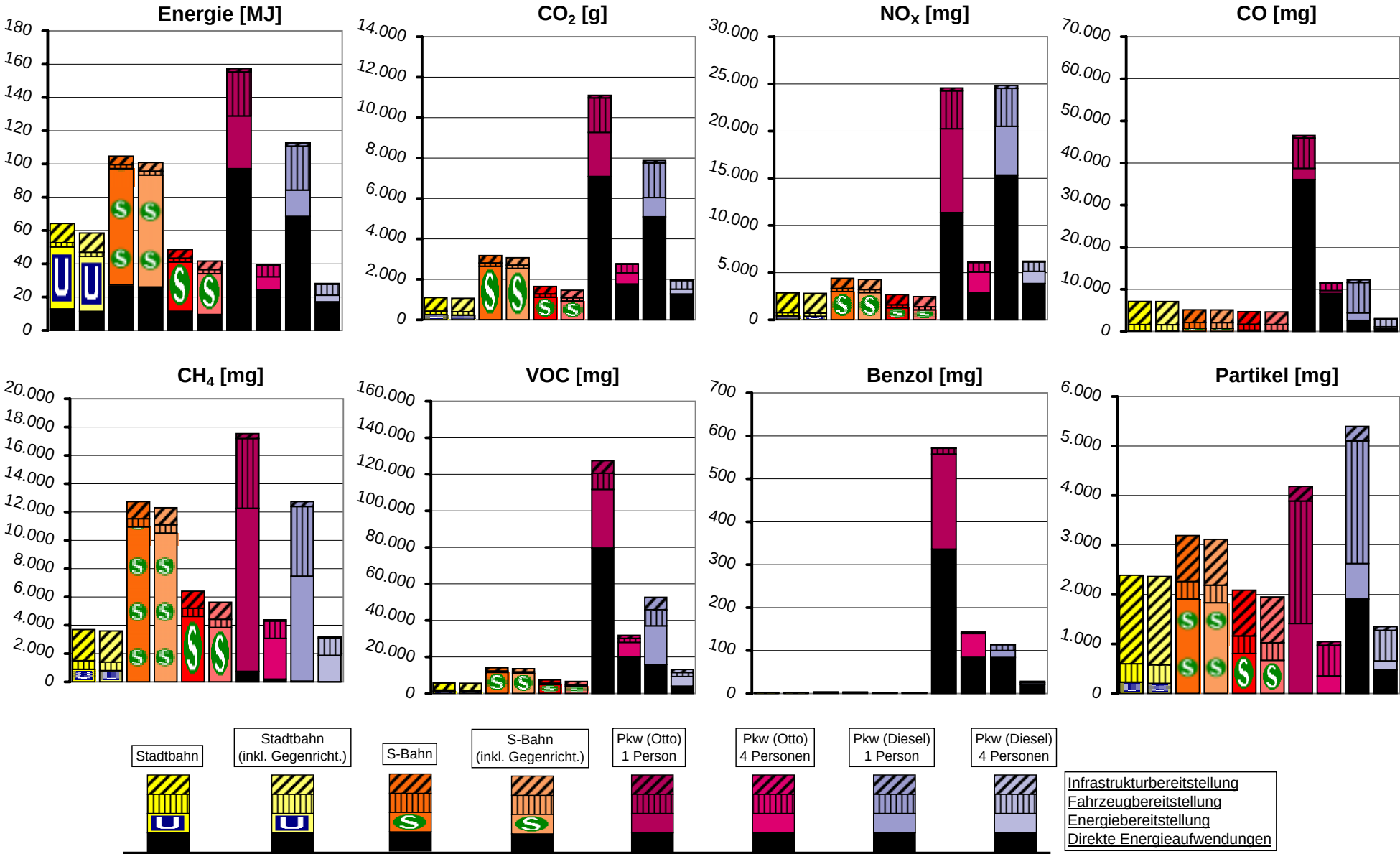
zur Tabelle



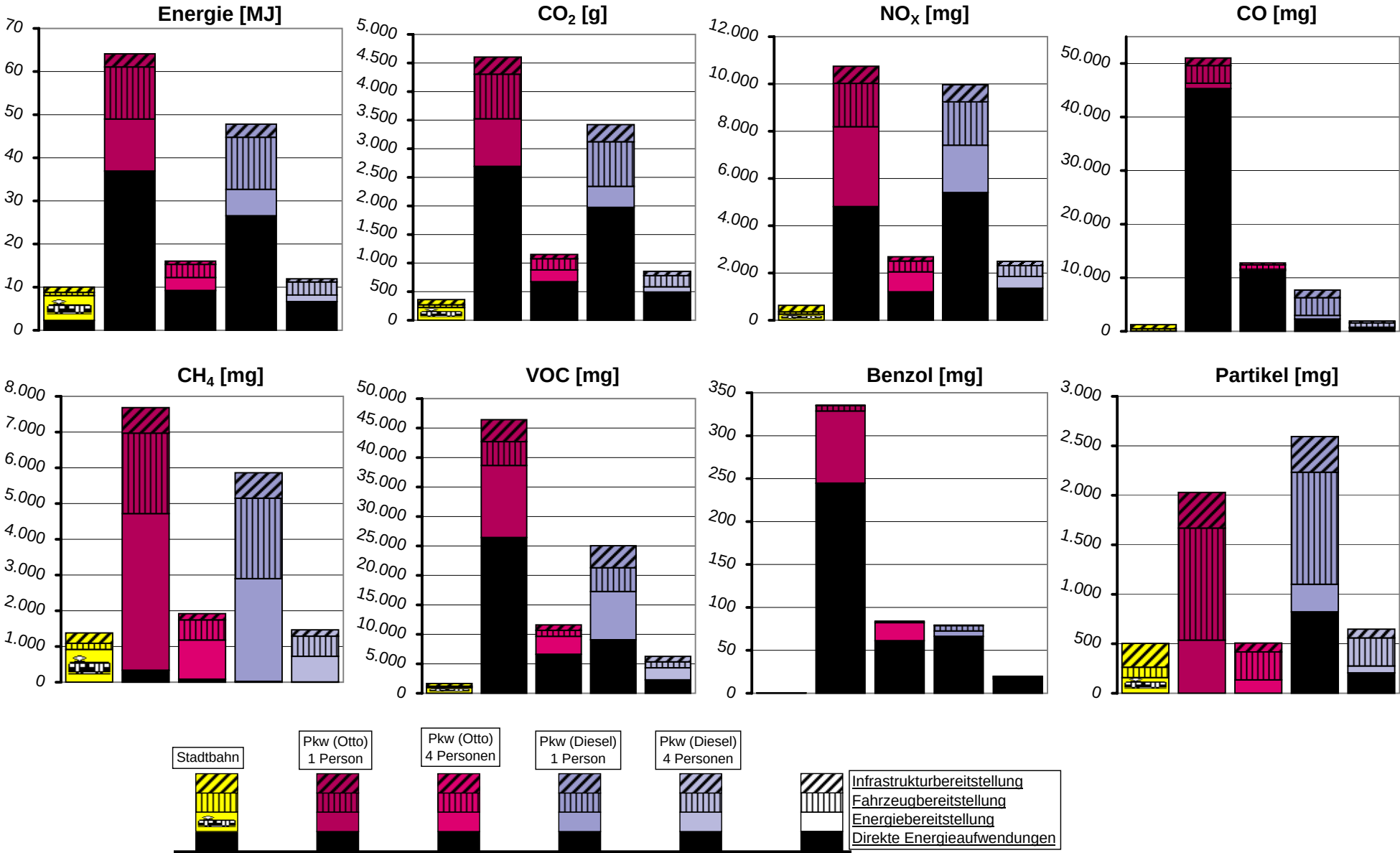
zur Tabelle



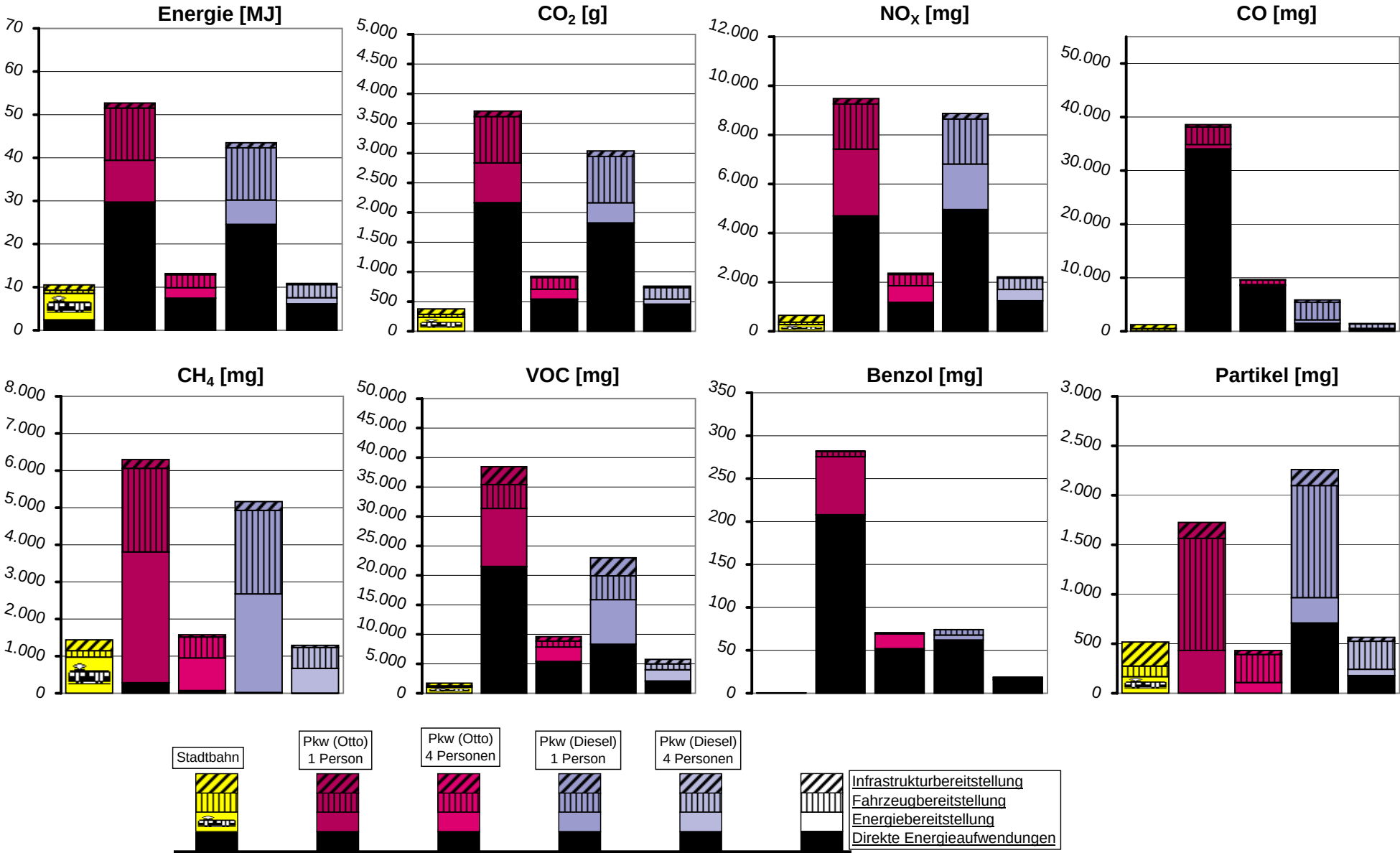
zur Tabelle



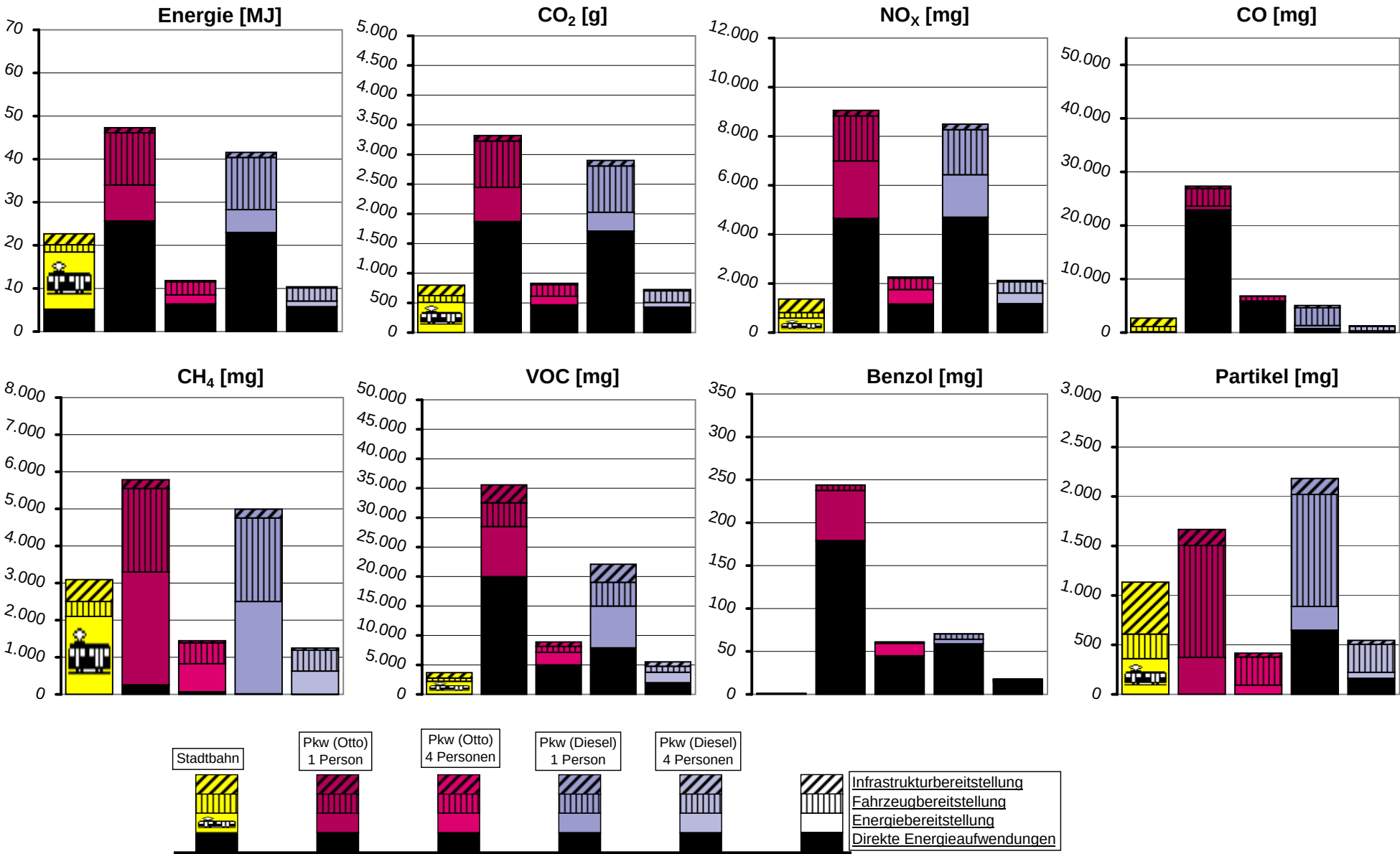
zur Tabelle



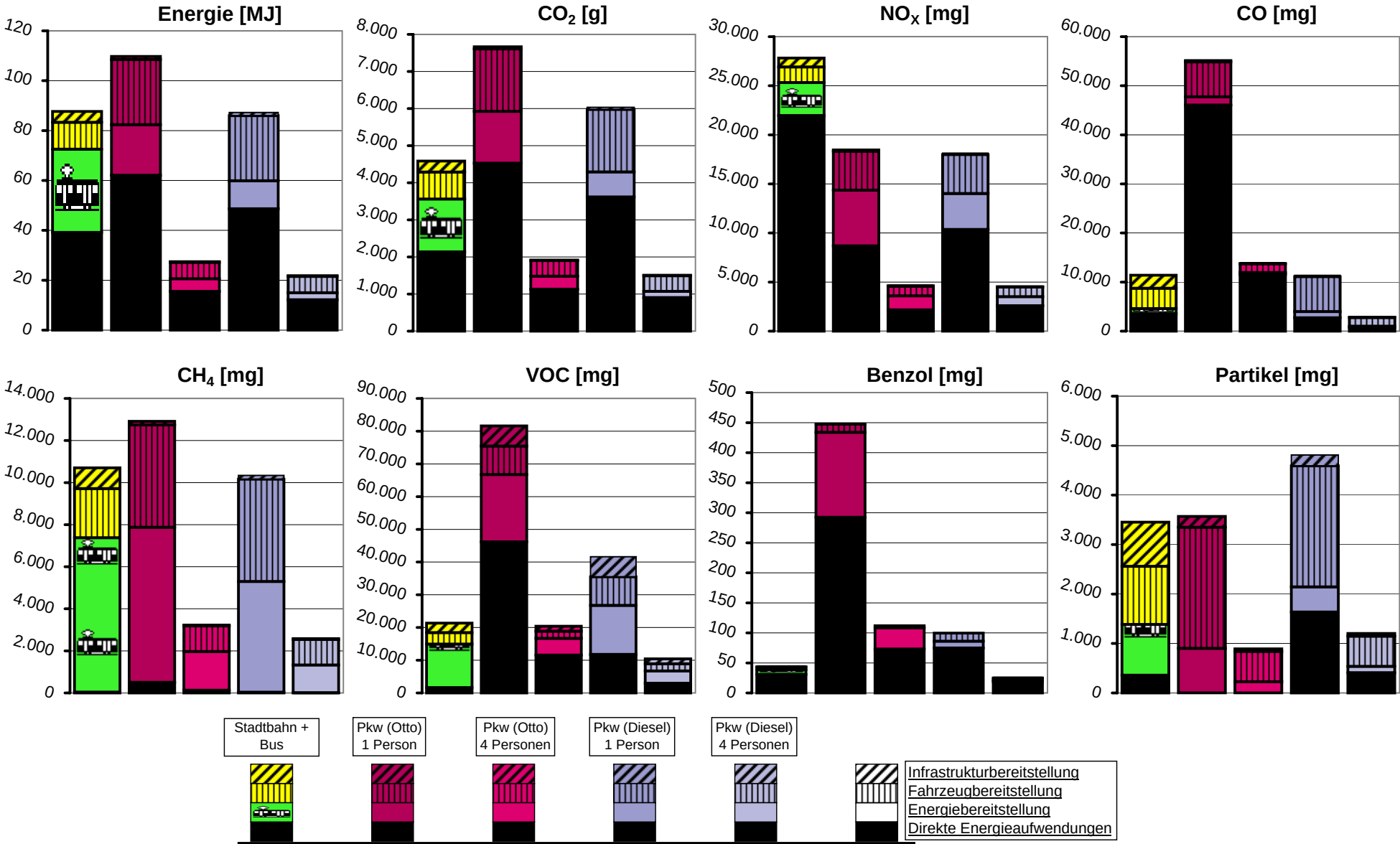
zur Tabelle



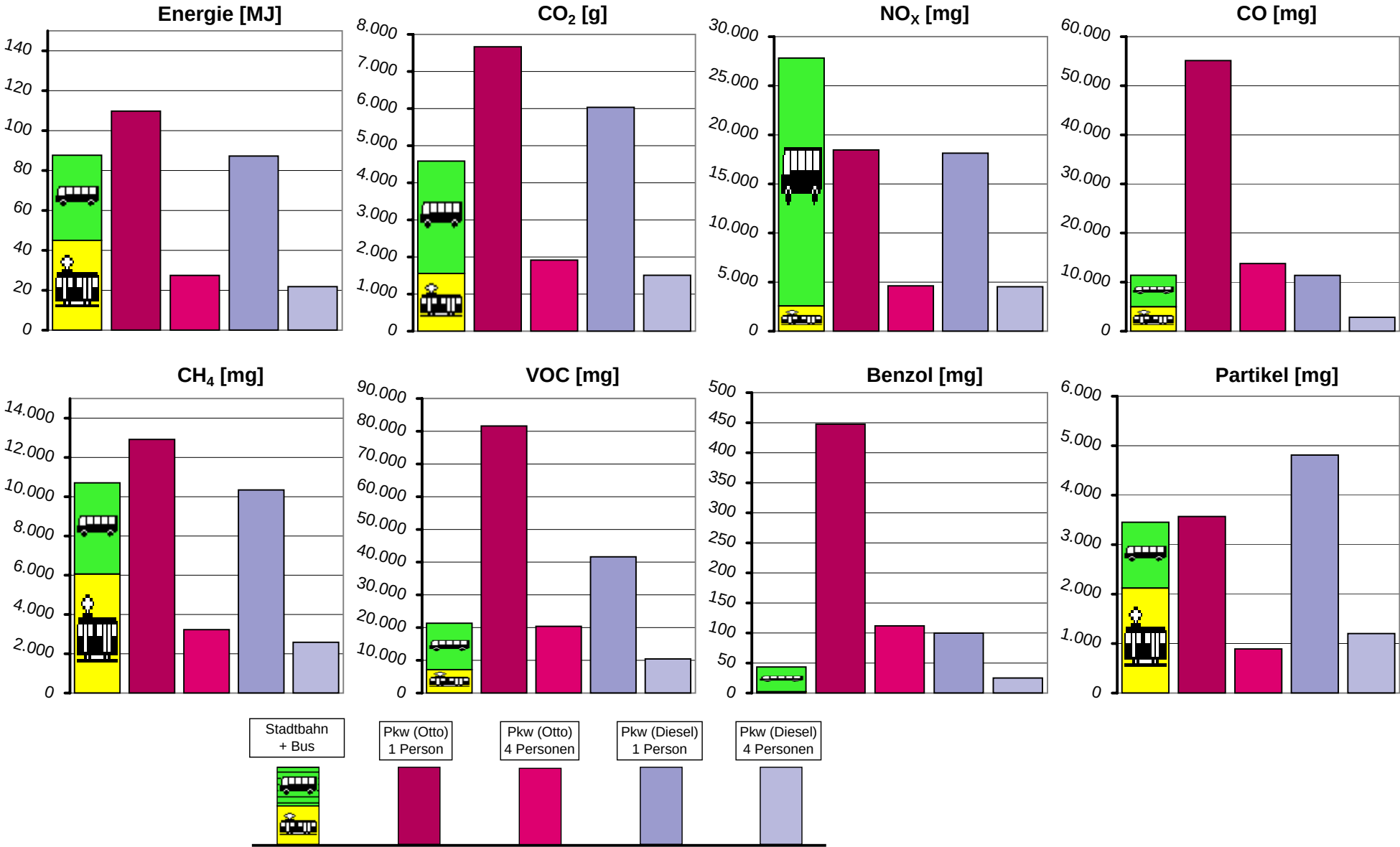
zur Tabelle



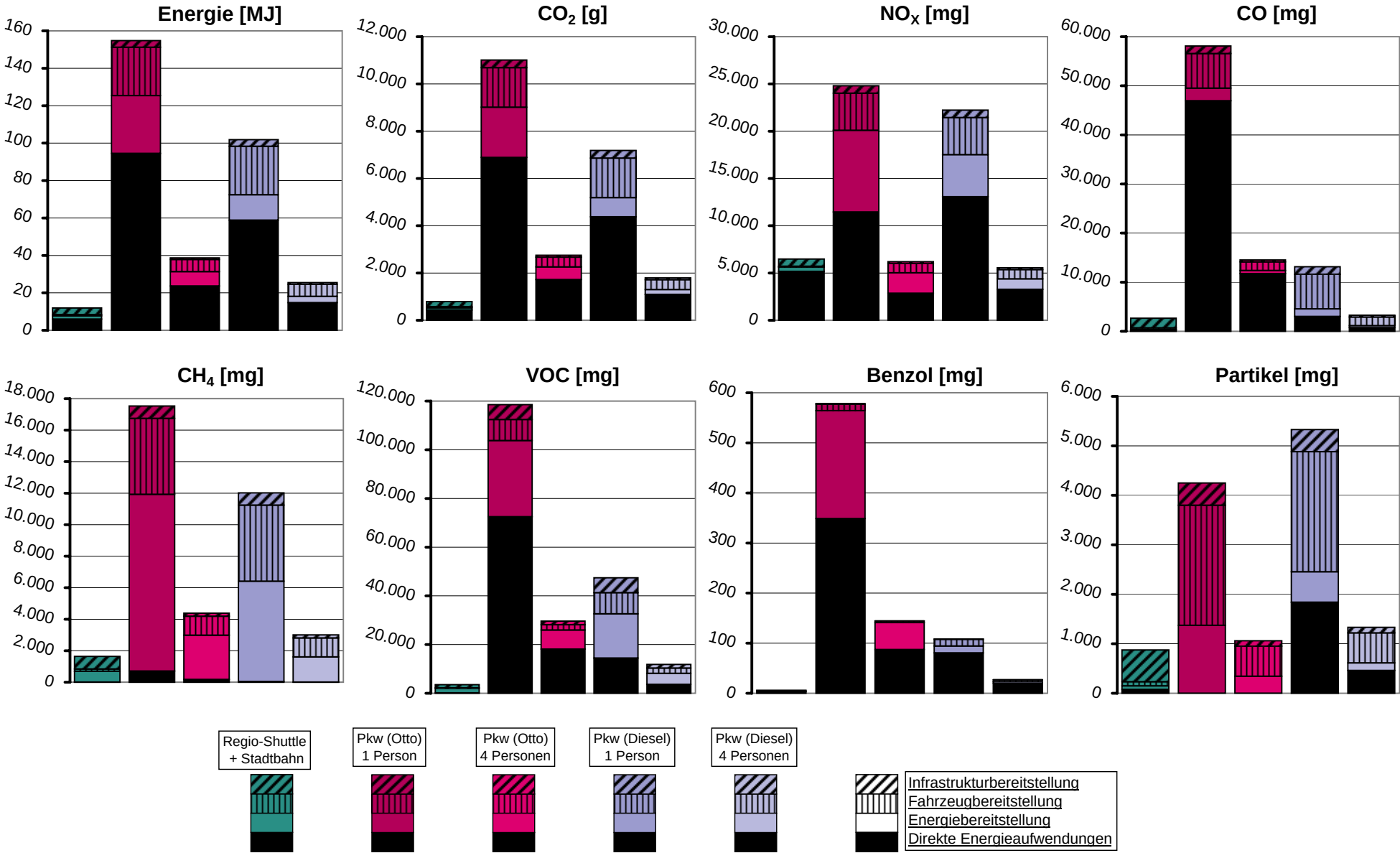
zur Tabelle



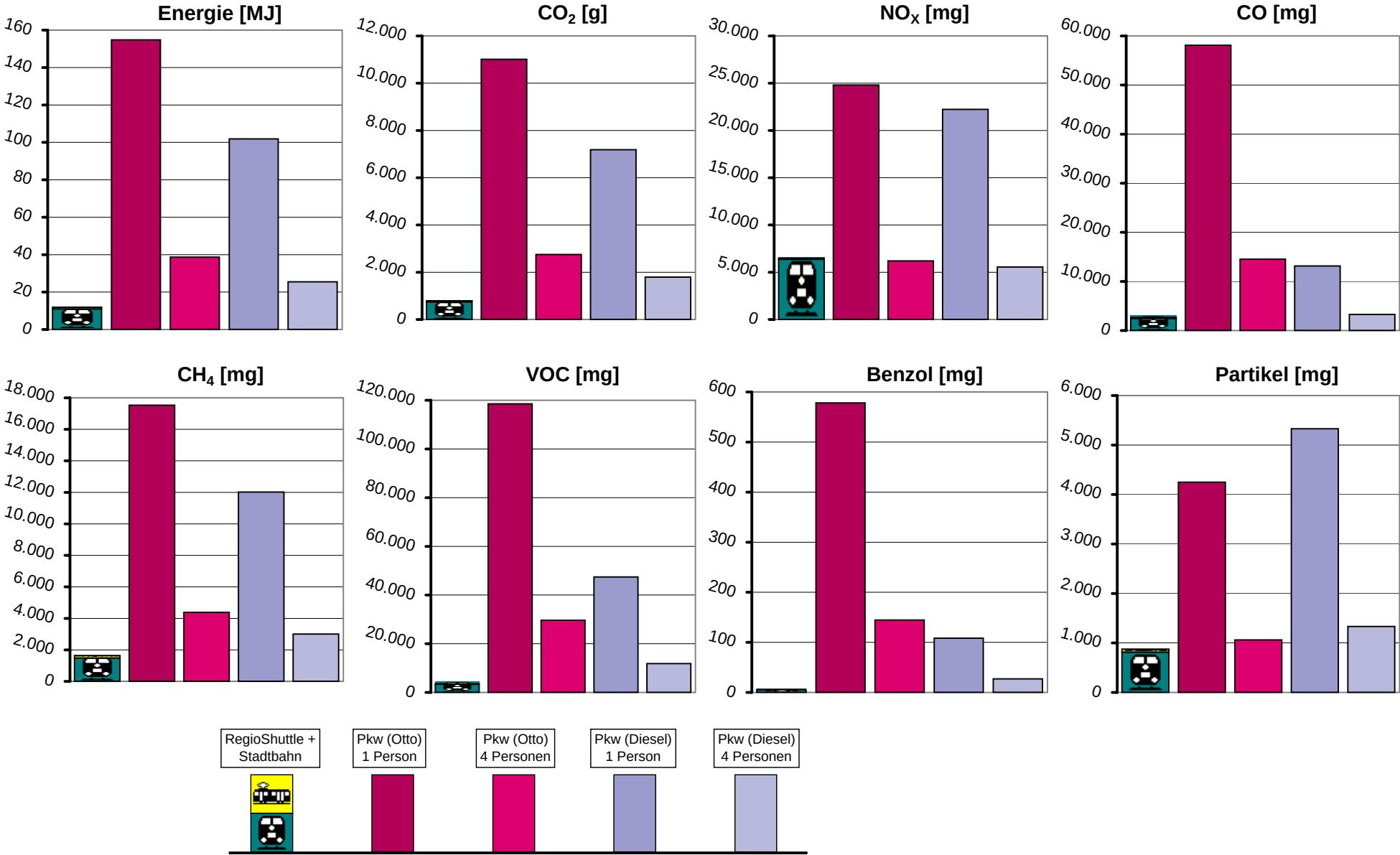
zur Tabelle



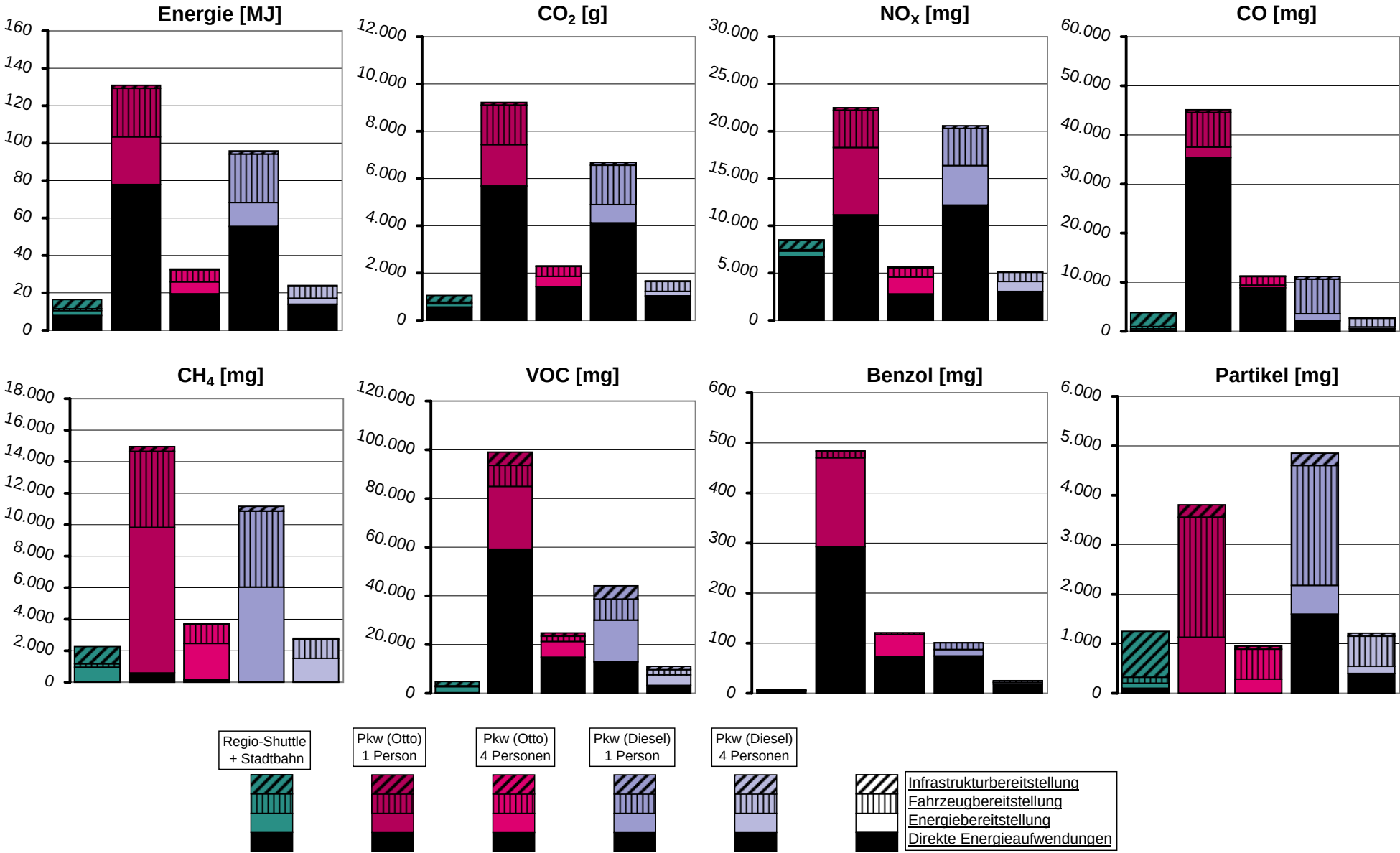
zur Tabelle



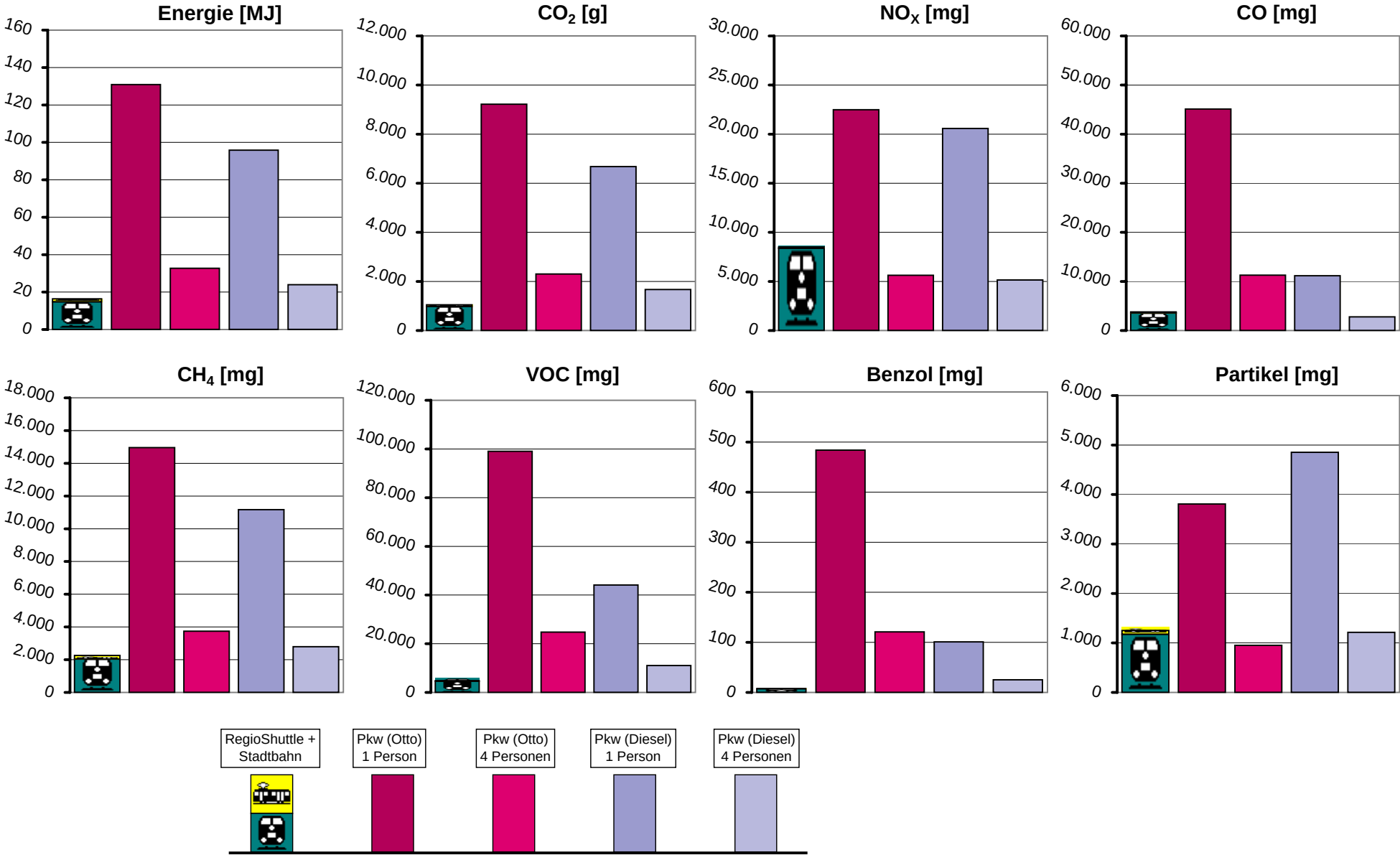
zur Tabelle

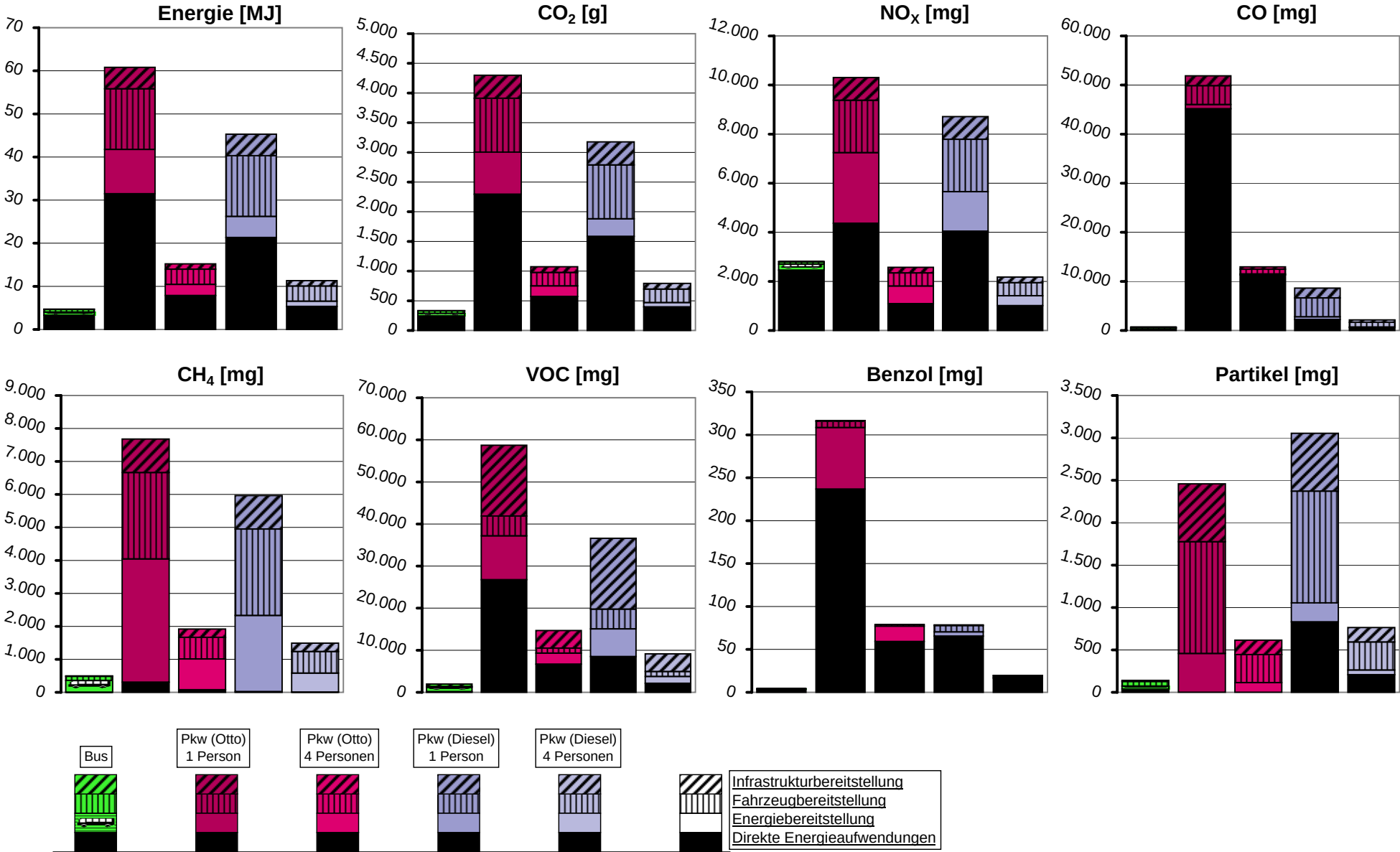


zur Tabelle

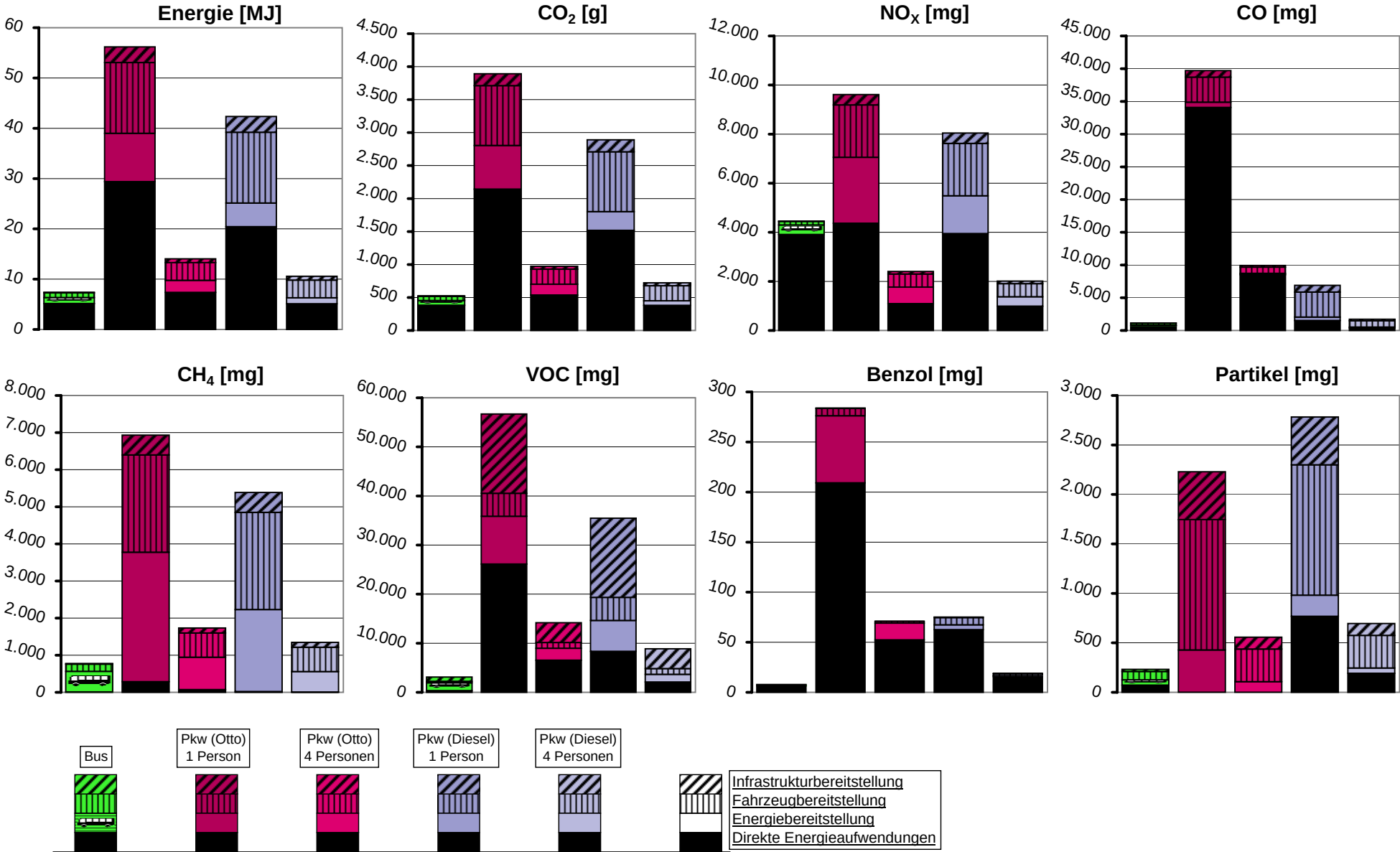


zur Tabelle

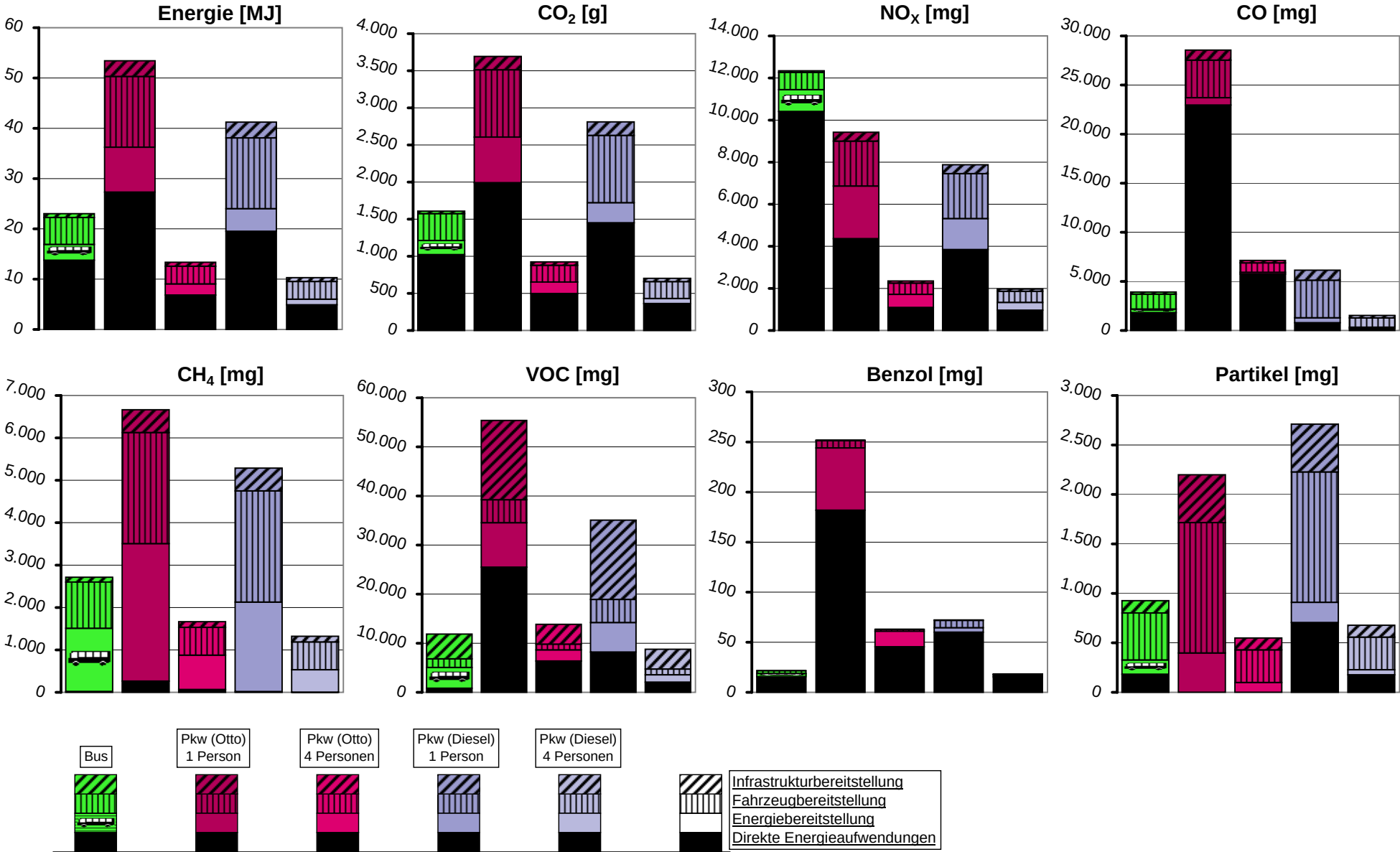




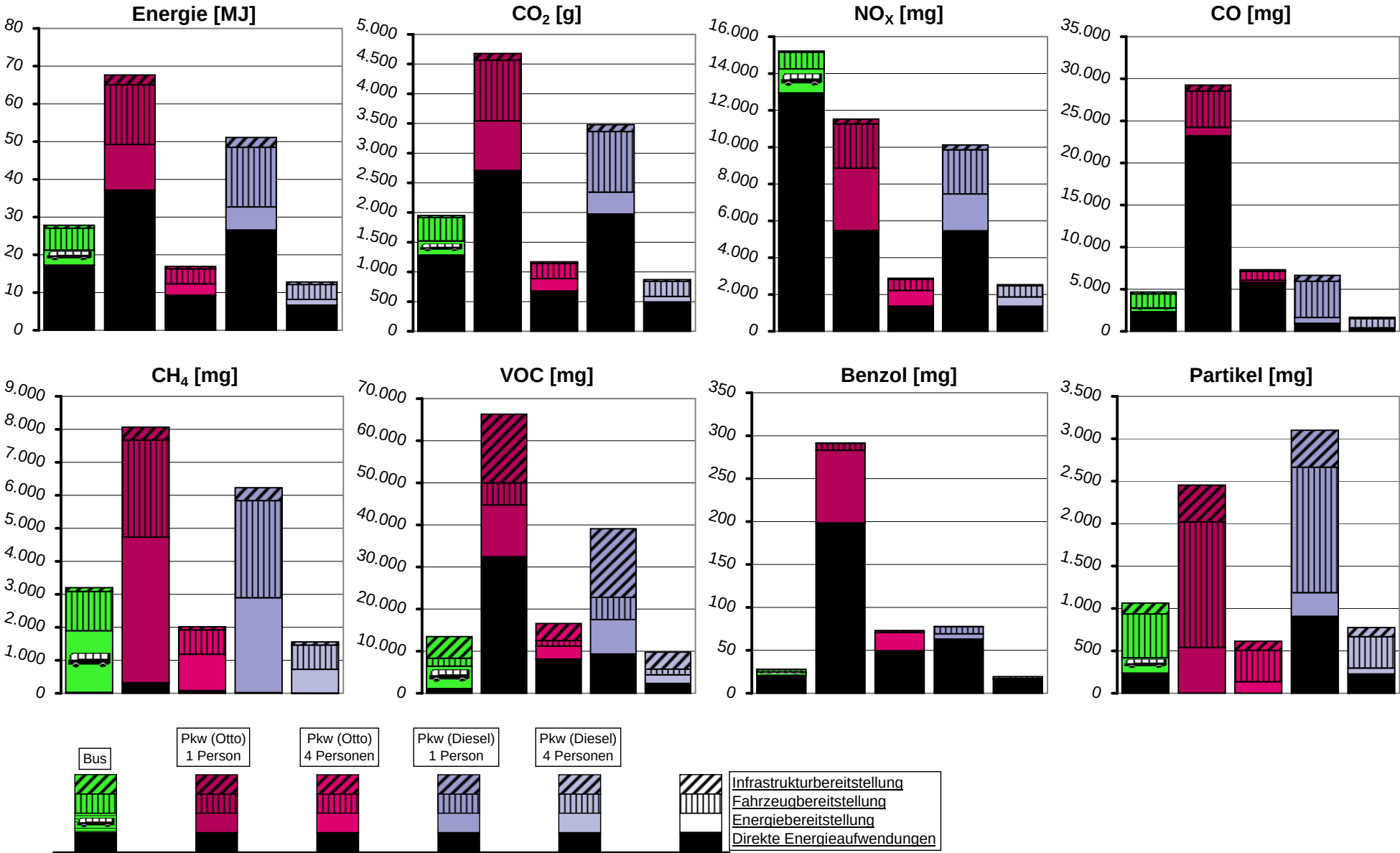
zur Tabelle



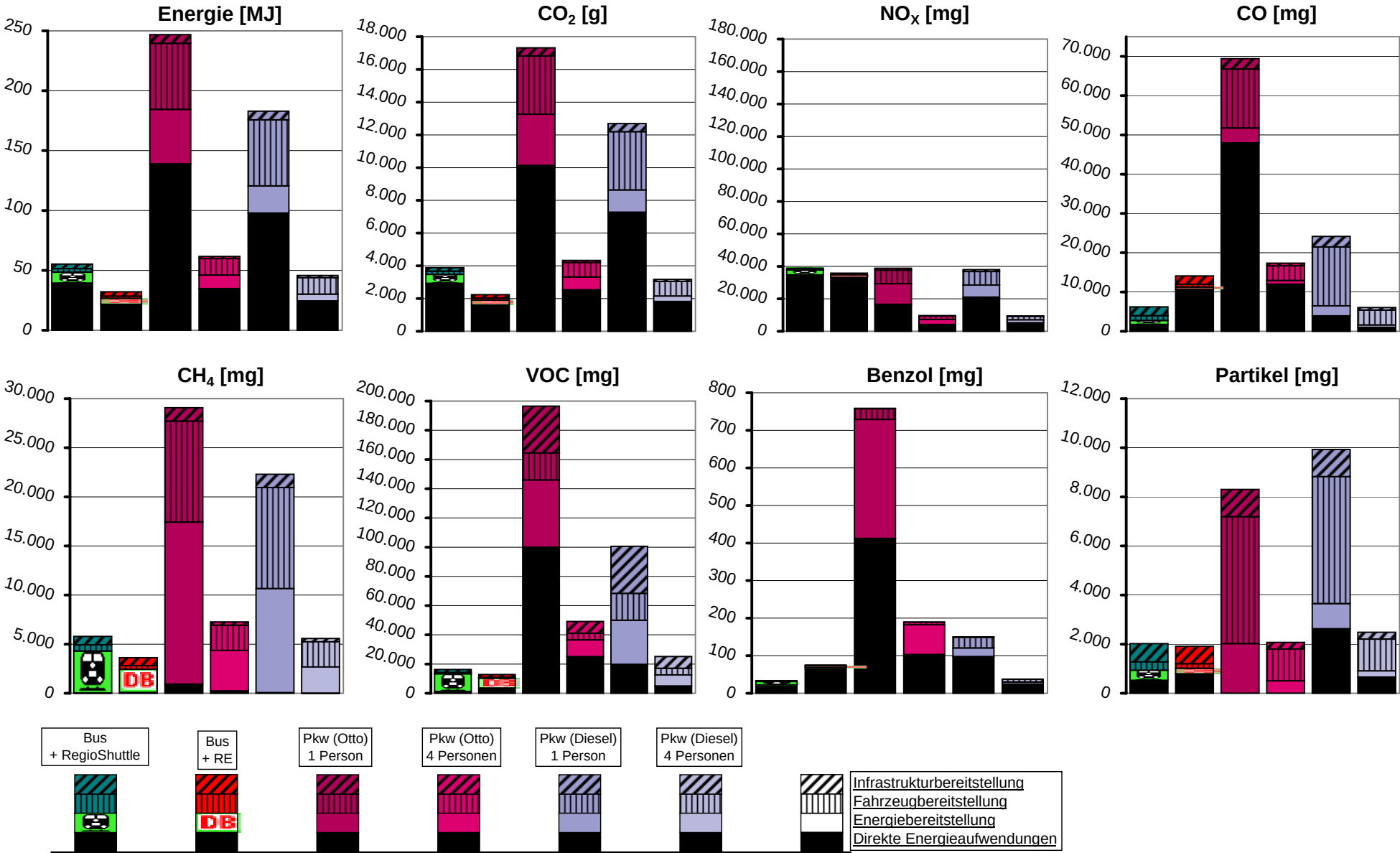
zur Tabelle



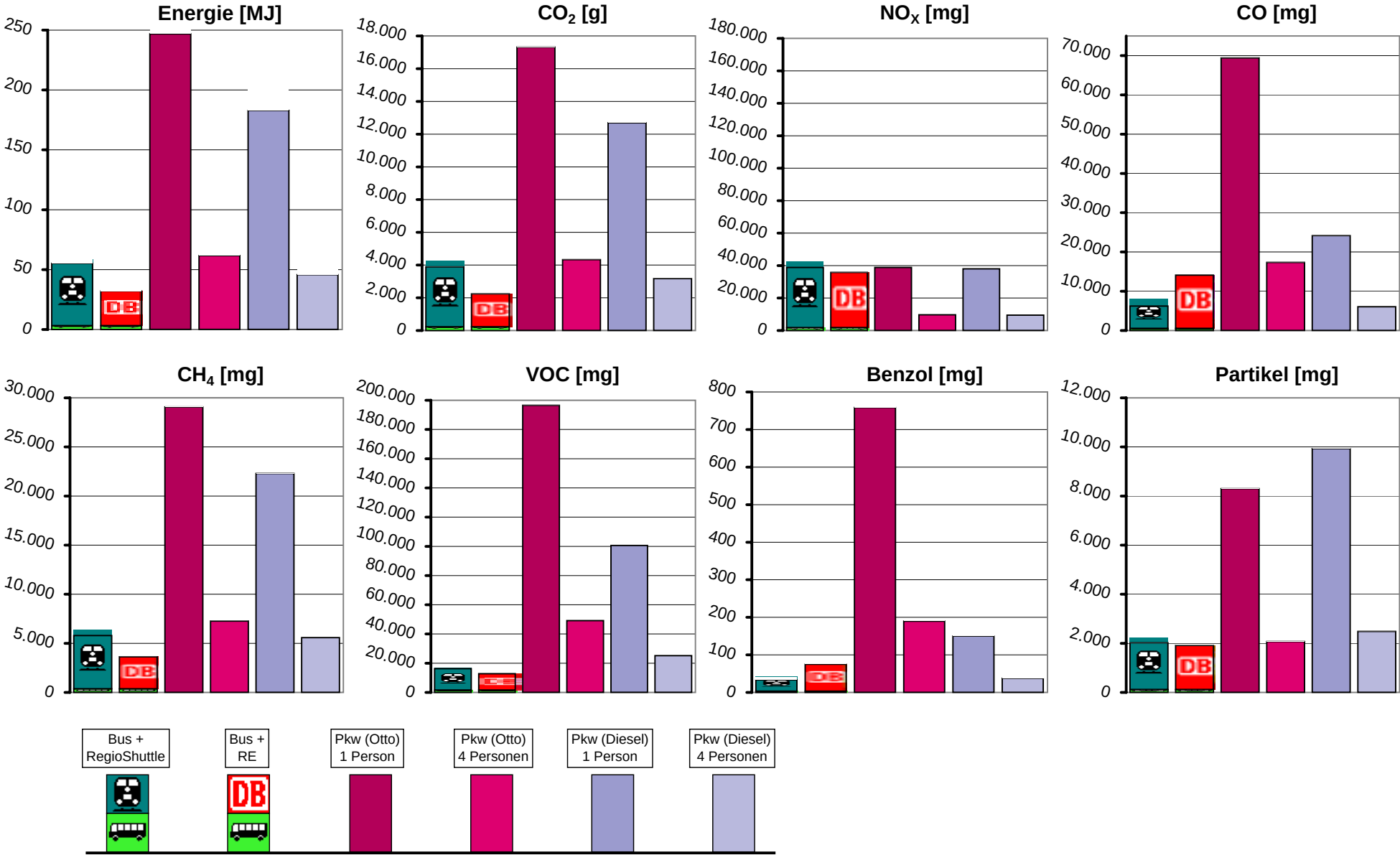
zur Tabelle



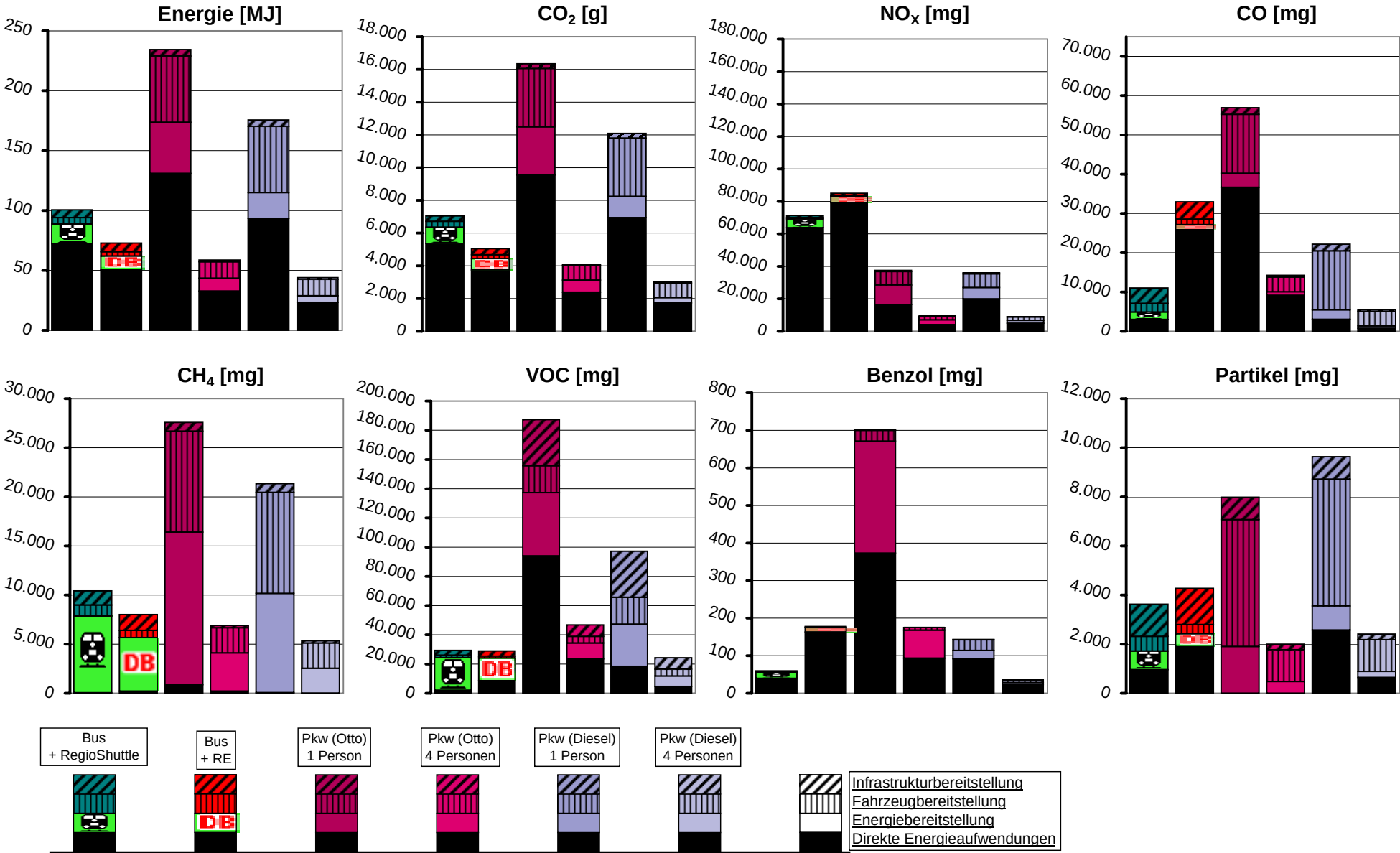
zur Tabelle



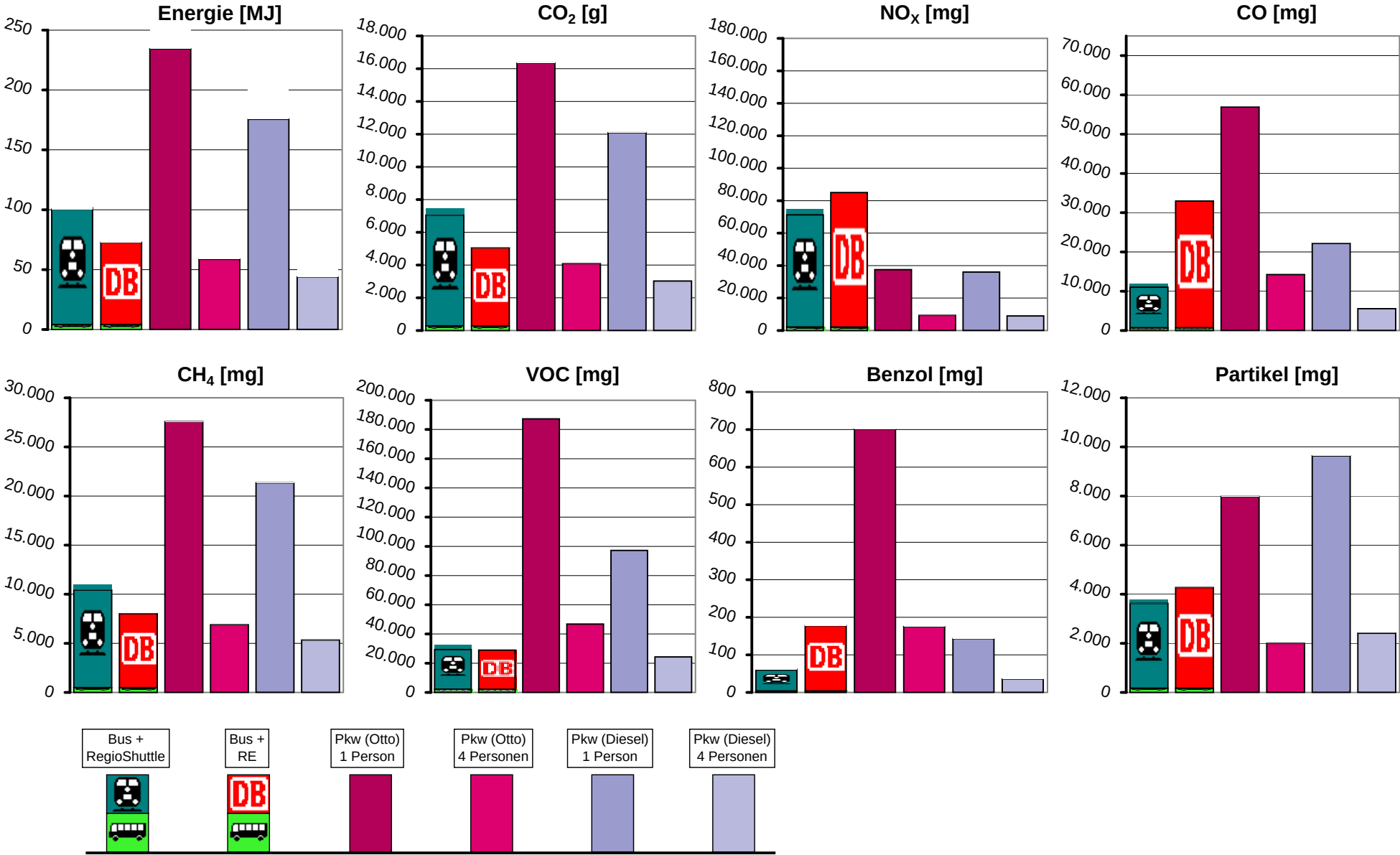
zur Tabelle



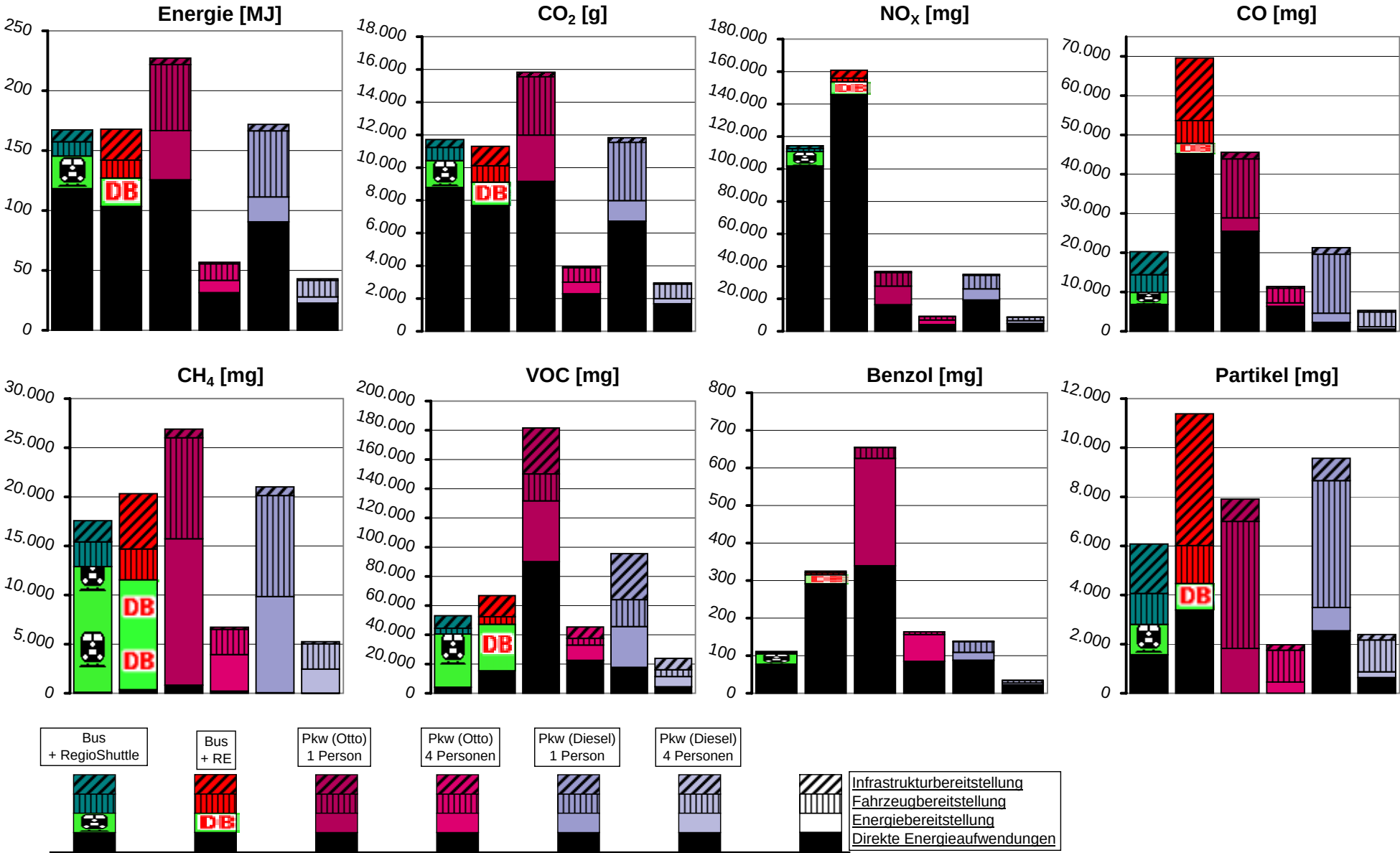
zur Tabelle



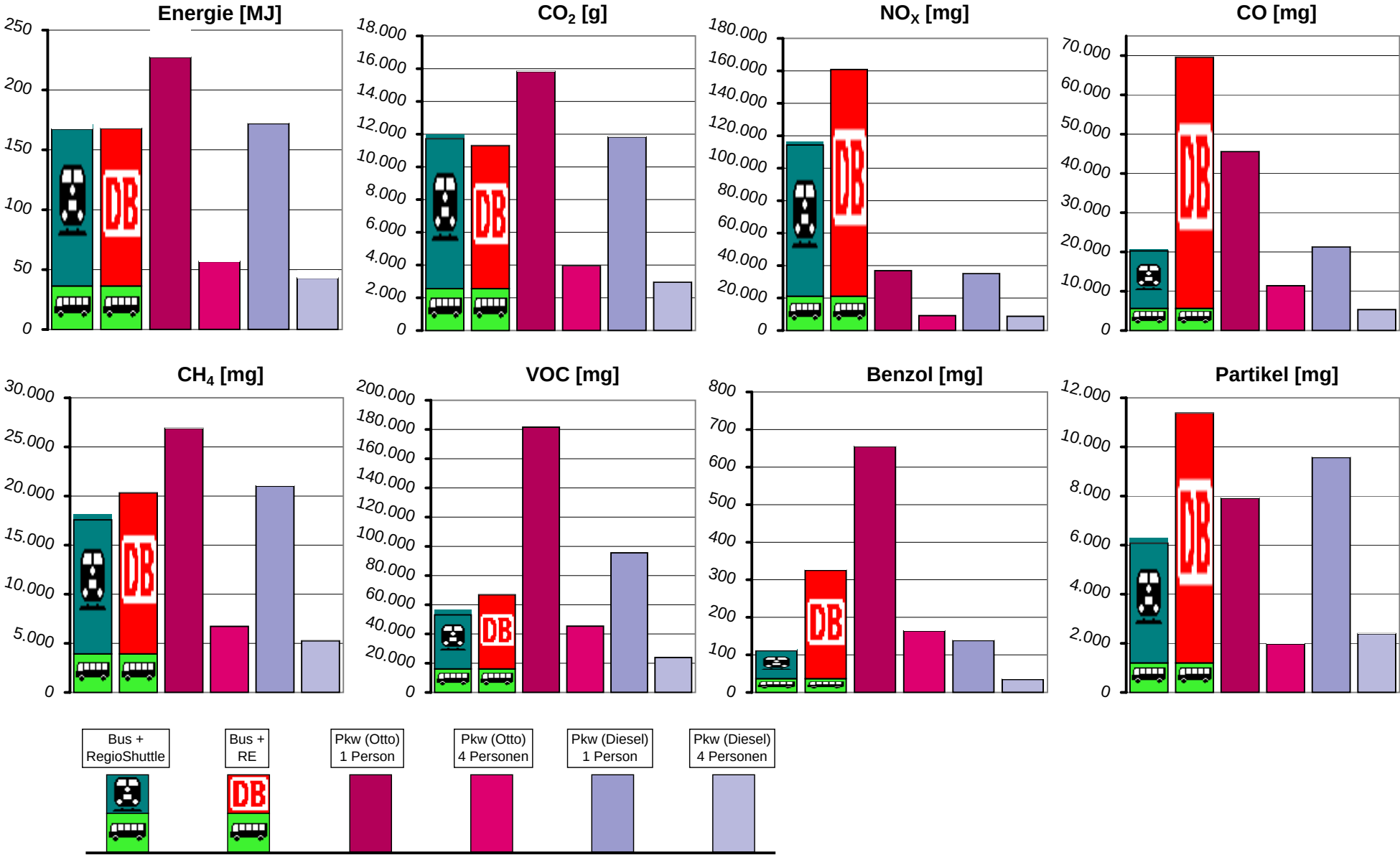
zur Tabelle

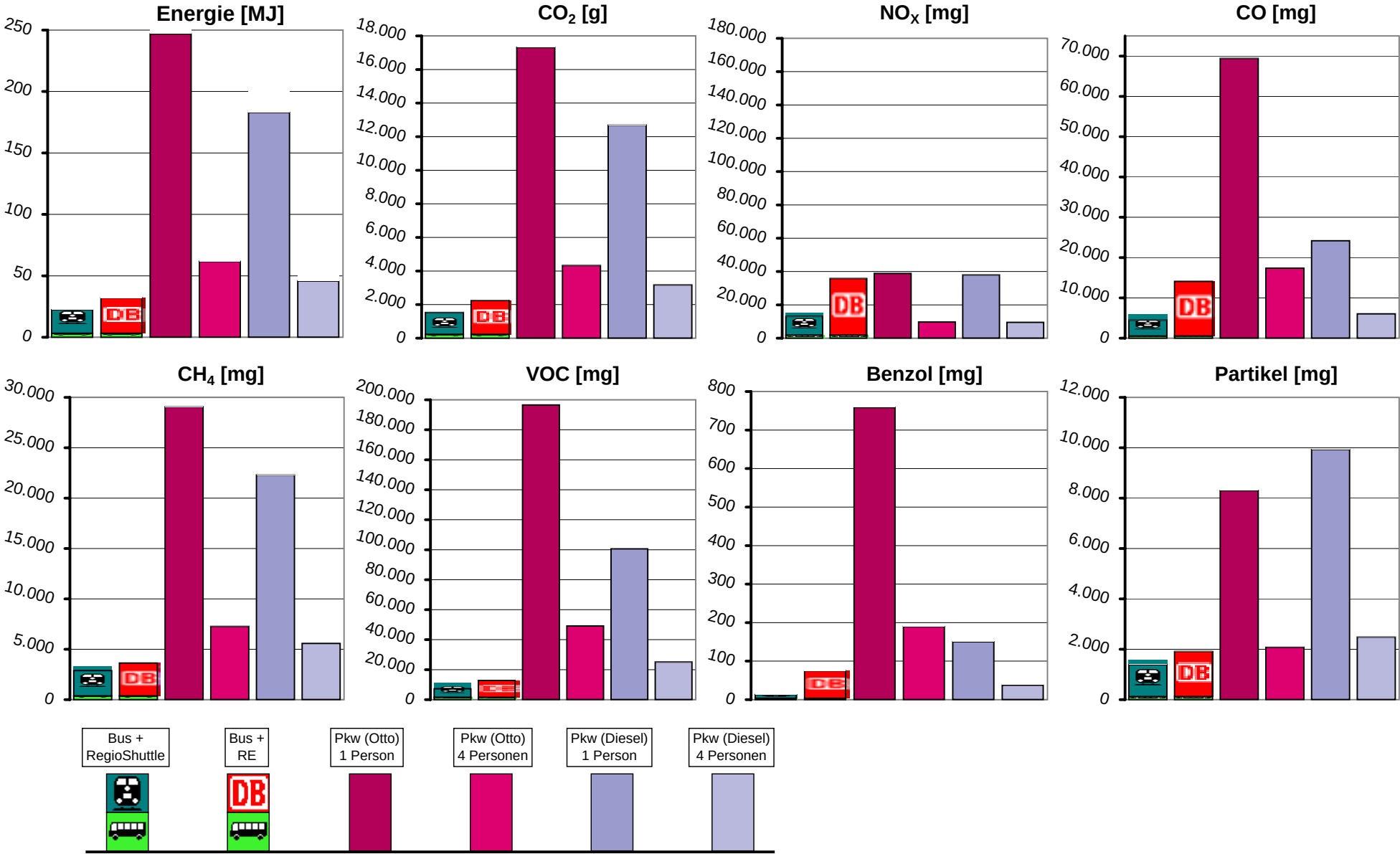


zur Tabelle

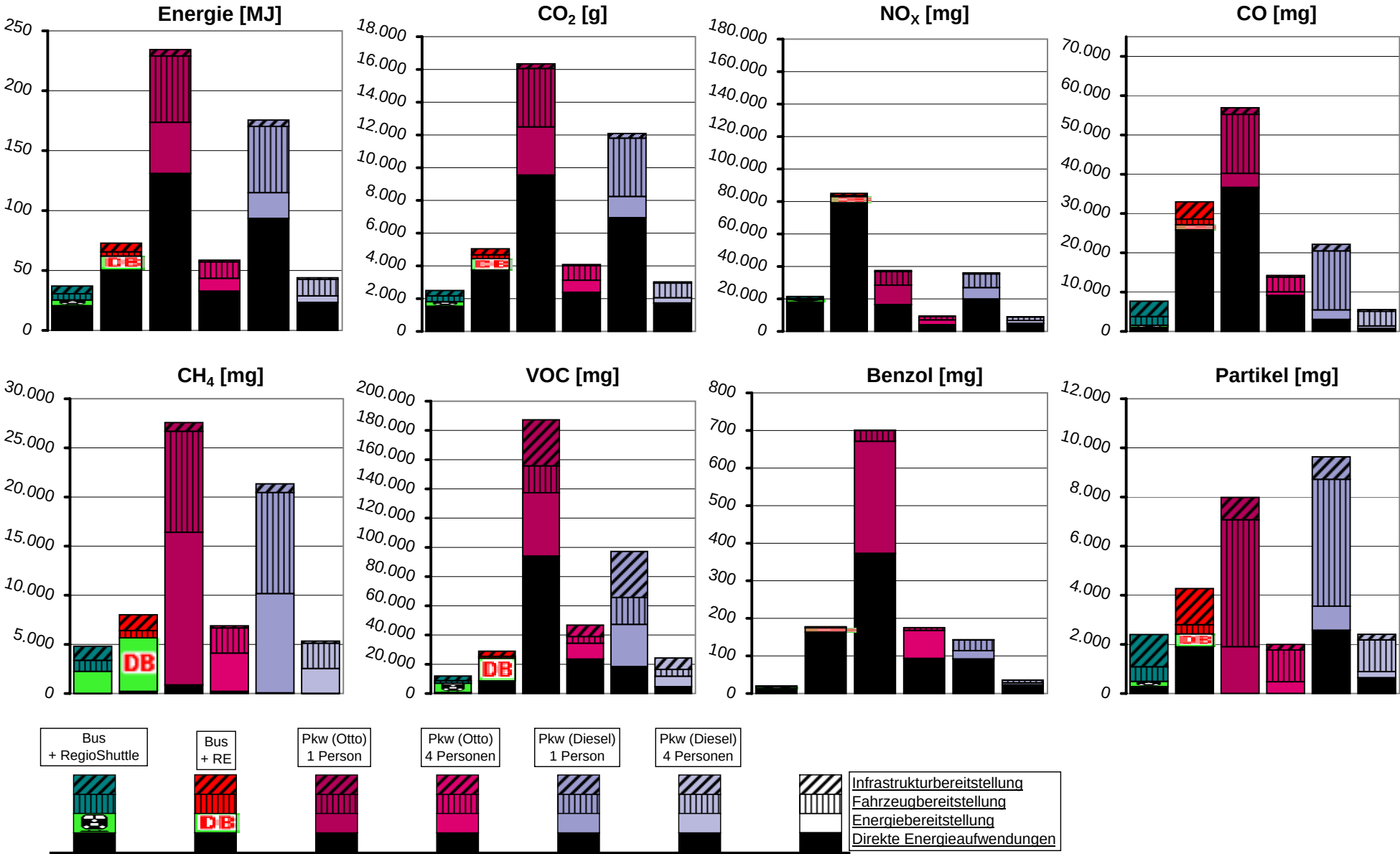


zur Tabelle

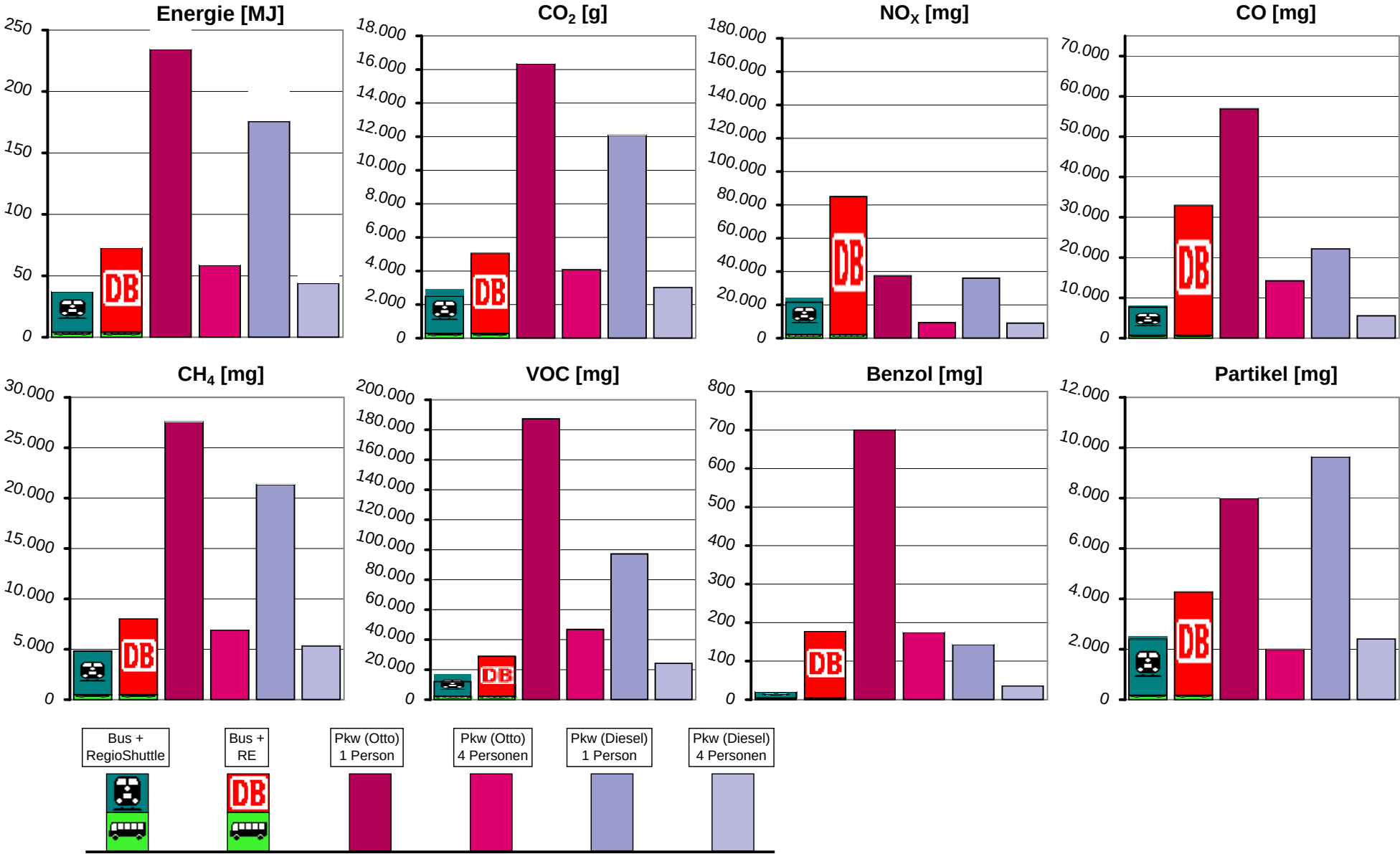




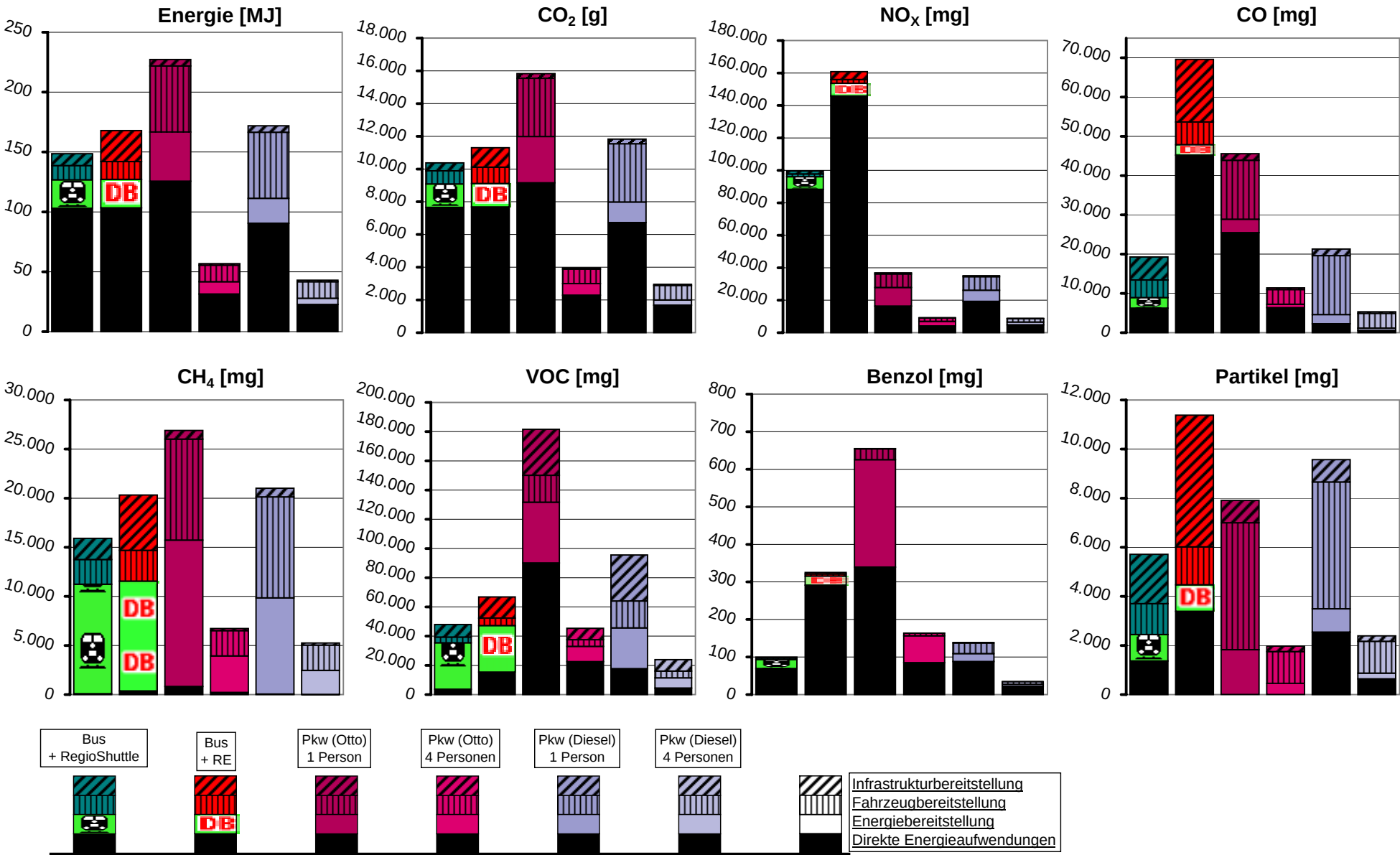
[zur Tabelle](#)



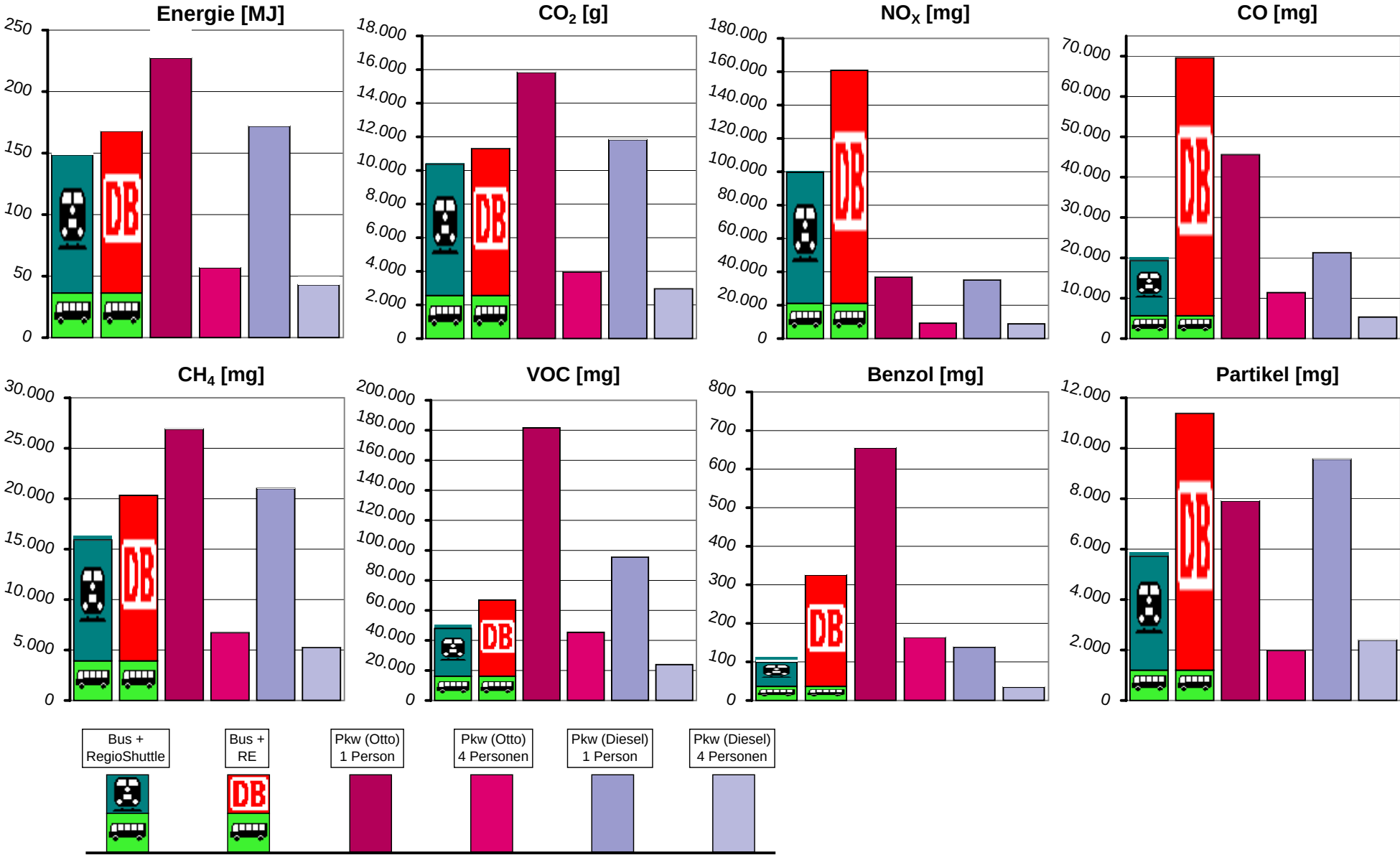
[zur Tabelle](#)



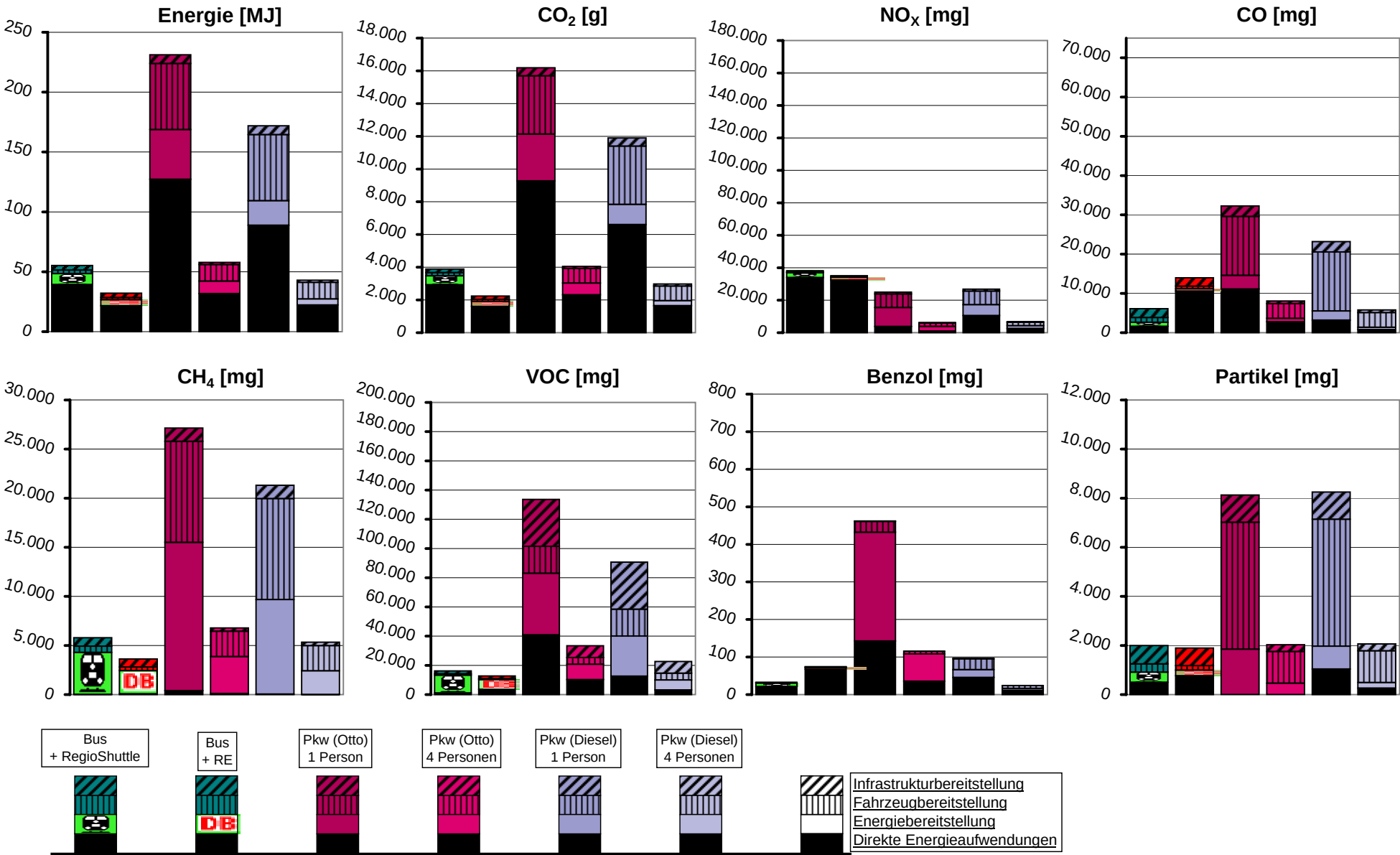
zur Tabelle



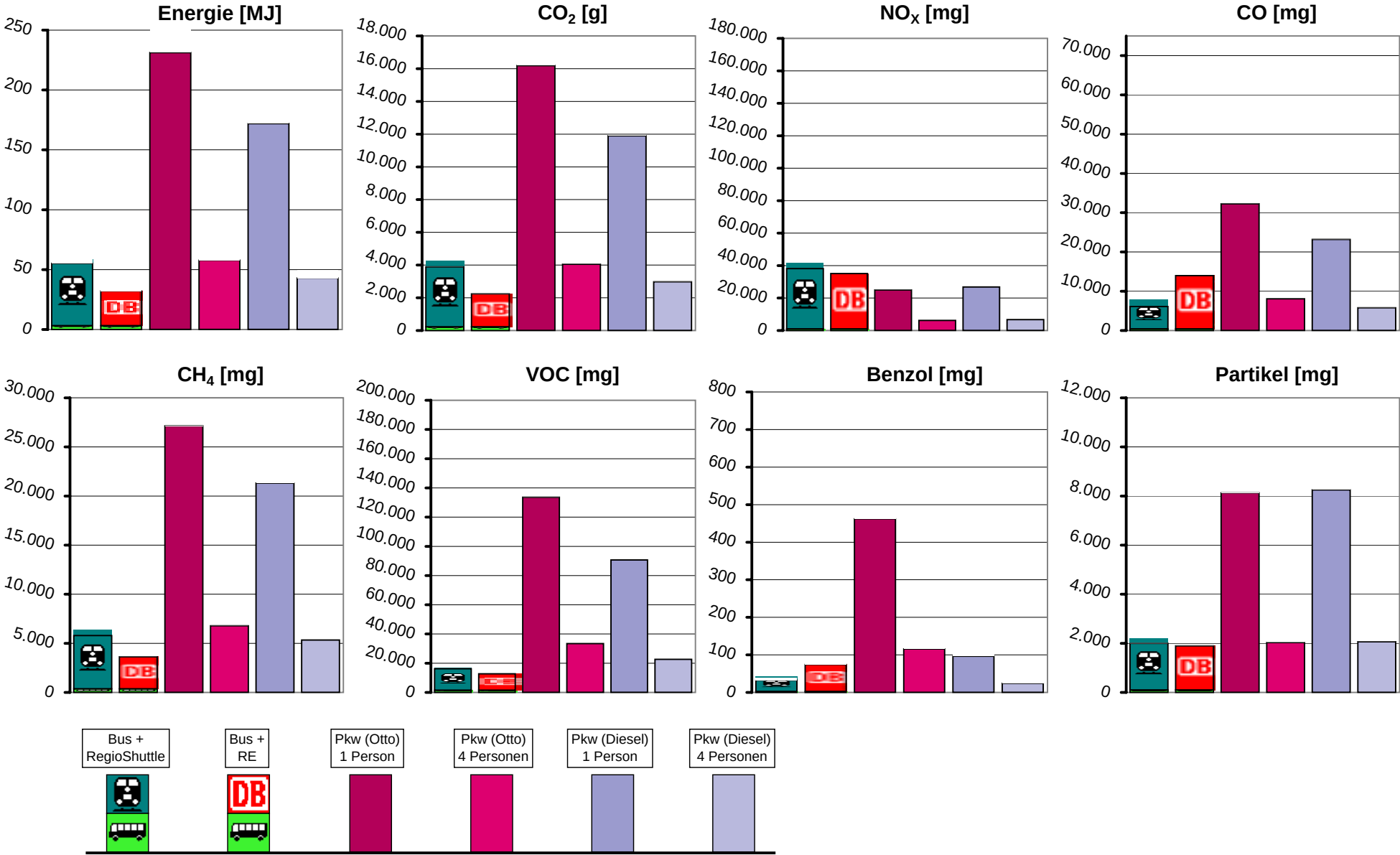
[zur Tabelle](#)



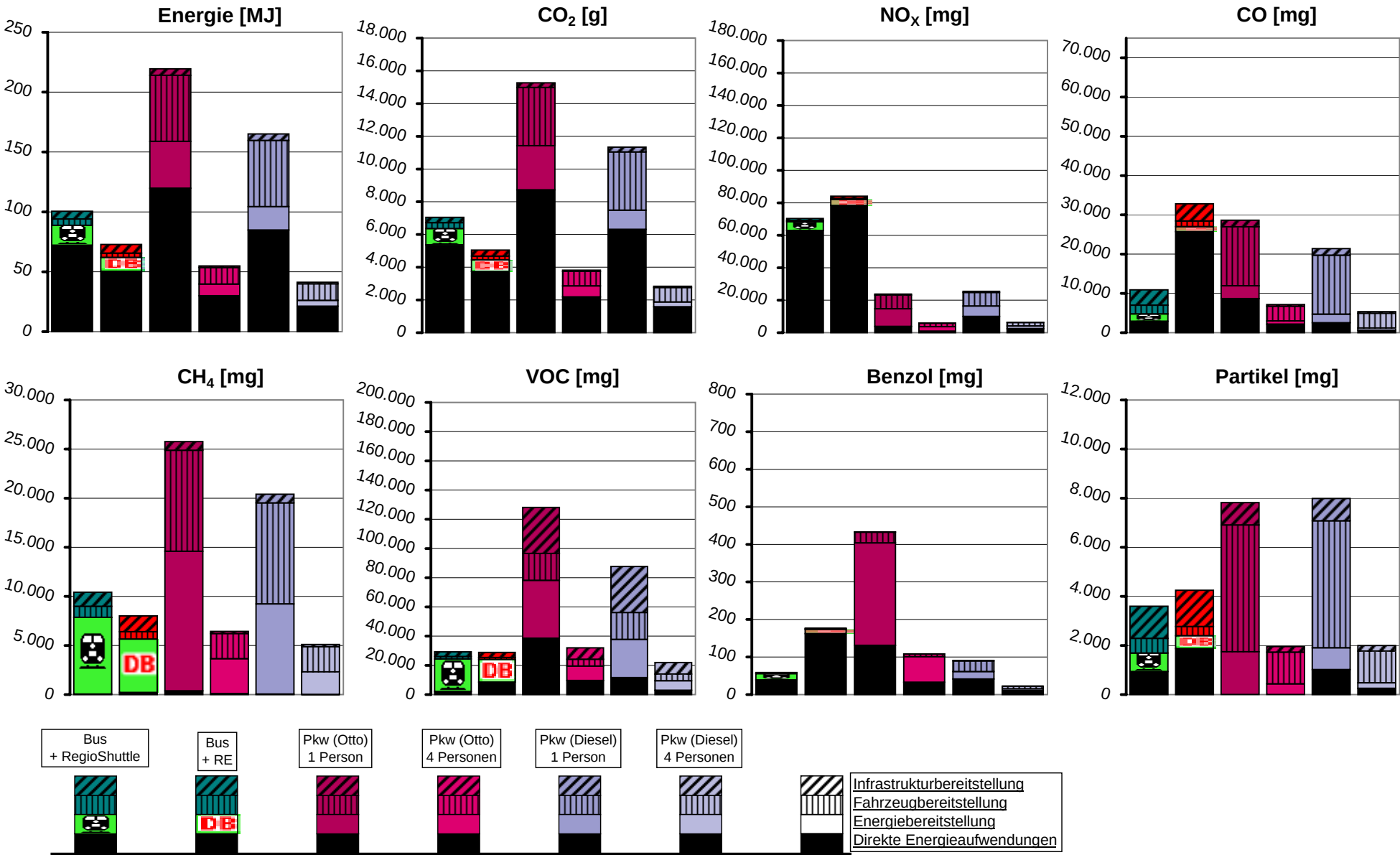
zur Tabelle



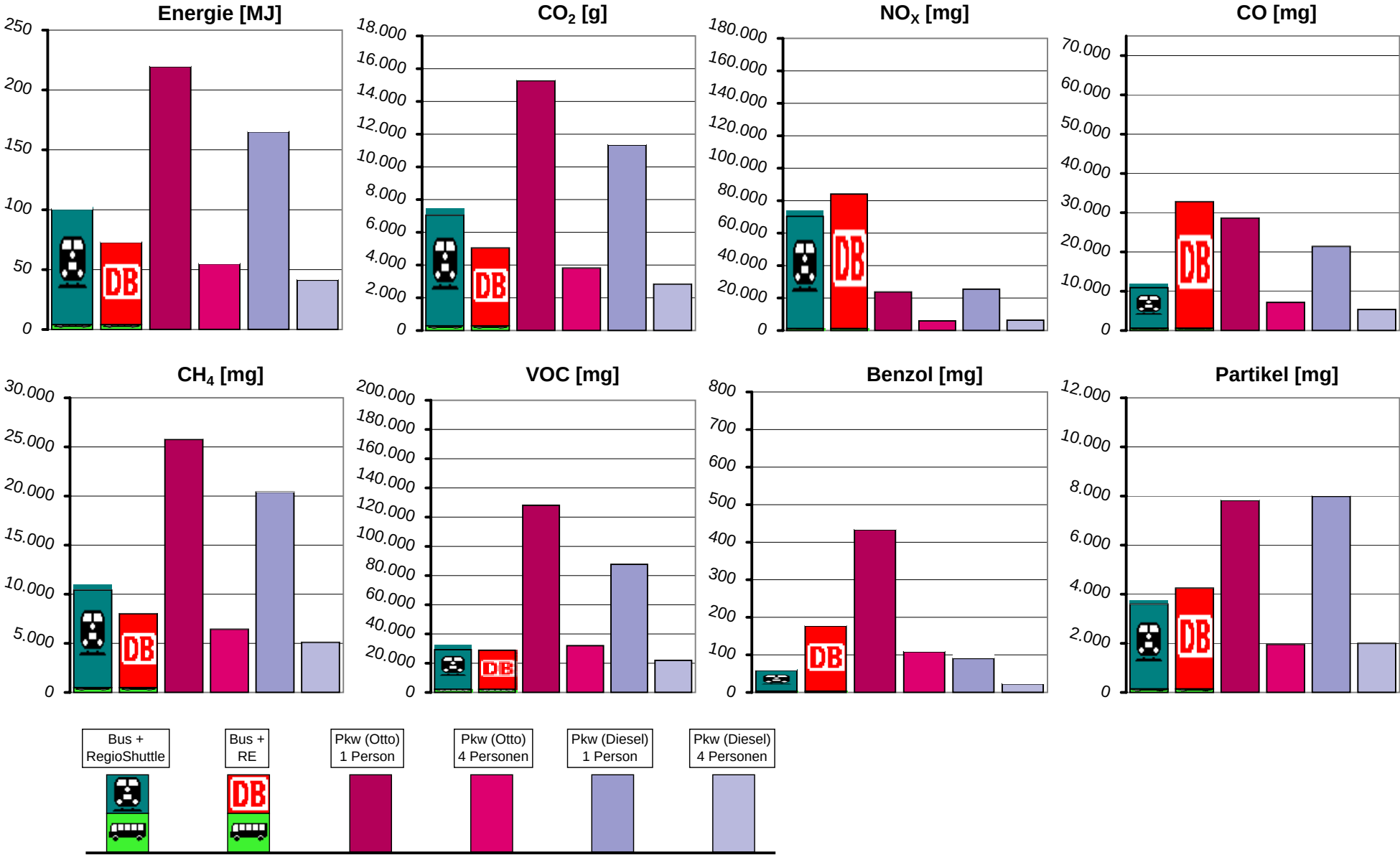
[zur Tabelle](#)



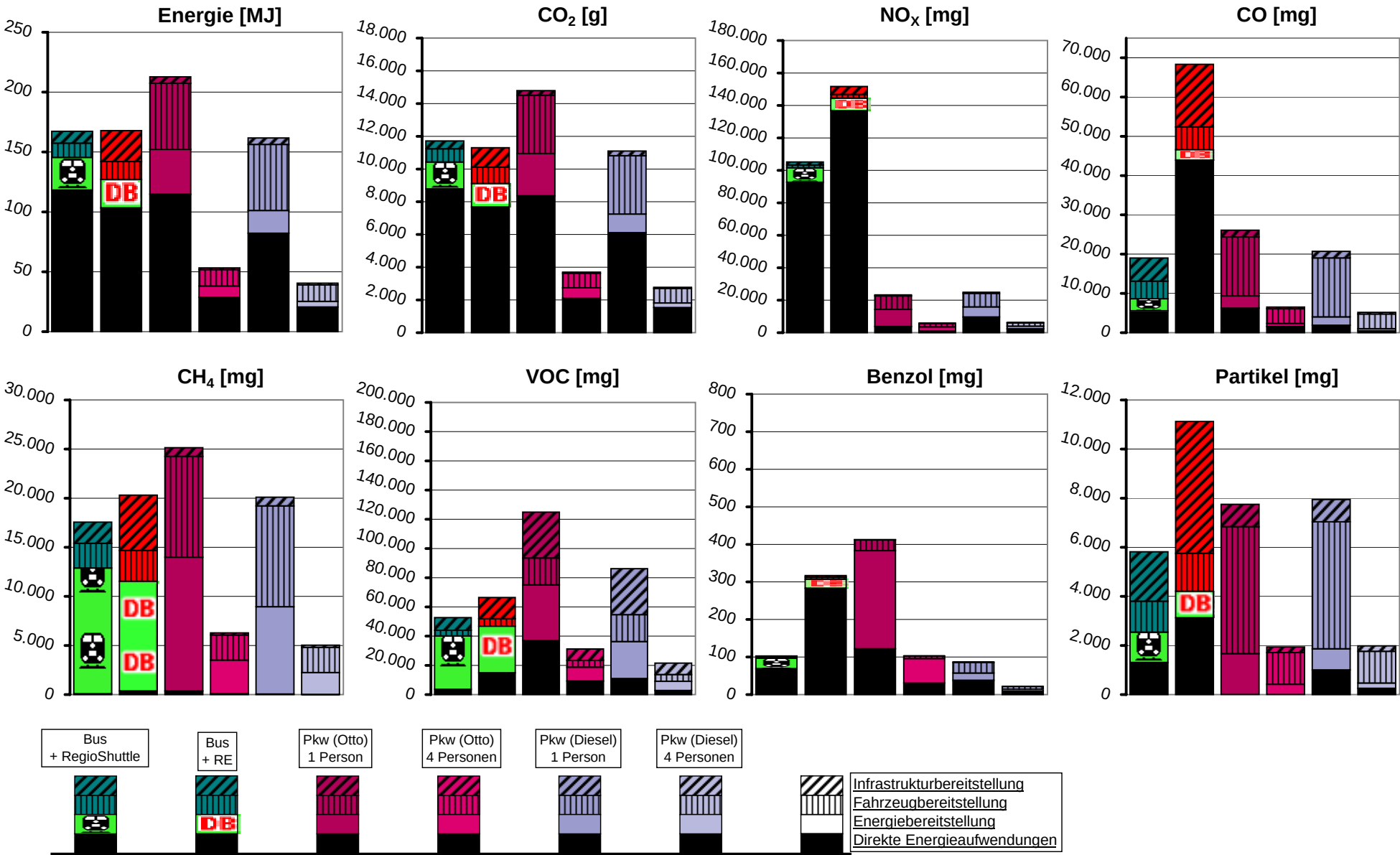
zur Tabelle



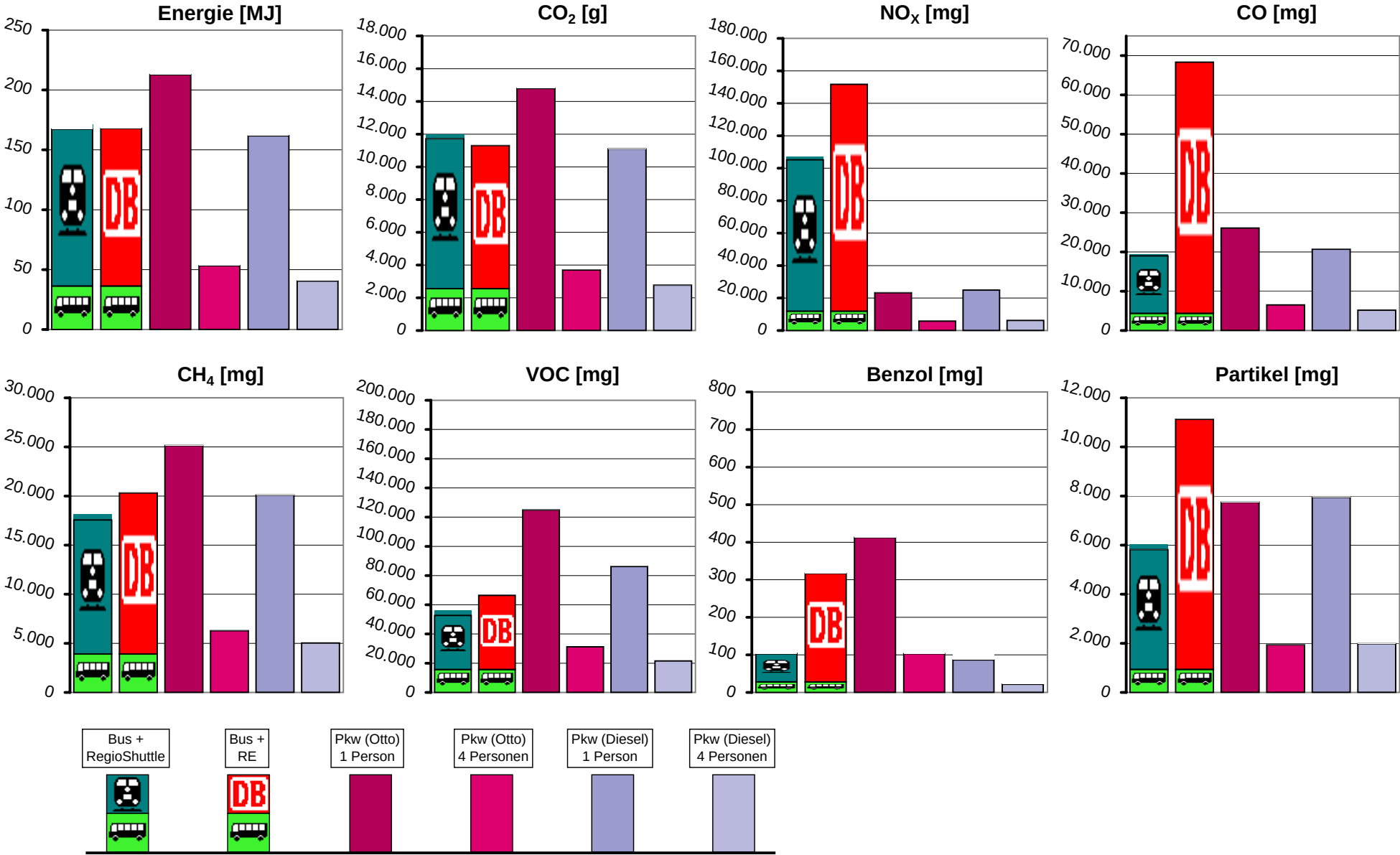
zur Tabelle



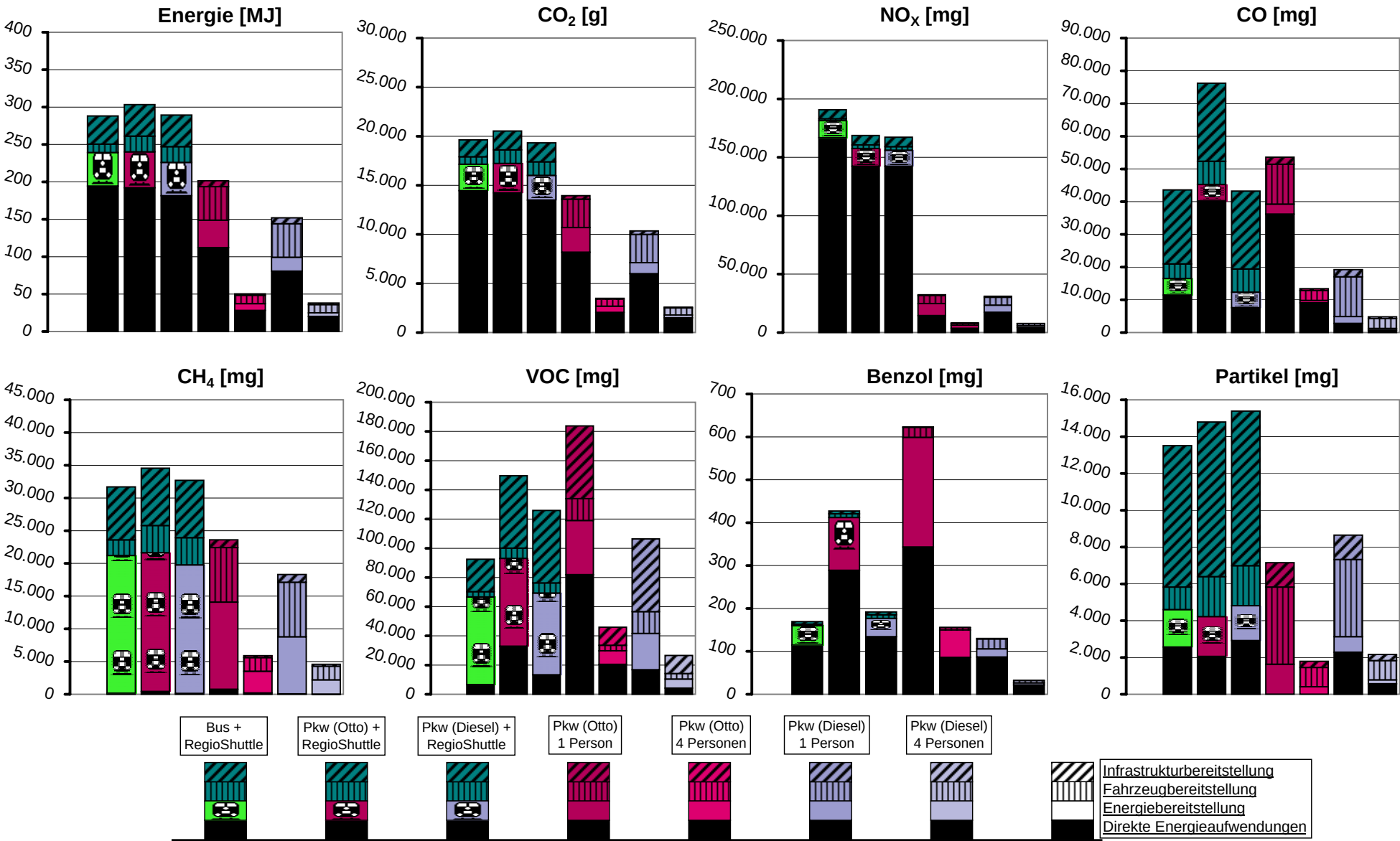
zur Tabelle



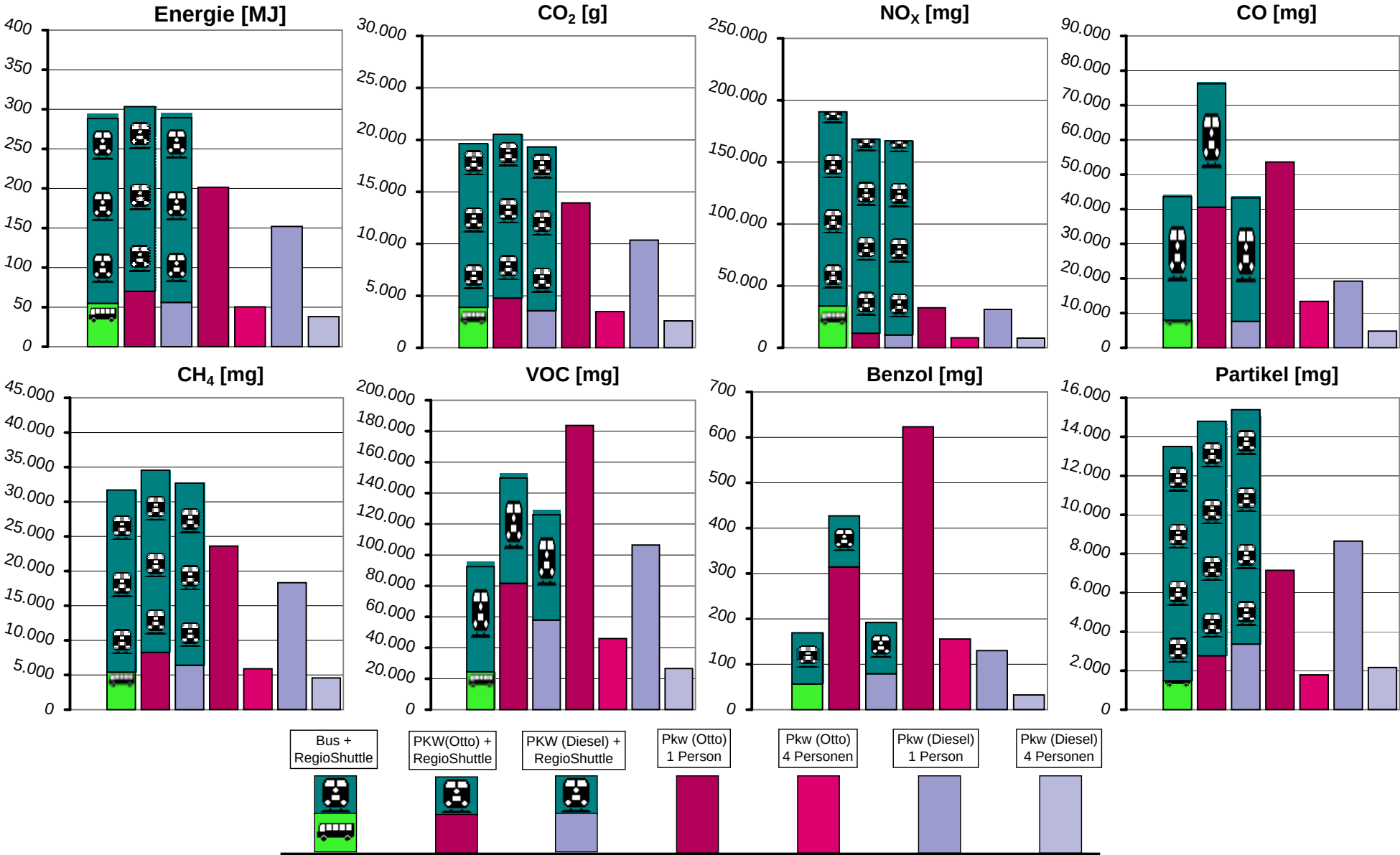
zur Tabelle



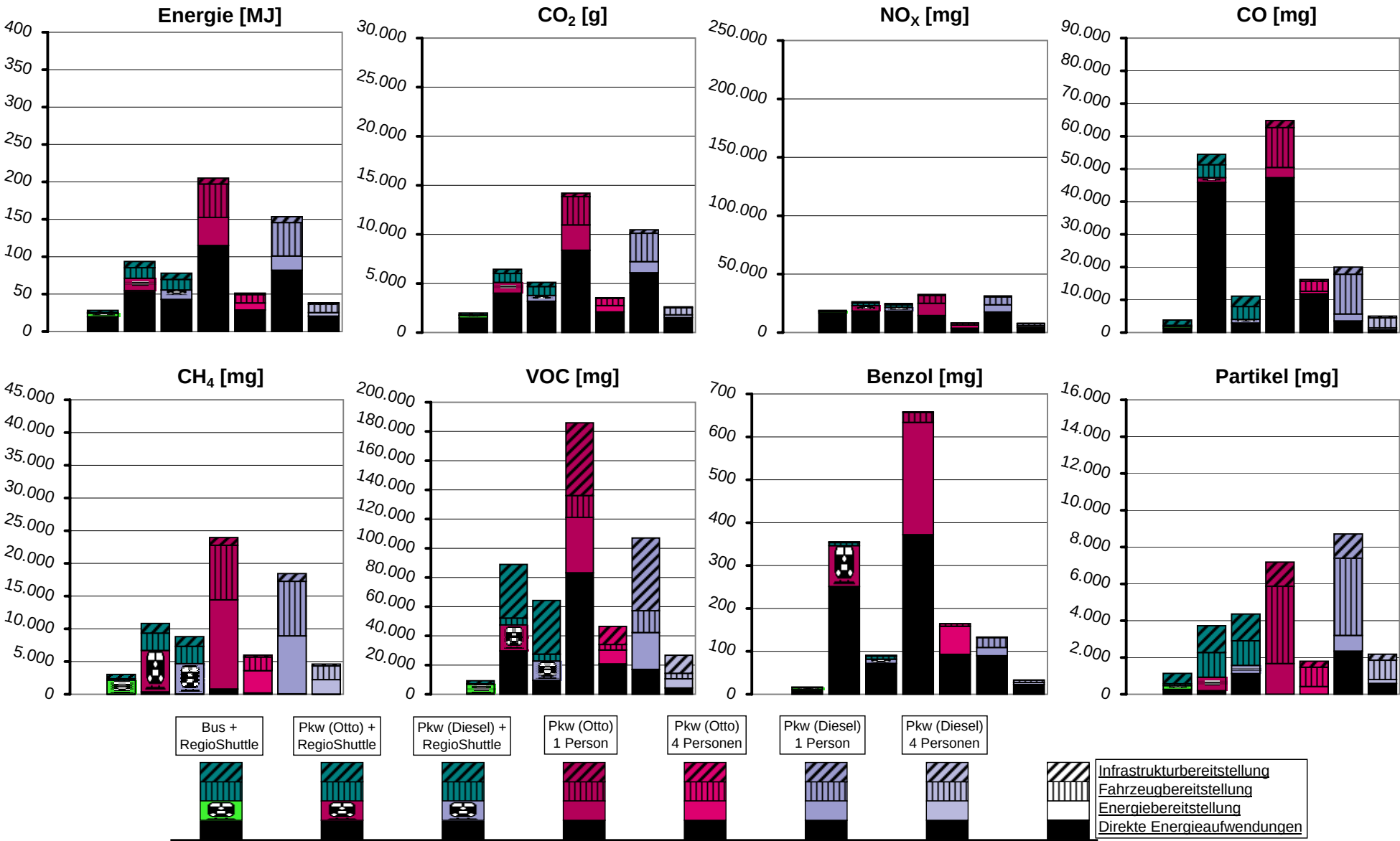
zur Tabelle



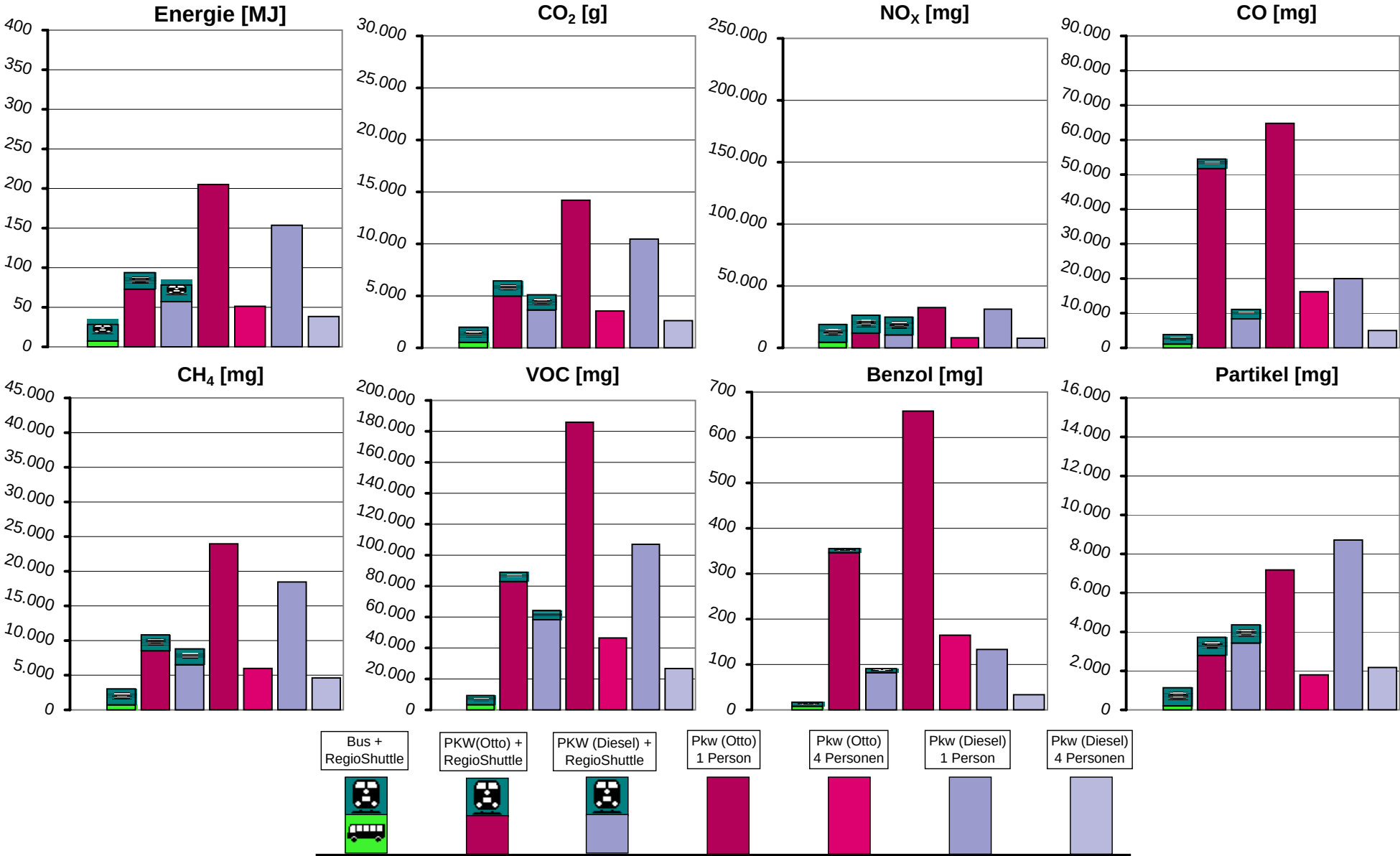
zur Tabelle



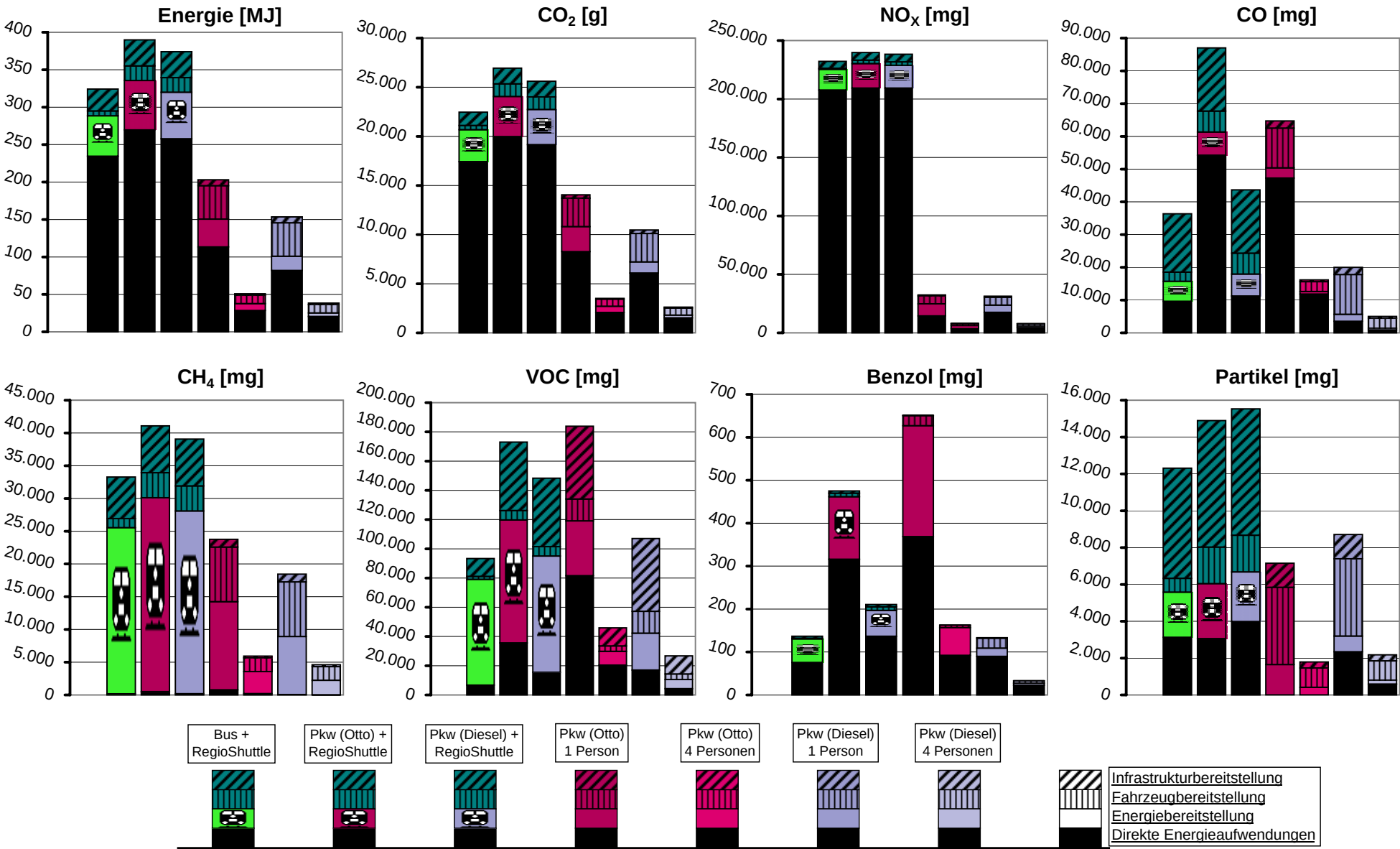
zur Tabelle



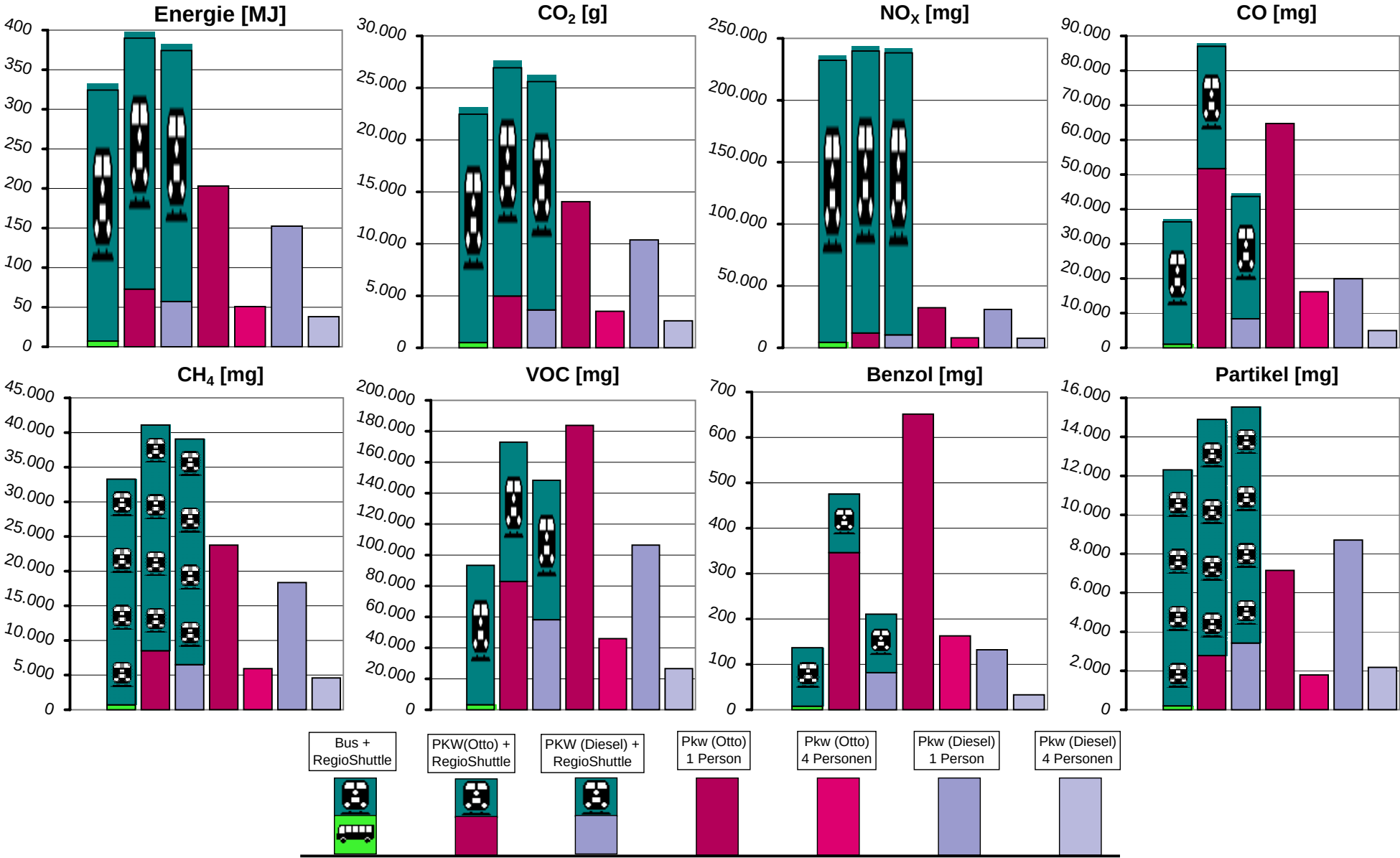
[zur Tabelle](#)



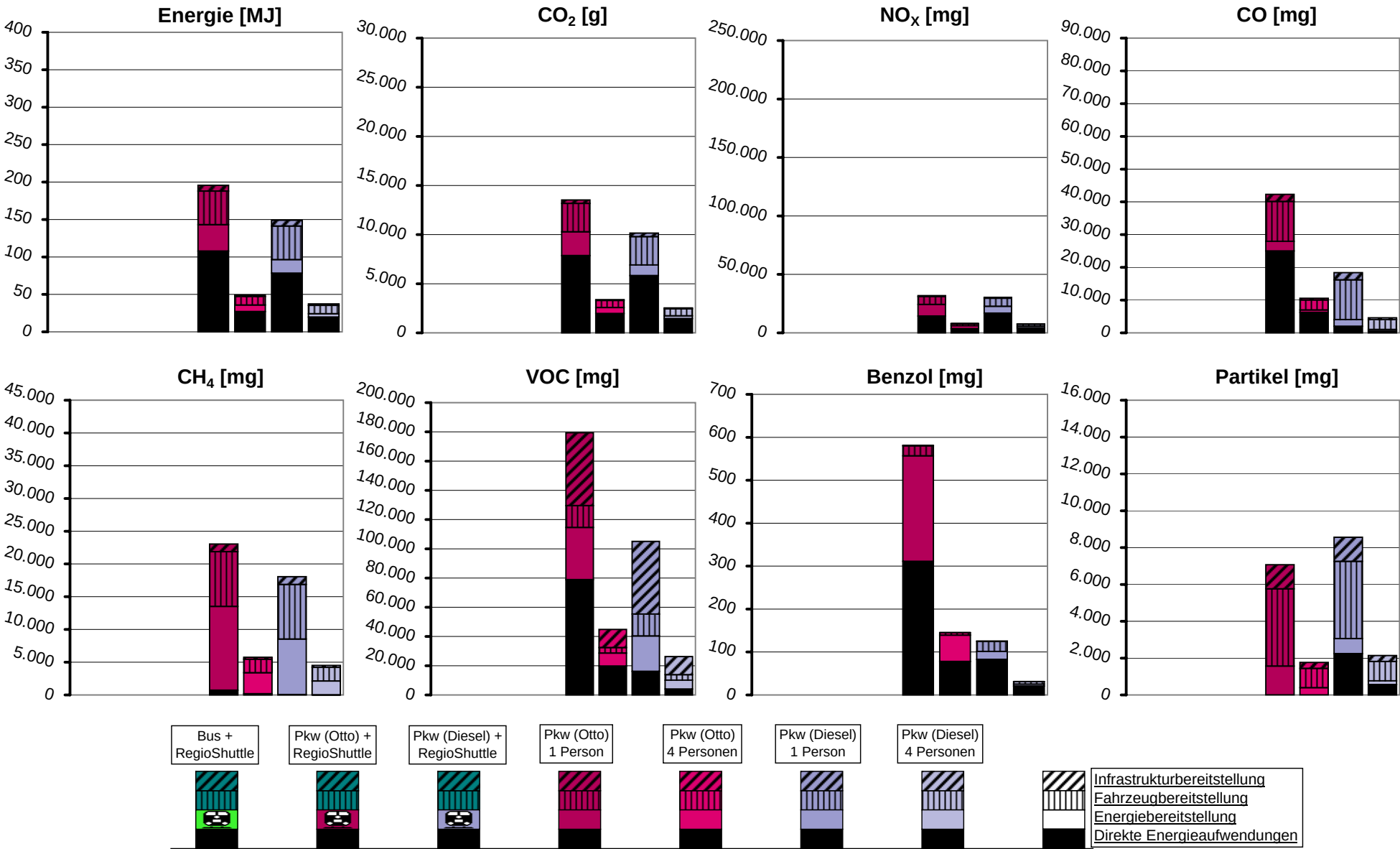
zur Tabelle



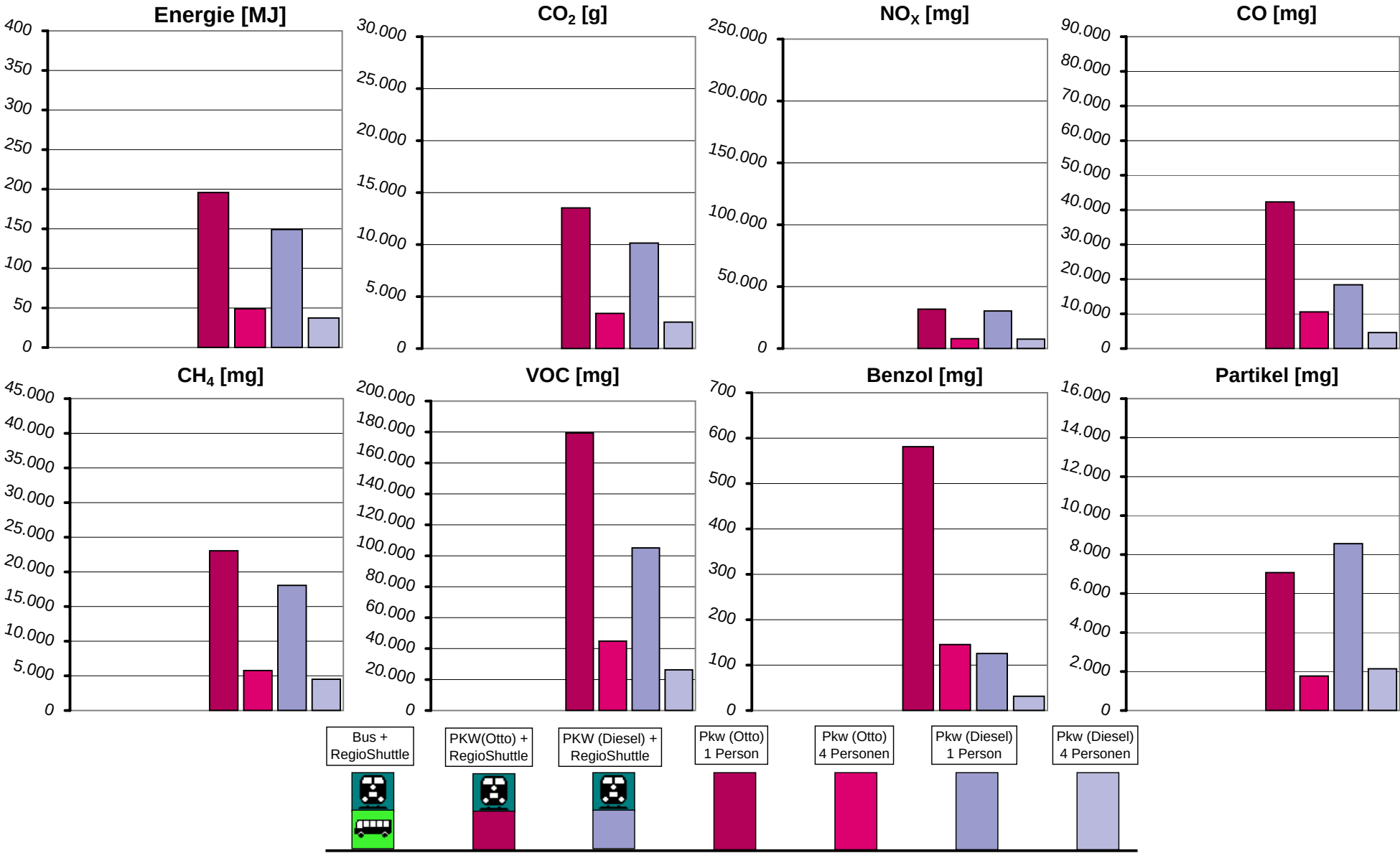
zur Tabelle



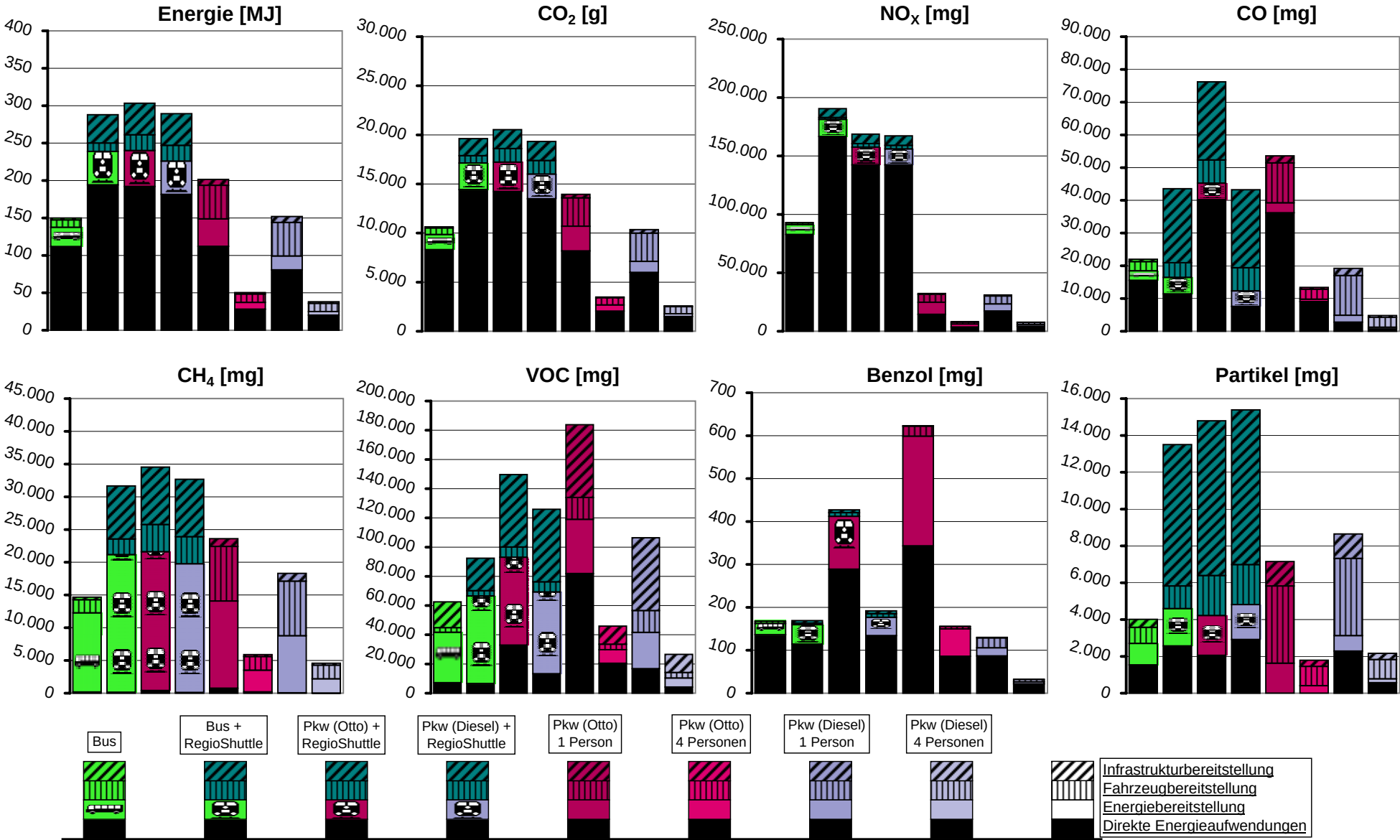
zur Tabelle



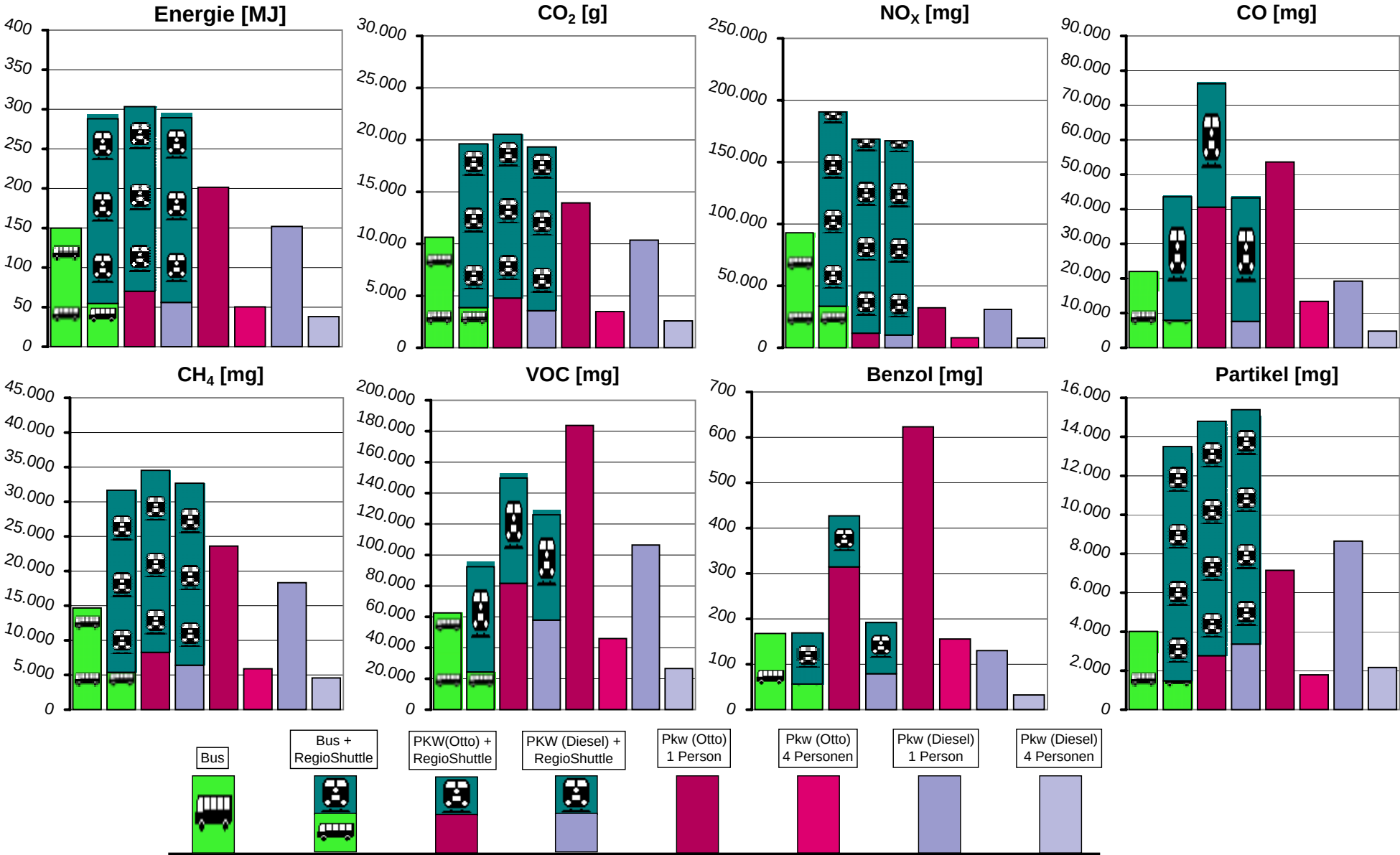
zur Tabelle



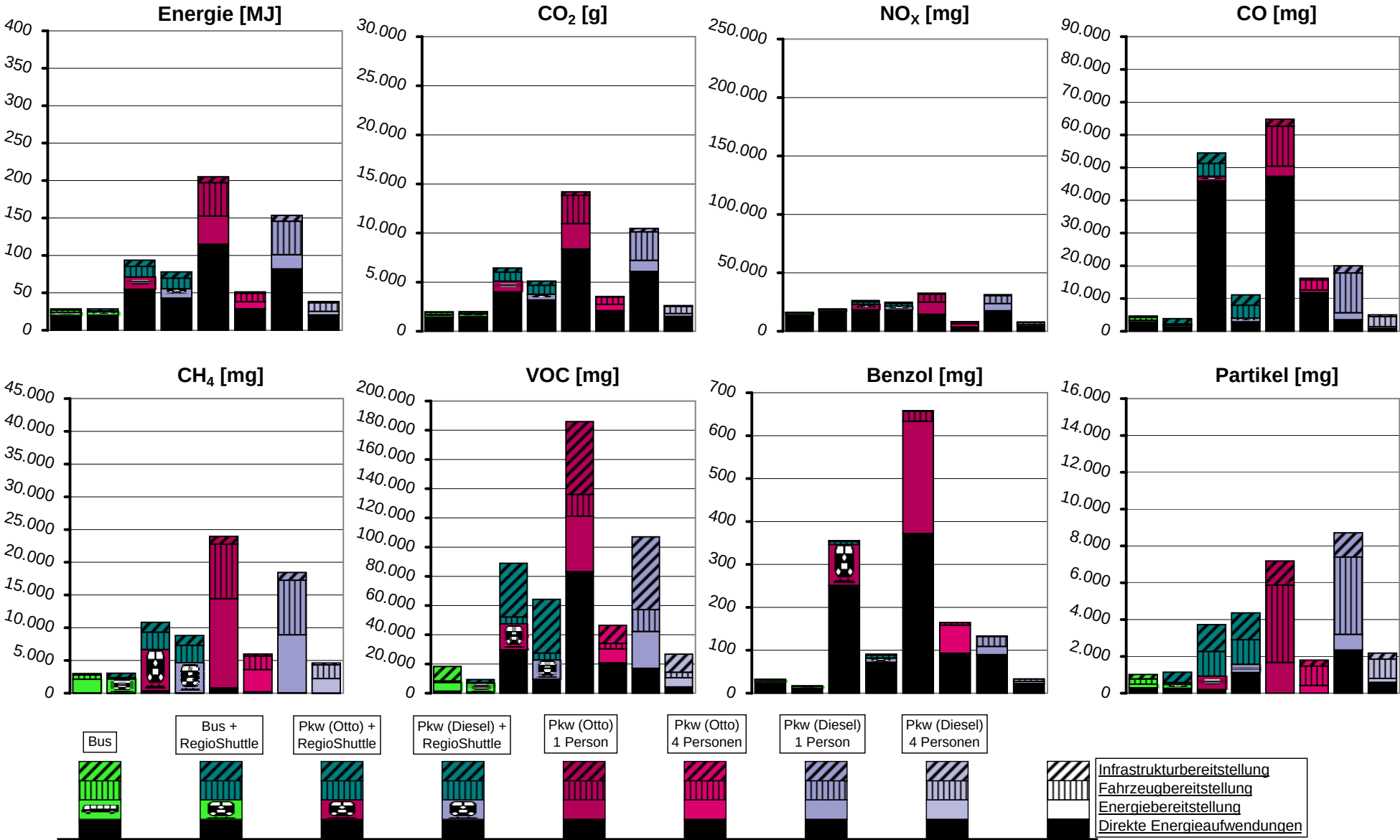
zur Tabelle



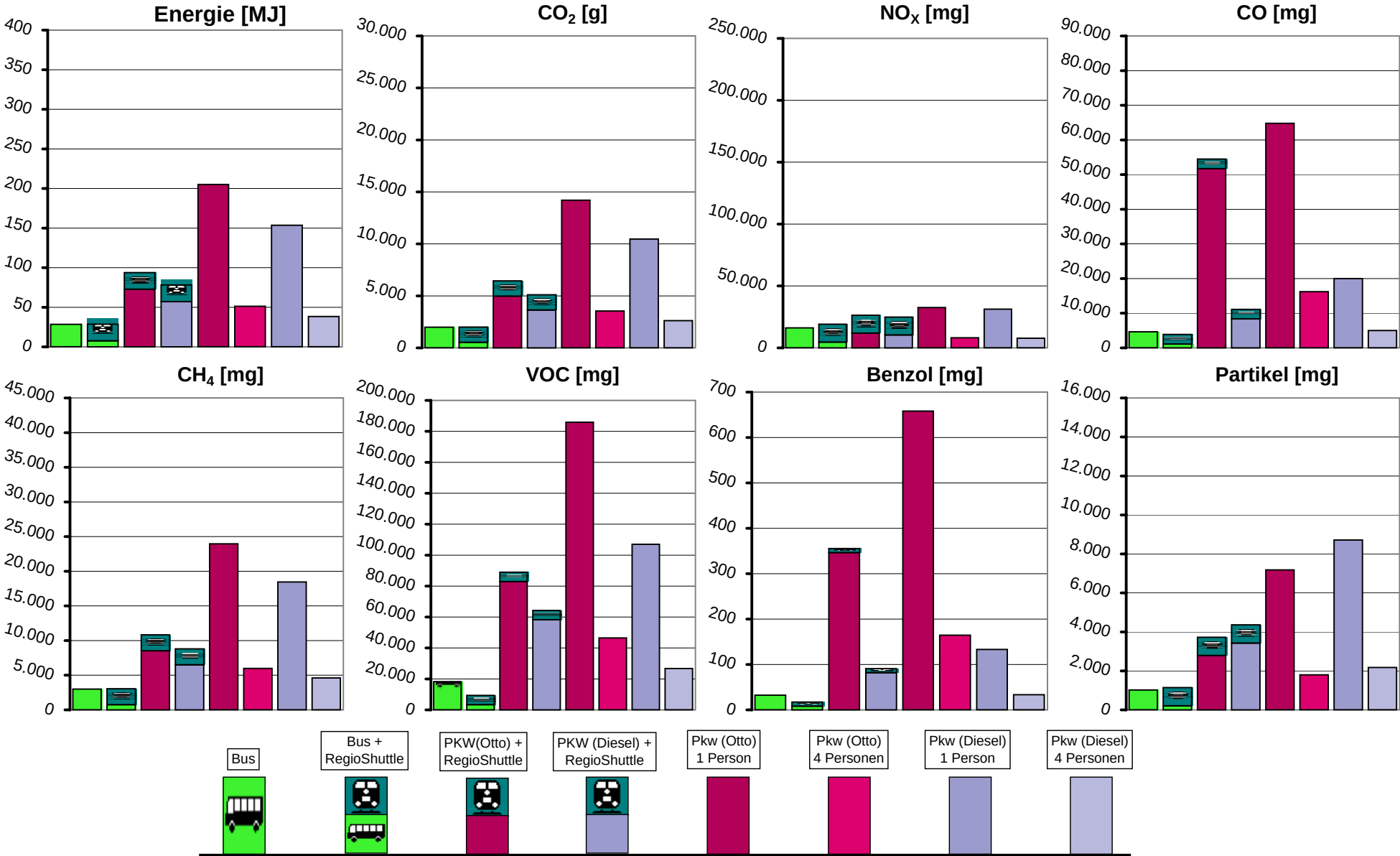
[zur Tabelle](#)



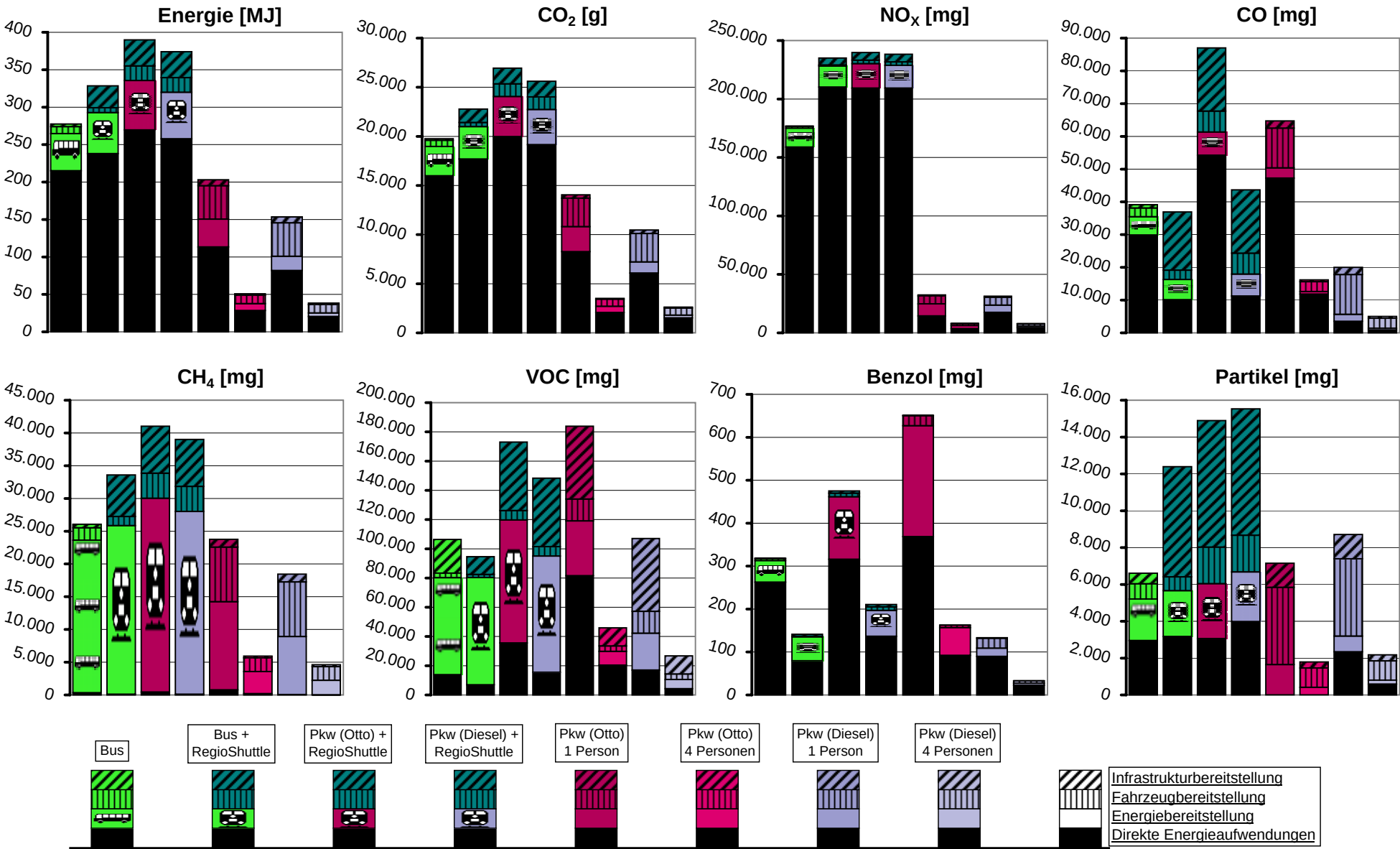
zur Tabelle



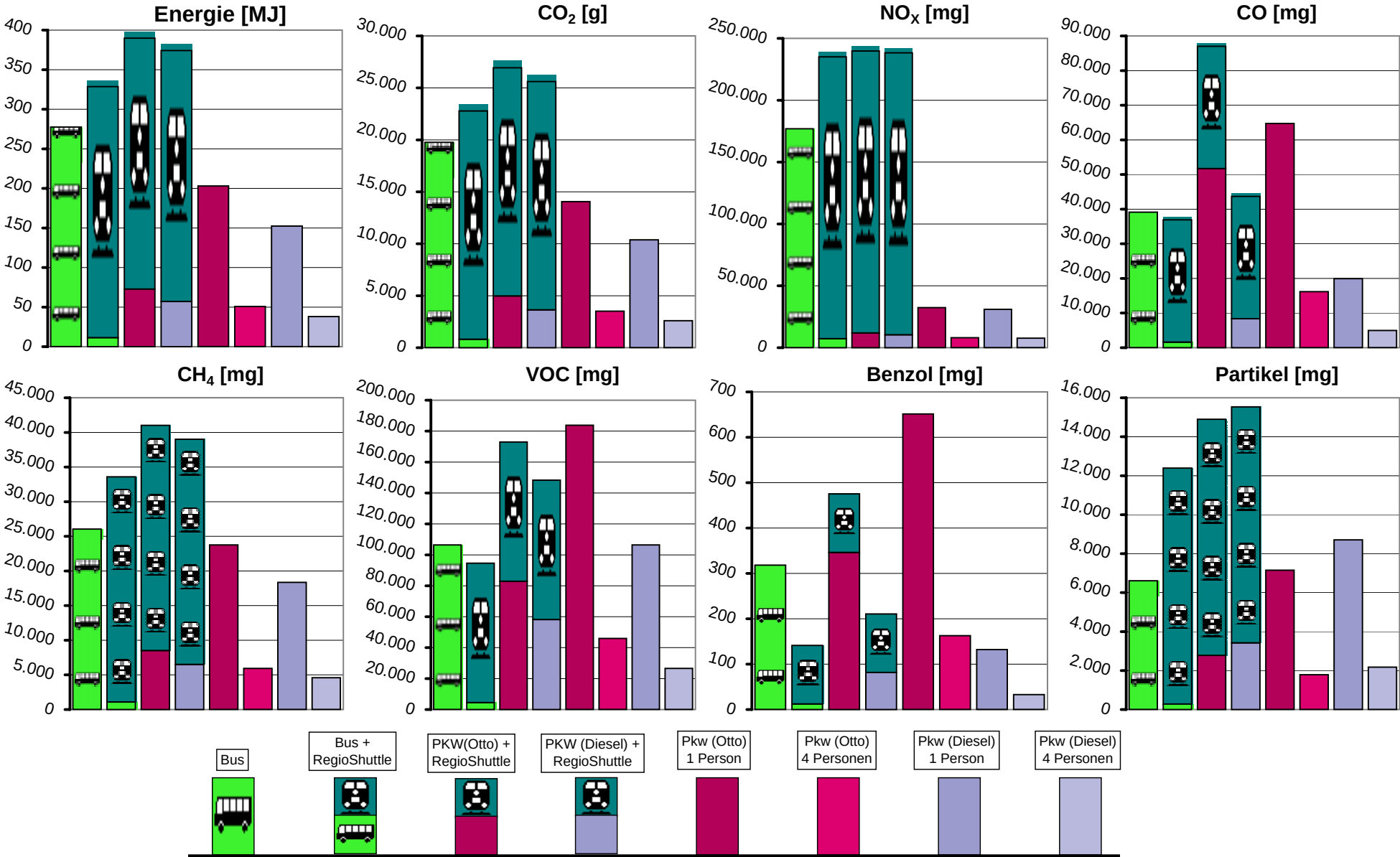
[zur Tabelle](#)



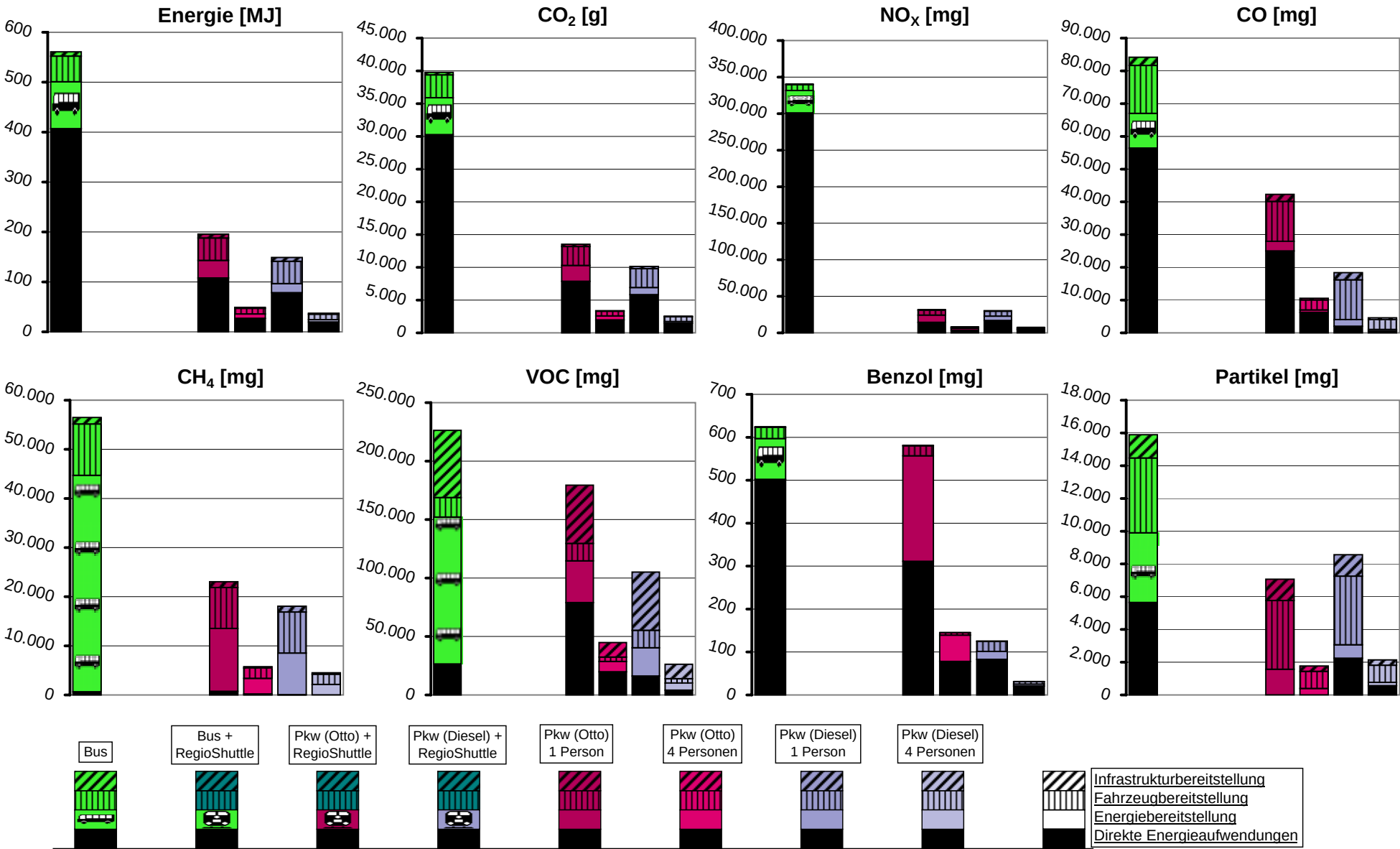
zur Tabelle



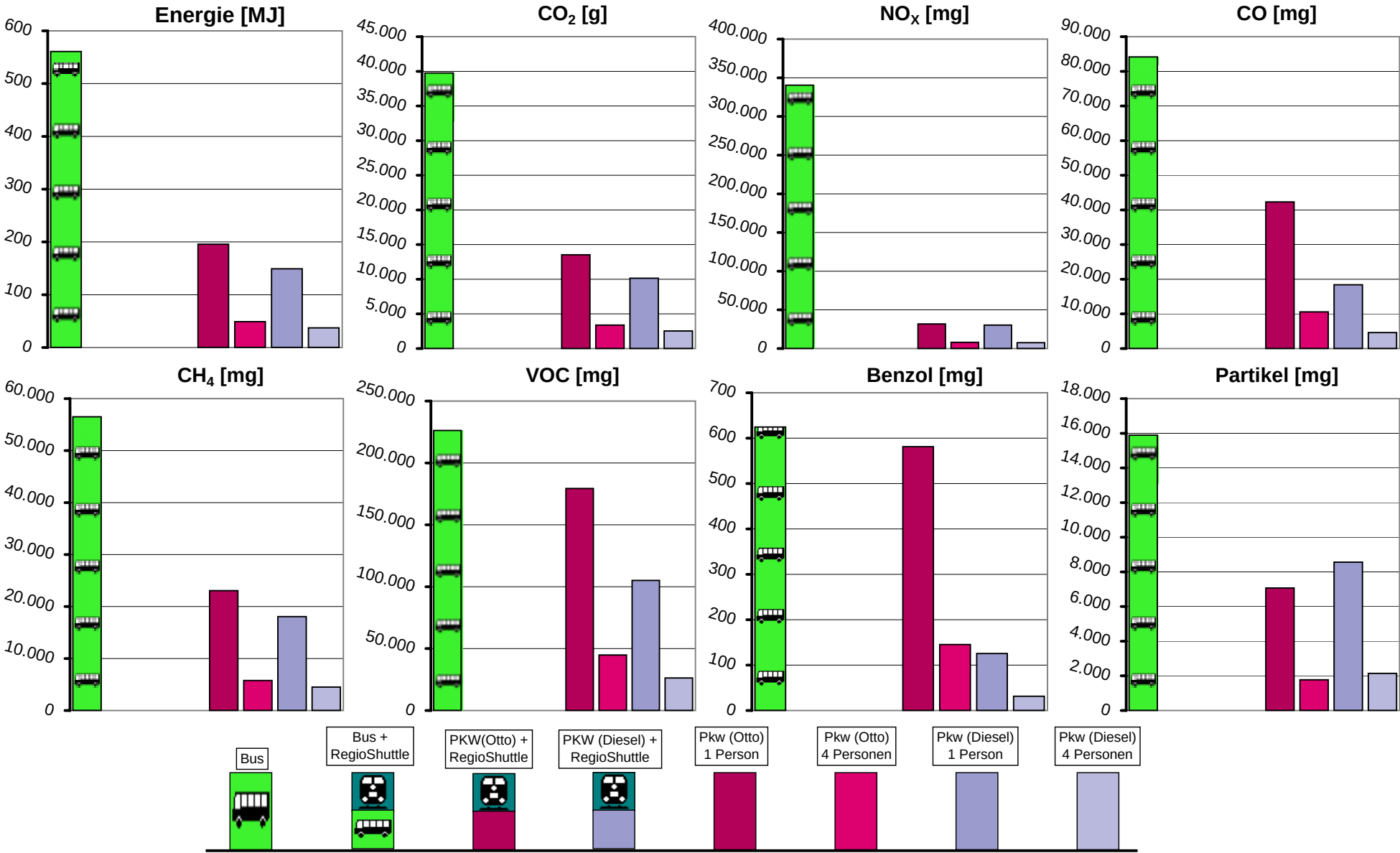
zur Tabelle



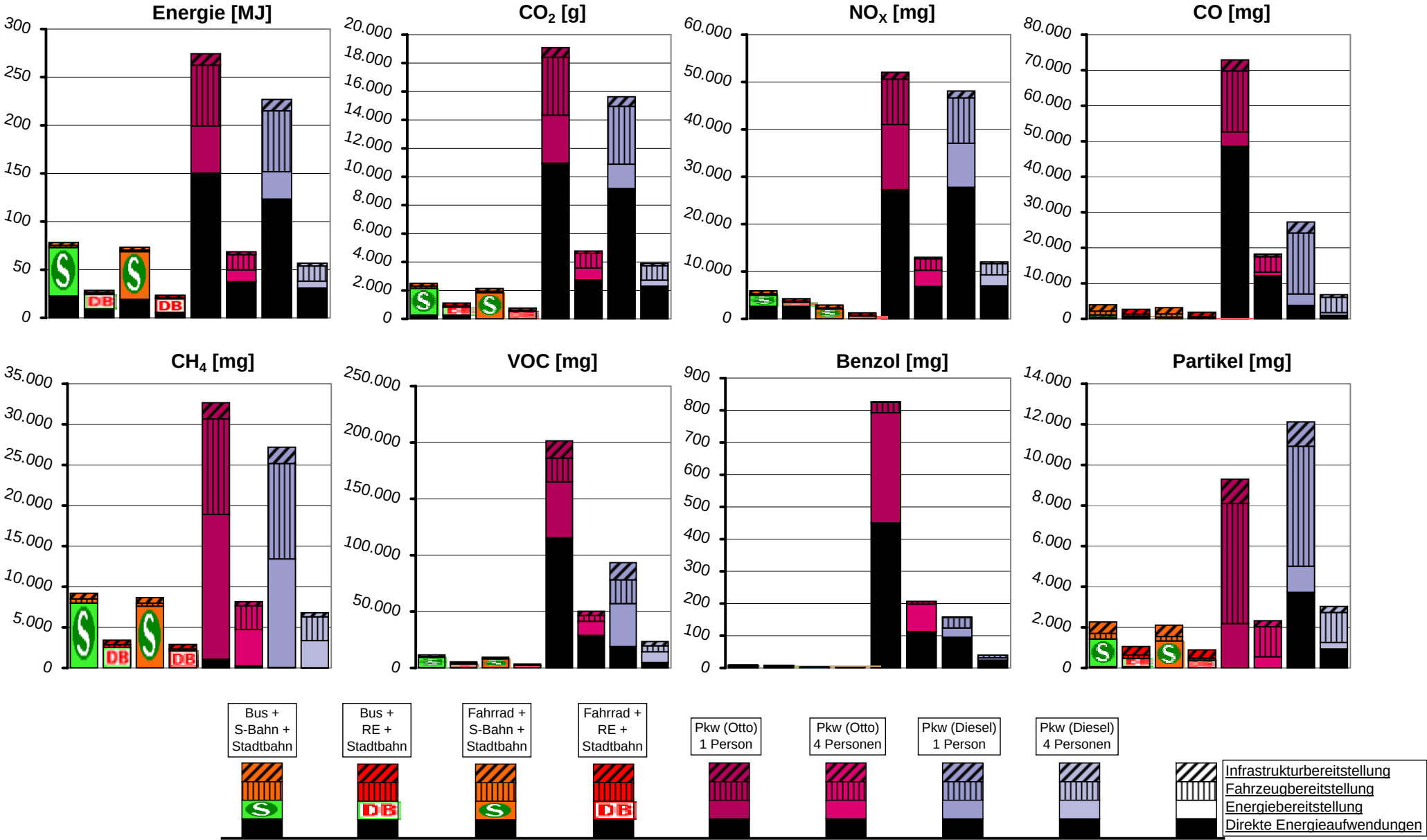
zur Tabelle



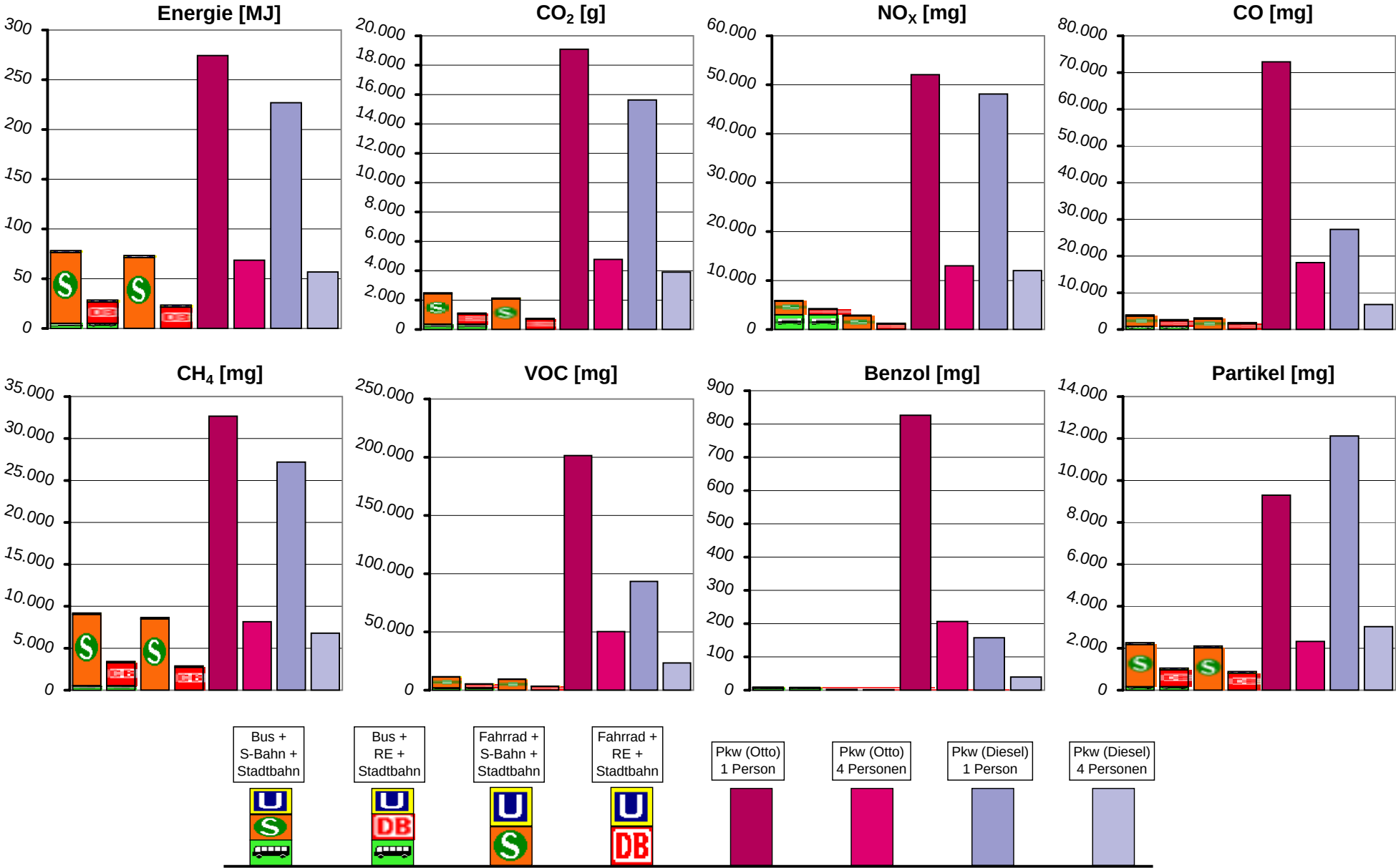
[zur Tabelle](#)



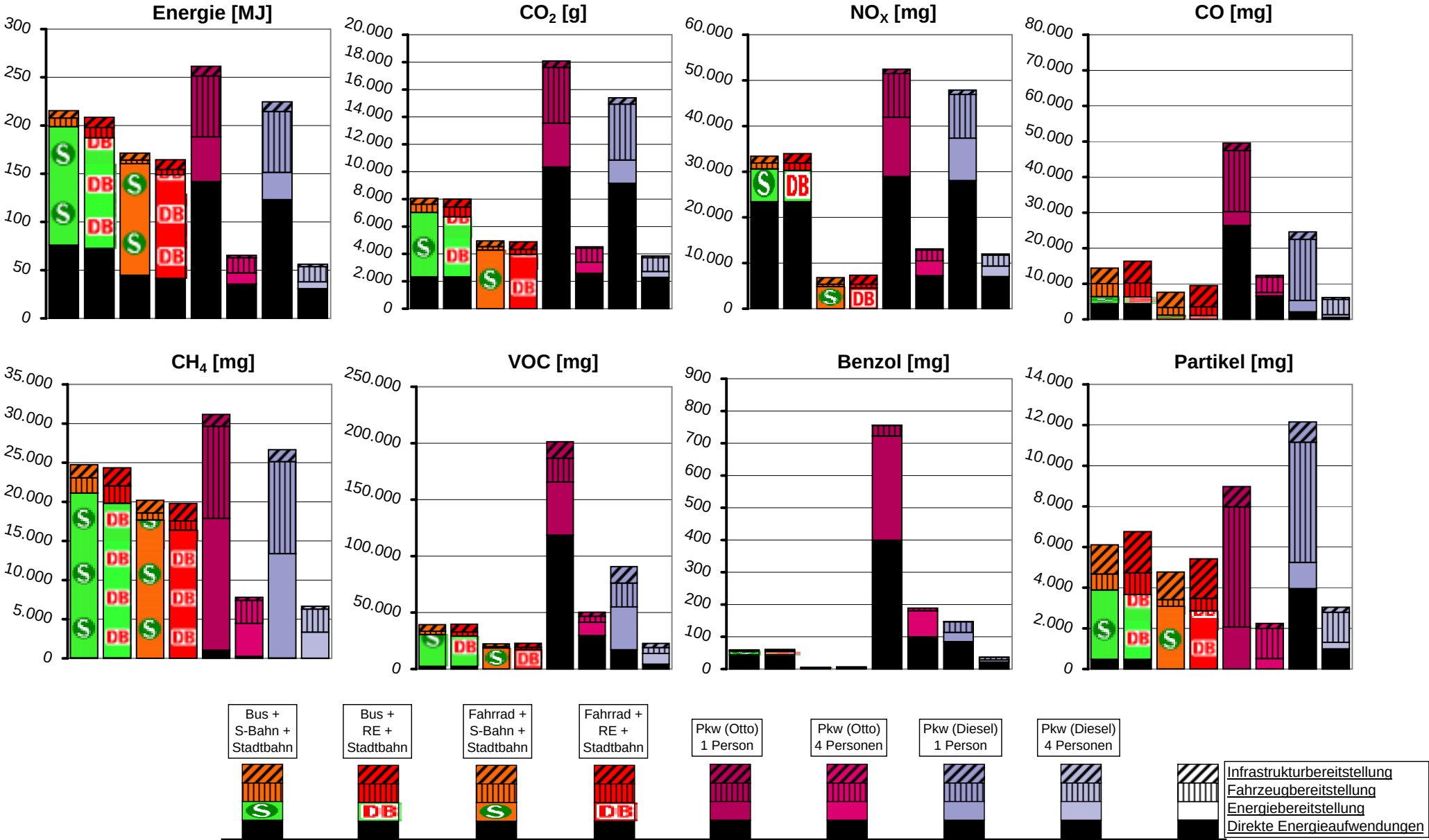
zur Tabelle



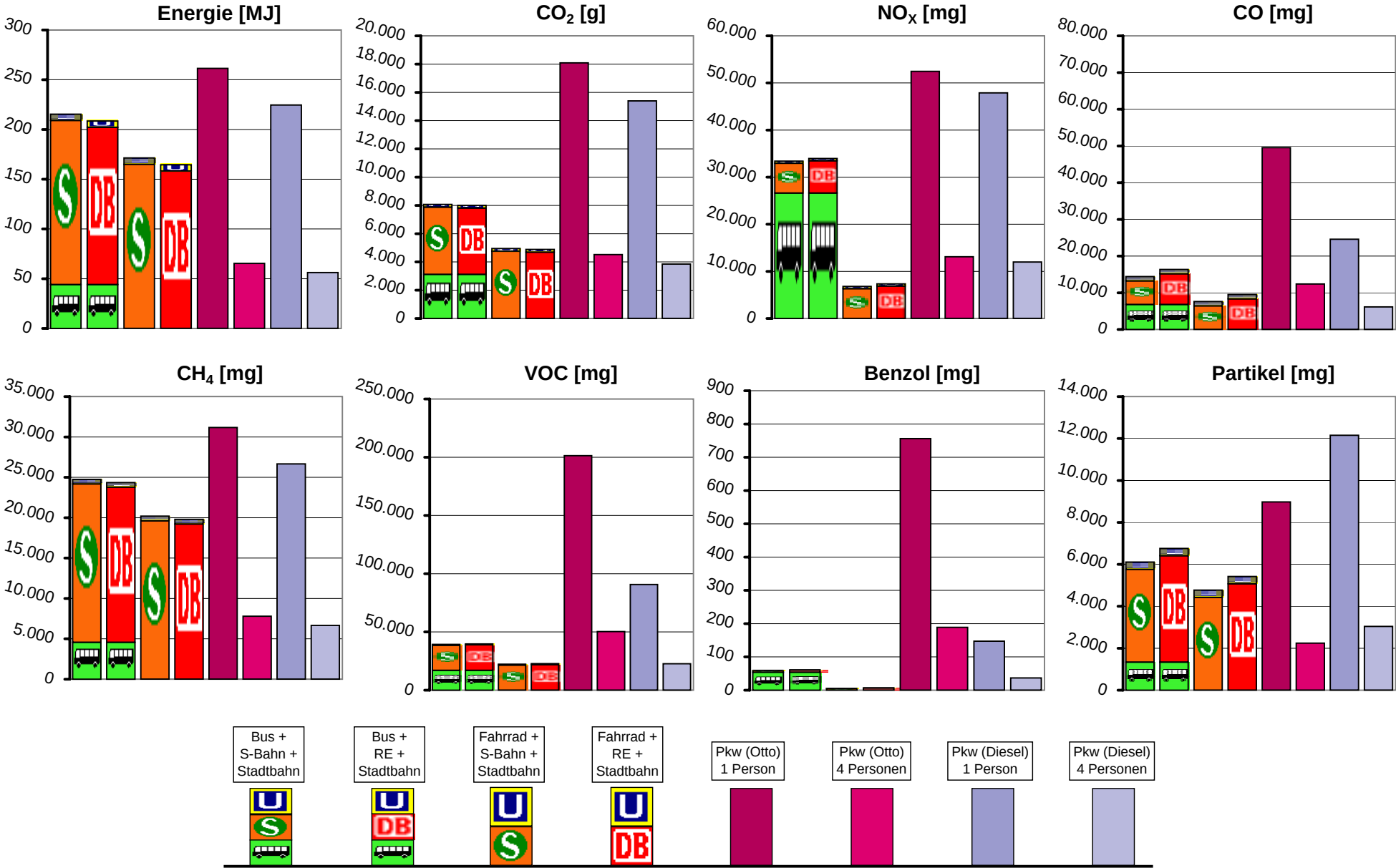
zur Tabelle



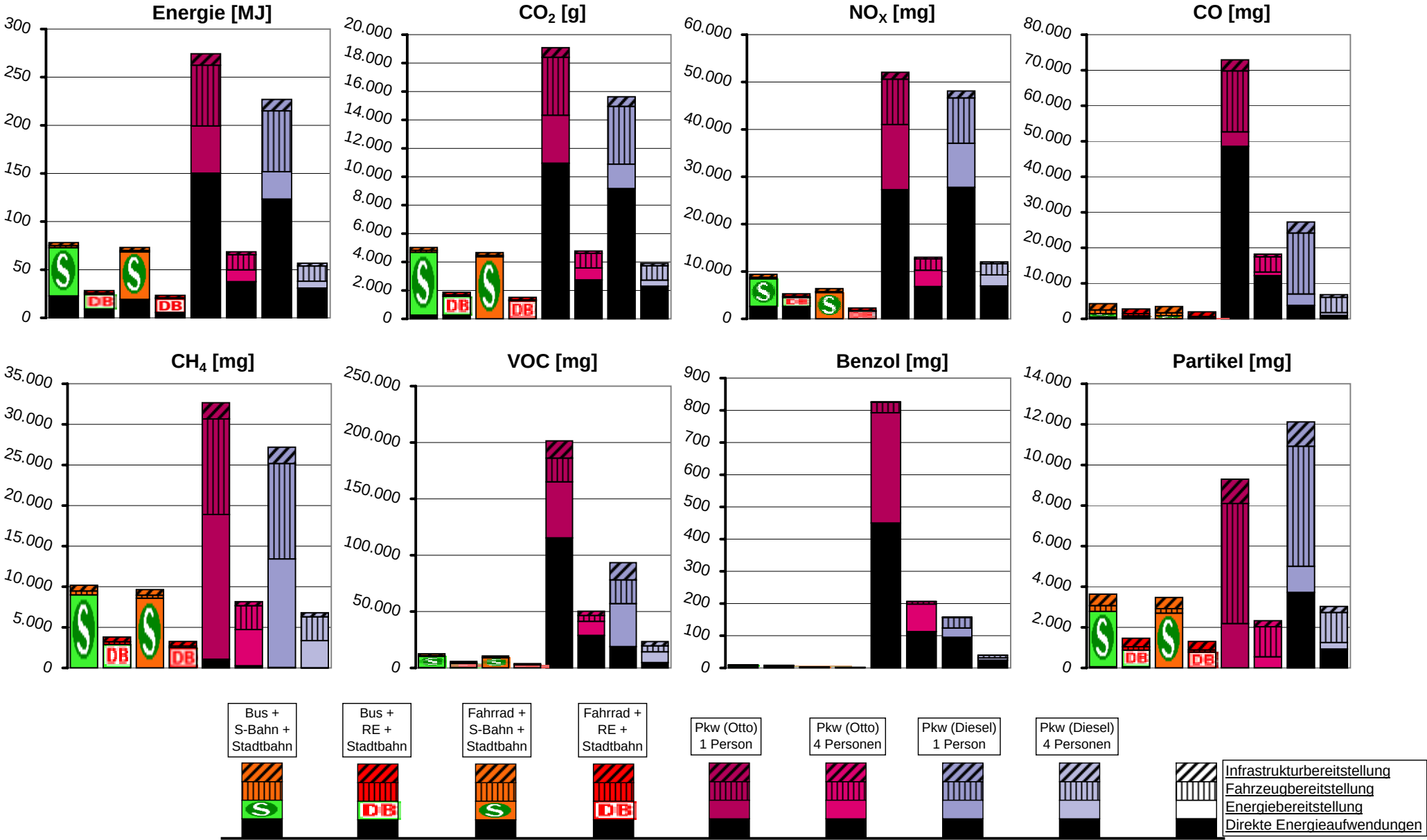
zur Tabelle



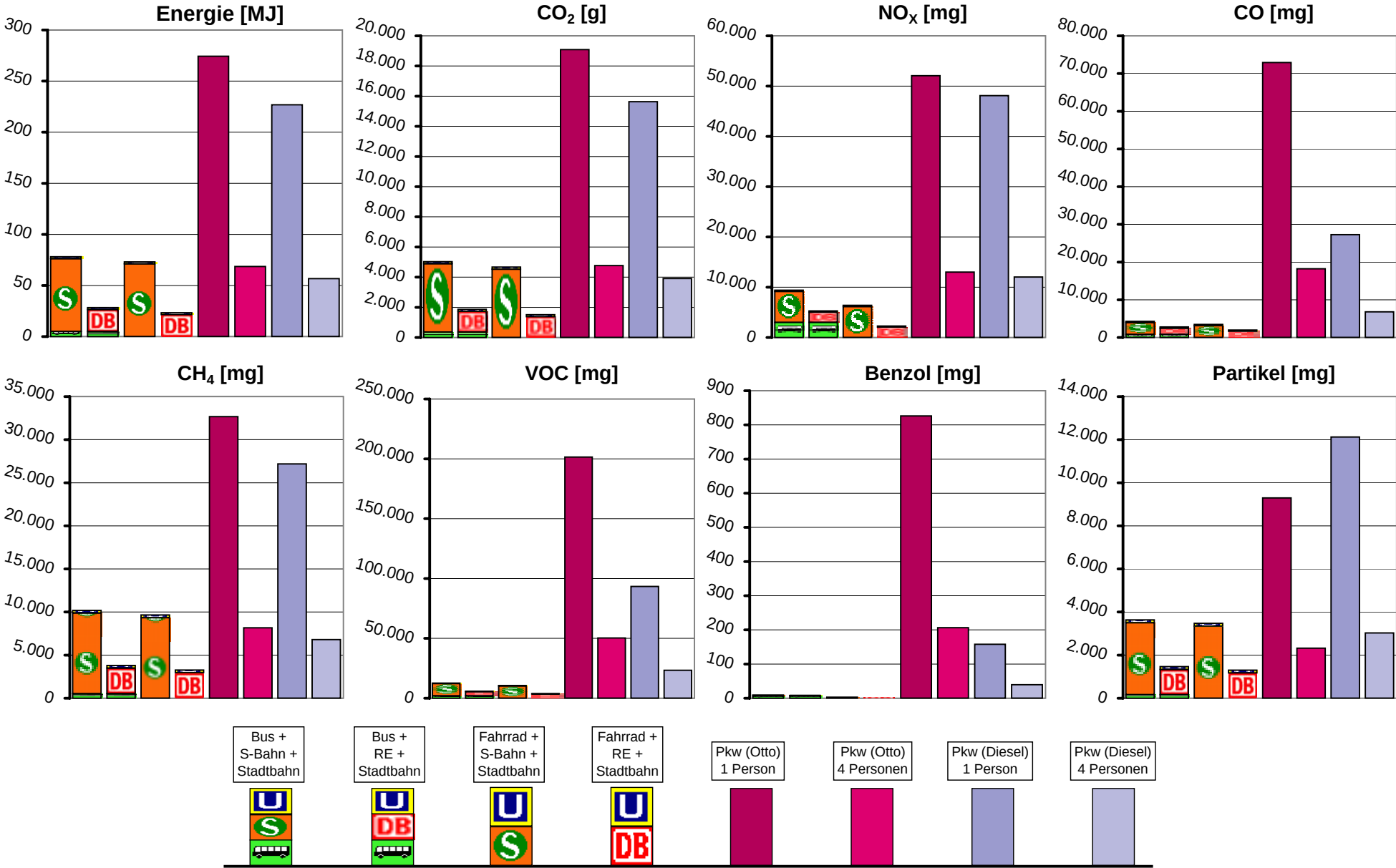
zur Tabelle



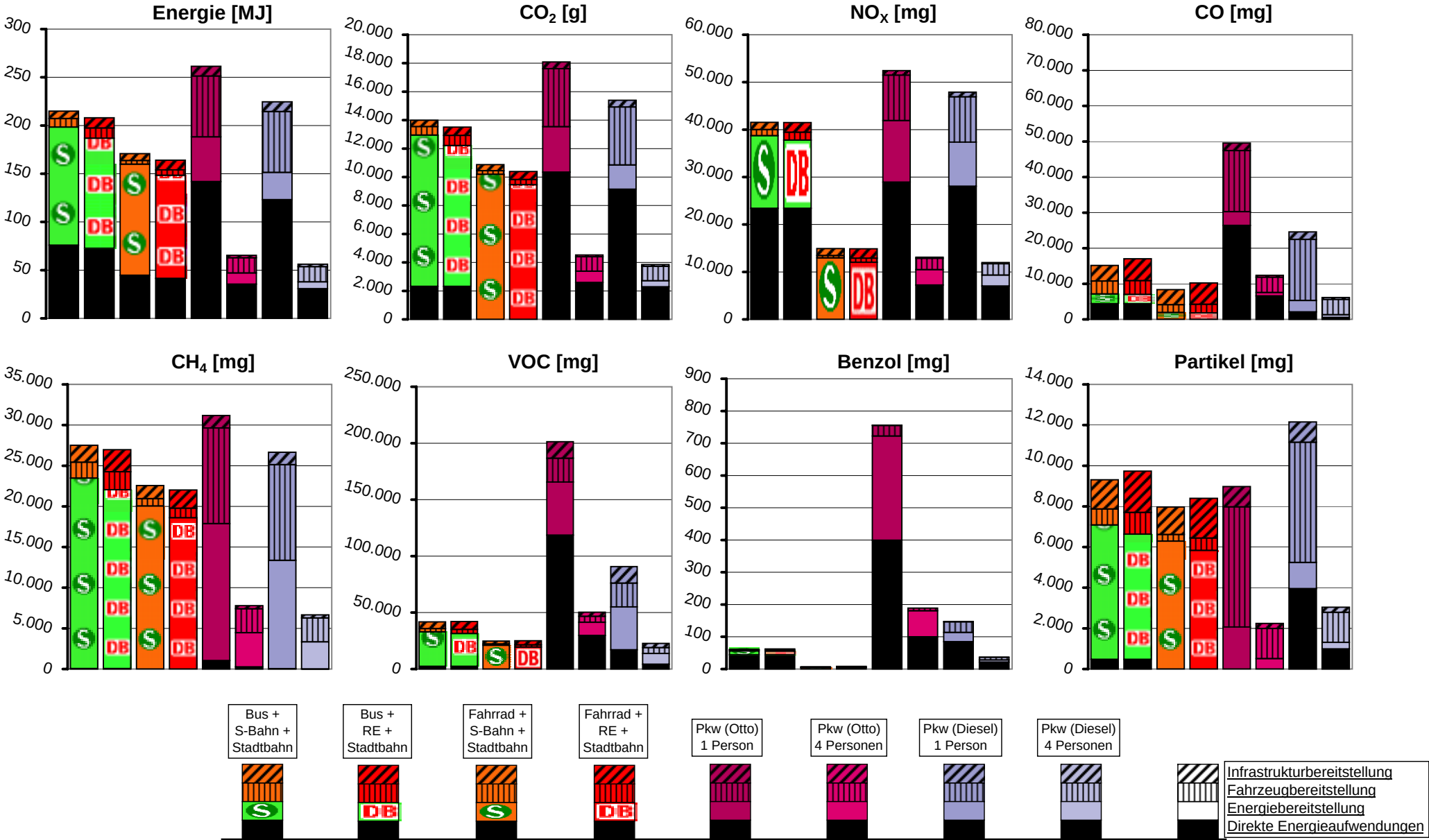
zur Tabelle



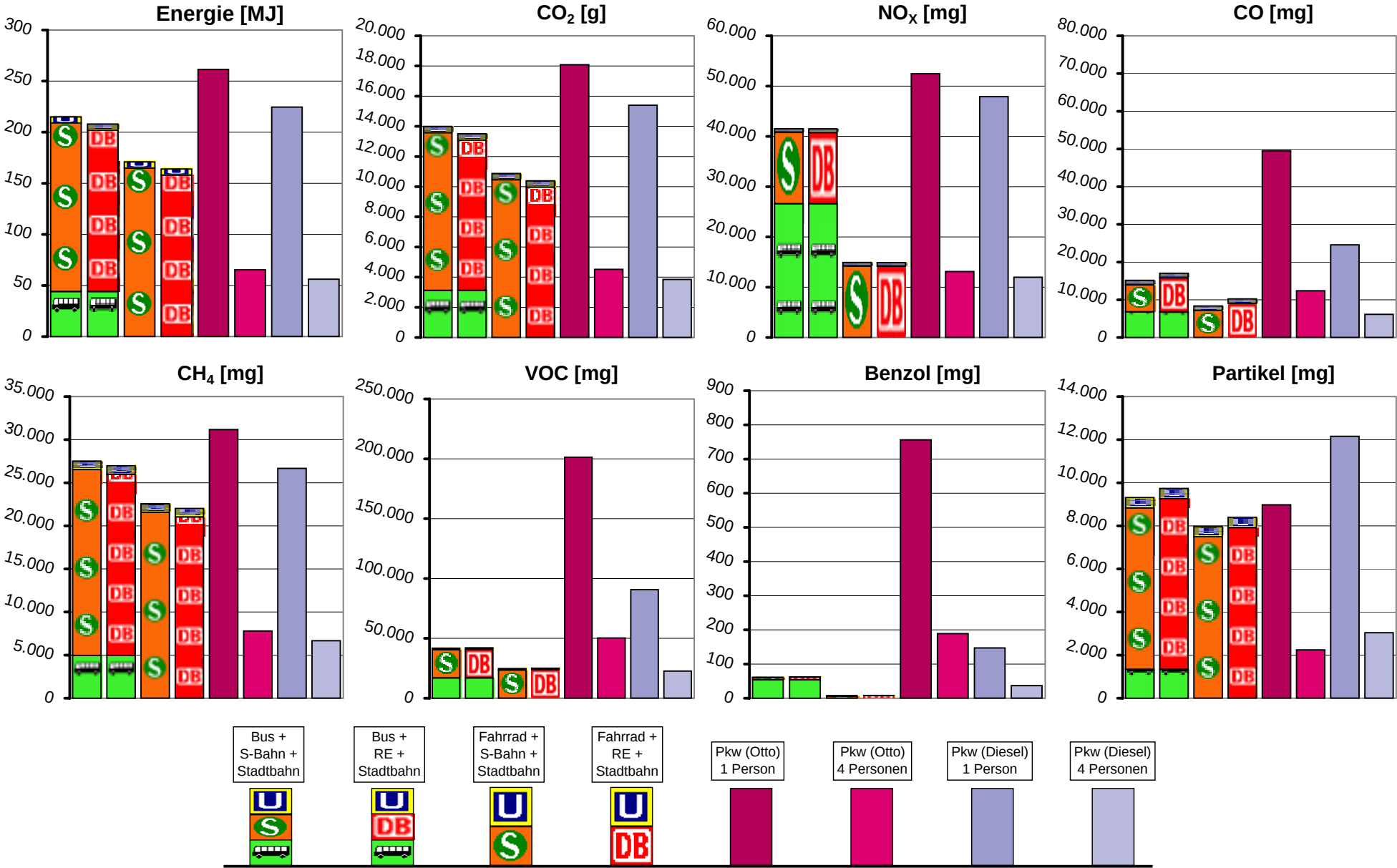
zur Tabelle



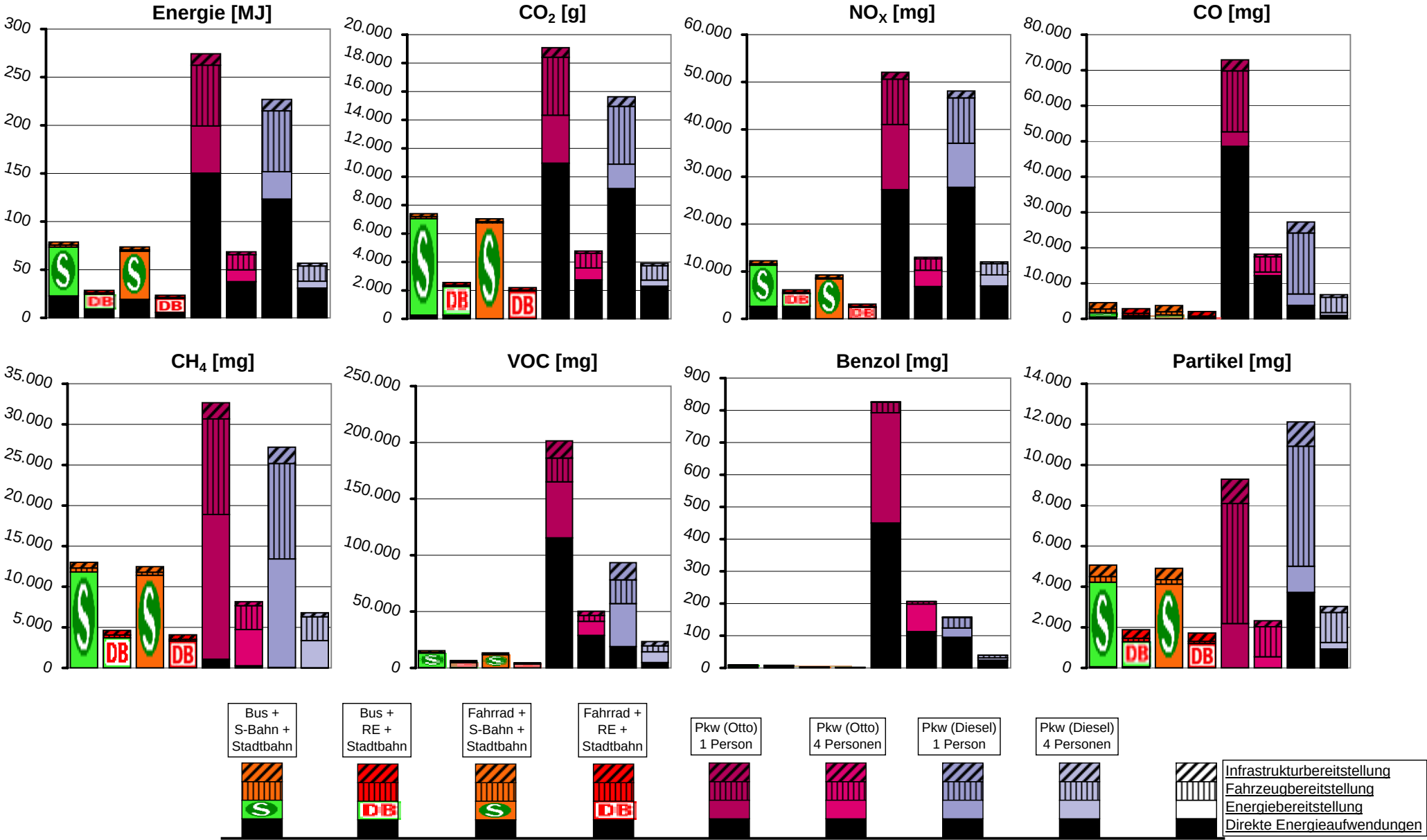
zur Tabelle



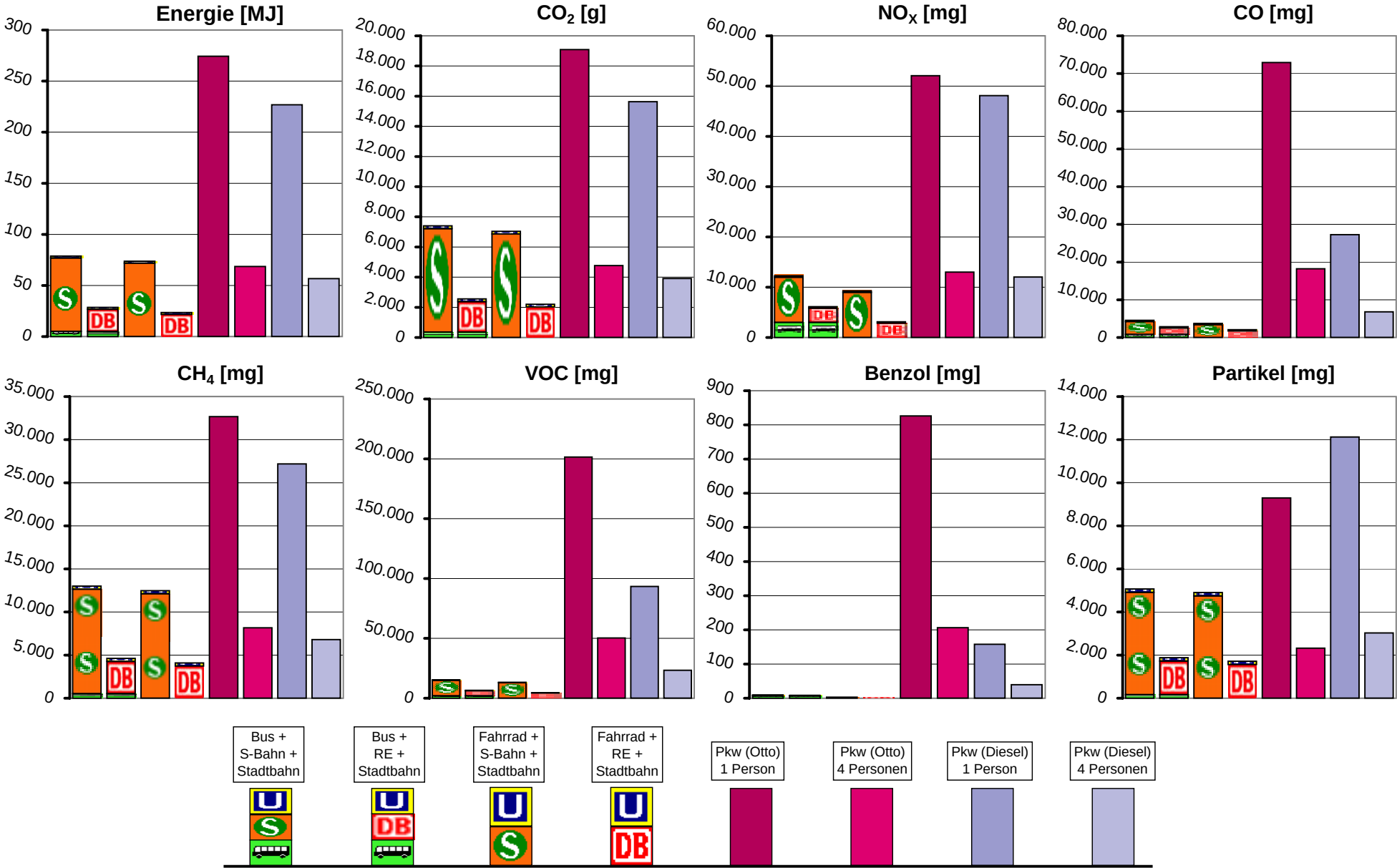
zur Tabelle



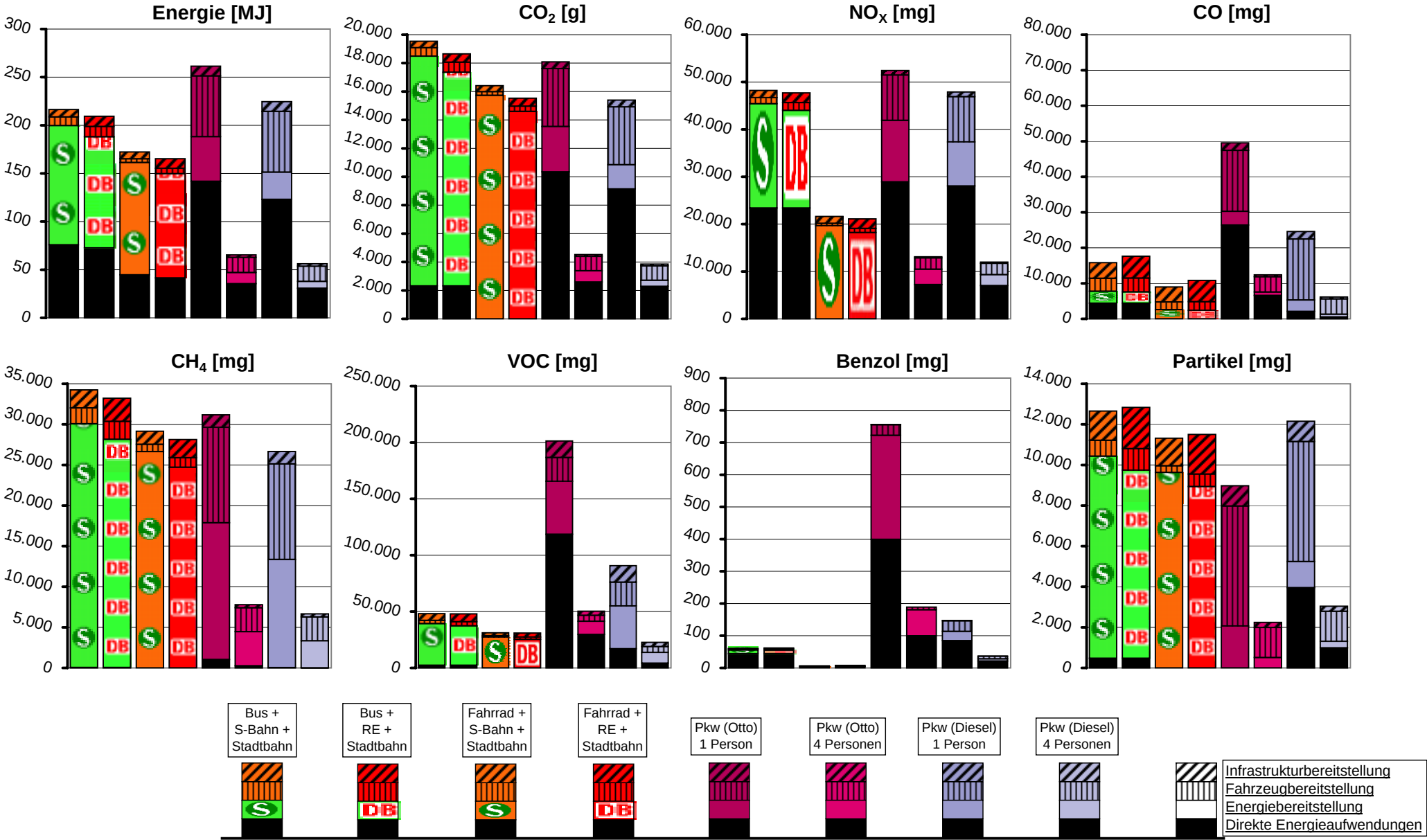
zur Tabelle



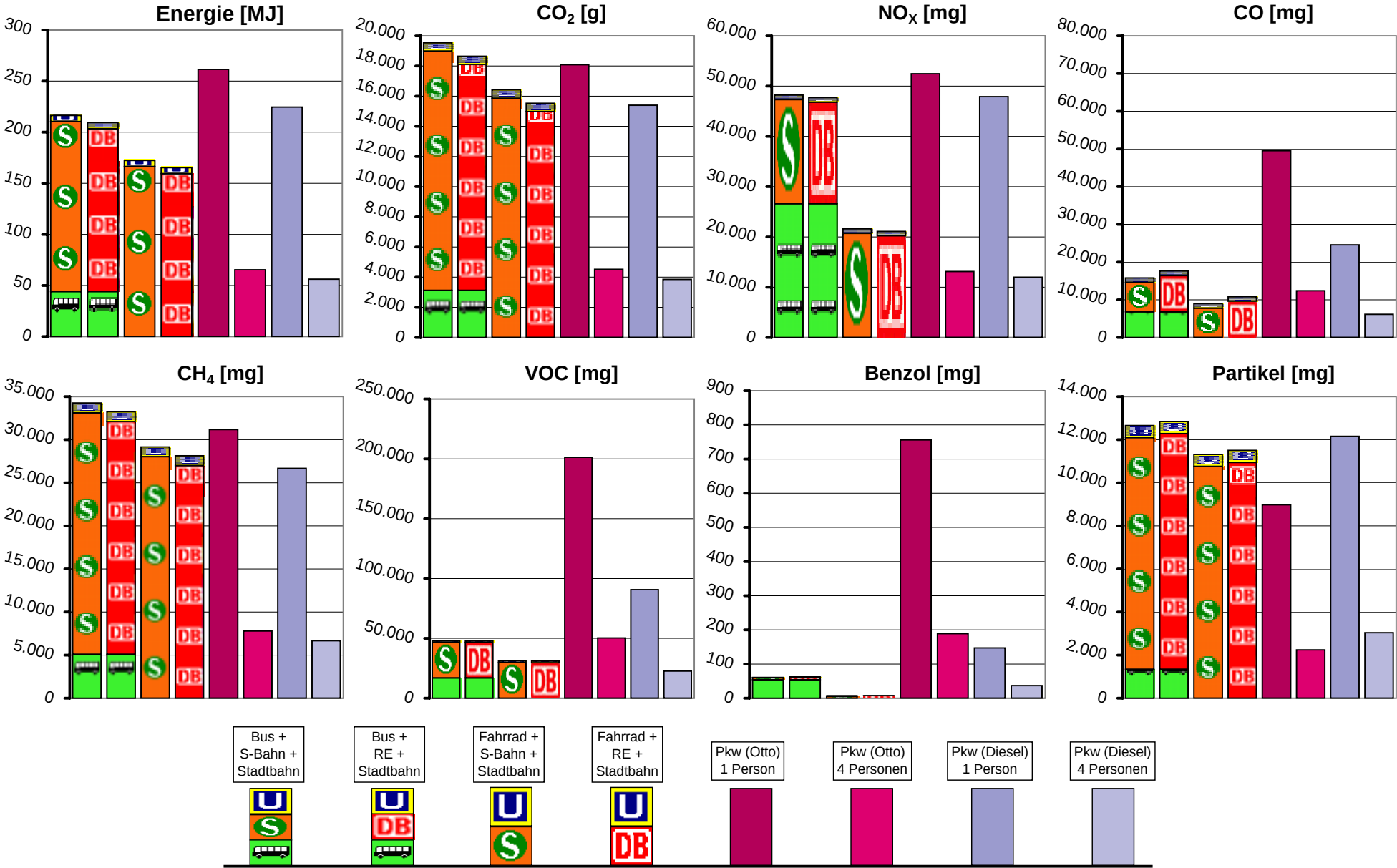
zur Tabelle



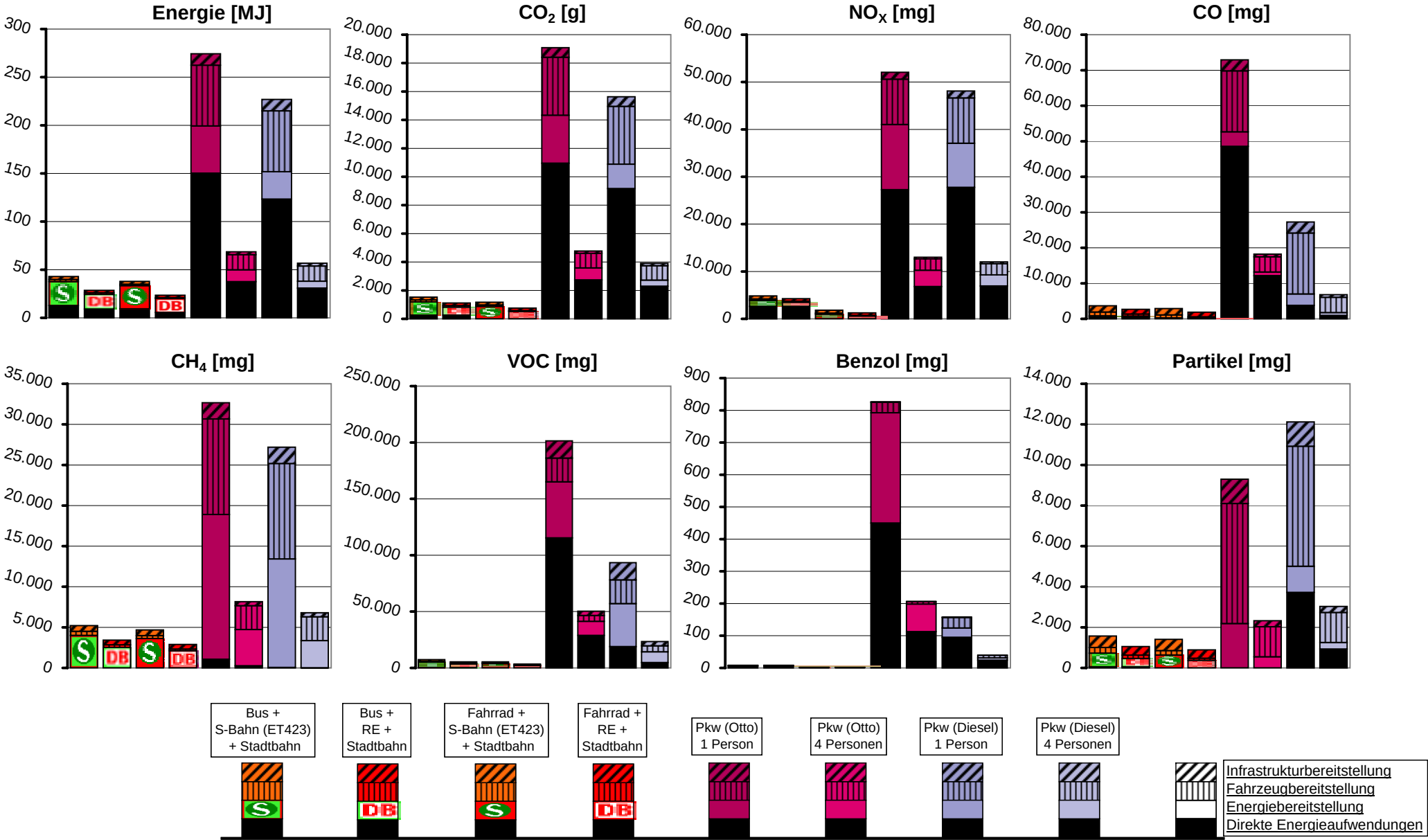
zur Tabelle

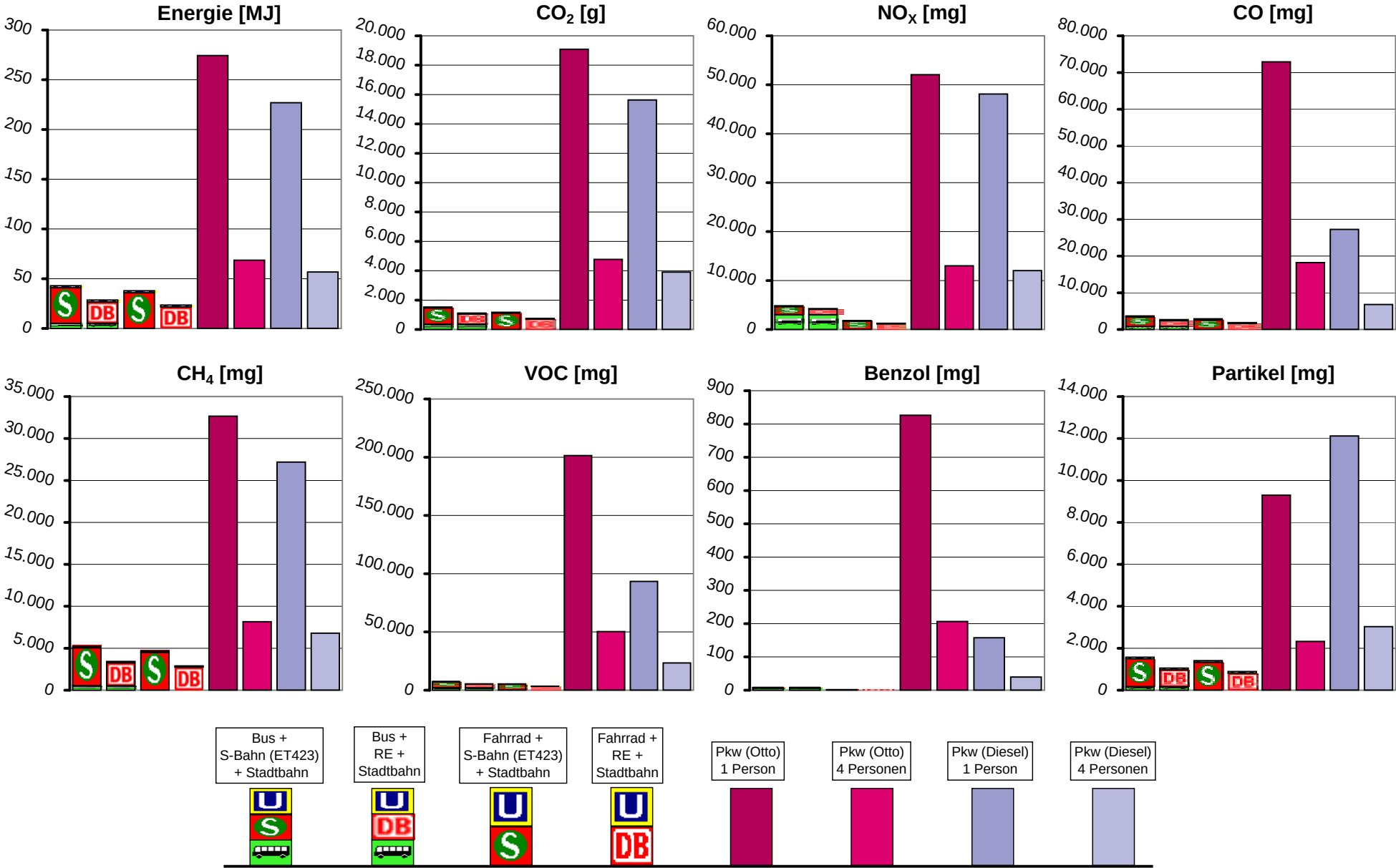


[zur Tabelle](#)

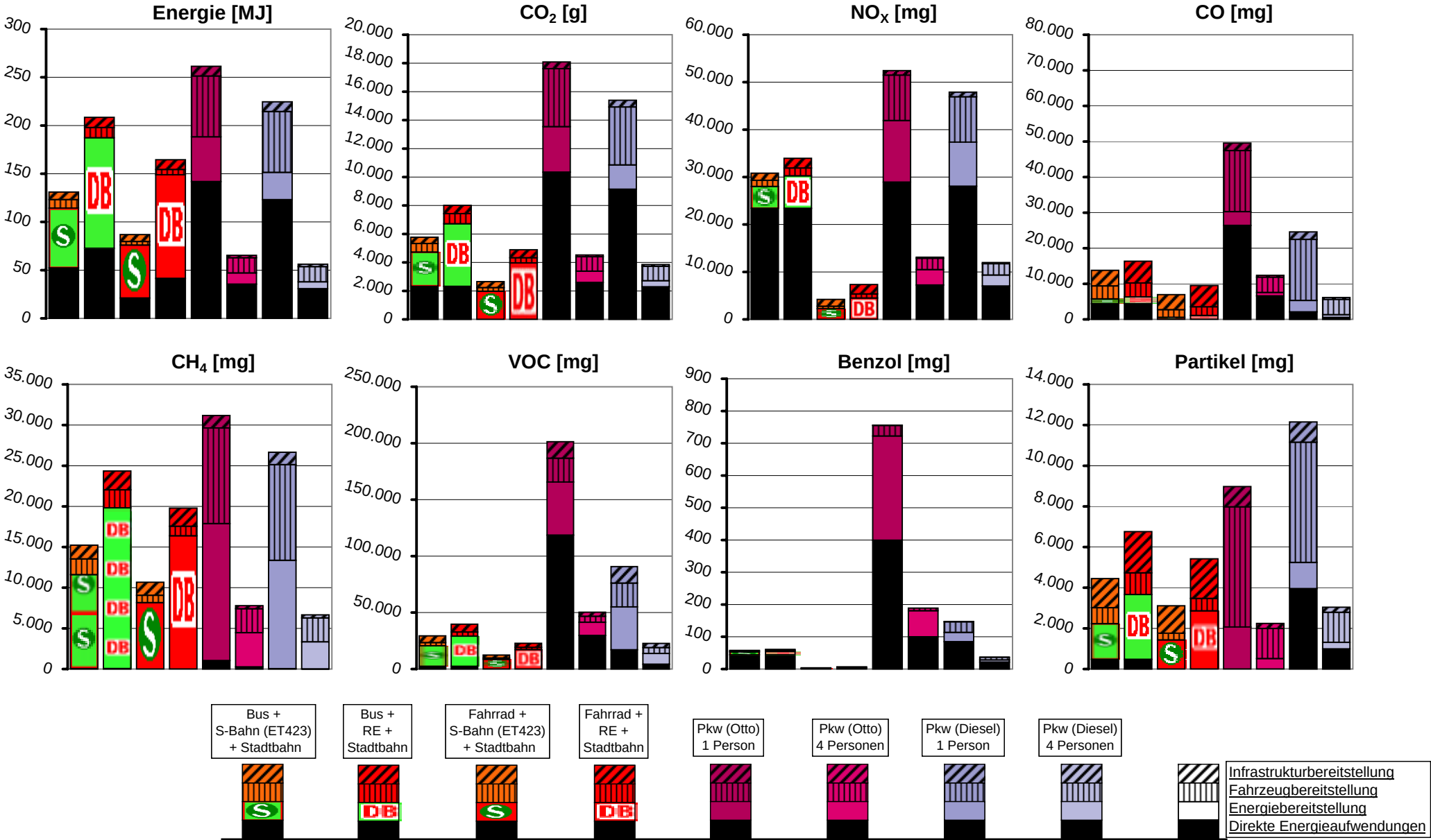


zur Tabelle

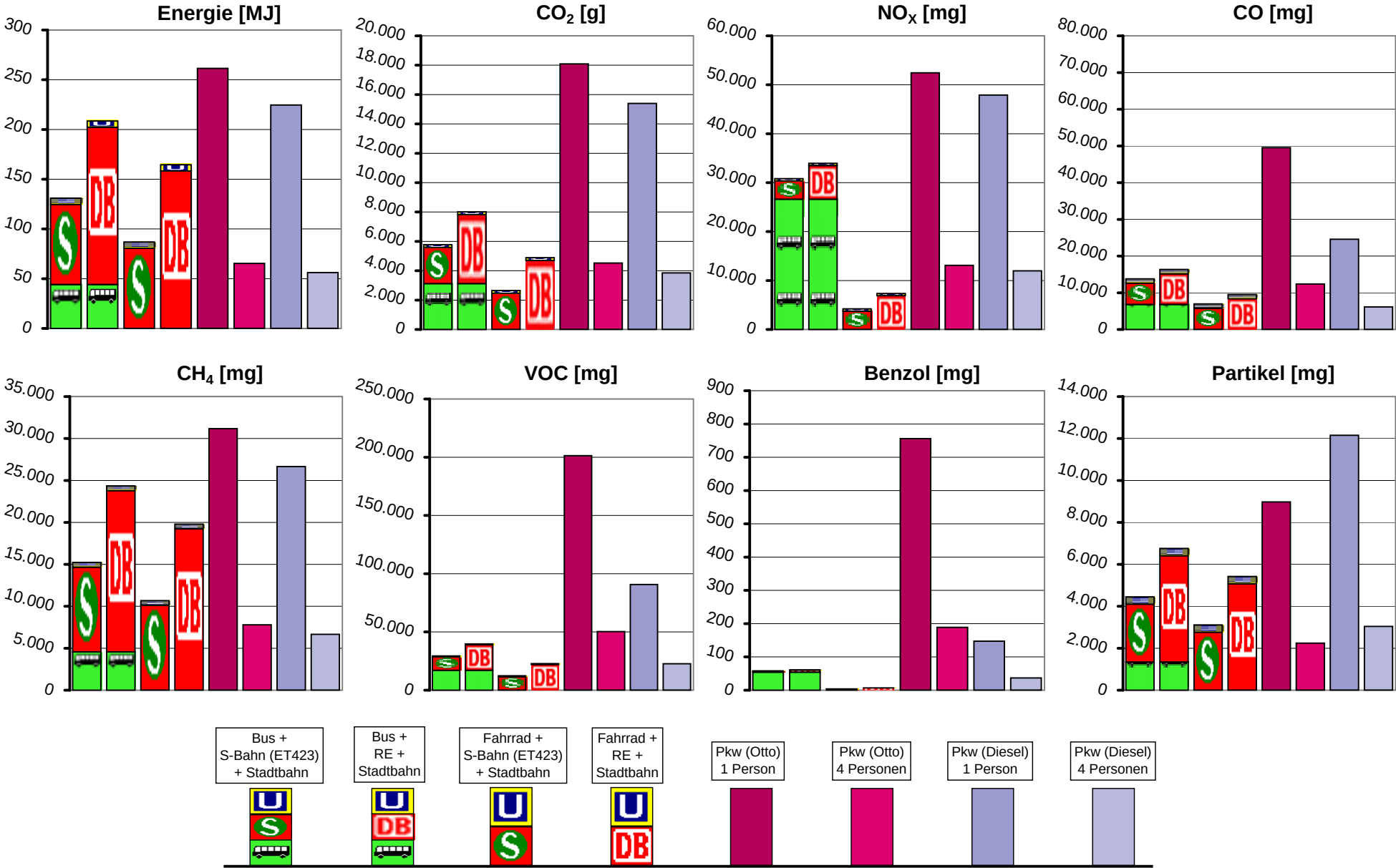




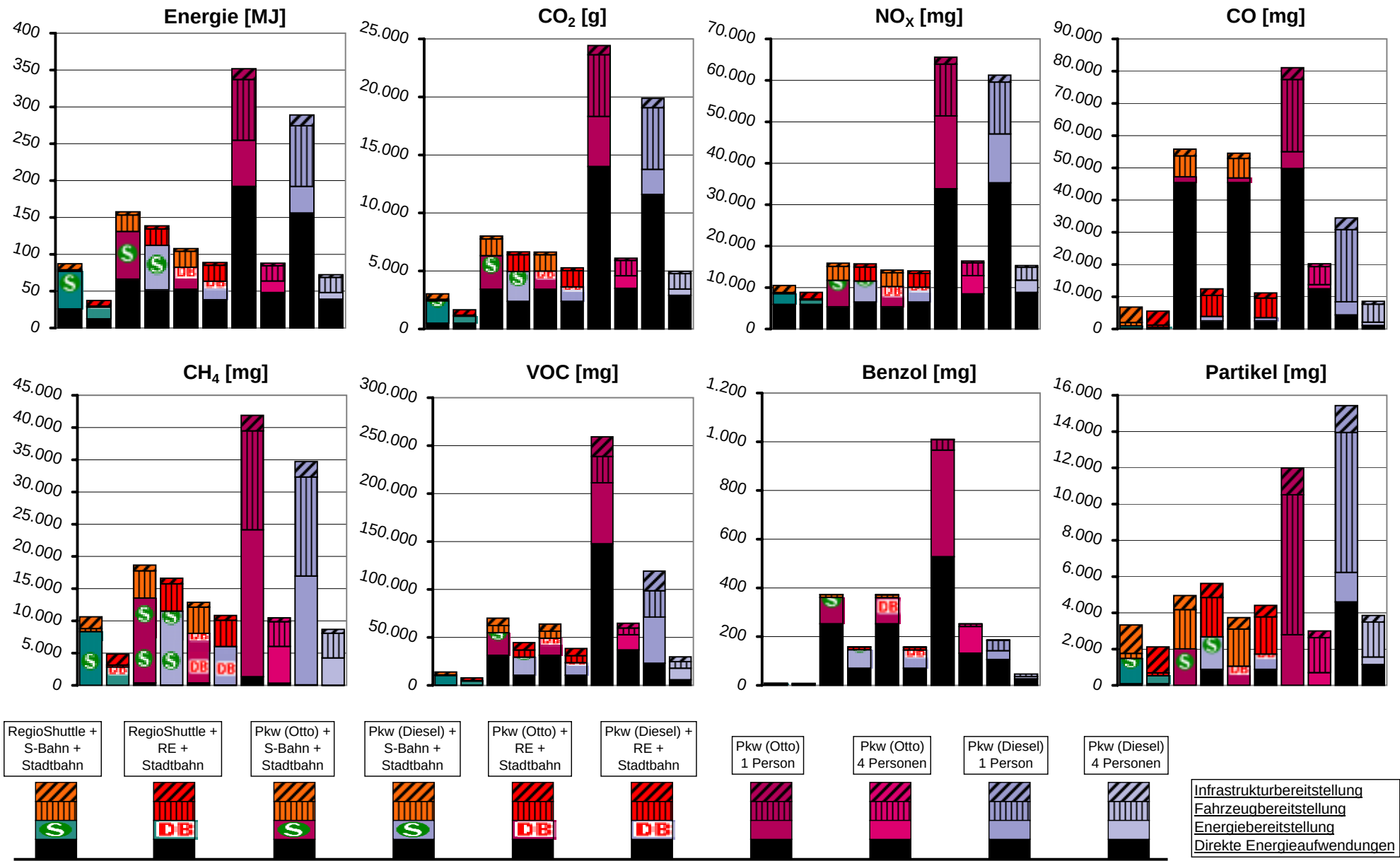
zur Tabelle



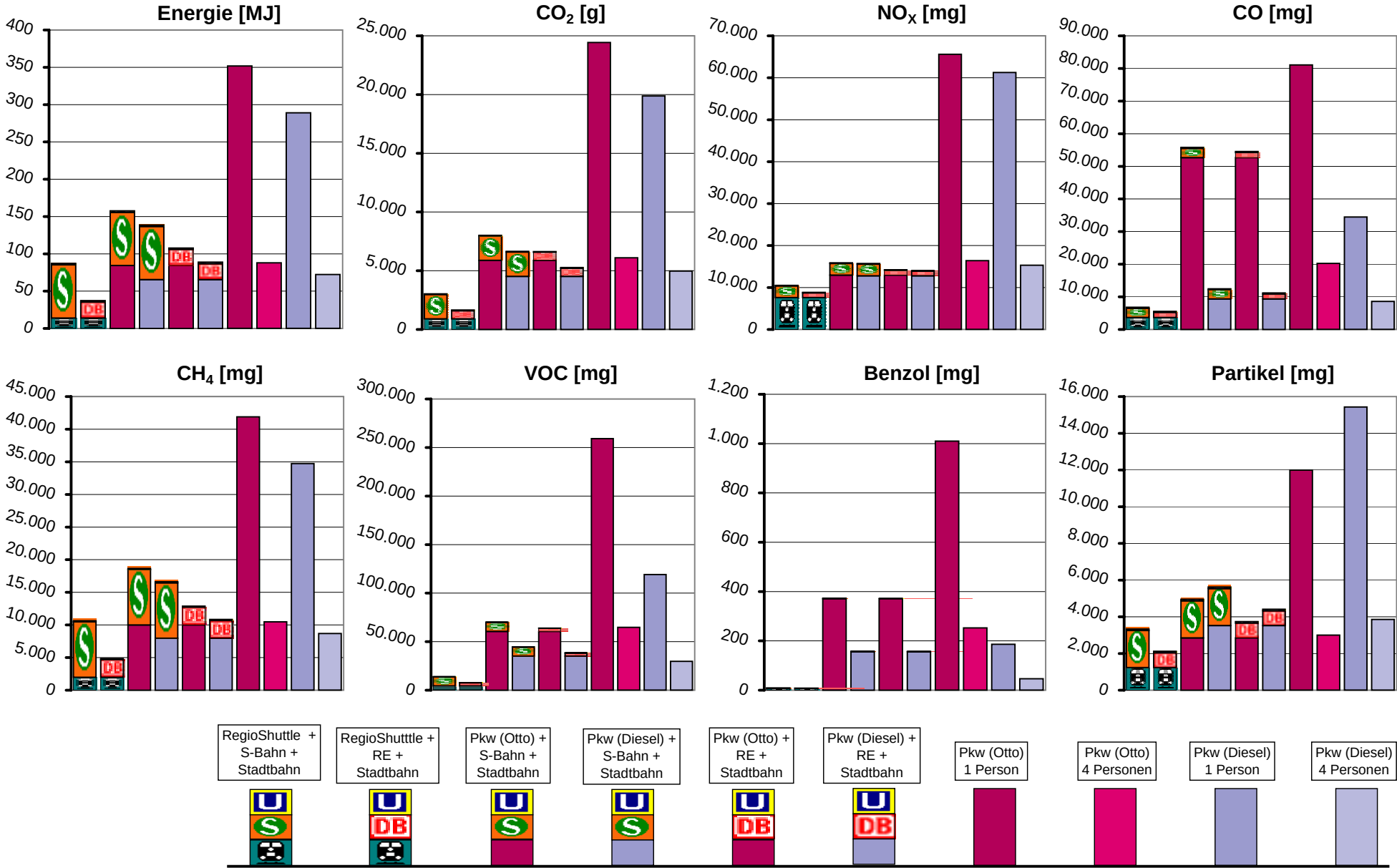
zur Tabelle



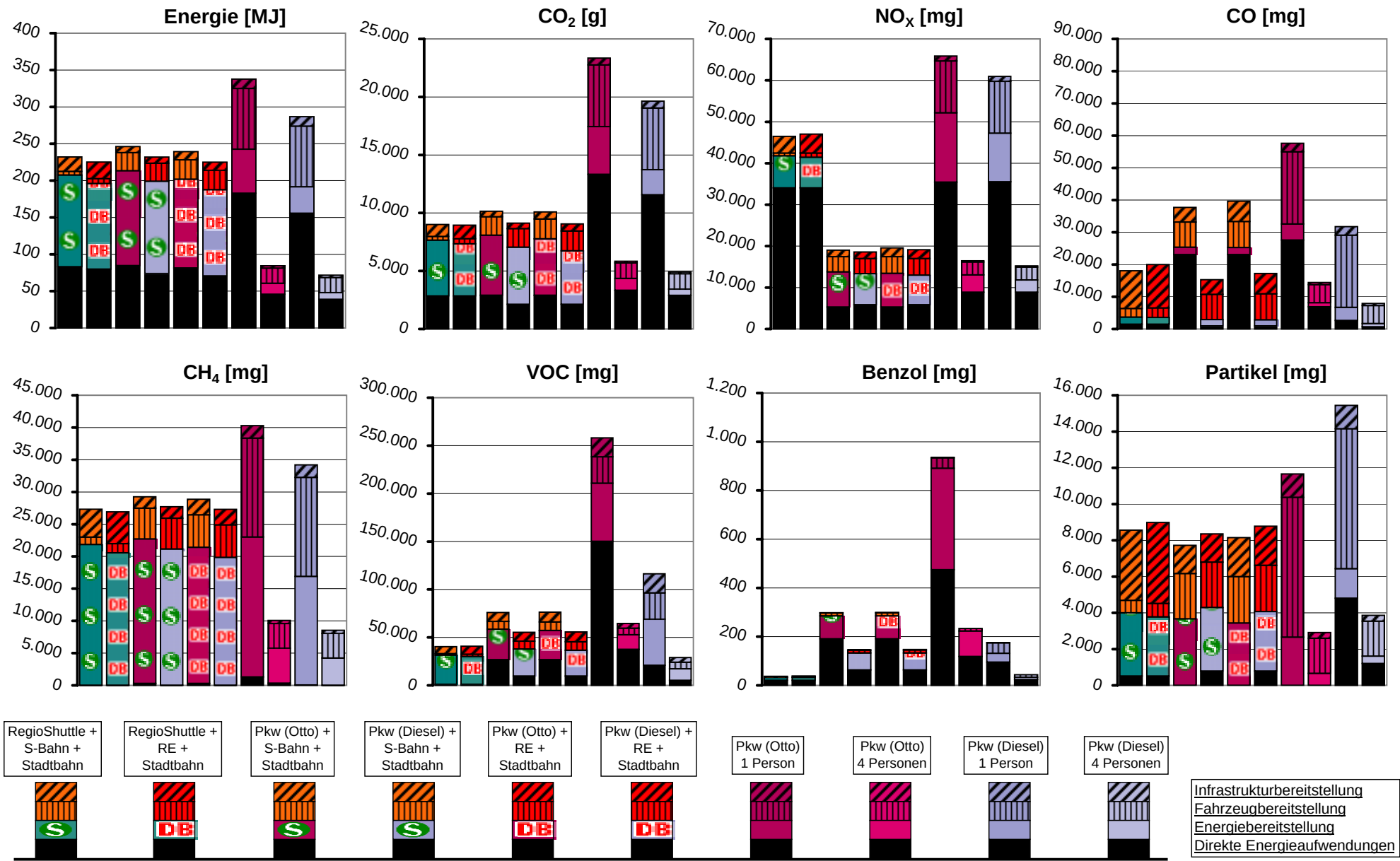
zur Tabelle



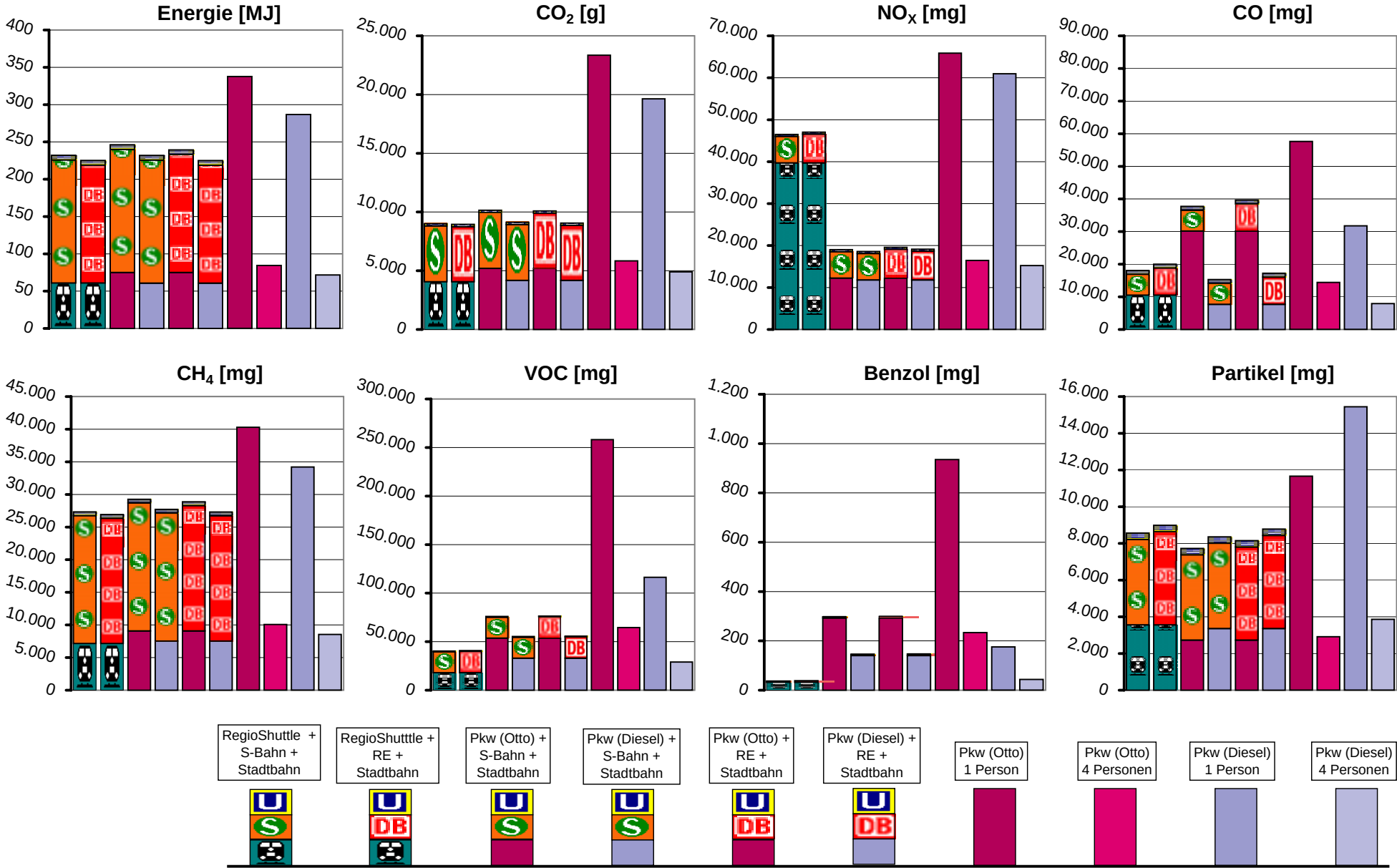
zur Tabelle



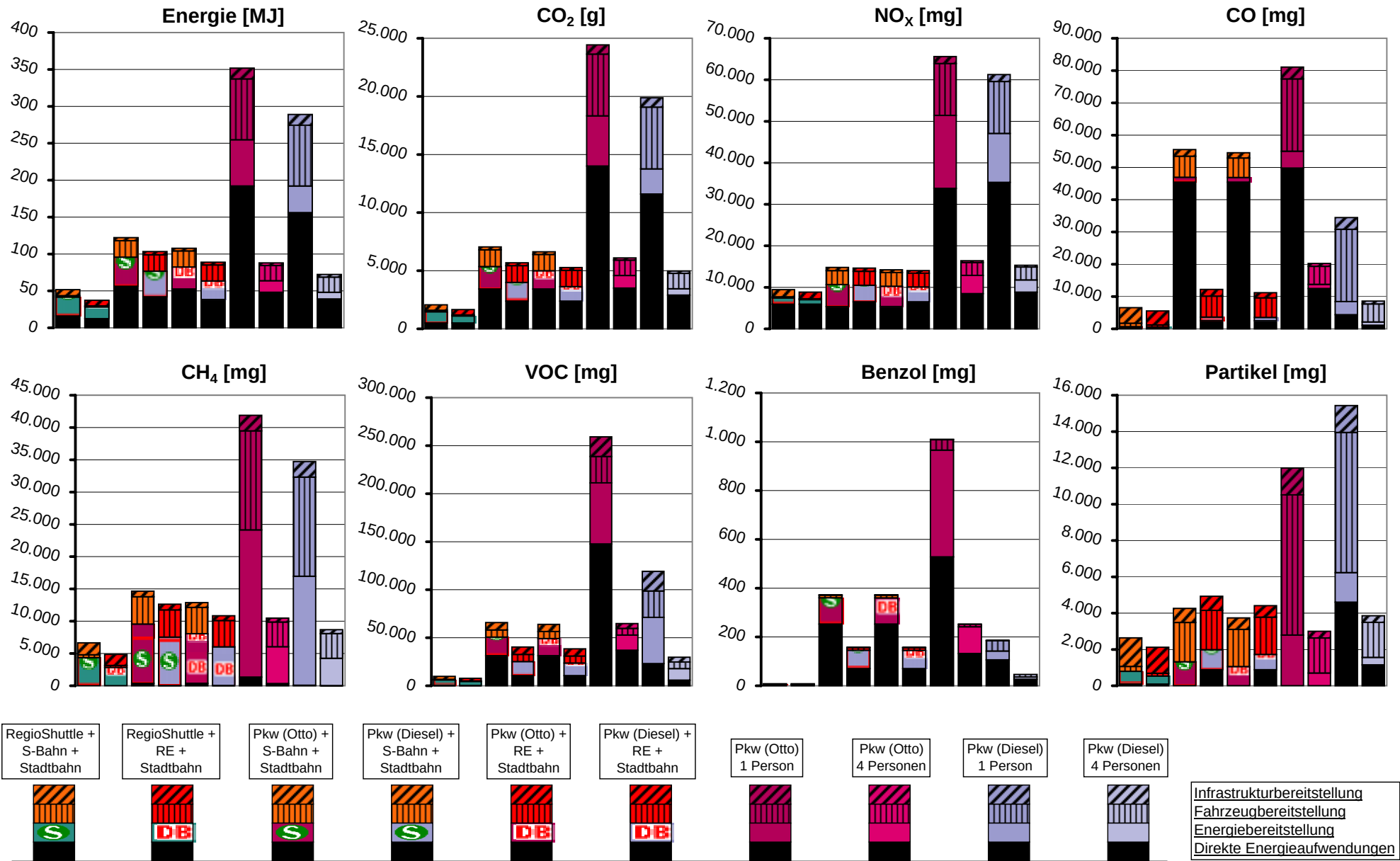
zur Tabelle



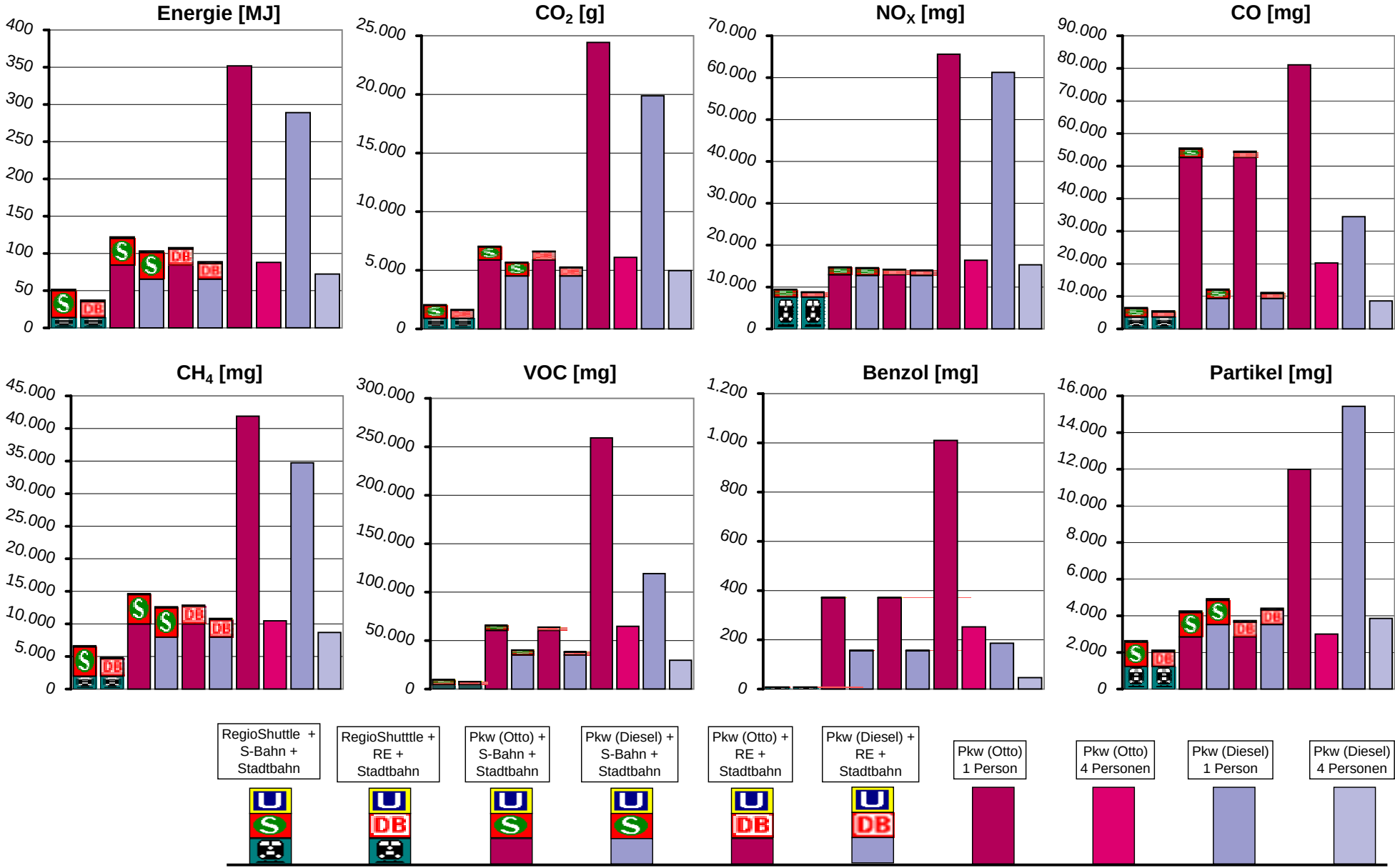
zur Tabelle



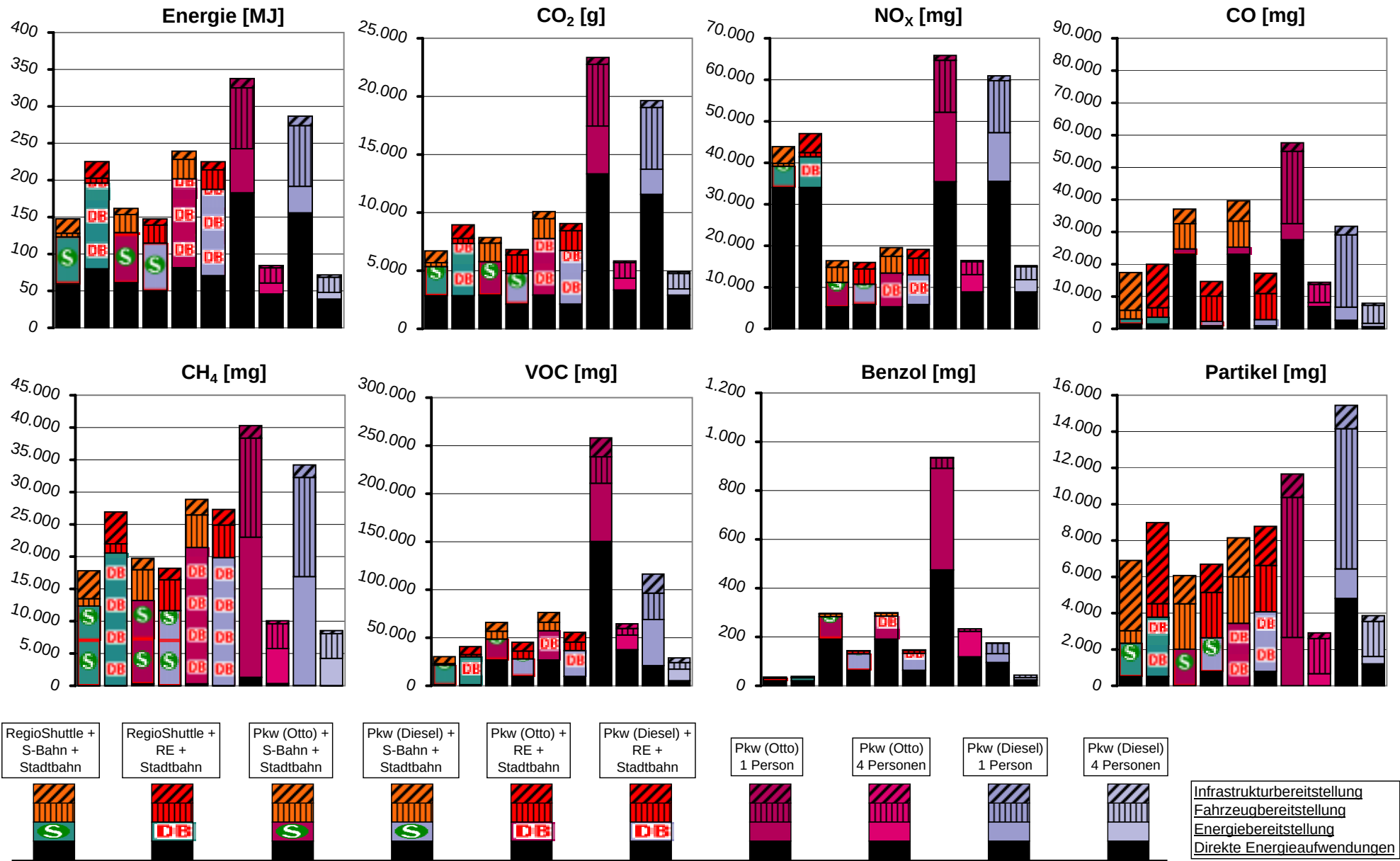
zur Tabelle



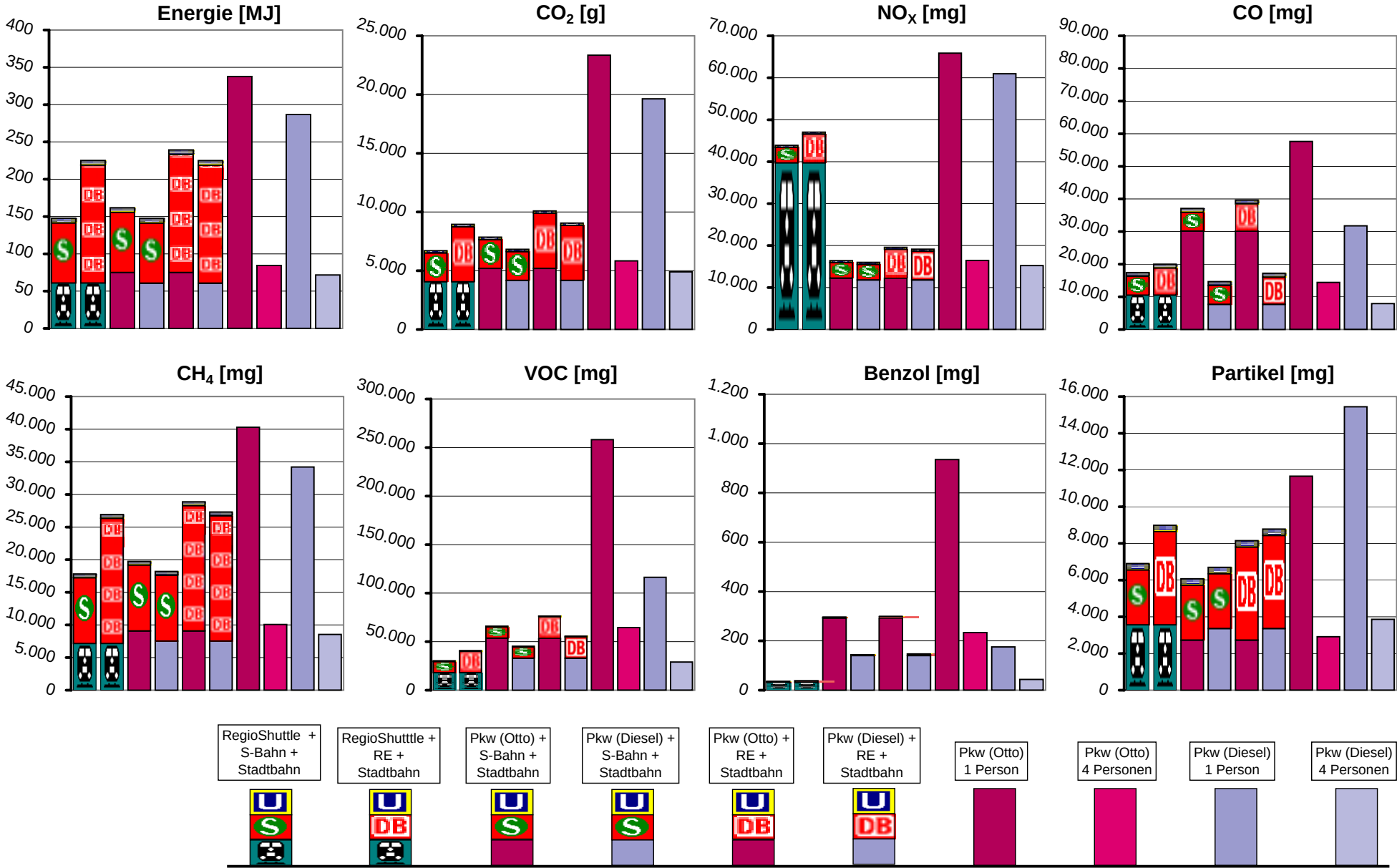
[zur Tabelle](#)



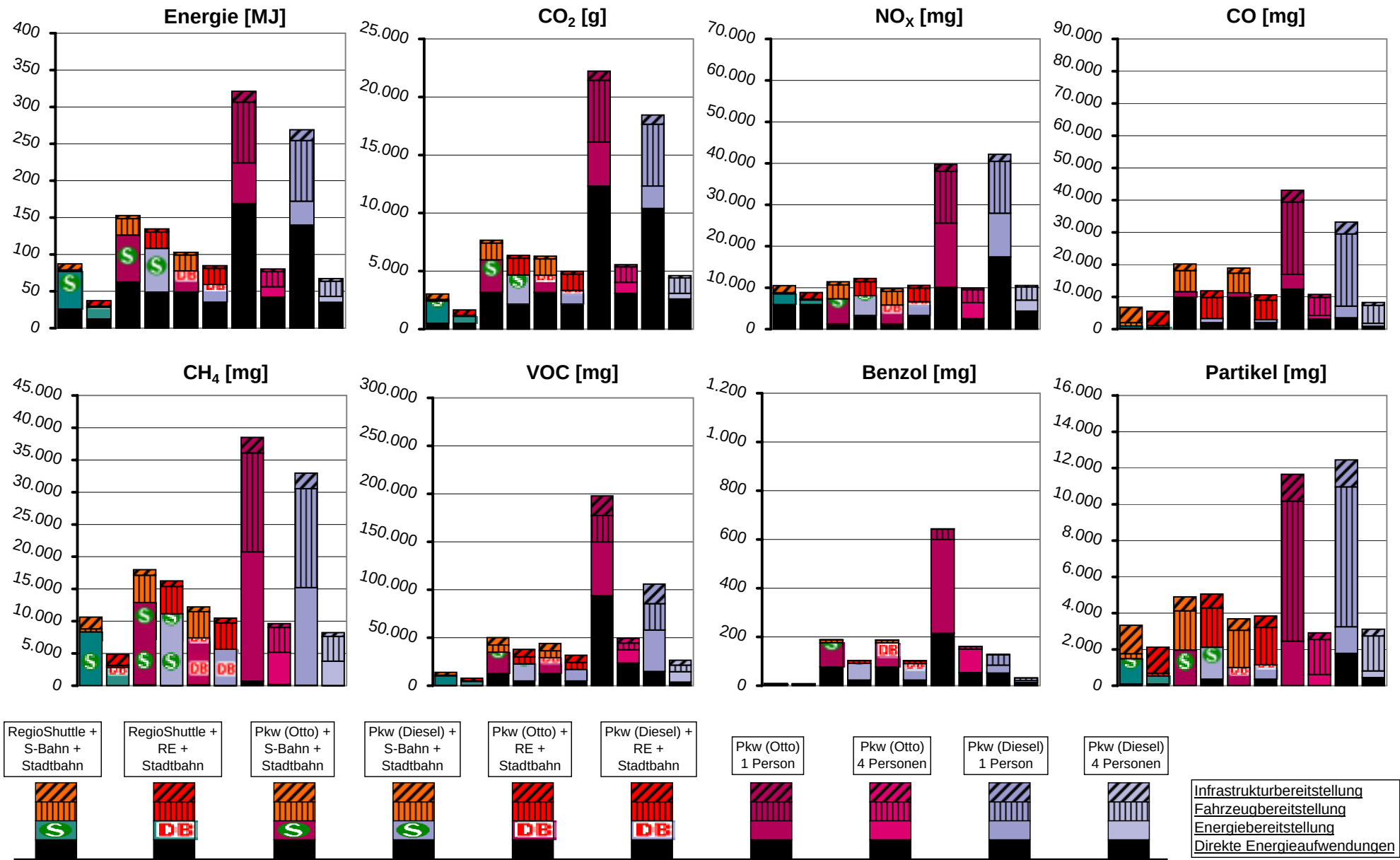
zur Tabelle



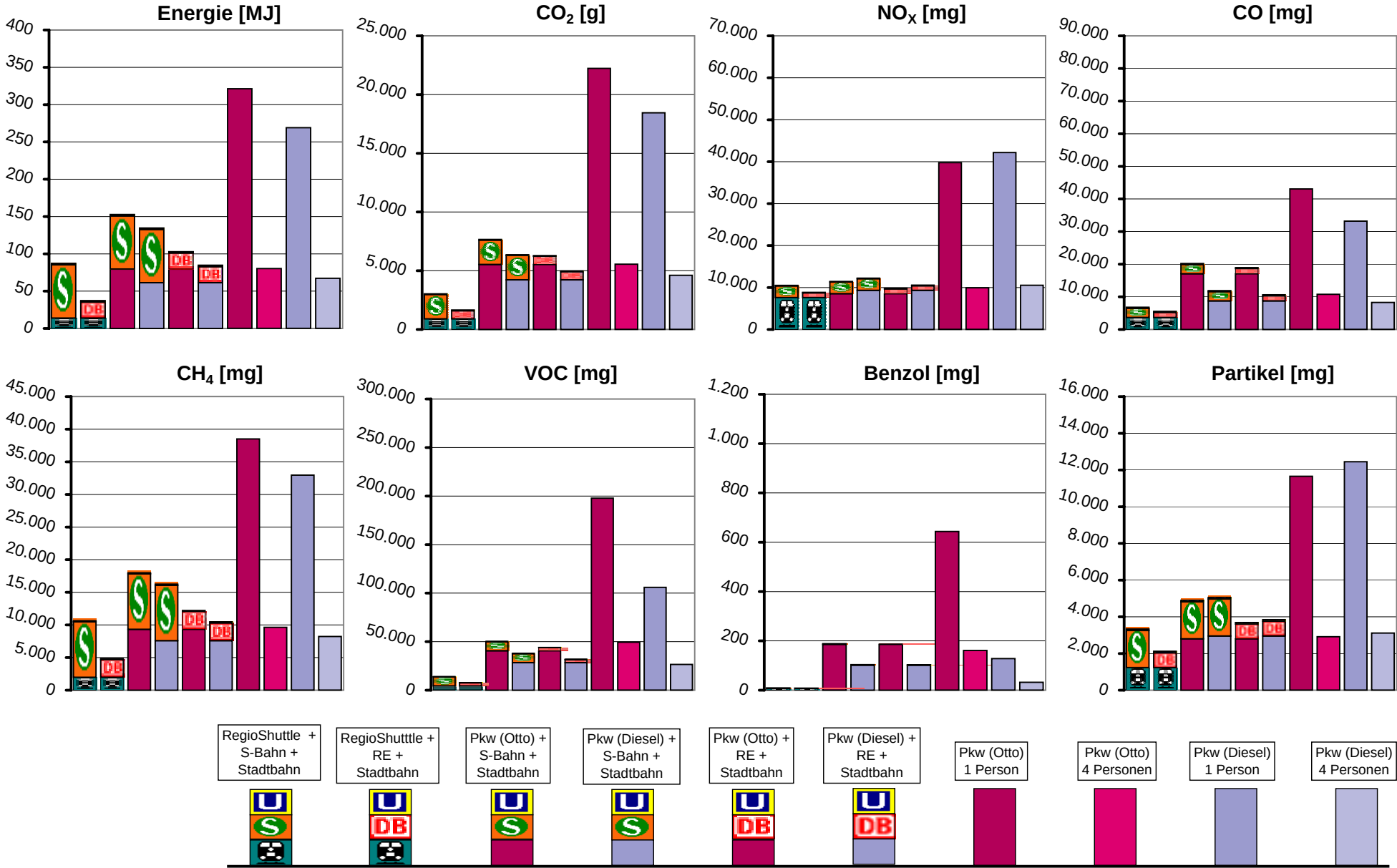
zur Tabelle



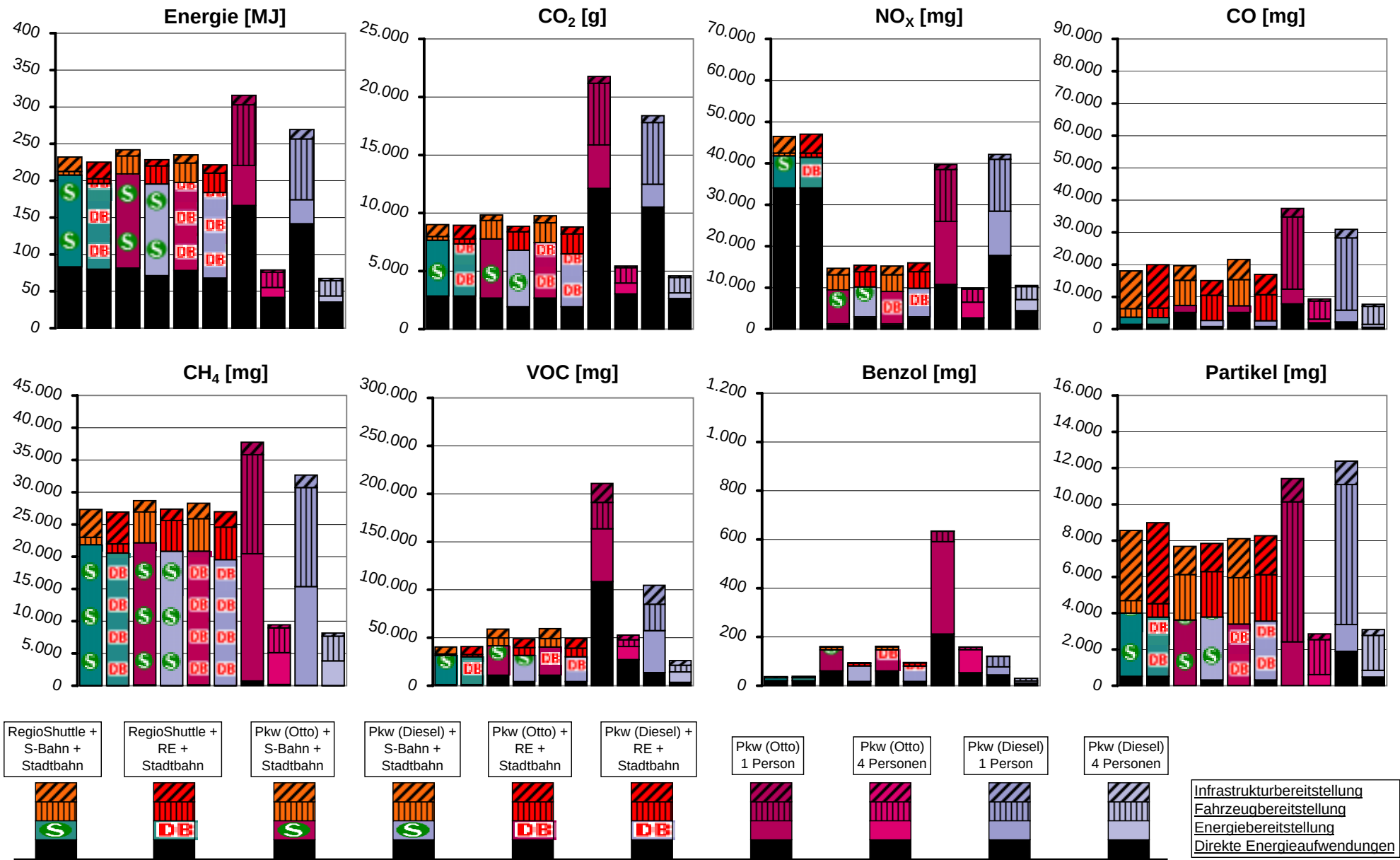
zur Tabelle



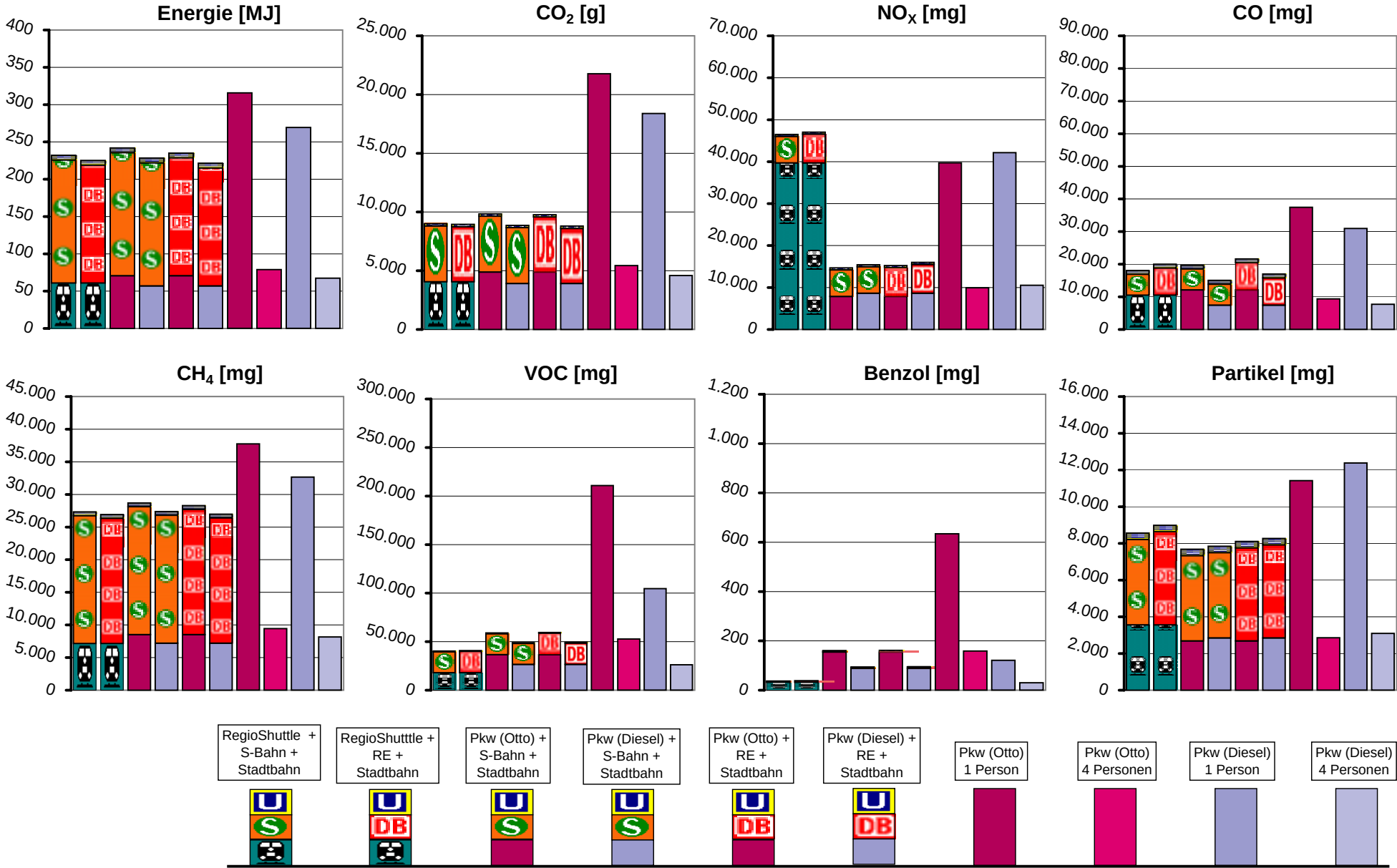
zur Tabelle



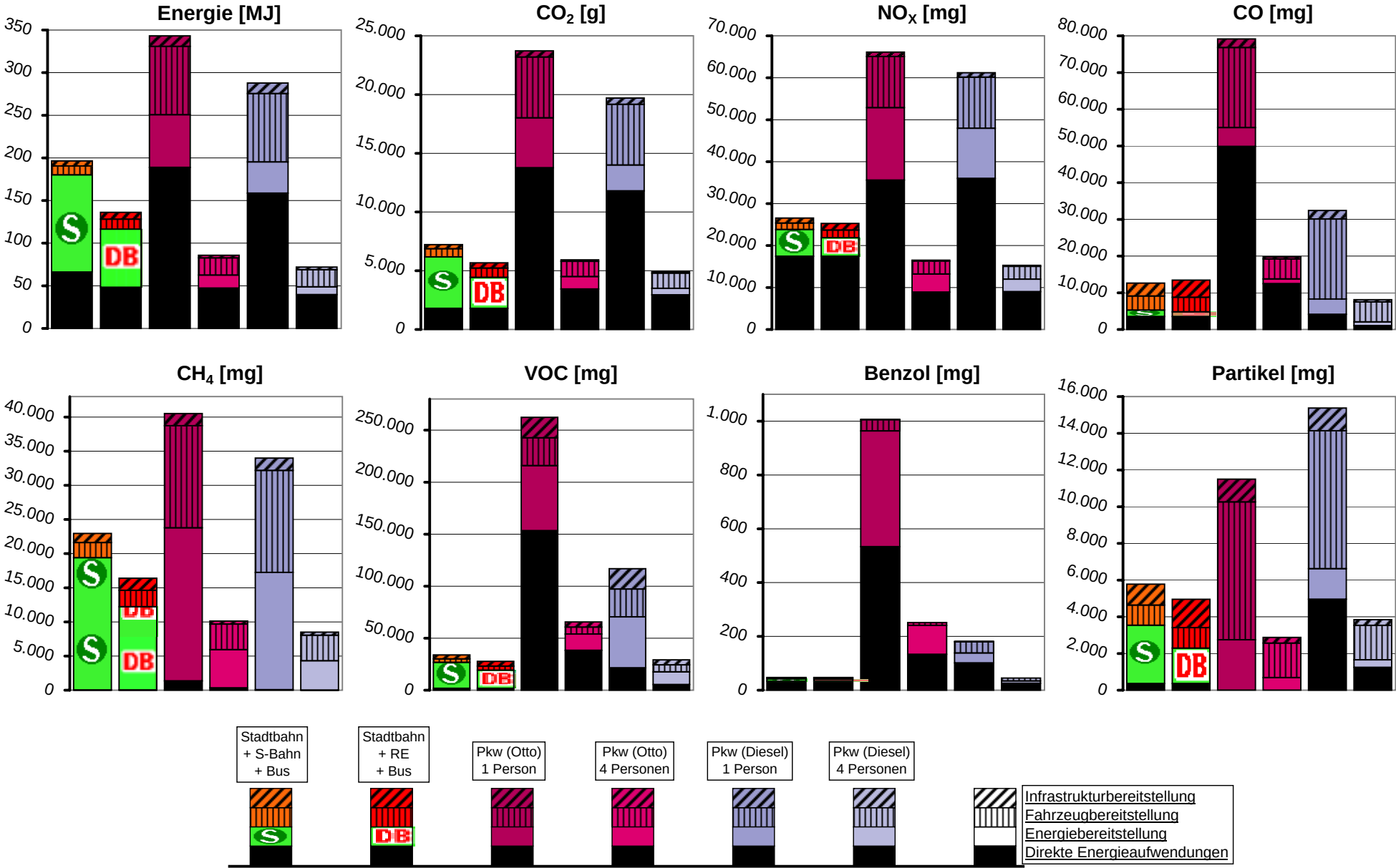
zur Tabelle



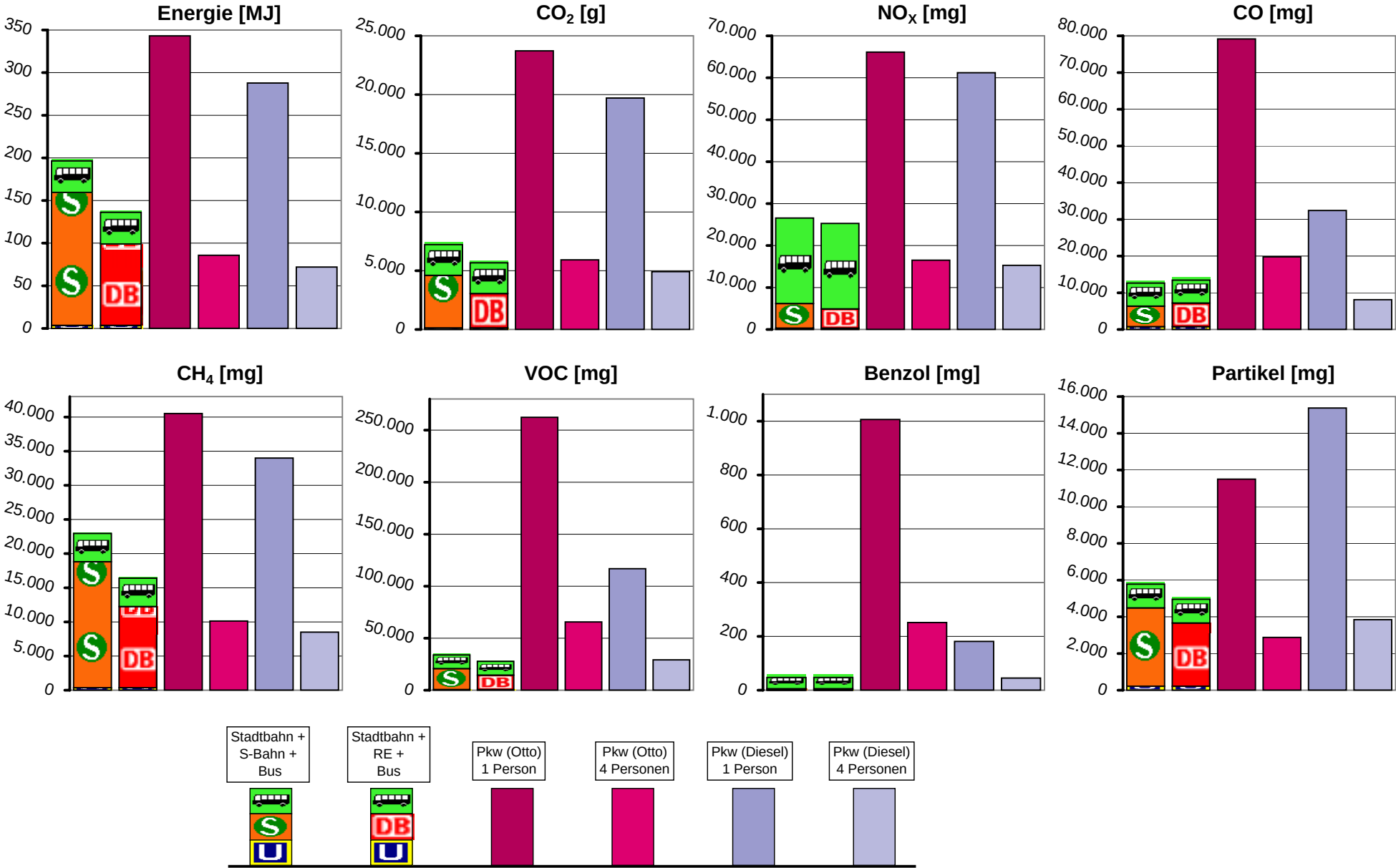
zur Tabelle



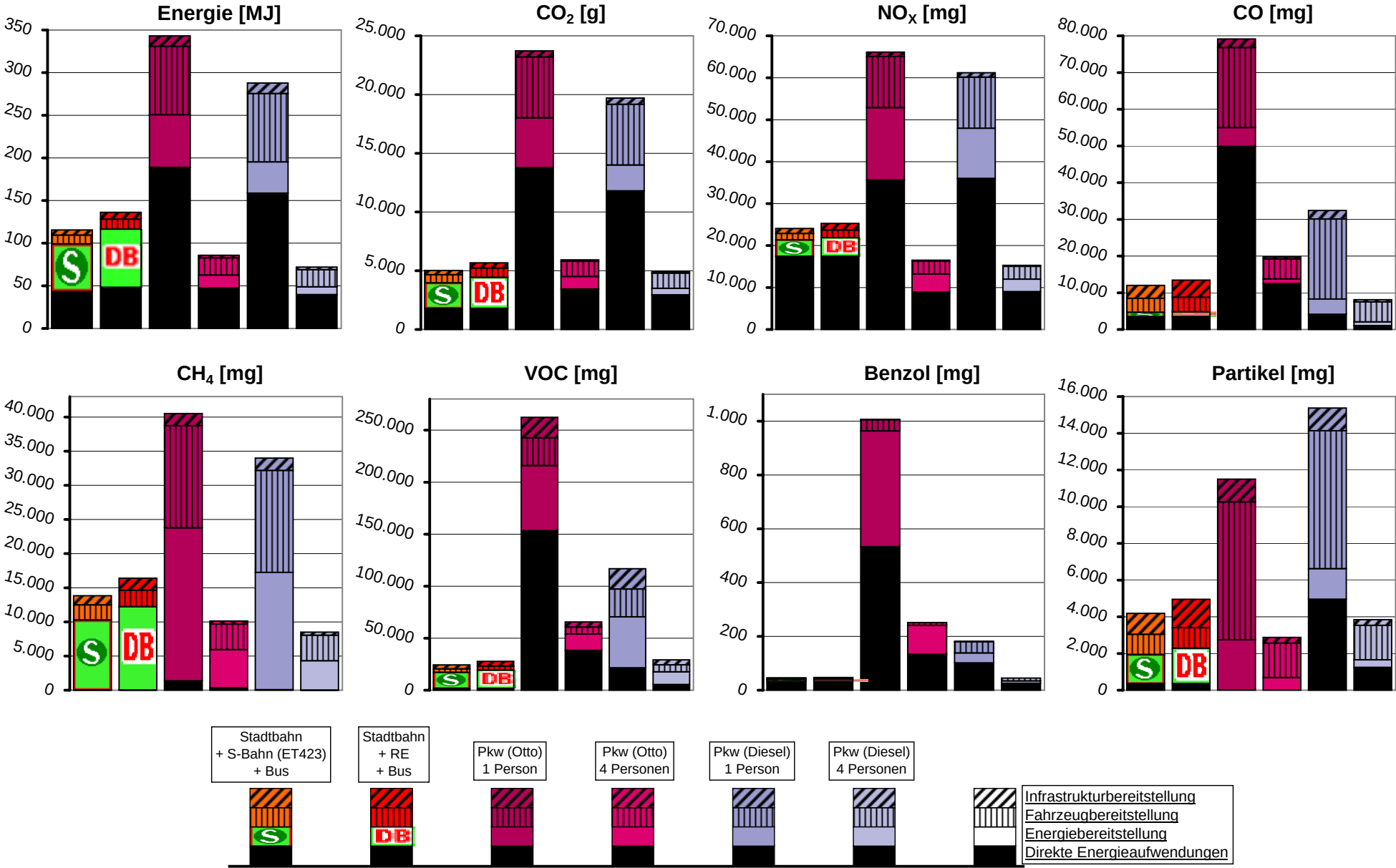
zur Tabelle



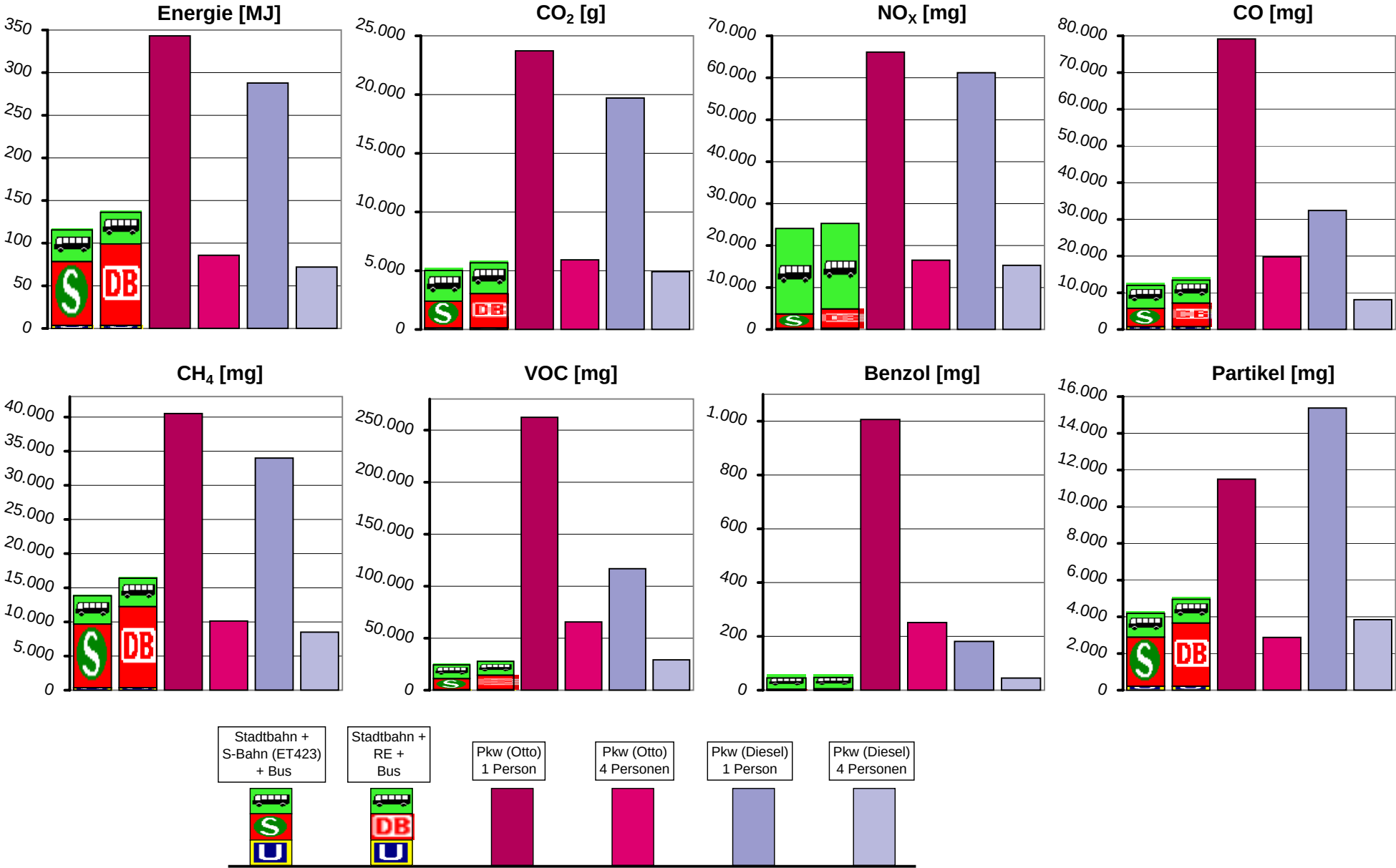
zur Tabelle



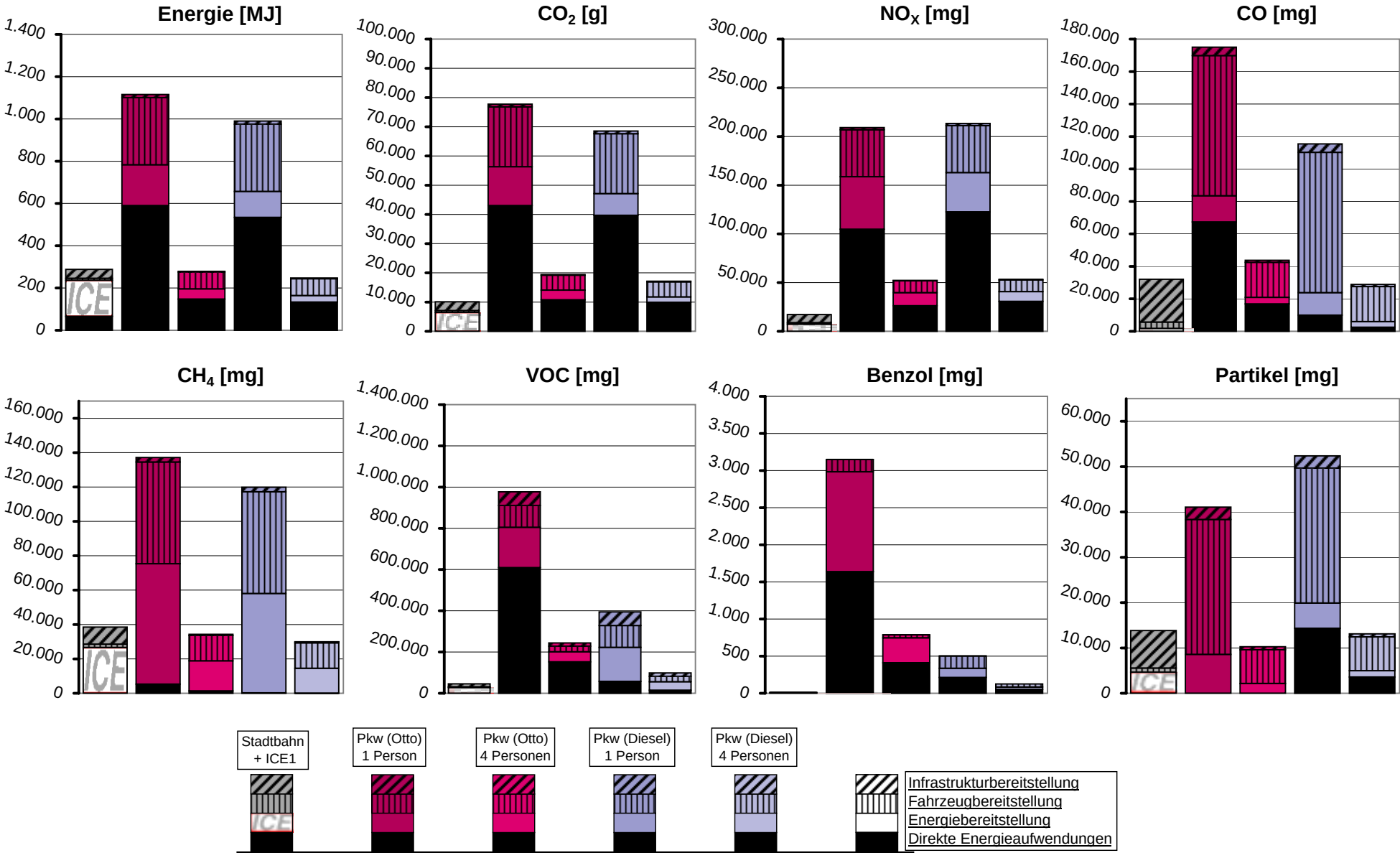
zur Tabelle



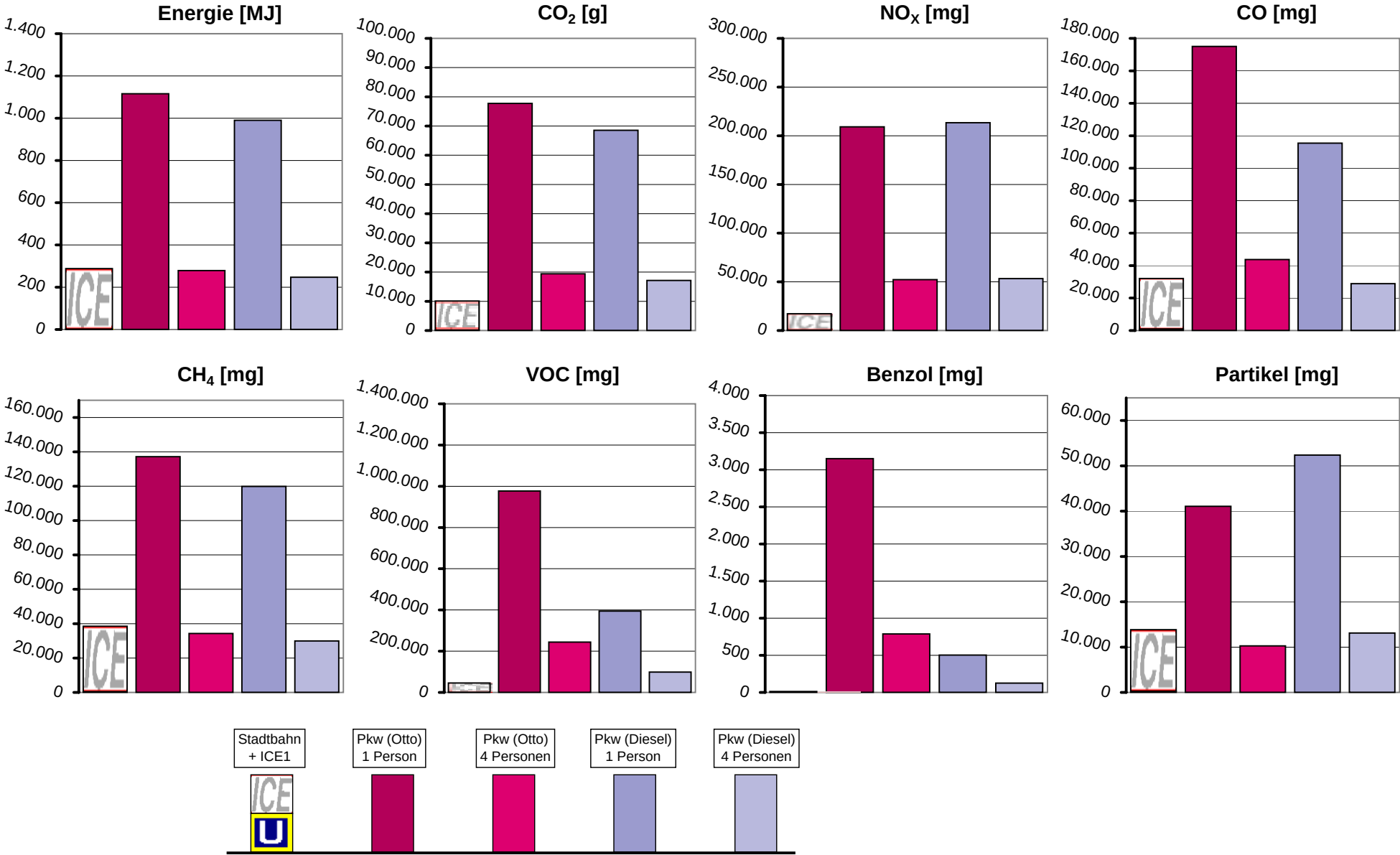
[zur Tabelle](#)



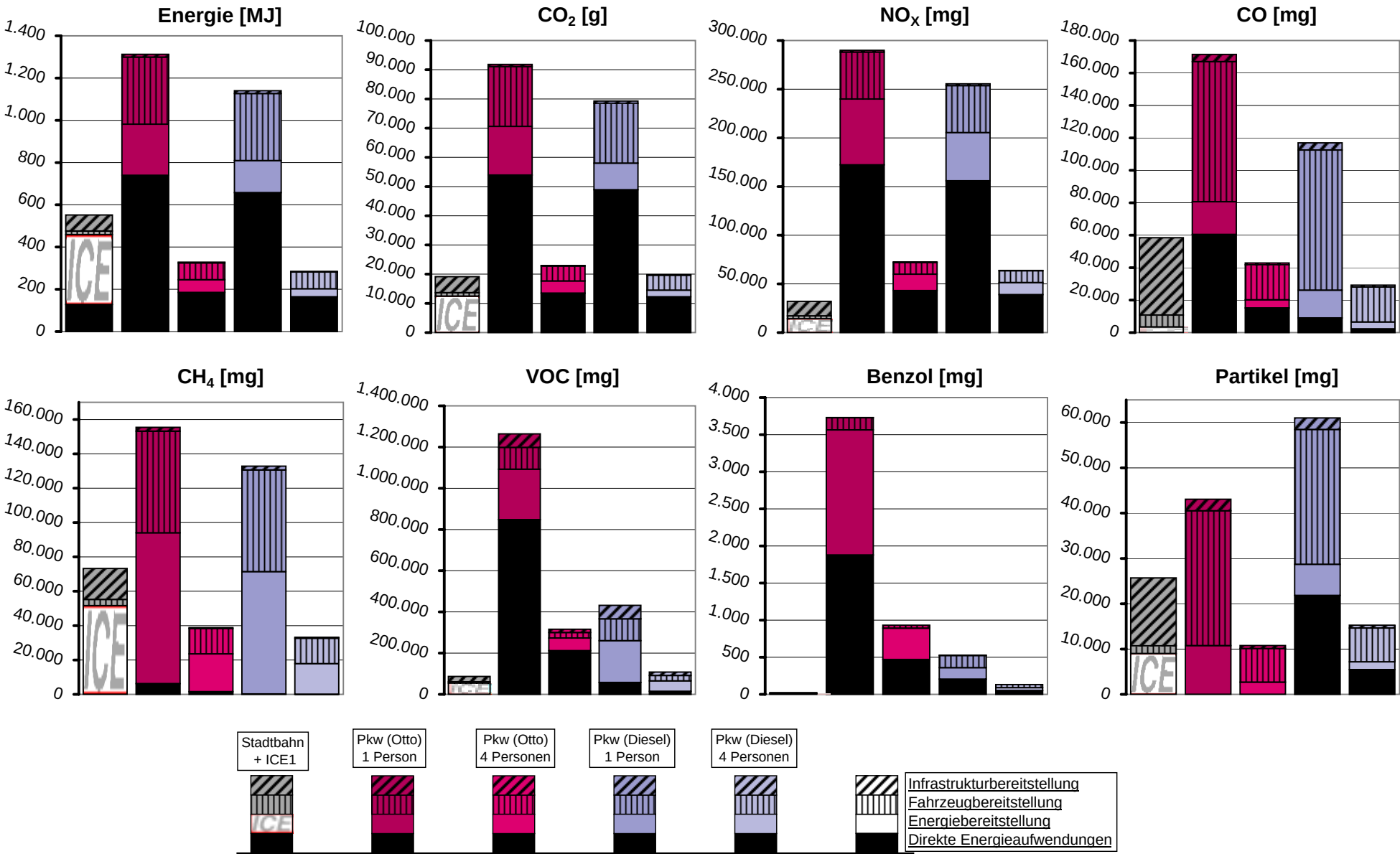
zur Tabelle



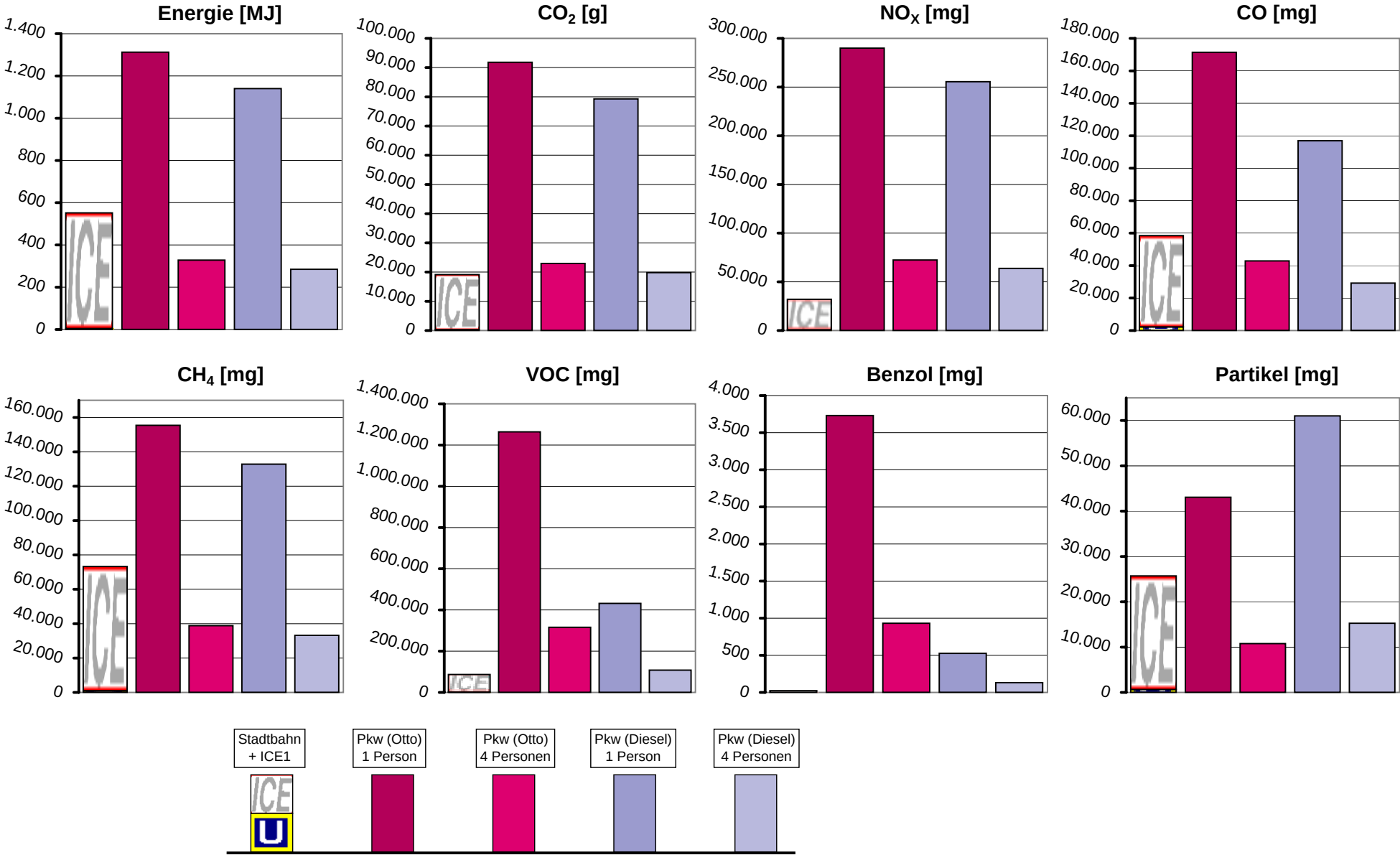
zur Tabelle



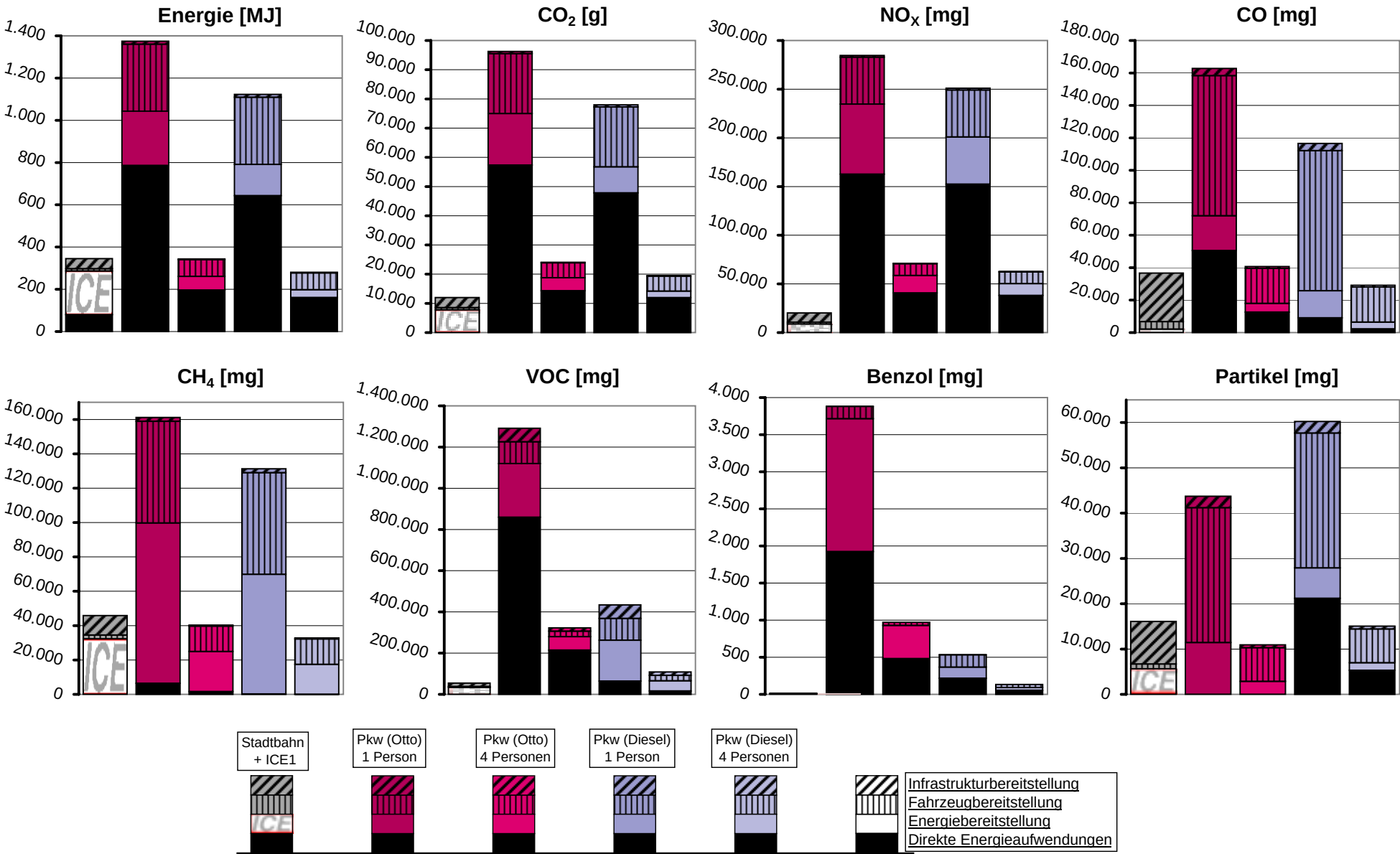
zur Tabelle



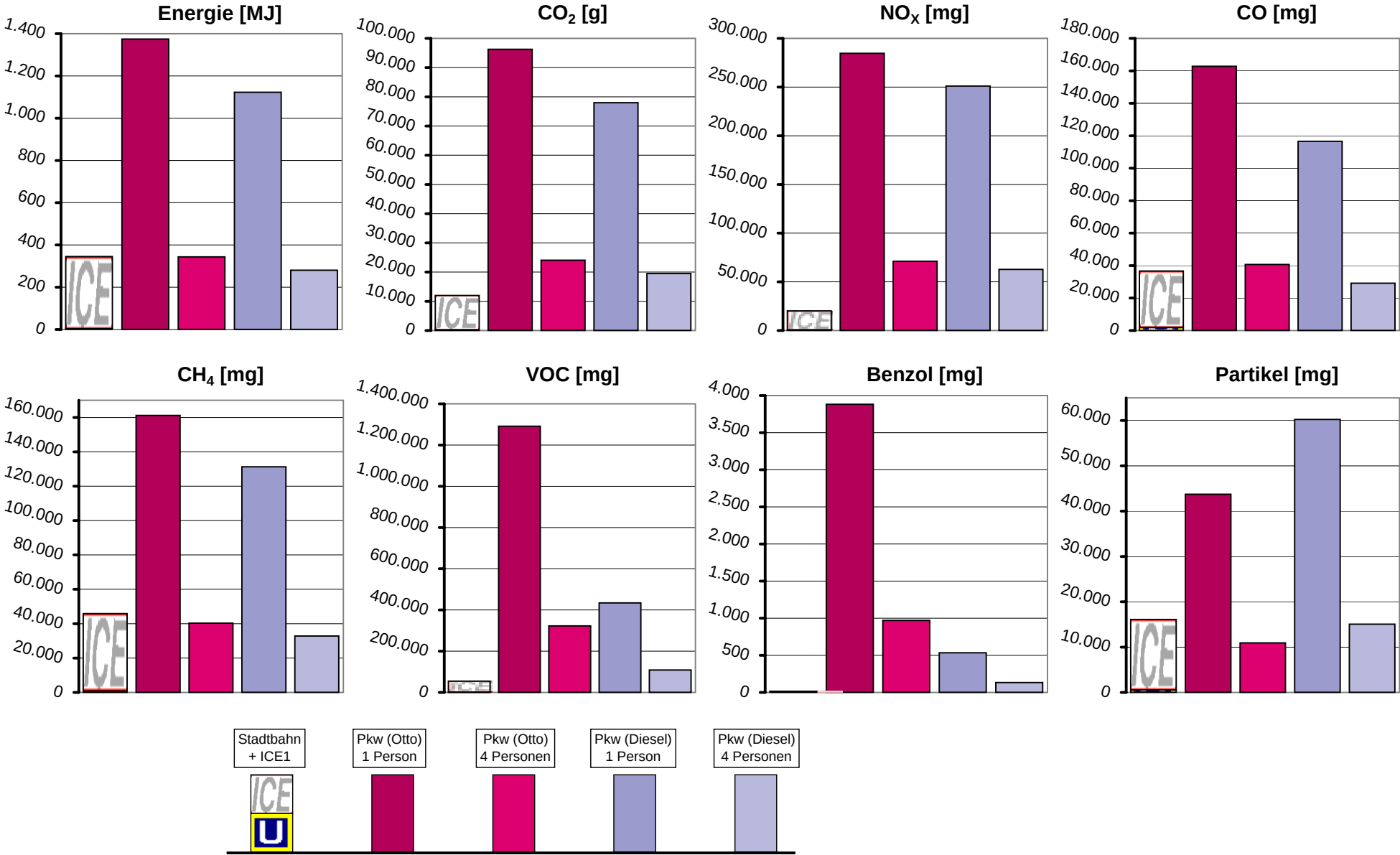
[zur Tabelle](#)



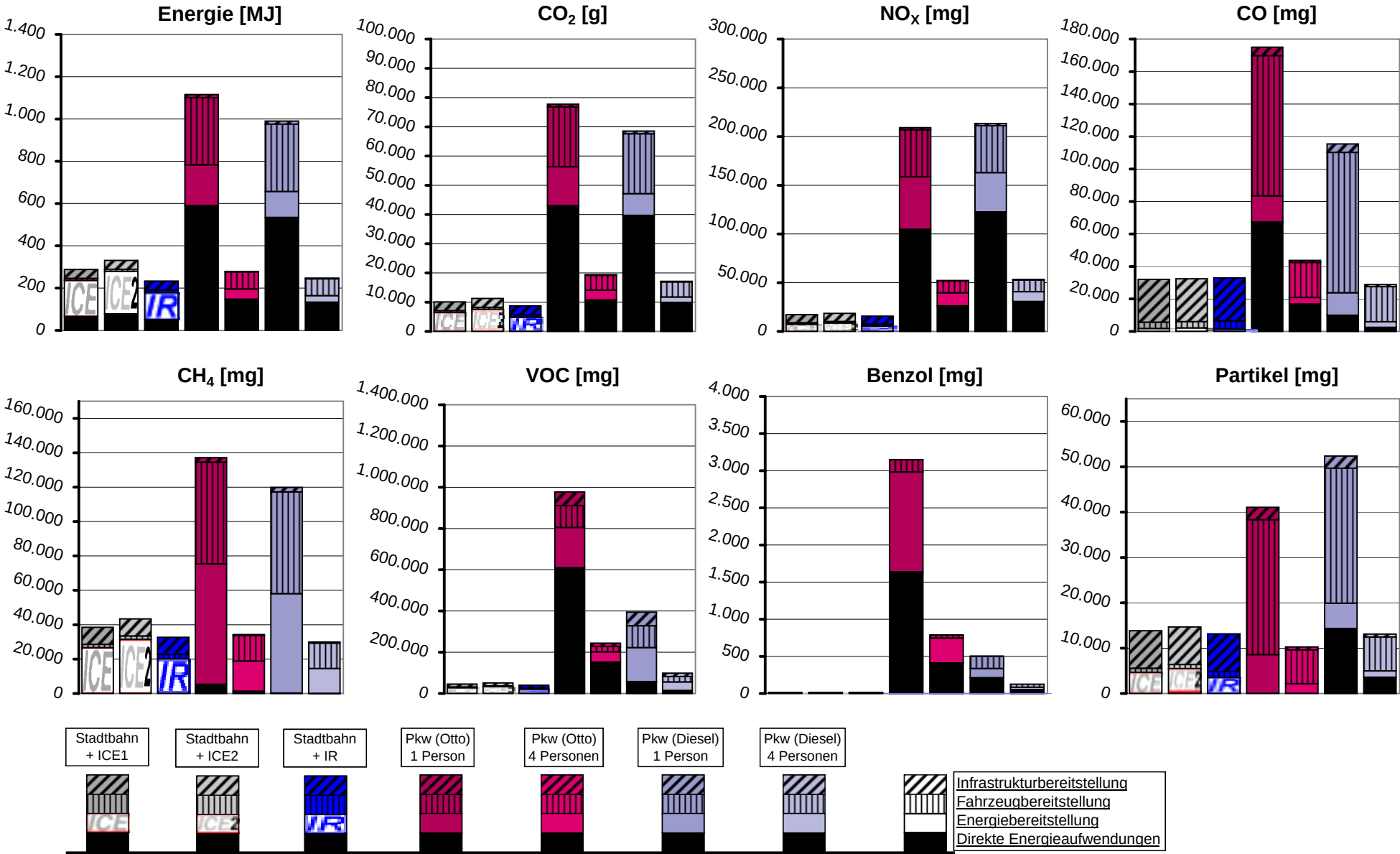
zur Tabelle



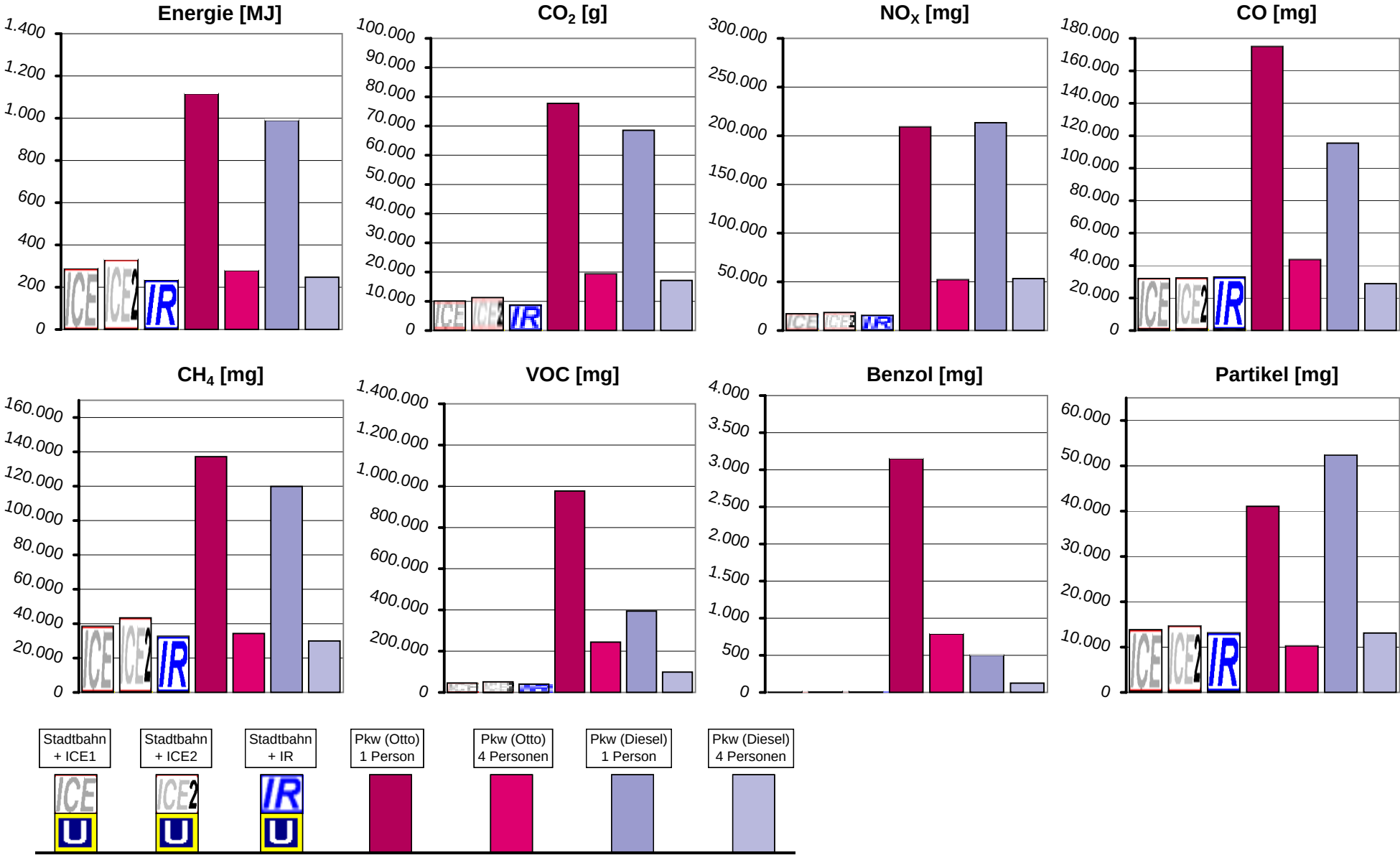
zur Tabelle



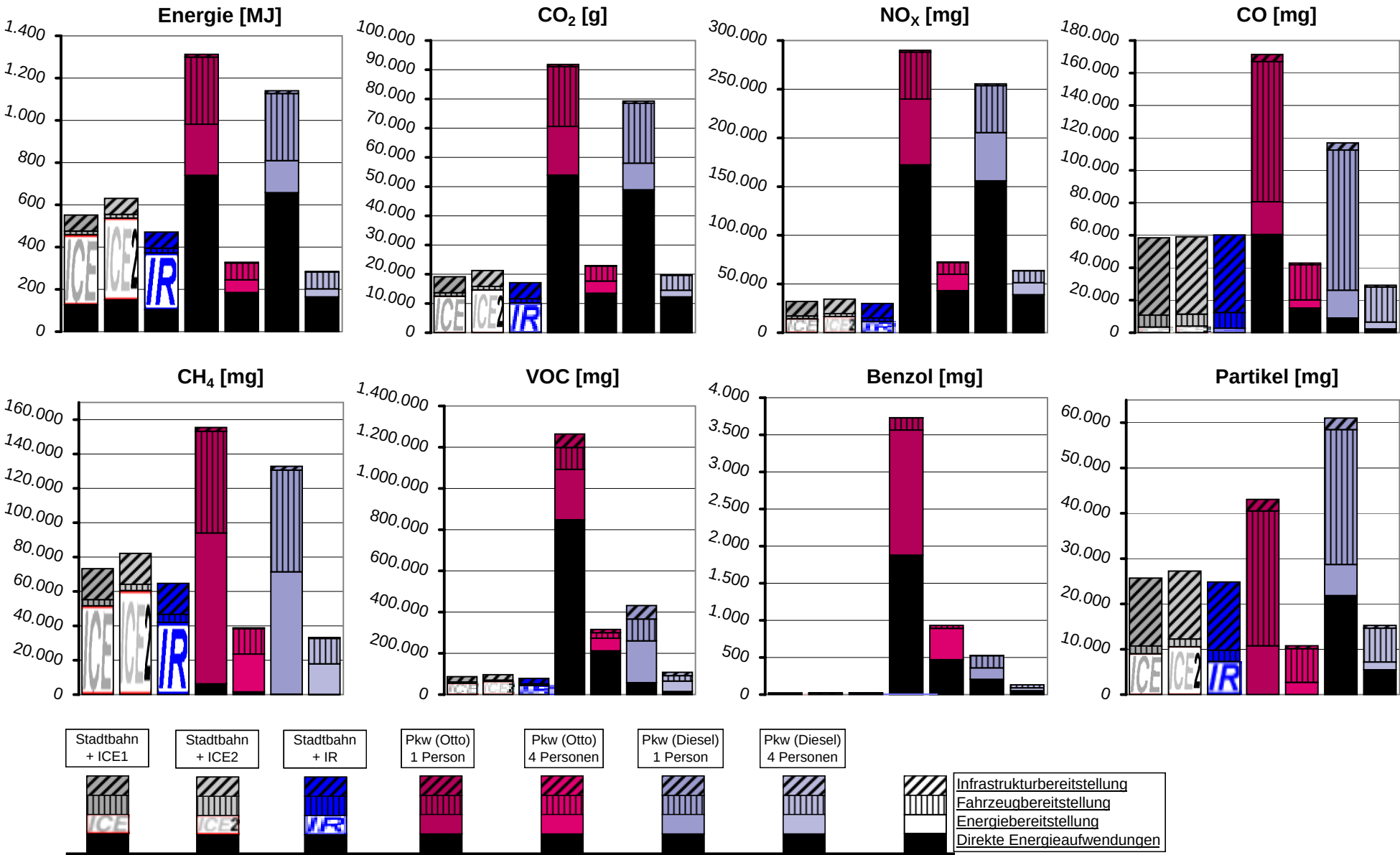
zur Tabelle



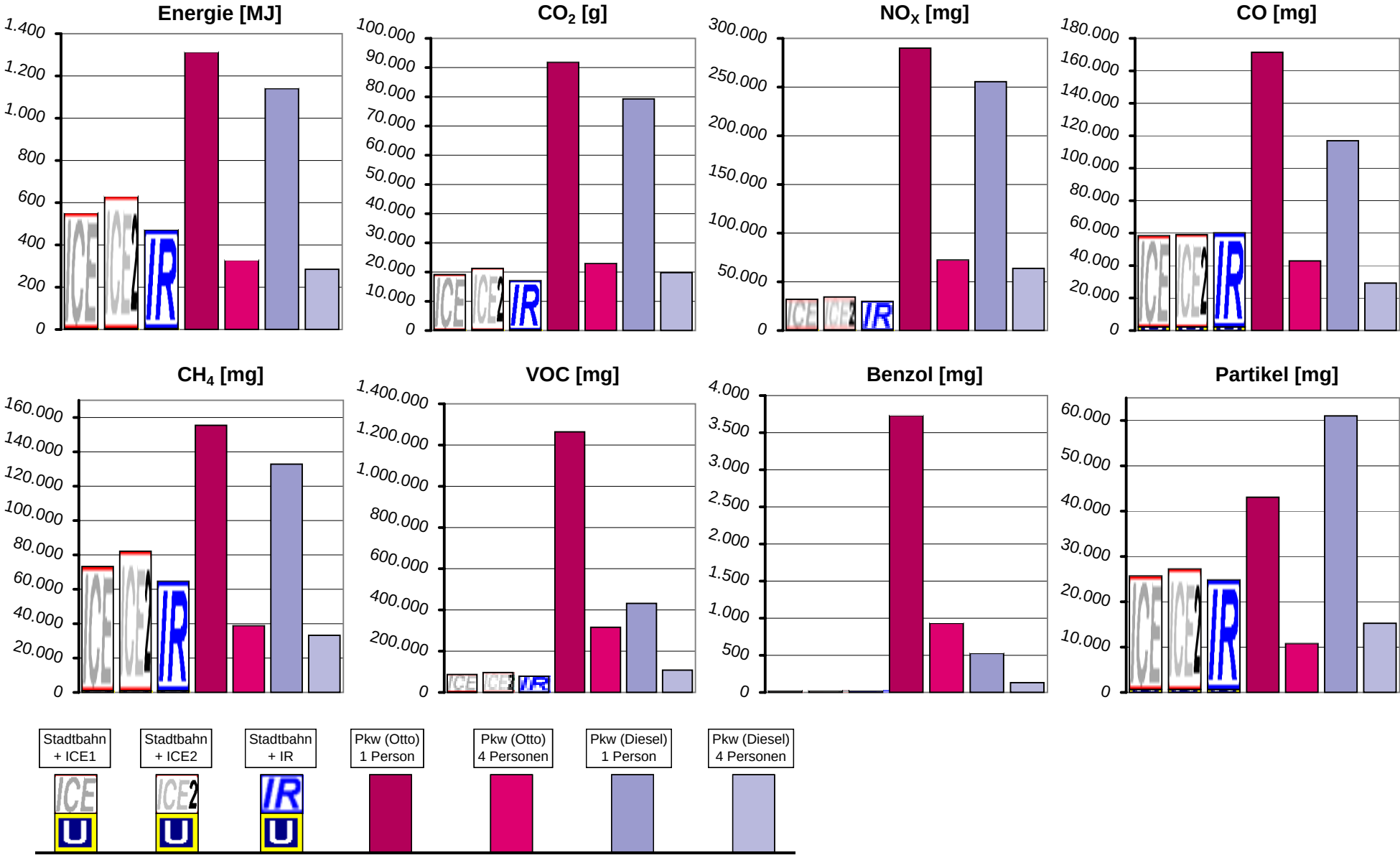
zur Tabelle



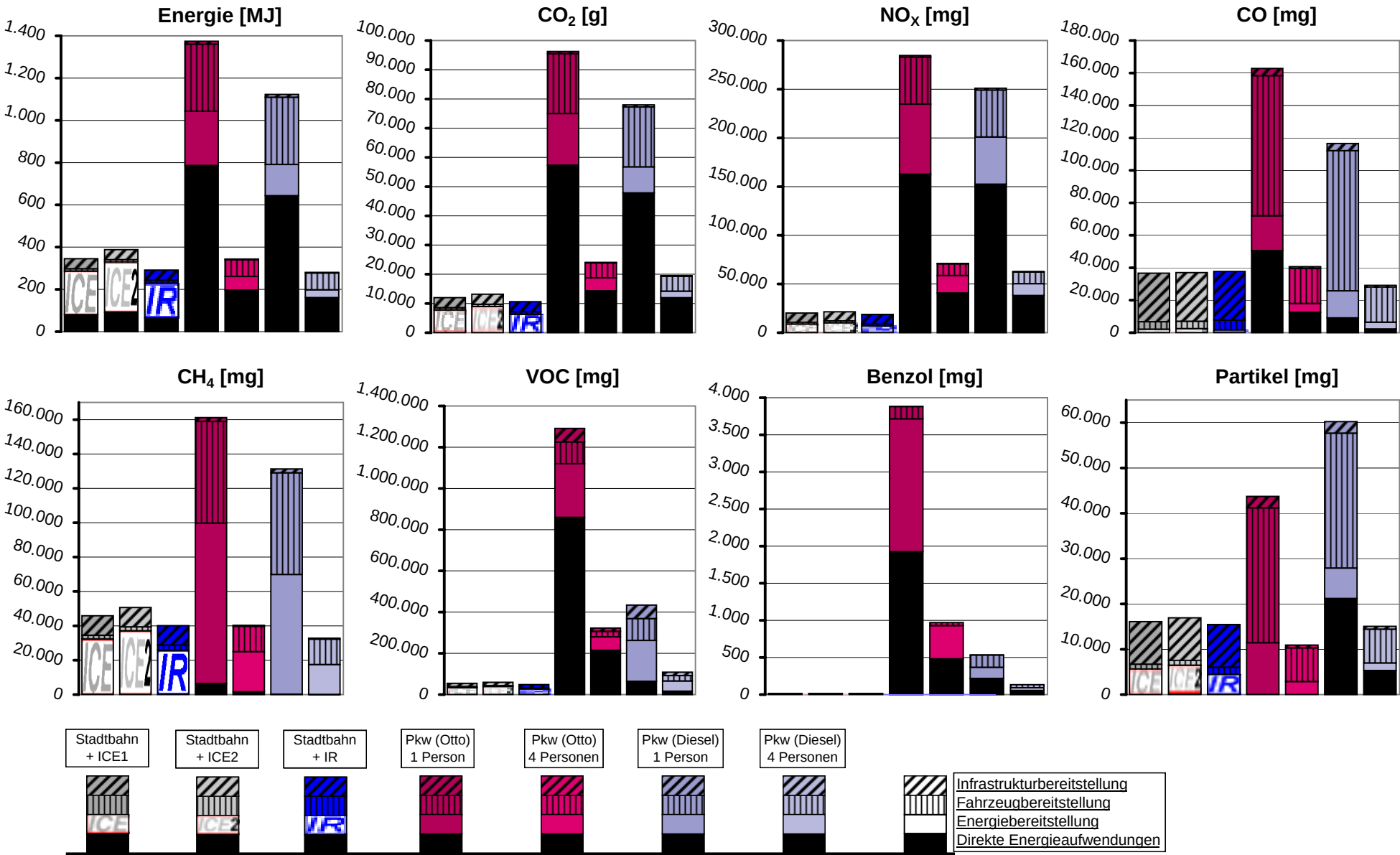
zur Tabelle



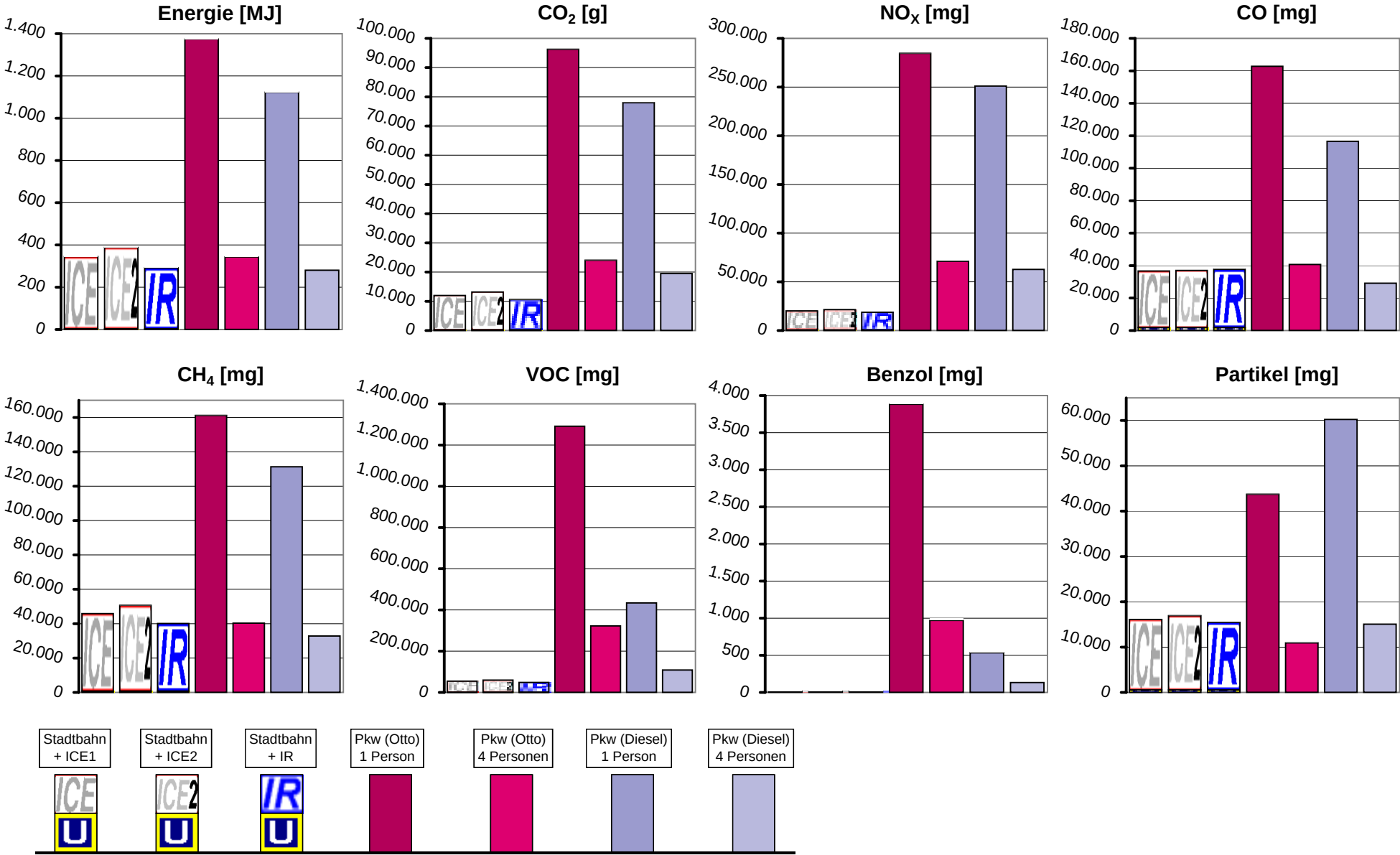
zur Tabelle



zur Tabelle



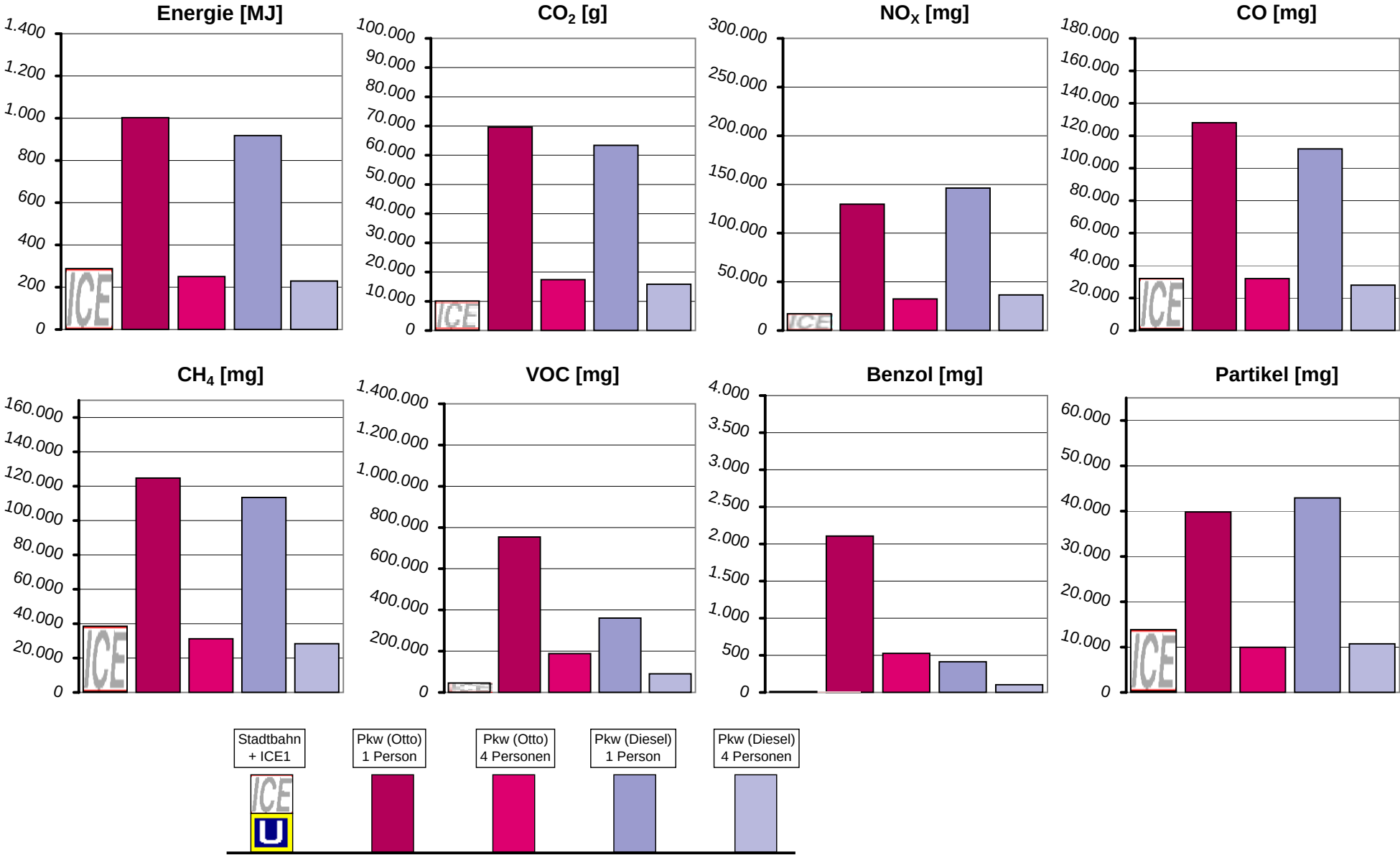
[zur Tabelle](#)



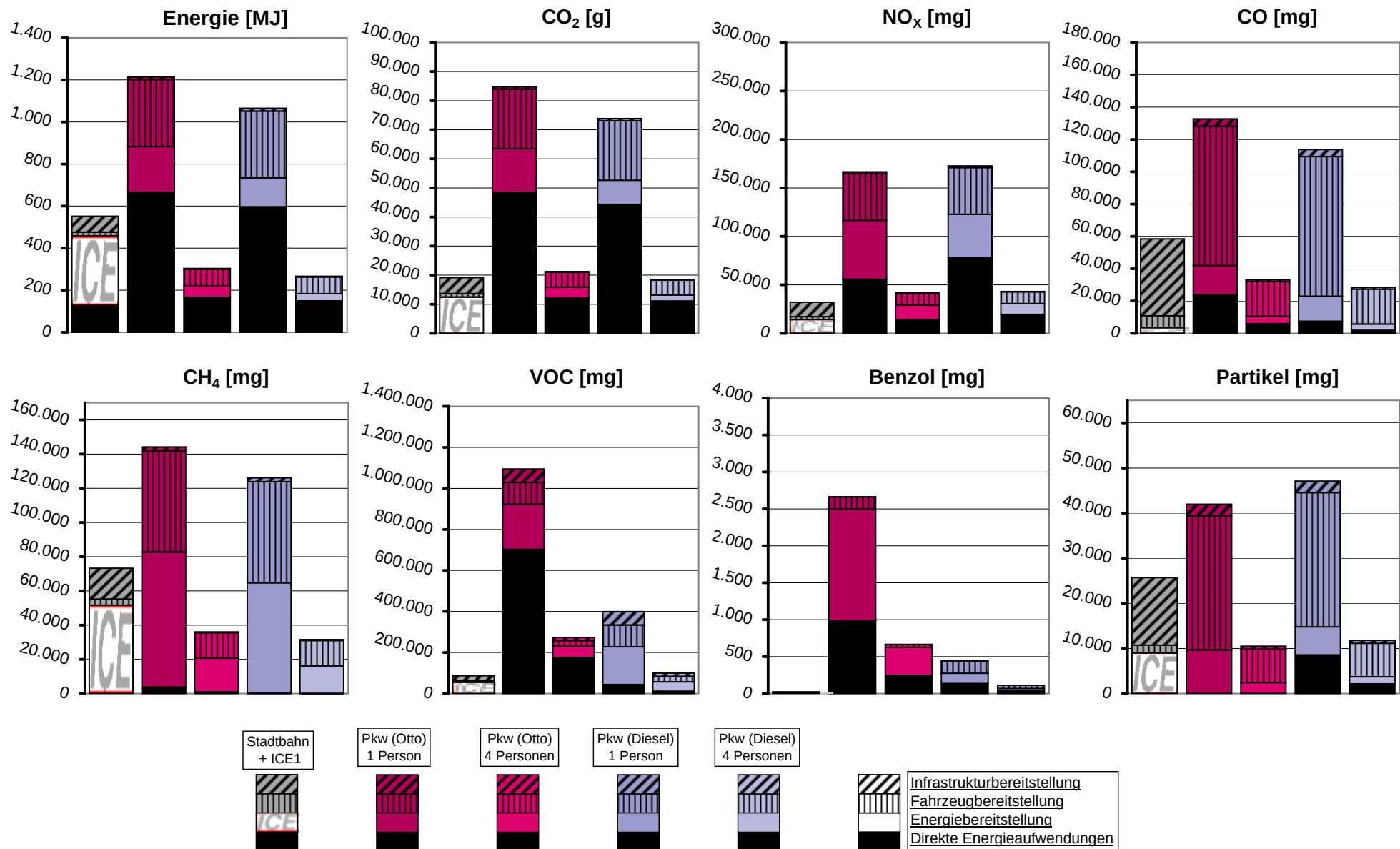
The figure consists of eight stacked bar charts arranged in a 2x4 grid, showing environmental impacts for five transport modes. The impacts are measured in MJ, g, or mg. The transport modes are: Stadtbahn + ICE1, Pkw (Otto) 1 Person, Pkw (Otto) 4 Personen, Pkw (Diesel) 1 Person, and Pkw (Diesel) 4 Personen. The legend indicates four categories: Infrastrukturbereitstellung (hatched), Fahrzeugbereitstellung (white), Energiebereitstellung (blue), and Direkte Energieaufwendungen (black).

Transport Mode	Energie [MJ]	CO ₂ [g]	NO _x [mg]	CO [mg]	CH ₄ [mg]	VOC [mg]	Benzol [mg]	Partikel [mg]
Stadtbahn + ICE1	~250	~8,000	~10,000	~25,000	~35,000	~20,000	~1,000	~12,000
Pkw (Otto) 1 Person	~980	~68,000	~120,000	~125,000	~120,000	~700,000	~2,000	~38,000
Pkw (Otto) 4 Personen	~220	~15,000	~25,000	~28,000	~25,000	~150,000	~400	~8,000
Pkw (Diesel) 1 Person	~900	~62,000	~140,000	~105,000	~110,000	~320,000	~350	~41,000
Pkw (Diesel) 4 Personen	~200	~12,000	~28,000	~22,000	~22,000	~50,000	~100	~9,000

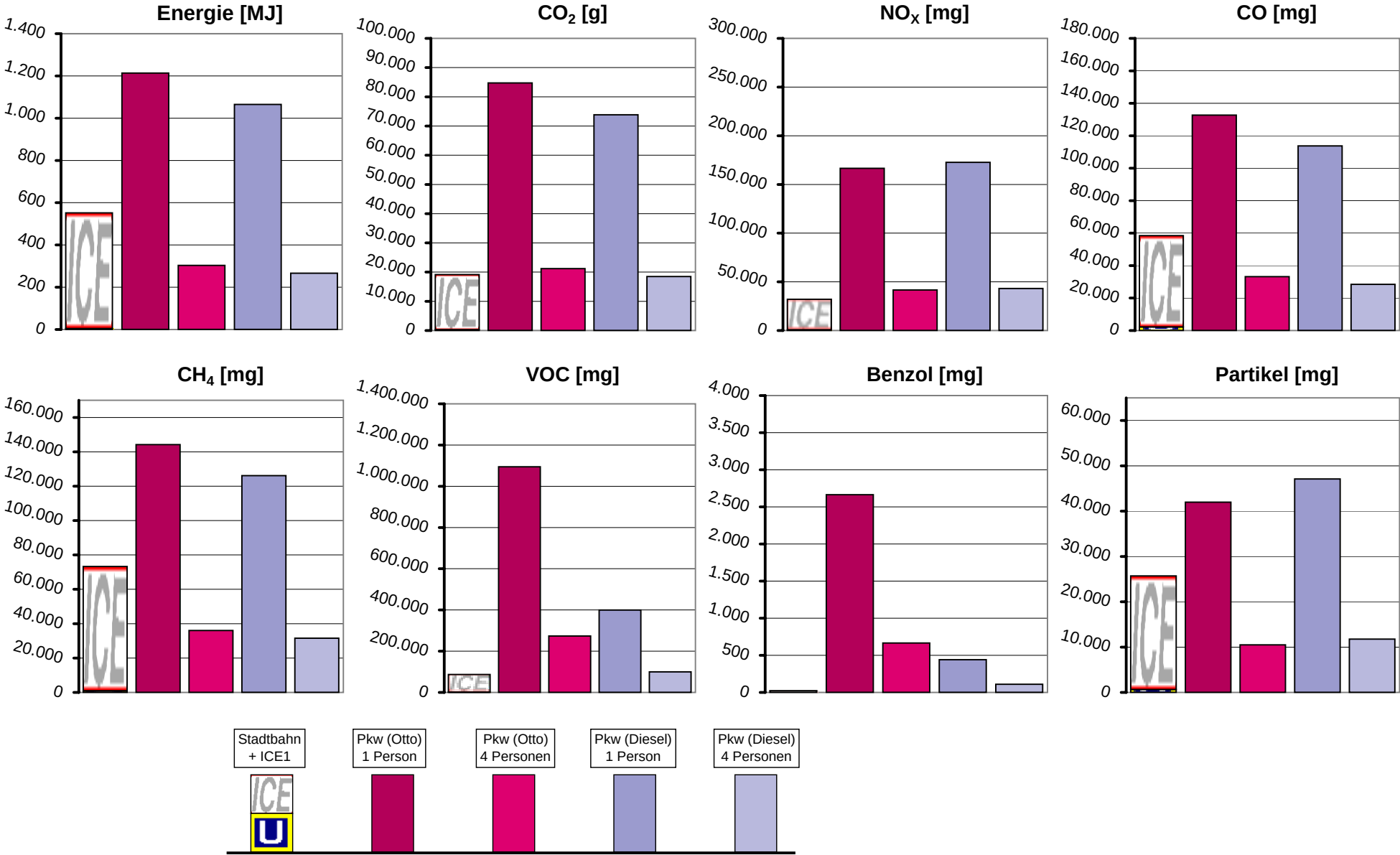
zur Tabelle



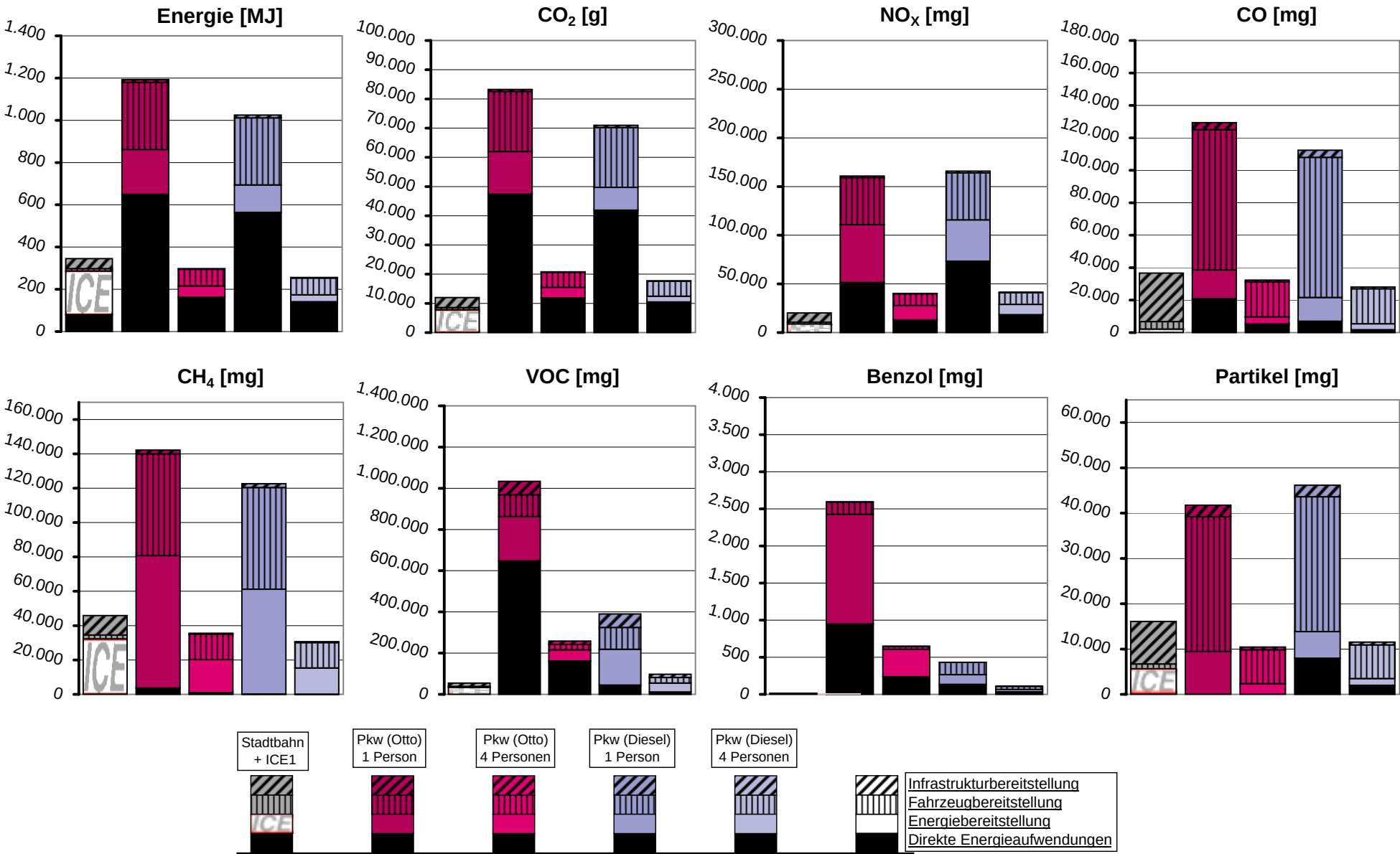
[zur Tabelle](#)



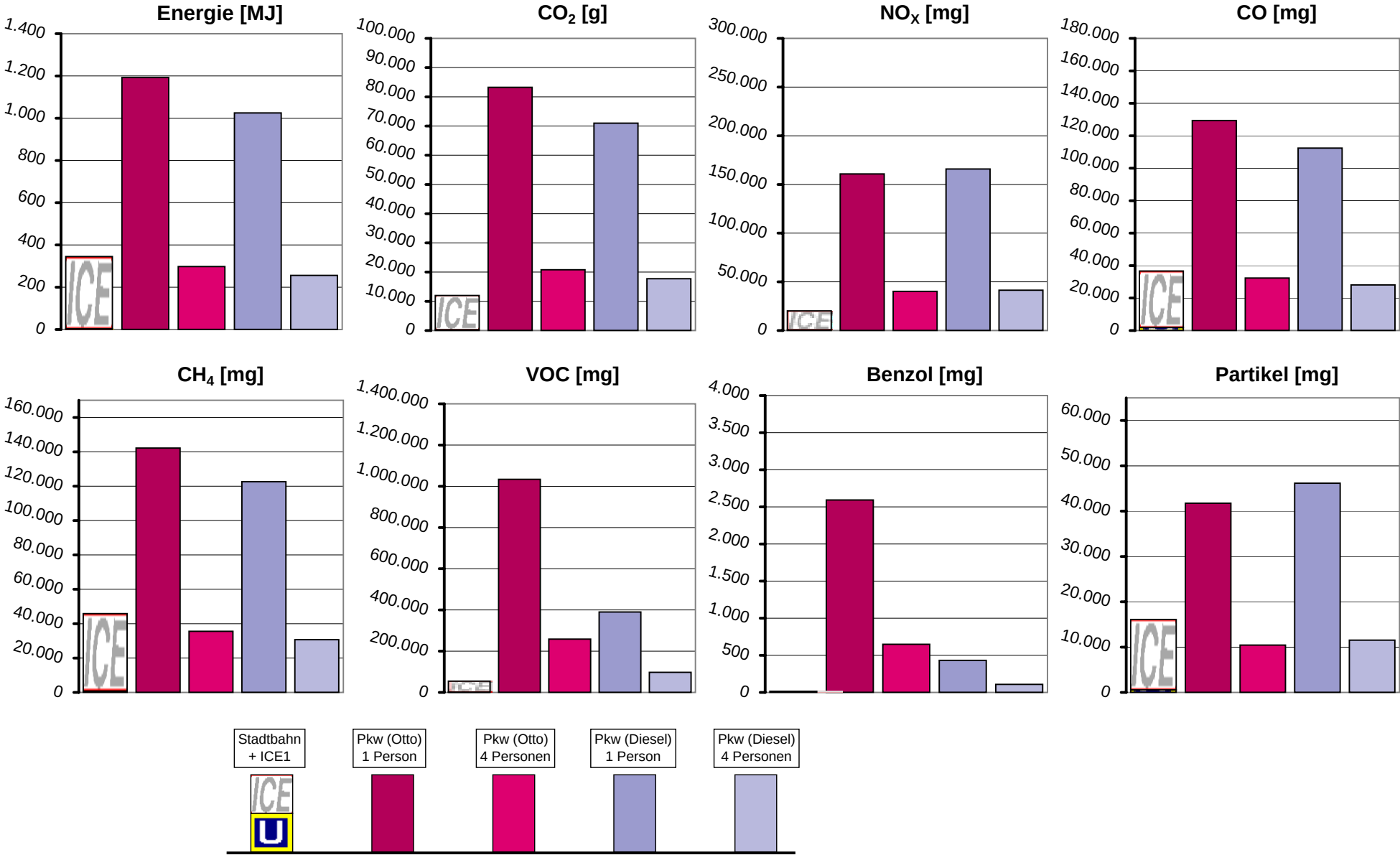
[zur Tabelle](#)



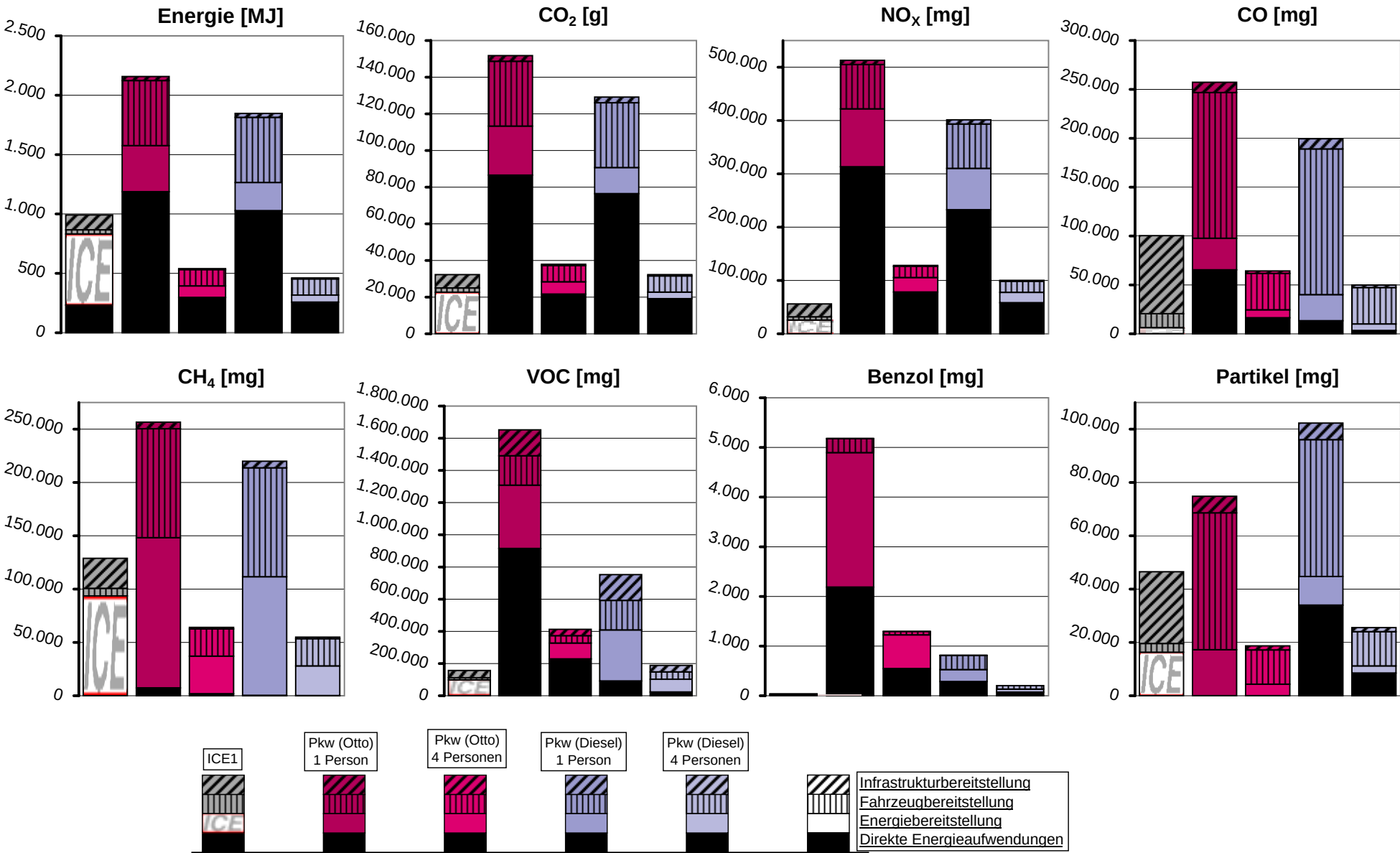
zur Tabelle



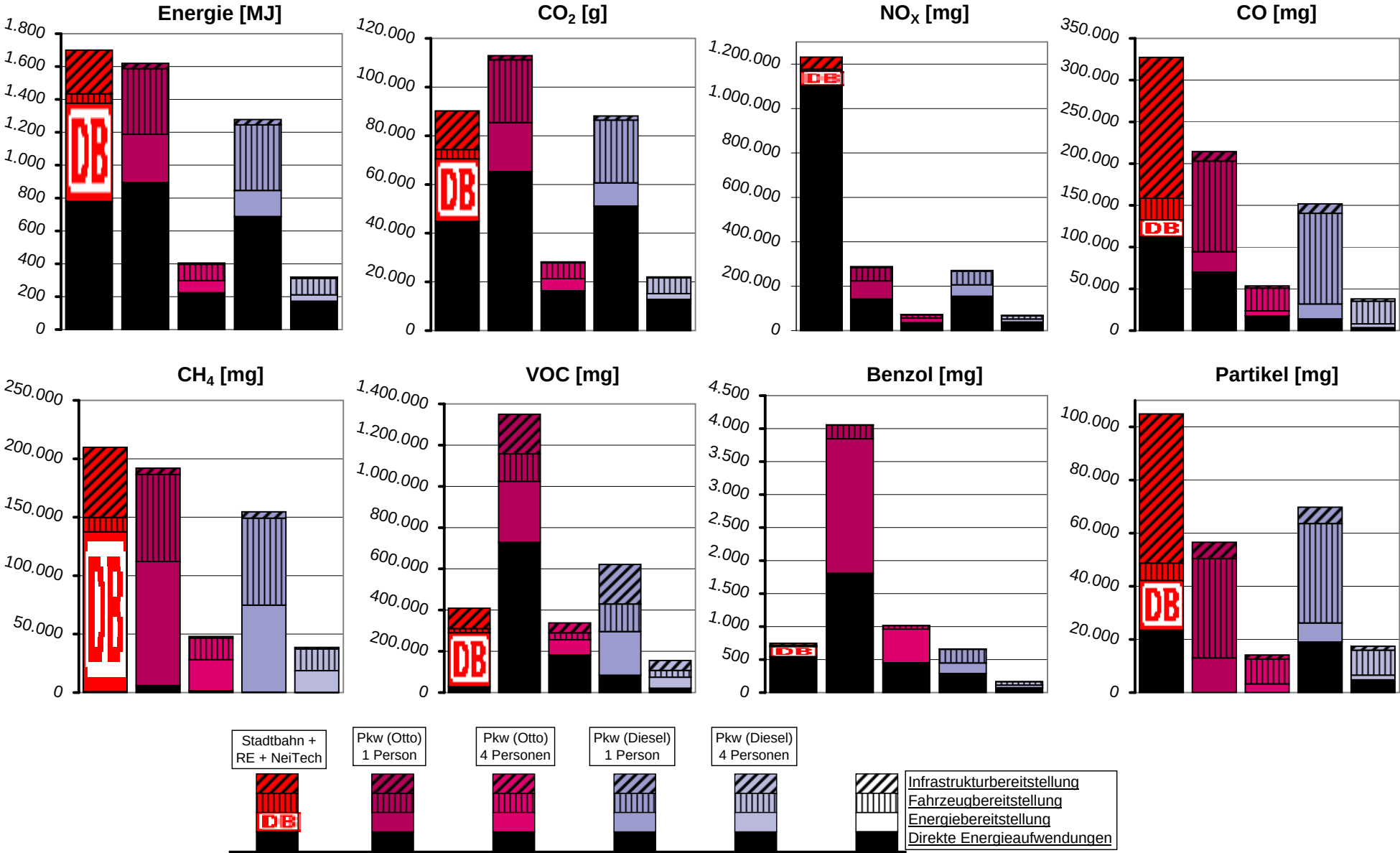
zur Tabelle



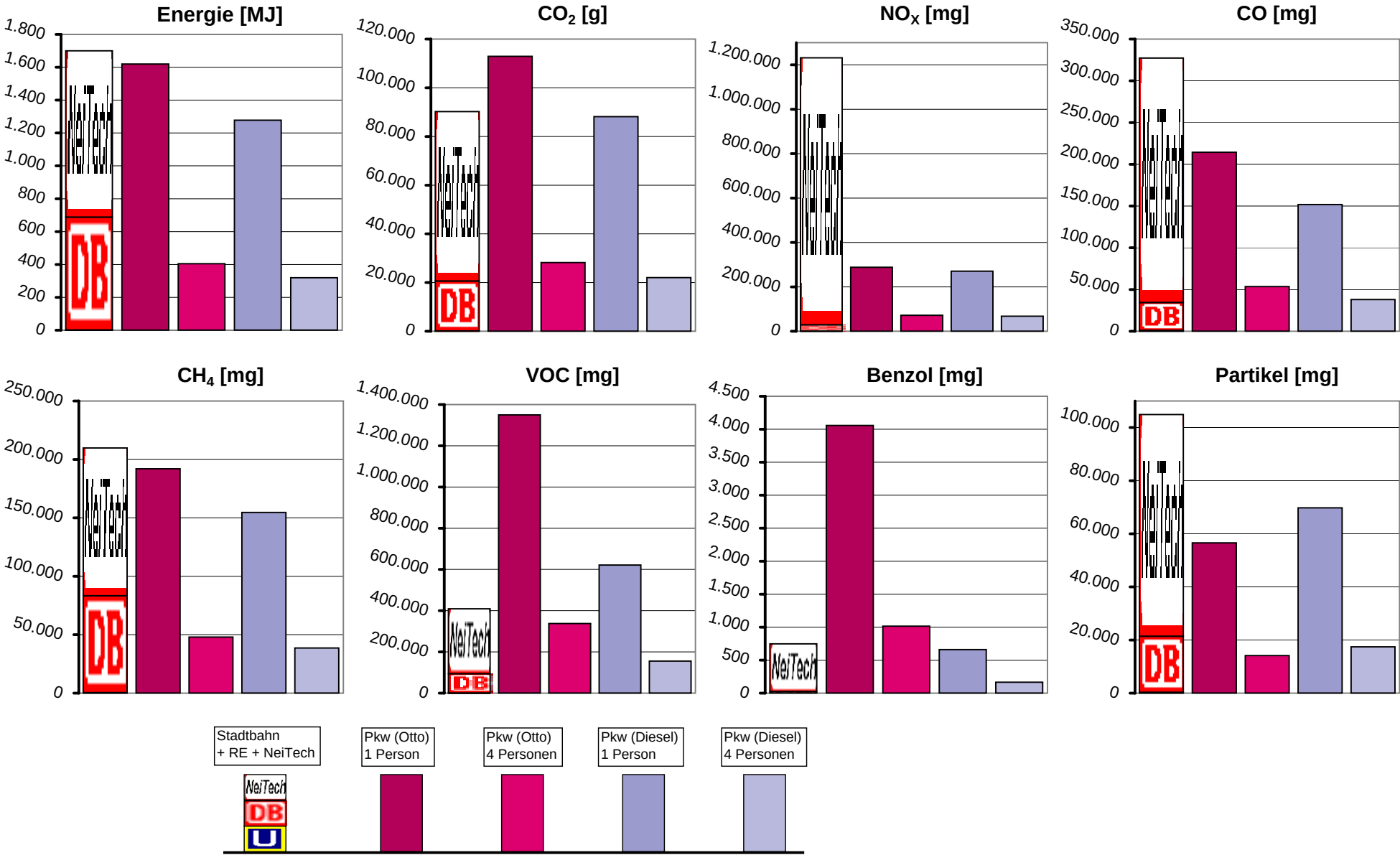
zur Tabelle



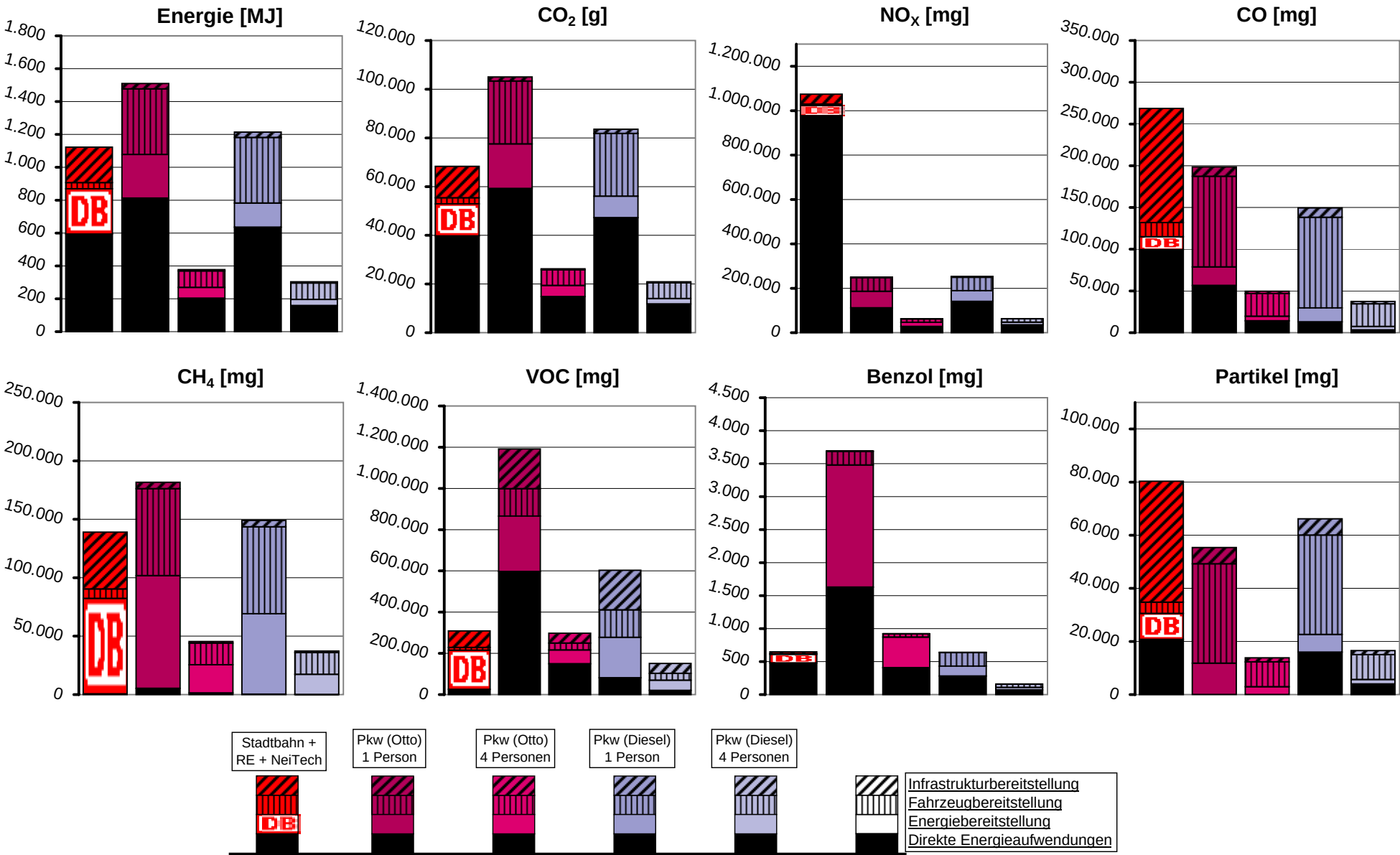
zur Tabelle



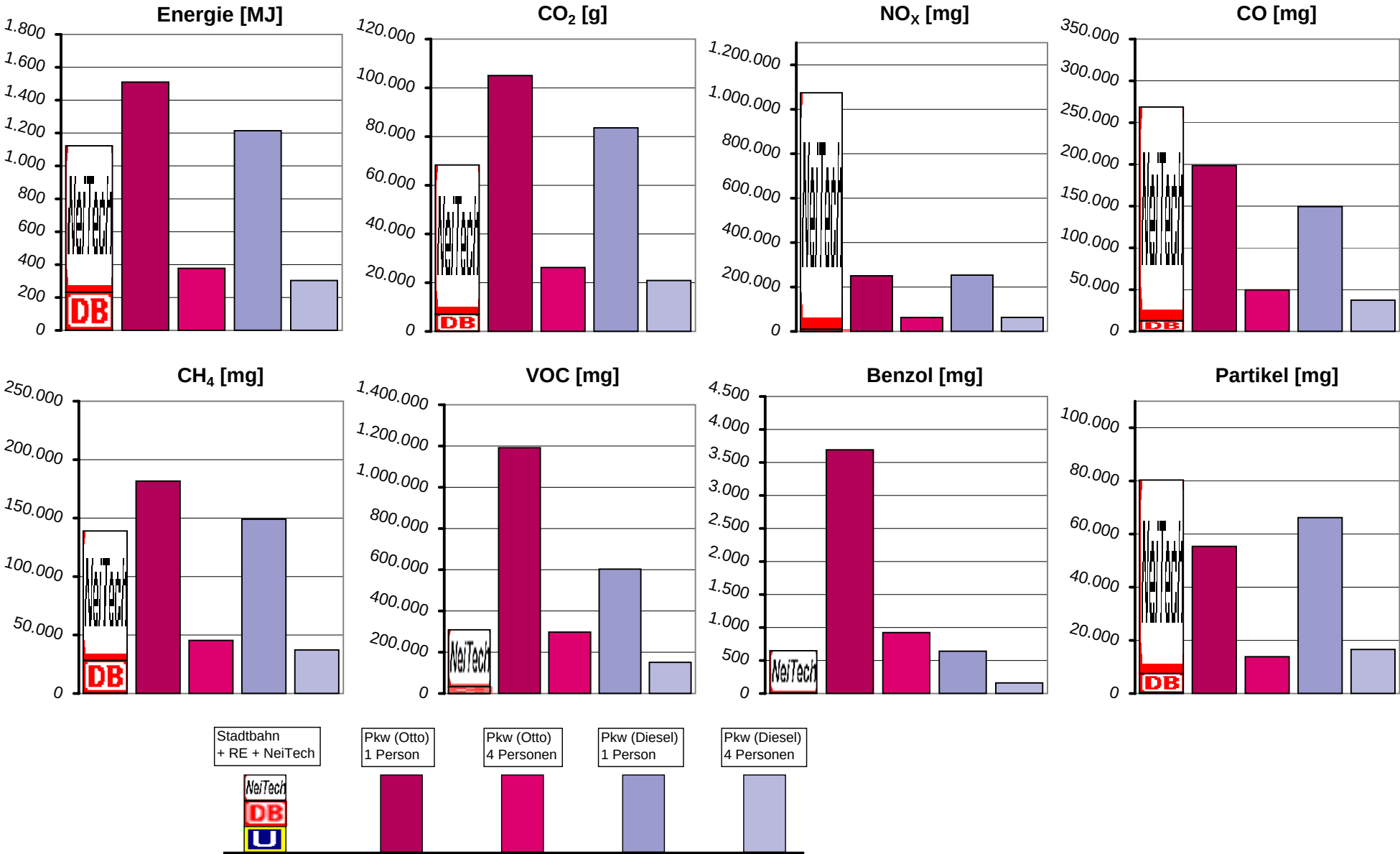
zur Tabelle



zur Tabelle



zur Tabelle



zurück zum ersten Diagramm der Relation

Relation 01		Wegelänge [km]	Energieaufwendungen [MJ]										CO ₂ [g]					NO _x [mg]					CO [mg]					CH ₄ [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					kollektivdosis [PersSV]					
Möhrenen - Berliner Platz	Hin+Rück		antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					Σ GE-SAMT						antriebsbedingt Energiebereitstellung				
			antriebsbed.		Energ. bereit.		Σ antriebsbed.		Fahrzeuge		Infrastruktur		Σ GE-SAMT		antriebsbed.		Energ. bereit.		Σ antriebsbed.		Fahrzeuge		Infrastruktur		Σ GE-SAMT		antriebsbed.		Energ. bereit.		Σ antriebsbed.		Fahrzeuge		Infrastruktur		Σ GE-SAMT																
			antriebsbed.	direkt	Energ. bereit.	Σ antriebsbed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	antriebsbed.	direkt	Energ. bereit.	Σ antriebsbed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	antriebsbed.	direkt	Energ. bereit.	Σ antriebsbed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	antriebsbed.	direkt	Energ. bereit.	Σ antriebsbed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	antriebsbed.	direkt	Energ. bereit.	Σ antriebsbed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT																
B+A	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	16	0,0	2,7	8,0	10,7	0,6	2,0	13,3	0	55	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	687	1077	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0	49	49	82	295	425	3,40E+09
		21	0,0	3,2	9,3	12,4	0,6	2,0	15,0	0	64	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	687	1112	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0	56	56	82	295	433	3,95E+09
		Pkw 1P	2234,1	97,3	31,8	129,1	22,2	5,5	156,8	7093	2189	9293	1434	406	11123	8324	8902	12726	3373	930	21630	47086	2654	49740	6044	1909	57694	736	11550	12296	4141	1073	17499	80457	32223	12680	7418	7199	127267	357,8	221,8	579,6	31,5	0,7	591,8	0	1414	1414	2082	590	4086	0,00E+00	
		Pkw 2P	1117,0	48,6	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	955	28847	369	5775	6143	2070	536	8750	40228	16111	56340	2709	3999	63648	178,9	110,9	289,9	5,8	0,4	285,9	0	707	707	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	3708	2775	2967	5742	1124	310	7177	15695	885	16980	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	
E	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	16	0,0	2,7	8,0	10,7	0,6	2,0	13,3	0	55	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	687	1077	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0	49	49	82	295	425	3,40E+09
		21	0,0	3,2	9,3	12,4	0,6	2,0	15,0	0	64	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	687	1112	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0	56	56	82	295	433	3,95E+09
		Pkw 1P	2234,1	97,3	31,8	129,1	22,2	5,5	156,8	7093	2189	9293	1434	406	11123	8324	8902	12726	3373	930	21630	47086	2654	49740	6044	1909	57694	736	11550	12296	4141	1073	17499	80457	32223	12680	7418	7199	127267	357,8	221,8	579,6	31,5	0,7	591,8	0	1414	1414	2082	590	4086	0,00E+00	
		Pkw 2P	1117,0	48,6	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	955	28847	369	5775	6143	2070	536	8750	40228	16111	56340	2709	3999	63648	178,9	110,9	289,9	5,8	0,4	285,9	0	707	707	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	3708	2775	2967	5742	1124	310	7177	15695	885	16980	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	
L	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	16	0,0	2,7	8,0	10,7	0,6	2,0	13,3	0	55	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	687	1077	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0	49	49	82	295	425	3,40E+09
		21	0,0	3,2	9,3	12,4	0,6	2,0	15,0	0	64	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	687	1112	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0	56	56	82	295	433	3,95E+09
		Pkw 1P	2234,1	97,3	31,8	129,1	22,2	5,5	156,8	7093	2189	9293	1434	406	11123	8324	8902	12726	3373	930	21630	47086	2654	49740	6044	1909	57694	736	11550	12296	4141	1073	17499	80457	32223	12680	7418	7199	127267	357,8	221,8	579,6	31,5	0,7	591,8	0	1414	1414	2082	590	4086	0,00E+00	
		Pkw 2P	1117,0	48,6	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	955	28847	369	5775	6143	2070	536	8750	40228	16111	56340	2709	3999	63648	178,9	110,9	289,9	5,8	0,4	285,9	0	707	707	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	3708	2775	2967	5742	1124	310	7177	15695	885	16980	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	
E	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	16	0,0	2,7	8,0	10,7	0,6	2,0	13,3	0	55	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	687	1077	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0	49	49	82	295	425	3,40E+09
		21	0,0	3,2	9,3	12,4	0,6	2,0	15,0	0	64	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	687	1112	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0	56	56	82	295	433	3,95E+09
		Pkw 1P	2234,1	97,3	31,8	129,1	22,2	5,5	156,8	7093	2189	9293	1434	406	11123	8324	8902	12726	3373	930	21630	47086	2654	49740	6044	1909	57694	736	11550	12296	4141	1073	17499	80457	32223	12680	7418	7199	127267	357,8	221,8	579,6	31,5	0,7	591,8	0	1414	1414	2082	590	4086	0,00E+00	
		Pkw 2P	1117,0	48,6	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	955	28847	369	5775	6143	2070	536	8750	40228	16111	56340	2709	3999	63648	178,9	110,9	289,9	5,8	0,4	285,9	0	707	707	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	3708	2775	2967	5742	1124	310	7177	15695	885	16980	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	
L	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	16	0,0	2,7	8,0	10,7	0,6	2,0	13,3	0	55	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	687	1077	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0	49	49	82	295	425	3,40E+09
		21	0,0	3,2	9,3	12,4	0,6	2,0	15,0	0	64	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	687	1112	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0	56	56	82	295	433	3,95E+09
		Pkw 1P	2234,1	97,3	31,8	129,1	22,2	5,5	156,8	7093	2189	9293	1434	406	11123	8324	8902	12726	3373	930	21630	47086	2654	49740	6044	1909	57694	736	11550	12296	4141	1073	17499	80457	32223	12680	7418	7199	127267	357,8	221,8	579,6	31,5	0,7	591,8	0	1414	1414	2082	590	4086	0,00E+00	
		Pkw 2P	1117,0	48,6	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	955	28847	369	5775	6143	2070	536	8750	40228	16111	56340	2709	3999	63648	178,9	110,9	289,9	5,8	0,4	285,9	0	707	707	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	3708	2775	2967	5742	1124	310	7177	15695	885	16980	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	
E	Stadtbahn inkl. Gegenrichtung	16	0,0	2,7	8,0	10,7	0,6	2,0	13,3	0	55	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	687														

zurück zum ersten Diagramm der Relation

Möhrenen - NRW+Hück Hück-Rück		Wege- länge [km]	Energieaufwendungen [MJ]										CO ₂ [g]					NO _x [mg]					CO [mg]					CH ₄ [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					kollektivdosis [PersSV]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
			antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
			antriebs- bedingt	Energie- bereitstellung	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	Energie- bereitstellung	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	Energie- bereitstellung	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	Energie- bereitstellung	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt		antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt	antriebs- bedingt

Relation 01	Möhrling - Brenner Platz	Wege- tanz- Intensität	Energieaufwendungen [MJ]										CO ₂ [g]					NO _x [mg]					CO [mg]					CH ₄ [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					kollektivdos. [PersVs]			
			antriebsbedingte					nicht antriebsbedingte					E-G-SAMT	antriebsbedingte					nicht antriebsbedingte					E-G-SAMT	antriebsbedingte					nicht antriebsbedingte					E-G-SAMT	antriebsbedingte					nicht antriebsbedingte					E-G-SAMT					
			kann- mit direkt	Energie- bedarf	E-an- trieb	Fahr- zeug	Intensität auktur	kann- mit direkt	Energie- bedarf	E-an- trieb	Fahr- zeug	Intensität auktur		kann- mit direkt	Energie- bedarf	E-an- trieb	Fahr- zeug	Intensität auktur	kann- mit direkt	Energie- bedarf	E-an- trieb	Fahr- zeug	Intensität auktur		kann- mit direkt	Energie- bedarf	E-an- trieb	Fahr- zeug	Intensität auktur	kann- mit direkt	Energie- bedarf	E-an- trieb	Fahr- zeug	Intensität auktur		kann- mit direkt	Energie- bedarf	E-an- trieb	Fahr- zeug	Intensität auktur	kann- mit direkt	Energie- bedarf	E-an- trieb	Fahr- zeug	Intensität auktur						
																																															antriebsbedingte		nicht antriebsbedingte	E-G-SAMT	antriebsbedingte
B-A	Station unfahrbereit	Station	0,0	2,7	8,0	10,7	0,6	2,0	13,3	0	55	55	37	161	253	0	88	88	76	428	591	0	34	34	321	1029	1383	0	189	189	134	444	787	0	211	211	179	887	1077	0,0	0,1	0,1	0,3	0,5	0	49	49	82	295	426	3.405,00
		Station	0,0	3,2	9,3	12,4	0,6	2,0	15,0	0	64	64	37	161	262	0	102	102	76	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	0,3	0,5	0	56	56	82	295	433	3.956,00
		Platz P1	13850	60,5	18,7	80,0	22,2	5,7	103,7	13850	937	13850	5139	7102	3373	930	11406	10278	1686	11925	6044	1090	10879	215	7100	3373	4141	1073	12589	22427	19978	42403	7418	7199	57020	95,5	137,5	233,0	11,5	0,7	245,2	0	876	876	2082	590	3545	0,006,00			
		Platz P2	690,5	30,2	9,9	40,0	11,1	2,7	53,9	690,5	2199	690,5	2199	707	2877	7102	3373	930	11406	10278	1686	11925	6044	1090	10879	215	7100	3373	4141	1073	12589	22427	19978	42403	7418	7199	57020	95,5	137,5	233,0	11,5	0,7	245,2	0	876	876	2082	590	3545	0,006,00	
		Platz P3	13850	60,5	18,7	80,0	22,2	5,7	103,7	13850	937	13850	5139	7102	3373	930	11406	10278	1686	11925	6044	1090	10879	215	7100	3373	4141	1073	12589	22427	19978	42403	7418	7199	57020	95,5	137,5	233,0	11,5	0,7	245,2	0	876	876	2082	590	3545	0,006,00			
	Station unfahrbereit	Station	0,0	2,7	8,0	10,7	0,6	2,0	13,3	0	55	55	37	161	253	0	88	88	76	428	591	0	34	34	321	1029	1383	0	189	189	134	444	787	0	211	211	179	887	1077	0,0	0,1	0,1	0,3	0,5	0	49					

zurück zum ersten Diagramm der Relation

Relation 02		S-West - Möhringen-Freiburg		Wege- länge [km]	Energieaufwendungen [MJ]										CO ₂ [g]					NO _x [mg]					CO [mg]					CH ₄ [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					Kollektivdosis [PersSV]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
					zus.-auf- fß	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G E-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G E-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G E-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G E-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G E-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G E-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G E-SAMT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
					Stadtbahn Gegengerichtung	Stadtbahn	21	0,0	14,3	41,4	55,7	11,7	3,0	70,4	0	286	286	729	203	1217	0	459	459	2186	408	3053	0	176	176	5649	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	1,76874E-08																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
S	Stadtbahn Gegengerichtung	Stadtbahn	21	0,0	10,4	30,3	40,7	11,7	3,0	55,4	0	209	209	729	203	1140	0	335	335	2186	408	2930	0	129	129	6649	1748	7526	0	721	721	2301	730	3751	0	805	805	3962	975	6742	0,0	0,4	0,4	1,8	0,5	2,7	0	185	185	1798	448	2431	1,2927E-08																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
				1562,7	66,0	22,2	90,3	23,0	3,1	116,4	4962	1531	6493	1493	3	7978	6168	6227	14395	3488	281	18164	46131	1857	47988	6250	598	54936	522	8079	8601	4261	448	13330	35745	22539	78284	7670	6296	52191	297,4	156,1	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	3990	4084	3113	7197	1744	141	9082	23666	928	23994	3125	299	27418	261	4039	4390	2141	224	6665	27873	11269	39142	3835	3118	46096	148,7	77,6	226,3	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	2076	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	464	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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	Stadtbahn Gegengerichtung	Stadtbahn	22	1146,3	49,0	11,3	60,2	23,0	3,1	86,3	3640	679	4319	1483	3	5805	10610	8696	14307	3488	281	18076	2932	1274	4206	6250	598	11054	89	5301	5340	4261	448	10069	13151	15115	26265	7670	6236	42172	76,8	11,5	90,2	11,9	0,3	102,4	1493	512	2005	2153	348	4596	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
				573,2	26,5	5,6	30,1	11,5	1,6	43,2	1820	340	2159	741	2	2902	3305	1848	7153	1744	141	8038	1466	637	2103	3125	298	3527	18	2650	2670	2141	224	5035	6976	7557	14133	3835	3118	21086	39,4	5,7	45,1	6,0	0,2	51,2	746	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	4789	1163	94	6025	977	425	1402	2083	199	3685	13	1767	1780	1427	149	3356	4384	5036	9422	2557	2079	14057	26,3	9,8	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	2653	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 Leitungen - Hauptbahnhof		Wege- länge [km]	Energieaufwendungen [MJ]										CO ₂ [g]					NO _x [mg]					CO [mg]					CH ₄ [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					Kollektivdosis [Pers/SV]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
			antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
			Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P		Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P	Pkw 4P	Stadtbahn	S-Bahn	S-Bahn (ET423)	S-Bahn (ET423) inkl. Gegenrichtung	Pkw 1P	Pkw 2P	Pkw 3P

Leitend			Liniennetz			Hauptbahnhof			mit			Wege- länge [km]			Energieaufwendungen [MJ]					CO ₂ [g]					NO _x [mg]					CO [mg]					CH ₄ [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					Kollektivdos [PersSv]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
															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					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					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					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					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					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					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					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					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					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					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					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					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					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					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					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					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					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					antriebsbedingt				

zurück zum ersten Diagramm der Relation

[illegible]

Relation 07

Schüler - RV-Zentrum

Hin+Rück

Wege- länge [km]	Anzahl Fahrer [Personen]	Energieaufwendungen [MJ]										CO ₂ [g]					NO _x [mg]					CO [mg]					CH ₄ [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]									
		antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt				
		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	antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ GE-SAMT	antriebsbedingt		nicht antriebsbedingt		Σ GE-SAMT										
		konstant [g]	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.		Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge		Infrastruktur	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur		Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ antr.-bed.		Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge		Infrastruktur	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur		Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ antr.-bed.		Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge		Infrastruktur	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ antr.-bed.					
B+A	Bus	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
	Pkw 1P		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 2P		361,3	15,7	5,1	20,9	7,0	2,5	30,4	1147	354	1501	454	194	2149	2182	1440	3672	1068	462	5152	22586	429	23015	1913	1008	25936	154	1868	2022	1311	507	3839	13381	5211	18594	2348	8420	29362	118,4	35,9	154,2	3,6	0,4	158,3	0	229	229	659	341	1229
	Pkw 3P		240,9	10,5	3,4	13,9	4,7	1,7	20,3	765	236	1001	303	129	1433	1455	960	2415	712	308	3438	15057	286	15344	1275	672	17291	102	1245	1348	874	338	2559	8922	3474	12396	1465	5614	19575	78,9	23,9	102,8	2,4	0,3	105,5	0	152	152	439	228	818
	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	6691	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	13	499,1	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		249,5	10,7	2,5	13,1	7,0	2,5	22,7	792	148	940	454	194	1588	2022	805	2827	1068	462	4357	11164	277	1393	1433	1008	4314	11	1154	1165	1311	507	3839	4290	3290	754	2348	8420	18609	37,7	2,5	35,2	3,6	0,4	39,3	415	112	527	659	341	1527	
Pkw 3P		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	6691	2606	9297	1174	4210	14681	59,2	17,9	77,1	1,8	0,2	79,2	0	114	114	330	171	615	
Pkw 4P		124,8	5,1	1,2	6,6	3,5	1,2	11,3	396	74	470	227	97	924	1002	402	1413	534	231	2178	555	139	697	956	254	1157	582	655	254	1491	2125	1465	3770	1174	4210	154,6	12,1	17,6	1,5	0,2	19,6	208	565	230	171	764					
E	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	99	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	1068	212	4807	17032	401	17433	1913	515	19861	143	1744	1887	1311	269	3467	13058	4866	17922	2348	8079	28349	104,6	33,5	138,1	3,6	0,2	142,0	0	214	214	659	242	1114
	Pkw 3P		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	3206	11355	287	11622	1275	343	13241	95	1163	1258	874	179	2311	8704	3244	11948	1465	5386	18899	69,7	22,3	92,0	2,4	0,2	94,6	0	142	142	439	161	743
	Pkw 4P		168,7	7,3	2,4	9,7	3,5	0,8	14,0	536	165	701	227	45	973	1091	672	1763	534	106	2404	8516	200	8717	956	257	9931	71	872	943	655	135	1733	6528	2433	8961	1174	4040	14174	52,3	16,7	69,0	1,8	0,1	71,0	0	107	107	330	121	557
	Pkw 1P	13	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
F	Bus	13	230,0	10,2	2,4	12,6	7,0	1,6	21,2	759	142	900	454	91	1445	1872	771	2743	1068	212	4023	754	266	1019	1913	515	3447	9	1106	1114	1311	269	2694	4164	4161	7315	2348	8079	17742	31,3	2,4	33,7	3,6	0,2	37,5	384	107	491	659	242	1391
	Pkw 1P		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	2682	903	177	680	1275	343	2298	6	737	743	874	179	1796	2776	2101	4877	1365	5386	11828	20,8	1,6	22,4	2,4	0,2	25,0	256	71	327	439	161	928
	Pkw 2P		119,5	5,1	1,2	6,3	3,5	0,8	10,6	379	71	450	227	45	723	866	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
	Pkw 3P		92,8	4,5	1,1	5,6	3,0	0,7	8,3	324	57	381	182	34	545	688	265	1044	425	86	1755	304	104	1619	486	135	1854	4	514	518	616	127	1274	1982	1495	3116	1174	4040	8871	15,6	1,2	16,8	1,8	0,1	18,8	192	53	245	330	121	696
	Pkw 4P		70,8	3,8	0,9	4,7	2,7	0,5	6,2	251	40	291	142	27	368	465	196	861	351	66	1282	212	80	1199	382	102	1581	3	437	441	539	110	1100	1682	1206	2610	1174	4040	8871	15,6	1,2	16,8	1,8	0,1	18,8	192	53	245	330	121	696
	Pkw 1P	13	626,8	27,3	8,9	36,2	14,1	3,1	53,4	1990	334	2605	908	182	3964	4365	2498	6863	2135	425	9422	22598	745	21803	3826	1029	25858	264	3241	3504	2621	538	6564	24548	4021	17265	4696	16159	55684	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	26,1	995	307	1302	454	91	1847	2182	1249	3431	1068	212	4172	11479	372	11753	1913	515	12620	1752	1311	269	3232	1248	4021	17265	2348	8079	27592	90,1	31,1	122,0	3,6	0,2	125,9	0	198	198	659	242	1098			
Pkw 3P		205,9	9,1	3,0	12,1	4,7	1,0	17,8	663	205	868	303	61	1231	1455	833	2288	712	142	3141	7653	248	9001	1275	343	9510	88	1080	1168	874	179	2212	8496	2041	13150	1565	5386	18461	60,5	20,7	81,4	2,4	0,2	83,9	0	132	132	439	161	733	
Pkw 4P		151,3	6,8	1,5	8,0	3,5	0,8	11,3	483	89	574	303	61	937	1282	491	1773	712	142	3150	695	169	630	1275	343	2049	5	704	709	874	179	1782	2731	2008	4738	1365	5386	11690	20,0	1,5	21,5	2,4	0,2	24,1	235	68	303	439	161	771	
Pkw 1P	13	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	
L	Bus	13	228,4	9,8	2,3	12,0	7,0	1,6	20,6	725	135	861	454	91	1405	1923	736	2659	1068	212	3940	392	264	646	1913	515	3073	8	1056	1064	1311	269	2644	4096	4011	7107	2348	8079	17535	30,0	2,3	32,3	3,6	0,2	36,1	352	102	454	659	242	1355
	Pkw 1P		152,3	6,5	1,5	8,0	4,7	1,0	13,7	483	90	574	303	61	937	1282	491	1773	712	142	3150	695	169	630	1275	343	2049	5	704																						

Schüler 08			Wege- länge [km]	Energieaufwendungen [MJ]										CO ₂ [g]					NO _x [mg]					CO [mg]					CH ₄ [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]								
Relation - RV-Sport				antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt								
Hin+Rück				konst-stoff	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahrzeuge	Infrastruktur	Σ GE-SAMT						
L	Bus	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	14623	161	2204	2365	1471	196	4033	16213	6149	22362	2636	8163	33160	99,2	42,3	141,5	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	279	1181	340	39	1560	1821	1132	2954	799	90	3843	7739	336	8077	1432	240	9749	107	1469	1577	981	131	2988	10809	4099	14908	1757	5442	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	255	29	1170	1366	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	15	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	5062	473	346	818	2148	360	3326	10	1438	1448	1471	196	3115	4649	4100	8749	2636	8163	19548	31,5	3,1	34,6	4,1	0,2	36,9	453	139	592	740	218	1559
		Pkw 3P		207,3	8,9	2,0	10,9	5,3	0,9	17,0	658	123	781	340	39	1160	1317	668	2485	799	90	3375	315	230	546	1432	240	2217	6	959	965	981	131	2077	3099	2733	5833	1757	5442	13032	21,0	6,1	23,1	2,7	0,1	25,9	302	93	395	493	145	1033
		Pkw 4P		155,5	6,6	1,5	8,2	3,9	0,7	12,8	494	92	586	255	29	870	1363	501	1864	599	68	2531	236	173	409	1074	180	1663	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

Schüler - Friedrichshafen		Wege- länge [km]	Energieaufwendungen [MJ]										CO ₂ [g]					NO _x [mg]					CO [mg]					CH ₄ [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]									
Hin+Rück	Gaisböckbahn		antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt									
			von-auf	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. ukur	Σ GE- SAMT							
B+	Bus + RE Gaisböckbahn	Bus	14	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	4	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	183	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	119
		Gaisböckbahn	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	37019	1054	208	1437	1056	2210	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
		Σ Gesamt	52	921,9	39,4	9,1	48,5	2,9	3,9	55,3	2927	546	3473	199	217	3889	34728	2973	37700	418	762	38880	1717	1025	2742	1238	2236	6216	28	4263	4291	634	862	5788	1161	12155	13316	958	1975	16249	22	9	31	1	1	33	525	412	937	335	750	2122
		RE	39	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	4	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	183	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	119
		Σ Gesamt	52	907,0	21,7	5,0	26,6	1,8	3,7	32,1	1610	300	1910	120	209	2239	33210	1635	34844	278	728	35850	10707	563	11270	695	2125	14090	86	2344	2430	377	824	3631	3573	6684	10258	618	1910	12786	68	5	73	1	1	75	790	227	1017	186	713	1916
	Bus + RE Gaisböckbahn	Pkw 1P	51	319,3	139,0	45,4	184,4	55,2	7,3	246,9	10132	3128	12350	3601	495	17316	16580	12716	12926	8375	1175	38846	47945	2782	51737	15006	2685	68427	928	16498	17427	10290	1365	29072	99922	48029	145952	18417	32197	196568	412,1	316,8	728,9	28,6	1,2	798,7	0	2020	2020	5170	1112	8932
		Pkw 2P	51	1595,7	69,5	22,7	92,2	27,6	3,7	123,4	5086	1564	6630	1780	248	8658	6230	6388	14648	4188	587	19423	23972	1886	25888	7503	1342	34714	464	8249	8713	5140	682	14538	49961	23015	72976	9209	16099	98283	296,1	158,4	364,4	14,3	0,6	379,3	0	1010	1010	2585	556	4151
		Pkw 3P	51	1063,8	46,3	15,1	61,5	18,4	2,4	82,3	3377	1043	4420	1187	165	5712	5527	4239	9765	2792	392	12949	15982	1264	17246	5002	895	23142	309	5499	5809	3427	455	9691	33307	15343	48651	6139	10732	65522	137,4	105,6	243,0	9,5	0,4	252,9	0	673	673	1723	371	2767
		Pkw 4P	51	797,8	34,7	11,4	46,1	13,8	1,8	61,7	2533	782	3315	890	124	4329	4145	3179	7324	2094	294	9712	11986	948	12934	3751	671	17357	232	4125	4357	2570	341	7268	24981	11507	36488	4604	8049	49142	103,0	79,2	182,2	7,1	0,3	189,7	0	505	505	1293	278	2075
		Σ Gesamt	51	2291,7	97,9	22,6	120,4	55,2	7,3	182,9	7218	1358	8634	3561	495	12690	21038	1789	28428	8375	1175	37978	3924	2547	6471	15006	2685	24162	63	10598	10660	10290	1365	22305	19729	30217	49948	18417	32197	100561	97,6	22,9	120,5	28,6	1,2	150,3	2626	1025	3651	5170	1112	9933
Bus + RE Sutzhorn	Pkw 1P	51	1145,8	48,9	11,3	60,2	27,6	3,7	61,5	3638	679	4317	1780	248	6345	10519	3695	14214	4188	587	19889	1962	1274	3236	7503	1342	12081	31	5299	5330	5140	682	11153	8865	15107	24973	9209	16099	50280	48,8	11,4	60,2	14,3	0,6	75,1	1313	512	1625	2585	556	4866	
	Pkw 2P	51	763,9	32,6	7,5	40,1	18,4	2,4	61,0	2425	453	2878	1187	165	4230	7013	2463	9476	2792	392	12659	1308	849	2157	5002	895	8054	21	3533	3553	3427	455	7435	6576	10072	16649	6139	10732	33520	32,5	7,6	40,2	9,5	0,4	50,1	875	342	1217	1723	371	3311	
	Pkw 3P	51	572,9	24,5	5,6	30,1	13,8	1,8	45,7	1819	340	2159	890	124	3173	5260	1847	7107	2094	294	9494	981	637	1618	3751	671	6040	16	2649	2665	2570	341	5576	4932	7554	12487	4604	8049	25140	24,4	5,7	30,1	7,1	0,3	37,6	657	256	913	1293	278	2483	
	Pkw 4P	51	54,9	2,3	0,5	2,9	1,0	0,1	4,0	174	33	207	67	6	280	1770	177	1947	153	14	2115	310	61	371	284	41	696	3	254	257	203	22	482	144	724	868	323	942	2133	3	1	3	1	0	4	31	25	55	88	23	167	
	Σ Gesamt	52	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	
Bus + RE Sutzhorn	Bus	14	54,9	2,3	0,5	2,9	1,0	0,1	4,0	174	33	207	67	6	280	1770	177	1947	153	14	2115	310	61	371	284	41	696	3	254	257	203	22	482	144	724	868	323	942	2133	3	1	3	1	0	4	31	25	55	88	23	167	
	Gaisböckbahn	39	1124,1	48,0	11,1	59,1	2,6	7,2	68,8	3569	666	4235	169	363	4767	77450	3625	81075	394	1406	82875	25517	1249	26766	1128	4368	32262	202	5198	5401	543	1593	7537	8431	14822	23252	902	2629	26784	160	11	171	1	2	174	1866	503	2369	285	1453	4106	
	RE	39	1124,1	48,0	11,1	59,1	2,6	7,2	68,8	3569	666	4235	169	363	4767	77450	3625	81075	394	1406	82875	25517	1249	26766	1128	4368	32262	202	5198	5401	543	1593	7537	8431	14822	23252	902	2629	26784	160	11	171	1	2	174	1866	503	2369	285	1453	4106	
	Σ Gesamt	52	1179,0	50,4	11,6	62,0	3,5	7,3	72,8	3743	699	4442	236	369	5047	79221	3801	83022	547	1420	84989	25827	1310	27137	1412	4409	32958	206	5452	5658	746	1615	8019	8675	15545	24120	1226	3571	28917	163	12	175	1	2	178	1897	527	2424	373	1476	4273	
	Pkw 1P	51	3006,3	130,9	42,8	173,7	55,2	5,5	234,3	9545	2946	12491	3561	288	16340	16464	11979	28443	8375	675	37494	36654	3572	40226	15006	1698	59930	865	15542	16407	10280	889	27577	93962	43361	137324	18417	31516	187257	372,9	298,4	671,3	28,6	0,9	700,8	0	1903	1903	5170	913	7993	
Bus + RE Sutzhorn	Pkw 2P	51	1503,2	65,5	21,4	86,8	27,6	2,7	117,2	4773	1473	6246	1780	144	8170	8232	5990	14222	4188	587	19747	1787	20113	7503	849	28465	433	7771	8204	5140	445	13788	46981	21681	68662	9209	15758	93628	186,4	149,2	335,7	14,3	0,4	350,4	0	951	951	2585	456	3985		
	Pkw 3P	51	1002,1	43,6	14,3	57,9	18,4	1,8	78,1	3182	982	4164	1187	96	5447	5488	3993	9481	2792	225	12498	12218	1191	13409	5002	895	19877	288	5181	5469	3427	455	19321	31321	14454	4575	6139	10055	62419	142,3	99,5	225,7	14,3	0,3	233,6	0	634	634	1723	304	2662	
	Pkw 4P	51	751,6	35,7	10,4	43,9	13,8	1,4	58,6	2286	737	3123	889	124	4085	3995	711	2094	294	299	9333	9163	889	10057	575	42423	216	4995	4940	2570	342	14233	216	4995	4940	2570	342	14233	216	4995	4940	2570	342	14233	216	4995	4940	2570	342	14233		
	Σ Gesamt	51	2183,9	95,8	36,1	140,0	55,2	7,3	182,9	7218	1358	8634	3561	495	12690	21038	1789	28428	8375	1175	37978	3924	2547	6471	15006	2685	24162	63	10598	10660	10290	1365	22305	19729	30217	49948	18417	32197	100561	97,6	22,9	120,5	28,6	1,2	150,3	2626	1025	3651	5170	1112	9933	
	Pkw 1P	51	1093,7	46,7	10,8	57,5	27,6	2,7	87,8	3472	648	4120	1780	144	8045	6045	2962	13492	4188	587	19873	1825	1216	2714	7503	849	11093	28	10515	10781	5140	445	10670	1215	14420	23635	9209	15758	9602	145,6	10,9	56,9	14,3	0,4	71,6	1287	489	1776	2585	456	4817	
Bus + RE Sutzhorn	Pkw 2P	51	729,1	31,1	7,2	38,3	18,4	1,8	58,5	2315	432	2747	1187	96	4030	6643	2159	4794	2792	225	12011	1017	810	1827	5002	566	7995	1																								

Schleife 09 Schlier - Friedrichshafen Rego-Shuttle als RE Hin-Rück		Wege- länge [km]	Energieaufwendungen [MJ]										CO ₂ [g]					NO _x [mg]					CO [mg]					CH ₄ [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]								
			antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt								
			von-auf	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeug	Infrastr.-ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeug	Infrastr.-ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeug	Infrastr.-ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeug	Infrastr.-ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeug	Infrastr.-ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeug	Infrastr.-ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeug	Infrastr.-ukur	Σ GE- SAMT						
			von-auf	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeug	Infrastr.-ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeug	Infrastr.-ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeug	Infrastr.-ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeug	Infrastr.-ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeug	Infrastr.-ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeug	Infrastr.-ukur	Σ GE- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeug	Infrastr.-ukur	Σ GE- SAMT						
B+	Bus RE Gaisbockbahn	Bus	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	4	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	183	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	119
		Gaisbockbahn	249,5	10,7	2,5	13,1	2,3	3,8	19,2	792	148	940	156	213	1309	9471	804	10275	320	752	11348	414	277	692	1056	2210	3957	7	1154	1161	504	848	2513	296	3290	3585	750	1370	5705	6	2	8	0	1	10	142	112	254	278	735	1267
		Σ Gesamt	296,4	12,7	2,9	15,6	2,9	3,9	22,4	941	176	1117	199	217	1533	10983	956	11939	418	762	13148	678	329	1008	1238	2236	482	10	1371	1381	634	862	2877	419	3908	4327	958	1975	7260	8	3	11	1	13	168	133	301	335	750	1386	
		Bus	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	4	224	1513	151	1664	98	9	1771	264	52	316	183	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	119
		RE	460,0	19,6	4,5	24,2	1,2	3,6	28,9	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	969	129	698	1797
		Σ Gesamt	507,0	21,7	5,0	26,6	1,8	3,7	32,1	1610	300	1910	120	209	2239	33210	1635	34844	278	728	35850	10707	563	11270	695	2125	14090	86	2344	2430	377	824	3631	3573	6684	10258	618	1910	12786	68	5	73	1	1	75	790	227	1017	186	713	1916
	Bus RE Gaisbockbahn	Pkw 1P	319,3	13,0	45,4	184,4	55,2	7,3	246,9	10132	3128	12350	3561	495	17316	16580	12716	29296	8375	1175	36846	47945	2782	51737	15006	2685	68427	928	16498	17427	10290	1365	29072	99942	46029	145952	18417	32197	196568	412,1	316,8	1728,9	28,6	1,2	758,7	0	2020	2020	5170	1112	8302
		Pkw 2P	1595,7	89,5	22,7	92,2	27,6	3,7	123,4	5086	1564	6630	1780	248	8658	6230	6388	14648	4188	587	19423	23972	1886	25888	7503	1342	34714	464	8249	8713	5140	682	14538	49961	23015	72916	9209	16099	98283	296,1	158,4	364,4	14,3	0,6	379,3	0	1010	1010	2585	556	4151
		Pkw 3P	1063,8	46,3	15,1	61,5	18,4	2,4	82,3	3377	1043	4420	1187	165	5712	5527	4239	9765	2792	392	12949	15982	1264	17246	5002	895	23142	309	5499	5809	3427	455	9691	33307	15343	48651	6139	10732	65522	137,4	105,6	243,0	9,5	0,4	252,9	0	673	673	1723	371	2767
		Pkw 4P	797,8	34,7	11,4	46,1	13,8	1,8	61,7	2533	782	3315	890	124	4329	4145	3179	7324	2094	294	9712	11986	948	12934	3751	671	17357	232	4125	4357	2570	341	7268	24981	11507	36488	4604	8049	49142	103,0	79,2	182,2	7,1	0,3	189,7	0	505	505	1293	278	2075
		Σ Gesamt	2291,7	97,9	22,6	120,4	55,2	7,3	182,9	7216	1358	6634	3561	495	12690	21038	1789	28428	8375	1175	37978	3924	2547	6471	15006	2685	24162	63	10598	10690	10290	1365	22305	19729	30217	49948	18417	32197	100561	97,6	22,9	120,5	28,6	1,2	150,3	2626	1025	3651	5170	1112	9933
	Bus RE Gaisbockbahn	Pkw 1P	1145,8	48,9	11,3	60,2	27,6	3,7	61,5	3638	679	4317	1780	248	6345	10519	3695	14214	4188	587	19889	1962	1274	3236	7503	1342	12061	31	5299	5330	5140	682	11153	8665	15108	24973	9209	16099	50280	48,8	11,4	60,2	14,3	0,6	75,1	1313	512	1625	2585	556	4866
		Pkw 2P	763,9	32,6	7,5	40,1	18,4	2,4	61,0	2425	453	2878	1187	165	4230	7013	2463	9476	2792	392	12659	1308	849	2157	5002	895	8054	21	3533	3553	3427	455	7435	6576	10072	16649	6139	10732	33520	32,5	7,6	40,2	9,5	0,4	50,1	875	342	1217	1723	371	3311
		Pkw 3P	572,9	24,5	5,6	30,1	13,8	1,8	45,7	1819	340	2159	890	124	3173	5260	1847	7107	2094	294	9494	981	637	1618	3751	671	6040	16	2649	2665	2570	341	5576	4932	7554	12487	4604	8049	25140	24,4	5,7	30,1	7,1	0,3	37,6	657	256	913	1293	278	2483
		Pkw 4P	572,9	24,5	5,6	30,1	13,8	1,8	45,7	1819	340	2159	890	124	3173	5260	1847	7107	2094	294	9494	981	637	1618	3751	671	6040	16	2649	2665	2570	341	5576	4932	7554	12487	4604	8049	25140	24,4	5,7	30,1	7,1	0,3	37,6	657	256	913	1293	278	2483
		Σ Gesamt	54,9	2,3	0,5	2,9	1,0	0,1	4,0	174	33	207	67	6	280	1770	177	1947	153	14	2115	310	61	371	284	41	696	3	254	257	203	22	482	144	724	868	323	942	2133	3	1	3	1	0	4	31	25	55	88	23	167
L	Bus RE Gaisbockbahn	Bus	426,6	18,2	4,2	22,4	4,2	6,4	33,0	1354	253	1607	286	328	2222	16194	1376	17570	587	1256	19413	708	474	1183	1937	3872	6992	12	1973	1985	925	1422	4332	506	5625	6131	1376	2340	9847	10	4	14	1	2	16	243	191	434	510	1288	2232
		Gaisbockbahn	481,5	20,6	4,7	25,3	5,2	6,5	37,1	1529	285	1814	354	335	2503	17965	1552	19517	740	1270	21528	1018	535	1553	2221	3913	7688	16	2227	2242	1127	1444	4813	650	6348	6999	1699	3282	11980	12	5	17	1	2	20	274	215	489	599	1311	2399
		Σ Gesamt	54,9	2,3	0,5	2,9	1,0	0,1	4,0	174	33	207	67	6	280	1770	177	1947	153	14	2115	310	61	371	284	41	696	3	254	257	203	22	482	144	724	868	323	942	2133	3	1	3	1	0	4	31	25	55	88	23	167
		Bus	1124,1	48,0	11,1	59,1	2,6	7,2	68,8	3569	666	4235	169	363	4767	77450	3625	81075	394	1406	82875	25517	1249	26766	1128	4368	32262	202	5198	5401	543	1593	7537	8431	14822	23252	902	2629	26784	160	11	171	1	2	174	1866	503	2369	285	1453	4106
		RE	1179,0	50,4	11,6	62,0	3,5	7,3	72,8	3743	699	4442	236	369	5047	79221	3801	83022	547	1420	84989	25827	1310	27137	1412	4409	32958	206	5452	5658	746	1615	8019	8675	15545	24120	1226	3571	28917	163	12	175	1	2	178	1897	527	2424	373	1476	4273
		Σ Gesamt	3006,3	130,9	42,8	173,7	55,2	5,5	234,3	9545	2946	12491	3561	288	16340	16464	11979	28443	8375	675	37494	36654	3572	40226	15006	1698	50930	865	15542	16407	10280	889	27778	93962	43361	137324	18417	31516	187257	372,9	298,4	671,3	28,6	0,9	700,8	0	1903	1903	5170	913	7993
	Bus RE Gaisbockbahn	Pkw 1P	1503,2	65,6	21,4	86,8	27,6	3,7	117,2	4773	1473	6246	1780	144	8170	8232	5990	14222	4188	587	19747	1786	20113	7503	849	28465	433	7771	8204	5140	445	13788	46981	21681	68662	9209	15758	93628	186,4	149,2	335,7	14,3	0,4	350,4	0	951	951	2585	456	3985	
		Pkw 2P	1002,1	43,6	14,3	57,9	18,4	1,8	78,1																																										

Relation 09		Wegelänge [km]	Energieaufwendungen [MJ]										CO ₂ [g]					NO _x [mg]					CO [mg]					CH ₄ [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]								
Schüler - Friedrichshafen	EURO4		Hin-Rück	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt							
				Konst.-sd	Infrastr.-sd	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr.-uktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr.-uktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr.-uktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr.-uktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr.-uktur	Σ GE-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr.-uktur	Σ GE-SAMT											
B+	Bus	Gaisböckbahn	46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	4	224	756	151	908	98	9	1015	158	52	210	183	26	419	2	217	219	130	14	363	86	618	705	208	605	1518	2	0	2	0	0	2	5	21	25	57	15	97
			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	37109	1453	973	2426	1056	2210	5691	25	4046	4071	504	848	5424	1038	11537	12575	750	1370	14694	20	9	31	0	1	30	498	391	889	278	735	1903
			921,9	39,4	9,1	48,5	2,9	3,9	55,3	2927	546	3473	199	217	3899	33972	2973	36944	418	762	38124	1611	1025	2636	1238	2236	6111	27	4263	4290	634	862	5787	1124	12155	13279	958	1975	16212	21	9	38	1	1	33	503	412	915	335	750	2000
			46,9	2,0	0,5	2,5	0,6	0,1	3,2	149	28	177	43	4	224	756	151	908	98	9	1015	158	52	210	183	26	419	2	217	219	130	14	363	86	618	705	208	605	1518	2	0	2	0	0	2	5	21	25	57	15	97
			460,0	19,6	4,5	24,2	1,2	3,6	28,9	1461	273	1733	77	205	2015	31697	1463	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	969	129	698	1797
			507,0	21,7	5,0	26,6	1,8	3,7	32,1	1610	300	1910	120	209	2239	32453	1635	34088	278	728	35093	10601	563	11165	695	2125	13984	85	2344	2429	297	824	3630	3537	6684	10221	618	1910	12749	67	5	72	1	1	74	768	227	995	186	713	1894
	Bus	RE	2920,9	127,2	41,6	168,7	55,2	7,3	231,2	9274	2863	11136	3561	495	16192	3629	11639	15498	8375	1175	25018	11114	3470	14585	15006	2685	32275	402	15100	15502	10290	1365	27147	40897	42128	83025	18417	32197	138540	142,5	289,9	432,4	28,6	1,2	462,2	0	1848	1848	5170	1112	8191
			1460,4	63,6	20,8	84,4	27,6	3,7	115,8	4637	1431	6068	1780	248	8086	1915	5819	774	4188	587	12509	5557	1735	7292	7503	1342	16138	201	7550	7751	5140	682	13574	20445	21084	41512	9209	16099	68920	71,2	145,0	216,2	14,3	0,6	231,1	0	924	924	2585	556	4085
			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
			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	6755	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
			2081,2	89,9	20,5	109,4	55,2	7,3	171,9	6608	1233	7841	3561	495	11897	10599	6711	11780	8375	1175	26830	3203	2313	5516	15006	2685	32306	52	9624	9676	10290	1365	21321	12601	12441	40042	18417	32197	90657	45,7	20,8	66,5	28,6	1,2	96,3	1041	930	1971	5170	1112	8253
	Bus	Gaisböckbahn	1140,6	44,4	10,3	54,7	27,6	3,7	65,9	3304	617	3921	1780	248	5948	5285	3385	8640	4188	587	13415	1601	1157	2758	7503	1342	11603	26	4812	4838	5140	682	10660	6301	13720	20021	9209	16099	45029	22,9	10,4	33,3	14,3	0,6	48,1	520	466	985	2585	556	4197
			693,7	29,6	6,8	36,5	18,4	2,4	57,3	2203	411	2614	1187	165	3966	3523	2237	5760	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
			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
			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
			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	1927	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
U	Bus	Gaisböckbahn	1688,7	72,1	16,6	88,8	5,2	6,5	100,5	5362	1001	6362	354	335	7051	62908	5445	68353	740	1270	70364	2899	1877	4776	2221	3913	10911	49	7809	7858	1127	1444	10429	2039	22266	24306	1699	3282	29287	39	17	56	1	2	59	936	755	1691	599	1311	3601
			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
			1124,1	48,0	11,1	59,1	2,6	7,2	68,8	3569	666	4235	169	363	4767	77450	3625	81075	394	1406	82875	25517	1249	26766	1128	4368	32262	202	5198	5401	543	1593	7537	8431	14822	23252	902	2629	26784	160	11	171	1	2	174	1866	503	2369	285	1453	4106
			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	8532	15545	24077	1226	3571	28874	162	12	174	1	2	177	1871	527	2398	373	1476	4248
			2749,1	119,7	39,1	158,8	55,2	5,5	219,5	8728	2694	11422	3561	288	15271	3802	10954	14756	8375	675	23806	8659	3266	11526	15006	1698	28630	377	14212	14589	10280	889	25758	38512	39651	78163	18417	31516	128098	130,9	272,9	403,8	28,6	0,9	433,2	0	1740	1740	5170	913	7283
	Bus	RE	1374,5	59,8	19,6	79,4	27,6	2,7	109,7	4364	1347	5711	1780	144	7636	1001	5477	7378	4188	587	11903	4330	1633	5963	7503	849	14315	189	7106	7295	5140	445	12918	19256	19825	39601	9209	15758	64048	65,4	136,4	201,9	14,3	0,4	216,6	0	870	870	2585	456	3911
			916,4	39,9	13,0	52,9	18,4	1,8	72,8	2709	896	3807	1187	96	5090	1267	3651	4919	2792	225	7386	2868	1089	3705	5002	566	9543	126	4737	4863	3427	296	8596	12837	13217	26054	6139	10505	41626	47,0	10,0	134,6	9,5	0,3	144,4	0	1740	1740	5170	913	7283
Bus	Gaisböckbahn	4867,3	29,9	9,8	39,7	13,8	1,4	54,9	2182	674	2956	890	124	3818	959	2739	3889	2094	169	5551	2165	671	2981	3751	425	7158	4	3553	3647	2750	222	5440	9628	9913	19541	4604	7899	32024	327	682	1000	9,7	0,2	108,3	0	438	435	1293	228	1956	
		611,9	31,8	10,4	42,2	13,8	1,8	57,8	2318	716	3034	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	
		903,4	42,4	9,8	52,2	27,6	2,7	82,5	2154	589	373	1780	144	5667	4999	3202	4188	337	12728	1153	1104	2587	7503	849	10709	23	4594	4617	5140	445	10201	5767	13098	19865	4209	15758	43831	20,6	29,9	30,5	14,3	0,4	45,2	509	444	953	2585	456	3911		
		466,3	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	736	1571	5002	566	7140	15	3062	3078	3427	296	6801	3845	9232	12577	6139	10505	29221	137	6,6	20,3	9,5	0,3	30,2	339	296	635	1723	371	2751	
		692,7	21,2	4,9	26,1	13,8	1,4	41,3	1577	294	1871	890	72	2834	2500																																				

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

Bereich 10		Tollungen -		Hin+Rück-		Modellrechnung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

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

Schorndorf - Berliner Platz		Weg- länge [km]	Energieaufwendungen [MJ]										CO ₂ [g]					NO _x [mg]					CO [mg]				CH ₄ [mg]				VOC [mg]				Benzol [mg]				Partikel [mg]				Kollektivdosis [PersSV]																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Hin+Rück	Drit-Mile		antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt					antriebsbedingt				antriebsbedingt				antriebsbedingt				antriebsbedingt				antriebsbedingt				Energiebereitstellung																																																																																																																																																																																																																																																																																						
			Kraftstoff [l]	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E- SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.- bed.	Fahr- zeuge	Infra	

Schorndorf - Berliner Platz NW-Mix Hin+Rück	Weg- länge [km]	Energieaufwendungen [MJ]										CO ₂ [g]					NO _x [mg]					CO [mg]					CH ₄ [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					Kollektivdosis [PersSV]						
		antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt						nicht antriebsbedingt					
		knut-wert	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E-SAMT	direkt	Energ. bereit.	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr. uktur	Σ G-E-SAMT	Energiebereitstellung														
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	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	
		S-Bahn	0,0	18,8	49,0	67,8	1,4	2,5	71,8	0	8614	8614	96	147	8857	0	8262	8262	193	514	8968	0	1085	1085	825	1498	3408	0	11199	11199	344	573	12116	0	11507	11507	460	923	12889	0	2	2	0	1	3	0	4048	4048	211	487	4747	1,52197E-07	
		Stadtbahn	0,0	0,4	1,0	1,3	0,1	0,5	1,9	0	129	129	4	51	185	0	162	162	8	129	299	0	21	21	35	285	341	0	219	219	15	129	363	0	225	225	20	191	436	0	0	0	0	0	0	79	79	9	72	160	4,56068E-10		
		Σ Ges amt	81,8	22,6	50,8	73,5	2,2	3,1	78,8	260	6792	7052	146	202	7400	2627	8887	11314	306	649	12270	505	1197	1703	1056	1801	4560	6	11796	11803	499	713	13014	270	12810	13080	703	1545	15328	5	3	8	0	1	1	9	55	4164	4219	281	569	5069	1,52653E-07
		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	
		RE	0,0	5,2	13,6	18,8	0,9	1,9	21,6	0	1829	1829	58	131	2018	0	2284	2284	139	397	2820	0	300	300	379	1036	1715	0	3096	3096	185	443	3725	0	3181	3181	315	685	4180	0	1	1	0	1	2	0	1119	1119	95	344	1559	4,20794E-08	
		Stadtbahn	0,0	0,4	1,0	1,3	0,1	0,5	1,9	0	129	129	4	51	185	0	162	162	8	129	299	0	21	21	35	285	341	0	219	219	15	129	363	0	225	225	20	191	436	0	0	0	0	0	0	79	79	9	72	160	4,56068E-10		
		Σ Ges amt	81,8	9,1	15,3	24,4	1,6	2,5	28,6	260	2007	2266	109	185	2560	2627	2710	5337	253	533	6122	506	412	917	610	1340	2868	6	3694	3700	340	583	4623	270	4485	4795	558	1307	8619	5	1	6	1	1	8	55	1235	1290	165	426	1881	4,25354E-08	
		S-Bahn	0,0	18,8	49,0	67,8	1,4	2,5	71,8	0	8614	8614	96	147	8857	0	8262	8262	193	514	8968	0	1085	1085	825	1498	3408	0	11199	11199	344	573	12116	0	11507	11507	460	923	12889	0	2	2	0	1	3	0	4048	4048	211	487	4747	1,52197E-07	
		Stadtbahn	0,0	0,4	1,0	1,3	0,1	0,5	1,9	0	129	129	4	51	185	0	162	162	8	129	299	0	21	21	35	285	341	0	219	219	15	129	363	0	225	225	20	191	436	0	0	0	0	0	0	79	79	9	72	160	4,56068E-10		
L	Fernbus + RE + Stadtbahn + Bus	Σ Ges amt	0,0	19,2	50,0	69,2	1,5	3,1	73,7	0	6744	6744	100	199	7042	0	8423	8423	201	642	9287	0	1106	1106	860	1783	3749	0	11418	11418	359	702	12480	0	11732	11732	480	1113	13325	0	2	2	0	1	3	0	4128	4128	220	958	4906	1,52653E-07	
		RE	0,0	5,2	13,6	18,8	0,9	1,9	21,6	0	1829	1829	58	131	2018	0	2284	2284	139	397	2820	0	300	300	379	1036	1715	0	3096	3096	185	443	3725	0	3181	3181	315	685	4180	0	1	1	0	1	2	0	1119	1119	95	344	1559	4,20794E-08	
		Stadtbahn	0,0	0,4	1,0	1,3	0,1	0,5	1,9	0	129	129	4	51	185	0	162	162	8	129	299	0	21	21	35	285	341	0	219	219	15	129	363	0	225	225	20	191	436	0	0	0	0	0	0	79	79	9	72	160	4,56068E-10		
		Σ Ges amt	0,0	5,6	14,5	20,1	0,9	2,5	23,5	0	1958	1958	62	182	2203	0	2446	2446	147	526	3119	0	321	321	414	1321	2057	0	3316	3316	200	573	4088	0	3407	3407	334	875	4616	0	1	1	0	1	2	0	1199	1199	104	416	1719	4,25354E-08	
		Plkw 1P	3449,9	150,2	49,1	199,3	63,1	12,0	274,4	10992	391	14133	4073	682	19088	27268	13745	41013	9590	1479	52062	48542	4099	52641	17154	3104	72909	1062	17853	18895	11759	2015	32669	115309	49753	165062	21066	15345	203474	449,9	342,4	792,3	32,7	1,3	826,3	0	2183	2183	5914	1200	9296	0	
		Plkw 2P	1124,7	75,1	24,5	99,6	31,6	6,0	137,2	5476	1690	7166	2038	341	9544	13834	8870	29506	4790	735	26031	24771	2049	26320	8562	1552	36454	531	8916	9448	5879	1097	16334	57655	24876	82531	10533	7673	110737	224,9	171,2	396,2	16,4	0,6	413,1	0	1091	1091	2967	600	4648	0	
		Plkw 3P	1149,8	50,1	16,4	66,4	21,0	4,0	91,5	3651	1127	4778	1358	227	6363	9069	4562	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	726	726	1971	400	3099	0	
		Plkw 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	28827	12438	41265	5267	3836	50368	112,5	85,6	196,1	8,2	0,3	206,6	0	546	546	1478	300	2324	0	
		Plkw 1P	2887,8	123,3	28,5	151,8	63,1	12,0	226,9	9169	1711	10889	4073	682	15635	27751	9311	37063	9660	1470	48112	3782	3210	4692	17164	3104	27260	59	13354	13413	11759	2015	27187	10919	38076	16995	21066	15345	92407	84,9	28,9	123,8	32,7	1,3	157,8	3718	1291	5009	5914	1200	11213	0	
		Plkw 2P	1443,9	61,7	14,2	75,9	31,6	6,0	113,4	4584	1656	5440	2038	341	7817	13876	4656	16531	4790	735	24056	1891	1605	3496	8562	1552	13630	30	6677	6707	5879	1007	13593	4660	19038	28498	10533	7673	46704	47,5	14,4	61,9	16,4	0,6	78,9	1899	646	2505	2967	600	6061	0	
L	Bus + S-Bahn + Stadtbahn + RE + Fernbus + Plkw 1P + Plkw 2P + Plkw 3P + Plkw 4P	Plkw 1P	862,6	41,1	9,6	50,6	21,0	4,0	75,6	3056	570	3627	1358	227	5212	9250	3104	12354	3193	490	16037	1261	1070	2331	5721	1035	9087	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	1670	1971	400	4041	0	
		Plkw 2P	721,9	30,8	7,1	37,9	15,8	3,0	56,7	2292	428	2720	1018	171	3909	6938	2328	9266	2395	367	12748	2292	946	802	1748	4291	776	6815	15	3339	3353	2949	504	6797	4730	16519	14249	5267	3836	23352	23,7	7,2	30,9	8,2	0,3	39,4	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	2395	25767	790	52	26669	4388	812	5200	1466	145	6811	56	3378	3433	1046	616	9595	2317	9631	11948	1670	3360	16978	44	7	51	3	0	54	474	327	801	456	80	1337	0	
		S-Bahn	0,0	43,6	113,9	157,6	3,4	5,4	166,3	0	15364	15364	226	276	15865	0	19189	19189	456	1061	20706	0	2520	2520	1951	3293	7764	0	26012	26012	814	1196	20022	0	26727	26727	1088	1971	29786	0	4	4	1	1	6	0	9404	9404	273	1082	2799	3,3514E-07	
L	Fernbus + RE + Stadtbahn + Bus	Σ Ges amt	730,4	75,9	12,9	9,8	0,4	1,7	216,4	2319	16138	1688	599	449	19936	23412	22040	45422	1296	1506	58622	48223	4388	3393	7781	3631	4393	15806	56	30021	30077	1950	2224	34451	631	1133	648	1230	625	3393	0	0	228	228	55	276	559	1,31265E-09					
		Bus	730,4	31,2	7,2	38,4	5,1	0,4	44,1	2319	433	2752	348	23	3123	23412	2395	25767	790	52	26669	4388	812	5200	1466	145	6811	56	3378	3433	1046	616	9595	2317	9631	11948	1670	3360	16978	44	7	51	3	0	54	474	327	801	456	80	1337	0	
		RE	0,0	40,4	105,5	149,5	5,1	8,2	159,3	0	14231	14231	340	410	14983	0	17774	17774	1810	1611	20195	0	2335	23																													

[illegible]

zurück zum ersten Diagramm der Relation

Rauderbenz - Benzin PZL		Energieaufwendungen [MJ]										CO ₂ [g]										CH ₄ [mg]										VOC [mg]										Benzol [mg]										Partikel [mg]										Kohlendioxid (Pervox)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Rauderbenz - Benzin PZL	Wege- länge [km]	antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt					antriebsbedingt					nicht antriebsbedingt																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		konstant	direkt	Energ. be- zug	U ₁ v ₁	U ₂ v ₂	E ₁ v ₁	E ₂ v ₂	E ₃ v ₃	E ₄ v ₄	E ₅ v ₅	E ₆ v ₆	E ₇ v ₇	E ₈ v ₈	E ₉ v ₉	E ₁₀ v ₁₀	E ₁₁ v ₁₁	E ₁₂ v ₁₂	E ₁₃ v ₁₃	E ₁₄ v ₁₄	E ₁₅ v ₁₅	E ₁₆ v ₁₆	E ₁₇ v ₁₇	E ₁₈ v ₁₈	E ₁₉ v ₁₉	E ₂₀ v ₂₀	E ₂₁ v ₂₁	E ₂₂ v ₂₂	E ₂₃ v ₂₃	E ₂₄ v ₂₄	E ₂₅ v ₂₅	E ₂₆ v ₂₆	E ₂₇ v ₂₇	E ₂₈ v ₂₈	E ₂₉ v ₂₉	E ₃₀ v ₃₀	E ₃₁ v ₃₁	E ₃₂ v ₃₂	E ₃₃ v ₃₃	E ₃₄ v ₃₄	E ₃₅ v ₃₅	E ₃₆ v ₃₆	E ₃₇ v ₃₇	E ₃₈ v ₃₈	E ₃₉ v ₃₉	E ₄₀ v ₄₀	E ₄₁ v ₄₁	E ₄₂ v ₄₂	E ₄₃ v ₄₃	E ₄₄ v ₄₄	E ₄₅ v ₄₅	E ₄₆ v ₄₆	E ₄₇ v ₄₇	E ₄₈ v ₄₈	E ₄₉ v ₄₉	E ₅₀ v ₅₀	E ₅₁ v ₅₁	E ₅₂ v ₅₂	E ₅₃ v ₅₃	E ₅₄ v ₅₄	E ₅₅ v ₅₅	E ₅₆ v ₅₆	E ₅₇ v ₅₇	E ₅₈ v ₅₈	E ₅₉ v ₅₉	E ₆₀ v ₆₀	E ₆₁ v ₆₁	E ₆₂ v ₆₂	E ₆₃ v ₆₃	E ₆₄ v ₆₄	E ₆₅ v ₆₅	E ₆₆ v ₆₆	E ₆₇ v ₆₇	E ₆₈ v ₆₈	E ₆₉ v ₆₉	E ₇₀ v ₇₀	E ₇₁ v ₇₁	E ₇₂ v ₇₂	E ₇₃ v ₇₃	E ₇₄ v ₇₄	E ₇₅ v ₇₅	E ₇₆ v ₇₆	E ₇₇ v ₇₇	E ₇₈ v ₇₈	E ₇₉ v ₇₉	E ₈₀ v ₈₀	E ₈₁ v ₈₁	E ₈₂ v ₈₂	E ₈₃ v ₈₃	E ₈₄ v ₈₄	E ₈₅ v ₈₅	E ₈₆ v ₈₆	E ₈₇ v ₈₇	E ₈₈ v ₈₈	E ₈₉ v ₈₉	E ₉₀ v ₉₀	E ₉₁ v ₉₁	E ₉₂ v ₉₂	E ₉₃ v ₉₃	E ₉₄ v ₉₄	E ₉₅ v ₉₅	E ₉₆ v ₉₆	E ₉₇ v ₉₇	E ₉₈ v ₉₈	E ₉₉ v ₉₉	E ₁₀₀ v ₁₀₀	E ₁₀₁ v ₁₀₁	E ₁₀₂ v ₁₀₂	E ₁₀₃ v ₁₀₃	E ₁₀₄ v ₁₀₄	E ₁₀₅ v ₁₀₅	E ₁₀₆ v ₁₀₆	E ₁₀₇ v ₁₀₇	E ₁₀₈ v ₁₀₈	E ₁₀₉ v ₁₀₉	E ₁₁₀ v ₁₁₀	E ₁₁₁ v ₁₁₁	E ₁₁₂ v ₁₁₂	E ₁₁₃ v ₁₁₃	E ₁₁₄ v ₁₁₄	E ₁₁₅ v ₁₁₅	E ₁₁₆ v ₁₁₆	E ₁₁₇ v ₁₁₇	E ₁₁₈ v ₁₁₈	E ₁₁₉ v ₁₁₉	E ₁₂₀ v ₁₂₀	E ₁₂₁ v ₁₂₁	E ₁₂₂ v ₁₂₂	E ₁₂₃ v ₁₂₃	E ₁₂₄ v ₁₂₄	E ₁₂₅ v ₁₂₅	E ₁₂₆ v ₁₂₆	E ₁₂₇ v ₁₂₇	E ₁₂₈ v ₁₂₈	E ₁₂₉ v ₁₂₉	E ₁₃₀ v ₁₃₀	E ₁₃₁ v ₁₃₁	E ₁₃₂ v ₁₃₂	E ₁₃₃ v ₁₃₃	E ₁₃₄ v ₁₃₄	E ₁₃₅ v ₁₃₅	E ₁₃₆ v ₁₃₆	E ₁₃₇ v ₁₃₇	E ₁₃₈ v ₁₃₈	E ₁₃₉ v ₁₃₉	E ₁₄₀ v ₁₄₀	E ₁₄₁ v ₁₄₁	E ₁₄₂ v ₁₄₂	E ₁₄₃ v ₁₄₃	E ₁₄₄ v ₁₄₄	E ₁₄₅ v ₁₄₅	E ₁₄₆ v ₁₄₆	E ₁₄₇ v ₁₄₇	E ₁₄₈ v ₁₄₈	E ₁₄₉ v ₁₄₉	E ₁₅₀ v ₁₅₀	E ₁₅₁ v ₁₅₁	E ₁₅₂ v ₁₅₂	E ₁₅₃ v ₁₅₃	E ₁₅₄ v ₁₅₄	E ₁₅₅ v ₁₅₅	E ₁₅₆ v ₁₅₆	E ₁₅₇ v ₁₅₇	E ₁₅₈ v ₁₅₈	E ₁₅₉ v ₁₅₉	E ₁₆₀ v ₁₆₀	E ₁₆₁ v ₁₆₁	E ₁₆₂ v ₁₆₂	E ₁₆₃ v ₁₆₃	E ₁₆₄ v ₁₆₄	E ₁₆₅ v ₁₆₅	E ₁₆₆ v ₁₆₆	E ₁₆₇ v ₁₆₇	E ₁₆₈ v ₁₆₈	E ₁₆₉ v ₁₆₉	E ₁₇₀ v ₁₇₀	E ₁₇₁ v ₁₇₁	E ₁₇₂ v ₁₇₂	E ₁₇₃ v ₁₇₃	E ₁₇₄ v ₁₇₄	E ₁₇₅ v ₁₇₅	E ₁₇₆ v ₁₇₆	E ₁₇₇ v ₁₇₇	E ₁₇₈ v ₁₇₈	E ₁₇₉ v ₁₇₉	E ₁₈₀ v ₁₈₀	E ₁₈₁ v ₁₈₁	E ₁₈₂ v ₁₈₂	E ₁₈₃ v ₁₈₃	E ₁₈₄ v ₁₈₄	E ₁₈₅ v ₁₈₅	E ₁₈₆ v ₁₈₆	E ₁₈₇ v ₁₈₇	E ₁₈₈ v ₁₈₈	E ₁₈₉ v ₁₈₉	E ₁₉₀ v ₁₉₀	E ₁₉₁ v ₁₉₁	E ₁₉₂ v ₁₉₂	E ₁₉₃ v ₁₉₃	E ₁₉₄ v ₁₉₄	E ₁₉₅ v ₁₉₅	E ₁₉₆ v ₁₉₆	E ₁₉₇ v ₁₉₇	E ₁₉₈ v ₁₉₈	E ₁₉₉ v ₁₉₉	E ₂₀₀ v ₂₀₀	E ₂₀₁ v ₂₀₁	E ₂₀₂ v ₂₀₂	E ₂₀₃ v ₂₀₃	E ₂₀₄ v ₂₀₄	E ₂₀₅ v ₂₀₅	E ₂₀₆ v ₂₀₆	E ₂₀₇ v ₂₀₇	E ₂₀₈ v ₂₀₈	E ₂₀₉ v ₂₀₉	E ₂₁₀ v ₂₁₀	E ₂₁₁ v ₂₁₁	E ₂₁₂ v ₂₁₂	E ₂₁₃ v ₂₁₃	E ₂₁₄ v ₂₁₄	E ₂₁₅ v ₂₁₅	E ₂₁₆ v ₂₁₆	E ₂₁₇ v ₂₁₇	E ₂₁₈ v ₂₁₈	E ₂₁₉ v ₂₁₉	E ₂₂₀ v ₂₂₀	E ₂₂₁ v ₂₂₁	E ₂₂₂ v ₂₂₂	E ₂₂₃ v ₂₂₃	E ₂₂₄ v ₂₂₄	E ₂₂₅ v ₂₂₅	E ₂₂₆ v ₂₂₆	E ₂₂₇ v ₂₂₇	E ₂₂₈ v ₂₂₈	E ₂₂₉ v ₂₂₉	E ₂₃₀ v ₂₃₀	E ₂₃₁ v ₂₃₁	E ₂₃₂ v ₂₃₂	E ₂₃₃ v ₂₃₃	E ₂₃₄ v ₂₃₄	E ₂₃₅ v ₂₃₅	E ₂₃₆ v ₂₃₆	E ₂₃₇ v ₂₃₇	E ₂₃₈ v ₂₃₈	E ₂₃₉ v ₂₃₉	E ₂₄₀ v ₂₄₀	E ₂₄₁ v ₂₄₁	E ₂₄₂ v ₂₄₂	E ₂₄₃ v ₂₄₃	E ₂₄₄ v ₂₄₄	E ₂₄₅ v ₂₄₅	E ₂₄₆ v ₂₄₆	E ₂₄₇ v ₂₄₇	E ₂₄₈ v ₂₄₈	E ₂₄₉ v ₂₄₉	E ₂₅₀ v ₂₅₀	E ₂₅₁ v ₂₅₁	E ₂₅₂ v ₂₅₂	E ₂₅₃ v ₂₅₃	E ₂₅₄ v ₂₅₄	E ₂₅₅ v ₂₅₅	E ₂₅₆ v ₂₅₆	E ₂₅₇ v ₂₅₇	E ₂₅₈ v ₂₅₈	E ₂₅₉ v ₂₅₉	E ₂₆₀ v ₂₆₀	E ₂₆₁ v ₂₆₁	E ₂₆₂ v ₂₆₂	E ₂₆₃ v ₂₆₃	E ₂₆₄ v ₂₆₄	E ₂₆₅ v ₂₆₅	E ₂₆₆ v ₂₆₆	E ₂₆₇ v ₂₆₇	E ₂₆₈ v ₂₆₈	E ₂₆₉ v ₂₆₉	E ₂₇₀ v ₂₇₀	E ₂₇₁ v ₂₇₁	E ₂₇₂ v ₂₇₂	E ₂₇₃ v ₂₇₃	E ₂₇₄ v ₂₇₄	E ₂₇₅ v ₂₇₅	E ₂₇₆ v ₂₇₆	E ₂₇₇ v ₂₇₇	E ₂₇₈ v ₂₇₈	E ₂₇₉ v ₂₇₉	E ₂₈₀ v ₂₈₀	E ₂₈₁ v ₂₈₁	E ₂₈₂ v ₂₈₂	E ₂₈₃ v ₂₈₃	E ₂₈₄ v ₂₈₄	E ₂₈₅ v ₂₈₅	E ₂₈₆ v ₂₈₆	E ₂₈₇ v ₂₈₇	E ₂₈₈ v ₂₈₈	E ₂₈₉ v ₂₈₉	E ₂₉₀ v ₂₉₀	E ₂₉₁ v ₂₉₁	E ₂₉₂ v ₂₉₂	E ₂₉₃ v ₂₉₃	E ₂₉₄ v ₂₉₄	E ₂₉₅ v ₂₉₅	E ₂₉₆ v ₂₉₆	E ₂₉₇ v ₂₉₇	E ₂₉₈ v ₂₉₈	E ₂₉₉ v ₂₉₉	E ₃₀₀ v ₃₀₀	E ₃₀₁ v ₃₀₁	E ₃₀₂ v ₃₀₂	E ₃₀₃ v ₃₀₃	E ₃₀₄ v ₃₀₄	E ₃₀₅ v ₃₀₅	E ₃₀₆ v ₃₀₆	E ₃₀₇ v ₃₀₇	E ₃₀₈ v ₃₀₈	E ₃₀₉ v ₃₀₉	E ₃₁₀ v ₃₁₀	E ₃₁₁ v ₃₁₁	E ₃₁₂ v ₃₁₂	E ₃₁₃ v ₃₁₃	E ₃₁₄ v ₃₁₄	E ₃₁₅ v ₃₁₅	E ₃₁₆ v ₃₁₆	E ₃₁₇ v ₃₁₇	E ₃₁₈ v ₃₁₈	E ₃₁₉ v ₃₁₉	E ₃₂₀ v ₃₂₀	E ₃₂₁ v ₃₂₁	E ₃₂₂ v ₃₂₂	E ₃₂₃ v ₃₂₃	E ₃₂₄ v ₃₂₄	E ₃₂₅ v ₃₂₅	E ₃₂₆ v ₃₂₆	E ₃₂₇ v ₃₂₇	E ₃₂₈ v ₃₂₈	E ₃₂₉ v ₃₂₉	E ₃₃₀ v ₃₃₀	E ₃₃₁ v ₃₃₁	E ₃₃₂ v ₃₃₂	E ₃₃₃ v ₃₃₃	E ₃₃₄ v ₃₃₄	E ₃₃₅ v ₃₃₅	E ₃₃₆ v ₃₃₆	E ₃₃₇ v ₃₃₇	E ₃₃₈ v ₃₃₈	E ₃₃₉ v ₃₃₉	E ₃₄₀ v ₃₄₀	E ₃₄₁ v ₃₄₁	E ₃₄₂ v ₃₄₂	E ₃₄₃ v ₃₄₃	E ₃₄₄ v ₃₄₄	E ₃₄₅ v ₃₄₅	E ₃₄₆ v ₃₄₆	E ₃₄₇ v ₃₄₇	E ₃₄₈ v ₃₄₈	E ₃₄₉ v ₃₄₉	E ₃₅₀ v ₃₅₀	E ₃₅₁ v ₃₅₁	E ₃₅₂ v ₃₅₂	E ₃₅₃ v ₃₅₃	E ₃₅₄ v ₃₅₄	E ₃₅₅ v ₃₅₅	E ₃₅₆ v ₃₅₆	E ₃₅₇ v ₃₅₇	E ₃₅₈ v ₃₅₈	E ₃₅₉ v ₃₅₉	E ₃₆₀ v ₃₆₀	E ₃₆₁ v ₃₆₁	E ₃₆₂ v ₃₆₂	E ₃₆₃ v ₃₆₃	E ₃₆₄ v ₃₆₄	E ₃₆₅ v ₃₆₅	E ₃₆₆ v ₃₆₆	E ₃₆₇ v ₃₆₇	E ₃₆₈ v ₃₆₈	E ₃₆₉ v ₃₆₉	E ₃₇₀ v ₃₇₀	E ₃₇₁ v ₃₇₁	E ₃₇₂ v ₃₇₂	E ₃₇₃ v ₃₇₃	E ₃₇₄ v ₃₇₄	E ₃₇₅ v ₃₇₅	E ₃₇₆ v ₃₇₆	E ₃₇₇ v ₃₇₇	E ₃₇₈ v ₃₇₈	E ₃₇₉ v ₃₇₉	E ₃₈₀ v ₃₈₀	E ₃₈₁ v ₃₈₁	E ₃₈₂ v ₃₈₂	E ₃₈₃ v ₃₈₃	E ₃₈₄ v ₃₈₄	E ₃₈₅ v ₃₈₅	E ₃₈₆ v ₃₈₆	E ₃₈₇ v ₃₈₇	E ₃₈₈ v ₃₈₈	E ₃₈₉ v ₃₈₉	E ₃₉₀ v ₃₉₀	E ₃₉₁ v ₃₉₁	E ₃₉₂ v ₃₉₂	E ₃₉₃ v ₃₉₃	E ₃₉₄ v ₃₉₄	E ₃₉₅ v ₃₉₅	E ₃₉₆ v ₃₉₆	E ₃₉₇ v ₃₉₇	E ₃₉₈ v ₃₉₈	E ₃₉₉ v ₃₉₉	E ₄₀₀ v ₄₀₀	E ₄₀₁ v ₄₀₁	E ₄₀₂ v ₄₀₂	E ₄₀₃ v ₄₀₃	E ₄₀₄ v ₄₀₄	E ₄₀₅ v ₄₀₅	E ₄₀₆ v ₄₀₆	E ₄₀₇ v ₄₀₇	E ₄₀₈ v ₄₀₈	E ₄₀₉ v ₄₀₉	E ₄₁₀ v ₄₁₀	E ₄₁₁ v ₄₁₁	E ₄₁₂ v ₄₁₂	E ₄₁₃ v ₄₁₃	E ₄₁₄ v ₄₁₄	E ₄₁₅ v ₄₁₅	E ₄₁₆ v ₄₁₆	E ₄₁₇ v ₄₁₇	E ₄₁₈ v ₄₁₈	E ₄₁₉ v ₄₁₉	E ₄₂₀ v ₄₂₀	E ₄₂₁ v ₄₂₁	E ₄₂₂ v ₄₂₂	E ₄₂₃ v ₄₂₃	E ₄₂₄ v ₄₂₄	E ₄₂₅ v ₄₂₅	E ₄₂₆ v ₄₂₆	E ₄₂₇ v ₄₂₇	E ₄₂₈ v ₄₂₈	E ₄₂₉ v ₄₂₉	E ₄₃₀ v ₄₃₀	E ₄₃₁ v ₄₃₁	E ₄₃₂ v ₄₃₂	E ₄₃₃ v ₄₃₃	E ₄₃₄ v ₄₃₄	E ₄₃₅ v ₄₃₅	E ₄₃₆ v ₄₃₆	E ₄₃₇ v ₄₃₇	E ₄₃₈ v ₄₃₈	E ₄₃₉ v ₄₃₉	E ₄₄₀ v ₄₄₀	E ₄₄₁ v ₄₄₁	E ₄₄₂ v ₄₄₂	E ₄₄₃ v ₄₄₃	E ₄₄₄ v ₄₄₄	E ₄₄₅ v ₄₄₅	E ₄₄₆ v ₄₄₆	E ₄₄₇ v ₄₄₇	E ₄₄₈ v ₄₄₈	E ₄₄₉ v ₄₄₉	E ₄₅₀ v ₄₅₀	E ₄₅₁ v ₄₅₁	E ₄₅₂ v ₄₅₂	E ₄₅₃ v ₄₅₃	E ₄₅₄ v ₄₅₄	E ₄₅₅ v ₄₅₅	E ₄₅₆ v ₄₅₆	E ₄₅₇ v ₄₅₇	E ₄₅₈ v ₄₅₈	E ₄₅₉ v ₄₅₉	E ₄₆₀ v ₄₆₀	E ₄₆₁ v ₄₆₁	E ₄₆₂ v ₄₆₂	E ₄₆₃ v ₄₆₃	E ₄₆₄ v ₄₆₄	E ₄₆₅ v ₄₆₅	E ₄₆₆ v ₄₆₆	E ₄₆₇ v ₄₆₇	E ₄₆₈ v ₄₆₈	E ₄₆₉ v ₄₆₉	E ₄₇₀ v ₄₇₀	E ₄₇₁ v ₄₇₁	E ₄₇₂ v ₄₇₂	E ₄₇₃ v ₄₇₃	E ₄₇₄ v ₄₇₄	E ₄₇₅ v ₄₇₅	E ₄₇₆ v ₄₇₆	E ₄₇₇ v ₄₇₇	E ₄₇₈ v ₄₇₈	E ₄₇₉ v ₄₇₉	E ₄₈₀ v ₄₈₀	E ₄₈₁ v ₄₈₁	E ₄₈₂ v ₄₈₂	E ₄₈₃ v ₄₈₃	E ₄₈₄ v ₄₈₄	E ₄₈₅ v ₄₈₅	E ₄₈₆ v ₄₈₆	E ₄₈₇ v ₄₈₇	E ₄₈₈ v ₄₈₈	E ₄₈₉ v ₄₈₉	E ₄₉₀ v ₄₉₀	E ₄₉₁ v ₄₉₁	E ₄₉₂ v ₄₉₂	E ₄₉₃ v ₄₉₃	E ₄₉₄ v ₄₉₄	E ₄₉₅ v ₄₉₅	E ₄₉₆ v ₄₉₆	E ₄₉₇ v ₄₉₇	E ₄₉₈ v ₄₉₈	E ₄₉₉ v ₄₉₉	E ₅₀₀ v ₅₀₀	E ₅₀₁ v ₅₀₁	E ₅₀₂ v ₅₀₂	E ₅₀₃ v ₅₀₃	E ₅₀₄ v ₅₀₄	E ₅₀₅ v ₅₀₅	E ₅₀₆ v ₅₀₆	E ₅₀₇ v ₅₀₇	E ₅₀₈ v ₅₀₈	E ₅₀₉ v ₅₀₉	E ₅₁₀ v ₅₁₀	E ₅₁₁ v ₅₁₁	E ₅₁₂ v ₅₁₂	E ₅₁₃ v ₅₁₃	E ₅₁₄ v ₅₁₄	E ₅₁₅ v ₅₁₅	E ₅₁₆ v ₅₁₆	E ₅₁₇ v ₅₁₇	E ₅₁₈ v ₅₁₈	E ₅₁₉ v ₅₁₉	E ₅₂₀ v ₅₂₀	E ₅₂₁ v ₅₂₁	E ₅₂₂ v ₅₂₂	E ₅₂₃ v ₅₂₃	E ₅₂₄ v ₅₂₄	E ₅₂₅ v ₅₂₅	E ₅₂₆ v ₅₂₆	E ₅₂₇ v ₅₂₇	E ₅₂₈ v ₅₂₈	E ₅₂₉ v ₅₂₉

zurück zum ersten Diagramm der Relation

[illegible]

[illegible]

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

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

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

[illegible]

[illegible]

zurück zum ersten Diagramm der Relation

Relation 15

Mannheim - Basel

Hin+Rück

GE
US

US
GE

Energieaufwendungen [MJ]										CO ₂ [g]					NO _x [mg]					CO [mg]					CH ₄ [mg]					VOC [mg]					Benzol [mg]					Partikel [mg]					Kollektivdosis [PersSV]															
Wegst. 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				
	Kraft-wert	direkt	Energie-bereit	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr.-uktur	Σ G-E-SAMT	direkt	Energie-bereit	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr.-uktur	Σ G-E-SAMT	direkt	Energie-bereit	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr.-uktur	Σ G-E-SAMT	direkt	Energie-bereit	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr.-uktur	Σ G-E-SAMT	direkt	Energie-bereit	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr.-uktur	Σ G-E-SAMT	direkt	Energie-bereit	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr.-uktur	Σ G-E-SAMT	direkt	Energie-bereit	Σ antr.-bed.	Fahr-zeuge	Infrastr.-uktur	Σ G-E-SAMT	Energiebereitswert																
514	0	149	385	534	29	101	663	0	14524	14524	1892	5846	2262	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										
506	23420	1020	333	1353	548	36	1937	74367	22952	97310	35359	3332	136001	242961	93320	336282	85171	8385	427817	72142	27827	99598	149014	11362	260345	6349	121074	127422	102095	6673	236180	735488	537789	1073277	182892	161699	1417868	1842	2325	4267	284	5	4556	0	14821	14821	51341	6388	72560	0.0E+00										
	11710	510	167	676	274	18	969	37179	11476	48655	17680	1666	68000	121461	46660	168141	41585	4182	213913	36071	13913	49984	75507	5681	133172	3174	60337	63711	51042	3338	118090	867744	168894	336638	91446	80849	708934	971	3162	5134	142	3	2278	0	7410	7410	25670	3199	36280	0.0E+00										
	7807	340	111	451	183	12	646	24786	7651	32437	11786	1111	45334	80987	31107	112094	27724	2795	142612	24041	49671	3787	86782	2116	40358	42474	34028	2224	78727	245183	112596	367759	60964	53900	472623	647	775	1422	95	2	1519	0	4940	4940	17114	2133	24187	0.0E+00												
	5855	255	83	338	137	8	484	18589	5738	24327	8840	833	34000	60740	23320	84070	30793	2096	106959	18035	8957	24992	37254	2841	65086	1587	30298	31856	25521	1668	59045	183872	84447	268319	45723	40425	354467	486	581	1067	71	1	1139	0	3705	3705	12835	1600	18140	0.0E+00										
	21768	830	214	1144	548	35	1728	69315	12900	82015	35359	3332	120709	208772	70190	127440	63171	8385	371031	112329	24196	37436	148014	11362	151812	286	102659	102659	102095	6673	200709	84664	167024	371457	182892	161699	1716219	275	218	402	284	5	781	27469	9722	27201	51343	6388	98400	0.0E+00										
	10884	465	107	572	274	18	864	34557	6450	41007	17680	1666	60353	104636	35095	139731	41585	4192	185500	6620	13098	18718	74507	5681	98906	143	50333	50476	51042	3336	104854	42302	143512	195814	91446	80849	358109	137	109	246	142	3	391	13734	4886	18600	25670	3199	47470	0.0E+00										
514	23420	1020	333	1353	548	36	1937	74367	22952	97310	35359	3332	136001	242961	93320	336282	85171	8385	427817	72142	27827	99598	149014	11362	260345	6349	121074	127422	102095	6673	236180	735488	537789	1073277	182892	161699	1417868	1842	2325	4267	284	5	4556	0	14821	14821	51341	6388	72560	0.0E+00										
	11710	510	167	676	274	18	969	37179	11476	48655	17680	1666	68000	121461	46660	168141	41585	4182	213913	36071	13913	49984	75507	5681	133172	3174	60337	63711	51042	3338	118090	867744	168894	336638	91446	80849	708934	971	3162	5134	142	3	2278	0	7410	7410	25670	3199	36280	0.0E+00										
	7807	340	111	451	183	12	646	24786	7651	32437	11786	1111	45334	80987	31107	112094	27724	2795	142612	24041	49671	3787	86782	2116	40358	42474	34028	2224	78727	245183	112596	367759	60964	53900	472623	647	775	1422	95	2	1519	0	4940	4940	17114	2133	24187	0.0E+00												
	5855	255	83	338	137	8	484	18589	5738	24327	8840	833	34000	60740	23320	84070	30793	2096	106959	18035	8957	24992	37254	2841	65086	1587	30298	31856	25521	1668	59045	183872	84447	268319	45723	40425	354467	486	581	1067	71	1	1139	0	3705	3705	12835	1600	18140	0.0E+00										
	21768	830	214	1144	548	35	1728	69315	12900	82015	35359	3332	120709	208772	70190	127440	63171	8385	371031	112329	24196	37436	148014	11362	151812	286	102659	102659	102095	6673	200709	84664	167024	371457	182892	161699	1716219	275	218	402	284	5	781	27469	9722	27201	51343	6388	98400	0.0E+00										
	10884	465	107	572	274	18	864	34557	6450	41007	17680	1666	60353	104636	35095	139731	41585	4192	185500	6620	13098	18718	74507	5681	98906	143	50333	50476	51042	3336	104854	42302	143512	195814	91446	80849	358109	137	109	246	142	3	391	13734	4886	18600	25670	3199	47470	0.0E+00										
506	23420	1020	333	1353	548	36	1937	74367	22952	97310	35359	3332	136001	242961	93320	336282	85171	8385	427817	72142	27827	99598	149014	11362	260345	6349	121074	127422	102095	6673	236180	735488	537789	1073277	182892	161699	1417868	1842	2325	4267	284	5	4556	0	14821	14821	51341	6388	72560	0.0E+00										
	11710	510	167	676	274	18	969	37179	11476	48655	17680	1666	68000	121461	46660	168141	41585	4182	213913	36071	13913	49984	75507	5681	133172	3174	60337	63711	51042	3338	118090	867744	168894	336638	91446	80849	708934	971	3162	5134	142	3	2278	0	7410	7410	25670	3199	36280	0.0E+00										
	7807	340	111	451	183	12	646	24786	7651	32437	11786	1111	45334	80987	31107	112094	27724	2795	142612	24041	49671	3787	86782	2116	40358	42474	34028	2224	78727	245183	112596	367759	60964	53900	472623	647	775	1422	95	2	1519	0	4940	4940	17114	2133	24187	0.0E+00												
	5855	255	83	338	137	8	484	18589	5738	24327	8840	833	34000	60740	23320	84070	30793	2096	106959	18035	8957	24992	37254	2841	65086	1587	30298	31856	25521	1668	59045	183872	84447	268319	45723	40425	354467	486	581	1067	71	1	1139	0	3705	3705	12835	1600	18140	0.0E+00										
	21768	830	214	1144	548	35	1728	69315	12900	82015	35359	3332	120709	208772	70190	127440	63171	8385	371031	112329	24196	37436	148014	11362	151812	286	102659	102659	102095	6673	200709	84664	167024	371457	182892	161699	1716219	275	218	402	284	5	781	27469	9722	27201	51343	6388	98400	0.0E+00										
	10884	465	107	572	274	18	864	34557	6450	41007	17680	1666	60353	104636	35095	139731	41585	4192	185500	6620	13098	18718	74507	5681	98906	143	50333	50476	51042	3336	104854	42302	143512	195814	91446	80849	358109	137	109	246	142	3	391	13734	4886	18600	25670	3199	47470	0.0E+00										
514	23420	1020	333	1353	548	36	1937	74367	22952	97310	35359	3332	136001	242961	93320	336282	85171	8385	427817	72142	27827	99598	149014	11362	260345	6349	121074	127422	102095	6673	236180	735488	537789	1073277	182892	161699	1417868	1842	2325	4267	284	5	4556	0	14821	14821	51341	6388	72560	0.0E+00										
	11710	510	167	676	274	18	969	37179	11476	48655	17680	1666	68000	121461	46660	168141	41585	4182	213913	36071	13913	49984	75507	5681	133172	3174	60337	63711	51042	3338	118090	867744	168894	336638	91446	80849	708934	971	3162	5134	142	3	2278	0	7410	7410	25670	3199	36280	0.0E+00										
	7807	340	111	451	183	12	646	24786	7651	32437	11786	1111	45334	80987	31107	112094	27724	2795	142612	24041	49671	3787	86782	2116	40358	42474	34028	2224	78727	245183	112596	367759	60964	53900	472623	647	775	1422	95	2	1519	0	4940	4940	17114	2133	24187	0.0E+00												
	5855	255	83	338	137	8	484	18589	5738	24327	8840	833	34000	60740	23320	84070	30793	2096	106959	18035	8957	24992	37254	2841	65086	1587	30298	31856	25521	1668	59045	183872	84447	268319	45723	40425	354467	486	581	1067	71	1	1139	0	3705	3705	12835	1600	18140	0.0E+00										
	21768	830	214	1144	548	35	1728	69315	12900	82015	35359	3332	120709	208772	70190	127440	63171	8385	371031	112329	24196	37436	148014	11362	151812	286	102659	102659	102095	6673	200709	84664	167024	371457	182892	161699	1716219	275	218	402	284	5	781	27469	9722	27201	51343	6388	98400	0.0E+00										
	10884	465	107	572	274	18	864	34557	6450																																																			

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

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	
1	Stuttgart-Möhringen --> > Stuttgart: Berliner Platz	Pkw (Benzin)	0:50	1:30	3,68	5,81	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	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	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	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	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	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	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	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	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 --> Tuttlingen	Pkw (Benzin)	1:08	1:22	6,43	6,84	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	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	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	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	
14	Stuttgart-Möhringen --> > Mannheim	Pkw (Benzin)	2:58	4:58	35,07	46,76	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	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	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