

IZT

Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung

Emissionsminderungspotentiale durch den verstärkten Einsatz von Erdgas in Berlin 1995-2010

Dr. Reinhard Grünwald, Michael Knoll,
Prof. Dr. Rolf Kreibich, Ralf Pfitzner

Werkstattbericht Nr. 40



Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung
Institute for Futures Studies and Technology Assessment

Berlin, Dezember 1999

ISBN 3-929173-40-9

© 1999 IZT

Werkstattbericht Nr. 40

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Emissionsminderungspotentiale durch den verstärkten Einsatz von Erdgas in Berlin 1995-2010 /
IZT, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. Reinhard Grünwald – Berlin : IZT,
1999

(Werkstattbericht / IZT, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung ; Nr. 40)
ISBN 3-929173-40-9

© 1999 **IZT** by Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. – Berlin

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Photokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

Inhalt	Seite
1 Einleitung Fehler! Textmarke nicht definiert.	
2 Emissionsminderungspotentiale des Wärmemarktes 1995-2010	9
2.1 Vorbemerkung	9
2.2 Untersuchungsziele.....	10
2.3 Methodisches Vorgehen	11
2.4 Emissionen des Wärmemarktes 1995.....	14
2.5 Emissionen des Wärmemarktes 2010.....	18
2.6 Emissionsreduktionen durch Substitution	21
3 Emissionsminderungen durch die vorzeitige Umstellung von Stadt- auf Erdgas	28
3.1 Planung und tatsächlicher Verlauf der Erdgasumstellung.....	28
3.2 Emissionsminderungen durch die vorzeitige Umstellung auf Erdgas.....	30
4 Emissionsminderungen durch die Netzsanierung	34
5 Emissionsminderungspotentiale durch den Einsatz erdgasbetriebener Fahrzeuge	36
5.1 Einführung	36
5.2 Emissionen in vorgelagerten Prozeßketten.....	38
Prozeßkette Erdöl	38
Prozeßkette Erdgas	41
5.3 Emissionen aus dem Betrieb der Fahrzeuge	45
5.4 Rahmenbedingungen für das Szenario: Verstärkter Einsatz von Erdgasbussen	54
5.5 Ergebnisse.....	55
6 Tabellen-Anhang (A)	59

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Wärmemarkt 1995 nach Energieträgereinsatz sowie spezifischen und absoluten CO ₂ -Emissionen	16
Tab. 2-2:	Prozentuale Verteilung am Wärmemarkt und Emissionen nach Energieträgern.....	17
Tab. 2-3:	Emissionen der Berliner Fernwärmenetze (incl. Verteilungsverluste).....	18
Tab. 2-4:	Wärmemarkt 2010 nach Energieträgereinsatz sowie spezifischen und absoluten CO ₂ -Emissionen	20
Tab. 2-5:	Emissionsanteil bezogen auf Marktanteil.....	21
Tab. 2-6:	Annahmen zur jährlichen Energieeinsparung 1995-2010	22
Tab. 2-7:	Emissionsveränderungen durch Substitutionen bereinigt um Effizienz auf dem Wärmemarkt im Jahr 2010	26
Tab. 2-8:	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen in Berlin (1.000 t).....	27
Tab..3-1:	Geplante Erdgasumstellung in Berlin (West).....	28
Tab. 3-2:	Verlauf der tatsächlichen Umstellung auf Erdgas	29
Tab. 3-3:	Energieträgereinsatz für die Stadtgasproduktion 1991	31
Tab.3-4:	Emissionen der Vorkette für die Stadtgaserzeugung 1991	31
Tab..3-5:	Substitutionseffekt 1991	32
Tab..4-1:	Emissionsminderungen durch Netzsanierung Ost	34
Tab. 5-1:	Gewichtungsfaktoren für Raffinerieprodukte.....	39
Tab.5-2:	Emissionsfaktoren für die Prozeßketten Benzin, Dieselkraftstoff.....	41
Tab. 5-3:	Emissionsfaktoren für die Prozeßkette Erdgas Berlin	43
Tab. 5-4:	Energieträgereinsatz zur Stromerzeugung in Berlin.....	43

Tab. 5-5: Emissionsfaktoren für die Strombereitstellung in Berlin	44
Tab. 5-6: Emissionsfaktoren für die Betankung eines Fahrzeugs (je MWh Erdgas).....	44
Tab. 5-7: Emissionsfaktoren für die Vorkette Erdgas Berlin inkl. Betankung (je MWh Erdgas).....	44
Tab. 5-8: Emissionen von Dieselfahrzeugen (Busse, LKW) im 13-Punkte-Test in g/kWh	46
Tab. 5-9: Emissionen von CNG-Fahrzeugen (Busse, LKW) im 13-Punkte-Test in g/kWh	47
Tab. 5-10: Emissionsfaktoren (HC, CH ₄ , Benzol, NO _x , PM, Ruß) für den Fahrzeugbetrieb	48
Tab. 5-11: Emissionsfaktoren (CO ₂ , SO ₂) für den Fahrzeugbetrieb.....	48
Tab. 5-12: Verbrauchsdaten der Fahrzeuge.....	49
Tab. 5-13: Emissionsdaten je 100 km Fahrleistung	50
Tab. 5-14: Flottenvergleich, Schadstoffausstoß bei Jahreslaufleistung 60.000 km	56
Tab. A-H.4-1 bis A-H.5-4: im Anhang.....	ab S. 60

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Struktur des Wärmemarktes im Sektor Kleinverbrauch unter Berücksichtigung der Aufteilung von Raum- und Prozeßwärme sowie von Anlagenart, -alter und -wirkungsgrad sowie Energieträger	13
Abb. 2-2:	Struktur des Wärmemarktes im Sektor Industrie unter Berücksichtigung der Aufteilung von Raum- und Prozeßwärme sowie von Anlagenart, -alter und -wirkungsgrad sowie Energieträger	14
Abb. 2-3:	Wärmemarkt 1995 nach Energieträgern (Endenergie).....	15
Abb. 2-4:	Anteile der CO ₂ -Emissionen am Wärmemarkt 1995 nach Energieträgern	15
Abb. 2-5:	Wärmemarkt 2010 nach Energieträgern.....	19
Abb. 2-6:	Anteile der CO ₂ -Emissionen am Wärmemarkt 2010 nach Energieträgern	19
Abb. 2-7:	Szenario Veränderung des Wärmebedarfs im Sektor Haushalte durch Effizienz	23
Abb. 2-9:	Erdgas-Substitutionspotential im Sektor Haushalte.....	24
Abb. 3-1:	Geplante und tatsächliche Erdgasumstellung in Berlin.....	30
Abb. 3-2:	Jährliche Emissionsminderungen durch die vorzeitige Umstellung von Stadt- auf Erdgas	33
Abb. 5-2:	Prozeßkette Erdgas	42
Abb. 5-3:	Emissionsfaktoren für die Vorkette Erdgas Berlin inkl. Betankung (je GWh Erdgas).....	45
Abb. 5-4:	Betriebsemissionen je 100 km Fahrleistung ohne Vorkette.....	51
Abb. 5-5:	Emissionen je 100 km Fahrleistung inklusive Vorkette.....	51
Abb. 5-6:	Aufteilung der Emissionen bei der CNG-Standardvariante	52

Abb. 5-7: Aufteilung der Emissionen bei der CNG-Bestvariante53

Abb. 5-8: Emissionen (Ruß, Benzol) je 100 km Fahrleistung.....53

Abb. 5-9: Prozentuale Emissionsreduktion im Vergleich56

1. Einleitung

Mit dem nachfolgenden Bericht wird eine Studie des Instituts für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) im Auftrag des Berliner Gasversorgers GASAG dokumentiert, in der es um die Standortbestimmung und die zukunftsweisende Orientierung des Unternehmens vor dem Hintergrund der energiepolitischen Anforderungen des Landes Berlin ging. Hierbei spielten vor allem die neuen Rahmenbedingungen, in erster Linie die sich abzeichnende Liberalisierungsregelung der Energiemärkte in der EU und die spezifischen Herausforderungen eines in beiden Stadthälften agierenden Unternehmens, das sich zielstrebig vom reinen Gasversorger zum Dienstleister entwickelt.

Die Untersuchung fand im Zeitraum 1997 bis 1998 statt. In einem iterativen Verfahren wurden zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zunächst die für das Unternehmen relevanten Herausforderungen, Problemlagen und allgemeinen Entwicklungsperspektiven skizziert. Anschließend wurden die aus Sicht des IZT notwendigen Schritte in eine ökonomisch gefestigte und ökologisch orientierte Zukunft in Form von Handlungsempfehlungen entwickelt und mit dem Auftraggeber hinsichtlich ihrer Umsetzungsfähigkeit und –notwendigkeit rückgekoppelt.

Im Bericht sind selbstverständlich eine Reihe zeitbezogener Aussagen enthalten, beispielsweise zu unausgeschöpften Handlungspotentialen der GASAG als Dienstleister. Dass diese sich heute – Ende 1999 – schon erheblich anders darstellen können, liegt an der enormen Dynamik im gesamten Energiesektor. Wir haben auf Aktualisierungen bewusst verzichtet, weil der Bericht als zeit- und problembezogenes Dokument aussagekräftig bleibt. Gerade der Wandlungsprozeß vom Energieversorger zum Energiedienstleister hat ja erst jetzt richtig begonnen.

Der Werkstattbericht Nr. 40 behandelt in erster Linie die ökologischen Aspekte eines verstärkten Gaseinsatzes bis zum Jahr 2010 und den Beitrag der GASAG zur Verwirklichung des Berliner Energiekonzeptes. Der Werkstattbericht Nr. 39 enthält die Teile I bis III der Untersuchung, in denen die energiepolitischen Rahmenbedingungen und die unternehmenspolitischen Entwicklungsperspektiven im Vordergrund stehen.

Die Verfasser Reinhard Grünwald
Michael Knoll
Rolf Kreibich
Ralf Pfitzner

1 Emissionsminderungspotentiale des Wärmemarktes 1995-2010

1.1 Vorbemerkung

In diesem Abschnitt werden die Emissionsminderungspotentiale des Wärmemarktes in Berlin durch den verstärkten Einsatz von Erdgas dargestellt. Die Darstellung umfaßt den Zeitraum von 1995 bis 2010.

- Eine der wesentlichen Grundlagen für die Emissionsberechnungen bildet die Prognos-Studie zur Verlaufsentwicklung des Wärmemarktes in Berlin. Die in dieser Studie getroffenen prognostischen Aussagen für den Wärmemarkt im Jahr 2010 im Hinblick auf die Struktur des Energieträgereinsatzes etc. wirken unmittelbar auf die Aussagen, die im weiteren seitens des IZT hinsichtlich der Emissionen getroffen werden können.
- Aussagen über einen Zeitraum von 15 Jahren sind mit Unsicherheiten verbunden. Prognosen über die Zukunft können nicht mehr sein als plausible Wenn-Dann-Aussagen, die auf den zugrunde liegenden Prämissen beruhen. Neben diesen Voraussetzungen, die z.T. durch die Prognos-Studie vorgegeben sind, waren im Hinblick auf die Emissionsentwicklung des Jahres 2010 deshalb insbesondere Annahmen zur Geräteausstattung bzw. Fernwärmeerzeugungsstruktur zu treffen. Diese Prämissen sind wiederum abhängig von den von Prognos getroffenen Annahmen hinsichtlich der Energieträgeranteile am Wärmemarkt sowie den unterstellten der Effizienzsteigerungen im Untersuchungszeitraum.
- Vor diesem Hintergrund muss immer bedacht werden, dass die ausgewiesenen Ergebnisse nicht mehr sein können als die in sich plausible Beschreibung einer möglichen Entwicklung. Zukunft ist immer gestaltbar, und deshalb sind die im weiteren dargestellten Ergebnisse keine festgeschriebenen Größen, sondern Trendaussagen auf der Grundlage der getroffenen Annahmen und Erwartungen. Veränderte Randbedingungen im Unternehmen oder in der Energie- und Umweltpolitik würden die Prognoseergebnisse unmittelbar berühren.

1.2 Untersuchungsziele

Ziel dieser Studie ist es, auf der Grundlage der Prognos-Studie '96 für die GASAG, die die Entwicklung des Wärmemarktes in den Jahren 1995 bis 2010 ausweist, die Emissionsminderungen durch den verstärkten Einsatz von Erdgas darzustellen. Für die Berechnungen wurden die Verbrauchsdaten der Prognos-Studie verwendet, auch wenn bereits absehbar war, dass Teile der prognostizierten energierelevanten Entwicklungen, insbesondere die der Bevölkerung¹, anders verlaufen als 1996 von Prognos angenommen. Um die Kongruenz der Ergebnisse zu wahren und die Kompatibilität der Daten beider Studien herzustellen, wurden die von Prognos getroffenen Annahmen und ermittelten Daten - in Abstimmung mit dem Auftraggeber - zum Ausgangspunkt der Berechnungen gewählt.

Die Ermittlung der Emissionen 1995 erfolgt in Kapitel **2.4** zunächst durch Zuordnung der spezifischen Emissionswerte von Energietechniken zur Wärmeversorgung. Auf der Basis von Strukturdaten zum Wohnungsbestand, zu Büro- und Gewerbeflächen, der Heizungsstruktur, von Wärmeerzeugungsanlagen und Wirkungsgraden sowie zum Energieträgereinsatz erfolgt die Verknüpfung mit den Prognos-Daten.

In Kapitel **2.5** werden die Emissionen 2010 dargestellt und in Kapitel **2.6** werden Emissionsreduktionen ausgewiesen, die die GASAG aufgrund von Substitutionen für sich reklamieren kann.

Wegen der besseren Lesbarkeit des Textes wurde die Mehrzahl der Tabellen in den Anhang gestellt und nur zusammenfassende, den Text erläuternde Schaubilder und Tabellen integriert.

Im Anhang sind in den Tabellen A-H.4-1 bis A-H.4-7 für die einzelnen Sektoren (Haushalte, Kleinverbrauch und Industrie) sowie für den gesamten Wärmemarkt die Emissionen für 1995 ausgewiesen.

¹ die LBS-Studie zur Bevölkerungsentwicklung (1997) geht von einer Verringerung der Wohnbevölkerung in Berlin zwischen den Jahren 1995 bis 2010 um ca. 400 Tsd. Personen aus, während Prognos einen Anstieg im gleichen Zeitraum von ca. 110 Tsd. Personen annimmt. Unterstützt werden die Tendenzaussagen die LBS-Studie durch Erhebungen des Statistischen Landesamtes, wonach im 1. Halbjahr 1997 erstmals ein negativer Wanderungssaldo in Berlin zu verzeichnen ist.

In den Tabellen A-H.5-1 bis A-H.5-4 werden die Emissionen auf dem Wärmemarkt des Jahres 2010 dargestellt.

1.3 Methodisches Vorgehen

Den Rahmen für die Abschätzung der Emissionsdaten der Prozeßketten² der Wärmemärkte Berlin 1995 und Berlin 2010 bilden die aus der Prognos-Studie zur Verfügung gestellten Strukturdaten der Wärmemärkte im Hinblick auf den Energieträgereinsatz und die sektorale Verteilung. Darüber hinaus lagen aus der Prognos-Studie energierelevante Daten hinsichtlich der Bevölkerungsentwicklung, der Wohnraumentwicklung (qm/Whg, Wohnfläche/Einw., Personen/Haushalt, Wohnungsbestand nach Alters- und Beheizungsstruktur) und der Wirtschaftsentwicklung (Erwerbsquote, Erwerbstätige, Produktivität, Bruttowertschöpfung) vor. Sie sind vereinbarungsgemäß als feste Vorgaben anzusehen.

Andere energierelevante Daten, die für die Berechnung der Emissionen von grundlegender Bedeutung sind, wurden amtlichen Statistiken und veröffentlichten Zahlen in den Fachzeitschriften der Verbände entnommen (vgl. Fußnoten 3, 4 und 6) bzw. durch eigene Berechnungen erschlossen. Das zur Verfügung stehende Datenmaterial nach Prognos und das der amtlichen Statistik weist bei den Wohndaten Strukturunterschiede auf, so dass vom IZT Abschätzungen insbesondere bei der Zuordnung von Wohneinheiten zu Fernwärmenetzen vorgenommen werden mussten. Für West-Berlin liegen als neueste statistische Daten, die Gebäude- sowie Heizungs- und Energiedaten verknüpfen, die Ergebnisse der Gebäude- und Wohnungsstichprobe 1993³ vor. Die neues-

² Die Emissionen werden mit Hilfe des Software-Programmes „Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 3.0 errechnet. Die Software wurde an die Berliner Randbedingungen angepasst. D.h. es wurden für die Prozeßketten der jeweiligen Wärmeanlagen Modifizierungen gegenüber den Standardannahmen in GEMIS vorgenommen. Modifiziert wurden der Berliner Gas-Mix, entsprechend den Angaben der GASAG sowie der Kohlebezug. Ebenso wurde der Berliner Strom-Mix eingesetzt (vgl. Matthes 1996).

³ Statistisches Landesamt Berlin, Gebäude und Wohnungen in Berlin im September 1993. Ergebnisse der Gebäude- und Wohnungsstichprobe, Berlin 12/1995

ten für Ost-Berlin verfügbaren Daten des Statistischen Landesamtes stammen vom Dezember 1996⁴.

Der Sektor **Haushalte** wurde anhand folgender Annahmen modelliert: Den **fernwärmeversorgten** Wohneinheiten in Ein/Zwei- und Mehrfamilienhäusern wurden unter Berücksichtigung von Gebäudealter und Wohnungsgröße spezifische Energiebedarfe zugeordnet. Die Gesamtzahl der fernwärmebeheizten Wohnungen (nach Prognos) wurde auf die einzelnen Fernwärmenetze (Nord, Süd, Rudow, Mitte, Ost und Buch sowie Neukölln, Märkisches Viertel und EAB) verteilt. Hierzu wurden Daten des Statistischen Landesamtes für die Bezirke verwendet. Daraus läßt sich dann der Arbeitsanteil der jeweiligen Netze⁵ an der Fernwärmeversorgung berechnen (vgl. Tab. A-H.4-1). Jedes Netz wurde analog des jeweiligen Energieträgereinsatzes und (bei Kraft-Wärme-Kopplung) gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Stromgutschriften mit Emissionen bewertet. **Strom**versorgte Wohneinheiten werden mit den Emissionen des Berliner Strom-Mixes belastet. Die **gas-** und **öl**beheizten Wohnungen wurden typische Wärmeerzeugungsanlagen zugeordnet. Den derart modellierten Anlagenpark findet man in Tabelle A-H.4-3. Für die Anlagen wurden typische Anlagenalter und -wirkungsgrade angenommen⁶ und mit entsprechenden Emissionen (vgl. Tab. A-H.4-2) bewertet. Bei **Kohleeinzel-** und **-sammelheizungen** wurden die Emissionsdaten von GEMIS übernommen, unter Berücksichtigung der Herkunft der eingesetzten Kohle

Die Modellierung des Sektors **Kleinverbrauch** erfolgt entsprechend der schematischen Darstellung in Abb.2-1.

⁴ Statistisches Landesamt Berlin, Gebäude- und Wohnungszählung in den Bezirken von Berlin-Ost am 30.September 1995. Erste Ergebnisse, Berlin 12/1996

⁵ Das GuD-Mitte findet für 1995 keine Berücksichtigung, weil es noch nicht in Betrieb war.

⁶ vgl. Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks für 1996, in: Schornsteinfegerhandwerk 6/97

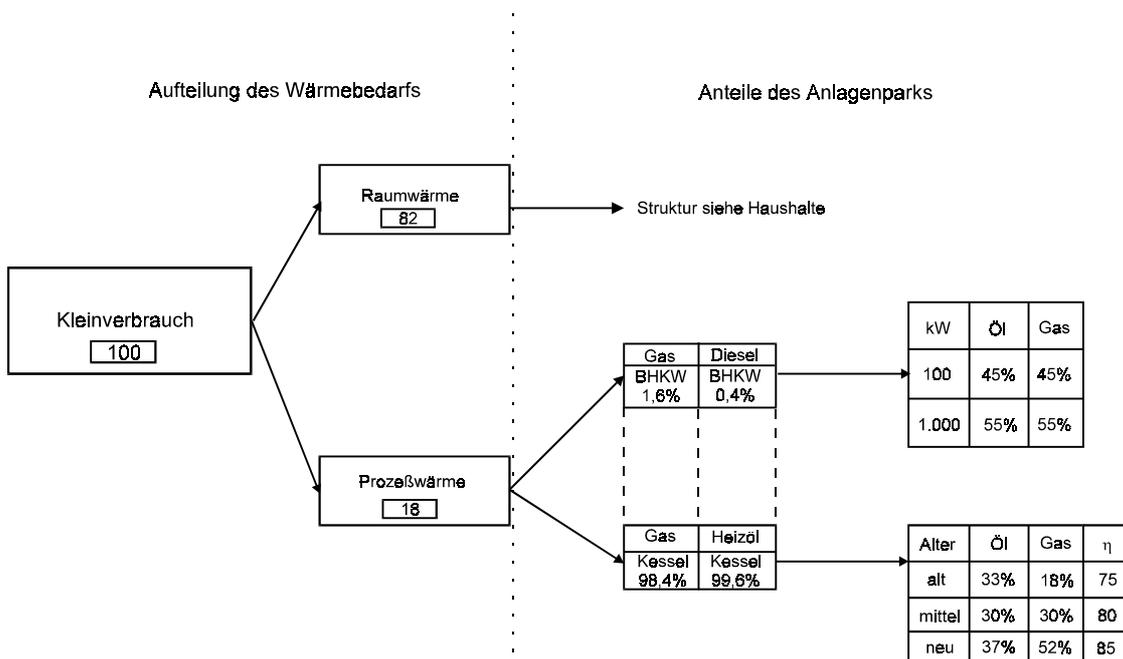


Abb. 2-1: Struktur des Wärmemarktes im Sektor Kleinverbrauch unter Berücksichtigung der Aufteilung von Raum- und Prozeßwärme sowie von Anlagenart, -alter und -wirkungsgrad sowie Energieträger

Es wird davon ausgegangen, dass 82% des Wärmebedarfs im Sektor Kleinverbrauch analog der Bereitstellungsstruktur des Haushaltssektors erfolgt. Die restlichen 18% sind Prozeßwärme und werden im Gasbereich zu 1,6% und bei Öl zu 0,4% durch Kraft-Wärme-Kopplung auf der Basis von BHKW bzw. Gas- und Dampfturbinen⁷ produziert. Vereinfachend wurden die BHKW zwei durchschnittlichen Größenklassen⁸ zugeordnet und mit den entsprechenden Emissionen nach GEMIS 3.0 bewertet.

Für den Sektor **Industrie** wurde das gleiche Verfahren angewendet, wobei unterschiedliche Annahmen im Hinblick auf die Anteile Raumwärme zu Prozeßwärme getroffen und andere Anteile der Wärmeerzeugung von Blockheizkraftwerken abgeschätzt wurden (vgl. Abb. 2-2 sowie Tabellen im Anhang).

⁷ Die Verteilung von Wärme aus dezentraler KWK auf die einzelnen Sektoren erfolgt auf der Grundlage der Übersicht „Blockheizkraftwerke in Berlin“, SenSUT, Stand 03.12.1997

⁸ GEMIS 3.0 bietet für die Emissions-Berechnungen unterschiedliche Größenklassen an. Mit der Zuordnung zu den zwei vom IZT ausgewählten Größenklassen werden über 90% der in Berlin installierten Leistung emissionsseitig abgebildet.

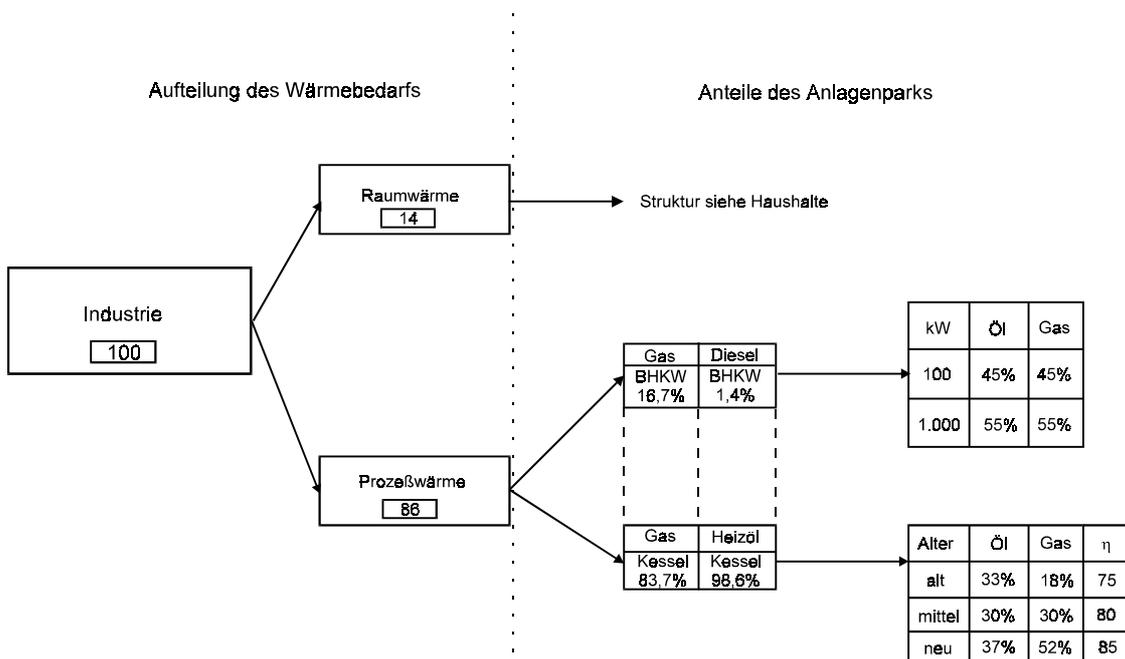


Abb. 2-2: Struktur des Wärmemarktes im Sektor Industrie unter Berücksichtigung der Aufteilung von Raum- und Prozeßwärme sowie von Anlagenart, -alter und -wirkungsgrad sowie Energieträger

1.4 Emissionen des Wärmemarktes 1995

Für die Wärmeversorgung Berlins wurden im Jahr 1995 44.916 GWh aufgewendet⁹. Ca. 50% des Verbrauchs zur Wärmeversorgung wird im Haushaltssektor, rd. 42% im Sektor Kleinverbrauch und rd. 8% im Industriesektor eingesetzt. Der Energieträger Öl wird mit 14.822 GWh bzw. 33% (West-Berlin 46,6%, Ost-Berlin 7%) am häufigsten eingesetzt. Fernwärme aus zentraler Versorgung ist mit rd. 11.858 GWh bzw. 26,4% beteiligt. Auf den Energieträger Gas (Erdgas und Stadtgas) entfielen 11.285 GWh oder 25,1% (West-Berlin 21,8%, Ost-Berlin 31,4%).

⁹ Die Wärmeverbrauchsdaten basieren auf der Studie von Prognos zum Stand und zur Entwicklung des Wärmemarktes in Berlin in den Jahren 1995-2010.

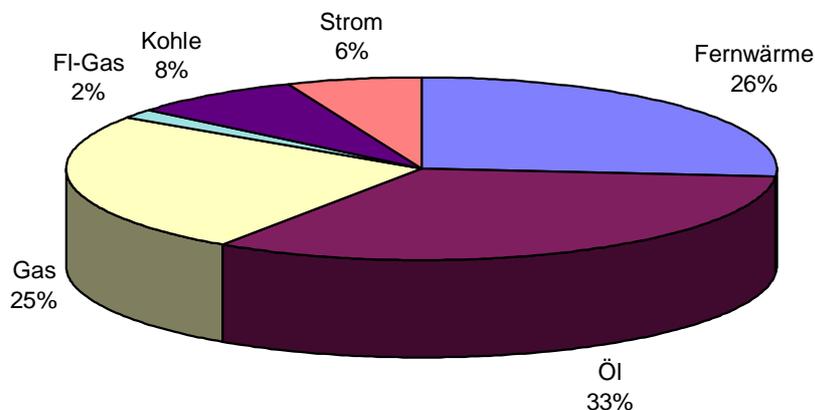


Abb. 2-3: Wärmemarkt 1995 nach Energieträgern (Endenergie)

Quelle: Prognos '96

Deutlich ist der im Vergleich zum Rest der Bundesrepublik (und auch zu anderen Großstädten) hohe Öl- und niedrige Gasanteil an der Wärmeversorgung.

Auf der Basis des weiter oben in Kapitel 2.3 beschriebenen methodischen Vorgehens, ergeben sich daraus für den Wärmemarkt 1995 folgende anteilige energieträgerbezogene CO₂-Emissionen:

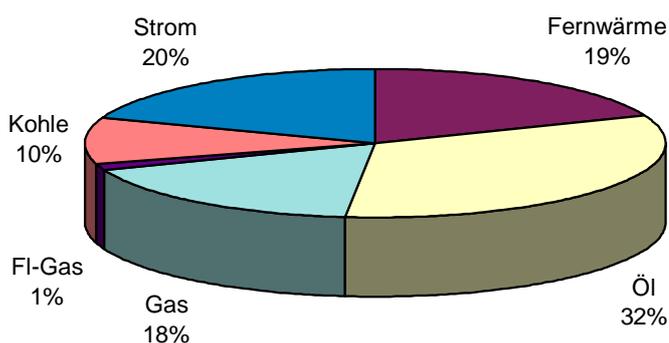


Abb. 2-4: Anteile der CO₂-Emissionen am Wärmemarkt 1995 nach Energieträgern

Quelle: eigene Berechnungen

In der nachfolgenden Tabelle sind die absoluten Energieträgereinsätze am Wärmemarkt mit ihren jeweiligen spezifischen und absoluten CO₂-Emissionen ausgewiesen.

Energieträger	1995 GWh	CO ₂ Emissionen	
		spezifisch *) t/GWh	absolut 1.000t
Fernwärme	11.857,8	216,5	2.567,1
Öl	14.821,0	303,5	4.497,6
Erdgas	11.284,0	214,2	2.417,2
Flüssiggas	688,0	251,7	173,2
Kohle	3.530,0	383,6	1.354,1
Strom	2.730,0	980,4	2.676,5

Tab. 2-1: Wärmemarkt 1995 nach Energieträgereinsatz sowie spezifischen und absoluten CO₂-Emissionen

*) bezogen auf den Brennstoffeinsatz

Quelle: Prognos, Energiebilanz Berlin 1995; eig. Berechnungen

Der Energieträgereinsatz am Berliner Wärmemarkt ist im Verhältnis zu den jeweiligen Emissionen in Tab. 2-2 dargestellt. Auffällig ist, dass die Anteile der CO₂-Emissionen von Fernwärme und Gas an den Gesamtemissionen deutlich unter den jeweiligen Anteilen am Wärmemarkt liegen, während ein umgekehrtes Verhältnis beim Strom zu verzeichnen ist.

Dies ist einmal dem unterschiedlichen Kohlenstoffgehalt der eingesetzten Energieträger geschuldet, insbesondere bei der Fernwärme jedoch den zugerechneten Emissionsgutachten für die im Zusammenhang mit der Fernwärmeproduktion stehenden Stromausbeute. Beim Einsatz von Strom für Wärmezwecke schlägt emissionsseitig der relativ schlechte Wirkungsgrad der Kraftwerke durch.

	Energieträgereinsatz am Wärmemarkt	SO ₂	NO _x	HCl	HF	Staub	CO	CH ₄	NMVOC	N ₂ O	CO ₂
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Fernwärme	26,4	19,0	29,3	4,0	41,8	2,9	1,8	11,4	5,7	7,3	18,8
Öl	33,0	17,0	26,0	7,8	3,4	5,6	3,5	4,6	27,3	10,5	32,9
Erdgas	25,1	1,0	18,1	4,2	2,4	2,1	4,6	42,4	5,4	7,5	17,7
Fl-Gas	1,5	0,4	1,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	1,1	0,1	1,3
Kohle	7,9	55,7	8,3	29,3	28,9	85,1	89,0	6,9	52,3	9,7	9,9
Strom	6,1	6,9	16,7	54,5	23,3	4,1	0,9	34,6	8,1	65,0	19,6
Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tab. 2-2: Prozentuale Verteilung am Wärmemarkt und Emissionen nach Energieträgern

Quelle: eigene Berechnungen

Insofern erscheint die Aussage zunächst trivial, weil hiermit lediglich erwartbare Ergebnisse bestätigt werden. Bei der Interpretation der Tabelle 2.2 ist jedoch zu berücksichtigen, dass innerhalb der summarisch aufgeführten Energieträger sich im einzelnen erhebliche Unterschiede der Emissionen aufgrund der Gerätestruktur ergeben bzw. bei Fernwärme aufgrund des unterschiedlichen Primärenergieträgereinsatzes und der unterschiedlichen - zu Stromgutschriften führenden - Kraft-Wärme-Kopplungsanteile. Um es nochmals hervorzuheben: In dieser Studie wird der Berliner Wärmemarkt als Ganzes betrachtet. Insofern können die gewichteten Emissions-Mittelwerte nicht für die Bewertung von einzelnen Energiekonzepten herangezogen werden oder diese gar ersetzen. Vielmehr müssen die Systemgrenzen bei einzelnen Energiekonzepten genau bestimmt und auf dieser Grundlage dann die objektbezogenen Emissionen ermittelt werden. Erst danach ergibt sich eine Hierarchisierung der Versorgungsalternativen im Hinblick auf ihre Klimaverträglichkeit.

Für Fernwärme sind diese Emissionswerte der unterschiedlichen Berliner Netze in Tabelle 2-3 aufgeschlüsselt. Die Minuszeichen vor den Zahlen weisen auf Stromgutschriften hin, so dass für die Berechnungen negative Emissionen zustandekommen. Bei dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung sind vergleichbare Effekte zu konstatieren.

	Anteil	SO ₂	NO _x	HCl	HF	Staub	CO	CH ₄	NM VOC	N ₂ O	CO ₂
BEWAG Netz	%	kg / GWh	kg / GWh	kg / GWh	kg / GWh	kg / GWh	kg / GWh	kg / GWh	kg / GWh	kg / GWh	kg / GWh
Nord	30,0	159,8	326,5	4,3	2,9	8,6	25,6	515,9	20,2	0,4	171,4
Süd	7,1	-53,3	89,6	-14,0	-1,1	-5,8	50,4	-1271,9	27,7	0,0	-14,4
Rudow	6,0	195,8	368,6	13,0	4,7	18,0	34,2	1497,2	10,4	0,4	285,8
Mitte (alt)		1868,0	483,8	-	-	19,1	117,7	12,2	41,4	-7,2	212,4
Ost	38,0	-2,2	162,7	-1,8	-0,4	4,3	69,8	405,0	2,9	0,4	235,4
Buch	2,2	270,0	304,6	1,4	0,0	22,3	158,0	155,9	114,1	6,1	396,7
andere		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FHW Neukölln	2,2	626,8	1440,4	-	-	12,6	373,7	62,3	62,3	70,6	385,9
FHW Märk. Viertel	5,2	889,6	364,0	57,6	3,2	134,6	260,6	1350,0	87,5	15,5	444,6
EAB (eigenerzeugt)	0,7	243,0	306,7	1,1	0,0	20,9	158,8	256,3	104,4	6,1	381,6
Gew. Mittel (1995)		276,1	322,2	0,4	1,1	10,8	79,9	346,3	22,0	4,0	216,4

Tab. 2-3: Emissionen der Berliner Fernwärmenetze (incl. Verteilungsverluste)

Quelle: Matthes '96, eigene Berechnungen

1.5 Emissionen des Wärmemarktes 2010

Nach den von Prognos vorgelegten Daten wird sich der Wärmemarkt im Jahr 2010 entscheidend verändert haben. Der Wärmebedarf ist in Berlin gegenüber 1995 um rund 9 % von 44.910 GWh auf 41.030 GWh gesunken. Im Haushaltssektor wird knapp 51 %, im Sektor Kleinverbrauch rund 42 % und in der Industrie gut 7 % der Wärme abgesetzt. Die Anteile der Energieträger am Wärmemarkt haben sich signifikant verschoben (vgl. Abb. 2.5). Der Erdgasanteil hat sich auf rund 47 % (1995 25 %) erhöht, während insbesondere Öl am Wärmemarkt seine dominierende Rolle (33 %) verloren hat und 2010 lediglich noch über einen Anteil von 18 % verfügt.

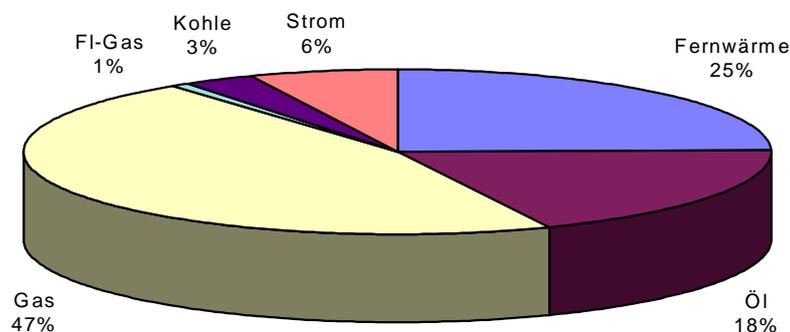


Abb. 2-5: Wärmemarkt 2010 nach Energieträgern

Quelle: Prognos '96

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen wird ein gegenüber dem Bezugsjahr 2010 unterschiedlicher Anlagenpark unterstellt. Mit diesem Anlagenpark werden sowohl die Anlagensubstitution (z.B. Gas-Außenwandofen gegen Gas-Etage) als auch Effizienzverbesserungen durch Ersatz von Altanlagen durch neue des gleichen Typs modelliert.

Die energieträgerbezogenen CO₂-Emissionen sind in Abb. 2-6 ausgewiesen.

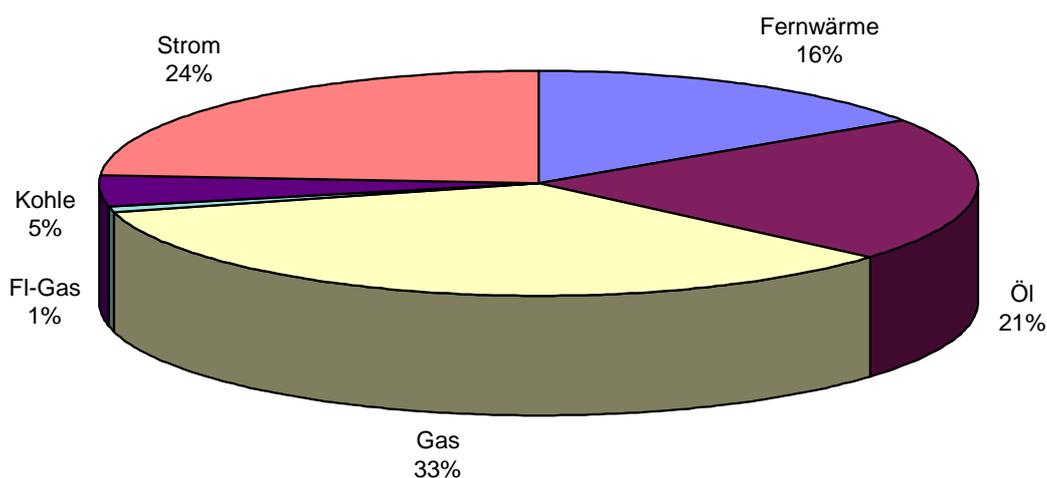


Abb. 2-6: Anteile der CO₂-Emissionen am Wärmemarkt 2010 nach Energieträgern

Quelle: eigene Berechnungen

In der nachfolgenden Tabelle 2-4 sind die absoluten Verteilungen der Energieträger am Wärmemarkt 2010 mit den jeweiligen spezifischen und absoluten CO₂-Emissionen ausgewiesen.

Energieträger	2010 GWh	CO ₂ Emissionen	
		spezifisch *) t/GWh	absolut 1.000t
Fernwärme	10.144,0	165,2	1678,0
Öl	7.588,0	299,9	2276,0
Erdgas	19.076,0	195,1	3725,4
Flüssiggas	304,0	251,6	76,5
Kohle	1.294,0	383,8	496,2
Strom	2.624,0	980,3	2572,6

Tab. 2-4: Wärmemarkt 2010 nach Energieträgereinsatz sowie spezifischen und absoluten CO₂-Emissionen

*) bezogen auf den Brennstoffeinsatz
Quelle: Prognos; eig. Berechnungen

Aus dem Vergleich von Marktanteilen zu Emissionsanteilen der verschiedenen Energieträger, lassen sich die unterschiedlichen Umweltwirkungspotentiale erschließen (vgl. Tab. 2-5).

	Energieträgereinsatz am Wärmemarkt %	SO ₂ %	NO _x %	HCl %	HF %	Staub %	CO %	CH ₄ %	NM VOC %	N ₂ O %	CO ₂ %
Fernwärme	24,7	10,7	24,0	-17,0	13,7	3,5	3,6	2,2	7,6	8,1	15,5
Öl	18,5	21,5	16,5	6,2	3,9	7,3	4,1	2,0	25,6	5,8	21,0
Gas	46,5	-0,1	34,9	7,3	5,2	6,5	16,6	63,4	16,1	12,3	34,4
Fl-Gas	0,7	0,5	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,9	0,0	0,7
Kohle	3,2	50,8	3,8	17,5	24,7	73,1	73,6	2,3	35,2	4,0	4,6
Strom	6,4	16,6	19,9	85,8	52,4	9,4	1,9	30,1	14,5	69,8	23,8
Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tab. 2-5: Emissionsanteil bezogen auf Marktanteil

Quelle: eigene Berechnungen

Obwohl Erdgas an der Versorgung des Wärmemarktes mit über 46% beteiligt ist, weist der Anteil der CO₂-Emissionen lediglich gut ein Drittel auf. Auch bei den anderen Emissionen - außer Methan (CH₄) - liegt Erdgas relativ unter den besten Energieträgern. Beim Leitindikator CO₂ schneidet Fernwärme¹⁰ summativ deshalb besser als Gas ab, weil die Stromgutschriften, insbesondere aus dem GuD-Mitte, erheblich zu Buche schlagen.

1.6 Emissionsreduktionen durch Substitution

Auf der Grundlage der Berechnungen für die Wärmemärkte 1995 und 2010 werden die Emissionen ausgewiesen, die durch Substitution anderer Energieträger durch Erdgas der GASAG zugute geschrieben werden können. Exemplarisch wird dies im folgenden für den Sektor Haushalte entwickelt.

¹⁰ Das relative Verhältnis ist stark davon abhängig, welche Annahmen beispielsweise für den Stromverbrauch getroffen werden. Für die Berechnungen wurde vom IZT angenommen, dass die Stromimportquote in Berlin im Jahr 2010 unverändert gegenüber 1995 bleibt. Dies kann so stimmen, muss aber nicht der Fall sein. Wenn beispielsweise die Stromimportquote zu Lasten Kraft-Wärme-Stroms steigt, verschlechtert sich automatisch die Bilanz für Fernwärme wegen der geringeren Stromgutschrift und das relative Verhältnis von Erdgas verbessert sich.

Zunächst werden in einem Szenario die Bedarfsveränderungen dargestellt, wie sie durch Effizienzsteigerungen im Gerätepark sowie Maßnahmen zur Wärmedämmung etc. **ohne Substitution** von Energieträgern im Zeitverlauf 1995-2010 entstehen.

Die Bedarfsveränderungen ergeben sich durch die verminderten Wärmebedarfe im Rahmen von Gebäudemodernisierungen, den Ersatz alter Gebäude durch neue mit verminderten Wärmebedarfen, die Modernisierungszyklen von wärmetechnischen Anlagen, die sich verändernden Haushaltsstrukturen und den von Prognos erwarteten Zuwachs von Wohnflächen, mit ebenfalls gegenüber 1995 verringerten Wärmebedarfen. Das IZT hat für die unterschiedlichen Energieträger und die z.T. gegenläufigen Tendenzen summativ jährliche Energieeinsparungen abgeschätzt, wie sie in der folgende Tab. 2.6 zusammengefasst sind.

Energieträger	jährliche Energieeinsparung in %	Energieeinsparung in % 1995-2010	jährliche Einsparung in GWh pro Jahr
Fernwärme	0,85	12,75	11,8
Öl	0,90	13,50	16,6
Erdgas	0,90	13,50	16,4
Kohle	0,45	6,75	3,1
Strom	0,80	12,00	3,7

Tab. 2-6: Annahmen zur jährlichen Energieeinsparung 1995-2010

Quelle: eigene Abschätzungen und Berechnungen

Die Verlaufsveränderungen des Wärmemarktes aufgrund von Effizienzsteigerungen zeigt Abb. 2-7.

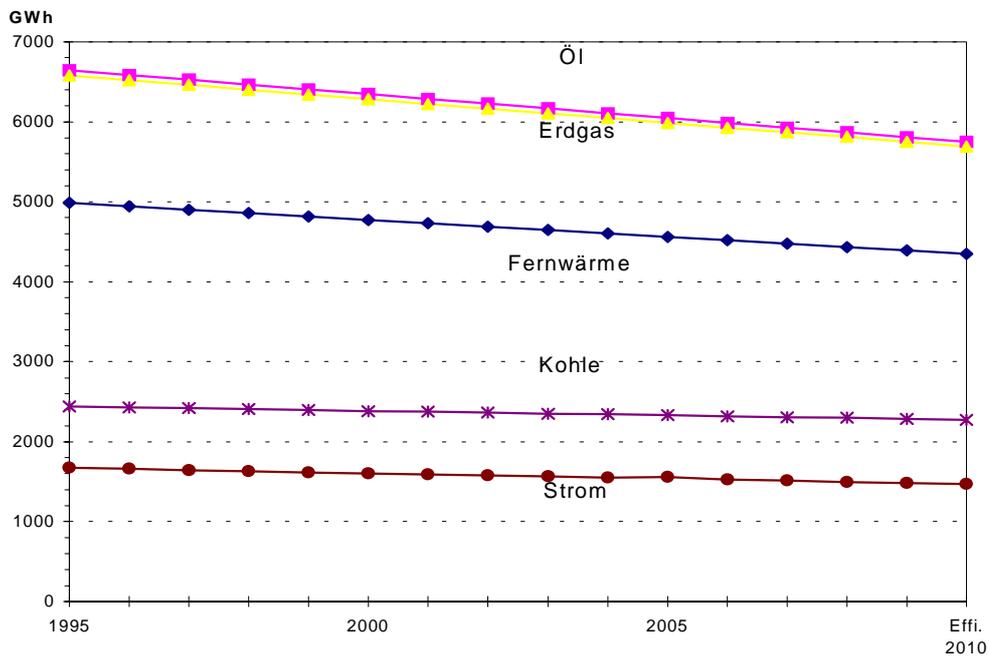


Abb. 2-7: Szenario Veränderung des Wärmebedarfs im Sektor Haushalte durch Effizienz

Demgegenüber stehen die Energieträger-Veränderungen, wie sie Prognos zwischen 1995 und 2010 ausweist (vgl. Abb. 2-8). Neben der Effizienzsteigerung beinhaltet dieses Szenario Energieträgersubstitutionen.

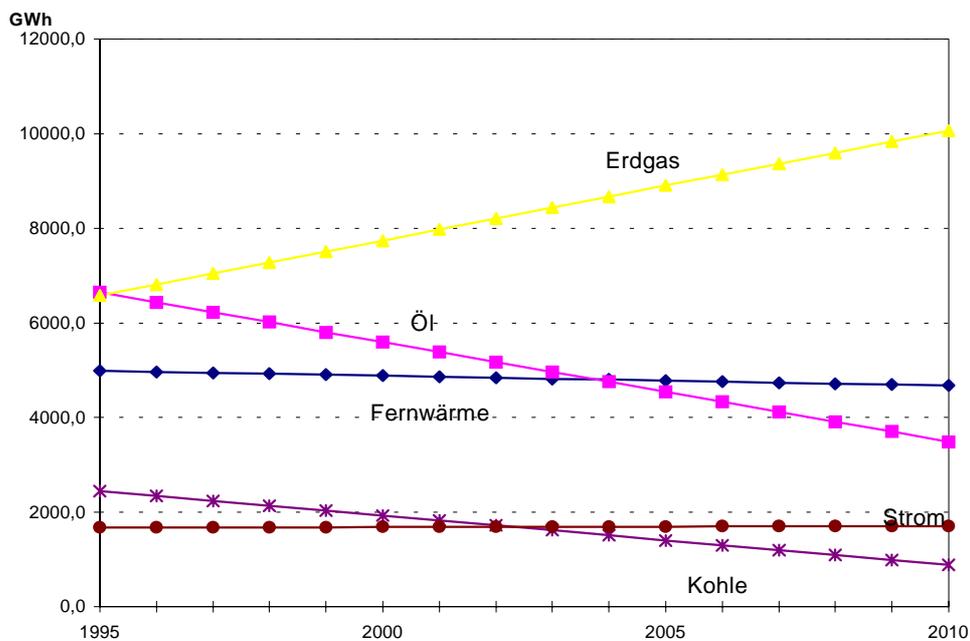


Abb. 2-8: Veränderung des Energieträgereinsatzes im Sektor Haushalte nach Prognos

In beiden Abbildungen ergeben die aggregierten Werte der unterschiedlichen Energieträger für 1995 den Wärmeeinsatz im Sektor Haushalte. Für das Jahr 2010 wird in Abb. 2-7 der Wärmeeinsatz von 1995 lediglich vermindert um die jährliche Effizienzsteigerung dargestellt. Abb. 2-8 weist neben diesem Effekt zusätzlich die Gewinne und Verluste durch Substitution aus.

Am Beispiel von Erdgas ergibt sich in der Gegenüberstellung beider Szenarien für den Erdgas-Einsatz im Haushaltssektor folgendes Bild:

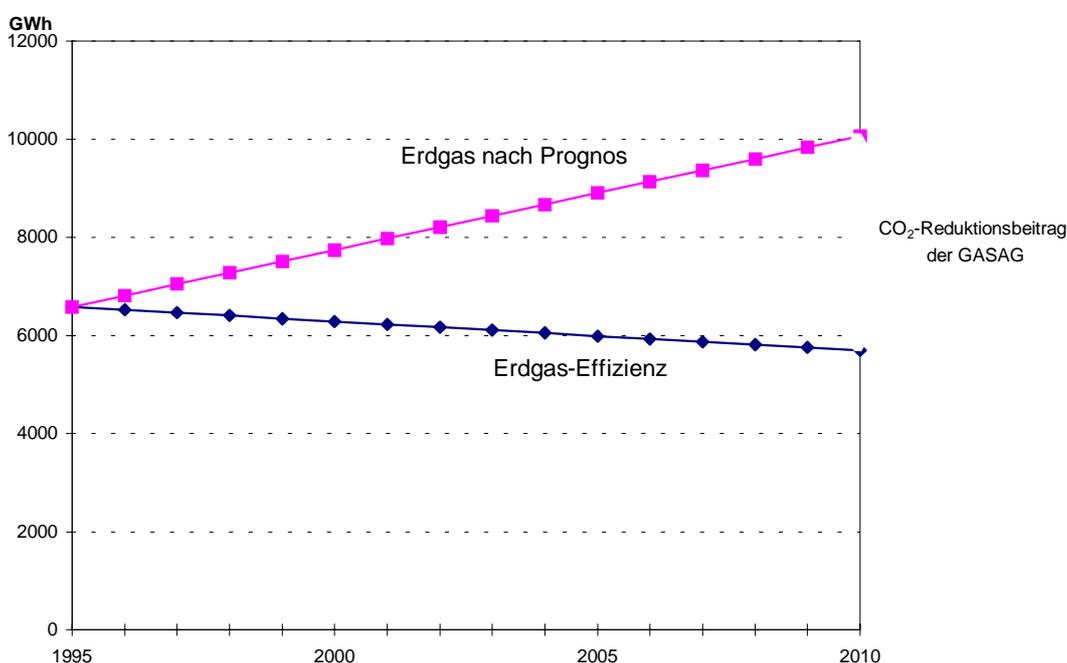


Abb. 2-9: Erdgas-Substitutionspotential im Sektor Haushalte

Aus der Differenz beider Werte für das Jahr 2010 lässt

sich nun - gewichtet mit den Emissionsfaktoren der substituierten Energieträger - der eigenständige CO₂-Reduktionsbeitrag der GASAG bilden.

In der folgenden Tabelle 2-7 werden für die Sektoren und den gesamten Wärmemarkt die wichtigsten entsprechenden Emissionswerte, die durch Substitution entstehen ausgewiesen.

Der verstärkte Einsatz von Erdgas allein auf dem Wärmemarkt führt im Jahr 2010 zu einer CO₂-Reduktion von **796.600 t**. Die im Zeitverlauf 1995 bis 2010 stattgefundenen Effizienzsteigerungen durch verbesserte Technik sind aus der Verminderung herausge-

rechnet. D.h. die vorgenommene Abschätzung der CO₂-Reduktion, die unmittelbar der GASAG zugeordnet werden kann, liegt auf der sicheren Seite, weil ein erheblicher (,allerdings nicht quantifizierbarer) Teil der Effizienzsteigerungen auf Maßnahmen der GASAG zurückzuführen sind, beispielsweise durch den Ausbau von Dienstleistungsangeboten. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass mit der Liberalisierung der Energiemärkte der Anteil des Stromimports am Berliner Gesamtstromverbrauch weiter steigen wird, mit der Folge, dass Kraftwerksstandorte in Berlin wegfallen und wegen der Entkopplung von Strom- und Wärmeproduktion ehemals „traditionell“ fernwärmeversorgte Gebiete neu zur Disposition stehen. Dadurch können sich weitere Substitutionspotentiale für Erdgas in nicht unerheblichen Umfang ergeben, die in den Prognos-Vorgaben so nicht vorgesehen sind.

Sektor	Substitution GWh	SO ₂ t	NO _x t	CO t	CH ₄ t	CO ₂ 1000 t
Haushalte						
Fernwärme	-3,7	-0,3	-0,9	-0,3	-0,3	0,6
Öl	2.579,0	512,7	577,6	313,2	289,6	784,3
Erdgas	-3.734,1	-8,3	-691,7	-801,1	-4.972,3	-739,9
Kohle	1.389,3	3.977,0	398,8	20.460,5	1.056,3	536,1
Strom	-229,5	-100,1	-182,2	-38,8	-1.042,8	-225,0
Σ Haushalte		4.381,0	101,6	19.933,5	-4.669,5	356,1
Industrie						
Fernwärme	54,2	4,0	13,4	4,5	4,7	9,0
Öl	653,7	119,6	158,0	96,8	53,7	185,9
Erdgas	-902,0	29,9	-188,1	-125,1	-1.064,5	-141,0
Flüssig-Gas	109,1	11,6	31,6	13,8	6,2	27,5
Kohle	85,0	132,7	40,2	194,8	15,3	31,0
Strom	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Σ Industrie		297,8	55,1	184,8	-984,6	112,4
Kleinverbrauch						
Fernwärme	637,5	46,5	158,0	53,5	55,2	105,5
Öl	2.381,2	466,6	538,9	300,9	254,6	715,7
Erdgas	-3.695,6	-8,0	-726,2	-735,1	-4.901,7	-734,1
Flüssig-Gas	162,1	17,3	47,0	20,6	9,3	40,8
Kohle	506,9	1.313,1	165,2	6.146,2	323,8	193,4
Strom	7,9	3,5	6,3	1,3	36,0	7,8
Σ Kleinverbrauch		1.839,0	189,2	5.787,4	4.222,8	329,1
Gesamt		6.517,8	345,9	25.905,7	-9.876,9	796,6

Tab. 2-7: Emissionsveränderungen durch Substitutionen bereinigt um Effizienz auf dem Wärmemarkt im Jahr 2010

Quelle: eigene Berechnungen

Nach Auffassung des IZT kann eine Bewertung der CO₂-Reduktionen durch Ausschöpfung des Substitutionspotentials am sinnvollsten im Zusammenhang mit dem Energiekonzept Berlin vorgenommen werden. Für das Energiekonzept wurden unter Berücksichtigung demographischer und ökonomischer Leitdaten drei Szenarien zur CO₂-Reduktion („Referenz“- „Maßnahmen“- und „Reduktions“-Szenario) entwickelt, die jeweils eine unterschiedliche Eingriffstiefe und Handlungsintensität des Landes Berlin und seiner relevanten Akteure beschreiben. Für eine Einordnung der CO₂-Reduktionen

durch Substitution ist das Maßnahmen- Szenario geeignet, weil es eine Entwicklung annimmt, in der „die energie- und umweltpolitischen Akteure in der Stadt die existierenden Möglichkeiten der rationellen und umweltverträglichen Energiebereitstellung und -nutzung unter Beachtung ökonomischer und sonstiger Restriktionen weitestgehend ausschöpfen. Dies schließt nicht nur aktives energie- und umweltpolitisches Handeln des Senats ein, sondern auch entsprechende Aktivitäten der in der Stadt tätigen Energieversorgungsunternehmen (im Sinne des Verhaltens von „Dienstleistungsunternehmen“) sowie der zahllosen Energieverbraucher in Industrie, Verkehr, Gewerbe und der privaten Haushalte.“¹¹ Die nachfolgende Tabelle weist die CO₂-Minderungen des Maßnahmen-szenarios aus.

	IST 1990 CO ₂ -Emissionen in 1.000 t	Szenario 2010 „Maßnahmen“ CO ₂ -Emissionen in 1.000 t	Veränderung 1990/2010 in %
Verarbeitendes Gewerbe	5.761	5.349	-7
Kleinverbraucher	10.080	9.592	-5
Haushalte	9.930	6.958	-30
Verkehr ¹⁾	4.760	4.452	-6
SUMME	30.532	26.351	-14

Tab. 2-8: Entwicklung der CO₂-Emissionen in Berlin (1.000 t)

Quelle: AG Borch, Matthes, Ziesing 1992; 1) ohne Luftverkehr

Bezogen auf das „Maßnahmen-Szenario“ des Energiekonzepts Berlin, das CO₂-Emissionsminderungen für das Jahr 2010 in Höhe von 4,181 Mio t (einschl. Verkehr) ansetzt, belaufen sich die der GASAG durch Substitution zuzuordnenden Emissionen auf einen Anteil von gut **19 %** der insgesamt erzielbaren CO₂-Reduktionen.

¹¹ AG Borch, Matthes, Ziesing, Aktualisierung von Energieszenarien und Erarbeitung eines energiepolitischen Handlungskonzepts für Berlin, Studie im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Berlin 1990, S. 3

2 Emissionsminderungen durch die vorzeitige Umstellung von Stadt- auf Erdgas

Die GASAG hat sich im Rahmen ihrer Verhandlungen zum Konzessionsvertrag mit dem Land Berlin verpflichtet, die ursprünglich geplante Umstellung von Stadt- auf Erdgas vorzeitig durchzuführen. In Kapitel II wird berechnet, mit welchen Emissionsminderungen (CO₂, CO und NO_x) diese vorzeitige Umstellung verbunden ist.

2.1 Planung und tatsächlicher Verlauf der Erdgasumstellung

Tab. 3-1 zeigt in der Übersicht die Reihenfolge der bezirklichen Umstellungsplanung, den jeweiligen Abgabeanteil und den Zeitraum der Umstellung.

Nr.	Umstellgebiet	Abgabeanteil in vH	geplante Umstellzeit
1	Neukölln, Britz, Buckow, Rudow	13,2	1991/93
2	Kreuzberg	9,1	1993/94
3	Lichtenrade, Marienfelde	4,4	1994
4	Tiergarten, östl. Wedding	10,1	1994/95
5	Westl. Wedding, südl. Reinickendorf	4,1	1995
6	Reinickendorf	8,4	1995/96
7	Schöneberg, Tempelhof	8,8	1996/97
8	Spandau	11,4	1997/98
9	Charlottenburg	6,1	1998/99
10	Wilmersdorf	10,4	1999/2000
11	Zehlendorf, Steglitz	10,1	2000
12	Lichterfelde, Lankwitz, Marien- dorf	3,9	2000/01

Tab..3-1: Geplante Erdgasumstellung in Berlin (West)

Quelle: GASAG; Stand 1.9.1989

Tab. 3-2 zeigt den tatsächlichen Verlauf der Umstellung auf Erdgas.

Nr.	Umstellgebiet	Abgabeanteil in vH	Ende der Umstel- lung
1	Neukölln	13,1	22.01.93
2	Kreuzberg	9,9	09.07.93
3	Tempelhof, Steglitz	4,6	01.10.93
4	Reinickendorf	12,4	25.04.94
5	Wedding, östl. Reinickendorf	3,6	03.06.94
6	Tiergarten	9,6	16.12.94
7	Schöneberg, Tempelhof	7,9	24.03.95
8	Spandau	8,3	26.05.95
9	Charlottenburg	6,5	22.09.95
10	Zehlendorf, Steglitz, Tempelhof	12,0	01.12.95
11	Wilmerdorf, Steglitz	12,1	26.04.96

Tab. 3-2: Verlauf der tatsächlichen Umstellung auf Erdgas

Quelle: GASAG

Abb. 3-1 zeigt in der Gegenüberstellung den geplanten und den tatsächlich vollzogenen Erdgasumstellungsverlauf.

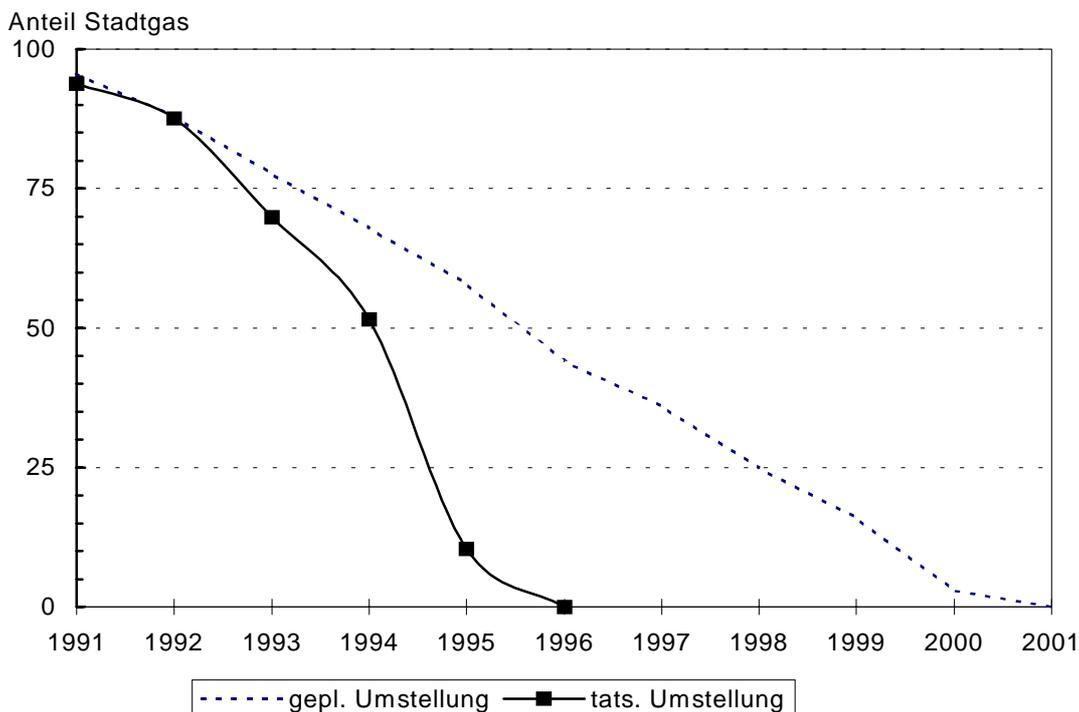


Abb. 3-1: Geplante und tatsächliche Erdgasumstellung in Berlin

Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass bei Einhaltung der ursprünglichen Planung, Ende April 1996, dem tatsächlichen Umstellungsende, noch etwa 45% der Gasversorgung in den Gebieten, die ursprünglich stadtgasversorgt waren, mit Stadtgas erfolgt wäre. Die Fläche zwischen den beiden Verlaufslinien symbolisiert den Stadtgasmehreinsatz und bildet gleichzeitig die Basis für die Emissionsberechnungen.

2.2 Emissionsminderungen durch die vorzeitige Umstellung auf Erdgas

Ausgangspunkt für die Emissionsberechnungen bildet das Jahr 1991. Ab diesem Jahr laufen die geplante und tatsächliche Umstellung auseinander. Für die Berechnungen wird angenommen, dass in den Gebieten, wo nur Stadtgas zur Verfügung steht, keine wesentlichen Änderungen der Versorgungsstruktur im Hinblick auf Anschlussleistungen, Geräteausstattung etc. stattfinden. Das heißt, aus der Differenz von tatsächlicher und geplanter Umstellung wird der Umfang der Emissionsminderung ermittelt.

Bei den Emissionen für die Stadtgas**produktion** wird auf Angaben der GASAG für das Jahr 1991 zurückgegriffen. Die Emissionen für die **Vorkette** der eingesetzten Energieträger zur Stadtgasproduktion (Erdgas, Leichtbenzin, Methanol, Heizöl und Butan) werden mit Hilfe GEMIS 3.0 errechnet.

1991 wurden für die Stadtgasproduktion folgende Energieträger und Mengen eingesetzt¹²:

Energieträger	Menge	in GWh
Erdgas (Mio m ³)	4,85E+08	5.372,69
Leichtbenzin (t)	2,84E+04	0,35
Methanol (t)	1,84E+04	0,10
Heizöl (t)	2,45E+03	0,03
Butan (t)	8,00E+00	0,00011

Tab. 3-3: Energieträgereinsatz für die Stadtgasproduktion 1991

Quelle: GASAG; eig. Berechnungen

Nach Berechnungen mit GEMIS ergeben sich daraus folgende Vorketten-Emissionen:

Energie- träger	CO ₂ Emissionen aus der Vorkette		CO Emissionen aus der Vorkette		NO _x Emissionen aus der Vorkette	
	spezifisch kg/GWh	Absolut t	spezifisch kg/GWh	absolut kg	spezifisch kg/GWh	absolut kg
Erdgas	9.919,12	53.292,4	40,90	219.721	42,37	227.651
Leicht- benzin	51.448,82	17,9	43,70	15,2	127,66	44,4
Methanol	87.813,43	8,8	126,00	12,6	207,94	20,9
Heizöl	22.997,74	0,7	26,86	0,8	89,28	2,6
Butan	23.423,44	0,003	29,20	0,0	97,42	0,0
Σ (ger.)		53.320		219.750		227.719

Tab.3-4: Emissionen der Vorkette für die Stadtgaserzeugung 1991

Quelle: GASAG, GEMIS; eig. Berechnungen

¹² Die Umrechnung von m³ auf GWh erfolgte bei Erdgas mittels H_o

Aus der Differenz der Emissionen der Vorkette zuzüglich der Produktion für Stadtgas minus den Vorketten-Emissionen der äquivalenten Menge Erdgases wird die Emissionssumme gebildet, die im Ausgangsjahr 1991 bei kompletter Substitution von Stadt- durch Erdgas angefallen wäre.

	GWh/a	CO₂ t/a	CO kg/a	NO_x kg/a
Stadtgas Produktion	4.310	160.000	3.200	123.000
+ Vorkette		53.320	219.750	227.719
- Erdgas Vorkette	4.310	42.751	176.262	182.623
SUMME		170.569	46.691	168.098

Tab..3-5: *Substitutionseffekt 1991*

Quelle: GASAG, GEMIS; eig. Berechnungen

Gewichtet mit den unterschiedlichen geplanten und tatsächlichen Verläufen der Stadtgasumstellung, lassen sich die jährlichen Emissionsminderungen errechnen. Dieser Verlauf ist in Abb. 3-2 dargestellt.

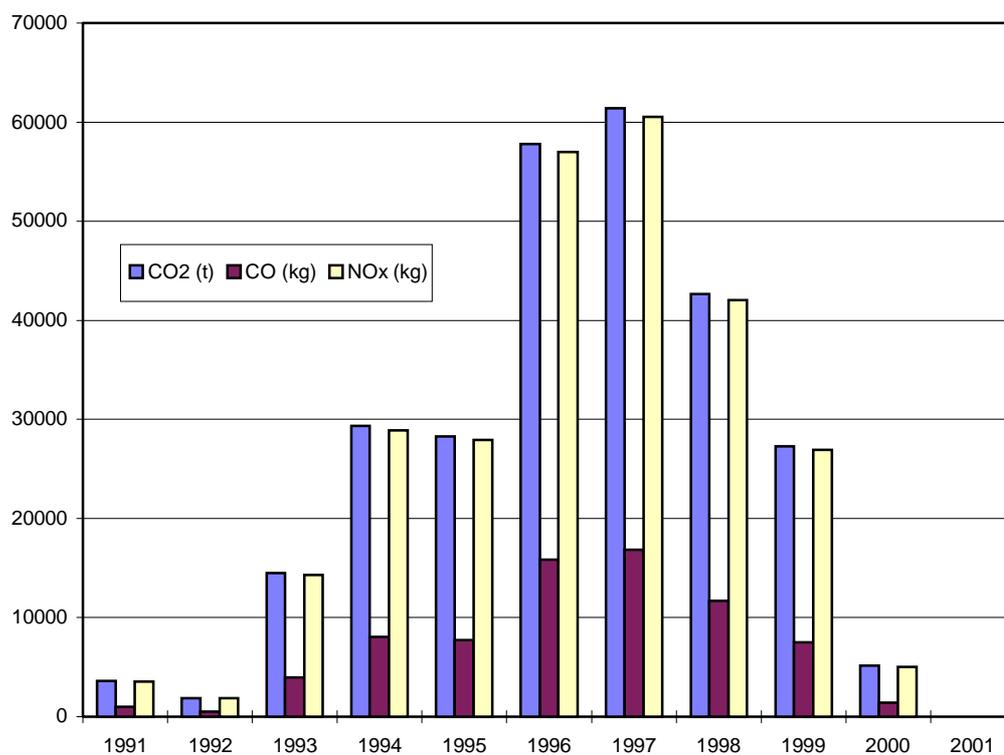


Abb. 3-2: *Jährliche Emissionsminderungen durch die vorzeitige Umstellung von Stadt- auf Erdgas*

Die Emissionsminderungen durch die vorzeitige Umstellung auf Erdgas betragen kumuliert in den Jahren 1991 bis Jahr 2001 bei CO₂ 271.887 t, bei CO 74.425 kg und bei NO_x 267.949 kg. Im Zeitverlauf wird damit die 1,6-fache Menge CO₂ vermieden, die 1991 bei der Stadtgasproduktion entstanden ist.

3 Emissionsminderungen durch die Netzsanierung

Die GASAG hat in den Jahren 1991-1996 unter erheblichem Mitteleinsatz das marode Rohrnetz im Versorgungsgebiet Ost flächendeckend saniert. Insgesamt wurden 609 km Gußrohrleitungen erneuert.

In den Jahren 1991 bis 1996 wurden durch die Sanierungsmaßnahmen Leitungsverluste von 18,62 Mio m³ Erdgas reduziert.

Den vermiedenen Erdgasverlusten werden die Vorketten-Emissionen zugeordnet. Vereinbarungsgemäß wird der Erdgas-Mix 1995 angerechnet. Emissionsseitig schlagen sich die vermiedenen Erdgasverluste folgendermaßen nieder:

	weniger Erdgas- verluste/a	SO ₂ kg/GWh	NO _x kg/GWh	CO kg/GWh	CH ₄ kg/GWh	N ₂ O kg/GWh	CO ₂ kg/GWh
spez. Emis. Vor- kette		9,32	42,37	40,9	814,1	0,36	9.919,12
km Gußrohr- leitung (609)	GWh	kg	kg	kg	t	kg	t
32 1991	9,78	91,1	414,4	400,0	8,0	3,5	97,0
50 1992	15,29	142,5	647,8	625,4	12,4	5,5	151,7
90 1993	17,52	163,3	742,3	716,6	14,3	6,3	173,8
188 1994	57,48	535,7	2.435,4	2.350,9	46,8	20,7	570,2
166 1995	50,75	473,0	2.150,3	2.075,7	41,3	18,3	503,4
83 1996	25,38	236,5	1.075,4	1.038,0	20,7	9,1	251,7
Summe '91-'96		1.642,2	7.465,6	7.206,6	143,4	356,0	1.747,7
+ CH ₄ -Verluste					14.523,6		
Gesamt		1.642,2	7.465,6	7.206,6	14.667,0	356,0	1.747,7

Tab..4-1: Emissionsminderungen durch Netzsanierung Ost

Quelle: GASAG, eigene Berechnungen

Das Treibhausgas Methan hat ein um den Faktor 21,0 höheres Treibhauspotential als CO₂. Durch die Netzsanierung wurde daher die Atmosphäre um ein CO₂-Äquivalent von **309.754 t** entlastet.

4 Emissionsminderungspotentiale durch den Einsatz erdgasbetriebener Fahrzeuge

4.1 Einführung

Das am 16.8.1994 verabschiedete Berliner Innenstadt-Konzept „Ohne Kat nicht in die Stadt“ des Senats hat für den Innenstadtbereich die Senkung der verkehrsbedingten Emissionen zum Ziel. Es sieht vor, dass ab dem

- 1.7.1998 nur noch PKW mit Ottomotor und Dreiwege-Katalysator sowie ab dem
- 1.1.1999 zudem nur noch leichte Nutzfahrzeuge mit Ottomotor und Dreiwege-Katalysator bzw. Fahrzeuge mit besonders schadstoffarmen Dieselmotoren und ab dem
- 1.1.2000 zudem nur noch schwere Nutzfahrzeuge, die der Euro II-Norm entsprechen, die Innenstadt befahren dürfen.

In Berlin ist die Immissionssituation bei den verkehrsbedingten Luftschadstoffen insbesondere bei NO_x, Benzol und Ruß als kritisch zu betrachten. Nach Angaben der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie ist damit zu rechnen, dass bei ca. 20% der Straßen in Berlin die Grenzwerte der ab 1.7.1998 geltenden 2.Stufe der 23. BImSchV nicht eingehalten werden können (zu 90% wird Ruß, zu 7% Benzol und zu 3% NO₂ überschritten). Für die Überschreitung der Grenzwerte sind in erster Linie dieselbetriebene leichte und schwere Nutzfahrzeuge verantwortlich. Angesichts der zu erwartenden weiteren Steigerung des Verkehrsaufkommens ist mit einer Verschlechterung der Situation zu rechnen.

Eine Möglichkeit zur Senkung insbesondere lokaler Emissionen ist der verstärkte Einsatz von erdgasbetriebenen Fahrzeugen im innerstädtischen Bereich, da diese die EURO-II-Emissionsgrenzwerte bei den problematischen Schadstoffen (NO_x, Dieselruß, Benzol) bereits heute um rund 50-80% unterschreiten.

Zur Emissionsbilanzierung von erdgasbetriebenen Fahrzeugen liegen bereits umfangreiche Studien von Herstellern und Anwendern vor bzw. sind verschiedene Forschungsvorhaben in Durchführung begriffen (UBA 1996, Goubeau et. al. 1996., Innotec 1997, LBST 1996). Durchgängig zeigen die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen, dass beim derzeitigen Stand:

- erdgasbetriebene schwere Nutzfahrzeuge deutliche Vorteile in der lokalen Emissionssituation bei Stickoxiden, Kohlenwasserstoffemissionen und Benzol zeigen,
- praktisch keine Ruß- und Schwefeldioxid-Emissionen erfolgen,
- die Lärmbelastung aufgrund der „weicheren“ Verbrennung geringer ist,
- der Energieverbrauch der Fahrzeuge im Vergleich zu Dieselfahrzeugen etwa 25% höher liegt.

Ziel dieses Teils der Studie ist es, unter Bezug auf o.g. Studien durch Zusammenstellung und Auswertung verfügbarer Daten eine orientierende Bilanzierung der Emissionen aus der Endenergiebereitstellung und dem Fahrzeugbetrieb durchzuführen. Leitfrage ist hierbei, inwiefern der verstärkte Einsatz erdgasbetriebener Fahrzeuge zur Umweltentlastung im innerstädtischen Raum beitragen kann.

Angesichts der beschränkten Reichweiten (Busse und LKW ca. 300km, LNFZ ca. 150-250km mit einer Tankfüllung) und insbesondere der Immissionssituation sind in erster Linie der innerstädtische Wirtschaftsverkehr und der ÖPNV Zielgruppen für erdgasbetriebene Fahrzeuge.

Exemplarisch soll am Beispiel des verstärkten Einsatzes erdgasbetriebener Busse im ÖPNV bei der BVG abgeschätzt werden, zu welchen Emissionsminderungen der Einsatz dieser Fahrzeuge beitragen kann. Das Beispiel wurde gewählt, da bei einem großen Flottenbetreiber wie der BVG Fahrzeuge mit einer hohen Laufleistung eingesetzt werden und anders als z.B. beim PKW Platzprobleme bei einer Umrüstung auf Gasbetrieb eine geringere Rolle spielen. Zudem ist die BVG Verursacher von etwa 20% der verkehrsbedingten Partikelemissionen in Berlin, so dass auch in umweltpolitischer Hinsicht Handlungsbedarf besteht.

Der Einsatz erdgasbetriebener Fahrzeuge wird derzeit im Erdgasbusprojekt Berlin getestet, welches im Rahmen des EU - THERMIE-Förderprogrammes unterstützt wird. Hierfür wurden von der BVG insgesamt 10 Fahrzeuge (Solobusse und Gelenkminibusse) beschafft. An dieser Stelle soll nicht intensiver auf die Vorgeschichte und Auseinandersetzungen um die zunächst geplante Beschaffung einer weitaus größeren Anzahl Fahrzeuge eingegangen werden. Es soll nur darauf hingewiesen werden, dass der tatsächliche breite Einsatz von Erdgasfahrzeugen auch maßgeblich von hinreichenden Rahmenbedingungen (s.u.), die u.a. von politischer Seite geschaffen werden müssen, abhängt.

Zu berücksichtigen ist für eine orientierende Emissionsbilanz einerseits die Vorkette von der Exploration und Förderung der Primärenergieträger, Aufbereitung und Trans-

port bis hin zur Bereitstellung der Endenergie. Weiterhin sind die betriebsbedingten Emissionen der Fahrzeuge einzubeziehen.

4.2 Emissionen in vorgelagerten Prozeßketten

Für die Bilanzierung müssen die vorgelagerten Prozeßketten, d.h. die „graue Energie“ für die Energieträger Erdöl und Erdgas einbezogen werden. Weiterhin zu berücksichtigen ist die Bereitstellung der elektrischen Energie, die z.B. beim Betanken der Fahrzeuge benötigt wird.

Die Systematik folgt dem Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) (Fritsche et al. 1995), wie sie auch für die ökologische Bewertung von Energieversorgungskonzepten vom Energiebeirat bzw. der Energieleitstelle des Landes Berlin genutzt wurde (Matthes 1996).

Prozeßkette Erdöl

Die vorgelagerte Prozeßkette für den Energieträger Erdöl bis zur Endenergiebereitstellung, ergänzt um die folgenden Prozeßstufen, ist in Abb. 5-1 dargestellt:

Rohölgewinnung und Ferntransport

Für den Energieträger Erdöl ist der bundesdeutsche Mix zugrundegelegt, nach dem 47% des Öls aus OPEC-Ländern, 30% aus der GUS und 23% aus der Nordsee stammen. In GEMIS sind für jede Förderregion Daten zu vorgelagerten Emissionen (aufgrund der für die Fördertechnik eingesetzten Energie, HC-Emissionen aus der Abfackelung von Erdölgas, Transporte nach Deutschland etc.) enthalten. Bezüglich der Datengrundlagen sei auf das Programm GEMIS 3.0 bzw. den Endbericht zu GEMIS 2.1. verwiesen.

Verarbeitung in der Raffinerie

In der Raffinerie werden mehrere Produkte gleichzeitig hergestellt. Um das Problem der Zurechnung von Energiebedarf und Emissionen auf die einzelnen Kuppelprodukte zu ermöglichen, werden in GEMIS auf Basis einer Modellraffinerie, deren Eigenbedarf anhand spezifischer Gewichtungsschlüssel auf die Produkte verteilt wird, Zurechnungen vorgenommen. Dieser Verteilungsschlüssel spiegelt den Aufwand wider, der zur Herstellung der jeweiligen Mineralölprodukte erforderlich ist.

Mineralölprodukte	Faktor
Benzin	2,0
Dieselmkraftstoff	0,5
Kerosin	0,5
Heizöl S	1,0
Heizöl EL	0,5

Tab. 5-1: Gewichtungsfaktoren für Raffinerieprodukte

Quelle: Fritsche et al. 1995, S.43

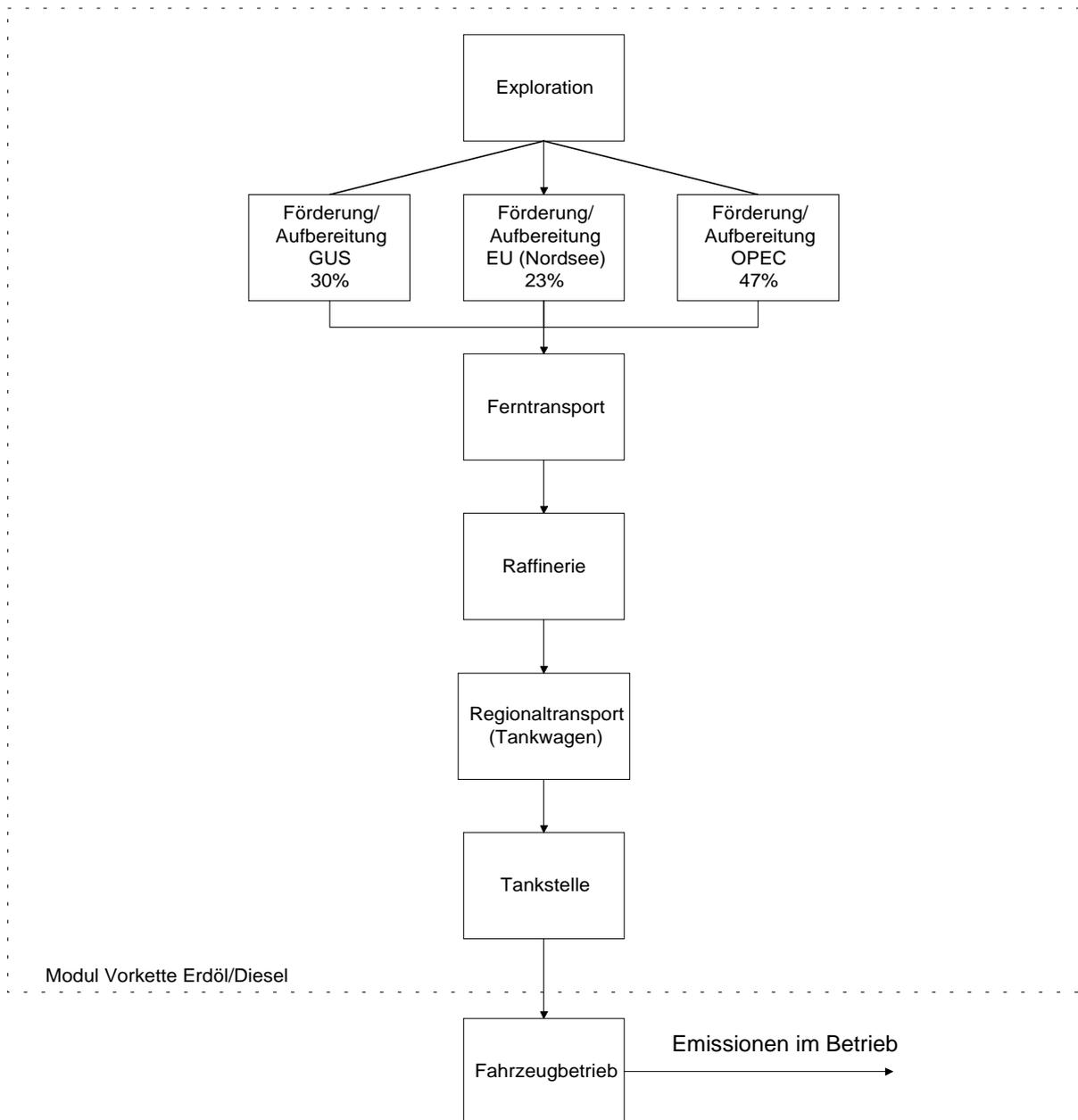


Abb. 5-1: Prozesskette Erdöl

Regionaltransport und Betankung

Für die Regionaltransporte der Mineralölprodukte geht GEMIS von einer durchschnittlichen Transportentfernung von 100 km per LKW ab Raffinerie aus. Umfüll- und Verdunstungsverluste werden berücksichtigt. Für Benzin werden diese mit 133 kg

NMVOC¹³ je TJ Endenergie berücksichtigt (teilweiser Einsatz der Gaspendeltechnik). Der Strombedarf der Tankstelle wird in GEMIS mit 0,1 kWh_{el}/MWh_{end} veranschlagt.

Es ergeben sich damit folgende Emissionsfaktoren für die Bereitstellung der Endenergie:

	SO ₂	NO _x	HCl	HF	Staub	CO	CH ₄	NMVOC	N ₂ O	CO ₂
	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	t/GWh
Tankstelle Benzin	150,70	136,91	0,76	0,07	14,69	46,44	92,52	548,50	0,94	52,02
Tankstelle Diesel	107,24	97,74	0,58	0,04	11,81	29,41	57,53	64,55	0,43	23,52

Tab.5-2: Emissionsfaktoren für die Prozeßketten Benzin, Dieselkraftstoff

Quelle: GEMIS 3.0

Prozeßkette Erdgas

Die vorgelagerte Prozeßkette des Energieträgers Erdgas bis zur Endenergiebereitstellung ist in Abb. 5-2 dargestellt.

Auch hier wurde die GEMIS-Systematik zugrundegelegt. Die vorgelagerten Prozeßketten wurden von Matthes (Matthes 1996) für die Berliner Situation (hoher Anteil von Erdgas aus der GUS) spezifiziert. Untersucht werden analog Erdgasförderung und -aufbereitung sowie der internationale und nationale Transport.

Erdgasförderung und -aufbereitung

Berücksichtigt werden der Energieaufwand für die Förderung und Aufbereitung (Entschwefelung, Trocknung etc.) des Erdgases sowie die daraus resultierenden Emissionen. Weiterhin werden die direkten stofflichen Gasverluste einbezogen.

¹³ Non Methane Volatile Organic Compounds, Kohlenwasserstoffe ohne Methan

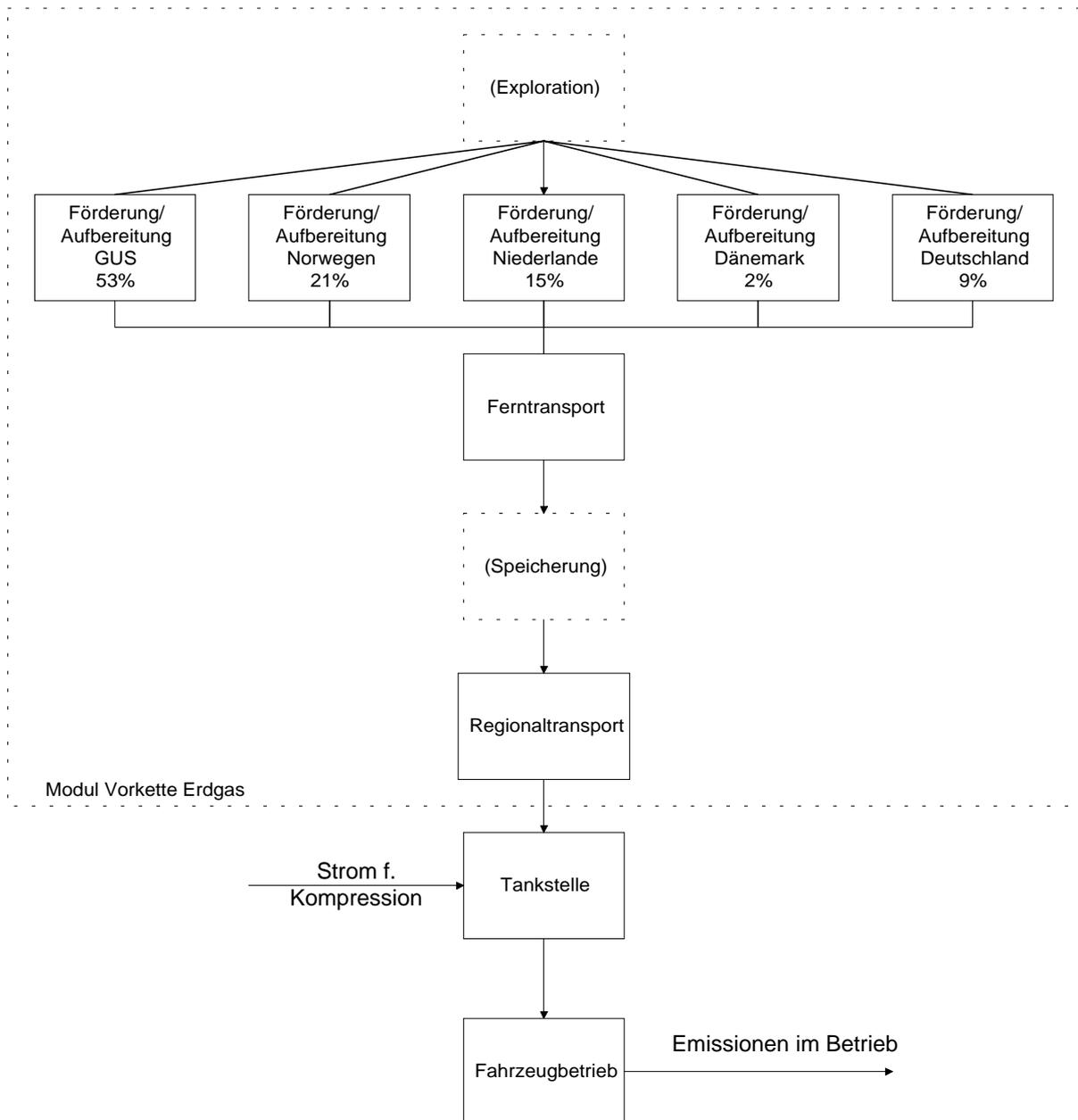


Abb. 5-2: Prozeßkette Erdgas

Transport

Der Transport des gereinigten Gases erfolgt praktisch ausschließlich in Pipelines. Die Methanemissionen aus dem Ferntransport russischen Erdgases wurden 1993 untersucht (Senatsverwaltung 1993). Ergänzt um den Anteil der übrigen Importe wurden diese Werte für die komplette Prozeßkette erhoben.

Es ergeben sich für die Bereitstellung der Endenergie folgende Emissionsfaktoren:

	SO ₂	NO _x	HCl	HF	Staub	CO	CH ₄	NMVOC	N ₂ O	CO ₂
	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	t/GWh
Gas Großkunden (Mitteldrucknetz)	4,68	48,60	0,00	0,00	3,96	59,40	652,32	2,88	0,36	10,80

Tab. 5-3: Emissionsfaktoren für die Prozeßkette Erdgas Berlin

Quelle: Matthes 1996

Zu ergänzen ist der Energieaufwand zur Betankung der Gasfahrzeuge. Dieser wird in erster Linie durch den Stromverbrauch der Kompressoren/Booster zur Betankung verursacht. Nach Literaturangaben beträgt der Strombedarf zur Betankung rund 0,4 kWh/kg Erdgas¹⁴ (Goubeau et al. 1996). Verdunstungs- oder Leckverluste entstehen nicht, da das Betankungssystem vollständig dicht ist.

Für den Stromverbrauch sind die Emissionen aus der Energiebereitstellung zu ermitteln. Zugrundegelegt wird der Berliner Kraftwerkpark der BEWAG sowie der Bezug über das Verbundnetz (Kraftwerkpark der VEAG). Die Stromerzeugung in Berlin ist durch einen hohen Anteil fossiler Energieträger gekennzeichnet. Dieser setzt sich folgendermaßen zusammen:

Energieträger	GWh	%
Steinkohlen	23.004	67,2
Braunkohlen	1.571	4,6
Sonstige feste Brennstoffe	336	1,0
Mineralölprodukte	4.359	12,7
Gase (inkl. Flüssiggas)	4.973	14,5

Tab. 5-4: Energieträgereinsatz zur Stromerzeugung in Berlin

Quelle: SenSUT, Energiebilanz 1995

¹⁴ Dieser Wert gilt für Erdgastankstellen, die am Mittel- oder Niederdrucknetz betrieben werden. Bei sehr hohem Gasvordruck (50bar) kann sich der Stromverbrauch auf 0,07 kWh/kg reduzieren (mdl. Auskunft, Hr. Riedel, Mannesmann Demag, 24.9.97). Auswertungen der GASAG zur Charlottenburger Erdgastankstelle ergeben einen Stromverbrauch von 0,49 kWh/Nm³, was ca. 0,53 kWh/kg entspricht.

Hinzu kommt der Strom aus dem VEAG-Netz, der praktisch ausschließlich aus Braunkohle erzeugt wird, in Höhe von rund 25% des Berliner Stromverbrauchs. Für die Strombereitstellung in Berlin ergeben sich damit folgende Emissionsfaktoren:

Emissionsfaktoren Strombereitstellung Berlin	SO₂	NO_x	HCl	HF	Staub	CO	CH₄	NMVOC	N₂O	CO₂
	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	t/GWh
	436,2	793,8	34,4	2,2	67,4	168,9	4543,2	135,5	150,4	980,4

Tab. 5-5: Emissionsfaktoren für die Strombereitstellung in Berlin

Quelle: Matthes 1996

Im Gegensatz zur Bereitstellung der Endenergie Erdgas erscheinen die Emissionen für die Stromerzeugung wesentlich höher. Dies liegt daran, dass bei der Strombereitstellung neben den Vorketten für die Brennstoffbereitstellung (Steinkohle, Braunkohle, Erdgas etc.) auch die Verbrennungsprozesse in den Kraftwerken enthalten sind.

Die in Tab. 5-5 ausgewiesenen Emissionsdaten in kg/GWh_{el} müssen auf die für die Betankung einer GWh Erdgas benötigte elektrische Energiemenge (30,42 MWh_{el}/GWh_{Erdgas}) und die daraus resultierenden Emissionen umgerechnet werden. Diese sind in 5-6 dargestellt:

Emissionsfaktoren Be-tankung mit Erdgas	SO₂	NO_x	HCl	HF	Staub	CO	CH₄	NMVOC	N₂O	CO₂
	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	t/GWh
	13,27	24,15	1,05	0,07	2,05	5,14	138,23	4,12	4,58	29,83

Tab. 5-6: Emissionsfaktoren für die Betankung eines Fahrzeugs (je MWh Erdgas)

Quelle: eigene Berechnung

Verknüpft mit der Vorkette für die Erdgasbereitstellung ergeben sich folgende Emissionsfaktoren inklusive Betankung:

Emissionsfaktoren Vorkette Erdgas und Be-tankung	SO₂	NO_x	HCl	HF	Staub	CO	CH₄	NMVOC	N₂O	CO₂
	g/MWh	g/MWh	g/MWh	g/MWh	g/MWh	g/MWh	g/MWh	g/MWh	g/MWh	kg/MWh
	17,95	72,75	1,05	0,07	6,01	64,54	790,55	7,00	4,94	40,63

Tab. 5-7: Emissionsfaktoren für die Vorkette Erdgas Berlin inkl. Betankung (je MWh Erdgas)

Quelle: Matthes 1996, eigene Berechnung

In der graphischen Darstellung ergibt sich für die Aufteilung auf die Vorkette für die Erdgasbereitstellung und die Strombereitstellung zur Betankung folgendes Bild:

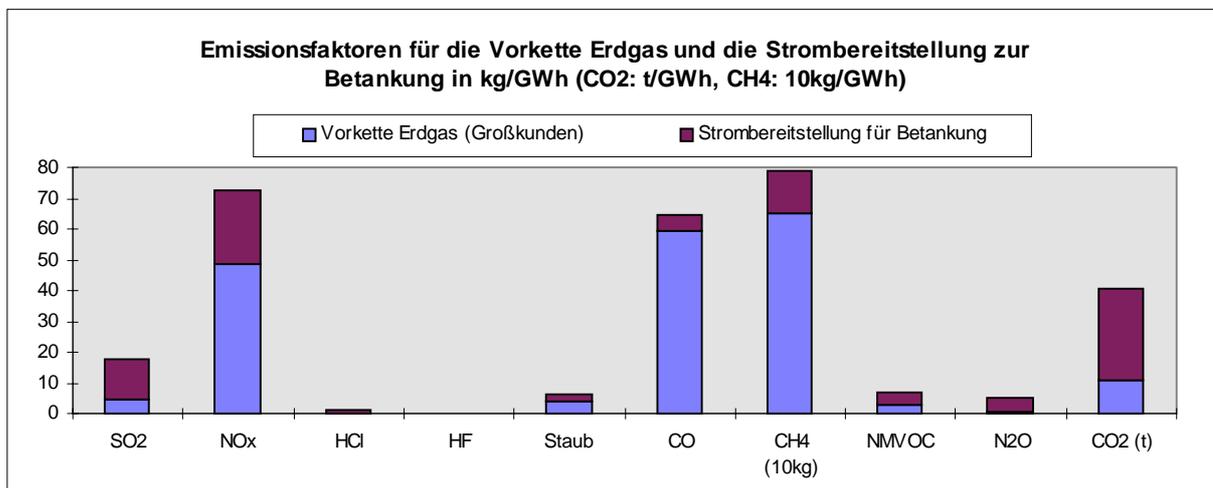


Abb. 5-3: Emissionsfaktoren für die Vorkette Erdgas Berlin inkl. Betankung (je GWh Erdgas)

Auffällig ist, dass der Stromverbrauch zur Betankung der Fahrzeuge bei den SO₂, NO_x und CO₂-Emissionen erheblich zu Buche schlägt.

4.3 Emissionen aus dem Betrieb der Fahrzeuge

Emissionsdaten für schwere Nutzfahrzeuge werden bislang in dem sogenannten 13-Punkte Test ermittelt, der verschiedene Situationen im Kennfeld des Motors abbildet. Dieser Test ist umstritten, da er nur von begrenzter Aussagekraft für das tatsächliche Emissionsverhalten der Fahrzeuge im Betrieb ist. Aus diesem Grunde werden ab dem Jahr 2000 wahrscheinlich andere, realistischere Prüfzyklen (FIGE-Zyklus, Vorschlag des UBA, OICA/ACEA-Zyklus, Vorschlag der europäischen Nutzfahrzeugindustrie) (LBST 1996, S. 7-50) zur Anwendung kommen.

Da an dieser Stelle keine aufwendigen Recherchen zu Emissionsfaktoren von Fahrzeugen betrieben werden können, soll auf die Vorgehensweise bei Höher (Höher 1997) zurückgegriffen werden. Dieser hat als Referenz die derzeitigen, im 13 Punkte-Test ermittelten Emissionsfaktoren für Motoren, die die EURO II-Norm erfüllen, als Grundlage genommen. Diese unterschreiten die geltenden Grenzwerte je nach Schadstoff um rund

6% (NO_x) bis 80% (CO). Für zu erwartende weitere Entwicklungen wird die Annahme getroffen, dass auch in Zukunft eine Unterschreitung von verschärfter Grenzwerte (EURO III, EURO IV) in ähnlicher Höhe erfolgt.

Für Dieselfahrzeuge sind diese in Tab. 5-8 dargestellt:

	CO	HC	NO _x	PM
EURO II				
Grenzwert	4,0	1,1	7,0	0,15
Emissionswert ¹⁵	0,60	0,30	6,55	0,110
EURO III¹⁶				
zuk. Grenzwert	2,0	0,6	5,0	0,10
erwarteter Emissionswert ¹⁷	0,50	0,20	4,65	0,070
EURO IV¹⁸				
zuk. Grenzwert	1,3	0,4	2,5	0,05
erwarteter Emissionswert	0,40	0,15	2,33	0,035

Tab. 5-8: Emissionen von Dieselfahrzeugen (Busse, LKW) im 13-Punkte-Test in g/kWh

Quelle: Höher 1997

Analog werden Emissionsfaktoren für ein CNG-Vergleichsfahrzeug angegeben. CNG-Standard bezeichnet einen Vorschlag für CNG-Standards seitens des UBA, CNG best stellt eine Zusammenfassung guter Emissionswerte aus der Literatur, die technisch realisiert wurden, dar (Höher 1997). Diese unterschreiten bereits heute den EURO-IV-Grenzwertvorschlag.

¹⁵ Werte der durchschnittl. Typenprüfung Mai 1996

¹⁶ deutscher Vorschlag, nach Oktober 1999

¹⁷ Quelle: Höher 1997, S. 69. Für die zu erwartenden Emissionswerte bei EURO III bzw. EURO IV wird für die Dieselfahrzeuge ein signifikanter technischer Fortschritt (Emissionsminderungstechnik, Motorenentwicklung) angenommen, d.h. es handelt sich um relativ positive Annahmen für die Dieselfahrzeuge. Die hier zugrundegelegten Annahmen decken sich in etwa mit denen im Handbuch für Emissionsfaktoren (UBA 1995) angegebenen Verbesserungen zwischen EURO II und EURO III von 38% bei CO, 25% bei HC und 33% bei NO_x und PM (vgl. LBST 1996, S. 7-51).

¹⁸ Vorschlag DG III, ab ca. 2005, vgl. Umrechnung bei Höher 1997, S.9

	CO	HC	NO _x	PM
CNG Standard	1,0	0,3	1,0	-
CNG best	0,5	0,1	0,5	-

Tab. 5-9: Emissionen von CNG-Fahrzeugen (Busse, LKW) im 13-Punkte-Test in g/kWh

Darstellung nach Höher 1997

Im 13-Punkte-Test werden Emissionswerte in g/kWh (mechanische Motorarbeit) ermittelt. Ein Rückschluß bzw. Umrechnung auf fahrleistungsbezogene Emissionen je gefahrenen km ist nicht möglich¹⁹. Zur Abschätzung von Emissionsminderungspotentialen ist dieses aber erforderlich. Daher wird für heutige Fahrzeuge auf das „Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs“ (UBA / Infrac 1995) zurückgegriffen, in dem für verschiedene Verkehrssituationen und Fahrzeuge fahrleistungsbezogene Emissionsfaktoren für die Referenzsituation (EURO II) angegeben sind.

Die Berechnung der fahrleistungsbezogenen Emissionsfaktoren für EURO III bzw. EURO IV erfolgt dann aus der prozentualen Verminderung der Werte des 13-Punkte-Tests (vgl. Tab. 5-8) gegenüber der Referenzsituation. Diesem Schritt liegt die plausible Annahme zugrunde, dass sich die fahrleistungsbezogenen Emissionsfaktoren entsprechend den Entwicklungen der Ergebnisse des 13-Punkte-Tests verhalten werden. Zugrundegelegt wird die Verkehrssituation „Innerortsstraßen im Stadtkern“, die einen Mittelwert darstellen.

Im folgenden sind die auf Basis der EURO II-Referenz errechneten Emissionsfaktoren angegeben, die für die Berechnung der Umweltentlastungspotentiale zugrundegelegt werden.

Fahrzeug	HC in g/km	davon CH ₄ ²⁰	davon Benzol in g/km ²¹	NO _x in g/km	PM in g/km	davon Ruß ²²
Bus Diesel (EURO II) nach UBA/Infrac 1995	2,18	0,052	0,041	10,96	0,30	0,12

¹⁹ UBA, Hr. Mönch zit. nach Höher 1997

²⁰ Anteil 2,4% der HC (ifeu 1995)

²¹ Anteil 1,9% der HC (ifeu 1995)

²² Anteil 40% von PM (Mönch, Tappe 1997, zit. nach Höher 1997, S.77)

Bus Diesel (EURO III) errechnet	1,45	0,035	0,028	7,78	0,19	0,076
Bus Diesel (EURO IV) errechnet	1,09	0,026	0,021	3,90	0,10	0,04
Bus CNG Standard nach UBA	2,18	1,962	0	2,19	0,006	0
Bus CNG Best nach Hö- her	0,73	0,657	0	1,10	0,006	0

Tab. 5-10: Emissionsfaktoren (HC, CH₄, Benzol, NO_x, PM, Ruß) für den Fahrzeugbetrieb

vgl. Höher 1997

Die Emissionsfaktoren von SO₂ und CO₂ werden in GEMIS auf der Basis des Brennstoffgehaltes an Kohlenstoff und Schwefel errechnet (Annahme: vollständige Umsetzung bei der Verbrennung). Es ergeben sich folgende Emissionsfaktoren:

Herkunft	GUS	Norwegen	Niederlande	Dänemark	Deutschland	Berliner Erdgas	Diesel
Anteil am Berliner Erdgas (%) ²³	53	21	15	2	9		
Emissionsfaktor CO ₂ (t/GWh)	198,97	205,96	202,40	205,96	198,54	201,05	268,15
Emissionsfaktor SO ₂ (kg/GWh)	1,44	1,33	1,66	1,33	1,55	1,44	84,42
Heizwert (MJ/Nm ³)	35,88	38,82	31,53	38,82	33,8	35,72	42,61 (MJ/kg)

Tab. 5-11: Emissionsfaktoren (CO₂, SO₂) für den Fahrzeugbetrieb

Quelle: GEMIS 3.0

Diese müssen mit dem Energieverbrauch der Fahrzeuge verknüpft werden, um Emissionsfaktoren in g/km zu erhalten.

Die Energieverbräuche im Betrieb werden für Diesel-Solobusse in der Literatur mit rund 41 l/100 km angegeben. Für die Zukunft wurde von gleichbleibenden Verbräuchen bei

²³ Berechnungsgrundlage von Matthes 1997

Dieselfahrzeugen ausgegangen. Diese Annahme ist eher konservativ zuungunsten von Gasfahrzeugen, da damit zu rechnen ist, dass der Energiebedarf mit erforderlich werdender zusätzlicher Abgasreinigungstechnologie steigen wird.

Der aufgrund des ottomotorischen Prinzips bedingte Mehrverbrauch von gasbetriebenen Fahrzeugen wird in der Literatur mit rund 25% angegeben (vgl. Zusammenstellung bei Höher 1997). Für einen Erdgasbus ergibt sich damit ein Verbrauch von $51,3 \text{ Nm}^3/100 \text{ km}^{24}$. Optimierungspotentiale durch einen Magermixmotor werden mit rund 20% gegenüber dem heutigen Standard gesehen. Daher wird für das CNG-best Fahrzeug ein Verbrauch von $42,8 \text{ Nm}^3/100 \text{ km}$ angesetzt.

Umgerechnet auf GWh/100 km ergeben sich folgende Verbrauchswerte:

	energet. Verbrauch GWh/100 km
Bus Diesel (EURO II)	0,000420
Bus Diesel (EURO III)	0,000420
Bus Diesel (EURO IV)	0,000420
Bus CNG Standard	0,000509
Bus CNG Best	0,000425

Tab. 5-12: Verbrauchsdaten der Fahrzeuge

Je 100 km Fahrleistung lassen sich dann die Emissionen aus dem Fahrzeugbetrieb und der Vorkette errechnen. Bei Diesel ergibt sich aufgrund der bei EURO II bis EURO IV angenommenen Verbrauchskonstanz nur ein Wert für die Vorkette. Bei Erdgas wird im CNG-best-Fall auch ein reduzierter Verbrauch angenommen, daher sind hier auch bei der Vorkette bezogen auf 100 km Fahrleistung zwei Werte angegeben. Zusätzlich dargestellt wurde der Fall „opt. Tank, CNG-best“, bei dem eine Betankung vom Hochdrucknetz angenommen wurde (Strombedarf lediglich $0,07 \text{ kWh/Nm}^3$):

²⁴ Die Verbräuche der im Berliner Erdgasbusprojekt untersuchten Fahrzeuge zeigen höhere Werte (rund $54\text{-}57,5 \text{ Nm}^3/100\text{km}$), was der spezifischen Berliner Verkehrssituation (viel Stop and Go etc.) geschuldet ist. (vgl. Innotec 1997)

	SO ₂	NO _x	CO ₂	CO	CH ₄	NM VOC	Partikel	davon Ruß	N ₂ O	Staub	Benzol
	g/100km	g/100km	kg / 100km	g/100km	g/100km	g/100km	g/100km	g/100km	g/100km	g/100km	g/100km
Vorkette Diesel	45,02	41,03	9,87	12,35	24,15	27,10			0,18	4,96	
Betrieb Dieselfahr- zeug											
EURO II-Diesel	184,04	1096,10	112,56	140,00	5,23	212,77	30,00	12,00		0,00	4,142
EURO III-Diesel	122,41	778,00	112,56	88,00	3,48	141,52	19,00	7,60		0,00	2,755
EURO IV-Diesel	92,02	390,00	112,56	44,00	2,62	106,38	10,00	4,00		0,00	2,071
Gesamtemissionen Dieselfahrzeug											
EURO II-Diesel	229,05	1137,13	122,43	152,35	29,38	239,86	30,00	12,00	0,18	4,96	4,14
EURO III-Diesel	167,43	819,03	122,43	100,35	27,63	168,62	19,00	7,60	0,18	4,96	2,76
EURO IV-Diesel	137,04	431,03	122,43	56,35	26,76	133,48	10,00	4,00	0,18	4,96	2,07
Vorkette: Gas											
CNG Standard	9,14	37,03	20,68	32,85	402,36	3,56			2,51	3,06	
CNG Best	7,62	30,89	17,25	27,41	335,69	2,97			2,10	2,55	
opt Betankung, CNG Best	2,97	22,43	6,80	25,60	287,27	1,53			0,49	1,83	
Betrieb Gasfahrzeug:											
CNG Standard	0,74	219,00	102,33	40,00	196,20	21,80	0,60				0
CNG Best / opt. Be- tankung	0,62	110,00	85,37	20,00	65,70	7,30	0,60				0
Gesamtemissionen Gasfahrzeug											
CNG Standard	9,88	256,03	123,01	72,85	598,56	25,36	0,60	0,00	2,51	3,06	0
CNG Best	8,24	140,89	102,63	47,41	401,39	10,27	0,60	0,00	2,10	2,55	0
CNG Best, opt. Tank	3,59	132,43	92,18	45,60	352,97	8,83	0,60	0,00	0,49	1,83	0

Tab. 5-13: Emissionsdaten je 100 km Fahrleistung

Quelle: eigene Berechnung

Zunächst sind in Abb. 5-4 die reinen Betriebsemissionen der verglichenen Fahrzeuge je 100 km Fahrleistung graphisch dargestellt:

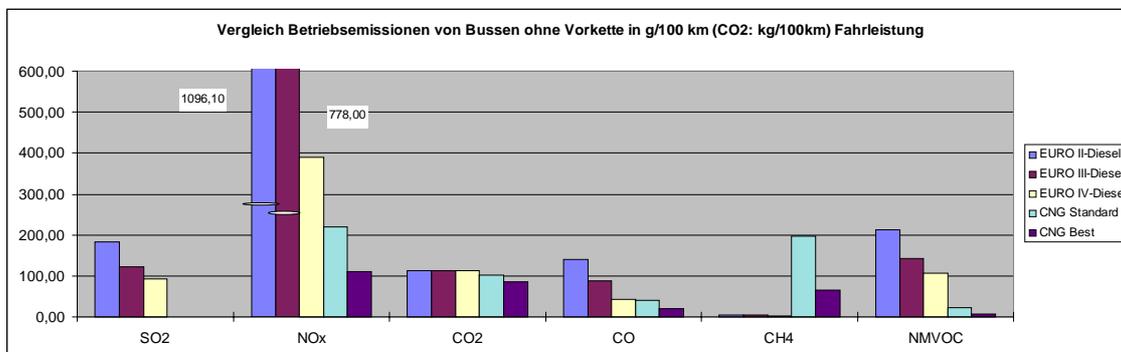


Abb. 5-4: Betriebsemissionen je 100 km Fahrleistung ohne Vorkette

Erkennbar sind bei den meisten Schadstoffen deutliche Vorteile der gasbetriebenen Fahrzeuge. Lediglich bei Methan liegen die Emissionen der Erdgasfahrzeuge deutlich über den Emissionen der Dieselfahrzeuge. Bei den übrigen Kohlenwasserstoffen ist das Verhältnis umgekehrt.

In der graphischen Darstellung ergibt sich für die Gesamtemissionen folgendes Bild²⁵:

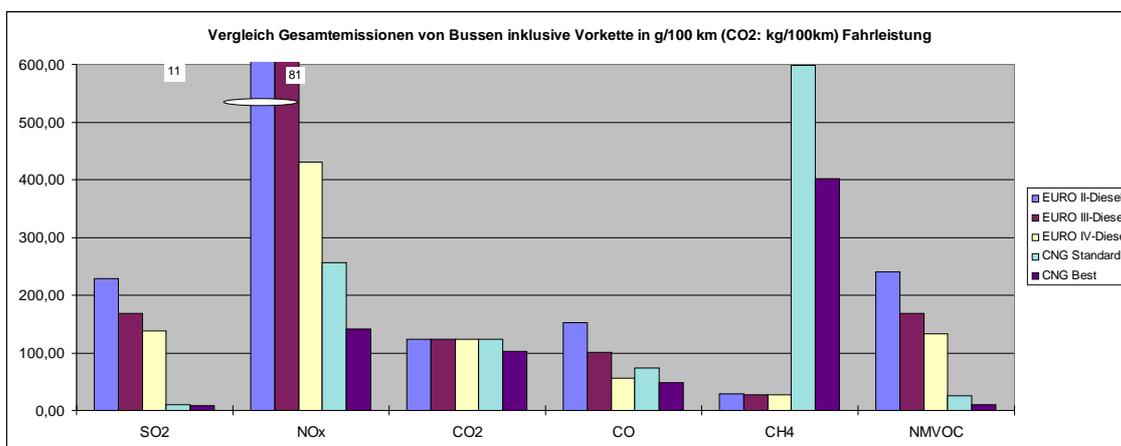


Abb. 5-5: Emissionen je 100 km Fahrleistung inklusive Vorkette

Beispielhaft soll für die Variante CNG-Standard auch die Aufteilung der Emissionen auf Betrieb, Prozeßkette Strombereitstellung zur Betankung und Prozeßkette Erdgas dargestellt werden (vgl. 5-6):

²⁵ Nicht dargestellt der Fall CNG-Best mit optimierter Betankung aus dem Hochdrucknetz

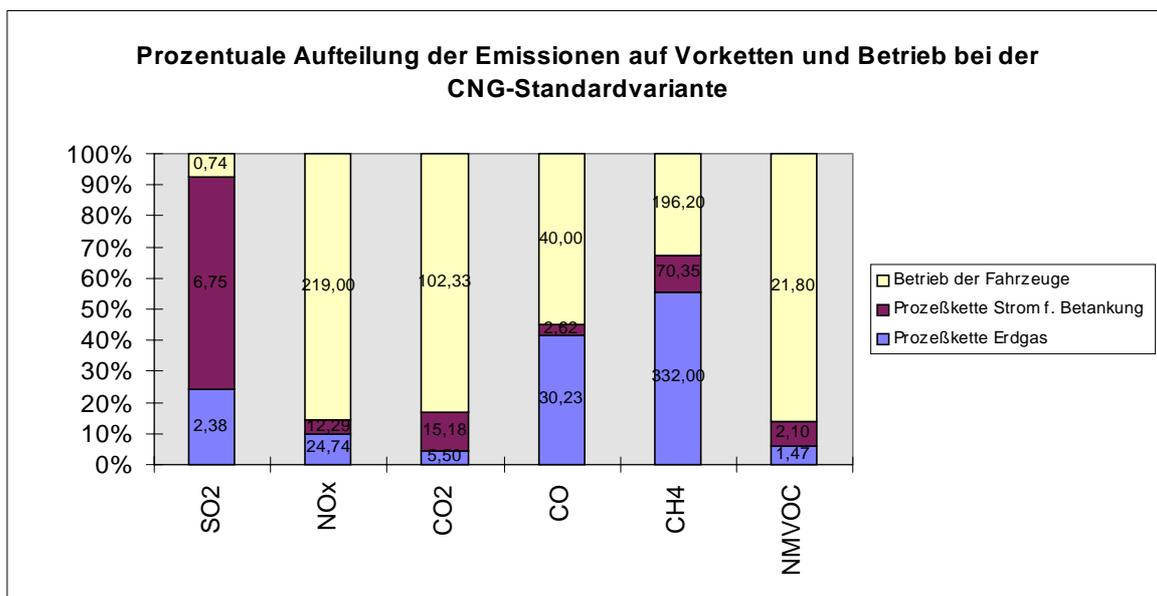


Abb. 5-6: Aufteilung der Emissionen bei der CNG-Standardvariante

Zahlenwerte: Emissionen in g/100 km (CO₂:kg/100 km)

Zu erkennen ist, dass der überwiegende Anteil der SO₂-Emissionen von der Strombereitstellung für die Betankung verursacht wird. Bei CH₄ überwiegt der Anteil der Prozesskette Erdgas, bei den anderen Kategorien der Fahrzeugbetrieb. Bei der prozentualen Darstellung darf nicht übersehen werden, dass es sich absolut betrachtet teilweise um sehr geringe Emissionswerte handelt. Für die CNG-Bestvariante stellt sich die Situation ähnlich dar, wobei aufgrund des verringerten Verbrauchs die Anteile der betriebsbedingten Emissionen sinken:

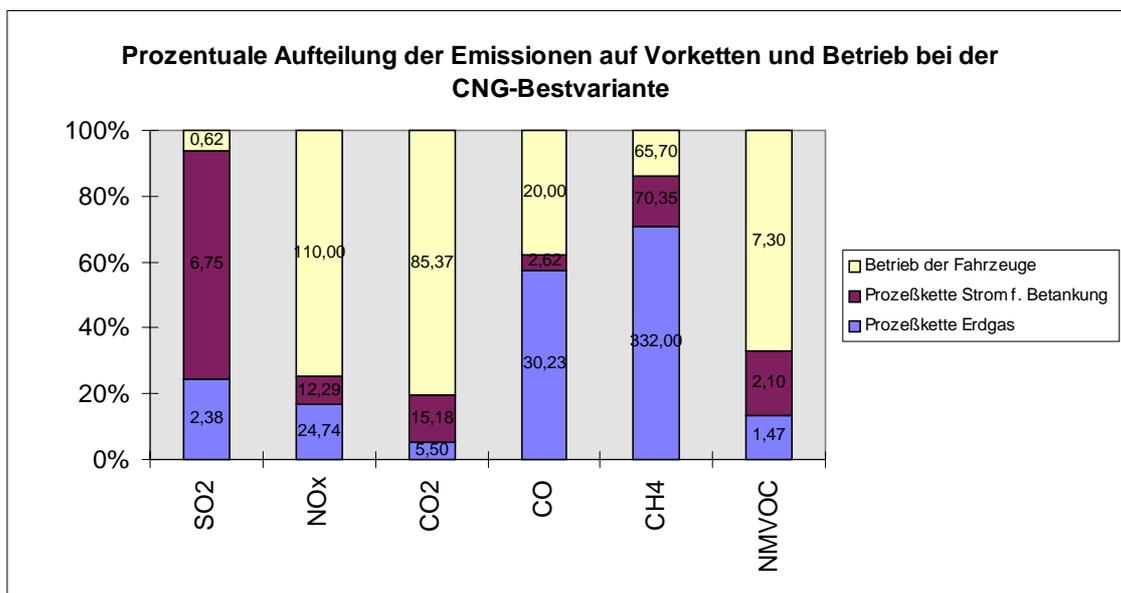


Abb. 5-7: Aufteilung der Emissionen bei der CNG-Bestvariante
 Zahlenwerte: Emissionen in g/100 km (CO₂:kg/100 km)

Bei den Emissionen der toxikologisch besonders bedenklichen Stoffe Benzol und Ruß zeigen sich im Vergleich der Varianten deutlich die Vorteile der Gasfahrzeuge, die praktisch kein Ruß und Benzol emittieren²⁶:

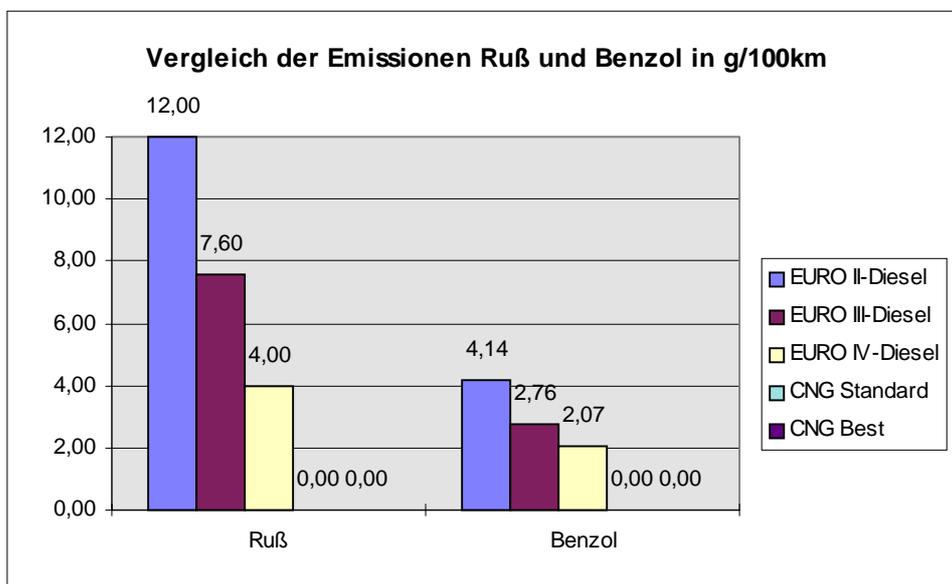


Abb. 5-8: Emissionen (Ruß, Benzol) je 100 km Fahrleistung

²⁶ Nur Fahrzeugbetrieb, da bei Vorkette nicht erfaßt

Zusammenfassend lassen sich deutliche Emissionsvorteile der gasbetriebenen Fahrzeuge bei Schwefeldioxid, Stickoxiden, NMVOC, Ruß und Benzol feststellen. Schlechter stellt sich die Situation bei Methan und damit beim Treibhauspotential dar. Bei CO₂ sind keine wesentlichen Unterschiede festzustellen.

4.4 Rahmenbedingungen für das Szenario: Verstärkter Einsatz von Erdgasbussen

Es soll an dieser Stelle ausdrücklich betont werden, dass es sich im folgenden um Abschätzungen auf Basis plausibler Annahmen handelt, die einen orientierenden Charakter haben. Da sie auf einer Reihe von Annahmen und Randbedingungen basieren, sind sie nicht ohne weiteres verallgemeinerbar.

Von grundsätzlicher Bedeutung für die tatsächliche Umsetzung der Beschaffung einer größeren Flotte von Erdgasfahrzeugen sind verschiedene, zum Teil auf der politischen Ebene beeinflussbare Rahmenbedingungen wichtig:

- Aufrechterhaltung der Steuersenkung der Mineralölsteuer für Erdgas auch nach dem 1.1.2000, so dass sich bei den Kraftstoffkosten Vorteile gegenüber Diesel ergeben.²⁷
- Es wird eine Infrastruktur geschaffen, die die Betankung der Fahrzeuge in kurzer Zeit ermöglicht (Quickfill-Tankstellen). Damit würden Betankungsmehrkosten deutlich reduziert werden²⁸
- Es werden mit erdgasbetriebenen Fahrzeugen Laufleistungen erreicht, die bei der gleichen Laufleistung dieselbetriebener Fahrzeuge liegen (Mittel 60.000 km p.a.)
- Es wird angenommen, dass der Mehrverbrauch gegenüber Dieselfahrzeugen sich durch verbesserte Technik und verbesserte verkehrspolitische Rahmenbedingungen ab dem Jahr 2000 um 20% gegenüber dem heutigen Wert reduzieren läßt. Zu den verkehrspolitischen Randbedingungen gehört u.a. die verstärkte Einrichtung von

²⁷ Hierzu liegt ein Bundesratsbeschluß vor, der eine Verlängerung der Steuersenkung für weitere 10 Jahre vorsieht. Eine Votum der Bundesregierung lehnt die Verlängerung ab. Im Bundestag ist noch keine Entscheidung gefallen.

²⁸ Die im Berliner Erdgasbusprojekt (EU-Thermie-Förderung) Zeiten lagen bei annähernd 30 Minuten. Mit Quickfill-Technik ließe sich die Zeit je Fahrzeug auf rund 8 Minuten reduzieren.(Auskunft Fr Leyk, infraneu am 25.9.97)

Busspuren, die zu einer Verflüssigung des ÖPNV beitragen und somit die Stop-and-Go-bedingten Mehrverbräuche reduzieren helfen.

- Durch die aufgrund der EURO III-Norm bei Dieselfahrzeugen erforderliche Abgasreinigungstechnik ergibt sich eine Reduzierung der Investitionsmehrkosten bei CNG-Fahrzeugen.

Vereinfachend werden als Fahrzeuge Solobusse (keine Gelenkbusse oder Doppeldecker) angenommen. Nach einer derzeit durchgeführten Untersuchung von infraneu²⁹ erscheint es bei Einhaltung o.g. Rahmenbedingungen realistisch, dass bei der BVG innerhalb von zwei bis drei Jahren rund 200 CNG-Busse beschafft werden. Dies entspräche der Umstellung eines Betriebshofes. Derzeit beschafft die BVG jährlich insgesamt rund 150 Busse, so dass etwa die Hälfte der Neuanschaffungen CNG-Fahrzeuge wären.

4.5 Ergebnisse

Für das hier zugrundegelegte Szenario wird angenommen, dass ab 1998 jährlich 50 CNG-Busse beschafft werden. Bis einschließlich 1999 wäre ein EURO-II-Dieselfahrzeug die Alternative, ab dem Jahr 2000 aufgrund der verschärften Grenzwerte ein EURO-III-Fahrzeug. Ab dem Jahr 2000 wird bei den neubeschafften Gasfahrzeugen die CNG-Best-Variante angenommen. Für den Flottenvergleich wird also im Jahr 2005 eine Flotte mit 100 EURO-II und 300 EURO-III-Fahrzeugen mit einer Flotte von 100 CNG-Standard und 300 CNG-Best-Fahrzeugen verglichen. Dies würde der Umstellung zweier Betriebshöfe entsprechen. Der Stand im Jahr 2001 würde die Umrüstung eines Betriebshofes widerspiegeln mit jeweils 100 EURO II und EURO III-Fahrzeugen bzw. 100 CNG-Standard und 100 CNG-Best-Fahrzeugen. Die Ergebnisse zeigt Tab. 5-14:

²⁹ Auskunft Frau Leyk, infraneu am 25.9.97

Jahr	Flotte:	SO ₂	NO _x	CO ₂	CO	CH ₄	NMVOC	PM	Ruß	Benzol
		kg/a	kg/a	t/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a
2001	Dieselflotte (100 EURO II, 100 EURO III-Fz.)	23789	117369	14692	15162	3421	24509	2940	1176	414
2001	CNG-Flotte (100 CNG Standard, 100 CNG-Best-Fz.)	1087	23815	13538	7215	59997	2138	72	0	0
2001	Differenz Diesel - CNG-Flotte	22702	93554	1154	7946	-56576	22370	2868	1176	414
2005	Dieselflotte (100 EURO II, 300 EURO III-Fz.)	43880	215653	29383	27203	6736	44743	5220	2088	744
2005	CNG-Flotte (100 CNG Standard, 300 CNG-Best-Fz.)	2076	40722	25853	12904	108163	3371	144	0	0
2005	Differenz Diesel - CNG-Flotte	41804	174930	3530	14299	-101428	41371	5076	2088	744

Tab. 5-14: Flottenvergleich, Schadstoffausstoß bei Jahreslaufleistung 60.000 km

Quelle: eigene Berechnung

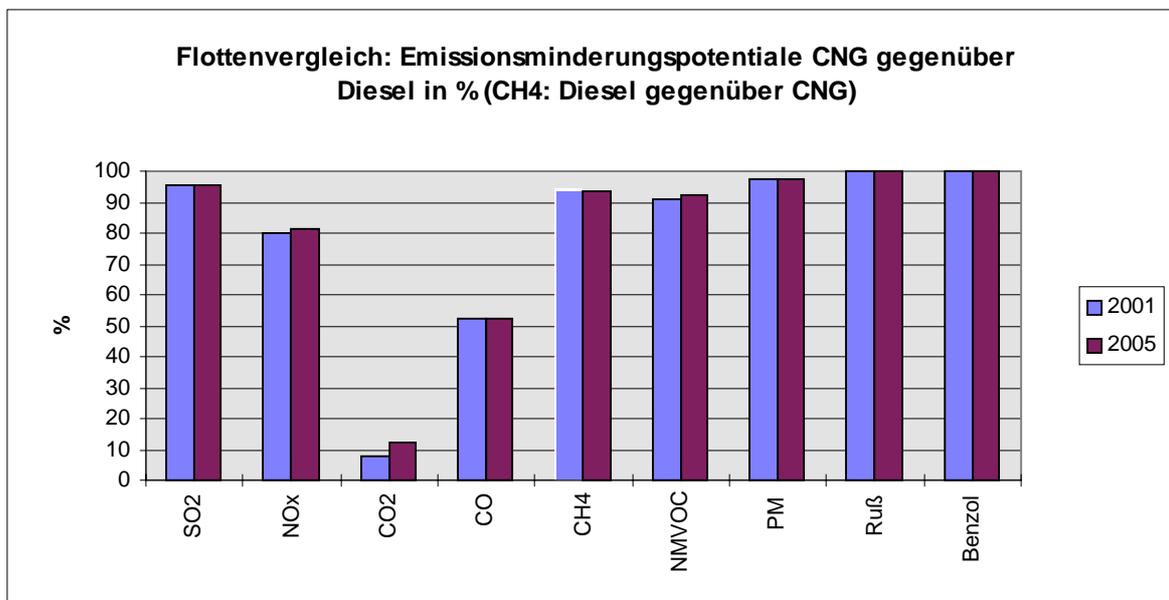


Abb. 5-9: Prozentuale Emissionsreduktion im Vergleich

Werden die Ergebnisse aus Tab. 5.14 in prozentuale Reduktionen umgerechnet, so ergibt sich unter den gewählten Randbedingungen das in Abb. 5.9 dargestellte Bild. Erkennbar ist, dass in allen Emissionskategorien deutliche Schadstoffentlastungen durch den Einsatz der CNG-Flotte erzielbar sind. Partikel- und Rußemissionen sowie Benzolmissionen könnten vollständig vermieden werden. Die Emissionen der meisten anderen reglementierten Schadstoffe könnten ebenfalls drastisch gesenkt werden. Lediglich bei Methan ist aufgrund der Vorkette Erdgas eine erhebliche Mehremission (ca. Faktor 15) zu verzeichnen.

In Relation zur gesamten Fahrzeugflotte der BVG (ca. 1.600 Fahrzeuge) läßt sich der Schadstoffreduktionseffekt ebenfalls grob abschätzen. Geht man von einer Laufleistung der übrigen 1.200 (1.600-400 schadstoffreduzierte) Fahrzeuge von ebenfalls 60.000 km p.a. aus und setzt voraus, dass diese Fahrzeuge den EURO II-Standard erfüllen (was 2005 der Fall sein dürfte), so lassen sich mit der CNG-Flotte immerhin rund 20% der Schadstoffe NO_x , SO_2 , NMVOC, Partikel, Ruß und Benzol, 3% des CO_2 und 10% des CO im Vergleich zur Gesamtflotte vermeiden. Der CH_4 -Ausstoß würde im Vergleich zur Gesamtflotte um den Faktor 4,6 höher liegen.

Festzuhalten ist daher, dass der Ausstoß der bezüglich der innerstädtischen Berliner Immissionssituation besonders kritischen Schadstoffe Benzol, Ruß und Stickoxide (erwartete Überschreitungen der Grenzwerte der 23. BImSchV, vgl. Einleitung) durch den Einsatz von CNG-Fahrzeugen signifikant reduziert und damit die Luftqualität und die Lebensqualität der Anwohner verbessert werden könnte. Die lokale Umweltentlastung wird um so stärker ausfallen, je mehr Akteure (weitere Flottenbetreiber, innerstädtischer Wirtschaftsverkehr) CNG-betriebene Fahrzeuge einsetzen. Problematisch bleiben allerdings unter Klimaschutz Gesichtspunkten die Methanemissionen, insbesondere der Vorkette der Erdgasgewinnung.

Damit die Emissionsminderungspotentiale tatsächlich erreicht werden können, müssen entsprechende Rahmenbedingungen, zu denen u.a. die Beibehaltung der reduzierten Steuer auf Erdgas gehört, auf politischer Ebene geschaffen werden. Für das Land Berlin gehört dazu sicher auch die Einflussnahme auf weitere Flottenbetreiber sowie die Schaffung z.B. weiterer Busspuren, um durch verkehrliche Randbedingungen Verbrauchsminderungs- und damit Emissionsminderungspotentiale erschließen zu können. Wichtig ist, dass durch geeignete Rahmenbedingungen ein hinreichend großer Markt geschaffen wird, um Flottenbetreiber zum Umsteigen zu bewegen und Infrastrukturkosten zum Aufbau einer Tankstellen-Infrastruktur senken zu können. Weiterhin könnten

damit der Fahrzeugindustrie Anreize zur Entwicklung und Serienproduktion von effizienteren und sparsameren Gasfahrzeugen gegeben werden.

5 Tabellen-Anhang (A)

	GWh	Anteil (Arbeit in %)
BEWAG Netz		
Nord	1.497,0	30,0
Süd	354,2	7,1
Rudow	296,7	6,0
Mitte	430,0	8,6
Ost	1.892,5	38,0
Buch	111,6	2,2
andere		
FHW Neukölln	107,9	2,2
FHW Märkisches Viertel	260,9	5,2
EAB (eigenerzeugt)	35,0	0,7
Summe	4.985,8	100,0

Tab. A-H.4-1: Anteil der Netze an der Fernwärme-Versorgung 1995

Quelle: BEWAG, Matthes, StaLA '93; eig. Berechnungen

Tab. A-H.4-3: Anlagenpark 1995 und 2010³⁰

Gas

Haushalte

Anlagentyp	1995 Anteil (%)
Etagenh. m. atm Brenner	43,5
Zentrh. m. atm. Brenner	29,7
Gebläsebrenner	5,5
Außenwandofen	19,6
Zentrh. m. Brennwertkessel	1,8
BHKW-50kW	0,01
Summe	100,0

Anlagentyp	2010 Anteil (%)
Etagenh. m. atm Brenner	39,5
Zentrh. m. atm. Brenner	21,4
Gebläsebrenner	10,1
Außenwandofen	5,6
Zentrh. m. Brennwertkessel	15,2
BHKW-50kW	8,2
Summe	100,0

Kleinverbrauch (Prozesswärme)

Anlagentyp	1995 Anteil (%)
BHKW-100	0,7
BHKW-1000	0,9
Heizwerk-alt	19,2
Heizwerk-mittelalt	30,1
Heizwerk-neu	49,1
Summe	100,0

Anlagentyp	2010 Anteil (%)
BHKW-100	0,7
BHKW-1000	5,0
Heizwerk-alt	8,9
Heizwerk-mittelalt	19,0
Heizwerk-neu	66,5
Summe	100,0

Industrie (Prozesswärme)

Anlagentyp	1995 Anteil (%)
BHKW-100	6,7
BHKW-1000	10,0
Heizwerk-alt	29,4

Anlagentyp	2010 Anteil (%)
BHKW-100	5,8
BHKW-1000	15,7
Heizwerk-alt	13,6

30

Bitte beachten: Der Modell-Anlagenpark für das Jahr 2010 beinhaltet sowohl die Anlagensubstitution (z.B. Gas-Außenwandofen gegen Gas-Etage) als auch Effizienzverbesserungen durch Ersatz von Altanlagen durch neue des gleichen Typs. Die Interpretation als Prognose für die wirkliche Zahl von z.B. Brennwertkesseln im Jahr 2010 ist daher **nicht** statthaft.

Heizwerk-mittelalt	25,0
Heizwerk-neu	29,0
Summe	100,0

Heizwerk-mittelalt	15,8
Heizwerk-neu	49,3
Summe	100,0

Tab. A-H.4-3: Anlagenpark 1995 und 2010 (Fortsetzung)

Öl

Haushalte

Anlagentyp	1995 Anteil (%)
L-Öl-Zentrh. atm. Brenner	9,7
L-Öl-Zentrh. Ikarus	2,4
Öl-Einzelöfen	1,6
L-Öl-HW-200kW	69,8
L-Öl-HW-800kW	16,5
Summe	100,0

Anlagentyp	2010 Anteil (%)
L-Öl-Zentrh. atm. Brenner	6,5
L-Öl-Zentrh. Ikarus	5,9
Öl-Einzelöfen	0,3
L-Öl-HW-200kW	61,0
L-Öl-HW-800kW	26,3
Summe	100,0

Kleinverbrauch (Prozesswärme)

Anlagentyp	1995 Anteil (%)
BHKW-100	0,2
BHKW-1000	0,2
Heizwerk-alt	35,1
Heizwerk-mittelalt	29,9
Heizwerk-neu	34,7
Summe	100,0

Anlagentyp	2010 Anteil (%)
BHKW-100	0,1
BHKW-1000	5,8
Heizwerk-alt	16,2
Heizwerk-mittelalt	18,9
Heizwerk-neu	58,9
Summe	100,0

Industrie (Prozesswärme)

Anlagentyp	1995 Anteil (%)
BHKW-100	0,6
BHKW-1000	0,9
Heizwerk-alt	34,7
Heizwerk-mittelalt	29,6
Heizwerk-neu	34,3
Summe	100,0

Anlagentyp	2010 Anteil (%)
BHKW-100	0,5
BHKW-1000	6,5
Heizwerk-alt	16,1
Heizwerk-mittelalt	18,7
Heizwerk-neu	58,3
Summe	100,0

Tab. A-H.4-3: Anlagenpark 1995 und 2010 (Fortsetzung)**Kohle****Haushalte**

Anlagentyp	1995 Anteil (%)
Einzelofen	100

Anlagentyp	2010 Anteil (%)
Einzelofen	100

Kleinverbrauch (Prozesswärme)

Anlagentyp	1995 Anteil (%)
Brk-Heizwerk	100

Anlagentyp	2010 Anteil (%)
Brk-Heizwerk	100

Industrie (Prozesswärme)

Anlagentyp	1995 Anteil (%)
Brk-Heizwerk	100

Anlagentyp	2010 Anteil (%)
Brk-Heizwerk	100

Flüssiggas**Kleinverbrauch (Prozesswärme), Industrie (Prozesswärme)**

Anlagentyp	1995 Anteil (%)
Flüssiggas-Kessel	100

Anlagentyp	2010 Anteil (%)
Flüssiggas-Kessel	100

