

Machbarkeitsstudie zur CO₂-Reduzierung in den städtischen Liegenschaften

Teil IV

Abschätzung der Möglichkeiten zur Minderung der CO₂-Emissionen im Fuhrpark





Inhalt

Teil IV 1

1	Problematik	4
2	Methodik	5
3	Ist-Zustand	6
4	Möglichkeiten zur CO₂-Minderung	9
4.1	Alternative Kraftstoff- und Antriebsysteme	9
4.1.1	Erdgas	9
4.1.2	Flüssiggas	10
4.1.3	Biodiesel bzw. RME	11
4.1.4	Pflanzenöl	12
4.1.5	Bioethanol	13
4.1.6	Biomass-to-Liquid (BtL)	14
4.1.7	Biogas	14
4.1.8	Wasserstoff	15
4.1.9	Elektro(hybrid)fahrzeuge	15
4.2	Technische Möglichkeiten der Kraftstoffeinsparung	17
4.2.1	Einsatz von Leichtlaufölen	17
4.2.2	Einsatz von rollwiderstandsarmen Reifen	17
4.3	Organisatorische und individuelle Möglichkeiten der Kraftstoffeinsparung	18
4.3.1	Verkehr vermeiden oder verlagern	18
4.3.2	Gemeinsamer Fuhrpark	18
4.3.3	Änderung im Fahrverhalten	18
4.4	Maßnahmen zur CO₂-Minderung	20
4.4.1	Alternative Kraftstoff- und Antriebsysteme – Neubeschaffung	20
4.4.2	Alternative Kraftstoff- und Antriebsysteme - Umrüstung	21
4.4.3	Zusammenfassung möglicher Maßnahmen	25
5	Fazit	26



1 Problematik

Der Verkehr trägt als drittgrößter Verursacher von CO₂ neben der Energiewirtschaft, der Industrie und den Privathaushalten erheblich zum Klimawandel bei. Nach Sektoren gliedert sich der CO₂-Ausstoß folgendermaßen auf: 42% Energiesektor, 20% Haushalte und Kleinverbraucher, 21% Verkehr und 18% Industrie. Der Verkehr ist also nicht der Hauptverursacher, aber auch kein unbedeutender Sektor. Die Klimabelastungen des Verkehrs gehen vor allem von drei Verkehrsbereichen aus: vom Automobilverkehr, vom Straßengüterverkehr und vom Luftverkehr. Den größten Anteil hat noch immer der Automobilverkehr. Pkws und kleine Nutzfahrzeuge verursachen insgesamt rund 10% des gesamten CO₂-Ausstoßes.

Im Vergleich zu den anderen Sektoren weist der Verkehrsbereich die klimapolitisch ungünstigste Entwicklung beim Energieverbrauch auf. Während die CO₂-Emissionen der Energiewirtschaft und der Industrie seit 1990 rückläufig sind, stiegen sie beim Verkehr im gleichen Zeitraum um rund fünf Prozent an. Der Anstieg verkehrsbedingter CO₂-Emissionen wird vor allem durch die erhebliche Zunahme der Verkehrsaufwandes verursacht. Absolut steigen die CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs an, weil die Fahrzeuge nur unwesentlich weniger Kraftstoff verbrauchen als in der Vergangenheit, aber immer mehr gefahren wird.

Die durchschnittlichen Emissionen von Pkws sind von 186 g_(CO₂)/km im Jahr 1995 auf 163 g_(CO₂)/km im Jahr 2004 gesunken.

Die Kohlendioxid-Emission eines Autos kann nicht durch Katalysatoren oder andere Techniken beeinflusst werden, sie hängt unmittelbar vom Treibstoffverbrauch ab. Je mehr Sprit ein Kraftfahrzeug verbrennt, desto mehr CO₂ wird ausgestoßen. Pro Liter Benzin sind das etwa 2,4 Kilogramm Kohlendioxid, pro Liter Diesel sogar annähernd 2,7 Kilogramm.

Durch die Verwendung von Kraftstoffen mit geringerer CO₂-Intensität kann der Kohlendioxid-Ausstoß vermindert werden. Weitere Möglichkeiten bestehen in technischen Veränderungen am Fahrzeug, die Energieverluste minimieren. Auch durch organisatorische Maßnahmen und das persönliche Verhalten lässt sich der Kraftstoffverbrauch senken.



2 Methodik

Beim Vergleich unterschiedlicher Kraftstoff- und Antriebskonzepte muss grundsätzlich die ganze Produktions- und Verbrauchskette des Kraftstoffes von der Treibstoffgewinnung bis zum Treibstoffverbrauch im Fahrzeug - die so genannten „Well-to-Wheel“-Werte - betrachtet werden.

Die veröffentlichten CO₂-Werte für Kraftfahrzeuge gemäß der EU-Richtlinie 80/1268/EWG gibt nur Angaben über den CO₂-Ausstoß der Fahrzeuge im Norm-Betrieb. Um auch die vorgelagerten Emissionen von der Förderquelle bis zur Tankstelle sowie klimarelevante Emissionen beim Betanken zu berücksichtigen, muss der Energieaufwand der Bereitstellungskette betrachtet werden. Die Bandbreite der Angaben ist für die einzelnen Kraftstoffe teilweise immens, da unterschiedliche Produktionsstandorte, Transportwege und Begleitumstände in Betracht gezogen werden.

Das European Joint Research Center gibt in seinen Veröffentlichungen Richtwerte für typische Kraftstoffe an. Diese liegen bei Benzin bei 290 g_(CO₂)/kWh, bei Diesel bei 300 g_(CO₂)/kWh und bei Erdgas bei 215 g_(CO₂)/kWh. Stark vereinfacht kann man sagen, dass die Werte rund 15% - 20% höher liegen, als die Angaben über den CO₂-Ausstoß der Fahrzeuge im Norm-Betrieb.

3 Ist-Zustand

Die Stadt Waiblingen betreibt rund 115 Kraftfahrzeuge, Anhänger und motorbetriebene Geräte wie Kleinbagger, Gabelstapler und Kehrmaschinen. Die hauptsächliche Antriebsart ist der Dieselmotor mit 65 Fahrzeugen gefolgt von 19 Benzinmotoren, sechs Flüssiggas- und drei Erdgasfahrzeugen.

Die Fahrzeuge haben eine Gesamtleistung von ca. 400.000 km/a und einen CO₂-Ausstoß von rund 137 t/a.

Tabelle 3-1: Benzin betriebene Fahrzeuge

Kennzeich.	Typ / Hersteller	Fahrzeugart	Baujahr	Standort / Betreiber	CO ₂ g / km (TTW)	Laufleistung Durchschnitt km/a	CO ₂ Durchschnitt kg/a (WTW)
WN - 2485	Astra F Caravan / Opel	PKW	Apr. 93	Ortschaftsv. Neustadt	249*	5.000	1.432
WN - 2486	Astra F Caravan / Opel	PKW	Sep. 94	Botenmeisterei	249*	7.682	2.200
WN - 2605	Corsa B / Opel	PKW	Jul. 95	Baurecht	237*	2.450	668
WN - 2601	Astra F Caravan / Opel	PKW	Sep. 95	Kläranlage Hegnach	249*	12.599	3.608
WN - 2609	Astra F Caravan / Opel	PKW	Okt. 95	Botenmeisterei	249*	10.347	2.963
WN - 2395	Golf Kombi (1HXO) / Volks	PKW	Jan. 96	Stadtentwässerung	286*	4.724	1.554
WN - 2617	Corsa B / Opel	PKW	Jul. 96	Vollstreckung	241*	5.424	1.503
WN - 2621	Astra F Caravan / Opel	PKW	Okt. 96	Sozialamt	249*	1.831	524
WN - 2414	6N (Polo) / Volkswagen	PKW	Jan. 97	Grünflächen	210*	5.918	1.429
WN - 2508	BNP (Mondeo Kombi) / Fo	PKW	Feb. 98	Grünflächen	247*	11.264	3.199
WN - 2019	Golf (1J) / Volkswagen	PKW	Mai. 99	Straßen und Brücken	291*	7.792	2.607
WN - 2002	A 140 / Daimler Chrysler	PKW	Dez. 02	TUI	253*	5.221	1.519
WN - 2519	6X (Lupo) / Volkswagen	PKW	Mrz. 03	Hochbau	187*	3.923	844
WN - 2522	Astra G Caravan / Opel	PKW	Jun. 03	Botenmeisterei	273*	6.094	1.913
WN - 2565	223 (Doblo) / Fiat	PKW	Mai. 05	Betriebshof	243	5.000	1.397
WN - 2197	Corsa D / Opel	PKW	Nov. 06	Vollzug	134	5.000	771
WN - 2198	Meriva / Opel	PKW	Nov. 06	Vollzug	154	5.000	886
WN - 2001	C 200 Kompressor / Daiml	PKW	Feb. 07	Erster Bürgermeister	206	10.000	2.369
WN - WN 2211	Piaggio Porter S 85	LKW / Transporter Leichtmüllsampler	Mrz. 07	Betriebshof	-	2.000	805
						117.268	32.190

Tabelle 3-2: Erdgas betriebene Fahrzeuge

Kennzeich.	Typ / Hersteller	Fahrzeugart	Baujahr	Standort / Betreiber	CO ₂ g / km (TTW)	Laufleistung Durchschnitt km/a	CO ₂ Durchschnitt kg/a (WTW)
WN - WN 2214	Combo CNG / Opel	PKW	Mai. 07	Heilpädagogischer Dienst	133	2.688	411
WN - WN 2215	Combo CNG / Opel	PKW	Mai. 07	Baurecht	133	2.450	375
WN - WN 2216	Combo CNG / Opel	PKW		Sozialamt	133	5.000	765
WN - WN 2217	Zafira CNG / Opel	PKW	0kt.07	Stadtentwässerung	138		
						10.138	1.551

Tabelle 3-3: Flüssiggas betriebene Fahrzeuge

Kennzeich.	Typ / Hersteller	Fahrzeugart	Baujahr	Standort / Betreiber	CO ₂ g / km (TTW)	Laufleistung Durchschnitt km/a	CO ₂ Durchschnitt kg/a (WTW)
WN - 2133	Astra F / Opel	PKW	Apr. 93	Betriebshof	-	5.000	1.438
WN - 2090	70 X 12 D (T4) / Volkswag	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Nov. 99	Betriebshof	-	5.000	1.725
WN - 2094	70 X 12 D (T4) / Volkswag	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Okt. 00	Betriebshof	-	5.000	1.725
WN - 2027	S 85 / Pfau	LKW / Transporter Pressmüllcontainer	Dez. 00	Betriebshof	433*	5.000	2.490
WN - 2097	70 X 12 D (T4) / Volkswag	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Jul. 01	Betriebshof	-	5.000	1.725
*WN - 111	Nissan	Gabelstapler		Betriebshof	-	1.000	575
						26.000	9.677



Tabelle 3-4: Diesel betriebene Fahrzeuge

Kennzeich.	Typ / Hersteller	Fahrzeugart	Baujahr	Standort / Betreiber	CO ₂ g / km (TTW)	Laufleistung Durchschnitt km/a	CO ₂ Durchschnitt kg/a (WTW)
WN - 267	Jubi Trac / Welte	Holzrucker	Feb. 79	Stadtwald	-		
WN - 2491	G 129 D / Ladog	Geräteträger Pritsche	Dez. 79	Betriebshof	-		
WN - 2003	1040 E / John Deere	Schlepper	Mrz. 84	Stadtwald	-	5.000	2.875
WN - 2760	APZ 431 / Hansa	Friedhofsbugger	Sep. 88	Friedhof	-		
WN - 2449	U 1200 / Mercedes - Benz	Zugmaschine Unimog	Mai. 89	Betriebshof	-	5.000	2.875
WN - 2018	245 (T3) / Volkswagen	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Sep. 89	Kläranlage Hegnach	385*	5.000	2.214
WN - 2829	208 D / Mercedes - Benz	LKW / Transporter Kastenwagen	Jul. 90	Betriebshof	-	5.000	2.013
WN - 2213	TUL (Transit) / Ford	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Feb. 91	Kläranlage Kernstadt	332*	2.000	764
WN - 2032	Tremo 601 / Kramer	Geräteträger Pritsche	Okt. 91	Betriebshof	-	2.000	805
WN - 2008	SC 20 DS-3 / Mannesman	Anhänger Kompressor (PKW)	Apr. 92	Betriebshof	-		
WN - 2922	460 (Park 70) / Holder	Schlepper	Apr. 92	Betriebshof	-	2.000	1.150
WN - 2020	208 D / Mercedes - Benz	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Jul. 92	Betriebshof	285*	5.000	1.639
WN - 2084	U 1200 / Mercedes - Benz	Zugmaschine Unimog	Sep. 92	Betriebshof	-	5.000	2.875
WN - 2085	Astra F Caravan D / Opel	PKW	Nov. 92	Stadtentwässerung	192*	3.341	738
WN - 2201	M 26 / Multicar	LKW	Sep. 93	Friedhof	-	2.000	1.150
WN - 2442	281-363 (LT28) / Volkswag	LKW / Transporter Kastenwagen	Dez. 93	Stadtjugendpflege	-	2.000	414
WN - 2009	MB 100 D / Mercedes - Be	LKW / Transporter Kastenwagen	Apr. 95	Vermessung	315*	8.783	3.182
WN - 2162	70 X OC (T4) / Volkswager	PKW Transporter	Apr. 95	Vollzug	239*	13.407	3.685
WN - 2148	Combo F / Opel	LKW	Nov. 95	Betriebshof	236*	5.000	1.357
WN - 2082	XAS 55 / Atlas	Anhänger Kompressor (PKW)	Jul. 96	Betriebshof	-		
WN - 2203	1117 AK / Daimler Chrysl	LKW	Feb. 97	Betriebshof	-	5.000	2.875
WN - 2269	210 D (Sprinter) / Mercede	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Sep. 97	Betriebshof	311*	5.000	1.788
WN - 2038	A 521 / Jensen	Anhänger Häcksler (PKW)	Dez. 97	Betriebshof	-		
WN - 2332	2DM (LT) / Volkswagen	LKW / Transporter Kastenwagen	Jan. 98	Stadtjugendpflege	304*	8.468	2.960
WN - 2394	208 D (Sprinter) / Mercede	LKW / Transporter Kastenwagen	Mrz. 98	Stadtjugendpflege	309*	1.506	535
WN - 2256	310 D (Sprinter) / Mercede	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Jul. 98	Betriebshof	311*	5.000	1.788
WN - 2257	310 D (Sprinter) / Mercede	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Jul. 98	Betriebshof	311*	5.000	1.788
WN - 2299	380 GTA / Fendt	Schlepper	Jul. 98	Betriebshof	-		
WN - 2380	All28D82S / Ladog	Geräteträger Pritsche	Aug. 98	Betriebshof	-		
WN - 2250	M 26 / Multicar	LKW	Mrz. 99	Betriebshof	-	5.000	2.875
WN - 2990	815 D (Vario) / Daimler Ch	LKW Doppelkabine Pritsche	Jul. 99	Betriebshof	-	5.000	2.013
WN - 2606	70 X 12 D (T4) / Volkswag	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Aug. 99	Stadtwald	-	5.000	1.627
WN - 2244	615 DK (Vario) / Daimler C	LKW Doppelkabine Pritsche	Sep. 00	Betriebshof	-	5.000	2.013
WN - 2827	HM 960 / Dücker	Anhänger Häcksler	Okt. 00	Betriebshof	-		
WN - 2030	2500 / MFH	Kehrmaschine	Dez. 00	Betriebshof	-	10.000	4.025
WN - 2501	M 26 Multicar	LKW	Jul. 01	Betriebshof	-	5.000	2.875
WN - 2575	APZ 531 / Hansa	Friedhofsbugger	Sep. 01	Friedhof	-		
WN - 2994	U 400 / Daimler Chrysler	Zugmaschine Unimog Containerabsetzer	Sep. 01	Betriebshof	-	5.000	2.013
WN - 2527	A 170 CDI / Daimler Chrys	PKW	Mrz. 02	Betriebshof	213*	5.000	1.225
WN - 2551	903.6 (Sprinter 315) Daiml	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Jul. 02	Betriebshof	563*	5.000	3.237
WN - 2664	70 X 12 D (T4) / Volkswag	LKW / Transporter Leichtmüllsammel	Jul. 02	Betriebshof	283*	5.000	1.627
WN - 2554	975.04 (Atego) / Daimler C	LKW Kehrmaschine	Mrz. 03	Betriebshof	-	10.000	5.750
WN - 2662	Octavia 4 x 4 / Skoda	PKW	Mrz. 03	Betriebshof	186*	5.000	1.070
WN - 2559	Combo C / Opel	PKW	Mai. 03	Kläranlage Kernstadt	190*	9.376	2.049
WN - 2568	70 X 12 D (T4) / Volkswag	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Mai. 03	Betriebshof	263*	5.000	1.512
WN - 2569	2 DX0AE (LT35) / Volkswa	LKW / Transporter Kastenwagen	Mai. 03	Betriebshof	345*	5.000	1.984
WN - 2571	70 X 12 D (T4) / Volkswag	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Mai. 03	Betriebshof	341*	5.000	1.961
WN - 2583	903.6 (Sprinter 4x4) / Daim	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Mai. 03	Betriebshof	423*	5.000	2.432
WN - 2523	AKR 183 / Paus	LKW (Dumper)	Jan. 05	Friedhof	-		
WN - 2272	1928 AK (Atego) / Daimler	LKW	Mrz. 05	Betriebshof	-	5.000	2.875
WN - 2526	Combo C / Opel	PKW	Apr. 05	Stadtentwässerung	143	4.137	680
WN - 2399	7JO (T5) / Volkswagen	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Jun. 05	Betriebshof	254	5.000	1.461
WN - 2558	7JO (T5) / Volkswagen	LKW / Transporter Leichtmüllsammel	Aug. 05	Betriebshof	254	5.000	1.461
WN - 2083	A7.72 / Holder	Schlepper	Nov. 05	Betriebshof	-		
WN - 2383	Crafter 35 / Volkswagen	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Okt. 06	Betriebshof	284	5.000	1.633
WN - 2384	7JO (T5) / Volkswagen	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Okt. 06	Friedhof	248	2.000	570
WN - 2396	7JO (T5) / Volkswagen	LKW / Transporter Doppelkabine Pritsche	Okt. 06	Betriebshof	248	5.000	1.426
WN - 2454	Strada / Fiat	LKW (Pickup)	Okt. 06	Betriebshof	-	5.000	2.013
WN - 2363	TH 4260 AHL / Iseki	Schlepper	Nov. 06	Friedhof	-		
WN - 2487	A7.72 / Holder	Schlepper	Nov. 06	Betriebshof	-		
WN - WN 2200	E 220 CDI / Daimler Chrys	PKW	Jun. 07	Oberbürgermeister	177	10.000	2.036
WN - WN 2210	Sprinter 315 CDI	LKW / Transporter Kastenwagen	Okt. 07	Betriebshof	170*	5.000	978
WN - WN 2218	Citymaster 1200 / Hako	Kehrmaschine	Okt. 07	Betriebshof	-	10.000	3.450
*WN - 2300	SF 230 / Iseki	Großflächenmäher		Betriebshof	-		
*WN - 3010	EX 30 / Hitachi	Minnibagger		Betriebshof	-		
*WN - 7210	72C / Atlas	Radlader		Betriebshof	-		
*WN - 8900	Continent 8900 / Sabo	Großflächenmäher		Betriebshof	-		
						261.017	98.336

Der tatsächliche Kraftstoffbedarf und damit der CO₂-Ausstoß der einzelnen Fahrzeuge liegt nicht vor. Daher konnten die Berechnungen nur mittels dem, über das europäische Messverfahren ermittelten, durchschnittlichen CO₂-Ausstoß vorgenommen werden.

Der Anteil der Dieselfahrzeuge ist bei der Stadt Waiblingen mit 67 Fahrzeugen am größten. Darin befinden sich PKW, kleine Nutzfahrzeuge, LKW und Sonderfahrzeuge mit einer Laufleistung von rund 260.000 km im Jahr und CO₂-Emissionen von rund 98 t/a. Benzinfahrzeuge, als zweitgrößte Gruppe emittieren ca. 32 t/a.

Das Fahrzeug mit den höchsten CO₂-Emissionen von 563 g/km ist ein Daimler-Sprinter im Dienst des Bauhofs; die Fahrzeuge mit den geringsten CO₂-Emissionen von 133 g/km sind neue Erdgasfahrzeuge vom Typ Opel-Combo.

Auch die Kilometerleistung der Fahrzeuge ist teilweise nicht bekannt, so dass in diesem Bereich Annahmen getroffen werden mussten. Die Laufleistung der Fahrzeuge ist mit durchschnittlich 5.300 km pro Jahr gering.

41 Fahrzeuge sind älter als 10 Jahre, 32 Fahrzeuge sind älter als 12 Jahre und 24 Fahrzeuge sind älter als 14 Jahre.

Die von der Stadtverwaltung verwendeten Fahrzeuge werden noch ergänzt durch die Fahrzeuge der Feuerwehr. Diese werden im folgenden nicht näher untersucht.

Tabelle 3-5: Fahrzeuge der Feuerwehr

Kennzeich.	Typ / Hersteller	Fahrzeugart	Baujahr	Standort / Betreiber
WN-2528	1626 AK / Mercedes-Benz	Tanklöschfahrzeug	1980	Abt. Waiblingen
WN-282	1019 AF / Mercedes-Benz	Löschgruppenfahrzeug	1983	Abt. Waiblingen
WN-2290	LP 813 / Mercedes-Benz	Löschgruppenfahrzeug	1985	Abt. Hohenacker
WN-2270	814 / Mercedes-Benz	Löschgruppenfahrzeug	1987	Abt. Bittenfeld
WN-2025	1222 AF / Mercedes-Benz	Tanklöschfahrzeug	1989	Abt. Beinstein
WN-2644	1222 AF / Mercedes-Benz	Löschgruppenfahrzeug	1991	Abt. Waiblingen
WN-2055	310 D / Mercedes-Benz	Einsatzleitwagen	1993	Abt. Waiblingen
WN-2066	2638 6x4 / Mercedes-Benz	Wechsellader	1994	Abt. Waiblingen
WN-2139	1224 AF / Mercedes-Benz	Tanklöschfahrzeug	1994	Abt. Neustadt
WN-2208	1124 AF / Mercedes-Benz	Tanklöschfahrzeug	1996	Abt. Hegnach
WN-2145	FF135E / Iveco	Tanklöschfahrzeug	1997	Abt. Hohenacker
WN-2680	C (Sprinter) / Mercedes-Benz	Mannschaftstransportwagen	2000	Abt. Waiblingen
WN-2015	6.X6 (Atego) / Mercedes-Be	Tanklöschfahrzeug	2000	Abt. Bittenfeld
WN-2676	B5 (Audi A4) / Audi	Kommandowagen	2001	Abt. Waiblingen
WN-2677	4.6 (Sprinter) / Mercedes-Be	Gerätewagen-Transport	2001	Abt. Waiblingen
WN-2679	6.X6 (Atego) / Mercedes-Be	Rüstwagen	2002	Abt. Waiblingen
WN-2682	6.X1 (Atego) / Mercedes-Be	Löschgruppenfahrzeug	2003	Abt. Hegnach
WN-2636	6.X7 (Atego) / Mercedes-Be	Drehleiter	2004	Abt. Waiblingen
WN-2029	6.X1 (Atego) / Mercedes-Be	Löschgruppenfahrzeug	2005	Abt. Beinstein
WN-2136	33 L (Econic) / Mercedes-Be	Wechsellader	2006	Abt. Waiblingen
WN-2353	6.X5 (Atego) / Mercedes-Be	Löschgruppenfahrzeug	2006	Abt. Neustadt

4 Möglichkeiten zur CO₂-Minderung

4.1 Alternative Kraftstoff- und Antriebsysteme

Es gibt bereits alternative Antriebskonzepte und Treibstoffe am Markt, die besonders umweltfreundlich sind und zum Teil auch deutliche Kosteneinsparungen gegenüber Benzin und Diesel bringen. So zum Beispiel Erdgasfahrzeuge, Biodiesel, Hybridantriebe oder Elektrofahrzeuge.

4.1.1 Erdgas

Die meisten größeren Autohersteller haben inzwischen für den Erdgasantrieb optimierte Fahrzeugmodelle (monovalent) im Programm.

Erdgas weist eine hohe Klopffestigkeit auf und reduziert den Ausstoß von Schadstoffen wie Stickoxiden, Partikeln und Kohlenwasserstoffen im Vergleich zu Benzin- und Dieselfahrzeugen zum Teil beträchtlich. Auch bei Kohlendioxid ergeben sich bei monovalenten Fahrzeugen Vorteile.

Erdgas ist als Treibstoff zudem um einiges günstiger als Benzin und Diesel, was einen Einsatz zum Beispiel in Flotten mit zentraler Betankungsmöglichkeit besonders interessant macht.

Das Naturprodukt Erdgas gehört wie Erdöl und Kohle zu den brennbaren organischen Rohstoffen. Erdgas kann komprimiert bei 200 bar als Compressed Natural Gas (CNG) verwendet werden. Der Kraftstoff wird in Kompressoren an den Tankstellen verdichtet. Nicht verwechselt werden darf Erdgas mit Flüssiggas (LPG – Liquefied Petroleum Gas), besser bekannt unter Autogas.

Der wesentliche Vorteil von Erdgas liegt in seinen besonders niedrigen Emissionen von NO_x und Partikeln. Der Grad der Schadstoffminderung hängt jedoch weniger vom Erdgas und seiner Zusammensetzung als vielmehr von Motor und Antriebskonzept ab. Der ADAC ermittelte in einer Vergleichsmessung der Emissionen im Gas-, Benzin- und Dieselmotor bei CO₂ im Erdgasbetrieb geringere Werte im Vergleich zum Benzin- (-21%) und Dieselmotor (-3,5%). Der Hauptbestandteil Methan sollte aber als potentes Treibhausgas nicht unverbrannt in die Atmosphäre entweichen. Das Demonstrationsprojekt des Umweltbundesamtes „Investitionsvorhaben zur Förderung des Einsatzes von Gasfahrzeugen“ ermittelte einen geringfügigen Anstieg der äquivalenten Treibhausgasemissionen von + 0,07 %. Die EJRC-Studie stuft Erdgas bezüglich des CO₂-Ausstoßes zwischen Benzin und Diesel ein. Für zukünftige Technologien insbesondere in Kombination mit einem elektrischen Antrieb im Hybridkonzept werden deutliche Minderungspotenziale gesehen.

Der Einbau einer Erdgasanlage kostet je nach Automodell und Anlagentyp etwa 2.500 bis 4.500 €. In gleicher Größenordnung belaufen sich die Mehrkosten eines Neuwagens mit Erdgasantrieb.

Der Preis für Erdgas bemisst sich nach seinem Energiegehalt, der in der Regel in Kilowattstunden (kWh) angegeben wird. An Tankstellen wird komprimiertes Erdgas nicht nach Volumen (l) oder Kilowattstunden, sondern nach Masse (kg) verkauft. Um einen Vergleich mit Benzin und Dieseltreibstoff zu ermöglichen, muss deshalb den Energiegehalt bestimmt werden. Ein Kilogramm Erdgas hat einen Energiegehalt von etwa 13,0 kWh, ein Liter Diesel 9,84 kWh und ein Liter Superbenzin 8,88 kWh. Damit beinhaltet ein Kilogramm Erdgas die Energie von rund 1,3 Liter Diesel bzw. 1,5 Liter Benzin.

Der Kraftstoffverbrauch von Erdgas betriebenen Fahrzeugen muss in Kubikmetern je 100 Kilometer (m³/100 km) angegeben werden. Der für die Praxis interessante Verbrauchswert in kg/100 km ergibt sich durch Multiplikation des Kubikmeterverbrauchswerts mit der Dichte von 0,696 kg/m³.

Der Preis für Erdgas ist gemäß dem neuen Energiesteuergesetz (EnergieStG) bis 31. Dezember 2018 mit einem reduzierten Steuersatz belegt. Ausgehend von 1,30 Euro pro Liter Super und 0,85 Euro pro Kilogramm Erdgas liegt der Kraftstoffpreis beim Erdgas um mehr als 50 Prozent niedriger.

Bei welcher Fahrleistung sich die Umrüstkosten bezahlt machen, lässt sich mit folgender Formel errechnen:

$$\frac{\text{Aufpreis oder Umbaukosten} \cdot 100}{(\text{Benzinverbrauch [l/100 km]} \cdot \text{Benzinpreis [€/l]}) - (\text{Erdgasverbrauch [m}^3\text{/100 km]} \cdot 0,696 [\text{kg/m}^3] \cdot \text{Erdgaspreis [€/kg]})} = \text{Fahrstrecke bis zur Amortisation [km]}$$

Bei Umbaukosten von 3.000 € und Kraftstoffkosten von 1,26 €/l für Benzin bzw. 0,87 €/kg für Erdgas rechnet sich Erdgas nach ca. 94.000 km.

Bisher sind in der Fahrzeugflotte der Stadt Waiblingen drei mit Erdgas betriebene Opel Combo im Betrieb. Die Fahrzeuge sind alles Leasingfahrzeuge neueren Datums. Der CO₂-Ausstoß der Fahrzeuge beträgt ca. 1,6 t_(CO₂)/a.

Gegenüber der Benzinvariante Opel Combo 1,4 Twinport sparen die Fahrzeuge 23 g_(CO₂)/km oder 17,3% ein. Im Vergleich zur sparsamsten Dieselsonne Opel Combo 1,2 CDTI spart das Erdgasfahrzeug 7 g_(CO₂)/km oder 5,3% ein. Bei einer Gesamtleistung von rund 10.000 km entspricht dies einer CO₂-Minderung von 230 t/a. Nicht berücksichtigt bleiben bei dieser Berechnung die klimarelevanten Emissionen von der Erdgasförderung bis zur Betankung.

Theoretisch besteht für alle benzinbetriebenen Fahrzeuge die Möglichkeit, diese auf Erd- oder Flüssiggas umzurüsten.

4.1.2 Flüssiggas

Autogas hat nichts zu tun mit Erdgas (CNG – „Compressed Natural Gas“). Dabei handelt es sich um ein unter Druck verflüssigtes Gemisch aus Propan und Butan, das als Nebenprodukt bei der Erdöl- bzw. Erdgas-Gewinnung oder in Raffinerien anfällt. Darüber hinaus ist LPG ein Nebenprodukt in Raffinerien. Die Nutzung von LPG ist eine sinnvolle Möglichkeit, fossile Energieträger einzusparen, die sonst nicht genutzt würden. LPG wird jedoch auch in Raffinerien produziert. 60% der weltweiten LPG-Produktion stammt aus der Erdölförderung, 40% aus Raffinerieprozessen

Wegen seiner chemischen Zusammensetzung (Kohlenwasserstoffe) ist es mit Benzin verwandt und kann – nach Anpassung des Motor-Umfeldes – in Ottomotoren eingesetzt werden. Grundsätzlich kann LPG in den gleichen Motoren wie CNG benutzt werden.

Die Verwendung von LPG ist mit einer vergleichbaren Energieeffizienz in der Produktionskette (Kraftstoffförderung, Raffinerie, Verwendung) verbunden wie in der Kette der Benzin- und Diesel-Herstellung und -Nutzung. Laut ADAC wird mit Autogas im Vergleich zum Benzin bis zu 10% CO₂ reduziert. Im Vergleich zu Diesel ist der CO₂-Ausstoß um ca. 2% höher.

Gegenwärtig handelt es sich bei LPG-Pkw um nachgerüstete, bivalente Konzepte, die sowohl mit Benzin als auch mit LPG betrieben werden können.

Der ermäßigte Steuersatz für die Nutzung von Flüssiggas als Kraftstoff zum Antrieb von Verbrennungsmotoren in Fahrzeugen beträgt 9,7 Cent/Liter. Die steuerliche Begünstigung wurde mit dem neuen Energiesteuergesetz (EnergieStG) bis zum 31. Dezember 2018 festgeschrieben.

Angesichts eines Literpreises für Autogas von 60 Cent kann sich eine Umrüstung rechnen. Da der volumetrische Heizwert (kWh/l) von Autogas jedoch deutlich niedriger liegt (ca. 25 Prozent) als der von Benzin, steigt der Verbrauch beim Betrieb mit Autogas. Je nach Motor, Autogasanlage, Gaszusammensetzung und Fahrweise können dies 15 bis 30 Prozent sein.

Die Kosten für eine nachträgliche Umrüstung liegen zwischen 1.800 und 3.500 Euro, bei Neuwagen zwischen 2000 und 3000 Euro.

Bei welcher Fahrleistung sich die Umrüstkosten bezahlt machen, lässt sich mit folgender Formel errechnen:

$$\frac{\text{Aufpreis oder Umbaukosten} \cdot 100}{(\text{Benzinverbrauch [l/100 km]} \cdot \text{Benzinpreis [€/l]}) - (\text{Autogasverbrauch [l/100 km]} \cdot \text{Autogaspreis [€/kg]})} = \text{Fahrtstrecke bis zur Amortisation [km]}$$

Bisher werden bei der Stadt Waiblingen sechs mit Flüssiggas betriebene Fahrzeuge verwendet. Es handelt sich dabei um einen PKW, vier kleine Nutzfahrzeuge und einen Gabelstapler mit einer Laufleistung von zusammen 26.000 km im Jahr und CO₂-Emissionen von rund 9,7 t/a.

Ca. 10 Benzinfahrzeuge können auf Flüssiggasbetrieb umgerüstet werden. Bei einer Laufleistung von ca. 70.000 km verringert sich der CO₂-Ausstoß um ca. 1,9 t/a. Bei Umrüstkosten von rund 2.500 € pro Fahrzeug bzw. insgesamt 25.000 € werden Emissionsminderungskosten von 13,30 €/kg_(CO₂) verursacht. Der geringere Kraftstoffpreis von Flüssiggas führt zu Einsparungen im laufenden Betrieb.

4.1.3 Biodiesel bzw. RME

„Biodiesel“ bzw. Rapsölfettsäure-Methyl-Ester (RME) wird aus dem Rapsöl der Raps-Saat erzeugt. Im Rohzustand ist Rapsöl ohne entsprechende Umbauten am Fahrzeug (Motoranpassung) nicht für eine Verwendung in herkömmlichen Dieselmotoren geeignet. Wird Rapsöl mit Methanol in RME umgewandelt, ergibt sich eine Verbindung, die dem Dieselkraftstoff in seinen kraftstoffrelevanten Eigenschaften weitgehend ähnlich ist. Dies gilt vor allem für das Verbrennungsverhalten im Motor (Zündwilligkeit) und das Fließverhalten (Viskosität).

Man geht dabei davon aus, dass bei der Verbrennung von Rapsöl nur so viel klimaschädliches Kohlendioxid (CO₂) entsteht, wie die Rapspflanzen beim Wachstum der Atmosphäre entzogen haben. Bei Anbau, Ölgewinnung und Umwandlung in RME werden konventionelle Energien verbraucht, daher ist der CO₂-Kreislauf nicht vollständig geschlossen. Hinzu kommt, dass der CO₂-Einspareffekt gegenüber mineralischem Diesel auch davon abhängt, welche Nutzung die Nebenprodukte Rapschrot und Glycerin erfahren. Unterschiedliche Betrachtungsweisen führen dazu, dass die CO₂-Bilanz nach wie vor kontrovers diskutiert wird. Laut Umweltbundesamt (UBA) Berlin ergibt sich pro Einheit substituiertem Diesel eine CO₂-Minderung um bis zu 65 Prozent, je nach Bewertung der Nebenprodukte. Beim Rapsanbau entsteht im Boden in geringen Mengen das Treibhausgas N₂O, das nicht vernachlässigt werden darf.

Wesentlich ist die Verminderung der Partikelemission (Dieselruß) um rund 50 % (bei Motoren ohne Partikelfilter). Mit RME werden normalerweise auch die CO- und CH-Emissionen reduziert, der NO_x-Anteil dagegen steigt. Dies hängt offenbar mit der hö-

heren Zündwilligkeit zusammen. Da RME praktisch schwefelfrei ist, entstehen damit so gut wie keine schädlichen SO₂- und Sulfat-Emissionen.

Der Anbau von Raps ist aber auch mit negativen Einflüssen auf die Ökologie verbunden: Die Pflanzen setzen Ozon erzeugende Kohlenwasserstoffe frei, Monokulturanbau bedroht die Biodiversität und Düngung führt zur Eutrophierung von Gewässern.

Der Preis für Biodiesel an den Tankstellen differiert regional stark, liegt aber durchschnittlich um rund zehn Cent je Liter unter dem jeweiligen Niveau für herkömmlichen Diesel. Der günstige Preis ergibt sich aus der Bevorzugung bei der Mineralölsteuer. Seit Inkrafttreten des neuen Energiesteuergesetzes (EnergieStG) wird Biodiesel mit jährlich steigenden Steuersätzen belegt.

Theoretisch besteht für alle dieselbetriebenen Fahrzeuge die Möglichkeit, diese auf den Betrieb mit RME umzurüsten. Ein Teil der Fahrzeuge kann schon bisher ohne Umbau mit Biodiesel betrieben werden. Für Fahrzeuge mit serienmäßigem Partikelfilter liegen keine Freigaben zum Betrieb mit Biodiesel vor.

Zu berücksichtigen ist ein möglicher Mehrverbrauch von bis zu zehn Prozent wegen des niedrigeren spezifischen Energiegehaltes von RME.

Nicht alle Dieselfahrzeuge sind mit Biodiesel zu betreiben oder umzurüsten. Man kann davon ausgehen, dass ca. die Hälfte der Fahrzeuge entweder direkt oder nach Umrüstung mit RME betankt werden können. Bei einer Laufleistung von ca. 145.000 km verringert sich der CO₂-Ausstoß um ca. 48 t/a. Bei Umrüstkosten von rund 1.000 € pro Fahrzeug bzw. insgesamt 23.000 € werden Emissionsminderungskosten von 48 ct/kg_(CO₂) verursacht. Der geringere Kraftstoffpreis von RME wird durch den Mehrverbrauch der Fahrzeuge egalisiert.

In Zukunft wird der Großteil des Biodiesels über Beimischungen auf den Markt kommen. Seit Januar 2007 gilt das Biokraftstoffquotengesetz mit dem Unternehmen, die Kraftstoffe in Verkehr bringen, verpflichtet werden, einen gesetzlich bestimmten Mindestanteil des Kraftstoffes in Form von Biokraftstoffen abzusetzen. Die zu erreichende Quote wird als netto Klimaschutzbeitrag auf 5 % bis zum Jahr 2015 und 10 % bis zum Jahr 2020 festgelegt. Da die Treibhausgasemissionen bei der Herstellung der Biokraftstoffe berücksichtigt werden, muss zum Erreichen dieser Quote eine entsprechend höhere Menge zugemischt werden. Dies bedeutet im Ergebnis ca. 20 Volumenprozent Biokraftstoffe bis 2020 (entspricht 17% energetisch).

4.1.4 Pflanzenöl

Bei der Verbrennung von Pflanzenöl wird nur so viel klimaschädliches Kohlendioxid (CO₂), wie die Pflanzen beim Wachstum der Atmosphäre entziehen. Unterschiedliche Betrachtungsweisen führen dazu, dass die CO₂-Bilanz nach wie vor kontrovers diskutiert wird. Laut Umweltbundesamt (UBA) Berlin ergibt sich pro Einheit substituierter Diesel eine CO₂-Minderung um bis zu 65 %. Ferner entstehen beim Rapsanbau im Boden in geringen Mengen das Treibhausgas N₂O, was nicht vernachlässigt werden darf. Sonnenblumenöl hat dem gegenüber eine deutlich bessere CO₂-Bilanz als Rapsöl.

Wesentlich ist die Verminderung der Partikelemission (Dieselruß) um rund 50 % (bei Motoren ohne Partikelfilter). Da Pflanzenöl praktisch schwefelfrei ist, entstehen damit so gut wie keine schädlichen SO₂- und Sulfat-Emissionen.

Der Anbau von Raps ist mit negativen Einflüssen auf die Ökologie verbunden: die Pflanzen setzen Ozon erzeugende Kohlenwasserstoffe frei, Monokulturanbau bedroht die Biodiversität und Düngung führt zu Eutrophierung von Gewässern.

Prinzipiell eignet sich für die Verbrennung in Dieselmotoren jedes saubere, partikel-freie und flüssige Pflanzenöl. Das größte Problem stellt der große Viskositätsunterschied im Vergleich zu herkömmlichem Diesel bzw. Rapsölmethylester (RME) dar. Um das "zähflüssige" Pflanzenöl somit überhaupt als Kraftstoff verwenden zu können, muss der Motor an den Kraftstoff angepasst werden. Ob ein Motor umgerüstet werden kann, ist bei den u. g. Betrieben direkt zu erfragen. Teilweise wird die Umrüstung von Fahrzeugen mit Einspritzpumpen bestimmter Hersteller abgelehnt, da diese Systeme für einen dauerhaft zuverlässigen Betrieb mit Pflanzenöl ungeeignet sind. Die Kosten liegen – je nach Umfang – zwischen ca. 1.500 und 3.500 Euro (inkl. Einbau). Bausätze sind bereits zu deutlich niedrigeren Preisen erhältlich.

Der Preis für Pflanzenöl schwankt regional sehr stark und liegt je nach Marktlage und Belieferungsquelle zwischen 55 und 80 Cent je Liter. Der günstige Preis für Pflanzenöl ergibt sich aus der bisherigen Freistellung von der Mineralölsteuer. Ab 1. Januar 2008 wird aber auch Pflanzenöl als Kraftstoff gemäß dem neuen Energiesteuergesetz (EnergieStG) erstmalig besteuert.

1 l Rapsöl ersetzt wegen des geringeren Heizwertes 0,96 l Diesel

Bei welcher Fahrleistung sich die Umrüstkosten bezahlt machen, lässt sich mit folgender Formel errechnen:

$$\frac{\text{Umbaukosten} \cdot 100}{(\text{Dieselverbrauch [l/100 km]} \cdot \text{Dieselpreis [€/l]} - (\text{Pflanzenölverbrauch [l/100 km]} \cdot \text{Pflanzenölpreis [€/kg]})} = \text{Fahrstrecke bis zur Amortisation [km]}$$

Der Anteil der Dieselfahrzeuge, die auf Rapsölbetrieb umgerüstet werden können wird mit ca. 21 Fahrzeugen beziffert. Bei einer Laufleistung von ca. 96.000 km verringert sich der CO₂-Ausstoß um ca. 20 t/a. Bei Umrüstkosten von rund 3.000 € pro Fahrzeug bzw. insgesamt 63.000 € werden Emissionsminderungskosten von 3,15 €/kg_(CO₂) verursacht. Der geringere Kraftstoffpreis von Rapsöl von rund 40 ct/l führt zu Einsparungen von 0,14 €/kg_(CO₂). Die Nettokosten liegen bei ca. 3 €/kg_(CO₂).

4.1.5 Bioethanol

Bioethanol ist ein Alkohol, der aus nachwachsenden Rohstoffen (zucker-, stärke- und cellulosehaltige Pflanzen), aber auch aus Abfällen und Reststoffen hergestellt werden kann und im Kraftstoffsektor eingesetzt wird. In Deutschland kommen für die Produktion zunächst Getreide (Weizen, Roggen) oder Zuckerrüben in Frage. Für die Herstellung auf Basis von Lignocellulose (z. B. Stroh oder Holz) gibt es gegenwärtig keine kommerziell betriebenen Anlagen in Deutschland. Solche Verfahren befinden sich noch im Pilotstadium.

Ethanol kann in Reinform (E100) oder als "Mischkraftstoff" mit einem Anteil an fossilem Ottokraftstoff (z.B. E85, E50) zum Einsatz kommen. Es ist reaktionsfreudiger als Kohlenwasserstoffe, so dass manche Elastomere aufquellen können. Dies erfordert in Fahrzeugen den Einsatz geeigneter Schläuche und Dichtungen. Ethanolhaltige Kraftstoffe wirken zudem korrodierend auf Leichtmetalle und Stahl.

Ethanolbeimischungen von mehr als 10% erfordern angepasste Motoren, die die Mischungen mit bis zu 85 Vol.-% Ethanol (E85) nutzen können (so genannte „Flexible Fuel Vehicles“ (FFV)) oder im Falle reinen Ethanols einen speziellen Ethanolmotor.

Da Ethanol einen um ca. 35 % geringeren Energiegehalt als Ottokraftstoff hat, ist mit einem Mehrverbrauch von bis zu einem Drittel zu rechnen. 1 l Bioethanol ersetzt wegen des geringeren Heizwertes nur 0,65 l Benzin.

Man geht davon aus, dass bei der Verbrennung von Bioethanol nur so viel klimaschädliches Kohlendioxid (CO₂) entsteht, wie die Pflanzen beim Wachstum der Atmosphäre entzogen haben. Da der Anbau und insbesondere der Herstellungsprozess jedoch meist fossile Energien verbraucht, ist der CO₂-Kreislauf nicht vollständig geschlossen. Unterschiedliche Betrachtungsweisen führen dazu, dass die CO₂-Bilanz nach wie vor kontrovers diskutiert wird. Eine Studie ("Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context") zeigt, dass das Herstellungsverfahren für Bioethanol unter Verwendung gängiger Prozesse, z.B. beim Einsatz deutscher Braunkohle, nicht zu einer Verminderung, sondern sogar zu einer Erhöhung der Treibhausgasemission um ca. 30 % führt. Wird dagegen Erdgas der Vorzug als Primärenergieträger gegeben, beträgt das Einsparpotenzial etwa 35 %. Erheblich höhere Potenziale bis zu 85 % sind erreichbar, wenn man die Ganzpflanze einsetzt; dies ist z.B. beim Einsatz von Zuckerrohr der Fall.

Für E85 und E50 zahlt man zwischen 82 und 98 Cent/Liter. Setzt man den Preis mit dem Energiegehalt in Relation, sind die Vergleichskosten zu Benzin zwischen 120 und 130 Cent/Liter. Bioethanol ist nach dem EnergieStG bis Ende 2009 von der Energiesteuer befreit.

Ethanol kann nur mit einem Anteil von ca. 10% in herkömmlichen Ottomotoren verwendet werden. Der Anteil der Benzinfahrzeuge, die mit Ethanol betrieben werden können wird mit ca. 10 Fahrzeugen beziffert. Bei einer Laufleistung von ca. 50.000 km verringert sich der CO₂-Ausstoß um ca. 1,2 t/a. Der geringere Kraftstoffpreis von Ethanol im Vergleich zu Benzin von rund 5 ct/l führt zu Einsparungen von 2,05 ct/kg_(CO₂).

4.1.6 Biomass-to-Liquid (BtL)

BtL-Kraftstoffe, auch synthetische Biokraftstoffe, SunFuel, Sun-Diesel oder Designkraftstoff genannt, bestehen aus reinen Kohlenwasserstoffketten und können in ihren Nutzungseigenschaften regelrecht „maßgeschneidert“ werden. Der Einsatz der Kraftstoffe führt zu einer deutlichen Verringerung der Abgas- und Rußpartikelemissionen. BtL-Kraftstoffe sind eine neue am Markt noch nicht verfügbare Entwicklung. Es bestehen unterschiedlich weit entwickelte Produktionsverfahren für den Otto- und Dieselmotormarkt. Bisher existieren nur Versuchsanlagen. Jedoch beruhen große Hoffnungen auf BtL-Kraftstoffen und es besteht großes Entwicklungspotenzial. Neben Holz und Stroh können diverse Rest- und Abfallstoffe in Kraftstoff umgewandelt werden. Mit knapp 4.000 l/ha erzielt BtL einen hohen flächenbezogenen Kraft

Die Erzeugung der BtL-Kraftstoffe kann mit geringer Zufuhr externer Energie erfolgen. Dies führt zu einer weitgehenden CO₂-Neutralität über den gesamten Produktionsprozess.

Ein Liter BtL-Kraftstoff ersetzt ca. 0,97 l Diesel.

4.1.7 Biogas

Biogas ist ein brennbares Gasmisch, das bei der Vergärung von Gülle, Lebensmittelabfällen, nachwachsenden Rohstoffen, Stroh, Gras oder anderem organischen Material entsteht. Biogas besteht zu rund zwei Dritteln aus Methan, zu über 30 Prozent aus Kohlendioxid sowie zu geringen Anteilen aus Wasserstoff und Schwefel-

wasserstoff. Durch die Erhöhung des Methananteils, mittels entsprechender Aufbereitung, kann Biogas auf eine Qualitätsstufe mit Erdgas gebracht werden. Solches Biomethan ist uneingeschränkt als Kraftstoff für Erdgasfahrzeuge geeignet. In einigen Ländern – z.B. Schweiz und Schweden – wird im Rahmen besonderer abfallwirtschaftlicher Gegebenheiten Biomethan bereits heute rein oder mit Erdgas vermischt als Kraftstoff verwendet.

Derzeit ist die Verstromung von Biogas wegen der Förderung durch das EEG wesentlich lukrativer. Bei der Produktion von Biogas aus Biomüll, d.h. aus nicht-Nawaros könnte eine Verwendung als Kraftstoff lohnend sein, da für die Verstromung kein EEG-Bonus gezahlt würde.

4.1.8 Wasserstoff

Die Verwendung von Wasserstoff wird häufig für den Straßenverkehr vorgeschlagen, weil im Gegensatz zu den kohlenstoffhaltigen Energieträgern grundsätzliche Vorteile in der CO₂-Bilanz unterstellt werden. Untersucht man jedoch die Produktion von Wasserstoff genauer, zeigt sich, dass die Produktion nicht grundsätzlich mit Vorteilen verbunden ist.

Wasser (H₂O) kann durch Energiezufuhr in Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O) getrennt werden. Die Schlüsseltechnologie Brennstoffzelle setzt Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser um und produziert dabei Elektrizität und Wärme. Wasserstoff wird in der Regel aus Erdgas hergestellt, dabei sind die Energieverluste und CO₂-Emissionen bei gleichem Energieverbrauch der Fahrzeuge höher als bei der direkten Verwendung von Erdgas. Durch die Verwendung in Brennstoffzellenmotoren könnte CO₂ eingespart werden.

Darüber hinaus kann H₂ durch eine Wasserelektrolyse hergestellt werden, bei denen nicht nur fossiler Strom eingesetzt wird. Der nicht fossile Strom kann aber zum direkten Ersatz von fossilen Stromerzeugern wesentlich effizienter verwendet werden.

Es bestehen weitere Optionen, der Produktion aus Biomasse durch die Freisetzung von Wasserstoff bspw. bei der Vergasung. Hier wird dann von Bio-Wasserstoff gesprochen. Die regenerative Herstellung von Wasserstoff würde ganz erheblich zur Lösung klima- und energiepolitischer Probleme beitragen. Allerdings müssten zunächst regenerative Energien als Quelle für die Wasserstoffproduktion ausreichend vorhanden sein.

Technologien zur rationellen Energieverwendung und zur lokalen Nutzung von regenerativen Energieträgern können wesentlich größere Beiträge zur Bereitstellung von Energiedienstleistungen und zur Minderung der CO₂-Emissionen bei gleichen monetären Investitionen leisten. In diesem Zusammenhang besteht die Notwendigkeit, Energiespartetechnologien den Vorrang zu geben und gleichzeitig die Produktion kostengünstiger solarthermischer und photovoltaischer Systeme wesentlich zu verbessern.

4.1.9 Elektro(hybrid)fahrzeuge

Der PKW mit Elektromotor und Batterie ist über 40 Jahre älter als das Benzinauto. Jüngere Entwicklungen holen den Elektromotor wieder in Form von Elektro-Hybrid-Kraftfahrzeuge zurück. Die Automobilindustrie setzt zur Steigerung der Effizienz und der CO₂-Einsparung auch auf unterschiedliche Varianten der Hybridtechnologie.

Je nach Konfiguration kann entweder die Verbrennungskraftmaschine nur den elektrischen Energiespeicher laden (serieller Hybridantrieb) oder mechanisch mit den Antriebswellen gekoppelt sein (paralleler Hybridantrieb) oder beides.

Der Verbrennungsmotor kann beim Hybridantrieb häufiger und länger in einem günstigen Wirkungsgradbereich betrieben werden. Anfallende überschüssige Energie wird über einen Generator für die Batterieladung verwendet. Beim Beschleunigen arbeiten Verbrennungs- und Elektromotor gemeinsam. Bei gleicher Beschleunigung kann also ein kleinerer Verbrennungsmotor verwendet werden. Beim Bremsen und im Schubbetrieb wird ein Teil der Bremsenergie in die Batterie zurückgeführt. Insbesondere im Stadtverkehr und beim bergabwärts Fahren trägt die Rückgewinnung zur Verbrauchsminderung bei.

Man unterscheidet verschiedenen Hybridisierungsstufen:

- Mikrohybrid: Das Fahrzeug verfügt über eine Auto-Start-Stop-Funktion und Bremsenergieerückgewinnung zum Laden der kleinen Starter-Batterie.
- Mildhybrid: Der Elektroantriebsteil unterstützt den Verbrennungsmotor zur Leistungssteigerung oder zur Effizienzsteigerung. Derzeit hat der sogenannte Mild-Hybrid bei geringerem Aufwand ein gutes Einsparpotenzial. Der einfachste Ansatz des Mild-Hybrid ist der so genannte Starter-Generator, der den Anlasser und die Lichtmaschine in einem Elektromotor zusammenfasst und an den Antriebsstrang anbindet.
- Vollhybrid: Anfahren und Fahren ist ohne gestarteten Verbrennungsmotor möglich, Elektro und Verbrennungsmotor besitzen vergleichbare Leistungen. Ein Nachteil des Vollhybridantriebes sind die notwendigen Energiespeicherkapazitäten, die durch höhere Eigengewichte den Nutzen verringern. Ein weiterer Nachteil ist die aufwendige Produktion der Hauptkomponenten Elektromotor und Akkumulator, die die Herstellungsbilanz belasten.
- Plug-In-Hybrid: Eine Erweiterung der Hybrid-Technik stellen die so genannten Plug-In-Hybride dar, die versuchen, den Kraftstoffverbrauch weiter zu senken, indem die Batterien nicht mehr ausschließlich durch den Verbrennungsmotor, sondern zusätzlich auch am Stromnetz aufgeladen werden können. Bei diesem Konzept wird gesteigerter Wert auf eine Vergrößerung der Batteriekapazität gelegt, um auch größere Strecken ohne Emissionen zurücklegen zu können. Bei ausreichender Kapazität können Kurzstrecken so ausschließlich im Elektrobetrieb zurückgelegt werden, während der Verbrennungsmotor lediglich für größere Strecken benötigt wird.

Aus Sicht der Effizienz sind Elektrofahrzeuge nicht zu übertreffen. Der Elektromotor setzt fast die gesamte elektrische Energie im Mobilität um und verursacht nur geringe Abwärmeverluste und keine lokalen Emissionen. Vergleicht man den Energieverbrauch im Fahrzeug so stellt man fest, dass im normalen Alltag die elektrischen Fahrzeuge etwa um den Faktor 3 effizienter mit Energie umgehen, als das identische Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Fahrzeuge mit Elektroantrieb fahren hinsichtlich Feinstaub und NO_x lokal emissionsfrei. Bezüglich der CO₂-Emissionen hängt die Vorteilhaftigkeit der Elektromobilität von der Art der Stromerzeugung ab. Wegen der hohen CO₂-Emissionen der Stromerzeugung in der heutigen Situation sind keine CO₂-Minderung gegenüber konventionellen Antrieben zu erwarten.

Geht man von der gleichen Menge Treibstoff aus, zum Beispiel Erd- oder Biogas, so kann man mit dem gleichen Fahrzeugtyp heute mehr Kilometer zurücklegen, wenn

man den Treibstoff in einem Kraftwerk zu Strom umwandelt und dann elektrisch fährt. Der Vorteil ist besonders groß - nahezu Faktor 4 - wenn man vorwiegend den Energiebedarf für Fahrten innerorts betrachtet. Elektroautos ermöglichen die massive Ausweitung der Nutzung von Bioenergie in die Wärme-Kraft-Kopplung, da diese Anlagen auf die gleichen Energieträger (Pflanzenöl, Holz, Biogas, ...) angewiesen sind wie heutige Autos. Damit ermöglicht das Elektroauto eine Effizienzstrategie und die Nutzung der wertvollen Treibstoffe könnten so „von der Straße in den Keller“ verlagert werden, um dort Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen anzutreiben.

In zukünftige Energiesystemen können Elektrofahrzeuge zudem als Reserveenergie eine gewichtige Rolle spielen. Mit einer intelligenten Integration der zusätzlichen Stromnachfrage in das zukünftige Energiesystem werden die Fahrzeugbatterien einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung des Netzmanagements liefern. Dies würde v.a. das Lastmanagement durch steigende Speicherkapazitäten bei einem wachsenden Anteil an fluktuierendem Strom aus erneuerbaren Energien vereinfachen und gleichzeitig Effizienzreserven nutzbar machen.

4.2 Technische Möglichkeiten der Kraftstoffeinsparung

Beim Fahren treten die so genannten äußeren und inneren Fahrwiderstände auf, für deren Überwindung Energie in Form von Kraftstoff benötigt wird. Im Einzelnen zu nennen sind hierbei Rollwiderstand, Luftwiderstand, Beschleunigungs- und Steigungswiderstand als äußere Faktoren und Reibungswiderstände als innere Kräfte.

Die folgenden technischen Maßnahmen können weitere Beiträge zur CO₂-Reduktion leisten.

4.2.1 Einsatz von Leichtlaufölen

Die wichtigste Funktion eines Leichtlauföls im Motor ist das Herabsetzen der inneren Reibung, das heißt die Schmierfunktion. Der Einfluss der Reibung an der Gesamtenergieumwandlung innerhalb des Motors ist besonders wichtig. Moderne Motoröle müssen ihre Funktionen sowohl bei hohen Temperaturen (Vollastfahrten), als auch bei niedrigsten Temperaturen (Start im Winter) erfüllen können. Kennzeichnende Eigenschaft eines Schmierstoffes ist seine Fließfähigkeit (Viskosität).

Das technische Reduktionspotenzial durch die Verwendung von Leichtlaufölen liegt innerorts bei über 5%.

4.2.2 Einsatz von rollwiderstandsarmen Reifen

Leichtlaufreifen sind Fahrzeugreifen, die sich wegen verminderter Rollwiderstände durch verminderte Geräuschentwicklung und Kraftstoffersparnis auszeichnen. Der Rollwiderstand entsteht durch die Verformung des Reifens bei Belastung. Die Größe dieses Energieverlustes ist abhängig vom Fahrzeuggewicht und der Reibung zwischen Straße und Reifen. Ein Ziel der Reifenentwicklung der letzten Jahre war es, den Rollwiderstand zu optimieren. Das heißt, wichtige Reifeneigenschaften, z.B. die Nasshaftung und Bremsverhalten, erhalten und gleichzeitig den Rollwiderstand senken. Neue Laufflächenmischungen ermöglichten die Entwicklung von Kraftstoff sparenden und lärmarmen Reifen, den so genannten Leichtlaufreifen. 1997 wurde für Leichtlaufreifen das Umweltzeichen RAL-UZ 89 (Blauer Engel) für lärmarme und kraftstoffsparende Reifen eingeführt [RAL-UF89]. Der deutsche Reifenmarkt bietet heute bereits ein breites Angebot an Reifen mit Leichtlaufeigenschaften. Ein Preis-



vergleich von Leichtlaufreifen mit konventionellen Reifen ergab, dass keine oder nur geringe Preisunterschiede bestehen.

Der Einfluss der einzelnen Fahrwiderstände auf die Energieumsetzung ist stark vom Fahrmuster abhängig. Ein um 20% geminderter Rollwiderstand reduziert den Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit um bis zu 5%. Dabei ist das höchste Potenzial im Stadtverkehr und bei mittleren Geschwindigkeiten auf Landstraßen zu erreichen. Bei Nutzfahrzeugen geht man davon aus, dass das Potenzial noch höher ist. Reifen mit optimiertem Rollwiderstand können im Lkw-Güterverkehr pro Fahrzeug den Kraftstoffverbrauch je nach Streckenprofil, Geschwindigkeitsniveau sowie Windverhältnissen 4- 12% vermindern.

4.3 Organisatorische und individuelle Möglichkeiten der Kraftstoffeinsparung

Schließlich liegen CO₂-Einsparpotenziale in einer entsprechenden Erziehung der Verkehrsteilnehmer. Die deutsche Energieagentur (DNA) schätzt hier ein Einsparpotenzial bis zum Jahr 2010 von 5,9 Mio. t CO₂ pro Jahr.

4.3.1 Verkehr vermeiden oder verlagern

Unnötiger Verkehr sollte von vorneherein vermieden werden. So sollten Dienstfahrten wenn möglich zusammengelegt werden. Weiterhin gilt es, so viel Verkehr wie möglich auf energiesparende und damit Klima schonende Verkehrsmittel zu verlagern. Jeder Kilometer, der mit dem Fahrrad statt mit dem Auto zurückgelegt wird, bedeutet weniger CO₂-Ausstoß.

4.3.2 Gemeinsamer Fuhrpark

Ein gemeinsamer Fuhrpark führt nicht systembedingt zu einer CO₂-Minderung, sondern nur unter bestimmten Bedingungen.

Durch ein zentrales Fuhrparkmanagement kann die Fahrzeugwahl wesentlich besser an den jeweiligen Transportbedarf angepasst werden und ermöglicht eine effizientere Nutzung der Transportkapazitäten des Fuhrparks.

Zudem können die Fahrzeuge im zentralen Fuhrparkmanagement besser gewartet und auf geringeren Kraftstoffverbrauch mit Hilfe technischer Möglichkeiten eingestellt werden.

Die Erneuerung der Fahrzeugflotte nach Energieeffizienz ist in der Verbundnutzung auf Grund der höheren Auslastung und damit größeren Fahrleistung pro Fahrzeug schneller erreichbar, als bei individueller Ersatzbeschaffung von Fahrzeugen durch die einzelnen Ämter.

4.3.3 Änderung im Fahrverhalten

Der Energieverbrauch eines Kraftfahrzeugs ist auch von dem individuellen Nutzungsverhalten und dem Fahrstil des Fahrers abhängig.

Die einschlägigen Tipps zum Kraftstoff sparenden Fahren sind:

- Hohe Geschwindigkeit vermeiden: Der Luftwiderstand eines Fahrzeugs wird maßgeblich durch die wirksame Stirnfläche und den c_w -Wert aber vor allem durch die Geschwindigkeit bestimmt. Langsameres Fahren ist die einfachste Methode den Kraftstoffverbrauch zu senken.
- Mit niedriger Drehzahl (1500 - 2500 U/min.) fahren: Die richtige Schaltpunktwahl kann den Kraftstoffverbrauch deutlich reduzieren. Kraftstoffverbrauch und Emissionen eines Motors hängen von der Drehzahl des Motors ab. Mit höherer Dreh-



- zahl steigt bei gleicher Geschwindigkeit der Kraftstoffverbrauch. Heute ermöglichen moderne Motoren den niedrigsten Verbrauch und die geringsten Emissionen schon bei niedertouriger Fahrweise. Durch optimierte Schaltzeitpunkte können Einsparungen von bis zu 5% bei Ottomotoren und 3% bei Dieselmotoren erreicht werden.
- Gleichmäßige Fahrweise: Im innerörtlichen Verkehr wird viel Kraftstoff durch häufiges Bremsen und wieder Anfahren verbraucht. Durch eine gleichmäßige und vorausschauende Fahrweise kann hier erheblich eingespart werden.
 - Motor bei Stillstand abschalten: 3 Minuten Leerlauf verbrauchen etwa genauso viel Kraftstoff wie ein Kilometer konstante Fahrt bei 50 km/h und niedriger Drehzahl. Bei modernen, betriebswarmen Motoren ist das Abschalten des Motors ab einer Standphase von mehr als 20 Sekunden sinnvoll. Bei kürzeren Standzeiten ist das Verhältnis zwischen Schadstoffemissionen und Kraftstoffeinsparung ungünstig.
 - Unnötiger Ballast vermeiden: Je größer das Gewicht, um so größer werden der Rollwiderstand und der Beschleunigungs- und Steigungswiderstand. Die heute selbstverständlichen Komfortmerkmale wie Klimaanlage, elektrische Betätigung von Fenstern, Sitzen usw. führen zu zusätzlichem Gewicht. Ein zusätzliches Gewicht von 20 kg sorgt für einen Mehrverbrauch von ca. 1%: Ein ungenutzter Dachgepäckträger erhöht den Luftwiderstand und damit den Kraftstoffverbrauch erheblich. Besonders bei hoher Geschwindigkeit ist ein Mehrverbrauch von bis zu einigen Litern die Folge.
 - Reifendruck erhöhen. Der Reifen-Luftdruck sollte regelmäßig kontrolliert und ggf. korrigiert werden. Zu geringer Reifen-Luftdruck wirkt sich ungünstig auf den Kraftstoffverbrauch aus. Schon 0,2 bar weniger erhöhen den Rollwiderstand deutlich (bis zu 10%) und sorgen somit für unnötigen Mehrverbrauch und Verschleiß. Eine leichte Erhöhung des vom Fahrzeughersteller empfohlenen Reifendruckes um max. 0,2 bar verringert dagegen den Kraftstoffverbrauch.
 - Klimaanlage ausschalten. Die Klimaanlage im Fahrzeug kostet vor allem im Stadtverkehr zusätzlich Kraftstoff. Oft kann schon das Gebläse Kraftstoffeffizienter für ein angenehmes Klima im Fahrzeug sorgen.
 - Front- und Heckscheiben-Heizung rechtzeitig ausschalten. Häufig wird vergessen diese Verbraucher abzuschalten. Sobald die Scheiben vollständig frei sind, sollten die Scheibenheizungen ausgeschaltet werden.

Eine Möglichkeit wäre die Fahrerschulung zur kraftstoffarmen Fahrweise für Mitarbeiter der Stadtverwaltung. Zudem könnte durch Prämien oder Beteiligung der Fahrer am ökonomischen Nutzen eine kontinuierliche Förderung der verbrauchsarmen Fahrweise erreicht werden.

Die Potenziale der individuellen Verbrauchs- und CO₂-Minderung betragen im Innerortsverkehr langfristig gesehen im Mittel ca. 12%. Außerorts liegt das Einsparpotenzial pro Pkw bei etwa 6% und bei schweren Nutzfahrzeugen bei ca. 4%.

4.4 Maßnahmen zur CO₂-Minderung

4.4.1 Alternative Kraftstoff- und Antriebsysteme – Neubeschaffung

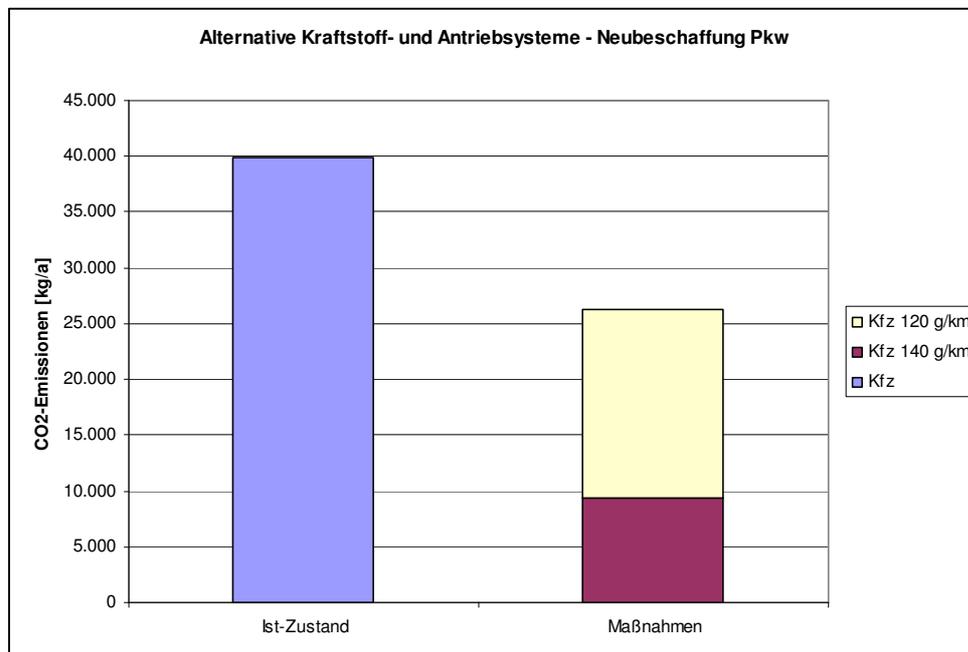
Die Neubeschaffung der bestehenden Kraftfahrzeugen sollte durch emissionsärmere Fahrzeuge im Rahmen der Ersatzbeschaffung durchgeführt werden. Dabei werden Grenzen der maximalen CO₂-Emissionen pro gefahrenem Kilometer empfohlen. Bei Pkw soll die Grenze bis 2010 bei 140 g/km und später bei 120 g/km liegen.

Tabelle 4-1: Potenzial zur CO₂-Einsparung durch Neubeschaffung von Personenkraftfahrzeugen

	Anzahl Fahrzeuge [Kfz]	Fahrleistung [km/a]	CO ₂ -Einsparung [kg/a]	CO ₂ -Einsparung [%]
Neubeschaffung Pkw				
unter 140 g _(CO₂) /km	10	58.400	7.220	5,3%
unter 120 g _(CO₂) /km	19	122.270	12.360	9,0%
Summe	29	180.670	19.580	14,26%

Mit der Neubeschaffung der Pkw lassen sich 14% der gesamten durch Kraftfahrzeuge verursachten CO₂-Emissionen verhindern.

Abbildung 4-1: Potenzial zur CO₂-Einsparung durch Neubeschaffung von Personenkraftfahrzeugen



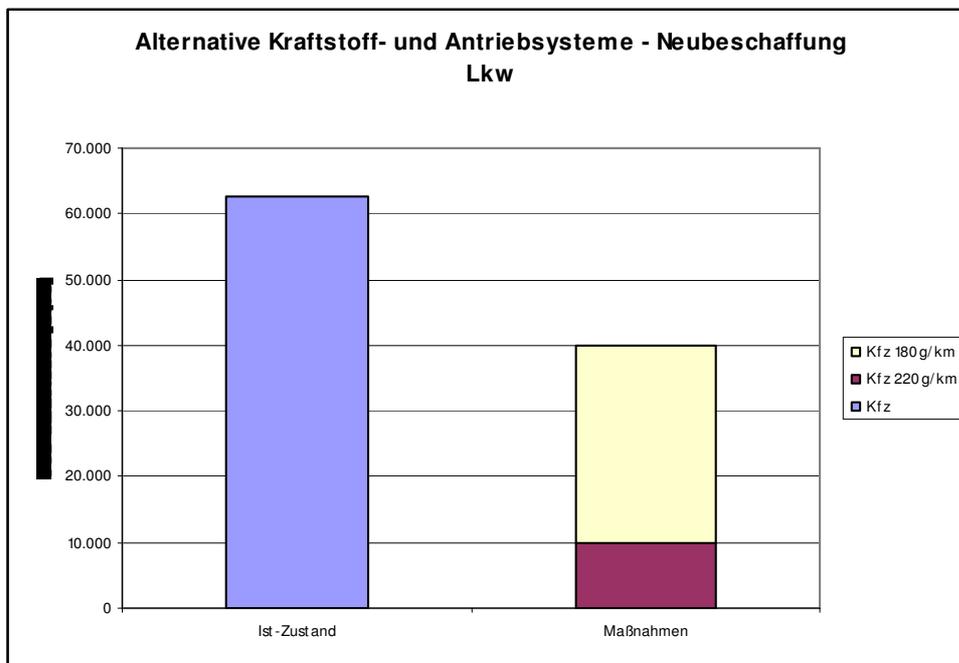
Bei der Neubeschaffung von Lastkraftwagen wird die Grenze bis 2010 bei 220 g/km und später bei 180 g/km festgesetzt.

Tabelle 4-2: Potenzial zur CO₂-Einsparung durch Neubeschaffung von Lastkraftfahrzeugen

	Anzahl Fahrzeuge [Kfz]	Fahrleistung [km/a]	CO ₂ -Einsparung [kg/a]	CO ₂ -Einsparung [%]
Neubeschaffung Lkw				
unter 220 g _(CO₂) /km	9	39.780	5.540	4,0%
unter 180 g _(CO₂) /km	30	138.970	28.870	21,0%
Summe	39	178.750	34.410	25,06%

Mit der Neubeschaffung der Lkw lassen sich ein Viertel der gesamten durch Kraftfahrzeuge verursachten CO₂-Emissionen verhindern.

Abbildung 4-2: Potenzial zur CO₂-Einsparung durch Neubeschaffung von Lastkraftfahrzeugen



4.4.2 Alternative Kraftstoff- und Antriebssysteme - Umrüstung

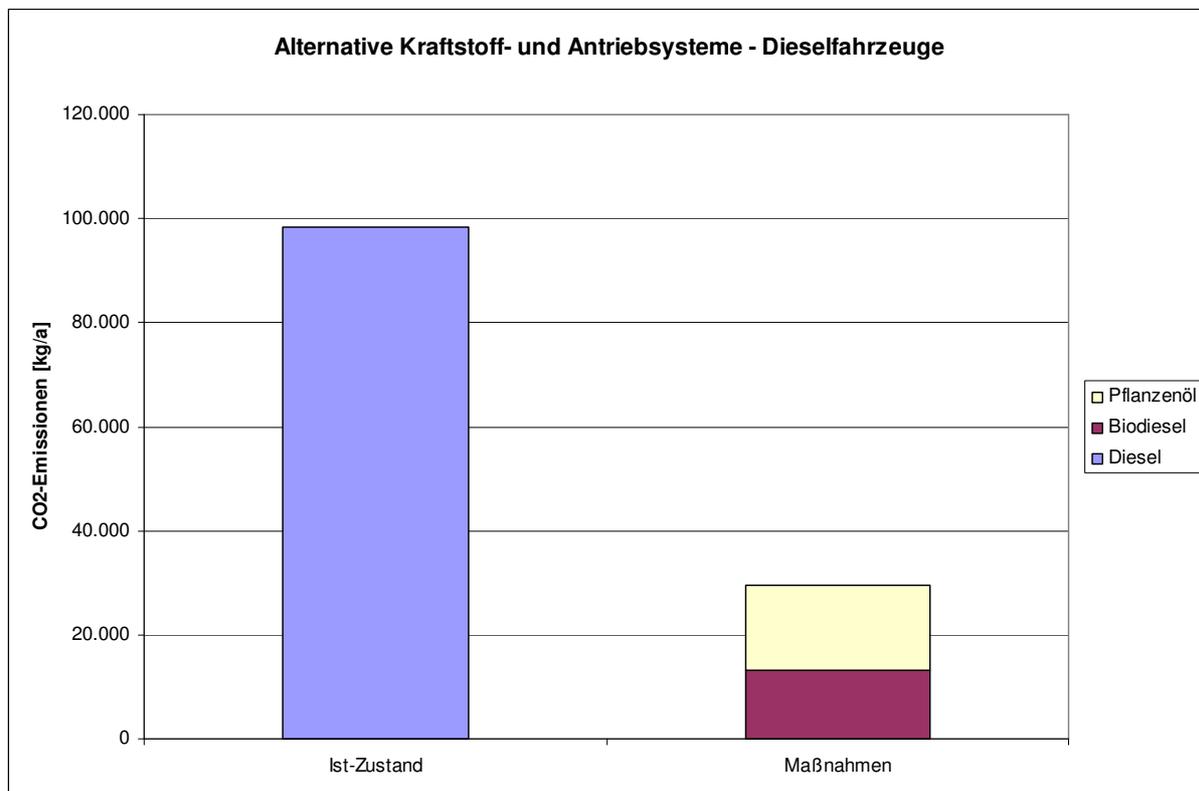
Für die bestehenden 67 Diesellochkraftfahrzeuge bietet sich als Möglichkeit zur Reduzierung der CO₂-Emissionen unter Umständen die Umrüstung auf Biodiesel oder Pflanzenölbetrieb an. Hemmnis dabei ist vor allem, dass es für den Betrieb mit diesen Kraftstoffen oft keine Freigabe durch den Fahrzeughersteller gibt. Einige Umrüstfirmen bieten deshalb Ersatzgarantien an. In wieweit dies die Bedenken gegen den Betrieb mit Alternativkraftstoffen ausräumen kann, muss im Einzelfall untersucht werden.

Tabelle 4-3: Potenzial zur CO₂-Einsparung durch Umrüstung der Diesel betriebenen Fahrzeuge

	Anzahl Fahrzeuge [Kfz]	Fahrleistung [km/a]	CO ₂ -Einsparung [kg/a]	CO ₂ -Einsparung [%]
Umrüstung				
auf Biodiesel	23	126.670	48.440	35,3%
auf Pflanzenöl	21	95.880	19.860	14,5%
Summe	63	222.550	68.300	49,80%

Mit der Umrüstung der Dieselfahrzeuge lassen sich rund die Hälfte der gesamten durch Kraftfahrzeuge verursachten CO₂-Emissionen verhindern.

Abbildung 4-3: Potenzial zur CO₂-Einsparung durch Umrüstung der Diesel betriebenen Fahrzeuge



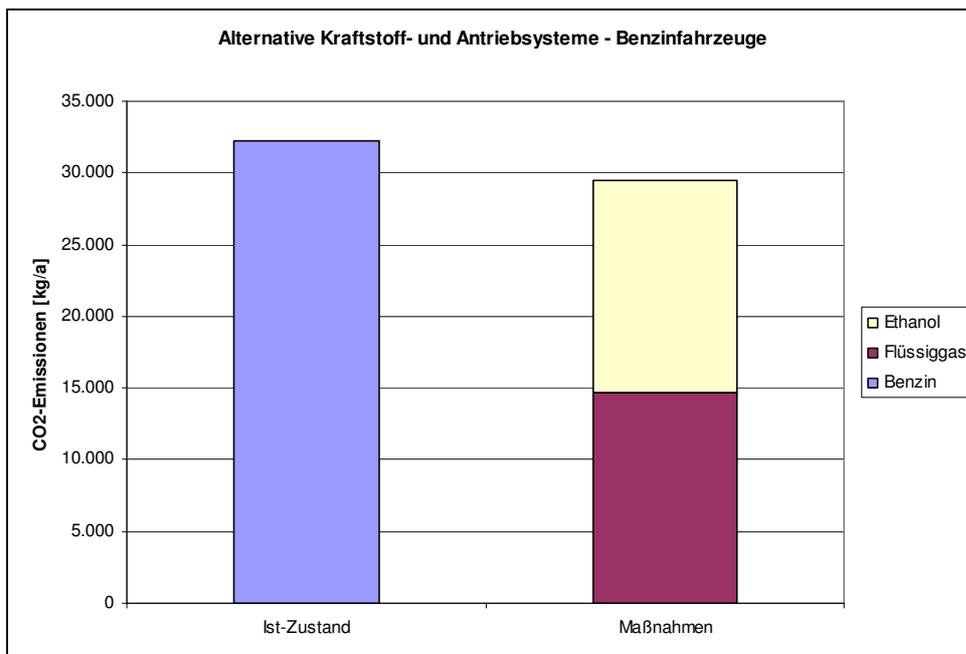
Bei den 19 Benzinkraftfahrzeugen ist die Umrüstung auf Flüssiggas eine Option für jüngere Fahrzeuge. Bei älteren Fahrzeugen kann auch durch Beimischung von Ethanol in den Kraftstoff eine CO₂-Reduzierung erwirkt werden.

Tabelle 4-4: Potenzial zur CO₂-Einsparung durch Umrüstung der Benzin betriebenen Fahrzeuge

	Anzahl Fahrzeuge [Kfz]	Fahrleistung [km/a]	CO ₂ -Einsparung [kg/a]	CO ₂ -Einsparung [%]
Umrüstung				
auf Flüssiggas	10	70.490	1.880	1,4%
Ethanolbeimischung (10%)	9	64.370	1.190	0,9%
Summe	19	134.860	3.070	2,23%

Bei Benzinfahrzeugen sind die Einsparungen mit 2,23% gegenüber den gesamten durch Kraftfahrzeuge verursachten CO₂-Emissionen eher gering.

Abbildung 4-4: Potenzial zur CO₂-Einsparung durch Umrüstung der Benzin betriebenen Fahrzeuge



4.4.3 Technische Maßnahmen

Technische Maßnahmen wie Leichtlauföl und Leichtlaufreifen sind bei allen Fahrzeugen anwendbar.

Tabelle 4-5: Potenzial zur CO₂-Einsparung durch technische Maßnahmen

	Anzahl Fahrzeuge [Kfz]	Fahrleistung [km/a]	CO ₂ -Einsparung [kg/a]	CO ₂ -Einsparung [%]
Leichtlauföl	75	399.420	4.120	3,0%
Leichtlaufreifen	75	399.420	4.120	3,0%
Summe			8.240	6,0%



Es wird mit einer pauschalen Einsparung der CO₂-Emissionen von jeweils 3% kalkuliert. Die tatsächlichen Einsparungen können den kalkulatorische Ansatz je nach Fahrprofil jedoch weit übertreffen. Gerade bei häufigeren kurzen Fahrten im Stadtverkehr sind höhere Einsparungen zu vermuten.

4.4.4 Organisatorische Maßnahmen

Organisatorische Maßnahmen betreffen die Verkehrsvermeidung und die Änderung des Fahrverhaltens.

Tabelle 4-6: Potenzial zur CO₂-Einsparung durch organisatorische Maßnahmen

	Anzahl Fahrzeuge [Kfz]	Fahrleistung [km/a]	CO ₂ - Einsparung [kg/a]	CO ₂ -Einsparung [%]
Verkehr vermeiden	-	4.000	1.370	1,0%
Änderung im Fahr- verhalten	75	395.420	6.870	5,0%
Summe			8.240	6,0%

4.4.5 Zusammenfassung möglicher Maßnahmen

	Anzahl Fahrzeuge [Kfz]	Fahrleistung [km/a]	CO ₂ - Einsparung [kg/a]	CO ₂ - Einsparung [%]	Mehrkosten [€]	CO ₂ - Minderungskosten [€/kg(CO ₂)]
Alternative Kraftstoff- und Antriebsysteme						
Neubeschaffung						
PKW unter 140 g _{(CO₂)/km}	10	58.400	7.220	5,3%	15.000	2,08
PKW unter 120 g _{(CO₂)/km}	19	122.270	12.360	9,0%	38.000	3,07
LKW unter 220 g _{(CO₂)/km}	9	39.780	5.540	4,0%	27.000	4,87
LKW unter 180 g _{(CO₂)/km}	29	138.970	28.870	21,0%	145.000	5,02
			53.990	39,3%	225.000	4,17
Umrüstung						
auf Biodiesel	23	126.670	48.440	35,3%	23.000	0,47
auf Pflanzenöl	21	95.880	19.860	14,5%	63.000	3,17
auf Flüssiggas	19	134.860	3.700	2,7%	48.000	12,97
Ethanolbeimischung (10%)	9	64.370	1.190	0,9%	0	0,00
			8.240	6,0%	12000	1,46
Technische Maßnahmen						
Leichtlauföl	75	399.420	4.120	3,0%	7500	1,82
Leichtlaufreifen	75	399.420	4.120	3,0%	7500	1,82
			8.240	6,0%	15000	1,82
Organisatorische Maßnahmen						
Verkehr vermeiden	-	4.000	1.370	1,0%	0	0,00
Änderung im Fahrverhalten	75	395.420	6.870	5,0%	5000	0,73
			8.240	6,0%	5000	0,61



5 Fazit

Die Stadt Waiblingen betreibt rund 115 Kraftfahrzeuge, Anhänger und motorbetriebene Geräte. Der CO₂-Ausstoß der Kraftfahrzeuge beläuft sich bei einer Gesamtkilometerleistung von ca. 400.000 km/a auf rund 137 t/a.

Durch die kontinuierliche und konsequente Neubeschaffung emissionsarmer Fahrzeuge lässt sich der Verbrauch des Fuhrparks und damit der CO₂-Ausstoß deutlich verringern. Die Einsparpotenziale liegen bei Pkw's im Durchschnitt bei rund 700 kg_(CO₂) pro Fahrzeug und Jahr. Bei durchschnittlich fünf Fahrzeugen, die jedes Jahr erneuert werden, ließen sich somit jährlich ca. 3,5 t/a bzw. 2,5 %/a CO₂-Emissionen vermeiden. Bei Lkw's ist die durchschnittliche Einsparung mit 900 kg_(CO₂) pro Fahrzeug und Jahr noch höher. Werden drei Lkw pro Jahr erneuert, lassen sich Einsparungen von 2,7 t/a bzw. 2 %/a CO₂-Emissionen erzielen. Summiert auf 13 Jahre bis 2020 entspricht dies einem Einsparpotenzial von knapp 40%.

Durch den Wechsel des Kraftstoffs kann alternativ eine CO₂-Reduzierung erreicht werden. Heute verfügbare alternative Kraftstoffe sind Erdgas, Autogas, Biodiesel, Pflanzenöl und Bioethanol. Hemmnis dabei ist vor allem, dass es für den Betrieb mit diesen Kraftstoffen oft keine Freigabe durch den Fahrzeughersteller gibt. Einige Umrüstfirmen bieten deshalb Ersatzgarantien an. In wieweit dies die Bedenken gegen den Betrieb mit Alternativkraftstoffen ausräumen kann, muss im Einzelfall untersucht werden.

Bisher sind in der Fahrzeugflotte der Stadt Waiblingen vier mit Erdgas betriebene Opel Combo im Betrieb. Gegenüber der Benzinvariante sparen die Fahrzeuge 23 g_(CO₂)/km oder 17,3% und im Vergleich zur Dieselsonversion 7 g_(CO₂)/km oder 5,3% ein. Bei einer Gesamtleistung von rund 10.000 km entspricht dies einer CO₂-Minderung von 230 t/a. Theoretisch besteht für alle benzinbetriebenen Fahrzeuge die Möglichkeit, diese auf Erd- oder Flüssiggas umzurüsten, was bei Umrüstkosten von 3.000 € pro Fahrzeug jedoch erst ab einer Kilometerleistung von 94.000 km wirtschaftlich wird.

Bei der Stadt Waiblingen sind sechs mit Flüssiggas betriebene Fahrzeuge im Einsatz. Es handelt sich dabei um einen PKW, vier kleine Nutzfahrzeuge und einen Gabelstapler mit einer Laufleistung von zusammen 26.000 km im Jahr und CO₂-Emissionen von rund 9,7 t/a.

Ca. 10 Benzinfahrzeuge können auf Flüssiggasbetrieb umgerüstet werden. Bei einer Laufleistung von ca. 70.000 km verringert sich der CO₂-Ausstoß um ca. 1,9 t/a. Bei Umrüstkosten von rund 2.500 € pro Fahrzeug bzw. insgesamt 25.000 € werden Emissionsminderungskosten von 13,30 €/kg_(CO₂) verursacht. Der geringere Kraftstoffpreis von Flüssiggas führt zu Einsparungen im laufenden Betrieb.

Nicht alle Dieselfahrzeuge sind mit Biodiesel oder Pflanzenöl zu betreiben oder umzurüsten. Die Möglichkeit der Umrüstung von Dieselfahrzeugen muss im Einzelfall geprüft werden. Theoretisch verringert sich durch eine Umrüstung von 50% der Dieselfahrzeuge auf Biodiesel bei einer Laufleistung von ca. 127.000 km der CO₂-Ausstoß um ca. 48 t/a. Bei Umrüstkosten von rund 1.000 € pro Fahrzeug bzw. insgesamt 23.000 € werden Emissionsminderungskosten von 48 ct/kg_(CO₂) verursacht. Der geringere Kraftstoffpreis von RME wird durch den Mehrverbrauch der Fahrzeuge egalisiert.

Werden 21 Fahrzeugen mit einer Laufleistung von ca. 96.000 km auf den Betrieb mit Pflanzenöl umgerüstet, verringert sich der CO₂-Ausstoß um ca. 20 t/a. Bei Umrüstkosten von rund 3.000 € pro Fahrzeug bzw. insgesamt 63.000 € werden Emissionsminderungskosten von 3,17 €/kg_(CO₂) verursacht. Der geringere Kraftstoffpreis von Rapsöl von rund 40 ct/l führt zu Einsparungen von 0,14 €/kg_(CO₂). Die Nettokosten liegen bei 3 €/kg_(CO₂).

Ethanol kann nur mit einem Anteil von ca. 10% in herkömmlichen Ottomotoren verwendet werden. Der Anteil der Benzinfahrzeuge, die mit Ethanol betrieben werden können wird mit ca. 9 Fahrzeugen beziffert. Bei einer Laufleistung von ca. 64.000 km verringert sich der CO₂-Ausstoß um ca. 1,2 t/a. Der geringere Kraftstoffpreis von Ethanol im Vergleich zu Benzin von rund 5 ct/l führt zu Einsparungen von 2,05 ct/kg_(CO₂).

Weitere Möglichkeiten bestehen in technischen Veränderungen am Fahrzeug, die Energieverluste minimieren. Durch die Verwendung von Leichtlaufölen im Motor wird die innere Reibung reduziert. Das technische Reduktionspotenzial durch die Verwendung von Leichtlaufölen liegt bei über 5%. Leichtlaufreifen sind Fahrzeugreifen, die sich wegen verminderter Rollwiderstände durch verminderte Geräuschentwicklung und Kraftstoffersparnis auszeichnen. Ein um 20% geminderter Rollwiderstand reduziert den Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit um bis zu 5%.

Auch durch organisatorische Maßnahmen und das persönliche Verhalten lässt sich der Kraftstoffverbrauch senken. Werden die Tipps zum Kraftstoff berücksichtigt, können zwischen 6% und 12% des CO₂-Ausstoßes vermieden werden.

Eine Möglichkeit wäre die Fahrerschulung zur kraftstoffarmen Fahrweise für Mitarbeiter der Stadtverwaltung. Zudem könnte durch Prämien oder Beteiligung der Fahrer am ökonomischen Nutzen eine kontinuierliche Förderung der verbrauchsarmen Fahrweise erreicht werden.

Durch die Kombination aus Neubeschaffung emissionsarmer Fahrzeuge, der Verwendung CO₂-Armer Kraftstoffe sowie technischen und organisatorischen Maßnahmen kann der CO₂-Ausstoß deutlich verringert werden.