

A. ENERGIEBILANZ

ENTWURF

A.1. STROM

STROMERZEUGUNG

Als Strom wird allgemein die Bewegung von Ladungen und damit die Übertragung von elektrischer Energie vom Erzeuger zum Verbraucher bezeichnet. Während sich auf der Erzeugerseite konventionelle und regenerative Energiequellen unterscheiden lassen, ist dies auf der Verbraucherseite nicht möglich, da jeder Haushalt in Deutschland den gleichen Strom aus einem zusammenhängenden Stromnetz erhält. Aus diesem Grund lassen sich die Emissionen nach dem Verursacherprinzip korrekterweise nur mit einem einheitlichen Emissionsfaktor des gesamtdeutschen Inlandsverbrauches bestimmen. Sowohl das *Klima-Bündnis* als auch der *Covenant Of Mayors* empfehlen diese Vorgehensweise für Energiebilanzen von Kommunen.



EXHURUS: DIE CRUX MIT DER ZURECHENBARKEIT

Jeder lokale Klima-Aktionsplan hat die Schwierigkeit das nachhaltige Engagement eines lokalen Energieversorgers den Kunden des Liefer- oder Netzgebiets auf gerechte Weise zuzuordnen. Im Bilanzjahr 2012 verkaufte die SWU Energie GmbH eine Strommenge von 1.151 GWh Strom, von denen 648 GWh innerhalb und 503 GWh außerhalb des SWU Netzgebiets vertrieben wurden. Dem gegenüber steht eine Stromproduktion von 560 GWh der SWU-Kraftwerke in Eigenbetrieb sowie in Beteiligung. Es stellen sich nun die beiden Fragen, ob die Stromproduktion mit einem lokalen Emissionsfaktor bilanziert wird und ob sie nur dem netzinternen oder auch externen Stromabsatz zuzurechnen ist.

Die erste Teilfrage lässt sich unter der Berücksichtigung, positive Beteiligungen auch quantifizierbar zu gestalten, klar mit einem „Ja“ beantworten, auch wenn dies bedeutet, dass die eigene Stromproduktion sowohl im lokalen als auch im bundesweiten Emissionsfaktor doppelt bilanziert wird. Bei einer Netto-Stromerzeugung in Deutschland von 592,8 TWh im Jahr 2012, beschränkte sich dieser Einfluss jedoch auf weniger als 0,1 % und ist somit vernachlässigbar.

Für die zweite Teilfrage nehmen wir an, dass die SWU einen äußerst nachhaltigen Strommix im Angebot hätte. Jedem Kunden muss dieser positive Emissionsfaktor zugeschrieben werden, unabhängig davon, ob die Lieferung innerhalb des eigenen Netzgebietes erfolgt oder außerhalb. Dieser Aspekt kann durch die Liberalisierung der Strommärkte verdeutlicht werden. Ein Endkunde ist nicht verpflichtet den „grünen Strom“ des lokalen Energieversorgers zu beziehen. Er kann auch auf Ökostromangebote von externen Drittanbietern zurückgreifen um den kommunalen Ökobilanz aufzubessern.

Aus diesem Grund wird in diesem Konzept der Stromerzeugungsmix der Stadtwerke in voller Höhe dem gesamten unternehmenseigenen Stromabsatz gutgeschrieben, unabhängig davon ob auch außerhalb des Netzgebietes weitere Kunden beliefert werden. Zwar hat diese Vorgehensweise zur Folge, dass der Anteil der kommunalen Eigenerzeugung deutlich geringer ausfällt, verhindert aber auch eine ungerechtfertigte Verklärung des Einflusses der Stadtwerke.

Auch das *Klima-Bündnis* stellt fest, dass diese Vorgehensweise als kritisch zu betrachten ist, wenn es darum geht, kommunale Potenziale zu erschließen und die Stadtwerke zu motivieren in nachhaltige Energiequellen zu investieren. Denn nur durch quantifizierbare Ergebnisse der lokalen Bemühungen lassen sich Anreize schaffen. Aus diesem Grund erlaubt das *Klima-Bündnis* auch die kommunale Bilanzierung aller beteiligten Kraftwerke mit einer Nennwertleistung unter 20 MW, die nicht unter das Treibhausgas-Emissionshandels-gesetz fallen. Dass auch diese Vorgehensweise als kritisch einzustufen ist, beweist die einfache Tatsache dass sich der Energieversorger an klimaschädlichen Braunkohlekraftwerke beteiligen könnte, ohne dass dies einen negativen Einfluss auf die lokale THG-Bilanz hätte. Umgekehrt werden positive Entwicklungen genauso wenig honoriert. Aus diesem Grund geht dieses Konzept einen Schritt weiter und bilanziert die gesamte anteilige Stromproduktion, auf die in irgendeiner Form Einfluss genommen werden kann, und greift dabei nur als Referenzwert auf den gesamtdeutschen Emissionsfaktor zurück.

>>> ERDGAS, STEINKOHLE & HEIZÖL

Die Stromproduktion auf Basis konventioneller Energieträger findet in Ulm zum Großteil in Kraft-Wärme-Kopplung statt. Darunter fallen sowohl die eigenen Kraftwerke der Stadtwerke als auch die Beteiligungen an den Kraftwerken der FUG und dem Trianel Kohlekraftwerk Lünen.¹ Einzige Ausnahme bildet die Beteiligung am Trianel Gas- und Dampfkraftwerk Hamm, das ausschließlich der Stromproduktion dient. Die folgende Aufstellung gibt einen Überblick über den konventionellen Kraftwerkspark, an dem die Stadtwerke direkt oder indirekt beteiligt sind (Tab. 1). Nicht aufgeführt sind 266 Anlagen, die im Rahmen von Wärmedienstleistungsverträgen (Contracting) durch die SWU betrieben werden und eine thermische Leistung von 56,2 MW besitzen. Da diese Anlagen auf Privatinvestoren zurückgehen, liegt es in der Verantwortung des Umweltcontrollings der Stadt eine verfeinerte Aufstellung für das Stadtgebiet Ulm zu erhalten. Dazu gehören die Anzahl der Anlagen, die eingesetzte Primärenergie sowie die Nettoerzeugung von Strom und Wärme. In diesem Konzept wird die Stromerzeugung zusammen mit den Blockheizkraftwerken der SWU bilanziert während die Wärmeerzeugung indirekt über den Erdgasverbrauch erfasst wird.

Tab. 1 | Konventioneller Kraftwerkspark der SWU & FUG (Stand 2013)

PRIMÄRENERGIE	ANLAGE	INBETRIEBNAHME	ELEKTRISCHE LEISTUNG (MW)	THERMISCHE LEISTUNG (MW)	BETEILIGUNG ELEKTRISCH
Steinkohle	Kohlekraftwerk Lünen (Trianel)	2013	750	-	5,28 %
	HKW Magirusstraße, Kessel 5	1955	18,2 über Sammelschiene	72,7	50 %
Heizöl & Erdgas	HKW Magirusstraße, Kessel 1	1969		61,2	50 %
	HKW Magirusstraße, Kessel 6	1978		96,5	50 %
Erdgas	GuD-Kraftwerk Hamm (Trianel)	2007	850	-	9,36 %
	10 x BHKW in Ulm	1999 - 2012	0,557	1,034	100 %
	13 x BHKW außerhalb Ulm	1993 - 2012	10,834	12,276	100 %
	4 x BHKW in Beteiligung	1994 - 2003	0,349	0,655	50 %
Müll	MHKW Donautal	1997	10,4	27	Ca. 20 %
GESAMT	32 ANLAGEN	1955 - 2013	142 MW	271 MW	-

Eigene Darstellung (Quelle: SWU, FUG, TAD)

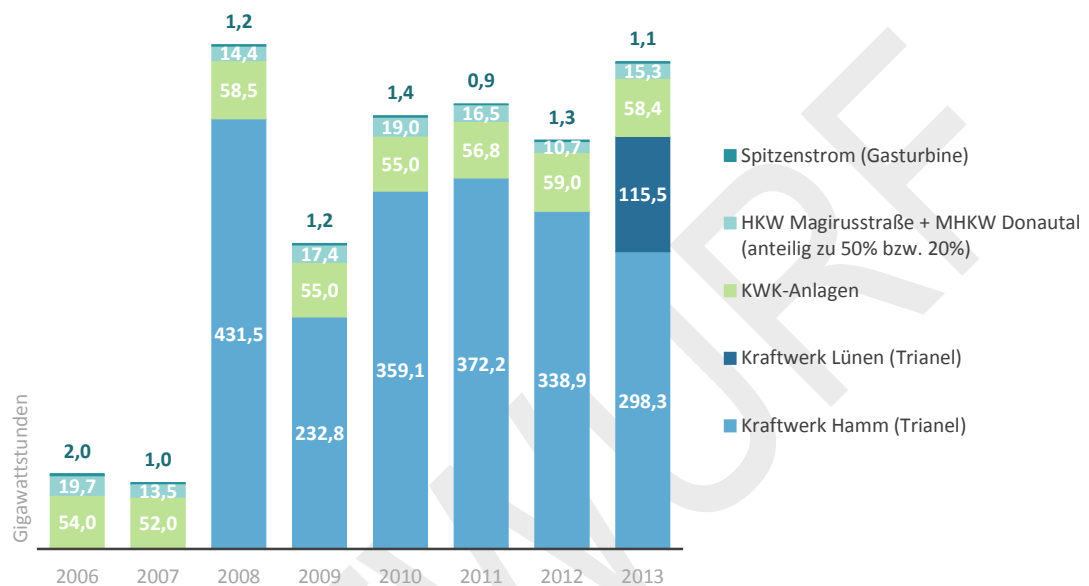
Eine Sonderstellung besitzt das Müllheizkraftwerk (MHKW) Donautal, das sowohl als Biomasse- wie auch als konventionelles Kraftwerk bezeichnet werden kann. Statistisch gesehen bestehen etwa 50 % des Abfalls aus biogenen Kohlenstoffen während die andere Hälfte den fossilen Energieträgern zuzurechnen ist. Das MHKW wird vom Zweckverband *Thermische Abfallverwertung Donautal* (TAD) betrieben, obgleich die Betriebsführung der FUG übertragen wurde. Da die Stadt Ulm anteilig nach Einwohnern und Müllaufkommen mit etwa 20 % am Zweckverband TAD beteiligt ist, kann eine entsprechende Leistungsscheibe dem kommunalen Energiemix zugeordnet werden.

Die konventionelle Stromerzeugung der Kraftwerke im SWU-Eigenbetrieb lag 2013 bei 59,5 GWh und damit leicht über dem Niveau von 2006. Hinzu kommt eine 50-prozentige Beteiligung an der Netto-Stromerzeugung des HKW Magirusstraße, die 2013 bei insgesamt 15,2 GWh lag. Der Ulmer Anteil von etwa 20 % an der Netto-Stromeinspeisung des MHKW Donautal schlug 2013 mit näherungsweise 7,7 GWh zu

¹ Das Steinkohlekraftwerk Lünen betreibt bisher noch keine Wärme-Auskopplung besitzt aber eine Ausbaupkapazität von 35 bis 140 MW thermisch.

Buche. Die Löwenanteile der konventionellen Stromerzeugung tragen seit 2008 die Beteiligung am GuD-Kraftwerk Hamm und seit 2013 auch am Steinkohle-Kraftwerk Lünen, die 2013 jeweils eine anteilige Stromerzeugung von 298,3 GWh bzw. 115,5 GWh aufweisen konnten (**Abb. 1**).² Der wichtigste Primärenergieträger ist demnach in erster Linie Erdgas, wodurch der kommunale Strommix einen deutlich niedrigeren Emissionsfaktor als der deutsche Strommix aufweist. durch die Inbetriebnahme des Kohlekraftwerks Lünen verschlechtert sich dieser Faktor ab 2013 allerdings wieder.

Abb. 1 | Konventionelle Netto-Stromerzeugung mit kommunaler Beteiligung (seit 2006)



Anmerkung: Die Stromerzeugung des HKW Magirusstraße für 2006 ist geschätzt. Die Stromerzeugung des MHKW Donautal für 2007 bis 2009 entstammt Sekundärdaten (Südwestpresse, ITAD e.V.).

Eigene Darstellung (Quelle: SWU, FUG, TransnetBW)

>>> BIOMASSE, BIOGAS & DEPONIEGAS

Neben den konventionellen Energieträgern ist auch die Biomasse ein wichtige Primärenergiequelle zur Stromerzeugung innerhalb der SWU Netze. So waren laut EEG-Veröffentlichungen Ende 2013 insgesamt 30 Biomasseanlagen mit einer elektrischen Gesamtleistung von 25,6 MW an das SWU Netz angeschlossen. Hiervon liegen insgesamt 15 Anlagen im Stadtgebiet Ulm, die Bedeutendsten die beiden Biomasse-Heizkraftwerke der FUG und das Holzgas-Heizkraftwerk (HGA) der SWU in Senden³ sind (**Tab. 2**). Insgesamt 13 weitere Kleinkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 3,7 MW, mit Ausnahmen von 2 Anlagen alle in Kraft-Wärme-Kopplung, speisen zusätzlichen Strom in das Netz. Dabei ist nicht jedes Kraftwerk als eigenständige Anlage zu verstehen. Oftmals werden mehrere Motoren zur Strom- und Wärmeerzeugung von einer einzigen Biogasanlage angetrieben. Die Zuordnung ist schwierig, da keine eindeutige Bestandsliste vorliegt.

² Bei allen Erzeugungsdaten ist zu berücksichtigen, dass sie nur anteilig nach dem Stromverkauf der SWU an Ulmer Stadtgebiet zugeteilt werden können und somit für das Jahr 2012 bspw. nur 35 % der SWU-Stromerzeugung auch für die Stadt relevant waren. Eine Ausnahme bildet das MHKW Donautal, das direkt mit 20 % der Stadtversorgung zugerechnet werden kann.

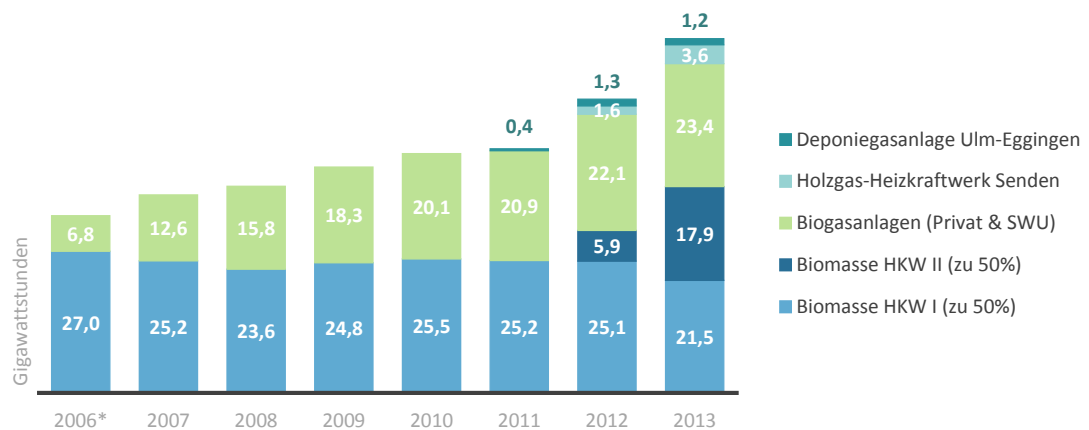
³ Aufgrund technischer Probleme bei der Einhaltung gesetzlicher Emissionsgrenzwerte ist die HGA Senden nur testweise in Betrieb genommen worden und produzierte dabei nur 3,6 GWh Strom. Mit Aufnahme des Regelbetriebes Ende 2014, ist das Kraftwerk in der Lage die zehnfache Menge an Strom zu erzeugen.

Tab. 2 | Biomasse-, Bio- & Deponiegas-Anlagen im kommunalen Strommix (Stand 2013)

EEG-ANLAGE	INBETRIEBNAHME	ELEKTRISCHE LEISTUNG	THERMISCHE LEISTUNG	ANTEIL AM STROMMIX
Biomasse-HKW I (FUG)	2004	9,6 MW	58 MW	50%
Biomasse-HKW II (FUG)	2013	5,0 MW	25 MW	50%
Holzgas-Heizkraftwerk Senden (SWU)	2013	4,96 MW	6,4 MW	100%
BHKW Aulendorf (SWU)	2003	49 kW	80 kW	100%
11 x Motoren mit KWK (Privat)	2003 - 2008	3,46 MW	k.A.	100%
2 x Motoren ohne KWK (Privat)	1998, 2010	295 kW	-	100%
Deponiegas-Anlage Eggingen (Privat)	2011	200 kW	-	100%
18 ANLAGEN	1998 - 2013	23,6 MW	K.A.	-

Eigene Darstellung (Quelle: SWU, FUG, TransnetBW)

Zu den wichtigsten privaten Biogaskraftwerken zählen unter anderem die Anlagen der *pure power GmbH & Co. KG* in der Ulmer Siemensstraße und vier landwirtschaftlich betriebenen Mais- und Gülle-Anlagen in Ulm-Göggingen. Im weiteren Sinne zur Biomasse lässt sich auch eine 200 kW Anlage an der ehemaligen Mülldeponie in Ulm-Eggingen zählen die ebenfalls von der *pure power GmbH & Co. KG* betrieben wird und ausströmendes Deponiegas zu Stromerzeugung einsetzt.

Abb. 2 | Netto-Stromerzeugung (EEG) aus Biomasse mit kommunaler Beteiligung (seit 2006)

Anmerkungen: Die Stromerzeugung aus dem Jahr 2006 basiert auf Schätzungen, da hierzu keine Daten vorliegen. Das Holzgas-HKW Senden sowie die Biogasanlage Aulendorf der SWU befinden sich nicht auf dem Stadtgebiet von Ulm, werden aufgrund des Gesellschafterstatus der Stadt aber als beteiligte Stromerzeugung bilanziert.

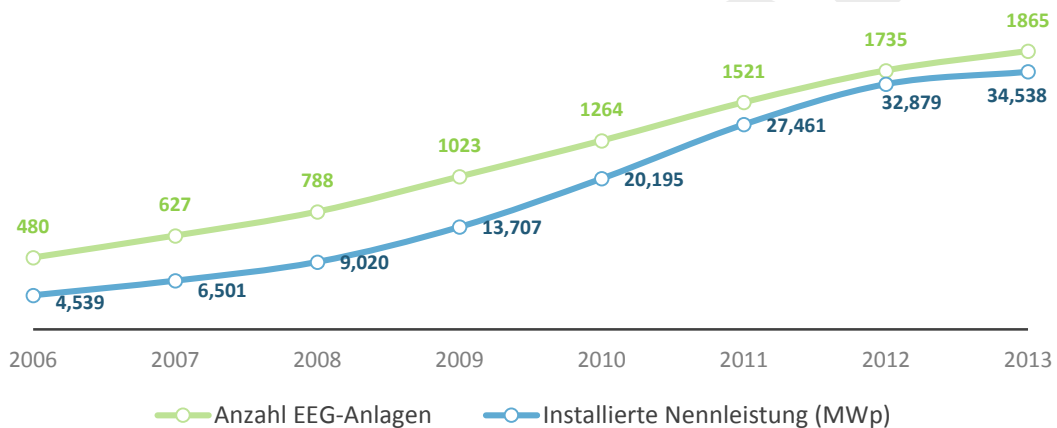
Eigene Darstellung (Quelle: TransnetBW)

2013 wurde eine Strommenge von 63,7 GWh in das kommunale Stromnetz der SWU eingespeist. Zusätzlich wurden 3,6 GWh im Holzgas-HKW Senden und 0,2 GWh im BHKW Aulendorf in indirekter Beteiligung erzeugt (**Abb. 2**). Die Stromerzeugung in Höhe von 23,2 GWh aus privaten Biogasanlagen sowie die Erzeugung von 12, GWh in der Deponiegasanlage in Ulm-Eggingen können in voller Höhe auf die kommunale Stromerzeugung angerechnet werden. Die Stromerzeugung aus den SWU-Anlagen und den beiden Biomasse-Heizkraftwerken der FUG können in der kommunalen Eigenerzeugung nur anteilig entsprechend dem Verhältnis des kommunalen Stromabsatzes zum Gesamtabsatz berücksichtigt werden.

>>> PHOTOVOLTAIK

Ende 2013 speisten insgesamt 4.486 nach dem Erneuerbaren Energien-Gesetz (EEG) vergütete Solaranlagen mit einer Gesamtleistung von 93.279 kWp in das Stromnetz der SWU ein.⁴ Von diesen waren 1.865 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 34.538 kWp dem Stadtgebiet Ulm zuzuordnen (Abb. 3).⁵ Weitere 28 Anlagen mit 469 kWp waren zwar bereits in Betrieb genommen, leisteten aber keinen Beitrag zur Stromerzeugung. Von den 1.865 Solaranlagen in Ulm werden 8 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 272 kWp von der SWU betrieben. Darüber hinaus betreibt die SWU noch zwei Großanlagen in Neu-Ulm (auf den Gebäuden von *EvoBus* und der *Ratiopharm-Arena*) mit einer Gesamtleistung von 2.777 kWp. Da sich alle Anlagen der SWU im unmittelbaren Gesellschaftereinfluss der Stadt Ulm befinden, können diese anteilig auf den kommunalen Strommix angerechnet werden.

Abb. 3 | Entwicklung von Anzahl und Peak-Nennleistung der EEG-Solaranlagen in Ulm (seit 2006)



Quelle: SWU

**EXKURS: DER ENBW SOLARPARK ULM-EGGINGEN**

Nach nur dreimonatiger Bauzeit wurde im Juli 2010 der bisher größte Solarpark der *EnBW Energie Baden-Württemberg AG* in Betrieb genommen. Auf etwa 9 ha Freifläche der ehemaligen Hausmülldeponie Ulm-Eggingen wurden dabei 28.336 Photovoltaikmodule mit einer Gesamt-Nennleistung von 6.517 kWp installiert. Mit einer Stromerzeugung von etwa 6,9 GWh jährlich lassen sich damit rechnerisch bis zu 2.000 Haushalte versorgen.

Obwohl die Anlage bereits am 21.06.2010 bei der Bundesnetzagentur registriert wurde, ist der Solarpark bisher weder in den EEG-Anlagendaten des Übertragungsnetzbetreibers *TransnetBW* verzeichnet noch erfasst die *SWU* die Anlage oder die eingespeisten Strommengen. Dieser Sachverhalt offenbart große Missstände bei der Qualität der Datenerfassung. So kommen drei verschiedene Datenquellen zu deutlich abweichenden Bilanzdaten der installierten Photovoltaikanlagen!

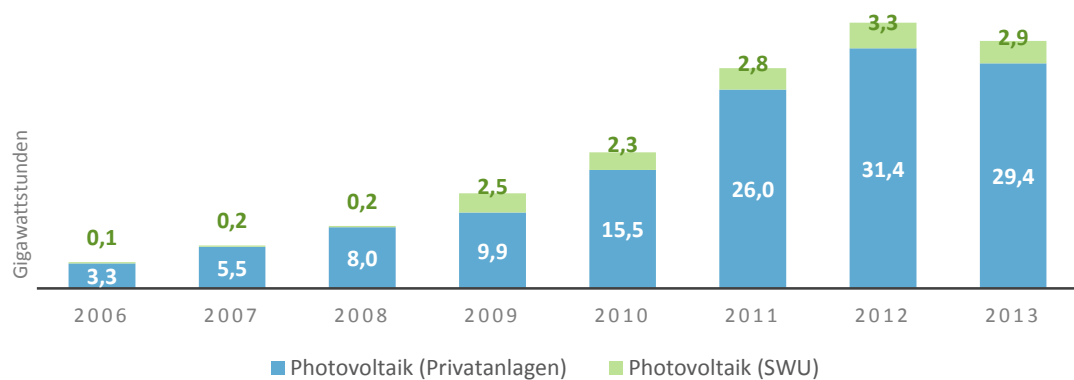
Die erzeugte Strommenge wird nach dem EEG vergütet und könnte prinzipiell nach dem Territorialprinzip auch zum kommunalen Strommix der Stadt Ulm beitragen. Nicht zuletzt leistete die Stadt einen bedeutenden Beitrag zur Entstehung des Solarparks, indem sie die dafür benötigte Freifläche angeboten hatte. Jedoch bildet der Solarpark aufgrund der hohen Nennleistung einen integralen Bestandteil einer nachhaltigen überregionalen Energieerzeugung. Zusammen mit dem fehlenden Einfluss der Kommune auf den Betreiber *EnBW* sprechen somit zwei deutliche Gründe dagegen, die Anlage in der kommunalen Stromerzeugung zu berücksichtigen.

⁴ Davon 3.170 Anlagen im Übertragungsnetz der *TransnetBW* und 1.316 im Netz von *Amprion*.

⁵ EEG-geförderten Anlagen sind seit 2006 auskunftspflichtig und werden von den ÜNB zur Verfügung gestellt. Im Vergleich zu den Primärdaten der SWU, fallen hier jedoch geringe Unterschiede auf. So werden laut *TransnetBW* für 2013 zwar auch 1.865 Anlagen geführt (diese Zahl weicht in den anderen Jahren deutlich von denen der SWU ab) aber diese weisen eine leicht höhere Leistung von 34.565 kWp und erzeugen damit auch über 0,4 GWh mehr als im direkten Vergleich zur Datenerhebung der SWU.

Der Ausbau privater Photovoltaikanlagen auf dem Stadtgebiet Ulm hat zwischen 2006 und 2012 einen wahren Boom erlebt, verlangsamte sich danach jedoch mit dem Rückgang der EEG-Vergütung deutlich (**Abb. 3**). Die Gesamteinspeisung aller nach EEG vergüteten Solaranlagen im Stadtgebiet Ulm werden nach dem Territorialprinzip zu 100 % der kommunalen Eigenerzeugung zugeschrieben, da ihre Installation direkt auf kommunale Privatinvestitionen zurückzuführen ist und damit unmittelbar durch die Klimapolitik der Kommune beeinflusst wurde. Während des Jahres 2013 wurden insgesamt 32,3 GWh Strom durch Photovoltaikanlagen in Ulm erzeugt. Die kontinuierliche Steigerung der erzeugten EEG-Strommengen zwischen 2006 und 2012 konnte im Jahr 2013 erstmalig nicht beibehalten werden (**Abb. 4**).

Abb. 4 | Stromproduktion aus Photovoltaikanlagen der SWU und Privatinvestoren seit 2006



Quelle: SWU

Tab. 3 | Solaranlagen im Betrieb der SWU (Stand 2013)

SOLARANLAGE SWU	INBETRIEBNAHME	NENNLEISTUNG (kW Peak)
Evo Bus	2008	2.300
Ratiopharm-Arena	2011	477
Söflingerstraße 120/124	2005/2009	115
SWU Energie GmbH	2005	80
SWU Verkehr, Bauhoferstraße, Dach	2001	40
SWU Verkehr, Bauhoferstraße, Fassade	2001	16
Donaustadion	1999	12
SWU Hauptgebäude	2001	6
SWU Werkstattgebäude	2001	4
Gänswiesenweg	2001	1
SUMME	-	3.051

Quelle: SWU

>>> WASSERKRAFT

Die beiden Flüsse Donau und Iller bieten naturgemäß die Möglichkeit Wasserkraft im Einzugsgebiet der Stadt Ulm in die lokale Stromproduktion zu integrieren. So sind in den einhundert Jahren zwischen 1905 und 2005 insgesamt zehn Wasserkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 18,8 MW entstanden, die 2013 knapp 110 GWh Strom erzeugten und in das Netz der SWU einspeisten. Der Betreiber von neun dieser Anlagen ist die SWU selbst, nur eine kleine Anlage mit 5,5 kW befindet sich im Privatbesitz in Ulm-Eggingen, wird aber dennoch dem Ulmer Strommix zugerechnet, da die Anlage im unmittelbaren Verwaltungsbereich der Stadt liegt. Alle Anlagen sind Sinne des Erneuerbaren-Energie-Gesetzes (EEG) voll förderungsfähig und erhalten Einspeisevergütungen auf Basis des jährlich eingespeisten Stroms. Einzig das größte Wasserkraftwerk an der Böfinger Halde kann nur 700 kW seiner 8,8 MW Leistung als EEG-förderungsfähig ansetzen. Neben dem Betreiben der eigenen Kraftwerke, ist die SWU auch Gesellschafter zwei weiterer Anlagen an der Brenz in Herbrechtingen und am Main in Mainz-Kostheim kurz vor der Rheinmündung. Beide Anlagen werden gemäß den Gesellschafteranteilen zum Strommix der SWU hinzu-gerechnet und erhöhen damit indirekt auch den erneuerbare Anteil der kommunalen Stromversorgung.

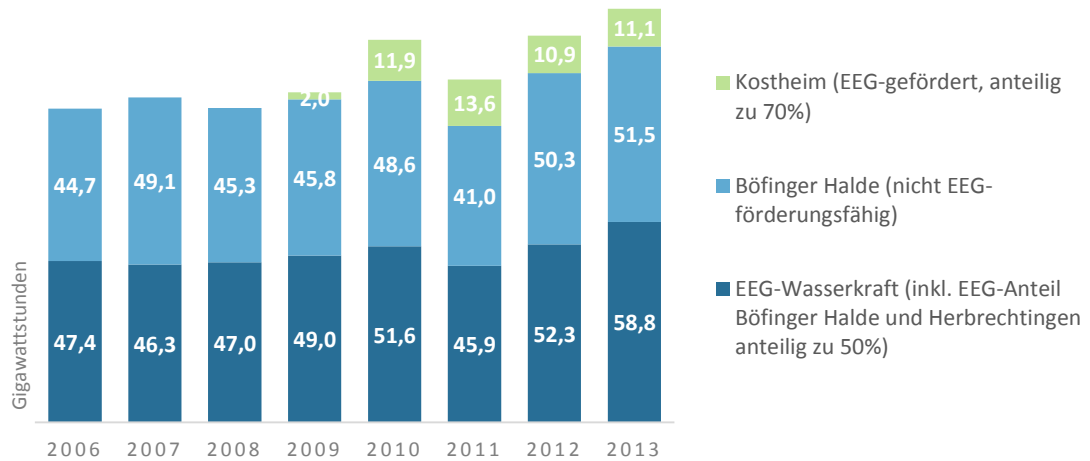
Tab. 4 | Wasserkraftwerke im kommunalen Strommix (Stand 2013)

PLZ	ANLAGE	ORT	INBETRIEB-NAHME	MODERNISIERUNG	NENN-LEISTUNG	SWU-BETEILIGUNG
89073	Böfinger Halde (EEG-Anteil)	Ulm	1953	2010	700 kW	100%
89073	Böfinger Halde (nicht EEG)	Ulm	1953	-	8.100 kW	100%
89077	Söflingen	Ulm	1992	-	6 kW	100%
89079	Donaustetten	Ulm	1926	1974	4.500 kW	100%
89079	Eggingen (Privatanlage)	Ulm	2005	-	5,5 kW	100%
89079	Wiblingen	Ulm	1907	1969	1.250 kW	100%
89081	Glaeser	Ulm	1936	2005	16 kW	100%
89155	Ersingen	Erbach	2003	-	56 kW	100%
89231	Ludwigsfeld	Neu-Ulm	1906	1969	580 kW	100%
89231	Neu-Ulm	Neu-Ulm	1926	-	590 kW	100%
89610	Öpfingen	Oberdischingen	1923	1982	3.000 kW	100%
55246	Kostheim	Mainz-Kostheim	2009	-	4.960 kW	70%
89542	TWH Wasserkraftanlage	Herbrechtingen	1990	2011	146 kW	50%
GESAMT	12 WASSERKRAFTWERKE	6 ORTE	1905 – 2009	1969 – 2011	22.910 KW	22.349 KW

Eigene Darstellung (Quelle: SWU, TransnetBW, Amprion)

Zwischen 2006 und 2013 hat sich die anteilige Stromproduktion dieser Wasserkraftwerke von 92,1 GWh auf 121,4 GWh deutlich erhöht, was auf Effizienzsteigerungen vorhandener Anlagen, aber auch vor allem auf den Ausbau der Böfinger Halde im Jahr 2010 und die Inbetriebnahme des Wasserkraftwerks Mainz-Kostheim im Jahr 2009 zurückzuführen ist. 2013 erzeugten die SWU-eigenen Wasserkraftwerke insgesamt 110,0 GWh Strom. Hinzu kommen die Beteiligungen in Kostheim mit 11,1 GWh und Herbrechtingen mit einer EEG-Menge von 333 MWh. Das private Kleinst-Wasserkraftwerk in Ulm-Eggingen produzierte knapp 7 MWh EEG-vergüteten Strom, der vollständig auf den Ulmer Strommix angerechnet werden kann. Die erzeugte Menge der Anlagen aus SWU-Beteiligungen trägt anteilig zur kommunalen Stromerzeugung bei.

Abb. 5 | Netto-Stromerzeugung aus Wasserkraft mit Beteiligung der Stadt Ulm



Eigene Darstellung (Quelle: SWU, TransnetBW, Amprion)

>>> ZUSAMMENFASSUNG

Die Stadt Ulm war 2013 an einer Stromerzeugung von 709,7 GWh direkt über private Erzeugungsanlagen, oder indirekt über eigene Anlagen oder Beteiligungen der Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm beteiligt (Tab. 5). Insgesamt 53,8 GWh der Erzeugung stammen aus privatrechtlichen Photovoltaik-, Biogas- oder Deponie-gasanlagen innerhalb des Stadtgebiets Ulm und tragen in vollem Umfang zur kommunalen Eigenerzeugung bei. Auch ein Anteil von etwa 7,7 GWh an der Stromproduktion des MHKW Donautal kann vollständig der kommunalen Erzeugung zugerechnet werden. Der Großteil von 91,3 % der lokalen Stromerzeugung stammt allerdings aus den eigenen Anlagen sowie Kraftwerksbeteiligungen der SWU und muss demnach jedem Stromabnehmer der Gesellschaft anteilig zugestanden werden. Darunter fallen vor allem die Biomasse-HKW der FUG, das Holzgas-HKW Senden, alle Wasserkraftwerke und SWU-eigenen Photovoltaikanlagen sowie die Kraftwerke mit konventionellem Energieträgereinsatz. Die Zuordnungshöhe richtet sich nach dem Umsatzanteil des jeweiligen Stromabnehmers und lag für Ulm 2013 bei knapp 42 % (Tab. 6).

Tab. 5 | Netto-Stromerzeugungsmix mit kommunaler Beteiligung der Stadt Ulm (seit 2006)

PRIMÄRENERGIE	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Erdgas	56,0	53,3	491,5	289,0	416,1	430,0	399,2	360,0
Wasserkraft	92,1	95,4	92,3	96,9	112,2	100,6	113,5	121,4
Steinkohle	9,7	5,9	6,5	8,2	9,1	6,8	0,9	120,9
Biomasse	27,0	25,2	23,6	24,8	25,5	25,2	31,0	39,3
Photovoltaik	3,4	5,6	8,2	12,4	17,8	28,8	34,7	32,3
Bio-/Holz-/Deponiegas	6,8	12,6	15,8	18,3	20,1	21,3	25,0	28,2
Müll	9,8	7,1	7,6	9,1	9,1	9,5	9,9	7,7
Heizöl, leicht	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,0	0,1
SUMME	205,0	205,2	645,4	458,7	610,2	622,4	614,1	709,7

Eigene Darstellung (Quelle: SWU, FUG, TransnetBW, Amprion)

Tab. 6 | Markt- und Umsatzanteil des kommunalen Strombezugs (seit 2006)

ANTEIL	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Marktanteil SWU¹	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	46 %	37 %	44 %	53 %
Umsatzanteil Ulm²	40 %	40 %	40 %	40 %	39 %	32 %	35 %	42 %

¹ Entspricht hier dem Verhältnis von verkaufter zur verteilten Strommenge auf dem Stadtgebiet Ulm.

² Entspricht hier dem Verhältnis vom kommunalen zum gesamten Stromabsatz der SWU. Werte für 2006 bis 2009 geschätzt.

Quelle: SWU

Die kommunale Strom-Eigenerzeugung der Stadt Ulm lag 2013 bei insgesamt 332,3 GWh (**Abb. 6**). Die entscheidenden Primärenergieträger sind Erdgas, Wasserkraft und Steinkohle, die zusammen einen Anteil von beinahe 76 % an der gesamten Netto-Endenergieerzeugung tragen. Weitere 22 % werden durch den Einsatz von EEG-geförderten Energiequellen bereitgestellt. Vor allem Photovoltaik ist mit über 9 % stark aufgestellt, aber auch Biogase leisten mit 8 % einen annähernd gleich hohen Beitrag. Der Einsatz von Holz in den Biomasse-HKW's I und II sichert anteilig 5 % der städtischen Stromerzeugung, die Müllverbrennung weitere 2 %. Heizöl kann im kommunalen Stromerzeugungsmix vernachlässigt werden.

Abb. 6 | Kommunale Strom-Eigenerzeugung der Stadt Ulm (seit 2006)

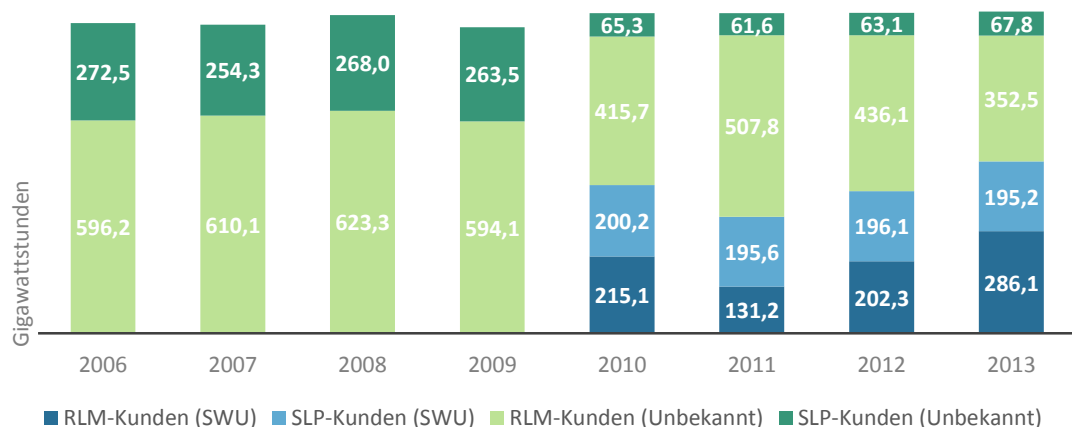
Aufgrund der Geringfügigkeit wird Heizöl (HEL) in dieser Darstellung vernachlässigt

Eigene Darstellung | Quelle: SWU, FUG, TransnetBW, Amprion

STROMVERBRAUCH

Im Netzgebiet der *Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm Netze GmbH* wurden 2012 insgesamt 1.504 GWh Strom verteilt. Die Stadt Ulm ist hierbei der Hauptabnehmer und war mit 898 GWh für etwa 60% der gesamten Stromverteilung verantwortlich. Innerhalb ihres Netzgebietes besaß die SWU im Jahr 2012 einen Marktanteil von 43 % und konnte eine Strommenge von 648 GWh an Endkunden vertreiben. Mit 398 GWh waren Ulmer Endkunden mit über 61 % am netzinternen Stromabsatz der SWU beteiligt. Dies impliziert das 2012 insgesamt 500 GWh, und damit annähernd 56 % des Ulmer Stromverbrauches, durch netzexterne Fremdanbieter geliefert wurden. Auch die SWU tritt innerhalb externer Versorgungsnetze als Fremdanbieter auf. So wurden 2012 insgesamt 503 GWh Strom, und damit 44 % des gesamten Stromabsatzes der SWU von 1.151 GWh, an Endkunden außerhalb des eigenen Netzgebietes geliefert. Selbst netzübergreifend war die Stadt Ulm 2012 für 35 % des gesamten Stromabsatzes der SWU verantwortlich. Dennoch ist davon auszugehen, dass sich der Trend zur dezentralen Stromversorgung, in Folge der zunehmenden Liberalisierung deutscher Stromnetze seit 1996, verstärken wird.

Abb. 7 | Stromverteilung an Groß- und Kleinverbraucher in Ulm (seit 2006)

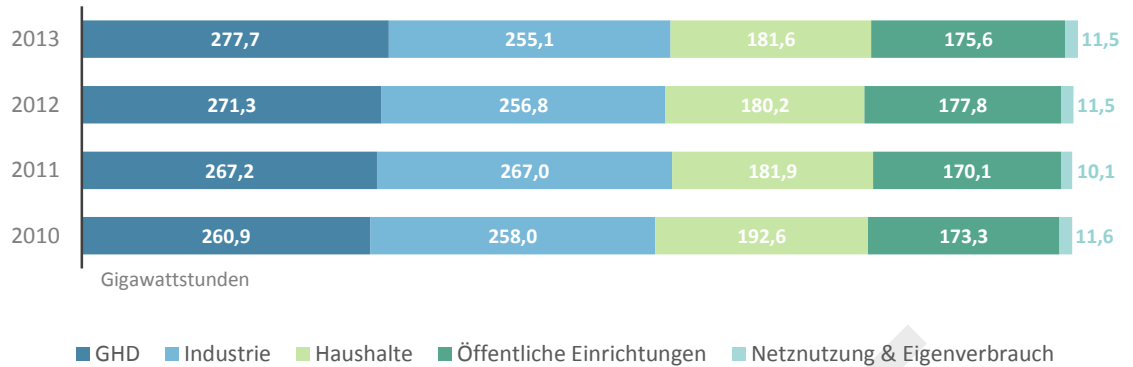


Anmerkungen: Der SWU-Stromverkaufsdaten an Großkunden (über Registrierende Leistungsmessung – RLM) und Kleinkunden (über Standardlast-profile – SLP) bis 2009 liegt diesem Konzept nicht vor, sollte aber ergänzt werden. Ein Fehlen dieser Daten verhindert die anteilsgenaue Zurechnung der SWU-Stromproduktion zum kommunalen Strommix. (Quelle: SWU)

Anhand der Unterteilung in einzelne Segmente lässt sich der Stromverbrauch auf die Verbrauchssektoren Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD), Industrie, Haushalte, Öffentliche Einrichtungen sowie Netznutzung und Eigenverbrauch aufteilen (Abb. 8).⁶ Dabei ist es empfehlenswert, die Klassifikation der deutschen Wirtschaftszweige des Statistischen Bundesamtes (WZ 2008) zu übernehmen. Da diese Systematik nicht innerhalb der SWU Datenerfassung angewandt wird, ist die Abbildung nur eingeschränkt möglich. Ein wichtiges Merkmal zur Definition der Sektoren ist die Unterscheidung ist Großabnehmer (RLM) und Kleinverbraucher (SLP).

⁶ Diese Aufteilung richtet sich im Wesentlichen nach den Vorgaben der *AG Energiebilanzen*. Hierbei treten jedoch insbesondere im Sektor GHD verstärkt Schwierigkeiten in der Zuordnung auf. Auch ist der Sektor „Öffentliche Einrichtungen“, eine Untermenge des GHD-Sektors, spezifisch in diesem Konzept verankert, um diesem einen höheren Stellenwert zu verleihen. So werden diesem Bereich auch alle öffentlichen Dienstleistungen zugeordnet, insbesondere Krankenhäuser. Zu weiteren Unterschieden zwischen diesen beiden Sektoren vgl. auch „Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013“ (Fraunhofer ISI, März 2008).

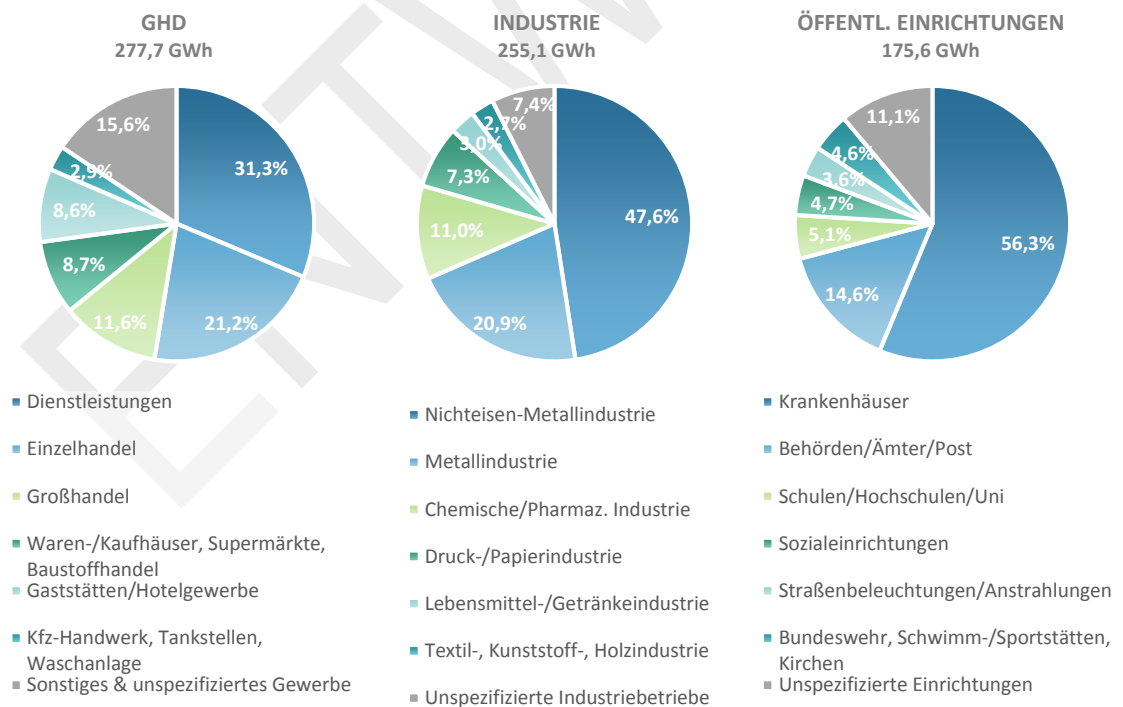
Abb. 8 | Kommunaler Stromverbrauch nach Sektoren von 2010 bis 2013



Eigene Darstellung (Quelle: SWU)

Ein genauer Blick offenbart die Verursacher innerhalb der einzelnen Sektoren (Abb. 9). Im Sektor GHD werden über 52 % durch Betriebe der Dienstleistungsbranche und den Einzelhandel verursacht. Metall-bearbeitende Betriebe sind zu mehr als 68 % für den Stromverbrauch der Industrie verantwortlich und Krankenhäuser beanspruchen 56 % der Stromverteilung zu den öffentlichen Einrichtungen. Gerade diese Segmente müssen verstärkt in die Klimaschutzarbeit verschiedener Akteursgruppen integriert werden.

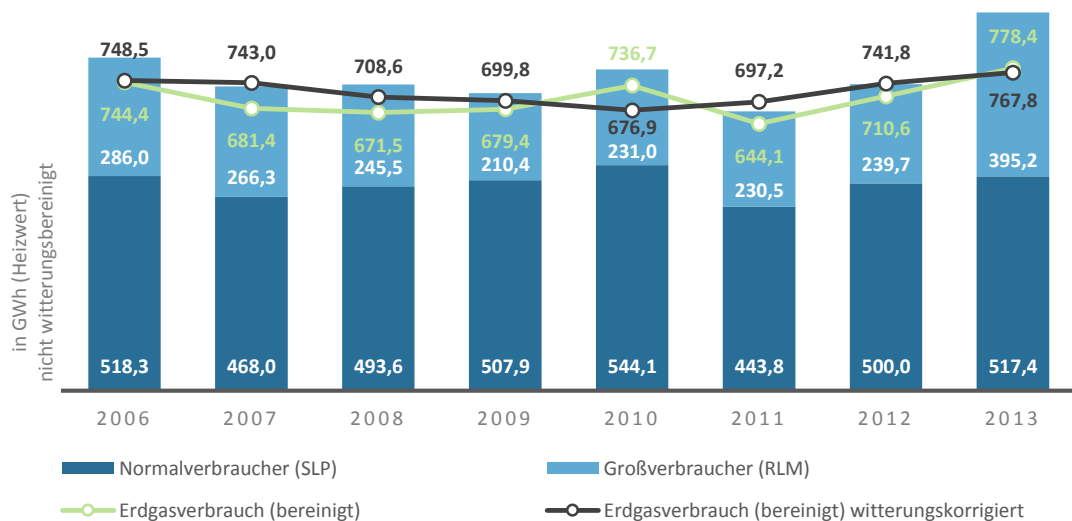
Abb. 9 | Sektor-Stromverbrauch der Stadt Ulm nach Verbrauchergruppen (2013)



A.2. ERDGAS

Auch die Erdgasbelieferung der Stadt Ulm wird durch die *SWU Netze GmbH* sichergestellt, die ein Versorgungsgebiet mit insgesamt 18 Kommunen abdeckt. Durch ein Leitungsnetz von 1.055 km Länge wurden 2013 insgesamt 2.460 GWh Erdgas an 28.100 Hausanschlüsse mit 33.900 Endkunden verteilt. Dabei wurden 912,6 GWh, etwa 37 % der gesamten Erdgasmenge, im Ulmer Stadtgebiet verteilt.⁷ Auffallend ist ein deutlicher Anstieg des Erdgasverbrauchs im Vergleich zum Bilanzjahr 2012 (**Abb. 10**). Dieser ist zwar auch auf einen strenger Winter im Jahr 2013 zurückzuführen, wurde aber größtenteils durch den verstärkten Einsatz von Erdgas als Primärenergieträger in der Wärmeerzeugung der *Fernwärme Ulm GmbH* verursacht. Um den tatsächlichen Erdgasverbrauch unabhängig von anderen Endenergieträgern zu verdeutlichen, empfiehlt es sich die Erdgasverteilung um den Primärenergieeinsatz in wärme- oder stromerzeugenden Anlagen auf dem Stadtgebiet zu bereinigen.⁸ Darüber hinaus kann eine Witterungs-korrektur durchgeführt werden um den Einfluss schwankender Jahresmitteltemperaturen auf den Verbrauchstrend herauszufiltern.⁹ Die Witterungsbereinigung verfälscht absolute Mengen und sollte daher nicht als Grundlage zur Berechnung der Höhe von Emissionen dienen.

Abb. 10 | Kommunalen Erdgasverbrauch der Stadt Ulm (seit 2006)



Eigene Darstellung (Quelle: SWU)

Anmerkung: Aufgrund der Abrechnungsmethodik im Standardlastprofil (SLP) kommt es vor, dass negative Jahressaldi bilanziert werden, wenn der Vorjahreswert zu hoch berechnet wurde. Hat der Negativwert eine Differenz von > 50 MWh zum Vorjahreswert, werden die Daten korrigiert, indem der Durchschnittswert für beide Jahre angesetzt wird. Für 2010 ist der Unterschied marginal, in den Jahren 2011 und 2012 ändern sich die SLP-Daten aber um ca. 18 GWh und für 2013 um etwa 1 GWh. Diese Korrektur hat damit durchaus Einfluss auf die Vergleichbarkeit der Daten.

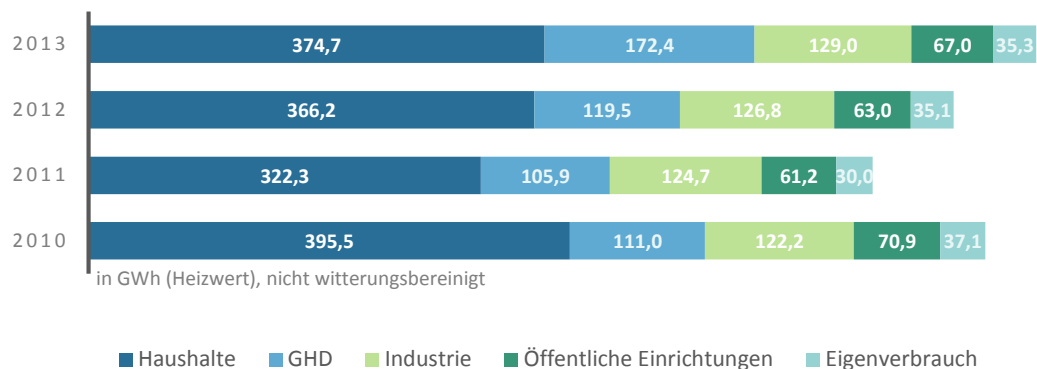
⁷ Mehr als die Hälfte dieser Menge (56,7 %) wurde im Standardlastprofil (SLP) an Klein- und Normalverbraucher mit einem Anschlusswert von unter 500 kW oder einer entnommenen Jahresarbeit von weniger als 1,5 GWh geliefert.

⁸ Bereinigt wird um den Erdgasverbrauch durch *SchwabenGas mobil* an der Tankstelle am Hindenburgring sowie den Primärenergieeinsatz im HKW Magirusstraße, im Heizwerk Daimlerstraße und den 10 Blockheizkraftwerken der SWU im Ulmer Stadtgebiet. Zu dem Primärenergieeinsatz in Anlagen der Wärmedienstleistung liegen keine Daten vor und eine Bereinigung ist hier nicht möglich.

⁹ Die Witterungsbereinigung wird in diesem Konzept mit Hilfe durch die IWU bereitgestellter Gradtagzahlen auf Grundlage vom Deutschen Wetterdienst erfasster Temperaturmittel der Wetterstation Augsburg durchgeführt, kann aber auch mit Gradtagzahlen der FUG erfolgen. Die Innentemperatur liegt bei 20°C, die Heizgrenztemperatur wird bei 15°C festgesetzt.

Private Haushalte verursachen den Großteil des Erdgasverbrauchs. So waren Ulmer Haushalte für fast 48 % des Erdgasabsatzes 2013 verantwortlich, gefolgt vom Sektor GHD mit knapp 22 %, der Industrie mit 16 % und den öffentlichen Einrichtungen mit 9 % (**Abb. 11**). Der Eigenverbrauch ist im Wesentlichen auf die Versorgung der SWU Firmengebäude und die Energieversorgung durch Blockheizkraftwerke (BHKW) zurückzuführen. Da dieser Wert bereits sowohl um das im Verkehrssektor eingesetzte Erdgas als auch um den Energieeinsatz in SWU-eigenen BHKWs bereinigt wurde, ist davon auszugehen, dass hier neben dem tatsächlichen Eigenverbrauch der SWU-Gebäude auch Contracting-Anlagen im Rahmen von Wärmedienstleistungen erfasst werden.

Abb. 11 | Kommunaler Erdgasverbrauch (bereinigt) nach Sektor (seit 2010)



Eigene Darstellung (Quelle: SWU)



EXKURS: DIE WITTERUNGSBEREINIGUNG

Als **Witterungsbereinigung** wird die künstliche Absenkung bzw. Anhebung temperaturabhängiger Energieverbrauchswerte auf ein langjähriges Temperaturmittel bezeichnet. Sie wird vor allem dann verwendet, wenn Heizenergieverbräuche über mehrere Jahre oder verschiedene Standorte miteinander verglichen werden sollen. Die Bereinigung geschieht dann mit Hilfe sogenannter **Gradtagzahlen** (GTZ), die die Abweichung der durchschnittlichen Außentemperatur von der Raumtemperatur (20°C) angeben. Sie werden nach der Richtlinie **VDI 2067** bestimmt. Gemessen wird an **Gradtagen**, üblicherweise Tage, an denen die durchschnittliche Außentemperatur unter 15°C liegt. Die jährliche GTZ ergibt sich aus der Summe aller Messungen eines Jahres. Kalte Jahre weisen eine hohe GTZ (> 4.000 Kd) und warme Jahre eine niedrige GTZ (< 4.000 Kd) auf.

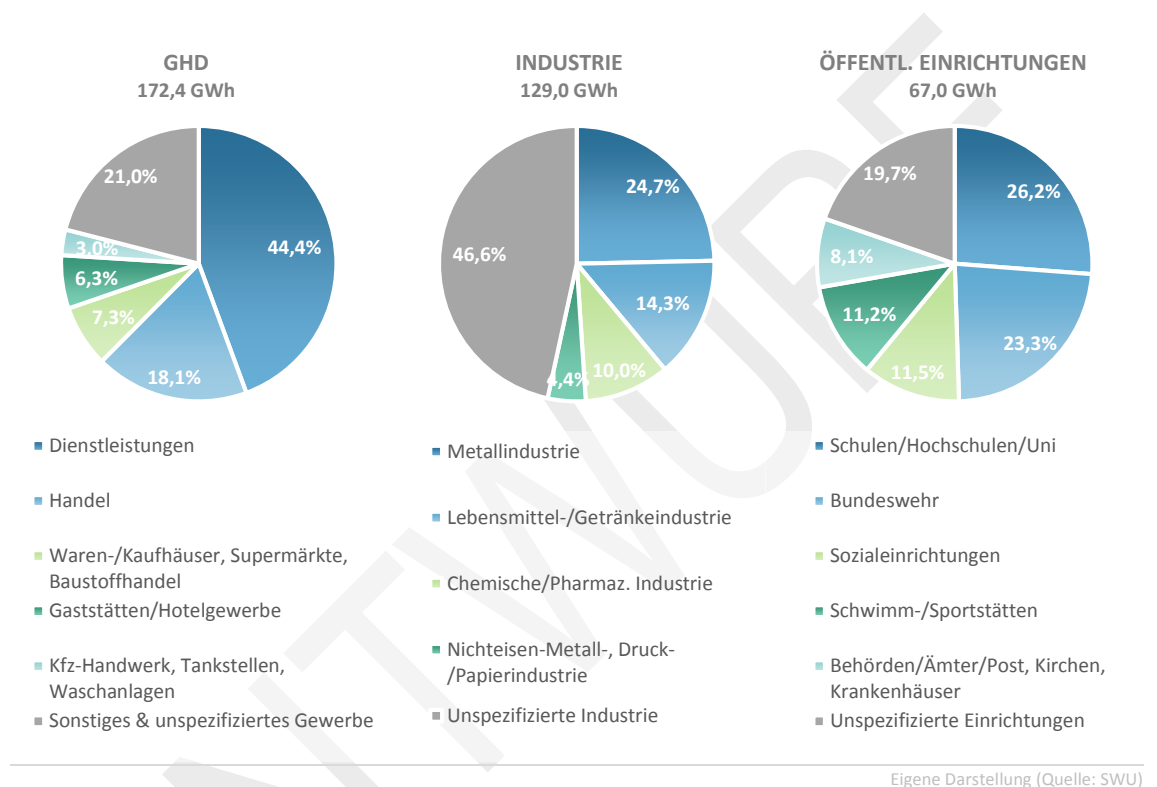
Durch das Verhältnis der Jahres-GTZ zu einem langjährigen oder periodenbezogenen Durchschnittswert kann ein **Klimakorrekturfaktor** bestimmt werden, mit dem der jeweilige Energieverbrauchswert nach oben oder unten korrigiert wird. Gemessen werden GTZ an den Wetterstationen des *Deutschen Wetterdienstes* (DWD). Die nächste Station findet sich in Augsburg und bezieht sich auf ein langjähriges Mittel von **4.041 Kd** (1970 bis 2013, bei einer Heizgrenztemperatur von 15°C). Auch die *Fernwärme Ulm GmbH* (FUG) und das *Institut Wohnen und Umwelt* (IWU) stellt lokale GTZ bereit.

GRADTAGZAHLEN	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
IWU (Augsburg)	4.019	3.706	3.829	3.923	4.398	3.733	3.871	4.097
FUG (Ulm)	4.257	3.390	3.938	3.950	4.263	3.823	3.833	4.185

Möchte man das **Maß** der absoluten Energieverbräuche und tatsächlichen Emissionen eines Jahres bestimmen, sollte keine Witterungsbereinigung durchgeführt werden, da es die THG-Konzentration in der Luft nicht interessiert, ob wir viel Heizen mussten oder wenig. Soll der **Trend** im Zentrum einer Analyse stehen, muss eine Bereinigung durchgeführt werden, um Erfolge validieren oder Negativentwicklungen rechtzeitig erkennen zu können.

Der Detailblick auf die relevanten Sektoren offenbart auch hier die größten Verursacher, auch wenn Teilmengen nicht hinreichend untergliedert vorliegen (**Abb. 12**). Der Dienstleistungssektor sowie Einzel- und Großhandel war insgesamt für 70 % des Erdgasverbrauchs 2013 im GHD-Sektor verantwortlich. Die Standorte der Bundeswehr sind ein Großverbraucher im Sektor der öffentlichen Einrichtungen. Im Industriesektor ist ein Viertel des Verbrauchs auf die Metallindustrie zurückzuführen. Auffällig ist, dass hier beinahe die Hälfte des Erdgasverbrauchs nicht ihrer Herkunft zugeordnet werden kann. Auch etwa 20 % in den anderen Sektoren lassen sich nicht detaillierter darstellen.

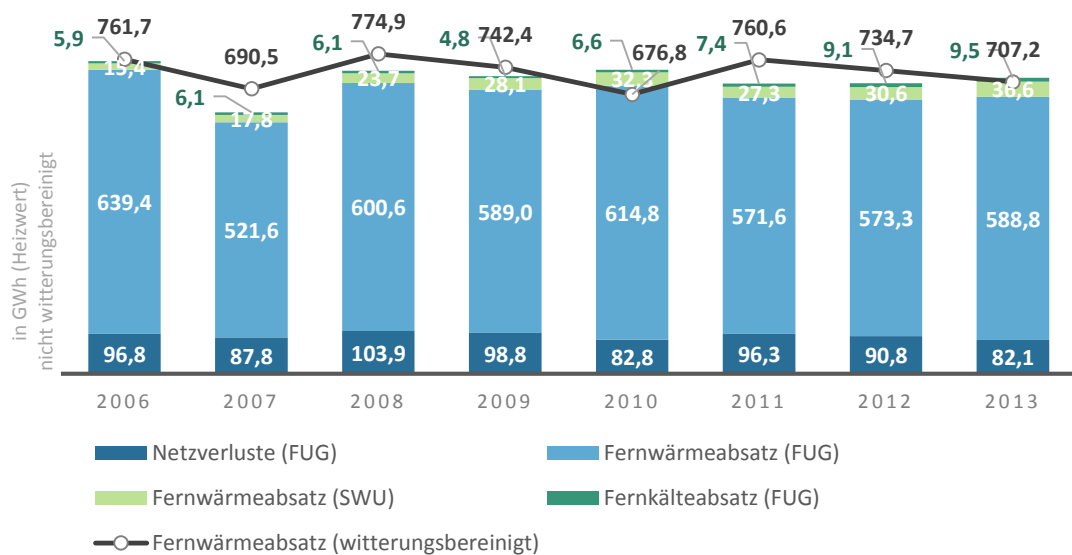
Abb. 12 | Kommunalen Erdgasverbrauch (bereinigt) nach Verbrauchergruppen (2013)



A.3. FERNWÄRME

Die Fernwärmeversorgung der Stadt Ulm blickt auf eine über 100-jährige Geschichte zurück und ist ein integraler Bestandteil der Wärmebedarfsdeckung. Der Großteil der beinahe flächendeckenden Versorgung wird durch die Fernwärme Ulm GmbH (FUG) gedeckt, aber auch die SWU selbst, die neben der EnBW zu 50% der Inhaber der FUG ist, bietet eigene Nahwärme innerhalb von Inselnetzen im Stadtgebiet Ulm an. Der Endenergieabsatz der FUG lag 2013 bei 670,9 GWh Wärme sowie 9,5 GWh Kälte und 93,7 GWh Strom aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Dabei versorgt sie ein Fernwärmenetz mit 152 km Länge und 2.848 Abnahmestellen, die einen Anschlusswert von 392,8 MW aufweisen. Die Hauptliefergebiete der SWU liegen am Eselsberg, in der Stadtmitte und Weststadt sowie in Böfingen. Insgesamt verteilte die SWU 2013 eine Wärmemenge von 36,6 GWh in dezentralen Inselnetzen, die durch BHKWs versorgt werden (Abb. 13).

Abb. 13 | Kommunaler Fernwärmeverbrauch der Stadt Ulm nach Versorger (seit 2006)



Eigene Darstellung (Quelle: SWU, FUG)

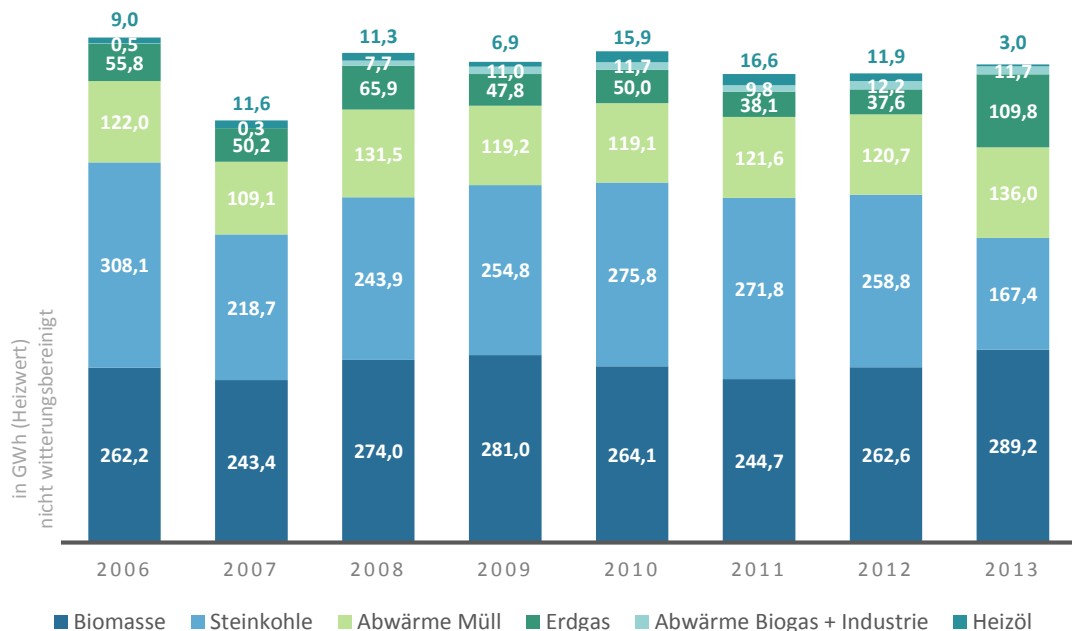
Mit Ausnahme des Jahres 2007, das durch einen sehr milden Winter geprägt war, lag der Fernwärmeabsatz der beiden Versorger auf einem relativ konstanten Niveau, mit einer leicht rückläufigen Tendenz des Absatzes der FUG und einem deutlichen Anstieg des Nahwärmeabsatzes der SWU. Die Erhöhung der Versorgungsleistung der SWU ist auf die Errichtung neuer Blockheizkraftwerke und den Ausbau der Wärmedienstleistungen im Rahmen von Contracting-Anlagen und damit auf die Erschließung neuer Versorgungsgebiete zurückzuführen. Der Rückgang im Wärmeabsatz der FUG ist aller Wahrscheinlichkeit nach durch Einsparungen im Heizwärmebedarf und dem vermehrten Einbau alternativer Heizanlagen wie Wärmepumpen, Holzfeuerungen und Solarthermie zu erklären. Hier kann der stagnierende Ausbau des vorhandenen Fernwärmenetzes nicht mit der Entwicklung von Energieeinsparmaßnahmen mithalten.

Tab. 7 | Kraftwerkspark zur kommunalen Fernwärmeversorgung von Ulm (Stand 2013)

PRIMÄRENERGIE	ANLAGE	INBETRIEBNAHME	ELEKTRISCHE LEISTUNG [MW]	THERMISCHE LEISTUNG [MW]	EU-ETS
Steinkohle	HKW Magirusstraße, Kessel 5	1955	18,2 MW über Sammelschiene	72,7	✓
Heizöl/Erdgas	HKW Magirusstraße, Kessel 1	1969		61,2	✓
	HKW Magirusstraße, Kessel 6	1978		96,5	✓
	Heizwerk Daimlerstraße, HEL	1977 - 2004	-	90	✓
Heizöl	Heizwerk Universität Ulm	1972 - 1977	-	58	✓
	Heizwerk Fort Albeck	2003	-	19,4	✗
Erdgas	10 x BHKW der SWU (im Stadtgebiet Ulm)	1999 - 2012	0,056	1,034	✗
Abfall	MHKW Donautal	1997	10,4	27	✗
Biomasse	Biomasse-HKW I	2004	9,6	58	✗
	Biomasse-HKW II	2013	5,0	25	✗
Biogas	5 x Privatanlagen	k.A.	1,58	1,65	✗
GESAMT	24 ANLAGEN	1955 - 2013	45 MW	511 MW	-

Eigene Darstellung

Abb. 14 | Kommunaler Fernwärmeverbrauch nach Primärenergieträger (seit 2006)

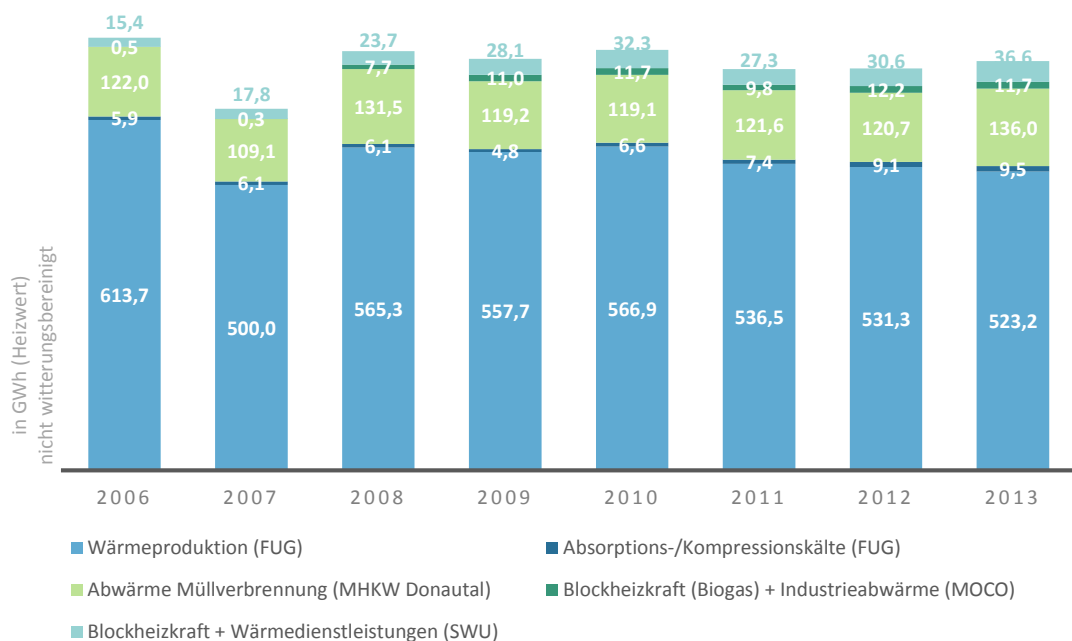


Eigene Berechnungen (Quelle: FUG, SWU)

Anmerkungen: Daten über den Primärenergieverbrauch liegen für jede Erzeugungseinheit kumuliert vor, unabhängig ob damit Strom oder Wärme erzeugt wurde. Der Anteil der eingesetzten Primärenergie für KWK- Wärme wird hier mit der „finnischen Methode“ berechnet (entsprechend der AGEb Energiebilanzen). Dabei wurde für alle FUG-Kraftwerke ein gemeinsamer Primärenergieeinsparfaktor (PEE) bestimmt, da keine detaillierteren Daten vorliegen. Zu beachten ist, dass die leitungsgebundenen Energieträger Strom und Erdgas nicht doppelt bilanziert werden. // Die eingespeiste Verbrennungswärme des MHKW Donautal wird zugleich als eingesetzte Primärenergie angesetzt. Etwa 50% hiervon sind als regenerativ zu bewerten.

Der Fernwärmeabsatz wird durch die beiden Versorger bedarfsgerecht erzeugt. So produzierten die Erzeugungsanlagen der FUG im Jahr 2013 zusammen 523,2 GWh und stellten 9,5 GWh Absorptions- und Kompressionskälte für den Science Park II bereit. Unter Beauftragung des Zweckverbandes TAD obliegt der FUG auch die Betriebsführung des Müllheizkraftwerks im Donautal, das 2013 eine Wärmeauskopplung von 136,0 GWh einspeiste. Mit der Inbetriebnahme der Verbindungsleitung zwischen Donautal und Weststadt Ende 2008 muss die Fernwärmeversorgung vom Donautal und Wiblingen nicht mehr allein durch das MHKW sichergestellt werden und Wärmemengen können nach Bedarf zwischen den Versorgungsgebieten verschoben werden. Zusätzlich zum MHKW Donautal speisen drei Biogas- und eine Pflanzenölanlage in das Fernwärmenetz der FUG ein und werden im Wärmeabsatz bilanziert. Die Abwärmeeinspeisung eines holz-verarbeitenden Industriebetriebes¹⁰ in der Blaubeurer Straße wurde mit Betriebsschließung im Jahr 2013 eingestellt. Die Wärmeerzeugung der Blockheizkraftwerke im Eigenbetrieb der SWU auf dem Stadtgebiet Ulm ist hingegen nicht ausreichend um den eigenen Wärmeabsatz vollständig zu decken. So steht einer Wärmeversorgung von 36,6 GWh im Jahr 2013 nur eine Eigenproduktion von 5,9 GWh gegenüber. Es ist davon auszugehen, dass die Differenz durch BHKW Dritter erzeugt wird, die im Rahmen der SWU Wärmedienstleistungen im Contracting geführt werden.

Abb. 15 | Kommunalen Fernwärmeverbrauch nach Bereitstellungsart (seit 2006)



Eigene Darstellung (Quelle: SWU, FUG)

Aus Erzeugersicht wird der Fernwärmebedarf der Stadt vor allem durch den Primärenergieeinsatz von Biomasse und Steinkohle sowie der Abfallverbrennung gedeckt. Biomasse und regenerativer Anteil des Abfalls bildeten 2013 zusammen 53 % des gesamten Primärenergieeinsatzes zur Fernwärmeerzeugung (Abb. 14). Über 25 % werden nach wie vor durch Steinkohle gedeckt, auch wenn dessen Anteil durch die Inbetriebnahme des Biomasse HKW II im Vergleich zu 2012 deutlich zurückging. Dieser Rückgang ist allerdings nicht nur der Biomasse zu verdanken sondern auch dem Anstieg des Erdgasverbrauchs im HKW

¹⁰ Holzhobelwerk „MOCO“ (J.A. Molfenter GmbH & Co. KG)

Magirusstraße. Genau dieser plötzliche durch die FUG verschuldete Nachfrageanstieg sorgte auch für die deutliche Erhöhung der Ulmer Erdgasbilanz vom Jahr 2013. Dagegen spielt Heizöl für die Fernwärmeversorgung der Stadt nur eine unbedeutende Rolle.



EXKURS: DER PRIMÄRENERGIEEINSATZ BEI KWK

In Kraftwerken mit Kraft-Wärm-Kopplung (KWK) wird Strom und Wärme durch den gemeinsamen Einsatz von Primärenergieträgern erzeugt. Bei der anschließenden Endenergiebilanzierung stellt sich die Frage, wie die eingesetzte Primärenergie auf die erzeugte Endenergie aufzuteilen ist. Hierzu gibt es im Wesentlichen die drei folgenden Methoden:

- Aufteilung des Energieeinsatzes unter Berücksichtigung des elektrischen bzw. thermischen Wirkungsgrades (**Methode der Internationalen Energieagentur** oder **Wirkungsgradmethode**)
- Aufteilung der Primärenergie unter Berücksichtigung der Wirkungsgrade der Anlage sowie eines Referenzkraftwerks (**Finnische Methode**)
- Aufteilung der Primärenergie unter der Annahme einer getrennten Wärme-/Stromproduktion (**Wärmegutschrift-** oder **Stromgutschriftmethode**)

Laut VDI 4661 gibt es "keine Methode, die insgesamt, d.h. nach thermodynamischen, wirtschaftlichen und ökologischen Kriterien, gleichermaßen zwingend anzuwenden wäre". Alle Methoden haben ihre Vor- und Nachteile. Deshalb empfiehlt es sich entsprechend der monatlichen Energieberichte der *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB)* die Finnische Methode unter Berechnung des **Primärenergieeinsparfaktors (PEE)** zu verwenden.

Für einen Vergleich der Allokationsmethoden siehe auch „Allokationsmethoden für spezifische CO₂-Emissionen von Strom und Wärme aus KWK-Anlagen“, Fachzeitschrift Energiewirtschaftliche Tagesfragen 2010, Heft 9 der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE)

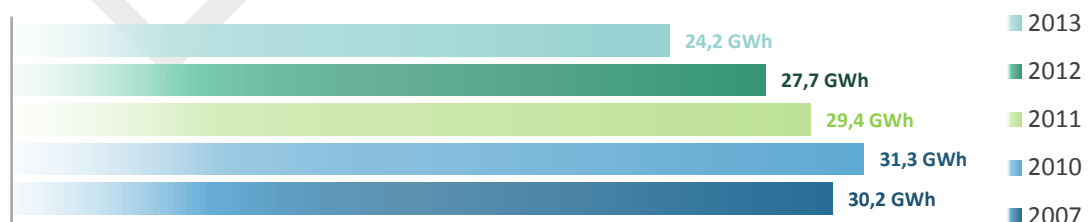
A.4. HEIZÖL

Nach den Diesel- und Ottokraftstoffen steht extra leichtes Heizöl (HEL) an dritter Stelle der wichtigsten Mineralölprodukte im Endenergiebereich und war 2012 mit 208,3 TWh (17,5 Mio. Tonnen) für 8,4 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland verantwortlich.¹¹ Die wesentlichen Verbrauchs-sektoren waren die deutschen Haushalte mit insgesamt 67,7 % und der GHD-Sektor mit 25,7 %, während nur 6,6 % durch Industriebetriebe in Anspruch genommen wurden. Die Anwendungsbereiche untergliedern sich in Raumwärme, Warmwasser, sonstige Prozesswärme (Prozesse zum Erhitzen, Trocknen, Schmelzen, u.ä.) sowie mechanische Energie und unterscheiden sich deutlich zwischen den Sektoren. Während die Haushalte HEL ausschließlich für Raumwärme (84 %) und Warmwasser (16 %) verwendeten, wurde im GHD-Sektor nach der Raumwärme (51,6 %) ein großer Teil der Energie durch Verbrennungsmaschinen in mechanische Arbeit (33,9 %) und sonstige Prozesswärme (9,7 %) umgesetzt, während die Erzeugung von Warmwasser (4,8 %) relativ unbedeutend war.¹² In der Industrie war 2012 die Erzeugung von Prozesswärme (69,5 %) der entscheidende Einsatzgrund, gefolgt von Raumwärme (23,0 %) und mechanischer Energie (5,6 %).

>>> HEIZÖLBEDARF DES VERARBEITENDEN GEWERBES

Das Statistische Bundesamt führt deutschlandweit jährlich Erhebungen bei bis zu 60.000 Betrieben ab 20 Beschäftigten des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden durch. Diese Kategorie entspricht dem oftmals geläufigeren Begriff des Sektors „Industrie“ und kann unmittelbar auf den kommunalen Energieverbrauch übertragen werden. Ergebnisse auf Ebene der Kreise werden jährlich durch die Statistischen Ämter der Länder veröffentlicht. Eine Validierung der Daten kann über den Vergleich zwischen den erhobenen leitungsgebundenen Energieverbrauchswerten und den Primärdaten der Stadtwerke erfolgen. So wurden 2012 laut Statistischem Bundesamt in Ulmer Betrieben 124,5 GWh Erdgas und 283,9 GWh Strom verbraucht. Die Primärdaten sprechen hier von 126,8 GWh Erdgas bzw. 255,1 GWh Strom und liegen äußerst nahe an den statistischen Erhebungen, zumal die Kategorisierung der SWU-Kunden nicht der Klassifikation der Wirtschaftszweige des Statistischen Bundesamtes (WZ 2008) folgt. Die Erhebungen des Heizölbedarfs für die Jahre 2007 und 2010 bis 2012 werden in **Abb. 16** dargestellt.

Abb. 16 | Kommunalen Heizölverbrauch des verarbeitenden Gewerbes (2007, 2010 bis 2013)



Quelle: Statistisches Bundesamt

Anmerkungen: Für das Bilanzjahr 2007 richtet sich die Klassifizierung der Wirtschaftszweige nach der WZ2003, ab 2010 nach der WZ2008. Heizölbilanzen für nichtgenannte Jahre ab 2005 sind nicht vorhanden. Daten für 2013 sind vorläufig.

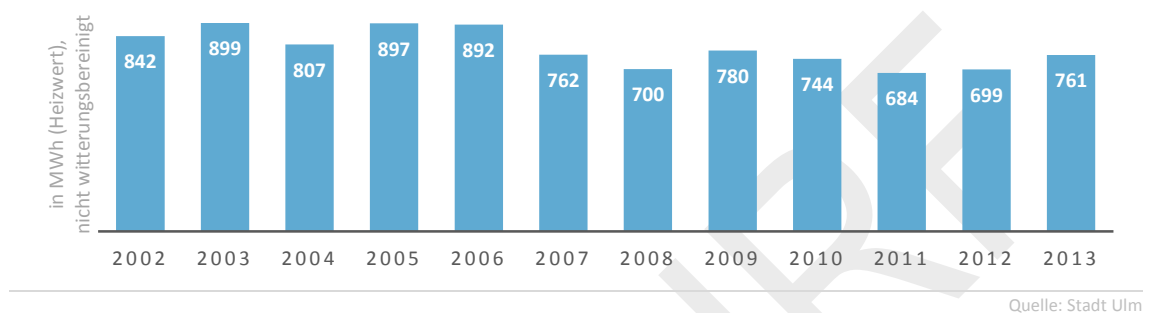
¹¹ Vgl. Auswertungstabellen der (AGEB 2012)

¹² Vgl. „Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland“ (AGEB 2012)

>>> HEIZÖLBEDARF DER KOMMUNALEN EINRICHTUNGEN

Der Endenergiebedarf der kommunalen Einrichtungen wird vom Zentralen Gebäudemanagement der Stadt Ulm erfasst. Dabei werden alle Gebäude erfasst die eine kommunale Aufgabe erfüllen und nicht Eigentum des Landes sind. Vor allem Forschungseinrichtungen und die Hochschule/Universität fallen nicht darunter. Auch schließt diese Bilanz keine Krankenhäuser, Volkshochschulen, Alten- und Pflegeheime oder Freizeitbäder mit ein.

Abb. 17 | Heizölverbrauch der kommunalen Gebäude in Ulm (seit 2002)



>>> HEIZÖLBEDARF DER HAUSHALTE UND SONST. KLEINVERBRAUCHER

Die Bestimmung des Heizölverbrauchs der Haushalte ist äußerst schwierig, da es sich hierbei nicht um einen leitungsgebundenen Energieträger handelt. Eine einfache erste Abschätzung für Haushalte einschließlich des GHD-Sektors lässt sich durch landesspezifische Bilanzdaten vom *Länderarbeitskreis Energiebilanzen* bestimmen. So lag der statistische Pro-Kopf-Verbrauch der Haushalte und sonstige Verbraucher¹³ in Baden-Württemberg 2011 bei etwa 3.077 kWh HEL. Dies würde einem Ulmer Gesamtverbrauch von 377,8 GWh entsprechen (ohne Industrie). Dass diese einfache Abschätzung eine natürliche obere Grenze des realen Heizölverbrauchs bedeutet, lässt sich durch eine genauere Untersuchung des Stadtgebietes erklären.

Die *Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg* (LUBW) berechnet jährliche Energieverbrauchsdaten auf regionaler Ebene für die Erstellung eines Emissionskatasters, das alle zwei Jahre veröffentlicht wird. Darin erfasst sie u.a. den Heizölverbrauch von kleinen und mittleren Feuerungsanlagen, die der 1.BImSchV unterliegen, kategorisiert nach Haushalten und sonstigen Kleinverbrauchern.¹⁴ Für das Jahr 2010 schätzt die LUBW den Anteil von Heizöl auf 24,8 % des gesamten Endenergieverbrauchs der kleinen und mittleren Feuerungsanlagen in Ulm. Mit 72,1 % sei der Großteil auf Erdgas zurückzuführen während die restlichen 3,1 % Holz, Kohle und sonstigen Festbrennstoffen zurechnen wären. Damit lag Ulm 2010 auf Platz 4 der erdgasabhängigsten Stadt- und Landkreise in Baden-Württemberg, hinter Heilbronn, Stuttgart und Karlsruhe. Für den Stadtkreis Ulm geht die LUBW von einem Heizölverbrauch von 190,1 GWh für Haushalte und 54,5 GWh für sonstige Kleinverbraucher im Jahr 2010 und von 153,6 GWh bzw. 44,3 GWh im Jahr 2011 aus.

Von 1994 bis 2011 wurden auch im Rahmen der von der Stadt Ulm in Auftrag gegebenen Energiebilanzen durch einen externen Dienstleister Abschätzungen des Heizölbedarfs erstellt, die darauf basieren, dass Erhebungen für die Startbilanz von 1994 fortgeschrieben werden. Dabei wird der Übergang zu leitungs-

¹³ Inkl. Sektor GHD. Aufgrund der schwierigen Abgrenzbarkeit wird dieser auf regionaler Ebene nicht mehr explizit erfasst.

¹⁴ Diese entsprechen im Wesentlichen dem GHD-Sektor

gebundenen Energieträgern, Effizienzsteigerungen und Heizungserneuerungen in die Betrachtung mit einbezogen. So wird für 1994 ein Heizölverbrauch von knapp 395 GWh berechnet, der 2005 auf 323 GWh und 2011 auf 306 GWh fortgeschrieben wurde. Damit liegt diese Schätzung etwa 80 GWh über der berechneten Summe der Kleinverbraucher nach LUBW und Großverbraucher nach Statistischem Bundesamt. Aufgrund dieser Abweichung und der fehlenden Replizierbarkeit, ist eine weitere Analyse unumgänglich, um den Heizölverbrauch näher einzugrenzen.

Für eine genauere Berechnung müsste durch eigene empirische Untersuchungen jedes Gebäude mit Heizöltank erfasst und die jährlichen Verbrauchsmengen bestimmt werden. Da eine Erhebung solcher Primärdaten der Güte A unverhältnismäßig viel Aufwand verursacht, lässt sich eine Hochrechnung des Verbrauchs in Güte B erhalten, indem Lokaldaten vom Bezirksschornsteinfeger über den jeweiligen Landesinnungsverband (LIV) bezogen werden. Dieser besitzt Daten über alle kleine und mittlere Ölfeuerungsanlagen, die nach der 1. BImSchV regelmäßig messpflichtig sind¹⁵ sowie alle Anlagen die einmalig durch den Schornsteinfeger abgenommen werden mussten, also auch moderne Kessel mit Brennwerttechnik (Tab. 8).

Tab. 8 | Bestand an Ölfeuerungsanlagen in Ulm (Stand 2011)

MESSPFLICHTIGE KESSEL	VOR 31.12.78	01.01.79 - 31.12.82	01.01.83 - 30.09.88	01.10.88 - 31.12.97	01.01.98 - 31.12.10	01.01.11 - 31.12.11	SUMME	DURCH- SCHNITT
4 kW - 11 kW	19	12	57	117	160	7	372	7,5 kW
11 kW - 25 kW	83	21	303	1079	1059	27	2572	18 kW
25 kW - 50 kW	232	119	425	868	550	3	2197	37,5 kW
50 kW - 100 kW	60	19	65	111	82	3	340	75 kW
> 100 kW	41	22	36	100	51	1	251	150 kW
GESAMT	435	193	886	2275	1902	41	5732	34 kW
BRENNWERT- KESSEL	BIS 30.09.88		BIS 31.12.10		01.01.11 - 31.12.11		SUMME	DURCH- SCHNITT
4 kW - 11 kW	0		0		0		0	7,5 kW
> 11 kW	0		408		38		446	37,5 kW
GESAMT	0		408		38		446	37,5 kW

Quelle: LIV Baden-Württemberg 2011

Die in Tab. 8 gewählte Aufteilung ist zwar allgemein üblich aber unglücklich gewählt. Da die jährlich veränderlichen Bestände der Ölfeuerungsanlagen der einzige direkte Bezug zum Heizölverbrauch einer Region darstellen, sollte es ein Ziel des Umweltcontrollings sein, eine genauere Aufteilung zu beauftragen. So ist es u.a. sinnvoll die Zeiträume ab 1998 bis zum Inkrafttreten der EnEV 2002 zu begrenzen. Für eine solide Startbilanz, sollten die Anlagen ab 2005, spätestens aber ab der EnEV 2009, jährlich erfasst werden. Darüber hinaus ist es auch zu empfehlen, die großen Leistungsklassen in 100 kW bis 200 kW und 200 kW bis 400 kW aufzuschlüsseln. Die wenigen Anlagen von 400 kW bis 20 MW sollten einzeln nach der jeweiligen Leistung aufgeführt werden, da diese einen großen Einfluss auf die Gesamtbilanz haben. Nicht zuletzt erscheint es auch notwendig die Leistungsklassen der Brennwertanlagen zu verfeinern.

¹⁵ Alle Feuerungsanlagen ohne Brennwerttechnik und mit einer Leistung zwischen 4 kW und 20 MW unterliegen der 1. BImSchV.

Der Endenergiebedarf kann nun grob durch Verwendung von Vollbenutzungsstunden der Leistungs- oder Altersklassen angenähert werden. Gibt es hierzu keine Erhebungen des LIV lässt sich nach DIN 4701 von 1.200 bis 1.400 Stunden ausgehen.¹⁶ Für 2011 würde sich damit ein Heizölbedarf der messpflichtigen Anlagen zwischen 234 GWh und 272 GWh ergeben, ein Wert, der für 2010 zwar sehr gut vergleichbar, aber für 2011 bereits deutlich über dem Ergebnis der LUBW liegt. Zudem muss dieser Wert bei gleicher Anzahl der Vollbenutzungsstunden noch um etwa 20 GWh nach oben korrigiert werden, um den, auch durch die LUBW, nicht beachteten Brennwertanlagen Rechnung zu tragen.

Das diese Abschätzung dennoch deutlich unter dem statistischen Landeswert liegt, ist damit zu begründen, dass Ulm einen deutlich höheren Anteil an Fernwärmeheizungen besitzt als der Landesdurchschnitt. Nach dem Zensus 2011 des Statistischen Bundesamtes weist Baden-Württemberg einen recht niedrigen fernbeheizten Anteil von 12,3 % aller Wohnungen auf, während diese Zahl in Ulm bei 29,1 % liegt. Auch wenn nur Mikrozensusdaten¹⁷ einen Aufschluss über die verwendete Heizenergie der anderen Wohnungen geben, lässt sich dies dennoch über die verwendete Heizart abschätzen. So entspricht der Anzahl aller Öl- und Gas-Kleinf Feuerungsanlagen in Ulm in etwa der Anzahl zentral- und blockbeheizter Gebäude zuzüglich aller Wohnungen mit Etagenheizung (siehe Tab. 9).

Tab. 9 | Gebäude in Ulm mit Etagen-, Block- oder Zentralheizung (Mai 2011)

BAUJAHR	EFH	RH	MFH	GMH	GESAMT
Vor 1919	237	391	598	3	1.229
1919 - 1948	636	554	593	0	1.783
1949 - 1978	2076	2176	1608	66	5.926
1979 - 1986	643	735	225	39	1.642
1987 - 1990	325	423	91	6	845
1991 - 1995	299	565	218	15	1.097
1996 - 2000	282	515	139	12	948
2001 - 2004	194	173	54	0	421
2005 - 2008	239	122	33	4	398
Nach 2009	157	43	19	3	222
GESAMT	5.088	5.697	3.578	148	14.511

Quelle: Zensus/Mikrozensus 2011

Anmerkung: In dieser Aufstellung können 352 zentral-, 74 etagen- und 3 blockbeheizte Gebäude nicht zeitlich zugeordnet werden und können daher in der Gesamtbilanz nicht berücksichtigt. Die Zuordnung der Einfamilienhäuser (EFH), Doppel- und Reihenhäuser (RH), Mehrfamilienhäuser (MFH) und große Mehrfamilienhäuser (GMH) wird gemäß IWU-Gebäudetypologie definiert.

Dieser Gebäudebestand spiegelt insgesamt über 14.500 Gebäude und mehr als 35.000 Wohnungen mit einer geschätzten Wohnfläche von etwa 3,2 Mio. m² wider. Legt man für Gebäude bis einschließlich 2008 die Energiekennwerte der IWU-Typologie zu Grunde und bewertet Gebäude ab 2009 mit dem Heizwärmebedarf eines KfW-Effizienzhauses 85 der EnEV 2009, impliziert dieser Bestand einen Wärmebedarf von insgesamt 526 GWh, der durch Erdgas, Heizöl, Holz und Strom zu decken ist. Abzüglich eines Erdgasverbrauchs der Haushalte von über 300 GWh verbleiben nach dieser Ausführung nur etwa 200 GWh Heizölverbrauch zuzüglich des Heizölbedarfs für Warmwasser.

¹⁶ Die Norm DIN 4701 wurde 2003 durch die DIN EN 12831 abgelöst, die der Tatsache Rechnung trägt das Altanlagen stets zu große dimensioniert wurden und deshalb die Heizlast mit einer Jahresvollbenutzung von ca. 2000 Stunden berechnet. Umgekehrt würde diese Vorgehensweise bei Altbeständen aber zu einem überhöhtem Heizölbedarf führen.

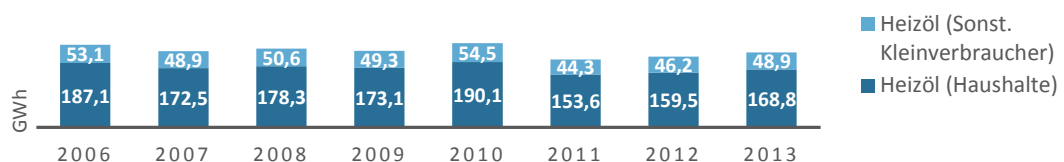
¹⁷ Ein Mikrozensus zum Thema „Bauen und Wohnen“ wird alle 4 Jahre vom Statistischen Bundesamt erhoben, zuletzt 2010 und 2014. In diesem werden auch detaillierte Angaben zur verwendeten Heizenergie erhoben. Auch wenn Mikrozensusdaten kostenpflichtig sind, ist es Aufgabe des Umweltcontrollings, diese Strukturdaten in kommende Energiebilanzen zu integrieren.

Für die Erstellung einer belastbaren Heizölbilanz der Stadt Ulm sind die zuvor genannten Primärdaten nicht ausreichend. Neben einer genauen Auflistung der Feuerungsanlagen der 1. BImSchV nach Leistungsklassen und Baujahr, ist diese Vorgehen auch für Anlagen mit Brennwerttechnik entscheidend. Zudem ist zu überprüfen, ob es möglich ist die Anlagen auch nach ihrem Einsatz nach Raumwärme, Warmwasser, Raumwärme/Warmwasser in Kombination oder Prozesswärme zu kategorisieren. Werden in diesem Rahmen auch Gasfeuerungsanlagen erfasst, kann der Energiebedarf der erdgas- und damit in Näherung auch der ölbeheizten Wohnungen mit Hilfe von Versorgungsdaten der Stadtwerke kalibriert werden.

Um nicht nur den Heizungsbestand sondern auch Strukturmerkmale wie beheizte Wohnfläche und Energiebedarf der Gebäude in die Betrachtung mit einzubeziehen, muss eine Gebäudetypologie der Stadt Ulm mit Erfassung der Heizenergie vorliegen. Zudem ermöglichen die Ergebnisse des Mikrozensus 2010 und 2014 Einblicke in die Zahl der beheizten Wohnungen nach Energieträger, woraus sich Rückschlüsse auf die beheizte Wohnfläche und dem damit verbunden Energiebedarf ziehen lassen. Durch die Statistik der Ulmer Baugenehmigungen und Baufertigstellungen kann die Veränderungen des jährlichen Bestandes verfolgt werden. Allerdings zeigt sich auch hier das Problem einer unvollständigen Dokumentation, da über die Hälfte der Heizsysteme im Wohnungsneubau nicht bekannt sind. Übergeordnetes Ziel muss es sein, aus Kombination der beheizten Fläche (evtl. nach Baujahr), dem Heizungsbestand nach Baujahr und Leistungsklasse sowie dem Gebäudestandard als Ergebnis einer Gebäudetypologie, fundierte Aussagen über den Wärmebedarf des Ulmer Gebäudebestandes nach Energieträger treffen zu können.

Als vorübergehende dennoch statistisch belastbare Lösung ist es sinnvoll, die ermittelten kommunalen Energieverbrauchswerte der LUBW anzusetzen, die nach den hier gemachten Näherungsberechnungen zwar als relativ niedrig, aber dennoch realistisch einzustufen sind. So lässt sich aus dem Emissionskataster 2006 ein Anteil von 68 % Erdgas und 26 % Heizöl am Endenergieverbrauch kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen des Sektors Haushalte und GHD ausmachen. Bezogen auf einen Erdgasverbrauch im Standardlastprofil (SLP) von 518 GWh im Basisjahr 2006, ergibt sich damit rechnerisch ein Heizölverbrauch von 198 GWh. Für die Bilanzjahre 2010 und 2011 liegt der durch die LUBW geschätzte Heizölverbrauch für beide Jahre bei etwa 45 % des im SLP gemessenen Ulmer Erdgasverbrauchs aus SWU-Daten. Für die Bilanzjahre 2012 und 2013 geht dieses Konzept daher vorerst von einem gleich bleibenden Anteil aus. Aufgrund der schlechten Datenlage werden Brennwertkessel hierbei nicht berücksichtigt. Eine detaillierte Bestandsauskunft des LIV nach Baujahr und Leistungsklasse würde es ermöglichen, den Heizölverbrauch nach LUBW um einen Pauschalbetrag nach installierter Nennleistung an Brennwertkesseln zu erhöhen.

Abb. 18 | Heizölverbrauch der Haushalte und sonstigen Kleinverbraucher (2006 bis 2013)



Eigene Darstellung (Quelle: LUBW)

Anmerkungen: Die Jahre 2006 und 2010 waren etwa gleich kalt. Der große Unterschied im Verbrauch erklärt sich aber u.a. dadurch, dass ab 2010 auch Feuerungsanlagen mit einer Leistung zwischen 10 MW und 20 MW der 1.BImSchV zugeordnet wurden. Die Jahre 2006, 2007 und 2013 wurden klimakorrigiert extrapoliert.

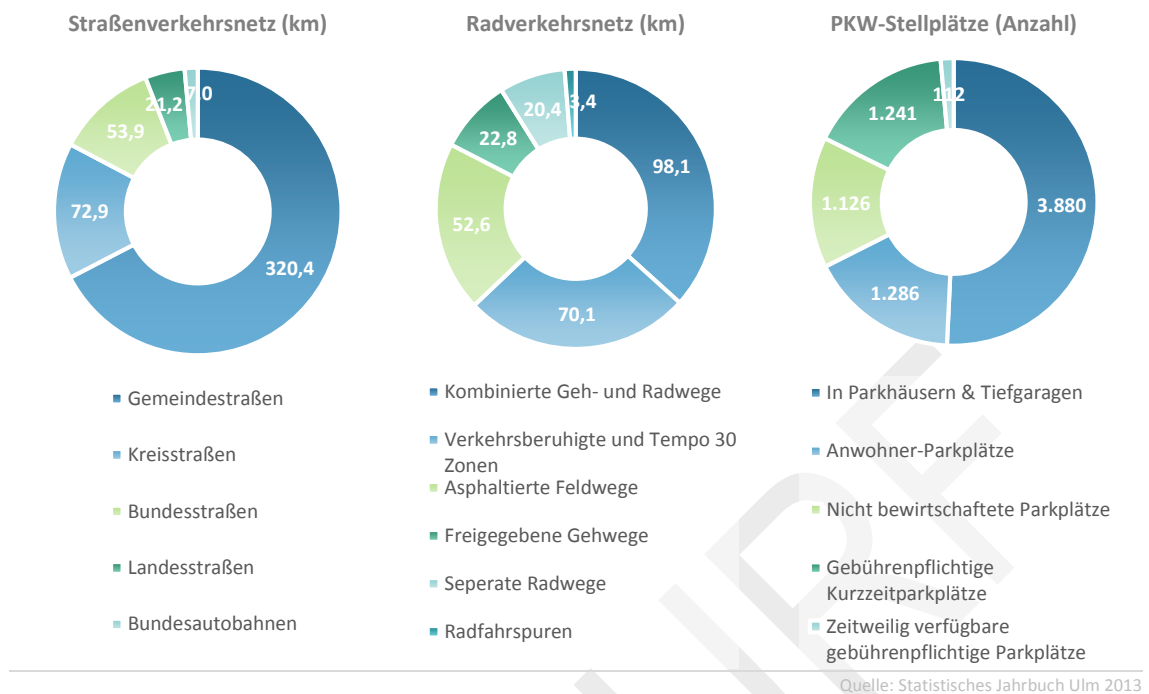
A.5. KRAFTSTOFFE

Der Kraftstoffverbrauch im Straßen-, Schienen, Luft sowie Binnen- und Küstenschifffahrtsverkehr war 2012 mit 710,7 TWh für insgesamt 28,7 % des Endenergieverbrauchs in Deutschland verantwortlich, davon allein der Straßenverkehr für 82,8 %. Die wesentlichen Energieträger sind vor allem Dieselmotorkraftstoffe (48,8%), Ottomotorkraftstoffe (29,0 %) und Fluggastkraftstoffe (14,5 %), aber auch Biomasse ist in Form von Bio-Ethanol- und Bio-Diesel-Beimischungen bereits mit 4,7 % vertreten. Darüber hinaus tragen Strom (1,7 %), Flüssiggas (0,9 %) und Erdgas (0,3 %) in geringen Mengen zum Endenergieverbrauch im deutschen Verkehrssektor bei.

>>> VERKEHRSINFRASTRUKTUR

Von den knapp 11.869 ha Gemeindefläche der Stadt Ulm wurden Ende 2013 knapp 1.238 Hektar der Verkehrsfläche zugeschrieben. Während die Gemeindefläche seit dem Jahr 2000 konstant geblieben ist, hat die Verkehrsfläche ihren Anteil von 9,9 % leicht auf 10,4 % ausgebaut. Das Straßennetz im Gemeindegebiet besaß Ende 2013 eine Länge von insgesamt 475 km und wuchs seit 2000 im Schnitt um ein Prozent jährlich. Dabei bilden Gemeindestraßen mit 320 km den längsten Teil des Straßennetzes, während nur 7 km der Bundesautobahnen dem Stadtgebiet zugerechnet werden müssen. Sehr erfreulich ist, dass auch das Radverkehrsnetz seit 2000 um durchschnittlich 1 % jährlich ausgebaut wurde und nun bereits eine Gesamtlänge von 267 km aufweist, auch wenn diese im Vergleich zum Vorjahr leicht rückläufig war. Die Zahl der PKW-Stellplätze im Bereich der Innenstadt von Ulm ist seit 2000 um 106 auf mittlerweile 7.645 Stellplätze verringert. Diese Reduktion ist allerdings auf aktuelle Entwicklungen zurückzuführen, da die Zahl der Stellplätze 2012 noch um 370 höher lag.

Abb. 19 | Verkehrsinfrastruktur von Ulm (Stand 2013)



>>> KRAFTFAHRZEUGBESTAND

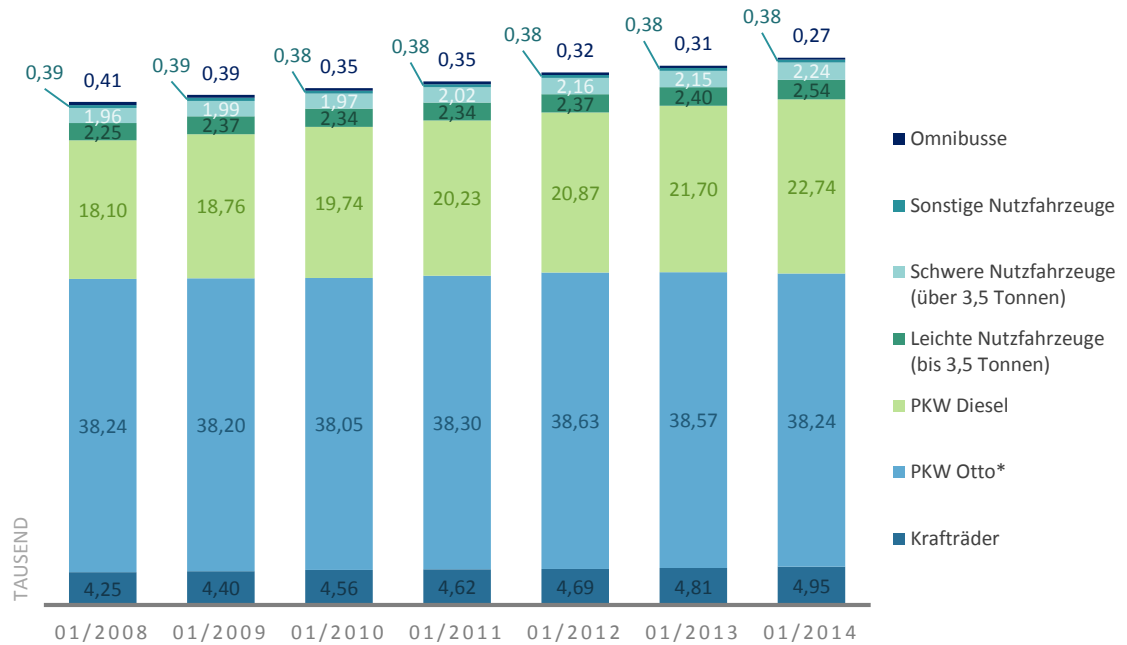
Das KraftfahrBundesamt (KBA) veröffentlicht jährlich Daten über den Fahrzeugbestand und die Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen in Deutschland unter Aufschlüsselung nach einer Vielzahl von Merkmalen. Eine kleine Auswahl dieser Daten liegt bereits räumlich aufgelöst auf Ebene der Zulassungsbezirke vor, eine erweiterte Darstellung kann bei Bedarf für eine Mehraufwandsentschädigung angefordert werden.

So gab es in Ulm zum 01. Januar 2014 insgesamt 71.353 zugelassene Kraftfahrzeuge (KFZ). Diese Anzahl ist seit 2008 jährlich um durchschnittlich 1,4 % gestiegen¹⁸. Den mit Abstand größten Anteil am Bestand haben die Personenkraftwagen (PKW) mit insgesamt 60.974 zugelassenen Fahrzeugen¹⁹. In dieser Kategorie werden seit 2006 sowohl private und gewerbliche Fahrzeuge als auch Wohnmobile und Krankenwagen berücksichtigt. Die Zahl der reinen PKW (ohne Wohnmobile) ist hierbei seit 2008 im Schnitt um 1,3 % jährlich gestiegen. Krafträder (KRAD) können als Luxusgut angesehen werden und eine starke Steigerungsrate von 2,6 % jährlich seit 2008 unterstreicht das starke wirtschaftliche Wachstum der Stadt. Zu dem starken Anstieg der Zahl von zugelassenen Nutzfahrzeugen tragen sowohl Lastkraftwagen (LKW) als auch Zugmaschinen mit einem jährlichen Wachstum von über 2 % bei, während die Zahl der Busse insgesamt rückläufig ist (Abb. 20).

¹⁸ Die Bestandsdaten sind nicht mit den Jahren vor 2008 vergleichbar, da vorübergehend stillgelegte Fahrzeuge bis zum 01.01.2008 in den Statistiken des KBA enthalten waren. Um langfristige Trends zu untersuchen müssen provisorische Korrekturen für Daten vor 2008 in Kauf genommen werden. So waren laut KBA zum 01.01.2007 etwa 11,9% des PKW-Bestands in Deutschland vorübergehend stillgelegt.

¹⁹ Darunter 575 Wohnmobile

Abb. 20 | Entwicklung des KFZ-Bestands in Ulm seit 2007

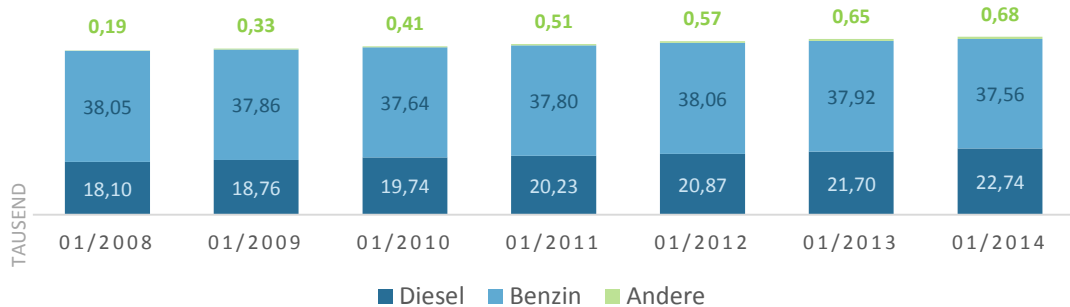


* Inklusive Alternativer Antriebe

Quelle: KBA 2014

Von Bedeutung ist neben dem Bestand vor allem die Zusammensetzung der Fahrzeuge nach umweltrelevanten Merkmalen. So weist z.B. der Einsatz von Diesel und Benzin unterschiedliche spezifische THG-Emissionen auf. Nach wie vor bilden Benzinfahrzeuge mit Ottomotoren zum 01.01.2014 mit 61,6 % den größten Anteil aller PKW, Tendenz seit 2008 allerdings von 67,5 % fallend, während der Anteil an PKW mit Dieselmotoren deutlich auf 37,3 % anstieg (Abb. 21). Nur 678 PKW fahren in Ulm mit alternativen Antrieben, darunter 345 mit Flüssiggas, 202 mit Autogas, bereits 97 mit elektrischem Hybridantrieb und 34 mit reinem Elektromotor. Von den Elektrofahrzeugen sind etwa 15 *smart fortwo electric drive* dem Betrieb von *car2go* zuzurechnen, die mit Aufgabe des Standortes Ulm wegfallen werden. Weitere 3 *smarts* wurden für den städtischen Fuhrpark geleast, 2 *Mitsubishi MiEV* befinden sich im Bestand des *SWUe*-Fuhrparks. Laut Zulassungsstelle gab es zum Juni 2014 von 37 zugelassenen Elektrofahrzeugen nur 5 mit privaten Haltern.

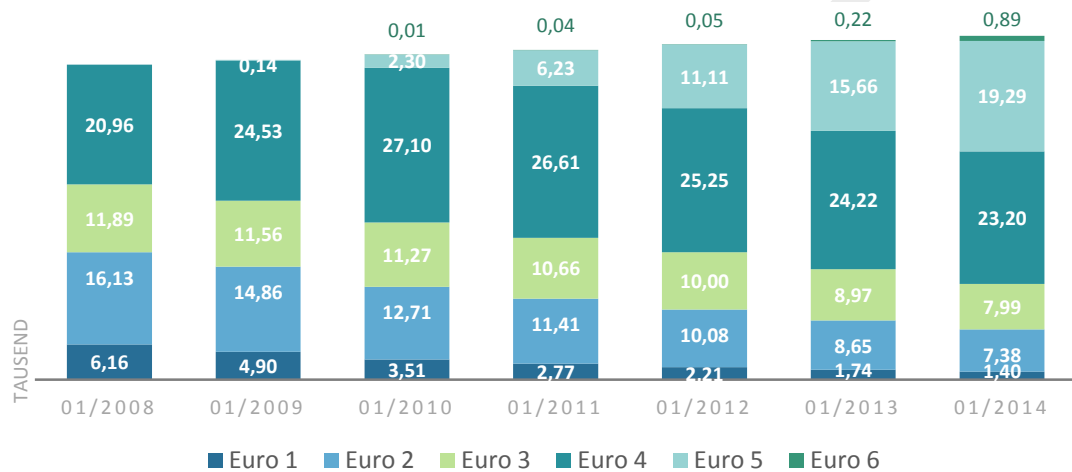
Abb. 21 | Entwicklung des PKW-Bestands in Ulm nach Antriebsart seit 2007



Quelle: KBA 2014

Im direkten Bezug zum Schadstoffausstoß stehen die europäischen Abgasnormen, die für alle Kraftfahrzeuge Grenzwerte für den Ausstoß der gängigen Schadstoffe festlegen. Ab September 2015 müssen hierbei alle neu zugelassenen PKW die Schadstoffklasse EURO 6 erfüllen. Zum 01.01.2014 konnten insgesamt 60.154 PKW einer Abgasnorm zugerechnet werden, davon konnten 38,6 % die Schadstoffklasse EURO-4 und 32,1 % die EURO-5-Norm erfüllen (**Abb. 22**). Trotz Umweltzone Ulm, die seit dem 01.01.2013 das Befahren mit einer nicht-grünen Plakette verbietet, besaßen immer noch 14,5 % aller in Ulm zugelassener PKW eine schlechtere Schadstoffklasse als die EURO-4-Norm. 151 Fahrzeuge haben zwar einen Katalysator konnten aber keine Norm erfüllen und 669 Fahrzeuge konnten keine Emissionsgruppe aufweisen.

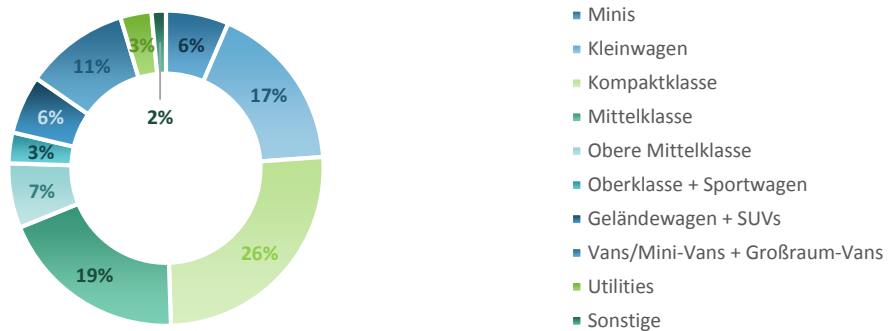
Abb. 22 | Entwicklung des PKW-Bestands in Ulm nach Schadstoffklassen (seit 2007)



Quelle: KBA 2014

Eine detailliertere Auflösung des PKW-Bestands ist nur möglich, wenn diese Daten unter Kosten-aufwand vom KBA angefragt werden. Eine Auskunft über Bestandsdaten ähnlicher Güte lässt sich allerdings auch von der gemeinsamen Zulassungsstelle Alb-Donau-Kreis/Ulm beziehen. Aus den Rohdaten einer Anfrage vom Juni 2014 lassen sich 60.446 PKW und 570 Wohnmobile eindeutig den Kategorien Postleitzahl, Fahrzeugtyp, Antriebsart sowie Halter zuordnen und ermöglichen es einen genaueren Blick auf den Fahrzeugbestand zu werfen. Anhand des Fahrzeugtyps kann der PKW-Bestand nach KBA-Fahrzeugsegmenten in Größenklassen einsortiert werden (**Abb. 23**). Diese Darstellung ermöglicht es Aussagen über Emissionen, Kaufverhalten und Entwicklungspotenziale zu machen. Dabei fällt auf, dass in Ulm knapp 50 % aller zugelassenen PKW den Fahrzeugsegmenten Minis, Kleinwagen und Kompaktklasse angehören, die die geringsten spezifischen Emissionen aufweisen. Naturgemäß schlechtere Emissionswerte besitzen Fahrzeuge der Oberklasse sowie Geländewagen, die zusammen mit Sportwagen und Special Utility Vehicles (SUVs) etwa 9 % des PKW-Bestandes ausmachen.

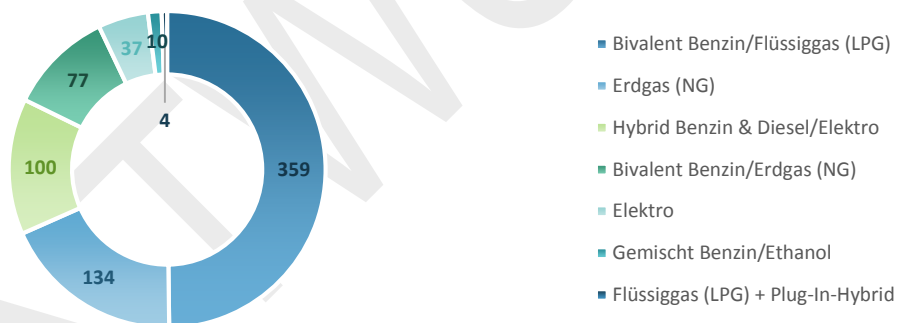
Abb. 23 | PKW-Bestand in Ulm nach Fahrzeugsegmenten (Juni 2014)



Eigene Darstellung (Quelle: Gemeinsame Zulassungsstelle Alb-Donau-Kreis/Ulm, Juni 2014)

Mit den Daten der Zulassungsstelle lässt sich auch ein genaues Bild über die Zusammensetzung von 721 Fahrzeugen gewinnen, die in Ulm mit alternativen Antrieben unterwegs sind (Abb. 24). Vor allem der bivalente Betrieb von Benzin/Flüssiggas-Motoren besitzt in Ulm einen hohen Stellenwert, gefolgt von reinen Erdgasmotoren. Auch hybride Technologien mit Benzin/Elektro-Antrieben gewinnen an Bedeutung. Vorhanden, aber vernachlässigbar sind reine Autogasmotoren, hybride Diesel/Elektro-Antriebe sowie Plug-in-Hybridmotoren.

Abb. 24 | PKW-Bestand in Ulm nach alternativen Antriebsarten (Juni 2014)



Eigene Darstellung (Quelle: Gemeinsame Zulassungsstelle Alb-Donau-Kreis/Ulm, Juni 2014)

Von den 60.974 PKW und Wohnmobilen, die laut KBA zum 01.01.2014 zugelassen waren, werden 19 % gewerblich und 81 % privat gehalten. Unter den Privathaltern sind 36,8 % weiblich und 63,2 % männlich. Während der Anteil der männlichen privathalter seit Beginn 2008 kontinuierlich gesunken ist, hat sowohl der Anteil der gewerblichen Halter als auch der Anteil der weiblichen Privathalter jeweils um einen Prozentpunkt zugenommen. Insgesamt ist der PKW-Bestand schneller gestiegen als der Einwohnerstand der über 18-Jährigen (Abb. 25). Interessanterweise hat sich dabei das Verhältnis der männlichen Privathalter zu den männlichen Einwohnern über 18 Jahre seit 2008 nicht verändert, wohl aber die PKW-Dichte der weiblichen Privathalter bezogen auf weibliche Einwohner über 18 Jahre. Diese Entwicklung spricht für eine verstärkte Unabhängigkeit der Frauen und es ist davon auszugehen, dass diese mittelfristig anhalten wird.

Abb. 25 | Anzahl PKW in Ulm pro 1000 Einwohner über 18 Jahre (seit 2008)

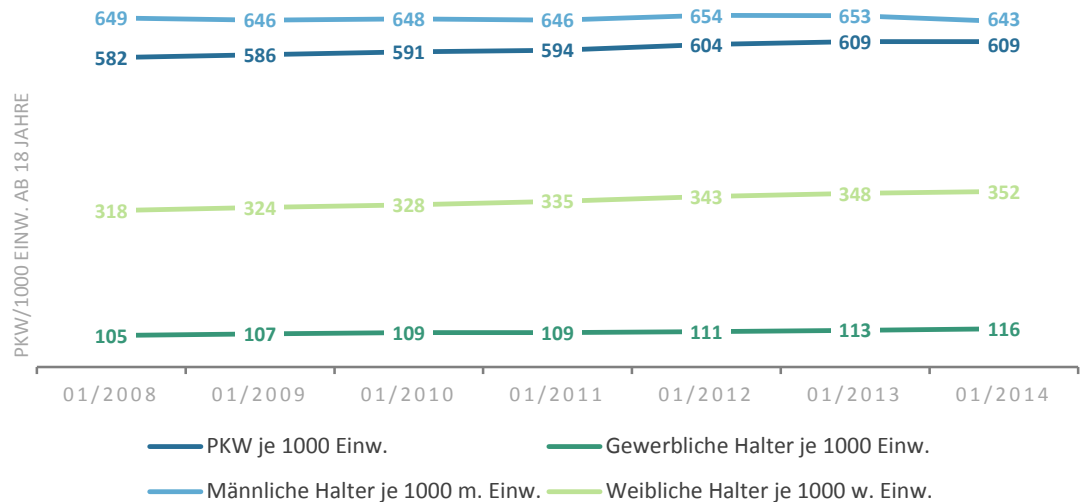


Abb. 26 stellt die beliebtesten Fahrzeugmodelle der Ulmer Bevölkerung nach KBA-Fahrzeugsegment dar. Die genannten Modelle sind in Ulm so häufig vertreten, dass ihr aufsummierter Bestand weit über die Hälfte des jeweiligen Segments ausmacht. Eine solche Aufstellung ermöglicht die Abschätzung eines Austauschpotenzials durch alternative Antriebsarten. So ist es denkbar, dass der Halter eines *smart fortwo* sein Fahrzeug auch gegen einen *smart fortwo electric drive* austauschen würde, jedoch unwahrscheinlicher, dass der Fahrer eines *BMW X3* in naher Zukunft auf ein Fahrzeug mit elektrischem Antrieb wechseln wird.

Abb. 26 | Die beliebtesten Fahrzeugmodelle der Ulmer (Stand 2014)



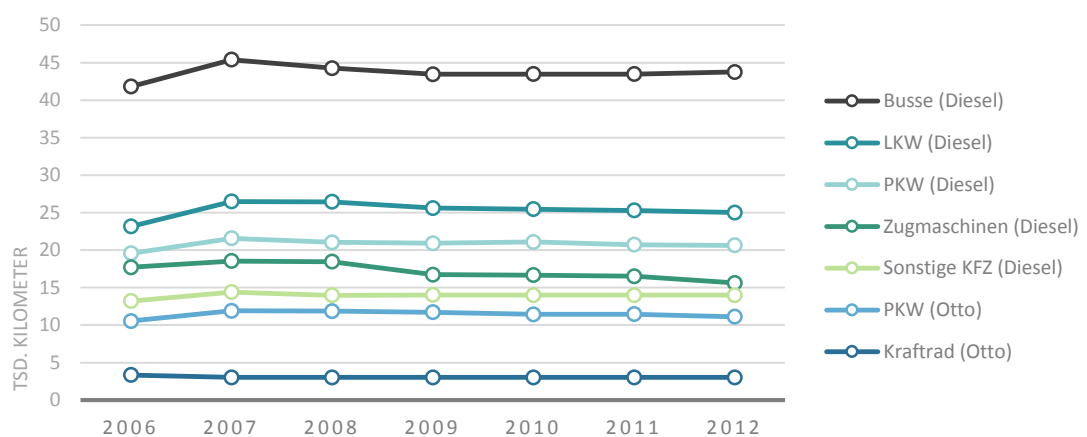
Eigene Darstellung (Quelle: Gemeinsame Zulassungsstelle Alb-Donau-Kreis/Ulm, Juni 2014)

>>> JAHRESFAHRLEISTUNG

Aufgrund einer fehlenden kontinuierlichen Erhebung der Fahrleistungen auf Gemeindeebene müssen diese über landesweite oder bundesweite Durchschnittswerte bestimmt werden. Damit ist der Kraftfahrzeugbestand die einzige lokale Größe, die einen Einfluss auf die regionale Klimabilanz hat. Um diesem Missstand entgegenzuwirken, empfiehlt es sich stichprobenartig auf regionale Statistiken und Erhebungen zurück-

zugreifen, die in unregelmäßigen Abständen veröffentlicht werden. Im Wesentlichen beschränken sich diese auf Daten des *Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg* (StaLaBW), das alle zwei Jahre rudimentäre Jahresfahrleistungen auf Gemeindeebene veröffentlicht, der *Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg* (LUBW), die alle zwei Jahre²⁰ ein Emissionskataster mit kleinräumiger Auflösung von Fahrleistungen und Schadstoffemissionen erstellt und dem *System repräsentativer Verkehrsbefragungen* (SrV) der TU Dresden, im Rahmen dessen in den Jahren 2003, 2008 und 2013 lokale empirische Erhebungen zum Verkehrsverhalten der Einwohner auf dem Gebiet Ulm/Neu-Ulm durchgeführt wurden²¹. Ergebnisse, die auf Basis stichprobenartige Querkontrollen verschiedener Verkehrserhebungen berechnet werden, können zwar nicht unmittelbar miteinander verglichen werden, ermöglichen es aber im Zeitverlauf deutliche Entwicklungsunterschiede des lokalen Verkehrsverhaltens zum bundesweiten Durchschnittsverhalten aufzudecken.

Abb. 27 | Spezifische KFZ-Jahresfahrleistung in Deutschland (seit 2006)



Quelle: DIW Berlin 2013

Anmerkung: Die Fahrleistung der Zugmaschinen ist das mit dem KFZ-Bestand gewichtete Mittel der Fahrleistungen von den Unterkategorien „Sattelzugmaschinen“ und „Sonstige Zugmaschinen“ die vom DIW gesondert ausgewiesen werden. Bis 2006 beziehen sich die Zahlen auf den KFZ-Bestand inkl. vorübergehend stillgelegter Fahrzeuge.

Dieser Bericht verwendet die bundesweiten durchschnittlichen Jahresfahrleistungen und Durchschnittsverbräuchen der Verkehrserhebungen des *Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung* (DIW Berlin), die im Rahmen des jährlichen statistischen Berichtes „Verkehr in Zahlen“ des BMVI²² veröffentlicht werden (Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.). Ein genaueres Bild der PKW-Fahrleistungen lässt sich auch durch Verwendung der kontinuierlichen Erhebungen des *Deutschen Mobilitätspanels* (MOP) des *Karlsruher Instituts für Technologie* (KIT) erstellen. Hierdurch ist es möglich die Fahrleistungen nicht nur nach Benzin und Diesel zu unterteilen, sondern auch nach Hubraum sowie gewerblichen und privaten Haltern. Auch hierbei gilt, dass diese Ergebnisse nicht unmittelbar mit den Ergebnissen des DIW vergleichbar sind. Ergänzend ist es möglich, mit Hilfe der Referenzstudie *Mobilität in Deutschland 2008* (MiD 2008) die PKW-Fahrleistungen nach Fahrzeugsegmenten aufzuschlüsseln. Eine Aktualisierung dieser Studie ist für 2015 geplant.

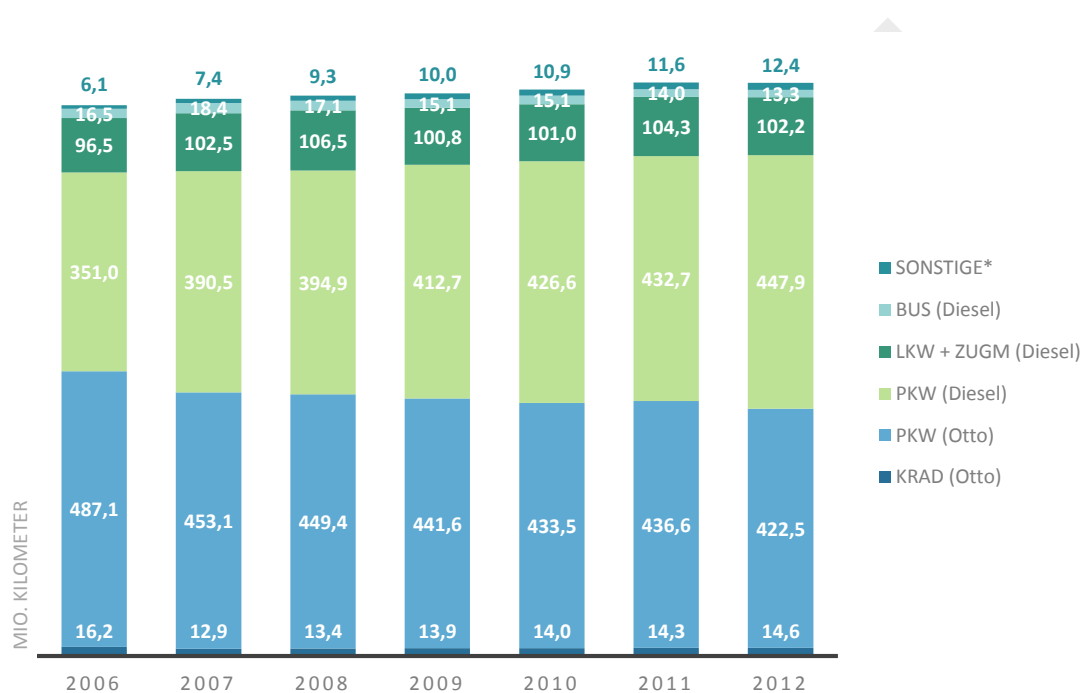
²⁰ Die letzte Aktualisierung des Emissionskatasters 2010 der LUBW im Jahr 2012 liegt bereits deutlich zurück und es ist nicht ersichtlich, wann mit einer Aufarbeitung zu rechnen ist. Die Daten der LUBW gehen unmittelbar in die des StaLaBW ein. Aufgelöste Daten auf Gemeindeebene sind nur teilweise öffentlich zugänglich.

²¹ Die Ergebnisse der SrV 2013 lagen zum Januar 2015 noch nicht vor.

²² Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

Man erkennt, dass die spezifischen Jahresfahrleistungen der Kraftfahrzeuge nur minimal im Laufe der Zeit variieren und es kann davon ausgegangen werden, dass sich diese auch in naher Zukunft sehr unelastisch verhalten und nur auf starke externe Zwangsbedingungen (bspw. hohe Benzinpreise) reagieren werden (Abb. 27). Eine Steigerung der Gesamtfahrleistung ist demnach unmittelbar auf eine Bestandserhöhung an Kraftfahrzeugen zurückzuführen. So ist die Gesamtfahrleistung aller KFZ in Ulm seit 2005 von 983 Mio. km leicht auf insgesamt 1.013 Mio. km im Jahr 2012 gestiegen (Abb. 28). Den mit Abstand größten Anteil hieran hat der Motorisierte Individualverkehr mit insgesamt 885 Mio. km im Jahr 2012.

Abb. 28 | Geschätzte Jahresfahrleistung des kommunalen Kraftfahrzeugbestands(seit 2006)



Eigene Berechnungen (Quelle: StaLaBW 2014, KBA 2014, DIW Berlin 2013)

* SONSTIGE = PKW mit Gasantrieb (als Ottomotor gerechnet) + PKW mit sonstigen Antrieben (als Ottomotor gerechnet) + Sonstige KFZ (10% der sonstigen KFZ werden nach bundesweitem Schnitt als Benzin- und 90% als Dieselfahrzeuge angerechnet)

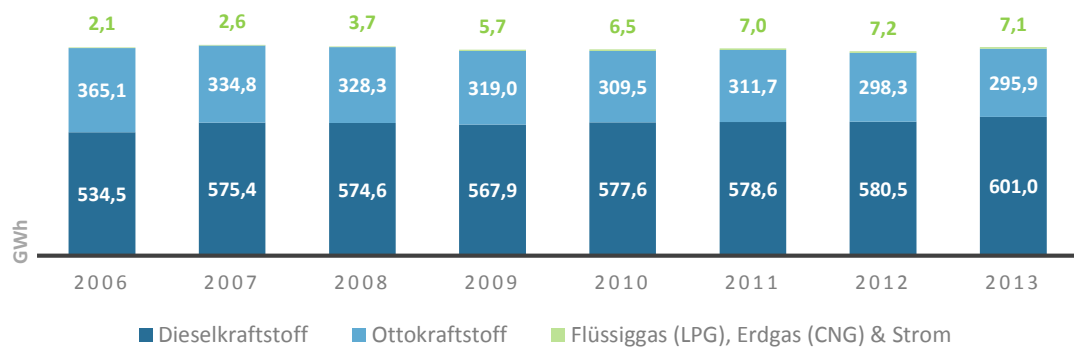
Diese Berechnungen lassen sich stichprobenartig validieren, indem Erhebungsdaten des StaLaBW sowie der LUBW für 2010 verglichen werden. So stehen den hier berechneten 1.001 Mio. Kilometern etwas höhere 1.047 Mio. Kilometer des StaLaBW gegenüber wohingegen die LUBW für das gleiche Jahr von deutlich geringeren 938 Mio. Kilometern ausging. Das StaLaBW rechnet mit 9 % deutlich höheren PKW-Fahrleistungen während die Gesamtfahrleistung der Nutzfahrzeuge und Busse um 16% deutlich niedriger eingeschätzt wird. Sonstige KFZ werden nicht berücksichtigt. Dieser Aussage entgegen schätzt die LUBW sowohl die PKW-Fahrleistung um knapp 3 % als auch die Gesamtfahrleistung von Nutzfahrzeugen um 13 % niedriger ein. Die LUBW berücksichtigt hierbei keine Busse oder sonstige KFZ. Einzig die Fahrleistung der Krafträder wird in allen drei Erhebungen gleich angesetzt.

>>>> ENDENERGIEVERBRAUCH

Ausgehend von den Jahresfahrleistungen und Durchschnittsverbräuchen lässt sich der Diesel-, Benzin- und Autogasverbrauch des Straßenverkehrs ableiten. Dazu wird auf die Statistik des DIW zurückgegriffen. Der Verbrauch von Autogas sowie Erdgas ist in Ulm bisher hauptsächlich auf bivalent umgerüstete PKW-

Ottomotoren sowie eigenständige Erdgasantrieben zurückzuführen. Halter von bivalent betreibbaren Fahrzeugen werden im Wesentlichen den kostengünstigeren Treibstoff tanken, was in diesem Fall Autogas und Erdgas ist. Damit lassen sich diese Mengen über die jeweiligen Benzinäquivalente bestimmen.²³ Hybride Benzin/Elektrofahrzeuge tanken nach wie vor gewöhnlich, reduzieren insgesamt aber den Flottenverbrauch. Diese werden hier wie auch Bio-Ethanol-Antriebe als gewöhnliche Ottofahrzeuge bilanziert. Aufgrund dieser Abgrenzungsproblematik wird einzig die Straßenbahn als Stromverbrauch des Verkehrssektors berücksichtigt. Reine Elektrofahrzeuge sowie Plug-in-Hybride werden dennoch in Zukunft an Bedeutung gewinnen. Ihr Endenergieverbrauch lässt sich dann über den Stromverbrauch der Ladeinfrastruktur abschätzen. Bisher ist dieser Verbrauch so gering, dass er keinen Beitrag zur Klimabilanz des Verkehrs leistet und wird daher mit der gewöhnlichen Stromverteilung des Stadtgebietes bilanziert.²⁴

Abb. 29 | Endenergieverbrauch des kommunalen Verkehrssektors nach Kraftstoffen (seit 2006)



Eigene Berechnungen (Quelle: KBA, DWI, SWU, GEMIS)

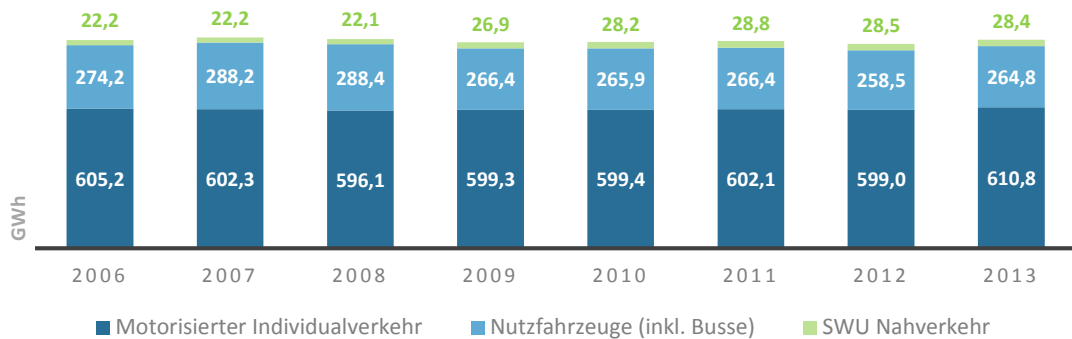
Anmerkungen: Die Jahresfahrleistungen und Durchschnittsverbräuche für das Bilanzjahr 2013 wurden von 2012 übernommen. Der Dieselverbrauch des SWU Nahverkehrs 2006 und 2007 wurde geschätzt. Die Jahresfahrleistung des SWU Nahverkehrs 2012 wurde geschätzt.

Der Endenergieverbrauch des kommunalen Verkehrssektors lag 2013 bei geschätzten 904 GWh. Dies entspricht einem ungefähren Verbrauch von mehr als 102 Mio. Litern Benzinäquivalenten. Der motorisierte Individualverkehr (MIV) trug 2013 mit 611 GWh den größten Anteil zum Endenergieverbrauch (**Abb. 30**). Nur etwa 1 % hiervon wird durch Krafträder verursacht, während PKW mit 47 % durch Benzinmotoren und 51 % durch Dieselmotoren die überdeutlichen Hauptverursacher sind. Der Endenergieverbrauch von bivalenten Autogasantrieben mit geschätzten 2,6 GWh und reinen sowie bivalenten Erdgasmotoren mit 1,6 GWh spielt bisher nur eine unbedeutende Rolle. Dabei lag der Absatz von Erdgas an der Esso-Tankstelle Hindenburg über *SchwabenGas mobil* mit 7,9 GWh deutlich über dem geschätzten kommunalen Verbrauch. Ein bedeutender Anteil von 0,66 GWh wurde dabei vom eigenen Fuhrpark der SWU verbraucht. In Anbetracht der zentralen Lage der Tankstelle an der Bundesstraße 10, ist es allerdings als realistisch einzuschätzen, dass der Großteil des Erdgasverbrauchs durch Transitverkehr entsteht und nicht als kommunaler Verbrauch übertragen werden kann.

²³ Benzin (Super) besitzt einen Heizwert von 8,85 kWh/l, Diesel 9,90 kWh/l, Autogas (LPG) 12,78 kWh/l und Erdgas (H-Gas) in Ulm durchschnittlich 11,18 kWh/m³. Damit besitzt ein Liter Autogas etwas das Benzinäquivalent von 0,7 Liter und ein Kubikmeter Erdgas entspricht etwa 1,3 Litern Super.

²⁴ Die SWU betreibt in Ulm derzeit 47 Ladesäulen für Elektrofahrzeuge. 2012 wurde an diesen eine Lademenge von 19,1 MWh abgegeben, die sich 2013 auf 25,2 MWh steigerte. Hiervon fällt allerdings fast 49 Prozent dem Betrieb von *car2go* zu, der Ende 2014 eingestellt wurde. Ob die Ladeinfrastruktur überhaupt weiter betrieben wird bleibt abzuwarten.

Abb. 30 | Endenergieverbrauch des kommunalen Verkehrssektors nach Kraftstoffen (seit 2006)



Eigene Berechnungen (Quelle: KBA, DWI, SWU, GEMIS)

Anmerkungen: Die Jahresfahrleistungen und Durchschnittsverbräuche für das Bilanzjahr 2013 wurden von 2012 übernommen. Der Dieselverbrauch des SWU Nahverkehrs 2006 und 2007 wurde geschätzt. Die Jahresfahrleistung des SWU Nahverkehrs 2012 wurde geschätzt.

Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) der Stadt Ulm wird durch die *SWU Verkehr GmbH* betrieben.²⁵ Die SWU verbindet hierbei das gesamte Stadtgebiet Ulm sowie die Stadt Neu-Ulm und deren Ortsteil Ludwigsfeld. Mit 18 Buslinien auf einem Liniennetz von 199,3 km und einer Straßenbahnlinien auf 10,3 km Linienlänge, werden insgesamt 438 Haltestellen und annähernd 150.000 Einwohner²⁶ zum Nahverkehrs-bund Ulm/Neu-Ulm zusammengeschlossen. Im Geschäftsjahr 2013 legte der Fuhrpark der SWU mit jedem Bus des Fuhrparks durchschnittlich 65.812 km und mit jeder Straßenbahn etwa 68.487 km zurück²⁷ und transportierte dabei knapp 34,6 Mio. registrierter Fahrgäste. Dabei wurden mehr als 2,5 Mio. Liter Diesel und 2,9 GWh Strom verbraucht. Jeder der 63 Omnibusse des SWU Verkehrsnetzes biete im Schnitt 45 Sitz- und 97 Stehplätze an. Bei einem Dieselverbrauch von etwa 40.500 Liter pro Bus bedeutet das einen Dieselverbrauch von knapp 62 Litern Diesel pro 100 Kilometer. Bei Vollbesetzung würde dies einem Verbrauch von knapp 1,4 Litern Diesel pro sitzendem Fahrgast entsprechen. Ein Bus, der mit 14 Fahrgästen unterwegs ist, fährt damit bereits klimafreundlicher als ein durchschnittlich besetztes Diesel-Privatfahrzeug.²⁸

²⁵ Andere Teilnehmer des ÖPNV aus dem *Donau-Iller Nahverkehrsverbund* (DING) werden hier aufgrund der Datenlage nicht berücksichtigt.

²⁶ Bevölkerungsstand Ulm: 119.218 | Neu-Ulm: 17.063 | Ludwigsfeld: 11.100 (Quelle: Statistisches Landesamt BW, Stand 31.12.2013)

²⁷ Jahresfahrleistung aller Omnibusse: 4.146.151 km, Straßenbahnen: 684.870 km | Fahrzeugbestand 2013: 6 Standard- und 57 Gelenkbusse sowie 10 Straßenbahnen | Anzahl registrierter Fahrgäste: 34.555.672 (Quelle: SWU Umweltbericht 2014)

²⁸ Durchschnittlicher PKW-Dieselverbrauch: 6,7 Liter pro 100 km; durchschnittliche Besetzung: 1,5 Personen pro Weg

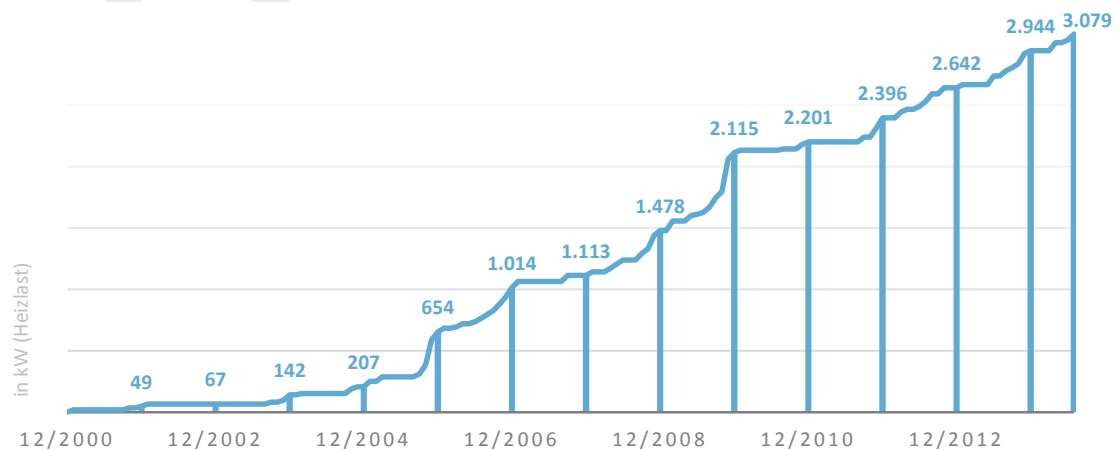
A.6. SONSTIGE ENERGIETRAEGER

Neben den bisher aufgeführten Energieträgern gibt es eine Reihe kleinerer Energiequellen, die zwar nach wie vor eine untergeordnete Rolle spielen, im Rahmen der Energiewende aber immer stärker genutzt werden. Von Bedeutung für die Kommune sind vor allem Holzheizungen, solarthermische Anlagen sowie Wärmepumpen, die bereits einen verhältnismäßig großen Beitrag zur Wärmebereitstellung der Stadt Ulm leisten. Laut *Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e.V.* (BDEW) wurden 2013 bereits 22,5 % aller neu gebauten Wohneinheiten mit Wärmepumpen beheizt und haben ihren Anteil damit innerhalb der letzten zehn Jahre mehr als verdoppelt. Auch Holz- und Holzpellet-Heizungen erfreuen sich steigender Beliebtheit. Während ihr Anteil im Wohnungsneubau 2004 noch bei 1,2 % lag, wurden 2013 bereits 6,4 % aller neu gebauter Wohnungen mit Holz beheizt. Solarthermische Anlagen werden in diesem Rahmen nicht erfasst, da sie nur zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden können. Nach dem *Bundesverband Solarwirtschaft e.V.* (BSW) waren Ende 2013 deutschlandweit mehr als 1,9 Mio. solarthermische Anlagen mit einer Kollektorfläche von 17,5 Mio. Quadratmetern in Betrieb. Auch wenn die jährliche Neubaurate seit 2008 gesunken ist, wird das Potenzial für Solarthermie bei weitem noch nicht ausgeschöpft.

>>> BIOMASSE (HOLZHEIZUNGEN)

Biomasseheizungen fassen eine große Spannweite verschiedenster Feuerungsanlagen mit Holz als Primärenergie zusammen. Dazu gehört sowohl der Kamin im Wohnzimmer als auch die mit Holzpellets betriebene Zentralheizung im Keller. Da alle Holzheizungen eine Zu- und Ablufteinrichtung benötigen, sind sie abnahmepflichtig und müssen vom Schornsteinfeger kontrolliert werden. Demnach kann der Landesinnungsverband eine fundierte Datenbasis zum kommunalen Holzheizungsbestand bereitstellen. Unter bestimmten Bedingungen fördert das *BAFA* mit Holz-Pellets und Holzhackschnitzeln automatisch beschickte sowie mit Scheitholz handbeschickte Feuerungsanlagen mit einer Nennwärmeleistung zwischen 5 kW und 100 kW. Zwischen Januar 2001 und Juli 2014 wurden hierbei insgesamt 127 Holz-Pellet-, 21 Scheitholz- und 2 Holzhackschnitzel-Heizungsanlagen im Postleitzahlenbereich Ulm bezuschusst. Bis auf 5 Ausnahmen wurden dabei alle Anlagen in privaten Wohngebäuden installiert.

Abb. 31 | Installierte Wärmeleistung der geförderten Holzheizungen in Ulm (seit 2001)

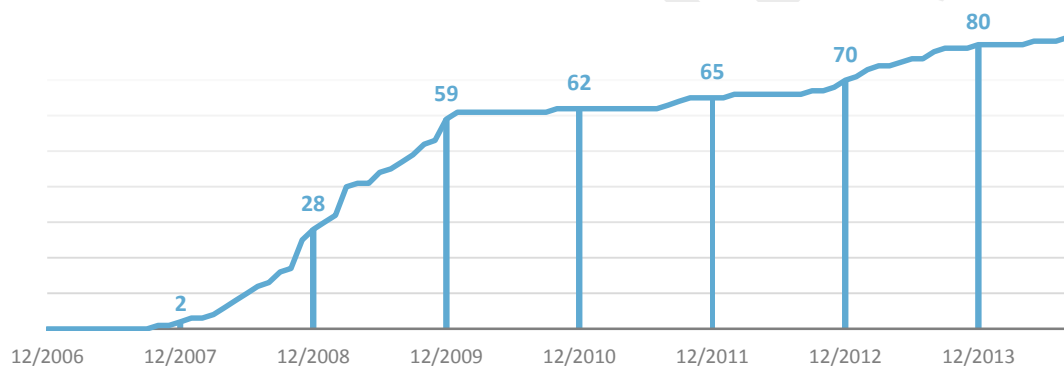


Die kumulierte thermische Nennleistung dieser 150 Anlagen liegt bei knapp 3.079 kW. Dabei benötigt eine Pellet-Heizung pro Jahr zwischen 400 kg und 500 kg Holz-Pellets für jedes Kilowatt Heizlast und wird zwischen 1.600 und 1.800 Vollbenutzungsstunden betrieben. Übertragen auf den Bestand der geförderten Holzheizungen in Ulm bedeutete dies einen Beitrag von 4,4 GWh bis 5,0 GWh zum Wärmeverbrauch der Stadt im Jahr 2013.

>>> UMWELTWÄRME (WÄRMEPUMPEN)

Nach Förderungsstatistik des *Bafa* wurden zwischen Januar 2007 und August 2014 insgesamt 82 Wärmepumpen auf Ulmer Postleitzahlengebiet installiert. Hiervon wurden 70 in Wohnhäusern, 11 in Gebäuden des Sektors GHD und eine in einer öffentlichen Einrichtung in Betrieb genommen. Im Durchschnitt weist die Jahresarbeitszahl der installierten Anlagen mit 4,1 einen sehr guten Wert auf. Wird der bundes-deutsche Strommix nach EnEV 2014 mit einem Primärenergiefaktor von 2,4 bewertet und auf die Ökobilanz des Ulmer Wärmepumpenbestandes angewendet, impliziert dies einen regenerativen Anteil von 41 %.

Abb. 32 | Anzahl der geförderten Wärmepumpen in Ulm (seit 2007)



Quelle: www.waermepumpenatlas.de



EXCURS: WIE FUNKTIONIEREN WÄRMEPUMPEN?

Wärmepumpen arbeiten nach dem gleichen Funktionsprinzip wie Kühlschränke: Einem Wärmereservoir mit niedriger Temperatur wird Wärme entzogen und an ein Wärmereservoir mit höherer Temperatur wieder abgegeben. Hierzu wird ein Kältemittel mit relativ niedrigem Siedepunkt (meist Fluorkohlenwasserstoffe – FKWs) bei niedrigem Druck in einem **Verdampfer** durch die im Erdreich, in der Luft oder im Grundwasser vorhandene Restwärme (die „Umweltwärme“) erhitzt und anschließend in das zu beheizende Gebäude geleitet. Dort verdichtet ein **Kompressor** das Kältemittel bis es sich wieder verflüssigt und die transportierte Wärme in einem **Kondensator** an die Zentralheizung abgeben kann. Bevor das Kältemittel das Gebäude wieder verlässt um einen neuen Kreislauf zu beginnen, passiert es ein **Drosselventil**, dass den Druck wieder so weit herabsetzt, dass es wieder fähig weitere Umweltwärme aufzunehmen.

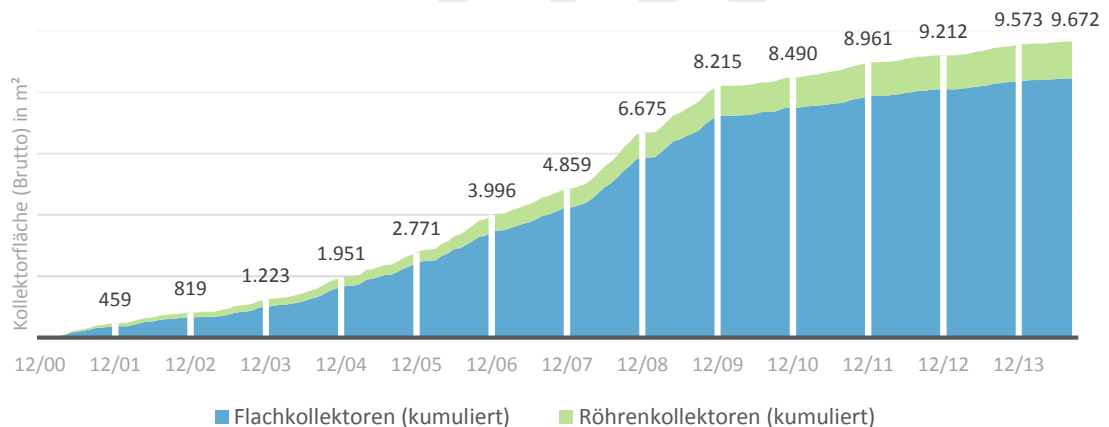
Je nach verwendeter Umweltwärme unterscheidet man **Luft-, Wasser und Erdwärmepumpen**. Der Kompressor sowie notwendige Pumpen werden elektrisch betrieben. Die Effizienz einer Wärmepumpe wird durch die **Jahresarbeitszahl** (JAZ) beschrieben. Eine Jahresarbeitszahl von 4 bedeutet, dass viermal so viel Wärme gewonnen wird, wie Strom für den Antrieb der Anlage verbraucht wurde. Aufgrund des deutschen Strommixes, sind Wärmepumpen daher keine rein regenerativen Erzeugungsanlagen. Um den erneuerbaren Anteil zu bestimmen muss der **Primärenergiefaktor** für Strom von der JAZ abgezogen werden. Nach **EnEV 2014** muss dieser seit Mai 2014 mit 2,4 angesetzt werden und sinkt ab Januar 2016 auf 1,8. Eine Umweltwärmehheizung mit einer JAZ von unter 2,4 ist aktuell daher unter Umständen energetisch schlechter als eine konventionelle Gas- oder Ölbrennwertheizung zu bewerten.

Die Höhe der Endenergiebereitstellung der installierten Wärmepumpen, lässt sich durch die Annahme abschätzen, dass ein durchschnittliches, zentralbeheiztes Wohngebäude mit Wärmepumpe einen ungefähren Wärmebedarf von 15.000 kWh bis 30.000 kWh jährlich decken muss. Mit 80 installierten Anlagen Ende 2013 konnten damit geschätzte 1,1 GWh bis 2,3 GWh Wärme bereitgestellt werden. Hierzu wurden allerdings nur etwa 0,3 GWh bis 0,6 GWh Strom verbraucht während der Rest durch die verwendete Umweltwärme gedeckt werden konnte.

>>> SOLARTHERMIE

Die solare Strahlungsleistung kann nicht nur zur Stromerzeugung sondern auch zur Wärmeengewinnung nutzbar gemacht werden. Dies geschieht in sogenannten Kollektoren, die wie Photovoltaikanlagen auf Dachflächen installiert werden und die Sonneneinstrahlung auf einen Wärmeträger übertragen. Von Bedeutung sind hierbei vor allem Flach- und Röhrenkollektoren. Während Röhrenkollektoren zwar einen höheren Wirkungsgrad aufweisen, sind Flachkollektoren deutlich günstiger und werden häufiger installiert. Nach Regionalstatistik des BAFA wurden im Postleitzahlengebiet Ulm zwischen Januar 2001 und September 2014 insgesamt 917 solarthermische Anlagen mit Flach- und 153 Anlagen mit Röhrenkollektoren gefördert²⁹. Die Brutto-Kollektorfläche dieser 1.070 Anlagen summiert sich auf knapp 9.672 Quadratmeter (Abb. 33). Bis auf 14 Ausnahmen wurden hierbei alle Anlagen auf privaten Wohngebäuden installiert.

Abb. 33 | Installierte Fläche geförderter Solarkollektoren in Ulm (seit 2001)



Quelle: www.solaratlas.de

Alle solarthermischen Anlagen werden in Kombination einer konventionellen Gas-/Ölbrennwerttechnik, Pellet-Heizung oder Wärmepumpenanlage verbaut, die meist die Hauptlast der Wärmebereitstellung tragen. Sowohl das BAFA als auch die KfW fördern die Installation, auch wenn das BAFA seit 2010 nur direkte Förderungsgelder für Anlagen bewilligt, die sowohl der Warmwasserbereitung als auch der Heizungsunterstützung dienen. Zuvor waren reine Warmwasseranlagen äußerst populär und hatten in Ulm Ende 2009 einen Anteil von 68 % aller geförderten Anlagen, der bis Ende September 2014 allerdings bereits auf 60 % gesunken ist. Nach wie vor können reine Warmwasseranlagen über Bonussysteme Förderungsgelder erhalten.

²⁹ Solarthermische Anlagen, die vor 2001 installiert wurden, können nicht dargestellt werden und werden vernachlässigt.



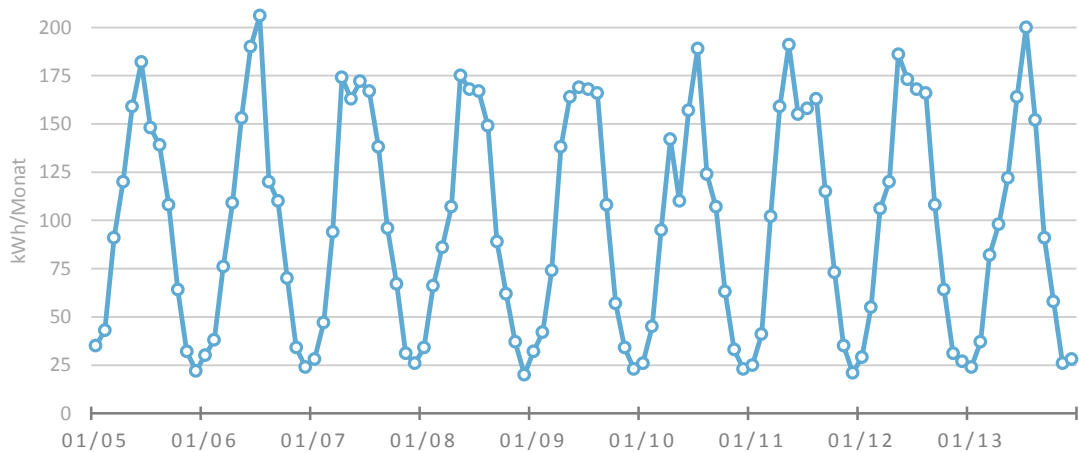
EXHURUS: KENNGRÖßEN SOLARTHERMISCHER ANLAGEN

Wirtschaftlich wird eine Warmwasseranlage so dimensioniert, dass sie einen **solaren Deckungsgrad**, also der Heizwärme-anteil der jährlich durch den **Kollektorertrag** bereitgestellt werden kann, zwischen 40 % und 70 % aufweist. Dabei ist eine südliche Ausrichtung mit einer **Dachneigung** zwischen 30° und 50° optimal. Kombinationsanlagen, die sowohl der Warmwasserbereitstellung als auch der Heizungsunterstützung dienen, weisen einen deutlich niedrigeren Deckungsgrad zwischen 15 % und 30 % auf und werden am wirtschaftlichsten auf einem südlichen Dach mit einer Neigung zwischen 45° und 70° betrieben.

Die eingesetzte Technik bestimmt den **Wirkungsgrad** und damit die **Kollektorfläche**. Der Wirkungsgrad ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Absorber und Außenluft und liegt bei Flachkollektoren zwischen 40 % und 80 % und bei Röhrenkollektoren zwischen 60 % und 75 %. Der Maximalwirkungsgrad wird durch optische Verluste beschränkt. Die Kollektorfläche bezieht sich meist auf die **Bruttofläche** der Anlage. Während diese entscheidend für den Förderungsantrag des BAFA ist, bezieht sich das EEWärmeG auf die sogenannte **Aperturfläche**, die die aktive Lichteinfallfläche zur Wärmeübertragung beschreibt.

Für die Berechnung der Wärmebereitstellung durch solarthermische Anlagen kann auf eine Methode der *Internationalen Energieagentur* zurückgegriffen werden, die vom *Bundesverband Solarwirtschaft e.V.* unterstützt wird und auch im Umweltministerium Baden-Württemberg Verwendung findet³⁰. Dazu wird die Kollektorfläche für Warmwasseranlagen bzw. Kombianlagen mit einem Wirkungsgrad von 44 % bzw. 33 % bewertet und mit der örtlichen Globalstrahlung multipliziert (siehe **Abb. 34**). Hierzu muss die Kollektorfläche zunächst über einen Korrekturfaktor (0,8 bis 0,9) in die Aperturfläche umgerechnet werden.

Abb. 34 | Globalstrahlung am Standort Ulm zwischen Januar 2005 und Dezember 2013



Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD)

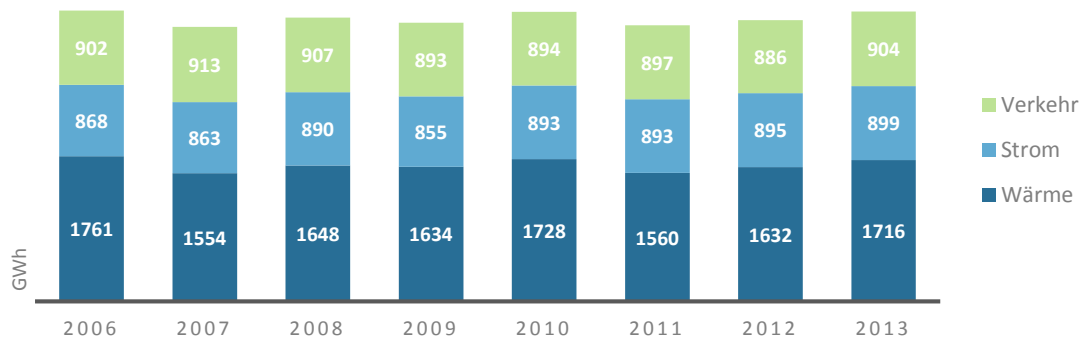
³⁰ Siehe „Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2013“ (UMBW)

A.7. TREIBHAUSGASE

KUMULIERTE ENDENERGIEBILANZ

Der kommunale Endenergieverbrauch der Stadt Ulm lag Ende 2013 absolut und nicht witterungsbereinigt bei 3.519 GWh. Davon entfallen knapp 50 % auf die Deckung des Wärmebedarfs und jeweils 25 % sind dem Strom- sowie Verkehrssektor zuzuordnen sind (Abb. 35). Sowohl der Verkehrs- als auch der Strom-sektor zeichnen sich durch einen relativ konstanten jährlichen Verbrauch von jeweils etwa 900 GWh aus. Während sich der Stromverbrauch wesentlich durch ein statisches Konsumentenverhalten erklären lässt, werden Effizienzsteigerungen im Verkehrssektor durch einen steigenden Kraftfahrzeugbestand kompensiert. Im Wärmeverbrauch erkennt man deutlich die zwei relativ warmen Jahre 2011 und 2012 während sich in dem konstant hohen Niveau der Jahre 2006, 2012 und 2013 sehr ähnliche Gradtagzahlen widerspiegeln. Insgesamt liegt der Endenergieverbrauch seit 2006 auf einem etwa gleichbleibenden Niveau von 3,5 TWh.

Abb. 35 | Kommunalen Endenergieverbrauch der Stadt Ulm nach Verbrauchssektor



Eigene Darstellung

Erdgas besaß 2013 mit einem Anteil von annähernd 50 % die wichtigste Rolle im kommunalen Wärmeverbrauch, gefolgt von Biomasse mit knapp 17 %, Heizöl mit 15 % und Fernwärme aus Steinkohle mit 10 %. Die Abwärme vom Müllheizkraftwerk Donautal sowie privaten Biogasanlagen tragen 9 % zur Wärmebereitstellung bei. Ein kleiner Teil von unter einem Prozent des Endenergieverbrauchs im Wärmesektor wird durch Holzheizungen sowie solar- und umweltthermische Anlagen gedeckt.

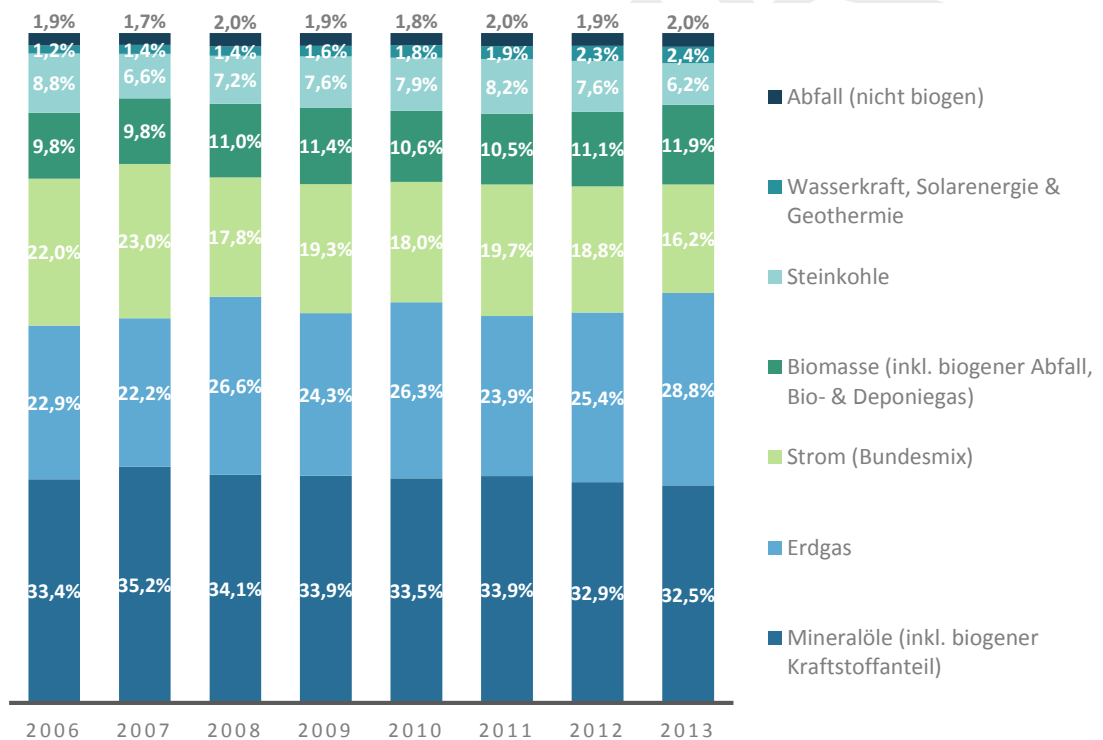
Im Stromsektor werden über 63 % des Endenergieverbrauchs durch nicht beeinflussbare Drittanbieter des bundesdeutschen Strommixes geliefert. Die restlichen 37 % werden anteilig aus der direkten und indirekten Stromerzeugung der Stadtwerke sowie aus privaten Solar- und Biogasanlagen auf dem Stadtgebiet Ulm bereitgestellt. Photovoltaik war 2013 mit etwas über 3 % am Stromverbrauch beteiligt.

Im Verkehrssektor wird der Bedarf zu knapp zwei Dritteln durch Dieselmotoren gedeckt. Annähernd ein Drittel ist auf Ottomotoren zurückzuführen. Flüssiggas (LPG), komprimiertes Erdgas (CNG) und Fahrstrom (Straßenbahn) machen zusammen weniger als ein Prozent des Endenergieverbrauchs aus.

>>> ENDENERGIEVERBRAUCH NACH PRIMÄRENERGIETRÄGER

Der wichtigste Primärenergieträger für den kommunalen Endenergieverbrauch der Stadt Ulm sind Mineralöle, die in Form von Kraftstoffen und Heizöl annähernd den gesamten Verkehrs- sowie einen Teil des Wärmesektors versorgen und seit 2006 einen Anteil von etwas unter einem Drittel des Gesamtenergieverbrauchs behaupten (Abb. 36). Erdgas hat seinen Stellenwert seit 2006 deutlich auf über 28 % ausgebaut, was hauptsächlich auf eine verstärkte kommunale Stromerzeugung der SWU durch den Einsatz von Blockheizkraftwerken und der Beteiligung am GuD-Kraftwerk Hamm zurückzuführen ist. Eine erfreuliche Entwicklung weist die Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energiequellen auf. So konnte die Energieerzeugung aus allen regenerativen Quellen deutlich gesteigert werden. Durch die Inbetriebnahme des Biomasse-Heizkraftwerks II der FUG, konnte 2013 sowohl die Strom- als auch die Wärmeerzeugung aus Biomasse deutlich gestärkt werden. Auch die Energiebereitstellung aus Wasserkraft, Solarenergie und Umweltwärme konnte zwischen 2006 und 2013 verdoppelt werden. Neben der Wasserkraft konnte vor allem die Photovoltaik ihren Energiebeitrag deutlich ausbauen.

Abb. 36 | Endenergieverbrauch der Stadt Ulm nach Primärenergieträger (Basisjahr 2006)



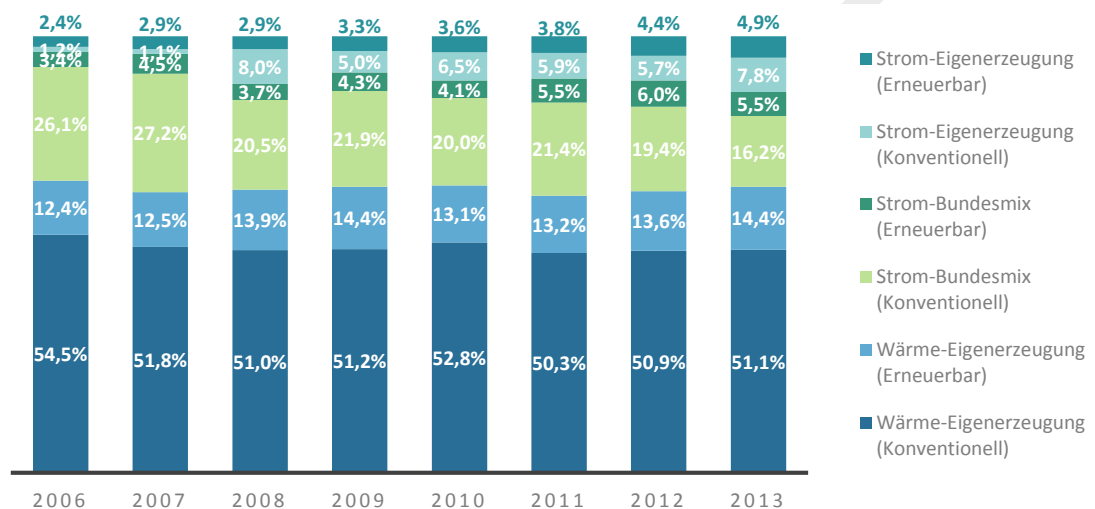
Quelle: Eigene Darstellung

>>> ENDENERGIEVERBRAUCH ERNEUERBARER ENERGIETRÄGER

Der Endenergieverbrauch im Wärmesektor der Stadt Ulm lag 2013 bei 1.716,0 GWh. Hiervon wurden 78 % durch Erdgas, Heizöl, Steinkohle und nicht biogener Müllverbrennungswärme bereitgestellt. Der Anteil der regenerativen Wärmebedarfsdeckung, hauptsächlich durch Verwendung von Biomasse, konnte zwischen 2006 und 2013 von 19 % auf 22 % ausgebaut werden. Der Stromverbrauch (inkl. Verkehrstrom) lag in Ulm 2013 bei 901,6 GWh. Hiervon konnten bereits 37 % durch die anteilige kommunale Stromerzeugung abgedeckt werden, während rechnerisch 63 % durch den bundesdeutschen Strommix bereitgestellt wurden.

Der erneuerbare Anteil der kommunalen Strom-Eigenerzeugung lag 2013 bei 38,5 % und damit deutlich über dem bundesweiten Schnitt von 25,4 % am Bruttostromverbrauch in Deutschland. In Kombination trug der erneuerbare Anteil damit bei über 30 % zum gesamten kommunalen Stromverbrauch 2013 bei. Gemessen am kommunalen Strom- und Wärmeverbrauch, lag der Beitrag regenerativer Energiequellen bei 24,8 % (Abb. 37) und damit deutlich über dem bundesweiten Schnitt von 13,8 %. Die erneuerbare Energiebereitstellung im Verkehrssektor kann über die jährlichen Auswertungen der *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.* abgeschätzt werden. So wurden 2013 bspw. 4,3 % des Energieverbrauchs durch Mineralöl-derivate zusätzlich in Form von Biomasseprodukte (Bio-Ethanol/-Diesel) in Anspruch genommen.

Abb. 37 | Anteil erneuerbarer Energien am Strom- & Wärmeverbrauch in Ulm (Basisjahr 2006)

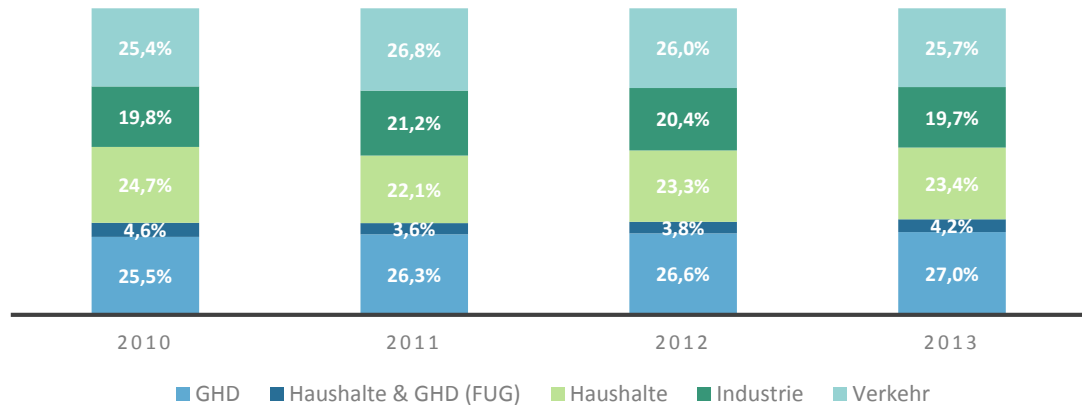


Quelle: Eigene Darstellung

>>> ENDENERGIEVERBRAUCH NACH VERURSACHERN

Die Zuordnung des Endenergieverbrauchs auf die vier Verursachergruppen Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), Haushalte sowie Industriebetriebe ist für Ulm nur näherungsweise möglich und mit vielen Unsicherheiten behaftet. Zu groß sind die Schnittmengen und Abgrenzungsschwierigkeiten, gerade auch zwischen den Sektoren GHD und den privaten Haushalten. Verschärft wird diese Problematik durch die Art der Datenerfassung leitungsgebundener Energieträger von SWU und FUG. Eine Klassifizierung der Kundengruppen nach amtlichen Wirtschaftszweigen (WZ 2008) würde sowohl die Vergleichbarkeit als auch die Abbildung offizieller Statistiken und regionaler Datenerhebungen ermöglichen. Die SWU erfasst allerdings leitungsgebundene Datenträger nach einer eigenen Klassifizierung, die sich nur teilweise eindeutig den Sektoren zuordnen lässt. Die vorliegenden Primärdaten der FUG beschränken sich auf Liefergebiete. Eine Einschränkung auf den Sektor Industrie ist nur näherungsweise über das Liefergebiet Donautal möglich. Die Universität wird als Großverbraucher extra ausgewiesen. Letztendlich lässt sich aber kein Sektor eindeutig abgrenzen, vor allem im heterogenen Versorgungsgebiet der Innenstadt. Abhilfe schafft hier vorübergehend die amtliche Regionalstatistik der Energieverwendung des verarbeitenden Gewerbes, die neben Heizöl und Erdgas auch den Fernwärmeverbrauch von Industriebetrieben mit mehr als 20 Beschäftigten erhebt.

Abb. 38 | Endenergieverbrauch der Stadt Ulm nach Verursachern (seit 2010)



Eigene Darstellung

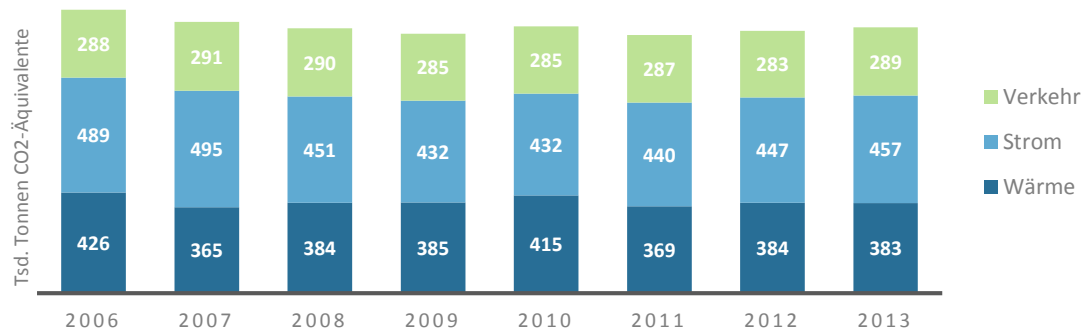
Anmerkungen: Der Sektor Verkehr entspricht den bisherigen Energiebilanzen. Die leitungsgebundenen Energieträger Strom und Erdgas werden gemäß der SWU-Klassifizierung auf die jeweiligen Sektoren abgebildet. Die Industrie umfasst den Heizöl- und Fernwärmeverwendung nach amtlicher Statistik sowie den Strom- und Erdgasverbrauch von industriellen RLM-Kunden (außer Bauindustrie). Die nicht leitungsgebundene geschätzte Wärmeversorgung durch Heizöl, Holzheizungen, Wärmepumpen und Solarthermie wird dem Sektor Haushalte zugeschrieben. Auch die FUG-Liefergebiete Böfingen, Eichberg, Eichenplatz und Eselsberg werden vollständig den Haushalten zugerechnet. Die Fernwärmeabgabe an die Universität, sonstige Kleinverbraucher von Heizöl, öffentliche Einrichtungen, Netzverluste und Eigenverbräuche sind Teilmengen des Sektors GHD. Der restliche Fernwärmeabsatz der FUG bildet eine Schnittmenge von Haushalten und GHD.

Abb. 38 stellt die ungefähre Aufteilung des Endenergieverbrauchs der Stadt Ulm auf die verursachenden Sektoren auf Basis der vorhandenen Daten seit 2010 dar. Den größten Verbrauch weist erwartungsgemäß der GHD-Sektor auf, der sowohl alle im Standardlastprofil abgerechneten Kleinbetriebe als auch öffentlichen und kommunalen Einrichtungen beinhaltet. Mit über 48 % ist der Stromverbrauch ausschlaggebend für die Energiebilanz des Sektors im Jahr 2013, gefolgt von Erdgas mit annähernd 26 % sowie Fernwärme und Fernkälte mit zusammen 20 %. Die Haushalte zeichnen sich durch einen hohen Erdgasverbrauch mit einem Anteil von 45 % am Endenergieverbrauch des Sektors aus. Der Heizöl und Stromverbrauch liegt mit jeweils 22 % auf etwa gleichem Niveau. Die eindeutig zuzurechnende Fernwärmeversorgung beschreibt nur 11 % der Endenergie. Es ist davon auszugehen, dass hier noch ein Großteil der nicht abgrenzbaren Fernwärmeverteilung zu berücksichtigen ist. Der Industriesektor wird zu etwa gleichen Teilen von Fernwärme- und Stromverwendung bestimmt, die zusammen 78 % des Endenergieverbrauchs ausmachen. Erdgas findet zu 19 % Verwendung, während Heizöl mit 3 % eine untergeordnete Rolle für den Industriesektor in Ulm spielt.

EMISSIONEN

Die kommunalen Treibhausgasemissionen lagen 2013 bei über 1.128 Tsd. Tonnen CO₂-Äquivalenten. Absolut betrachtet lagen diese damit über dem Niveau der Vorjahre, aber etwa 75 Tsd. Tonnen (6 %) unter dem Ausgangsniveau im Basisjahr 2006. Witterungskorrigiert fällt dieser Unterschied mit 65 Tsd. Tonnen zwar noch höher aus, es ist aber hiermit auch festzustellen, dass in den letzten vier Jahren keine Reduktion erfolgen konnte. Mit 457 Tsd. Tonnen war der Stromverbrauchssektor für 40 % der kumulierten THG-Emissionen verantwortlich (**Abb. 35**). Der Wärmebedarf verursachte 34 % der Emissionen, die restlichen 26 % fallen dem Verkehrssektor zu. Sowohl im Strom- als auch im witterungsbereinigten Wärmeverbrauch konnten die Emissionen um jeweils 30 Tsd. Tonnen gegenüber 2006 reduziert werden.

Abb. 39 | Kommunaler THG-Emissionen nach Verbrauchssektor (Basisjahr 2006)



Eigene Darstellung (nicht witterungsbereinigt)

>>> SPEZIFISCHE EMISSIONSFAKTOREN

Das vorliegende Konzept übernimmt veröffentlichte Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes und des Emissionsmodells GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme). Für die Verbrennung von Müll wird auf Werte des Interessenverbandes ITAD zurückgegriffen (Tab. 10).

Tab. 10 | Spezifische Emissionsfaktoren der kommunalen Energieversorgung Ulm

EMISSIONSFAKTOREN (in g/kWh)	HEIZWERT	DIREKT	INDIREKT	GESAMT	QUELLE
PRIMÄRENERGIEEINSATZ VON...					
...Steinkohle (roh)	7,64 kWh/kg	339	47	386	UBA 2013 / GEMIS 4.93
...Erdgas (NG)	9,88 kWh/m³	202	38	239	UBA 2013 / GEMIS 4.93
...Erdgas (CNG)	9,75 kWh/m³	202	49	251	UBA 2013 / GEMIS 4.96
...Heizöl (HEL)	11,84 kWh/kg	266	42	309	UBA 2013 / GEMIS 4.93
...Holz (Industriell)	3,89 kWh/kg	342	9	351	UBA 2013 / GEMIS 4.93
...Müll (Gesamt)	2,89 kWh/kg	129	0	129	ITAD
...Dieselkraftstoff	11,84 kWh/kg	266	53	320	UBA 2013 / GEMIS 4.93
...Ottokraftstoff	11,85 kWh/kg	259	61	320	UBA 2013 / GEMIS 4.93
...Flüssiggas (LPG)	12,78 kWh/kg	234	29	263	UBA 2013 / GEMIS 4.93
ENDENERGIE WÄRME AUS...					
...Biogas (Mais)	-	0	122	122	UBA 2013
...Biogas (Gülle)	-	0	56	56	UBA 2013
...Holzheizung (Pellets)	-	0	32	32	UBA 2013
...Holzheizung (Scheitholz)	-	0	12	12	UBA 2013
...Solarthermie (Flachkollektor)	-	0	22	22	UBA 2013
...Solarthermie (Röhrenkollektor)	-	0	31	31	UBA 2013
ENDENERGIE STROM AUS...					
...Erdgas (GuD-Kraftwerk)	-	351	54	406	GEMIS 4.93
...Erdgas (Spitzenstrom)	-	556	90	646	GEMIS 4.93
...Erdgas (BHKW)	-	556	38	593	GEMIS 4.93 / SWU
...Steinkohle	-	777	112	888	GEMIS 4.93
...Biogas (Mais)	-	472	0	472	UBA 2013
...Biogas (Gülle)	-	216	0	216	UBA 2013
...Photovoltaik	-	55	0	55	UBA 2013
...Holzgas	-	60	19	79	GEMIS 4.93
...Deponiegas	-	0	26	26	UBA 2013

GEMIS wird seit 1989 laufend aktualisiert, basiert auf belastbaren Quellen und wird unter anderem auch vom Umweltbundesamt bei der Berechnung der Emissionen für erneuerbare Energien verwendet, die wiederum in dieser Energiebilanz Verwendung finden. Für die Bilanzierung direkter Emissionen von Primärenergieträgern werden brennstoffbezogene CO₂-Emissionsfaktoren des Umweltbundesamts (UBA) verwendet. Dies sind die einzigen Faktoren, die sich nur auf bei der Verbrennung entstehendes Kohlendioxid beziehen. Alle anderen Faktoren der Vorketten- und Endenergiebilanzierung umfassen auch Methan und Lachgas als Kohlendioxid-Äquivalente. Emissionsfaktoren für die Endenergiebilanzierung basieren auf vordefinierten Prozessen der GEMIS-Datenbank in der aktuellsten Version. Das UBA veröffentlicht jährliche Aktualisierungen der bundesweiten Emissionsfaktoren für erneuerbare Energieträger. Unter Umständen weichen die Emissionsfaktoren aus der GEMIS-Datenbank und UBA-Veröffentlichungen voneinander ab.³¹

Bei Festlegung der Emissionsfaktoren gibt es eine Vielzahl von Stolpersteinen. Zunächst muss definiert werden, ob die Bilanz über den Einsatz von Primärenergie oder Endenergie erstellt wird. Grundsätzlich ist die Bilanzierung der Primärenergie zu bevorzugen und findet Verwendung in der Erstellung der Emissionsbilanzen für Länder und Bundesrepublik. Auf kommunaler Ebene kann der Verbrauch von Primärenergie allerdings nur in der lokalen Wärmerzeugung erfasst und im Kraftstoffeinsatz des kommunalen Kraftfahrzeugbestandes abgeschätzt werden. Sowohl die Stromversorgung als auch Strom- und Wärmeeinspeisungen von Privatanlagen können nur als Netto-Endenergie bilanziert werden.

>>> EMISSIONEN DES WÄRMESEKTORS

Die Emissionsfaktoren der kommunalen Wärmebereitstellung können größtenteils unmittelbar über den Einsatz von Primärenergieträgern bestimmt werden. Ausnahmen hiervon bilden die Abwärme aus privaten Biogas- und Industrieanlagen sowie solarthermische Anlagen oder Holzheizungen sonstiger Verbraucher. Diese Energieträger müssen als Endenergie angesehen und dementsprechend bilanziert werden.³² Die Bilanzierung des Stromverbrauchs von Stromheizungen wie Wärmepumpen und Nachtspeicheröfen erfolgt aufgrund der fehlenden Abgrenzbarkeit indirekt über den Stromverbrauch. Das BAFA gibt die durchschnittliche Jahresarbeitszahl des geförderten Wärmepumpenbestandes in Ulm mit 4,1 an. Bei einer geschätzten Wärmebereitstellung von 1,2 GWh im Jahr 2013 lag der Strombedarf demnach bei gerade einmal 0,3 GWh und kann innerhalb des Wärmesektors vernachlässigt werden. Deutlich höher dürfte der Endenergieverbrauch von Nachtspeicheröfen einzuschätzen sein. Dieser ist aufgrund der schlechten Datenlage allerdings nicht darstellbar. Für die Bilanzierung des Wärmesektors in Ulm müssen somit nur folgende Energieträger berücksichtigt werden:

- Primärenergieeinsatz (Heizwert) von Erdgas (SWU & FUG)
- Primärenergieeinsatz (Heizwert) von Steinkohle (FUG)
- Primärenergieeinsatz (Heizwert) von Heizöl (FUG, LUBW)
- Primärenergieeinsatz (Heizwert) von Biomasse (FUG)
- Wärmebereitstellung aus Biogasanlagen (FUG)
- Wärmebereitstellung aus Biomasse-Heizungsanlagen (BAFA/Schornsteinfeger)
- Wärmebereitstellung aus solarthermischen Anlagen (BAFA)
- Kommunales Müllaufkommen zur thermischen Weiterbehandlung (EBU)



EXHURS: DIE BILANZIERUNG DES MHHW DONAUTAL

³¹ Generell ist es schwierig allgemeingültige Emissionsfaktoren zu bestimmen. Leider werden diese nur ungenügend spezifiziert und festgelegt. So ist es auch nicht verwunderlich, dass verschiedene Quellen fast immer zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen.

³² Auf eine separate Erfassung der Industrieabwärme kann bis auf weiteres verzichtet werden, da es zum aktuellen Stand keine gibt.

Die thermische Abfallbehandlung im Müllheizkraftwerk (MHKW) Donautal durch den **Zweckverband TAD** spielt eine besondere Rolle, da sie einer **Entsorgungsaufgabe** nachkommt, die unabhängig vom Endenergiebedarf anfällt. Diese Aufgabe erfüllt das MHKW nicht nur für die Stadt Ulm sondern auch für einen weiteren Stadtkreis sowie drei Landkreise. Aus wirtschaftlichen Gründen wird das Kraftwerk dabei unabhängig vom Müllaufkommen in Ulm möglichst stark ausgelastet. Aufgrund der geografischen Lage bleibt der Abnehmer des lokalen Produkts „Wärme“ dennoch immer der Stadtkreis Ulm. Das bedeutet dass Ulm indirekt an ein emissionsintensives Müllaufkommen der anderen Mitglieder gebunden ist, während sich der Einfluss jedoch auf das eigene Müllaufkommen beschränkt. Es stellt sich daher die Frage, ob die Treibhausgasemissionen des eigenen Müllaufkommens oder der Wärmeabnahme bilanziert werden sollen. Da sich ein kommunales Klimaschutzkonzept hauptsächlich auf kommunale Einflussbereiche konzentriert, wird hier konsequenterweise das städtische Müllaufkommen, das der thermischen Abfallbehandlung zugeführt wird, bilanziert.

Die hierzu benötigten Primärdaten zur Fernwärmeversorgung können jährlich von der FUG und der SWU bereitgestellt werden. Während es sich bei den Anlagen der SWU ausschließlich um Erdgas-Blockheizkraftwerke handelt, verheizt die FUG neben Erdgas auch Steinkohle, Heizöl und Biomasse und übernimmt die Abwärme des MHKW Donautal sowie privater Biogasanlagen und ehemals auch eines Industriebetriebes. Während es sich bei letzteren um Endenergie handelt, besitzt die Abwärme der thermischen Abfallbehandlung eine Sonderrolle und wird nur in der Endenergiebilanz berücksichtigt. Für die Emissionsbilanz wird das städtische Müllaufkommen, das der thermischen Abfallbehandlung zugeführt wird, als Primärenergieträger angesetzt.³³ Die Allokation des kumuliert vorliegenden Primärenergieeinsatzes auf Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen kann vereinfacht über die thermischen und elektrischen Netto-Wirkungsgrade der Endenergieerzeugung durchgeführt werden.³⁴ Gerade bei den Primärdaten der FUG lag bisher allerdings das Problem vor, dass die erzeugten Wärmemengen des HKW Magirusstraße sowie der Biomasse-HKW I und II nur als kumulierte Energiemenge dargestellt wurde. Die daraus festgelegte Allokation auf Strom und Wärme über den Gesamtwirkungsgrad impliziert einen konstanten elektrischen und thermischen Wirkungsgrad über einen heterogenen Kraftwerkspark.

Tab. 11 | Emissionsfaktoren des kommunalen Endenergieverbrauchs im Wärmesektor (seit 2006)

EMISSIONSFAKTOREN [g/kWh]	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Erdgas (NG)	239	239	239	239	239	239	239	239
Heizöl (HEL)	309	309	309	309	309	309	309	309
Fernwärme (FUG)	259	235	240	246	257	254	250	214
Fernwärme (SWU)	312	315	314	311	307	305	297	297
Müllwärme ¹	31	37	34	33	32	31	29	32
Biogasanlagen (80% Mais, 20% Gülle)	109	109	109	109	109	109	109	109
Biomasse-Heizungsanlagen (82% Pellets, 18% Scheitholz)	28	28	28	28	28	28	28	28
Solarthermische Anlagen (87% Flach-, 13% Röhrenkollektoren)	23	23	23	23	23	23	23	23

¹ Die direkten Emissionen der nicht-biogenen Anteile aus dem städtischen Müllaufkommen bezogen auf die Wärmebereitstellung des MHKW.

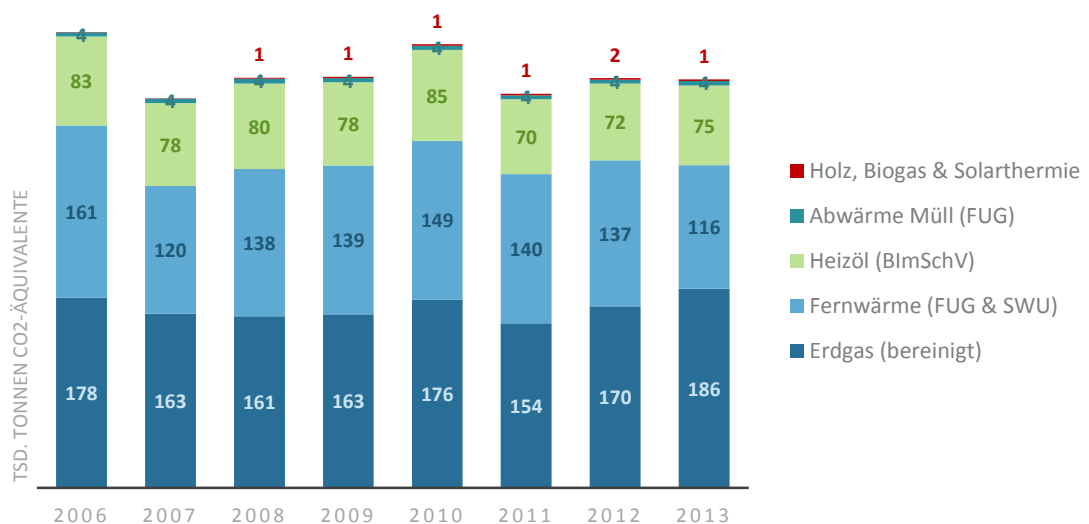
Von den 383 Tsd. Tonnen CO₂-Äquivalenten, die durch die Wärmebereitstellung 2013 verursacht wurden, sind 48 % auf den Einsatz von Erdgas zurückzuführen (**Abb. 40**). Insgesamt 30 % der Emissionen werden

³³ Das MHKW Donautal ist Mitglied der Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. (ITAD). Diese veröffentlicht jährlich statistische Berichte zur thermischen Abfallbehandlung in Deutschland. Laut Jahresbericht 2012 weist der in Müllverbrennungsanlagen eingesetzte Restmüll einen durchschnittlichen Heizwert von 2,9 kWh/kg auf und emittiert Treibhausgase in Höhe von 373 kg pro Tonne.

³⁴ Diese Methode der Internationalen Energieagentur (IEA) bestimmt zunächst die beiden Netto-Wirkungsgrade für Strom η_e und Wärme η_t , deren Summe dem Netto-Gesamtwirkungsgrad η entspricht. Der Primärenergieeinsatz wird auf Strom und Wärme gemäß dem jeweiligen Anteil der Einzelwirkungsgrade am Gesamtwirkungsgrad aufgeteilt.

durch den Fernwärmeabsatz erzeugt, annähernd 20 % durch den Einsatz von Heizöl. Die Verbrennung des städtischen Müllaufkommens erzeugte 2013 relativ geringe 4.300 Tonnen Treibhausgase. Holz-Heizungen sowie Biogas- und solarthermische Anlagen waren nur für 1.500 Tonnen Treibhausgasemissionen verantwortlich. Die deutlichste Entwicklung kann die Fernwärmebereitstellung verzeichnen. So wurden 2013 über 45 Tsd. Tonnen weniger Treibhausgase als im Basisjahr 2006 emittiert. Insgesamt fällt die Reduktion an Treibhausgasen durch die Inbetriebnahme Biomasse-HKW II allerdings geringer aus als erwartet. Ein hoher Erdgaseinsatz und damit einhergehende geringe Auslastung der Biomasse-Kraftwerke verhindern hier den deutlichen Abschlag an Emissionen.

Abb. 40 | THG-Emissionen des kommunalen Wärmeverbrauchs von Ulm (Basisjahr 2006)



Eigene Berechnungen (nicht witterungsbereinigt)

>>> EMISSIONEN DES STROMSEKTORS

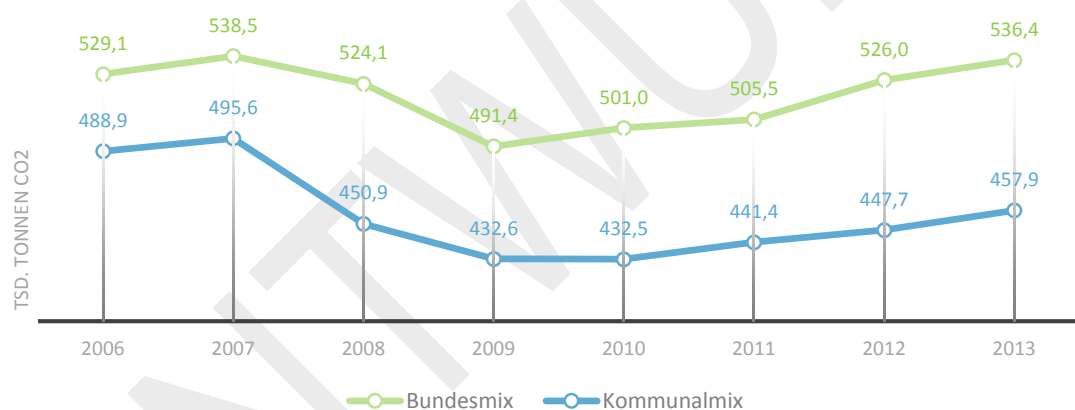
Für eine vergleichbare und amtliche Treibhausgasbilanzierung des Stromsektors muss der gesamte Stromverbrauch mit dem Emissionsfaktor bundesweiten Strominlandsverbrauches bilanziert werden. Im Rahmen eines kommunalen Klimaschutzkonzeptes ist es allerdings sinnvoll, auch die kommunale Stromerzeugung zu berücksichtigen, damit den Investitionen der Stadtwerke und Bürger in erneuerbare oder saubere Energiequellen Rechnung getragen werden kann. Für den Stadtkreis Ulm führt diese Art der Bilanzierung zu deutlich geringeren Emissionsfaktoren im Vergleich zum bundesweiten Faktor (Tab. 12). Der SWU-Kommunalmix berücksichtigt die gesamte Stromerzeugung aus eigenen Anlagen sowie allen Kraftwerken in Beteiligungen, abhängig von der Höhe der jeweiligen Beteiligung. Diese Stromerzeugung gehört zur Angebotspalette der SWU Energieversorgung und kann Ulm daher nur anteilig in Höhe des Stromverkaufes an das Stadtgebiet zugerechnet werden. Im Kommunalmix Ulm werden anteilig 20 % der Nettostromeinspeisung des MHKW Donautal bilanziert sowie die volle Höhe der Stromerzeugung aus den privaten Photovoltaik- und Biogasanlagen sowie der Deponiegasanlage Eggingen.

Tab. 12 | Emissionsfaktoren des kommunalen Endenergieverbrauchs im Stromsektor (seit 2006)

EMISSIONSFAKTOREN [g/kWh]	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Bundesmix (Strominlandsverbrauch)	609	623	588	573	559	564	586	595
Kommunalmix (SWU) ¹	154	139	329	288	307	316	302	392
Kommunalmix (Ulm) ¹	277	300	282	284	260	222	209	214

¹ Inklusive der Emissionen aus eventuellen Vorketten

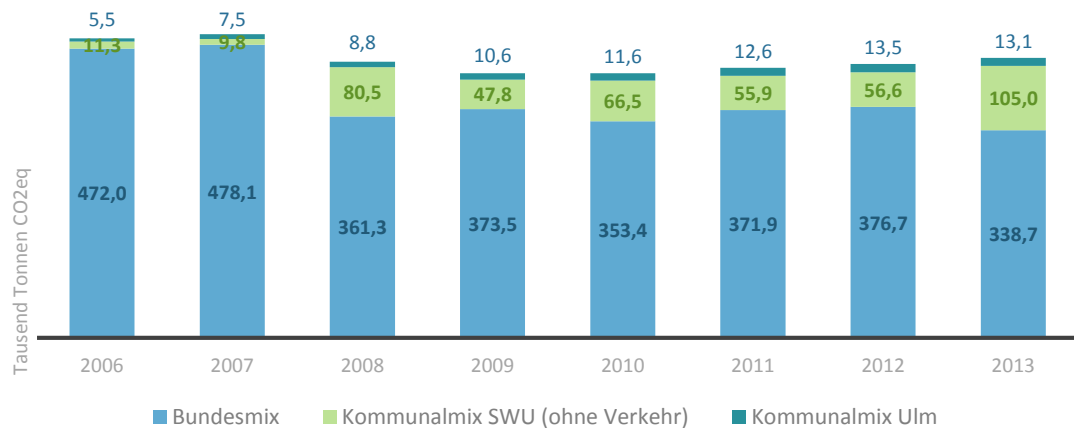
Die geringeren Emissionen der kommunalen Eigenerzeugung führen zu einer Treibhausgasreduktion von über 78 Tsd. Tonnen gegenüber der Bilanzierung mit dem Emissionsfaktor des deutschen Strommixes (Abb. 41). Die mit diesem Faktor berechneten Emissionen des Stromverbrauchs im Jahr 2013 liegen auf dem zweithöchsten Niveau seit 2006. Unter Berücksichtigung des Kommunalmixes kann absolut gesehen eine Verringerung der Emissionen gegenüber dem Basisjahr 2006 um über 30 Tsd. Tonnen ausgemacht werden. Insgesamt sorgen sich verschlechternde Emissionsfaktoren und ein leicht steigender kommunaler Stromverbrauch seit 2009 allerdings für einen kontinuierlichen Anstieg der Emissionen.

Abb. 41 | THG-Emissionen des Stromverbrauches (mit Verkehr) nach Bilanzierungsart

Eigene Darstellung (Quelle: UBA, Eigene Berechnungen)

Die Inbetriebnahme des Trianel GuD-Kraftwerks Hamm im Jahr 2008 verursacht einen abrupten Anstieg der kommunalen Strom-Eigenerzeugung und geht mit einer deutlichen Reduktion der THG-Emissionen einher (Abb. 42). Bei gleichem Stromverbrauch wurde ein großer Teil des bundesweiten Strommixes durch die relativ saubere Verbrennung von Erdgas ersetzt. Seit 2008 stagniert die nachhaltige Entwicklung und hat erst wieder im Jahr 2013 mit Inbetriebnahme des Trianel Steinkohlekraftwerks Lünen an Fahrt gewonnen. Hier allerdings aufgrund des schlechten Emissionsfaktors in die falsche Richtung. Dennoch lag der Anteil der kommunalen Strom-Eigenerzeugung 2013 bei annähernd 37 % während dem nur 26 % der emittierten Treibhausgase entgegensteht. Auch die reine kommunale Eigenerzeugung aus Privatanlagen hat ihren Anteil zwischen 2006 und 2013 von 2 auf 7 Prozent deutlich erhöhen können, während gleichzeitig die anteiligen THG-Emissionen nur von 1 auf 3 Prozent anstiegen.

Abb. 42 | THG-Emissionen des kommunalen Stromverbrauchs (ohne Verkehr) seit 2006

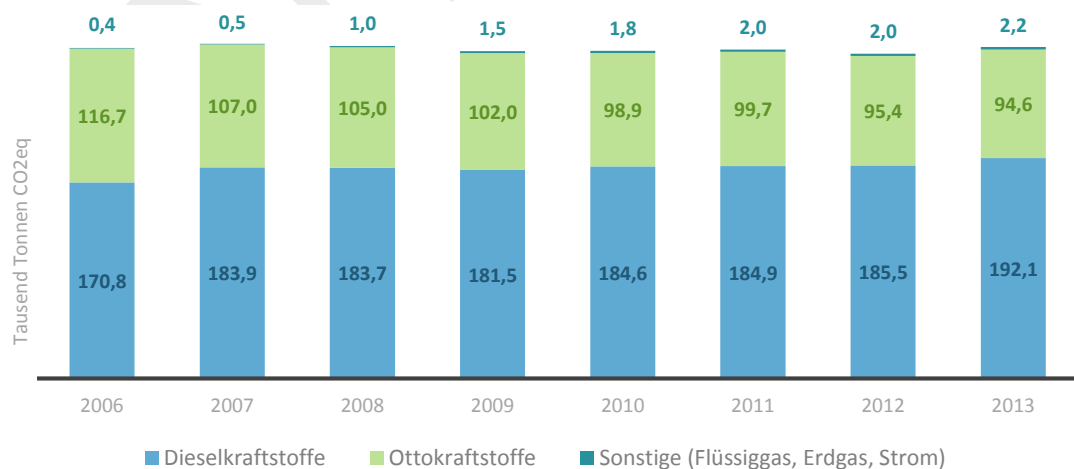


Eigene Berechnungen

>>> EMISSIONEN DES VERKEHRSSEKTORS

Die Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors liegen seit 2006 unverändert bei annähernd 290 Tsd. Tonnen CO₂-Äquivalenten. Dabei lässt sich erkennen, dass eine kontinuierliche Verringerung von Emissionen aus Ottokraftstoffen annähernd vollständig durch eine Erhöhung der Emissionen aus Diesellokraftstoffen einhergeht. Der Anteil der anderen Kraftstoffe Flüssiggas, Erdgas und Strom konnte absolut betrachtet zwar stark zunehmen, ist aber nach wie vor mit einem Anteil von unter einem Prozent relativ unbedeutend für die Gesamtemissionen im Verkehrssektor. Ziemlich genau zwei Drittel der Treibhausgase werden durch die Verbrennung von Diesellokraftstoffen emittiert, während annähernd ein Drittel durch die Verbrennung von Ottokraftstoffen entsteht (Abb. 43).

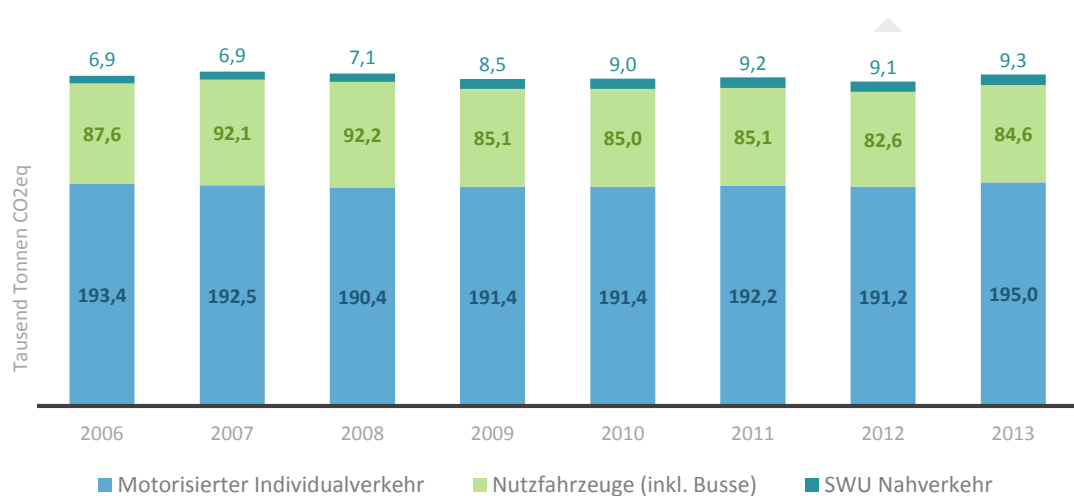
Abb. 43 | THG-Emissionen des kommunalen KFZ-Bestandes nach Kraftstoffart (seit 2006)



Eigene Darstellung auf Basis von Jahresfahrleistungen, Durchschnittsverbräuchen und Emissionsfaktoren

Erwartungsgemäß stellt der motorisierte Individualverkehr mit 68 % den Hauptverursacher der Verkehrsemissionen 2013 dar (Abb. 44). Nutzfahrzeuge erzeugten 29 % der Treibhausgase, der SWU Nahverkehr war für etwa 3 % verantwortlich. Von den insgesamt 9.300 Tonnen sind 1.100 Tonnen auf den Stromverbrauch der Straßenbahn zurückzuführen, die einen deutlich geringeren Verkehrsanteil im Vergleich zu Bussen aufweist. Dies verdeutlicht die Relevanz des Strommixes für den Einsatz elektrifizierter Verkehrsmittel. Denn selbst der Stromerzeugungsmix der SWU, obgleich deutlich besser als der deutschlandweite Strommix, besitzt immer noch einen schlechteren Emissionsfaktor als Diesel oder Benzin.

Abb. 44 | THG-Emissionen des kommunalen KFZ-Bestandes nach Nutzungsart (seit 2006)



Eigene Darstellung auf Basis von Jahresfahrleistungen, Durchschnittsverbräuchen und Emissionsfaktoren



EXKURS: DIE NEUE STRAßENBAHNLINIE 2

Als „Linie 2“ wird der völlige Neubau einer 9,3 Kilometer langen Straßenbahn-Gleisstrecke zwischen dem Science Park II und dem Schulzentrum Kuhberg in Ulm beschrieben. Das 122 Mio. Euro Projekt soll Ende 2017 abgeschlossen werden und wurde in zwei Teilstücke aufgeteilt, die jeweils 2016 und 2018 in Betrieb gehen sollen. Die Streckenlänge von insgesamt 10,5 km wird 21 Haltestellen bedienen, von denen 18 vollständig neu gebaut werden. Dabei wird die Straßenbahn mit Ökostrom aus Wasserkraft betrieben.

Um das Klimapotenzial der zweiten Straßenbahnlinie abzuschätzen, kann in einfacher Näherung angenommen werden, dass jede Strecke die elektrisch gefahren wird, die Fahrleistung des Busverkehrs in gleicher Höhe reduziert. In progressiver Vorgehensweise kann auch angenommen werden, dass die Strecke im Jahresschnitt alle 10 Minuten bedient wird. Daraus ergibt sich eine Gesamtfahrleistung von geschätzten 550.000 Kilometern, eine annähernde Verdopplung der bisherigen Gesamtfahrleistung aller Straßenbahnen. Bei einem Bus-Dieselvebrauch von 62 Litern auf 100 Kilometer wären das im Optimalfall 340 Tsd. eingesparte Liter, was einem Energiegehalt von etwa 3 GWh entspräche. Das Treibhausgas-Einsparpotenzial durch die Inbetriebnahme der Straßenbahnlinie 2 kann demnach auf maximal 1.000 Tonnen, oder 0,3 % der Gesamtemissionen des Verkehrssektors, abgeschätzt werden.