

Energie- und CO₂-Bilanz für Tübingen 2006 – 2017 – ausführliche Darstellung –

1. Methodik der Bilanzierung

Wie bei CO₂-Bilanzierungen üblich, sind neben CO₂ auch andere Treibhausgase in die Bilanzen integriert. Gase wie Methan oder Lachgas werden in CO₂-Äquivalente umgerechnet und der eigentlichen CO₂-Emission angerechnet. Für den Energiesektor spielen diese Gase aber nur eine untergeordnete Rolle, da sie vornehmlich in der Landwirtschaft gebildet werden. Aus Übersichtlichkeitsgründen wird hier von „CO₂-Bilanz“ und „CO₂-Emissionen“ gesprochen. Die vorgelegte Energie- und CO₂-Bilanz setzt sich sowohl aus statistischen Angaben (bundesdeutsche Mittelwerte) als auch aus Tübinger Gegebenheiten und gemessenen Verbrauchswerten zusammen.

Die Energie- und CO₂-Bilanzierung beruht auf dem Territorialprinzip, d.h. es wird der gesamte Energieverbrauch auf dem Gemeindegebiet Tübingen bilanziert. Für die CO₂-Bilanz wird zudem die Vorkette für die Bereitstellung eines Energieträgers angerechnet, sodass auch die CO₂-Emissionen, die außerhalb Tübingens durch Abbau, Förderung, Verarbeitung und Transport der Energieträger (z. B. Erdgas, Heizöl, Strom) entstanden sind, in die Bilanz einfließen. Die Bilanzierung umfasst alle energiebedingten CO₂-Emissionen (Treibstoffe, Strom, Wärme- und Prozessenergie). Den Energieträgern sind dazu spezifische CO₂-Emissionsfaktoren (g CO₂ pro kWh) unterlegt.

Für die Bilanzierung der Jahre 2006 - 2009 wurde das Bilanzierungstool „ECOSPEED Region“ und für die Jahre 2010 - 2017 das Bilanzierungstool „BICO2 BW“ angewendet. Der Umstieg erfolgte aus Kostengründen und aufgrund höherer Praktikabilität.

Da Flugverkehre für Tübingen nicht im Territorialprinzip enthalten sind, bleiben sie unberücksichtigt. Zudem sind durch den Konsum von Lebensmitteln, Rohstoffen, Waren etc. von außerhalb Tübingens bedingte (indirekte) CO₂-Emissionen auch nicht enthalten, da dazu keine verlässlichen Daten verfügbar sind. Ebenso sind auch Emissionen für Produkte, die Tübingen verlassen, nicht abgezogen.

2. Datengrundlage

Die Datengrundlage der Bilanzen besteht aus Daten unterschiedlichster Qualität (exakte Daten, extrapolierte Daten, bundesweite Mittelwerte und Annahmen). Als wesentliche Datenquellen sind zu nennen:

- Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg: Gebäudebestand nach Heizungsart; Wohnfläche nach Baujahr und Zahl der Wohnungen; Energieverbrauch kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen, Jahresfahrleistung Straßenverkehr im Gemeindegebiet
- Einwohnermelderegister der Stadt Tübingen: Einwohnerzahl (Hauptwohnsitz)
- Statistisches Landesamt: Anzahl der Beamtinnen und Beamten
- Stadtwerke Tübingen: Daten für ÖPNV, Strom, Gas und Fernwärme
- MVV Enamic Contracting GmbH: Verbrauchsdaten zum Fernheizwerk II
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Daten zur Solarthermie-Kollektorfläche

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
EW	76.289	76.267	77.505	80.215	80.775	81.472	82.633	83.490	83.917	85.549	86.470	87.572
API	49.315	51.461	52.247	53.278	54.355	54.812	56.463	57.322	57.302	59.848	60.906	61.327
PKW	33.339	32.601	33.657	34.036	34.415	35.008	35.362	35.250	35.879	36.002	36.352	37.510
Str	397,04	392,22	393,24	388,12	395,01	392,61	396,03	393,55	391,06	393,02	393,82	391.88
GSt.	32,839	35,687	32,841	24,142	24,493	29,729	42,504	46,305	41,184	37,588	45,731	41,561
EP	21.376	21.612	22.241	22.470	23.314	23.737	24.524	25.213	25.777	26.557	27.737	28.533
AP	9.457	9.650	10.016	10.058	10.032	10.457	10.786	11.076	11.498	11.923	12.734	13.371

Tab. 1: Ausgewählte Daten zu Tübingen

EW: Einwohnerinnen und Einwohner mit Hauptwohnsitz

API: Arbeitsplätze (Beschäftigte, geringfügig Beschäftigte, Beamtinnen und Beamte)

PKW: zugelassene PKW und Kfz zur Personenbeförderung

Str: Privater, gewerblicher und öffentlicher Strombedarf in GWh/Jahr

GSt.: Gewerbesteuer in Mio. Euro

EP: sozialversicherungspflichtig-beschäftigte Berufs-Einpendler

AP: sozialversicherungspflichtig-beschäftigte Berufs-Auspendler

Wie Tabelle 1 zeigt, ist Tübingen innerhalb des Bilanzierungszeitraumes kontinuierlich gewachsen in Bezug auf die Zahl der Arbeitsplätze (plus 24,4 %) und in Bezug auf die Einwohnerinnen und Einwohner (plus 14,8 %). Einen deutlichen Anstieg gab es seit 2006 auch bei den Gewerbesteuer-einnahmen, wenn auch die Einnahmen im Jahr 2017 etwas niedriger ausgefallen sind als im Vorjahr.

3. Energiebilanz (End-Energiebedarf)

Der Gesamtendenergiebedarf für Wärme, Kälte, Prozessenergie, Strom und Mobilität in Tübingen lag im Jahr 2017 bei 1.779 GWh. Daraus ergibt sich ein End-Energiebedarf von 20.311 kWh/EW. 2006 lag der Energiebedarf noch bei 2.140 GWh bzw. bei 28.046 kWh/EW. Die Verteilung für 2017 auf die einzelnen Energieträger zeigt Abbildung 1. Klar erkennbar ist, dass die Energieversorgung in Tübingen weiterhin überwiegend auf Basis fossiler Energieträger erfolgt, die bei ihrer Verwendung Treibhausgase erzeugen und die nach Tübingen importiert werden müssen.

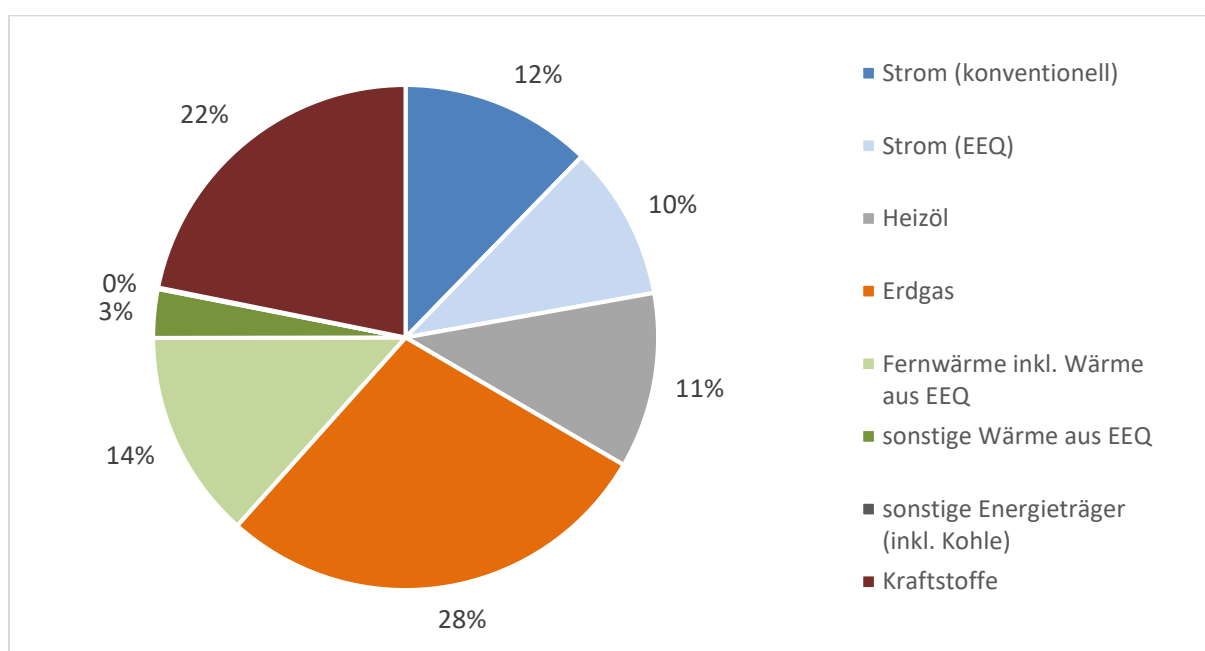


Abb. 1: Anteil der Energieträger am gesamten End-Energieverbrauch (1.779 GWh) im Jahr 2017

3.1. Energiebilanz – Sektor Wärme

Wie Abbildung 1 zeigt, entfallen rund 56 % des End-Energiebedarfs auf den Bereich Wärme, Prozessenergien (und ggf. Kälte). Auf die Funktionsgebäude im Eigentum der Stadt entfielen dabei im Jahr 2017 rund 14,9 GWh bzw. 1,5 % des End-Energiebedarfs aus dem Nutzungsfeld Wärme.

In Tübingen steigt die Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen (EEQ) kontinuierlich an. Ein Beispiel dafür ist die Erzeugung von Solarwärme mithilfe von Solarthermieanlagen im Gemeindegebiet. Hier gab es, wie in Abbildung 2 erkennbar ist, von 2006 bis 2017 einen Zuwachs von über 200 %. Basis zur Ermittlung der Energiemengen ist die Solarthermieförderung des Bundes.

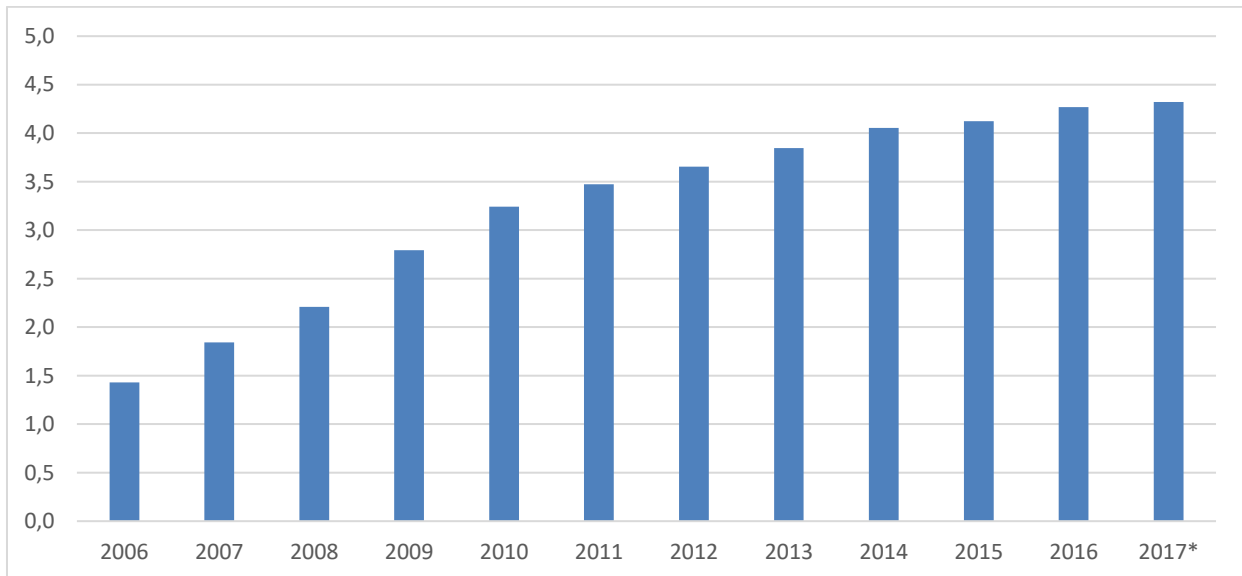


Abb. 2: Erzeugung von Solarwärme in Tübingen, in GWh [Quelle: ECOregion bzw. BICO2BW]
*Stand 30.11.2017

Auch das Brennholz aus dem Tübinger Stadtwald wird für die Wärmeerzeugung verwendet. Im Jahr 2017 wurde Brennholz mit einem Heizwert von über 9,2 GWh Wärme aus dem Stadtwald gewonnen – mehr als doppelt so viel, wie die mithilfe von Solarthermie erzeugte Wärme (siehe Abb. 2). Neben dem Stadtwald gibt es aber noch Waldflächen auf dem Gemeindegebiet, welche sich in Privatbesitz befinden. Auch hier wird vermutlich Brennholz erzeugt, doch liegen dazu keine Daten vor. Die größte Anlage zur Wärmeerzeugung aus Holz, das jedoch nach Tübingen importiert wird, ist das UKT-Heizwerk auf der Morgenstelle mit einem Brennstoffbedarf aus Holz von 80,2 GWh in 2017.

3.2. Energiebilanz – Sektor Strom

Der Sektor Strom entspricht, wie in Abbildung 1 erkennbar, im Jahr 2017 rund 22,2 % des gesamten End-Energieverbrauchs. Bei Betrachtung des gesamten Berichtszeitraumes (Abb. 3), blieb der Strombedarf auf dem Gemeindegebiet Tübingen relativ konstant im Bereich unterhalb von 400 GWh pro Jahr, obwohl Einwohnerzahlen und Arbeitsplätze deutlich angestiegen sind. Auf die Funktionsgebäude im Eigentum der Stadt entfallen jährlich stets rund 4 GWh – also etwa 1 Prozent des Gesamtstrombedarfs. Zudem ergab sich für die öffentliche Straßenbeleuchtung ein Jahresstromverbrauch von ca. 3,5 GWh.

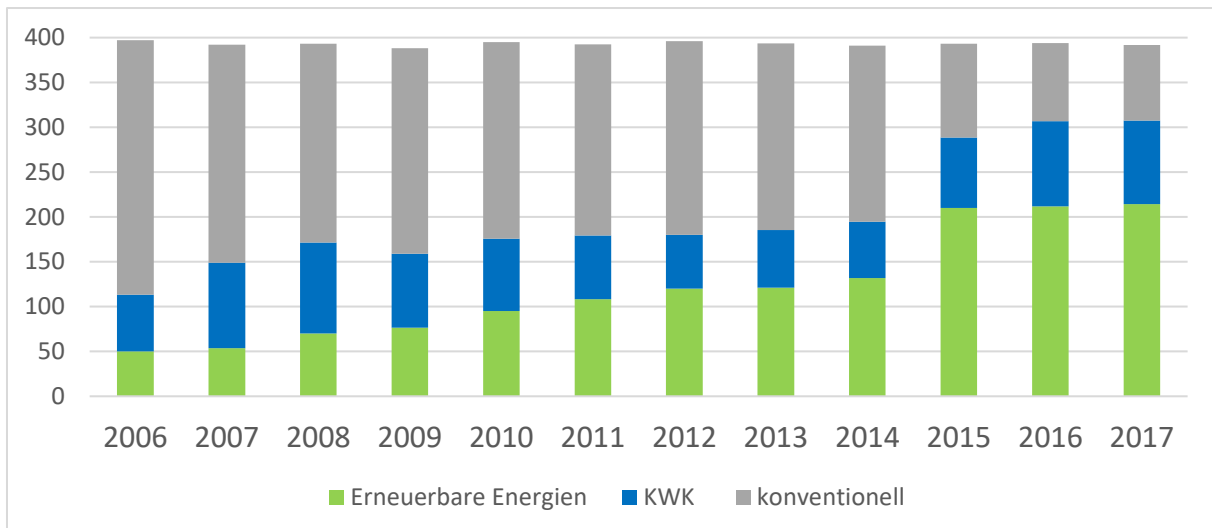


Abb. 3: Stromherkunft für Tübingen 2006 – 2017, in GWh

Die Herkunft des in Tübingen verbrauchten Stroms hat sich in den letzten Jahren deutlich zum Positiven entwickelt. 2017 stammte der Strom zu 55 % aus Erneuerbaren Energien (EE) und zu 24 % aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) der SWT. 2006 lag dieser Wert noch bei 13 bzw. 16 %. Der EE-Strom setzt sich aus lokalen Stromquellen, dem Zukauf von Wasserkraftstrom aus Österreich (145 GWh aus Herkunftsnachweisen für Ökostrom-Tarif) und dem EE-Anteil im deutschen Strom-Mix zusammen. Hauptursache für die positive Entwicklung ist neben dem Ausbau der Erneuerbaren im Bundesmix der zunehmende Umstieg auf Ökostrom-Bezug. Besonders relevant ist dabei die Umsetzung des im April 2014 vom Umweltministerium Baden-Württemberg vorgelegten Konzeptes für eine klimaneutrale Landesverwaltung. Im Rahmen der Umsetzung beziehen auch Universität und Universitätsklinikum, die zusammen einen Strombedarf von ca. 100 GWh/Jahr haben, seit 2015 Strom über einen Ökostrom-Tarif. Für den Bezug von Strom über Ökostrom-Tarife wird Strom i. d. R. mit Herkunftsnachweisen (HKNs) aus dem europäischen Ausland bezogen, denn der allergrößte Teil des EE-Stroms in Deutschland wird bereits über das EEG (garantierte Einspeisevergütung) vermarktet und darf somit nicht noch einmal als Ökostrom verkauft werden. Perspektivisch wird es auch deutschen Wind- und Solarstrom für deutsche Kunden geben, wenn die Parks nicht mehr nach EEG vergütet werden, sondern direkt vom Stromhändler. Die Herkunftsnachweise schaffen laut dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg eine wichtige Voraussetzung dafür, dass der Bezug von Ökostrom als Minderungsmaßnahme des eigenen CO₂-Fußabdrucks anerkannt werden kann, da über dieses System eine Doppelvermarktung des ökologischen Nutzens von Strom aus erneuerbaren Energien als auch eine Doppelvergütung ausgeschlossen sind.

3.3. Energiebilanz – Sektor Verkehr

Der Mobilitätssektor (auf Basis des Kraftstoffverbrauchs) verursacht 21,8 % des Tübinger End-Energieverbrauchs (siehe Abb. 1) und ist damit der kleinste der drei Verbrauchssektoren. Im Verkehrssektor ist die Datengrundlage für die Bilanz jedoch sehr ungenau, sodass nur eine qualitative Einschätzung erfolgt: Wie in Tabelle 1 ersichtlich wird, steigt die Anzahl der PKW in Tübingen seit 2006 an: seitdem ist hier ein Zuwachs von 12,5 % zu verzeichnen. Der Großteil der privaten PKW besitzt einen Verbrennungsmotor und trägt somit zum Kraftstoffverbrauch und zum CO₂-Ausstoß bei – im Jahr 2017 betrug der Anteil an Elektro- und Hybrid-PKW in der Stadt Tübingen mit 335 Elektro- und Hybrid-PKW nur 0,9 %, doch die Zahl steigt: allein im Jahr 2017 gab es einen

Zuwachs an Elektro-PKW (inkl. Hybrid) von knapp 44 %. Ebenfalls ist in Tübingen seit einigen Jahren ein Anstieg der Berufs-Ein- und -Auspendler (siehe Tabelle 1) zu verzeichnen.

Neben dem PKW-Bestand hat auch die Jahresfahrleistung in Tübingen von 2010 bis 2017 leicht zugenommen: beim innerstädtischen Verkehr gab es einen Zuwachs von 3 %, während der Verkehr außerhalb um knapp 7 % gesteigert wurde. Aufgrund von Unterschieden in der Datengrundlage für die Verkehrsemissionen sind die Daten aus ECOSPEED nicht mit BICO2BW direkt vergleichbar.

Mit der aktuellen Software-Version von BICO2BW mussten auch die Energieverbräuche aus dem Verkehrssektor für die Jahre vor 2017 neu berechnet werden, da Messungen ergaben, dass der spezifische Verbrauch pro Kilometer über den bisherigen Annahmen lag und es somit zu einer allgemeinen Anpassung der Berechnungsgrundlage kommen musste.

4. Energiebedingte CO₂-Emissionen (inkl. Vorketten)

Um aus den Energieverbräuchen eine CO₂-Bilanz zu erstellen, wurden allen Energieträgern spezifische CO₂-Faktoren (CO₂-Äquivalente) hinterlegt, die auch die Vorketten miteinbeziehen. Diese werden jährlich vom Herausgeber BICO2 BW, ggf. auch für zurückliegende Jahre, aktualisiert, sodass Werte für frühere Bilanzierungsjahre ebenfalls stetig aktualisiert werden müssen.

Seit 2020 gibt es eine neue Version der BICO2 BW-Software, welche erstmals für die CO₂-Bilanz für 2017 angewendet wurde, die insbesondere beim Verkehr von früheren Versionen abweicht (siehe 3.3.). Daraufhin wurden alle Bilanzen der letzten Jahre nochmal in der neusten BICO2 BW-Version gerechnet und diese neuen Zahlen verwendet. Ebenfalls wurden die Verkehrswerte für die Jahre 2006-2009, in welchen noch das ECOSPEED Region-Tool verwendet wurde, extrapoliert und die neuen Zahlen verwendet.

Aus dieser Berechnung ergeben sich für das Jahr 2017 für Tübingen energiebedingte CO₂-Emissionen von 467.363 Tonnen beziehungsweise von 5,34 t/EW. 2006 wurden noch 643.519 Tonnen CO₂ insgesamt bzw. 8,44 t CO₂ pro Einwohner emittiert. Somit konnten innerhalb von 12 Jahren die absoluten CO₂-Emissionen um 27,4 % und die Pro-Kopf-Emissionen um 36,7 % gesenkt werden.

Die anteilige Verteilung auf die drei Nutzungsfelder Verkehr, Wärme (inkl. Prozessenergie und Kälte) und Strom in Tübingen zeigen Abbildung 4 (in absoluten Zahlen) und Abbildung 5 (pro Einwohner).

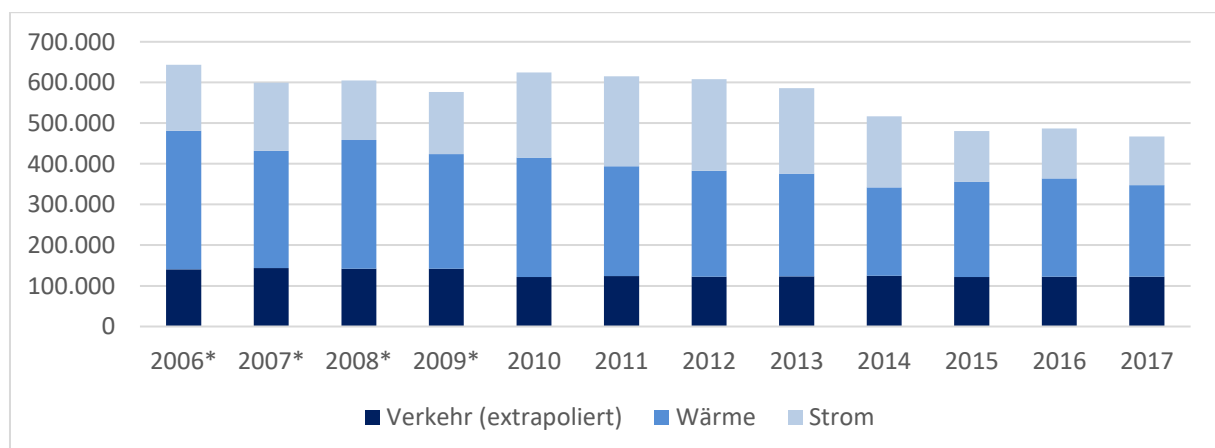


Abb. 4: Energiebedingte CO₂-Emissionen (inkl. Vorketten) von 2006 - 2017 in t; Bilanzierungstools: 2006 - 2009 ECOSPEED Region; 2010 - 2017 BICO2 BW

* Verkehrswerte (ECOSPEED Region) von 2006 bis 2009 extrapoliert auf Basis der Änderungen bei BICO2BW.

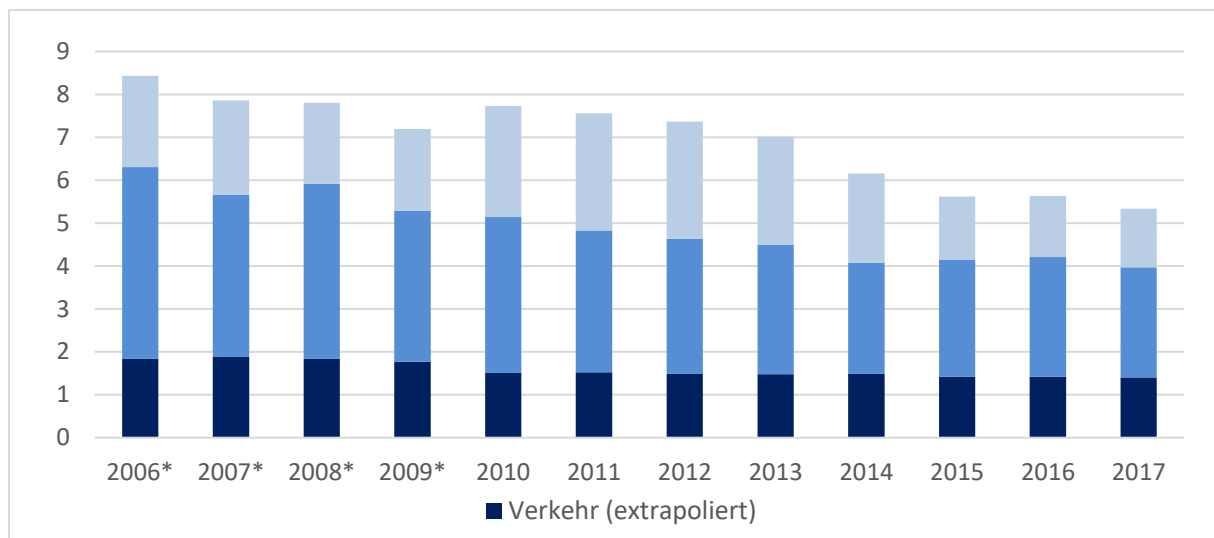


Abb. 5: Energiebedingte CO₂-Emissionen (inkl. Vorketten) pro Einwohner von 2006 - 2017 in t/EW; Bilanzierungstools: 2006 - 2009 ECOSPEED Region; 2010 - 2017 BICO2 BW

* Verkehrswerte (ECOSPEED Region) von 2006 bis 2009 extrapoliert auf Basis der Änderungen bei BICO2BW.

4.1. Energiebedingte CO₂-Emissionen – Sektor Wärme

Sowohl die absoluten, als auch die relativen (pro Kopf) CO₂-Emissionen aus der Wärmeenergieerzeugung sind über den Berichtszeitraum rückläufig. Ein direkter Vergleich dieser Werte über den gesamten Betrachtungszeitraum 2006 – 2017 ist aber mit Vorbehalt zu ziehen, da bei beiden Tools unterschiedliche Berechnungsgrundlagen und Emissionszuordnungen zugrunde liegen. Insbesondere der Brennstoffeinsatz und Output (Wirkungsgrad) für KWK-Anlagen wird bei BICO2 BW besser erfasst als bei ECOSPEED Region. Grundsätzlich lässt sich dennoch ein deutlicher Trend zur CO₂-Reduktion der Wärmeenergie in absoluten und relativen Zahlen feststellen.

Allein innerhalb der acht Jahre 2010 - 2017 kam es zu einer (absoluten) Reduktion von 23,3 %. Der deutlich gestiegene Einsatz von Erneuerbaren Energien zur Wärmeerzeugung (insbesondere seit der Wieder-Inbetriebnahme des Heizwerks auf der Morgenstelle), die signifikante Reduktion des Heizölbedarfs (insbesondere im Gewerbesektor), Maßnahmen zur Effizienzsteigerung und der Ausbau der Erdgasnutzung tragen zu dieser Reduktion bei.

4.2. Energiebedingte CO₂-Emissionen – Sektor Strom

Die Darstellung der CO₂-Emissionen im Sektor Strom stellt die Entwicklungen in den Maßnahmenbereichen Stromeinsparung, Ausbau der ökologischen Stromerzeugung auf dem Gemeindegebiet und Erhöhung des Absatzes von Ökostrom zusammenfassend dar. Es wird mit dem sogenannte regionalen Strommix gerechnet, wobei Strom, der über HKNs (insbesondere Wasserkraftstrom aus Österreich) bezogen wurde, in der Bilanzierung so betrachtet wird, also ob die Erzeugungsanlage auf dem Gemeindegebiet Tübingen steht (siehe auch Kapitel 3.2).

Beim Strombedarf konnte der absolute CO₂-Ausstoß im Berichtszeitraum um 26,4 % gesenkt werden. Hier stehen 162.455 t CO₂ im Jahr 2006 und 119.603 t CO₂ für 2017 gegenüber. Der CO₂-Ausstoß pro EW sank im Strombereich um 35,9 %.

4.3. Energiebedingte CO₂-Emissionen – Sektor Verkehr

Die Daten zum Verkehr sind weiterhin mit großen Unsicherheiten behaftet. Zum einen können hier nur Mittelwerte angelegt werden und zum anderen gab es in der Vergangenheit wiederholt Änderungen in der Statistik. Nach einem deutlichen Rückgang bei den absoluten CO₂-Emissionen zum Jahr 2010, der teilweise auch Ursache von einer geänderten Statistik sein kann, sind die CO₂-Emissionen im Verkehrsbereich relativ konstant geblieben. Die absoluten CO₂-Mengen aus dem Verkehr liegen seit 2010 bei +/- 123.000 Tonnen (Tendenz der letzten Jahre leicht steigend). Bei den Pro-Kopf-Emissionen zeigt sich von 2010 bis 2017 eine Reduktion um 7 %.

5. Anrechenbare Klimaschutzleistungen

Wie in der Vorlage 214/2019 dargestellt, sollen für die Zielsetzung „klimaneutral 2030“ nur die zusätzliche CO₂-Bindung im Holz auf der Gemarkung Tübingen und die CO₂-Reduktion über exterritoriale Anlagen zur Nutzung von Erneuerbaren Energien, die unter direkter Kontrolle des „Konzerns Stadt“ (in diesem Falle der Stadtwerke Tübingen; SWT) stehen, positiv angerechnet werden.

Um die Klimaschutzleistung der SWT-Anlagen außerhalb des Gemeindegebietes zu berechnen, wurden die spezifischen Faktoren aus BICO₂ BW der unterschiedlichen Stromerzeugungsarten herangezogen und das Delta zum konventionellen Bundesstrommix berechnet. Durch die 2017 erzeugten Strommengen aus Photovoltaik-, Wind- und Wasserkraft konnten die SWT eine Klimaschutzleistung von 139.369 Tonnen CO₂ erbringen.

Für die Klimaschutzleistung des Waldes kann aktuell nur eine grobe Abschätzung vorgenommen werden, welche auf den Ergebnissen einer umfangreichen Untersuchung zur Bilanzierung des Forsts in Freiburg basiert. Darauf aufbauend nahm der Landesbetrieb Forst Baden-Württemberg (ForstBW) eine grobe Abschätzung vor: Für das Jahr 2006 ergibt sich ein CO₂-Vorrat im Tübinger Stadtwald von ca. 640.000 Tonnen CO₂, der aktuelle Wert für 2019 (Zahlen für 2017 liegen nicht vor) liegt bei 761.000 Tonnen. Dieser Zuwachs wird für die Darstellung gleichmäßig auf alle Jahre aufgeteilt: Für das Jahr 2017 ergibt sich so eine Klimaschutzleistung von ca. 9.300 Tonnen für den Wald der Stadtverwaltung Tübingen. Daten für die Waldwirtschaft Dritter auf dem Gemeindegebiet liegen nicht vor.

Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Klimaschutzleistung des Waldes nicht nur in der lokalen CO₂-Bindung im Wald besteht. Holz, das für dauerhafte Anwendungen (z. B. Holzbauweise) genutzt wird, bindet CO₂ dauerhaft im Baustoff und substituiert häufig den sehr CO₂-intensiven Baustoff Beton.

6. Bilanzierung

Den energiebedingten CO₂-Emissionen (inkl. Vorketten) auf dem Gemeindegebiet von 467.363 Tonnen CO₂ in 2017 stehen Kompensationsbeiträge von 139.369 Tonnen der SWT-Anlagen und 9.300 Tonnen aus der Klimaschutzleistung des Waldes gegenüber. Daraus ergeben sich rund

318.694 Tonnen CO₂, die noch bis zur Klimaneutralität in 2030 vermieden bzw. durch andere Klimaschutzleistungen ausgeglichen werden müssen.