

Energie- und CO₂-Bilanz 2006 – 2021 für das Gemeindegebiet Tübingen

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, obwohl stets CO₂-Äquivalente gemeint sind. Die vorgelegte Energie- und CO₂-Bilanz setzt sich sowohl aus statistischen Angaben (bundesdeutsche Mittelwerte) als auch aus Tübinger Gegebenheiten und gemessenen Verbrauchswerten zusammen. Ergänzt wird dieser Bericht um Indikatoren, die für die Bilanzierung unerheblich sind, für das Gesamtbild der Entwicklung der Klimaschutzbezogenen Aktivitäten aber relevant sind (auch über den Bilanzzeitraum 2021 hinaus).

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. Dies sind z. B. für das Bezugsjahr 2021 bei Erdgas 233 g/kWh, bei Photovoltaik 56 g/kWh und bei der Windkraft 18 g/kWh.

Unberücksichtigt in dieser Bilanzierung bleiben z. B. Flugreisen der Tübingerinnen und Tübingern, da diese nicht im Territorialprinzip enthalten sind. 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 oder Dienstleistungen, die Tübingen verlassen, nicht abgezogen.

Für die Bilanzierung der Jahre 2006 - 2009 wurde das Bilanzierungstool „ECOSPEED Region“ und für die Jahre 2010 - 2021 das Bilanzierungstool „BICO2 BW“ angewendet. Der Umstieg erfolgte aus Kostengründen und aufgrund höherer Praktikabilität.

2. Datengrundlagen

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 (Datenverfügbarkeit derzeit nur bis 2021)
- Einwohnermelderegister der Stadt Tübingen: Einwohnerzahl (Hauptwohnsitz)
- Statistisches Landesamt: Anzahl der Beamtinnen und Beamten
- Stadtwerke Tübingen: Daten für ÖPNV, Strom, Gas, Fernwärme
- MVV Enamic Contracting GmbH: Verbrauchsdaten zum Fernheizwerk II
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Daten zur Solarthermie-Kollektorfläche

	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
EW	76.289	77.505	80.775	82.633	83.917	86.470	87.572	88.711	89.692	88.717	89.877	90.488
API	49.315	52.247	54.355	56.463	57.302	60.906	61.327	62.609	63.431	61.692	64.386	65.580
Pkw	33.339	33.657	34.415	35.362	35.879	36.352	37.510	38.461	39.098	39.748	39.683	39.458
Str.	397,0	393,2	395,0	396,0	391,1	393,8	391,9	392,9	386,4	374,2	387,5	380,5
GSt.	32,839	32,841	24,493	42,504	41,184	45,731	41,561	52,942	49,213	40,349	53,770	69,160
EP	21.376	22.241	23.314	24.524	25.777	27.737	28.533	29.263	29.663	30.520	32.258	32.788
AP	9.457	10.016	10.032	10.786	11.498	12.734	13.371	14.169	14.498	14.312	14.898	15.095

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 33 % seit 2006) und in Bezug auf die Einwohnerinnen und Einwohner (plus 18,6 % seit 2006). Einen deutlichen Anstieg gab es seit 2006 auch bei den Gewerbesteuereinnahmen mit einem neuen Rekordwert im Jahr 2022.

3. Energiebilanz (End-Energiebedarf)

Der Gesamtendenergiebedarf für Wärme, Kälte, Prozessenergie, Strom und Mobilität in Tübingen lag im Jahr 2021 bei 1.766 GWh. Daraus ergibt sich ein End-Energiebedarf von 19.645 kWh/EW. 2006 lag der Energiebedarf noch bei 2.140 GWh bzw. bei 28.046 kWh/EW. Die Verteilung für 2021 auf die einzelnen Energieträger zeigt Abbildung 1. Klar erkennbar ist, dass die Energieversorgung in Tübingen zu rund 81 % - also weiterhin überwiegend - auf Basis fossiler Energieträger erfolgt, die bei ihrer Verwendung Treibhausgase erzeugen und die zu 100 % nach Tübingen importiert werden müssen.

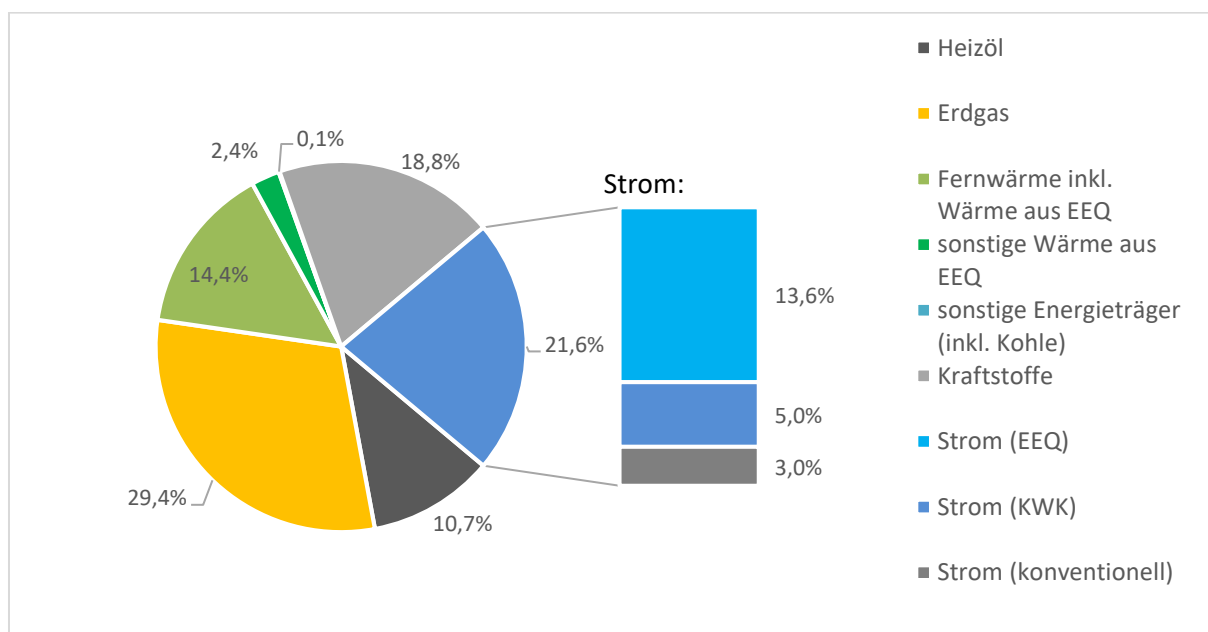


Abb. 1: Anteil der Energieträger am gesamten End-Energieverbrauch (1.766 GWh) im Jahr 2021

3.1. Energiebilanz – Sektor Wärme

Wie Abbildung 1 zeigt, entfallen rund 60 % des End-Energiebedarfs auf den Bereich Wärme, Prozessenergien (und ggf. Kälte). Auf die Funktionsgebäude im Eigentum der Stadt entfielen dabei im Jahr 2021 rund 17,3 GWh bzw. 1,7 % 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 3 erkennbar ist, von 2006 bis 2023 einen Zuwachs von 283 %. Jedoch hat der Anstieg in den letzten 10 Jahren nur eine geringe Dynamik gezeigt. Basis zur Berechnung der angegebenen Energiemengen ist die Solarthermieförderung des Bundes, so dass Anlagen die ohne die (lukrative) Bundesförderung errichtet wurden, hier nicht erfasst werden können.

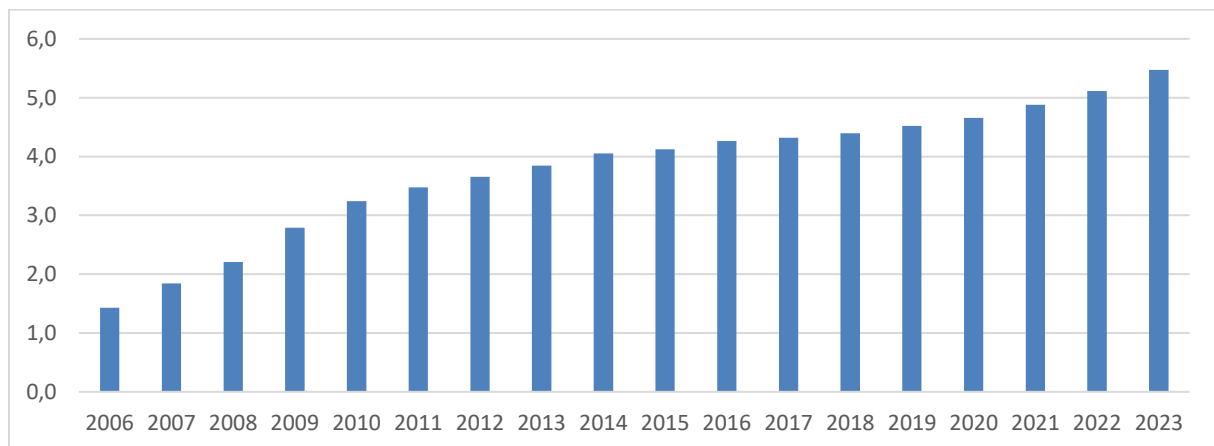


Abb. 3: Erzeugung von Solarwärme in Tübingen, in GWh

3.2 Energiebilanz – Strom

Der Sektor Strom entspricht im Jahr 2021 22 % des gesamten End-Energieverbrauchs und ist damit der kleinste der drei Verbrauchssektoren. Bei Betrachtung des gesamten Berichtszeitraumes (Abb. 4) blieb der Strombedarf (nur Netzbezug) auf dem Gemeindegebiet Tübingen relativ konstant im Bereich unterhalb von 400 GWh pro Jahr, obwohl Einwohnerzahlen und Arbeitsplätze deutlich angestiegen sind. Auffallend ist das Corona-Jahr 2020 mit lediglich 374 GWh. Durch die Zunahme von Photovoltaik-Eigenstromanlagen wird der Netzbezug jedoch den tatsächlichen Strombedarf auf dem Gemeindegebiet immer ungenauer abbilden können. Denn Eigenstromverbräuche können durch die Kommune oder die swt nicht erfasst werden.

Auf die Funktionsgebäude im Eigentum der Stadt entfallen jährlich stets rund 4 GWh – also etwa 1 Prozent des Gesamtstrombedarfs. Der Strombedarf der Straßenbeleuchtung liegt bei 2,7 GWh.

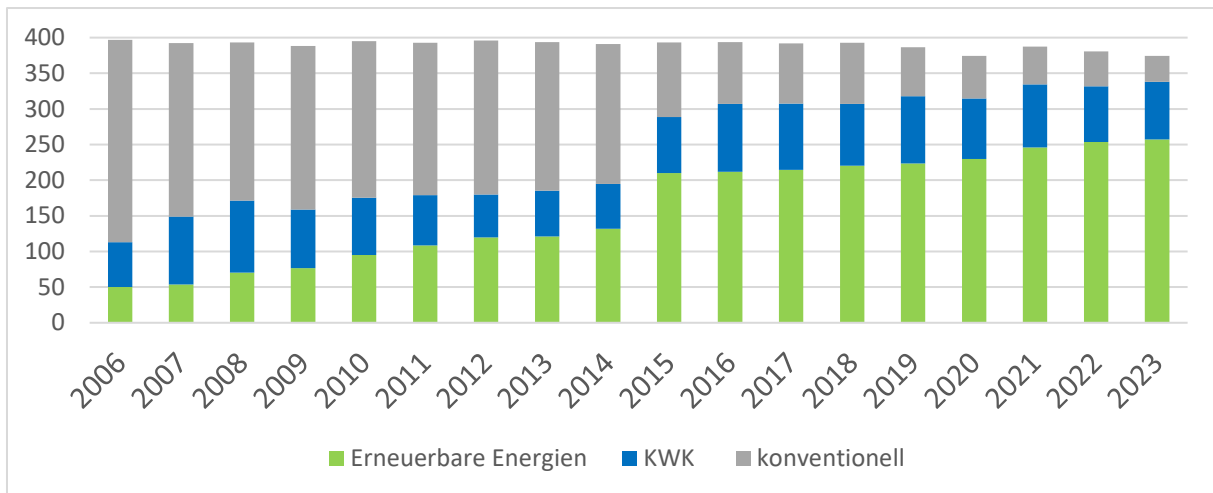


Abb. 4: Stromherkunft für Tübingen 2006 – 2023, in GWh

Die Herkunft des in Tübingen verbrauchten Stroms hat sich in den letzten Jahren deutlich zum Positiven entwickelt. 2023 stammte der Strom zu knapp 69 % aus Erneuerbaren Energien (EE) und zu 22 % aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) der Stadtwerke Tübingen (swt). 2006 lag dieser Wert noch bei 13 bzw. 16 %. Der EE-Strom setzt sich aus lokalen Stromquellen, dem Zukauf von Wasserkraftstrom aus Europa und dem EE-Anteil im deutschen Strom-Mix zusammen.

Ein Beispiel für die Stromerzeugung aus EE ist die Photovoltaik (PV). Die Anzahl der (gemeldeten) Anlagen in Tübingen hat sich von 2006 bis 2023 von 174 auf 2.482 erhöht (+ 1326 %). Die installierte Leistung hat sich von knapp 1.200 auf 33.567 kW-peak (+ 2716 %) erhöht. Die tatsächliche Anzahl und Leistung der Anlagen liegt etwas höher, da manche Anlagen, insbesondere PV-Steckeranlagen, oft nicht an das Marktstammdatenregister gemeldet werden.

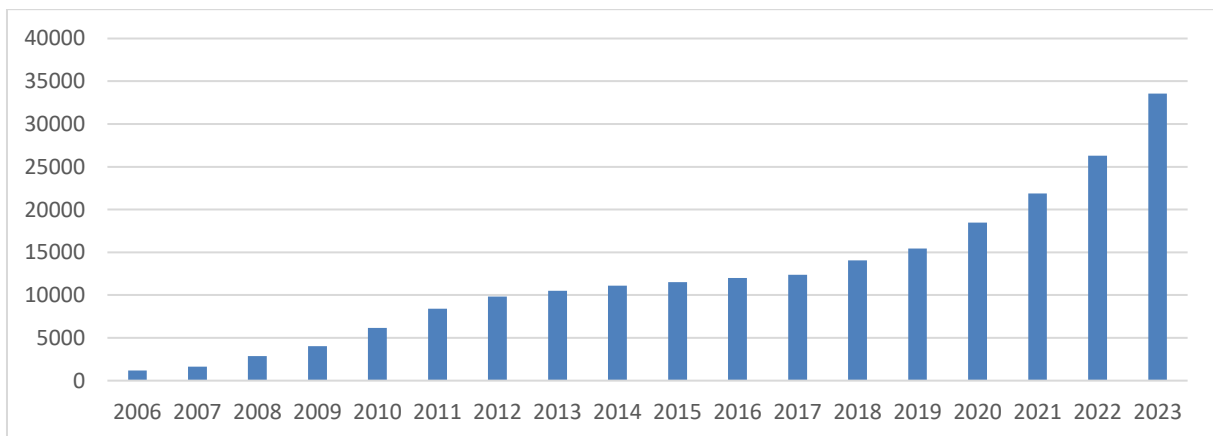


Abb. 5: kumulierte installierte PV-Leistung, in kW-peak

EE-Stromerzeugung der swt außerhalb der Gemeinde Tübingen

Eine sehr positive Entwicklung zeigt sich im Engagement der Stadtwerke Tübingen beim Ausbau Erneuerbarer Energien außerhalb Tübingens, siehe Abbildung 6. Die erzeugten MWh erhöhten sich von 13.622 auf 280.838 im Jahr 2023. Die Windenergie ist mit einem Anteil von knapp 65 % am erzeugten Strom hier dominant.

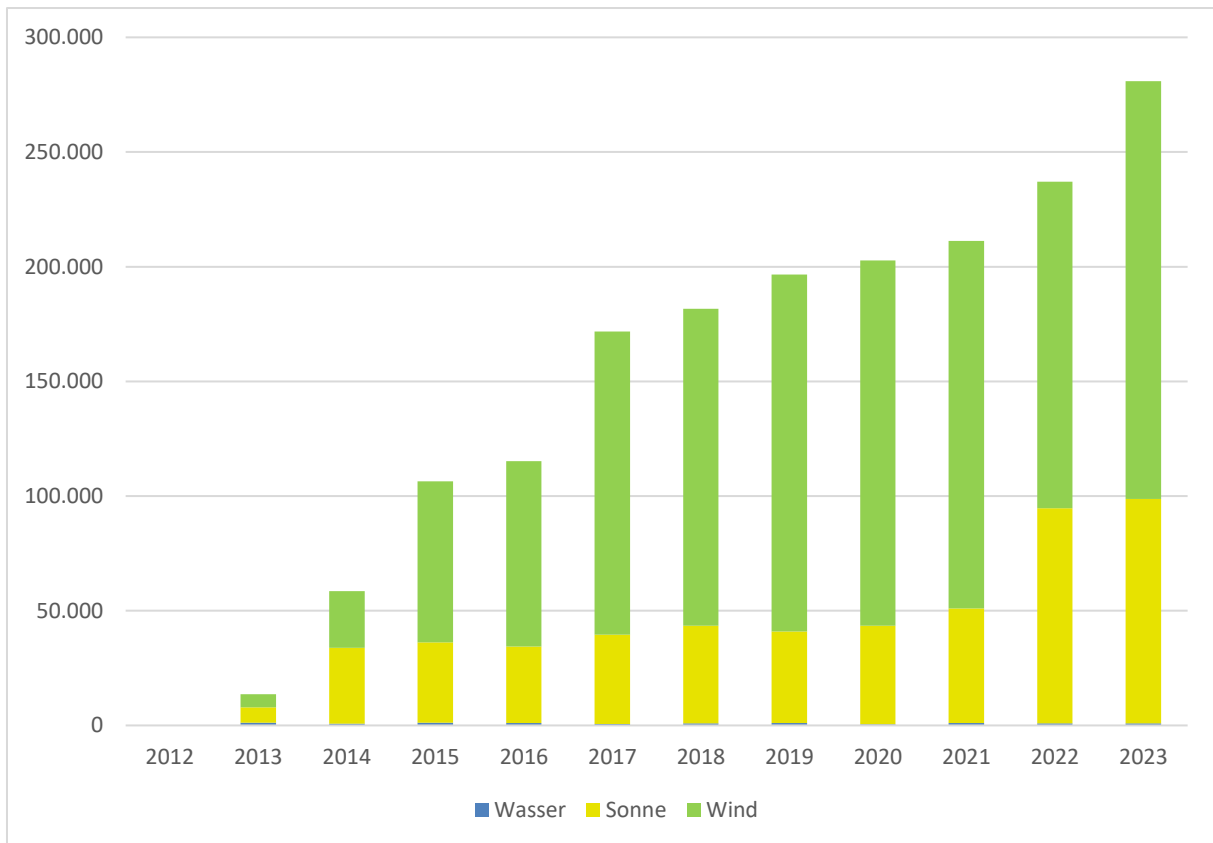


Abb. 6: EE-Stromerzeugung der swt außerhalb des Gemeindegebietes, in MWh

3.3. Energiebilanz – Sektor Verkehr

Der Mobilitätssektor verursacht knapp 19 % des Tübinger End-Energieverbrauchs (siehe Abb. 1). Im Verkehrssektor ist die Datengrundlage für die Bilanz jedoch sehr ungenau, sodass nur eine qualitative Einschätzung erfolgt: Wie in Abbildung 8 ersichtlich wird, steigt die Anzahl der Pkw in Tübingen seit 2006 bis 2020 und geht dann leicht zurück. Ob sich dieser Trend fortsetzt, bleibt abzuwarten.

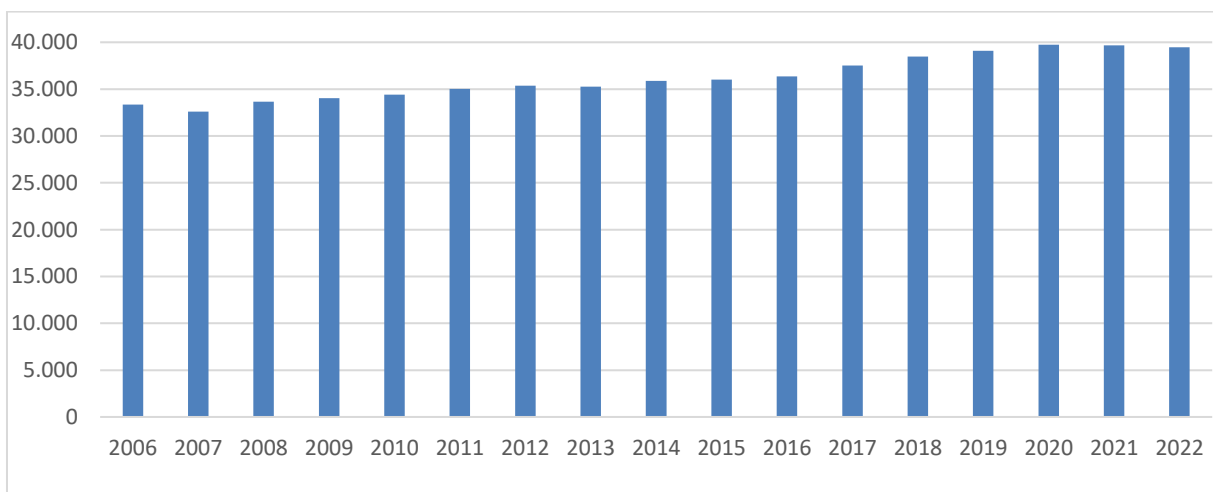


Abb. 8: Anzahl der in Tübingen zugelassenen Pkw

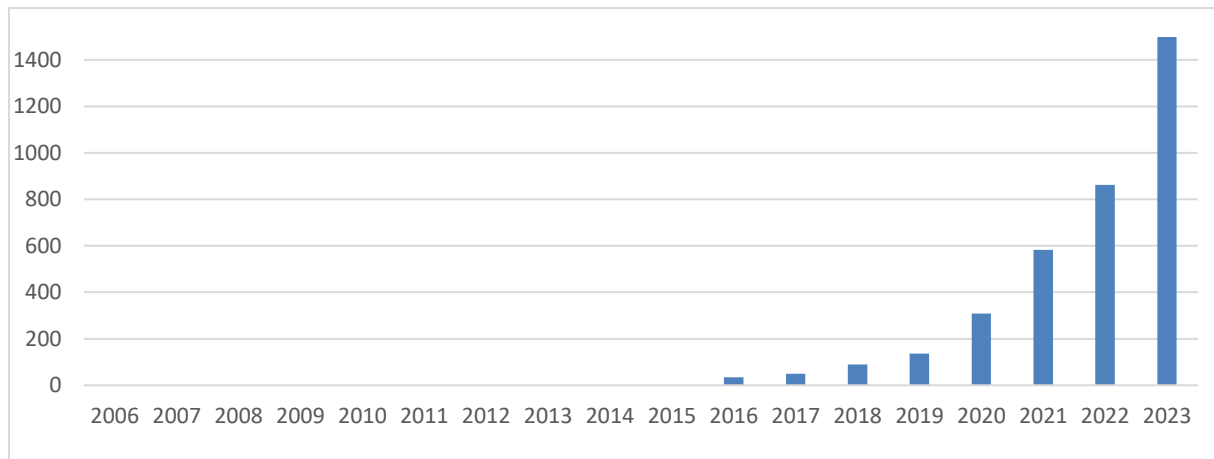


Abb. 9 Anzahl der in Tübingen zugelassenen rein elektrischen Pkw

Der Großteil der privaten Pkw besitzt einen Verbrennungsmotor und trägt somit zum Kraftstoffverbrauch und zum CO₂-Ausstoß bei. E-Pkws sind im Jahr 2023 mit 1498 Fahrzeugen noch nicht relevant. Immerhin gab es hier einen Zuwachs von über 1.000 % im Vergleich zum letzten Bilanzierungsjahr 2019.

Ebenfalls ist in Tübingen seit einigen Jahren ein Anstieg der Berufs-Ein- und –Auspendler_innen (siehe Tabelle 1) zu verzeichnen. Seit 2019 sinkt die Jahresfahrleistung - entgegen dem vorherigen Trend - im innerorts und außerorts Verkehr um 12 %. Ursache könnte die Etablierung des Home-Office als Folge der Corona Pandemie sein.

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.

Aus dieser Berechnung ergeben sich für das Jahr 2021 für Tübingen energiebedingte CO₂-Emissionen von 432.688 Tonnen beziehungsweise von 4,81 t/EW. 2006 wurden noch 643.519 Tonnen CO₂ insgesamt bzw. 8,44 t CO₂ pro Einwohner emittiert. Somit konnten innerhalb von 16 Jahren die absoluten CO₂-Emissionen um 33 % und die Pro-Kopf-Emissionen um 43 % gesenkt werden.

Die anteilige Verteilung auf die drei Nutzungsfelder Verkehr, Wärme (inkl. Prozessenergie und Kälte) und Strom in Tübingen zeigen Abbildung 10 (in absoluten Zahlen) und Abbildung 11 (pro Einwohner_in).

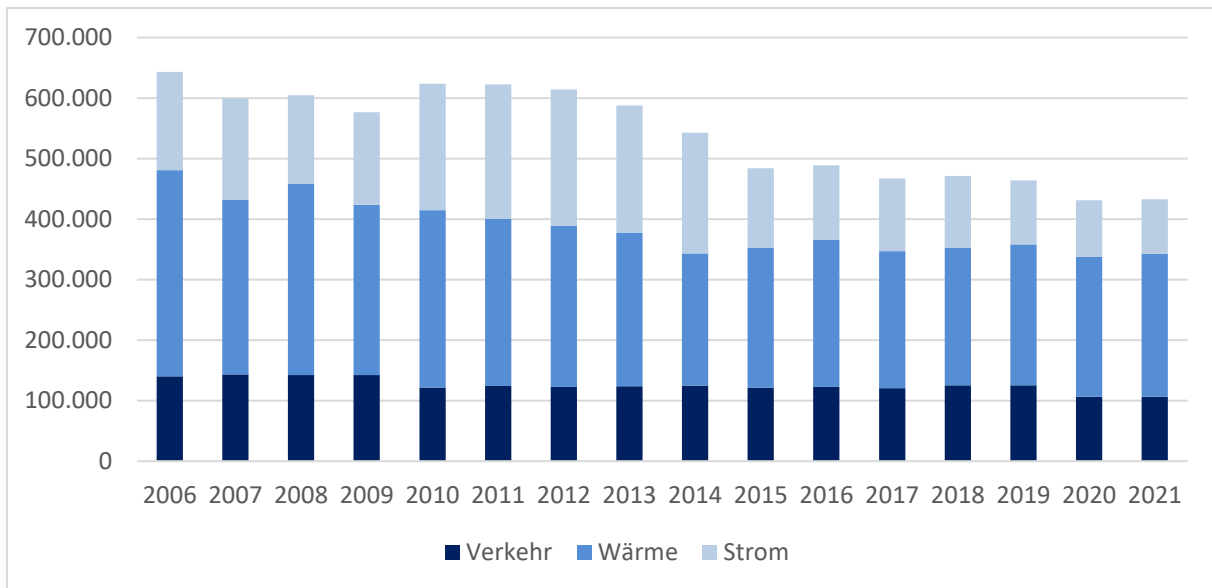


Abb. 10: absolute Energiebedingte CO₂-Emissionen (inkl. Vorketten) von 2006 - 2021 in t; Bilanzierungstools: 2006 - 2009 ECOSPEED Region; 2010 - 2021 BICO2 BW

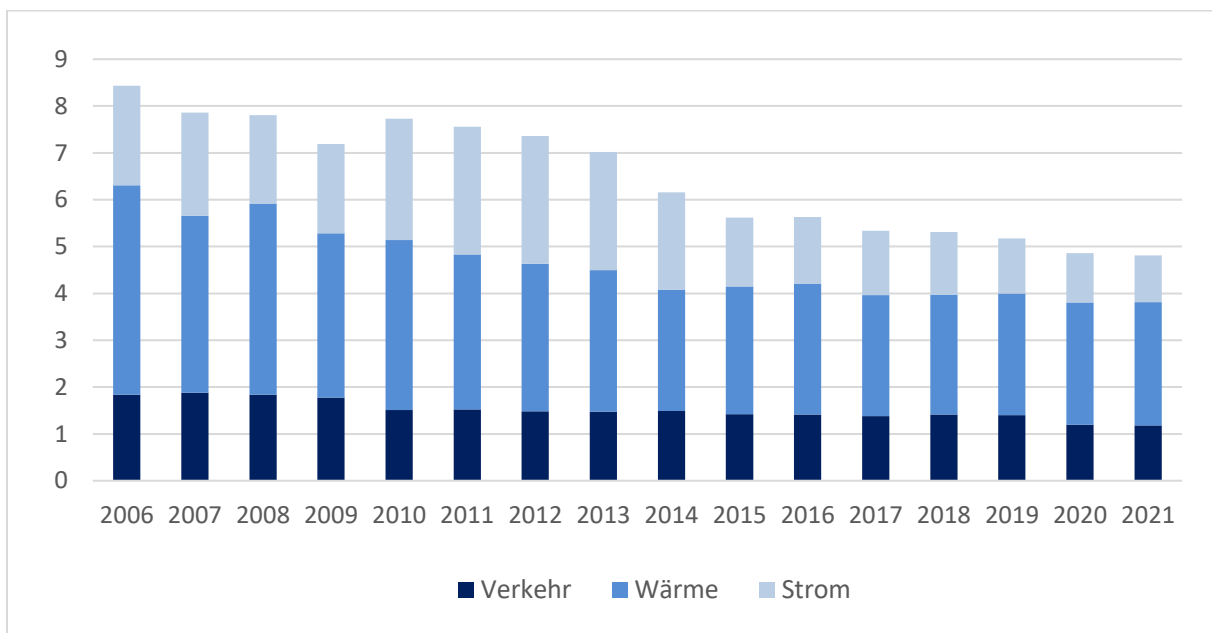


Abb. 11: Energiebedingte CO₂-Emissionen (inkl. Vorketten) pro kW von 2006 - 2021 in t; Bilanzierungstools: 2006 - 2009 ECOSPEED Region; 2010 - 2021 BICO2 BW.

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 – 2021 ist aber mit Vorbehalt zu ziehen, da 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 12 Jahre 2010 - 2021 kam es zu einer (absoluten) Reduktion von 19 % und einer Pro-Kopf Reduktion von fast 28 %. 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 sogenannten regionalen Strommix gerechnet, wobei Strom, der über HKNs (insbesondere Wasserkraftstrom aus Europa) bezogen wurde, in der Bilanzierung so betrachtet wird, also ob die Erzeugungsanlage auf dem Gemeindegebiet Tübingen steht.

Beim Strombedarf konnte der absolute CO₂-Ausstoß im Berichtszeitraum um 44,6 % gesenkt werden. Hier stehen 162.455 t CO₂ im Jahr 2006 und 89.983 t CO₂ für 2021 gegenüber. Der CO₂-Ausstoß pro Einwohner_in sank im Strombereich sogar um 53%.

4.3. Energiebedingte CO₂-Emissionen – Sektor Mobilität/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 und den Datengrundlagen (z. B. eine Anpassung der spezifischen Verbräuche an realere Messungen). Deshalb soll hier nur der Zeitraum ab 2010 betrachtet werden: Die absoluten CO₂-Mengen aus dem Verkehr liegen im Jahr 2021 bei 106.343, seit 2010 wird dieser Wert nur im Corona-Jahr 2020 unterboten. Im Vergleich zum langjährigen Mittel der Vor-Corona-Jahre (2010 – 2019) ergibt sich bei den verkehrsbedingten CO₂-Emissionen eine Reduktion von 13,7%. Da diese positive Entwicklung zum großen Teil auf die verstärkte Nutzung des Home-Office bedingt durch die Corona-Pandemie verursacht wird, bleibt abzuwarten, ob sich dieser Trend fortsetzt.

5. Anrechenbare Klimaschutzleistungen / Kompensation

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 swt) stehen, positiv angerechnet werden.

2021 haben die exterritorialen swt-Stromerzeugungsanlagen 1,1 GWh aus Wasserkraft, 160,2 GWh aus Windenergie und 50,7 GWh aus Photovoltaik erzeugt. Um aus diesen Strommengen die anrechenbare Klimaschutzleistung der swt-EE-Anlagen zu errechnen, wird die Substitution des Bundesstrommixes (für 2021: 472 g CO₂/kWh, inkl. Vorkette) durch die EE-Strommengen aus den drei unterschiedlichen Erzeugungsarten (spezifische CO₂-Faktoren für 2021: 3, 18 bzw. 56 g CO₂/kWh, inkl. Vorkette) zugrunde gelegt. Daraus ergibt sich eine Kompensationsleistung von 94.032 Tonnen CO₂. Obwohl die Stromerzeugung gegenüber 2019 um rund 8 % zugenommen hat, ist die Kompensationsleistung nur um etwa 4 % gestiegen. Dies liegt daran, dass in dieser Zeit auch der Bundesstrommix, der als Ausgangsbasis dient, CO₂-ärmer geworden ist.

Für die Klimaschutzleistung des Waldes kann 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 für den Tübinger Forst vor. Daraus ergibt sich 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 für das Ziel „Tübingen klimaneutral bis 2030“ (netto-null)

Den energiebedingten CO₂-Emissionen (inkl. Vorketten) auf dem Gemeindegebiet von 432.688 Tonnen CO₂ in 2021 stehen Kompensationsbeiträge von 94.032 Tonnen der swt-Anlagen und 9.300 Tonnen aus der Klimaschutzleistung des Waldes gegenüber. Daraus ergeben sich rund 329.356 Tonnen CO₂, die noch bis zur Klimaneutralität in 2030 vermieden bzw. durch andere Klimaschutzleistungen ausgeglichen werden müssen.