

Energieverbrauch und CO₂-Emissionen

- Bilanz 1998 – 2018
- Szenarien 2035 / 2040

Energieagentur Rhein-Main

Scheffelstrasse 78
63071 Offenbach am Main

Internet: www.earm.de
E-Mail: info@earm.de

Inhalt

1	Ausgangslage und Ergebnisse des Klimaschutzkonzepts von 1998	4
2	Strukturentwicklung und Rahmenbedingungen	9
3	Energieverbrauch und Emissionen	12
3.1	Haushalte.....	12
3.2	Gewerbe, Industrie, Landwirtschaft	20
3.3	Öffentliche Verbraucher	22
3.4	Motorisierter Individual- und Straßengüterverkehr im Stadtgebiet	28
4	Zusammenfassung.....	30
5	Aktuelle Bilanz und Bewertung	34
6	Vergleichsbilanzen mit ECORegion.....	35
7	Neue Szenarien (2035 /2040)	38
8	Handlungsempfehlungen und Fazit	61
9	Anhang.....	64

1 Ausgangslage und Ergebnisse des Klimaschutzkonzepts von 1998

Mit dem im Jahr 2000 aufgestellten Integrierten Klimaschutz-Rahmenkonzept (IKK) lag der Stadt Bad Homburg v. d. Höhe erstmals eine detaillierte Ist-Analyse ihres gesamten Energieverbrauchs und den dadurch hervorgerufenen CO₂-Emissionen¹ vor. Eine darauf aufbauende Szenariendarstellung bis 2018 beschrieb verschiedene Möglichkeiten zur Emissionsreduzierung um bis zu 57 Prozent, ausgehend vom Niveau von 1998. Als realistisches Einsparpotential wurde das sogenannte „Sparszenario“ angesehen, das Einsparungen von 25 Prozent als technisch und wirtschaftlich möglich formuliert hatte. Zur Zielerreichung wurde eine Vielzahl von Instrumenten und Maßnahmen im Konzept erläutert und ein Maßnahmen- und Zeitplan aufgestellt.

Beschlossen wurde durch die Stadtverordnetenversammlung am 08.02.2001 (Vorlagen-Nr. SV97/3452, DS.-Nr. SV97/1638-3) unter anderem:

- TOP-2. „Der Magistrat wird aufgefordert, Maßnahmen bei eigenen Gebäuden vorzunehmen, die geeignet sind, die Gesamtemissionen an CO₂ der Stadt Bad Homburg erheblich zu senken. Der Energieverbrauch ist bis zum Jahr 2018 um 30% zu senken.
- TOP-3. Durch geeignete Maßnahmen, insbesondere der Öffentlichkeitsarbeit und durch die Einrichtung von Förderprogrammen zu Energie- und Emissionseinsparung, in der Hauptsache für Wärmedämmmaßnahmen bei Wohnhäusern, wird die Reduzierung der Gesamtemission an CO₂ in der Stadt Bad Homburg nachdrücklich unterstützt.“

Hier liegt nun eine Bestandsaufnahme des Emissionsverlaufs von 1998 bis 2018 vor. Empfehlungen zur Umsetzung von Maßnahmen zur Energieeinsparung sowie zur Reduktion von CO₂-Emissionen unter Berücksichtigung bereits getätigter Maßnahmen werden als weitere Planungsgrundlage für die Stadt, zusammen mit Vorschlägen zur Energieerzeugung, dargestellt.

Untersucht werden die an den Emissionen beteiligten drei Verbrauchergruppen *Haushalte, Gewerbe / Industrie* und *Öffentliche Einrichtungen* sowie am Rande auch der Verkehr. An die Ergebnisse des „IKK 1998“ wird angeknüpft und die Entwicklung der Rahmenbedingungen sowie die davon abhängigen voraussichtlichen Energiebedarfe fortgeschrieben.

Um dabei eine Vergleichbarkeit mit anderen Kommunen, die auch Mitglied des Klimabündnisses sind, zu ermöglichen, wird auch eine Bilanzierung mit einer anderen Methodik, dem Programm ECORegion der Firma Ecospeed AG aus Zürich, vorgenommen (1990 – 2018).

Seit März 2010 ist Bad Homburg auch im Programm „100 Kommunen für den Klimaschutz“ des Landes Hessen vertreten, das ebenfalls diese Standardbilanzierung empfiehlt.

¹ CO₂-äquivalente Emissionen werden der Einfachheit halber in diesem Bericht mit CO₂-Emissionen bezeichnet.

Glossar

Primärenergie	Ursprüngliche Energieform oder Energiequelle. Zum Beispiel Kohle, Erdgas, Kernbrennstoffe, Sonne oder Wind.
Endenergie	Energiemenge, die beim Verbraucher („Kunden“) inklusive eventueller Verluste eingesetzt wird, um eine Energiedienstleistung bereitzustellen (z.B. Wärme, Licht).
Nutzenergie	Die für eine Energieanwendung (theoretisch) erforderliche Mindestmenge an Energie ohne Verluste.
CO ₂ -Äquivalent	Masse an klimarelevantem Gas, das pro eingesetzter Endenergiemenge unter Berücksichtigung vorgelagerter Prozessketten emittiert wird (Treibhausgasemission in g/kWh oder kg/MWh). Darin ist neben CO ₂ auch Methan (CH ₄) und Distickstoffoxid (N ₂ O) enthalten, die entsprechend ihrer jeweiligen Wirksamkeit in CO ₂ -Mengen (sprich Äquivalente) umgerechnet werden.
Temperaturbereinigung	Um die Heizenergieverbräuche und davon verursachter Emissionen von mehreren Jahren miteinander vergleichen zu können, werden diese rechnerisch auf ein Referenzjahr bezogen. Der tatsächliche Energieverbrauch eines Jahres kann dann von dem rechnerisch ermittelten standardisierten Verbrauch abweichen. Damit wird vermieden, einen geringeren Verbrauch aufgrund eines überdurchschnittlich wärmeren Jahres als Einsparerfolg zu betrachten und umgekehrt.

Energieverbrauch 1998

Im IKK wird der Endenergieverbrauch des Bezugsjahres 1998 in Bad Homburg mit 1,2 Millionen Megawattstunden angegeben. Mit 577.700 MWh war der Sektor Haushalt der Hauptverbraucher (54,3 %). Der Sektor Gewerbe / Industrie mit den Untersektoren Handel, privaten Dienstleistungen, Industriebetrieben, Landwirtschaft und Handwerk hatte einen Anteil von 35,6 Prozent, also rund 427.000 MWh.

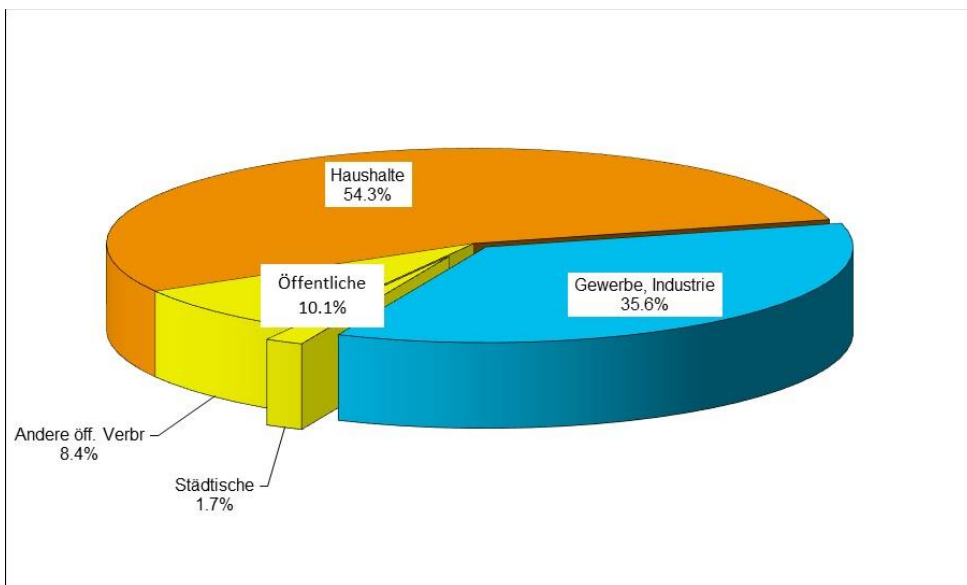


Abbildung 1-1: Anteil des Endenergieverbrauchs der Stadt Bad Homburg nach Sektoren (1998)

Die städtischen Verbraucher, zu denen unter anderem die seinerzeit untersuchten im Eigentum der Stadt befindlichen Liegenschaften, Straßenbeleuchtung und Außenanlagen zählen, trugen mit ca. 20.000 MWh (1,7 %) zum Endenergieverbrauch bei. Andere Öffentliche Verbraucher (Krankenhäuser, Schulen, Pflegeeinrichtungen) waren mit rund 101.000 MWh und somit zu 8,4 Prozent beteiligt.

Endenergieverbrauch 1998	MWh/a	Anteil
Haushalte	652.000	54.3%
Gewerbe, Industrie	427.000	35.6%
Städtische Verbraucher	20.000	1.7%
Andere öffentliche Verbraucher	101.000	8.4%
Öffentliche Verbraucher gesamt	121.000	10.1%
Gesamt	1.201.000	100 %

Tabelle 1-1: Endenergieverbrauch der Stadt Bad Homburg nach Sektoren (1998, ohne Verkehr)

CO₂-Emissionen 1998

Energiebedingt wurden innerhalb der Gemarkungsgrenzen der Stadt Bad Homburg v. d. Höhe rund 433.000 Tonnen CO₂-äquivalente Emissionen im Jahr 1998 verursacht.

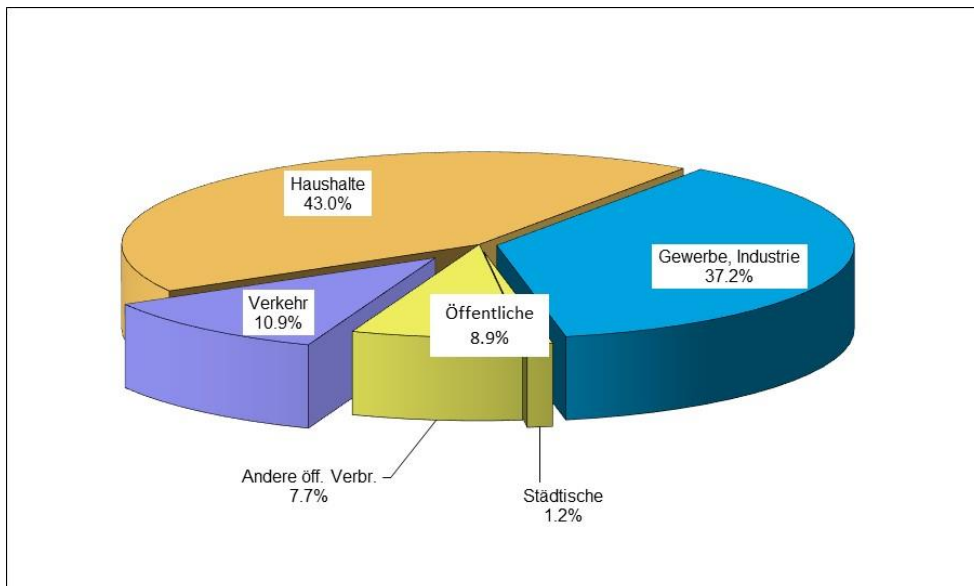


Abbildung 1-2: Anteil der CO₂-Emissionen der Stadt Bad Homburg nach Sektoren (1998, mit Verkehr).

Zusätzlich mit 53.000 Tonnen aus dem Personenindividual- und Güterverkehr innerhalb der Stadtgrenzen (fast elf Prozent) kamen so insgesamt 486.000 Tonnen Kohlendioxidemissionen im Jahr 1998 zustande. Davon hatte der Industrie- und Gewerbesektor einen Anteil von 37,2 Prozent (181.000 Tonnen) und Haushalte rund 43 Prozent (209.000 Tonnen).

CO ₂ -äquivalente Emissionen 1998	[t/a]	Anteil
Haushalte	209.000	43.0%
Gewerbe, Industrie	181.000	37.2%
Städtische Verbraucher	5.600	1.2%
Andere öffentliche Verbraucher	37.400	7.7%
Öffentliche Verbraucher gesamt	43.000	8.9%
Verkehr	53.000	10.9%
Gesamt	486.000	100.0%

Tabelle 1-2: Energie- und verkehrsbedingte CO₂-äquivalente Emissionen innerhalb der Stadt Bad Homburg nach Sektoren in Tonnen pro Jahr (1998).

Die von städtischen und öffentlichen Einrichtungen verursachten Emissionen hatten mit 40.500 Tonnen im Jahr 1998 einen Anteil von insgesamt 8,9 Prozent. Davon waren unter städtischer Verwaltung stehende Objekte mit fast 5.600 Tonnen zu 1,2 Prozent beteiligt.

Szenarienprognose bis 2018

In drei Szenarien wurde der mögliche Verlauf der Emissionen von 1998 bis 2018 skizziert.

Ein *Referenzszenario* nimmt eine Fortsetzung des Status Quo unter Berücksichtigung allgemeiner technischer Entwicklung ohne zusätzliche Umsetzung von nennenswerten Energiesparmaßnahmen an und prognostizierte energiebedingte CO₂-äquivalente Emissionen für das Jahr 2018 von 426.000 Tonnen. Das wäre im Vergleich zu 1998 eine Reduzierung um nur zwei Prozent.

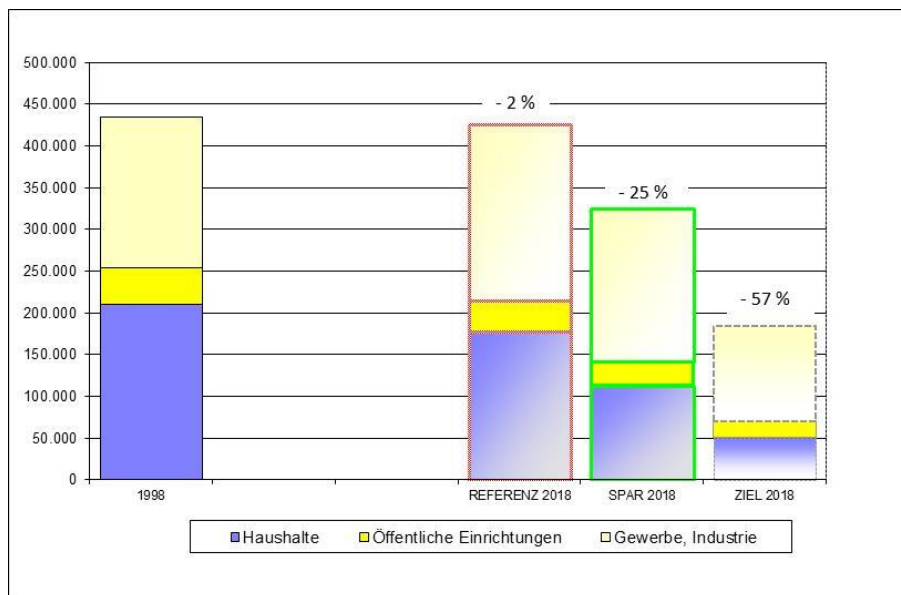


Abbildung 1-3: Energiebedingte CO₂-Emissionen 1998 im Vergleich zu den seinerzeit aufgestellten Szenarien für 2018 (in Tonnen pro Jahr, ohne Verkehr).

Ein *Sparszenario* ging bei einer Realisierung möglicher wirtschaftlicher Energie- und Emissionssparmaßnahmen bis 2018 von einer 25-prozentigen Reduktion der CO₂-Emissionen auf 325.000 Tonnen im Jahr aus.

Ein *Zielszenario*, das die technisch mögliche Maximizeinsparung ohne Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeit und Umsetzungshürden unterstellt, diente der Relativierung aller Szenarien, galt aber unter anderem aufgrund der prognostizierten enorm hohen Kosten als nicht realistisch umsetzbar. Eine theoretisch mögliche Einsparung von 57 Prozent wurde hierfür errechnet.

An dieser Stelle sei auf eine Kurzversion des Integrierten Klimakonzepts (IKK 1998) und auf die seinerzeit erstellte Maßnahmentabelle verwiesen.

2 Strukturentwicklung und Rahmenbedingungen

Versorgungssituation

Für die Versorgung der Stadt mit elektrischer Energie sind die SÜWAG als RWE-Tochter und bis einschließlich 2018 die OVAG Netz AG (für Ober-Erlenbach) als Stromnetzbetreiber verantwortlich.

Erdgas wird seit der Liberalisierung des Gasmarkts hauptsächlich von den Stadtwerken Bad Homburg angeboten, die auch die Gasnetzinfrastruktur bereitstellt.

In diesem Zusammenhang treten die Stadtwerke Bad Homburg auch nicht mehr nur ausschließlich als reiner Gas- und Wasserversorger auf, sondern bieten als Energiedienstleister auch Nahwärme an und sind im Stromgeschäft tätig. So haben die Stadtwerke 2019 mit Süwag Energie AG und OVAG eine gemeinsame Netzgesellschaft gegründet, die seitdem Eigentümerin der Stromverteilnetze im Stadtgebiet von Bad Homburg ist.

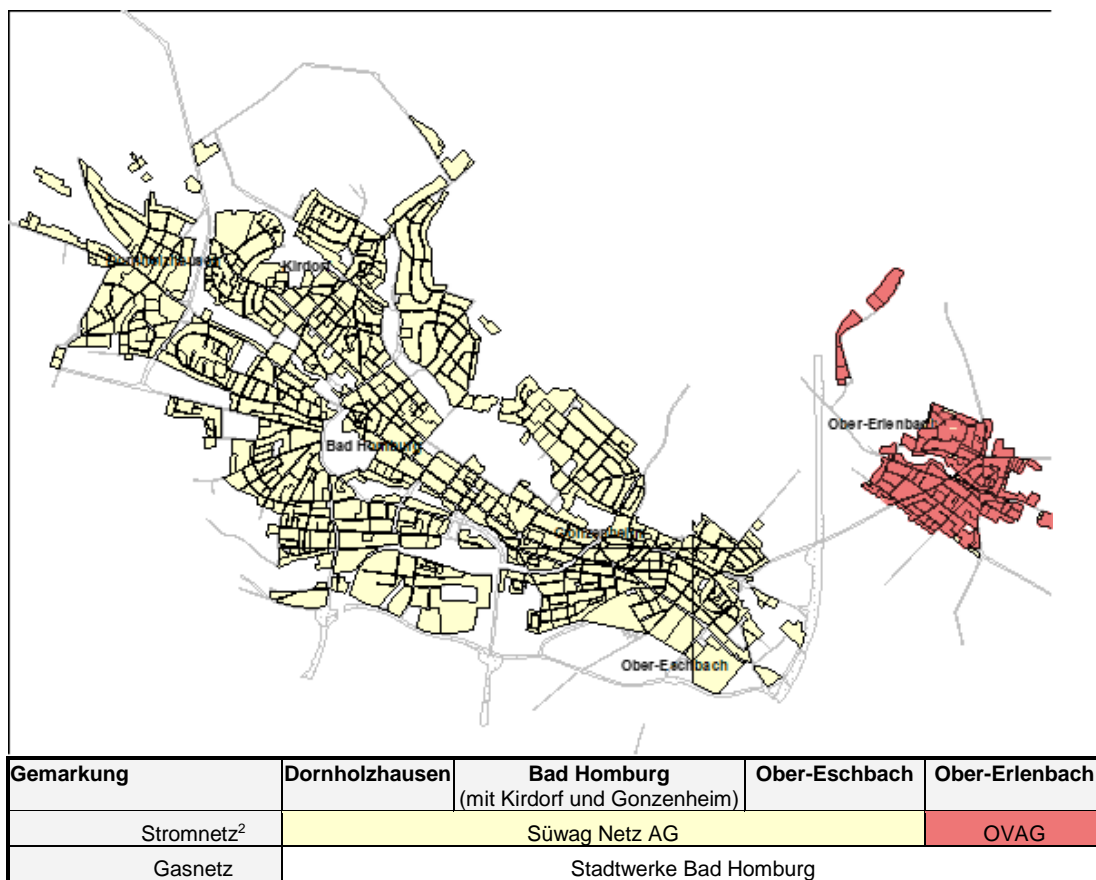


Abbildung / Tabelle 2-1: Gas- und Stromnetzbetreiber in Bad Homburg (Tabelle Stand 2018). Die Karte zeigt die Unterteilung in sogenannte Siedlungszellen (Stand 1999).

Nahwärme für Wohnungen wird im Gebiet „Oberste Gärten“ über ein erdgasbetriebenes Blockheizkraftwerk (BHKW) und in der Heuchelheimer- / Gartenfeldstraße über ein biogasbetriebenes BHKW und ein Heizwerk bereitgestellt. Mittlere und kleine gasbetriebene BHKW sind in öffentlichen Einrichtungen wie einigen Schulen, dem Betriebshof und der Feuerwache in Kirdorf sowie seit Dezember 2010 auch im Seesdammbad installiert. Seit 2015 ist ein Erdgas-BHKW als Teil einer Energieerzeugungsanlage am Bahnhof zur Bereitstellung von Strom, Nahwärme und -kälte für umliegende Verbraucher in Betrieb. Heizöl, Holz und übrige Energieträger haben rund ein Viertel Anteil an der Energieversorgung in Bad Homburg.

² Seit 1. Juli 2019 ist die Netzgesellschaft GmbH für das Stromnetz im Stadtgebiet von Bad Homburg verantwortlich

Beschäftigungssituation

Die Kreisstadt Bad Homburg als Sonderstatusstadt ist gleichzeitig wichtiger Kur- und Fremdenverkehrsort in Hessen und der bedeutendste Produktions- und Dienstleistungsstandort im Hochtaunuskreis. Mehr als ein Drittel der 95.559 sozialversicherungspflichtigen Arbeitsplätze des Kreises befinden sich in Bad Homburg: im Jahr 2018 waren es 35.577, das bedeutet eine Zunahme von fast 29 Prozent seit 2000.

Dominierend ist der Dienstleistungssektor, der sich aus den Bereichen Unternehmens-, öffentliche und private Dienstleistungen zusammensetzt. Im Jahr 2000 (davor liegen keine vergleichbaren Statistiken vor) waren 52 Prozent aller Beschäftigten in diesem Bereich tätig, 2018 bereits zwei Drittel (23.715).

Rund 40 Prozent arbeiten in Handel, Gastgewerbe sowie im produzierenden Gewerbe. Dort ist die Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten zwischen 2000 und 2010 von 6457 auf 4674 gesunken um bis 2018 wieder auf 6055 anzusteigen. Ein geringer Anteil von 0,2 % arbeitet im Land- und Forstwirtschaftssektor. Die Zahl der Beschäftigten in diesem Bereich ist zwischen 2000 und 2018 von 98 auf 78 gesunken.

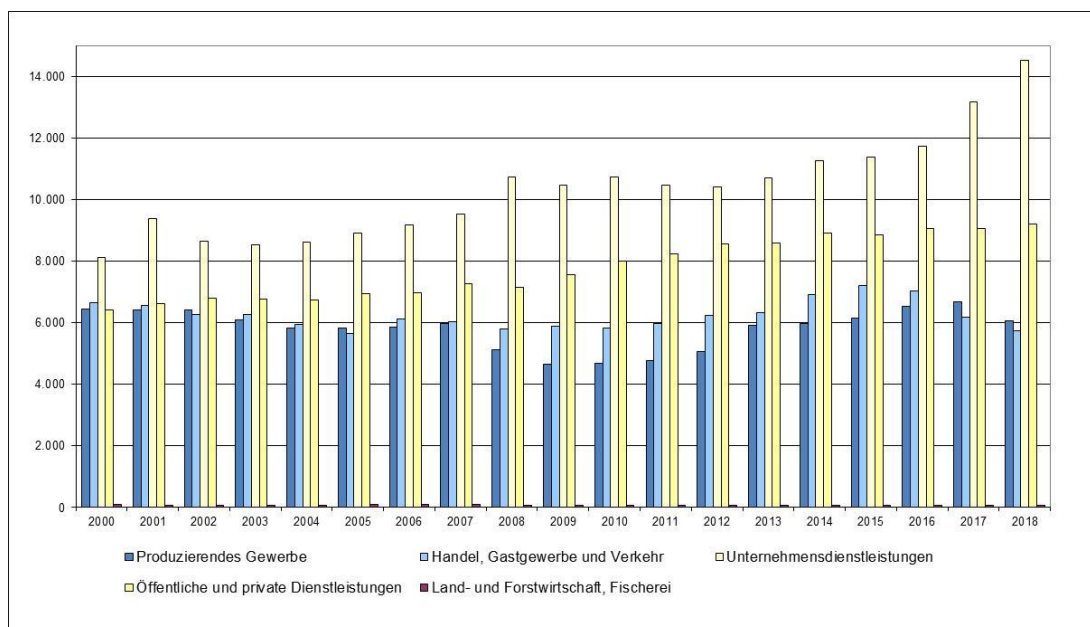


Abbildung 2-1: Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Bad Homburg nach Branchen, 2000 bis 2018 (HSL, BFA. Für 1998 und 1999 liegen keine vergleichbaren Statistiken vor).

Einwohner, Wohnflächen

Die Anzahl der Einwohner in Bad Homburg lag 1998 bei knapp über 52.000 und ist seit 2012 im Durchschnitt um rund 360 jährlich gestiegen. Ende 2018 hat die Einwohnerzahl im 20-jährigen Betrachtungszeitraum mit 54.248 einen Höchststand erreicht (HSL).

681 neue Wohngebäude mit einer Nutzfläche von zusammen über 200.000 m² sind von 1999 bis 2018 im Stadtgebiet entstanden. Dagegen fielen im selben Zeitraum rund 20.000 m² durch Umwandlung oder Abriss weg, womit insgesamt innerhalb eines Zeitraums von 20 Jahren ein Nettoflächenzugang von fast neun Prozent zu verzeichnen war.

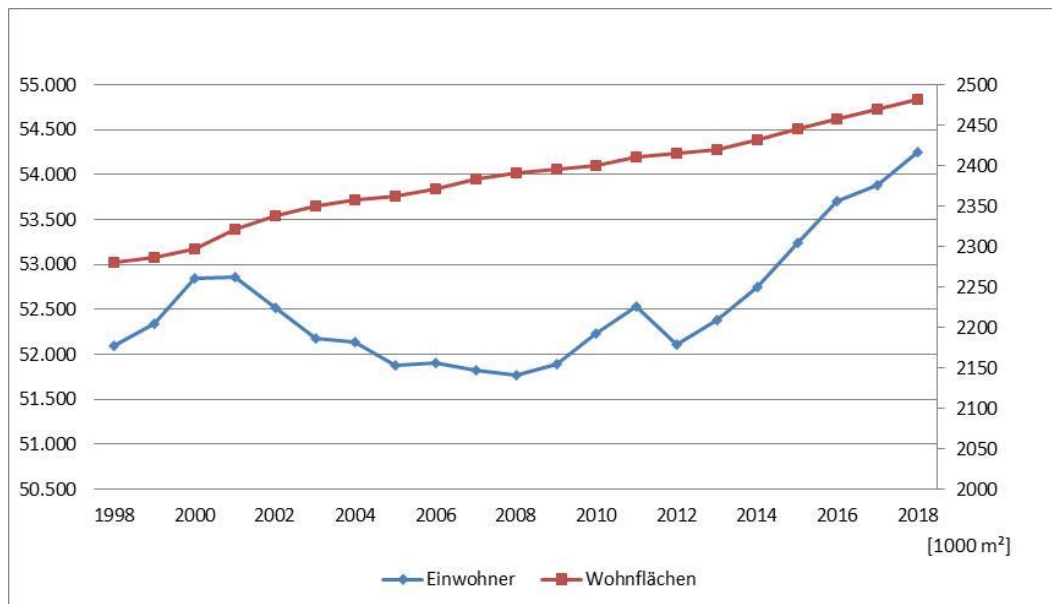


Abbildung 2-2: Anzahl Einwohner und verfügbare Wohnfläche in Bad Homburg von 1998 bis 2018 (HSL, eigene Fortschreibung³).

Der Quotient aus Wohnfläche pro Einwohner ist zwischen 1998 und 2012 von 43,5 auf 46,4 gestiegen und seitdem wieder auf 45,8 m² / Person gesunken. Damit hat sich der Trend der Erhöhung der Energiebezugsfläche pro Einwohner und damit des spezifischen Heizenergiebedarfs pro Person ab 2013 wieder umgekehrt.

³ In den Wohnflächenzahlen ist eine Korrektur des durch den Mikrozensus 2011 hervorgerufenen „Kontinuitätsbruchs“ in den Datenreihen des Statistischen Landesamts ab 2013 enthalten.

3 Energieverbrauch und Emissionen

3.1 Haushalte

Nach wie vor ist die Beheizung von Wohnräumen vor Stromanwendungen und der Warmwasserbereitung die Hauptanwendungsart von Endenergie im Haushaltssektor (2018). Der Raumwärmeanteil am Gesamtverbrauch der Haushalte ging durch Verbesserungen an Gebäudesubstanz und Heiztechnik allmählich zurück und zwar von 77 Prozent (1998) auf knapp über 75 Prozent in 2018.

Wohnflächen

Die Zunahme der Wohn- oder auch Energiebezugsfläche von 1998 bis 2018 um 200.000 m² teilen sich auf in Gebäude der Baualtersklassen⁴ „I“ und „J“ (im Diagramm mit „1995-2009“ bezeichnet) und in Gebäude der Altersklassen „K“ und „L“ („Neubauten ab 2010“). Erstere sind nach den Anforderungen der 3. Wärmeschutzverordnung 1995 bzw. der Energieeinsparverordnung EnEV 2002 gebaut worden, Neubauten ab 2010 unterliegen der „EnEV 2009“ bzw. „EnEV 2014/2016“.

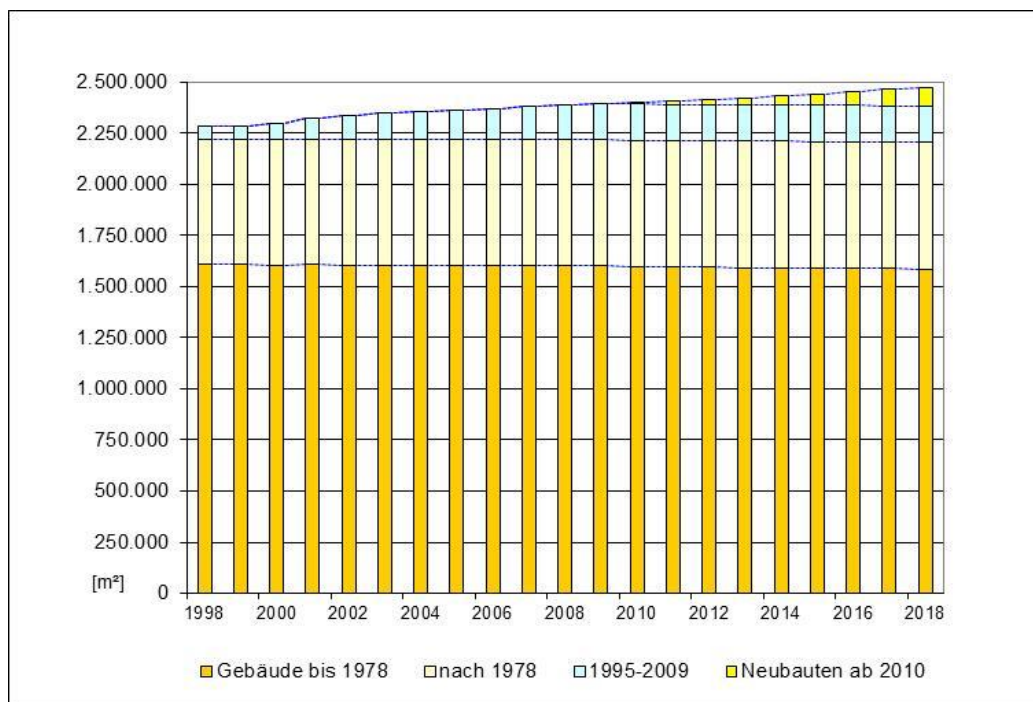


Abbildung 3-1: Entwicklung der Wohnflächen nach Baualtersklassen von 1998 – 2018 in [m²] (HSL, IKK)

Auch Gebäude der Baualtersklasse „nach 1978“ tragen zu einem Plus von fast 4.000 m² bei und zwar durch Umwandlung von Nicht-Wohnraum in nun genutzte Wohnfläche. Ein Nettoflächenabgang von rund 21.000 m² fand hauptsächlich statt bei Gebäuden, die vor 1978 erbaut wurden.

Baualter	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Gebäude bis 1978	1.607	1.606	1.605	1.604	1.601	1.601	1.598	1.594	1.591	1.589	1.586
nach 1978	614	615	615	615	616	617	618	618	618	618	618
1995-2009	60	77	117	138	154	172	178	178	178	178	178
ab 2010	-	-	-	-	-	-	6	26	43	68	93
Summe	2.281	2.297	2.338	2.358	2.371	2.391	2.399	2.415	2.430	2.453	2.475

Tabelle 3-1: Entwicklung der Energiebezugsflächen in Wohngebäuden unterschiedlichen Baualters [1000 m²] (HSL, IKK).

⁴ Institut Wohnen und Umwel (IWU): Deutsche Wohngebäudetypologie

Raumwärme

Neben dem spezifischen Wärmeleistungsbedarf [W/m²] und dessen Nutzungsdauer ist der Wirkungsgrad der Heizanlage verbrauchsbestimmend. Weitere Faktoren sind das Nutzerverhalten und die mittlere monatliche Außentemperatur mit der daraus resultierenden *Gradtagszahl*. Zur Berechnung der temperaturbereinigten Verbräuche ist die aus den Temperaturverläufen⁵ ermittelte Gradtagszahl des nächstgelegenen Messpunkts (Königstein im Taunus) des Jahres 1998 als Referenzwert herangezogen worden. Das heißt, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, galt für jedes Jahr innerhalb des 20-jährigen Betrachtungszeitraums rechnerisch der Außentemperaturverlauf von 1998.

Gebäudehülle

Der bei vor 1995 erbauten Gebäuden durchschnittlich schlechtere Wärmeschutzstandard birgt auch höhere Einsparpotentiale, die aufgrund eines häufigeren Sanierungszyklus bei Altbauten auch eher realisiert werden als bei Gebäuden neueren Baujahrs. Summiert man die je nach Typgebäude unterschiedlich hohen Einsparungen auf, ergibt sich eine rechnerische Reduzierung des jährlichen Nutzenergiebedarfs des Bad Homburger Wohngebäudebestands inklusive Neubauten seit 1998 in Höhe von rund 29.000 MWh im Jahr 2018, was im Mittel 7.000 Tonnen CO₂ entspricht.

Heizsysteme, Energieträger

Bis 2018 wurde im Bundesdurchschnitt durch die Modernisierung und den Austausch von Heizungsanlagen eine Verbesserung des wärmetechnischen Wirkungsgrades von Öl-Zentralanlagen von durchschnittlich 76 auf 83 Prozent und bei Erdgas von 78 auf 84 Prozent erzielt (IWU).

Für Bad Homburg wurde der Anteil der verschiedenen Heizsysteme (Öl-Zentral, Gas-Zentral, Gas-Brennwert, Gas-Etagen, Strom etc.) an den Gebäudeflächen über deren statistische Verteilung auf den Gebäudetyp (gemäß IWU) und anhand der letzten Auswertung der Bezirksschornsteinfeger (2010), die bis 2018 fortgeschrieben wurde, ermittelt.

Demnach nahm der Anteil von Erdgas bezogen auf die Wohnflächen in Bad Homburg statistisch von 63 auf 72 Prozent zu. In Neubauten wurde zu rund 85 Prozent Erdgas als Energieträger eingesetzt. Strom als Heizform ist in Nachtspeichersystemen im Stadtgebiet rückläufig, wird dagegen aber vermehrt für Wärmepumpen eingesetzt: 2018 lag der Wärmepumpenstromverbrauch bei 38 Prozent des Gesamt-wärmestromverbrauchs.

Der Heizölanteil in Bad Homburg ging von 33 auf nunmehr 18 Prozent (bezogen auf die Heizfläche) zurück. Stabil mit ansteigender Tendenz ist der Einsatz von Holz und Holzpellets. Der Rückgang alter Holz- oder Kohleeinzelöfen wurde durch die Inbetriebnahme neuer Holzfeuerungsanlagen, die auch als Zusatzheizsysteme eingesetzt werden, überkompensiert, so dass der Holzanteil bei mittlerweile 5,3 Prozent angelangt ist. Nahwärme, deren Nutzung etwas mehr Verbreitung findet, liegt innerhalb der Stadt bei ungefähr drei Prozent.

Endenergieverbrauch Raumwärme

Im Haushaltssektor sank der temperaturbereinigte Heizenergieverbrauch im Betrachtungszeitraum von rund 508.000 MWh/a auf 443.000 MWh/a. Durch Verbesserungen am Wärmeschutz im Bestand, höhere energetische Qualität von Neubauten und Wirkungsgradverbesserungen heizungstechnischer Anlagen ist der Mehrbedarf durch Flächenzuwachs kompensiert und insgesamt eine Einsparung des jährlichen Verbrauchs von 13 Prozent erzielt worden.

Vor 1978 errichtete Wohngebäude tragen mit 76 Prozent zum Heizenergieverbrauch bei und zwar sowohl bedingt durch ihren hohen Anteil von 69 Prozent an den Gesamtflächen als auch durch schlechtere Kennwerte. Im Vergleich dazu haben Gebäude, die nach 1995 errichtet wurden, einen Anteil von 8,4 Prozent an der Energiebezugsfläche und sind für nur 5,3 Prozent des Heizenergieverbrauchs in Haushalten verantwortlich.

⁵ Quelle: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)

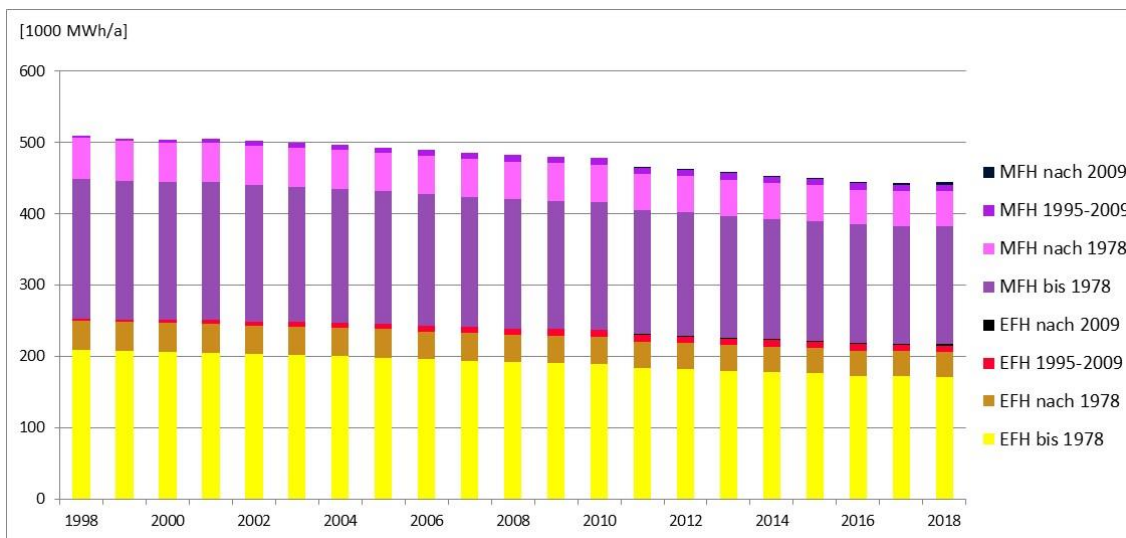


Abbildung 3-2: Endenergieverbrauch für die Beheizung von Wohngebäuden nach Baualter und Bauart (EFH = Einfamilienhäuser, MFH = Mehrfamilienhäuser) [1000 MWh/a]; temperaturbereinigt.

Gebäudeart nach Baualter	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018
MFH nach 2009	-	-	-	-	-	-	0	1	1	2	3
MFH 1995-2009	3	4	6	7	8	9	9	9	9	9	9
MFH nach 1978	57	56	56	55	54	53	53	51	50	49	49
MFH bis 1978	196	193	191	188	184	181	179	173	169	166	165
EFH nach 2009	-	-	-	-	-	-	0	1	1	2	3
EFH 1995-2009	3	4	6	7	8	9	9	9	9	9	9
EFH nach 1978	41	41	40	40	39	38	38	37	36	35	35
EFH bis 1978	209	206	203	200	196	192	190	182	178	173	171
Summe	508	503	503	497	489	481	478	463	454	445	443

Tabelle 3-2: Endenergieverbrauch für die Beheizung von Wohngebäuden nach Baualter und Bauart (EFH = Ein- und Zweifamilienhäuser, MFH = Mehrfamilienhäuser) [1000 MWh/a]; temperaturbereinigt. Abweichungen in der letzten Stelle durch Runden.

Durch Energiesparmaßnahmen und Wegfall von Wohnflächen in energetisch sanierungsbedürftigen Gebäuden sank der Endenergieverbrauch von 1998 bis 2018 um rund 65.000 MWh/a oder knapp 13 Prozent auf 443.000 MWh/a. Der durchschnittliche spezifische jährliche Endenergieverbrauch sank insgesamt zwischen 1998 und 2018 von 223 auf 174 Kilowattstunden pro Quadratmeter Energiebezugsfläche.

Energieträger

Weiterhin dominierender Energieträger ist Erdgas, gefolgt von Heizöl, dessen Anteil kontinuierlich zurückgeht.

Energieträger	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Erdgas	314	327	332	328	333	334	336	325	319	313	312
Heizöl	175	159	154	153	141	130	122	114	111	105	96
Strom	10	8	8	7	6	5	6	6	6	7	7
Sonstige	10	9	9	9	9	11	14	17	17	20	29
Summe	508	504	503	497	490	481	478	463	454	445	443

Tabelle 3-3: Temperaturbereinigter Endenergieverbrauch für Raumwärme in Wohngebäuden nach Energieträgern [1000 MWh/a].
Abweichungen in der letzten Stelle durch Runden.

Strom als Energiequelle zur Wohnraumbeheizung nimmt durch den vermehrten Einsatz von Wärmepumpen sowohl in Neubauten als auch in bestehenden Gebäuden moderat zu, während der Anteil von Stromspeicherheizungen rückläufig ist. Festbrennstoffe (Holz, Holzpellets) und Nahwärme werden zunehmend zur Beheizung eingesetzt.

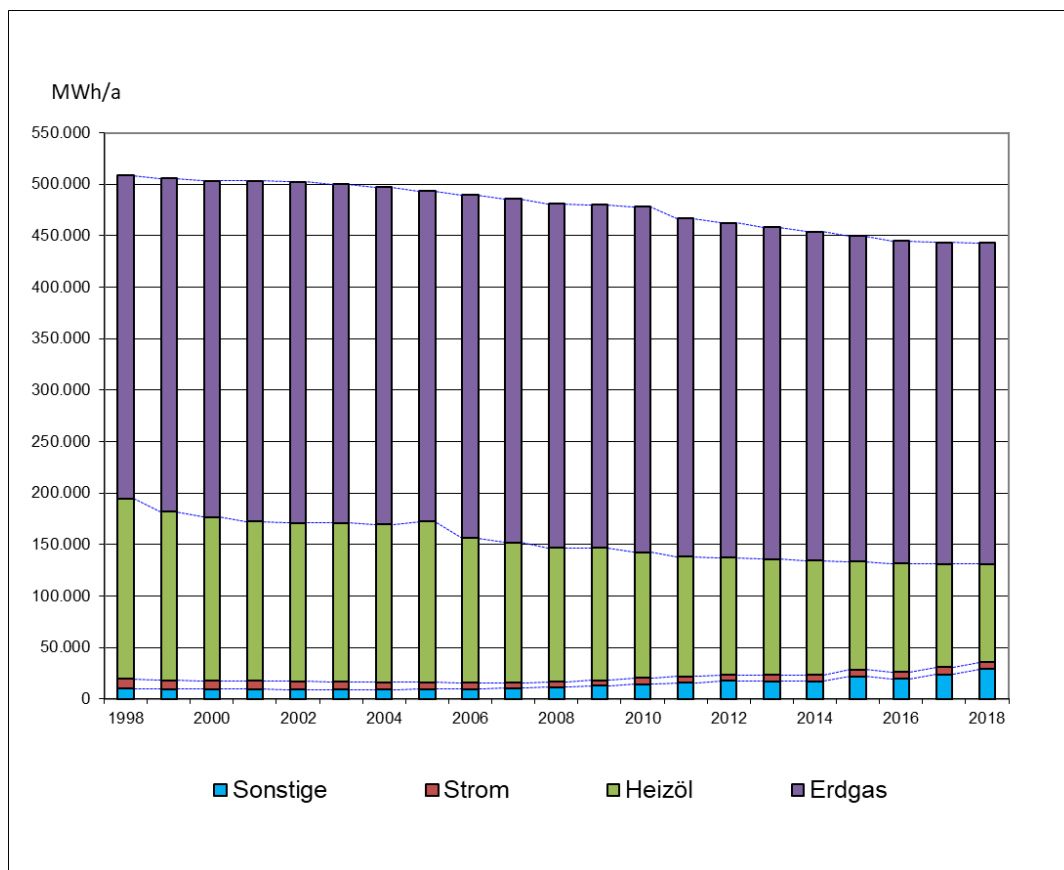


Abbildung 3-3: Endenergieverbrauch für Raumheizung in Wohngebäuden nach Energieträger [MWh/a]; temperaturbereinigt.

Warmwasser, Strom

Warmwasser

Der Energieverbrauch zur Warmwasserbereitung in Haushalten wird durch den individuellen Warmwasserbedarf je Person und den Nutzungsgrad des verwendeten Systems bestimmt. Dabei wird unterstellt, dass der spezifische Verbrauch bei Zentralanlagen höher liegt als bei Einzelgeräten, wobei noch unterschieden wird zwischen neuen komfortablen Heißwasserbereitern und Altanlagen.

Ausgehend von der Anzahl der Personen, der verwendeten Systeme sowie der mittleren jährlichen Wirkungsgrade der Anlagen und der Verbrauchszahlen von Strom und Erdgas wurde ein Verbrauch von rund 72.000 MWh im Jahr 1998 ermittelt, der bis 2018 nahezu konstant blieb. Durch die bei Zentralanlagen übliche Kopplung der Warmwasserbereitung an das Heizsystem ergibt sich auch hier analog eine Zunahme von Gas als Energieträger und eine entsprechende Reduzierung des Heizölanteils. Strom hat hier durch die bei diesem Verbrauchssegment verbreiteten Elektro-Einzelgeräte (Speicher und Durchlauferhitzer) einen höheren Anteil als im Raumwärmebereich.

Der Beitrag solarer Energie zur Warmwasserbereitung (Solarthermie) wurde über die im Jahr 1998 ermittelte gesamte Kollektorfläche in Bad Homburg errechnet. Mit 140 m² Solarfläche sind 1998 rund 30 MWh erzeugt worden. Von 2000 bis 2018 sind zusätzlich über das *Bad Homburger Förderprogramm* thermische

Solaranlagen mit einer Fläche von circa 3.500 m² subventioniert worden (ein Plus von ca. 2.500 Prozent), die jetzt bereits rund 2,5 bis drei Prozent des Warmwasserenergiebedarfs aller Haushalte decken.

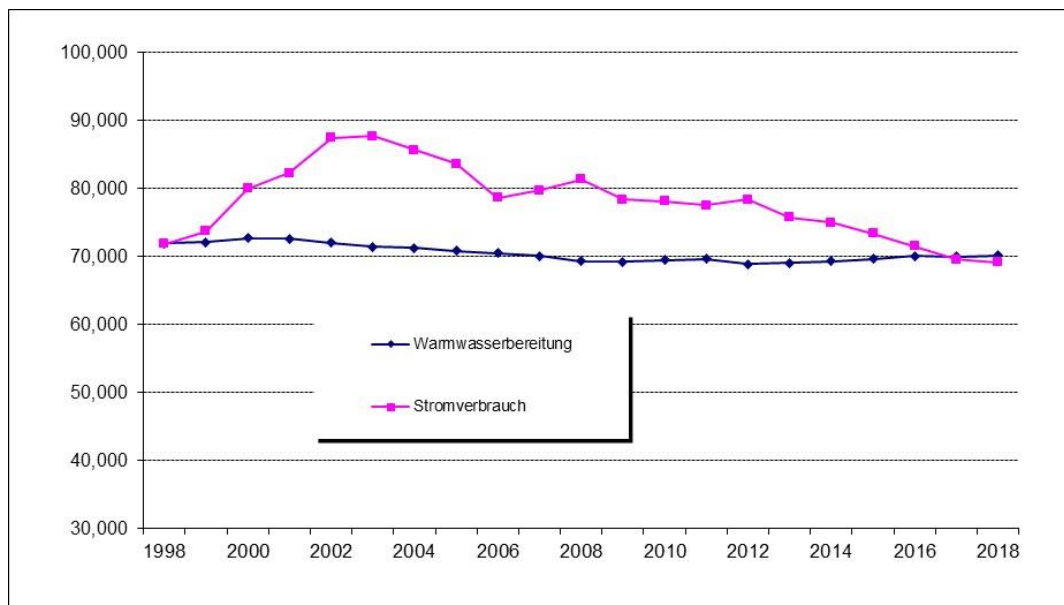


Abbildung 3-4: Verlauf des Endenergieverbrauchs in Haushalten durch Warmwasserbereitung und Stromanwendungen (ohne Heizung, in [MWh/a]).

Stromanwendungen

Der Stromverbrauch in Haushalten ist abhängig von dem Ausstattungsgrad an Elektrogeräten je Haushalt, dem spezifischen Verbrauch je Gerät und dem Nutzungsfaktor.

Der Energiebedarf reiner Stromanwendungen hat sich von 1998 bis 2003 um 22 Prozent von 71.800 MWh/a auf 87.600 MWh/a erhöht. Gründe dafür waren zum einen der gestiegene Ausstattungsgrad an Elektrogeräten und Informationstechnik, zum anderen die steigende Zahl von Ein- und Zwei-Personenhaushalten mit höherem spezifischem Stromverbrauch als Haushalte mit drei oder mehr Personen. Seitdem konnte unter anderem durch effizientere Geräte und Leuchtmittel und des statistischen Rückgangs der Singlehaushalte der Haushaltsstromverbrauch wieder auf rund 69.000 MWh/a und somit 3,7 Prozent unter das Niveau von 1998 gesenkt werden.

Bei den Einsparungen ist auch eine Stromerzeugung von rund 700 MWh im Jahr 2018 rechnerisch enthalten, die in privaten und von der Stadt subventionierten Photovoltaikanlagen erzeugt und in Eigenverbrauch genutzt wurde.

Die geringen Einsparerfolge trotz deutlich verbesserter Technik - zum Beispiel verbrauchen LED-Lampen ca. 80 Prozent weniger Strom als Glühlampen - werden auf erhebliche „Rebound-Effekte“ zurückgeführt. Der deutlich geringere spezifische Stromverbrauch der Beleuchtung und vieler elektrisch betriebener Geräte wird durch die gesteigerte Geräteanzahl und -größe (TV-Geräte) und die enorm angestiegene tägliche Nutzungsdauer in den Haushalten weitgehend kompensiert.

Energieverbrauch und CO₂-Emissionen Haushalte

Der Endenergieverbrauch der Haushalte stieg von 652.000 MWh im Jahr 1998 auf ein Maximum von 662.000 MWh in 2002 um dann bis 2018 auf 582.000 MWh/a zurückzugehen. Trotz des prozentual geringen Anteils, ist die Anwendungsart Strom die Hauptursache für den bis 2002 gestiegenen Gesamtverbrauch. Am Rückgang bis 2018 hat der Verbrauchssektor Raumwärme im Vergleich zu 1998 einen Anteil von 12,9 Prozent, Warmwasserbereitung 2,5 und Stromanwendungen 3,7 Prozent.

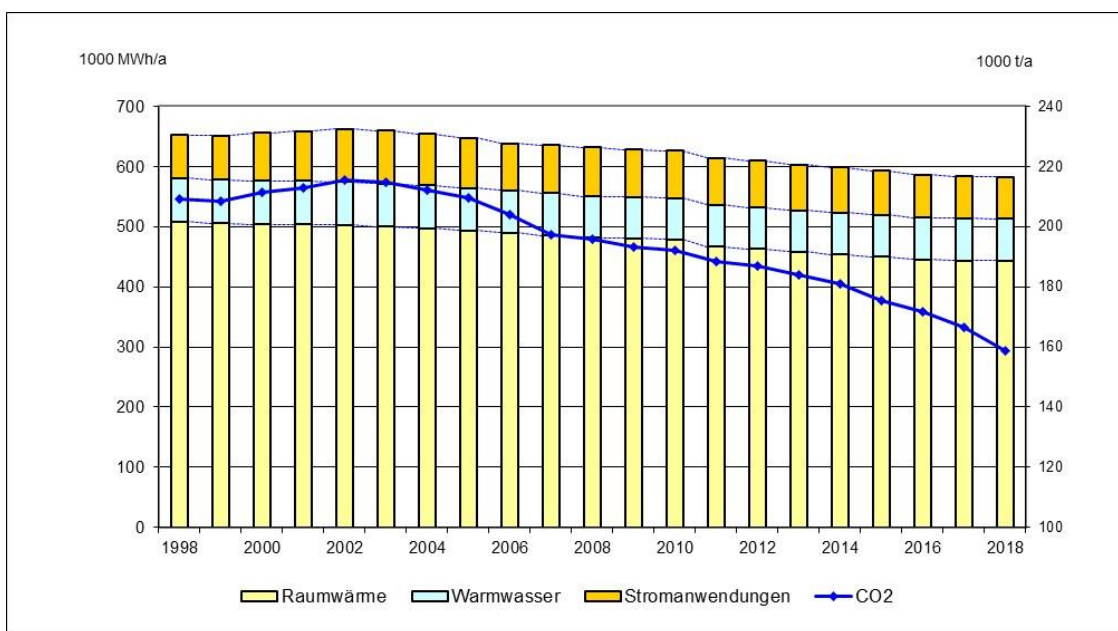


Abbildung 3-5: Endenergieverbrauch Haushalte nach Anwendungsarten [1000 MWh/a] und CO₂-äquivalente Emissionen [1000 t/a].

Energieverbrauch [1000 MWh/a]	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	1998-2018
Raumwärme	508	504	503	497	490	481	467	463	454	445	443	-12,9%
Warmwasser	72	73	72	71	70	69	70	69	69	70	70	-2,5%
Stromanwendungen	72	80	87	86	79	81	78	78	75	71	69	-3,7%
Summe	652	656	662	654	639	632	614	610	598	586	582	-10,7%

Tabelle 3-4: Endenergieverbrauch Haushalte nach Anwendungsarten [1000 MWh/a].

Die durch Heizenergieverbrauch hervorgerufenen CO₂-Emissionen haben sich durch Verbesserungen an Gebäudehüllen und Heizanlagen sowie Energieträgersubstitution im Betrachtungszeitraum um 23,3 Prozent auf 107.000 Tonnen verringert. Auch die Installation solarthermischer Anlagen zur Warmwasserbereitung und die gleichzeitige Wirkungsgradverbesserung konventioneller Anlagen hat zu einer rechnerischen Emissionsreduzierung von 21,6 Prozent auf 17.000 Tonnen innerhalb dieser Anwendungsart geführt.

CO ₂ [1000 t/a]	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	1998-2018
Raumwärme	140	137	136	134	132	125	124	118	116	114	107	-23,3%
Warmwasser	22	22	21	21	21	20	19	19	19	18	17	-21,6%
Stromanwendungen	48	53	58	57	51	51	49	49	46	40	35	-27,6%
Summe	209	212	216	212	204	196	192	187	181	172	159	-24,1%

Tabelle 3-5: Energiebedingte CO₂-Emissionen Haushalte nach Anwendungsarten [1000 t/a].

In Kraftwärmekopplungsanlagen der Stadtwerke kommt mit rund 11.000 MWh/a (2018) Biogas zum Einsatz. Nach Angaben der Stadtwerke wird im Mittel so eine CO₂-Einsparung von 1.500 Tonnen im Jahr erzielt.

Stromverbrauchsbedingte Emissionen sind von 1998 bis 2003 um 22 Prozent gestiegen und seitdem wieder rückläufig. Sowohl durch den um 3,7 Prozent (1998 – 2018) gesunkenen Haushaltsstromverbrauch als auch durch den ebenfalls gesunkenen CO₂-Faktor des angenommenen Strommix (GEMIS, 2018) sowie, wenn auch in geringerem Maße, dem Einsatz von PV-Anlagen, sind die Emissionen um knapp zehn Prozent seit 1998 auf 34.600 Tonnen im Jahr gesunken. Trotzdem sind durch den mit 505 g/kWh immer noch hohen CO₂-Faktor Stromanwendungen auch 2018 mit fast 22 Prozent überproportional am Kohlendioxidstoß der Haushalte beteiligt.

Die jährlichen CO₂-Emissionen des Raumwärmeenergieverbrauchs im Haushaltssektor wurden um ca. 32.500 Tonnen verringert.

Insgesamt sind die jährlichen CO₂-Emissionen der Energieanwendungsarten Raumwärme, Warmwasserbereitung und Strom des Haushaltssektors seit 1998 von 209.000 Tonnen im Jahr um 24,1 Prozent auf rund 158.800 Tonnen gesunken.

Dazu beigetragen hat auch das von der Stadt initiierte Förderprogramm zur Durchführung von Energiesparmaßnahmen in Wohngebäuden.

Gefördert wurden unter anderem Heizungs-, Fenster- und Türensanierungen, der Einbau thermischer Solaranlagen (mit insgesamt 1.940 kW_p), die Dämmung außenliegender Gebäudeflächen und auch der Bau von Passivhäusern.

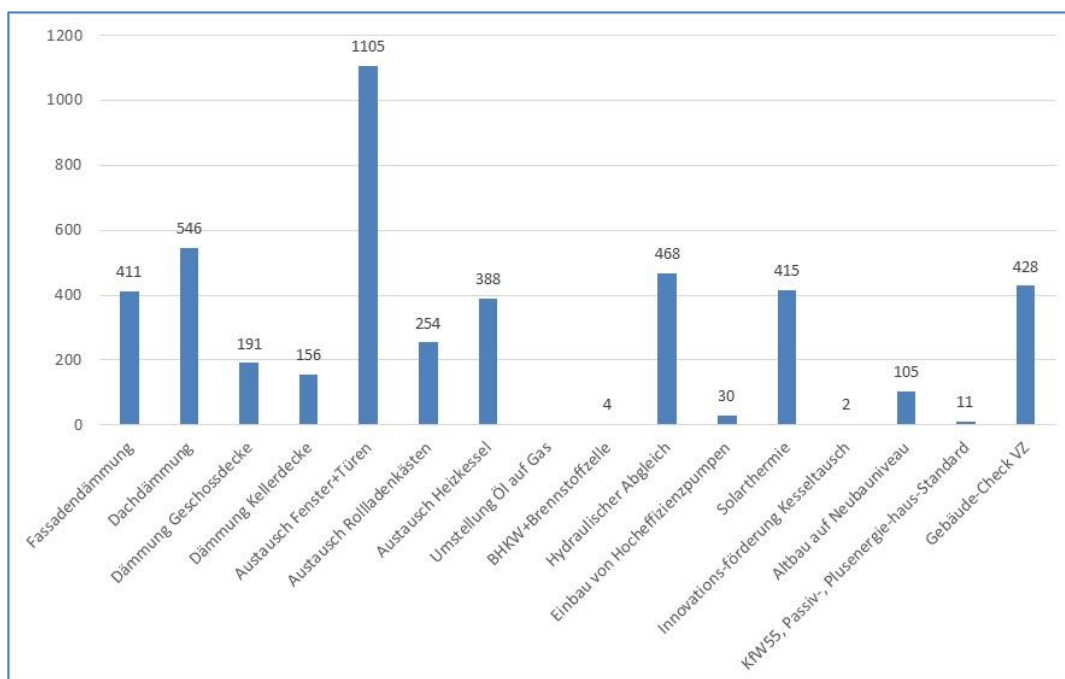


Abbildung 3-6: Geförderte Gewerke 2001 – 2018 (Energieberatung Bad Homburg)

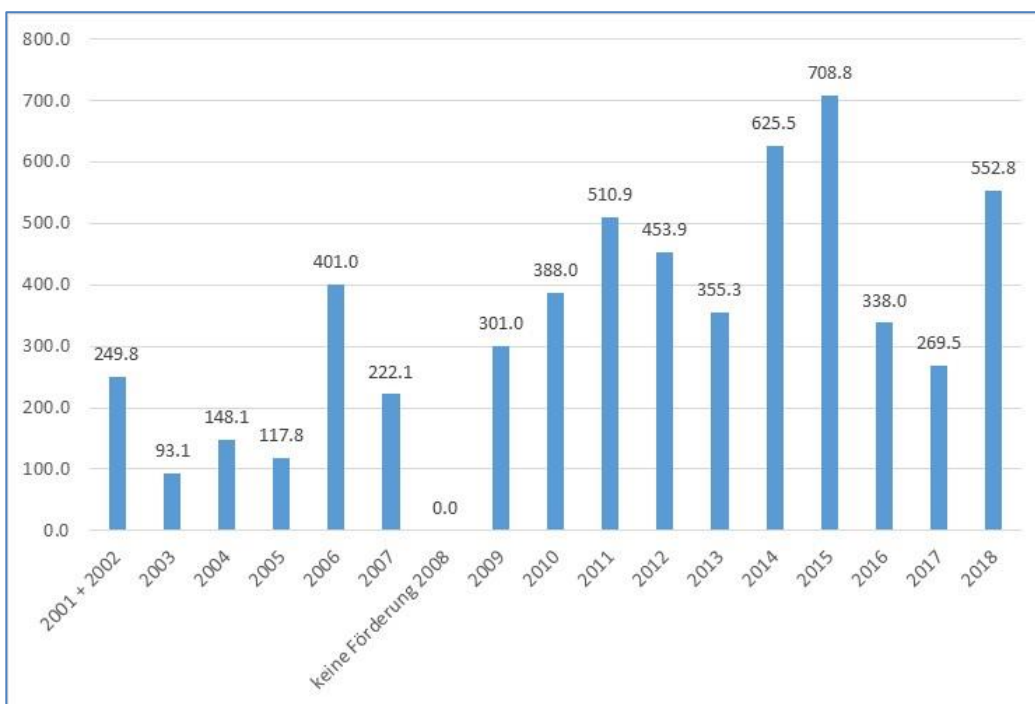


Abbildung 3-7: CO₂-Einsparung durch geförderte Maßnahmen in Tonnen pro Jahr (Energieberatung Bad Homburg).

Je nach Maßnahme liegt eine unterschiedlich hohe Effizienz des jeweils eingesetzten Förderbetrags vor. Alleine im Jahr 2018 wurden mit den umgesetzten Maßnahmen rund 553 Tonnen CO₂ eingespart.

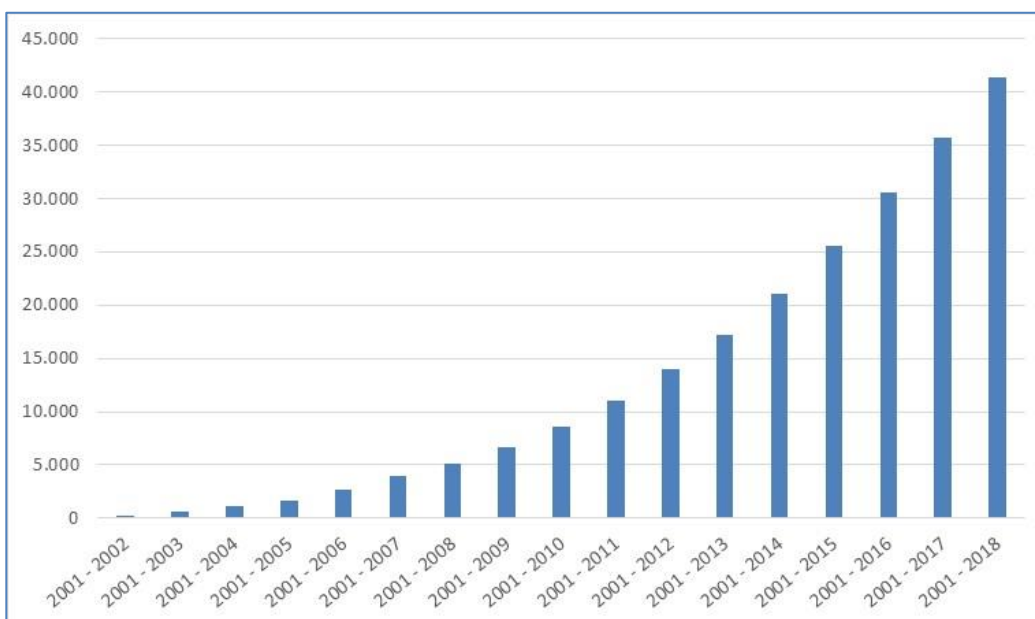


Abbildung 3-8: Kumulierte CO₂-Einsparung durch geförderte Maßnahmen in Tonnen (Energieberatung Bad Homburg).

Summiert man Fördersummen und vermiedene Emissionen seit Beginn des Programms auf, sind bis 2018 mit einem Volumen von rund 6,8 Millionen Euro die Freisetzung von 41.500 Tonnen CO₂ verhindert worden. Im Durchschnitt beträgt der Aufwand für die mittlerweile bis 2018 aufsummierten Einsparungen 164 Euro pro Tonne Kohlendioxid.

3.2 Gewerbe, Industrie, Landwirtschaft

Vorbetrachtung

Der Gewerbesektor in Bad Homburg wird nach wie vor vom Dienstleistungsbereich dominiert. An den gewerblich genutzten Gebäudeflächen hatte dieser 2018 mit 670.000 Quadratmetern einen Anteil von 63 Prozent, mit einem Flächenzuwachs von 234.900 Quadratmetern zwischen 1998 und 2012. Industrie-, Produktions-, und Handwerksbetriebe hatten im selben Zeitraum einen Netto-Zugewinn von 55.600 m². Insgesamt werden fast 1,1 Millionen Quadratmeter in umbauten Räumen gewerblich genutzt.

Nutzflächen [1000 m ²]	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Private Dienstleistung.	435	456	463	478	478	492	498	537	628	651	670
Handwerk, Industrie	314	333	342	341	340	355	355	358	368	369	369
Landwirtschaft	21	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Summe	769	810	824	839	838	866	873	914	1.015	1.040	1.059

Tabelle 3-6: Gebäudenutzflächen in Landwirtschaft und im Dienstleistungs-, Industrie- und Gewerbesektor [1000 m²] (HSL, IKK).

Im Sektor Landwirtschaft gehen sowohl die Beschäftigtenzahlen als auch die genutzten Flächen zurück. Waren 2005 im Gemarkungsgebiet von Bad Homburg noch 37 landwirtschaftliche Betriebe und eine landwirtschaftlich genutzte Fläche von 1.207 Hektar aufgeführt, gab es 2016 noch 25 Betriebe bei 1.156 Hektar.

Raumwärme

Zur Berechnung des Raumwärmeverbrauchs ist die inhomogene Gebäudestruktur des gewerblich-industriellen Sektors über eine Einteilung in drei Gebäudeklassen (wohnungsähnlich, abweichend wohnungsähnlich, hallenähnlich) und drei Baualtersklassen (vor 1978, nach 1978 und nach 1999) systematisiert und auf die drei Teilsektoren aggregiert worden.

Über die spezifischen Verbrauchskennwerte aus der Gebäudetypologie, der Anzahl der zu beheizenden Flächen und über die statistische Verteilung der Heizsysteme mit ihren jeweiligen Nutzungsgraden wurde der Endenergieverbrauch errechnet. Ebenso wie im Wohngebäudebereich sind Annahmen hinsichtlich der Verbesserung des Wärmeschutzes und der Effizienz der Heizanlagen vorgenommen worden, die mit den Absatzzahlen der Energieversorger abgeglichen wurden und zu den Verbrauchswerten der einzelnen Teilsektoren geführt haben.

Temperaturbereinigt ist zwischen 1998 und 2018 der Energieverbrauch im Raumwärmebereich des gewerblichen Sektors um acht Prozent von 174.000 MWh/a auf 188.000 MWh/a gestiegen. Daran hatte 2018 der Dienstleistungssektor mit einem Verbrauch von 116.000 MWh/a (61,5 Prozent) den größten Anteil. Einsparungen durch besseren Wärmeschutz und effizientere Heizanlagen in allen drei Untersektoren sind durch den Netto-Flächenzuwachs komplett überkompensiert worden.

Energieverbrauch für Raumwärme nach Teilsektoren [1000 MWh/a]	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Dienstleistung	98	100	101	101	100	100	101	102	113	114	116
Handwerk, Industrie	71	73	74	73	72	72	72	70	70	69	69
Landwirtschaft	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Summe	174	178	179	178	176	177	177	176	187	187	188

Tabelle 3-7: Endenergieverbrauch zur Beheizung von Gebäuden im Industrie-, Handels- und Dienstleistungssektor und in der Landwirtschaft [1000 MWh/a].

Prozessenergie, Warmwasser, Stromanwendungen

Zur Kategorie Prozessenergie zählen Anwendungen wie Backprozesse, Reinigungs-, Trocknungs-, Härtings- und Wärmebehandlungsprozesse. Dabei ist die Grenze zu den Anwendungsarten „Warmwasser“

und „Strom“ fließend und wird in Studien unterschiedlich definiert. Warmwasser wird in dieser Untersuchung und in der hier verwendeten Definition für Hygienezwecke eingesetzt. Reine Stromanwendungen sind Licht, Kommunikation, Antriebe, Lüftung / Kühlung und Kleingeräte.

Über einen Verteilungsschlüssel (HSL, KFA, Prognos und eigenen Berechnungen) ist der Anteil der jeweiligen Anwendungsarten am Gesamtverbrauch errechnet und mit den von Gas- und Stromversorgern zur Verfügung gestellten und nach Tarifarten getrennten Verbrauchszahlen unter Berücksichtigung der Betriebsstruktur in Bad Homburg abgeglichen worden.

In den prozessenergieintensiven Betrieben des produzierenden Gewerbes und der Landwirtschaft werden alleine für Stromanwendungen und Prozesse fast 23 Prozent des Energieverbrauchs der gesamten Stadt aufgewendet. Der Energieaufwand des raumwärmedominierenden Dienstleistungsbereichs fällt bei den Anwendungsformen Strom und Prozessenergie erwartungsgemäß geringer ins Gewicht als der des produzierenden Gewerbes. Der Untersektor Landwirtschaft hat bei 78 Beschäftigten im Jahr 2018 und 13.000 Megawattsunden Energieverbrauch bei Strom- und Prozessanwendungen den größten spezifischen Energiebedarf innerhalb dieser Anwendungsarten.

Energieverbrauch und CO₂-Emissionen Gewerbe, Industrie, Landwirtschaft

Im gewerblichen Sektor mit Handwerk, Industrie, Dienstleistung und Landwirtschaft hat sich der gesamte Endenergieverbrauch für Raumwärme, Warmwasser, Prozesse und Stromanwendungen seit 1998 von 427.000 MWh pro Jahr um über 10 Prozent auf 471.000 MWh im Jahr 2018 erhöht.

Grund für die Energieverbrauchssteigerung in allen Anwendungsarten sind der gestiegene Flächen- und damit Raumwärmebedarf, insbesondere im Dienstleistungssektor, und der im Produzierenden Gewerbe und Industrie gestiegene Prozessenergieverbrauch. Ausgeprägter als Stromanwendungen unterliegt diese Energieanwendungsform produktions- und konjunkturabhängigen Einflüssen.

Energieverbrauch im Gewerbesektor und Landwirtschaft nach Anwendungsarten [1000 MWh/a]												1998- 2018
	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	
Raumwärme	174	178	179	178	176	177	177	176	187	187	188	+8,2%
Warmwasser	26	23	21	26	22	21	32	38	22	37	29	+12,6%
Stromanwendungen	127	156	153	137	127	146	133	130	139	125	128	+1,1%
Prozesse	101	98	84	101	96	69	100	113	87	125	126	+24,6%
Summe	427	455	437	442	420	413	442	457	436	475	471	+10,3%

Tabelle 3-8: Temperaturbereinigter Endenergieverbrauch im Gewerbesektor und Landwirtschaft nach Anwendungsarten [1000 MWh/a].

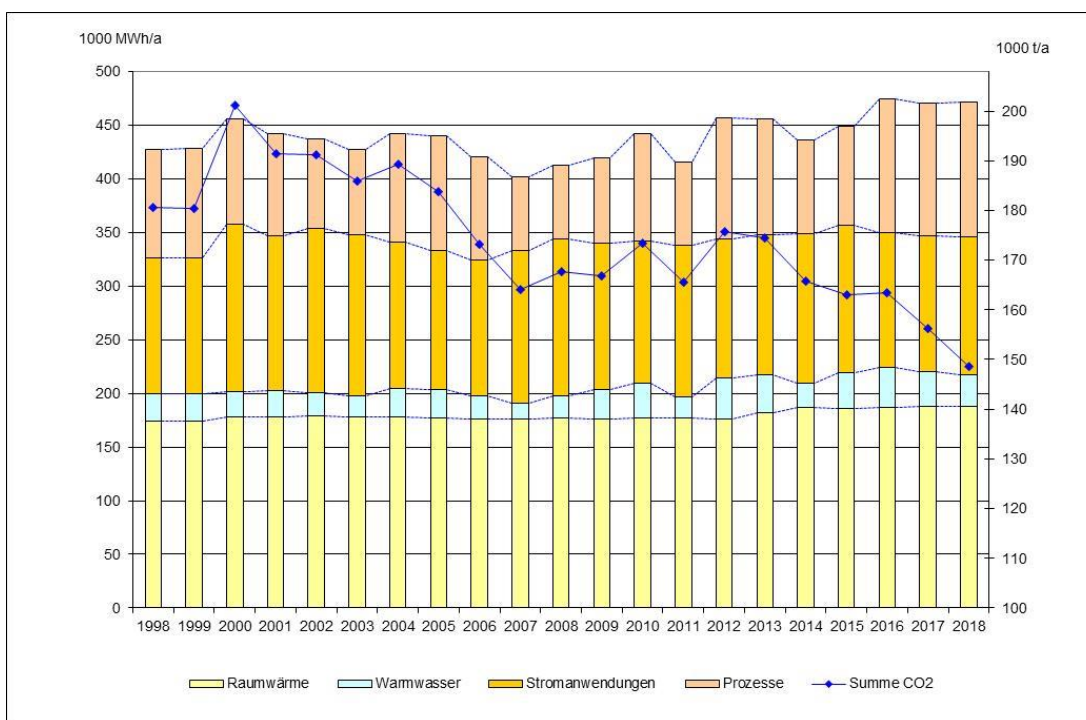


Abbildung 3-9: Endenergieverbrauch nach Anwendungsarten in Gewerbe und Landwirtschaft (in 1000 MWh/a) und Gesamt-CO₂-Emissionen (1000 t/a).

Trotz des gestiegenen Energieverbrauchs sind durch mehrere Einflüsse die klimarelevanten Emissionen über den Betrachtungszeitraum gesehen gesunken. Dazu zählen der insgesamt verbesserte CO₂-Faktor von Strom, der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung und auch Energieträgersubstitution wie beispielsweise Heizöl durch Erdgas oder Festbrennstoffe. Direkt lokal eingesetzte regenerative Energieträger haben ebenfalls zu einer Verringerung CO₂-äquivalenter Emissionen beigetragen.

CO ₂ -Emissionen im Gewerbesektor und Landwirtschaft nach Teilssektoren [1000 t/a]	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	1998-2018
Dienstleistung	47	50	48	49	45	47	49	48	48	50	47	-0,1%
Industrie	125	142	134	131	120	112	115	119	111	109	97	-22,1%
Landwirtschaft	9	9	9	9	9	9	9	9	6	5	4	-50,6%
Summe	181	201	191	189	173	168	173	176	166	163	149	-17,7%

Tabelle 3-9: CO₂-Emissionen im Dienstleistungssektor, Industrie und Landwirtschaft [1000 t/a].

Die CO₂-Reduktion macht sich im Industrie- und Landwirtschaftssektor mit höherem Stromanteil und Substitutionspotential stärker bemerkbar als im Privaten Dienstleistungssektor, dessen Emissionen trotz erhöhtem Flächen- und Energiebedarf im Vergleich zu 1998 konstant blieben. Über alle Sektoren hinweg wurden etwa 32.000 Tonnen im Jahr 2018 im Vergleich zu 1998 eingespart.

3.3 Öffentliche Verbraucher

Zu dieser Verbraucherguppe werden die Institutionen der öffentlichen Dienstleistung im Allgemeinen, die städtischen Einrichtungen, Kreis- und überregionale Verwaltungsstellen gezählt. Darunter Kliniken, Schulen, Heime und Kultureinrichtungen, Bürgerhäuser, Feuerwehr, Kindertages- und Sportstätten und außenliegende Verbraucher wie Straßenbeleuchtung und Pumpen.

Beschäftigtenzahl und Gebäudeflächen als energiebedarfsbestimmende Leitparameter sind seit 1998 unterschiedlich stark gestiegen. Laut Statistischem Landesamt ist in Bad Homburg zwischen 2000 und

2018 die Anzahl sozialversicherungspflichtig Beschäftigter im öffentlichen und privaten Dienstleistungssektor zusammengenommen von 6.414 auf 9.201 gestiegen. Seit 1998 vergrößerte sich die Gesamtnutzfläche öffentlicher Gebäude bis 2018 um fast 7.000 Quadratmeter (2,5 %) auf mittlerweile rund 298.000 Quadratmeter. Darunter der Neubau der Stadtbibliothek in der Dorotheenstraße und Erweiterungen an Kindertagesstätten. Anfang 2008 wurde die neue Feuerwache an der Dietigheimer Straße in Betrieb genommen und die kreiseigene Humboldtschule in mehreren Bauabschnitten renoviert und umgebaut.

Energieverbrauch und CO₂-Emissionen Öffentliche Einrichtungen

Im raumwärmedominierten öffentlichen Sektor ist witterungsbereinigt der Heizenergieverbrauch innerhalb des Betrachtungszeitraums um 9,4 % Prozent von rund 65.000 MWh/a auf 59.000 MWh/a zurückgegangen. Durch Verbesserungen am Wärmeschutz und heizungstechnischen Anlagen von bestehenden Gebäuden wurde der Flächenzuwachs kompensiert.

Energieverbrauch Öffentlicher Sektor [1000 MWh/a]	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	1998- 2018
Raumwärme	65	64	64	63	62	61	61	59	60	59	59	-9,4%
Warmwasser	19	20	20	19	20	21	20	20	18	17	15	-18,8%
Stromanwendungen	24	26	22	20	18	18	18	17	17	17	17	-31,6%
Prozesse	13	14	14	14	15	17	14	25	16	18	18	+31,4%
Summe	121	124	121	117	115	117	112	121	111	110	108	-10,8%

Tabelle 3-10: Endenergieverbrauch im öffentlichen Sektor nach Anwendungsarten [1000 MWh/a]; temperaturbereinigt.

Die Anwendungsarten Prozesse, Strom und Warmwasserbereitung kommen zusammen auf einen Verbrauch von 49.000 MWh im Jahr 2018, das sind 7.000 MWh weniger als 1998. Während der Energiebedarf für Stromanwendungen und Warmwasserbereitung tendenziell zurückgeht, zeigt derjenige für Prozessenergie einen Aufwärtstrend.

CO ₂ -Emissionen Öffentlicher Sektor [1000 t/a]	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	1998- 2018
Raumwärme	18	17	17	17	17	16	16	16	16	15	15	-16,8%
Warmwasser	5	6	6	6	6	6	6	5	5	5	4	-29,5%
Stromanwendungen	16	17	15	13	12	11	11	10	10	9	8	-49,1%
Prozesse	4	4	4	4	4	5	4	7	4	5	4	+12,6%
Summe	43	44	42	40	38	38	37	38	36	34	31	-27,7%

Tabelle 3-11: CO₂-Emissionen des öffentlichen Sektors nach Anwendungsarten [1000 t/a].

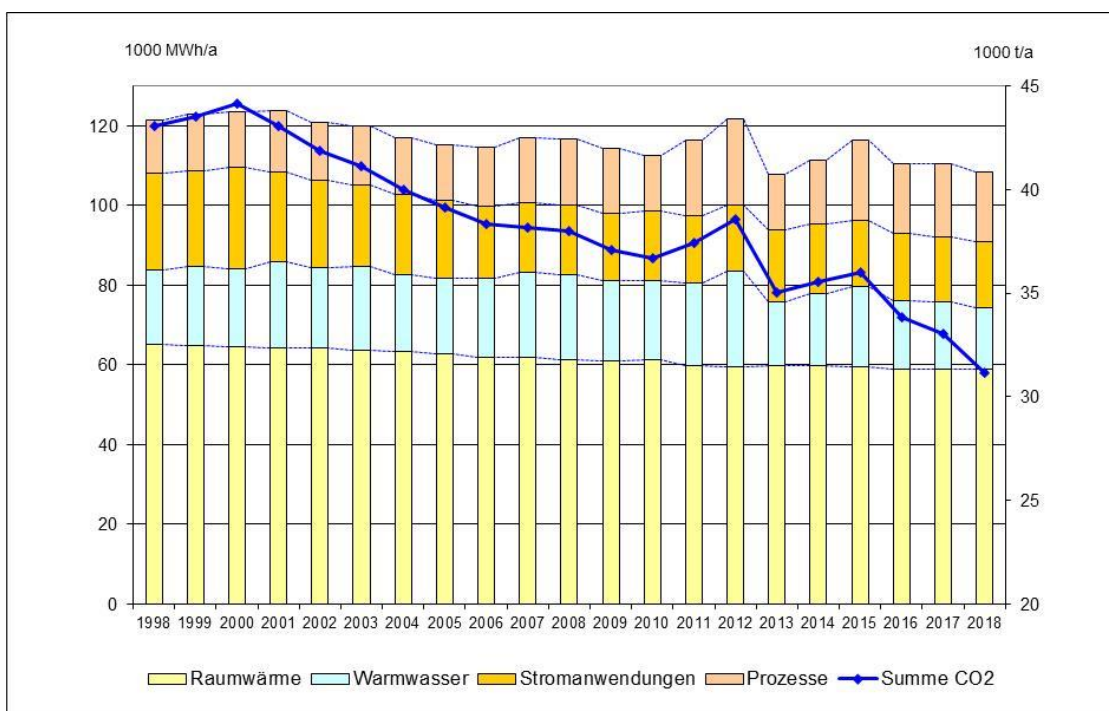


Abbildung 3-10. Endenergieverbrauch im öffentlichen Sektor inkl. städt. Einrichtungen nach Anwendungsarten [1000 MWh/a] und CO₂-Gesamtemissionen gesamt [1000 t/a].

Der Anstieg des Gesamtverbrauchs im Jahr 2012 wird hauptsächlich von Warmwasser-, Strom- und Prozessenergieanwendungen hervorgerufen. Der erhöhte Erdgasbezug öffentlicher Tarifabnehmer ist nach der Temperaturbereinigung auch nicht der Raumwärme sondern eher Warmwasserbereitung und Prozessenergieanwendungen geschuldet. Dagegen haben in 2000 die Stromanwendungen für den Anstieg der Gesamtemissionen gesorgt.

Gründe für die tendenziell abnehmenden Kohlendioxidemissionen sind auch hier der zurückgehende Strombedarf, der verbesserte CO₂-Faktor und zusätzlich die Nutzung von grünem Strom. Holz wird im Zuge der in den letzten Jahren erfolgten Installation von Anlagen zur Verfeuerung von Holzpellets und Holzhackschnitzeln, wie beispielsweise im städtischen Betriebshof, vermehrt eingesetzt und kommt mittlerweile auf einen Anteil von fast zwei Prozent am Heizenergieverbrauch.

Städtische Einrichtungen

Aus den Zahlen des kommunalen Energiemanagements für die Zeit von 2000 bis 2018 geht ein Stromverbrauch von 4.845 MWh/a (2000) bis 4.377 MWh/a (2018) hervor. Der Wärmeverbrauch lag 2000 bei 6.713 MWh/a und 2018 bei 6.709 Megawattstunden.

Hier angegeben werden Strom- und Wärmeverbrauch in Gebäuden sowie Strom für Straßenbeleuchtung und Ampelanlagen sowie Gas für Straßenbeleuchtung. Städtische Wärmeeinwendungen sind mit rund drei Prozent am Raumwärme- und Warmwasserenergieverbrauch des gesamten öffentlichen Sektors beteiligt. Bei Stromanwendungen sind es 3,4 Prozent.

Energieverbrauch Städtische Einrichtungen [MWh/a] und Gebäudefläche	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Gebäudefläche [m ²]	71.202	73.308	73.308	74.588	74.588	74.588	74.764	75.967	76.051	74.132
Gebäude Wärme	6.713	7.644	7.123	7.419	7.127	6.919	6.521	6.377	6.628	6.836
Gebäude Strom	2.391	2.478	2.624	2.822	2.880	3.009	2.901	2.887	3.035	3.005
Straßenbel. Strom	2.067	2.580	2.791	2.990	2.982	2.951	2.966	2.949	2.862	2.901
Straßenbel. Gas	817	817	633	532	441	387	368	349	335	317
Ampeln Strom	388	355	371	388	384	387	396	373	380	333
Summe	12.375	13.875	13.542	14.150	13.815	13.653	13.151	12.934	13.239	13.391

Tabelle 3-12: Wärme- und Stromverbrauch Städtischer Einrichtungen [MWh/a], nicht temperaturbereinigt (2000 – 2009)

Energieverbrauch Städtische Einrichtungen [MWh/a] und Gebäudefläche	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Veränderung 2000 - 2018
Gebäudefläche [m ²]	83.068	85.010	86.222	86.593	65.395	71.172	72.254	72.254	72.254	+1,5%
Gebäude Wärme	9.302	6.833	7.368	7.903	5.998	6.270	7.060	7.187	6.709	-0,1%
Gebäude Strom	3.002	3.087	3.231	2.914	2.745	2.777	2.859	2.990	2.856	+19,5%
Straßenbel. Strom	2.657	2.477	2.509	2.172	1.832	1.621	1.624	1.360	1.401	-32,2%
Straßenbel. Gas	259	219	206	203	203	189	155	157	157	-80,8%
Ampeln Strom	302	238	211	136	150	141	147	134	119	-69,2%
Summe	15.521	12.854	13.525	13.328	10.927	10.998	11.845	11.827	11.242	-9,2%

Tabelle 3-13: Wärme- und Stromverbrauch Städtischer Einrichtungen [MWh/a], nicht temperaturbereinigt (2010 – 2018)

Insgesamt war der Gesamtenergieverbrauch Städtischer Einrichtungen mit 11.242 MWh in 2018 um 1.132 MWh (neun Prozent) geringer als 2000 (12.375 MWh/a).

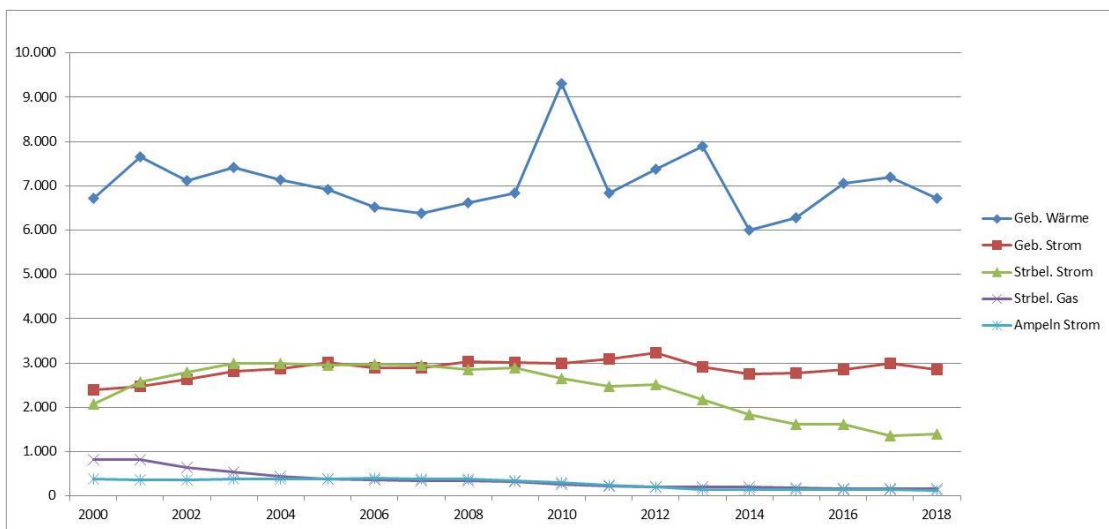


Abbildung 3-11: Wärme- und Stromverbrauch Städtischer Einrichtungen [MWh/a], nicht temperaturbereinigt.

Von 2003 bis 2006 ist der absolute, das heißt der nicht-temperaturbereinigte Wärmeverbrauch Städtischer Einrichtungen zurückgegangen und danach bis 2010 wieder angestiegen. Gründe hierfür sind unter anderem Zu- und Abgang von Gebäudeflächen wie das in städtische Verantwortung übergegangene Technische Rathaus (2010), der Neubau der Feuerwache Dietigheimer Straße und die Albin-Göhring-Halle, die nach längerer Nutzungspause wieder in den regulären Betrieb gegangen war.

Neben notwendigen Sanierungsschritten, wie Erneuerungen veralteter Heizanlagen, wurden auch Sparmaßnahmen eingeleitet, die über das technisch Erforderliche hinausgehen, zum Beispiel die Auslegung von Neubauten im Passivhausstandard bei zwei Kindertagesstätten und einer Sportanlage. Im Gebäudebestand wird durch Wärmedämmung, stromsparende Technik und Hausmeisterschulungen der Anstieg des Verbrauchs reduziert. Ein gemittelter Energiekennwert von Wärmeverbrauch pro Fläche zeigt eine Verbesserung um 1,5 Prozent und zwar von 94,3 kWh/m² im Jahr 2000 auf 92,9 kWh/m² im Jahr 2018.

Die prozentual größte Energieeinsparung wurde seit 2010 durch den Beginn der Umstellung auf LED als Beleuchtungsmittel erzielt. Bei Lichtsignalanlagen ist der Stromverbrauch im Vergleich zu 2000 um 69 Prozent reduziert worden und bei der Straßenbeleuchtung um 32 Prozent.

Weiterhin wird laut dem Energiemanagement der Stadt seit Anfang 2011 (mit Ausnahme der Straßenbeleuchtung) auch im Versorgungsnetz der Süwag Naturstrom über die Stadtwerke bezogen, mithin ergeben sich folgende Emissionsverläufe:

CO ₂ -Emissionen Städtische Einrichtungen [t/a]	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	Veränderung 2000 - 2018
Gebäude Wärme	1.583	1.680	1.681	1.569	1.563	2.193	1.717	1.387	1.633	1.494	-5,6%
Gebäude Strom	1.592	1.747	1.918	1.877	1.921	1.900	407	170	174	171	-89,2%
Straßenbel. Strom	1.377	1.859	1.986	1.919	1.812	1.682	1.588	1.130	911	707	-48,6%
Straßenbel. Gas	198	153	107	92	82	63	50	49	37	36	-81,7%
Ampeln Strom	258	247	256	256	240	191	134	93	83	60	-76,7%
Summe	5.008	5.687	5.948	5.713	5.617	6.029	3.897	2.829	2.838	2.469	-50,7%

Tabelle 3-14: CO₂-Emissionen Städtischer Einrichtungen [t/a], nicht temperaturbereinigt (2000 – 2018).

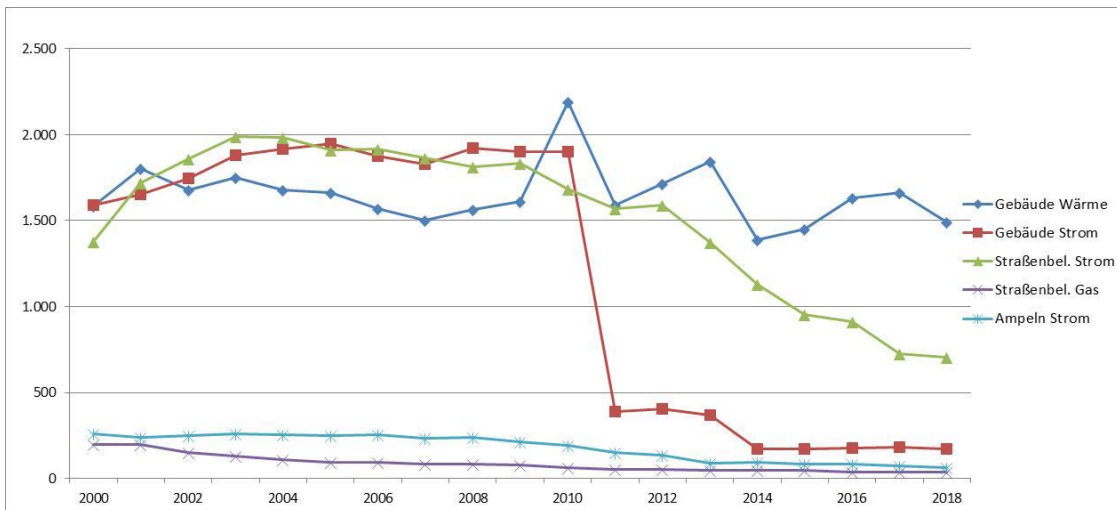


Abbildung 3-12: CO₂-Emissionen Städtischer Einrichtungen [t/a], nicht temperaturbereinigt. Ab 2011 Bezug von „Grünem Strom“ in städtischen Gebäuden mit einem angenommenen PV -CO₂-Faktor von 60g/kWh (GEMIS).

Legt man den CO₂-Faktor von PV-Strom (GEMIS) ab 2011 für Gebäudestromverbrauch zugrunde, kommt man auf eine Emissionsreduzierung innerhalb des Anwendungsbereichs „Gebäudestrom“ von über 89 Prozent und insgesamt über alle ausgewerteten Städtischen Einrichtungen in 2018 von über 50 Prozent im Vergleich zu 2000.

3.4 Motorisierter Individual- und Straßengüterverkehr im Stadtgebiet

In der detaillierten Verkehrsanalyse für 1997 ist aus den vorhandenen durchschnittlichen täglichen Verkehrswerten eine Verkehrsleistung pro Tag von 732.500 Fahrzeugkilometern (Fzgkm) und eine jährliche Gesamtverkehrsleistung von 219,75 Mio. Fzgkm errechnet worden. 97 Prozent entfielen davon auf den motorisierten Individualverkehr (710.200 Fzgkm/d) und 3 Prozent auf den Straßengüterverkehr (22.300 Fzgkm/d). Daraus leiteten sich neben den Schadstoffemissionen Kohlenmonoxid, Stickoxide und Kohlenwasserstoffe auch Kohlendioxidemissionen von rund 53.000 Tonnen im Jahr ab.

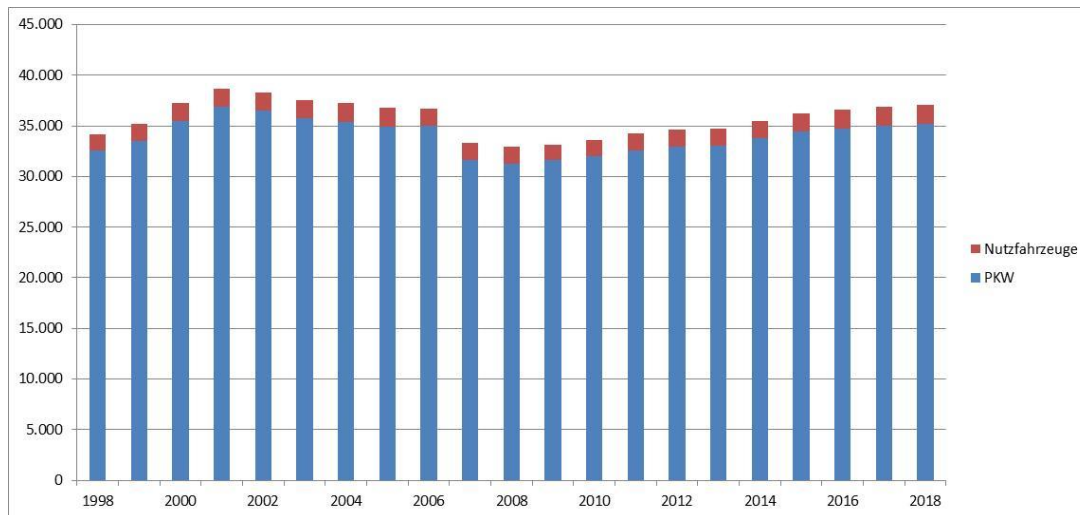


Abbildung 3-13: Fahrzeugbestand in Bad Homburg (Quelle: Stadt Bad Homburg, Zulassungsstelle Hochtaunuskreis, Kraftfahrtbundesamt).

Der Bestand an PKW und Nutzfahrzeugen ist von 1998 bis 2001 um 13 Prozent von 34.193 auf 38.667 gestiegen und bis 2008 auf 32.959 zurückgegangen. Seit 2009 ist jedenfalls wieder ein Anstieg zu verzeichnen: Ende 2018 waren 37.217 Fahrzeuge dieser Art zugelassen. Zu berücksichtigen ist hier allerdings, dass es 2006 / 2007 offensichtlich einen statistischen Versatz in den Zahlen des Kraftfahrtbundesamts (KBA) gab.

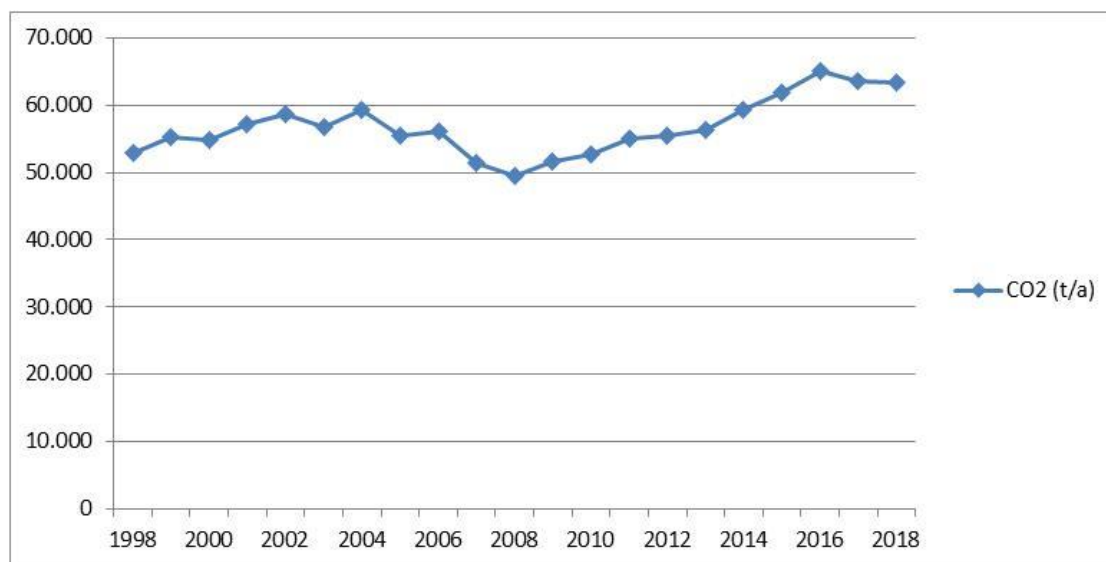


Abbildung 3-14: Durch Individual- und Straßengüterverkehr in Bad Homburg hervorgerufene CO₂-Emissionen in Tonnen pro Jahr (UBA, eigene Hochrechnungen).

Laut Umweltbundesamt (UBA) sind die spezifischen Kohlendioxid-Emissionen pro Verkehrsaufwand (Personen- und Tonnenkilometer) durch strengere Abgasvorschriften und verbesserte Kraftstoffqualität gesunken, und zwar bundesweit zwischen 1995 und 2018 um rund neun Prozent (PKW) beziehungsweise

33 Prozent (LKW). Durch vermehrten Verkehrsaufwand sind die erzielten Verbesserungen aber wieder aufgehoben worden. Die gesamten Kohlendioxid-Emissionen des PKW-Verkehrs sind in diesem Zeitraum um 3,7 Prozent angestiegen, die des Straßengüterverkehrs um 22 Prozent.

Mit dem Bad Homburger Fahrzeugbestand und aus den bundesdurchschnittlichen spezifischen Emissionen und absoluten Verkehrsleistungen wurden die durch PKW- und Lastkraftverkehr in Bad Homburg aufsummierten CO₂-Emissionen vereinfacht hochgerechnet. Demnach stieg die Kohlendioxidbelastung durch diese Verkehrsart von 1998 bis 2018 um fast 15 Prozent von 53.000 Tonnen auf rund 63.000 Tonnen im Jahr.

4 Zusammenfassung

Endenergieverbrauch

Zusammengefasst lag 2018 der temperaturbereinigte Endenergieverbrauch von Haushalten, dem Gewerbesektor und Öffentlichen Einrichtungen in Bad Homburg (ohne Verkehr) mit 1.161 Megawattstunden um 3,3 Prozent niedriger als der Verbrauch im Basisjahr 1998 mit ca. 1.200 MWh.

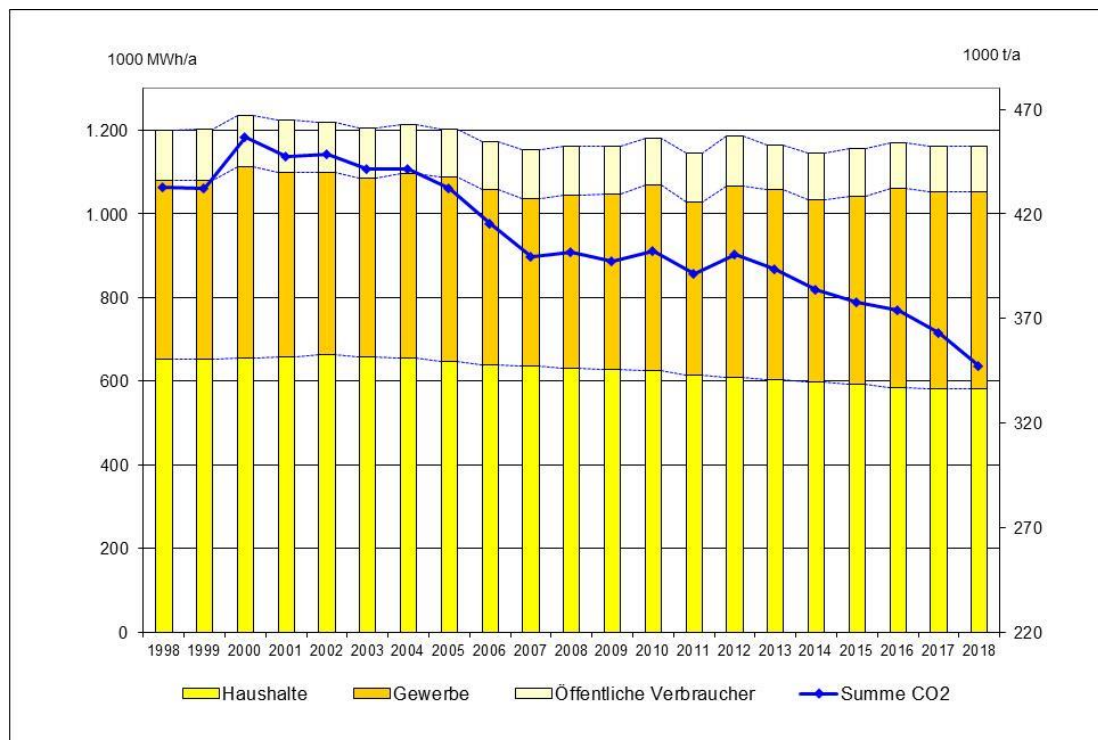


Abbildung 4-1: Temperaturbereinigter Endenergieverbrauch in Bad Homburg nach Verbrauchergруппen [1000 MWh/a] und CO₂-Gesamtemissionen [1000 t/a].

Hauptverbraucher sind 2018 mit knapp über 50 Prozent die Haushalte (582.000 MWh) gefolgt vom Gewerbesektor mit rund 41 Prozent. Der Öffentliche Sektor trägt mit 9,3 Prozent zum Gesamtverbrauch bei, darin enthalten sind städtische Einrichtungen mit knapp einem Prozent.

Gesamtverbrauch [1000 MWh/a]	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	1998-2018
Haushalte	652	656	662	654	639	632	626	610	598	586	582	-10.7%
Gewerbe	427	455	437	442	420	413	442	457	436	475	471	+10.3%
Öffentliche	121	124	121	117	115	117	112	121	111	110	108	-10.8%
Summe	1.201	1.235	1.220	1.213	1.173	1.161	1.180	1.187	1.145	1.171	1.161	-3.3%

Tabelle 4-1: Temperaturbereinigter Endenergieverbrauch in Bad Homburg von 1998 bis 2018 nach Verbrauchergруппen [1000 MWh/a].

Haushalte weisen kontinuierlich und der Öffentliche Sektor tendenziell seit den Jahren 2000 und 2002 rückläufige Energieverbräuche aus. Im Vergleich zum Ausgangsjahr wurden so 71.000 MWh respektive 13.000 MWh (jeweils fast elf Prozent) weniger in 2018 verbraucht. Im gleichen Zeitraum stieg der gewerbliche Verbrauch dagegen um zehn Prozent auf 471.000 MWh im Jahr.

CO₂-Emissionen

Seit 1998 sind die energiebedingten Kohlendioxidemissionen (CO₂-Äquivalente) von 433.000 Tonnen auf 339.000 Tonnen im Jahr 2018 gesunken. Durch den vermehrten Einsatz von regenerativ erzeugter Energie, Sparmaßnahmen, Effizienzsteigerung, in geringem Maße auch durch die Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung aber hauptsächlich durch allgemein niedriger gewordenen CO₂-Faktoren von Energieträgern, an erster Stelle Strom, gingen die Emissionen seit 1998 um fast 22 Prozent zurück.

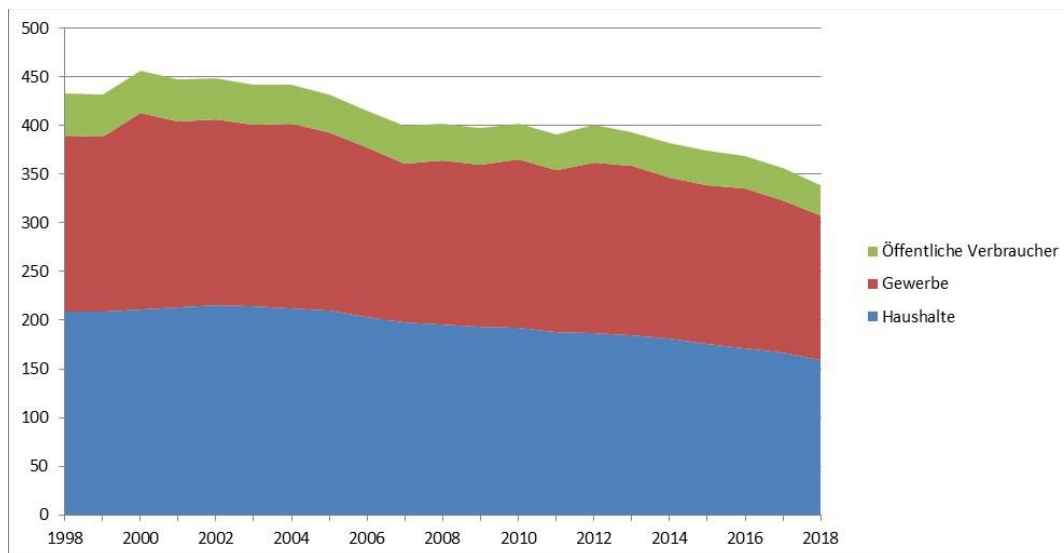


Abbildung 4-2: CO₂-Emissionen in Bad Homburg nach Verbrauchergruppen (in 1000 t/a, ohne Verkehr).

Der Haushaltsbereich war mit 209.000 Tonnen im Jahr 1998 (48 Prozent) Hauptemittent energiebedingter Kohlendioxidemissionen. Unter anderem durch den gestiegenen Haushaltsstrombedarf stiegen diese bis 2002 netto auf 216.000 Tonnen und gingen danach bis 2018 auf 159.000 Tonnen zurück. Im Vergleich zu den Privathaushalten und den gewerblichen Verbrauchern mit 149.000 Tonnen fallen die durch öffentliche Einrichtungen verursachten Emissionen von rund 31.000 Tonnen im Jahr 2018 gering aus.

CO ₂ -Emissionen [1000 t/a]	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	1998- 2018
Haushalte	209	212	216	212	204	196	192	187	181	172	159	-24.1%
Gewerbe	181	201	191	189	173	168	173	176	166	163	149	-17.7%
Öffentliche	43	44	42	40	38	38	37	38	36	34	31	-27.7%
Summe	433	457	449	442	415	402	402	401	382	369	339	-21.8%

Tabelle 4-2: CO₂-Emissionen in Bad Homburg von 1998 bis 2018 nach Verbrauchergruppen [1000 t/a].

Der durch hohen Stromanteil gekennzeichnete Gewerbe- und Industrieenergieverbrauch trägt überproportional zu den Emissionen bei, hat dann aber unter anderem durch einen verbesserten CO₂-Faktor von Strom absolut gesehen großen Anteil an Emissionseinsparungen. Während von 1998 bis 2018 der Endenergieverbrauch in Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Landwirtschaft und Industrie um zehn Prozent anstieg, reduzierten sich die CO₂-äquivalenten Emissionen um fast 18 Prozent.

Im öffentlichen Sektor ging der Energieverbrauch um 11 Prozent, die Emissionen um fast 28 Prozent auf 31.000 Tonnen im Jahr zurück. Das ist ein Anteil von neun Prozent an den energiebedingten Gesamtemissionen der Stadt. Städtische Einrichtungen hatten mit einer CO₂-Reduzierung von rund 2.500 Tonnen im Jahr 2018 einen Anteil am Rückgang innerhalb des öffentlichen Sektors von knapp 20 Prozent (in Bezug auf 2000).

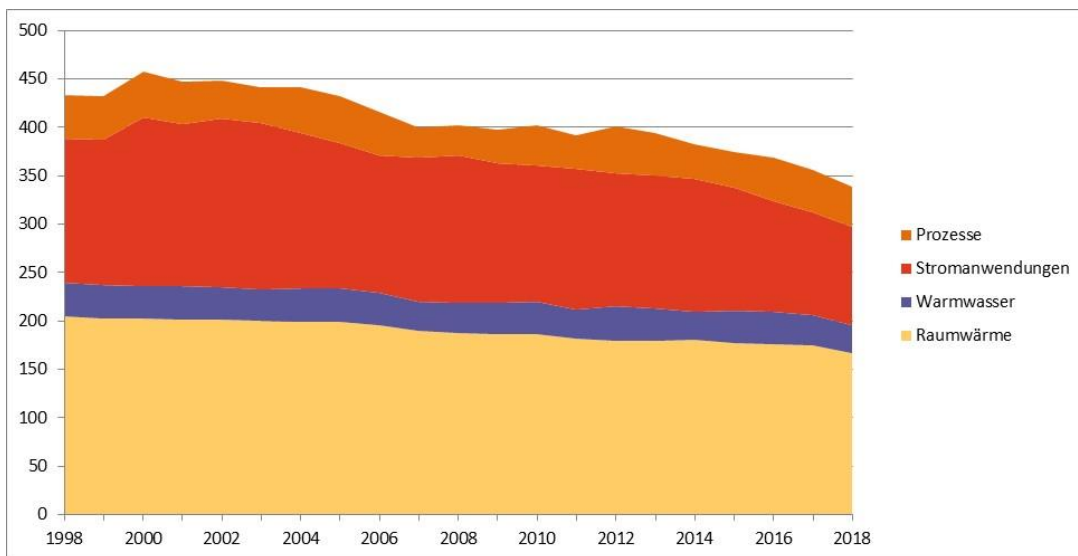


Abbildung 4-3: Energiebedingte CO₂-Emissionen in Bad Homburg nach Anwendungsart ohne Verkehr (temperaturbereinigt, in 1000 t/a).

Betrachtet man die Emissionen der einzelnen Anwendungsarten, wird die Dominanz des Raumwärmebereichs mit fast 49 Prozent im Jahr 2018 (167.000 Tonnen) deutlich. Danach folgen die hauptsächlich für Kraft und Beleuchtung eingesetzten Stromanwendungen (102.000 Tonnen, entsprechend 30 Prozent) und die 2018 durch Prozessenergie (42.000 Tonnen) und Warmwasserbereitung (28.000 Tonnen) verursachte Kohlendioxidbelastung mit zusammen 21 Prozent.

CO ₂ -Emissionen [1000 t/a]	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	1998-2018
Raumwärme	205	202	201	199	196	187	186	179	180	176	167	-18,5%
Warmwasser	35	34	33	34	33	32	34	35	30	33	28	-17,7%
Stromanwendungen	148	174	174	161	142	152	141	138	137	114	102	-31,5%
Prozesse	45	46	40	47	44	31	42	48	35	46	42	-8,0%
Summe	433	457	449	442	415	402	402	401	382	369	339	-21,8%

Tabelle 4-3: Energiebedingte CO₂-Emissionen in Bad Homburg von 1998 bis 2018 nach Anwendungsarten [1000 t/a].

Größten Anteil am CO₂-Rückgang mit ca. 47.000 Tonnen haben sowohl absolut als auch prozentual (31,5 Prozent) die Stromanwendungen. Im Raumwärmebereich konnte eine Reduktion von 37.900 Tonnen (18,5 Prozent) erzielt werden. Emissionen aus Warmwasserbereitung (ca. 6.000 Tonnen Einsparung) und Prozesse (rund 3.800 Tonnen) wurden um 17,7 Prozent beziehungsweise acht Prozent verringert.

Vergleich: Gesamtemissionen 1998 und 2018 inklusive Verkehr

Während die energiebedingten Emissionen um 94.000 Tonnen (22 %) gesunken sind, ist im gleichen Zeitraum von 1998 bis 2018 der CO₂-Ausstoß aus lokalem Individual- und Schwerlastverkehr um 19 Prozent oder rund 10.000 Tonnen von 53.000 auf 63.000 Tonnen im Jahr gestiegen. Somit beträgt in der Gesamtbilanz die CO₂-Reduktion lediglich 84.000 Tonnen oder 17,3 Prozent.

CO ₂ -Emissionen [1000 t/a]	1998	2018	Veränderung 1998-2018
Haushalte	209.000	158.900	-24,0%
Gewerbe, Industrie	181.000	148.660	-17,9%
Städtische Einrichtungen	5.600	2.470	-55,9%
Andere öff. Verbr.	37.400	28.660	-23,4%
Öffentliche Gesamt	43.000	31.130	-27,6%
Verkehr	53.000	63.000	18,9%
Gesamtsumme	486.000	401.690	-17,3%

Tabelle 4-4: CO₂-Emissionen in Bad Homburg 1998 und 2018 inkl. Verkehr [1000 t/a].

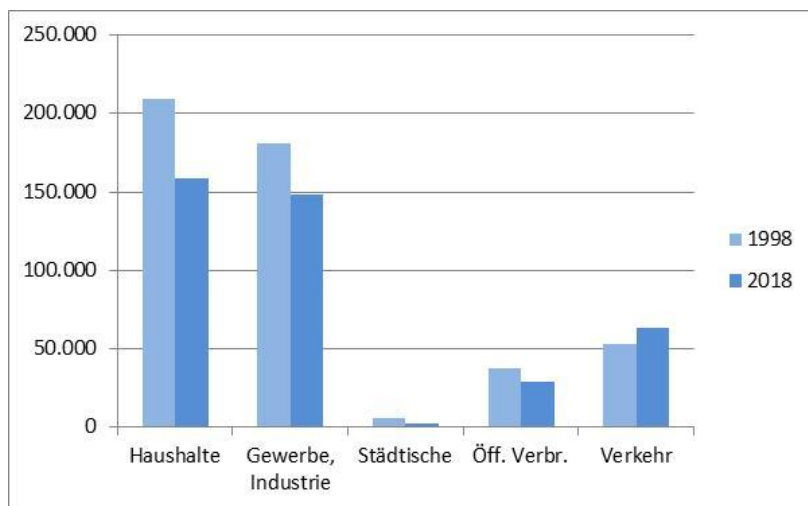


Abbildung 4-4: CO₂-Emissionen in Bad Homburg nach Sektoren 1998 und 2018 [1000 t/a].

Durch die im Vergleich zu 1998 um rund 10.000 Tonnen zugenommene CO₂-Belastung hat der lokale Straßenverkehr in Bad Homburg sozusagen an Bedeutung gewonnen: von 11 Prozent in 1998 auf knapp 16 Prozent in 2018 an den Kohlendioxidemissionen der Stadt.

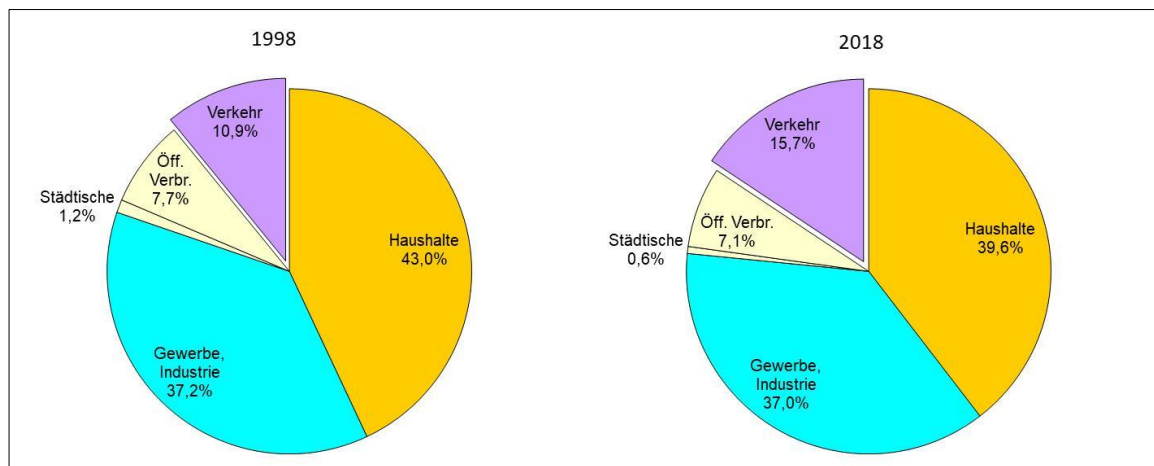


Abbildung 4-5: Anteil der einzelnen Sektoren an den CO₂-äquivalenten Emissionen in Bad Homburg (1998 und 2018)

5 Aktuelle Bilanz und Bewertung

Wird die Bad Homburger CO₂-Bilanz von 2018 den im ersten Kapitel vorgestellten drei Prognoseszenarien des Jahres 2000 gegenübergestellt, kommt diese dem skizzierten *Sparszenario* (-25 %) ziemlich nahe. Dieses liegt zwischen einem *Referenzszenario* (-2%), das weitgehend den Status-Quo von 1998 weiterverfolgt und einem technisch möglichen theoretischen *Zielszenario* (-57%).

Eine Realisierung wirtschaftlicher Energie- und Emissionssparmaßnahmen mit einer 25-prozentigen Reduktion des Treibhausgasausstoß auf 325.000 Tonnen im Jahr bis 2018 galt vor 20 Jahren als realistisch. Tatsächlich sind seit 1998 die energiebedingten Kohlendioxidemissionen (ohne Verkehr) bis zum Jahr 2018 um fast 22 Prozent (94.000 Tonnen) auf 339.000 Tonnen zurückgegangen.

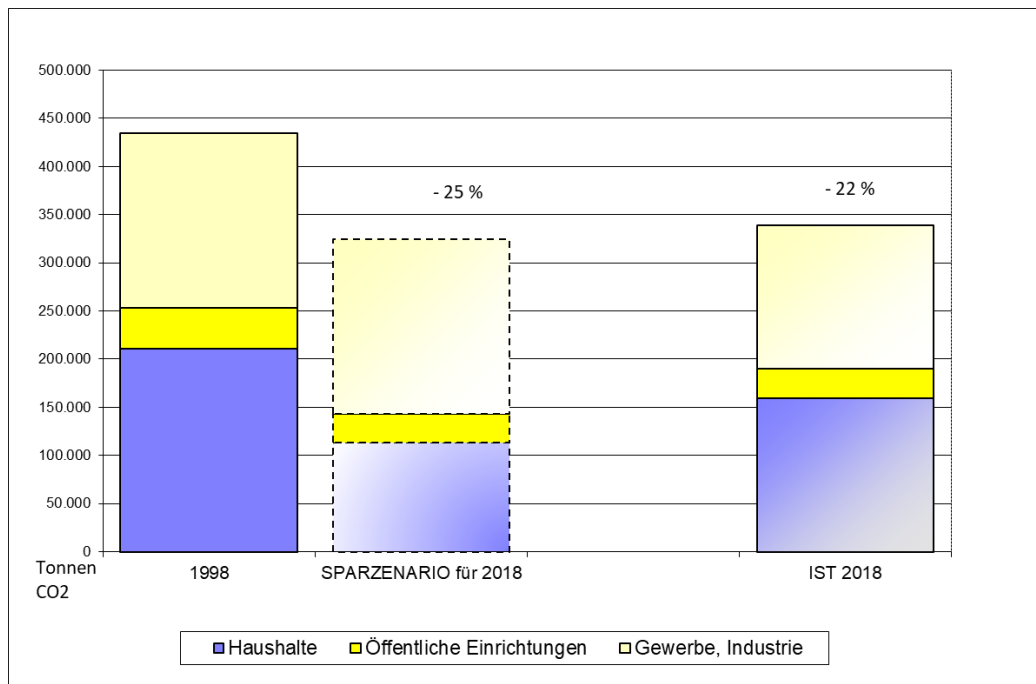


Abbildung 5-1: Energiebedingte CO₂-Emissionen Bad Homburgs 1998 und 2018 im Vergleich zu dem seinerzeit aufgestellten sogenannten Spar-Szenario für 2018 (Tonnen pro Jahr).

Neben den bislang erfolgten Maßnahmen der Stadt und dem Wirken aller Beteiligten wie den Stadtwerken, dem Industrie- und Gewerbesektor und nicht zuletzt den Bürgerinnen und Bürgern, sind diese Einsparungen auch zu einem Teil der verbesserten CO₂-Bilanz der Energieträger zuzuordnen.

6 Vergleichsbilanzen mit ECORegion

Zum Vergleich wird zusätzlich die CO₂-Bilanzierung mit der von vielen Kommunen des Klimabündnisses eingesetzten Online-Software ECORegion vorgenommen.

Das Programm der Firma ECOSPEED AG verwendet als Datenbasis sowohl allgemeine Statistiken als auch konkrete spezifische Verbrauchs- und Kennzahlen einer Region, je nach Verfügbarkeit. Unter einer einheitlichen Datenerfassungsstruktur sind verschiedene Bilanzierungsmethoden möglich. Hier wird, ebenso wie im Integrierten Klimaschutzkonzept, die sogenannte Life-Cycle Assessment-Methode (LCA) angewendet, die auch Emissionen außerhalb der eigenen Region wie Verluste bei der Stromproduktion, Umwandlung und bei der Energieträgerverteilung berücksichtigt.

Startbilanz (1990 - 2012)

Mit der erstmaligen Nutzung der Software wurde 2012 eine Startbilanz mit wenigen Strukturdaten aufgestellt: nach Eingabe der Bevölkerungs-, Beschäftigten- und Fahrzeugzahlen der Stadt, dem Mengengerüst, wird für die Bereiche „Wirtschaft“, „Haushalte“ und „Verkehr“ ein erstes Ergebnis geliefert. Emissionen *kommunaler Einrichtungen* werden nicht automatisch berechnet, da die Programmentwickler davon ausgehen, dass Zahlen öffentlicher Verbraucher der Kommune vorliegen und sich die Ermittlung über statistische Kennwerte somit erübrigt. Eine beispielsweise für eine Kreisstadt mit überregionalen Einrichtungen nur bedingt zutreffende Annahme.

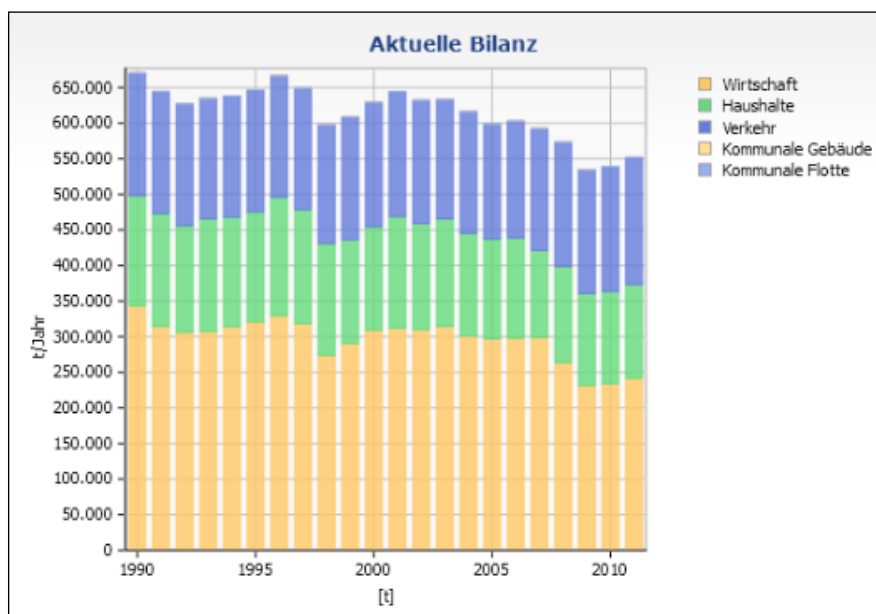


Abbildung 6-1: Startbilanz für 2012 von ECORegion für Wirtschaft, Haushalte und Verkehr in Tonnen CO₂ pro Jahr nach Eingabe des Mengengerüsts (Anzahl Einwohner, Fahrzeuge, Beschäftigte). Die Emissionswerte für kommunale Einrichtungen werden nicht automatisch berechnet (Bildschirmkopie aus dem Programm).

Endbilanz (1990 – 2018)

Je nach Verfügbarkeit von tatsächlichen regionalen Daten wird die auf der Startbilanz basierende Endbilanz durch tatsächliche Verbrauchs- und Kennzahlen präzisiert.

Nach Eingabe der im Klimaschutzkonzept ermittelten und für die Jahre vor 1998 hochgerechneten Verbräuche für kommunale Einrichtungen, Haushalte und Gesamt-Infrastruktur, ändert sich konsequenterweise der Verlauf der Emissionsreihen und gleicht sich den Ergebnissen des Bad Homburger Detailkonzepts an (ab 1998).

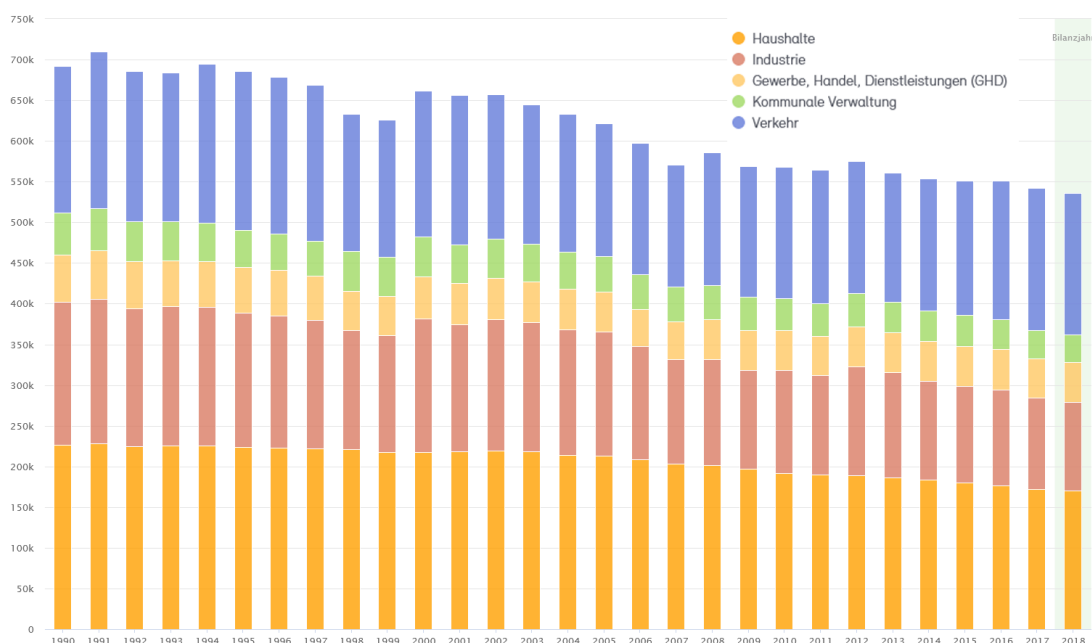


Abbildung 6-2: ECORegion-CO₂-Endbilanz für Bad Homburg 1990 – 2018 in 1000 t/a nach Verbrauchergruppen (LCA-Methodik; Bildschirmkopie aus dem Programm).

Abweichungen zwischen ECORegion und der Detailanalyse des Klimakonzepts sind innerhalb der im Sektor Verkehr bilanzierten Emissionen vorhanden, da Fahrleistungen im Personen- und Güterfernverkehr (Flug, Schiene, Schiff) im Klimakonzept Bad Homburg keine Entsprechung finden.

Weiterhin wird in ECORegion eine andere Aufteilung der Verbrauchergruppen vorgenommen als in dieser Untersuchung. Die Öffentliche Infrastruktur ist dort eine Teilmenge von "Gewerbe, Handel und Dienstleistungen" (GHD), nur die „Kommunale Verwaltung“ wird explizit herausgestellt während hier im IKK „Öffentliche Dienstleistungen“ eine eigene Verbrauchergruppe bilden, zu der auch die städtischen Einrichtungen zählen. Der gewerblich-industrielle Komplex mit der Landwirtschaft wird hier zusammen betrachtet und in ECORegion in Industrie und GHD unterteilt.

In dem Berechnungsprogramm werden die Emissionsfaktoren des *Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg* (ifeu) zugrundegelegt. Diese weichen geringfügig von den im IKK verwendeten Faktoren des *Instituts für Wohnen und Umwelt* (IWU) ab. Beide Institute nutzen das *Globale Emissions-Modell Integrierter Systeme* (Gemis).

Für das Jahr 2018 errechnet ECORegion 351.000 Tonnen CO₂-äquivalente Emissionen in Bad Homburg (ohne Verkehr): den Haushalten werden für 2018 170.000 Tonnen, GHD und Industrie 158.000 Tonnen und den „kommunalen Verbrauchern“ 23.000 Tonnen zugerechnet. Das sind insgesamt 6,5 Tonnen pro Einwohner und Jahr. Die hier vorliegende Analyse kommt mit 159.000 Tonnen (Haushalte), 149.000 Tonnen (Gewerbe, Industrie, Landwirtschaft) und 31.000 Tonnen (Öffentliche Verbraucher) auf 339.000 Tonnen energiebedingte Emissionen in 2018, somit knapp 6,3 Tonnen CO₂ je Einwohner und Jahr.

Bezugsjahr 1990

Um die derzeitigen Emissionen und Einsparungen gegenüber dem sonst allgemein üblichen Bezugsjahr 1990 darstellen zu können, wurden die Ergebnisse des Klimakonzepts mit dem von ECORegion errechneten CO₂-Trend zurückinterpoliert.

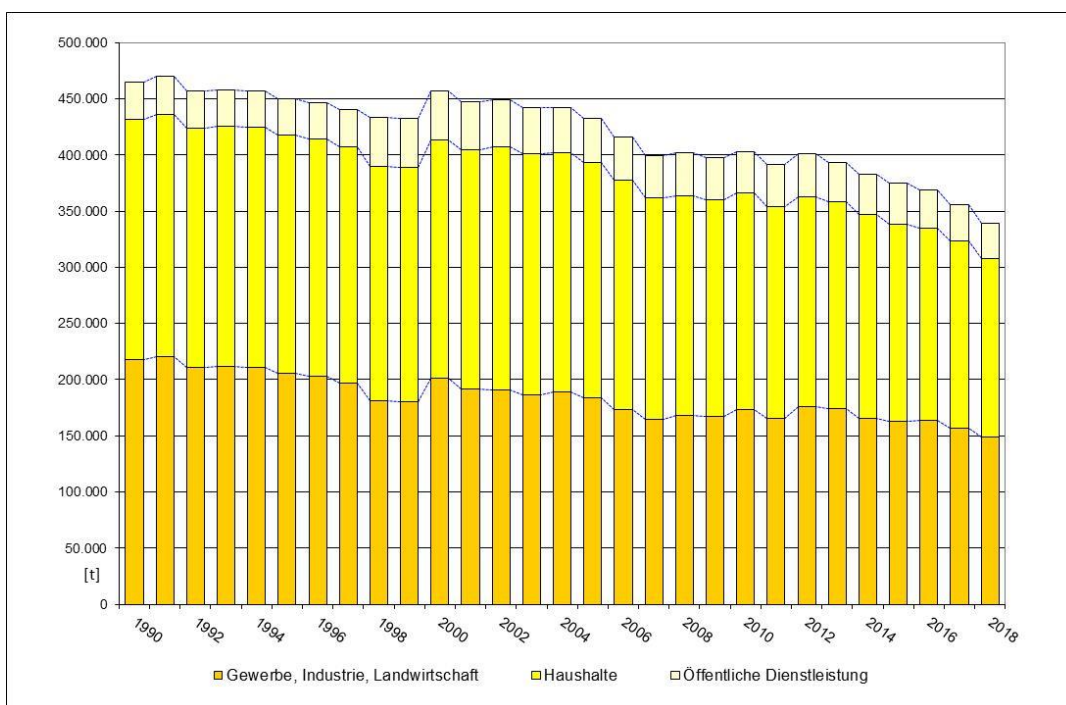


Abbildung 6-3: Energiebedingte CO₂-Emissionen in Bad Homburg von 1990 bis 2018 (temperaturbereinigt) in Tonnen pro Jahr. Zahlen vor 1998 wurden durch den von ECORegion ermittelten Trend interpoliert.

Über die Verbrauchergruppen Haushalte, Gewerbe, Industrie, Landwirtschaft und Öffentliche Einrichtungen hinweg sind die Emission in Bad Homburg seit 1990 bis 2018 um fast 27 Prozent zurückgegangen, während die Energieeinsparung im Vergleich zu 1998 rund 22 Prozent beträgt.

CO ₂ -Emissionen [t/a]	1990	1998	2018	Tendenz seit 1990	Tendenz seit 1998
Haushalte	214.000	209.000	159.000	-25,7%	-23,9%
Gewerbe/Industrie	217.000	181.000	149.000	-31,3%	-17,7%
Öffentliche	33.000	43.000	31.000	-6,1%	-27,9%
Summe	464.000	433.000	339.000	-26,9%	-21,7%

Tabelle 6-1: CO₂-Emissionen und -einsparung im Vergleich: 1990, 1998 und 2018 [t/a].

Insgesamt hat Bad Homburg seit 1990 seine jährlichen energiebedingten CO₂-Emissionen um 125.000 Tonnen gesenkt, wovon die Haushalte 55.000 Tonnen beitrugen, Gewerbe und Industrie 68.000 Tonnen und Öffentliche noch rund 2.000 Tonnen pro Jahr.

7 Neue Szenarien (2035 /2040)

Der Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) bezifferte das Budget an CO₂, das von der Menschheit nach wissenschaftlichen Erkenntnissen noch in die Luft abgegeben werden darf, um eine Chance von 66 Prozent auf eine Begrenzung der globalen Erwärmung unter 1,5 Grad Celsius zu haben, in einem Sonderbericht 2018 auf 420 Gigatonnen.

Eine Klimaneutralität, die erst in 2050 erzielt wird, reicht zum Erzielen einer 1,5°C-Grenze wohl nicht aus, wie in Studien und auch vom Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) dargelegt wird. Bei einem gleichbleibenden Jahresausstoß von 42 Gigatonnen in Deutschland, wie 2018, ist dieses Budget schon in etwa sieben Jahren aufgebraucht (SRU, Stand 2021).

Mit einem Beschluss des Bundesverfassungsgerichts vom 29. April 2021 wird der Staat verpflichtet, aktiv vorzubeugen, damit es in Zukunft nicht zu unverhältnismäßigen Einschränkungen der Freiheitsgrundrechte der heute jüngeren Menschen kommt. Unter dieser Vorgabe und mit Blick auf das neue europäische Klimaziel 2030 hat die Bundesregierung am 12. Mai das geänderte Klimaschutzgesetz 2021 vorgelegt. Die Klimaschutznovelle wurde am 24. Juni vom Bundestag beschlossen und passierte am 25. Juni 2021 auch den Bundesrat.

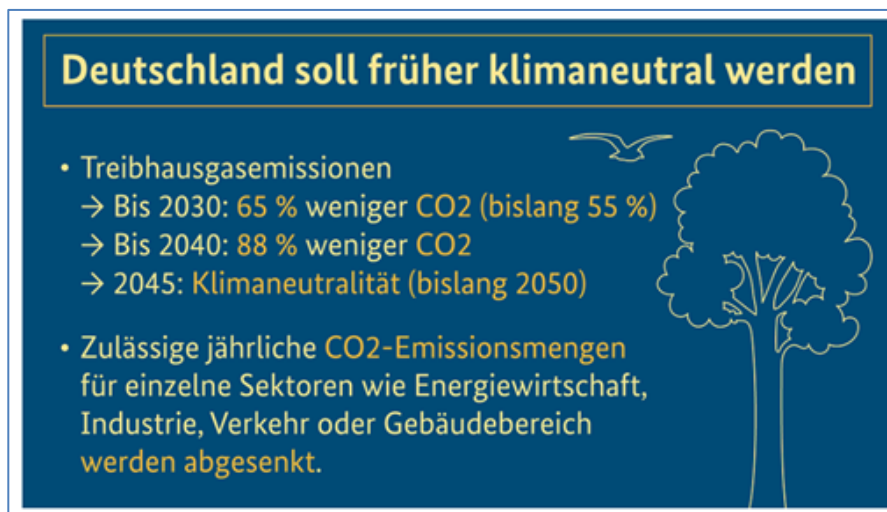


Abbildung 7-1: Zusammenfassung der Ziele des erweiterten Klimaschutzgesetzes. (Bekanntgabe der damaligen Bundesumweltministerin Schulze am 12.05.2021 auf einer Bundespressekonferenz. Zitat: „Das Klimaschutzgesetz setzt den Rahmen für die nächsten Jahre und Jahrzehnte“). Quelle: Bundesregierung 2021.

Die Stadt Bad Homburg will dem nicht nur folgen, sondern als engagierte Kommune das Ziel der (energetischen) Klimaneutralität schon früher erreichen. Auch wenn dieses Ziel sehr ehrgeizig ist und eine Erreichung angesichts der besonderen Herausforderungen durchaus fraglich sein mag, beabsichtigt die Stadt damit ein deutliches Zeichen zu setzen und den Prozess für die ganze Stadtgesellschaft anzustoßen.

Im Folgenden wird daher in zwei Szenarien beschrieben, wie das Ziel einer Klimaneutralität für Bad Homburg 2040 (*Szenario 2040*) oder bereits 2035 (*SZENARIO 2035*) erreicht werden kann. Dabei werden die Ergebnisse der Bilanz des IKK 2000 ebenso berücksichtigt, wie die inzwischen gemachten Erfahrungen in der Stadt wie auch die vorangeschrittenen technischen und klimarelevanten Erkenntnisse. Zur Orientierung wird an einigen Stellen noch ein *SZENARIO 2050* mitgeführt, das technisch und wirtschaftlich in üblichen Sanierungszyklen als erreichbar gilt.

Gebäude

Die energetische Sanierung des Gebäudebestands ist entscheidend für das Erreichen der Klimaschutzziele. Im Gebäudesektor muss eine umfassende und beschleunigte Sanierung von Gebäuden und die Transformation der Wärmebereitstellung erfolgen. Untersucht werden hier überschlüssig die vorhandenen Potentiale um über eine Verbesserung des Dämmstandards und über die Änderung der Energiebereitstellung Energieverbrauch und Emissionen zu senken.

Wohngebäude

Da sämtliche Gebäude nicht auf einmal saniert werden können, müssen sie nach und nach auf ein energetisch angemessenes Niveau gebracht werden. Die jährliche Sanierungsquote, womit Vollsanierungen gemeint sind, liegt in Bad Homburg, wenn man die Zahlen des Förderprogramms der Energieberatungsstelle zugrunde legt, bei unter 1 Prozent.

Bis 2050 werden in Bad Homburg hochgerechnet eintausend neue Wohngebäude entstehen. Die Energiebezugsfläche steigt dann von 2,47 auf 2,75 Millionen Quadratmeter (plus 11 Prozent).

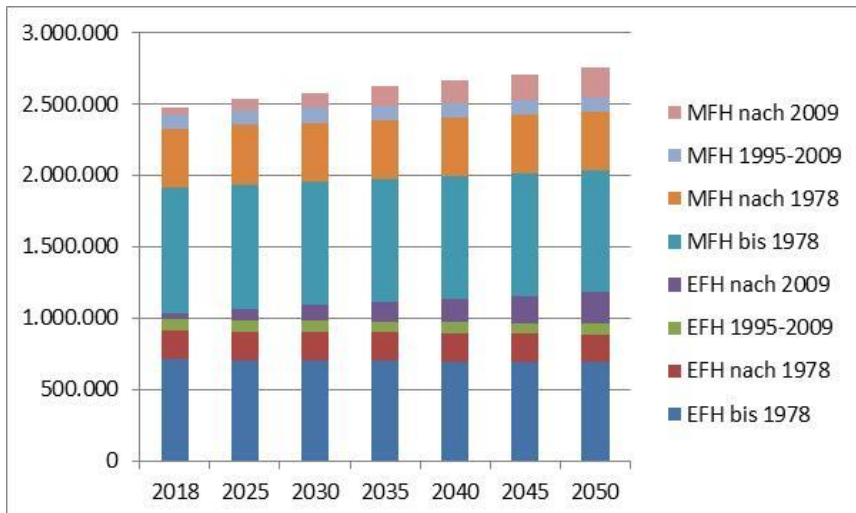


Abbildung 7-2: Entwicklung der Energiebezugsflächen von Wohngebäuden bis 2050 in Bad Homburg (EFH = Ein- und Zweifamilienhäuser, MFH = Mehrfamilienhäuser). Eigene Hochrechnung.

Werden Bestandsgebäude, die vor Inkrafttreten der *Energieeinsparverordnung 2009* errichtet wurden, mit der gleichen Quote wie bisher saniert, sind bis 2035 rund 14 Prozent dieser Gebäude vollsaniert, womit eine Energiebedarfsreduzierung von neun Prozent erzielt wird. Für einen klimaneutralen Gebäudebestand deutlich zu wenig. Angestrebt werden sollte eine Bedarfsreduktion im Bestand von mindestens 25 Prozent, um den restlichen Energiebedarf weitgehend durch erneuerbare Energien decken zu können.

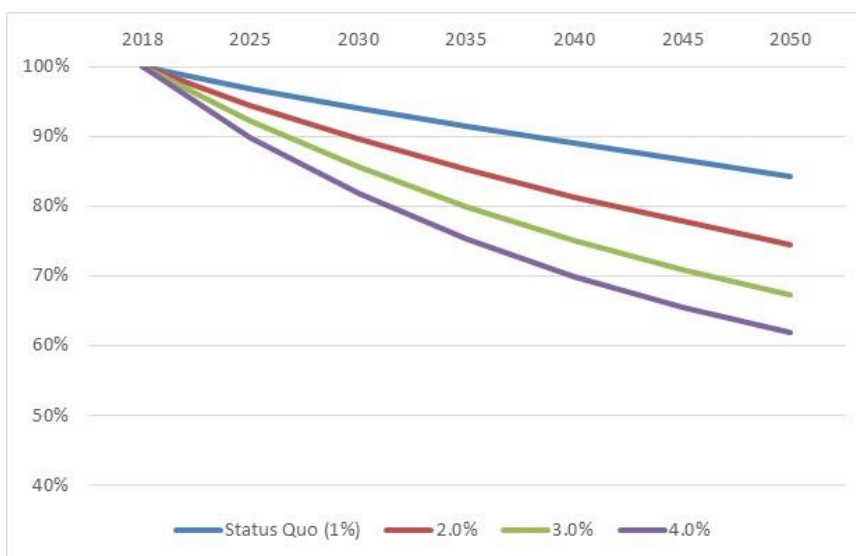


Abbildung 7-3: Raumwärmebedarf in Abhängigkeit der Sanierungsquote von Bestandswohngebäuden (Baujahr vor 2010) in Bad Homburg bis 2050 im Vergleich zu 2018 (Eigene Berechnungen).

Mit einer Sanierungsquote von 2 Prozent kann der Bedarf bis 2035 um 15 Prozent und bis 2050 um 25 Prozent gesenkt werden. Die Reduktion um ein Viertel ist mit einer Sanierungsquote von drei Prozent bereits 2040 erreicht. Dagegen sind mit einer vierprozentigen Quote 25 Prozent Reduktion schon bis 2035 möglich und bis 2050 wären 38 Prozent des Energieaufwands zum Beheizen im Vergleich zu 2018 gar nicht erst erforderlich. Bis 2040 erreicht man mit der jährlichen Vollsanierungsquote von 4 Prozent eine Bedarfsreduzierung von 30 Prozent.

Inwieweit dafür die Erhöhung der bislang eingesetzten Fördersummen ausschlaggebend sein wird, kann pauschal nicht veranschlagt werden. Es bedarf einer spezifischen Analyse der Energiereduktionseffizienz der einzelnen geförderten Maßnahmen je Gebäudetyp. Daraufhin kann auch in Betracht gezogen werden, nur umfassende Sanierungen zu fördern anstelle von Einzelmaßnahmen.

Bei einer Beibehaltung bestehender Heizsysteme lassen sich bis 2050 gerade ein Prozent CO₂-Emissionen durch Wirkungsgradverbesserungen im üblichen Sanierungszyklus einsparen (verglichen mit 2018).

Für das Ziel *Klimaneutralität* müssen die gegenwärtig hauptsächlich vorhandenen mit fossilen Energieträgern betriebenen Heizungen durch Wärmepumpen, Nahwärme aus regenerativen Energiequellen und solarthermische Anlagen ersetzt werden.

Der Vergleich der Endenergie- und CO₂-Bilanz eines herkömmlichen Gas-Brennwertheizsystems mit dem eines auf Basis einer Wärmepumpe am Beispiel eines Mehrfamilienhauses verdeutlicht das Reduktionspotential.

Vergleich Gasbrennwert / Wärmepumpe am Beispiel eines Mehrfamilienhauses (ca 12 Personen)	Gasbrennwert	Wärmepumpe (Bundesdeutscher Strommix)	Wärmepumpe (Wind- und PV-Strommix)
Nutzenergiebedarf Heizung + Warmwasser (kWh/a)	51.000	51.000	51.000
Anlagenwirkungsgrad / Arbeitszahl	0,992	3	3
Endenergieverbrauch (kWh/a)	51.411	17.000	17.000
CO ₂ -Äquivalent g/kWh	231	505	25
CO ₂ -Emissionen (kg/a)	11.876	8.585	425

Tabelle 7-1: Vergleich des Endenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen zweier Heizsysteme (Gas-Brennwert und Wärmepumpe) am Beispiel eines Mehrfamilienhauses (ca 12 Personen)

Der Energieverbrauch zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser wird mit dem Einsatz einer Wärmepumpe um rund zwei Drittel (bei vorsichtiger Annahme einer Arbeitszahl von 3) im Vergleich zu einer konventionellen Gas-Brennwertheizung gesenkt. Technischer Hintergrund ist dabei, dass mit einer Wärmepumpe die Energie aus der Umwelt, zum Beispiel aus Erdboden, (Ab-)Luft oder Wasser nutzbar ist und die mit relativ wenig Zusatzenergieaufwand auf ein höheres Temperaturniveau gebracht wird.

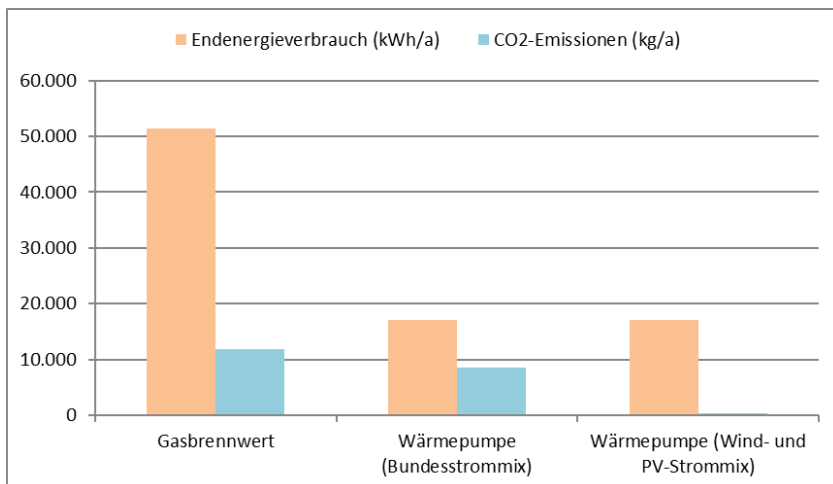


Abbildung 7-4: Endenergiebedarf und CO₂-Emissionen zweier Heizsysteme (Gas-Brennwert und Wärmepumpe) bei unterschiedlichem Strombezug am Beispiel eines Mehrfamilienhauses (ca 12 Personen).

Die CO₂-Einsparung pro Jahr beträgt im Vergleich zu Gas-Brennwert bei einer mit dem derzeitigen bundesdeutschen Strommix betriebenen Wärmepumpe rund 28 Prozent und 96 Prozent bei der Verwendung von grünem Strom, der je zur Hälfte aus Photovoltaik und Windkraft bereitgestellt wird.

Für einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand wird in einer überschlägigen Hochrechnung für Bad Homburg angenommen, dass 72 Prozent aller Gebäude mit Wärmepumpen ausgestattet werden, 17 Prozent erhalten Nahwärme. Diese wiederum stammt zu 96 Prozent aus Abwärme und biogasbetriebenen Anlagen. Der verbleibende Rest der Wohngebäude wird, wo eine Umstellung nicht möglich ist, konventionell oder solarthermisch versorgt.

Das bedeutet, dass bis 2040 respektive 2035 die Heizsysteme von rund 7.000 Wohngebäuden auf Wärmepumpenbetrieb umgerüstet und 1.500 Einheiten an eine Nahwärmeversorgung angeschlossen werden müssen.

Umstellungsquoten bis zum Zieljahr	Wärmepumpe		Nahwärme	
	pro Jahr	insgesamt	pro Jahr	insgesamt
Wohngebäude				
SZENARIO 2040	370	7.030	80	1.520
SZENARIO 2035	500	7.000	108	1.512

Tabelle 7-2: Erforderliche Umstellungsquoten in Wohngebäuden in den zwei Szenarien (Stand 2021).

Um auf diese Quoten zu kommen, werden pro Jahr für das Szenario 2040 fast 370 Gebäude auf Wärmepumpenbetrieb umgestellt und 80 eine Nahwärmeversorgung erhalten (Stand 2021). Das Szenario 2035 erfordert eine Systemumstellung mit einer Quote von 500 respektive 108 Gebäuden in jedem Jahr.

Bis 2050 werden für die Beheizung der Wohngebäude sowohl durch die Bedarfsreduzierung als auch den bei Wärmepumpen vielfach höheren Wirkungsgrad hochgerechnet nur noch ein Drittel der Endenergie im Vergleich zu 2018 aufgewendet. Der Rückgang fossiler Energieträger wird hauptsächlich durch Stromverbrauch kompensiert, der um das zehnfache bis 12-fache ansteigt. Der Nahwärmeanteil am Endenergieverbrauch beträgt 2050, sofern absehbar, rund ein Drittel.

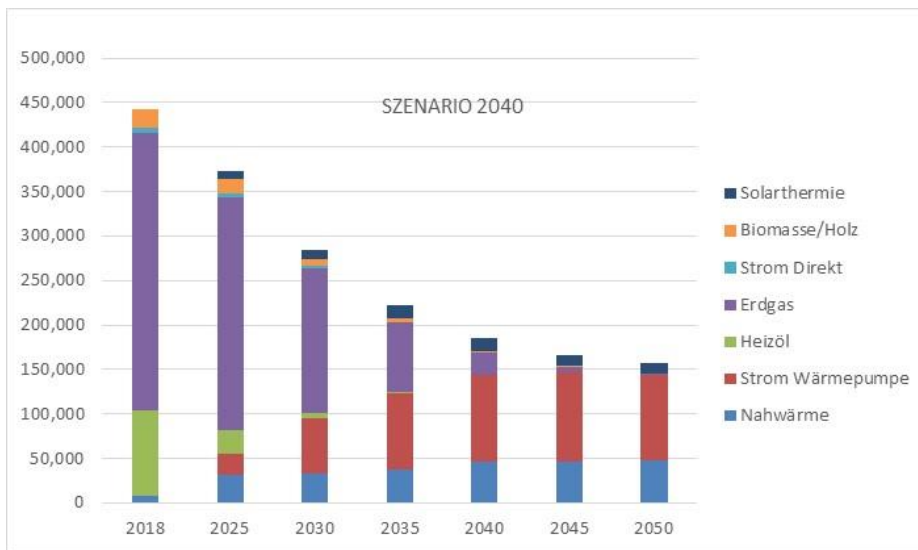


Abbildung 7-5: Endenergieverbrauch für Raumwärme in Wohngebäuden nach Energieträger im Szenario 2040 (MWh/a).

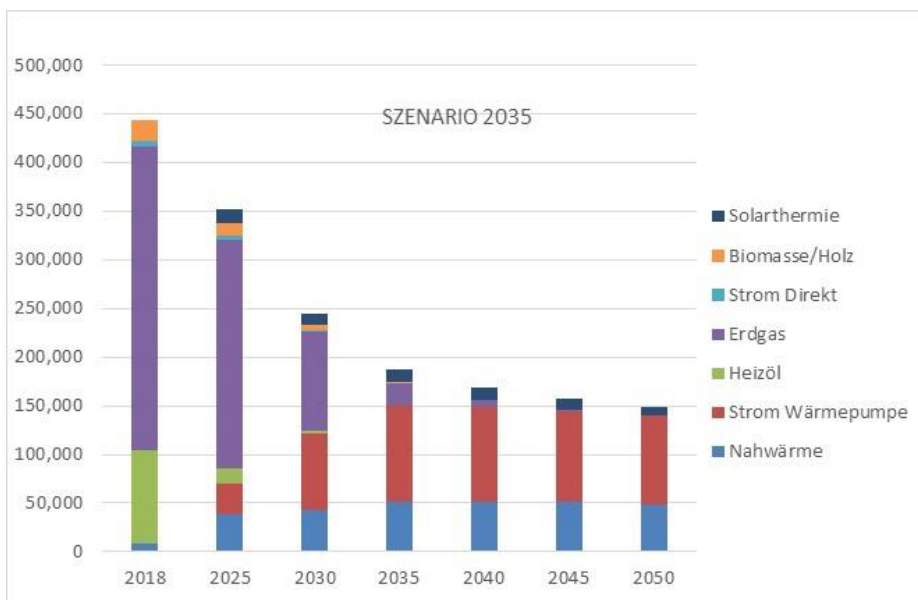


Abbildung 7-6: Endenergieverbrauch für Raumwärme in Wohngebäuden nach Energieträger im Szenario 2035 (MWh/a).

In beiden Szenarien gilt es, den Einsatz von sowohl Erdgas als auch Heizöl drastisch zurückzufahren: bis zu den Zieljahren sind 92 bis 93 Prozent des Erdgaseinsatzes und 100 Prozent des Heizölverbrauchs zu vermeiden.

Nichtwohngebäude

In Bad Homburg sind rund 1,36 Millionen Quadratmeter Energiebezugsfläche, die auf Nichtwohngebäude entfallen (35,4 Prozent) und die bis 2050 auf bis zu 1,8 Millionen Quadratmeter anwachsen können. Erforderliche Sanierungsraten sind in diesem Bereich aufgrund der heterogenen Struktur des Bestands und der Datenlage schwer zu bestimmen oder zu prognostizieren. Daher werden in den beiden Szenarien allgemeine Energiekennwertverbesserungen pro Jahr von 5 Prozent (*Szenario 2040*) und 7 Prozent (*Szenario 2035*) angenommen.

Zusätzlich wird ein ebenso ambitionierter Umstieg auf dekarbonisierte Heizsysteme wie im Wohngebäude-sektor erforderlich sein. Das bedeutet eine Wärmepumpenquote von 72 Prozent und eine Versorgung mit

"klimaneutraler" Nahwärme von 16 Prozent der Energiebezugsflächen bis zu den Zieljahren 2035 / 2040. Auch hier muss Solarthermie zur Auffüllung der Versorgungslücken beitragen.

Durch Gebäudekennwert- und Wirkungsgradverbesserung der Heizsysteme wird bis 2040 (2035) eine Reduzierung des Energiebedarfs für die Beheizung von Nichtwohngebäuden von fast 60 Prozent zu erzielen sein.

Warmwasser

Mit Heizungssanierungen und dem Wechsel der Energiesysteme wird in den meisten Fällen die Umstellung der Warmwasserbereitung einhergehen. Der Nutzenergiebedarf dafür ist linear abhängig von der Anzahl der Personen (Einwohner, Beschäftigte) und ohne Komforteinbußen nicht wesentlich reduzierbar. Energieeinsparungen werden über die Wirkungsgrade der Anlagen erzielt. Systeme mit Wärmepumpen oder solarthermischen Anlagen, die auch kombiniert werden können, sind daher auch in diesem Segment bevorzugt einzusetzen.

In den berechneten Szenarien wurde für die Warmwasserbereitung durch Systemumstellungen bis zu den Zieljahren 2035 / 2040 eine Energieeinsparung von bis zu 46 Prozent errechnet.

Endenergieverbrauch

Insgesamt wird bis zum Zieljahr der Energiebedarf zur Beheizung von sämtlichen Gebäuden (Wohn- und Nichtwohngebäuden) und zur Warmwasserbereitung um mehr als 60 Prozent von 800.000 MWh (2018) auf circa 300.000 MWh bis 2040 / 2035 reduziert werden müssen. Voraussetzung sind die Realisierung der Sanierungsmaßnahmen mit den im Kapitel *Wohngebäude* beschriebenen jährlichen Umsetzungsquoten und der konsequente Heizsystemwechsel. Auch sollten generell nach 2025 keine neuen Heizungen auf Basis von fossilen Brennstoffen in Betrieb genommen werden.

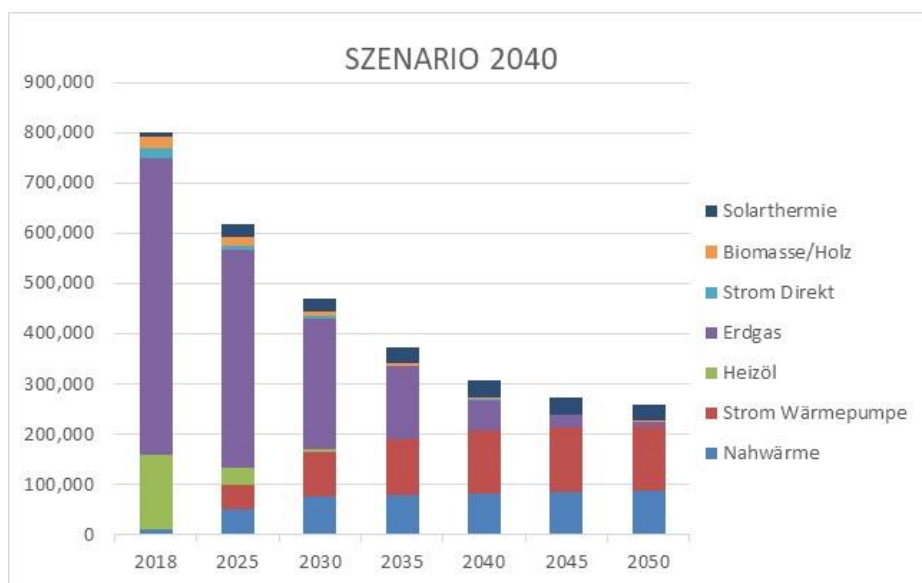


Abbildung 7-7: Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser in Wohn- und Nichtwohngebäuden nach Energieträger im Szenario 2040 (MWh/a).

Bis 2040 wird der Energieverbrauch für Heizung und Warmwasserbereitung bei einer jährlichen Gebäudesanierungsquote von drei Prozent und einer bis dahin erreichten Ausstattungsquote mit Wärmepumpen von 72 Prozent (bezogen auf die Energiebezugsfläche) zu einem Drittel von Wärmepumpen bereitgestellt. Erdgas hat, bezogen auf den Endenergieverbrauch, immer noch einen Anteil von rund 20 Prozent und Nahwärme mittlerweile von 27 Prozent.

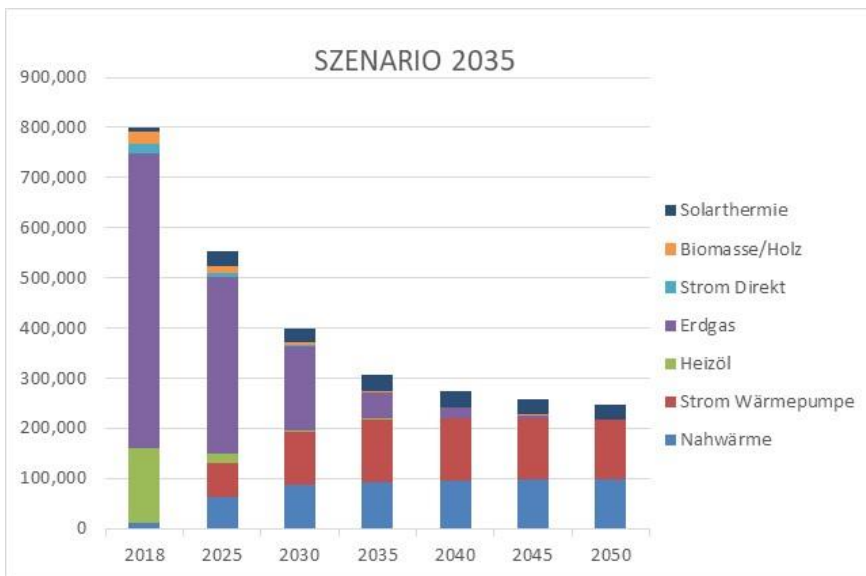


Abbildung 7-8: Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser in Wohn- und Nichtwohngebäuden nach Energieträger im Szenario 2035 (MWh/a).

Im SZENARIO 2035 werden diese Verhältnisse mit einer jährlichen Sanierungsquote von vier Prozent und einer beschleunigten Heizungsumstellung theoretisch fünf Jahre früher erreicht werden.

CO₂-Emissionen

Für einen klimaneutralen Gebäudebestand, das heißt für die Beheizung von Wohn- und Nichtwohngebäuden sowie deren Warmwasserbereitung, sind die Treibhausgasemissionen um über 90 Prozent zu senken. Möglich wird das mit einer drastischen Reduzierung des Energiebedarfs, Heizsystemwechsel und einer konsequenten Umstellung auf regenerative Energieträger.



Abbildung 7-9: CO₂-Emissionen im Bereich "Gebäude" (Raumwärme und Warmwasserbereitung) in 3 Szenarien in Tonnen.

Bis zum Zieljahr 2040 sind die derzeitigen wärmebedingten Emissionen von über 195.000 Tonnen (2018) auf mindestens 19.000 Tonnen zu reduzieren. Im Szenario 2035 wäre das bereits 2035 der Fall und im "Standard"-Szenario erst 2050.

Voraussetzung ist in beiden Szenarien (2035/2040) die Ausstattung von rund 70 Prozent der Gebäude mit Wärmepumpen und ein regenerativer Anteil an Strom und Nahwärme von 100 Prozent.

Prozessenergie

Der Ersatz fossiler Energieträger bei der Bereitstellung von Wärme und - in geringerem Maß - Kälte zu Prozesszwecken wird möglicherweise eine größere Herausforderung als der flächendeckende Wechsel der Heizsysteme. Umgestellt werden müssen Backprozesse, Wasch-, Reinigungs-, Trocknungs- und generell industrielle Wärmebehandlungsprozesse.

Bei einem hypothetisch angenommenen gleichbleibenden Nutzenergiebedarf sinkt der Endenergieverbrauch zum einen durch den Einsatz von Wärmepumpen, die ein vielfaches der eingesetzten Energie nutzbar machen, zum anderen durch Abwärmenutzung.

Endenergieverbrauch

In gewerblichem und öffentlichem Einsatz und auch in der Landwirtschaft wurden 2018 rund 144.000 MWh Energie für diese Anwendungsart aufgewendet. Davon entfielen fast 100.000 MWh auf Erdgas und über 10.000 MWh auf Heizöl. Strom kam auf 30.000 MWh.

Eine Reduktion des Energiebedarfs kann zwar durch Effizienzsteigerung und unter günstigen Bedingungen auch durch bessere Ausnutzung anfallender Abwärme erfolgen. Für eine CO₂-Neutralität werden zusätzlich Prozesse elektrifiziert und auf regenerative Energieträger umgestellt werden müssen.

Naheliegendste Option sind für den Einsatz in der Industrie geeignete Großwärmepumpen oder, falls erforderlich, in der Ausführung als Hochtemperaturwärmepumpen mit höheren Vorlauftemperaturen, beispielsweise zur Dampferzeugung.

Da viele industrielle Wärmeprozessen auch unmittelbar Kühlvorgänge erforderlich machen, besteht großes Potential, Wärmepumpenanlagen mit hohen Leistungszahlen (COP) zu betreiben. Vielerorts befinden sich noch betriebsinterne Serverräume in Unternehmen, die gekühlt werden müssen und ideal in ein Wärme-Kälte-Konzept passen. Wichtig ist nach der Umstellung ein Monitoring einzuführen, um Effizienzverluste auszuschließen.

Die planerischen Anforderungen im industriellen Sektor sind höher als bei nur Heizzwecken dienenden Anlagen, will man erforderliche Wärme- und Kälteprozesse optimieren und auch mögliche Nahwärmeoptionen samt Wirtschaftlichkeit berücksichtigen.

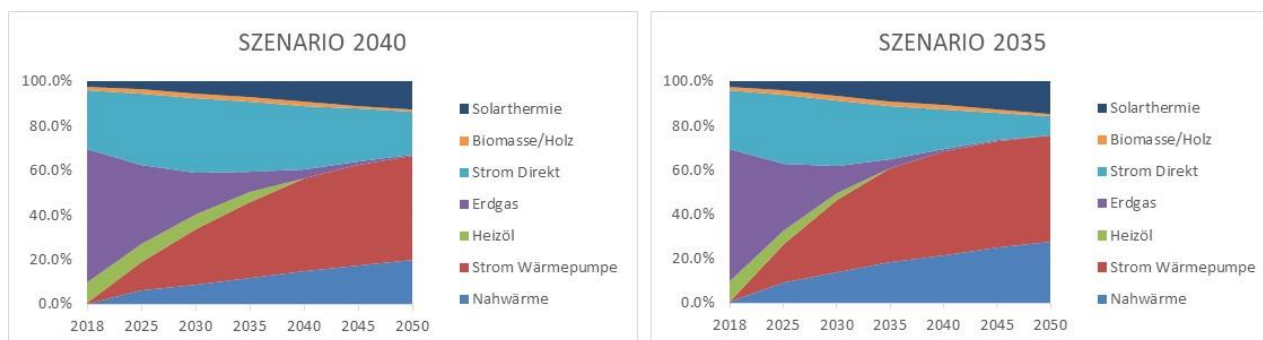


Abbildung 7-10: Angenommene prozentuale Verteilung des Endenergieverbrauchs für Prozessenergieanwendungen in Bad Homburg nach Energieträgern in zwei Szenarien.

Fossile Brennstoffe müssen weitgehend durch Strom ersetzt und Solarthermie und Nahwärme vermehrt eingesetzt werden. In den Zieljahren 2035 / 2040 werden nur noch rund vier Prozent der eingesetzten Energie durch Erdgas gedeckt, Heizöl wird nicht mehr verwendet. Den größten Anteil haben Strom für Wärmepumpen und Direktanwendungen (zusammen rund 65 bis 70 Prozent), danach kommen mit 15 bis 18 Prozent Nah- oder Abwärme und Solarthermie (rund neun Prozent).

CO₂-Emissionen

Durch Infrastrukturumstellung und Effizienzsteigerung bei Prozessenergieanwendungen können bis zu den Zieljahren 2035/2040 die jährlichen Kohlendioxidemissionen von 34.000 Tonnen (2018) um 95 Prozent auf rund 1.500 Tonnen gesenkt werden.

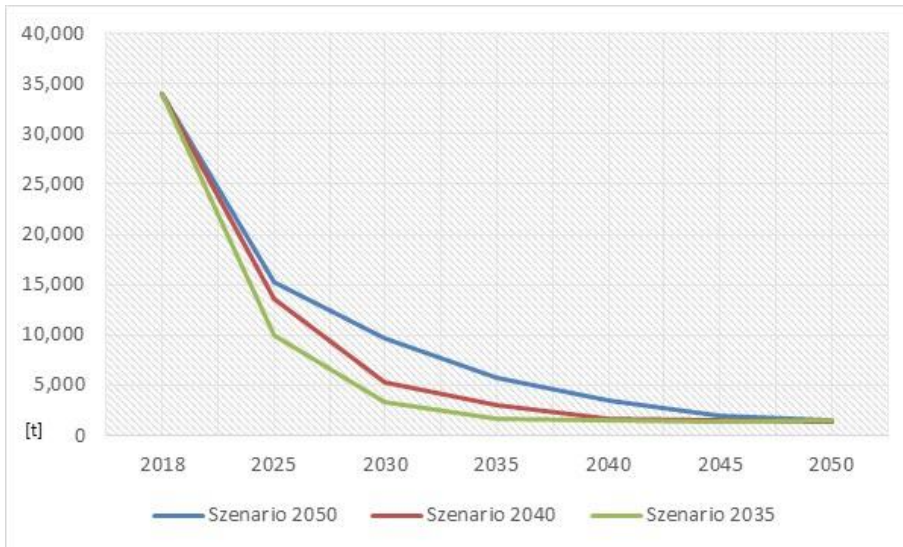


Abbildung 7-11: CO₂-Emissionen für Prozessenergieanwendungen in 3 Szenarien in Tonnen.

Dabei wird unterstellt, dass wie auch im Gebäudebereich in rund 70 Prozent der Anwendungsfälle Wärmepumpen zum Einsatz kommen und ein großer Teil der Energie, der zum Beispiel für Niedertemperaturwärme erforderlich ist, durch Solarthermie bereitgestellt wird. Nahwärme kann zu 15 bis 19 Prozent in den Zieljahren zur Deckung des Prozessenergiebedarfs beitragen.

Energieerzeugung

Stromanwendungen

Der jährliche Energieverbrauch für reine Stromanwendungen (Licht, Kraft, Lüftung, Klimatisierung, Haushaltsstrom) in allen Sektoren lag 2018 bei insgesamt 214.000 MWh/a.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass über alle Verbrauchergruppen hinweg dieser Wert bis zu den Zieljahren fast stabil bleibt. Einsparungen durch Effizienzsteigerungen und Technikverbesserungen werden statistisch durch den Rebound-Effekt (Nutzerverhalten) kompensiert. So wird zum Beispiel von den Anbietern der im Aufbau befindlichen G5-Mobilfunknetze geschätzt, dass sich trotz der deutlich geringeren Strombedarfe für die einzelne Nutzung der Stromverbrauch insgesamt in den nächsten Jahren durch die erwartete drastisch steigende Anzahl und Intensität der Nutzungen verdoppeln wird.

Wirtschaftliche Rahmenbedingungen tragen auch zum Verlauf der Energieverbrauchskurve bei, werden aber als gleichbleibend vorausgesetzt, so dass insgesamt mit einer Stromverbrauchsreduktion von einem bis 1,5 Prozent bis zu den Zieljahren gerechnet wird (bezogen auf 2018).

Endenergiebedarf

Angenommen wird in den Szenarien eine Reduktion des derzeitigen Energieverbrauchs von rund 50 Prozent. Das bedeutet, dass in den jeweiligen Zieljahren eine Energiemenge von fast 600.000 Megawattstunden gar nicht erst bereitgestellt werden müsste. Am Gesamtenergieverbrauch, der dann zwischen 590.000 und 595.000 MWh liegen wird, hat Strom einen Anteil von circa 65 Prozent.

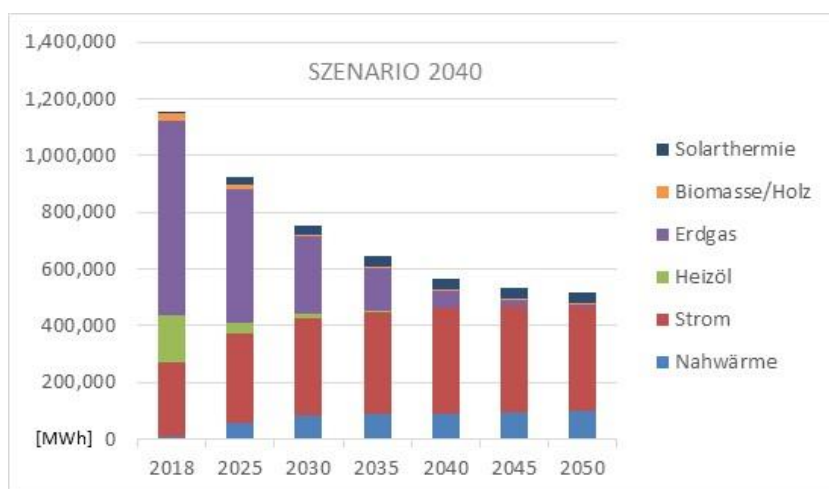


Abbildung 7-12: Gesamtenergieverbrauch bis 2050 nach Energieträgern (Szenario 2040, MWh/a).

Im jeweiligen Zieljahr der Szenarien wird ein Strombedarf von rund 375.000 MWh prognostiziert. Das entspricht einer Erhöhung der Strommenge gegenüber 2018 um bis zu 43 Prozent, die durch Elektrifizierung, hauptsächlich durch den konsequenten Einsatz von effizienten Wärmepumpen in allen Anwendungsbereichen (Raumwärme, Warmwasserbereitung, Prozesse) verursacht wird.

Heizöl spielt in beiden Zieljahren keine Rolle mehr (0 Prozent), der Erdgasverbrauch wird um über 91 Prozent zurückgehen und hat noch einen Anteil von knapp zehn Prozent am Gesamtverbrauch (2035 / 2040). Nahwärme kommt auf einen Anteil von 16 bis 18 Prozent und Solarthermie mittlerweile auf sechs bis sieben Prozent. Biomasse und Holz werden in großem Maßstab energetisch nicht konfliktfrei nutzbar sein, so dass der Energieanteil am Verbrauch, der aus nachhaltiger Forstwirtschaft und biogenen Reststoffen gewonnen wird, unter einem Prozent liegen wird.

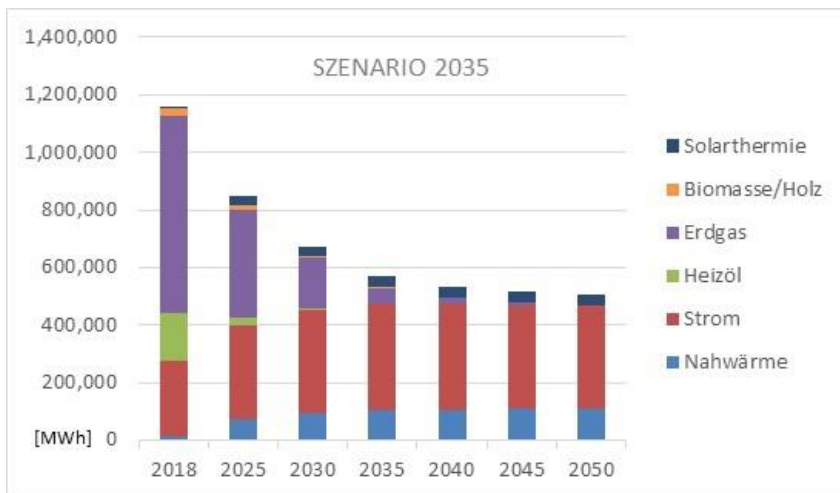


Abbildung 7-13: Gesamtenergieverbrauch bis 2050 nach Energieträgern (Szenario 2035, MWh/a).

Energiebereitstellung

In allen Szenarien wird vorausgesetzt, dass der eingesetzte Strom regenerativ, das heißt weitgehend über Photovoltaik und Windenergie erzeugt wird. Da nicht sicher davon auszugehen ist, dass in den Zieljahren der bundesdurchschnittliche Strommix eine regenerative Quote von 100 Prozent erreicht hat, wird zusätzlich ein entschlossener Ausbau lokaler Energieerzeugungsinfrastruktur erforderlich sein.

Zur vollständigen klimaneutralen Deckung des Strombedarfs in den Zieljahren der Szenarien von 375.000 MWh werden hochgerechnet rund 1,94 Millionen Quadratmeter (194 Hektar) Photovoltaikfläche und 16 Windkraftanlagen mit einer Nennleistung von je 4,6 MW erforderlich sein (bei gleicher Aufteilung). Angenommen werden ein jährlicher Solarstromertrag von 97 kWh/m² und 2500 Volllaststunden pro Jahr der Windkraftanlagen.

Anteil Eigenerzeugung	20%		50%		100%	
	50%	80%	50%	80%	50%	80%
Davon PV						
Erforderliche PV-Fläche [ha]	8	12	48	78	194	310
Erforderliche Anzahl Windkraftanlagen ¹	3	1	8	3	16	7

Tabelle 7-3: Erforderliche Fläche an Solaranlagen und Anzahl von Windkraftanlagen (¹je 4.6 MW) in Abhängigkeit des Deckungs- und PV-Anteils.

Wird die Zahl potentieller Windkraftanlagen aufgrund mangelnder Akzeptanz oder genehmigungsrechtlicher Hürden beispielsweise von 16 auf sieben reduziert, müsste die Solarfläche dann 310 Hektar (anstatt 194) betragen.

Laut des Dachflächenkatasters von 1998 stehen in Bad Homburg ungefähr 300.000 Quadratmeter (30 ha) für solare Zwecke zur Verfügung. Da diese auch in Konkurrenz zu solarthermischer Nutzung stehen, wird für solare Stromerzeugung ohnehin nicht die komplette Fläche nutzbar sein, ganz abgesehen von möglichen baulichen Hindernissen und Kosten. Konservativ geschätzt sollten jedoch rund die Hälfte, also 15 ha der Bad Homburger Dachflächen, für die Solarstromerzeugung nutzbar sein. Weiterhin bestehen Möglichkeiten, Solarflächen zum Beispiel über Parkplätzen und an Lärmschutzwänden einzusetzen.

Freifächensolaranlagen sind unter Berücksichtigung kommunaler Infrastruktur und des Naturschutzes und der Landwirtschaft zu planen. Bei der sogenannten Agrophotovoltaik kommen Solarmodule in Frage, die sich horizontal mehrere Meter über der landwirtschaftlichen Fläche befinden und in heißen Sommern Vorteile durch Verschattungseffekte bieten. Senkrecht installierte Module, die Sonnenenergie in den Vormittags- und Abendstunden nutzen, speisen dann vermehrt Strom ein, wenn Standardanlagen nur geringe Erträge liefern.

Mit der Energieerzeugung ist die Bereitstellung von Speicherkapazitäten zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit zu planen. Je nach eingesetztem Verhältnis von Solar- und Windstrom variieren die Anforderungen an Kurz- und Langzeitspeichern sowie auch saisonalen Speichern. Zum Einsatz kommen stationäre Batteriespeicher und die Bereitstellung von speicherfähiger Energie in Form von Wasserstoff oder synthetischer Energieträger (siehe Kapitel *Sektorkopplung* und *Wasserstoff*).

CO₂-Emissionen

Um Klimaneutralität zu erzielen muss Bad Homburg seinen energiebedingten Ausstoß von 339.000 Tonnen Kohlendioxid (2018) um mindestens 90 Prozent bis 2040, wie im *Szenario 2040* gefordert, oder bereits bis 2035 (*Szenario 2035*) reduzieren.

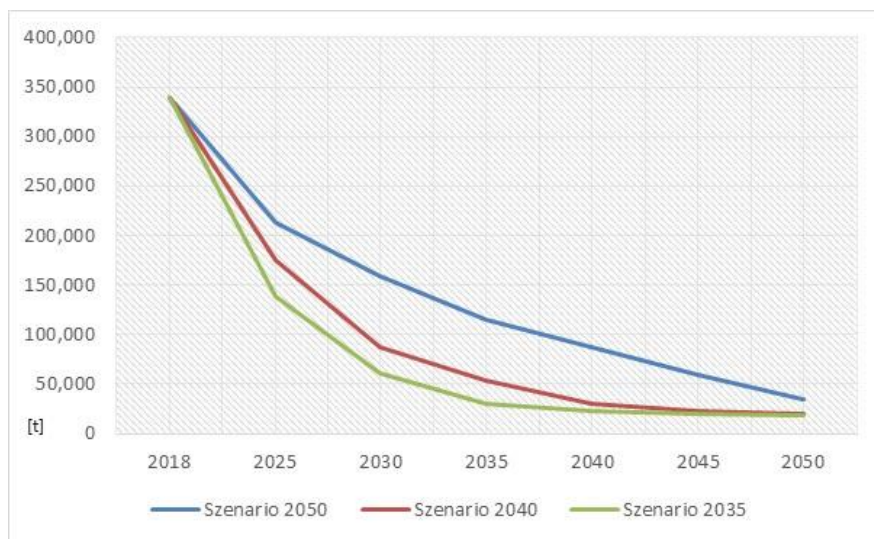


Abbildung 7-14: Energiebedingte CO₂-Emissionen in Bad Homburg in 3 Szenarien (Tonnen).

Bis 2050, soweit vorhersehbar, ist in den beiden Zielszenarien für 2035 und 2040 eine Reduktion von 94 bis 95 Prozent der Emissionen, bezogen auf 2018, zu erwarten. In einem *Szenario 2050*, das als Referenz dient, wäre eine 90-prozentige CO₂-Einsparung erst 2050 erreicht.

Die energiebedingten Pro-Kopf-Emissionen sinken mit den beschriebenen Maßnahmen von derzeit fast 6,3 Tonnen (2018) bis zu den Zieljahren 2035 beziehungsweise 2040 auf jeweils 0,56 Tonnen pro Einwohner.

Energiebedingte CO ₂ -Emissionen pro Kopf [Tonnen pro Jahr]									
	1990	1998	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
SZENARIO 2050	9,01	8,31	6,25	3,98	2,96	2,12	1,61	1,09	0,61
SZENARIO 2040	9,01	8,31	6,25	3,28	1,63	0,98	0,56	0,42	0,36
SZENARIO 2035	9,01	8,31	6,25	2,58	1,13	0,56	0,42	0,36	0,32

Tabelle 7-4: Energiebedingte CO₂-Emissionen pro Kopf bis 2050 in Bad Homburg [Tonnen pro Person / Jahr]. Zum Vergleich sind die relativen Emissionen von 1990 und 1998 mit aufgeführt.

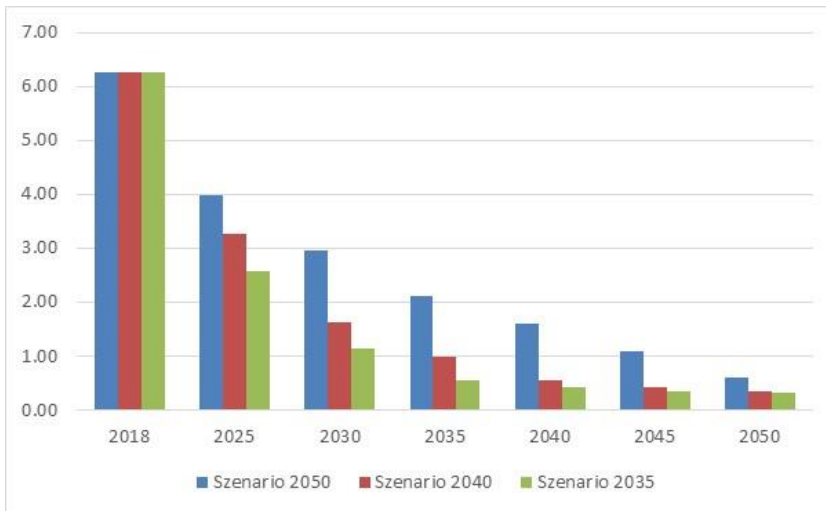


Abbildung 7-15: Energiebedingte CO₂-Emissionen pro Kopf in Bad Homburg in 3 Szenarien (Tonnen pro Person / Jahr).

Bis 2050 werden, soweit prognostizierbar, energiebedingte Emissionen je nach Szenario zwischen 0,32 und 0,36 Tonnen pro Person und Jahr hochgerechnet. Im "Referenzszenario 2050" kann das zur Erreichung von Klimaneutralität anvisierte Ziel einer Pro-Kopf-Emission von einer Tonne erst im Jahr 2050 unterschritten werden. Rechnet man CO₂-Kontingente aus nicht-energetischer Quelle (Mobilität, Landwirtschaft) hinzu, wären 2035 (beziehungsweise 2040) schätzungsweise 1,5 bis zwei Tonnen CO₂-Ausstoß pro Einwohner und Jahr zu erwarten.

Beispiel: Sofortumstellung auf "grünen Strom"

Würde sämtlicher Strombedarf (Stand 2018) aller Sektoren (Haushalte, Gewerbe und Öffentliche Verbraucher) in allen Anwendungsbereichen, also Raumwärme, Warmwasserbereitung, Stromanwendungen, Prozesse von (zertifizierten) regenerativen Quellen (PV + Windkraft) bezogen, würde sich der Eintrag der energiebedingten CO₂-äquivalenten Emissionen von 339.000 Tonnen auf 223.000 Tonnen (-34 %) reduzieren. Angenommen ist dabei ein Strommix von je zur Hälfte PV (40 g/kWh) und Windkraft (10 g/kWh) mit einem resultierenden CO₂-Faktor von 25 g/kWh.

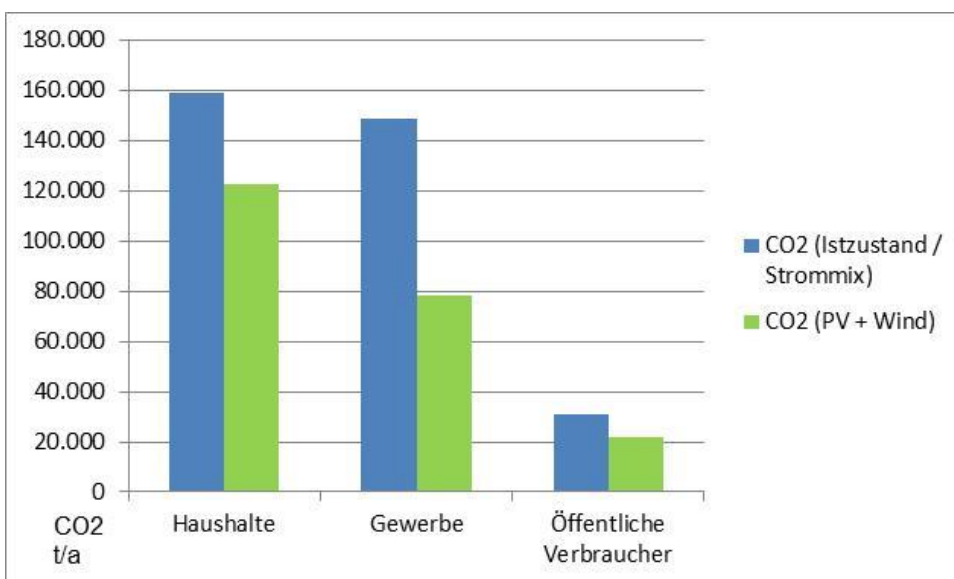


Abbildung 7-16: Energiebedingte CO₂-Emissionen 2018 im Ist-Zustand und bei einem angenommenen grünen Strombezug je Sektor (in Tonnen pro Jahr).

	CO ₂ (Istzustand 2018 + Strommix 2018)	CO ₂ (Istzustand 2018 + PV- und Windstrom)	Reduktion
Haushalte	158.900	122.530	-22,9%
Gewerbe	148.660	78.280	-47,3%
Öffentliche Verbraucher	31.130	22.100	-29,0%
Summe	338.690	222.910	-34,2%

Tabelle 7-5: Theoretische CO₂-Einsparung durch den Bezug von PV- und Windstrom (nach Sektoren).

Aufgeschlüsselt nach Sektoren ergeben sich für Haushalte Einsparungen von 23 Prozent, Gewerbe 47 Prozent und im Öffentlichen Sektor wären knapp 30 Prozent CO₂-Einsparungen zu erzielen.

Eine Unterteilung der erzielbaren CO₂-Reduzierung durch eine Strombezugsumstellung nach Anwendungsart sieht folgendermaßen aus:

	CO ₂ (Istzustand 2018 + Strommix 2018)	CO ₂ (Istzustand 2018 + PV- und Windstrom)	Reduktion
Raumwärme	166.990	166.300	-0,4%
Warmwasser	28.430	23.280	-18,1%
Stromanwendungen	101.570	5.060	-95,0%
Prozesse	41.700	28.270	-32,2%
Summe	338.690	222.910	-34,2%

Tabelle 7-6: Theoretische CO₂-Einsparung durch den Bezug von PV- und Windstrom (nach Anwendungsart).

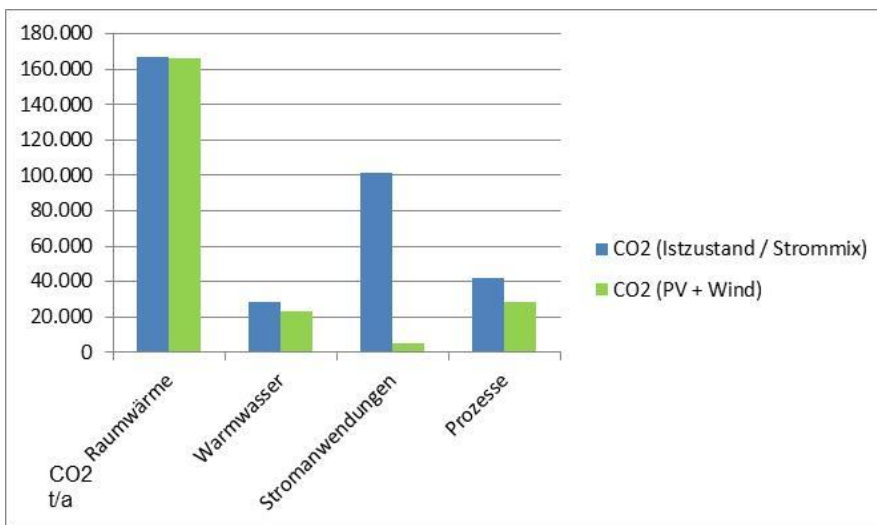


Abbildung 7-17: Energiebedingte CO₂-Emissionen 2018 im Ist-Zustand und bei einem angenommenen grünen Strombezug je Anwendungsart (in Tonnen pro Jahr).

Erwartbar werden die Emissionen, die durch Raumwärme verursacht werden, durch eine simple Umstellung der Strombezugsquelle nicht oder kaum beeinflusst. Bei Warmwasserbereitung und Prozessenergiebereitstellung sind größere Effekte zu erwarten.

Kommunaler Wärmeplan

Die Transformation zu einer emissionsfreien Wärmeversorgung in Bad Homburg erfordert ein gebäude- und sektorübergreifendes Konzept, da nur mit Einzelsanierungen und -lösungen dieses Ziel nicht realisierbar ist. Daher muss das gesamte System in den Blick genommen und analysiert werden: von der Potentialabschätzung von oberflächennaher Geothermie, Abwärmenutzung, der Verwendung möglicher Frei- und Dachflächen für Solarthermie und der Identifizierung von Wärmeinseln zur Einrichtung von Wärme- und Kältenetzen.

Zwischen 1998 und 1999 wurde gebäude- und lokalgenau der Wärmebedarf zur Gebäudebeheizung von Bad Homburg ermittelt und in Wärmekataster und Wärmeetlas dargestellt. In dieser Untersuchung sind die thermische Anschlussdichte innerhalb einer sogenannten Siedlungszelle in Kilowatt pro Hektar errechnet worden. Flächen mit mindestens 400 kW/ha wurden seinerzeit als geeignet für eine Nahwärmeversorgung identifiziert.

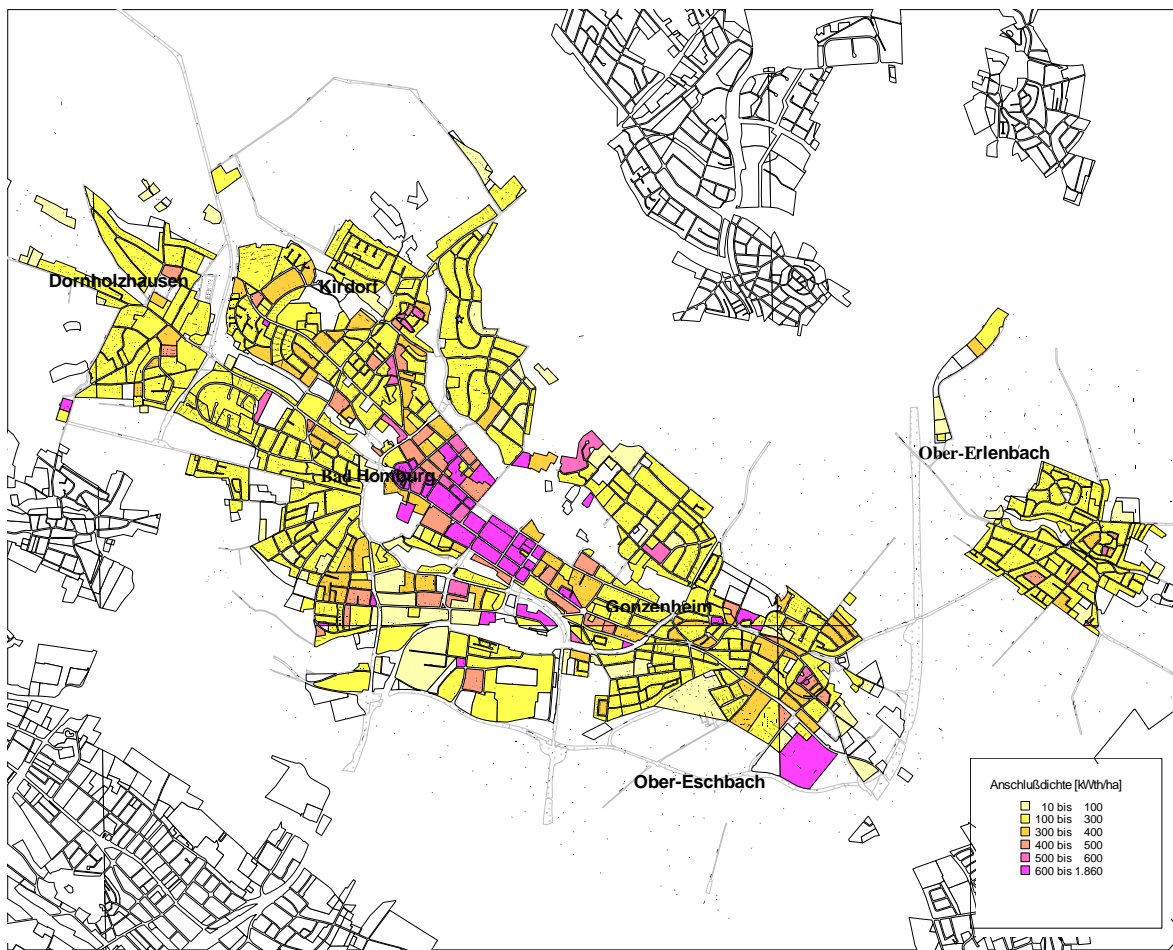


Abbildung 7-18: Kopie der Übersichtsdarstellung des Wärmeetlas von Bad Homburg (1998 – 1999).

Seitdem haben sich durch Nutzungsänderungen und bislang erfolgte und geplante Bauprojekte, wie zum Beispiel der komplett nahwärmeversorgte Klinikneubau an der Zeppelinallee und der Bau des Nahwärmenetzes der Stadtwerke im Gewerbegebiet am Bahnhof einige Rahmenbedingungen geändert. Grundsätzlich besteht im Ausbau von Wärme- und Kältenetzen ein sehr hohes CO₂-Minderungspotential, das durch den Einsatz von Anlagen, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen, am besten ausgeschöpft werden kann. Das heißt, dass die mittlerweile deutlich weiterentwickelten Großwärmepumpen aufgrund ihres dreimal geringeren erforderlichen Primärenergieaufwands den Vorzug gegenüber mit Erdgas betriebener Anlagen erhalten sollen. Weiterhin können Wärmepumpen effektiv Strom- und Wärmesektor koppeln und indirekt zu einer flexibleren Stromversorgung beitragen.

Um Synergieeffekte zu identifizieren und nutzen zu können, würde ein aufzustellender Wärmeplan über den Heizwärmebedarf hinaus auch die gewerblich und industriell benötigte und anfallende Wärme sowie den Kälte- und Strombedarf berücksichtigen. Dafür sind effiziente und auf regenerativer Energie und Abwärme basierende Wärmenetze mit einer intelligenten Steuerung erforderlich, die Wärmequellen, Wärmespeicher und Abnehmer, vor allem mit effizienter Wärmepumpentechnologie, miteinander verknüpfen.

Eine konkrete Potentialabschätzung, in der realistische Wärmeabnahme und Betriebsstunden zugrundegelegt werden, soll auch lokale und geographische Zusammenhänge berücksichtigen, die mit einem digitalen Wärmealas ermittelt und zur Verfügung gestellt werden können. Eine neue Datenaufnahme zur Aktualisierung oder besser Neuerstellung von Kataster und Atlas ist als Datengrundlage für eine aktuelle Versorgungsplanung vorgesehen und soll in der zweiten Jahreshälfte 2022 erstellt werden.

Diese Daten werden dann in einem Wärmeplan, der die Gesamtstadt umfasst und bei dem auch alle Akteure, also private und öffentliche Betriebe, Gebäudeeigentümerinnen, Einwohnerinnen, Energieversorgungsunternehmen und weitere relevante Beteiligte einbezogen werden sollen, eingespeist und Priorisierungen aufgrund zum Beispiel der technischen Gegebenheiten wie auch der Umsetzungsmöglichkeiten festgelegt, die dann in konkrete Projekte zur Nahwärmeversorgung münden sollen. Investitionen in Einzellösungen ohne Ausschöpfung von Synergiepotential sollen somit vermieden werden. Der Wärmeplan für die Gesamtstadt soll in der ersten Hälfte des Jahres 2023 fertiggestellt sein.

Sektorkopplung

Mit Sektorkopplung wird die auf Strom oder auf elektrisch erzeugtem Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen beruhende Energieversorgung von Gebäuden, Industrie und Verkehr umschrieben. Um Effizienz und Versorgungssicherheit zu gewährleisten, müssen Techniken für die Abstimmung zwischen Erzeugung und Abnahme sowie Verteilung innerhalb und zwischen den Verbrauchsbereichen eingesetzt werden.

Grundsätzlich wird regenerativ erzeugte Energie dort eingesetzt, wo sie gerade gebraucht wird und Überschüsse genutzt um Energiespeicher aufzuladen. Als Energiespeicher kommen unter anderem Batterien (Kurzzeit) oder umgewandelte chemische Energie zur Langzeitspeicherung in Frage.

„Power-to-X“

Ausgangspunkt der Umwandlung von überschüssiger elektrischer in Energie in eine andere Form oder Anwendung („Power-to-X“) ist die Elektrolyse, also Herstellung von Wasserstoff, der entweder zu einem gewissen Prozentsatz direkt in das bestehende Gasnetz eingespeist wird oder unter Einsatz von aus der Luft abgeschiedenem oder in Industrieprozessen anfallendem Kohlendioxid in Methan umgewandelt wird. Diese Gase („Power-to-Gas“) können entweder direkt thermisch genutzt, weiterverarbeitet oder rückverstromt werden.

Als weitere Techniken sind „Power-to-Air“ oder „Power-to-Liquid“, in unterschiedlicher industrieller Technologieausreifung verfügbar. Bei der Liquid Air Energy Storage (LAES) genannten Technik wird mit überschüssigem Strom Luft verdichtet und auf etwa minus 200 Grad Celsius gekühlt. Wird die Luft bei Strombedarf wieder entspannt, entstehen hohe Druckunterschiede, aus denen über Turbine und Generator Strom erzeugt wird.

Der entscheidende Nachteil ist in jedem Anwendungsfall der hohe Wirkungsgradverlust. Zur Zeit sind saisonale Langzeitspeichertechniken auch eher nicht in großem Maßstab konkurrenzfähig, werden jedoch mit steigendem Anteil regenerativ erzeugten Stroms energiewirtschaftlich und ökologisch unausweichlich.

Ob auch synthetische Kraftstoffe („Power-to-Fuel“ oder E-Fuels) in zukünftigen Energiesystemen in relevantem Umfang zu finden sein werden, ist umstritten. Die Deutsche Energie-Agentur (Dena) ist der Meinung, dass das Erreichen der Klimaschutzziele nur mit dem Einsatz synthetischer Brenn- und Kraftstoffe zu erreichen sei. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) sieht dagegen angesichts der Ineffizienz bei deren Herstellung sinnvolle Anwendungen für synthetische Kohlenwasserstoffe lediglich bei Langstrecken-Lkw, Containerschiffen und Verkehrsflugzeugen.

„Vehicle-to-Grid“

Für den Ausbau sogenannter intelligenter Stromnetze ist neben dem technischen Ausgleich der Schwankungen auch eine zeitlich und räumlich flexible Preisgestaltung bei der Netznutzung geeignet, Nachfragespitzen zu glätten und entsprechend des Angebots zu steuern. Das setzt eine weitgehende Digitalisierung der Netze und aller Komponenten voraus.

Zum Beispiel ist das Wachstum der E-Mobilität gut geeignet, um Netzschwankungen auszugleichen. Es bietet sich an, überschüssige Energie in Elektroautos zwischenspeichern und bei Bedarf wieder in das Netz einzuspeisen. Regulierungen, die das Rückführen von Strom zu günstigen Konditionen ermöglichen, werden einen Anreiz für diese Technik schaffen müssen. Ein derzeitiger Nebeneffekt, der mit fortschreitender Batterietechnik allerdings verringert werden kann, ist die mögliche Abhängigkeit der Batterielebensdauer von der Anzahl der Ladezyklen.

Für Besitzer einer Photovoltaikanlage ist die Nutzung des Auto-Akkus als Zwischenspeicher für Solarstrom eine Option, die auch wirtschaftlich ist, wenn die Rückvergütung bei Einspeisung geringer als der übliche Strompreis des Versorgers ist. Zwar sind nicht alle Modelle und Ladestationen dafür geeignet, doch mittlerweile gibt es Autohersteller und auch Anbieter bidirektionaler Ladestationen, die diese Technik unterstützen.

Wasserstoff

Eine funktionierende und soweit wie mögliche effiziente Wasserstoffinfrastruktur aufzubauen gilt weitgehend als Konsens innerhalb von Politik und großen Teilen der Wirtschaft. In der „Nationalen Wasserstoffstrategie“ (NWS) der Bundesregierung heißt es unter anderem, dass Wasserstoff "eine zentrale Rolle bei der Weiterentwicklung und Vollendung der Energiewende" einnimmt.

Herstellung und Anwendungsfälle

Als Energiespeicher und Alternative zu fossilen Kraftstoffen wird Wasserstoff eine unverzichtbare Rolle spielen. Bereits heute ist Wasserstoff, der zum großen Teil noch konventionell, das heißt CO₂-intensiv, hergestellt wird, fester Bestandteil in industriellen und chemischen Prozessen. Um diese bestehenden und noch weitere Produktionsprozesse zu dekarbonisieren, ist es unabdingbar, diesen Energieträger vermehrt auf Basis regenerativer Energien per Elektrolyse zu erzeugen („grüner Wasserstoff“).

Im Mobilitätssektor gibt es vor allem in der Luftfahrt, im Schwerlastverkehr und in der Seeschifffahrt ein hohes Anwendungspotential, da diese Bereiche nicht ausreichend elektrifiziert werden können. Ob auch im PKW-Bereich (zumeist in Form von Brennstoffzellen) Wasserstoff in Konkurrenz zu anderen Anwendungen treten soll, ist umstritten.

Aufgrund dieser und globaler Marktanforderungen sieht die Wasserstoffstrategie auch den Einsatz von „andersfarbigem“ oder CO₂-neutralem Wasserstoff vor, bei dessen konventioneller (fossiler) Herstellung das anfallende CO₂ abgeschieden und unterirdisch gespeichert wird („blau“) oder der durch thermische Spaltung von Methan produziert wird („türkis“), wobei fester Kohlenstoff anstelle von Kohlendioxid anfällt.

Ausblick

Während zwar einerseits die Förderung von auch konventionell erzeugtem Wasserstoff befürwortet wird um die Infrastruktur und Marktdurchdringung zu etablieren, gibt es andererseits die Ansicht, dass nur tatsächlich regenerativ erzeugter Wasserstoff nachhaltig ist.

Beispielsweise empfiehlt der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU), einzig auf grünen Wasserstoff zu setzen. Selbst fossil erzeugter Wasserstoff, bei dem CO₂ aufgefangen und gespeichert werden soll (Carbon Capture and Storage, CCS), eigne sich nicht als Übergangslösung, da dadurch unnötig in Infrastruktur investiert werde, die langfristig die erforderliche Transformation zu einer Wirtschaft, die auf erneuerbaren Energien basiert, gebremst wird. Hinzu kommt, dass CCS-Verfahren wiederum energieaufwendig sind und deren Marktreife für eine umfangreiche Nutzung laut mehreren Studien frühestens 2030 oder 2050 erreicht sein wird. Auch sollte Wasserstoff nur in Bereichen eingesetzt werden,

wo er langfristig erforderlich ist. Der leicht zu elektrifizierende PKW-Verkehr und die Beheizung von Gebäuden zählen jedenfalls nicht dazu.

Ob sich in den nächsten zehn Jahren ein globaler und europäischer Wasserstoffmarkt herausbilden wird oder ob das Wasserstoffzeitalter eher nach 2040 eintritt, hängt demnach von vielen Faktoren ab. Sollte jedenfalls in Bad Homburg von der Stadt oder der Wirtschaft in diese Technologien investiert werden, muss darauf geachtet werden, dass nur die Verwendung von grünem, also rein regenerativ erzeugtem Wasserstoff, nachhaltig und sinnvoll ist.

Gebäudebestand

Zwar ist der Endenergieverbrauch für die Beheizung von Gebäuden in Haushalten, Gewerbe und öffentlichen Einrichtungen - trotz Flächenzuwachs - insgesamt rückläufig, er nimmt aber mit fast 60 Prozent immer noch den größten Anteil am Gesamtenergieverbrauch der Stadt ein.

Die weitere Erhöhung von Energieeffizienz im Gebäudebereich ist mit Hinblick auf das Ziel der Erreichung von Klimaneutralität im Wärmebereich essentiell. Eine Fortführung des städtischen Energiesparförderprogramms, möglicherweise mit neuen Schwerpunkten, dabei insbesondere der Ausbau der Wärmedämmungs- und der Wärmepumpenförderung, ist daher auf jeden Fall beizubehalten und wenn möglich, die Fördersätze zu erhöhen. Die dauerhafte Besetzung der Energieberatungsstelle ist zu gewährleisten und die Beratungszeiten wieder auf die ganze Woche auszudehnen.

Industrie, Gewerbe

Mit 149.000 Tonnen im Jahr 2018 (knapp 44 Prozent) stellt der gewerblich-industrielle Sektor den zweitgrößten Verursacher energiebedingter Kohlendioxidemissionen in Bad Homburg dar.

In dieser Verbrauchergruppe sind die Einsatzmöglichkeiten von Sparmaßnahmen und effizientem Energieeinsatz vielfältig. Ziel muss es sein, mit einer hohen Energieeffizienz sowie der Nutzung von regenerativen und klimafreundlichen Energiequellen die Energie- und möglicherweise Zertifikatskostenbelastung der Unternehmen zu senken und ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern. Dazu ist erforderlich, individuelle Analysen und Beratungen von einzelnen Unternehmen zu veranlassen, um eventuelle Umsetzungshemmnisse aus Unkenntnis oder Skepsis beseitigen zu helfen.

Stadt

Klimawandel und Druck auf Ökosysteme sind zwar globale Probleme, deren Lösungen bedürfen jedoch lokaler Akteure und lokalem Engagement. Die unmittelbaren Möglichkeiten der Stadt zur Senkung der Emissionen sind insofern beschränkt, als dass die Hauptemittenten Haushalte und Gewerbe/Industrie außerhalb ihres direkten Einflusses liegen. Allerdings sind auf administrativem und informellem Weg sowie durch Förderanreize die indirekten Einflussmöglichkeiten vielfältig, zumal sie durch die Bundesgesetzgebung und inzwischen auch durch vielfältige Förderangebote des Bundes und des Landes Hessen flankiert werden. Im Kern muss es zukünftig die Aufgabe sein, den Energiebedarf zu minimieren und dabei die Energieversorgung zu optimieren. Berücksichtigt werden müssen dabei die Bereiche Wärme, Kälte, Luft, Licht und Strom.

Weiterhin kann die Stadt durch finanzielle Anreize energieeffizientes Bauen fördern. Das geschieht zur Zeit im Rahmen des Energiesparförderprogramms mit der Förderung von Neubauten, die einen spezifischen Heizenergiebedarf von 15 kWh pro Quadratmeter nicht überschreiten. Mit Hilfe dieser Motivation sind im Neubaugebiet „Am Hühnerstein“ Wohngebäude z. T. auch schon im Passivhausstandard errichtet worden.

Neubauten haben im Vergleich zu älteren Gebäuden zwar einen spezifisch geringeren Energieverbrauch, dennoch sollte die Stadt hier versuchen, durch Instrumente der Bauleitplanung Einfluss auszuüben um langfristig energiebedingte Emissionen zu vermeiden.

Durch die Ausweisung von Baugebieten in energetisch günstigen Lagen und Ausrichtungen (Einstrahlung, Verschattung) und Anschlussvorgaben an Wärmenetze bzw. der Vorgabe, einen Nahwärmeverbund zu bilden, lassen sich energiebewusst wichtige Weichen setzen.

Einen über gesetzliche Vorschriften hinausgehenden Energiekennwert für Gebäude festzusetzen sollte, wengleich rechtlich noch nicht eindeutig regelbar, in Betracht gezogen werden. Zum Beispiel kann in städtebaulichen oder privatrechtlichen Vereinbarungen mit Bauträgern oder Bauherren eine Obergrenze für Kennzahlen festgelegt werden. Voraussetzung ist, dass die Grundstücke im Besitz der Stadt sind.

Maßnahmen an Einrichtungen des Stadtkonzerns

Auch wenn die städtischen Einrichtungen nur geringen Anteil an den Gesamtemissionen haben, muss die Stadt, um ihrer Vorbildfunktion gerecht zu werden und um glaubwürdig zu bleiben, mit gutem Beispiel vorangehen und geeignete CO₂-Reduktionsmaßnahmen ergreifen.

Ein erster Schritt dazu war 2000 die Schaffung eines *Kommunalen Energiemanagements*, das ausschließlich für die Umsetzung und Kontrolle von Energie- und Kostenreduzierungen zuständig und verantwortlich sein sollte. Dieser Aufgabe konnte man zu großen Teilen gerecht werden, trotzdem ist nun eine Optimierung und Ausweitung dringend erforderlich

Der Zwang hochwertige Gebäude bauen zu müssen führt gleichzeitig dazu, dass die höheren Investitionen langfristig abzusichern sind. Dabei ist nicht allein der energetische Standard entscheidend, sondern auch Betriebskosten, soziale Verträglichkeit, Verkehrsanbindung, Nutzungsvariabilität der Struktur- und der Gebäudeflächen, Haltbarkeit und Sanierungsintervalle spielen eine bedeutende Rolle. Hier gilt es neue Denkweisen zu begreifen, weiterzuentwickeln und anzuwenden.

Es sind künftig, sofern möglich, nur noch klimafreundliche Gebäudetypen, Baustoffe und Verfahren zu verwenden zu bauen und zu nutzen, insbesondere auch die Holzbauweise, auch wenn diese in der Bau-phase zu einem erhöhten Planungs- und Kostenaufwand führen. Die Haltbarkeit und Nutzbarkeit von Gebäuden muss im Sinne der Nachhaltigkeit zukünftig wieder 80 Jahre und mehr betragen können. Hier ist auch verstärkt auf den klimafreundlichen Betrieb und die Bauunterhaltung zu achten. Das Gebäude ist in seinem gesamten Lebenszyklus zu betrachten („*cradle to cradle*“ - Prinzip).

Erneuerbare Energien

Zusätzlich zum bundesweiten Trend, Strom zunehmend aus regenerativen Quellen zu erzeugen, werden auch verstärkt lokal und regional erneuerbare Energien zum Einsatz kommen müssen, um die Klimabilanz weiter zu verbessern. Hauptsächlich werden Wind und Solarenergie eingesetzt werden müssen.

Thermische Solarenergie und Photovoltaik

Die Stadt hat mit dem *Förderprogramm* seit 1998 *Solaranlagen* zur Brauchwassererwärmung mit einer Fläche von insgesamt rund 2.600 m² gefördert. Damit werden hochgerechnet ein Prozent des Warmwasserenergiebedarfs der Bad Homburger Haushalte gedeckt und circa 390 Tonnen CO₂ im Jahr 2010 eingespart (Quelle: Energieberatungsstelle der Stadt Bad Homburg).

Photovoltaikmodule sind vereinzelt an öffentlichen Einrichtungen installiert, zum Beispiel am Rathaus, auf dem Technischen Rathaus und an einer Sporthalle. Um auch auf privaten Gebäuden die Solarstromerzeugung zu verbreiten wurde ab Dezember 2020 auch der Bau von Photovoltaikanlagen in das städtische Förderprogramm aufgenommen. Das bestehende digitale Solarflächenkataster sollte gesichtet und gegebenenfalls aktualisiert werden Es ist eine wichtige Informationsquelle für die privaten Investoren.

Geothermie

Oberflächennahe Geothermie wird in Bad Homburg zur Versorgung von Einzelobjekten bereits über Erdwärmesonden mittels Wärmepumpen genutzt und wird möglicherweise durch den deutlich klimafreundlicheren Strom und dadurch sehr guten CO₂-Bilanz an Zahl zunehmen.

Dagegen könnte die Energie aus Tiefen-Geothermie direkt und ohne Niveauehebung genutzt werden, was, von aufsteigenden Thermalwässern abgesehen, ab einer Tiefe von rund 400 – 1000 m möglich ist. Inwieweit diese Technik in Bad Homburg aufgrund der sehr sensiblen Heilquellenthematik überhaupt nutzbar sein könnte, ist zu überprüfen.

Windkraftanlagen

Die Stadt und die Stadtwerke waren schon vor einigen Jahren auf der Suche nach möglichen Standorten bzw. Beteiligungsmöglichkeiten auch in angrenzenden Gemarkungen, da es Bereiche gibt, in denen das durchschnittliche Windaufkommen (Windhöflichkeit) ausreichend gegeben ist, bisher konnten aber keine konkreten genehmigungsfähigen und realisierbaren Vorhaben gefunden werden.

Sofern WKA in Planung sind, sollte in einer Detailanalyse auch geklärt werden, inwiefern diese auch zur Herstellung von sogenanntem *Windgas* oder *EE-Gas* geeignet sind. Dieses Gas kann Methan oder Wasserstoff sein und wird zur Speicherung von überschüssiger Energie über den regenerativ erzeugten Strom aus entweder Wasser oder Kohlendioxid hergestellt.

Biomasse

Der Energiegewinn aus fester, flüssiger oder gasförmiger Biomasse weist zwar nicht das hohe Potential wie Wind oder Sonne auf, hat aber auch in Bad Homburg zugenommen. Zur Zeit werden hauptsächlich Holz bzw. Holzhackschnitzel (Betriebshof) sowie Klärgas (Kläranlage „Am Sauereck“) zur thermischen Nutzung eingesetzt.

Eine intensive Verwendung von Energiepflanzen wie beispielsweise Raps wird in den Gemarkungen um Bad Homburg nicht vorgenommen. Wie im IKK 2000 erwähnt, gibt es bei einer nutzbaren Fläche von 98 Hektar einen Ertrag von theoretisch 3.950 MWh Endenergie im Jahr. Dieser lässt sich entweder rein thermisch verwerten oder über eine Kraftkopplung auch zur Stromgewinnung einsetzen. Je nach eingesetzter Umwandlungsform und dadurch abhängigem CO₂-Faktor lassen sich so rund 1.000 bis 1.500 Tonnen Kohlendioxid pro Jahr sparen. Allerdings ist der großflächige Anbau von Pflanzen für energetische Zwecke aufgrund der möglichen Beeinträchtigung von Biodiversität und natürlicher Kohlenstoffsinken mittel- bis langfristig nicht zu empfehlen, hinzu kommt die Konkurrenz zu Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Weiterhin wird kritisiert, dass bei der Herstellung von Biogas, das zur Zeit überwiegend aus Mais hergestellt wird, bei der nicht sachgemäßen Lagerung der Gärreste klimaschädliches Methan entweichen kann. Auch die Alternative Holz aus sog. Energiewäldern ist mit vielen Nachteilen behaftet und stellt allenfalls die Brennstoffquelle einer Brückentechnologie dar.

Die zur Zeit in der Stadt betriebenen und auch die von den Stadtwerken in einer aktuellen Planung favorisierten Wärmeerzeugungsanlagen, die mit Biomasse (Holzhackschnitzelfeuerung) oder teilweise Biogas betrieben werden, sind zum jetzigen Zeitpunkt zwar geeignet, CO₂-Emissionen - im Vergleich zum Erdgaseinsatz - zu vermeiden. Eine Neuinstallation oder Hochskalierung von Anlagen dieser Art im Megawattbereich muss allerdings kritisch hinterfragt werden. Zum einen wird in Anlagen investiert, die rund dreimal so viel Primärenergie benötigen wie zeitgemäße und mittlerweile etablierte Anlagenkombinationen aus Wärmepumpen und Wärmerückgewinnung. Zum anderen sind bei der Verwendung von Biomasse und Holz als Energieträger immer Überlegungen zu Natur- und Wasserschutz sowie zur Biodiversität anzustellen, auch der Aspekt der entfallenden dauerhaften Kohlenstoffspeicherung als Holz im Wald ist zu beachten.

Generell gilt es zu vermeiden, Technologien aufzubauen die jetzt schon absehbar in unerwünschte Pfadabhängigkeiten führen (sogenannte "Stranded Assets").

Mobilität

Neben Klimaschutz sprechen Naturschutz, Emissions- und Lärmreduzierung sowie generell die Reduktion stressfördernder Faktoren wie Parkplatzmangel und Staus für eine Modifikation des innerstädtischen Verkehrs. Dabei gibt es vier Trends, die politisch, finanziell und planerisch zu fördern sind:

- Die Elektrifizierung des Individualverkehrs mit dem gleichzeitigen Rückgang von Fahrzeugen, die mit fossilen Kraftstoffen angetrieben werden, ist ein wichtiger Bestandteil zukünftiger Verkehrskonzepte, löst aber nur einen Teil der Probleme, zumal auch die Bereitstellung dafür notwendiger regenerativen Stroms an technische Grenzen und gesellschaftliche Akzeptanzgrenzen stößt.

- Fuß- und Radverkehr spielen eine erhebliche Rolle hinsichtlich Umweltverträglichkeit und Lebensqualität in Städten, wie Studien und Umfragen belegen.
- Der Anteil des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) am Verkehrsaufkommen muss grundsätzlich erhöht werden. Dazu ist ein einfaches und einheitliches Tarifsystem, Barrierefreiheit und eine kurze Taktfrequenz der Transportmittel und möglicherweise die Ausweisung bevorzogter Fahrspuren zu schaffen.
- Modelle des „Sharing“ und „Pooling“ von Fahrzeugen beziehungsweise Fahrten sind sozusagen eine Art individueller ÖPNV. Durch die Steigerung von Fahrzeugeffizienz wird so eine Verkehrs- und Emissionsreduzierung bei gleichbleibender Mobilität erreicht.

E-Mobilität

Der Strombedarf elektrischer Mobilität gibt dem Ausbau erneuerbarer Energieerzeugung noch mehr Motivation, denn mit dem derzeitigen Strommix sind Elektroautos, selbst auf ihren gesamten Lebenszyklus bezogen, nicht überragend klimafreundlicher als herkömmliche Fahrzeuge, da zur Zeit auch die Herstellung von Batterien CO₂-intensiv ist. Einzig lokale Emissionen werden vermieden.

Laut *Agora Verkehrswende (2019)* erreichen Elektrische Fahrzeuge je nach angenommenen Rahmenbedingungen (Batterieherstellung, Fahrzeugtyp, Strombereitstellung) ihren sogenannten „break-even point“, also den Punkt, ab dem die durch Herstellung und Betrieb des E-Autos verursachten CO₂-Emissionen niedriger werden als diejenigen eines vergleichbaren Verbrenners, erst zwischen 40.000 und 80.000 gefahrenen Kilometern.

ÖPNV (Busverkehr)

In einer Untersuchung des Verkehrsdienstleisters, der die Linienbusse in (und um) Bad Homburg betreibt, wird die jährliche CO₂-Emission der Flotte im Ist-Zustand (Diesel) mit möglichen Antriebsformen der Zukunft verglichen ("Well to Wheel").

Well to Wheel-Emission ⁶ der Busflotte in HG in CO ₂ /Jahr	CO ₂ (t/a)
Busflotte Aktuell (Energieträger Diesel)	2.418
E-Busflotte der Zukunft (Energieträger Strom, Erzeugung Strommix)	1.189
E-Busflotte der Zukunft (Energieträger Strom, Erzeugung grüner Strom)	16
E-Busflotten der Zukunft (Energieträger grauer Wasserstoff, Erzeugung Strommix - Elektrolyse)	7.024
E-Busflotten der Zukunft (Energieträger grauer Wasserstoff, Erzeugung Erdgas)	4.046
E-Busflotten der Zukunft (Energieträger grüner Wasserstoff, Erzeugung 100 % Ökostrom)	264

Tabelle 7-7: Aktuelle und mögliche CO₂-Emissionen durch die Bad Homburger Busflotte (Quelle: Verkehrsbetriebe)

Dabei stellt sich heraus, dass nur Antriebe, die auf grünem Strom basieren einen nennenswerten Beitrag zur CO₂-Reduzierung zu leisten imstande sind. Während Wasserstoff, der "grau", also herkömmlich mit dem derzeitigen Strommix hergestellt wird, fast zu einer Verdreifachung der CO₂-Emissionen beiträgt, ist bei der Umstellung auf batterieelektrische Antriebe die ebenfalls auf konventionell erzeugtem Strom basieren immerhin eine Reduktion um rund die Hälfte zu erwarten.

⁶ Well to Wheel: „Wirkungskette für die Fortbewegung von der Gewinnung und Bereitstellung der Antriebsenergie bis zur Umwandlung in kinetische Energie“ (aus: Wikipedia).

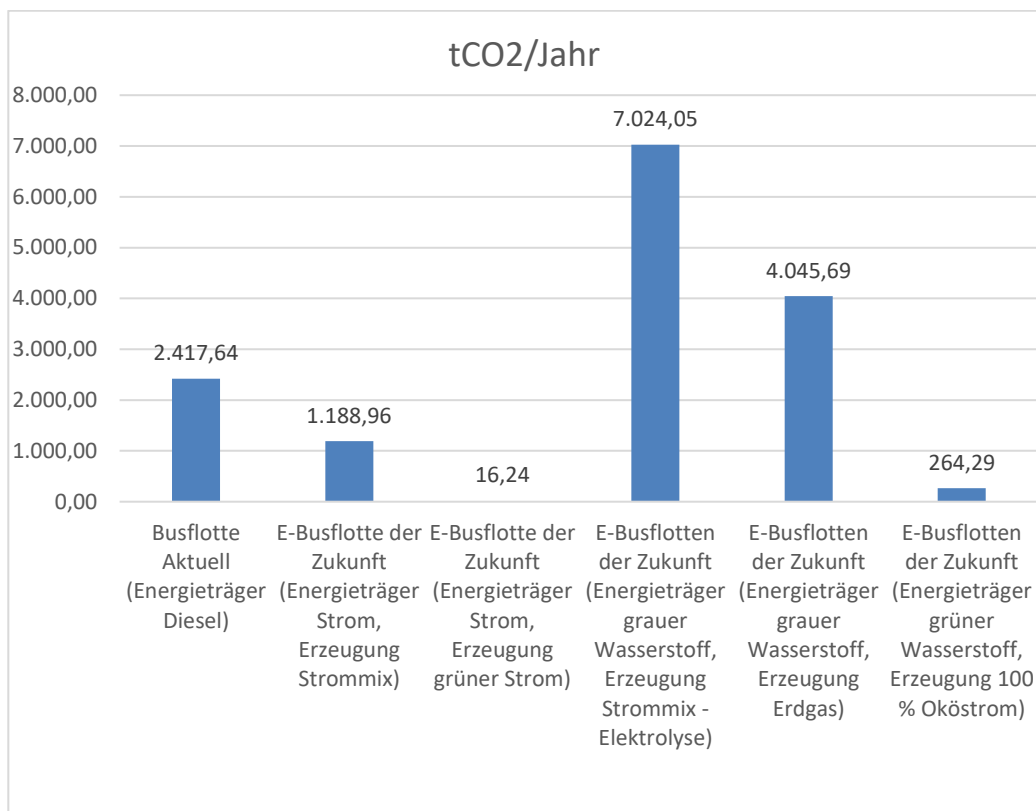


Abbildung 7-19: CO₂-Emissionen durch die Bad Homburger Busflotte (Quelle: Verkehrsbetriebe)

Am besten sieht die Bilanz bei mit Ökostrom geladenen Batterien einer (E-)Busflotte aus: dort werden laut den Berechnungen 99 Prozent der CO₂-Äquivalente vermieden. Eine Busflotte, die komplett mit grünem Wasserstoff fährt, trägt nur noch zu zehn Prozent der Kohlendioxidemissionen bei. Ungeachtet dessen, wird sich in allen vorgestellten Beispielen der Zukunft die Luftqualität der Stadt etwas verbessern, da unter anderem lokale Feinstaub- und Stickoxidemissionen wegfallen.

Energieaufwand und CO₂-Emissionen

Wird die angenommene derzeitige jährliche Fahrzeugkilometerleistung für PKW in Bad Homburg auf E-Autos angewendet, würden bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 20 kWh pro 100 Kilometer rund 68.000 MWh an elektrischer Energie bereitgestellt werden müssen.

Betrachtet man die CO₂-Emissionen nur für den Fahrbetrieb, also ohne Lebenszyklusbilanz, wären mit dem derzeitigen Strommix dadurch knapp 34.000 Tonnen an CO₂-Äquivalenten verursacht. Das bedeutet eine Reduktion um fast die Hälfte im Vergleich zum derzeitigen PKW-Bestand, der mit fossilen Kraftstoffen betrieben wird und jährlich 62.000 Tonnen CO₂-Äquivalente emittiert. Würde die erforderliche Strommenge dagegen vollständig von PV- und Windstrom erzeugt, wäre eine 97-prozentige Reduzierung der CO₂-Emissionen im Vergleich zu einem fossil betriebenen PKW-Fuhrpark möglich.

Für diese 100-prozentige regenerative Deckung wären, vereinfacht gerechnet, eine Photovoltaikfläche von 70 Hektar oder sechs Windkraftanlagen erforderlich⁷.

Neben der Erzeugung von grünem Strom ist dessen Bereitstellung durch eine ausreichend hohe Zahl an geeigneten Ladepunkten und eine aufeinander abgestimmte Infrastruktur zu gewährleisten. Diese Einzelaspekte werden zur politischen Planung und Koordinierung in einem Mobilitätskonzept bewertet und zusammengeführt. Darin wird auch eine Betrachtung des aktuellen Verkehrsaufkommens und der CO₂-Emissionen sowie der künftigen Entwicklung zu finden sein. Ergebnisse hierzu werden voraussichtlich 2022 vorliegen.

⁷ Annahme PV: 97 kWh Stromertrag pro m² und Jahr. Annahme WKA: 4,6 MW installierte Leistung und 2.500 Vollaststunden pro Jahr und Anlage.

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Maßgeblich für die Klimaschutzpolitik der EU und der Bundesregierung sind die Vereinbarungen der UN-Klimarahmenkonvention und ihrer Zusatzprotokolle, das Kyoto-Protokoll und die Übereinkommen von Paris und Glasgow. Im bereits erwähnten Ersten Gesetz zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes vom 18.08.2021 wird als Ziel eine Treibhausgasminderung bis 2030 von 65 Prozent (bezogen auf 1990), bis 2040 von 88 Prozent und eine Treibhausgasneutralität bis 2045 angestrebt.

Technisch relevant sind das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz, das die Erhöhung des Anteils der Nettostromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zum Ziel hat, das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2021), das in seiner letzten Änderung am 1. Oktober 2021 in Kraft trat und das die Einspeisevergütung von Strom aus regenerativen Quellen regelt sowie das Gebäudeenergiegesetz (GEG), das die Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) zusammenführt und seit November 2020 in Kraft ist. Darin werden Anforderungen an Neubauten (Niedrigstenergiestandard) und bei Bestandsgebäuden unter anderem hinsichtlich der Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilen vorgegeben sowie Regelungen zu Heizungs- und Kühlungsanlagen formuliert.

Zusätzlich wird im Abschlussbericht des von der Hessischen Landesregierung ins Leben gerufenen Energiegipfels unter anderem postuliert, dass 2050 die Deckung des gesamten Strom- und Wärmebedarfs des Landes Hessen mit regenerativer Energie erfolgen soll.

8 Handlungsempfehlungen und Fazit

Energiebedarfs- und Emissionsreduzierung

Die durch Energieverbrauch innerhalb Bad Homburgs verursachten CO₂-Äquivalente von rund 339.000 Tonnen im Jahr 2018 müssen zur Erreichung einer energetischen „Klimaneutralität“ bis 2035/2040 um 90 Prozent auf rund 30.000 Tonnen im Jahr reduziert werden. Im Kern muss es zukünftig die Aufgabe aller Akteure sein, den Energiebedarf sehr deutlich, und zwar mindestens um die Hälfte, zu minimieren und dabei parallel die Energieversorgung zu optimieren. Berücksichtigt werden müssen dabei insbesondere die Bereiche Wärme, Kälte, Luft, Licht und Strom. Bei konsequenter Umsetzung sollten theoretisch die energiebedingten Pro-Kopf-Emissionen von derzeit fast 6,3 Tonnen (2018) bis zu den Zieljahren auf unter 1,0 Tonnen pro Einwohner und Jahr gesenkt werden können.

Handlungsempfehlungen

Stadtkonzern

Bekanntlich ist der Anteil der städtischen Einrichtungen am Gesamtenergieverbrauch und den CO₂-Emissionen fast vernachlässigbar (rund ein Prozent). Trotzdem messen sich Vorbildcharakter und Glaubwürdigkeit der Stadtverwaltung an Einsparmaßnahmen an der eigenen Infrastruktur. Dazu sollten auch Gebäude zählen, die nur angemietet sind, wie zum Beispiel das Rathaus. Nicht-städtischen öffentlichen Institutionen, Gewerbe und Privathaushalten muss die Stadtadministration so als besonders engagiertes Beispiel vorangehen und auf Ausstrahlungseffekte durch diese Vorbildhaltung zählen.

Gebäudesektor:

- Wiedereinsetzung der Stelle des *Kommunalen Energiemanagements*
- Beauftragung externer Analysen zur Ermittlung der energetischen Qualität jeden Gebäudes, das städtisch genutzt wird
- Darauf basierende Aufstellung von Plänen zu
 - o konkreter energetischer Gebäudesanierung
 - o Heizungs-, Klima- und Lüftungssanierung mit konsequenter Umstellung auf Wärmepumpenbetrieb, Wärmerückgewinnung, Nahwärme- und Solarthermienutzung wo es technisch möglich ist
 - o allgemeiner Nutzungs- und Prozessoptimierung
 - o ressourcenschonenden Ausstattung
- Keine weitere Neuinstallation von Wärmeerzeugungsanlagen auf Basis fossiler Brennstoffe
- Effizienzschulung von Gebäudeverantwortlichen, Betriebspersonal und Mitarbeitern
- Überprüfung aller Energiebezugsverträge auf Nachhaltigkeit
- Öffentlichkeitsarbeit
- Vor-Prüfung der Machbarkeit von Windkraftanlagen (WKA)
- Vor-Prüfung der Machbarkeit von Flächensolaranlagen
- Prüfung von klimafreundlichen Investments
- Vor-Prüfung der Möglichkeit zu Aufstellung eines kommunalen „Bad Homburg Klimafonds“
- Berücksichtigung der Ergebnisse in den städtischen Bebauungsplanvorhaben

Mobilität:

- Ausbau des ÖPNV durch Elektrifizierung und Wasserstofftechnik
- Reduktion von PKW-Dienstfahrten durch Substitution über Telekonferenzen
- Anschaffung von weiteren Dienstfahrrädern und Pedelecs
- Ausbau des Bestands an E-Fahrzeugen im Stadtfuhrpark
- Optimierung der Fahrzeugpoolnutzung
- „Sprintsarkurs“ auch für E-Fahrzeug-Fahrer
- Ausbau ÖPNV-Nutzung

Gesamtstadt

Als erste Maßnahmen sind einzuleiten:

- Organisation einer Bürger-, Handwerks- und Wirtschaftsbeteiligung, um den erforderlichen kommenden Investitionen und Änderungen eine gesellschaftliche Akzeptanz zu verschaffen
- Aufbau eines Gebäudesanierungsplans, der Förderungen und Empfehlungen vorsieht, die teilweise über das Gebäudeenergiegesetz (GEG) hinausgehen. Mit einer Sanierungsquote von drei Prozent im Jahr können rund 270 bis 300 Gebäude vollsaniert werden. Damit sind bis 2040 rund die Hälfte der derzeit bestehenden Gebäude in einem akzeptablen Dämmzustand. Soll schon fünf Jahre vorher also 2035 diese Quote erreicht werden, müssen ab sofort 370 bis knapp 400 Gebäude pro Jahr (Sanierungsquote von rund vier Prozent) vollsaniert werden. Möglicherweise wird bei diesem ambitionierten Vorhaben die derzeitige lokale Handwerkskapazität überschritten aber es spricht nichts dagegen, trotzdem damit anzufangen, da auch hier eine Dynamik entstehen muss.
- Erarbeitung eines Heizungssanierungsplans zur allmählichen flächendeckenden Umstellung auf mit regenerativer Energie betriebener Wärmepumpen. Das Energiesparförderprogramm soll beibehalten werden. Die Subvention des Austauschs von Heizsystemen muss allerdings insofern überprüft werden, ob zum Beispiel nur noch der Einbau von Wärmepumpen (eventuell auch vereinzelt Brennstoffzellensysteme) gefördert werden. Zwar lässt sich durch den Austausch einer alten Ölheizung unmittelbar CO₂ einsparen, mit dem gleichzeitigen Einbau einer Gastherme wird dann allerdings für die nächsten 20 Jahre der Einsatz eines weiteren fossilen Energieträgers festgeschrieben.
- Keine Förderung von Öl-Heizungen (Aktualisierung der Energiesparförderrichtlinie)
- Industrie und Stadtwerke: Informationskampagne zur intelligenten Abwärmenutzung und dem Einsatz von Großwärmepumpen nach Vorliegen eines Wärmeplans
- Solarenergie: Aktualisierung des Dachflächenkatasters und Ermittlung potentieller Dachflächen zur Erzeugung von PV-Strom
- Prüfung der Ausweisung von Flächen zur Errichtung von Windkraftanlagen und Freiflächensolaranlagen. Idealerweise lassen sich in Kooperation mit Nachbargemeinden (Karben, Friedrichsdorf) innerhalb von fünf Jahren 5 - 6 Windkraftanlagen in Betrieb nehmen.
- In Kooperation mit landwirtschaftlichen Betrieben können auf geeigneten Außenflächen Solarmodule zur Stromerzeugung errichtet werden ("Agrophotovoltaik").
- Unterstützung von Unternehmen, die in Technologien zur regenerativen Herstellung, Speicherung und Anwendung von Wasserstoff investieren. Projekte, die möglicherweise nicht unmittelbar kommerziell oder in großem Maßstab einsetzbar aber mittelfristig erforderlich sind, sollten unterstützt werden. Mit geeigneten Industriebetrieben sind daher sowohl Machbarkeit als auch die Möglichkeiten von Beteiligungen auszuloten.
- Umsetzung der Empfehlungen des Mobilitätskonzeptes

Kompensation

Die nicht einsparbaren verbleibenden CO₂-Kontingente müssen, um auf eine rechnerische Klimaneutralität zu kommen, kompensiert, das heißt an anderer Stelle vermieden werden.

Dazu ist die Beteiligung an klimarelevanten Projekten möglich, die zertifiziert und nach angemessenen Standards und Qualitätskriterien operieren:

- Energieprojekte, die sowohl in erneuerbare Energien als auch Energieeffizienz investieren
- Projekte in den Bereichen Abfall, Transport und Industrie, die durch Prozessoptimierungen die Menge an klimaschädlichen Gasen reduzieren
- Land- und forstwirtschaftliche Projekte, bei denen die CO₂-Einbindung zum Beispiel durch den Erhalt von Moor- und Feuchtgebieten oder Aufforstung gefördert wird

Wichtig dabei ist, dass auf diesem heterogenen und zurzeit schwer durchschaubaren Markt nur in nachprüfbar Projekte investiert wird, die dokumentierte Einsparungen erzielen.

Fazit

Um bis 2040 oder 2035 das Ziel "Zero CO₂" (energetisch) erreichen zu können, ist neben der gesellschaftlichen Bereitschaft, in vermeintlich unbequeme Veränderungen und neue Technik zu investieren auch eine enorme Planungs-, Ingenieurs-, Finanz- und Handwerksleistung erforderlich.

Letztendlich profitieren aber am Ende alle Beteiligten von dieser Herausforderung, die auch ein großangelegtes Wirtschaftsförderprogramm ist, zumal auch Zuschüsse von Bund und EU abgerufen werden können. Neben einer neuen und nachhaltigen Infrastruktur sind künftig geringe und verlässliche Energiekosten als Anreiz zu sehen.

Auch wenn die Ziele sehr ambitioniert sind, zeigen die Szenarien grundsätzlich Wege auf, wie durch die konsequente Umsetzung von nach heutigem Stand sinnvollen und technisch machbaren Maßnahmen, eine Transformation hin zu einer energetischen Klimaneutralität von unter 1 Tonne pro Einwohner und Jahr machbar wäre. Viele Parameter genügen derzeit noch nicht diesen ehrgeizigen Anforderungen, angesichts der Klimakrise spricht aber alles dafür, trotzdem sofort mit den Maßnahmen zu beginnen, um in der gesamten Stadtgesellschaft die erforderliche Dynamik entstehen zu lassen.

Dafür muss insbesondere der Stadtkonzern sobald wie möglich damit beginnen, sowohl die Kommune als Ganzes betreffende sektorübergreifende Maßnahmen in die Wege zu leiten als auch innerhalb seines eigenen Unternehmens als Vorbild verstärkt tätig zu werden.

9 Anhang

Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren nach GEMIS berücksichtigen den global wirksamen CO₂-Ausstoß inklusive Hilfsenergie und Materialaufwand, der bei der Umwandlung von Primär- zur Nutzenergie entsteht. Die sich ändernden Herstellungs- und Umwandlungsprozesse spiegeln sich auch in den CO₂-Faktoren wider, die für die jeweiligen Betrachtungszeiträume angepasst wurden.

Energieart/ Prozess	CO ₂ Äquivalent [g/MWh]
Heizöl EL	310
Erdgas	231
Flüssiggas	295
Strommix Deutschland	505
Strom PV	40
Nahwärme 35% KWK	221
Steinkohle	438
Holz	15
Biogas (KWK Wärme)	75
Solarwärme Flachkollektor	24
Solarwärme Vakuumröhrenkollektor	34
Windkraft	10

Tabelle 9-1: Emissionsfaktoren der einzelnen Energieträger / Prozesse (IWU 2020, berechnet nach GEMIS).

Gebäudetypologie

Zur Kategorisierung von Wohngebäuden wurde die vom IWU 2015 aufgestellte Typologie zugrundegelegt, in der im Vergleich zur Typologie von 1997 folgende Änderungen vorgenommen wurden: in der Baualtersklasse „H“ sind Gebäude der Jahre 1984 bis 1994 zu finden (vorher 1984 – 1987); in der Klasse „I“ Gebäude von 1995 bis 2001 und in der Klasse „J“ sind Gebäude von 2002 - 2009. Neubauten ab 2010 werden klassifiziert durch „K“ (bis 2015) und „L“ (ab 2016).

Gebäudeart	
EFH	Freistehendes Einfamilienhaus
GMH	Großes Mehrfamilienhaus 7-14 WE
HH	Hochhaus (> 14 WE)
KMH	Kleines Mehrfamilienhaus bis 6 WE
RH	Reihenhaus

Baualtersklasse	Baujahr
A	bis 1918 (Fachwerk)
B	bis 1918 (massiv)
C	1919 - 1948
D	1949 - 1957
E	1958 - 1968
F	1969 - 1978
G	1979 - 1983
H	1984 - 1994
I	1995 - 2001
J	2002 – 2009
K	2010 – 2015
L	ab 2016

Tabelle 9-2 und Tabelle 9-3: Gebäudearten und Baualtersklassen von Wohngebäuden (IWU).

In einer Gebäudematrix wurde für die einzelnen Typgebäude der Heizenergiekennwert für jedes der Jahre in Abhängigkeit des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) ermittelt. Der durchschnittliche U-Wert der Typgebäude errechnet sich aus den einzelnen Bauteilkoeffizienten (für Wand, Dach, Keller und Fenster) und berücksichtigt den Sanierungszyklus, die bislang eingeführten Energieeinsparverordnungen und eine baualtersabhängige statistische Umsetzungsquote.

Gradtagszahlen

Den in der Tabelle errechneten Werten des spezifischen Wärmebedarfs liegt, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, die Gradtagszahl für die nächstgelegene Wetterstation Königstein von 1998 zugrunde. Im Gegensatz zu den Gradtagszahlen, die nach VDI 2067 auf der festen Temperaturpaarung 15°C/20°C (Heizgrenztemperatur / Innentemperatur) basieren, wurden in der Untersuchung die Heizgradtage auf der Grundlage der eher der Realität entsprechenden Wertepaaren 15°C/18,5°C berechnet.

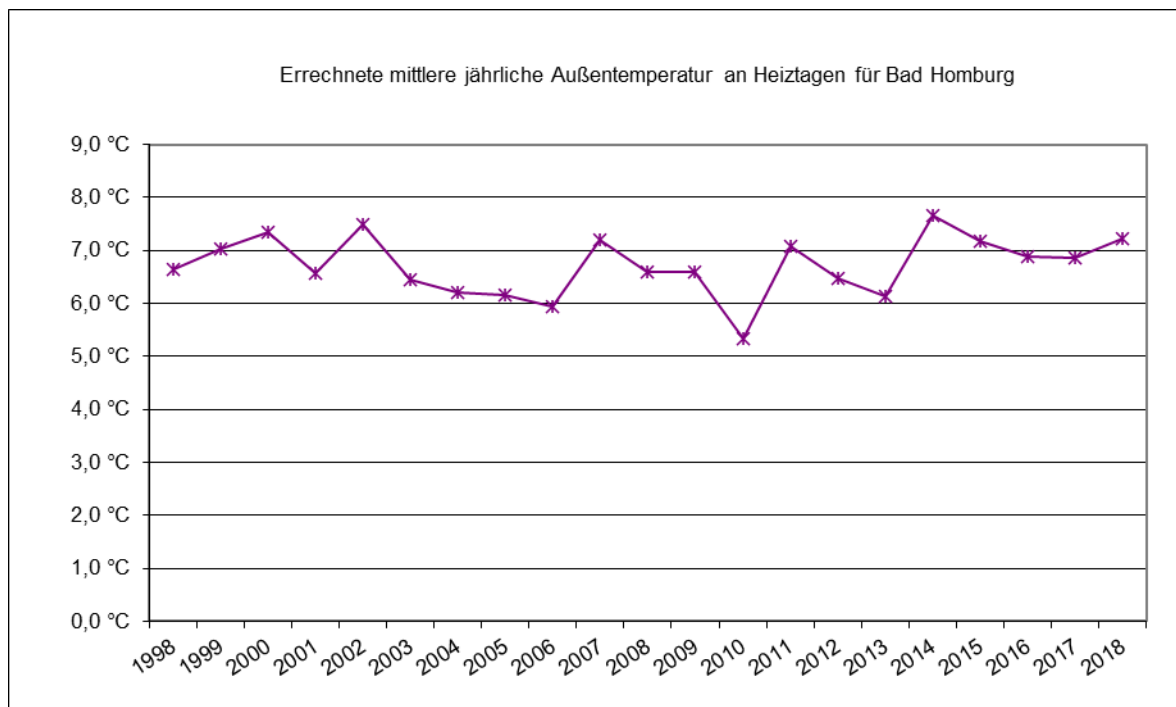


Abbildung 9-1: Mittlere Außentemperatur an Heiztagen im Jahresmittel (HLNUG, eigene Berechnungen).

Zum Abgleich der temperaturabhängigen realen Verbräuche wurden die Kennwerte mit den in den einzelnen Jahren gemessenen tatsächlichen Temperaturen und den daraus errechneten Gradtagszahlen ermittelt. Da die Wetterstation Königstein Anfang 2004 stillgelegt wurde, sind die Temperaturwerte für dieses und die darauffolgenden Jahre aus den Messwerten der Station Frankfurt und den monatsweise gemittelten Abweichungen aus den Vorgängerjahren errechnet worden.

Klimadaten	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Gradtagszahl [K*d]	4.087	3.820	3.800	4.032	3.723	3.844	4.207	4.079	3.938	3.822	3.961
Mittlere Außentemperatur an Heiztagen [°C]	6,6	7,0	7,3	6,6	7,5	6,5	6,2	6,1	5,9	7,2	6,6
Anzahl Heiztage [d/a]	330	305	323	315	308	272	324	311	298	322	305

Klimadaten	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Gradtagszahl [K*d]	4.013	4.532	3.825	4.205	4.397	3.958	4.086	4.291	4.287	3.920
Mittlere Außentemperatur an Heiztagen [°C]	6,6	5,3	7,1	6,5	6,1	7,7	7,2	6,9	6,9	7,2
Anzahl Heiztage [d/a]	310	321	316	314	318	318	309	297	301	271

Tabelle 9-4: Zugrundegelegte Klimadaten für Bad Homburg (HLNUG, eigene Berechnungen).

Quellen

Süwag	Süwag Energie AG, 65929 Frankfurt am Main
OVAG	Oberhessische Versorgungsbetriebe AG, 61169 Friedberg
Stadtwerke	Stadtwerke Bad Homburg v. d. Höhe, 61348 Bad Homburg
Mainova	Mainova AG, 60623 Frankfurt am Main
Prognos	Prognos AG, Energiereport IV
KFA	Kolmetz, S.; Rouvel, R.: Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Kleinverbraucher; Forschungszentrum Jülich Hi ; Abschlussbericht Teilprojekt 5
IKK	Integriertes Klimaschutz-Rahmenkonzept für Bad Homburg, 2000, Ingenieurbüro irea, Frankfurt am Main
HSL	Hessisches Statistisches Landesamt, 65175 Wiesbaden
HLNUG	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, 65203 Wiesbaden
IWU	Institut Wohnen und Umwelt GmbH Darmstadt, Deutsche Wohngebäudetypologie
GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme, Öko-Institut e.V., Freiburg
Schornsteinfeger	Schornsteinfegerinnung Rhein-Main, 60314 Frankfurt am Main und zuständige Bezirksschornsteinfegermeister für Bad Homburg
IEA	International Energy Agency, Paris
BFA	Bundesagentur für Arbeit – Statistik, Nürnberg
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin
UBA	Umweltbundesamt, Dessau

Prognos, Öko- Institut, Wuppertal-Institut (2020)	Klimaneutrales Deutschland. Zusammenfassung im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität
ECO	ECOREgion, Online-Plattform zur Bilanzierung von Treibhausgasemissionen, ECOSPEED AG, Zürich
Wuppertal-Institut 2020	CO ₂ -neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze. Bericht. Wuppertal
Agora Verkehrswende (2019)	Agora Verkehrswende (2019): Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial.
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen, Berlin
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Weltklimarat), Genf
Dena	Deutsche Energie-Agentur GmbH, Berlin
Fraunhofer IEE 2020	Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE: Studie zum Einsatz von H ₂ im zukünftigen Energiesystem unter besonderer Berücksichtigung der Gebäudewärmeversorgung
