

Treibhausgasemissionen in Bayern

Sebastian Glauber, M.Sc.

Die Bekämpfung des Klimawandels gilt als eine zentrale Aufgabe der aktuellen Zeit und wird sowohl auf globaler, nationaler als auch regionaler Ebene diskutiert. Es werden Ziele definiert und Maßnahmen ergriffen. Auf globaler Ebene gelten das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) sowie das darauf folgende Kyoto-Protokoll als maßgebliche internationale Umweltabkommen. Mit Hilfe dieser Verträge soll die „Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre auf einem Niveau stabilisiert werden, das eine gefährliche, durch den Menschen verursachte Störung des Klimasystems verhindert“ (EEA 2016). Auf europäischer Ebene ist das Emissionshandelssystem das wichtigste Instrument zur Bekämpfung des Klimawandels (vgl. EEA 2016).

In Deutschland sind im Energiekonzept der Bundesregierung Ziele zu den Themenfeldern der Energieeffizienz, des Ausbaus erneuerbarer Energien und der Reduktion der Treibhausgasemissionen festgeschrieben. Das Treibhausgasreduktionsziel sieht, ausgehend vom Jahr 1990, eine Minderung der Emissionen um mindestens 40 % bis zum Jahr 2020 vor. Anschließend wird, ebenfalls im Vergleich zu 1990, bis 2050 eine Reduktion um 80 % bis 95 % angestrebt (vgl. BMUB 2014).

Das „Klimaschutzprogramm Bayern 2050“, welches 2014 von der Bayerischen Staatsregierung verabschiedet wurde, beinhaltet ebenfalls Ziele zur Treibhausgasreduktion. Bis zum Jahr 2050 sollen die Treibhausgas-Emissionen pro Kopf und Jahr auf weniger als zwei Tonnen reduziert werden. Auf der kurz- und mittelfristigen Ebene wird eine Reduzierung der energiebedingten CO₂-Emissionen auf deutlich unter sechs Tonnen pro Kopf und Jahr bis 2020 sowie eine Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen auf unter fünf Tonnen bis 2030 angestrebt (vgl. STMUV 2014). Mit Hilfe dieser Zielvorgaben sollen die Auswirkungen des Klimawandels begrenzt werden.

Vorbemerkungen

Unter Klimawandel versteht man definitionsgemäß „die Veränderung der durchschnittlichen Witterungsverhältnisse und der Extremereignisse über einen längeren Zeitraum in einem bestimmten Gebiet oder global“ (UBA 2016a). Diese Klimaänderungen können beispielsweise durch Veränderungen der Erdoberfläche, von geostrophysikalischen Parametern (z. B. Solarkonstante, Erdbahnelemente etc.), des Energiehaushaltes im System „Erdoberfläche und Atmosphäre“ oder Verschiebungen im Stoffhaushalt der Atmosphäre verursacht werden. Darunter fallen

auch Änderungen der Treibhausgaskonzentration (vgl. UBA 2016a).

Im Kyoto-Protokoll werden neben den fluorierten Treibhausgasen (F-Gase) wie wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF₆) noch Stickstofftrifluorid (NF₃) sowie drei weitere Treibhausgase genannt, welche nachfolgend beschrieben werden. Zusätzlich zum wohl bekanntesten Treibhausgas, Kohlendioxid (CO₂), sind dies Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (umgangssprachlich

Lachgas, N_2O) (vgl. UBA 2016b). Der vorliegende Artikel konzentriert sich auf diese drei Treibhausgase.

Kohlendioxid entsteht größtenteils bei der Verbrennung in Anlagen und Motoren, d. h. beim Betrieb von Kraftwerken oder der Nutzung von Automobilen. Des Weiteren wird CO_2 bei der Zement- und Baustoffherstellung emittiert. Im Jahr 2014 war es mit einem Anteil von 88% das bedeutendste Treibhausgas in Deutschland (vgl. UBA 2016c).

Methan-Emissionen entstehen zum überwiegenden Teil bei der Tierhaltung. Darüber hinaus entstehen Emissionen in größerem Umfang bei der Gewinnung, Förderung und Verteilung von Brennstoffen (z. B. Steinkohlenbergbau, Gasverteilung) sowie auf Abfalldeponien. Die weiteren Quellen für CH_4 -Emissionen sind Verbrennungsprozesse im Straßenverkehr und in stationären Anlagen, die Abwasser- und Klärschlammbehandlung, die Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft sowie im geringfügigen Umfang in Industrieprozessen. Im Jahr 2014 hatte Methan einen Anteil von 6,2% an den deutschen Treibhausgasemissionen. Es lässt sich ein Emissionsrückgang von 53% im Vergleich zum Jahr 1990 konstatieren (vgl. UBA 2016c).

Distickstoffoxid wird vor allem durch landwirtschaftliche Bodennutzung emittiert, beispielsweise wegen des Einsatzes von stickstoffhaltigem Dünger. Daneben entstehen Emissionen bei Prozessen in der chemischen Industrie und in geringerem Umfang durch Verbrennungsprozesse, Abwasserbehandlung oder den direkten Einsatz als Narkosemittel. An den gesamten deutschen Treibhausgasemissionen im Jahr 2014 nahm N_2O einen Anteil von 4% ein (vgl. UBA 2016c).

Deutliche Veränderungen im Stoffhaushalt der Atmosphäre lassen sich seit Beginn der Industrialisierung nachweisen. Seit 1750 stieg die Konzentration von Methan in der Atmosphäre bis zum Jahr 2014 etwa um den Faktor 2,5. Die Distickstoffoxid-Konzentration stieg im selben Zeitraum um etwa 20%, die Kohlendioxid-Konzentration um 40%. Die Konzentrationszunahme verstärkt den (natürlichen) Treibhauseffekt. Dieser, durch den Menschen verursach-

te, Treibhauseffekt wird als anthropogen bezeichnet (vgl. UBA 2016a).

Klimaänderungen haben weitreichende Auswirkungen auf die Ökologie und Gesellschaft mit bedrohlichen Folgen wie der Häufung von Wetterextremen (z. B. Überschwemmungen, Dürre etc.), steigende Meeresspiegel oder dem Aussterben bestimmter Tierarten. Um die gefährlichsten Folgen zu verhindern, gilt eine Begrenzung der globalen Erwärmung auf maximal $2^\circ C$ gegenüber dem vorindustriellen Niveau als geboten. Nach aktuellem Forschungsstand müsste „dazu bis spätestens 2020 der Höhepunkt der Treibhausgasemissionen erreicht und eine Trendwende herbeigeführt sein“ (UBA 2016a). Des Weiteren erscheint eine globale Emissionsminderung von mindestens 50% bis zum Jahr 2050, basierend auf dem Ausgangsjahr 2000, dringend erforderlich (vgl. UBA 2016c).

Treibhausgasbilanzierung der amtlichen Statistik

Die CO_2 -Bilanzen der Bundesländer umfassen energiebedingte und, soweit von den Ländern berechnet, prozessbedingte Emissionen. Diese beiden Berechnungen basieren auf einer im Rahmen des Länderarbeitskreises Energiebilanzen (LAK Energiebilanzen) abgestimmten Methodik. Den Ausgangspunkt für die energiebedingten CO_2 -Emissionen bildet die Energiebilanz als „umfassende und vollständige Darstellung des Energieverbrauchs“ (LAK 2017). Die Bereiche mit einem emissionswirksamen Umwandlungseinsatz sowie einem Endverbrauch von Energieträgern werden hierfür herangezogen. Es handelt sich dabei um „Anlagen der Strom- und Wärmeerzeugung, beim Verbrauch in den Umwandlungsbereichen und in der Energiegewinnung, bei Fackel- und Leitungsverlusten sowie im Bereich des Endenergieverbrauchs, unterteilt in die Sektoren Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, Verarbeitendes Gewerbe, Verkehr sowie Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher“ (LAK 2017). Anschließend wird mit Hilfe der CO_2 -Emissionsfaktoren, differenziert nach Einsatzbereichen und Energieträgern, die Berechnung der energiebedingten CO_2 -Emissionen vorgenommen. Diese umfasst die Emissionen von Kohle, Gas,

Mineralöl und Mineralölprodukten. Nicht berücksichtigt werden erneuerbare Energieträger und die „Anderen Steinkohlenprodukte“, da letztere ausschließlich nicht-energetisch verwendet werden (vgl. LAK 2017).

Die prozessbedingten CO₂-Emissionen entstehen als Nebenprodukt bei bestimmten industriellen Herstellungsprozessen. Als Datenquellen für diese Berechnungen werden die „Vierteljährliche Produktionserhebung im Bereich Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden“ sowie die Emissionsfaktoren des Umweltbundesamts herangezogen. Die Emissionen werden für den Herstellungsprozess von Hüttenaluminium, Zementklinker, Kalk, Glas, Calciumkarbid, Ammoniak, Soda, Mauer- und Dachziegeln und Industrie-ruß im Rahmen des LAK Energiebilanzen berechnet. Ausgenommen für die bayerische Emissionsbilanz sind die Herstellung von Calciumkarbid, Ammoniak und Soda. Beim deutschlandweit einzigen Produktionswerk von Calciumkarbid unterliegen die Angaben bzw. Daten der statistischen Geheimhaltung, da sie Einzelwerte beinhalten, Ammoniak wird in Bayern nicht produziert und Soda „wird in Deutschland ausschließlich chemisch mit dem CO₂-neutralen Solvay-Verfahren hergestellt“ (Weber 2014). Eine detaillierte Darstellung zur Berechnung der prozessbedingten CO₂-Emissionen ist in „Bayern in Zahlen“, Ausgabe 05/2014 enthalten (vgl. Weber 2014).

Mit dem Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar (NIR) 1990 bis 2014 des Umweltbundesamts, welcher die Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2016 regelt, erfolgte auch eine Anpassung der Emissionsfaktoren. Ein wichtiges Instrument des Umweltbundesamts ist die zentrale, nationale Datenbank Zentrales System Emissionen (ZSE) zur Emissionsberechnung und -berichterstattung. Innerhalb dieser Datenbank sind alle für die Emissionsberechnung benötigten Informationen (Methoden, Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren) enthalten (vgl. UBA 2016a).

Die im vorliegenden Artikel dargestellten Werte zu den Treibhausgasemissionen beinhalten eine Revidierung der energie- und prozessbedingten CO₂-

Emissionen. Der Revision liegt eine Anpassung der Emissionsfaktoren an den zuvor schon genannten Nationalen Inventarbericht 2016 des Umweltbundesamts zu Grunde. Die Revidierung erfolgte im 1. Quartal 2017.

Im Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (AK UGRdL) werden im Bereich der Treibhausgase verschiedene Emissionswerte berechnet und ausgewiesen. Neben den energiebedingten und prozessbedingte CO₂-Emissionen werden die Methan- und Distickstoffoxid-Emissionen für verschiedene Sektoren nach einer einheitlichen Methodik ermittelt. Die Grundlage der Länderberechnungen ist die jährliche Berichterstattung des Umweltbundesamts, an welcher sich diese anlehnen und daher vergleichbar gemacht werden (vgl. AK UGRdL 2016a).

Die Rechenbereiche der Methan- und Distickstoffoxid-Emissionen umfassen die Landwirtschaft, Abfall- und Abwasserwirtschaft, Verkehr, (petro-)chemische Prozesse, Produktanwendungen, Feuerungsanlagen sowie die Energiegewinnung und -verteilung. Beispielsweise werden Daten aus der „Agrarstrukturerhebung“, der „Bodennutzungshaupterhebung“ oder der „Düngemittelstatistik“ für die Berechnung der CH₄- und N₂O-Emissionen der Landwirtschaft genutzt. Weitere Datenquellen sind die „Erhebung über die Abfallentsorgung“, die „Verkehrsleistungsstatistik im Luftverkehr“, die „Fahrzeugbestände des Kraftfahrt-Bundesamts (KBA)“ oder die „Energiebilanz“ für die Rechenbereiche Abfall- und Abwasserwirtschaft sowie Verkehr. In die Berechnungen zu den (petro-)chemischen Prozessen und Produktanwendungen gehen u. a. Daten aus der „Produktionserhebung im Bereich Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden“ und der „jährlichen Fortschreibung des Bevölkerungsstandes“ ein. Als Datenquellen für die Bereiche Feuerungsanlagen und Energiegewinnung und -verteilung werden beispielsweise die „Energiebilanzen“, die „Emissionsfaktoren aus der Datenbank des Umweltbundesamts“ sowie die „Gasstatistik Bundesrepublik Deutschland des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW)“ genutzt. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die verwendeten Datenquellen für die Länderrechnungen zu den CH₄- und

N₂O-Emissionen größtenteils direkt aus der amtlichen Statistik kommen und von einer hohen Berechnungsqualität ausgegangen werden kann. Die Vorgehensweise ist, wie bereits erwähnt, an die nationale Berichterstattung zum deutschen Treibhausgasinventar des Umweltbundesamts angelehnt, als Grundlage für die Länderrechnungen dient immer der aktuellste NIR. Zum Stand dieser Veröffentlichung ist dies der NIR 2016 (vgl. AK UGRdL 2016a). Eine detaillierte Darstellung der Rechenschritte zur Methan- und Distickstoffoxid-Emissionsberechnung des AK UGRdL ist in der Methodendokumentation einsehbar (vgl. AK UGRdL 2016a).

Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Bayern

In diesem Kapitel wird die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Bayern, basierend auf den Zahlen der amtlichen Statistik, dargestellt. Die Darstellung umfasst die energiebedingten CO₂-Emissionen, die prozessbedingten CO₂-Emissionen sowie die CH₄- und N₂O-Emissionen.

In einem ersten Schritt wird die Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen aufbereitet. Die energiebedingten CO₂-Emissionen sind eng an die Nutzung der einzelnen Energieträger gekoppelt, ein

Blick aus der amtlichen Statistik über die Veränderungen der bayerischen Energieversorgung ist in „Bayern in Zahlen“, Ausgabe 11/2016 dargestellt (vgl. Glauber 2016). Im Folgenden werden die effektiven CO₂-Emissionen, d.h. nicht temperaturbereinigt, für den Zeitraum von 1990 bis 2013 abgebildet. In Tabelle 1 ist eine Differenzierung nach den Energieträgern Steinkohle, Braunkohle, Mineralöle und Mineralölprodukte, Gase, Abfälle (nicht biogen) und Sonstige dargestellt.

Im Jahr 1990 lagen die effektiven CO₂-Emissionen aus dem Primärenergieverbrauch bei insgesamt 84 767 118 Tonnen CO₂. Der Höchstwert wurde mit 93 163 283 Tonnen im Jahr 1996 erreicht, während die geringsten Emissionswerte im Jahr 2007 mit 75 622 187 Tonnen zu verzeichnen sind. Für das Berichtsjahr 2013 werden 79 015 054 Tonnen CO₂-Emissionen bilanziert. Hinsichtlich der einzelnen Energieträger zeigt sich, dass die meisten Kohlendioxid-Emissionen durch den Verbrauch von Mineralölen und Mineralölprodukten entstehen. Im Jahr 1990 waren diese für 55 578 508 Tonnen CO₂-Emissionen verantwortlich und stiegen bis auf 61 552 597 Tonnen im Berichtsjahr 1993. Mit Schwankungen verbunden, pendelte sich der Emissionsausstoß bis ins Jahr 2001 auf diesem Niveau ein. Danach san-

Tab. 1 Effektive CO₂-Emissionen aus dem Primärenergieverbrauch in Bayern von 1990 bis 2013

Jahr	Steinkohle	Braunkohle	Mineralöle und Mineralölprodukte	Gase	Abfälle (nicht biogen)	Sonstige	Insgesamt
1990	8 476 300	4 699 272	55 578 508	15 592 603	420 435	–	84 767 118
1991	8 771 636	4 181 607	59 606 735	16 293 348	390 961	–	89 244 287
1992	8 391 529	4 255 179	58 498 421	15 685 764	420 974	–	87 251 867
1993	8 726 386	4 074 122	61 552 597	15 707 426	424 839	–	90 485 371
1994	8 166 873	3 978 846	59 784 718	15 758 429	441 950	–	88 130 815
1995	8 573 555	3 297 139	58 843 472	17 053 809	734 866	–	88 502 841
1996	9 653 161	3 696 357	60 884 616	18 177 132	752 018	–	93 163 283
1997	8 935 616	3 504 736	59 860 602	17 730 694	802 446	–	90 834 093
1998	8 761 846	3 988 042	61 402 210	17 935 421	–	–	92 087 519
1999	8 414 965	3 453 126	59 308 973	18 783 703	–	–	89 960 767
2000	8 223 996	3 387 572	57 538 026	18 770 275	–	–	87 919 869
2001	6 695 296	3 641 497	59 477 317	19 969 689	–	–	89 783 799
2002	5 717 852	2 387 981	56 165 633	19 536 011	–	–	83 807 477
2003	6 279 956	920 497	55 302 184	20 229 239	990 986	77 476	83 800 339
2004	5 990 400	396 908	54 859 608	20 814 897	1 280 562	75 996	83 418 374
2005	5 238 570	460 464	53 447 065	20 424 676	1 353 143	19 487	80 943 405
2006	4 598 634	485 750	54 499 632	21 374 545	1 425 527	25 938	82 410 025
2007	5 509 177	519 780	47 672 774	20 456 336	1 435 790	28 329	75 622 187
2008	5 580 245	505 298	51 515 770	21 527 734	1 498 987	13 686	80 641 720
2009	5 101 287	439 432	49 442 454	21 003 700	2 130 545	13 072	78 130 490
2010	4 763 400	670 314	49 248 182	23 747 108	2 084 452	126 453	80 639 908
2011	4 826 077	756 757	48 251 788	22 834 134	2 027 015	143 827	78 839 598
2012	5 212 025	736 978	47 588 926	23 156 787	2 032 620	57 296	78 784 633
2013	5 333 923	742 165	48 945 616	21 292 050	2 407 077	294 223	79 015 054

ken die CO₂-Emissionen durch Mineralöl und Mineralölprodukte und weisen für 2013 einen Wert von 48 945 616 Tonnen auf. Absolut die zweithöchsten Kohlendioxid-Emissionen weist der Primärenergieverbrauch von Gas in Bayern auf. Während Gas im Jahr 1990 noch 15 592 603 Tonnen CO₂ emittierte, stieg der Wert bis auf 23 156 787 Tonnen im Jahr 2012 an. Für das Berichtsjahr 2013 werden 21 292 050 Tonnen CO₂-Emissionen ausgewiesen, welche mit dem Primärenergieverbrauch von Gas verbunden sind. Während die Kohlendioxid-Emissionen aus Gas gestiegen sind, sind diese aus Stein- und Braunkohle deutlich zurückgegangen. Wurden im Jahr 1990 noch 8 476 300 Tonnen CO₂ aus Steinkohle und 4 699 272 Tonnen CO₂ aus Braunkohle emittiert, sanken die Werte bis zum Jahr 2013 auf 5 333 923 Tonnen CO₂ (Steinkohle) und 742 165 Tonnen CO₂ (Braunkohle). Der verstärkte Gasverbrauch und rückläufige Kohleverbrauch im Primärenergiebereich wird auch in einem früheren Beitrag der Monatszeitschrift „Bayern in Zahlen“, Ausgabe 11/2016 thematisiert (vgl. Glauber 2016).

Eine Betrachtung der energiebedingten CO₂-Emissionen je Einwohner, sowohl mit als auch ohne Einbezug des internationalen Luftverkehrs, liefert das in Tabelle 2 dargestellte Ergebnis. Als Grundlage für einwohnerbezogene Auswertungen in diesem Beitrag gilt die Bevölkerungsfortschreibung auf Basis des Zensus 2011.

Die energiebedingten CO₂-Emissionen betragen 6,0 Tonnen je Einwohner im Jahr 2013, ohne internationalen Luftverkehr, und 6,29 Tonnen je Einwohner unter Einbezug des internationalen Flugverkehrs (vgl. Tabelle 2).

In einem weiteren Schritt werden die CO₂-Emissionen ihrem Endenergieverbrauchsbereich, d. h. dem Verarbeitenden Gewerbe, dem Verkehr sowie den Haushalten und sonstigen Verbrauchern, zugeordnet. Innerhalb dieser Bereiche werden die CO₂-Emissionen der einzelnen Energieträger dargestellt.

Begonnen wird mit dem Verarbeitenden Gewerbe und den dort ausgestoßenen CO₂-Emissionen (vgl. Tabelle 3).

Tab. 2 Energiebedingte CO₂-Emissionen je Einwohner in Bayern von 1990 bis 2013

Jahr	Energiebedingte CO ₂ -Emissionen je Einwohner inkl. internationaler Luftverkehr	Energiebedingte CO ₂ -Emissionen je Einwohner ohne internationalen Luftverkehr
1990	7,47	7,37
1991	7,75	7,66
1992	7,48	7,39
1993	7,67	7,58
1994	7,43	7,33
1995	7,43	7,33
1996	7,78	7,65
1997	7,57	7,43
1998	7,67	7,51
1999	7,47	7,30
2000	7,26	7,08
2001	7,36	7,19
2002	6,83	6,66
2003	6,81	6,63
2004	6,77	6,52
2005	6,56	6,28
2006	6,67	6,36
2007	6,11	5,79
2008	6,51	6,19
2009	6,32	5,95
2010	6,52	6,20
2011	6,35	6,04
2012	6,31	6,01
2013	6,29	6,00

Im Jahr 1990 wurden 13 270 338 Tonnen CO₂ im Verarbeitenden Gewerbe emittiert, mehr als die Hälfte davon (6 825 146 Tonnen CO₂) durch Gasverbrauch. Der Verbrauch von Mineralölen und Mineralölprodukten war für 4 267 239 Tonnen CO₂ verantwortlich, die restlichen Emissionen entfielen auf die Steinkohle (1 646 760 Tonnen CO₂) und Braunkohle (531 192 Tonnen CO₂). Die CO₂-Emissionen aus dem Gasverbrauch sind mit 6 211 909 Tonnen auch im Berichtsjahr 2013 für einen Großteil der gesamten CO₂-Emissionen des Verarbeitenden Gewerbes insgesamt, 9 577 885 Tonnen CO₂, verantwortlich. Demgegenüber sind die Emissionen aus dem Verbrauch von Mineralölen und Mineralölprodukten mit 1 059 662 Tonnen CO₂ im Vergleich zum Ausgangsjahr deutlich zurückgegangen. Die Sonstigen, inklusive nicht biogener Abfälle, emittierten 936 696 Tonnen CO₂ im Jahr 2013. Annähernd halbiert haben sich im Zeitablauf die Emissionen aus dem Verbrauch von Steinkohle auf 835 010 Tonnen CO₂ für das Jahr 2013, während sich die Emissionen aus dem Braunkohleverbrauch mit 534 608 Tonnen CO₂ etwa auf dem Ausgangsniveau von 1990 befinden.

Tab. 3 Effektive CO₂-Emissionen im Endenergieverbrauchsbereich Verarbeitendes Gewerbe in Bayern von 1990 bis 2013

Jahr	Steinkohle	Braunkohle	Mineralöle und Mineralölprodukte	Gase	Sonstige (inkl. Abfälle nicht biogen)	Insgesamt
1990	1 646 760	531 192	4 267 239	6 825 146	–	13 270 338
1991	1 467 734	619 745	4 663 932	6 911 197	–	13 662 608
1992	1 625 747	613 452	4 377 996	6 991 924	–	13 609 118
1993	1 529 333	559 396	4 215 456	7 086 804	–	13 390 990
1994	1 534 779	563 617	4 035 450	7 039 988	–	13 173 833
1995	1 475 557	318 350	4 013 268	5 059 633	–	10 866 808
1996	1 381 431	304 651	3 954 725	5 190 761	–	10 831 569
1997	1 357 061	307 453	3 414 229	5 511 730	–	10 590 473
1998	1 277 080	287 186	3 584 637	5 471 781	–	10 620 684
1999	1 109 013	265 288	2 940 598	5 754 669	–	10 069 568
2000	1 424 872	243 702	2 745 662	6 001 848	–	10 416 083
2001	1 206 058	223 415	2 853 295	5 648 523	–	9 931 291
2002	1 162 353	198 625	2 362 774	5 538 057	–	9 261 809
2003	1 114 063	163 737	2 645 998	5 329 757	–	9 253 554
2004	967 716	235 090	2 315 860	5 892 737	331 215	9 742 618
2005	620 180	290 994	1 995 066	5 666 716	350 162	8 923 119
2006	885 151	285 112	2 616 813	5 453 328	374 610	9 615 014
2007	983 116	368 123	2 459 720	5 836 258	440 431	10 087 647
2008	1 124 777	317 676	2 020 137	5 467 737	482 669	9 412 996
2009	959 905	219 487	1 569 221	5 199 275	662 471	8 610 359
2010	945 024	458 605	1 979 961	5 895 871	546 337	9 825 798
2011	1 049 630	546 187	1 640 328	6 081 416	543 921	9 861 482
2012	981 439	510 612	1 447 700	6 712 848	383 950	10 036 549
2013	835 010	534 608	1 059 662	6 211 909	936 696	9 577 885

In Tabelle 4 werden die effektiven CO₂-Emissionen im Endenergieverbrauchsbereich Verkehr dargestellt.

In den ersten 15 Jahren des Berechnungszeitraums fielen die kompletten Kohlendioxid-Emissionen im

Tab. 4 Effektive CO₂-Emissionen im Endenergieverbrauchsbereich Verkehr in Bayern von 1990 bis 2013

Jahr	Mineralöle und Mineralölprodukte	Gase	Insgesamt
1990	27 674 582	–	27 674 582
1991	28 365 237	–	28 365 237
1992	28 791 972	–	28 791 972
1993	30 507 037	–	30 507 037
1994	29 417 146	–	29 417 146
1995	30 069 852	–	30 069 852
1996	30 736 793	–	30 736 793
1997	31 262 332	–	31 262 332
1998	32 079 405	–	32 079 405
1999	33 736 170	–	33 736 170
2000	33 125 580	–	33 125 580
2001	32 388 059	–	32 388 059
2002	32 015 294	–	32 015 294
2003	30 792 216	–	30 792 216
2004	31 904 792	–	31 904 792
2005	30 751 129	20 304	30 771 433
2006	30 517 413	32 366	30 549 779
2007	30 235 608	55 290	30 290 898
2008	30 304 083	61 171	30 365 254
2009	30 647 519	65 552	30 713 071
2010	30 176 899	67 667	30 244 566
2011	30 793 196	68 438	30 861 633
2012	30 256 212	71 226	30 327 437
2013	30 593 648	66 472	30 660 120

Verkehr durch den Verbrauch von Mineralölen und Mineralölprodukten an. Im Jahr 1990 lag der Ausstoß bei 27 674 582 Tonnen CO₂ und erreichte seinen Höhepunkt im Jahr 1999 mit 33 736 170 Tonnen CO₂. Anschließend zeigt sich tendenziell eine Reduzierung der Kohlendioxid-Emissionen durch den Mineralölverbrauch, im Berichtsjahr 2013 waren es noch 30 593 648 Tonnen CO₂. Ab dem Jahr 2005 wird auch der Gaseinsatz im Verkehrsbereich amtlich bilanziert, darunter ist z. B. der Einsatz von erdgasbetriebenen PKW zu verstehen. Dessen effektive CO₂-Emissionen belaufen sich im Jahr 2005 auf 20 304 Tonnen CO₂. Im Jahr 2013 wurden 66 472 Tonnen CO₂ durch den Gaseinsatz emittiert, das sind gerade einmal rund 0,2% im gesamten Verkehrsbereich.

Abschließend wird die Entwicklung der CO₂-Emissionen bei den Haushalten und übrigen Verbrauchern von 1990 bis 2013 dargestellt (vgl. Tabelle 5).

Im Jahr 1990 wurden 25 900 901 Tonnen CO₂ bei den Haushalten und übrigen Verbrauchern emittiert, der größte Anteil entfiel mit 19 630 892 Tonnen auf den Verbrauch von Mineralöl und Mineralölprodukten. Daneben sind die Gase mit 5 220 700 Tonnen CO₂-Emissionen besonders relevant, die Emissionen aus dem Verbrauch von Stein- und Braunkohle

Tab. 5 Effektive CO₂-Emissionen im Endenergieverbrauchsbereich Haushalte und übrige Verbraucher in Bayern von 1990 bis 2013

Jahr	Steinkohle	Braunkohle	Mineralöle und Mineralölprodukte	Gase	Insgesamt
	Tonnen CO ₂				
1990	568 481	480 828	19 630 892	5 220 700	25 900 901
1991	560 411	575 805	21 454 077	6 006 311	28 596 604
1992	443 762	683 235	20 472 997	6 068 907	27 668 902
1993	370 820	459 909	22 250 794	6 543 698	29 625 220
1994	335 630	331 806	21 647 075	6 335 993	28 650 504
1995	375 236	468 399	20 684 409	9 613 800	31 141 844
1996	359 177	637 249	22 113 978	10 808 618	33 919 022
1997	192 297	475 648	21 076 714	10 254 631	31 999 290
1998	112 488	288 400	21 716 887	10 186 930	32 304 705
1999	126 157	243 228	19 070 767	10 649 678	30 089 829
2000	138 990	273 333	18 120 321	10 047 695	28 580 339
2001	53 869	230 970	20 808 463	11 018 957	32 112 260
2002	28 720	199 842	18 345 594	11 029 744	29 603 900
2003	19 067	199 536	17 928 912	11 075 058	29 222 573
2004	13 625	158 206	16 489 412	10 722 433	27 383 676
2005	10 514	168 715	16 662 382	9 222 008	26 063 619
2006	12 823	200 074	17 356 620	10 290 552	27 860 069
2007	20 234	150 798	10 786 121	9 212 213	20 169 367
2008	18 784	187 041	15 071 295	10 590 020	25 867 140
2009	21 127	217 283	13 158 647	10 569 255	23 966 312
2010	22 962	210 710	13 382 656	10 820 935	24 437 262
2011	24 255	209 689	12 564 942	9 721 434	22 520 320
2012	24 651	225 495	12 568 721	10 074 778	22 893 646
2013	24 111	206 661	13 725 081	9 740 233	23 696 087

sind mit 568 481 CO₂ bzw. 480 828 Tonnen CO₂ vergleichsweise gering. Der Verbrauch von Kohlen (Stein- und Braunkohlen) im Bereich der Haushalte und übrigen Verbraucher sank im Zeitablauf weiter und war im Berichtsjahr 2013 noch für 230 773 Tonnen CO₂ verantwortlich. Demgegenüber haben der Gasverbrauch und die damit zusammenhängenden Emissionen zugenommen, für das Jahr 2013 werden 9 740 233 Tonnen CO₂ ausgewiesen. Die Kohlendioxid-Emissionen aus dem Verbrauch von Mineralölen und Mineralölprodukten bei den Haushalten und übrigen Verbrauchern gingen im betrachteten Zeitraum markant zurück und liegen im Berichtsjahr 2013 bei 13 725 081 Tonnen. Die Gesamtemissionen betragen 23 696 087 Tonnen CO₂ und liegen somit um rund 9% unterhalb des Ausgangsniveaus des betrachteten Zeitraums.

Im nächsten Abschnitt werden nun die prozessbedingten CO₂-Emissionen betrachtet, welche bei bestimmten industriellen Herstellungsprozessen entstehen. Diese Prozesse beziehen sich auf die Herstellung von Hüttenaluminium, Kalk, Glas, Ziegeln und Industrieruß. Aufgrund der statistischen Geheimhaltung können die prozessbedingten CO₂-Emissionen nur für Zementklinker, Kalk, Glas, Ziegel sowie als insgesamt-Wert ausgewiesen werden.

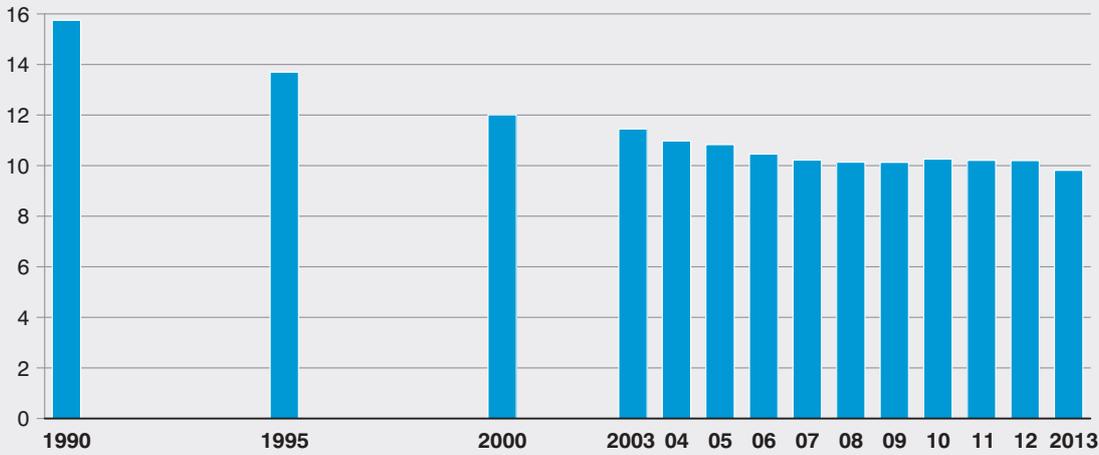
Tabelle 6 liefert einen Überblick über die prozessbedingten CO₂-Emissionen vom ersten Jahr der Berechnung, 2009, bis zum Berichtsjahr 2013.

Die prozessbedingten CO₂-Emissionen sind im Zeitraum 2009 bis 2013 von 2 497 311 Tonnen auf 2 899 246 Tonnen angestiegen. Der größte Anteil

Tab. 6 Prozessbedingte CO₂-Emissionen in Bayern von 2009 bis 2013

	Prozessbedingte CO ₂ -Emissionen in Tonnen				
	2009	2010	2011	2012	2013
Herstellung von					
Zementklinker	1 772 508	1 841 812	2 141 856	2 088 335	2 064 689
Kalk	441 658	453 644	487 557	493 041	513 692
Glas	155 267	157 834	156 622	143 817	160 651
Ziegeln	121 953	138 383	150 182	158 237	157 890
Prozessbedingte CO₂-Emissionen insgesamt	2 497 311	2 598 345	2 942 273	2 889 196	2 899 246

Abb. 1
Entwicklung der Methan-Emissionen in Bayern von 1990 bis 2013
 in Millionen CO₂-Äquivalenten



der prozessbedingten CO₂-Emissionen entfällt auf die Herstellung von Zementklinker. Diese war im Berichtsjahr 2013 mit 2 064 689 Tonnen CO₂ verbunden, im Jahr 2009 lag der Wert bei 1 772 508 Tonnen CO₂. Die Herstellung von Kalk verursachte im Berichtsjahr 2013 513 692 Tonnen CO₂-Emissionen, dies sind 72 034 Tonnen mehr als noch im Jahr 2009.

Bei der Glasproduktion wurden 2009 noch 155 267 Tonnen CO₂ emittiert, im Berichtsjahr 2013 lag der Wert bei 160 651 Tonnen CO₂. Der Herstellungsprozess von Ziegeln war im Jahr 2013 mit einem Ausstoß von 157 890 Tonnen CO₂ verbunden.

Die CH₄- und N₂O-Emissionen werden, wie zuvor ausgeführt, durch den AK UGRdL berechnet. In den jährlichen Gemeinschaftsveröffentlichungen sind die Ergebnisse für alle Bundesländer tabellarisch aufbereitet und veröffentlicht. Die aktuellste Veröffentlichung ist von Oktober 2016, diese Tabellen dienen als Basis der folgenden Ausführungen zu den Methan- und Distickstoffoxid-Emissionen in Bayern (vgl. AK UGRdL 2016b).

Begonnen wird mit der Entwicklung der Methan-Emissionen über den Zeitraum von 1990 bis 2013. Um eine Vergleichbarkeit mit den CO₂-Emissionen zu erreichen, werden die CH₄-Emissionen in CO₂-Äquivalenten dargestellt. Hierzu werden die Methan-Emissionen mit dem GWP-Wert (Global Warming

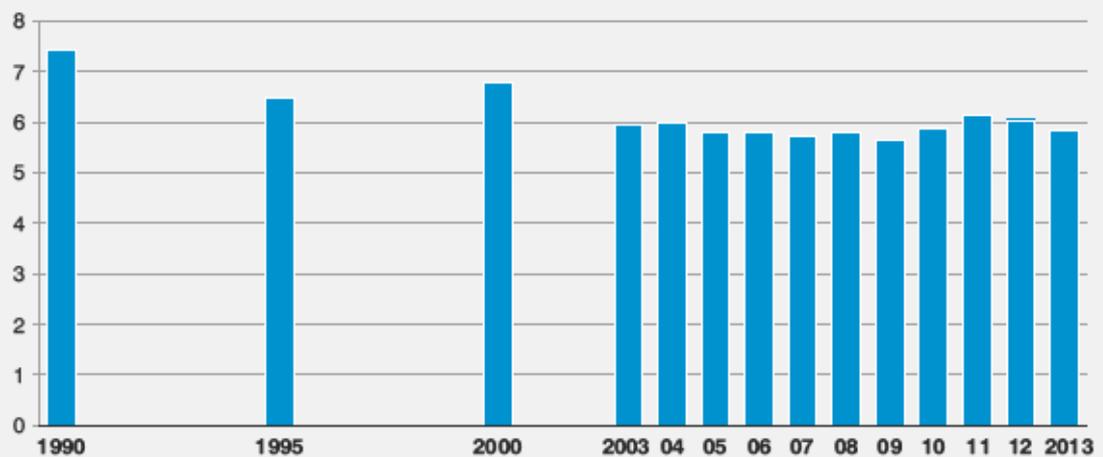
Potential) von 25 in CO₂-Äquivalente umgerechnet (vgl. Abbildung 1).

Im betrachteten Ausgangsjahr 1990 betrug die CH₄-Emissionen in Bayern 15 745 281 Tonnen CO₂-Äquivalente. Im Zeitablauf gingen diese konstant zurück und betragen im Berichtsjahr 2013 noch 9 813 618 Tonnen. Damit liegen sie mehr als ein Drittel unterhalb des Wertes von 1990.

Die Pro-Kopf-Betrachtungsweise zeigt auf, dass 1,39 Tonnen CO₂-Äquivalente Methan je Einwohner im Jahr 1990 ausgestoßen wurden. Dieser Wert sinkt bis auf 0,78 Tonnen CO₂-Äquivalente je Einwohner, und damit um rund 44%, im Jahr 2013 (vgl. Tabelle 7).

Jahr	Methan-Emissionen je Einwohner in Tonnen CO ₂ -Äquivalenten
1990	1,39
1995	1,15
2000	0,99
2003	0,93
2004	0,89
2005	0,88
2006	0,85
2007	0,83
2008	0,82
2009	0,82
2010	0,83
2011	0,82
2012	0,82
2013	0,78

Abb. 2
Entwicklung der Distickstoffoxid-Emissionen in Bayern von 1990 bis 2013
 in Millionen CO₂-Äquivalenten



Im Folgenden wird nun die Entwicklung der Distickstoffoxid-Emissionen in Bayern dargestellt. Eine Umrechnung der N₂O-Emissionen in CO₂-Äquivalente erfolgt mittels des GWP-Wertes von 298.

Im Jahr 1990 wurden 7 435 031 Tonnen CO₂-Äquivalente Distickstoffoxid in Bayern emittiert. Dies markiert im betrachteten Zeitraum auch den Höhepunkt der N₂O-Emissionen. Bis zum Jahr 2013 gingen die N₂O-Emissionen auf 5 830 883 Tonnen in CO₂-Äquivalenten zurück (vgl. Abbildung 2).

Während im Berichtsjahr 1990 noch 0,66 Tonnen CO₂-Äquivalente Distickstoffoxid je Einwohner in Bayern emittiert wurden, sank dieser Wert bis zum Jahr

2013 auf 0,46 Tonnen. Dabei war die Entwicklung in den Jahren 1990 bis 2003 deutlich rückläufig, wohingegen sie von 2003 bis 2013 relativ konstant blieb (vgl. Tabelle 8).

Abschließend wird nun ein Blick auf die Gesamtentwicklung geworfen. Zu diesem Zweck werden die gesamten Treibhausgasemissionen in Bayern, zusammengesetzt aus energiebedingten und prozessbedingten CO₂-Emissionen sowie CH₄- und N₂O-Emissionen, für den Zeitraum 1990 bis 2013 abgebildet. Die Werte sind in CO₂-Äquivalenten angegeben (vgl. Tabelle 9).

Im Jahr 1990 wurden insgesamt 107 947 429 Tonnen CO₂-Äquivalente in Bayern emittiert, diese setzen sich aus den energiebedingten CO₂-Emissionen sowie den Methan- und Distickstoffoxid-Emissionen zusammen. Die energiebedingten CO₂-Emissionen, inklusive Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr, sind im Betrachtungszeitraum durchschnittlich für etwa 82% der Gesamtemissionen verantwortlich. Auf die prozessbedingten CO₂-Emissionen entfallen seit Berechnungsbeginn ca. 3%, auf Distickstoffoxid ca. 6% der gesamten Treibhausgasemissionen. Der Anteil der Methanemissionen ist im Zeitablauf von 15% auf etwa 10% zurückgegangen. Im Berichtsjahr 2013 belaufen sich die Treibhausgasemissionen in Bayern auf 97 558 801 Tonnen CO₂-Äquivalente.

Tab. 8 Distickstoffoxid-Emissionen je Einwohner in Bayern von 1990 bis 2013

Jahr	Distickstoffoxid-Emissionen je Einwohner in Tonnen CO ₂ -Äquivalenten
1990	0,66
1995	0,54
2000	0,56
2003	0,48
2004	0,48
2005	0,47
2006	0,47
2007	0,46
2008	0,47
2009	0,46
2010	0,47
2011	0,49
2012	0,48
2013	0,46

Tab. 9 Treibhausgasemissionen insgesamt in Tonnen CO₂- bzw. CO₂-Äquivalenten in Bayern von 1990 bis 2013

Jahr	Energiebedingte CO ₂ -Emissionen (inkl. internationaler Luftverkehr)	Prozessbedingte CO ₂ -Emissionen	Methan	Distickstoffoxid	Insgesamt
1990	84 767 118	–	15 745 281	7 435 031	107 947 429
1995	88 502 841	–	13 696 098	6 461 845	108 660 784
2000	87 919 869	–	12 008 627	6 776 926	106 705 423
2003	83 800 339	–	11 449 551	5 931 030	101 180 919
2004	83 418 374	–	10 975 812	5 969 515	100 363 700
2005	80 943 405	–	10 830 545	5 777 525	97 551 475
2006	82 410 025	–	10 457 485	5 809 095	98 676 606
2007	75 622 187	–	10 220 006	5 722 442	91 564 635
2008	80 641 720	–	10 136 206	5 793 976	96 571 902
2009	78 130 490	2 497 311	10 129 107	5 635 429	96 392 337
2010	80 639 908	2 598 345	10 257 864	5 870 064	99 366 181
2011	78 839 598	2 942 273	10 208 841	6 134 274	98 124 986
2012	78 784 633	2 889 196	10 198 186	6 041 671	97 913 686
2013	79 015 054	2 899 246	9 813 618	5 830 883	97 558 801

Mit Hilfe der Einwohnerzahlen aus dem Zensus 2011 lassen sich die Tonnen CO₂-Äquivalente je Einwohner, inklusive Emissionen des internationalen Luftverkehrs, berechnen (vgl. Tabelle 10).

Während im Jahr 1990 noch (durchschnittlich) 9,52 Tonnen CO₂-Äquivalente je Einwohner emittiert wurden, lag der Wert 10 Jahre später bei 8,81 Tonnen. Im Berichtsjahr 2013 wurden durchschnittlich 7,77 Tonnen CO₂-Äquivalente je Einwohner in Bayern emittiert, die Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr sind miteingerechnet.

Des Weiteren lassen sich die CO₂-Emissionen je Einwohner, ohne Einbezug des internationalen Luftverkehrs, berechnen. Diese Darstellungsweise wird im Rahmen der Gemeinschaftsveröffentlichungen des AK UGRdL verfolgt und nachfolgend für Bayern aufbereitet.

Ohne die Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr lässt sich für Bayern im Jahr 2013 ein Wert von 7,47 Tonnen CO₂-Äquivalenten je Einwohner ausweisen. Damit liegt der Pro-Kopf-Ausstoß annähernd 2 Tonnen oder über 20% unter dem Ausgangswert des Berichtsjahres 1990 (vgl. Tabelle 11).

Ausblick

Zukünftig werden auch verstärkt Klimaanpassungsmaßnahmen notwendig sein, um die negativen Auswirkungen des Klimawandels zu minimieren. Eine Aktualisierung der bayerischen Klimaanpassungsstrategie wurde kürzlich vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt- und Verbraucherschutz veröffentlicht (vgl. STMUV 2016).

Neben Anpassungsmaßnahmen kommt der Reduzierung der Treibhausgasemissionen weiterhin eine zentrale Rolle im Klimaschutz zu. Die amtliche Statis-

Tab. 10 Treibhausgasemissionen je Einwohner (inklusive internationaler Luftverkehr) in Bayern von 1990 bis 2013

	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Tonnen CO ₂ -Äquivalente je Einwohner (inkl. internationaler Luftverkehr)	9,52	9,12	8,81	8,22	8,14	7,91	7,99	7,40	7,80	7,79	8,03	7,90	7,84	7,77

Tab. 11 Treibhausgasemissionen je Einwohner (ohne internationalen Luftverkehr) in Bayern von 1990 bis 2013

	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Tonnen CO ₂ -Äquivalente je Einwohner (ohne internationalen Luftverkehr)	9,41	9,02	8,63	8,05	7,89	7,63	7,68	7,08	7,47	7,43	7,72	7,59	7,54	7,47

tik kann Daten zu den Treibhausgasemissionen sowohl auf Landes- als auch Bundesebene liefern. Mit Hilfe dieser Angaben können Umwelt- und Klimaschutzpolitiken unterfüttert werden und zu einer Verbesserung der Entscheidungsgrundlage für anstehende Politikmaßnahmen bzw. deren Evaluierung beitragen. Auf Länderebene stellt sowohl der LAK Energiebilanzen als auch der AK UGRdL ein umfangreiches Datenangebot zur Verfügung, welches auch im vorliegenden Beitrag verarbeitet wurde. Für weitergehende Informationen seien die Internetseiten www.lak-energiebilanzen.de/ und www.ugrdl.de/ empfohlen.

Quellenverzeichnis

- AK UGRdL, Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (2016a), Methodendokumentation – Methan- und Distickstoffoxid-Emissionen, www.ugrdl.de/pdf/m_methan_emissionen.pdf, aufgerufen am 22.02.2017.
- AK UGRdL, Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (2016b), Gemeinschaftsveröffentlichung 2016, www.ugrdl.de/veroeffentlichungen.htm, aufgerufen am 28.02.2017.
- BMUB, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2014), www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationaleklimapolitik/klimapolitik-der-bundesregierung/, aufgerufen am 12.01.2017.
- EEA, Europäische Umweltagentur (2016), Politische Strategien zur Bekämpfung des Klimawandels, www.eea.europa.eu/de/themes/climate/policy-context, aufgerufen am 11.01.2017.
- Glauber, Sebastian (2016), Empirie der bayerischen Energiebilanzen: Ein Blick aus der amtlichen Statistik auf die Veränderungen der bayerischen Energieversorgung von 1998 bis 2013, in: Bayern in Zahlen 11/2016.
- LAK, Länderarbeitskreis Energiebilanzen (2017), Methodik der CO₂-Bilanzen, www.lak-energiebilanzen.de/methodik-der-co2-bilanzen/, aufgerufen am 23.02.2017.
- STMUV, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2014), Klimaschutz 2050 – Grundsätze und Ziele, www.stmuv.bayern.de/themen/klimaschutz/klimaschutzpolitik/, aufgerufen am 12.01.2017.
- STMUV, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2016), Bayerische Klima-Anpassungsstrategie.
- UBA, Umweltbundesamt (2016a), Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 bis 2014.
- UBA, Umweltbundesamt (2016b), Die Treibhausgase, www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase, aufgerufen am 12.01.2017.
- UBA, Umweltbundesamt (2016c), www.umweltbundesamt.de/themen/klimaenergie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/trendsder-treibhausgas-emissionen-in-deutschland, Trend der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland, aufgerufen am 10.01.2017.
- Weber, Eva (2014), Prozessbedingte CO₂-Emissionen in Bayern, in: Bayern in Zahlen 05/2014.