Anlage zu SV 2022_284

LRAKN.DE

LANDKREIS KONSTANZ



MONITOR ENERGIEWENDE

2022

LANDKREIS KONSTANZ

Hochschule Konstanz
Technik, Wirtschaft und Gestaltung

Impressum

Auftraggeber

Landratsamt Konstanz

Amt für Klimaschutz und Kreisentwicklung

Bendiktinerplatz 1
78467 Konstanz

Telefon: +49 7531 800-0

E-Mail: info@lrakn.de

Website: www.lrakn.de

Verfasser

HTWG Konstanz

Fakultät Architektur und Gestaltung
Fachgebiet Energieeffizientes Bauen

Prof. Dr.-Ing. Thomas Stark

Alfred-Wachtel-Straße 8
78462 Konstanz

E-Mail: energie.ag@htwg-konstanz.de
Web: www.energie.ag.htwg-konstanz.de

Autoren

Sven Simon M.A.

unter Mitarbeit von
Prof. Dr.-Ing. Thomas Stark

Stand

21. September 2022

Inhaltsverzeichnis

Impressum **2**

Inhaltsverzeichnis **3**

Abbildungsverzeichnis **8**

Tabellenverzeichnis **13**

Zusammenfassung **14**

1 Ausgangslage **16**

1.1 Einführung 16

1.2 Klimaschutzziele 17

1.2.1 Klimaschutzziel der Bundesregierung 17

1.2.2 Klimaschutzziel Baden-Württemberg 17

1.2.3 1,5-Grad-Ziel und globales CO_2-Budget 17

1.3 Methodik und Datenbasis 18

2 Untersuchungsgebiet **19**

2.1 Geographie und Flächennutzung 19

2.2 Demografische Entwicklung 22

2.3 Sozialstruktur 24

2.3.1 Erwerbstätige 24

2.3.2 Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Arbeitsort 26

2.3.3 Wohngeldhaushalte und Hilfe zum Lebensunterhalt 27

2.4 Haushalte, Wohngebäude- und Siedlungsstruktur 28

2.4.1 Private Wohnhaushalte 28

2.4.2 Wohngebäude 30

2.4.3 Wohnfläche 30

2.4.4 Baufertigstellungen 31

2.4.4.1 Wohnfläche pro Neubauwohnung und zusätzlicher Energiebedarf 31

2.4.4.2 Effizienz und Flächenbedarf des Wohnbaus 2009 - 2019 32

2.4.4.3 Künftig mögliche Auswirkungen auf den Energiebedarf 32

2.4.4.4 Flächeneffizienz des Wohnbaus 33

2.4.5 Sanierungsquote 34

2.4.6 Siedlungsstruktur 36

2.5 Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie 37

2.5.1 Gewerbe, Handel, Dienstleistung 37

2.5.2 Produzierendes Gewerbe 37

2.5.2.1 Beschäftigung und Umsatz 37

2.5.2.2 Energieverbrauch der Industrie pro Erwerbstätige Person 39

2.6 Verkehrsstruktur 40

2.6.1 Verkehrsfläche 40

2.6.2 Kraftfahrzeugbestand 40

2.6.3 Motorisierung der Pkw ... 42
2.6.4 Berufspendler über die Kreisgrenze ... 43
2.6.5 Fahrleistungen im Straßenverkehr ... 45
2.6.6 ÖPNV ... 48
2.6.6.1 Beförderungsleistung ... 48
2.6.6.2 Anteil des VHB an der motorisierten Personenbeförderung ... 48
2.6.7 Radwegenetz ... 50
2.6.8 Schifffahrt ... 52
2.7 Struktur Versorgung und Entsorgung ... 53
2.7.1 Netze ... 53
2.7.2 Beheizungsstruktur Wohngebäude ... 54
2.7.3 Wärmepumpen ... 55
2.7.4 Ladeeinrichtungen ... 56
2.7.5 Konsum und Wertstoffe ... 58
2.7.5.1 Wertstoffaufkommen im Landkreis Konstanz ... 58
2.7.5.2 Kennwerte des Konsums von Textilien ... 59
2.7.5.3 Kennwerte des Papierkonsums ... 59
2.7.5.4 Bedeutung des Konsums ... 59
2.8 Natur- und Kulturlandschaft ... 60
2.8.1 Möglicher Flächenbedarf der Windenergie ... 60
2.8.2 Vermeidbarkeit von Monokulturen ... 60
2.8.3 Synergieeffekte der Energiepflanzennutzung für den Naturschutz ... 61
2.8.4 Synergieeffekte von Photovoltaikanlagen für den Naturschutz ... 61

3 Energie- und Treibhausgasbilanz ... 62

3.1 Endenergie- und Treibhausgasbilanz des Landkreises ... 62
3.1.1 Endenergiebilanz nach Energieträgern ... 62
3.1.2 Endenergiebilanz nach Verbrauchssektoren ... 63
3.1.3 Energieverbrauch nach Energiesektoren ... 65
3.1.3.1 Stromverbrauch ... 66
3.1.3.2 Wärmeverbrauch ... 66
3.1.3.3 Kraftstoffverbrauch ... 67
3.1.4 Treibhausgasbilanz nach Energieträgern ... 68
3.1.5 Treibhausgasbilanz nach Verbrauchssektoren ... 69
3.2 Indikatorenset „Kommunaler Klimaschutz“ ... 70
3.3 Entwicklung der Energie- und Treibhausgasbilanzen der Sektoren ... 71
3.3.1 Private Haushalte (Wohnen) ... 71
3.3.1.1 Endenergieverbrauch ... 71
3.3.1.2 Treibhausgasemissionen ... 72
3.3.2 Verkehr ... 73
3.3.2.1 Endenergieverbrauch ... 73
3.3.2.2 Treibhausgasemissionen ... 76
3.3.3 Industrie ... 78
3.3.3.1 Endenergieverbrauch ... 78
3.3.3.2 Treibhausgasemissionen ... 78

3.3.4 GHD 80
3.3.4.1 Endenergieverbrauch 80
3.3.4.2 Treibhausgasemissionen 80
3.3.5 Öffentliche 81
3.3.5.1 Endenergieverbrauch 81
3.3.5.2 Treibhausgasemissionen 82
3.3.5.3 Stromverbrauch und Stromerzeugung auf kreiseigenen Liegenschaften 2021 83
3.3.6 Landwirtschaft 84

4 Nutzung Erneuerbarer Energien 87

4.1 Bisherige Nutzung 87
4.1.1 Bisherige Nutzung nach Energiequelle 87
4.1.1.1 Solarenergie 90
4.1.1.2 Windenergie 96
4.1.1.3 Wasserkraft 97
4.1.1.4 Bioenergie 97
4.1.2 Bisherige Nutzung nach Energiesektoren 101

5 Erneuerbare Energiepotenziale 103

5.1 Geschätztes Gesamtpotenzial 104
5.2 Strom 105
5.2.1 Stromerzeugung 105
5.2.2 Stromspeicher 106
5.3 Wärme 107

6 Potenziale Energieeinsparung 108

6.1 Wohnen 108
6.1.1 Haushaltsstrom 108
6.1.2 Stromverbrauch für Wärmebereitstellung 109
6.1.3 Wärme 109
6.1.4 Wohnraum 110
6.1.4.1 Vermeidung unnötigen Wohnungsneubaus 110
6.2 Verkehr 113
6.2.1 Umstieg auf Bus, Bahn und Fahrrad 113
6.2.1.1 Potenziale zur Vermeidung und Verlagerung von Pkw-Verkehr 113
6.2.1.2 Bedeutung der Sicherheit 113
6.2.1.3 Mögliche Entlastung der Anwohner 114
6.2.1.4 Potenzial zur Reduktion des Flächenbedarfs 114
6.2.1.5 Mögliche Kosteneinsparungen 115
6.2.2 Potenziale zur Vermeidung von Pkw-Verkehr 117
6.3 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) 119
6.3.1 Strom 119
6.3.1.1 Gewerbe 119
6.3.1.2 Dienstleistungen 120

6.3.1.3 GHD Insgesamt ... 121
6.3.2 Wärme ... 121
6.4 Industrie ... 122
6.4.1 Strom ... 123
6.4.2 Raumwärme und Warmwasser ... 123
6.4.3 Prozesswärme ... 124
6.4.4 Übersicht Einsparpotenziale ... 124
6.5 Öffentlich ... 125
6.6 Landwirtschaft ... 125
6.6.1 Gewächshäuser ... 125
6.6.2 Elektroantriebe ... 125

7 Ernährung & Konsum ... 127

7.1 Ernährung ... 127
7.1.1 Mögliche Nahrungsautonomie und verbleibende Importabhängigkeit ... 127
7.1.2 Mögliche CO_2-Vermeidung durch ökologische Ernährung insgesamt ... 128
7.2 Geschätzte Verursacherbilanz einschließlich Konsum ... 130
7.2.1.1 Textil- und Papierkonsum als Beispiele ... 131

8 Szenarien ... 132

8.1 Definition des Szenarios Klimaneutralität ... 132
8.2 Verschiedene Wege zur Klimaneutralität ... 137
8.2.1 Szenario Trendfortsetzung ... 137
8.2.1.1 Wohnen ... 137
8.2.1.2 Verkehr ... 140
8.2.1.3 Industrie ... 141
8.2.1.4 Gewerbe, Handel und Dienstleistung ... 142
8.2.1.5 Flächenpotenziale erneuerbarer Energien ... 142
8.2.1.6 Nutzung der Solarpotenziale ... 143
8.2.1.7 Lokaler Energieverbrauch im Szenario Trendfortsetzung ... 144
8.2.1.8 Stromverbrauch und Stromerzeugung im Jahresverlauf ... 145
8.2.1.9 Mögliche Energieautonomie im Szenario Trendfortsetzung ... 146
8.2.1.10 Treibhausgasausstoß im Szenario Trendfortsetzung ... 146
8.2.2 Klimaschutzszenario 2045 ... 147
8.2.2.1 Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzszenario 2045 ... 147
8.2.2.2 Stromverbrauch und Stromerzeugung im Jahresverlauf ... 148
8.2.2.3 Mögliche Energieautonomie ... 148
8.2.2.4 Treibhausgasausstoß im Klimaschutzszenario 2045 ... 149
8.2.3 Klimaschutzszenario 2040 ... 150
8.2.3.1 Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzszenario 2040 ... 150
8.2.3.2 Stromverbrauch und Stromerzeugung im Jahresverlauf ... 150
8.2.3.3 Mögliche Energieautonomie ... 150
8.2.3.4 Treibhausgasausstoß im Klimaschutzszenario 2040 ... 150

8.2.4 Klimaschutzszenario 2035 ... 152
8.2.4.1 Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzszenario 2035 ... 152
8.2.4.2 Stromverbrauch und Stromerzeugung im Jahresverlauf ... 152
8.2.4.3 Mögliche Energieautonomie ... 152
8.2.4.4 Treibhausgasausstoß im Klimaschutzszenario 2035 ... 153
8.2.4.5 Umsetzung mit Zeitpuffer durch Verkehrsvermeidung ... 153
8.3 Vergleich der Szenarien ... 156
8.3.1 Bedarf an Wärmepumpen im Zieljahr ... 156
8.3.2 Zubaubedarf bei Wärmepumpen und sonstigen Heizsystemen ... 156
8.3.3 Strombedarf ... 157
8.3.4 Bedarf an saisonaler Stromspeicherung ... 158
8.3.5 Pkw-Bestand ... 158
8.3.6 Bedarf an Pkw-Neuzulassungen ... 159
8.3.7 Energiekosten ... 160
8.4 Schlussfolgerungen ... 162

9 Quellen- und Literaturverzeichnis ... 164

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hauptflächennutzungen in Hektar 19
Abbildung 2: Veränderungen der Flächennutzung 2010 – 2020 absolut 20
Abbildung 3: Veränderungen der Flächennutzung 2010 – 2020 relativ 20
Abbildung 4: Entwicklung der pro Einwohner verfügbaren Flächen 2010 – 2020 21
Abbildung 5: Verfügbare forst- und landwirtschaftliche Flächen pro Einwohner 21
Abbildung 6: Bevölkerungsentwicklung 2000 - 2020 22
Abbildung 7: Altersstruktur der Bevölkerung 22
Abbildung 8: Studierende in Konstanz 23
Abbildung 9: Erwerbstätige im Landkreis Konstanz (Gesamtentwicklung) 24
Abbildung 10: Erwerbstätige im Landkreis Konstanz nach Wirtschaftsbereichen 25
Abbildung 11: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte: Zuwächse 2009 - 2019 26
Abbildung 12: Wohngeldhaushalte 27
Abbildung 13: Private Wohnhaushalte nach Haushaltsgröße – Entwicklung 2013 bis 2017 28
Abbildung 14: Relative Veränderung der Wohnhaushalte 2013-2017 28
Abbildung 15: Absolute Veränderung der Wohnhaushalte 2013-2017 nach Haushaltsgröße 29
Abbildung 16: Bewohner neuer Haushalte nach Haushaltsgröße 2013-2017 29
Abbildung 17: Wohngebäude, Wohnungen und Belegungsdichte: Veränderungen 2004 – 2019 30
Abbildung 18: Wohnfläche pro Einwohner 30
Abbildung 19: Baufertigstellungen 2009 - 2019, Wohnfläche 31
Abbildung 20: Baufertigstellungen 2009 - 2019, Wohnfläche pro Wohnung 31
Abbildung 21: Anteile der Einfamilienhäuser an fertiggestellten Wohngebäuden und Wohnungen 33
Abbildung 22: Kennwerte von Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern im Vergleich 33
Abbildung 23: KfW-Förderung privater Kunden "Energieeffizient Sanieren" - Geförderte Wohneinheiten 34
Abbildung 24: Geschätzte Vollsanierungsäquivalente pro 100 Wohneinheiten 35
Abbildung 25: Beschäftigte im Produzierenden Gewerbe pro Betrieb 37
Abbildung 26: Beschäftigte im Produzierenden Gewerbe 37
Abbildung 27: Umsatz des produzierenden Gewerbes pro beschäftigte Person 38
Abbildung 28: Betriebe, Beschäftigte und Umsatz im verarbeitenden Gewerbe: Veränderung 2000 – 2020 38
Abbildung 29: Energieverbrauch der Industrie in Relation zur Erwerbstätigenzahl im produzierenden Sektor 39
Abbildung 30: Siedlungsfläche und Verkehrsfläche pro Einwohner 40
Abbildung 31: Kraftfahrzeugbestand pro 1.000 Einwohner 40
Abbildung 32: Relative Veränderung des Kraftfahrzeugbestandes pro 1.000 Einwohner 2010 - 2020 41
Abbildung 33: Jährliche Zuwachsraten des Kraftfahrzeugbestandes pro 1.000 Einwohner 41
Abbildung 34: Personenkraftwagen nach Kraftstoffarten im Jahr 2022 42
Abbildung 35: Anzahl der Pkw mit Elektromotor und Ziel der Bundesregierung für 2020 42

Abbildung 36: Berufspendler über die Kreisgrenze 43
Abbildung 37: Berufspendler in Relation zur Bevölkerungszahl 43
Abbildung 38: Berufspendler in Relation zur Erwerbstätigenzahl am Arbeitsort 44
Abbildung 39: Jahresfahrleistungen im Straßenverkehr in 1.000 km 45
Abbildung 40: Jahresfahrleistungen leichter und schwerer Nutzfahrzeuge 46
Abbildung 41: Absolute Zunahme des Verkehrs leichter Nutzfahrzeuge 46
Abbildung 42: Jahresfahrleistung pro Einwohner nach Fahrzeugkategorien 46
Abbildung 43: Absolute Veränderungen der JFL von 2010 bis 2019 nach Fahrzeug- und Straßenkategorien 47
Abbildung 44: Absolute Veränderungen der JFL von 2010 bis 2019 nach Fahrzeugkategorien 47
Abbildung 45: Beförderungsleistung des VHB 48
Abbildung 46: Geschätzte Gesamtbeförderungsleistung wichtiger Personenverkehrsmittel 49
Abbildung 47: Länge des mit dem Rad befahrbaren Netzes und der Radwege 50
Abbildung 48: Anteile der Führungsformengruppen am Radwegenetz 50
Abbildung 49: Endenergieverbrauch der BSB 52
Abbildung 50: Stromnetzbetreiber im Landkreis Konstanz 53
Abbildung 51: Geschätzte Beheizungsstruktur der Wohngebäude 54
Abbildung 52: Geschätzter Heizungsbestand in Wohngebäuden 54
Abbildung 53: Feldbestand von Wärmepumpen 55
Abbildung 54: Entwicklung der Ladeeinrichtungen im Landkreis Konstanz 2010 - 2022 56
Abbildung 55: Anzahl und Anteil der Gemeinden mit Ladeeinrichtungen 56
Abbildung 56: Ladepunkte pro 1.000 Einwohner nach Gemeinden 57
Abbildung 57: Wertstoffaufkommen im Kreis Konstanz nach Stoffarten (kg pro Einwohner) 59
Abbildung 58: Endenergieverbrauch im Jahr 2019 pro Einwohner nach Energieträgern 62
Abbildung 59: Endenergieverbrauch im Jahr 2019 pro Einwohner nach Verbrauchssektoren 63
Abbildung 60: Endenergieverbrauch: Anteile der Sektoren 63
Abbildung 61: Endenergieverbrauch im Jahr 2019 pro Einwohner nach Verbrauchssektoren und Energieträgern 64
Abbildung 62: Endenergieverbrauch nach Energiesektoren 65
Abbildung 63: Anteile der Energiesektoren am Endenergieverbrauch 65
Abbildung 64: Geschätzter Stromverbrauch nach Verbrauchssektoren 2014 - 2020 66
Abbildung 65: Geschätzter Endenergieverbrauch der Wärmebereitstellung nach Verbrauchssektoren ohne Strom 66
Abbildung 66: Endenergieverbrauch der Wärmebereitstellung nach Energieträgern 67
Abbildung 67: Verbrauch von Kraftstoffen im Landkreis Konstanz 67
Abbildung 68: Energiebedingte CO_2-Emissionen im Jahr 2019 pro Einwohner nach Energieträgern 68
Abbildung 69: Treibhausgasemissionen pro Einwohner nach Verbrauchs-sektoren 69
Abbildung 70: Indikatorenset „Kommunaler Klimaschutz“ 70

Abbildung 71: Endenergieverbrauch der Haushalte für Wohnen pro Person nach Energieträgern 71
Abbildung 72: Treibhausgasemissionen des Sektors Wohnen pro Person nach Energieträgern 72
Abbildung 73: Geschätzter Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Verkehrsmitteln 73
Abbildung 74: Geschätzter Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Energieträgern 73
Abbildung 75: Kraftstoffverbrauch der Pkw nach Energieträgern 74
Abbildung 76: Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch 74
Abbildung 77: Endenergieverbrauch der Nutzfahrzeuge 75
Abbildung 78: Endenergieverbrauch leichter Nutzfahrzeuge 75
Abbildung 79: Treibhausgasemissionen des Verkehrs nach Verkehrsmitteln 76
Abbildung 80: Veränderung der Emissionen im Straßenverkehr 2014 - 2019 76
Abbildung 81: Treibhausgasemissionen des Verkehrs nach Energieträgern 77
Abbildung 82: Endenergieverbrauch der Industrie 78
Abbildung 83: Treibhausgasemissionen der Industrie 79
Abbildung 84: Anteil des Strommixes am Rückgang der CO_2-Emissionen des industriellen Stromverbrauchs 79
Abbildung 85: Geschätzter Endenergieverbrauch des Sektors GHD 80
Abbildung 86: Treibhausgasemissionen des Sektors GHD nach Energieträgern 80
Abbildung 87: Geschätzter Energieverbrauch der öffentlichen Liegenschaften des Landkreises und seiner Gemeinden 81
Abbildung 88: Endenergieverbrauch der kreiseigenen Liegenschaften pro Einwohner 81
Abbildung 89: Treibhausgasemissionen der öffentlichen Liegenschaften von Gemeinden und Landkreis 82
Abbildung 90: Treibhausgasemissionen der kreiseigenen Liegenschaften 82
Abbildung 91: Stromverbrauch der Liegenschaften des Landkreises Konstanz 2021 83
Abbildung 92: Geschätzter Endenergieverbrauch der Landwirtschaft im Landkreis Konstanz 84
Abbildung 93: Treibhausgasemissionen des Sektors Landwirtschaft 84
Abbildung 94: Gewächshausfläche nach Energieverbrauch pro Quadratmeter 85
Abbildung 95: Geschätzter Energieverbrauch der Gewächshäuser im Kreis Konstanz 85
Abbildung 96: Gewächshausfläche nach technischem/energetischen Zustand 86
Abbildung 97: EEG-Stromerzeugung im Landkreis Konstanz 2011 – 2018 87
Abbildung 98: Anteile der Energiequellen an der EEG-Stromerzeugung 2018 88
Abbildung 99: EEG-Stromerzeugung im Landkreis Konstanz 2011 – 2018 pro Einwohner 88
Abbildung 100: Verbrauch erneuerbarer Energien nach Energieträgern 89
Abbildung 101: Geschätzte Nutzung lokaler erneuerbarer Energien 89
Abbildung 102: EEG-Stromerzeugung der Photovoltaikanlagen (Dach- und Freiflächen) 90
Abbildung 103: EEG-Stromerzeugung der Dachflächenphotovoltaik 90
Abbildung 104: Bekannte EEG-Stromerzeugung der Freiflächensolaranlagen 2017 und 2018 91

Abbildung 105: Freiflächenphotovoltaik - Zubau installierter Leistung 2006 - 2022 91
Abbildung 106: Freiflächenphotovoltaik - Entwicklung der installierten Leistung insgesamt 92
Abbildung 107: Geschätzte Stromerzeugung durch Freiflächenphotovoltaik 92
Abbildung 108: Installierte Leistung der Freiflächenphotovoltaik in den Gemeinden 93
Abbildung 109: Kollektorfläche Solarthermie pro Einwohner 95
Abbildung 110: Geschätzte Wärmeproduktion pro Einwohner 95
Abbildung 111: EEG-Stromerzeugung durch Windkraft 96
Abbildung 112: EEG-Stromerzeugung durch Wasserkraft 97
Abbildung 113: Bekannte Nutzung der Biogasanlagen 98
Abbildung 114: Nutzung der Abwärme von Biogasanlagen nach Verwendung 98
Abbildung 115: Energieholzverbrauch durch Haushalte und Kleinverbraucher 99
Abbildung 116: Geschätzter Verbrauch erneuerbarer Kraftstoffe 100
Abbildung 117: Verbrauch erneuerbarer Energien nach Energiesektoren 101
Abbildung 118: Anteile erneuerbarer Energien in den Energiesektoren 101
Abbildung 119: Geschätzte Autonomiegrade nach Energiesektor 102
Abbildung 120: Ausschöpfung der lokalen Potenziale in den Sektoren Strom und Wärme 102
Abbildung 121: Erneuerbare Energiepotenziale nach Energiequelle 104
Abbildung 122: Erneuerbare Energiepotenziale nach Energieträgern 105
Abbildung 123: Jahresverlauf der lokalen erneuerbaren Stromproduktion im Klimaschutzszenario 105
Abbildung 124: Erneuerbare Wärmeerzeugung aus lokalen BHKW und Solarthermie im Klimaschutzszenario 107
Abbildung 125: Potenzial an biogenen Festbrennstoffen im Klimaschutzszenario 107
Abbildung 126: Entwicklung von Energieverbrauch und Gesamtumsatz des produzierenden Gewerbes seit 2008 122
Abbildung 127: Entwicklung wichtiger wirtschaftlicher Kennzahlen des produzierenden Gewerbes 122
Abbildung 128: Entwicklung von Energiekennzahlen des produzierenden Gewerbes seit 2008 123
Abbildung 129: Treibstoff- und Strombedarf der Landwirtschaft pro Hektar im Status Quo und im Klimaschutzszenario 126
Abbildung 130: Flächenbezogene Nahrungsautonomie im Status Quo 127
Abbildung 131: Flächenbezogene Nahrungsautonomie nach Umstieg auf eine ökologische Wirtschaftsweise 128
Abbildung 132: Flächenbezogene Nahrungsautonomie im Szenario "Klimaneutralität" 128
Abbildung 133: Entwicklung des CO_2-Fußabdrucks der Ernährung im Status Quo und im Klimaschutzszenario 129
Abbildung 134: Geschätzte Verursacherbilanz: CO_2-Emissionen im Status Quo und im Klimaschutzszenario 2035 131
Abbildung 135: Neubauwohnfläche pro Neubauwohnung 138
Abbildung 136: Endenergieverbrauch Wohnen im Szenario Trendfortsetzung 140
Abbildung 137: Entwicklungstrend des industriellen Energieverbrauchs 141

Abbildung 138: Anteile von Einfamilienhäusern am Neubau von Wohngebäuden und Wohnungen 142
Abbildung 139: Geschätzte Entwicklung des Heizungsbestandes in Wohngebäuden bei Fortsetzung des Sanierungstrends 144
Abbildung 140: Lokaler Energieverbrauch im Szenario Trendfortsetzung 145
Abbildung 141: Geschätzter Stromverbrauch und lokale Stromerzeugung im Jahresverlauf 2040 im Szenario Trendfortsetzung 145
Abbildung 142: Energiebedingte Treibhausgasemission im Szenario Trendfortsetzung 146
Abbildung 143: Lokaler Energieverbrauch im Szenario Klimaschutzszenario 2045 147
Abbildung 144: Stromverbrauch und Stromerzeugung im Verlauf des Zieljahres der Klimaschutzszenarien ohne lokale Wasserstoffproduktion 148
Abbildung 145: Energieautonomiegrade im Vergleich: Szenario Trendfortsetzung und Klimaschutzszenario 149
Abbildung 146: Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen im Landkreis Konstanz im Klimaschutzszenario 2045 149
Abbildung 147: Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzszenario 2040 150
Abbildung 148: Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen im Landkreis Konstanz pro Person im Klimaschutzszenario 2040 151
Abbildung 149: Lokaler Energieverbrauch im Szenario Klimaschutzszenario 2035 152
Abbildung 150: Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen im Landkreis Konstanz im Klimaschutzszenario 2035 153
Abbildung 151: Energieverbrauch des Straßenverkehrs im Klimaschutzszenario 2035 bei Schaffung eines Zeitpuffers für den Sektor Wohnen 154
Abbildung 152: Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzszenario 2035 mit Zeitpuffer für den Sektor Wohnen 155
Abbildung 153: Energiebedingte THG-Emissionen im Klimaschutzszenario 2035 bei Umsetzung mit Zeitpuffer für den Sektor Wohnen nach Verbrauchssektoren 155
Abbildung 154: Entwicklung des Heizungsbestandes in Wohngebäuden im Klimaschutzszenario 2035 156
Abbildung 155: Geschätzter jährlicher Umstellungsbedarf von Wohngebäude-heizungen bis 2035 157
Abbildung 156: Pkw-Neuzulassungen im Klimaschutzszenario 2035 bei unverändertem Modal Split 159
Abbildung 157: Pkw-Neuzulassungen im Klimaschutzszenario 2035 bei unverändertem Modal Split 159
Abbildung 158: Geschätzte Energiekosten im Jahr 2019 und im Klimaschutz-szenario bei konstanten Kilowattstundenpreisen 160

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Siedlungsstruktur im Landkreis Konstanz im Jahr 2019 36
Tabelle 2: Jahresfahrleistungen im Straßenverkehr 2000 bis 2019 45
Tabelle 3: Radwegenetz des Landkreises Konstanz im Vergleich 51
Tabelle 4: Radweglänge pro Einwohner im Vergleich 51
Tabelle 5: Annahmen zur Schätzung erneuerbarer Energiepotenziale im Klimaschutzszenario 103
Tabelle 6: Endenergieverbrauch der privaten Haushalte für Wohnen in Deutschland 2010 und 2019 108
Tabelle 7: Stromsparpotentiale in Privaten Haushalten 2010 109
Tabelle 8: Kosten pro Stellplatz 115
Tabelle 9: Von Tür zu Tür - Verkehrsmittelvergleich Kurzstrecke 116
Tabelle 10: Übersicht Einsparpotenziale in der Industrie (Auswahl) 124
Tabelle 11: Bezugsjahre und Bevölkerung des Status Quo und des Szenarios Klimaneutralität 132
Tabelle 12: Sektor Wohnen - Wärmegewinnung und Beheizungsstruktur 132
Tabelle 13: Sektor Wohnen - Gebäudebeheizungsstruktur (Anteile der Energieträger) 132
Tabelle 14: Mobilität der Bevölkerung 133
Tabelle 15: Modal Split im Individualverkehr 133
Tabelle 16: Motorisierung der Pkw (bezogen auf die Anteile an der erbrachten Fahrleistung) 133
Tabelle 17: Motorisierung leichter Nutzfahrzeuge (bezogen auf die erbrachte Fahrleistung) 133
Tabelle 18: Motorisierung schwerer Nutzfahrzeuge (bezogen auf die erbrachte Fahrleistung) 133
Tabelle 19: Motorisierung der Busse (bezogen auf die erbrachte Fahrleistung) 134
Tabelle 20: Kapazität und Besetzungsgrad im Busverkehr 134
Tabelle 21: Energieeinsparung und Elektrifizierung Industrie / Produzierendes Gewerbe 134
Tabelle 22: Energieeinsparung und Elektrifizierung im Sektor Gewerbe, Handel & Dienstleistung 134
Tabelle 23: Sektor Landwirtschaft 135
Tabelle 24: Import erneuerbarer Energien 135
Tabelle 25: Nutzung lokaler erneuerbarer Energien 136
Tabelle 26: Angenommene Nutzung der PV-Potenziale im Szenario Trendfortsetzung 143
Tabelle 27: Geschätzter jährlicher Umstellungsbedarf von Wohngebäudeheizungen bis 2035 nach Szenarien 157

Zusammenfassung

Die Bundesregierung hat beschlossen, die Energieversorgung in Deutschland bis zum Jahr 2045 klimaneutral zu organisieren. In Baden-Württemberg hat die Landesregierung sich das Ziel gesetzt, Klimaneutralität bereits im Jahr 2040 zu erreichen. Bis dahin steht, ausgehend vom 1,5-Grad Ziel des Pariser Klimaabkommens aus dem Jahr 2015, ab Beginn des Jahres 2023 noch ein Budget von ca. 35 Tonnen CO_2-Äquivalent pro Person zur Verfügung. Um dieses einzuhalten muss in kurzer Zeit ein großer Teil der heutigen CO_2-Emissionen vermieden werden, wobei der Reduktionspfad nicht unbedingt linear verlaufen sollte, sondern einfach vermeidbare Emissionen möglichst früh vermieden werden sollten, um einen Zeitpuffer für jene Maßnahmen zu erhalten, die mehr Zeit erfordern. Bei einem linearen Reduktionspfad wird das Budget des 1,5-Grad-Zieles auch dann nicht eingehalten, wenn die Energieversorgung bereits fünf Jahre vor dem Ziel der Landessregierung im Jahr 2035 klimaneutral wird: Wird die Klimaneutralität im Jahr 2035 erreicht, summieren sich allein die lokalen energiebedingten Treibhausgasemissionen im Kreis Konstanz zwischen 2022 und 2035 noch auf 50 t CO_2-Äquivalent pro Person und Jahr. Damit lägen die Treibhausgasemissionen im Landkreis Konstanz auch ohne die nicht energiebedingten Emissionen noch um 43 Prozent über dem verbleibenden Budget des 1,5-Grad-Ziels. Den größten Anteil an den energiebedingten Treibhausgasemissionen hat aktuell der Sektor Wohnen mit ca. 29 Prozent, gefolgt vom Sektor Industrie mit ca. 26 Prozent, dem Sektor Verkehr mit ca. 24 Prozent und dem Sektor GHD mit ca. 18 Prozent. Relativ gering sind die Anteile von Landwirtschaft (3 Prozent) und öffentlichen Liegenschaften (1 Prozent). Die energiebedingten Treibhausgasemissionen tragen in Deutschland laut Umweltbundesamt (2021) ca. 85 Prozent zu den Gesamtemissionen bei.

Einsparungen, die in kurzer Zeit erreicht werden können, sind vor allem im Sektor Verkehr sowie im Bereich von Ernährung und Landwirtschaft möglich. Ganz entscheidend für den Erfolg der Energiewende im Verkehrssektor ist eine Verlagerung großer Teile der Personenbeförderung vom Pkw auf den Umweltverbund. Nur so wird eine einigermaßen ökologische Elektrifizierung des Pkw-Verkehrs möglich. Wichtige Voraussetzungen dafür sind eine hohe Verkehrssicherheit für Radfahrer und eine möglichst gute Verknüpfung der verschiedenen Verkehrsmittel des Umweltverbundes.

Auch ein erheblicher Teil der bestehenden Gebäude könnte und sollte mit Blick auf das 1,5-Grad-Ziel frühzeitig auf Wärmepumpen umgestellt werden. So sollten die Sanierung der Gebäudehüllen und die Umstellung der Heizsysteme zwar Hand in Hand gehen, müssen aber nicht zwangsläufig bei jedem Haus auf einmal erfolgen. Dies bietet die Möglichkeit zur Entwicklung von Strategien für den Umgang mit dem Hemmschuh Arbeits- und Fachkräftemangel.

Wichtig ist die sektorenübergreifende Betrachtung der Potenziale. Dem Verkehrssektor kommt dabei eine entscheidende Bedeutung zu, da seine Potenziale, in kurzer Zeit kostengünstig große Energieeinsparungen und eine entsprechende Reduktion des Treibhausgasausstoßes zu erreichen, sicherlich unter allen Verbrauchsektoren die größten

sind. Dadurch könnte ein Zeitpuffer gewonnen werden, der angesichts des Fachkräftemangels im Bausektor und speziell im Bereich Sanitär und Heizung sicher benötigt werden wird. Denn je geringer der CO_2-Ausstoß in den nächsten Jahren (2023 – 2028) ausfällt, desto größer ist die Chance, die zeitaufwendige Gebäudesanierung noch in einem Zeitrahmen bewerkstelligen zu können, der es erlaubt, beim zukünftigen Treibhausgasausstoß zumindest annähernd in der Größenordnung des noch verbleibenden CO_2-Budgets zu bleiben.

Um den wahrscheinlich nötigen Zeitpuffer für weniger flexible Sektoren zu gewinnen, sollten neben den Potenzialen des Umweltverbundes möglichst frühzeitig auch Potenziale zur Verkehrsvermeidung genutzt werden. Solche Möglichkeiten bieten vor allem eine dezentrale Versorgung (Stadt der kurzen Wege), attraktive Freizeitangebote in Wohnortnähe, die räumliche Annäherung von Wohnen und Arbeit (beispielsweise durch Wohnungstausch) und die Vermeidung unnötiger Geschäftsreisen (z. B. mittels Videokonferenzen).

Beim Blick auf die vorliegende Energie- und CO_2-Bilanz, die nur die im Landkreis entstehenden Emissionen beinhaltet, ist zu bedenken, dass neben diesen lokalen Emissionen des Kreises Konstanz ein guter Teil der durch den Landkreis verursachten Emissionen außerhalb der eigenen Landkreisgrenzen erfolgt, wie etwa Emissionen des Straßenbaus oder der Nahrungsmittelproduktion. In dieser Hinsicht bieten vor allem eine Ernährungsumstellung auf Basis gesundheitlicher Kriterien, die Minimierung der Lebensmittelverschwendung und eine beschleunigte Umstellung auf eine Kreislaufwirtschaft mit langlebigen und reparaturgeeigneten Produkten erhebliche Reduktionspotenziale, die sich zwar nur teilweise direkt auf die lokalen Emissionen auswirken, aber von entscheidender Bedeutung für die verursacherbezogene Gesamtbilanz sind. Dies wird etwa mit Blick auf die Konsumgüter Pkw (Neuzulassungen) und Textilien deutlich, die in ihrer Herstellung hohe Emissionen verursachen und durchaus längere Nutzungsdauern ermöglichen als heute üblich sind.

Um die Ziele des Pariser Klimaabkommens zu erfüllen sind zudem Maßnahmen zur CO_2-Kompensation erforderlich. Dazu bieten sich auch auf lokaler Ebene einige Potenziale, die jedoch nicht überschätzt werden sollten, da sie nur wirklich effektiv sein können, wenn das pro Person verbleibende CO_2-Budget nur in möglichst geringem Umfang überschritten wird. Hier ist zu beachten, dass etwa die Pflanzung von Bäumen nicht auf die kommunale CO_2-Bilanz angerechnet werden kann, aber trotzdem sinnvoll ist – insbesondere mit Blick auf die nötige Anpassung an die nicht vermeidbaren Folgen des Klimawandels. In dieser Hinsicht bietet die Begrünung der Siedlungsfläche wichtige Potenziale, Schatten zu spenden, Regenwasser zu speichern und Siedlungsflächen im Sommer abzukühlen.

1 Ausgangslage

1.1 Einführung

Anlässlich der Erstellung des integrierten Klimaschutzkonzeptes für den Landkreis Konstanz wurde eine Energie- und Treibhausgasbilanz für das Jahr 2019 erstellt, die auch als Basis für das Trendszenario und die entwickelten Klimaschutzszenarien dient. Den Klimaschutzszenarien 2045, 2040 und 2035 liegen die gleichen Zielwerte zu Grunde, die Szenarien zielen lediglich auf ein anderes Zieljahr für das Erreichen einer möglichst klimaneutralen Energieversorgung.

Das „Basis-Klimaschutzszenario“, das den drei Varianten zugrunde liegt, soll die Effekte der technisch umsetzbar erscheinenden Maßnahmen in den Sektoren Wohnen, Verkehr, Industrie, GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistung), Öffentliche Liegenschaften und Landwirtschaft sowie in der Energiegewinnung abbilden. Die drei Varianten dienen dem Zweck, die Gesamtemissionen abschätzbar zumachen, die sich bei der Ausschöpfung dieser Potenziale ergeben, je nachdem in welchem Zieljahr die volle Potenzialausschöpfung und somit auch die Klimaneutralität des Energiesektors erreicht wird.

Ausgangspunkt der Szenarien für die Jahre 2035, 2040 und 2045 ist der heutige Status Quo des ermittelten Endenergieverbrauchs mit den aus ihm resultierenden energiebedingten Treibhausgasemissionen. Die Berechnungen des Status Quo auf Basis der aktuellsten verfügbaren Daten beziehen sich daher auf das Jahr 2019[1].

Grundlage der darauf aufbauenden Szenarienberechnung sind die technischen Potenziale der erneuerbaren Energien sowie die erwarteten Potenziale zur Energieeinsparung, die sich beispielsweise aus der energetischen Sanierung des Gebäudebestandes, aus dem Umstieg auf Wärmepumpen oder aus der Nutzung von Elektrofahrzeugen ergeben.

Die Ergebnisse der Szenarien zeigen auf, wie sich das Ausschöpfen dieser Potenziale auf den möglichen Energieautonomiegrad des Landkreises Konstanz und seine CO_2-Bilanz auswirken könnte. Dabei wurden Verluste durch die Produktion von Wasserstoff für einen Teil der Nutzfahrzeuge oder Netzverluste von Wärmenetzen soweit möglich berücksichtigt. Bei einer umfangreicheren Wasserstoffnutzung (z. B. zur saisonalen Speicherung lokal erzeugten Stroms) oder einem Einsatz von synthetischen Treibstoffen können die Energieautonomiegrade deutlich geringer ausfallen als in den hier berechneten Szenarien.

Die vorliegenden Szenarien sind daher als Diskussionsgrundlage zu verstehen, anhand derer mögliche Zielpfade für den Landkreis Konstanz entwickelt werden können. Dies gilt auch für die Variante des Klimaschutzszenarios 2035, das eine Umsetzung dieses Szenarios mit Zeitpuffer für den Sektor Wohnen darstellt.

[1] In einzelnen Bereichen liegen aktuellere Daten vor, die jedoch für eine Gesamtbilanz eines der folgenden Jahre noch nicht ausreichen.

1.2 Klimaschutzziele

1.2.1 Klimaschutzziel der Bundesregierung

Mit der Änderung des Klimaschutzgesetzes hat die Bundesregierung die Klimaschutzvorgaben verschärft und das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2045 verankert. Bereits bis 2030 sollen die Emissionen um 65 Prozent gegenüber 1990 sinken. Die Gesetzesnovelle ist am 31. August 2021 in Kraft getreten.

1.2.2 Klimaschutzziel Baden-Württemberg

Infolge der Novelle das Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg aus dem Jahr 2021 soll das Klimaschutzgesetz „nicht mehr nur eine ambitionierte Reduzierung von Treibhausgasemissionen bezwecken, sondern auf die Herbeiführung von Klimaneutralität im Land gerichtet sein. Als langfristiges Ziel löst die Netto-Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2040 aus diesem Grund das seither bestehende Reduktionsziel von 90 Prozent bis zum Jahr 2050 ab“ (Landtag von Baden-Württemberg, 2021a). Das neue Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2040 wurde mit Gesetzesbeschluss des Landtags „Gesetz zur Änderung des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg“ vom 6. Oktober 2021 festgelegt. (Landtag von Baden-Württemberg, 2021)

1.2.3 1,5-Grad-Ziel und globales CO_2-Budget

Mit dem Pariser Klimaabkommen der Klimakonferenz der Vereinten Nationen aus dem Jahr 2015 wurde beschlossen, die globale Erwärmung deutlich unter 2,0°C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu halten und möglichst auf 1,5°C zu begrenzen. Die Abschätzung des verbleibenden CO_2-Budget wurde durch den IPCC zuletzt im Sommer 2021 mit der Vorlage des ersten Teils seines sechsten Sachstandsberichts aktualisiert. Demnach können, gerechnet ab Anfang 2020, noch 400 Gigatonnen (Gt) CO_2 in die Atmosphäre abgegeben werden, um das 1,5-Grad-Ziel nicht zu verfehlen. Bei 7,8 Mrd. Menschen entspricht dies einem Budget von 51,3 t pro Person. Bis zum August 2022 sind aktuellen Schätzungen zufolge bereits 107 Gigatonnen des Gesamtbudgets verbraucht, sodass ab September 2022 noch 293 Gigatonnen emittiert werden können (Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) gGmbH, 2022). Bei einer Weltbevölkerung von 7,9 Mrd. Menschen entspricht dies einem verbleibenden Budget von 37 Tonnen CO_2-Äquivalent pro Person. Ende des Jahres 2022 dürfte demnach geschätzt noch ein Budget von 35 t CO_2-Äq./Person vorhanden sein.

Für Deutschland wurden Emissionen in Höhe von knapp 810 Millionen Tonnen CO_2 im Jahr 2019 berichtet (Umweltbundesamt, 2021b). Bei 83,2 Millionen Einwohnern entspricht dies ca. 9,84 t CO_2-Äquivalent pro Person. Im Jahr 2011 betrugen die Emissionen 917 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalent (Statista, 2021e). Bei einer Bevölkerung von ca. 80,3 Millionen Einwohnern (nach Zensus 2011) entsprach dies ca. 11,42 CO_2-Äquivalent pro Person. Das bedeutet einen Rückgang um 1,58 t pro Person und Jahr, was über 8 Jahre eine jährliche Reduktion um 0,2 t pro Person ergibt.

1.3 Methodik und Datenbasis

Die Erstellung der Energie- und Treibhausgasbilanz 2019 für den Landkreis Konstanz folgt der Bilanzierungssystematik Kommunal (BISKO), die durch die Standardisierung der Bilanzierungsmethodik einen deutschlandweiten Vergleich von Treibhausgasbilanzen mit anderen Kommunen ermöglicht.

Bilanziert werden alle im betrachteten Territorium anfallenden Verbräuche auf Ebene der Endenergie und entsprechend den verschiedenen Verbrauchssektoren zugeordnet. Die Erstellung der Bilanz nach Energieträgern erfolgt mit dem Ziel der Aufteilung in folgende Sektoren:

- Private Haushalte
- Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
- Industrie (Verarbeitendes Gewerbe)
- Kommunale Einrichtungen (Öffentlich)
- Verkehr

Abweichend von dieser üblichen Aufteilung wurde der Sektor Landwirtschaft vom Sektor GHD getrennt und als eigener Sektor aufgenommen. Seine Energiebilanz basiert auf dem Energiebedarf der Gewächshäuser und dem Energiebedarf der Freilandbewirtschaftung, der geschätzt wurde anhand der tatsächlichen Bodennutzung und der für die jeweiligen Kulturen typischen Energieaufwände pro Hektar nach Durchschnittswerten des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL). Die differenzierte Betrachtung des Sektors Verkehrs basiert auf den tatsächlich erbrachten Fahrleistungen im Landkreis und den bundesweiten Durchschnittswerten für den spezifischen Kraftstoffverbrauch der verschiedenen Fahrzeugkategorien. Die Berechnung der nachhaltigen Autonomiepotenziale in den Sektoren Energie und Nahrung setzt die Potenzialschätzung des *Monitors Energiewende Landkreis Konstanz 2020* fort. Die Entwicklung und Berechnung der verschiedenen Szenarien erfolgte auf Basis der im folgenden dargestellten Einspar- und Effizienzpotenziale der verschiedenen Sektoren.

Als Datenbasis wurden wie gehabt Daten des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg, der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg, der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, des Landratsamtes Konstanz, des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, des Kraftfahrtbundesamtes, des Umweltbundesamtes, des VHB und der Bodensee-Schifffahrtsbetriebe genutzt. Zudem flossen die Informationen der Netzbetreiber zur Abgabe von Strom und Gas im Landkreis ein. Unsicherheiten bestehen vor allem mit Blick auf den Verbrauch von Heizöl in den Sektoren Wohnen und GHD sowie auf die Anteile der Sektoren Wohnen und GHD am bekannten Erdgasverbrauch.

2 Untersuchungsgebiet

2.1 Geographie und Flächennutzung

Der Landkreis Konstanz liegt an der südlichen Grenze Deutschlands am Dreiländereck Deutschland-Schweiz-Österreich und umfasst 25 Städte und Gemeinden. Laut Klimaatlas Baden-Württemberg liegt die mittlere Globalstrahlung bei rund 1.130 kWh/m².

Die größten Anteile an der Flächennutzung und zugleich die energetisch größte Bedeutung haben landwirtschaftliche Flächen mit rund 49 Prozent, Waldflächen mit rund 33 Prozent sowie Siedlungs- und Verkehrsflächen mit rund 16 Prozent (Stand 2020).

Die aktuellsten differenzierten Daten zur landwirtschaftlichen Nutzfläche liegen für das Jahr 2020 vor. Die Siedlungs- und Verkehrsfläche ist zwischen den Jahren 2010 und 2020 um 3,6 Prozent gewachsen. Dabei fiel das Wachstum der Siedlungsfläche mit 4,7 Prozent deutlich größer aus als das Wachstum der Verkehrsfläche mit 1,7 Prozent. Während die Waldfläche nahezu konstant geblieben ist und das Dauergrünland (LNF) um 1,9 Prozent zugenommen hat, gingen die Zuwächse der Siedlungs- und Verkehrsflächen hauptsächlich zulasten der Ackerflächen. Hier ist ein Verlust von 4,9 Prozent zu verzeichnen, was rund 94 Hektar pro Jahr entspricht. Insgesamt ist die landwirtschaftliche Fläche um 52 Hektar geschrumpft.

Mit dem erfolgten Verlust an landwirtschaftlicher Nutzfläche hat der Landkreis ein Ernährungspotenzial eingebüßt, das ausgereicht hat, um – je nach Ernährungs- und Wirtschaftsweise - zwischen 3.000 und mehr als 7.700 Menschen vollwertig zu ernähren.[2]

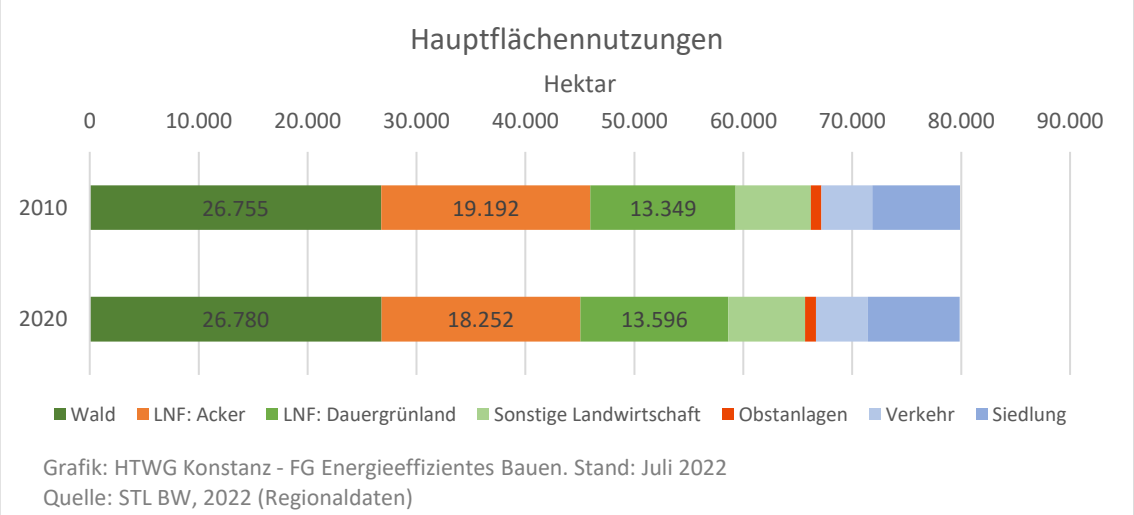


Abbildung 1: Hauptflächennutzungen in Hektar

[2] 2017 wurden durch Deutschland rund 0,23 Hektar pro Einwohner für Ernährungszwecke belegt (Statistisches Bundesamt, 2019). Theoretisch könnte der Flächenbedarf der heutigen Ernährung auf ca. 0,14 Hektar reduziert werden (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2010 S. 22). Bei einer Umstellung der Ernährung auf eine gesunde Mischkost mit einem reduzierten Anteil tierischer Produkte ist bei konventioneller Wirtschaftsweise auch eine Reduktion auf weniger als 0,09 Hektar möglich.

In Abbildung 2 sind die absoluten Veränderungen der Hauptflächennutzungsarten dargestellt, die für die Ernährungspotenziale sowie für die Solar- und Bioenergiepotenziale besonders wichtig sind.

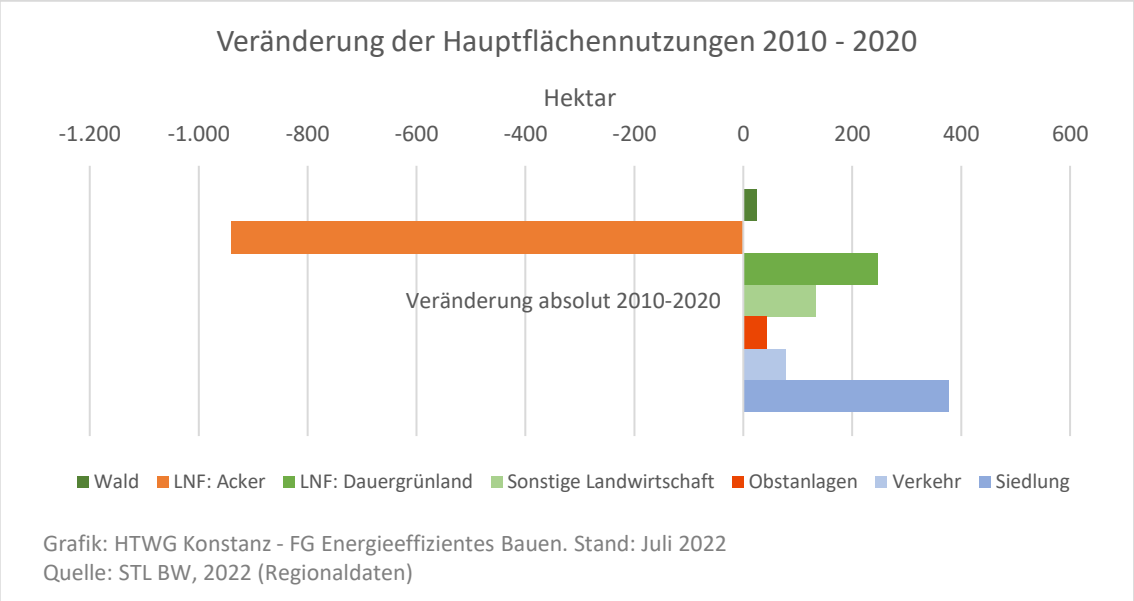


Abbildung 2: Veränderungen der Flächennutzung 2010 – 2020 absolut (Hektar)

In Abbildung 3 sind die Veränderungen in Prozent dargestellt. Sehr negativ wirkt sich der große Rückgang der Ackerflächen um 4,9 Prozent auf die Ernährungs- und Energiepotenziale aus. Der jährliche Verlust an Ackerflächen hat sich im Zeitraum 2017 bis 2020 gegenüber dem Zeitraum 2010 – 2017 um 70 Prozent erhöht.

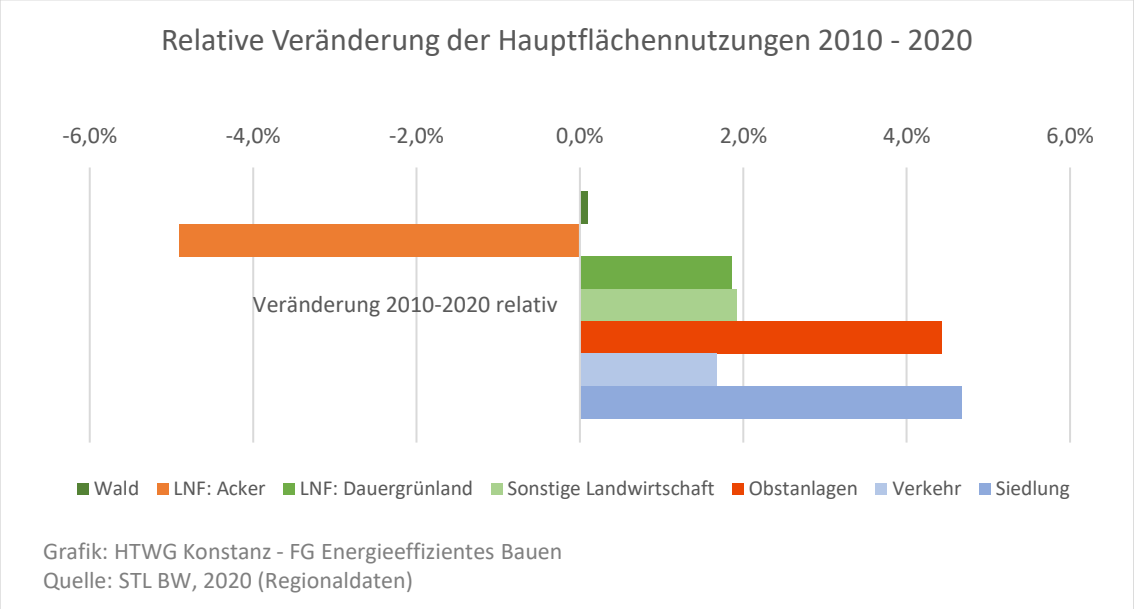


Abbildung 3: Veränderungen der Flächennutzung 2010 – 2020 relativ (Prozent)

In Abbildung 4 sind die relativen Veränderungen der wichtigsten Flächennutzungsarten seit dem Jahr 2010 pro Einwohner dargestellt. Obwohl die Siedlungsfläche absolut deutlich gewachsen ist, ist die Siedlungsfläche aufgrund des starken Bevölkerungswachstums pro Person deutlich geschrumpft. Dies gilt in gleichem Maße für landwirtschaftlich

genutztes Dauergrünland. Mit Blick auf die Nahrungs- und Energiepotenziale ist der Verlust an Ackerland, der sich seit 2010 mittlerweile auf 11 Prozent summiert, besonders relevant.

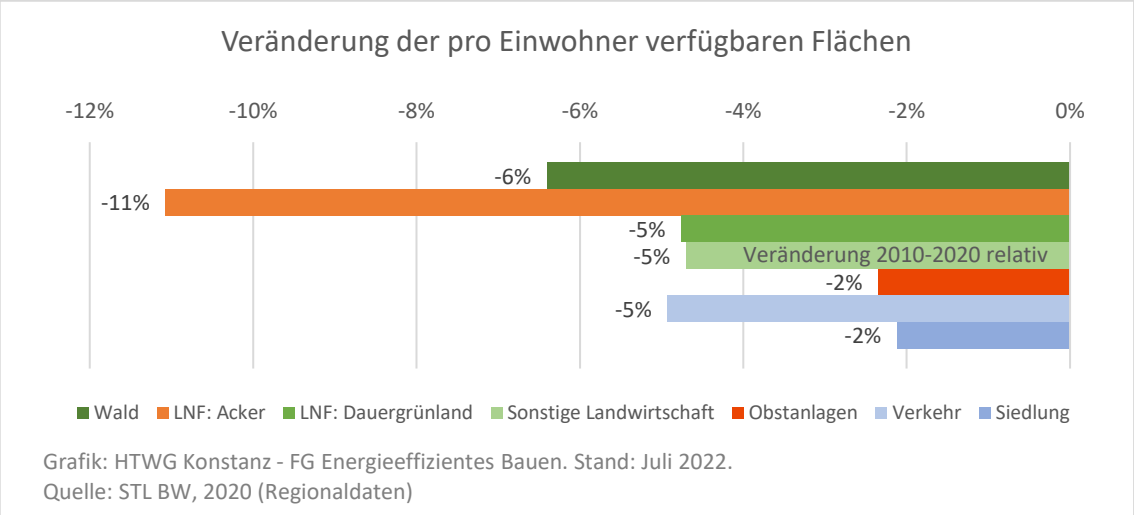


Abbildung 4: Entwicklung der pro Einwohner verfügbaren Flächen 2010 – 2020 (Prozent)

Bei heutigen Ernährungsgewohnheiten benötigt eine Person in Deutschland im Durchschnitt rund 0,23 Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche (Statistisches Bundesamt, 2019, S. 8). Etwa ein Viertel der von Deutschland für Ernährung beanspruchten Fläche befand sich bereits im Jahr 2010 im Ausland, im Jahr 2017 waren es immer noch 26 Prozent. Im Landkreis Konstanz standen im Jahr 2020 infolge von Flächenverbrauch und Bevölkerungswachstum mit 0,115 Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche (LNF) pro Einwohner nur noch rund 92 Prozent der Fläche zur Verfügung, die noch 2010 genutzt werden konnte. Wenn sich die Entwicklung weiterhin so vollzieht wie zwischen den Jahren 2010 und 2020, wird eine hundertprozentige Selbstversorgung schon in einigen Jahren nicht einmal mehr theoretisch möglich sein. Bei ökologischer Wirtschaftsweise hat man diese Grenze inzwischen schon erreicht. Wenn das Bevölkerungswachstum anhält oder die landwirtschaftliche Nutzfläche weiter schrumpft, ist eine ökologische Ernährung der Bevölkerung ohne Importe nur noch dann möglich, wenn der Konsum von tierischen Produkten drastisch reduziert wird.

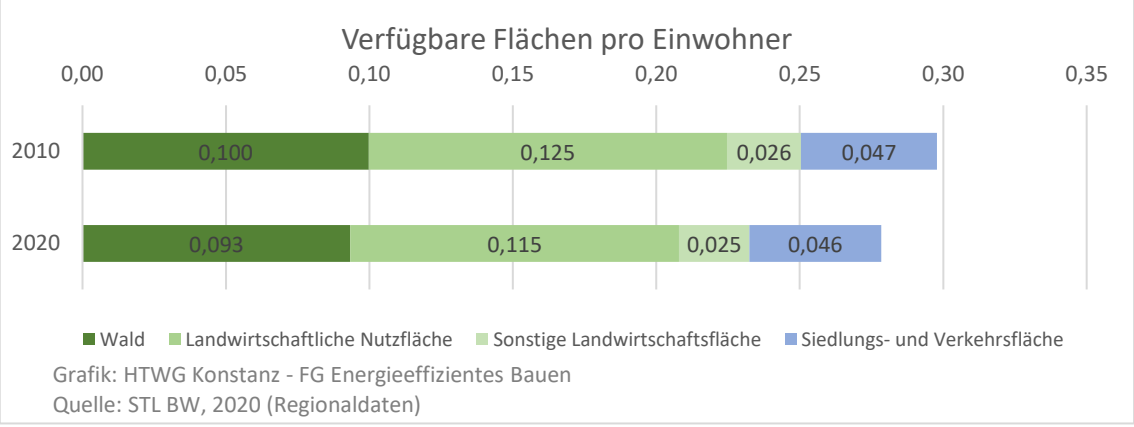


Abbildung 5: Verfügbare forst- und landwirtschaftliche Flächen pro Einwohner

2.2 Demografische Entwicklung

Die Bevölkerung im Landkreis Konstanz ist zwischen dem Jahr des Zensus 2011 und dem Jahr 2020 deutlich gewachsen: Im Jahr 2020 zählte der Landkreis 286.876 Bürger und damit rund 18.600 mehr als im Jahr 2011. Das entspricht einem Bevölkerungswachstum um 6,9 Prozent in 9 Jahren. Das Wachstum hat sich seit 2016 deutlich verlangsamt. Bis zum Jahr 2035 erwartet die Prognose ein Anwachsen der Bevölkerung auf 291.790 Personen, im Jahr 2040 wird mit 293.656 Personen gerechnet (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022). Ein hoher Bevölkerungszuwachs wirkt sich erheblich auf den gesamten Energie- und Ressourcenbedarf eines Landkreises aus. Um Fortschritte im Bereich der Energiewende dennoch vergleichbar zu machen, wurde für den vorliegenden Bericht deshalb stets auch der Verbrauch pro Person berechnet.

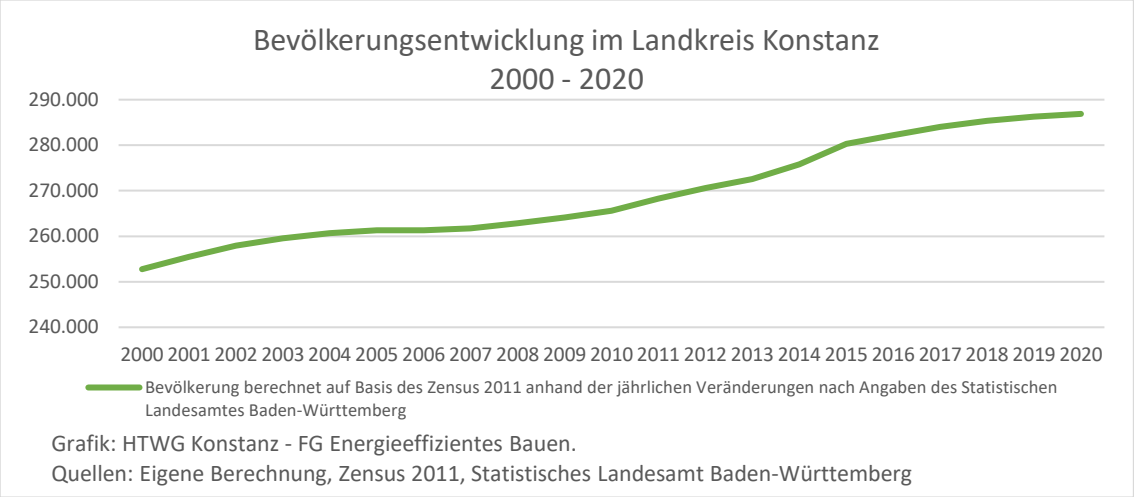


Abbildung 6: Bevölkerungsentwicklung 2000 - 2020

Anteile der Altersgruppen und Erwerbstätigen

Im Zeitraum zwischen 2011 und 2020 haben sich auch die Anteile der Altersgruppen an der Bevölkerung verändert. Gewachsen ist vor allem der Anteil der Altersgruppe über 65 Jahren (+5 Prozent). Geschrumpft sind die Anteile der Gruppen zwischen 15 und 45 Jahren.

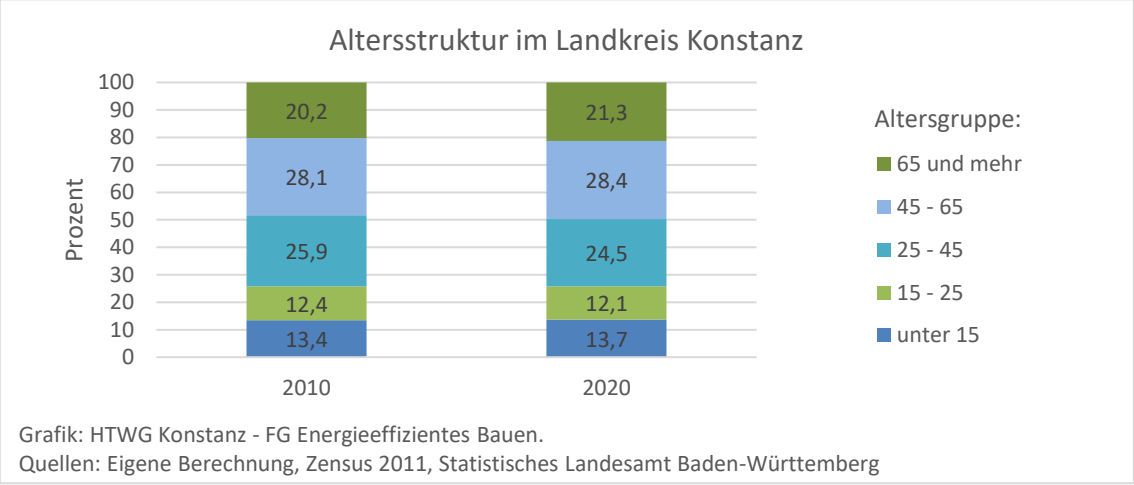


Abbildung 7: Altersstruktur der Bevölkerung

Die Gruppen über 45 Jahren haben daher nun einen Anteil von 51,4 Prozent. Im Jahr 2010 lag ihr Anteil noch bei 48,7 Prozent. Unterdessen ist aber auch der Anteil der Erwerbstätigen an der Bevölkerung von 49 auf 51 Prozent gestiegen. (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022)

Anteil der Studierenden

Im Jahr 2020 lag der Anteil der Studierenden, die an der Universität und an der Hochschule Konstanz eingeschrieben waren, bei rund 5,6 Prozent an der Gesamtbevölkerung des Landkreises. Im Jahr 2011 lag er bei 5,5 Prozent, im Jahr 2015 hatte er mit mehr als 6,1 Prozent seinen bisherigen Höchststand erreicht. Der Anteil der Studierenden an der Gesamtbevölkerung wird hier näher betrachtet, weil er sich auf mehrere für den Energieverbrauch relevante Indikatoren auswirkt. Besonders betrifft dies beispielsweise die Zahl der Personen pro Haushalt, die Wohnfläche pro Person, die Zahl der Pkw pro 1.ooo Personen oder den sogenannten Modal Split im Straßenverkehr (Rauth, Jürgen et al., 2011). So wohnen Studierende häufig auf geringer Wohnfläche in Wohnheimen oder in Wohngemeinschaften, die nicht selten mehr als zwei Mitbewohner zählen. Auch nutzen sie deutlich überdurchschnittlich häufig das Fahrrad oder öffentliche Verkehrsmittel zur Fortbewegung im Straßenverkehr.

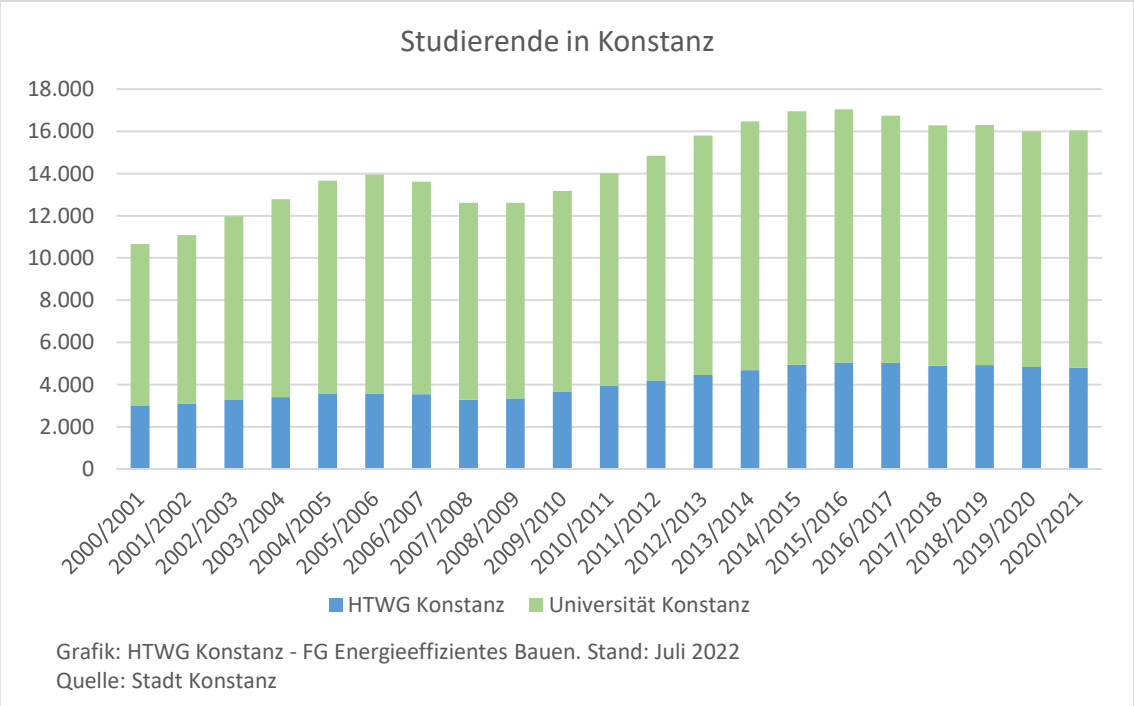


Abbildung 8: Studierende in Konstanz

2.3 Sozialstruktur

2.3.1 Erwerbstätige

Die Zahl der Erwerbstätigen am Arbeitsort im Landkreis Konstanz lag im Jahr 2019 bei 148.800, was etwas mehr als der Hälfte der Bevölkerung entspricht (51 Prozent). Im Zeitraum zwischen 2000 und 2010 hat die Zahl der Erwerbstätigen am Arbeitsort um 4 Prozent zugenommen, im Zeitraum 2010 bis 2019 um 13 Prozent. Damit hat sich die Zunahme der Erwerbstätigenzahl nach 2010 deutlich beschleunigt. Der Zuwachs findet weiterhin fast ausschließlich in den Dienstleistungsbereichen statt, während die Zahl der Erwerbstätigen im produzierenden Gewerbe und in der Landwirtschaft zurückgeht. Rund 75 Prozent der Erwerbstätigen arbeiteten im Jahr 2019 im Dienstleistungsbereich, 23 Prozent im produzierenden Gewerbe und nur noch 1,6 Prozent in Land- und Forstwirtschaft. Die Entwicklung der Erwerbstätigenzahlen in den drei Sektoren ist in Abbildung 9 summiert nach Wirtschaftsbereichen abgebildet.

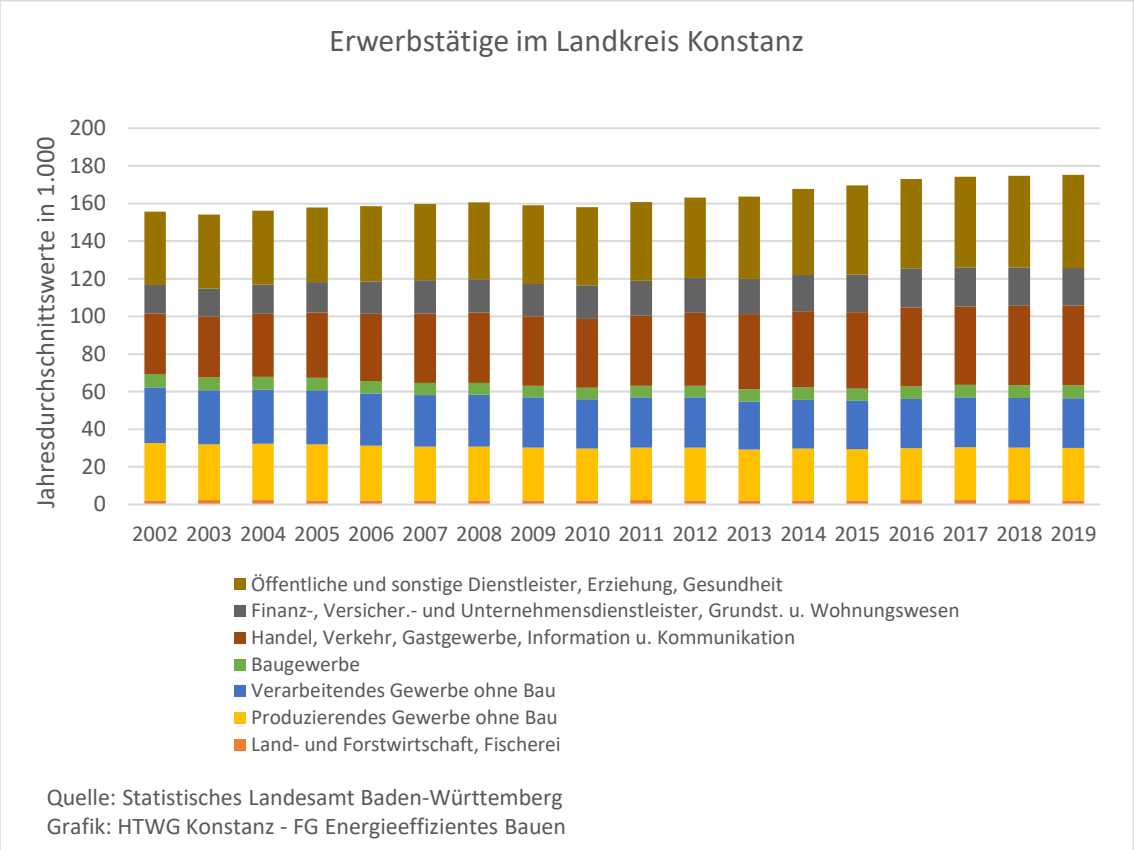


Abbildung 9: Erwerbstätige im Landkreis Konstanz (Gesamtentwicklung)

In Abbildung 10 sind die Entwicklungen in den verschiedenen Wirtschaftsbereichen dargestellt. Zwischen den Jahren 2000 und 2010 gab es Rückgänge im produzierenden sowie im verarbeitenden Gewerbe, in der Landwirtschaft und im Baugewerbe, die zum Teil recht deutlich ausfielen. Den größten Zuwachs gab es mit 26 Prozent im Bereich Finanz-, Versicherungs- und Unternehmensdienstleister, Grundstücks- u. Wohnungswesen.

Im Zeitraum 2010 bis 2019 sind mit Ausnahme der Landwirtschaft in sämtlichen Wirtschaftsbereichen Zuwächse zu verzeichnen. Im Bereich Handel, Verkehr, Gastgewerbe, Information und Kommunikation betrug der Zuwachs rund 15,6 Prozent. Die Zahl der Erwerbstätigen im Bereich Finanz-, Versicherungs- und Unternehmensdienstleister, Grundstücks- u. Wohnungswesen war in den Jahren 2018 und 2019 etwas rückläufig, lag 2019 aber immer noch um 11,2 Prozent über dem Wert des Jahres 2010. Den größten Zuwachs verzeichnete zwischen 2010 und 2019 der Bereich Öffentliche und sonstige Dienstleister, Erziehung und Gesundheit mit 19,3 Prozent.

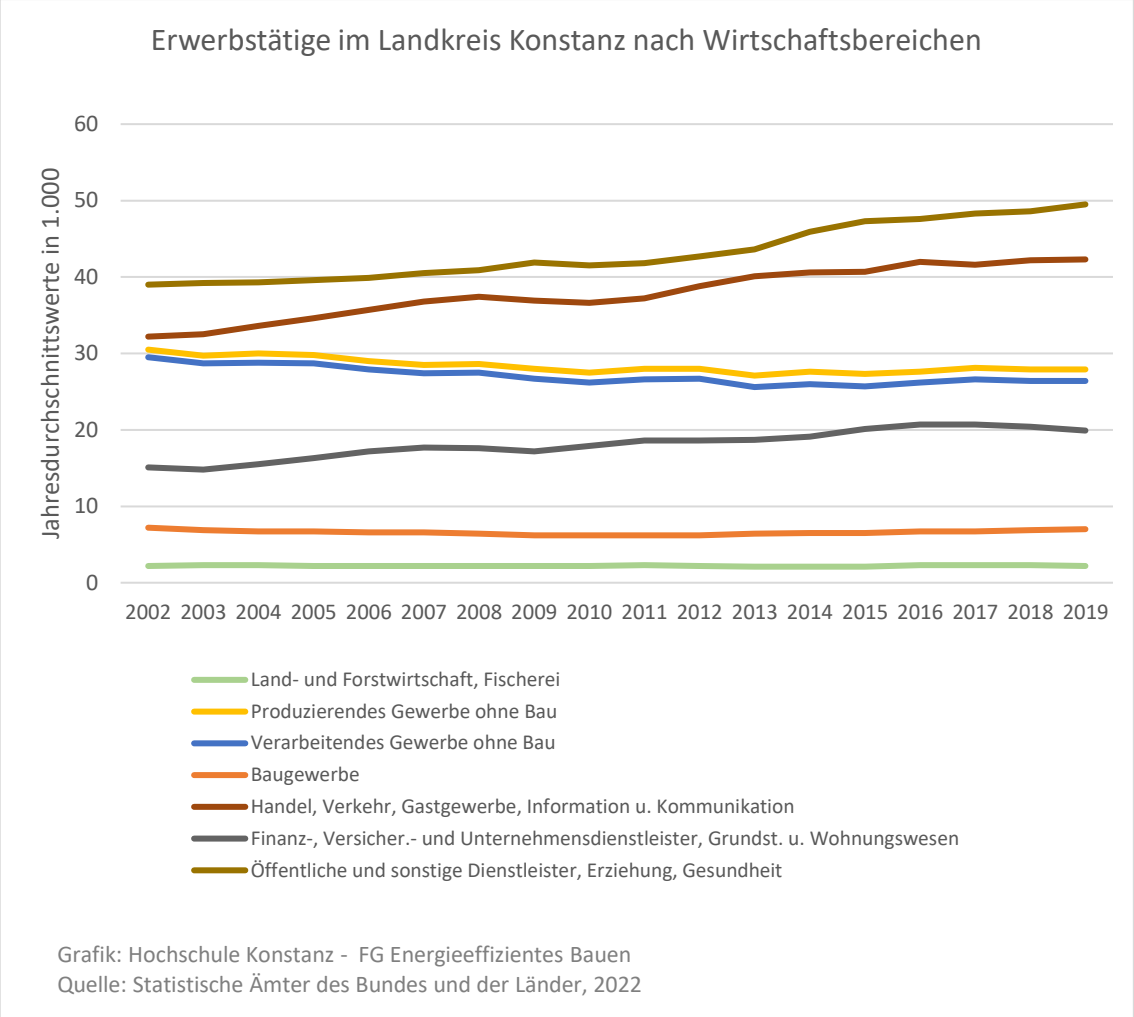


Abbildung 10: Erwerbstätige im Landkreis Konstanz nach Wirtschaftsbereichen

2.3.2 Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Arbeitsort

Die Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten am Arbeitsort ist in den zehn Jahren zwischen 2009 und 2019 von 83.413 auf 103.848 gestiegen. Die größten Zuwächse verzeichneten dabei das Grundstücks- und Wohnungswesen mit 79 Prozent, die Landwirtschaft- und Forstwirtschaft mit 69 Prozent, Häusliche Dienste mit 60 Prozent, das Gastgewerbe mit 58 Prozent sowie Kunst- und Unterhaltung mit 57 Prozent. Die geringsten Zuwächse gab es im Verarbeitenden Gewerbe mit 3 Prozent, im Produzierenden Gewerbe mit 7 Prozent sowie in Bergbau, Energie- und Wasserversorgung mit 11 Prozent. Verluste gab es nur im Zweig der Finanz- und Versicherungsdienstleister.

Die größten absoluten Zuwächse gab es zu verzeichnen im Gesundheits- und Sozialwesen (3.822). Es folgten der Zweig Handel, Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen (3.033) an zweiter Stelle sowie das Gastgewerbe (2.134) an dritter Stelle. Die geringsten Zuwächse gab es mit 77 Beschäftigten im Zweig Häusliche Dienste zu verzeichnen, gefolgt von Bergbau, Energie- und Wasserversorgung mit 111 Beschäftigten. Im Grundstücks- und Wohnungswesen sind mit 240 Beschäftigungsverhältnissen mehr als doppelt so viele sozialversicherungspflichtige Beschäftigungsverhältnisse entstanden, wie im Bereich Bergbau, Energie- und Wasserversorgung.



Quelle: Eigene Berechnung nach Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022
Grafik: HTWG Konstanz - FG Energieeffizientes Bauen

Abbildung 11: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte: Zuwächse 2009 - 2019

2.3.3 Wohngeldhaushalte und Hilfe zum Lebensunterhalt

Wohngeld ist ein von Bund und Ländern zu gleichen Teilen getragener Zuschuss zur wirtschaftlichen Sicherung eines angemessenen und familiengerechten Wohnens. Die Höhe des Wohngeldanspruchs hängt von der Höhe des Einkommens, der Miete und der Zahl der Haushaltsmitglieder ab. Die Zahl der sogenannten Wohngeldhaushalte zeigte im Zeitraum zwischen 2005 und 2019 starke Schwankungen. Der Tiefstwert wurde mit 1.087 Haushalten im Jahr 2015 erreicht, am höchsten war die Zahl mit 2.289 im Jahr 2010. Somit bewegte sich der Anteil der Wohngeld beziehenden Haushalte zwischen 0,8 und 1,8 Prozent. Mit etwas über einem Prozent lag der Wert im Landkreis Konstanz im Jahr 2019 etwas unter dem Landesdurchschnitt von 1,2 Prozent.

Die Zahl der Empfänger von Hilfe zum Lebensunterhalt hat sich dagegen zwischen 2009 und 2019 ungefähr verdreifacht, von 306 auf 1.057.

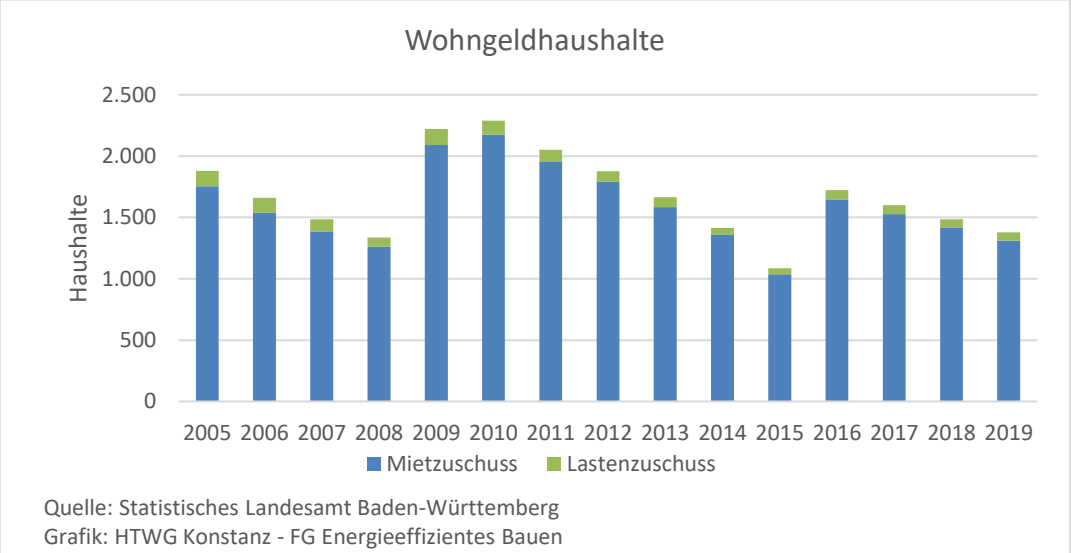


Abbildung 12: Wohngeldhaushalte

2.4 Haushalte, Wohngebäude- und Siedlungsstruktur

2.4.1 Private Wohnhaushalte

Die Zahl der privaten Wohnhaushalte im Landkreis Konstanz ist zwischen 2013 und 2017 um 3,6 Prozent von 130.576 auf 135.287 gestiegen. Den größten relativen Zuwachs mit 6,9 Prozent verzeichnen dabei die Haushalte mit fünf und mehr Personen. Da es sich jedoch nur bei fünf von hundert Haushalten um Haushalte mit fünf oder mehr Personen handelt, ist ihre Zahl nur um 436 Haushalte gewachsen. Den größten Anteil (39 Prozent) und den größten absoluten Zuwachs verzeichnen dagegen die Einpersonenhaushalte, die im Durchschnitt den größten Energieverbrauch pro Person aufweisen. Ihre Zahl hat um 1.926 zugenommen. Ihr Zuwachs war damit doppelt so groß, wie der Zuwachs der Zweipersonenhaushalte, die mit 955 an zweiter Stelle folgen.

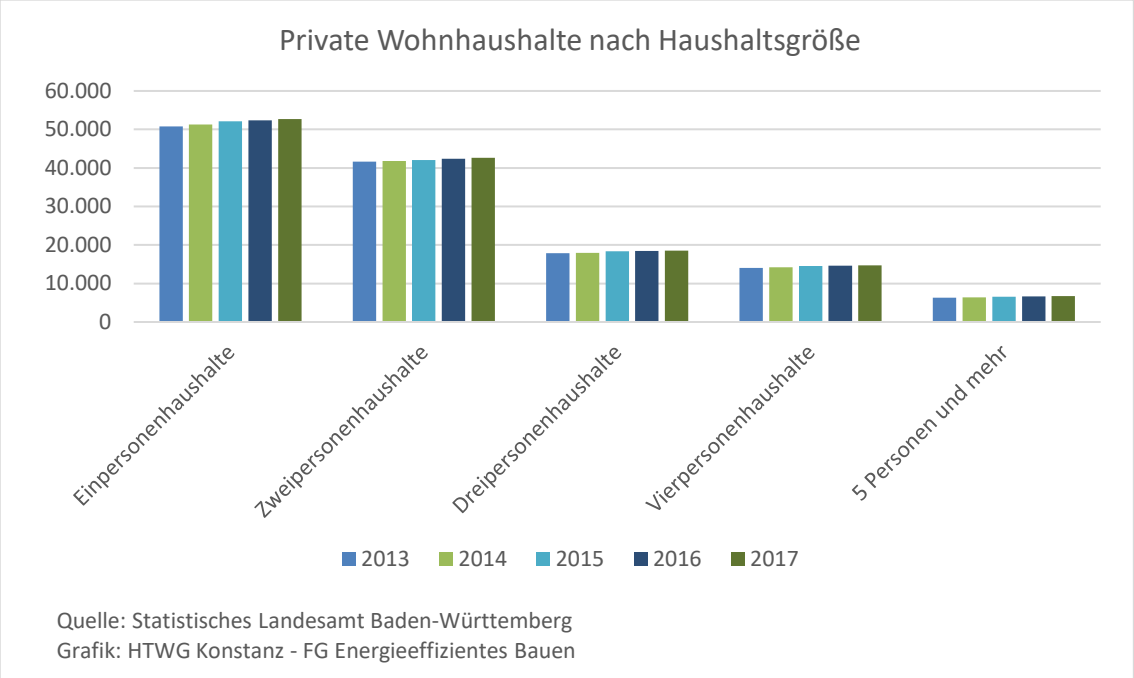


Abbildung 13: Private Wohnhaushalte nach Haushaltsgröße – Entwicklung 2013 bis 2017

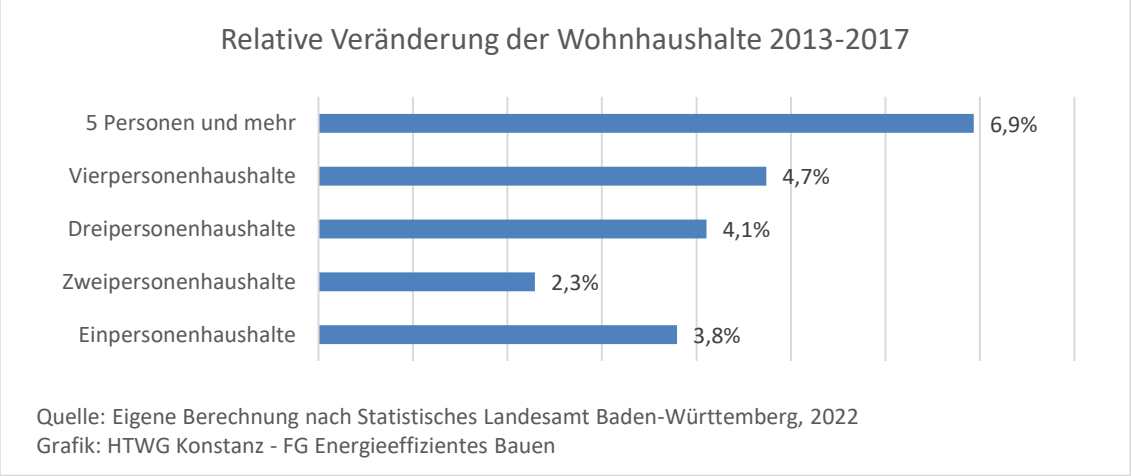


Abbildung 14: Relative Veränderung der Wohnhaushalte 2013-2017

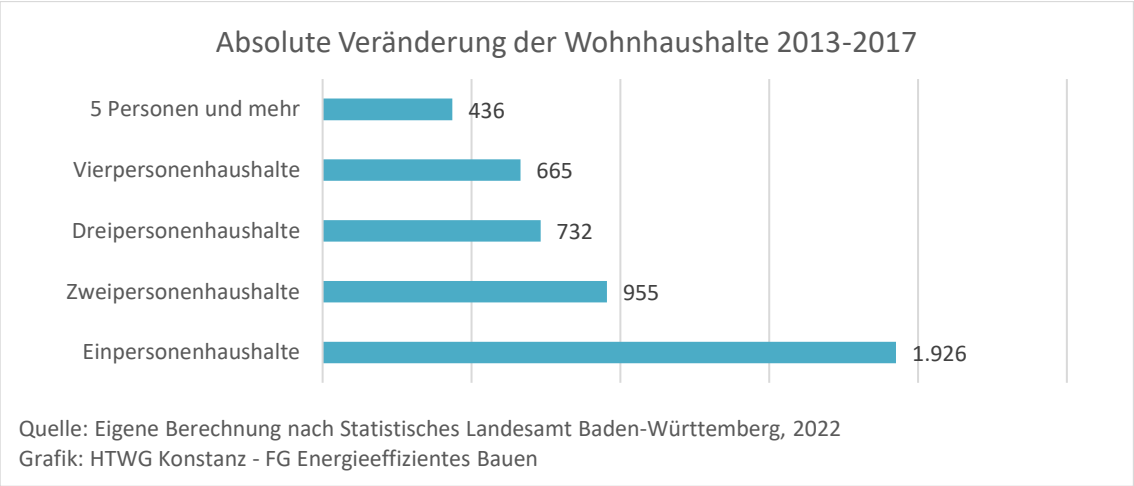


Abbildung 15: Absolute Veränderung der Wohnhaushalte 2013-2017 nach Haushaltsgröße

Damit wohnen etwa 35 Prozent der Bewohner der neu hinzugekommenen Haushalte in Ein- oder Zweipersonenhaushalten. Schätzungsweise 45 Prozent der Bewohner neuer Haushalte wohnen dagegen in Haushalten mit vier oder mehr Personen.

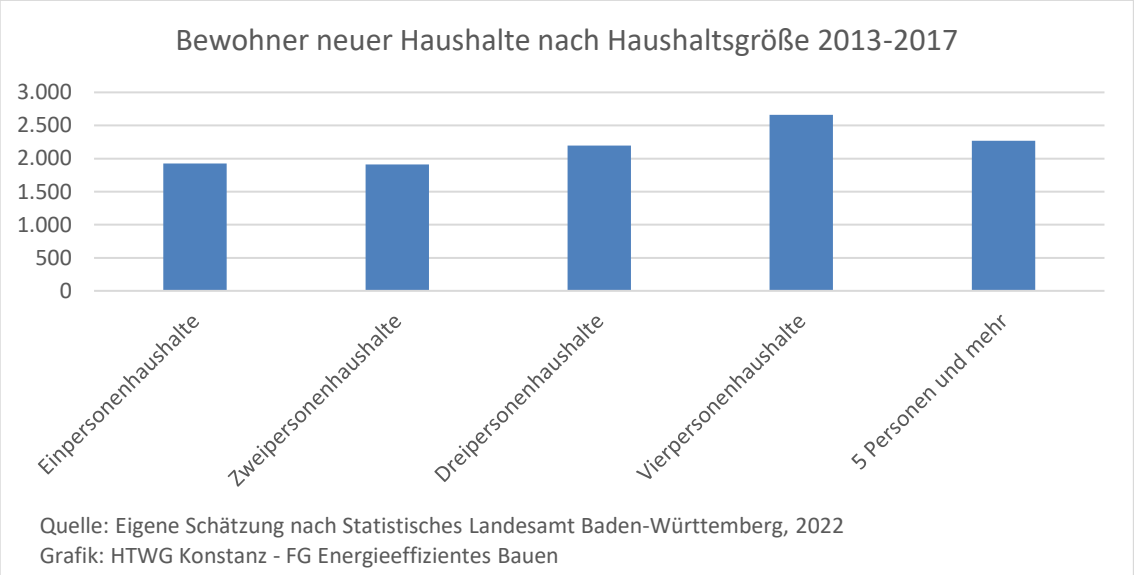


Abbildung 16: Bewohner neuer Haushalte nach Haushaltsgröße 2013-2017

Hinweis zur Datenverfügbarkeit: Seit 2018 erfolgt durch das Statistische Landesamt keine Schätzung der Wohnhaushalte mehr.

2.4.2 Wohngebäude

Im Landkreis Konstanz gab es 2019 einen Bestand von 56.793 Wohngebäuden und 146.592 Wohnungen. Somit hat die Zahl der Wohngebäude seit 2004 um 12,7 Prozent zugenommen, die Zahl der Wohnungen ist sogar um 14,2 Prozent gewachsen. Bezogen auf den Gesamtbestand der Wohngebäude hat die durchschnittliche Zahl der Wohnungen pro Gebäude dadurch um 1,3 Prozent zugenommen. Etwas zurückgegangen ist unterdessen die Belegungsdichte. Auf Basis einer eigenen Schätzung der Bevölkerungszahl auf Basis des Zensus 2011 ergibt sich hier ein Rückgang um 1,5 Prozent. Für die Steigerung der Energieeffizienz wäre eine Erhöhung der Belegungsdichte vorteilhaft.

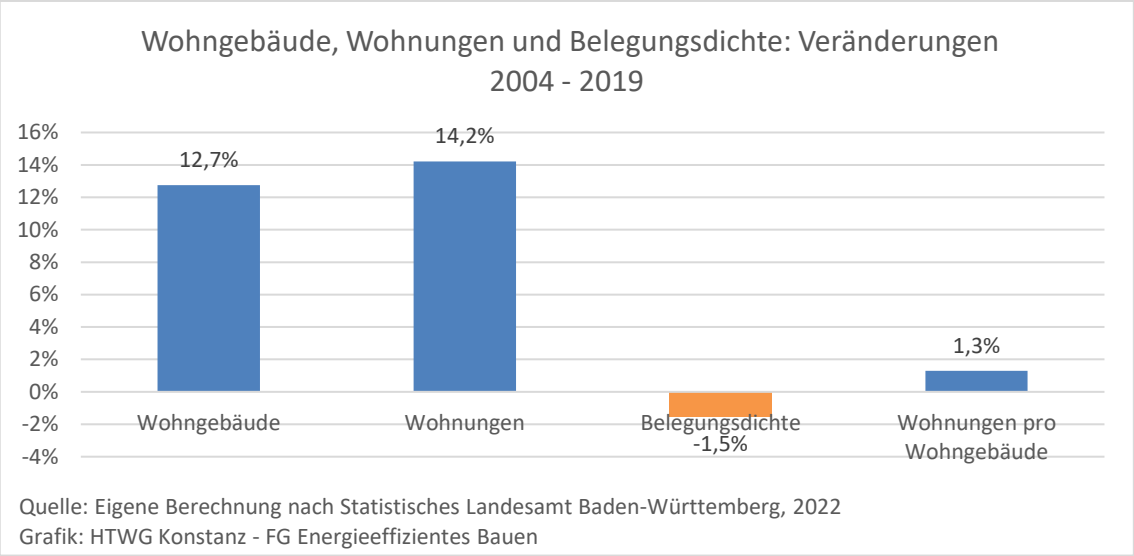


Abbildung 17: Wohngebäude, Wohnungen und Belegungsdichte: Veränderungen 2004 – 2019

2.4.3 Wohnfläche

Die pro Person genutzte Wohnfläche ist im Landkreis Konstanz zwischen 2011 und 2020 um 1,6 Prozent auf 45,17 m² angewachsen. Im Bezugsjahr der Energiebilanz 2019 betrug sie 44,85 m².

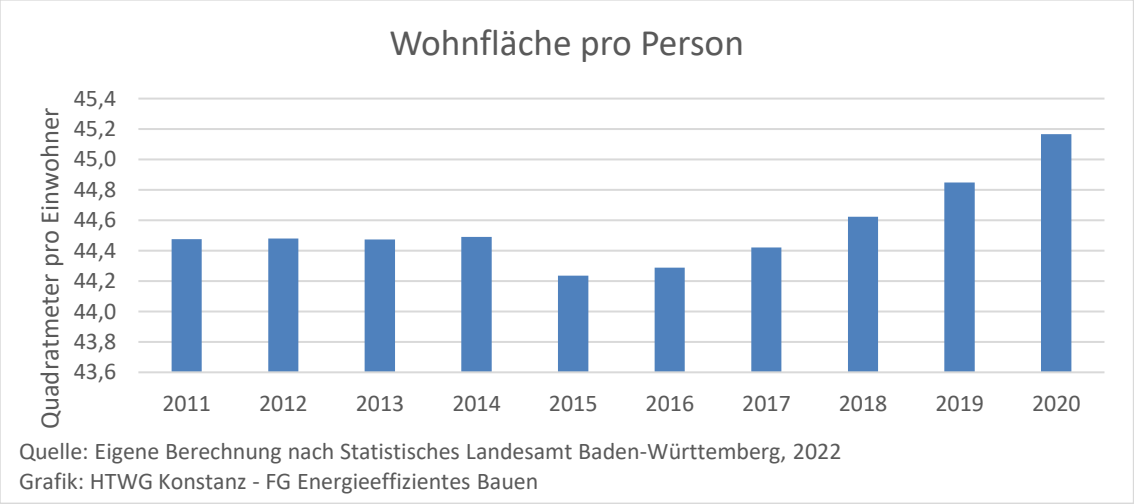
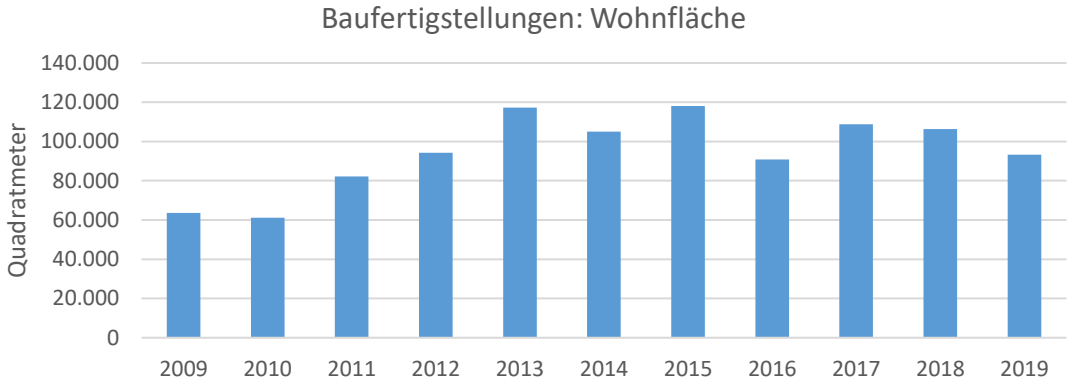


Abbildung 18: Wohnfläche pro Einwohner

2.4.4 Baufertigstellungen

In den zehn Jahren zwischen 2009 und 2019 wurden 9.196 Wohngebäude mit 3.832 Wohnungen und 947.444 m² Wohnfläche fertiggestellt. Pro Neuwohngebäude sind somit 2,42 Wohnungen und rund 249 m² Wohnfläche entstanden. Im Jahr 2019 kamen weitere 93.258 m² Wohnfläche hinzu, womit 2019 nur etwas hinter dem Durchschnitt der vorigen zehn Jahre zurückblieb.

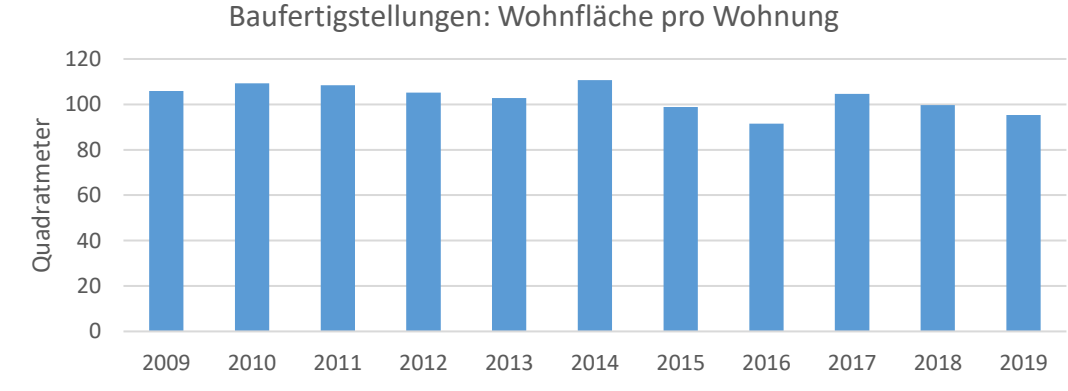


Quelle: STL BW, Regionaldatenbank.
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen

Abbildung 19: Baufertigstellungen 2009 - 2019, Wohnfläche

2.4.4.1 Wohnfläche pro Neubauwohnung und zusätzlicher Energiebedarf

Die durchschnittliche Wohnfläche pro Wohnung umfasst 103 m². Geht man von einer Belegungsdichte von 2,0 aus, entspräche dies 51,5 m² pro Person, was deutlich über dem Durchschnitt des Gesamtbestandes des Jahres 2009 liegt, der geschätzt nach dem Zensus 2011 rund 44,4 m² pro Einwohner umfasste. Geht man von einem Energiestandard von 50 kWh Wärme pro Quadratmeter und einem Stromverbrauch von 22 kWh/m² aus, ergibt sich aus der Differenz zwischen Neubau und Bestand von 9,1 m² pro Person ein zusätzlicher Endenergieverbrauch von 511 kWh pro Person und Jahr. Bei einer Wärmepumpennutzung lässt sich dieser Endenergiebedarf zwar deutlich reduzieren, doch beläuft er sich immer noch auf ca. 245 bis 275 kWh pro Person. Zudem müsste diese Energie großenteils saisonal gespeichert, wofür heute fast nur Wasserstoff infrage kommt. Der erneuerbare Primärenergiebedarf läge dementsprechend deutlich über diesen 245 bis 275 kWh pro Person.



Quelle: STL BW, Regionaldatenbank.
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen

Abbildung 20: Baufertigstellungen 2009 - 2019, Wohnfläche pro Wohnung

2.4.4.2 Effizienz und Flächenbedarf des Wohnbaus 2009 - 2019

Geht man davon aus, dass der Neubau auf Dauer die gleiche Belegungsdichte aufweist wie der Bestand, und nimmt man darüber hinaus an, dass die Belegungsdichte weiterhin bei ca. 2,0 liegen wird, bietet die in den betrachteten zehn Jahren fertiggestellte Wohnfläche Wohnraum für 18.392 Einwohner. Hätte die Wohnfläche pro Person weiterhin dem Durchschnitt des Bestandes des Jahres 2009 entsprochen, hätte auf der gleichen Wohnfläche Wohnraum für 21.339 Personen geschaffen werden können. Dies entspricht einer Differenz von 16 Prozent oder zusätzlichen 2.947 Personen. Der Flächenverbrauch pro Person lag somit auch um 16 Prozent über dem Vergleichsszenario mit der durchschnittlichen Wohnfläche des Bestandes. 2.947 Personen entsprechen 60 Prozent des zwischen 2022 und 2035 vorausberechneten Bevölkerungswachstums[3]. In den Jahren zwischen 2009 und Anfang 2019 sind im Landkreis Konstanz 308 Hektar Wohnbaufläche hinzugekommen. 16 Prozent davon, rund 49 Hektar, hätten folglich vermieden werden können und ließen sich weiterhin für die Erzeugung von Nahrung oder erneuerbarer Energie nutzen.

49 Hektar Solarpark entsprechen einem Potenzial von 24,5 bis 36,8 Millionen Kilowattstunden. Dies entspricht rein rechnerisch (ohne Berücksichtigung von Speicherverlusten) dem Haushaltsstrombedarf von 8.800 bis 13.230 Haushalten[4] und damit 6 bis 9 Prozent des Haushaltsstrombedarfs des Landkreises.

2.4.4.3 Künftig mögliche Auswirkungen auf den Energiebedarf

Um Wohnraum für 2.947 Personen zu schaffen, werden weitere 1.474 Wohnungen und somit voraussichtlich 475 bis 615 neue Wohngebäude benötigt. Bei einer Wohnfläche von 51,5 m² pro Person entspricht dies insgesamt 151.771 m². Bei einer Wohnfläche von 44,4 m² pro Person würden nur 130.847 m² Wohnfläche benötigt.

Bei einem Energiestandard von 40 kWh Wärme und 22 kWh Strom pro Quadratmeter kann sich aus dieser Differenz ein vermeidbarer Energieverbrauch von 1.297.288 kWh ergeben.

Bis zum Jahr 2035 wird ab 2022 mit einem Bevölkerungswachstum um 4.884 Personen gerechnet. Somit ließe sich bis dahin durch eine wieder reduzierte Pro-Person-Wohnfläche ein Nutzenergiebedarf von 2.149.970 kWh pro Jahr vermeiden.

[3] Vorausberechnung des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg, abgerufen im Juli 2022.

[4] Durchschnittlicher Haushaltsstrombedarf in Deutschland 2020: 2.782 kWh/Haushalt. (Statista, 2022b)

2.4.4.4 Flächeneffizienz des Wohnbaus

Auffällig ist mit Blick auf die Baufertigstellungen, dass der Anteil der Einfamilienhäuser (EFH) an den fertiggestellten Wohngebäuden 2019 mit 60 Prozent kaum niedriger liegt als 20 Jahre zuvor, als er bei 63 Prozent lag. Dieser hohe Anteil ist bemerkenswert, da nicht nur der Energieaufwand von Einfamilienhäusern pro Person größer ist, sondern auch der Flächenbedarf.

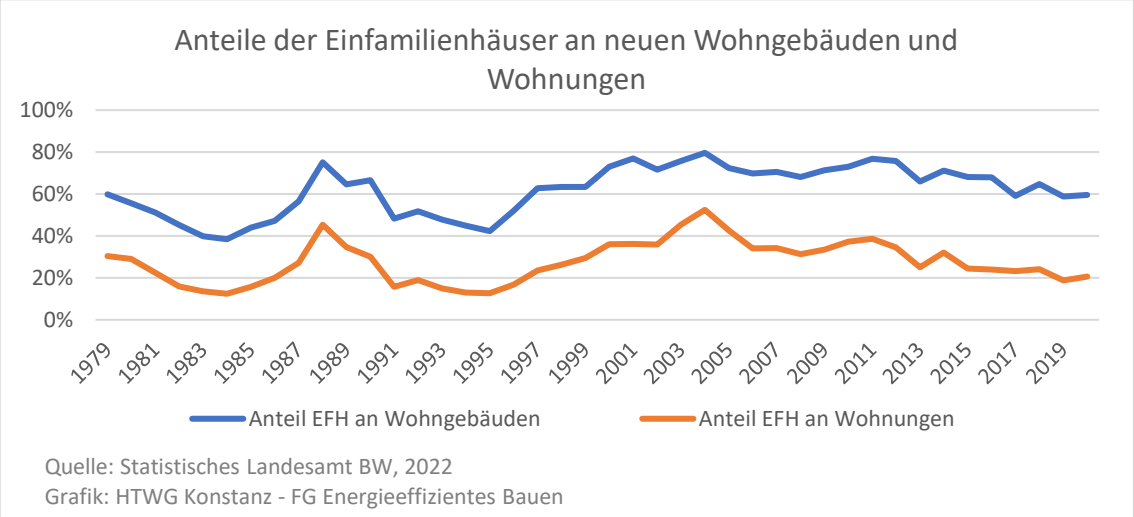


Abbildung 21: Anteile der Einfamilienhäuser an fertiggestellten Wohngebäuden und Wohnungen

Nimmt man an, dass es sich bei den Mehrfamilienhäusern (MFH) ausschließlich um durchgängige Mehrgeschossbebauung handelt, zeigt sich die geringe Flächeneffizienz von Einfamilienhäusern besonders deutlich. Anhand von Orientierungswerten für die Raumplanung (Schröter, 2021) wurde der Flächenbedarf im Wohngebiet pro Person auf 167 m² pro Einwohner geschätzt. Damit nimmt ein Einfamilienhaus pro Person eine um den Faktor 5,7 größere Fläche in Anspruch als ein durchschnittliches mehrgeschossiges Mehrfamilienhaus. Bei einem Anteil von 60 Prozent an den Gebäuden, nehmen die EFH 56 Prozent der Fläche in Anspruch, stellen dabei aber nur 18 Prozent der Wohnungen und beherbergen somit auch nur ca. 18 Prozent der Bewohner der Neubaugebiete.

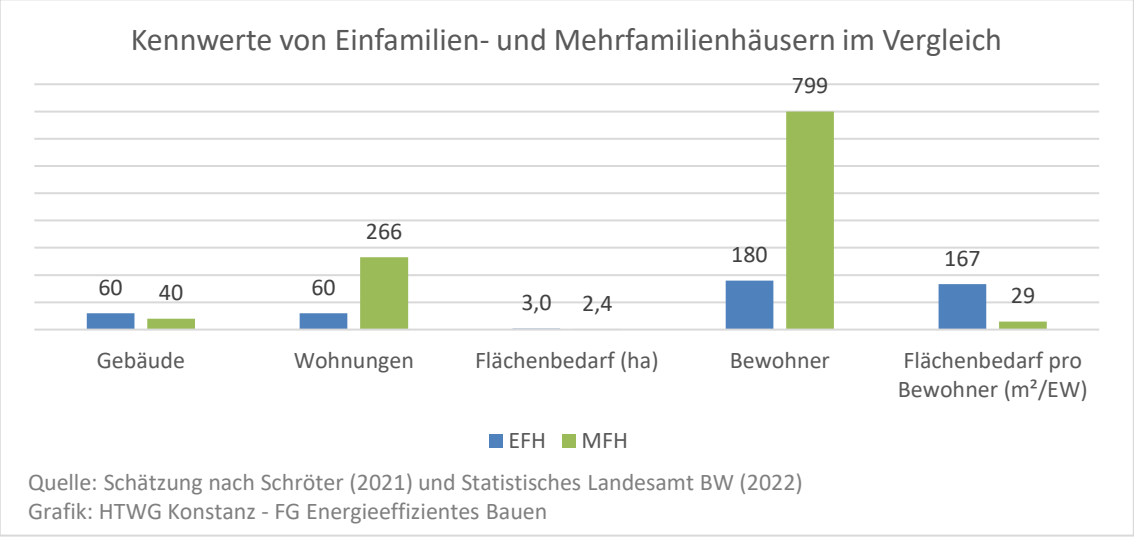


Abbildung 22: Kennwerte von Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern im Vergleich

2.4.5 Sanierungsquote

Zur Sanierungsquote im Landkreis Konstanz gibt es bisher keine genaueren Erhebungen. Als vergleichsweise präziser und jährlich verfügbarer Indikator für die Entwicklung im Bereich der Gebäudesanierung wurden daher die KfW-Förderungen gewählt, die regelmäßig dem jeweils aktuellen KfW-Förderreport zu entnehmen sind.

Geförderte Wohneinheiten

Zwischen den Jahren 2015 und 2019 zeigt sich im Landkreis eine deutliche Zunahme der KfW-Förderungen. Steigende Tendenz zeigten auch die Förderungen von Einzelmaßnahmen. Im Jahr 2020 sank die Zahl aller Förderungen merklich.

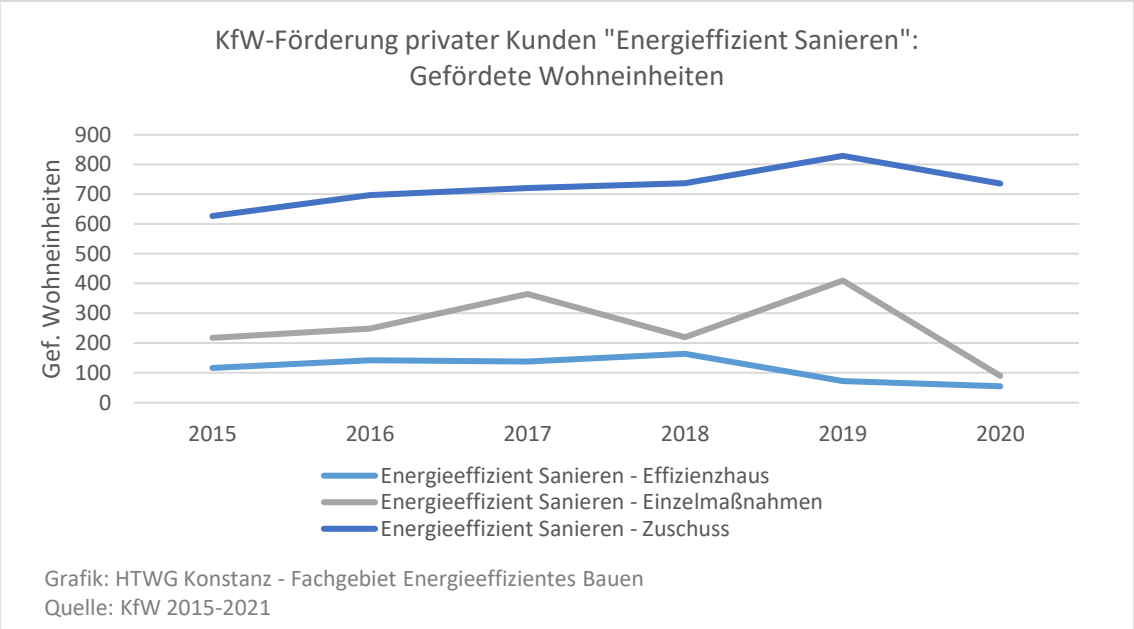


Abbildung 23: KfW-Förderung privater Kunden "Energieeffizient Sanieren" - Geförderte Wohneinheiten

Geschätzte Sanierungsquote

Die jährliche Sanierungsquote wird bspw. vom BBSR aus den vier Einzelmaßnahmen Dämmung Außenwand, Dämmung Dach/Obergeschossdecke, Dämmung Fußboden/Kellerdecke und Fenstererneuerung berechnet: „Die energetischen Sanierungsraten für die einzelnen Bauteile unterscheiden sich dabei erheblich. Einzelne Wärmedämmmaßnahmen wurden in sogenannte Vollsanierungsäquivalente zusammengeführt, berücksichtigen jedoch nicht die Erneuerung von Heizungsanlagen, die ebenfalls Effizienz- und Einsparpotenziale ermöglichen. Jede Maßnahme wurde dabei nach einem bestimmten Schlüssel gewichtet, der das Verhältnis der Heizwärmeeinsparungen widerspiegelt.“ (BBSR, 2016, S. 6)

Da für den Landkreis keine Datengrundlage vergleichbarer Genauigkeit vorlag, wurden für die vorliegenden Schätzungen Einzelmaßnahmen, die von der KfW gefördert wurden, mit dem Faktor 0,33 gewichtet. Die Gewichtung der Einzelmaßnahmen ist damit relativ hoch angesetzt, da angenommen wurde, dass weitere Sanierungsmaßnahmen durch

Förderprogramme der Länder und Kommunen unterstützt wurden, die in der KfW-Statistik nicht erfasst sind. Je nach Gewichtung der Zuschüsse (Vollsanierungsäquivalent zwischen 0,33 bis 1,00) ergibt sich somit eine Sanierungsquote zwischen 0,4 und 1,2 Prozent des Gebäudebestandes, der vor 1990 erbaut wurde. Zwar sind bei dieser aufgrund mangelnder Daten stark vereinfachten Schätzung beträchtliche Abweichungen von der tatsächlichen Vollsanierungsquote möglich. Wichtiger ist jedoch die zeitliche Entwicklung des Indikators.

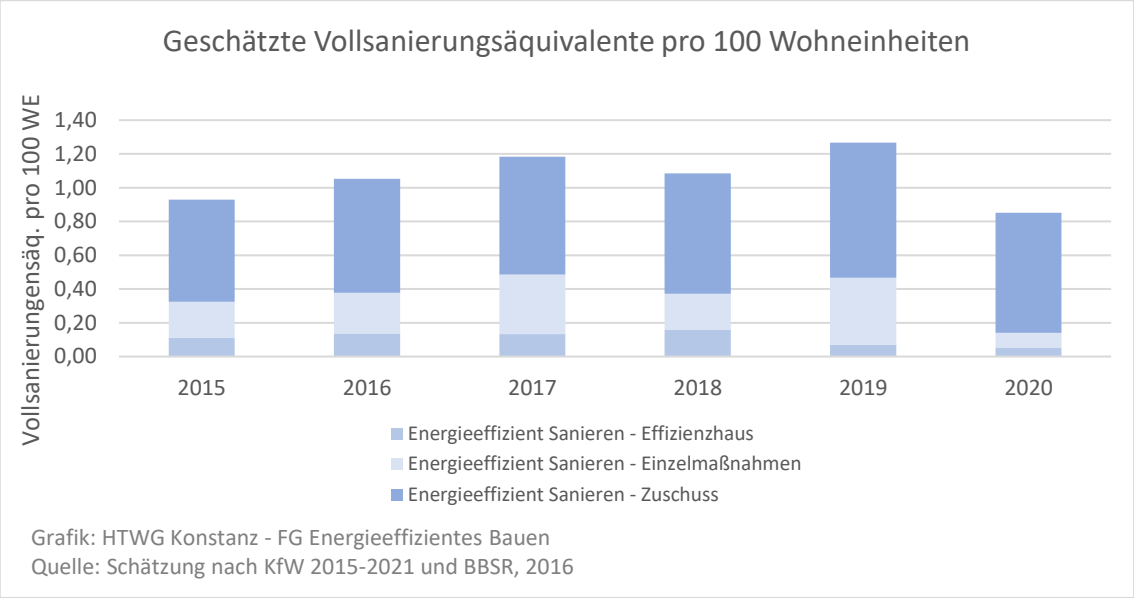


Abbildung 24: Geschätzte Vollsanierungsäquivalente pro 100 Wohneinheiten

2.4.6 Siedlungsstruktur

In der Tabelle werden die wichtigsten Kennzahlen der Siedlungsstruktur des Landkreises Konstanz im Jahr 2019 zusammengefasst. Mit ca. 350 Einwohnern pro Quadratkilometer ist der Landkreis um 12,5 Prozent dichter besiedelt als das Land Baden-Württemberg. Die Siedlungsfläche hat einen Anteil von 10,3 Prozent an der Bodenfläche. Dieser Wert liegt um 10,7 Prozent über dem Landesdurchschnitt von 9,3 Prozent. Pro Einwohner werden 293 m² Siedlungsfläche genutzt. Der Landesdurchschnitt liegt bei rund 299 m² pro Einwohner. Die Belegungsdichte der Wohnungen ist allerdings mit rund 2,0 etwas niedriger als im Landesdurchschnitt, der mit 2,1 angegeben wird. Der Anteil der Personen, die in Städten mit mehr als 10.000 Einwohnern leben, liegt bei 72 Prozent der Bevölkerung. Hier hat der ÖPNV ein hohes Potenzial, Pkw verzichtbar zu machen.

Tabelle 1: Siedlungsstruktur im Landkreis Konstanz im Jahr 2019

Kennwert	Einheit	Wert
Gebiet, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte		
Gemeindegebiet	km²	817,98
Bevölkerung insgesamt	Einwohner	286.305
Bevölkerungsdichte Landkreis Konstanz	Einwohner/km²	350
Bevölkerungsdichte Landesdurchschnitt Baden-Württemberg	Einwohner/km²	311
Anteil von Städten mit mehr als 10.000 EW an Gesamtbevölkerung	Prozent	72
Wohngebäude und Wohnungen nach Gebäudetypen		
Wohngebäude Insgesamt	Wohngebäude	56.793
mit 1 Wohnung	Wohngebäude	32.433
mit 2 Wohnungen	Wohngebäude	11.157
mit 3 und mehr Wohnungen	Wohngebäude	13.066
Wohngebäude und Wohnungen nach Anzahl der Räume		
Wohngebäude insgesamt	Gebäude	56.793
Wohnungen insgesamt (Wohn- und Nichtwohngebäude)	Wohnungen	143.900
davon 1-Raum-Wohnungen	Wohnungen	7.418
davon 2-Raum-Wohnungen	Wohnungen	14.595
davon 3-Raum-Wohnungen	Wohnungen	28.710
davon 4-Raum-Wohnungen	Wohnungen	38.321
davon 5-Raum-Wohnungen	Wohnungen	24.297
davon 6 und mehr-Raum-Wohnungen	Wohnungen	30.559
Räume insgesamt	Räume	610.944
Belegungsdichte		
Belegungsdichte	EW/Wohnung	1,99
Flächennutzung		
Siedlung	Hektar	8.396
davon Wohnbaufläche	Hektar	3.923
davon Industrie- und Gewerbefläche	Hektar	1.715
Verkehr	Hektar	4.740
Landwirtschaft	Hektar	39.941
Wald	Hektar	26.782
Anteil Siedlung an der Bodenfläche	Prozent	10,3
Siedlungsfläche pro Einwohner	m²	293

Datenquelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022: Regionaldaten

2.5 Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie

2.5.1 Gewerbe, Handel, Dienstleistung

Im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung waren im Jahr 2019 (ohne Baugewerbe) 121.109 Personen versicherungspflichtig beschäftigt. Dies entspricht 42 Prozent der Bevölkerung. Im Baugewerbe waren ca. 7.000 Personen versicherungspflichtig beschäftigt. Im Bereich Handel, Verkehr, Gastgewerbe, Information u. Kommunikation waren 42.300 Personen beschäftigt, im Bereich Öffentliche und sonstige Dienstleister, Erziehung, Gesundheit rund 49.500 Personen und im Bereich Finanz-, Versicherungs- und Unternehmensdienstleister, Grundstücks- u. Wohnungswesen rund 19.900 Personen.

2.5.2 Produzierendes Gewerbe

2.5.2.1 Beschäftigung und Umsatz

Im Produzierenden Gewerbe waren im Jahr 2019 im Kreis Konstanz 20.691 Personen beschäftigt. Bei 173 Betrieben entspricht dies 120 Beschäftigten pro Betrieb.

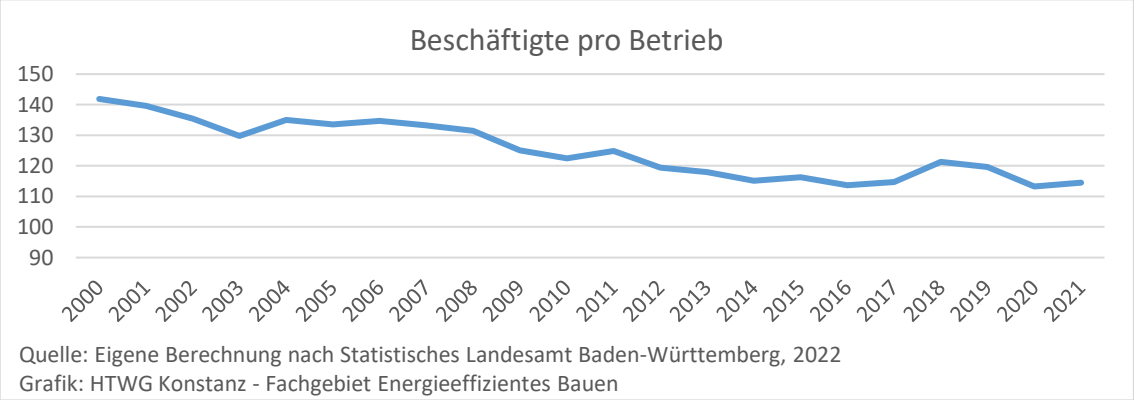


Abbildung 25: Beschäftigte im Produzierenden Gewerbe pro Betrieb

Die Zahl der im produzierenden Gewerbe Beschäftigten entsprach im Jahr 2019 ca. 7,3 Prozent der Gesamtbevölkerung und damit über einen Prozentpunkt weniger als 2008.

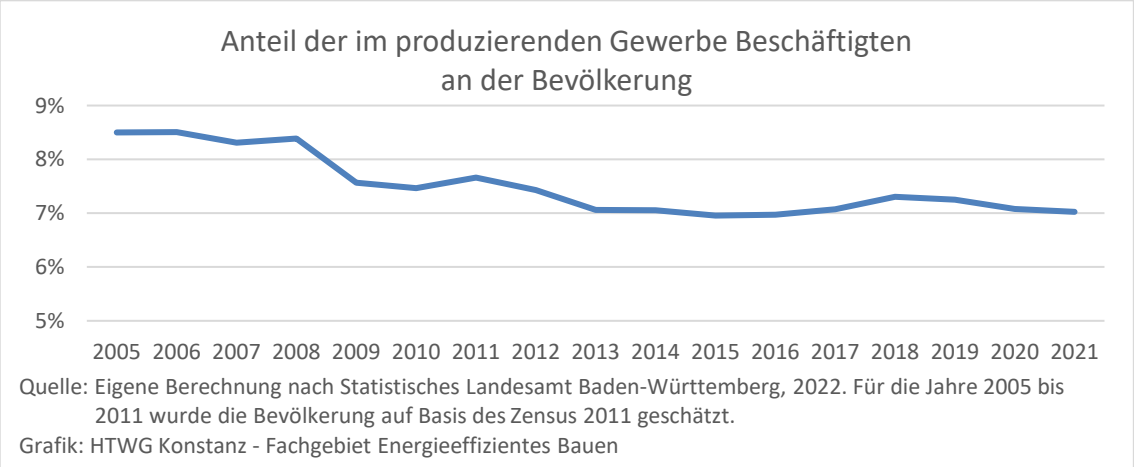


Abbildung 26: Beschäftigte im Produzierenden Gewerbe

Der Umsatz des produzierenden Gewerbes lag im Jahr 2019 bei 279.604 Euro pro beschäftigte Person. Dies bedeutet einen Zuwachs von rund 5 Prozent seit dem Jahr 2008.

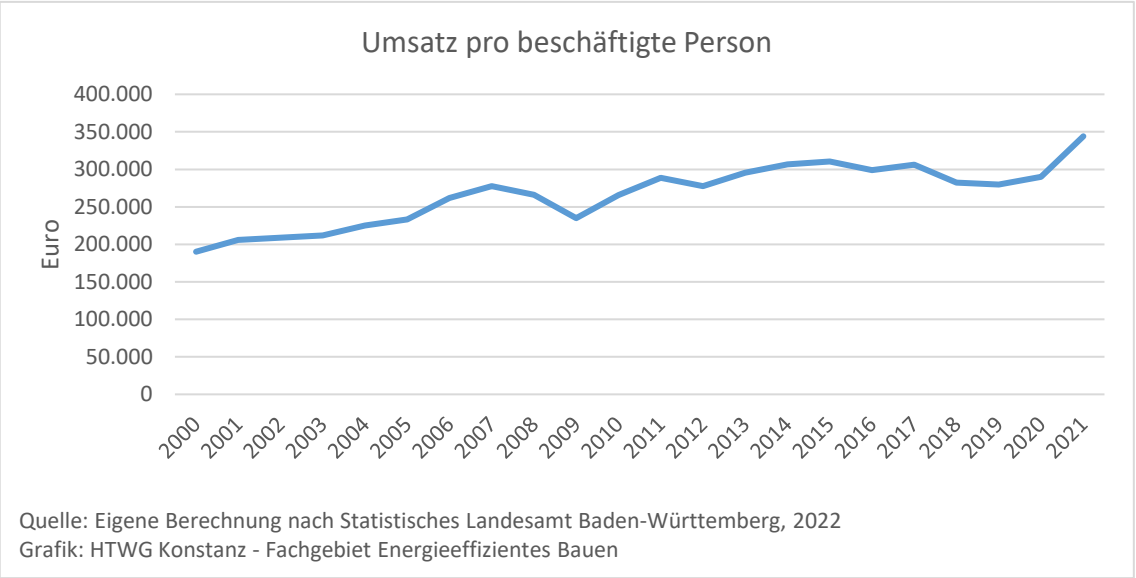


Abbildung 27: Umsatz des produzierenden Gewerbes pro beschäftigte Person

Verglichen mit dem Jahr 2000 hat der Umsatz pro beschäftigte Person um mehr als 50 Prozent zugenommen, während der Umsatz insgesamt um 30 Prozent gestiegen ist. Die Zahl der Beschäftigten ist in diesem Zeitraum um 15 Prozent gesunken. Die Zahl der Beschäftigten pro Betrieb ist dabei um 20 Prozent zurückgegangen.

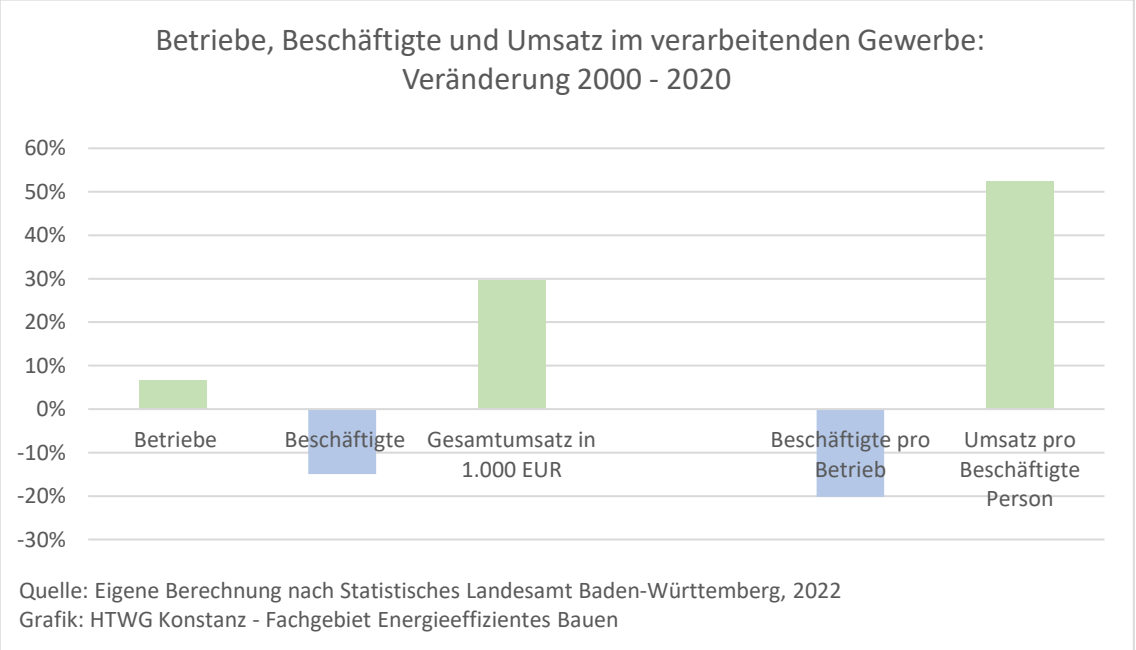


Abbildung 28: Betriebe, Beschäftigte und Umsatz im verarbeitenden Gewerbe: Veränderung 2000 – 2020

2.5.2.2 Energieverbrauch der Industrie pro Erwerbstätige Person

Der Energieverbrauch der Industrie in Relation zur Erwerbstätigenzahl im produzierenden Sektor ist zwischen 2017 und 2019 deutlich zurückgegangen. Damit lag er jedoch lediglich um 1,3 Prozent unter dem Vergleichswert des Jahres 2003.

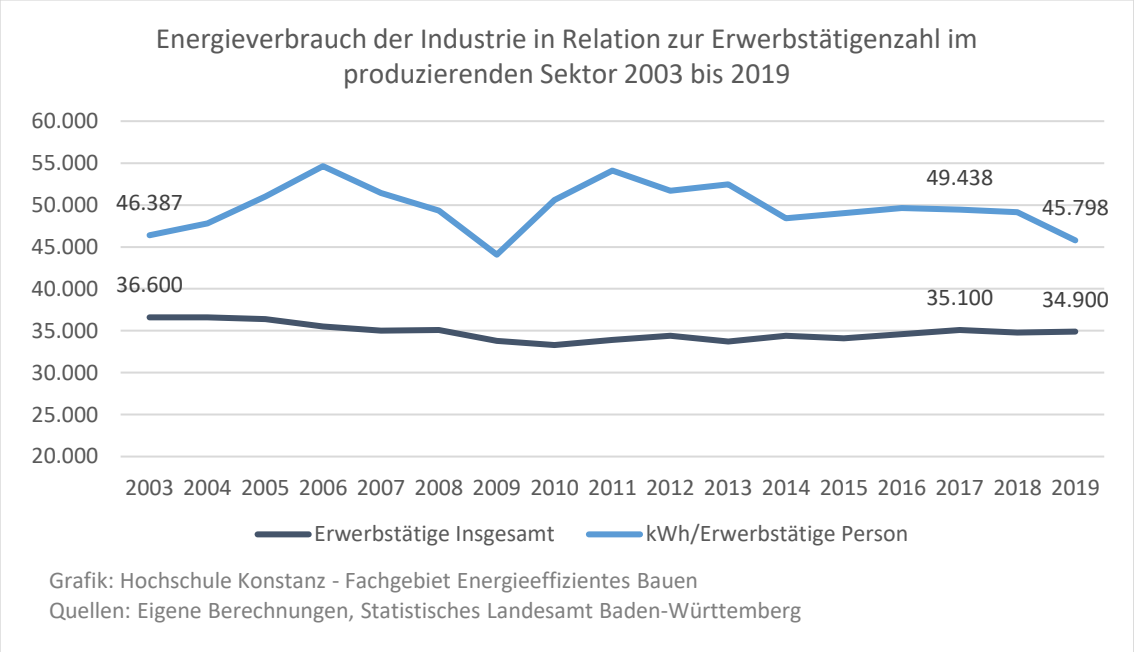


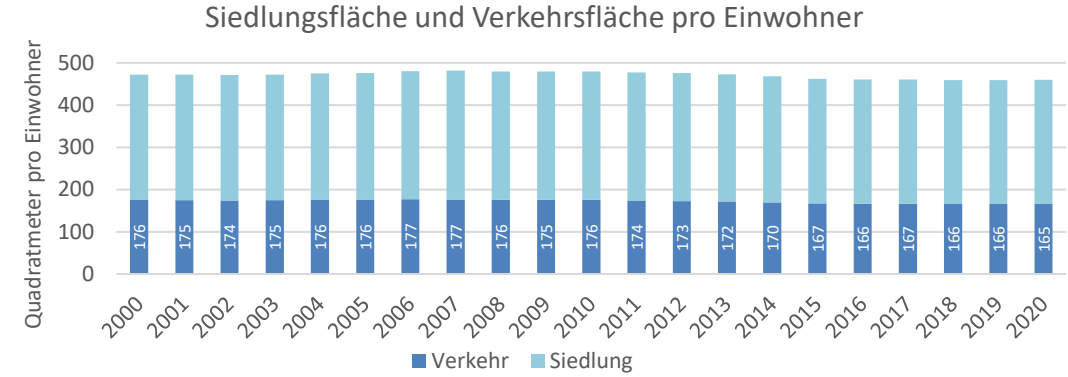
Abbildung 29: Energieverbrauch der Industrie in Relation zur Erwerbstätigenzahl im produzierenden Sektor

2.6 Verkehrsstruktur

2.6.1 Verkehrsfläche

Pro Einwohner wurden im Jahr 2020 165 m² Verkehrsfläche genutzt. Im Jahr 2010 lag dieser Wert noch bei mehr als 175 m². Dies entspricht einem Rückgang um 5,9 Prozent, der auf ein relativ starkes Bevölkerungswachstum zurückzuführen ist. Absolut ist die Verkehrsfläche in diesem Zeitraum (2010-2020) jedoch um 1,6 Prozent gewachsen.

Der Anteil der Verkehrsfläche an der gesamten Siedlungs- und Verkehrsfläche lag im Jahr 2020 bei 36,5 Prozent. Im Jahr 2010 lag ihr Anteil noch bei 37,2 Prozent.

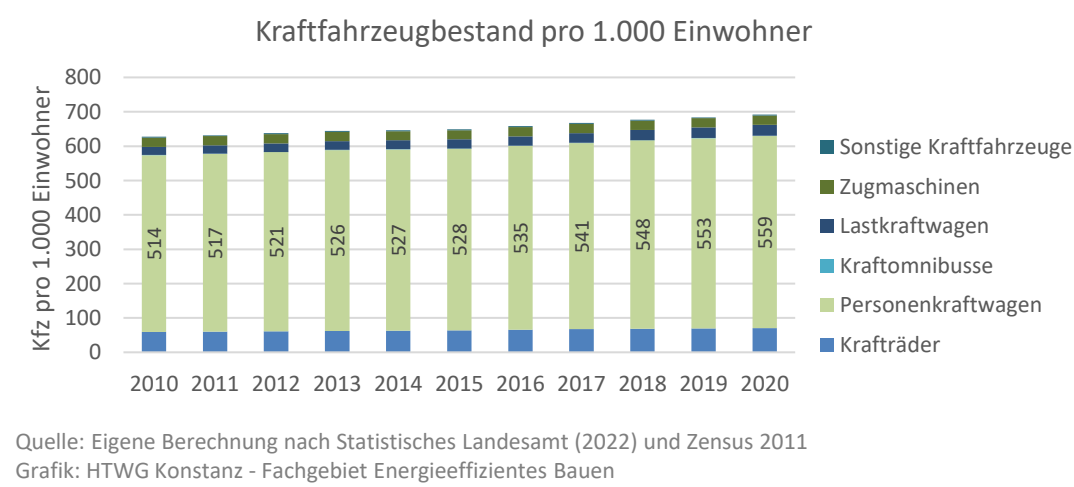


Quelle: Eigene Berechnung nach Statistisches Landesamt (2022) und Zensis 2011
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen

Abbildung 30: Siedlungsfläche und Verkehrsfläche pro Einwohner

2.6.2 Kraftfahrzeugbestand

Im Jahr 2020 umfasste der Kraftfahrzeugbestand insgesamt 198.471 Fahrzeuge, davon waren 163.183 Personenkraftwagen. Umgerechnet auf die Bevölkerung entspricht dies 692 Kfz pro 1.000 Einwohner, wovon es sich bei 559 um Pkw handelte. Dies entspricht einem Pkw-Anteil von fast 81 Prozent am Kraftfahrzeugbestand.



Quelle: Eigene Berechnung nach Statistisches Landesamt (2022) und Zensus 2011
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen

Abbildung 31: Kraftfahrzeugbestand pro 1.000 Einwohner

Somit ist der Kfz-Bestand pro 1.000 Einwohner im Zeitraum 2010 bis 2020 um 10 Prozent gewachsen. Dies ist vor allem auf den großen Anteil des Pkw-Bestandes zurückzuführen, der in diesem Zeitraum um 9 Prozent zugenommen hat. Unterdessen hielten sich die Wachstumsraten bei Krafträdern und Omnibussen mit jeweils rund einem Fünftel ungefähr die Waage. Bemerkenswert ist das Wachstum des Lkw-Bestandes, der sich in zehn Jahren fast um ein Drittel vergrößert hat. Die Wachstumsraten bei Pkw und Lkw belegen, dass die angestrebte Verlagerung des Verkehrs auf den Umweltverbund erst am Anfang steht.

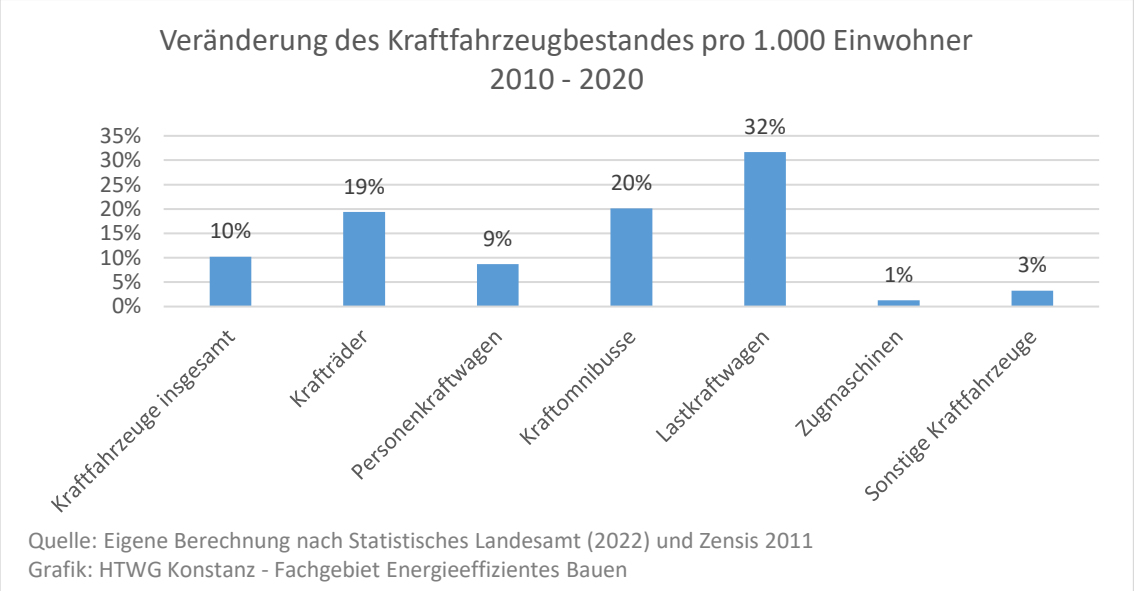


Abbildung 32: Relative Veränderung des Kraftfahrzeugbestandes pro 1.000 Einwohner 2010 - 2020

Noch ist der Trend zu mehr Pkw pro 1.000 Einwohner ungebrochen. Mit Ausnahme der Jahre 2014 und 2015, in denen der Zuzug von Studierenden und Schutzsuchenden besonders hoch war, bewegt sich das jährliche Wachstum des Pkw-Bestandes pro 1.000 Einwohner seit 2016 tendenziell sogar auf einem höheren Niveau als zwischen 2010 und 2014.

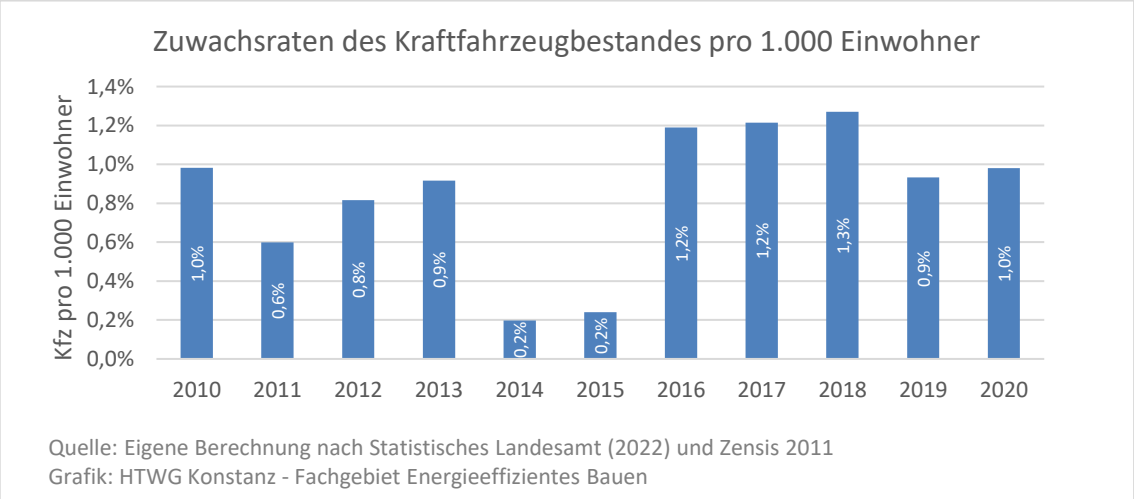


Abbildung 33: Jährliche Zuwachsraten des Kraftfahrzeugbestandes pro 1.000 Einwohner

Insgesamt ist der Pkw-Bestand im Zeitraum 2010-2015 um 2.731 Fahrzeuge gewachsen, im Zeitraum 2016-2021 kamen jährlich rund 3.011 Pkw hinzu.

2.6.3 Motorisierung der Pkw

Im Jahr 2022 waren 2.794 von 164.538 Pkw reine Elektrofahrzeuge. Dies entspricht einem Anteil von 1,7 Prozent am Pkw-Bestand. Mit Benzin wurden 65,8 Prozent der Pkw angetrieben, der Anteil von Diesel lag bei 28,5 Prozent. Mit Gas als Treibstoff fuhren 0,8 Prozent der Pkw im Landkreis. Hinzu kamen 3,2 Prozent Hybridfahrzeuge.

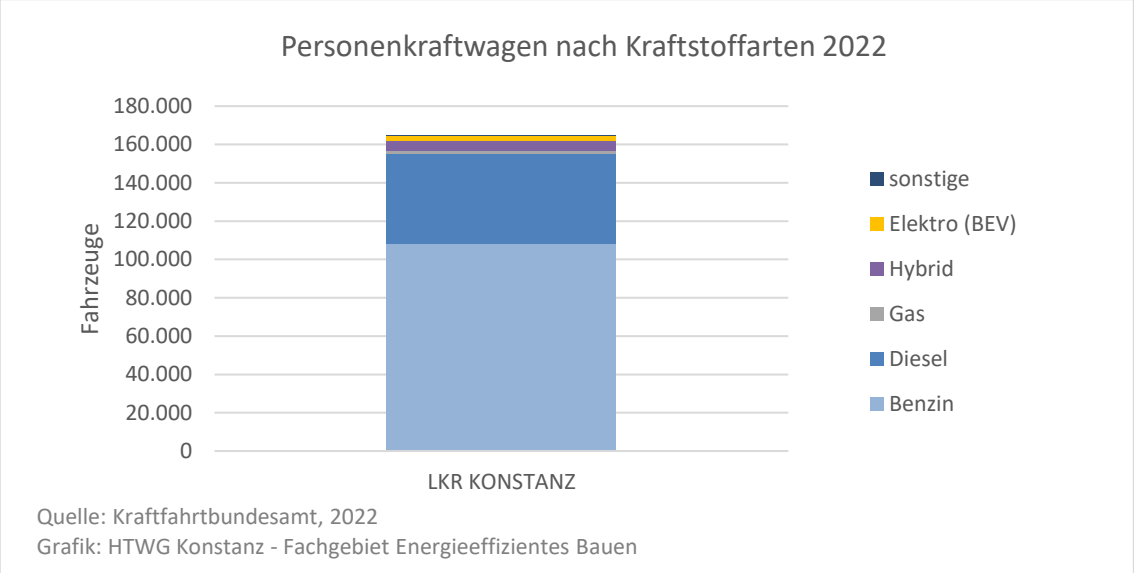


Abbildung 34: Personenkraftwagen nach Kraftstoffarten im Jahr 2022

Das Ziel der Bundesregierung für das Jahr 2020 wurde mit nur 530 Elektroautos deutlich verfehlt. Im Jahr 2022 sind nun aber bereits 77 Prozent des einstigen Zielwertes erreicht, sodass dieser wahrscheinlich mit einer Verspätung von nicht ganz drei Jahren erreicht und übertroffen wird.

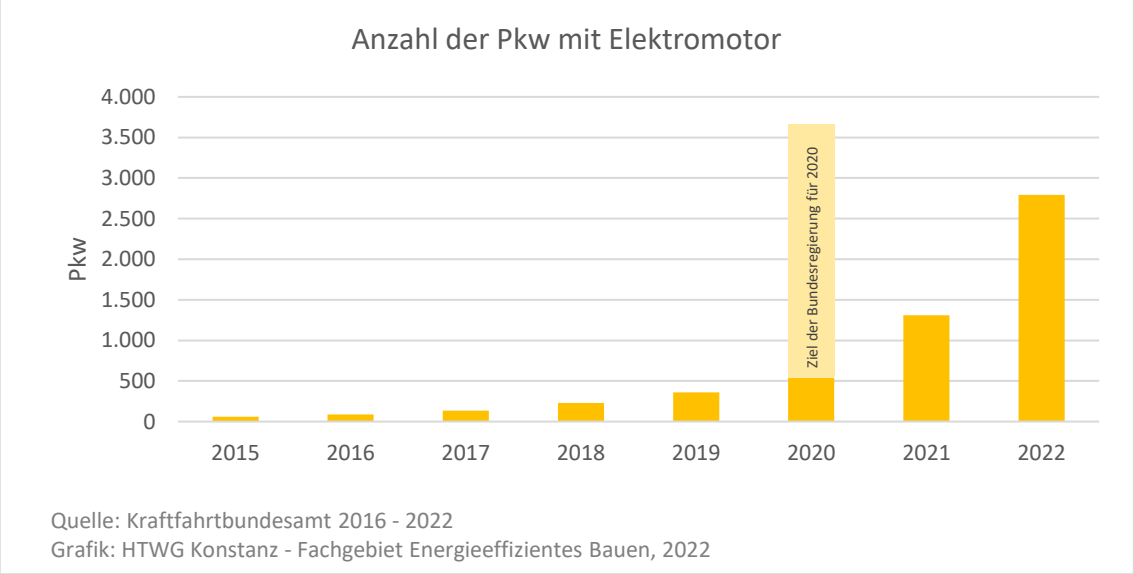


Abbildung 35: Anzahl der Pkw mit Elektromotor und Ziel der Bundesregierung für 2020

2.6.4 Berufspendler über die Kreisgrenze

Die Zahl der Berufspendler über die Kreisgrenze nimmt weiter zu. Dabei ist die Zunahme bei den Berufsauspendlern seit etwa 2008 kontinuierlich größer als bei den Berufseinpendlern. Zwischen 2010 und 2020 betrug sie 40 Prozent. Die Zunahme der Einpendler betrug im gleichen Zeitraum knapp 28 Prozent. 2021 erfolgte dann erneut ein deutlicher Anstieg.

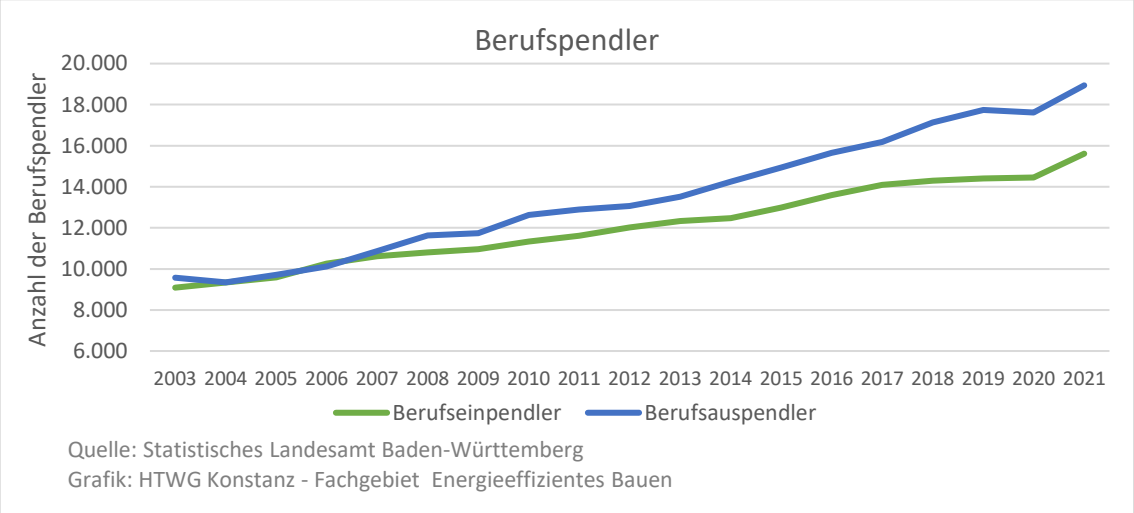


Abbildung 36: Berufspendler über die Kreisgrenze

So entsprach die Zahl der Auspendler im Jahr 2021 bereits 6,6 Prozent der Einwohnerzahl des Landkreises Konstanz. Im Jahr 2017 hat dieser Wert noch bei 5,7 Prozent gelegen. Das entspricht einer Zunahme von 16 Prozent.

Die Zahl der Einpendler ist im gleichen Zeitraum im Verhältnis zur Einwohnerzahl des Landkreises von 5,0 auf 5,4 Prozent gestiegen. Das entspricht einer Zunahme um 8 Prozent.

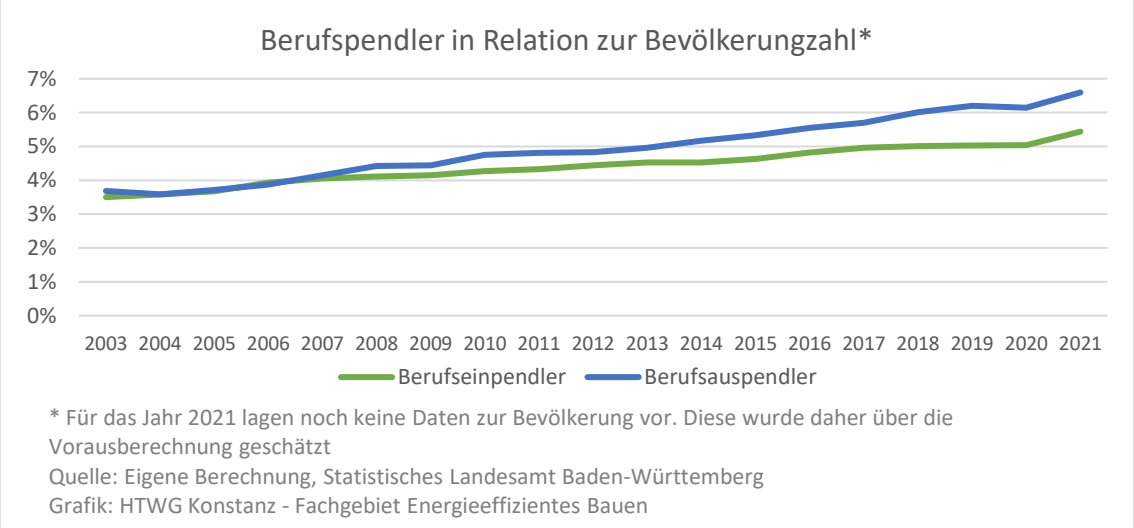


Abbildung 37: Berufspendler in Relation zur Bevölkerungszahl

Setzt man die Anzahl der Berufspendler über die Kreisgrenze ins Verhältnis zur Erwerbstätigenzahl am Arbeitsort Landkreis Konstanz, liegt der Wert bei den Auspendlern im Jahr 2020 bei 11,9 Prozent, bei den Einpendlern bei 9,8 Prozent.

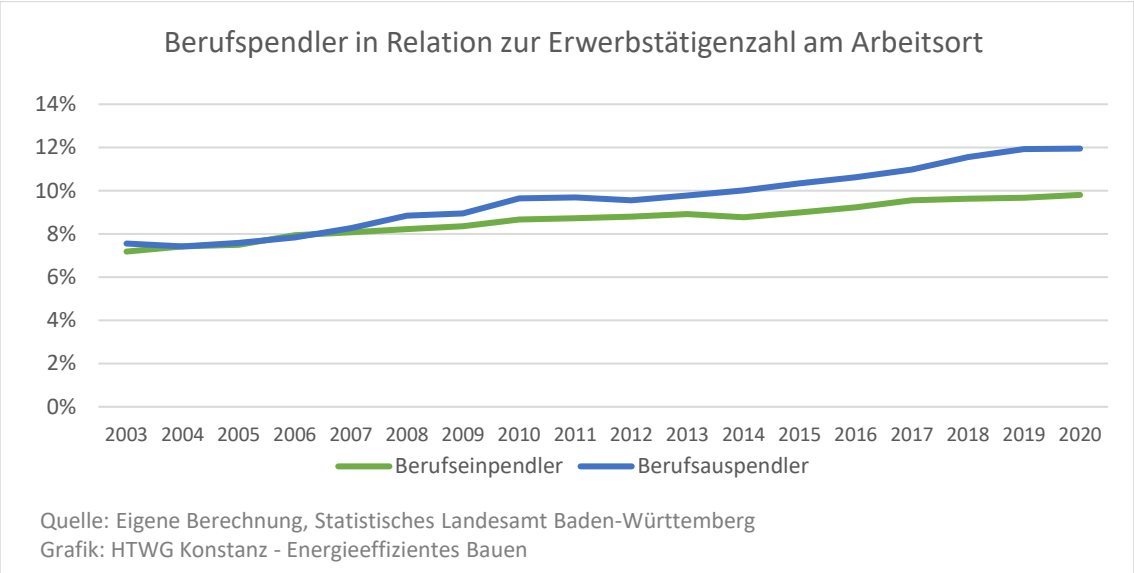


Abbildung 38: Berufspendler in Relation zur Erwerbstätigenzahl am Arbeitsort

2.6.5 Fahrleistungen im Straßenverkehr

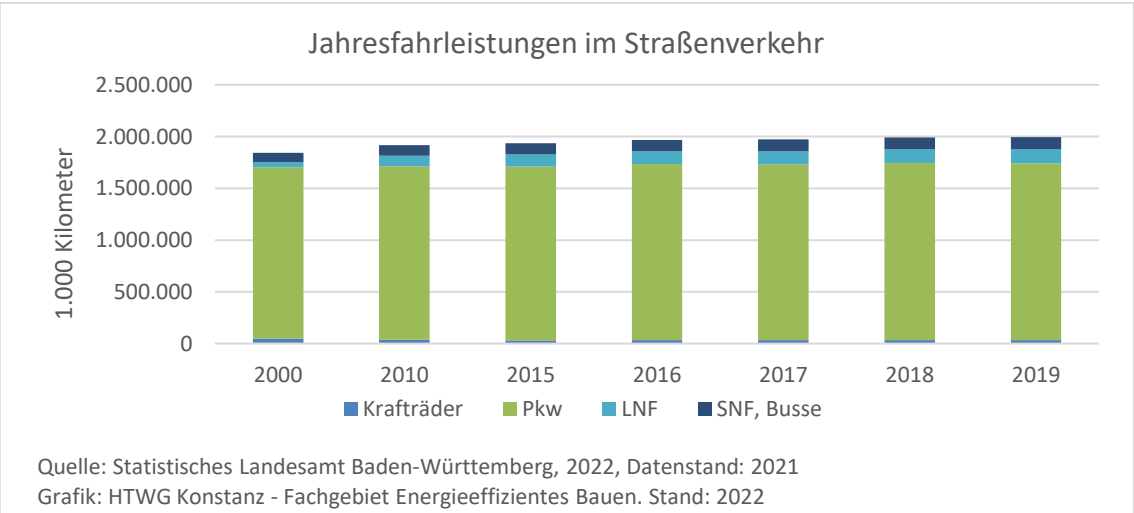
Die Jahresfahrleistung im Straßenverkehr ist im Landkreis Konstanz zwischen den Jahren 2000 und 2010 insgesamt um 3,3 Prozent auf 1,919 Mrd. km angestiegen (vgl. Tabelle 2). Im kürzeren Zeitraum zwischen 2010 und 2019 fiel die Zunahme mit rund 3,9 Prozent bereits größer aus, sodass die Fahrleistung auf 1,995 Mrd. Kilometer gesteigert wurde. Die jährliche Zunahme hat sich somit deutlich beschleunigt.

Tabelle 2: Jahresfahrleistungen im Straßenverkehr 2000 bis 2019 (1.000 km)

Jahr	Krafträder	Pkw	LNF	SNF, Busse	Insgesamt
2000	49.318	1.654.813	47.971	91.105	1.856.638
2010	37.800	1.676.700	99.900	104.400	1.918.700
2015	31.700	1.679.200	117.200	109.200	1.937.400
2016	32.400	1.702.600	122.000	111.300	1.968.300
2017	32.700	1.699.800	127.400	112.700	1.972.500
2018	33.100	1.709.900	133.500	115.100	1.991.600
2019	33.500	1.708.000	138.800	114.800	1.995.100

Quelle: Statistisches Landesamt, 2022, Regionaldatenbank

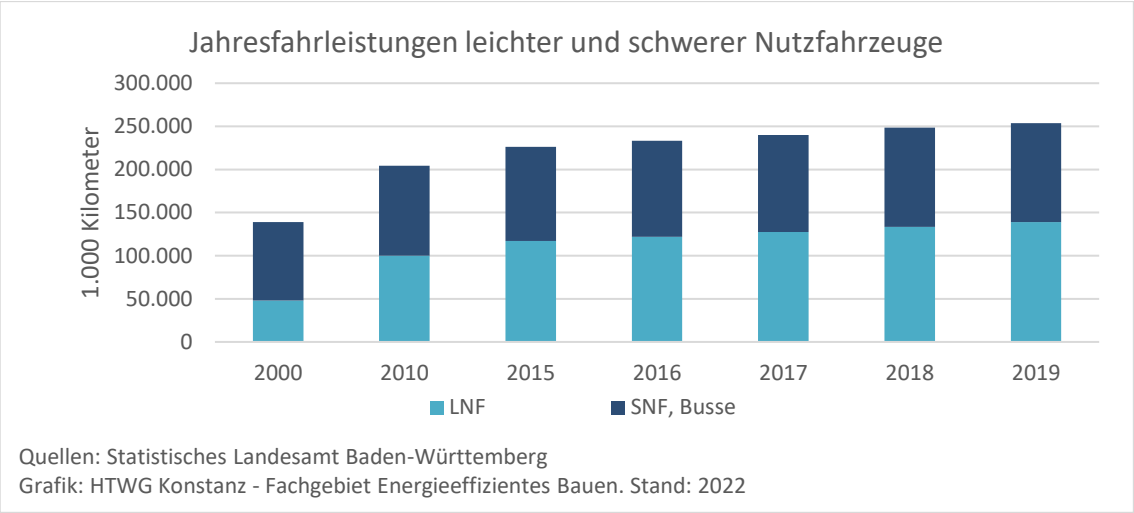
Der Pkw-Verkehr hat im Jahr 2017 mit 86,2 Prozent den größten Anteil am gesamten Verkehrsaufkommen. Im Jahr 2019 ist dieser Wert auf 85,6 Prozent gesunken. Im Vergleich zu 2010 hat der Pkw-Verkehr jedoch um 2 Prozent zugenommen. Der Pkw-Verkehr wirkt sich im Landkreis somit weiterhin entscheidend auf den Energieverbrauch und die THG-Emissionen des Verkehrs aus. Der Anteil leichter und schwerer Nutzfahrzeuge ist zwischen den Jahren 2000 und 2019 von 7,5 auf 12,7 Prozent angewachsen. Der Hauptanteil des Zuwachses entfiel dabei auf die leichten Nutzfahrzeuge, deren Anteil von 2,6 auf 7,0 Prozent stieg. Ihre Fahrleistung ist zwischen 2010 und 2019 um 39 Prozent angestiegen.



Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022, Datenstand: 2021
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022

Abbildung 39: Jahresfahrleistungen im Straßenverkehr in 1.000 km

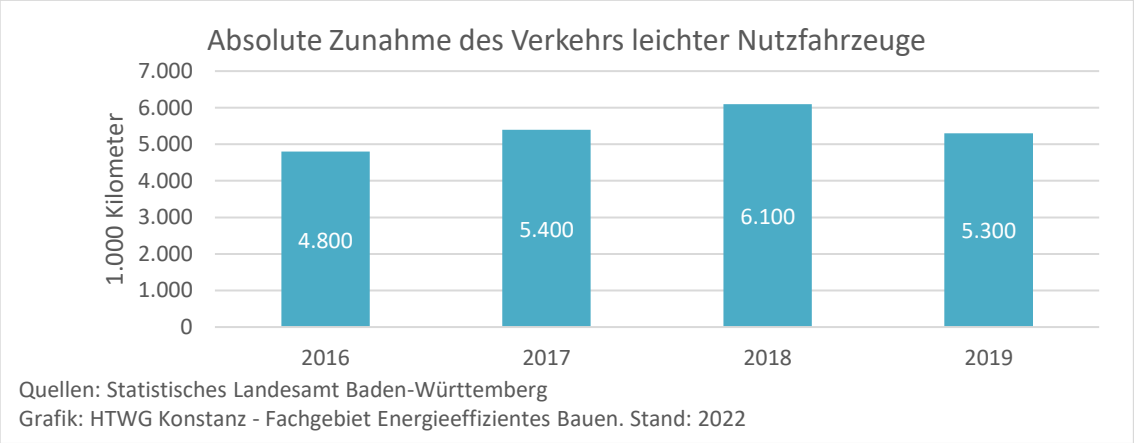
Allein im Jahr 2019 nahm die Fahrleistung der leichten Nutzfahrzeuge um 4 Prozent zu.



Quellen: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022

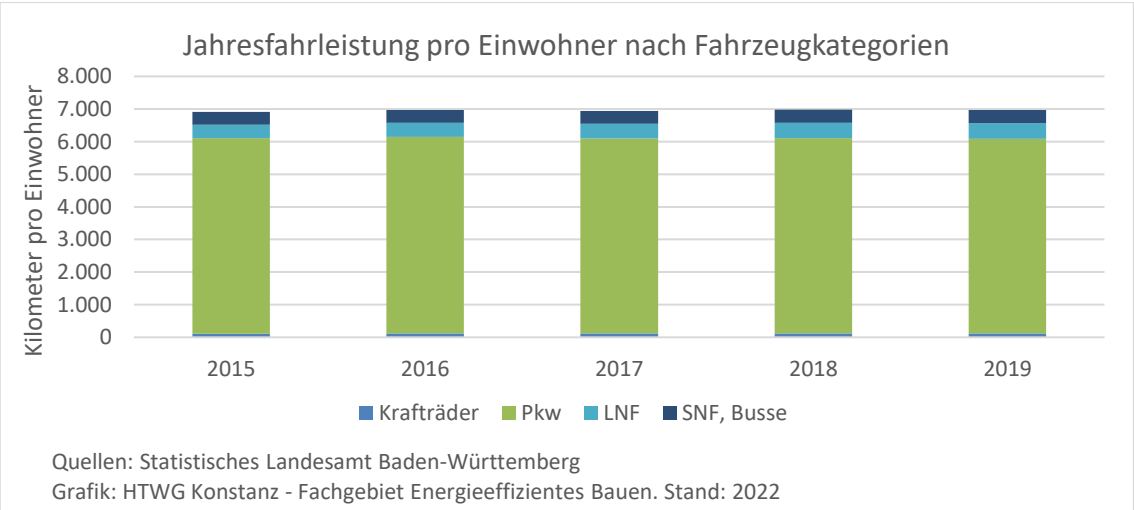
Abbildung 40: Jahresfahrleistungen leichter und schwerer Nutzfahrzeuge

Im Durchschnitt hat der Verkehr leichter Nutzfahrzeuge seit 2016 um 5.400 km pro Jahr zugenommen. So ist die Fahrleistung pro Einwohner insgesamt um 0,8 Prozent gestiegen, obwohl der Pkw-Verkehr in diesem Zeitraum pro Einwohner um 0,5 Prozent abgenommen hat.



Quellen: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022

Abbildung 41: Absolute Zunahme des Verkehrs leichter Nutzfahrzeuge



Quellen: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022

Abbildung 42: Jahresfahrleistung pro Einwohner nach Fahrzeugkategorien

Während der Pkw-Verkehr und der Verkehr schwerer Nutzfahrzeuge vor allem auf Autobahnen zugenommen hat, ist der Verkehr leichter Nutzfahrzeuge auf allen Straßenarten deutlich angewachsen.

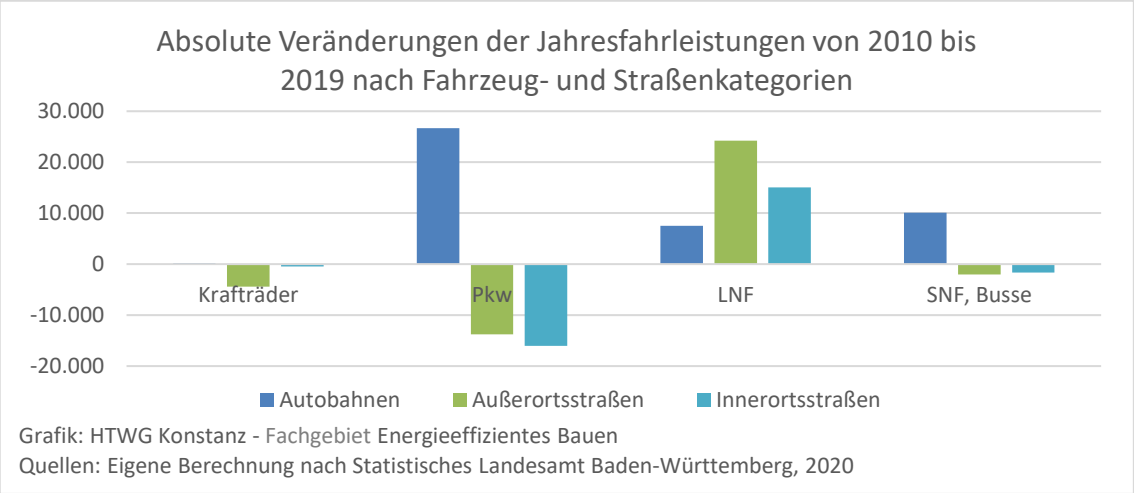


Abbildung 43: Absolute Veränderungen der JFL von 2010 bis 2019 nach Fahrzeug- und Straßenkategorien

So hat der Verkehr leichter Nutzfahrzeuge trotz ihres geringen Anteils am Kfz-Bestand und an der Gesamtfahrleistung mehr zur Zunahme der Gesamtfahrleistung beigetragen als der Pkw-Verkehr. Damit ist offensichtlich, dass die Zunahme der Lieferdienste den Pkw-Verkehr bisher nicht reduzieren konnte. Es ist aber möglich, dass sie zumindest das Wachstum des Pkw-Verkehrs verlangsamt hat. Für den direkten Vergleich mit den Veränderungen zwischen 2000 und 2010 ist die aufgrund des Zensus 2011 notwendige Schätzung zwar nur bedingt geeignet. Dennoch deutet in den Tendenzen einiges daraufhin, dass der Pkw-Verkehr inzwischen langsamer zunimmt als die Bevölkerungszahl, womit die Fahrleistung der Pkw pro Person tatsächlich abnimmt. Hinsichtlich der Frage, ob Lieferdienste eine mangelhafte Flächenabdeckung durch eine dezentrale Nahversorgung kompensieren können, wird nicht zuletzt angesichts der dargestellten Tendenzen noch Forschungsbedarf gesehen.

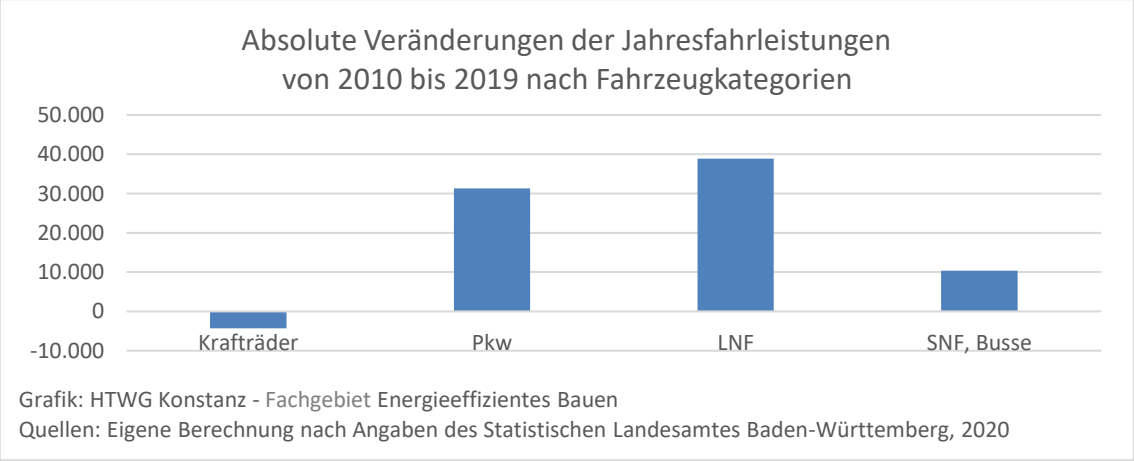


Abbildung 44: Absolute Veränderungen der JFL von 2010 bis 2019 nach Fahrzeugkategorien

2.6.6 ÖPNV

2.6.6.1 Beförderungsleistung

Gegenüber dem Jahr 2017 hat die Beförderungsleistung des VHB deutlich zugenommen. Mit einer Zuwachsrate von 7,6 Prozent ist die Anzahl der Personenkilometer somit zwischen 2017 und 2019 mehr als dreieinhalbmal so stark angestiegen wie im Vergleichszeitraum 2015 bis 2017. 2020 gab es allerdings einen durch die Corona-Pandemie bedingten Einbruch bei den Fahrgastzahlen.

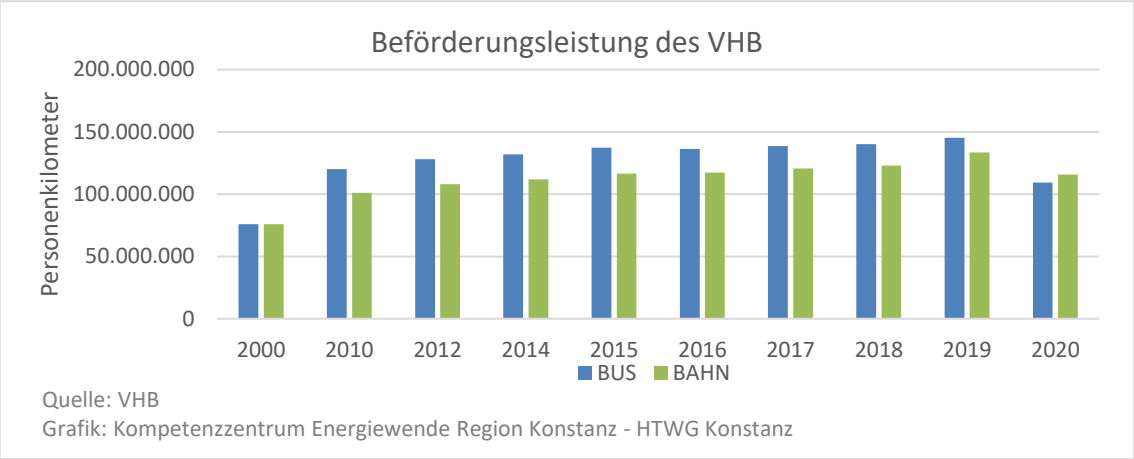


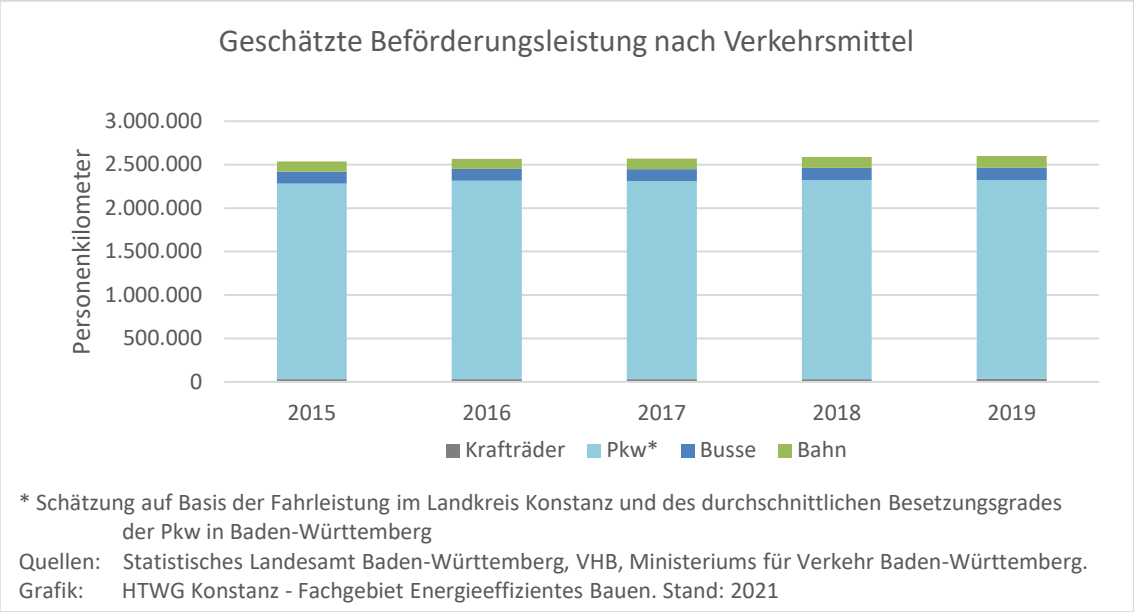
Abbildung 45: Beförderungsleistung des VHB

2.6.6.2 Anteil des VHB an der motorisierten Personenbeförderung

Der Modal Split im Landkreis Konstanz ist bisher nicht bekannt. Daher lässt sich der Anteil des öffentlichen Verkehrs an der Personenbeförderung nur anhand von Durchschnittswerten zum Besetzungsgrad der Pkw in Baden-Württemberg schätzen. In Baden-Württemberg hat der ÖPNV einen Anteil von 10 Prozent an den zurückgelegten Wegen, 44 Prozent der Wege werden dagegen von Pkw-Fahrern zurückgelegt und 15 Prozent von Pkw-Mitfahrern (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2018). Daraus ergibt sich ein Besetzungsgrad von 1,34 Personen pro Pkw. Legt man einer Schätzung der Beförderungsleistung der Pkw im Landkreis Konstanz diesen Besetzungsgrad zugrunde, ergibt dies eine Beförderungsleistung von rund 2,29 Milliarden Personenkilometern im Jahr 2019. Diese Schätzung ist jedoch schon deshalb mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, da der Besetzungsgrad streckenbezogen (pro Kilometer) höher ist als wegebezogen (pro Fahrt).

Insgesamt ergibt diese Schätzung eine Personenbeförderungsleistung der Kraftfahrzeuge von 2,60 Milliarden Personenkilometern im Jahr 2019. Daran haben Bus und Bahn des VHB einen Anteil von 5,6 und 5,1 Prozent, Pkw von 88,0 Prozent und Krafträder von 1,3 Prozent. Führt man diese Schätzung auch für die Jahre 2015 bis 2018 mit dem gleichen Besetzungsgrad der Pkw durch, schwankt der gemeinsame Anteil von Bus und Bahn an der Personenbeförderungsleistung dieser vier Kraftfahrzeugkategorien zwi-

schen 10 und 11 Prozent. Geschätzt wurde nur die Beförderungsleistung der Kraftfahrzeuge, weil es für eine Schätzung der Anteile des Rad- und Fußverkehrs an den zurückgelegten Personenkilometern keine ausreichenden Anhaltspunkte gibt.



* Schätzung auf Basis der Fahrleistung im Landkreis Konstanz und des durchschnittlichen Besetzungsgrades der Pkw in Baden-Württemberg

Quellen: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, VHB, Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg.

Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2021

Abbildung 46: Geschätzte Gesamtbeförderungsleistung wichtiger Personenverkehrsmittel

2.6.7 Radwegenetz

Das mit dem Rad befahrbare Wegenetz im Landkreis Konstanz umfasst 824 Kilometer. Davon sind 28 Prozent als Radweg, Schutzstreifen oder gemeinsamer Rad- und Fußweg ausgewiesen. Bei 10 Prozent handelt es sich um kraftfahrzeugfreie Straßen (z. B. landwirtschaftliche Wege). Umgerechnet auf die Bevölkerung des Jahres 2018 ergibt dies eine Radwegelänge von 1,12 Metern pro Einwohner.

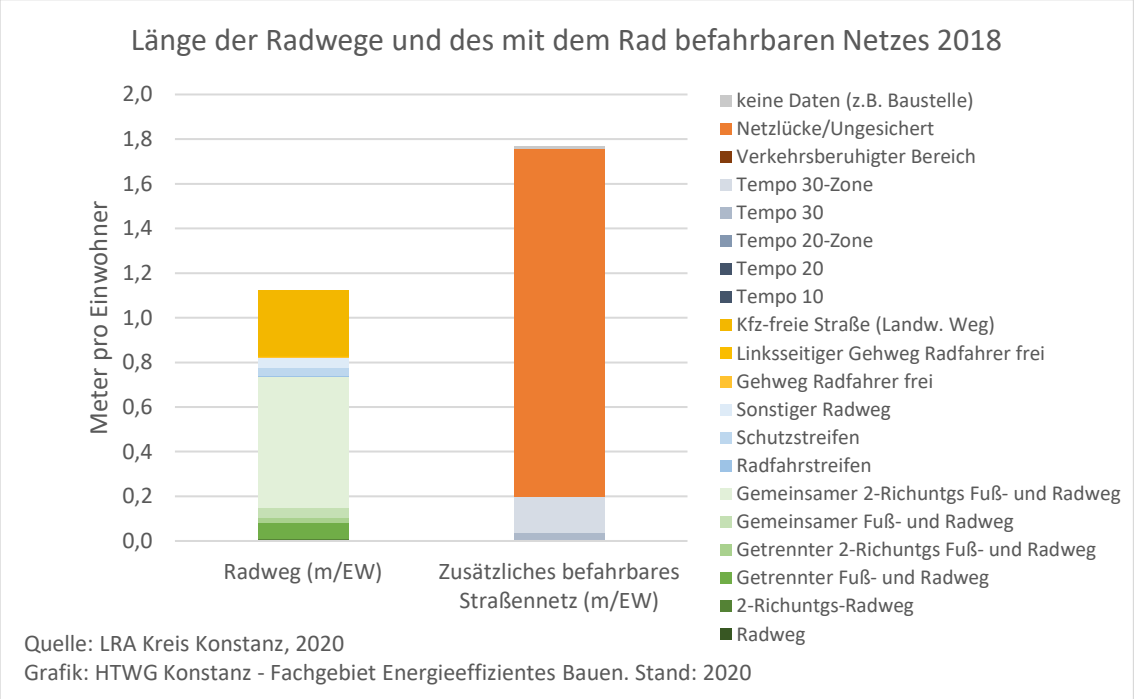


Abbildung 47: Länge des mit dem Rad befahrbaren Netzes und der Radwege

Rund 7 Prozent des Radwegenetzes befinden sich in Zonen mit zulässigen Höchstgeschwindigkeiten unter 30 km/h (Tempo 10, Tempo 20, Tempo 30) und verkehrsberuhigten Bereichen. Rund 54 Prozent sind als Netzlücke/Ungesichert ausgewiesen. Insgesamt standen Radfahrern im Jahr rund 2,89 Meter Wegenetz pro Einwohner zur Verfügung.

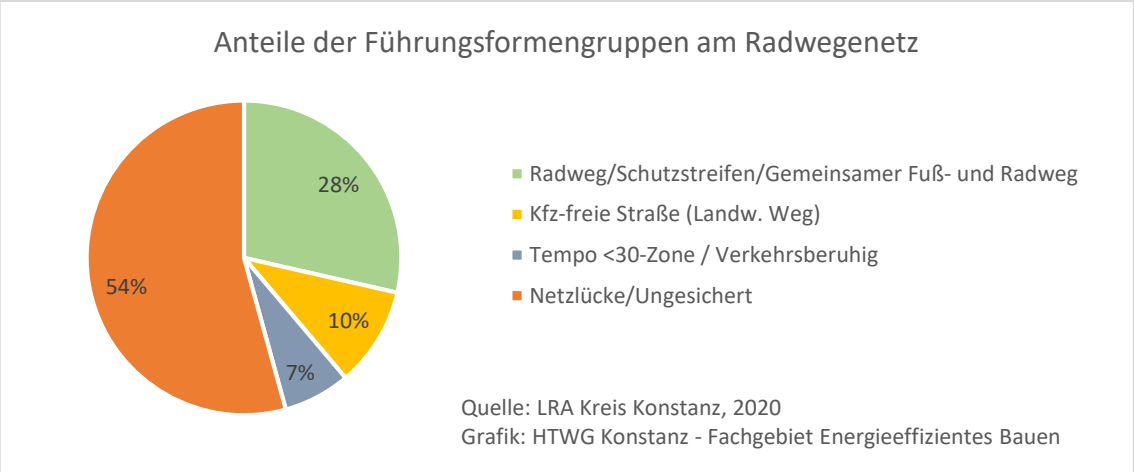


Abbildung 48: Anteile der Führungsformengruppen am Radwegenetz

Für einen Vergleich mit anderen Regionen, stehen auf Landkreisebene nur wenige Daten zur Verfügung. Mit rund 14 Metern steht Radfahrern im Landkreis Uckermark, je nach Datenwahl, die fünf- bis dreizehnfache Netzlänge zur Verfügung (Landkreis Uckermark, 2017). Beim Landkreis Uckermark handelt es sich jedoch um einen deutlich weniger dicht besiedelten Landkreis, sodass pro Person auch deutlich mehr Weglänge errichtet werden muss. Trotzdem zeigt der Vergleich, wie groß die Spanne innerhalb eines dicht besiedelten Industrielandes sein kann. Interessant ist auch der Vergleich mit der Stadt Münster, die nur 10 Prozent mehr Einwohner hat, aber über 62 Prozent mehr Radwegkilometer verfügt.

Tabelle 3: Radwegenetz des Landkreises Konstanz im Vergleich

Region	Einwohner	Km Fern- & Regionalradweg	Km in Kommunen	Kilometer Insgesamt
Kreis Uckermark	119.552	866	852	1718
Stadt Münster	314.319	k. A.	k. A.	517
Kreis Konstanz	285.325	k. A.	k. A.	320

Quellen: Landkreis Uckermark (2017), WN (2019)

Der Landkreis Konstanz bewegt sich mit 1,1 Metern Radweg pro Einwohner auf dem Niveau der Stadt Osnabrück, die in einem Vergleich deutscher Großstädte im Jahr 2019 Rang 8 belegte. Über das längste Radwegenetz verfügt unter deutschen Großstädten die Stadt Münster mit 1,65 Metern pro Einwohner. (WN, 2019)

Tabelle 4: Radweglänge pro Einwohner im Vergleich

Region	Meter Fern- & Regionalradweg	Meter in Kommunen	Meter Radweg insgesamt
Kreis Uckermark	7,2	7,1	14,4
Stadt Münster			1,6
Stadt Hamm			1,4
Kreis Konstanz			1,1
Stadt Osnabrück			1,1

Quellen: Landkreis Uckermark (2017), WN (2019)

2.6.8 Schifffahrt

Der Endenergieverbrauch der Bodensee-Schiffsbetriebe GmbH (BSB) ist in den Jahren 2014 bis 2018 um 12,5 Prozent auf 26,5 GWh gestiegen. Im Jahr 2017 lag er bei 25,2 GWh. Im Jahr 2019 sank der Verbrauch auf 25,5 GWh, bevor er im Jahr 2020 aufgrund der Corona-Krise und des geringeren Dieselbedarfs auf 18,9 GWh gefallen ist.

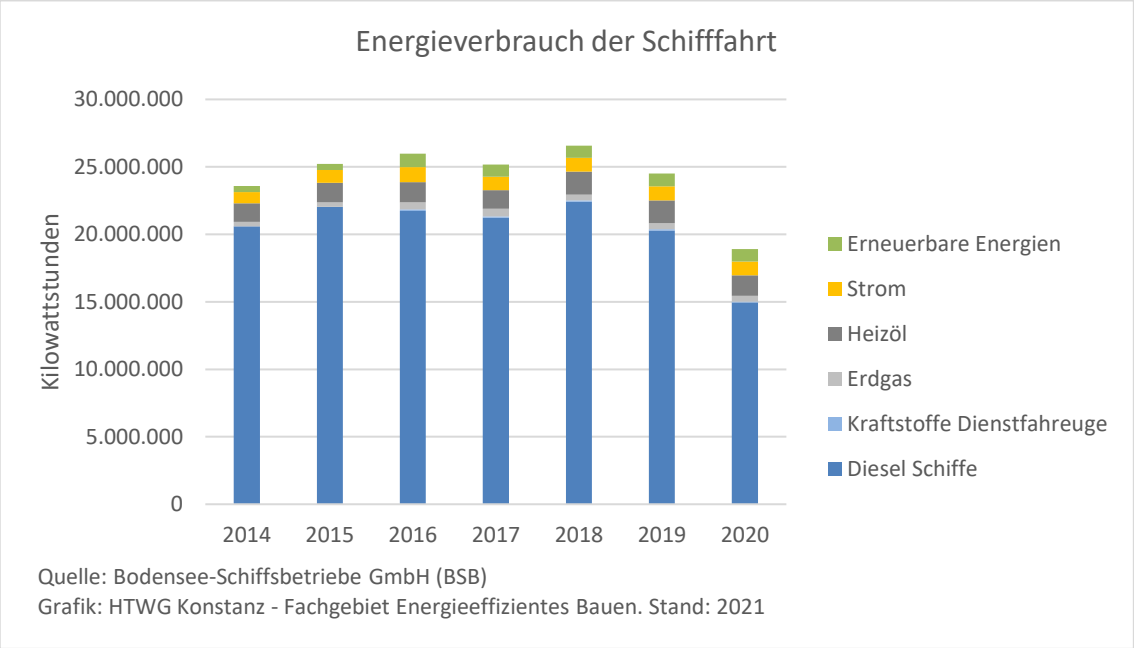


Abbildung 49: Endenergieverbrauch der BSB

2.7 Struktur Versorgung und Entsorgung

2.7.1 Netze

Stromnetzbetreiber im Landkreis Konstanz sind die Netze-BW GmbH, die ED-Netze sowie mehrere Stadtwerke und kommunale Betreiber, wie die Stadtwerke Konstanz, die Stadtwerke Radolfzell, die Stadtwerke Engen, die Stadtwerke Stockach, die Gemeindewerke Steißlingen und das Elektrizitätswerk des Kantons Schaffhausen AG.

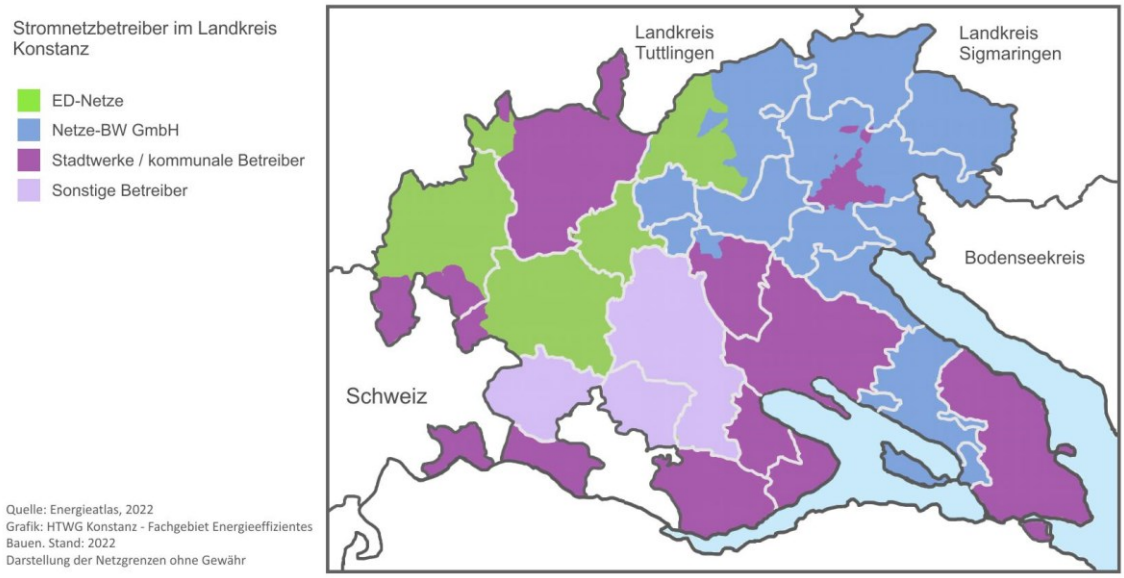
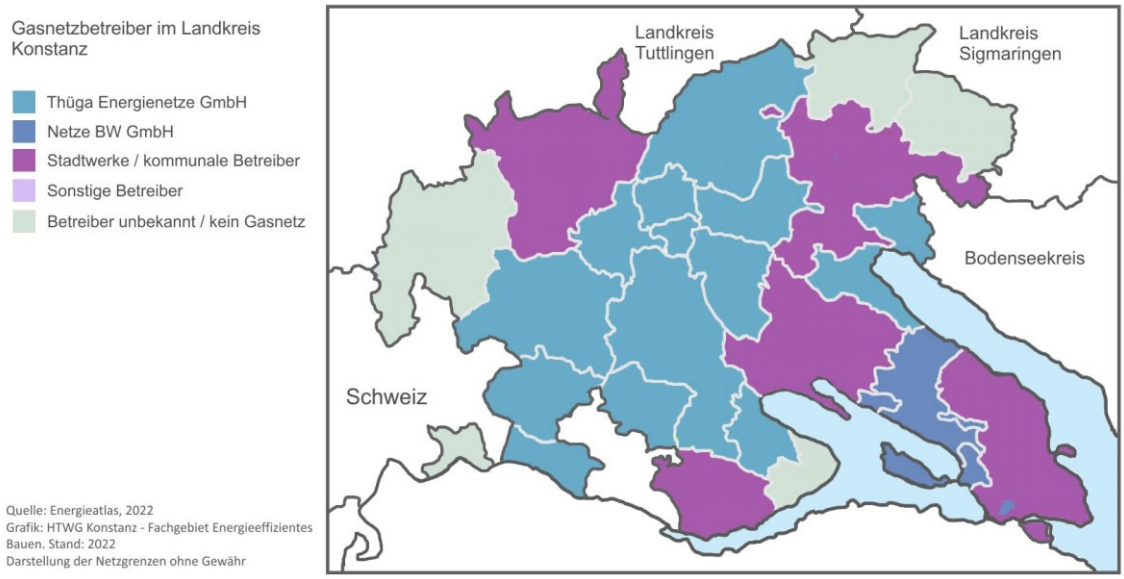


Abbildung 50: Stromnetzbetreiber im Landkreis Konstanz

Gasnetzbetreiber im Landkreis Konstanz sind die Thüga Energienetze GmbH, die Netze-BW GmbH sowie mehrere Stadtwerke und kommunale Betreiber, wie die Stadtwerke Konstanz, die Stadtwerke Radolfzell, die Stadtwerke Engen und die Stadtwerke Stockach.



2.7.2 Beheizungsstruktur Wohngebäude

Seit dem Jahr 2016 wird der Verbrauch von Heizöl und Erdgas der Haushalte und Kleinverbraucher durch die LUBW nach einer neuen Methodik geschätzt. Nach Auskunft der LUBW wurde der Anteil des Heizöls bisher überschätzt. Auf Basis der nun vorliegenden neueren Daten wurde die Beheizungsstruktur des Landkreises im Jahr 2019 geschätzt. Nach dieser Schätzung ergibt sich ein Anteil der Gasheizungen von ca. 55 Prozent und ein Anteil der Ölheizungen von ca. 28 Prozent. Der Anteil von Holzheizungen (Pellets, Hackschnitzel etc.) beträgt demnach ca. 8 Prozent, der Anteil von Wärmepumpen knapp 4 Prozent. Der geringe Nahwärmeanteil von ca. 2 Prozent umfasst nur bekannte Nahwärme und kann folglich auch etwas höher liegen.

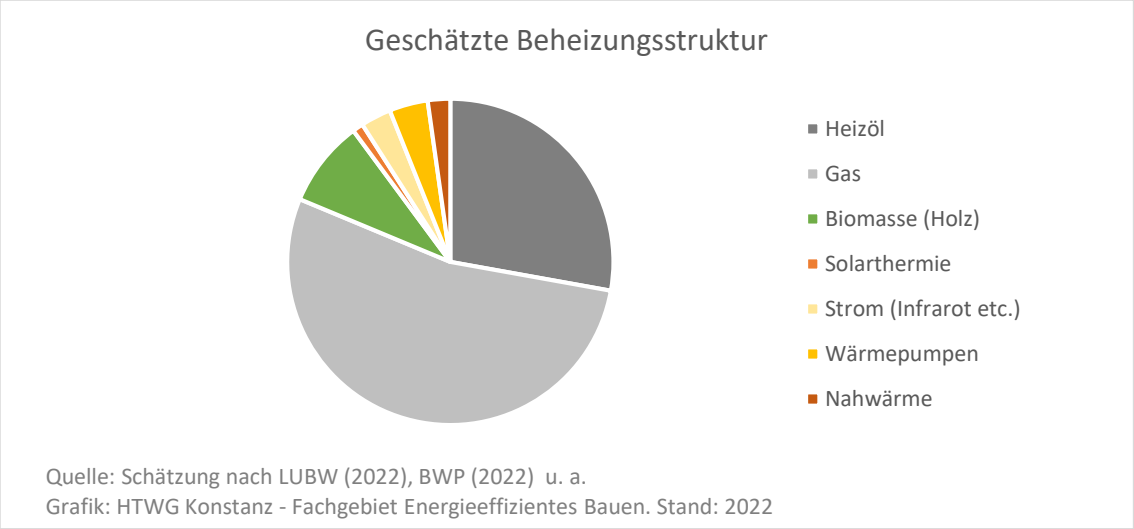


Abbildung 51: Geschätzte Beheizungsstruktur der Wohngebäude

Der Heizungsbestand in Wohngebäuden wurde auf ca. 68.200 Heizungen geschätzt.

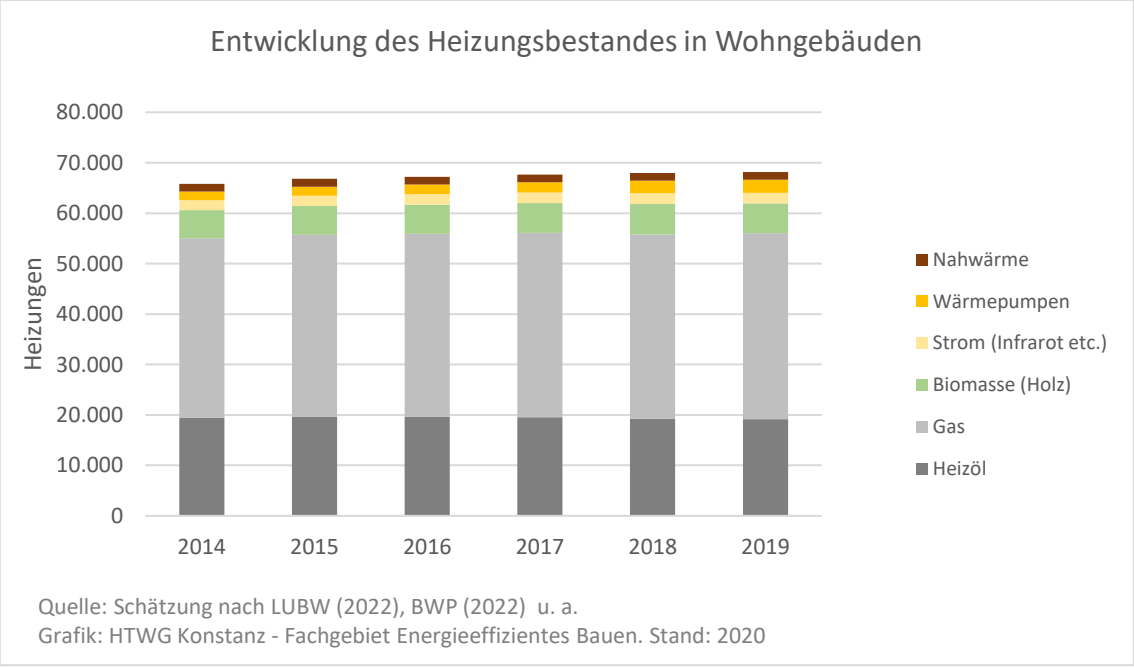


Abbildung 52: Geschätzter Heizungsbestand in Wohngebäuden

2.7.3 Wärmepumpen

Nach Berechnung des Bundesverbandes Wärmepumpe (BWP) stieg der Feldbestand von Wärmepumpen im Landkreis im Jahr 2019 auf 2.635. Dies bedeutet einen Zuwachs um 16,1 Prozent gegenüber dem Jahr 2018. Bei Erdwärmepumpen betrug der Zuwachs 6,2 Prozent, bei allen übrigen Umweltwärmepumpen 17,6 Prozent.

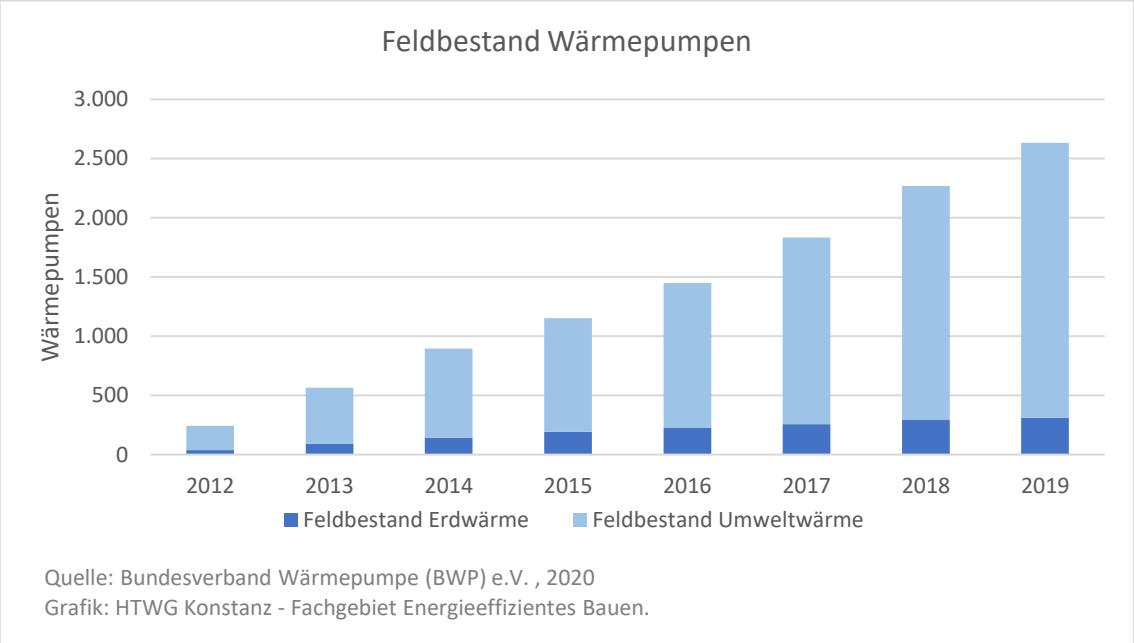


Abbildung 53: Feldbestand von Wärmepumpen

2.7.4 Ladeeinrichtungen

Nach Schätzung des DLR werden ca. 33 öffentliche oder halböffentliche Ladepunkte benötigt, um 1.000 Elektroautos auf die Straßen zu bringen (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt / KIT, 2016, S. 6). Dies entspricht ca. 30 Fahrzeugen pro Ladepunkt.

Der Gesamtbestand im Kreis Konstanz ist im Jahr 2022 auf 176 Ladepunkte angewachsen. Bei 2.794 Elektrofahrzeugen, die am 1. Januar 2022 gemeldet waren, kamen somit 15,9 Elektroautos auf einen Ladepunkt. Im Jahr 2018 lag dieser Wert noch bei 6,6 Elektrofahrzeugen.

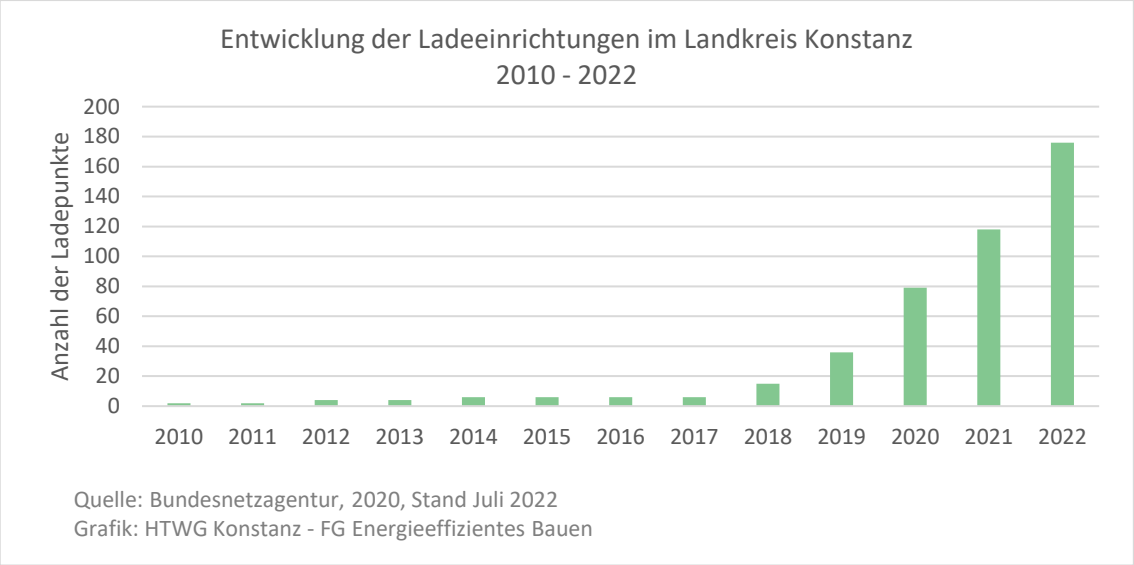


Abbildung 54: Entwicklung der Ladeeinrichtungen im Landkreis Konstanz 2010 - 2022

Im Jahr 2020 verfügten mit 11 Gemeinden noch weniger als die Hälfte der Gemeinden im Landkreis Konstanz über Ladesäulen. Im Jahr 2021 kamen 4 weitere Gemeinden hinzu und im Jahr 2022 verfügen bereits 21 der 25 Gemeinden über mindestens einen Ladepunkt.

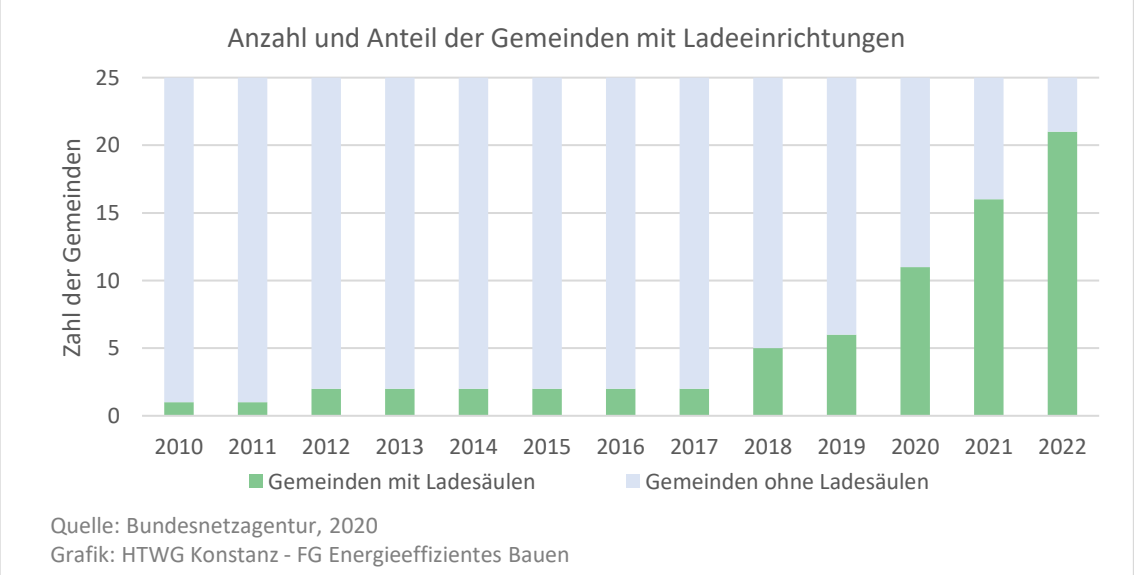


Abbildung 55: Anzahl und Anteil der Gemeinden mit Ladeeinrichtungen

Der Bestand an Ladepunkten pro 1.000 Einwohner hat sich zwischen 2020 und 2022 verdoppelt, von 0,29 auf 0,61. Die höchste Dichte erreichen Allensbach mit 1,95 Ladepunkten, Reichenau mit 1,49 Ladepunkten und Engen mit 1,46 Ladepunkten. Die meisten Gemeinden bewegen sich nahe dem Durchschnitt des Landkreises.

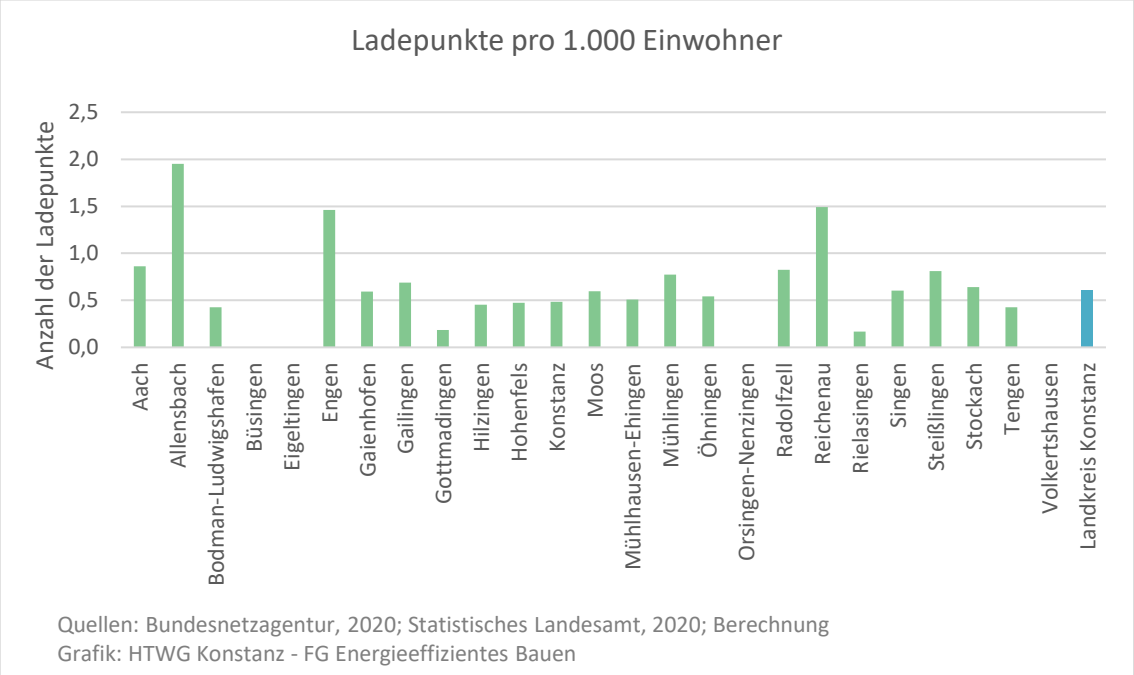


Abbildung 56: Ladepunkte pro 1.000 Einwohner nach Gemeinden

2.7.5 Konsum und Wertstoffe

Die in Abschnitt 3 dargestellte Energie- und Treibhausgasbilanz umfasst nur die vorliegenden Daten zum Energieverbrauch, der innerhalb der Grenzen des Landkreises Konstanz stattfindet. Es erscheint dennoch sinnvoll, auch die Entwicklung des Konsums einiger Konsumgüter im Landkreis zu verfolgen und, sofern möglich, Maßnahmen zur Reduktion von konsumbedingten Treibhausgasemissionen zu ergreifen, auch wenn diese Konsumgüter zu großen Teilen importiert werden.

Als besonders energie- und klimarelevante Verbrauchsgüter gelten z. B. Metalle, Zement/Beton, Holz und verschiedene weitere Baustoffe, wie Glas, Stein oder Ziegel, aber auch Papier, Textilien und Fleisch[5]. Den genauen Verbrauch dieser Güter im Landkreis darzustellen, ist aufgrund mangelnder Datengrundlage bisher nicht möglich. Das im Folgenden dargestellte Wertstoffaufkommen gibt jedoch zumindest Hinweise darauf, ob der Verbrauch einiger dieser Konsumgüter tendenziell zu- oder abnimmt. Ihre Erhebung ergänzt durch weitere Konsumgüter wird daher empfohlen.

2.7.5.1 Wertstoffaufkommen im Landkreis Konstanz

Eine Möglichkeit, die Entwicklung des Verbrauchs einiger klimarelevanter Verbrauchsgüter einzuschätzen, ist die Betrachtung der Wertstoffaufkommen in der Abfall- und Recyclingwirtschaft, auch wenn hiermit nur ein Teil des Verbrauchs erfasst wird, der nicht längerfristig genutzt, weiterverkauft oder im Restmüll entsorgt wird. Denn zumindest die Tendenz des Verbrauchs dürfte gut abgebildet sein, da Papier, Glas und Metalle sehr hohe Recyclingquoten aufweisen.

Die Abfall- und Wertstoffaufkommen im Landkreis unterscheiden sich zudem kaum von denen im Land Baden-Württemberg und in der Bundesrepublik, sodass es sehr wahrscheinlich ist, dass auch der Konsum dem Landes- bzw. Bundesdurchschnitt entspricht. Das Aufkommen wichtiger Wertstoffe ist in Abbildung 57 nach Stoffarten dargestellt.

Auffällig ist dabei vor allem, dass das Glasaufkommen in den Jahren 2019 und 2020 eine steigende Tendenz aufweist, während sich das Aufkommen von Papier und Pappen seit 2014 kontinuierlich reduziert. Leicht rückläufig ist auch das Kunststoffaufkommen, bei Metallen zeigen sich hingegen keine nennenswerten Veränderungen.

[5] Nach Empfehlung der Gesellschaften für Ernährung in Deutschland (DGE) und Österreich (AGES) sollte der Konsum von Fleisch maximal 20 bis 30 kg pro Person und Jahr betragen. Ein darüberhinausgehender Verbrauch ist nicht nur mit vermeidbaren CO_2-Emissionen verbunden, sondern auch mit zunehmenden Gesundheitsrisiken.

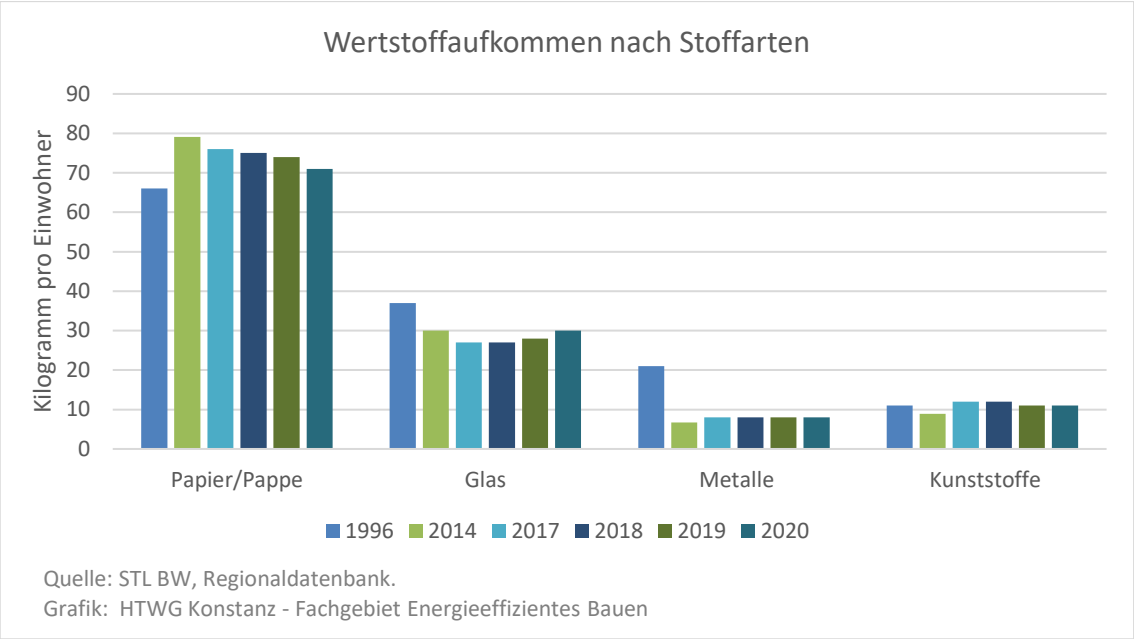


Abbildung 57: Wertstoffaufkommen im Kreis Konstanz nach Stoffarten (kg pro Einwohner)

2.7.5.2 Kennwerte des Konsums von Textilien

Derzeit liegt der Konsum von Textilien in Europa bei ca. 26 kg pro Person und Jahr. In Deutschland wird der Konsum auf einen ähnlichen Umfang geschätzt. Dieser Konsum ist mit einem CO_2-Ausstoß von ca. 654 kg pro Person und Jahr verbunden (European Environment Agency, 2019).

2.7.5.3 Kennwerte des Papierkonsums

Der Papierkonsum, der aktuell bei ca. 243 kg pro Einwohner und Jahr liegt, verursacht Emissionen von ca. 148 kg CO_2 pro Einwohner und Jahr (VDP Verband deutscher Papierfabriken, 2020; Dr.Curt Haefner-Verlag GmbH, 2020).

2.7.5.4 Bedeutung des Konsums

Mit rund 800 kg/Person schöpft allein der Konsum von Textilien und Papier das pro Person verbleibende jährliche CO_2-Budget des 1,5°-Ziels bereits zu 60 Prozent aus. Dies macht deutlich, welche Bedeutung der Konsum für den Klimaschutz hat.

2.8 Natur- und Kulturlandschaft

Die Energiewende kann erhebliche Auswirkungen auf die Natur und die Kulturlandschaft haben. Je nachdem, welche Maßnahmen erfolgen, kann die Spanne von erheblichen negativen Beeinträchtigungen bis zu sehr förderlichen Synergieeffekten reichen. Im Folgenden werden einige Beispiele skizziert.

2.8.1 Möglicher Flächenbedarf der Windenergie

Negative Auswirkungen auf die wildlebende Fauna, die bei der Standortwahl berücksichtigt werden müssen, kann beispielsweise die Windenergienutzung haben. Zudem ist die Windenergie mit einem gewissen Grad an Flächenverbrauch und Flächenversiegelung verbunden. Der Flächenbedarf für Fundament und Erschließung beträgt üblicherweise ca. 1,5 bis 2 Prozent der Windparkfläche. Auf den übrigen 98 Prozent der Fläche ist die Fortführung der bisherigen land- oder forstwirtschaftlichen Nutzung möglich. „Für den Rückbau des Fundaments einer WEA ist ein allerdings erheblicher Aufwand nötig. Abhängig davon, ob die Anlage tief oder flach gegründet wurde, und je nach Beschaffenheit des Bodens variieren der Umfang der Bodenarbeiten und ihre Ausführung stark“ (Andre, 2018).

Legt man für eine grobe Schätzung der theoretisch möglichen Windenergieanlagen und des möglichen Flächenverbrauchs das Ziel von 2 Prozent der Landesfläche als Flächenkulisse zugrunde, ergibt sich eine potenzielle Windparkfläche von 1.639 Hektar. Im Schnitt werden für eine große Windenergieanlage mehr als 80 Hektar Abstandsfläche (Windparkfläche) benötigt. Somit würden maximal 19 oder 20 große Windenergieanlagen möglich. Geht man von 5 bis 6 GWh Jahresertrag pro Anlage und Jahr aus, folgt daraus ein Potenzial von 95 bis 120 GWh/a: Dies wäre das Doppelte des Potenzials, das die IG Hegauwind bisher als umsetzbar eingeschätzt hat.

Große Windkraftanlagen mit einer Leistung von 7,6 MW benötigen eine Fundamentfläche von etwa 600 m² (Bundesverband Boden e.V., o. J.). Bei 20 Windenergieanlagen ergibt dies bis zu 1,2 Hektar Fundamentfläche. Die nach der Errichtung der Windenergieanlagen zurückzubauenden Lager- und Vormontageflächen benötigen teilweise nochmals ca. 0,2 ha pro Anlage (Bundesverband Boden e.V., o. J.). Bei kleineren Anlagen ist der Fundamentflächenbedarf geringer.

2.8.2 Vermeidbarkeit von Monokulturen

Negativ auf Artenvielfalt und wichtige Umweltkennwerte können sich auch einjährige Energiepflanzen der ersten Generation auswirken, wenn sie großflächig in Monokulturen mit einem geringen Blühpflanzenanteil und unter hohem Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln angebaut werden. Allerdings kann die Kombination mit Zwischenfrüchten und Anbaumethoden des ökologischen Landbaus hier zu einer erheblichen Verbesserung führen. Bei ökologischem Anbau muss man jedoch mit geringeren Hektarerträgen und somit auch mit geringeren Energieerträgen rechnen. Eine Alternative dazu stellen Energiepflanzen der zweiten Generation dar, die selbst im konventionellen Anbau

wesentlich weniger chemischen Pflanzenschutz und einen geringeren Einsatz von Stickstoff erfordern. Zudem bieten sie eine deutlich größere Artenvielfalt und zahlreiche Chancen, Synergieeffekte zwischen Klimaschutz, Naturschutz und Umweltschutz zu erzielen.

2.8.3 Synergieeffekte der Energiepflanzennutzung für den Naturschutz

Viele Energiepflanzen der zweiten Generation liefern mit Pollen und Nektar ein wertvolles Nahrungsangebot für Insekten. Bisher bietet auf der Ackerfläche vor allem der Raps ein Nektarangebot. Dieser ist aber in der Regel nach zwei Monaten Blühdauer bereits im Juni verblüht. Anschließend finden Insekten ein deutlich geringeres Angebot auf den Ackerflächen vor. Kombiniert man z. B. Durchwachsene Silphie, Miscanthus, Paulownia, Rutenhirse/Switchgrass, Sida, Sonnenblume, Sorghum bicolor, Ungarisches Hirschgras, Weide und Wildblumen-Mischungen, erhält man neben guten Energieerträgen ein Nahrungsangebot für Insekten, das von Ende März bis in den Oktober nahezu die gesamte Vegetationsphase abdeckt. Damit wird nicht nur die Pflanzenvielfalt, sondern auch der Anteil der als Insektenweide dienenden Pflanzen auf der Ackerfläche deutlich erhöht.

Thermisch genutzte Pflanzen wie Miscanthus und Sida, die erst im Frühjahr geerntet werden, bieten zudem Wildtieren bis zur Ernte einen wertvollen Schutzraum und den ganzen Winter hindurch Deckung. Auch ergaben Untersuchungen auf Flächen mit Silphie und Topinambur signifikant mehr Brutnachweise als auf Flächen mit Wintergetreide oder Mais (Dziewiaty, 2011). Daher wird die Nutzung mehrjähriger Energiepflanzen auch mit Blick auf den Vogelschutz empfohlen (Dziewiaty, 2011).

2.8.4 Synergieeffekte von Photovoltaikanlagen für den Naturschutz

Ein Pilotversuch des *BUND* und der *solarcomplex AG* hat belegt, dass sich intensiv genutztes Grünland unterhalb von Photovoltaikanlagen innerhalb kurzer Zeit zu einer artenreichen Wiese entwickeln kann: Nach Erhebungen des *BUND* haben sich aufgrund einer zielgerichteten Pflege auf der Fläche des Solarparks Mooshof bereits in den ersten beiden Jahren diverse gefährdete Tierarten angesiedelt. Nach Einschätzung des *BUND* ist der hohe Bestand an seltenen Insekten auf der Fläche des Solarparks auffallend (Siebler, 2013). Auch nach Einschätzung des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie können auf Grünland errichtete Solaranlagen bei extensiver Nutzung ökologische Vorteile bieten: „Bei geschickter Einbindung von PV-Freiflächenanlagen in vorhandene Biotop-Strukturen und Landschaftsbild können PV-Freiflächenanlagen die Landschaft ökologisch aufwerten“ (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, 2020).

3 Energie- und Treibhausgasbilanz

3.1 Endenergie- und Treibhausgasbilanz des Landkreises

Der Endenergieverbrauch im Landkreis Konstanz im Jahr 2019 wurde auf ca. 6,83 TWh geschätzt. Dies entspricht pro Einwohner einem Verbrauch von ca. 23,9 MWh.

Aus diesem Endenergieverbrauch ergeben sich Treibhausgasemissionen von ca. 2,29 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalent. Pro Einwohner ergibt sich damit ein durchschnittlicher Treibhausgasausstoß von mehr als 7,5 Tonnen CO_2-Äquivalent.

3.1.1 Endenergiebilanz nach Energieträgern

Den größten Anteil am Endenergieverbrauch mit 35 Prozent hatte Erdgas, gefolgt von Strom mit ca. 20 Prozent, Diesel mit knapp 16 Prozent sowie Heizöl und Benzin jeweils mit etwas mehr als 9 Prozent. Holz (3,4 Prozent) und Nahwärme (2,4 Prozent) trugen gemeinsam rund 6 Prozent zur Endenergiebereitstellung bei, der restliche Verbrauch entfiel auf nicht genauer definierte Energieträger (Sonstige) und Solarthermie.

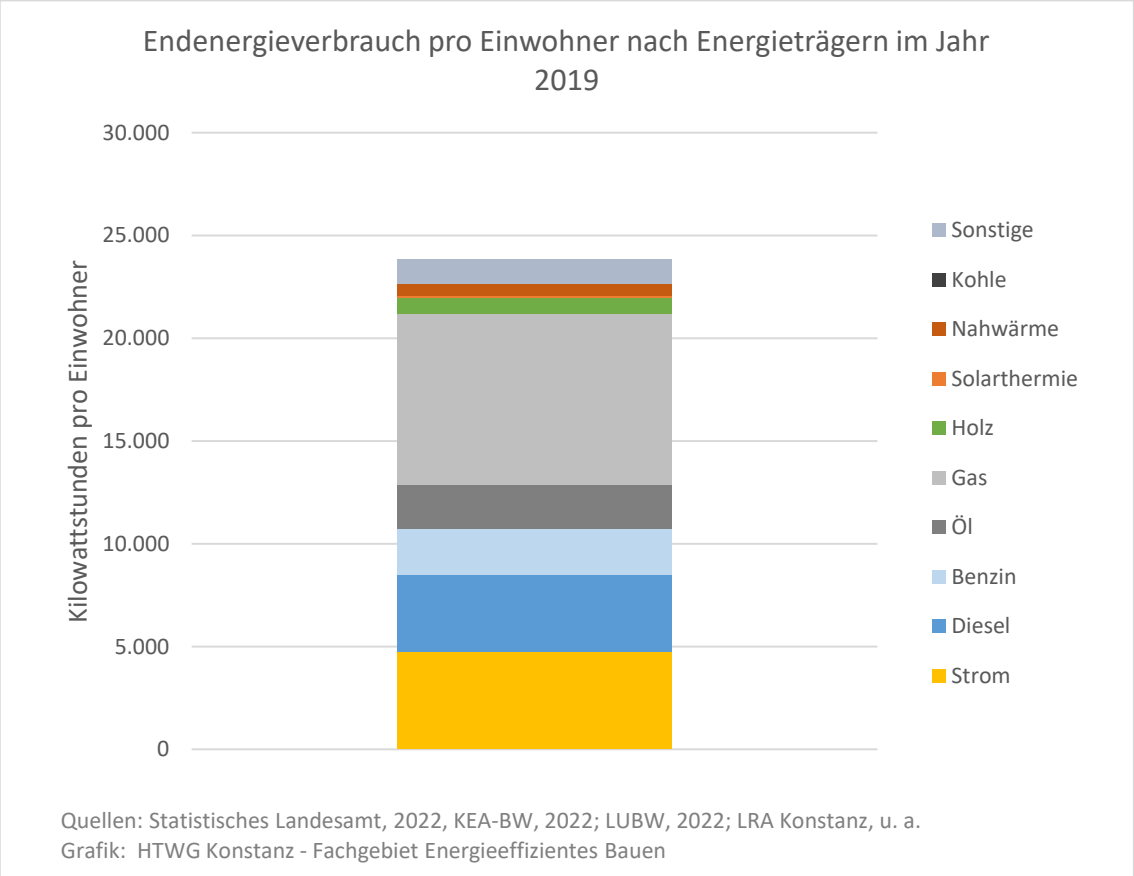


Abbildung 58: Endenergieverbrauch im Jahr 2019 pro Einwohner nach Energieträgern

3.1.2 Endenergiebilanz nach Verbrauchssektoren

Den größten Anteil am Endenergieverbrauch hatte der Sektor Wohnen mit ca. 29 Prozent. Mit 25 Prozent folgte der Verkehr vor der Industrie, die etwa 23 Prozent der Endenergie im Landkreis verbrauchte. Mit ca. 19 Prozent hatte der Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD) ebenfalls einen erheblichen Anteil am Endenergieverbrauch. Mit ca. 3 Prozent durchaus relevant ist auch der Sektor Landwirtschaft, was vor allem auf die großen Gewächshausflächen zurückzuführen ist. Auf ca. 1 Prozent wurde der öffentliche Anteil geschätzt. (Vgl. Abbildung 59 und Abbildung 60)

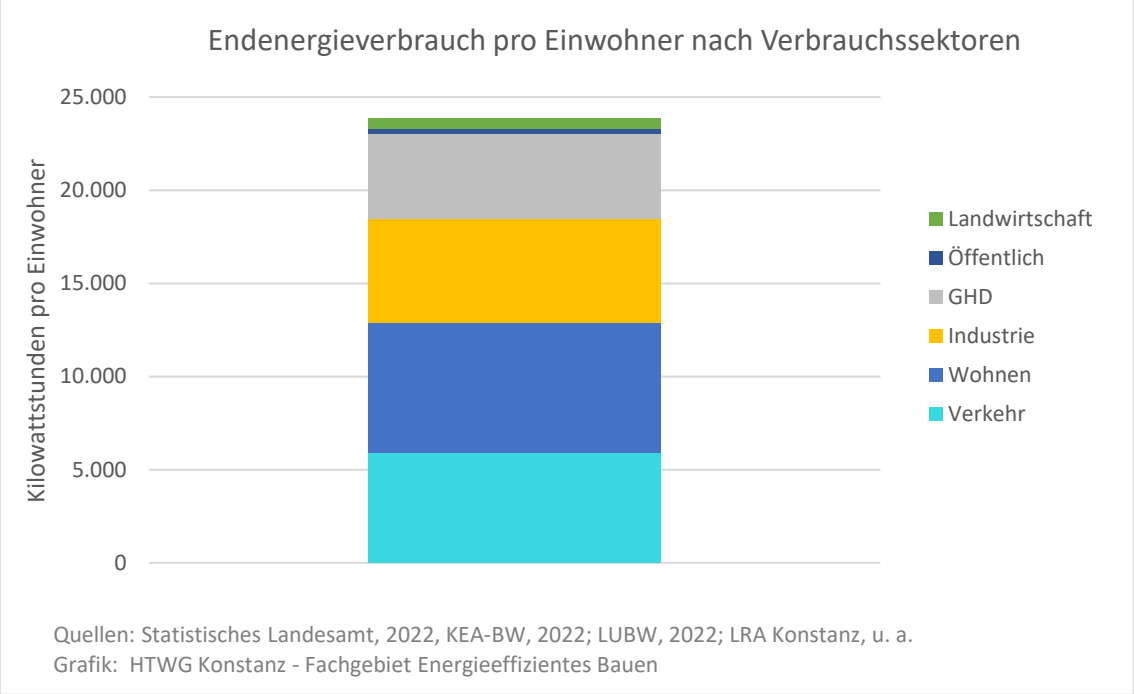


Abbildung 59: Endenergieverbrauch im Jahr 2019 pro Einwohner nach Verbrauchssektoren

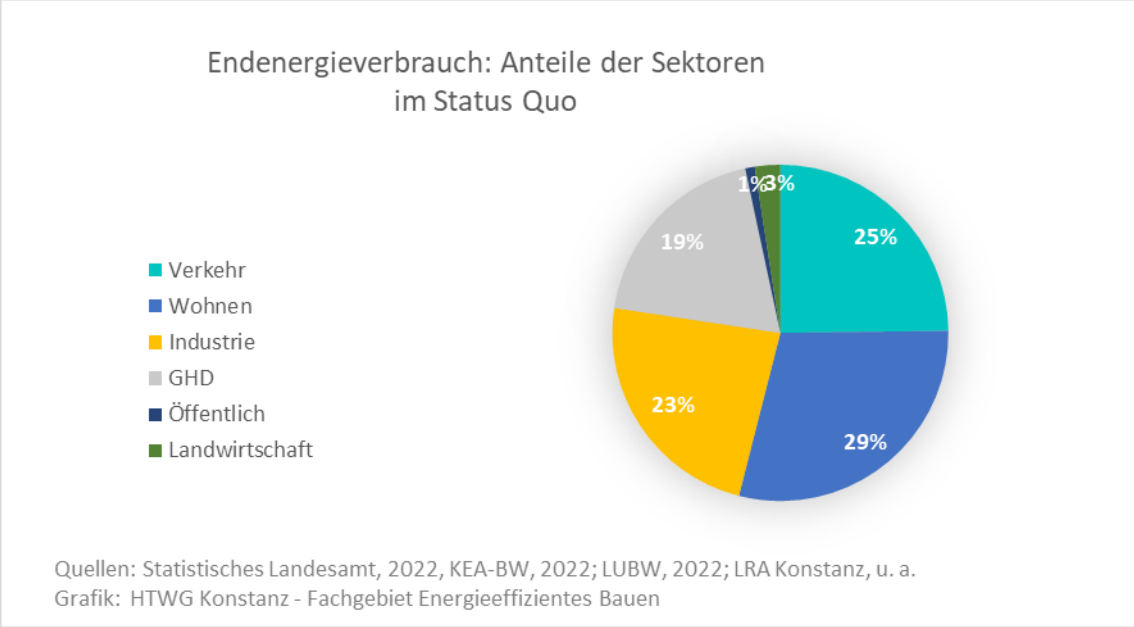


Abbildung 60: Endenergieverbrauch: Anteile der Sektoren

Wie in Abbildung 61 ersichtlich wird, entfallen die größten Anteile des Stromverbrauchs auf die Sektoren Industrie und Wohnen. Letzterer liegt jedoch nur knapp vor dem Sektor GHD. Der größte Anteil am Gasverbrauch entfällt auf den Sektor Wohnen. Auffällig und bemerkenswert ist, dass Strom als Energieträger im Sektor Verkehr noch keine nennenswerte Rolle spielt.

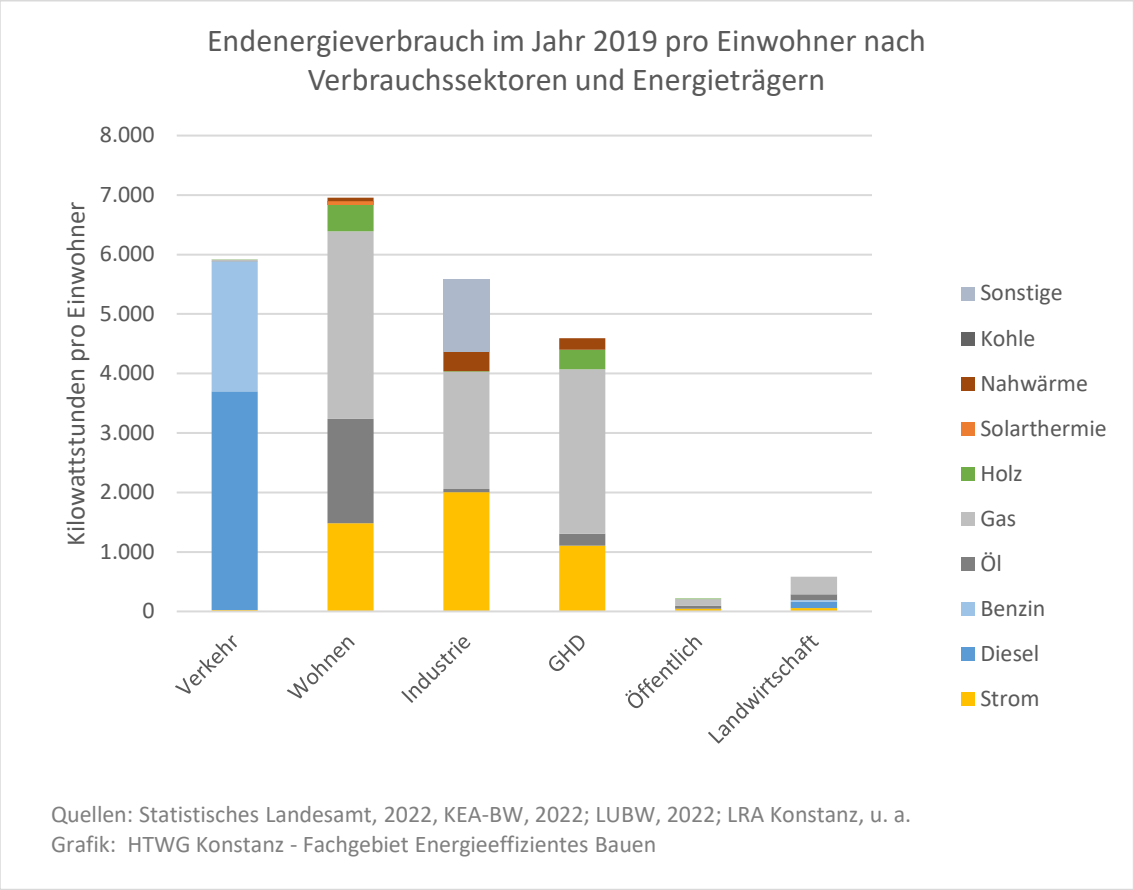


Abbildung 61: Endenergieverbrauch im Jahr 2019 pro Einwohner nach Verbrauchssektoren und Energieträgern

3.1.3 Energieverbrauch nach Energiesektoren

Gegliedert nach Energiesektoren fällt der typischerweise hohe Anteil des Sektors Wärme am Endenergieverbrauch auf. Dieser ist allerdings seit 2014 leicht gesunken, während der Treibstoffverbrauch eine steigende Tendenz zeigt. Wie sich die drei Sektoren bisher im Einzelnen entwickeln, ist in den folgenden Abschnitten in Abbildung 64 bis Abbildung 67 dargestellt.

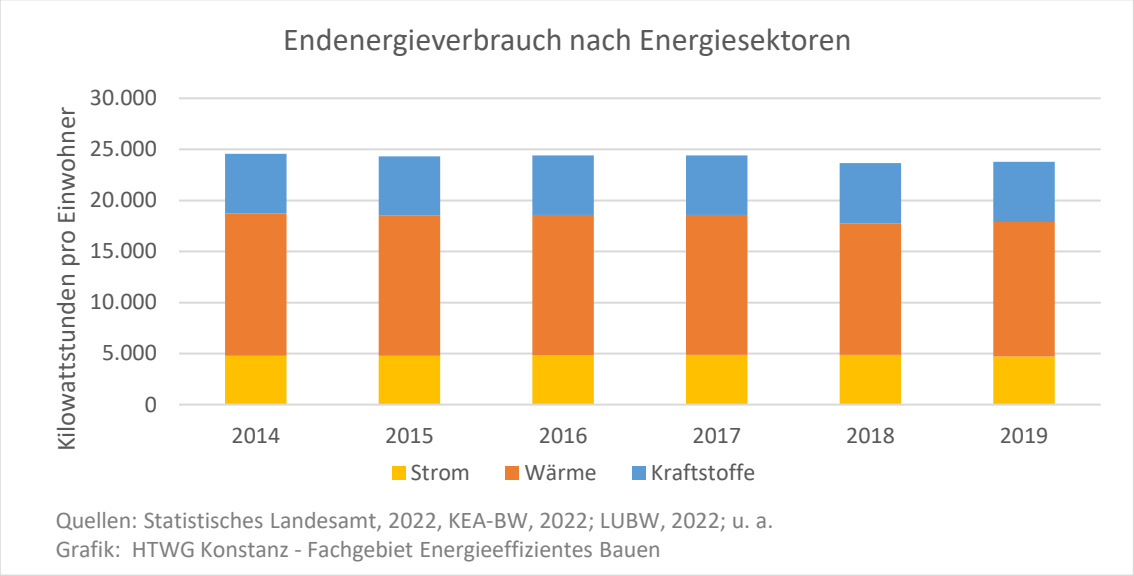


Abbildung 62: Endenergieverbrauch nach Energiesektoren

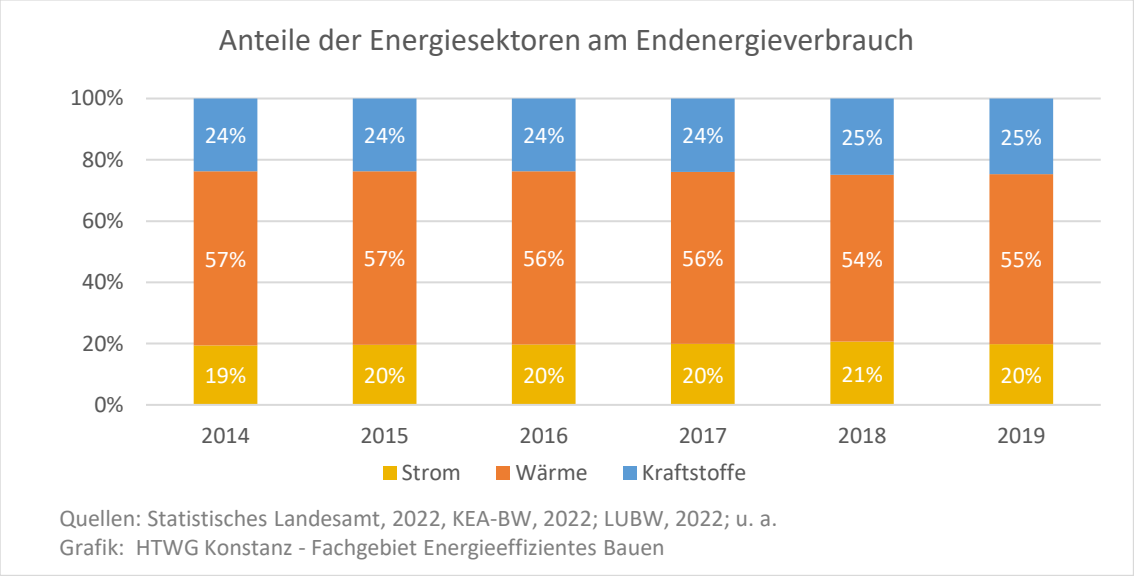


Abbildung 63: Anteile der Energiesektoren am Endenergieverbrauch

3.1.3.1 Stromverbrauch

In Abbildung 64 ist die Entwicklung des Stromverbrauchs nach Verbrauchssektoren dargestellt.

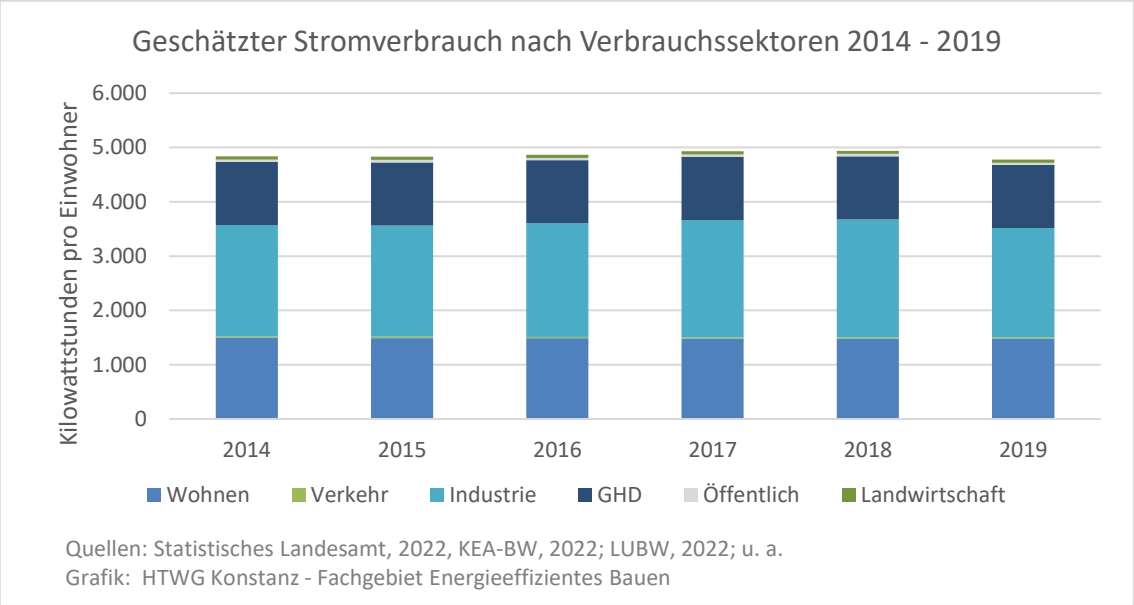


Abbildung 64: Geschätzter Stromverbrauch nach Verbrauchssektoren 2014 - 2019

3.1.3.2 Wärmeverbrauch

In Abbildung 65 ist der Endenergieverbrauch der Wärmebereitstellung ohne Strom dargestellt. Hier zeigt sich die große Bedeutung der Raumwärme, die sowohl am Wärmeverbrauch des Sektors Wohnen als auch am Wärmeverbrauch des Sektors GHD den entscheidenden Anteil hat.

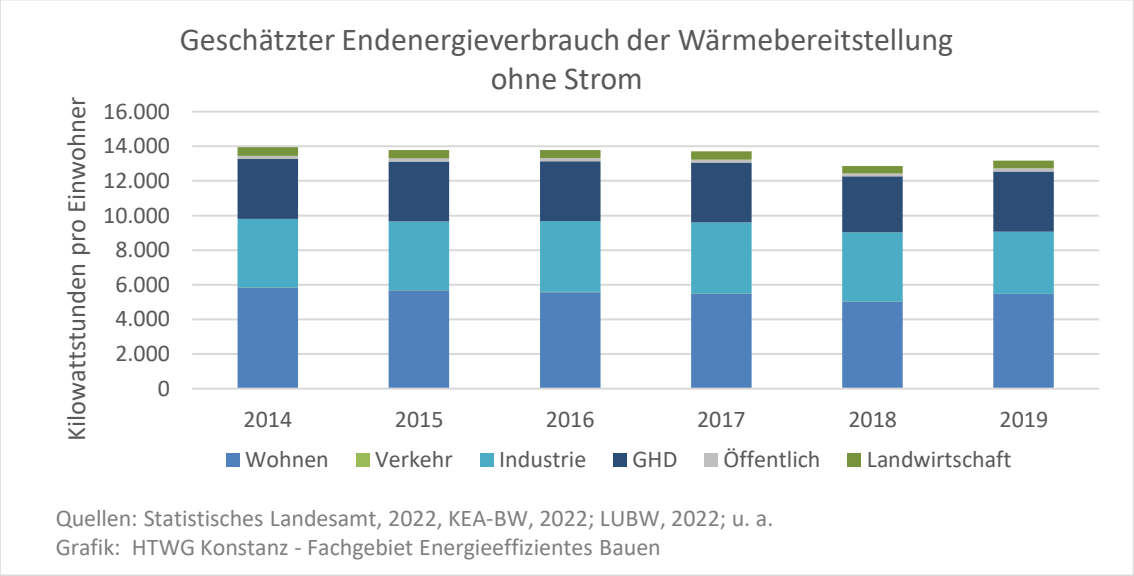


Abbildung 65: Geschätzter Endenergieverbrauch der Wärmebereitstellung nach Verbrauchssektoren ohne Strom

Der mit Abstand wichtigste Energieträger im Sektor Wärme ist Erdgas, das mehr als die Hälfte der Wärme liefert.

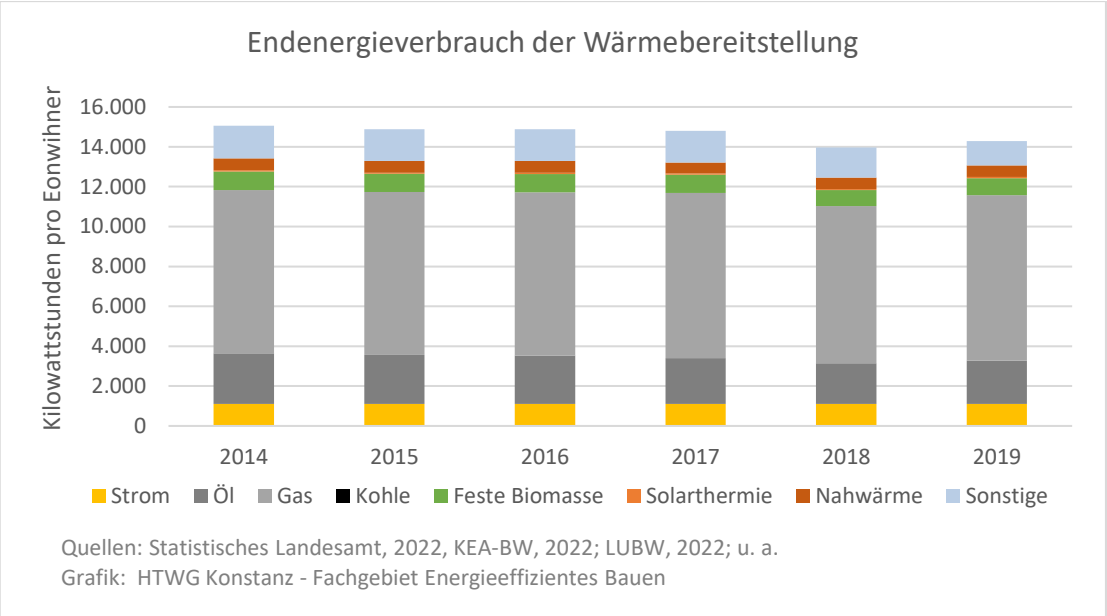


Abbildung 66: Endenergieverbrauch der Wärmebereitstellung nach Energieträgern

3.1.3.3 Kraftstoffverbrauch

Der Kraftstoffverbrauch im Jahr 2019 wurde auf 1.721 GWh geschätzt. Davon entfielen 59 Prozent auf Diesel, 39 Prozent auf Benzin, 4 Prozent auf Biodiesel und 2 Prozent auf Bioethanol. Insgesamt hatten Biokraftstoffe einen Anteil von 6,2 Prozent.

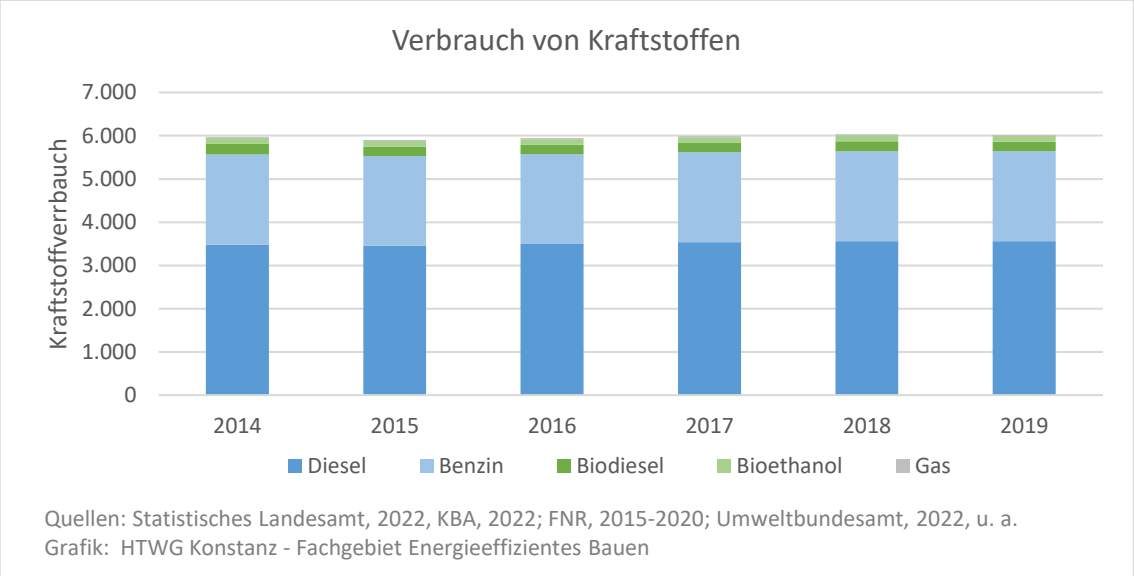


Abbildung 67: Verbrauch von Kraftstoffen im Landkreis Konstanz

3.1.4 Treibhausgasbilanz nach Energieträgern

Bei den Anteilen an den energiebedingten Treibhausgasemissionen liegen Strom (2,3 t CO_2-Äq./EW) und Gas (2,1 t CO_2-Äq./EW) mit Abstand vor den übrigen Energieträgern an erster und zweiter Stelle. An dritter und vierter Stelle folgen Diesel (1,2 t CO_2-Äq./EW) und Benzin (0,7 t CO_2-Äq./EW) vor dem Heizöl (0,7 t CO_2-Äq./EW). Der Anteil des Stroms schrumpft allerdings am schnellsten, da die Energiewende im Stromsektor rascher voranschreitet als in den Sektoren Wärme und Kraftstoffe. Weil unterdessen der Verbrauch von Kraftstoffen auch absolut zunimmt, wächst der Anteil des Kraftstoffverbrauchs an den Emissionen immer weiter an.

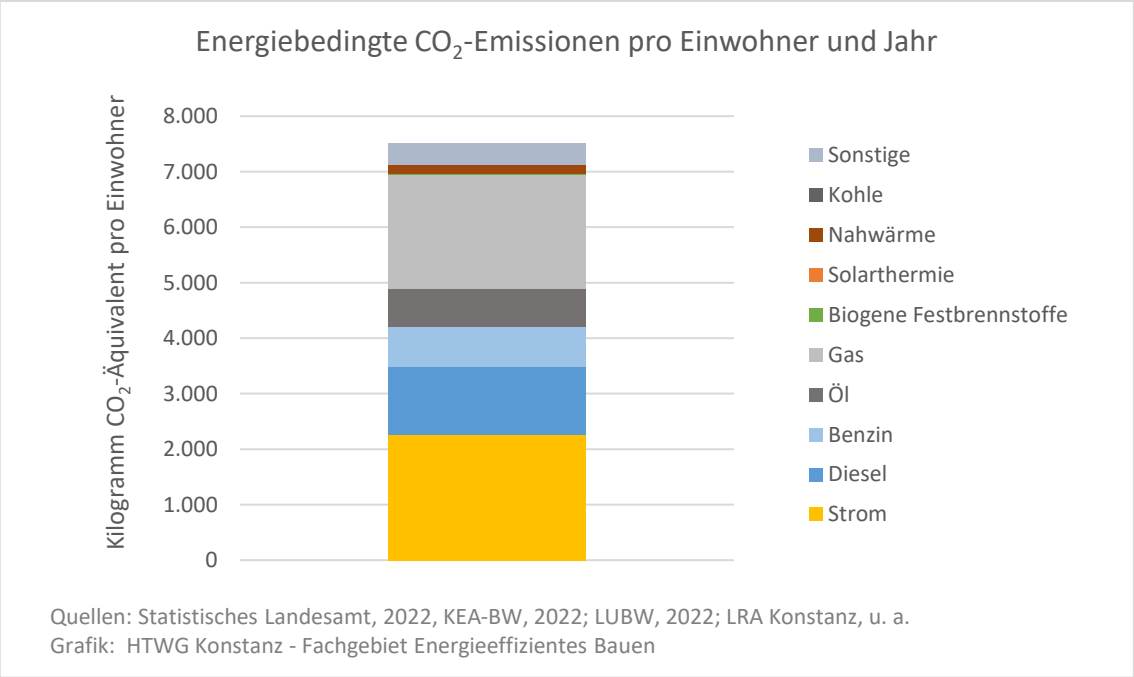


Abbildung 68: Energiebedingte CO_2-Emissionen im Jahr 2019 pro Einwohner nach Energieträgern

3.1.5 Treibhausgasbilanz nach Verbrauchssektoren

Den größten Anteil an den energiebedingten Treibhausgasemissionen hatte der Sektor Wohnen mit ca. 27 Prozent, gefolgt von den Sektoren Industrie und Verkehr mit jeweils rund 26 Prozent. Der Sektor GHD trug ca. 18 Prozent zu den Emissionen bei. Rund 3 Prozent betrug der Anteil der Landwirtschaft an den energiebedingten Treibhausgasemissionen, rund 1 Prozent trugen die öffentlichen Liegenschaften bei.

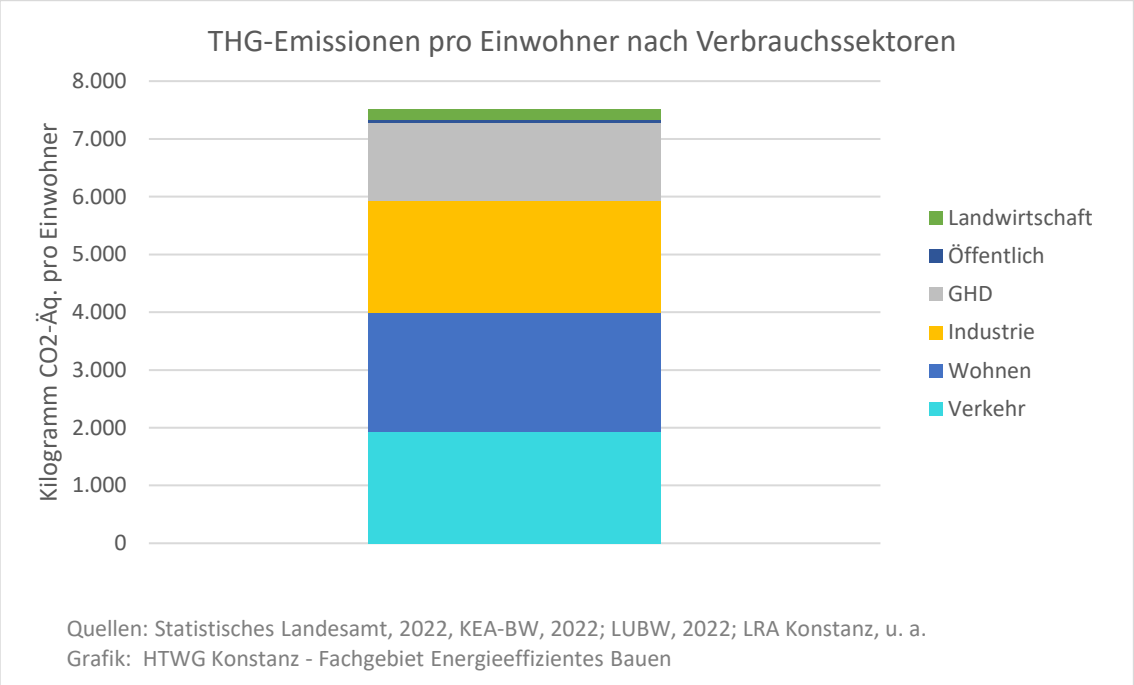
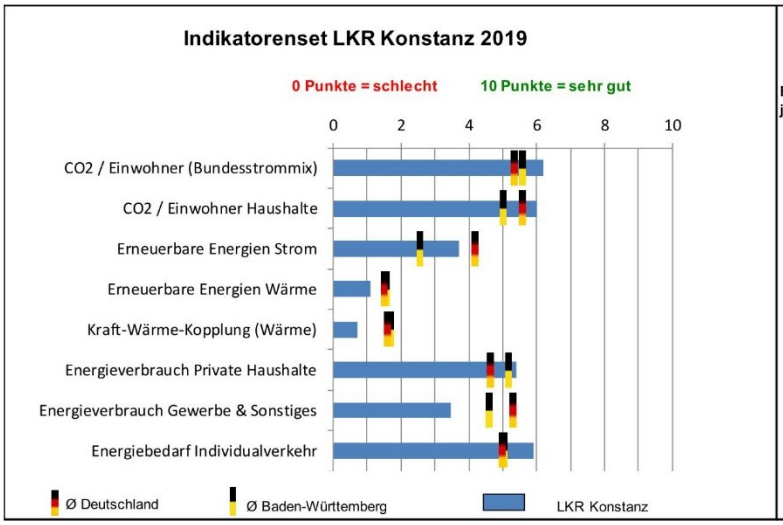


Abbildung 69: Treibhausgasemissionen pro Einwohner nach Verbrauchssektoren

3.2 Indikatorenset „Kommunaler Klimaschutz“

Mit den Durchschnittswerten, die sich aus der vorliegenden Schätzung für den Landkreis Konstanz ergeben, liegt der Landkreis, wie der Vergleich anhand des Indikatorensets „Kommunaler Klimaschutz“ zeigt, in vielen Bereichen nahe den Durchschnittswerten von Bund und Land. Etwas besser als Bund und Land schneidet der Landkreis bei den CO_2-Emissionen pro Einwohner und pro Haushalt sowie beim Energiebedarf des Individualverkehrs ab. Der Energieverbrauch in den Kategorien „Private Haushalte“ sowie „Gewerbe & Sonstiges“ liegt ziemlich genau im Durchschnitt des Landes Baden-Württemberg. Unter dem Durchschnitt von Bund und Land liegt der Landkreis beim Ausbau der erneuerbaren Energien und bei der Kraft-Wärmekopplung. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass die Datenbasis zur Kraft-Wärmekopplung noch einige Unsicherheiten aufweist. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass mehr fossil betriebene BHKW in Betrieb sind als bekannt. Speziell im Bereich der Biomassenutzung (v. a. Biogas) sind die Abwärmenutzungsgrade jedoch noch vergleichsweise gering.



Bezugsjahr	Wert	Einheit	Minimum 0 Ptk.	Maximum 10 Pkt.
2019	8	[t/EW]	20	0
2019	2	[t/EW]	5	0
2019	36,8	[%]	0	100
2019	9,0	[%]	0	100
2019	3,3	[%]	0	50
2019	6.958	[kWh/EW]	15000	0
2019	18.988	[kWh/Besch.]	30000	0
2019	4.198	[kWh/EW]	10000	0

Abbildung 70: Indikatorenset „Kommunaler Klimaschutz“

3.3 Entwicklung der Energie- und Treibhausgasbilanzen der Sektoren

3.3.1 Private Haushalte (Wohnen)

Im Folgenden ist der Endenergiebedarf der Haushalte für Wohnen (Haushaltsstrom und Wärmebereitstellung) ohne Mobilität dargestellt. Die Mobilität der Haushalte ist im Sektor Verkehr enthalten.

3.3.1.1 Endenergieverbrauch

Der Energiebedarf des Wohnens wurde auf Basis von Daten der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) zu Verbrauch von Erdgas, Heizöl und Biomasse und Statistiken des Statistischen Landesamtes zur genutzten Wohnfläche und zu den Haushalten nach Haushaltsgröße in Verbindung mit Daten von co2online zum durchschnittlichen Energiestandard von Gebäuden in Baden-Württemberg (co2online gGmbH, 2014) sowie Angaben des BDEW zum durchschnittlichen Haushaltsstromverbrauch nach Haushaltsgröße geschätzt (BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2019). Auf dieser Basis ergibt sich ein Endenergiebedarf von knapp 7,0 MWh pro Einwohner, wovon fast 19 Prozent auf den Haushaltsstrom (ohne Heizung) entfallen.

Heizöl und Erdgas haben noch immer einen Anteil von fast 71 Prozent am gesamten Endenergieverbrauch und von 87 Prozent am Endenergieverbrauch der Wärmebereitstellung. Nach der vorliegenden Schätzung dürfte ihr Verbrauch zwischen 2016 und 2019 nur minimal gesunken sein.

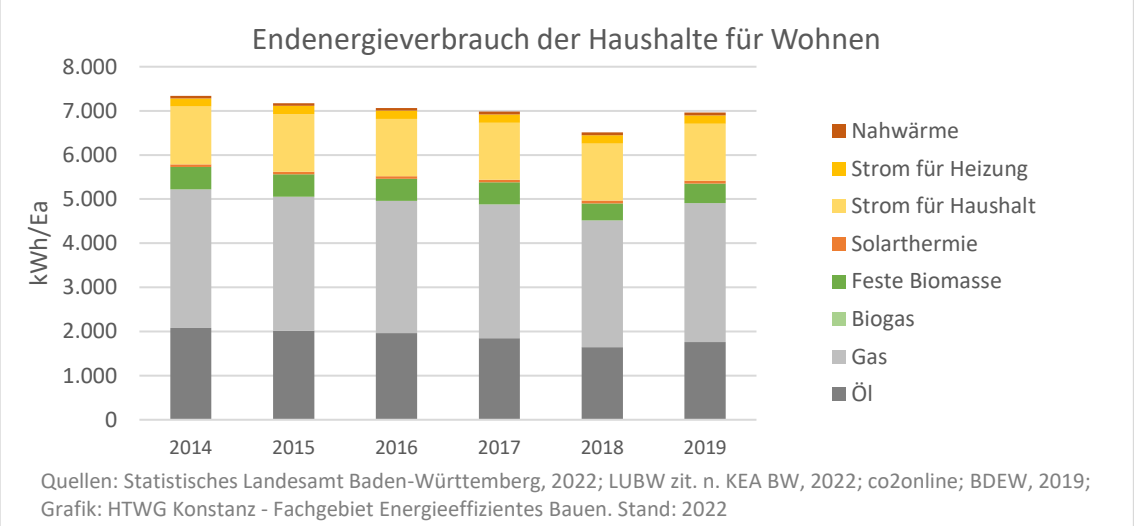


Abbildung 71: Endenergieverbrauch der Haushalte für Wohnen pro Person nach Energieträgern

In der Summe aller genutzten Energieträger ist der geschätzte Endenergieverbrauch des Wohnens pro Person zwischen 2016 und 2019 um ca. 1,5 Prozent gesunken. Dies entspricht einer Einsparung von ca. 0,5 Prozent pro Jahr. Die Schätzung der abgebildeten Entwicklung ist mit einigen Unsicherheiten behaftet, unter anderen auch, weil die LUBW seit 2016 eine andere Methodik zur Schätzung des Heizölverbrauchs anwendet, der wohl zuvor überschätzt wurde.

3.3.1.2 Treibhausgasemissionen

Die geschätzten Emissionen des Wohnens sind zwischen 2014 und 2019 um rund 12 Prozent von ca. 2.351 kg auf ca. 2.073 kg CO_2-Äq./Einwohner gesunken.

Obwohl der Anteil der Wärmepumpen eine steigende Tendenz zeigt und der Haushaltsstromverbrauch nur leicht gesunken ist, sind ca. 64 Prozent des Rückgangs auf den Stromanteil am Endenergieverbrauch zurückzuführen. Ursächlich dafür ist vor allem der verbesserte deutsche Strommix, dessen Emissionsfaktor seit 2014 merklich gesunken ist.

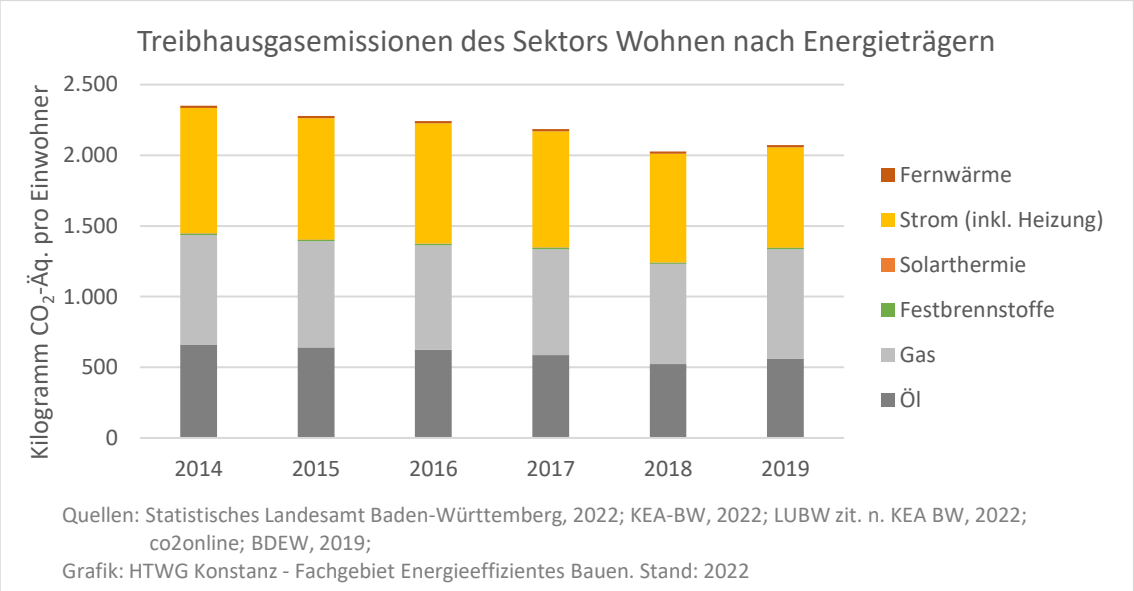


Abbildung 72: Treibhausgasemissionen des Sektors Wohnen pro Person nach Energieträgern

3.3.2 Verkehr

3.3.2.1 Endenergieverbrauch

Der geschätzte Endenergieverbrauch des Verkehrs ist zwischen den Jahren 2014 und 2019 von 5.738 auf 5.951 kWh pro Einwohner gestiegen. Dies bedeutet einen Anstieg um 0,8 Prozent. Während der Verbrauch bei Personenkraftwagen (-1,0 Prozent) gesunken ist und der Verbrauchsanstieg bei schweren Nutzfahrzeugen (+1,5 Prozent) und Krafträdern (+0,9 Prozent) moderat ausfiel, fällt vor allem das deutliche Plus von 15,7 Prozent bei den leichten Nutzfahrzeugen auf.

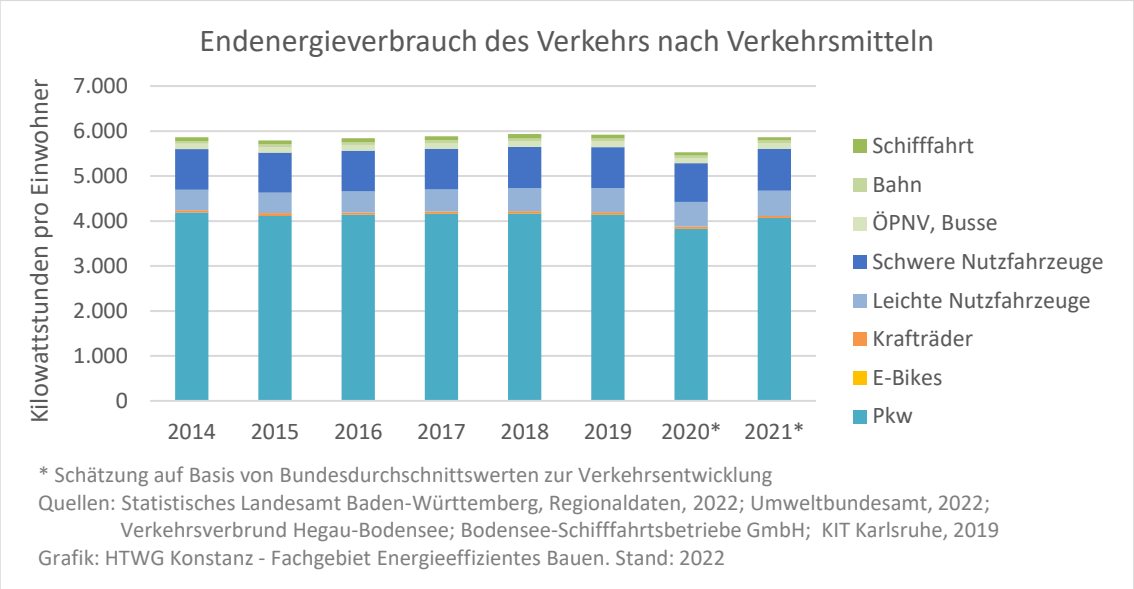


Abbildung 73: Geschätzter Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Verkehrsmitteln

Die in Abbildung 73 dargestellte Entwicklung hat zur Folge, dass der Benzinverbrauch pro Einwohner leicht gesunken ist (ca. -1 Prozent), während der Dieselverbrauch um mehr als 2 Prozent zugenommen hat, wie in Abbildung 74 zu sehen ist.

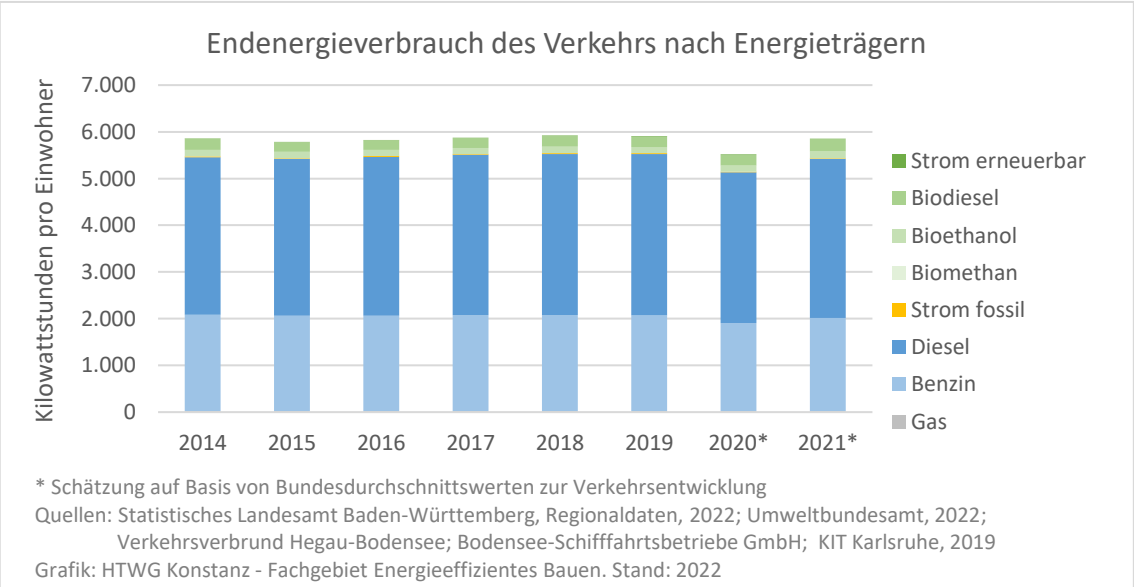


Abbildung 74: Geschätzter Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Energieträgern

Dass der spezifische Kraftstoffverbrauch der Pkw in Deutschland von 7,3 auf 7,4 Liter pro 100 km gestiegen ist (Umweltbundesamt, 2022e), ist für die Bemühungen, den Energieverbrauch im Verkehr zu senken, nicht förderlich. Recht anschaulich zeigt sich dieses im Vergleich mit dem Jahr 2015, seit welchem die Fahrleistung der Pkw pro Einwohner zwar um 0,4 Prozent zurückging, der geschätzte Energieverbrauch der Pkw aber um 0,9 Prozent angestiegen ist.

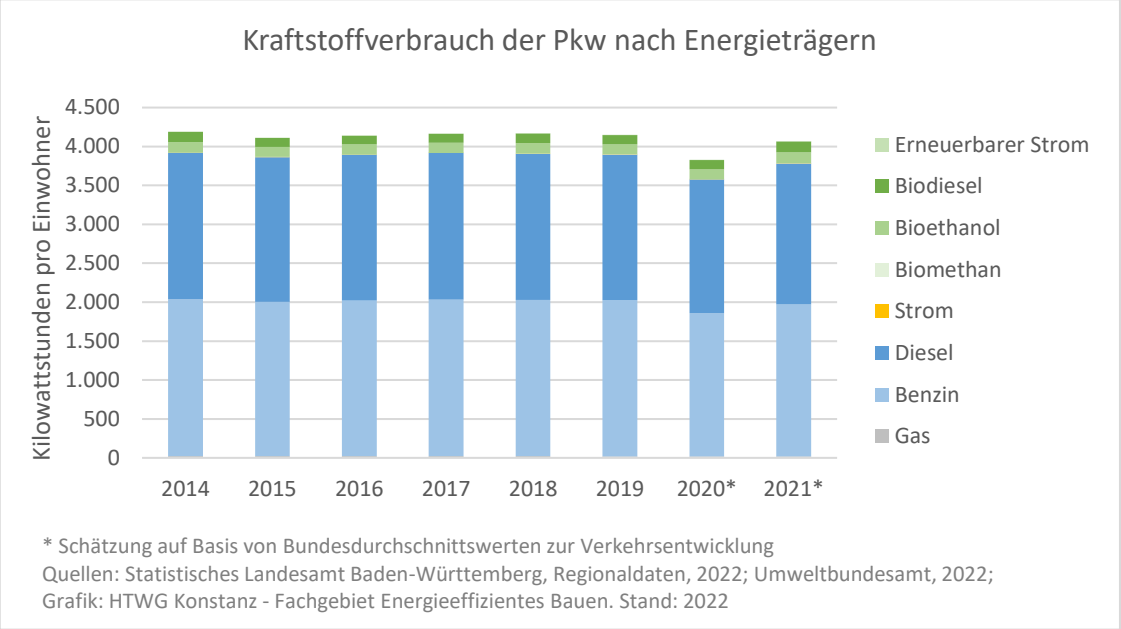


Abbildung 75: Kraftstoffverbrauch der Pkw nach Energieträgern

Erneuerbarer Strom spielt im Verkehrssektor des Landkreises bisher noch keine nennenswerte Rolle. Bei erneuerbaren Energien, die hier zum Einsatz kommen, handelt es sich vor allem um Biokraftstoffe, die als Beimischung in den Kraftstoffen Benzin und Diesel enthalten sind. Der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch des Verkehrs lag im Jahr 2019, dem Basisjahr der Energiebilanz, bei ca. 6,0 Prozent (vgl. FNR Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe, 2016 - 2021).

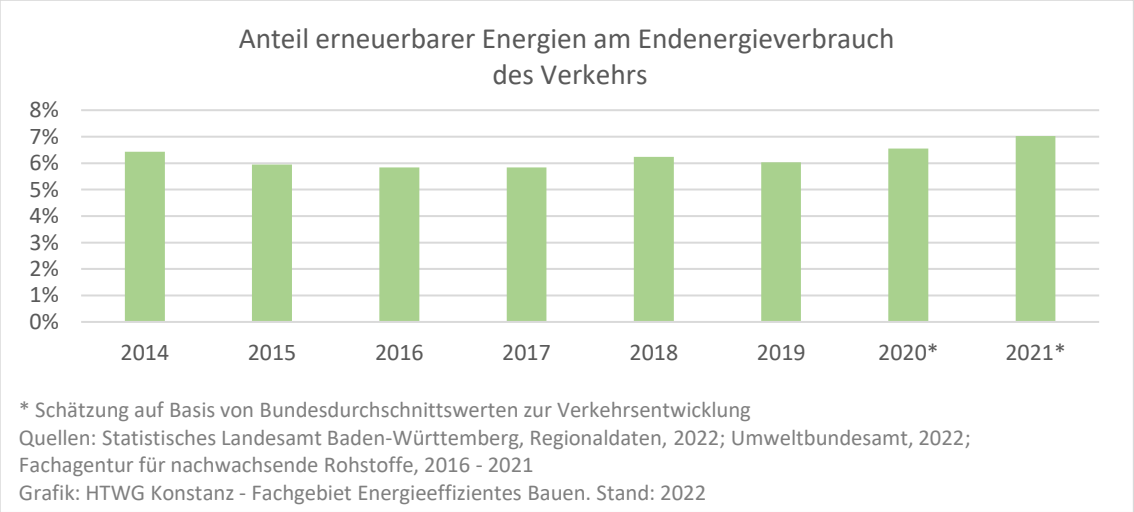


Abbildung 76: Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch

In Abbildung 77 wird deutlich, dass die Zunahme des Verkehrs leichter Nutzfahrzeuge der Hauptgrund für die Zunahme des Energieverbrauchs der Nutzfahrzeuge ist.

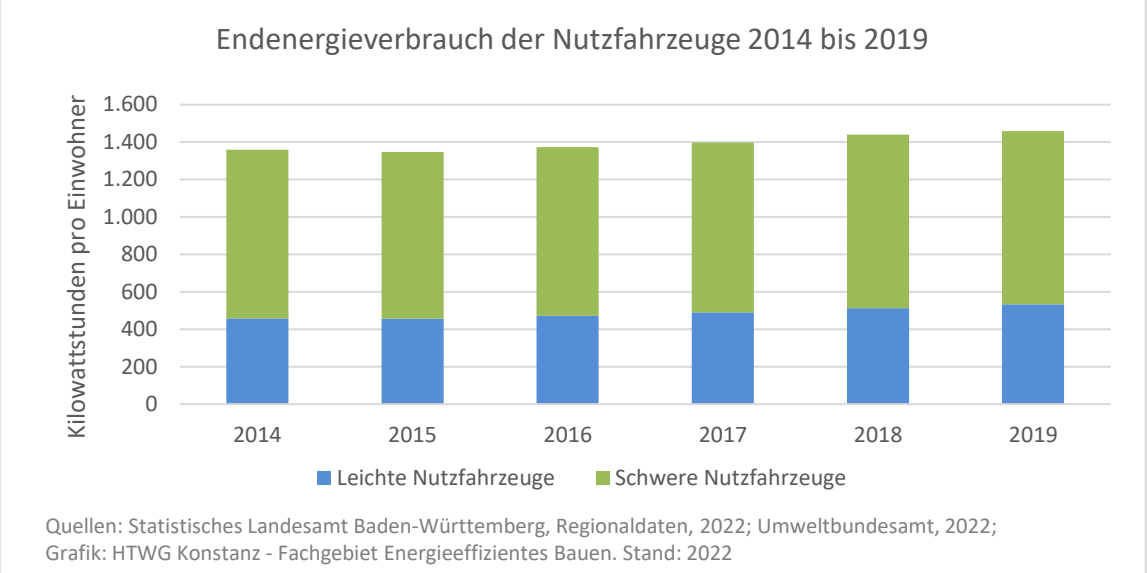


Abbildung 77: Endenergieverbrauch der Nutzfahrzeuge

Insgesamt ist die zunehmende Nutzung leichter Nutzfahrzeuge ursächlich für fast vier Fünftel des Verbrauchsanstiegs im Verkehrssektor und reicht alleine für eine Überkompensation des Verbrauchsrückgangs bei den Pkw aus.

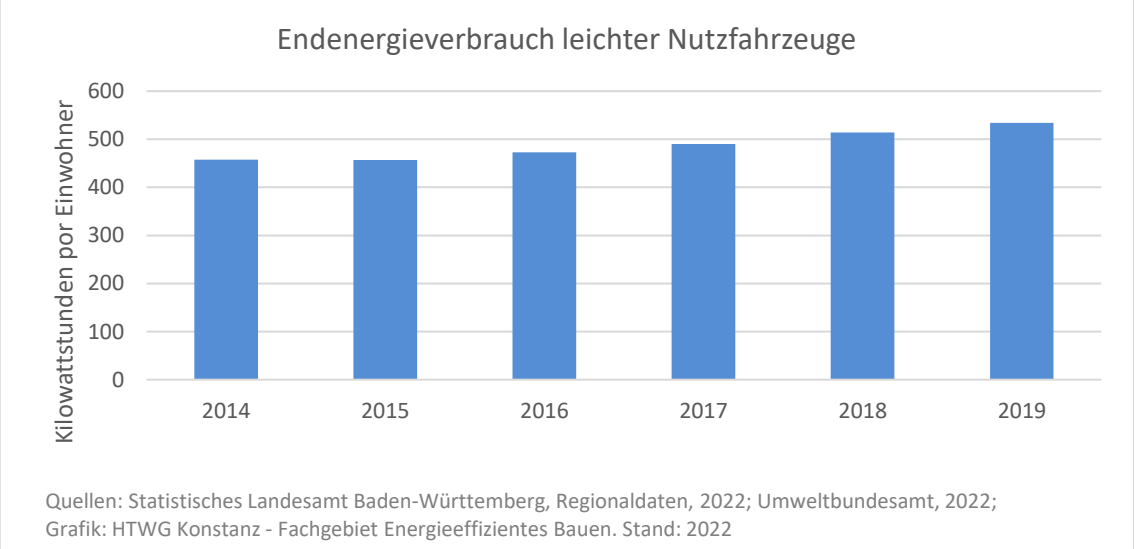
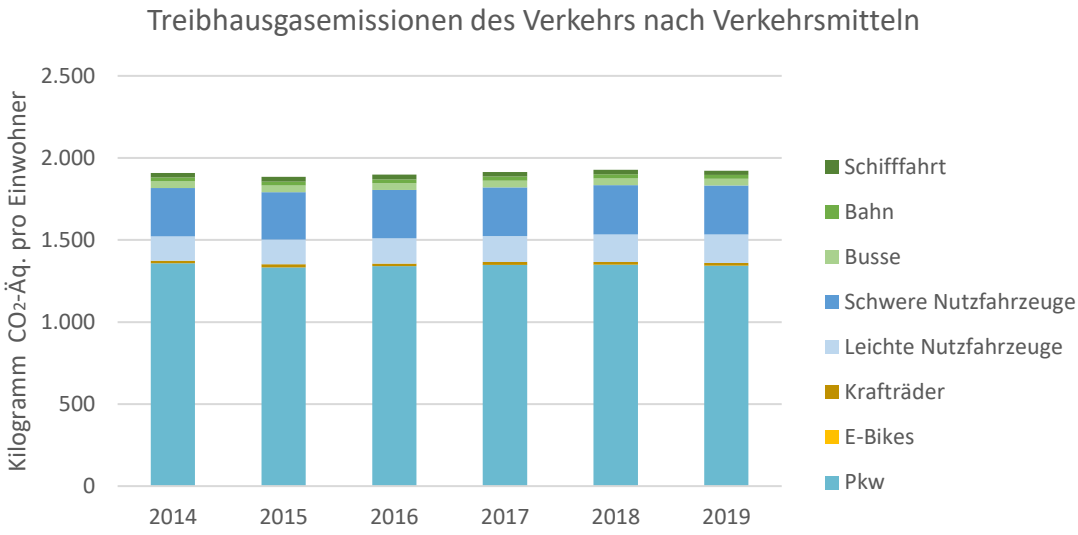


Abbildung 78: Endenergieverbrauch leichter Nutzfahrzeuge

3.3.2.2 Treibhausgasemissionen

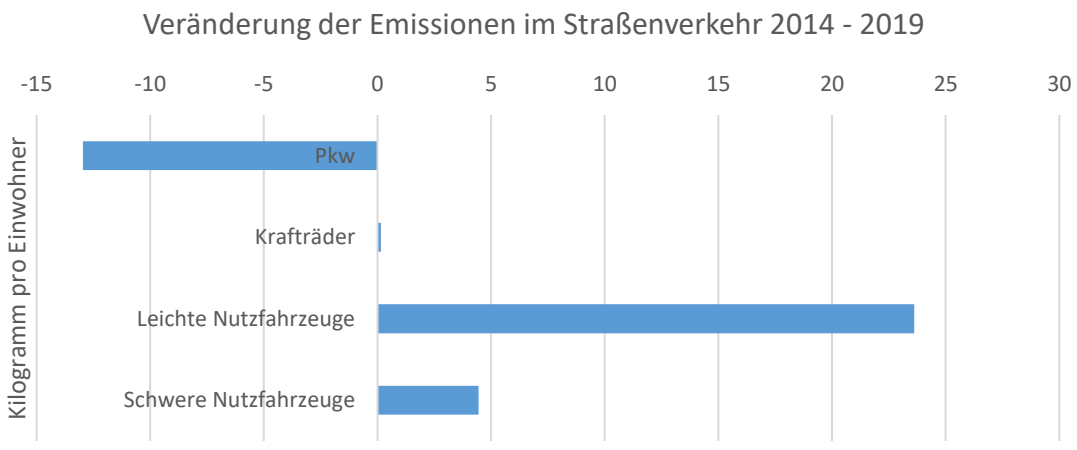
Im Vergleich zum Jahr 2014 haben die Treibhausgasemissionen, die aus dem geschätzten Energieverbrauch des Verkehrs im Landkreis Konstanz resultieren, pro Person um ca. 0,9 Prozent zugenommen.



Quellen: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Regionaldaten, 2022; Umweltbundesamt, 2022; Verkehrsverbrund Hegau-Bodensee; Bodensee-Schifffahrtsbetriebe GmbH; KIT Karlsruhe, 2019; KEA-BW, 2022
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022

Abbildung 79: Treibhausgasemissionen des Verkehrs nach Verkehrsmitteln

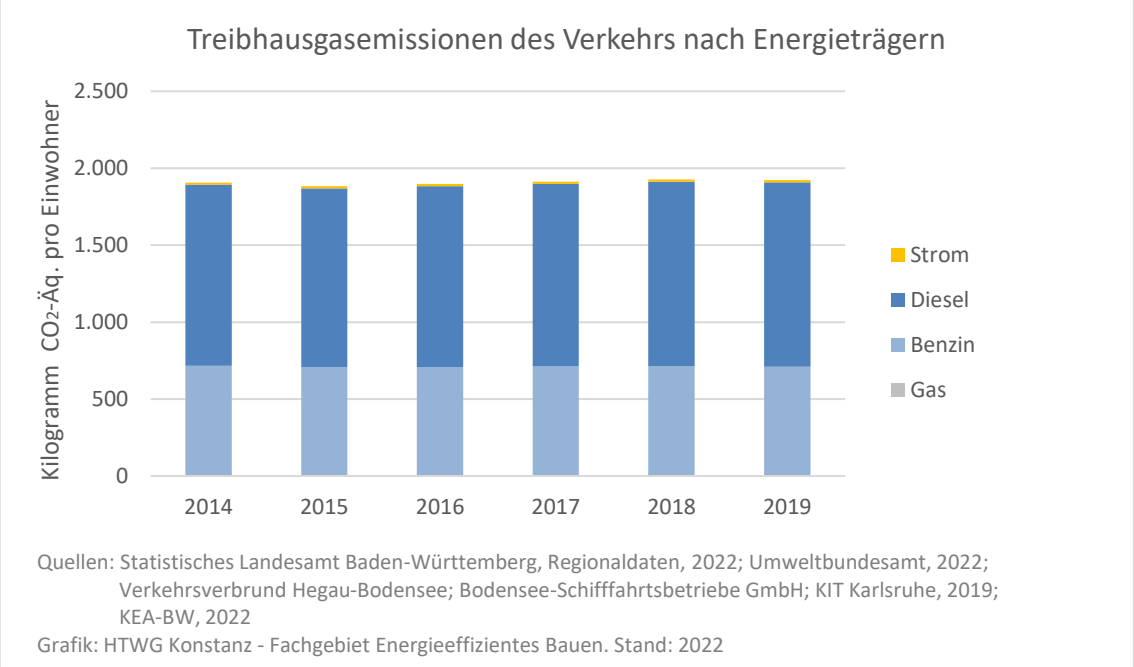
Unter den Verkehrsmitteln, die eine Zunahme der Emissionen aufweisen, tragen die leichten Nutzfahrzeuge ca. 79 Prozent zum Anstieg der Emissionen dieser Verkehrsmittel bei.



Quellen: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Regionaldaten, 2022; Umweltbundesamt, 2022; Verkehrsverbrund Hegau-Bodensee; Bodensee-Schifffahrtsbetriebe GmbH; KIT Karlsruhe, 2019; KEA-BW, 2022
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022

Abbildung 80: Veränderung der Emissionen im Straßenverkehr 2014 - 2019

Insgesamt gehen rund 62 Prozent der Emissionen auf den Verbrauch von Diesel zurück, rund 37 Prozent stammen aus der Verbrennung von Benzin (vgl. Abbildung 81).



Quellen: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Regionaldaten, 2022; Umweltbundesamt, 2022; Verkehrsverbund Hegau-Bodensee; Bodensee-Schifffahrtsbetriebe GmbH; KIT Karlsruhe, 2019; KEA-BW, 2022

Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022

Abbildung 81: Treibhausgasemissionen des Verkehrs nach Energieträgern

3.3.3 Industrie

3.3.3.1 Endenergieverbrauch

Der Endenergieverbrauch der Industrie betrug im Jahr 2019 rund 5.583 kWh pro Einwohner. Dies bedeutet einen Rückgang um 18 Prozent im Vergleich zum Jahr 2011. Der Rückgang ist vor allem auf den Rückgang beim Verbrauch der sonstigen Energieträger und beim Stromverbrauch zurückzuführen. Der Rückgang im Jahr 2019 ist nach der Stagnation zwischen 2013 und 2018 bemerkenswert. Es bleibt abzuwarten, ob sich dieser Rückgang als Trend verstetigt.

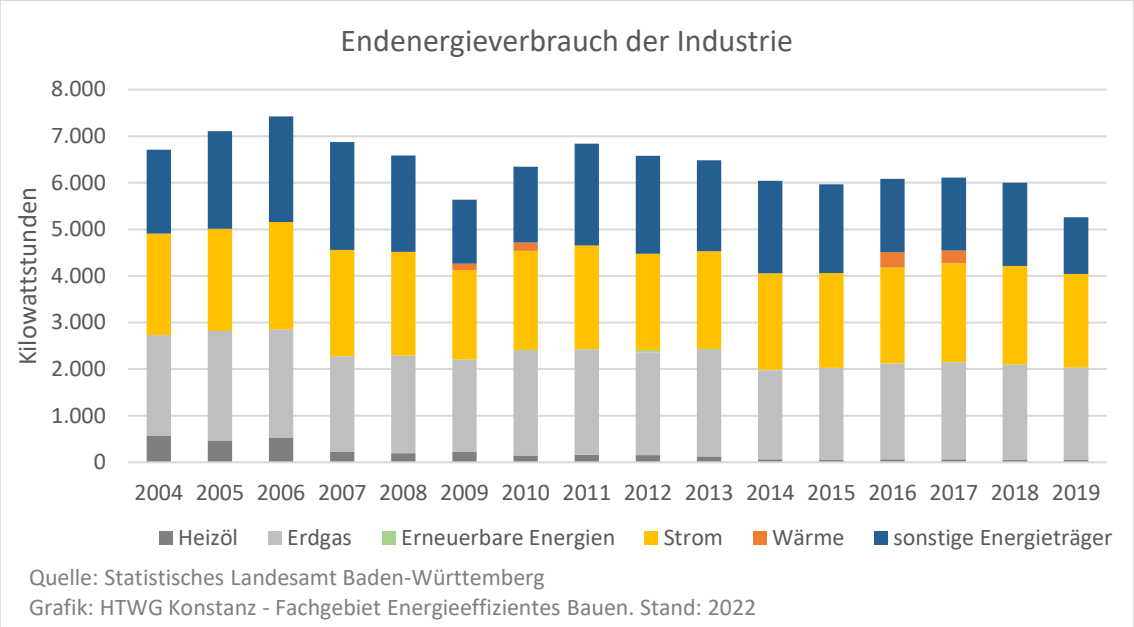


Abbildung 82: Endenergieverbrauch der Industrie

3.3.3.2 Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen der Industrie können nicht für den gesamten Energiemix genau ermittelt werden, da die nicht genauer benannten sonstigen Energieträger immer noch einen Anteil von 20 Prozent am Endenergieverbrauch der Industrie im Landkreis haben. Daher handelt es sich bei den ihnen zugeordneten Emissionen um eine Schätzung, die sich an der CO_2-Bilanz des Landkreises nach der Schätzung des Statistischen Landesamtes orientiert.

Der Rückgang der so geschätzten jährlichen Emissionen beträgt zwischen 2011 (dem Jahr des Zensus 2011) und 2019 rund 28 Prozent. Absolut ergibt sich damit ein geschätzter Rückgang um ca. 700 kg pro Einwohner. Großen Anteil an diesem Rückgang hat der Strom.

Die CO_2-Emissionen des Stromverbrauchs sind im Landkreis Konstanz zwischen 2011 und 2019 um 315 Kilogramm pro Einwohner gesunken. 40 Prozent dieser Minderung sind auf einen Rückgang des Verbrauchs der Industrie zurückzuführen, 60 Prozent der Minderung gehen auf den verbesserten Emissionsfaktor des deutschen Strommixes zurück.

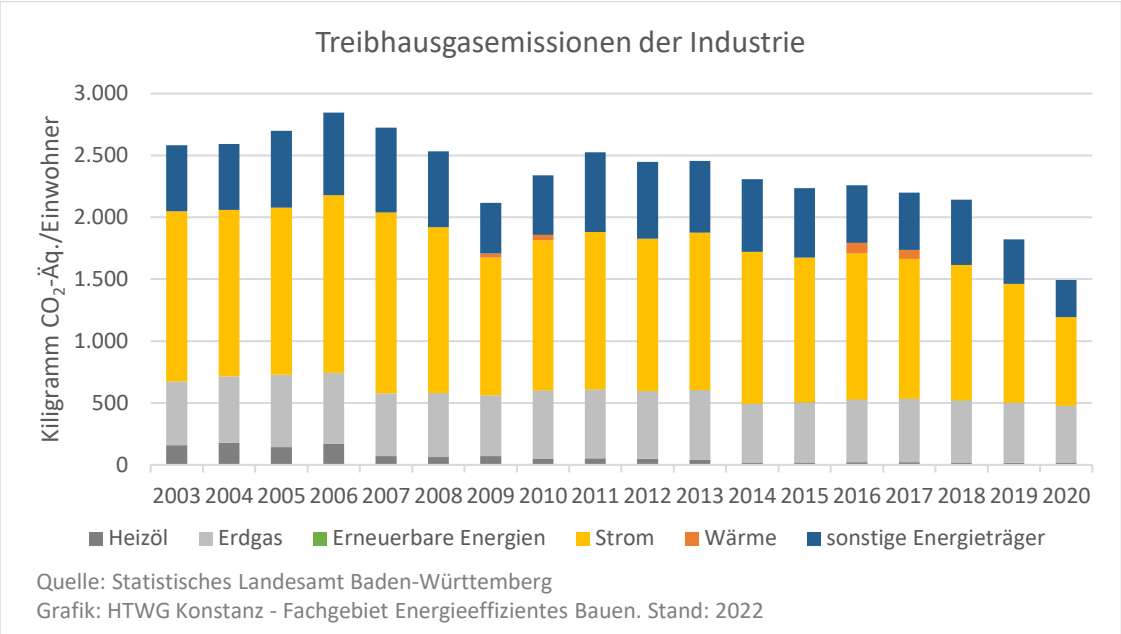


Abbildung 83: Treibhausgasemissionen der Industrie

Somit gehen 27 Prozent des Rückgangs der geschätzten jährlichen Gesamtemissionen der Industrie in diesem Zeitraum auf den verbesserten Strommix zurück, 73 Prozent auf Veränderungen des eigenen Energieverbrauchs.

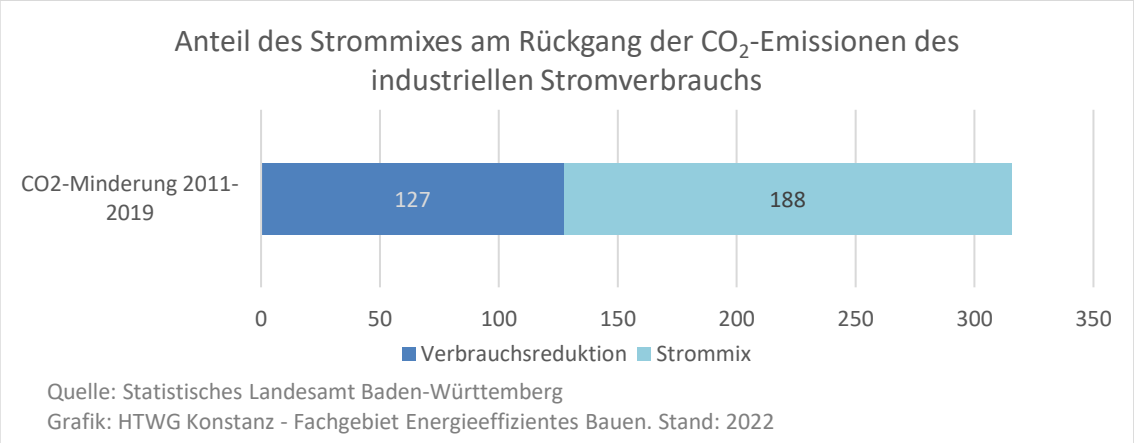


Abbildung 84: Anteil des Strommixes am Rückgang der CO_2-Emissionen des industriellen Stromverbrauchs

3.3.4 GHD

3.3.4.1 Endenergieverbrauch

Der Sektor GHD ist der Sektor, dessen geschätzte Energiebilanz im Vergleich zu den anderen Sektoren mit der größten Unsicherheit behaftet ist. Legt man einen nach LUBW- und Netzbetreiberangaben geschätzten Heizöl- und Erdgasverbrauch sowie einen über das Verhältnis zum Wärmebedarf geschätzten Strombedarf zugrunde, dürfte der Endenergiebedarf des Sektors bei ca. 4,6 MWh pro Einwohner liegen. Innerhalb des GHD-Sektors nimmt Raumwärme den größten Anteil am Endenergieverbrauch ein. Sie hat typischerweise einen Anteil von ca. 80 Prozent am Wärmebedarf des Sektors (Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2016, S. 167).

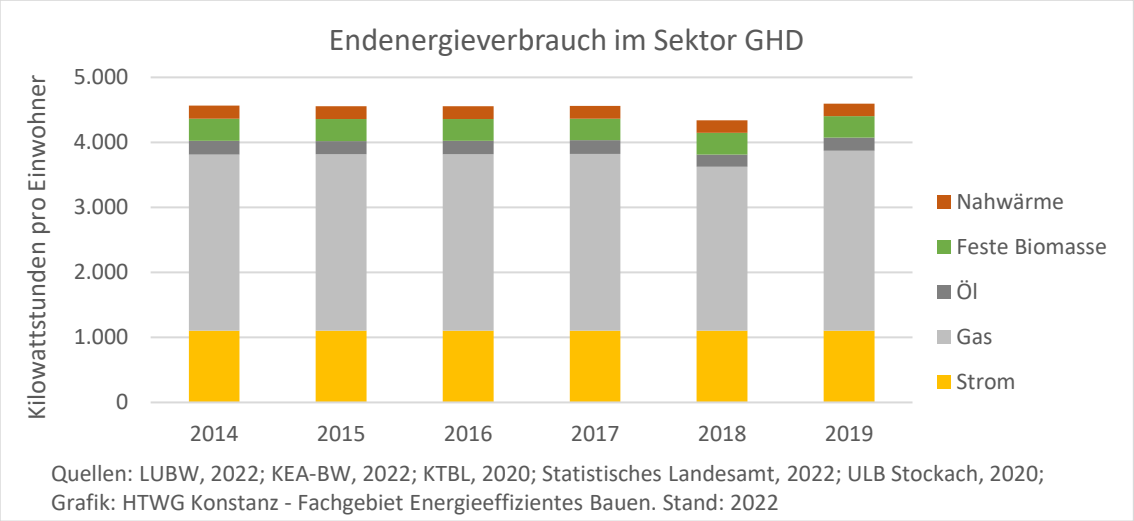


Abbildung 85: Geschätzter Endenergieverbrauch des Sektors GHD

3.3.4.2 Treibhausgasemissionen

Auf Basis dieser Schätzung ergeben sich Treibhausgasemissionen des Sektors GHD von 1,34 t CO_2-Äq./Ea.

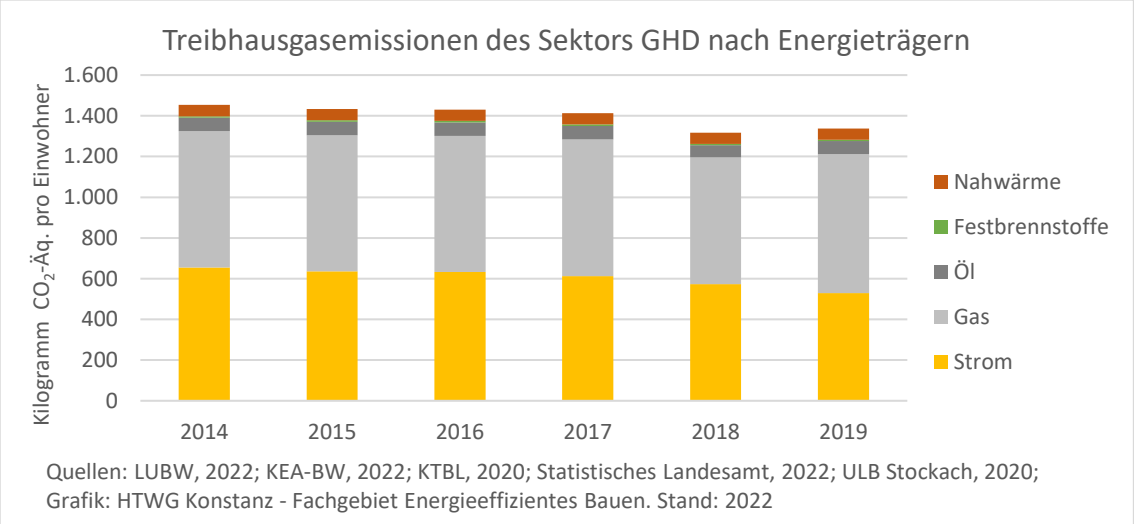


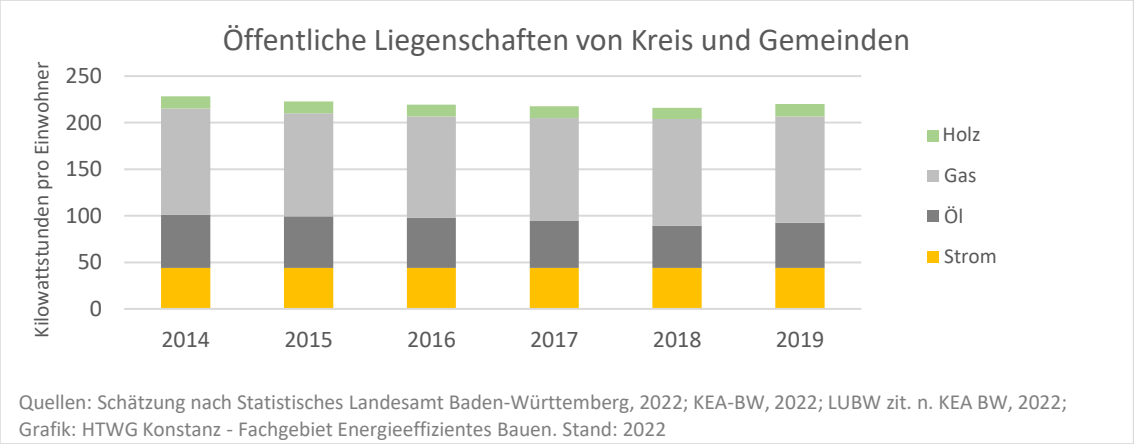
Abbildung 86: Treibhausgasemissionen des Sektors GHD nach Energieträgern

3.3.5 Öffentliche

3.3.5.1 Endenergieverbrauch

3.3.5.1.1 Landkreis und Gemeinden insgesamt

Zum Endenergieverbrauch der öffentlichen Liegenschaften in den Gemeinden liegen bisher keine ausreichenden Daten vor. Der Gesamtverbrauch aller öffentlichen Liegenschaften im Landkreis wurde daher anhand von Durchschnittswerten für das Land Baden-Württemberg und der Gebäudebeheizungsstruktur des Landkreises geschätzt. Er entspricht rund einem Prozent des gesamten Endenergieverbrauchs im Landkreis. Rund vier Fünftel des Energieverbrauchs entfallen typischerweise auf die Bereitstellung von Wärme, nur ein Fünftel auf den Stromverbrauch.

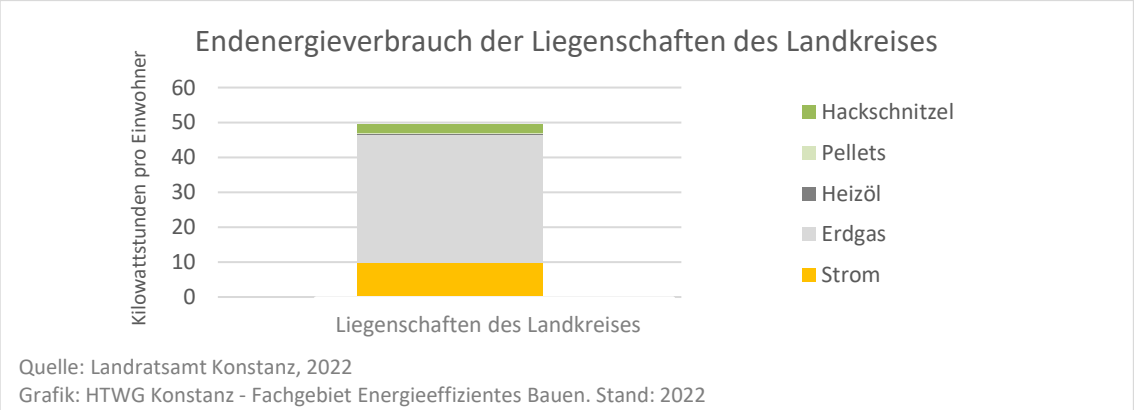


Quellen: Schätzung nach Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022; KEA-BW, 2022; LUBW zit. n. KEA BW, 2022;
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022

Abbildung 87: Geschätzter Energieverbrauch der öffentlichen Liegenschaften des Landkreises und seiner Gemeinden

3.3.5.1.2 Liegenschaften des Landkreises

Der Endenergieverbrauch der kreiseigenen Liegenschaften hat im Jahr 2019 weniger als ein Viertel des geschätzten Endenergieverbrauchs der Liegenschaften des Landkreises und seiner Gemeinden ausgemacht. Der Stromverbrauch hatte daran einen Anteil von ca. 20 Prozent. 74 Prozent entfielen auf Erdgas, 5 Prozent auf Holzhackschnitzel, 0,5 Prozent auf Holzpellets und nur 0,3 Prozent auf Heizöl.



Quelle: Landratsamt Konstanz, 2022
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022

Abbildung 88: Endenergieverbrauch der kreiseigenen Liegenschaften pro Einwohner

Im Jahr 2019 betrug der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch 42 Prozent. Somit wurde der Energieverbrauch der Liegenschaften des Landkreises bilanziell zu 13,9 Prozent aus erneuerbaren Energiequellen gedeckt.

3.3.5.2 Treibhausgasemissionen

Die geschätzten Emissionen der öffentlichen Liegenschaften im Landkreis belaufen sich auf ca. 65 kg CO_2-Äq. pro Einwohner und Jahr.

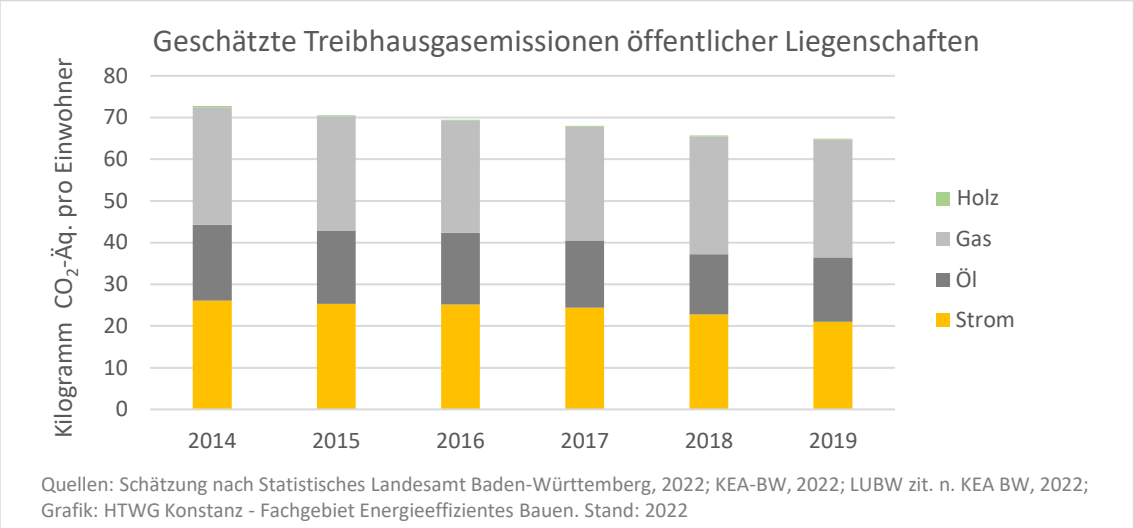


Abbildung 89: Treibhausgasemissionen der öffentlichen Liegenschaften von Gemeinden und Landkreis

Der Anteil der kreiseigenen Liegenschaften beträgt rund 14 kg CO_2-Äq. pro Einwohner und Jahr.

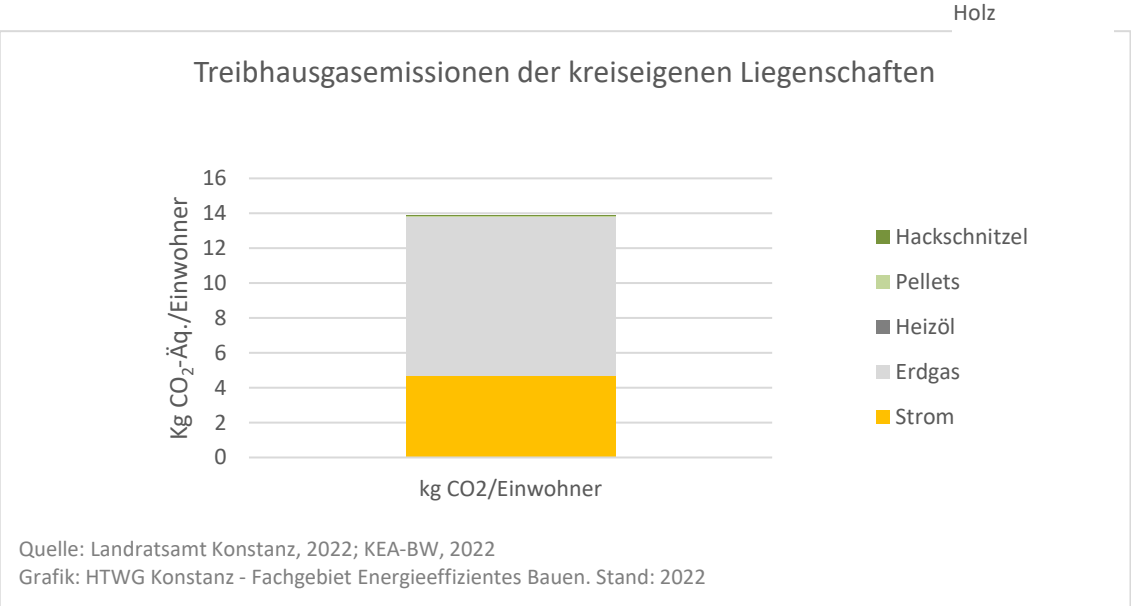


Abbildung 90: Treibhausgasemissionen der kreiseigenen Liegenschaften

3.3.5.3 Stromverbrauch und Stromerzeugung auf kreiseigenen Liegenschaften 2021

Der Stromverbrauch der Liegenschaften im Jahr 2021 betrug 4.846.263 kWh. Die Stromerzeugung auf Gebäuden und Grundstücken des Landkreises summierte sich auf 6.740.594 kWh. Dies entspricht 139 Prozent des Verbrauchs. 92 Prozent der Produktion trug die Anlage auf der Deponie Rickelshausen bei. Die Produktion gliedert sich folgendermaßen:

- Produktion vermietete Dachflächen:……..….rd. 300.000 kWh
- Produktion landkreiseigene Anlagen:……..…….244.748 kWh
- Produktion Deponie Rickelshausen (vermietet):……..6.195.846 kWh

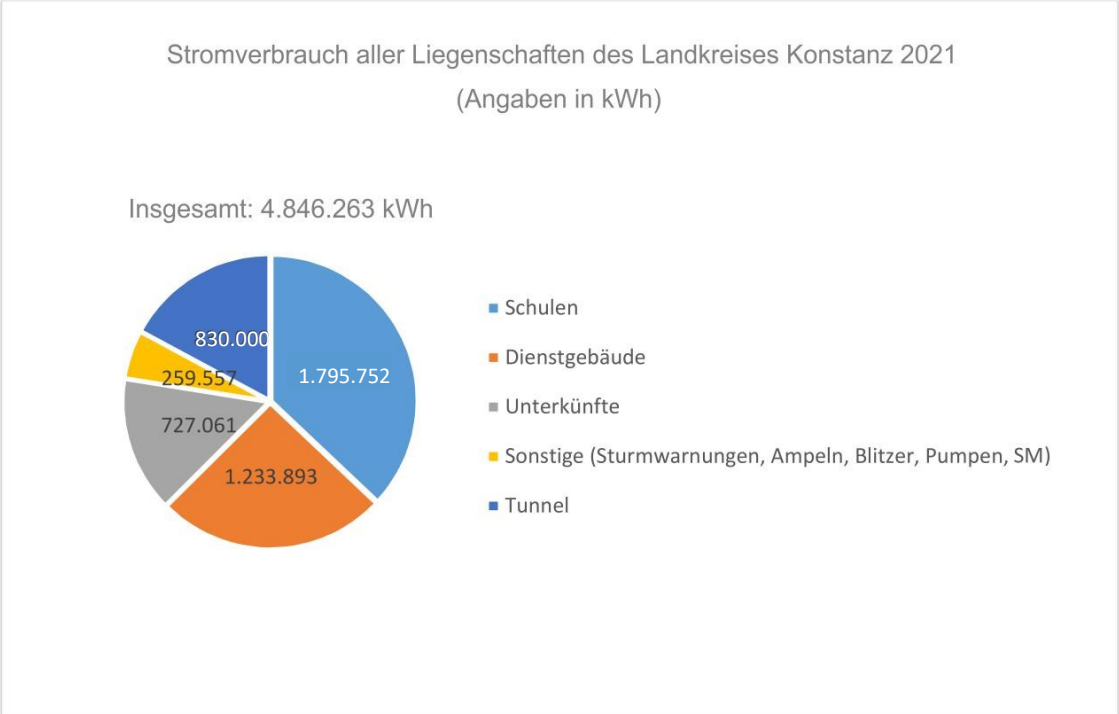


Abbildung 91: Stromverbrauch der Liegenschaften des Landkreises Konstanz 2021

3.3.6 Landwirtschaft

Der Energieverbrauch der Landwirtschaft wurde anhand der Bodennutzung, dem Anbau von Feldfrüchten (vgl. Statistisches Landesamt, 2022) und Daten zum durchschnittlichen Energieverbrauch des Anbaus der verschiedenen Feldfrüchte (nach KTBL, 2020) und des zugehörigen Betriebsenergiebedarfs geschätzt. So ergibt sich eine Summe von ca. 320 kWh/Ea für die Landbewirtschaftung, wovon ca. 73 kWh/Ea auf den Dieselverbrauch bei der Feldarbeit und der Grünlandbewirtschaftung entfallen.

Zudem werden im Landkreis 62 ha Gewächshausfläche bewirtschaftet, aus deren Nutzung ein Energieverbrauch von weiteren rund 300 kWh/Ea resultiert. Mindestens 17 Prozent davon werden aus der Abwärme von Biogasanlagen gewonnen.

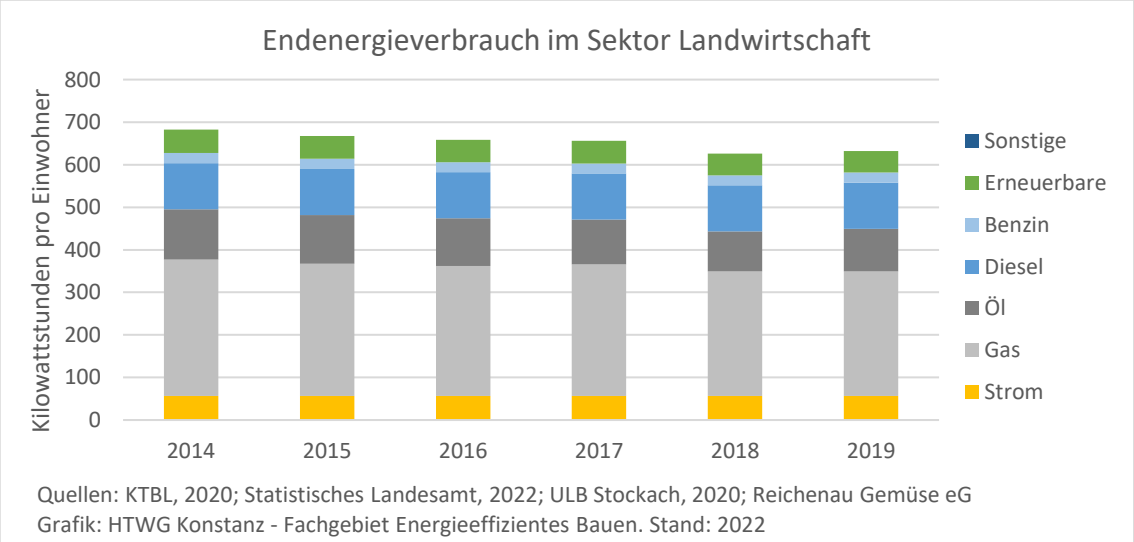


Abbildung 92: Geschätzter Endenergieverbrauch der Landwirtschaft im Landkreis Konstanz

Auf dieser Basis werden die energiebedingten Emissionen von Landbewirtschaftung und Gewächshausbetrieb auf ca. 180 kg CO_2-Äq./Ea geschätzt.

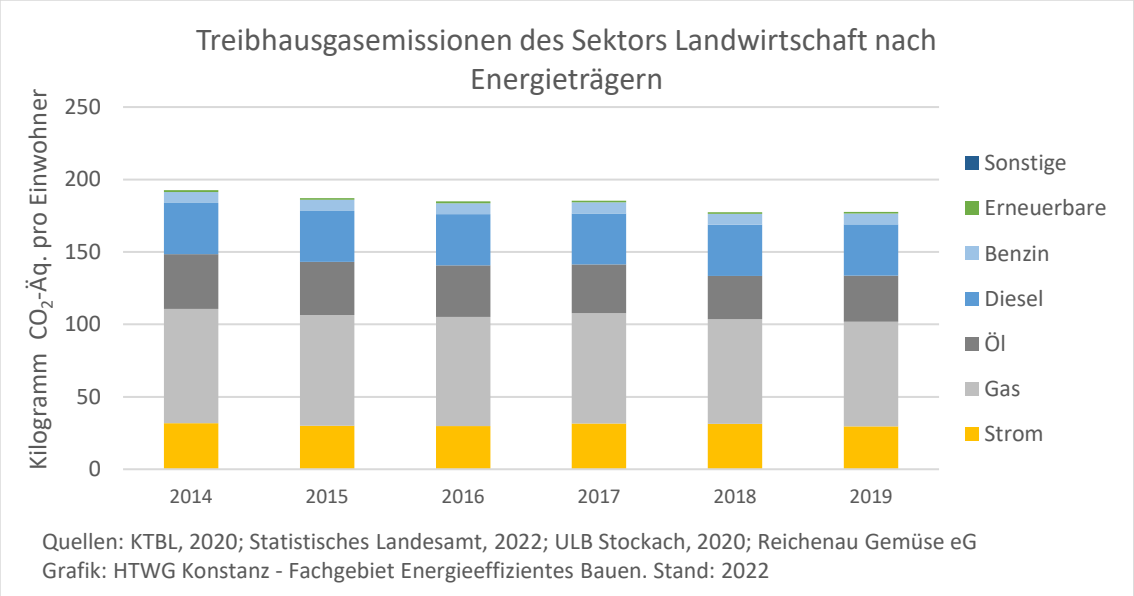


Abbildung 93: Treibhausgasemissionen des Sektors Landwirtschaft

Gewächshäuser

Der Landkreis Konstanz verfügt über relativ große Gewächshausflächen. Allein auf der Insel Reichenau werden rund 44 Hektar Gewächshausfläche bewirtschaftet. Hinzu kommen rund 13 Hektar in der Reichenauer Gärtnersiedlung in Aach, sowie weitere Flächen in anderen Gemeinden. Die beheizte Gewächshausfläche beträgt insgesamt rund 62 Hektar. Die Gewächshäuser der Reichenauer Gärtnersiedlung sind mit einem Wärmeverbrauch von 1,15 GWh/ha (insgesamt 15 Millionen kWh pro Jahr) energieeffizient und werden mit der Abwärme bestehender Biogasanlagen beheizt. Zudem wird eine Photovoltaikanlage mit einer installierten Leistung von 140 kW genutzt. (Gärtnersiedlung Produktion GmbH&Co.KG, 2020). Ältere Gewächshäuser werden in der Regel mit fossilen Energieträgern beheizt. Der Energieverbrauch von Gewächshäusern liegt in Deutschland in der Regel zwischen 290 und 700 kWh/m², Niedrigenergie-Gewächshäuser kommen auf Werte zwischen 100 und 146 kWh/m². (KTBL, 2014, S. 134) Im Landkreis Konstanz weisen 21 Hektar der Gewächshausfläche einen jährlichen Endenergieverbrauch von 230 bis 300 kWh/m² auf, 20 Hektar der Fläche verbrauchen 100 – 120 kWh/m², die übrige Fläche wird mit 30 – 50 kWh/m² beheizt (ULB Stockach, 2020).

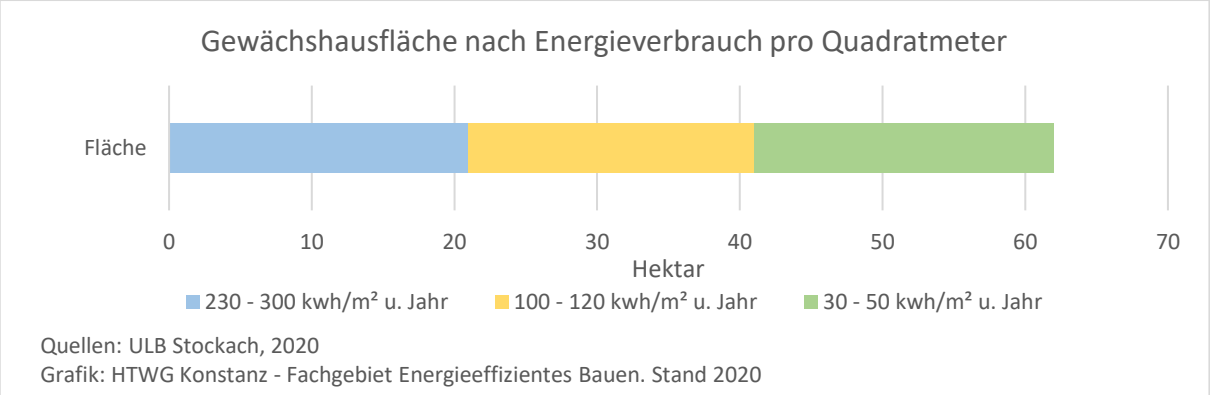


Abbildung 94: Gewächshausfläche nach Energieverbrauch pro Quadratmeter

Auf dieser Basis wurde der Endenergieverbrauch der Gewächshäuser auf 86 GWh/a geschätzt. Dies entspricht insgesamt einem Durchschnittsverbrauch von 140 kWh pro Quadratmeter und Jahr. Gewächshäuser mit einem Energieverbrauch von 230 – 300 kWh/m² haben demnach einen Anteil von einem Drittel an der Gewächshausfläche, verbrauchen aber rund zwei Drittel der aufgewendeten Energie (vgl. Abbildung 95).

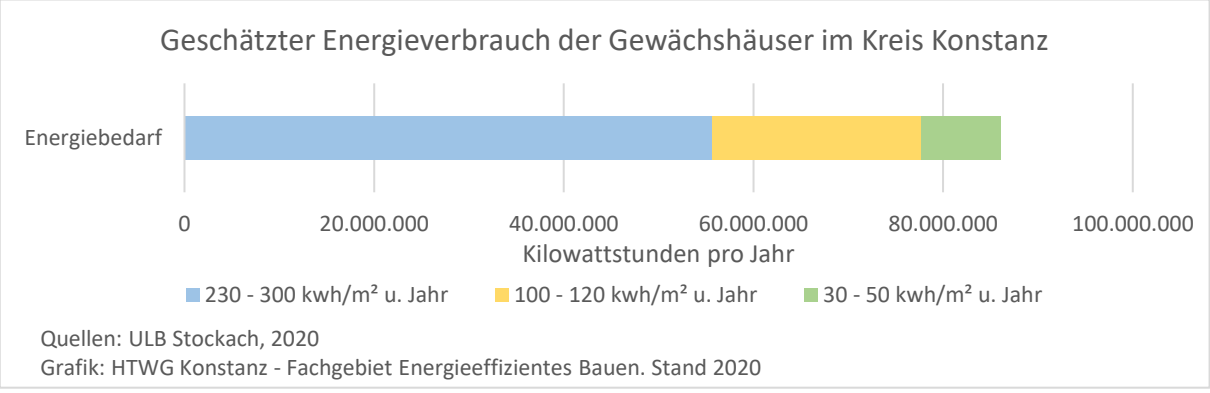


Abbildung 95: Geschätzter Energieverbrauch der Gewächshäuser im Kreis Konstanz

Der technische/energetische Zustand der Gewächshäuser wird zu 38 Prozent als gut eingeschätzt, zu 39 Prozent als durchschnittlich und zu 23 Prozent als schlecht. Ein hohes Optimierungspotenzial besteht auf einer Fläche von 14 Hektar. Schon die Optimierung der bereits installierten Technik, kleinere Investitionen oder eine höhere Flächenausnutzung können den Energieverbrauch enorm senken. Darüber hinaus sollten weitere 24 Hektar auf ihr Optimierungspotenzial geprüft werden. Könnte der Energiebedarf der Gewächshäuser mit einem aktuellen jährlichen Energieverbrauch von 230 – 300 kWh/m² auf den von Niedrigenergiegewächshäusern gesenkt werden, könnten schätzungsweise 20 bis 38 GWh/a eingespart werden. Das entspricht dem durchschnittlichen jährlichen Wärmebedarf von 1.400 bis 2.900 Haushalten.

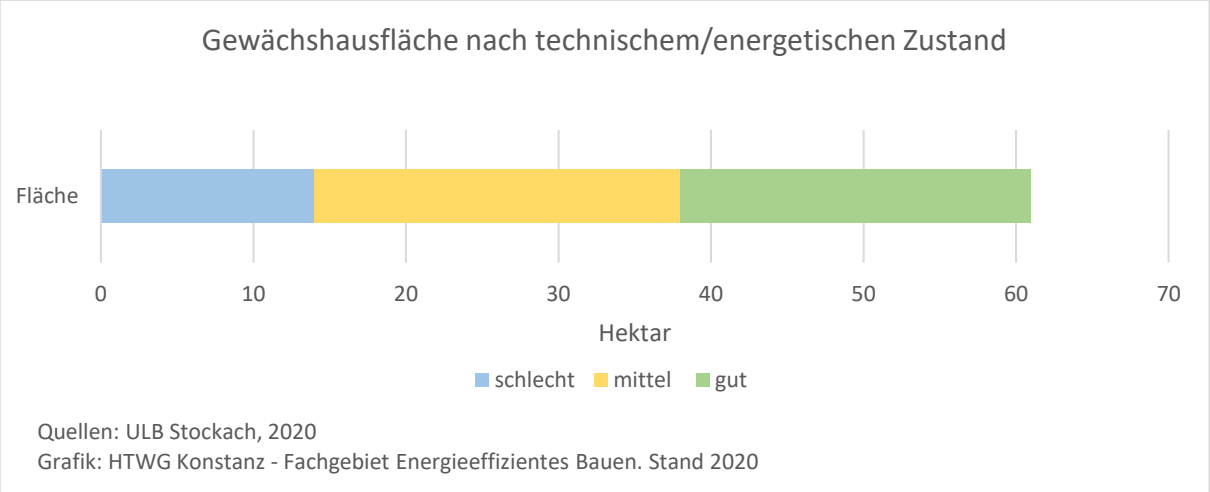


Abbildung 96: Gewächshausfläche nach technischem/energetischen Zustand

4 Nutzung Erneuerbarer Energien

4.1 Bisherige Nutzung

Der Verbrauch erneuerbarer Energien im Landkreis Konstanz einschließlich importierter Energieträger summierte sich im Jahr 2018 auf fast 3,3 MWh pro Einwohner. Dies sind 6,2 Prozent mehr als im Jahr 2015. Einen großen Beitrag leisteten dabei erneuerbare Energien im deutschen Strommix.

4.1.1 Bisherige Nutzung nach Energiequelle

Die EEG-Stromerzeugung betrug im Jahr 2018 insgesamt 286.566 MWh. Im Vergleich zum Jahr 2014, in dem der Ertrag aus Wasserkraft überdurchschnittlich ausfiel, bedeutet dies eine Steigerung um 4,5 Prozent. Im Vergleich zum Jahr 2015, in dem der Ertrag aus Wasserkraft eher gering war, beträgt die Steigerung 8,4 Prozent. Auffällig ist dabei, dass die Produktion aus Bioenergie stagnierte, während der Zuwachs bei der Photovoltaik lediglich 6,8 Prozent betrug und die Produktion aus Wasserkraft rückläufig war. Ohne den Zubau der Windkraft betrug der Zuwachs der EEG-Stromproduktion zwischen 2015 und 2018 lediglich 2,1 Prozent, was einem Zuwachs von 0,7 Prozent pro Jahr entspricht.

Mit Blick auf die möglichen Folgen des Klimawandels ist mit einer Steigerung der Wasserkraft wahrscheinlich auch künftig nicht zu rechnen. Wird auf einen Ausbau der Biomasseverstromung verzichtet, muss die Photovoltaik die mangelnden Entwicklungspotenziale der übrigen Energiequellen alleine kompensieren.

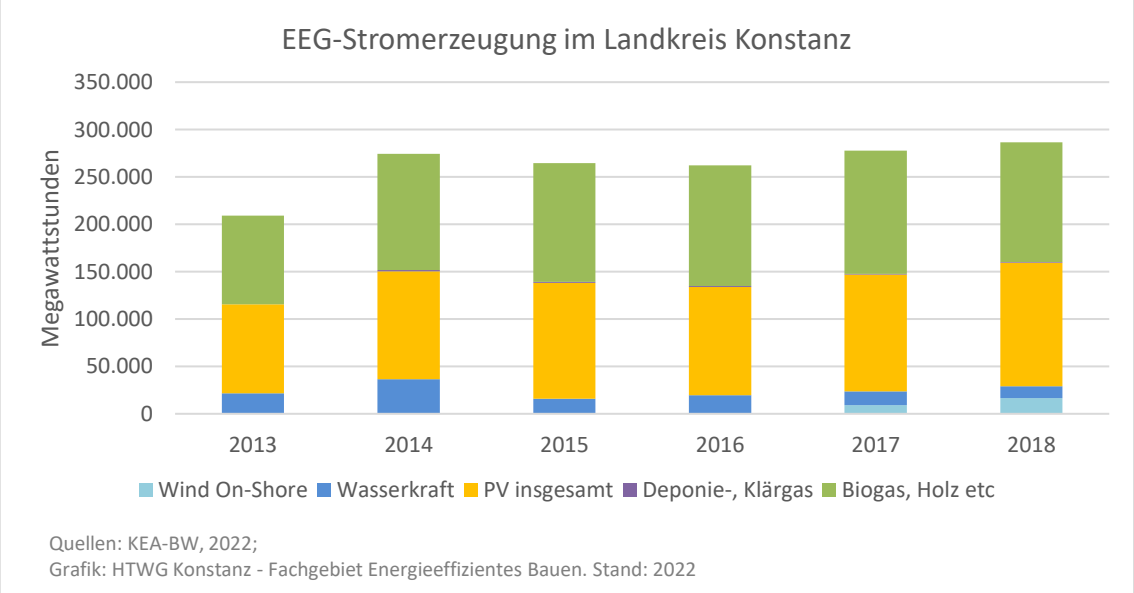


Abbildung 97: EEG-Stromerzeugung im Landkreis Konstanz 2011 – 2018

Ihr Anteil an der EEG-Stromerzeugung stagnierte jedoch zwischen 2015 und 2018, was im Umkehrschluss bedeutet, dass sie trotz der größeren Entwicklungspotenziale nicht überproportional zum Zuwachs der EEG-Stromproduktion beitrug. Mit 45,5 Prozent ist

ihr Anteil praktisch genauso groß wie der Anteil der Bioenergie, während Wasserkraft und Windenergie 2018 gemeinsam lediglich 10 Prozent zur Produktion beitrugen.

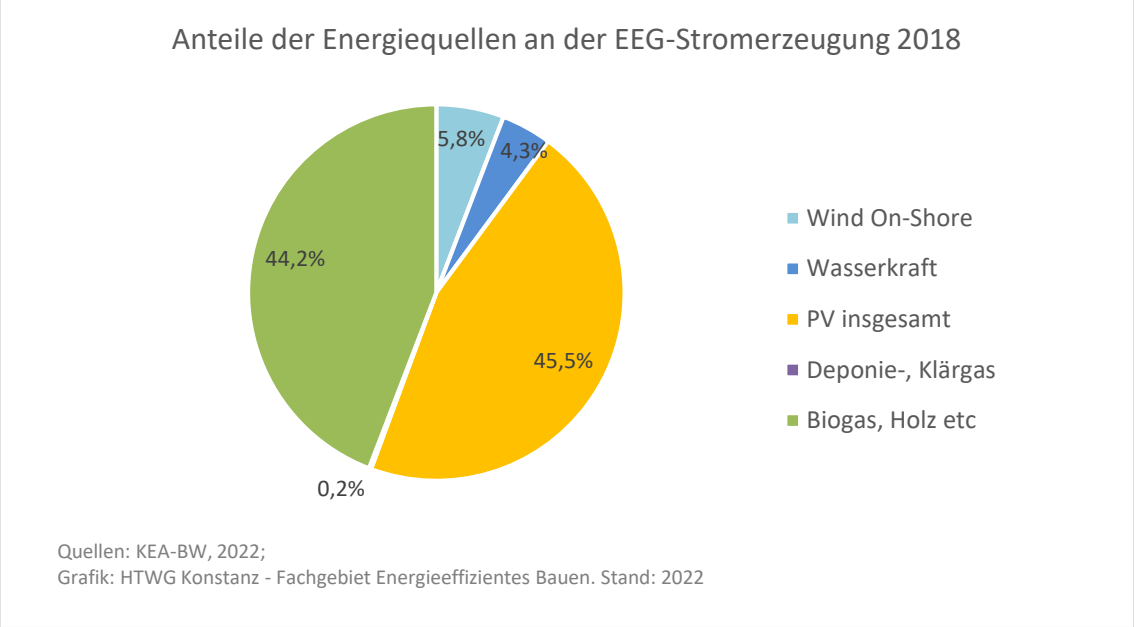


Abbildung 98: Anteile der Energiequellen an der EEG-Stromerzeugung 2018

Noch einmal merklich geringer fiel der Zuwachs der EEG-Stromproduktion aus, wenn er im Verhältnis zur Bevölkerung betrachtet wird. So betrug die Zunahme der Produktion pro Einwohner ohne Windenergie aufgrund des Bevölkerungswachstums nur 0,3 Prozent. Das bedeutet, dass die EEG-Stromproduktion ohne die drei neuen Windenergieanlagen nicht schneller zunimmt als die Bevölkerung. Erforderlich wäre jedoch eine Steigerung der Produktion auch im Verhältnis zur Bevölkerung.

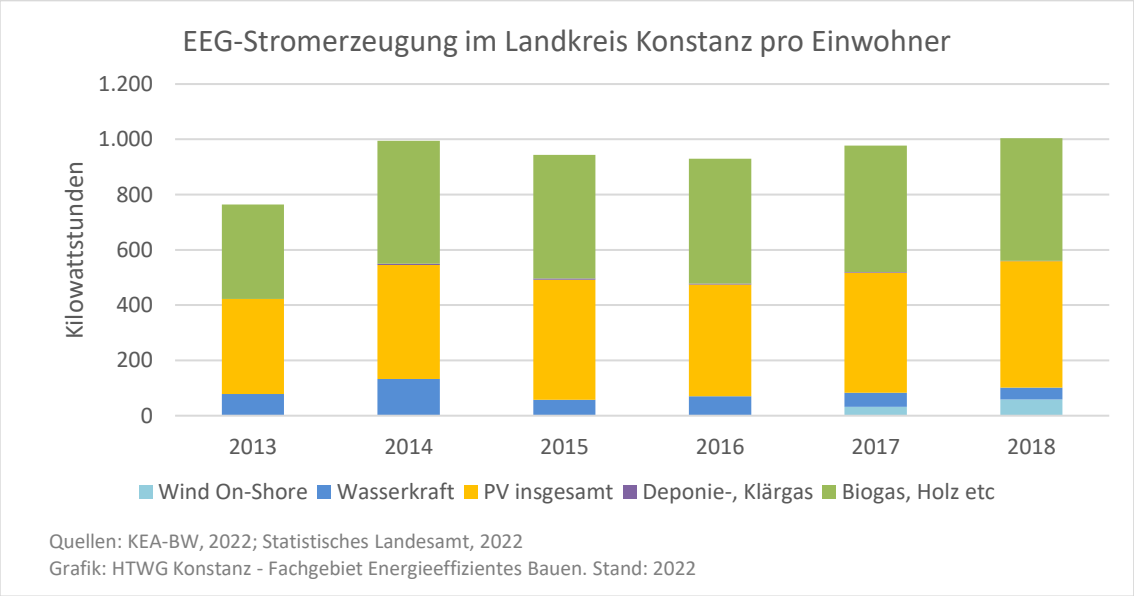


Abbildung 99: EEG-Stromerzeugung im Landkreis Konstanz 2011 – 2018 pro Einwohner

Einen großen Beitrag zur erneuerbaren Energiebereitstellung im Landkreis Konstanz leisteten erneuerbare Energien im deutschen Strommix.

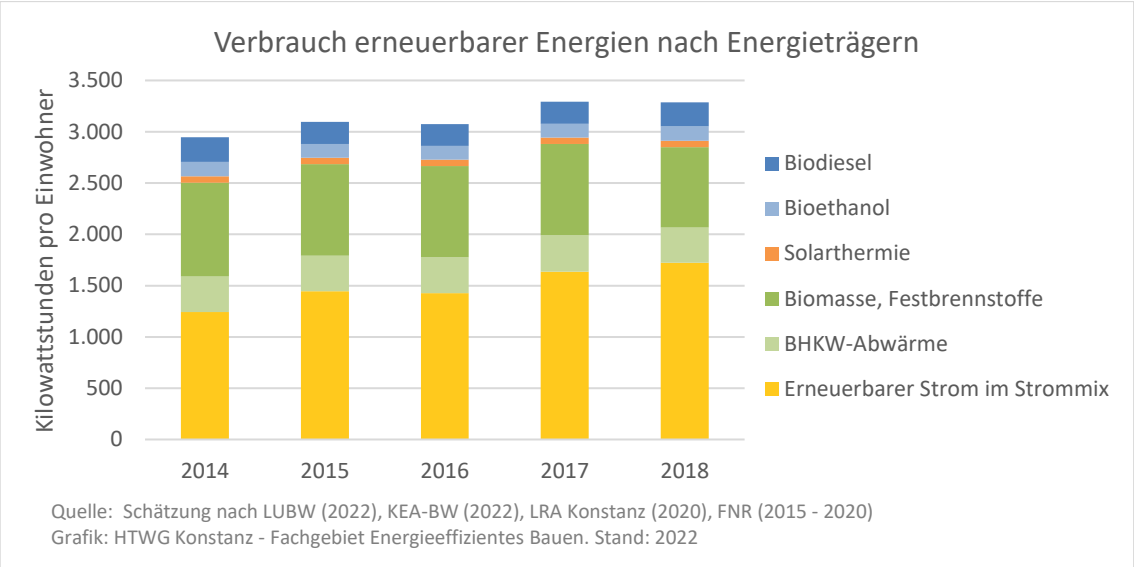


Abbildung 100: Verbrauch erneuerbarer Energien nach Energieträgern

Lokal erzeugte erneuerbare Energien summierten sich auf knapp 2,1 MWh, was ca. 63 Prozent des Gesamtverbrauchs erneuerbarer Energieträger im Landkreis entsprach.

Die geschätzte Nutzung lokaler erneuerbarer Energien ist seit 2015 um 2,3 Prozent gestiegen. Damit ist die geschätzte Bereitstellung aus lokalen Quellen deutlich langsamer gestiegen als der Verbrauch erneuerbarer Energien.

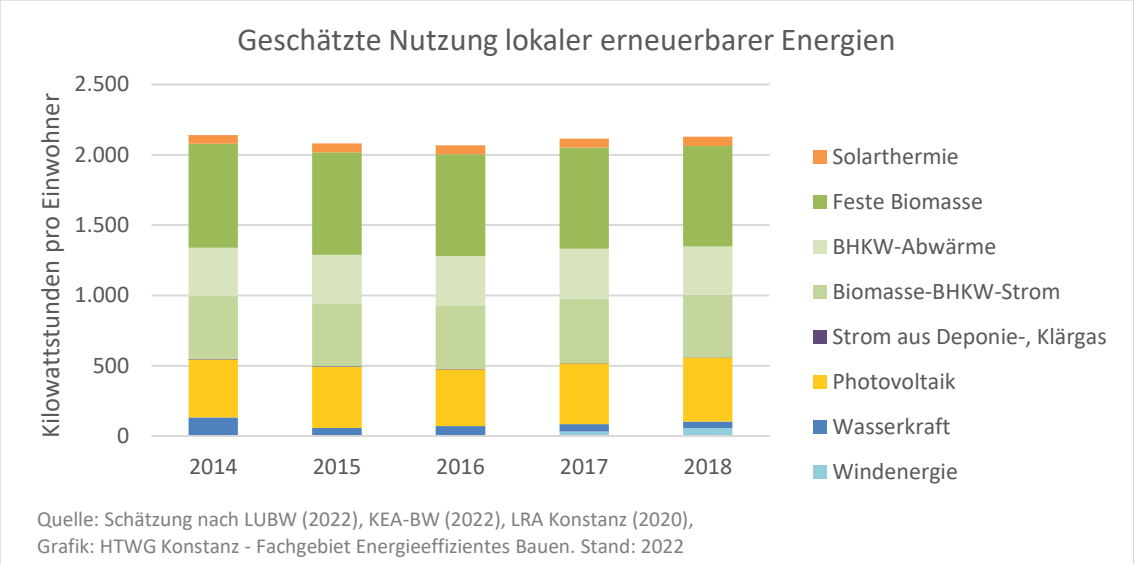


Abbildung 101: Geschätzte Nutzung lokaler erneuerbarer Energien

4.1.1.1 Solarenergie

4.1.1.1.1 EEG-Stromerzeugung der Photovoltaik

Die EEG-Stromerzeugung der Photovoltaik hatte sich bis zum Jahr 2018 auf 130 GWh pro Jahr gesteigert. Davon entfielen 17 GWh auf die Freiflächenphotovoltaik.

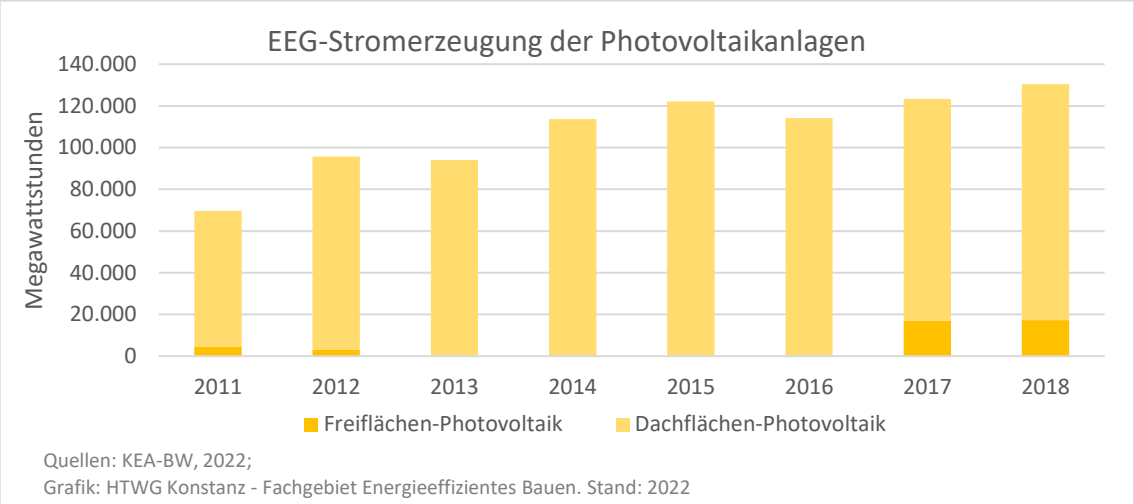


Abbildung 102: EEG-Stromerzeugung der Photovoltaikanlagen (Dach- und Freiflächen)

4.1.1.1.2 Dachflächenphotovoltaik

Die EEG-Stromproduktion der Dachflächenphotovoltaik ist zwischen 2011 und 2018 deutlich von 65.054 MWh auf 113.089 MWh gestiegen. Dies entspricht einem Wachstum um 74 Prozent. Allerdings stagniert die EEG-Stromproduktion seit 2015. Pro Einwohner betrug die Produktion im Jahr 2018 rund 396 Kilowattstunden. Schätzt man das Erzeugungspotenzial des Landkreises anhand des Energieatlas Baden-Württemberg und nimmt dabei einen Ertrag von 150 kWh/m² an, entspricht die Produktion des Jahres 2018 ca. 11 bis 12 Prozent des Dachflächenpotenzials, je nach Berücksichtigung eines möglichen Modulflächenanteils der Solarthermie von bis zu 5 Prozent.

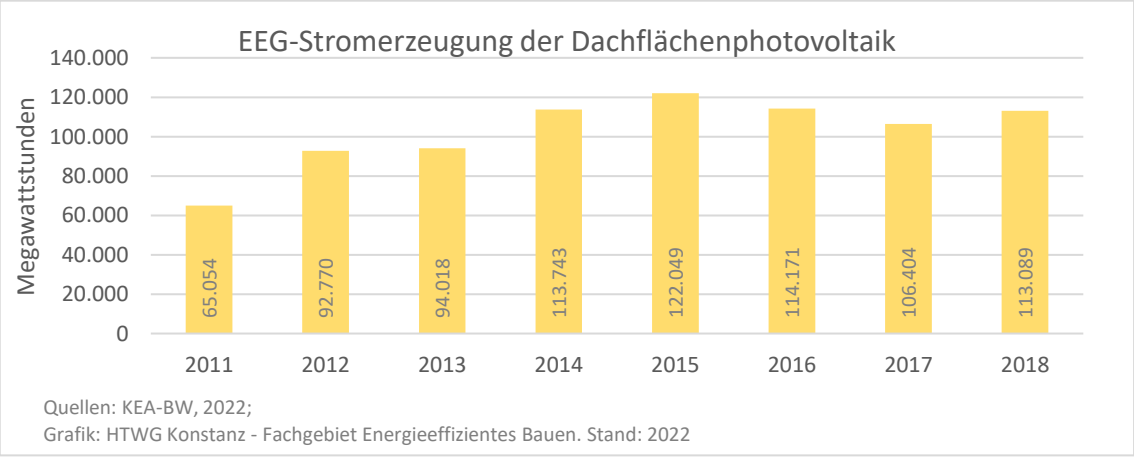


Abbildung 103: EEG-Stromerzeugung der Dachflächenphotovoltaik

4.1.1.1.3 Freiflächenphotovoltaik

Stromerzeugung

Die bekannte EEG-Stromerzeugung durch Freiflächensolaranlagen betrug im Jahr 2018 rund 17.307 MWh. Damit hatten die Freiflächensolaranlagen einen Anteil von 13,3 Prozent an der EEG-Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen. Zahlen für 2019 lagen noch nicht vor.

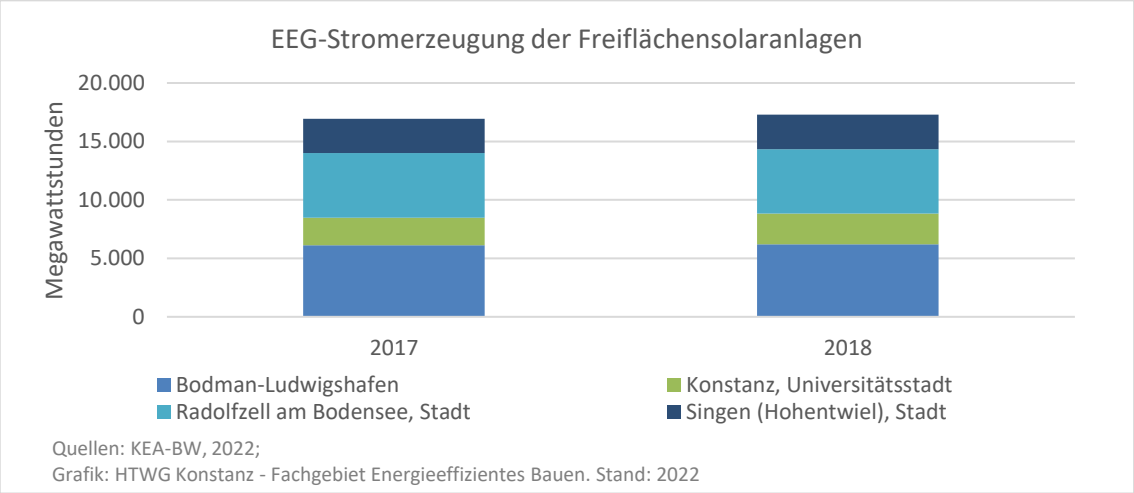


Abbildung 104: Bekannte EEG-Stromerzeugung der Freiflächensolaranlagen 2017 und 2018

Jährlicher Zubau 2006 bis 2021

Der Zubau installierter Leistung erfolgt bisher sehr unregelmäßig mit starken Schwankungen. Die Jahre mit dem größten Zubau von Freiflächenphotovoltaik waren bisher 2020, 2022 und 2011 (Stand Juni 2022). In den Jahren 2012, 2015, 2017 und 2018 erfolgte dagegen keinerlei Zubau. In den zehn Jahren zwischen 2012 und 2022 wurden pro Jahr rund 3,14 MWp Freiflächenphotovoltaik zugebaut.

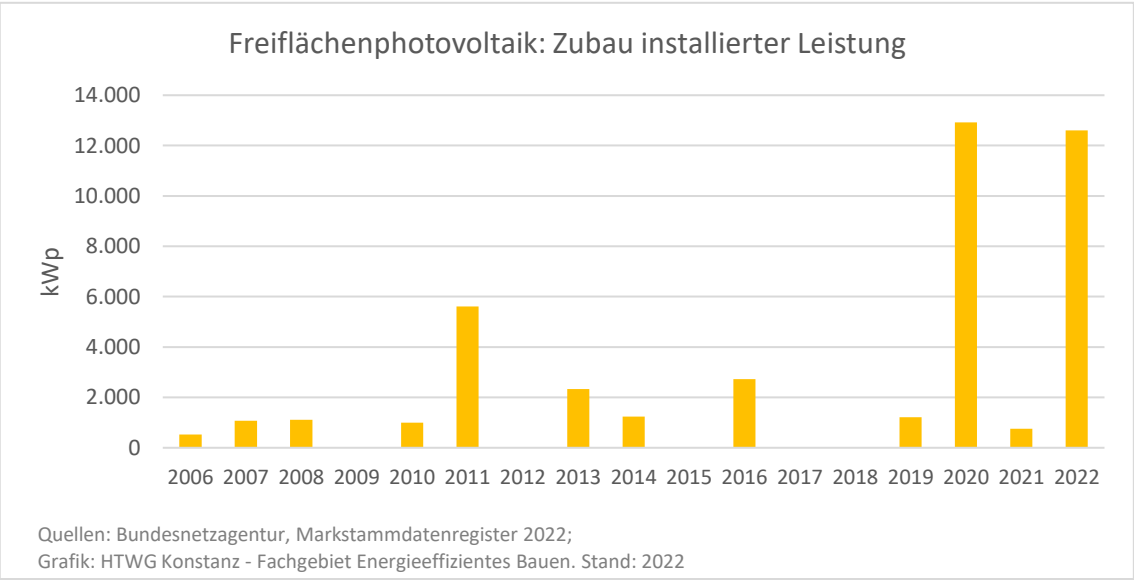


Abbildung 105: Freiflächenphotovoltaik - Zubau installierter Leistung 2006 - 2022

Installierte Leistung im Landkreis

Die installierte Leistung ist bis Mitte des Jahres 2022 auf rund 43 MWp angewachsen.

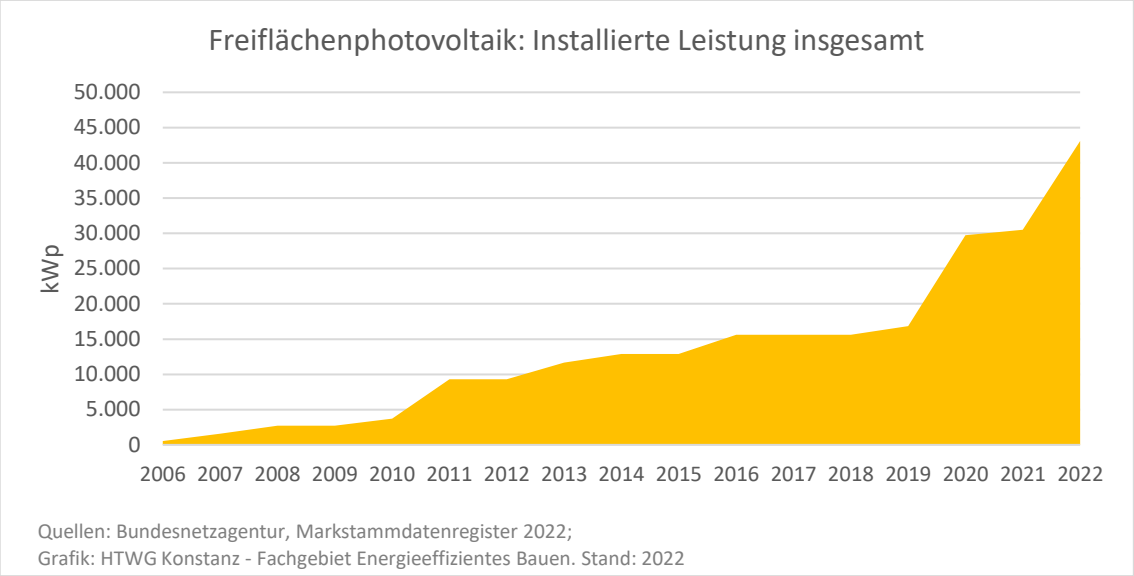


Abbildung 106: Freiflächenphotovoltaik - Entwicklung der installierten Leistung insgesamt

Geschätzte Stromerzeugung

Nimmt man einen durchschnittlichen Jahresertrag von ca. 1.000 kWh pro kWp an, hat sich die jährliche Stromproduktion auf ca. 43 GWh pro Jahr (Stand Juni 2021) erhöht.

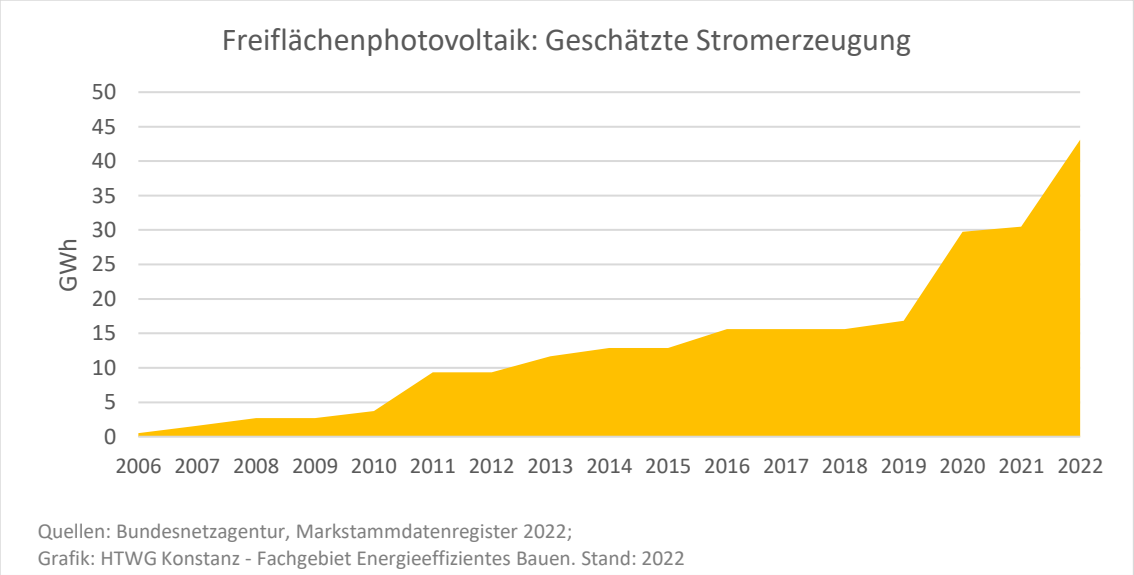


Abbildung 107: Geschätzte Stromerzeugung durch Freiflächenphotovoltaik

Installierte Leistung in den Gemeinden

Im Juni 2022 waren in 13 von 25 Gemeinden Freiflächenphotovoltaikanlagen installiert. Über die größte installierte Leistung verfügen aktuell Steißlingen, Mühlhausen-Ehingen, Singen und Bodman-Ludwigshafen.

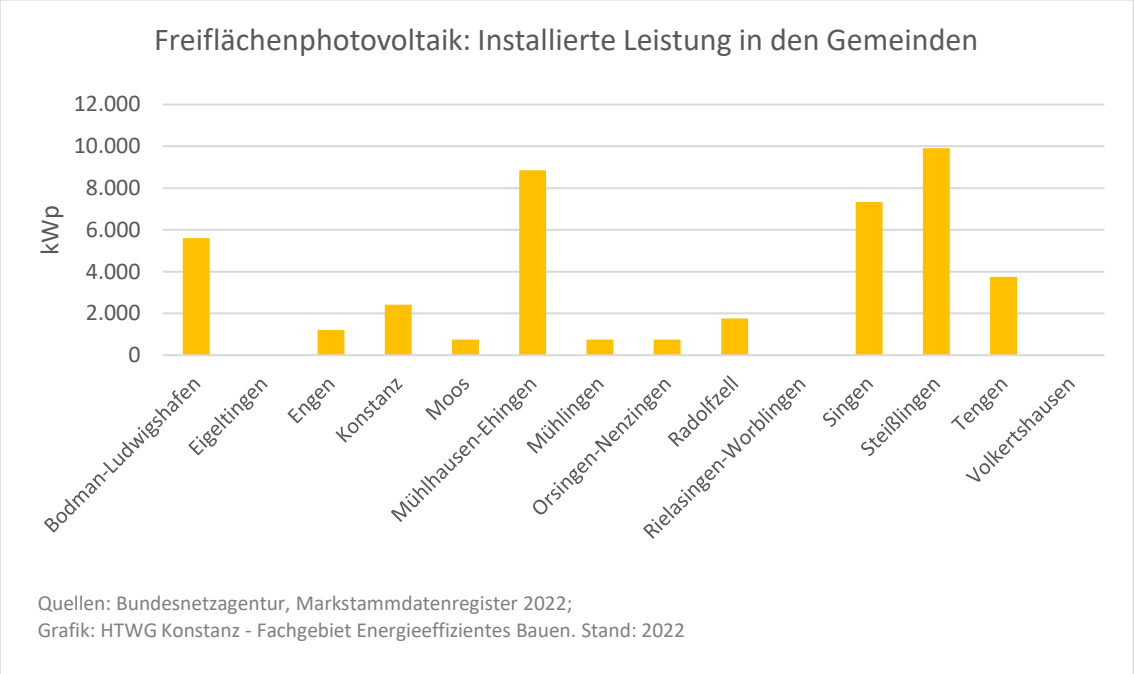


Abbildung 108: Installierte Leistung der Freiflächenphotovoltaik in den Gemeinden

Freiflächensolaranlagenbestand im Frühjahr 2022

Im Jahr 2022 gibt es bereits 15 Freiflächensolaranlagen in 7 Gemeinden, was 28 Prozent der Gemeinden des Landkreises entspricht. Zudem ist eine weitere Anlage in Tengen genehmigt, in Hilzingen laufen Sondierungsgespräche. Weitere Flächen in Gottmadingen, Gailingen und Büsingen sind in der Abklärung. (LRA Konstanz, 2022)

VVG Engen:
- Solarpark „Brächle", Welschingen ***(in Betrieb)***
- Solarpark „Autobahn“, Engen ***(in Betrieb)***
- Solarpark „Rumisbohl“ [ehemals "Solarpark Waldhof"] ***(wird derzeit realisiert)***
- Solarpark „Unter Krähen“, Mühlhausen ***(in Planung)***

VVG Gottmadingen:
- Solarpark Randegg ***(in Betrieb)***

Hilzingen:
- Solarpark Weiterdingen ***(Sondierungsgespräch)***

VVG Höri:
- Solarpark „Deponie Moos“ ***(in Betrieb)***

VVG Konstanz:
- PV-Anlage "Glaskugel" ***[auf dem Gelände der Stadtwerke KN, „nur" 84 kW] (in Betrieb)***
- Solarpark "Dorfweiher" ***(in Betrieb)***
- Allensbach B33 ***(in Planung)***

Radolfzell:
- Solarpark „Hundertjauchert“ ***(in Betrieb)***
- Solarpark „Rickelshausen" ***(in Betrieb)***
- Solarenergiedorf Liggeringen/Freiflächen-Solarthermie-Anlage + Biomasse-Heizwerk ***(in Betrieb)***
- Solarpark "Brandbühl", Böhringen zw. Reute und Stahringen ***(aktuell in Planung)***

VVG Singen:
- Solarpark Beuren ***(Spatenstich Ende Januar 2022)***
- Solarpark „Langenried" ***(in Betrieb und inzwischen erweitert auf 1,3 MW)***
- Solarpark „Autobahn", Volkertshausen
- Solarpark Steißlingen ***(in Betrieb)***

VVG Stockach:
- Solarpark „Berenberg", Zoznegg ***(in Betrieb)***
- Solarpark „Autobahn", Autobahnabfahrt Stockach West ***(in Betrieb)***
- Solarpark „Mooshof/Buchbühl" ***(in Betrieb)***
- Solarpark „Berenberg", Mühlingen ***(in Planung)***

Tengen:
- Solarpark „Berghof" ***(genehmigt: 17.01.22; Spatenstich: 31.01.2022)***

4.1.1.1.4 Solarthermie

Die Anlagenfläche der Solarthermie im Landkreis Konstanz ist zwischen den Jahren 2011 und 2019 um 20,6 Prozent von 30.413 auf 36.665 Quadratmeter gewachsen. Pro Einwohner entspricht dies einem Zuwachs um 13,0 Prozent von 0,113 auf 1,128 m².

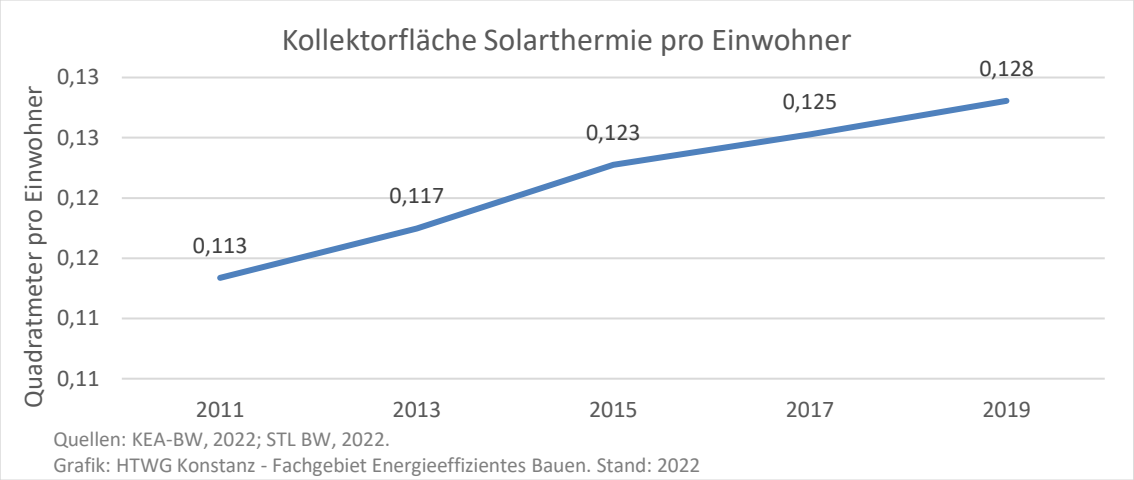


Abbildung 109: Kollektorfläche Solarthermie pro Einwohner

Werden in Zukunft bis zu fünf Prozent des Modulflächenpotenzials auf Gebäudedächern mit Solarthermie genutzt, lag der Nutzungsgrad des Solarthermiepotenzials im Jahr 2017 bei rund 13,5 Prozent.

Nimmt man einen Ertrag von 520 kWh Wärme pro Quadratmeter Kollektorfläche an, ergibt sich im Jahr 2019 eine geschätzte Wärmeproduktion von 67 kWh pro Einwohner.

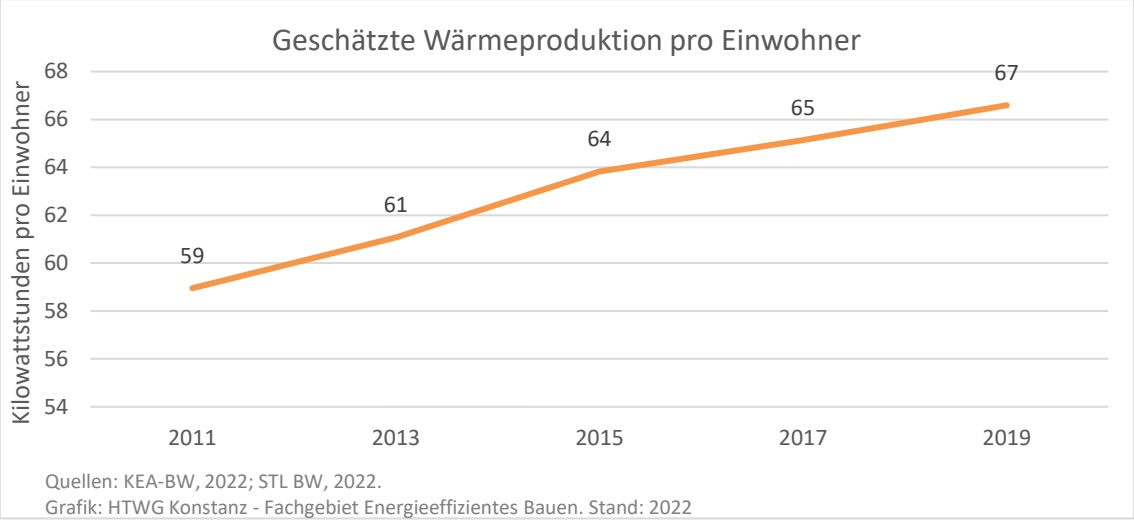


Abbildung 110: Geschätzte Wärmeproduktion pro Einwohner

4.1.1.2 Windenergie

Im Landkreis Konstanz stehen nur sehr begrenzt geeignete Flächen für die Nutzung von Windkraft zur Verfügung. Aktuell sind drei genehmigte Windkraftanlagen im Gewann „Verenafohren" auf der Gemarkung Tengen in Betrieb. Im Jahr 2018 konnte der Ertrag durch den Zubau auf rund 16.670 MWh gesteigert werden.

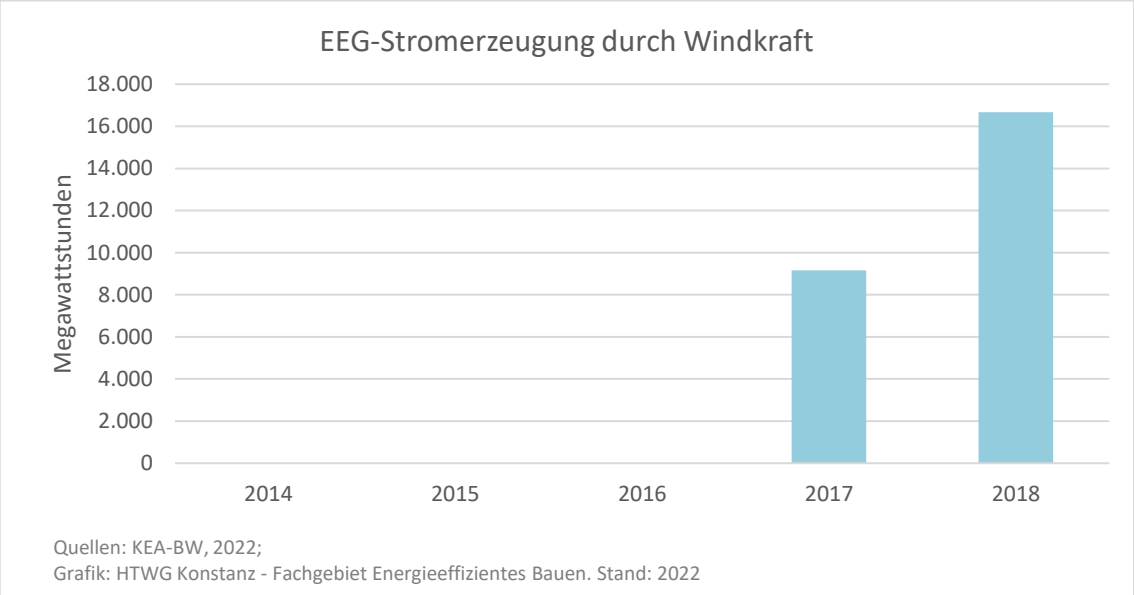


Abbildung 111: EEG-Stromerzeugung durch Windkraft

Ausblick

Weitere Windenergieanlagen sind im Gewann „Brand" auf der Gemarkung Watterdingen (Tengen), geplant. Allerdings wurde die Planung dieser Anlagen aufgrund artenschutzrechtlicher Restriktionen (Rotmilan-Dichtezentrum) vom Projektträger zunächst nicht weiterverfolgt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass für dieses Windkraftprojekt demnächst ein Genehmigungsantrag eingereicht wird. (LRA Konstanz, 2022)

Darüber hinaus hat die Landesregierung jüngst angekündigt, im Zuge einer Vermarktungsoffensive Staatswaldflächen für den Ausbau der Windkraftnutzung in Baden-Württemberg zur Verfügung zu stellen. Im Landkreis Konstanz sollen Waldflächen von insgesamt 32 ha auf der Gemarkung Öhningen ausgeschrieben werden. Hierbei handelt es sich um zwei Standorte, die im Landschaftsschutzgebiet „Schienerberg" liegen. Ob diese Flächen aus natur-/artenschutzrechtlicher Sicht für eine Windenergienutzung tatsächlich in Betracht kommen, müsste in einem Genehmigungsverfahren allerdings erst noch geprüft werden. (LRA Konstanz, 2022)

4.1.1.3 Wasserkraft

Der durchschnittliche Jahresertrag der Wasserkraft lag im Zeitraum 2015 bis 2018 um 19 Prozent unter dem Vergleichswert des Zeitraums 2011 bis 2013. Zudem zeigt sich seit 2016 eine sinkende Tendenz. Es erscheint eher unwahrscheinlich, künftig wieder auf eine deutliche Zunahme hoffen zu können. Welches Zubaupotenzial die Kleinwasserkraft im Landkreis bietet, ist bisher noch unbekannt.

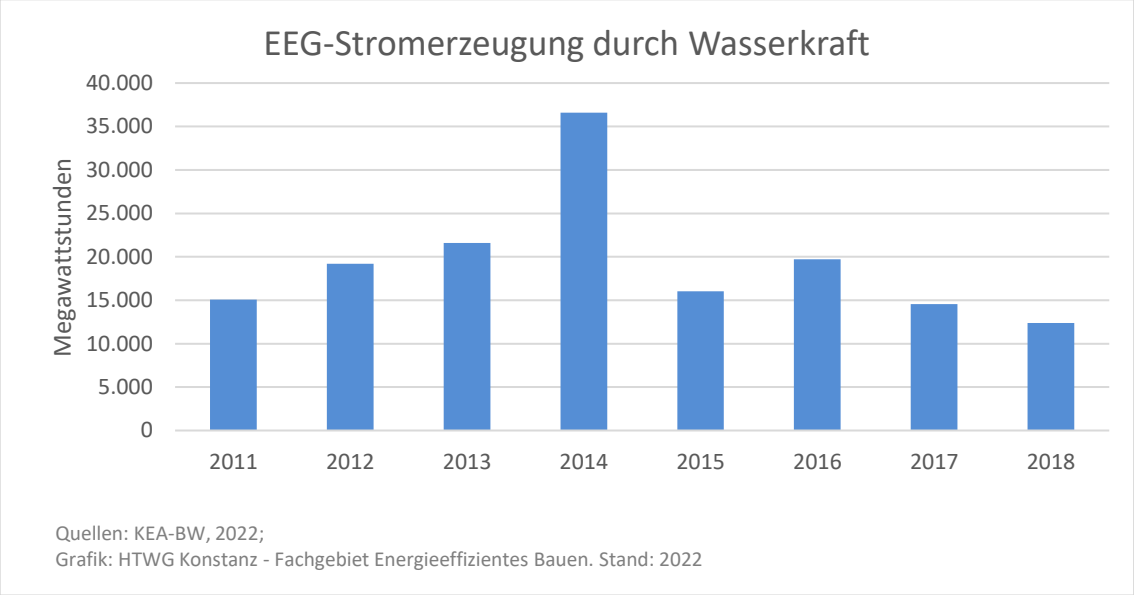


Abbildung 112: EEG-Stromerzeugung durch Wasserkraft

4.1.1.4 Bioenergie

4.1.1.4.1 Biogas

Im Vergleich zu 2017 hat sich bei der Verstromung von Biogas im Landkreis keine wesentliche Veränderung ergeben. Insgesamt ist die Stromerzeugung von 130.024 MWh auf 126.571 MWh gesunken. Daraus ergibt sich ein geschätztes Abwärmepotenzial von 164.240 MWh. Bei rund drei Fünfteln der Abwärme ist eine Nutzung bekannt.

Wäre es möglich, die gesamte anfallende Abwärme (nach Abzug der Abwärme, die für die Beheizung von Gewächshäusern genutzt wird) für die Gebäudebeheizung zu nutzen, könnten damit aktuell rund 11.800 Haushalte versorgt werden. Bei einem zukünftigen Energiebedarf der Wohngebäude von ca. 60 kWh/m² würde das heutige Abwärmepotenzial bei optimaler Ausnutzung für bis zu 29.000 Haushalte ausreichen. Innerhalb dieser Spanne bewegt sich das Gebäudebeheizungspotenzial der aktuell im Landkreis vorhandenen Biogasanlagen. Nimmt man den Mittelwert von 20.400 (11.800 – 29.000) Haushalten für eine Schätzung zur Hand, könnten mit der Abwärme rund 43.000 Einwohner versorgt werden, was beinahe der Bevölkerung der Stadt Singen entspricht – oder umgerechnet rund 15 Prozent der Bevölkerung des Landkreises.

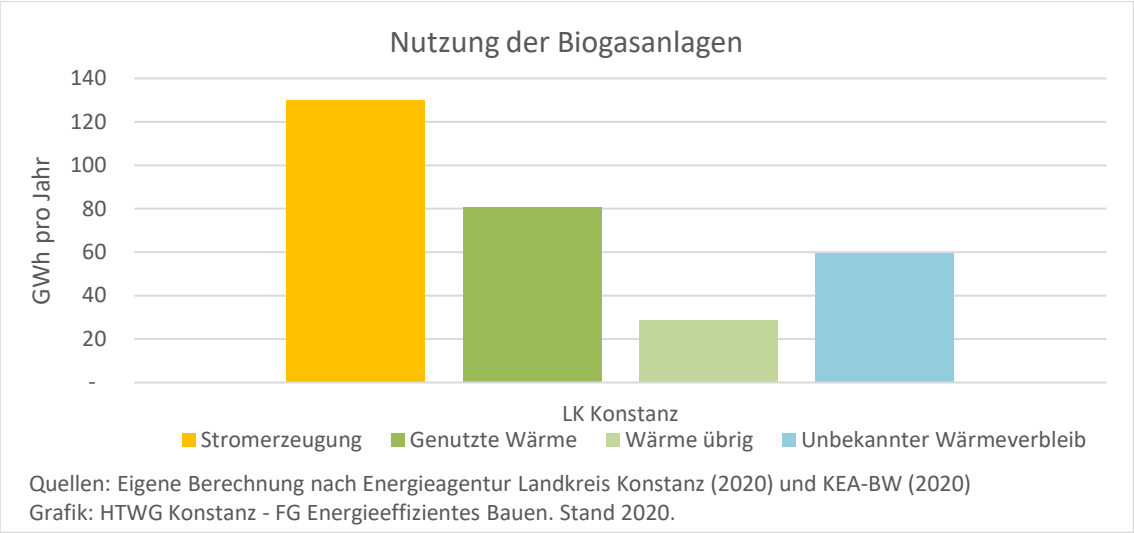


Abbildung 113: Bekannte Nutzung der Biogasanlagen

Möglichkeiten, die Abwärme besser zu nutzen, könnten saisonale Wärmespeicher oder eine stärkere Orientierung der Biogasverstromung am Wärmebedarf der Gebäude im Jahresverlauf bieten, was auch den Stromspeicherbedarf reduzieren könnte.

Aktuell wird mehr als ein Fünftel der anfallenden Abwärme in Wärmenetze eingespeist, beispielsweise in Bioenergiedörfern. Mit der übrigen Abwärme ließe sich die Zahl der beheizten Gebäude also theoretisch nahezu verdoppeln.

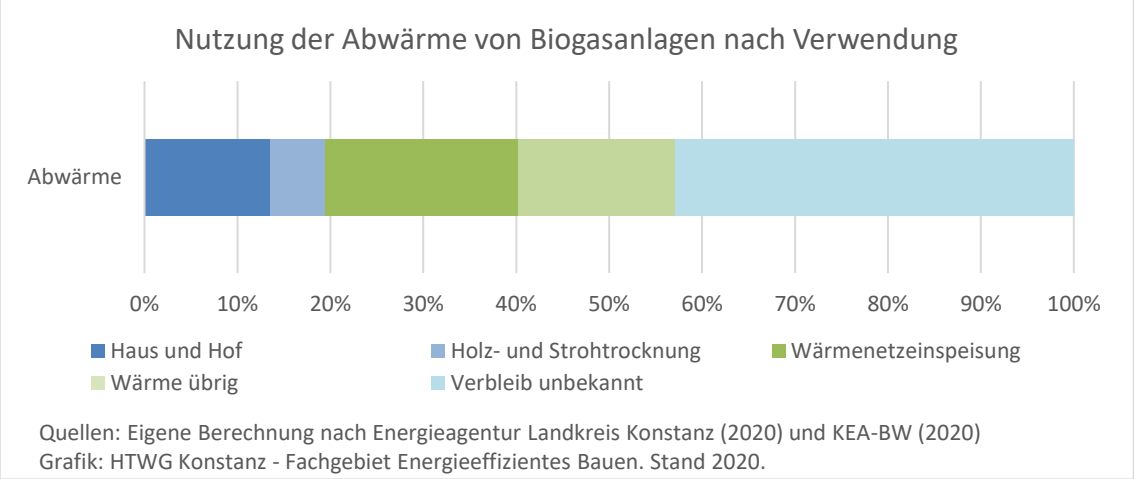


Abbildung 114: Nutzung der Abwärme von Biogasanlagen nach Verwendung

Hinweis zur Datenqualität:

Bei den dargestellten Abwärmepotenzialen handelt es sich nicht um Messergebnisse, sondern um eine Schätzung anhand der Stromproduktion und der prozentualen Angaben zur Nutzung der Abwärme der einzelnen Biogasanlagen nach Angaben des KTBL zum Strom-Wärmeverhältnis bei Biogasanlagen (KTBL, 2012). Die abgebildeten Werte können daher einen Eindruck von der Größenordnung der Potenziale im Jahr 2017 vermitteln, müssen jedoch bei Bedarf im Einzelfall geprüft werden.

4.1.1.4.2 Festbrennstoffe

Bei erneuerbaren Festbrennstoffen handelt es sich bisher vor allem um Holz (Pellets, Hackschnitzel, Scheitholz). Energiepflanzen der zweiten Generation haben bisher nur einen sehr geringen Anteil an der Ackerfläche, sodass es sich bei sonstigen Festbrennstoffen vor allem um Getreidestroh und sonstige Reststoffe und Abfälle aus der Landwirtschaft handeln wird. Zu den genutzten Mengen liegen bisher jedoch keine ausreichenden Daten vor. Der jährliche Verbrauch von Holz durch Haushalte und Kleinverbraucher wird aktuell auf 179 bis 203 GWh pro Jahr geschätzt (vgl. LUBW, 2022, zit. n. KEA-BW, 2022).

Pro Einwohner ergab sich daraus ein Verbrauch von rund 630 bis 720 kWh pro Jahr. Somit dürfte der Landkreis diesen Bedarf vollständig selbst decken können. Der aktuelle Verbrauch entspricht ca. 80 bis 94 Prozent des geschätzten nachhaltigen Energieholzpotenzials des Landkreises. Allerdings ist nicht bekannt, zu welchen Teilen der Energieholzverbrauch tatsächlich aus lokalen Quellen gedeckt wird und welcher Anteil durch den Import von Energieholz stammt. Insgesamt wird das Festbrennstoffpotenzial im Landkreis im Jahr 2035 auf ca. 1.250 kWh pro Einwohner geschätzt, basierend auf der Bevölkerungsvorausrechnung des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg. Davon entfallen ca. 120 kWh auf Stroh und ca. 350 auf Energiepflanzen der zweiten Generation.

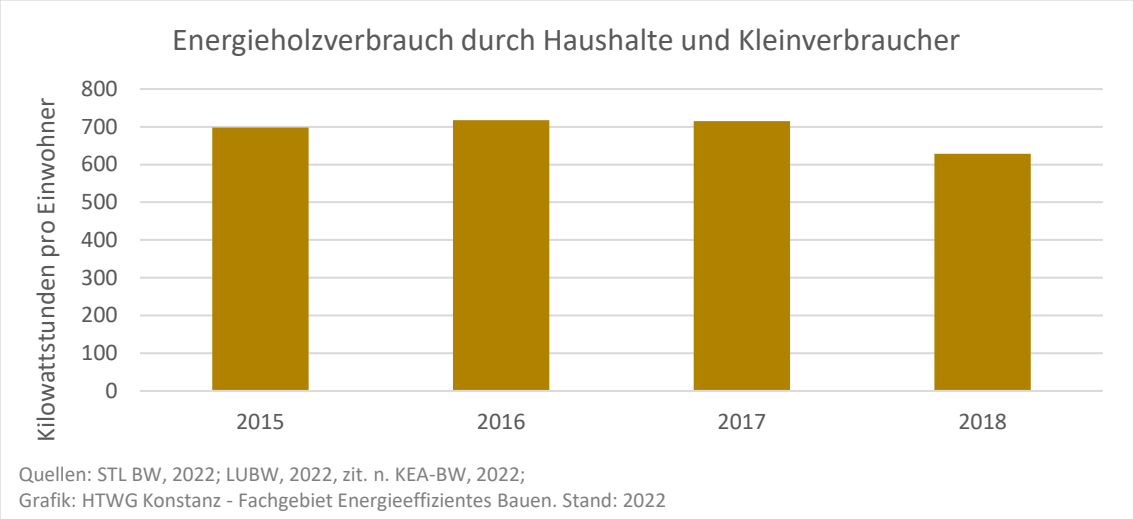


Abbildung 115: Energieholzverbrauch durch Haushalte und Kleinverbraucher

4.1.1.4.3 Kraftstoffe

Der Verbrauch von Biokraftstoffen wurde für die Sektoren Verkehr und Landwirtschaft anhand der Fahrleistungen, des spezifischen Kraftstoffverbrauchs der Kraftfahrzeuge, des Biokraftstoffanteils an den Kraftstoffen und der landwirtschaftlichen Flächennutzung geschätzt. Zudem flossen Daten zum Energieverbrauch der Bodensee-Schifffahrtsbetriebe ein. Der Gesamtverbrauch von Bioethanol im Jahr 2019 wird auf dieser Basis auf ca. 38,5 GWh geschätzt, der Gesamtverbrauch von Biodiesel auf ca. 65,0 GWh. Pro Einwohner entspricht dies rund 135 kWh Bioethanol und 230 kWh Biodiesel.

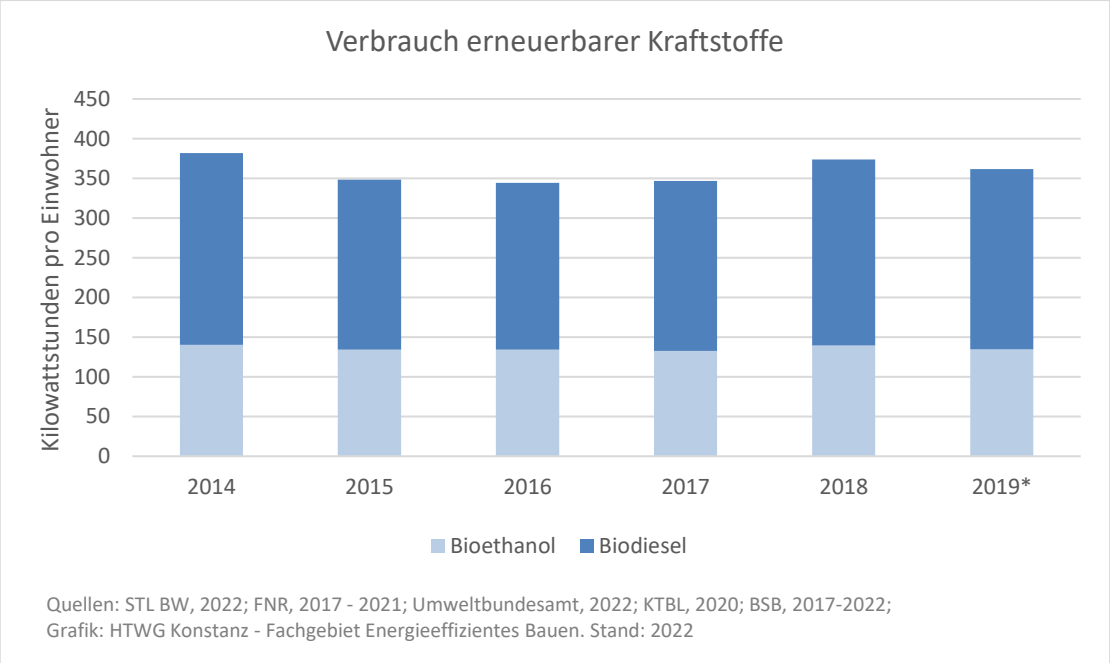


Abbildung 116: Geschätzter Verbrauch erneuerbarer Kraftstoffe

4.1.2 Bisherige Nutzung nach Energiesektoren

Die Nutzung erneuerbarer Energien summierte sich 2018 auf ca. 3,3 MWh/Ea und erfolgt bisher vor allem im Stromsektor und – wenn auch in geringerem Umfang - im Wärmesektor. So hat erneuerbarer Strom einen Anteil von ca. 52 Prozent am gesamten geschätzten Verbrauch erneuerbarer Energien durch den Landkreis, erneuerbare Wärme hat einen Anteil von 36 Prozent. Nur 11 Prozent beträgt dagegen der Anteil erneuerbarer Kraftstoffe.

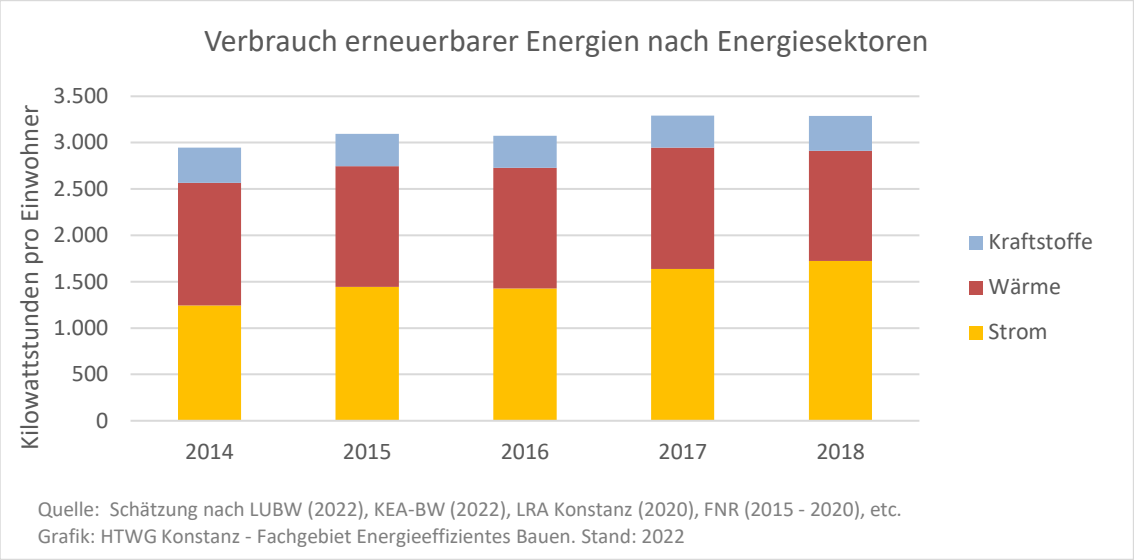


Abbildung 117: Verbrauch erneuerbarer Energien nach Energiesektoren

Da der Großteil des Energiebedarfs auf den Wärmesektor entfällt, ist der Anteil der erneuerbaren Energien hier jedoch mit 9 Prozent nicht wesentlich größer als im Sektor Kraftstoffe, wo er bei knapp 6 Prozent liegt. Vor allem aufgrund des höheren Anteils im Strommix kommen die erneuerbaren Energien auf einen Anteil von 13 Prozent am Endenergieverbrauch des Landkreises.

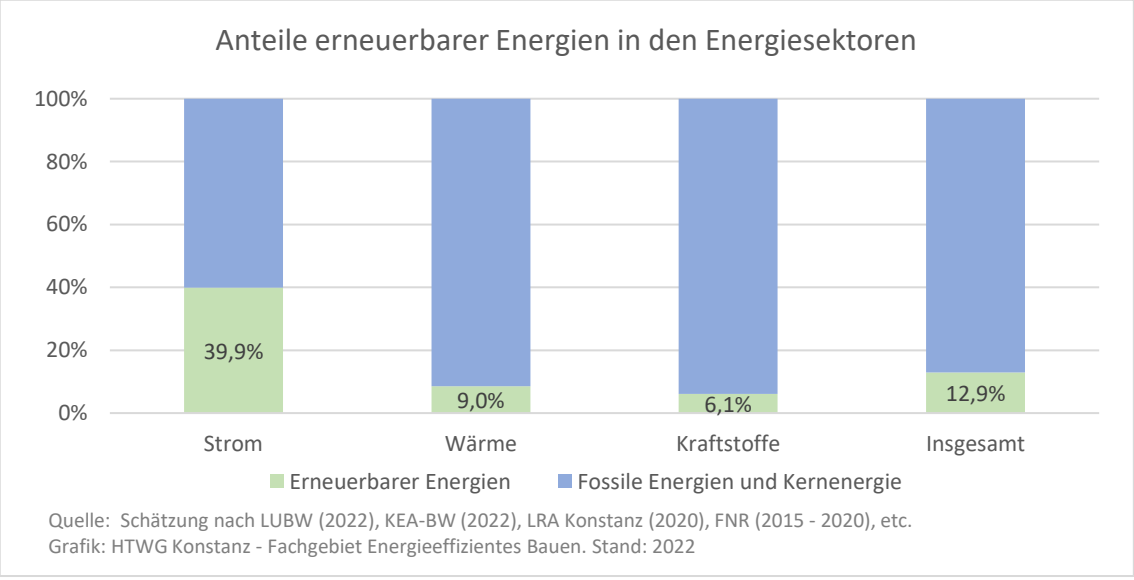


Abbildung 118: Anteile erneuerbarer Energien in den Energiesektoren

Betrachtet man nur die lokale Produktion erneuerbarer Energien, erreicht der Landkreis seinen Bestwert im Sektor Strom mit 21,0 Prozent. Aufgrund des Holzeinschlags des Landkreises wurde angenommen, dass die lokale Energieholzproduktion zumindest bilanziell den Bedarf deckt. Gemeinsam mit der bekannten Biogasnutzung ergibt sich daher ebenfalls ein Wert von ca. 9 Prozent. Eine lokale Kraftstoffproduktion ist nicht bekannt. So ergibt sich insgesamt ein Autonomiegrad von ca. 9,0 Prozent.

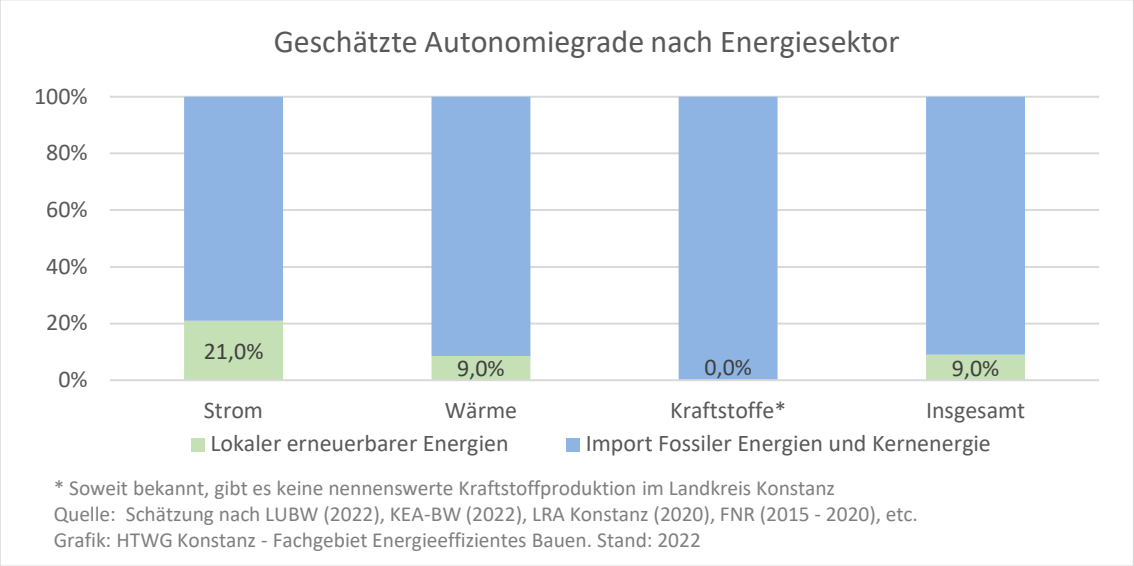


Abbildung 119: Geschätzte Autonomiegrade nach Energiesektor

Somit sind bereits rund drei Viertel des lokalen erneuerbaren Wärmepotenzials (ohne Umweltwärme) ausgeschöpft. Im Wärmesektor dürfte es daher vor allem auch darauf ankommen, die Effizienz der Nutzung und die Nachhaltigkeit der Erzeugung der Wärmeträger zu steigern. Deutlich geringer ist die Ausschöpfung im Sektor Strom, in dem noch 88 Prozent des geschätzten Potenzials ungenutzt sind. Folglich besteht hier erhebliches Entwicklungspotenzial.

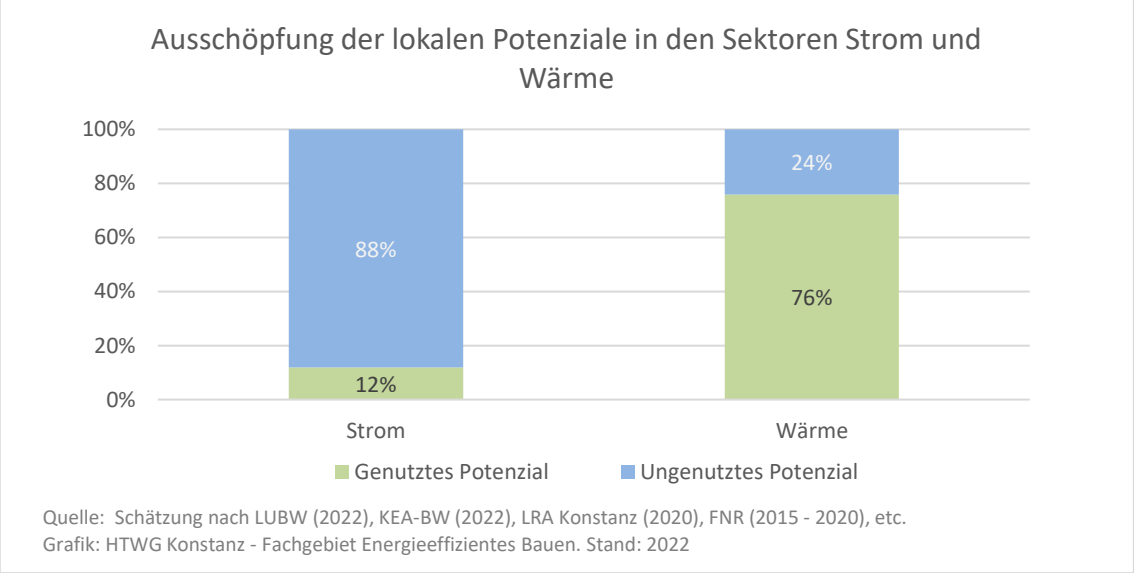


Abbildung 120: Ausschöpfung der lokalen Potenziale in den Sektoren Strom und Wärme

5 Erneuerbare Energiepotenziale

Für die aktuelle Potenzialschätzung wurde angenommen, dass der Energiepflanzenanbau auf Energiepflanzen der zweiten Generation umgestellt wird, der Anteil von Energiepflanzen an der Ackerfläche dem bundesweiten Durchschnitt entsprechend auf ca. 20 Prozent ausgeweitet wird und 5 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche mit Agriphotovoltaikanlagen ausgestattet werden. Des Weiteren wurde angenommen, dass 50 Prozent des Biogases und 50 Prozent der festen biogenen Brennstoffe in Kraftwärmekopplung genutzt werden. Als Potenzialfläche für Dachflächenphotovoltaik wurden ca. 20 Quadratmeter pro Einwohner angenommen, was den Angaben im Energieatlas Baden-Württemberg zur Potenzialfläche des Landkreises entspricht. Als Potenzial für Fassadenphotovoltaik wurde nach Ecofys ein Wert von 7,0 m² pro Einwohner angenommen (Ecofys, 2007, zit. n. EEM., 2007). Das Potenzial für Freiflächenphotovoltaik auf Randstreifen, Parkplätzen und dergleichen wurde geschätzt nach Durchschnittswerten einer Erhebung des LANUV Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW, 2013), die über die vorhandenen Flächen im Landkreis Konstanz angepasst wurden.

Tabelle 5: Annahmen zur Schätzung erneuerbarer Energiepotenziale im Klimaschutzszenario

Verwendung	Wert 2019	Wert 2035	Einheit
Modulflächenpotenzial Gebäude			
Dachmodulfläche:	19,9	19,9	m²/EW
Fassadenmodulfläche	7,0	7,0	m²/EW
Nutzung der Flächenpotenziale Gebäude			
Anteil Photovoltaik:	94	98	Prozent
Anteil Solarthermie:	6	2	Prozent
Nutzung Dachmodulflächenpotenzial:	11	100	Prozent
Nutzung Fassadenmodulflächenpotenzial:	k. A.	5	Prozent
Modulerträge			
Stromertrag Dach-PV	150	170	kWh/m²
Stromertrag Fassaden-PV	68	68	kWh/m²
Wärmeertrag Solarthermie	520	520	kWh/m²
Flächenpotenziale Freiflächen			
Freiflächen- PV (Randstreifen, Parkplätze etc.)	0	667	Hektar
Agri-PV-Anteil an LNF	0%	5%	Prozent
Agri-PV-Fläche insgesamt		1.597	Hektar
Freiflächen-Solarthermie		5	Hektar
Nutzung der Freiflächen-Photovoltaikpotenziale			
Nutzung FPV-Potenzial [1)]	5%	100%	Prozent
Modultechnologie für Agri-PV		Bifazial	
Wind- und Wasserkraft			
Windenergie-Potenzial [2)]	16.700	60.000	MWh/a
Wasserkraftpotenzial [3)]	14.568	14.568	MWh/a
Bioenergie			
Energiepflanzenanteil an Ackerfläche:	10%	20%	Prozent
Energiepflanzengeneration:	1. Generation	2. Generation	
Anteil der in BHKW genutzten Energie-Biomasse	k. A.	50%	Prozent

Quellen: (1) KEA-BW, 2022; Bundesnetzagentur, 2022 (2) IG Hegauwind (3) KEA-BW, 2022

5.1 Geschätztes Gesamtpotenzial

Auf Basis der getroffenen Annahmen und der vorhandenen Flächenpotenziale ergibt sich in Kombination mit den bekannten Potenzialen von Wind- und Wasserkraft für das Jahr 2035 ein erneuerbares Gesamtpotenzial des Landkreises Konstanz von ca. 2.925.142 MWh, was im Jahr 2035 bei der vom Statistischen Landesamt angenommenen Bevölkerungsentwicklung im Landkreis Konstanz ca. 10.070 kWh pro Einwohner entsprechen würde. Dabei wurde bis zum Jahr 2035 ein Verlust von 4 Prozent der heutigen Ackerfläche durch weiteren Flächenverbrauch angenommen, was im Vergleich zum Zeitraum 2010 - 2020 etwa einer Halbierung der jährlichen Verlustrate entspricht. Die größten Einzelpotenziale bieten nach dieser Schätzung die Dachflächenphotovoltaik mit 3,3 MWh/Ea und die Agriphotovoltaik mit 3,2 MWh/Ea. Es folgen die Bioenergie mit ca. 1,7 MWh und die Freiflächenphotovoltaik auf Randstreifen, Parkplätzen etc. mit ca. 1,4 MWh/Ea. Vor allem letzteres Potenzial sollte durch lokale Erhebungen genauer überprüft werden. Die Annahmen zur Flächennutzung und Potenzialausschöpfung im Klimaschutzszenario sind in der Definition des Szenarios (Abschnitt 8.1) dargestellt.

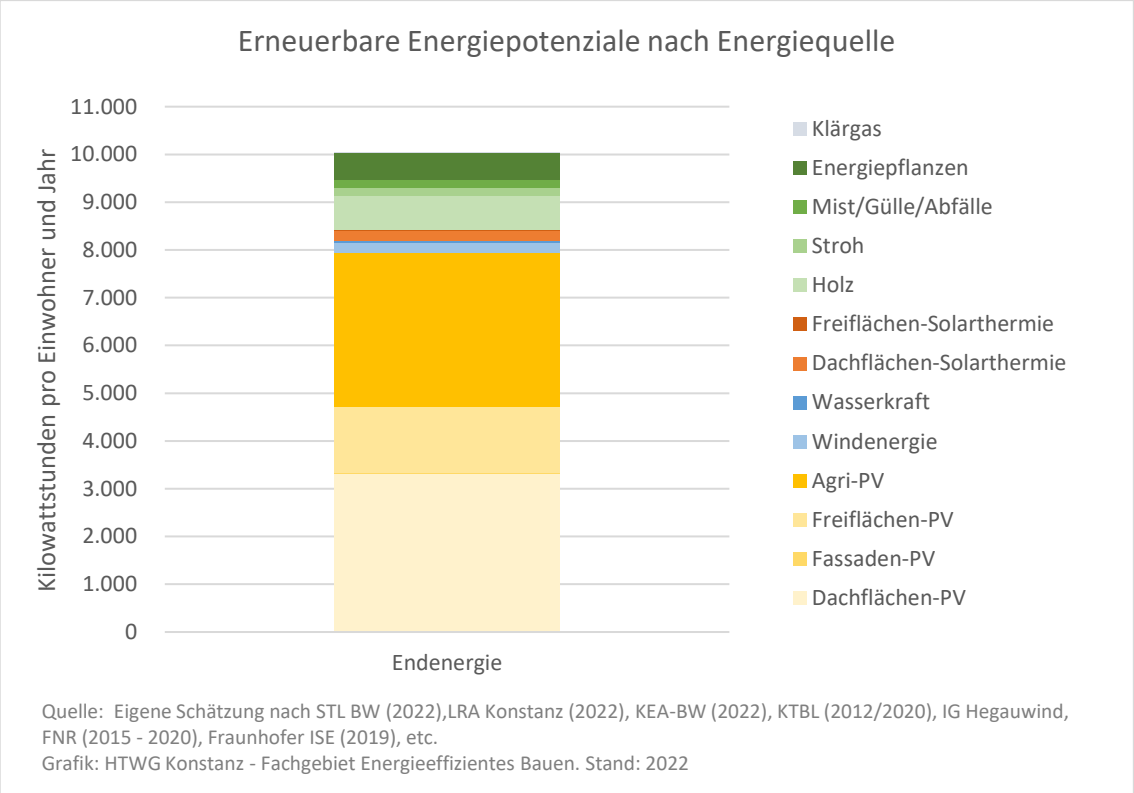
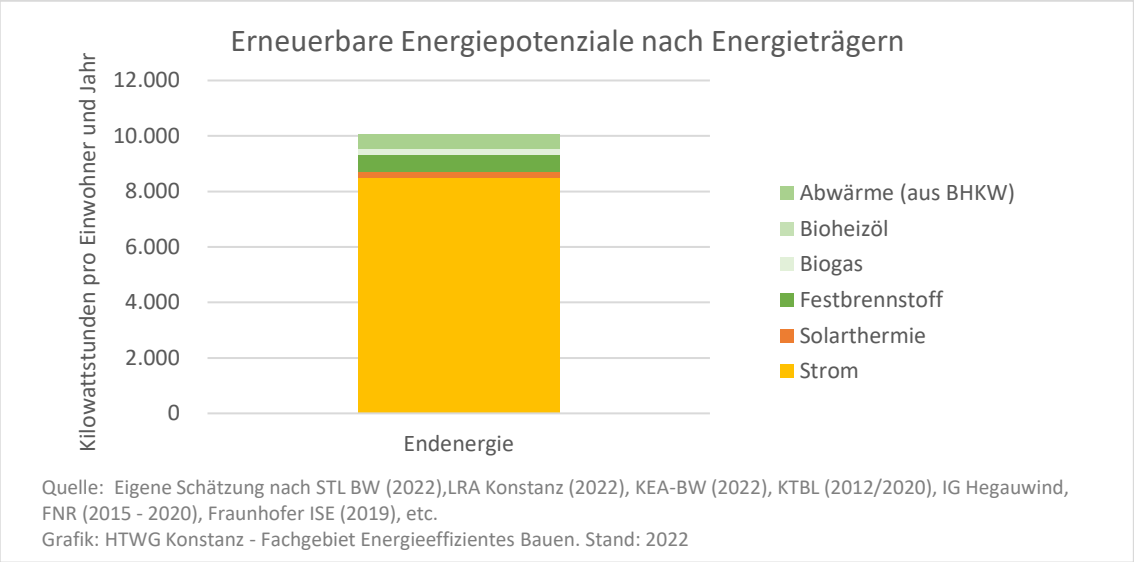


Abbildung 121: Erneuerbare Energiepotenziale nach Energiequelle

Betrachtet man das geschätzte Potenzial nach Energieträgern, fällt vor allem der hohe Anteil des Stroms am Gesamtpotenzial auf, der bei ca. 84 Prozent liegt. 14 Prozent entfallen auf biogene Brennstoffe (Holz, Stroh, Biogas, Pflanzenöl) und 2 Prozent auf Solarthermie. (vgl. Abbildung 122) Dies macht ersichtlich, weshalb eine möglichst weitgehende Elektrifizierung aller Verbrauchssektoren erforderlich ist. Empfehlenswert erscheint es aus dem gleichen Grund außerdem, Biomasse als wertvollen Energieträger für die Dunkelflaute im Winter zu verwenden, sie deshalb möglichst nicht im Sommer zu

verstromen und zudem möglichst in Kraftwärmekopplung einzusetzen, um Strom dann zu produzieren, wenn auch die Wärmepumpen Strom für die Wärmebereitstellung benötigen.



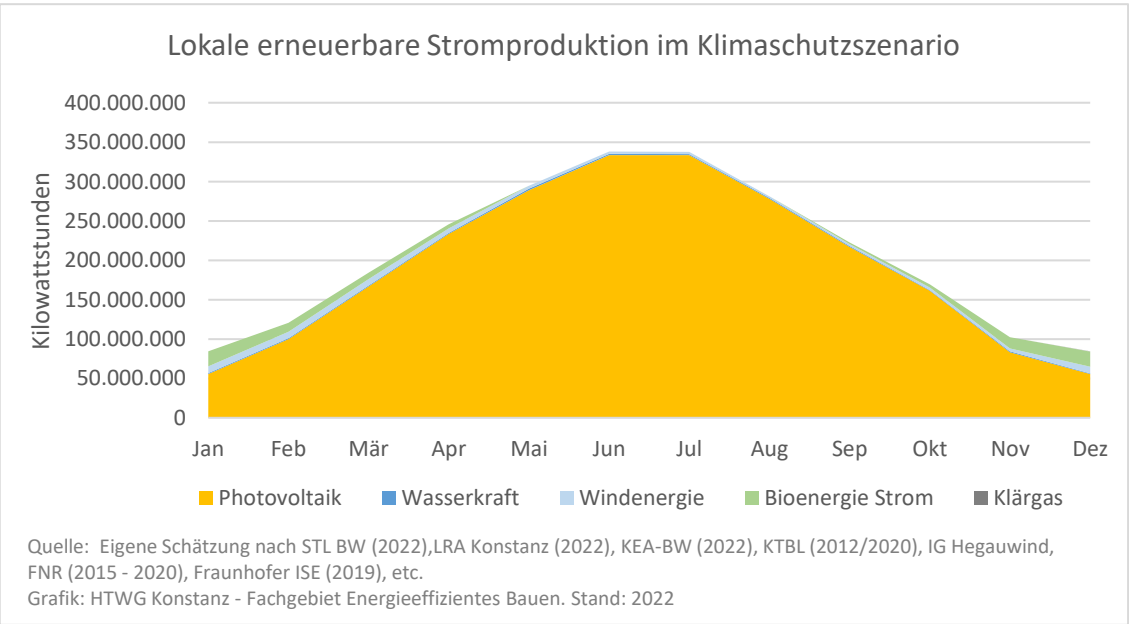
Quelle: Eigene Schätzung nach STL BW (2022),LRA Konstanz (2022), KEA-BW (2022), KTBL (2012/2020), IG Hegauwind, FNR (2015 - 2020), Fraunhofer ISE (2019), etc.
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022

Abbildung 122: Erneuerbare Energiepotenziale nach Energieträgern

5.2 Strom

5.2.1 Stromerzeugung

Den Vorteil einer Biomasseverstromung im Winter unterstreicht auch die Betrachtung der potenziellen Stromerzeugung im Jahresverlauf des Klimaschutzszenarios, die ein großes Ungleichgewicht zwischen dem Sommer- und dem Winterhalbjahr aufweist, weil etwa drei Viertel der Stromerzeugung durch Photovoltaik im Sommerhalbjahr anfallen.



Quelle: Eigene Schätzung nach STL BW (2022),LRA Konstanz (2022), KEA-BW (2022), KTBL (2012/2020), IG Hegauwind, FNR (2015 - 2020), Fraunhofer ISE (2019), etc.
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022

Abbildung 123: Jahresverlauf der lokalen erneuerbaren Stromproduktion im Klimaschutzszenario

5.2.2 Stromspeicher

Die Photovoltaik gilt insbesondere in windarmen und dicht besiedelten Regionen wie im Südwesten Deutschlands als der entscheidende Eckpfeiler des zukünftigen Energiesystems. Um sie möglichst umfassend nutzen zu können, werden sowohl saisonale Speicher als auch Kurzzeitspeicher benötigt.

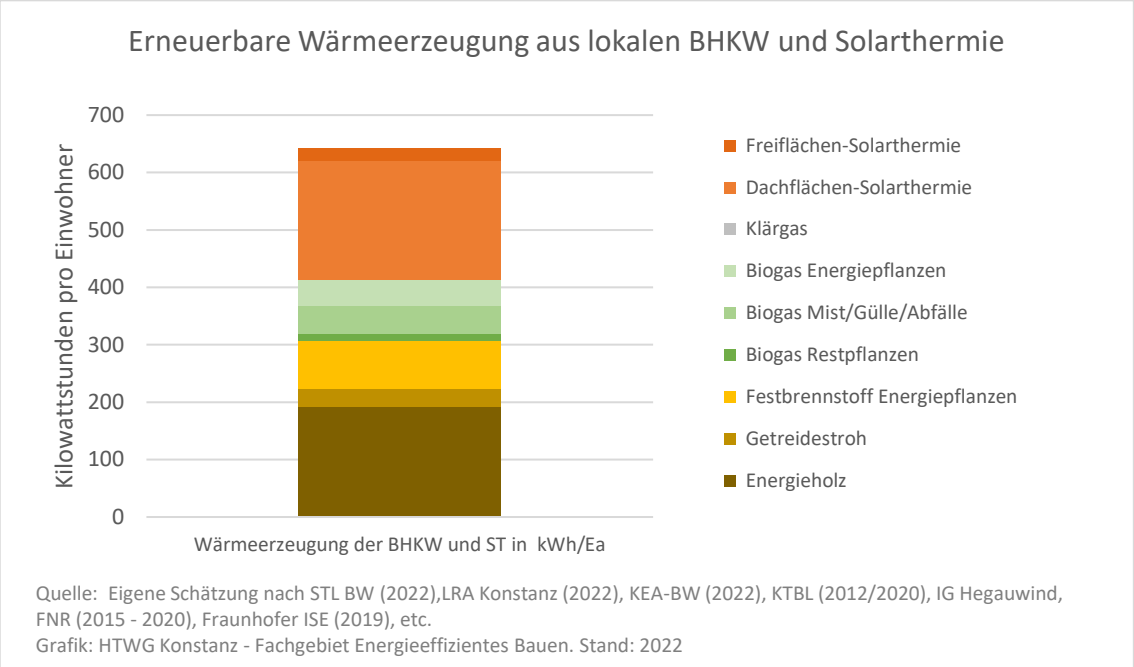
Bei Dachphotovoltaikanlagen kommen Batteriespeicher heute bereits häufig zum Einsatz. Für die Netzstabilität und die Rohstoffeffizienz sind jedoch vor allem größere zentralere Speicher vorteilhaft. Beispielsweise Lithium-Ionen-Batterien könnten auch bei großen Photovoltaik-Kraftwerken eingesetzt werden. Eine Alternative dazu können Redox-Flow-Batterien darstellen, insbesondere, wenn dabei künftig vermehrt nachwachsende Rohstoffe eingesetzt werden können, wie beispielsweise bei einer ligninbasierten „Organic Flow Battery“. Lignin kann beispielsweise aus Schwarz- und Braunlaugen gewonnen werden, die bei der Papier- oder Viskoseproduktion anfallen. Bereits im Jahr 2021 sollte ein Redox-Flow Großspeicher in China fertiggestellt werden, der aus zehn Einheiten mit jeweils 20 Megawatt Leistung besteht und eine Speicherkapazität von insgesamt 800 Megawattstunden aufweist (RWE, 2021).

Nach Vartiainen et al. wird die optimale Speichergröße von Photovoltaik-Kraftwerken auf etwa ein bis zwei Kilowattstunden je Kilowatt Photovoltaik-Leistung geschätzt (Vartiainen, Masson, Breyer, Moser, & Medina, 2020). Nimmt man den Mittelwert von 1,5 kWh/kWp, wäre bei einem Solarpark von 29 Hektar somit wahrscheinlich ein Speicher mit einer Kapazität zwischen 26 bis 32 MWh sinnvoll.

Für die saisonale Speicherung sommerlicher Stromüberschüsse eignen sich vor allem Wasserstoff und synthetisches Erdgas, das ins Gasnetz eingespeist werden kann. Sogenannte Power-to-X-Technologien erreichen jedoch nur hohe Wirkungsgrade, wenn die Abwärme ebenfalls sinnvoll genutzt werden kann.

5.3 Wärme

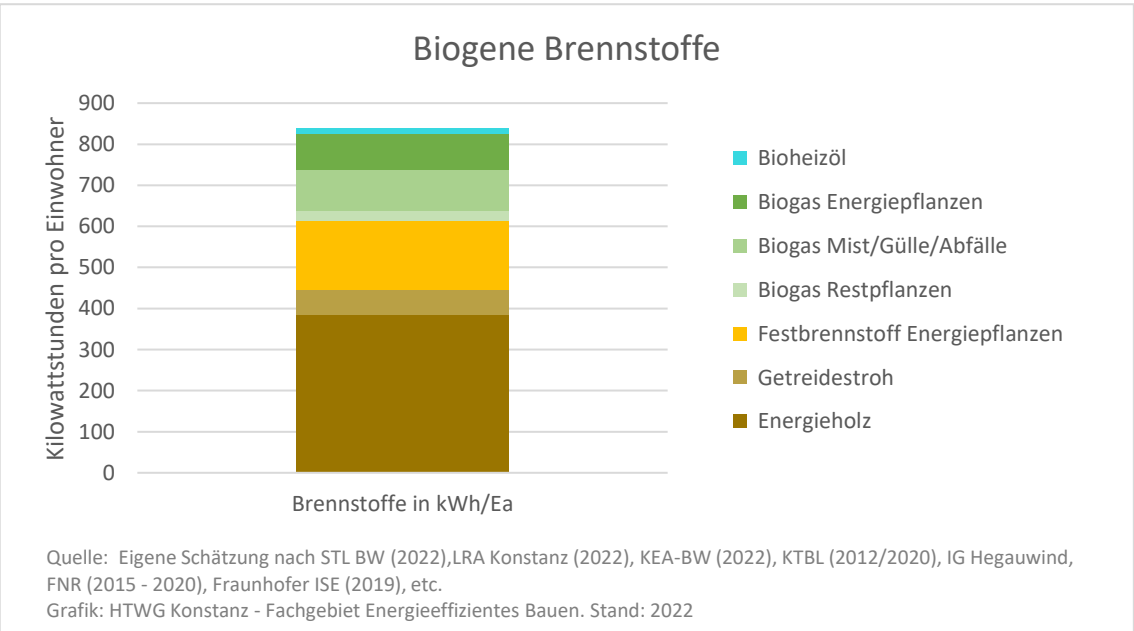
Um die Gebäude nicht allein mit Wärmepumpen beheizen zu müssen, ist eine effiziente Nutzung der Abwärme von Heizkraftwerken sinnvoll. Ohne die Speicherung sommerlicher Stromüberschüsse, die beispielsweise mittels Wasserstoff zumindest teilweise möglich ist, wird das Wärmepotenzial aus Heizkraftwerken gemeinsam mit Solarthermie auf ca. 650 kWh pro Einwohner geschätzt.



Quelle: Eigene Schätzung nach STL BW (2022),LRA Konstanz (2022), KEA-BW (2022), KTBL (2012/2020), IG Hegauwind, FNR (2015 - 2020), Fraunhofer ISE (2019), etc.
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022

Abbildung 124: Erneuerbare Wärmeerzeugung aus lokalen BHKW und Solarthermie im Klimaschutzszenario

Zudem wurde ein Potenzial von 840 kWh pro Einwohner in Form von Festbrennstoffen geschätzt. Insgesamt wird das Wärmepotenzial somit auf ca. 1,5 MWh/Ea geschätzt.



Quelle: Eigene Schätzung nach STL BW (2022),LRA Konstanz (2022), KEA-BW (2022), KTBL (2012/2020), IG Hegauwind, FNR (2015 - 2020), Fraunhofer ISE (2019), etc.
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022

Abbildung 125: Potenzial an biogenen Festbrennstoffen im Klimaschutzszenario

6 Potenziale Energieeinsparung

Im Folgenden werden für die verschiedenen Verbrauchssektoren die wichtigsten Energiesparpotenziale zusammengefasst. Sofern es die Datenlage zulässt, wurden die daraus ableitbaren Potenziale für den Landkreis Konstanz abgeschätzt.

6.1 Wohnen

6.1.1 Haushaltsstrom

In Frankfurt wurden bei der Kampagne „Frankfurt spart Strom“ Privathaushalte mittels einer Stromsparprämie zum Stromsparen motiviert. Die teilnehmenden Haushalte erreichten in der Folge eine Einsparung von 23 Prozent (Stadt Frankfurt am Main, 2015). Das wirtschaftliche Gesamtpotenzial im Jahr 2011 wurde durch die Energieagentur Bayern auf 40 Prozent geschätzt (Bund Naturschutz, 2012, S. 2).

Von diesem Einsparpotenzial wurde in Deutschland zwischen 2010 und 2019 ca. ein Viertel (10 Prozent) ausgeschöpft (Statista, 2021). Folglich dürfte immer noch ein wirtschaftliches Einsparpotenzial von mindestens 30 Prozent verblieben sein. Mit Blick auf technische Fortschritte im Bereich Energieeffizienz und steigende Strompreise ist das Potenzial wahrscheinlich größer. Die größten Einsparungen wurden zwischen 2010 und 2019 mit 26 Prozent im Bereich der Beleuchtung erzielt (vgl. Tabelle 6). Demnach wurde das im Jahr 2012 ermittelte Einsparpotenzial im Bereich der Beleuchtung bereits zur Hälfte ausgeschöpft. Die einzelnen Potenziale, die von der Energieagentur Bayern im Jahr 2012 ermittelt wurden, sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 6: Endenergieverbrauch der privaten Haushalte für Wohnen in Deutschland 2010 und 2019

Verwendung	2010*	2019	Veränderung
Raumwärme [1) 2) 4)]	5.940	6.144	+3%
Warmwasser [1) 2) 4)]	1.060	1.275	+20%
Haushaltsgeräte (inkl. Kommunikation) [1) 2) 4)]	750	673	-10%
Kochen, Trocknen, Bügeln [1) 2) 4)]	500	469	-6%
Beleuchtung [1) 2) 4)]	160	120	-26%
SUMME	**8.410**	**8.681**	**+3%**
davon Wärme [1) 2) 4)]	7.000	7.419	+6%
Strom inkl. WWB und Heizungspumpe [3) 4)]	1.747	1.527	-13%
davon Haushaltsstrom [1) 2) 4)]	1.410	1.263	-10%

* Bevölkerung im Jahr 2010 geschätzt nach Zensus 2011
Quelle: Eigene Berechnung nach: (1) Statista, 2021; (2) Statista, 2022; (3) Statista, 2021a; (4) Zensus 2011.

Tabelle 7: Stromsparpotentiale in Privaten Haushalten 2010*

Verwendung	Anteil 2010	Wirtschaftliches Einspar-potenzial 2010
Haushaltsgroßgeräte	45%	30%
Beleuchtung	8%	50%
TV, PC & Co.	24%	45%
Elektrische Warmwasserbereitung	5%	20%
Heizungspumpe	7%	60%
Sonstige	11%	25%

Quelle: Bund Naturschutz, 2011.
* Angaben für Bayern. Diese wurden als wahrscheinlich auf Baden-Württemberg übertragbar angenommen.

Für das Klimaschutzszenario wurde konservativ eine Einsparung von 20 Prozent des Haushaltsstromverbrauchs des Jahres 2019 angenommen.

6.1.2 Stromverbrauch für Wärmebereitstellung

Hinlänglich bekannt sind vor allem die Einsparpotenziale, die etwa der Austausch alter Heizungspumpen bietet. Im Bereich der üblichen Umwälzpumpen beträgt der Verbrauch der Pumpen jährlich zwischen 225 und 400 kWh, Hocheffizienzpumpen benötigen dagegen lediglich ca. 45 kWh pro Jahr.
Häufig nicht bedacht wird bei Schätzungen der durch einen Heizungsaustausch möglichen Energieersparnis, dass auch herkömmliche fossil betriebene Heizungen einen durchaus relevanten Stromverbrauch aufweisen können. Bei Ölbrennern kann dieser im Jahr durchschnittlich 450 kWh und mehr betragen. Somit verbrauchen ältere Ölheizungen für Brenner und Heizungspumpe nicht selten 650 kWh Strom und mehr pro Jahr, die eingespart werden können.

6.1.3 Wärme

Die Effizienz im Bereich Gebäudewärme lag in Baden-Württemberg bisher auf dem Niveau des bundesweiten Durchschnitts. Nach Einschätzung der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) ließe sich der Wärmebedarf der Gebäude im Durchschnitt auf Werte von 50 – 60 kWh/m² senken. Bei besserem Dämmstandard, einer Nutzung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung etc. können auch Werte von ca. 30 kWh/m² erreicht werden. (dena, 2016, S. 3) Für das Klimaschutzszenario wurde daher ein Mittelwert von 55 kWh/m² als erreichbarer durchschnittlicher Nutzenergiebedarf angenommen. Dies entspricht beinahe dem KfW50-Standard und würde im Landkreis Konstanz eine Bedarfsreduktion um mehr als 55 Prozent ermöglichen.

Bei einem hohen Energiestandard von ca. 55 kWh/m²*a reicht das lokale Bioenergiepotenzial aus, um einen erheblichen Teil der Gebäude zu beheizen. Wird etwa die Hälfte der Bioenergie direkt zur Wärmeerzeugung genutzt und die andere Hälfte in Kraft-Wärme-Kopplung zur Strom- und Wärmeproduktion eingesetzt, könnten in diesem Fall

nach der vorliegenden Schätzung 40 Prozent, unter Umständen auch bis zu 50 Prozent der Wohngebäude mit Bioenergie beheizt werden und zusätzlich Wärme für den Sektor GHD bereitgestellt werden. In diesem Fall müssten Wärmepumpen nur in ca. 35 bis 50 Prozent der Gebäude eingesetzt werden. Daher wird im Bereich der Wohnwärmebereitstellung eine Endenergieeinsparung von 60 bis 75 Prozent als erreichbar eingeschätzt.

Bei der Gebäudedämmung bestehen zudem Potenziale, die über die reine Endenergieeinsparung der Gebäude hinausgehen. Naturdämmstoffe aus einheimischen nachwachsenden Rohstoffen sind eine gute Alternative zu Dämmstoffen aus Kunststoff, die auch die Rohstoffimportabhängigkeit reduzieren können und zum Teil sogar bereits heute in der Herstellung positive CO_2-Bilanzen aufweisen. Wie die Nutzung lokaler erneuerbarer Energien bietet auch die Nutzung lokal nachwachsender Rohstoffe Chancen für die regionale Wirtschaft, die Wertschöpfung zu steigern und Kaufkraftabflüsse zu reduzieren.

Ein interessantes Konzept könnte vor allem für die Sanierung von Reihenhäusern und typgleichen Mehrfamilienhäusern z. B. die serielle Gebäudesanierung sein, um die Energiewende im Gebäudebereich zu beschleunigen.

6.1.4 Wohnraum

6.1.4.1 Vermeidung unnötigen Wohnungsneubaus

Der Neubau von Wohnungen wird zunehmend zum Hemmschuh für die Energiewende. Das Hauptproblem dabei ist weniger der relativ geringe Energiebedarf des Neubaus. Dieser fällt im Vergleich zum Bestand kaum ins Gewicht. Wesentlich schwerer wiegen der Flächenverbrauch des Neubaus und die großenteils unnötige Bindung von Arbeitskräften und Ressourcen, die eigentlich für die Modernisierung des Bestandes benötigt werden.

Hemmnis Fachkräftemangel in Deutschland:

- 70.000 bereits heute unbesetzte Stellen im Bausektor.[6]
- 60.000 Fachkräfte werden für den von der Bundesregierung geplanten Zubau an Wärmepumpen benötigt.[7]
- Bei verstärktem Wohnungsbau werden auch dort noch deutlich mehr Fachkräfte benötigt.
- Auch für den Zubau an Solaranlagen werden deutlich mehr Fachkräfte benötigt. (Pro Jahr sollten ca. 5- bis 8-mal so viele Anlagen gebaut werden wie heute).

[6] Nach Berechnungen des Kompetenzzentrums Fachkräftesicherung (www.kofa.de) waren im Juni 2018 fast 70.000 offene Stellen für qualifizierte Fachkräfte in Bauberufen bei der Bundesagentur für Arbeit (BA) gemeldet. (Bundesministerium des Innern und für Heimat, 2019)

[7] BDH und DWK 2022. Gemeinsame Pressemitteilung vom 24. März 2022. Heizungsbranche mit Lösungsstrategien für Klimaschutz und Versorgungssicherheit.

Hemmnis Wohnflächenzuwachs im Kreis Konstanz

Die pro Person genutzte Wohnfläche ist im Landkreis Konstanz im Zeitraum von 2011 bis 2020 trotz des Bevölkerungswachstums von 44,5 auf 45,5 Quadratmeter pro Person gewachsen. Wäre es gelungen, die pro Person genutzte Wohnfläche auf dem Wert des Jahres 2011 zu halten, könnten auf der im Jahr 2020 vorhandenen Wohnfläche zusätzliche 23.062 Menschen wohnen. Diese Zahl entspricht 8 Prozent der Bevölkerung des Jahres 2020.

Vorteile einer Wohnflächenreduktion

Maßnahmen, die zur Reduktion der pro Person genutzten Wohnfläche beitragen, können zahlreiche dem Gemeinwohl dienliche Effekte mit sich bringen. So nimmt mit der pro Person benötigten Wohnfläche nicht nur der Wärmebedarf und der Bedarf an Arbeitskräften ab, sondern auch die Konkurrenz zwischen Neubau und Bestandssanierung. Je weniger Dämmstoff für den Neubau benötigt wird, desto schneller und günstiger kann der Gebäudebestand gedämmt werden, weil die Nachfrage nicht durch vermeidbaren Neubau gesteigert wird und auch die vorhandene Arbeitskraft des Handwerks nicht im Neubau gebunden wird. Zudem reduziert sich die Wohnungsnot, was dazu beitragen kann, Erschließungs- und Instandhaltungskosten der Gemeinden für Neubaugebiete sowie die Kosten der Bewohnerinnen und Bewohner für das Wohnen insgesamt zu senken.

6.1.4.1.1 Wohnungstausch

Viele Mieterinnen und Mieter leben in Wohnungen, die ihnen zum Beispiel durch den Auszug der Kinder zu groß geworden sind. Viele dieser Mieterinnen und Mieter wären nicht abgeneigt, in eine kleinere Wohnung zu ziehen. (Stadt Frankfurt am Main, 2022) Auf der anderen Seite warten viele Familien mit Kindern auf eine 3-, 4- oder 5-Zimmerwohnung, die derzeit in viel zu kleinen Wohnungen leben. Mieterinnen und Mieter von sogenannten „unterbelegten“ Wohnungen können mit dem Umzug daher gleichzeitig benötigten Wohnraum für Familien verfügbar machen und Kosten einsparen. (Stadt Frankfurt am Main, 2022) Gewisse Tauschpotenziale bestehen aber auch im Bereich des Wohneigentums. Neben gezielten Impulsen durch Information und Aufklärung über die Potenziale ist auch die Bereitstellung geeigneter Tauschplattformen eine wichtige Möglichkeit, zum Wohnungstausch zu motivieren und den Tausch auch ganz praktisch zu erleichtern. Mit Umzugsprämien kann ein zusätzlicher Anreiz geschaffen werden, vorhandenen Wohnraum den Menschen zur Verfügung zu stellen, die ihn benötigen.

Daher hat beispielsweise Frankfurt am Main für umzugswillige Mieterinnen und Mieter ein Förderprogramm „Umzugsprämie“ entwickelt (Stadt Frankfurt am Main, 2022). Nicht unwahrscheinlich ist zudem, dass auf diese Weise mit der Wohnungsnot von Familien auch der Neubaubedarf und der Flächenverbrauch gesenkt werden können.

Wichtige Kooperationspartner für Städte, Gemeinden und Landkreise können dabei Wohnungsgenossenschaften sein, aber auch bereits bestehende Plattformen für Wohnungs- und Immobilientausch.

6.1.4.1.2 Neuaufteilung von Wohnungen

Zusätzliche Förderprämien könnten dazu anregen, im Bestand, z. B. im Zuge des Wohnungstausches auch den Wohnraum der Wohnungen neu aufzuteilen. Neue Wohnkonzepte bieten gleichen Komfort auf geringerer Fläche und ermöglichen die Schaffung neuer Wohnungen ohne Neubau.

6.1.4.1.3 Umnutzung von Gebäuden

Leerstehende Fabriken, Büros, Ställe oder Dachböden können zu Wohngebäuden umgewandelt werden. Dies hat diverse Vorteile gegenüber einem Neubaugebiet auf landwirtschaftlichen Flächen. „Die Schaffung von Wohnraum durch Wiedernutzung leerstehender Gebäude – insbesondere von kleinteiligen Nichtwohngebäuden – füllt Lücken in der Stadt mit neuem Leben, dient der Revitalisierung erhaltenswerter Bausubstanz mit besonderem geschichtlichen Hintergrund und fördert die Identifizierung der Bewohner mit ihrer Umgebung.“ (Kompetenzzentrum IEMB, 2009)

6.1.4.1.4 Geteilte Räume, flexible Grundrisse und Umzugsmanagement

Wohnprojekte, in denen Räume, wie etwa Sport- und Hobbyräume, Gästezimmer, Werkstätten und Waschküchen gemeinschaftlich geteilt werden, reduzieren nicht zwangsläufig den Wohnflächenbedarf. Eine Befragung kam sogar zu dem Ergebnis, dass sich entgegen der Erwartungen bei 75 Prozent der Befragten mit dem Einzug in das Gruppenwohnprojekt die Pro-Kopf-Wohnfläche erhöht hat. Nur ein Viertel hat seine Wohnfläche tatsächlich reduziert. (Schopp, 2017) Es empfiehlt sich daher, solche Wohnprojekte nicht alleinstehend zu entwickeln, sondern mit weiteren Maßnahmen zu verbinden. Solche könnten etwa flexible Grundrisse und ein ganzheitliches Umzugsmanagement sein (Fuhrhop, 2019).

Umzugsprämien könnten daran gekoppelt werden, dass die Wohnfläche durch den Umzug tatsächlich reduziert wird.

6.1.4.1.5 Werkzeuge gegen Abriss und Leerstand

Inzwischen gibt es in der Literatur viele Anregungen zur attraktiven Gestaltung effizient genutzten Wohnraums. Zudem gibt es einen Werkzeugkasten mit 100 Anregungen und Werkzeuge gegen Abriss und Leerstand sowohl für Städte und Gemeinden als auch für Hauseigentümer, die dabei helfen können, die Potenziale und Ressourcen des Gebäudebestandes auszuschöpfen und weiterzuentwickeln, um vermeidbaren Neubau tatsächlich zu vermeiden. (Furhhop, 2020)

6.2 Verkehr

Für die Abschätzung von Einsparpotenzialen im Verkehrssektor ist es wichtig, den Modal Split des Verkehrs zu kennen. Zum Modal Split des Landkreises liegen bisher noch keine Daten vor. Der Anteil, den die Pkw zur Personenbeförderung im Landkreis beitragen, wurde (wie in Abschnitt 2.6.6.2 dargestellt), auf mehr als 88,0 Prozent geschätzt. Daher wird vermutet, dass unter anderem der Anteil der Pkw am Urlaubs- und Freizeitverkehr durchaus über dem bundesweiten Durchschnitt liegen kann.

Aufgrund der im Folgenden dargestellten Potenziale in den Bereichen Urlaub und Freizeit, Berufspendeln, Geschäftsreisen und Einkaufen erscheint in fahrrad- und fußgängergerechten Städten der kurzen Wege eine Reduktion der Pkw-Fahrleistung um ca. 30 bis 40 Prozent erreichbar. Eine entsprechende Reduktion des Pkw-Verkehrs wurde daher auch den Berechnungen des Klimaschutzszenarios als Annahme zugrunde gelegt.

6.2.1 Umstieg auf Bus, Bahn und Fahrrad

6.2.1.1 Potenziale zur Vermeidung und Verlagerung von Pkw-Verkehr

Bisher liegt der Anteil des motorisierten Individualverkehrs am Personenverkehr in Baden-Württemberg bei 59 Prozent (zwischen 40 % in Ballungsräumen und über 70 % in ländlichen Räumen).

- Laut der Studie Mobiles Baden-Württemberg lassen sich 34 Prozent des Pkw-Verkehrs durch eine veränderte Mobilitätskultur vermeiden. (Baden-Württemberg Stiftung gGmbH, 2017)
- Laut einer vom Wuppertal Institut erstellten Studie für Greenpeace kann die Anzahl der Wege mit dem Auto um 50 Prozent reduziert werden. (Greenpeace, 2017)
- In Baden-Württemberg haben öffentliche Verkehrsmittel einen Anteil von 10 Prozent am Modal Split. Eine aktuelle Schweizer Studie hält Verkehrssysteme mit einem ÖV-Anteil von 40 Prozent für realisierbar (Verband öffentlicher Verkehr, 2021). In diesem Fall könnte der Pkw-Anteil in Baden-Württemberg von 59 Prozent wohl halbiert werden.

6.2.1.2 Bedeutung der Sicherheit

Drei Viertel aller Deutschen sind der Ansicht, dass dem Fahrrad eine wichtige Rolle bei der Reduzierung des Verkehrsaufkommens (75%) und der Verringerung von Treibhausgasen (77%) zukommt. Dennoch nutzen sogar auf kurzen Strecken unter zwei Kilometern nur 21 Prozent das Rad, während die meisten das Auto wählen. Hauptursache ist offenbar nicht die Bequemlichkeit. 42 Prozent der Befragten halten das Radfahren auf unseren Straßen für zu gefährlich. Auch im weltweiten Vergleich zeigt sich: Je sicherer die Infrastruktur, desto häufiger wird das Rad genutzt. (IPSOS, 2022)

6.2.1.3 Mögliche Entlastung der Anwohner

Der Parksuchverkehr macht nach Angaben des ADAC (2020) ca. 30 bis 40 Prozent des innerstädtischen Gesamtverkehrs aus. Dabei werden allein auf der Suche nach einem Parkplatz nicht selten mehrere Kilometer zurückgelegt (ADAC, 2020). Den Parksuchverkehr zu reduzieren vermeidet nicht nur Lärm, Abgase und Feinstaub durch die Reduktion des Reifenabriebs. Werden weniger Parkplätze benötigt, werden auch Flächen frei, die nicht nur für die Schaffung von Wohnraum genutzt werden können, sondern auch für die Begrünung, die bei zunehmenden Hitzewellen in den Sommermonaten für Schatten und Abkühlung sorgen kann. Asphaltflächen können sich an Sommertagen in der Sonne auf 60°C und mehr erwärmen, während sie im Schatten von Bäumen zur selben Zeit meist kaum die Lufttemperatur oder nur wenig mehr erreichen. Rasen, Wiesen oder Staudenbeete erwärmen sich ebenfalls deutlich weniger als Asphaltflächen und kühlen sich nach Sonnenuntergang durch ihre aktive Temperaturregulation sehr schnell ab, wobei sie an Sommertagen oft schon frühzeitig auf Werte deutlich unterhalb der Lufttemperatur absinken. Dies wirkt sich erheblich auf die Temperaturen im Straßenraum aus.

6.2.1.4 Potenzial zur Reduktion des Flächenbedarfs

Fläche ist im dichtbesiedelten Südwesten Deutschlands ein knappes und kostbares Gut. Die Verlagerung erheblicher Anteile des Personenverkehrs von Personenkraftwagen auf den Umweltverkehr bietet das Potenzial, Flächen für Erholung, Begrünung oder die Schaffung von Wohnraum freizusetzen.

Ein typischer Fahrradstellplatz ist mindestens 1,9 m lang und mindestens 50 bis 70 cm breit (ADFC Bayern, 2018, S. 4). Die erforderliche Fahrbahnbreite der Erschließungsgassen beträgt mindestens 1,8 m (ADFC Bayern, 2018, S. 3). Auf einer Fläche von ca. 15,6 m² (3,0 x 5,2 m) können ca. 12 Fahrräder abgestellt werden (vgl. ADFC Bayern, 2018, S. 3). Pro Fahrrad ergibt dies einen Flächenbedarf von 1,3 m². Ein typischer Pkw-Stellplatz ist mindestens 5,0 m lang und, je nach Ausrichtung zur Fahrbahn, mindestens 2,3 bis 2,5 m breit. Daraus ergibt sich ein Flächenbedarf von ca. 12 m². Die erforderliche Fahrbahnbreite von Fahrgassen liegt zwischen 3,0 und 6,5 m (VBG, 2013). Zudem werden häufig Flächen für Zufahrten, Abgrenzungen und unter Umständen weitere Einrichtungen (Kasse, Schranke etc.) benötigt. Nach Schnieper Architekten kann man insgesamt mit einem Flächenbedarf von ca. 30 Quadratmeter Fläche pro Pkw-Stellplatz rechnen. Der Flächenbedarf für 3,3 Parkplätze entspricht somit ungefähr der Fläche einer 2,5-Zimmer-Wohnung (Schnieper Architekten, 2018) oder dem Flächenbedarf von 76 Fahrradstellplätzen.

Auch im Betrieb benötigt der motorisierte Individualverkehr im Vergleich beachtliche Flächen: Bei Tempo 30 nehmen Pkw-Insassen pro Person 65 Quadratmeter in Anspruch, Fahrradfahrer 41 Quadratmeter und Insassen von Omnibussen nehmen selbst bei einem Besetzungsgrad von nur 20 Prozent lediglich 8,6 Quadratmeter pro Person (Randelhoff, 2014/2019). Noch größer sind die Unterschiede im Stillstand: Hier nimmt ein Pkw 13,5 m² pro Person in Anspruch, ein Omnibus nur 2,5 m² pro Person und ein Fahrrad nur 1,2 m² pro Person. (Randelhoff, 2014/2019)

6.2.1.5 Mögliche Kosteneinsparungen

6.2.1.5.1 Kommunale Kosten

Der Pkw-Verkehr beansprucht pro Personenkilometer mehr Fläche und verursacht höhere Kosten für den Bau, den Betrieb und die Instandhaltung der Verkehrsinfrastruktur. Bei einem Besetzungsgrad von rund 1,0 belastet ein Pkw im Pendlerverkehr die Fahrbahn mit seinem Gewicht (häufig zwischen 1,6 und 2,5 Tonnen) erheblich mehr als ein Fahrradfahrer (häufig zwischen 70 und 100 kg Gewicht), sodass häufigere Reparaturen der Fahrbahn erforderlich werden.

Auch die Kosten pro Stellplatz gehen weit auseinander und lassen sich vergleichsweise einfach abschätzen. So kostet ein Fahrradbügel pro Fahrrad nur rund 60 Euro, eine Fahrradbox ca. 1.000 Euro. Die Kosten eines Pkw-Stellplatzes können zwischen 1.500 € am Straßenrand bis 72.000 € in Tiefgaragen betragen (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Kosten pro Stellplatz

Art des Stellplatzes	Kosten
Fahrradbügel für 2 Räder	120 €
Fahrradbox	1.000 €
Pkw-Stellplatz am Straßenrand	1.500 €
Pkw-Parkplatz ebenerdig anteilig mit Fahrgassen	3.000 €
Pkw-Stellplatz im Parkhaus	7.000 – 19.000 €
Pkw-Stellplatz in Tiefgarage	25.000 – 72.000 €

Quellen: (ADFC, 2012), (Heinrichs, Schreiber, Rath, Kosarev, & Weinke, 2015), (Dittrich, 2017).

Schwieriger ist der Vergleich der Gesamtkosten städtischer Verkehrssysteme. „Viele kommunale Ressourcen werden von mehreren Verkehrssystemen gemeinsam genutzt. Aufgrund dessen ist der Anteil, den beispielsweise der Radverkehr an den Aufwendungen für Straßenbauprojekte oder den Winterdienst auf diesen Straßen hat, nicht direkt ersichtlich.“ (Sommer, 2020) Deshalb sind die Aufwendungen und Erträge, die einer Kommune durch die verschiedenen städtischen Verkehrssysteme wie Pkw- oder Radverkehr entstehen, häufig nicht bekannt (vgl. Sommer, 2020). Dies dürfte einer der Hauptgründe dafür sein, dass der ÖPNV bisher vielerorts vor allem als Kostenfaktor wahrgenommen wird. Nach Angaben des Verbands Deutscher Verkehrsunternehmen trägt der ÖPNV in Deutschland jedoch rund 76 Prozent aus eigenen Mitteln zur Deckung seiner Kosten bei (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V., zit. n. UNIKIMS GmbH, o. J.).

In einer ICLEI-Erhebung zu den versteckten Kosten des Pkw-Verkehrs in deutschen Städten wurden die Kosten des Pkw-Verkehrs nur zu 29 Prozent über Einnahmen aus dem Pkw-Verkehr gedeckt. Folglich wurden 71 Prozent der Kosten, die den Städten aus dem Pkw-Verkehr entstanden, nicht von den Pkw-Nutzern bezahlt, sondern von der All-

gemeinheit der Steuerzahler. Die Spanne der Deckungsgrade reichte in den untersuchten Städten von 15 bis 47 Prozent. Die ungedeckten Kosten des Pkw-Verkehrs betrugen dabei zwischen 83 und 250 Euro pro Einwohner. (ICLEI Europasekretariat, 2005, S. 3)

Auch nach einer Studie der Universität Kassel [8] ist der Kostendeckungsgrad von PKW vergleichsweise gering. Während der Radverkehr bisher die geringsten Zuschüsse erhält, kostet der PKW-Verkehr in einer deutschen Großstadt „die öffentliche Hand und die Allgemeinheit etwa das Dreifache wie der Öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV). Denn der PKW-Verkehr erfordert zwar durchaus auch – wie der ÖPNV - Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur und deren Unterhalt, bringt aber den Kommunen keine unmittelbaren Einnahmen wie der ÖPNV. (…) In der Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen bringt der Rad- und Fußverkehr regelrecht einen Gewinn, da er wenig Infrastrukturinvestitionen voraussetzt, keine Emissionen und Lärm verursacht, mit wenig Unfallrisiken einhergeht und erheblich zur Gesundheitsprävention und damit zur Vermeidung von Krankheitskosten beiträgt.“ (UNIKIMS GmbH, o. J.) Aus der Studie ist ein Berechnungstool hervorgegangen, mit dessen Hilfe die Kommunen die Kosten der einzelnen Verkehrssysteme bezogen auf ihre Gemeinde selbst vergleichen können. [9]

6.2.1.5.2 Individuelle Nutzerkosten (Kurzstrecke)

Der VCD hat jeweils für eine exemplarische Kurzstrecke in Berlin (Schlesisches Tor - Humboldt-Universität) die Reisezeiten von Tür zu Tür, die Kosten und den CO_2-Ausstoß der verschiedenen Verkehrsmittel berechnet. In diesem Vergleich ist die Fahrradstrecke sowohl die schnellste als auch, zusammen mit dem Fußweg, die kürzeste und umweltverträglichste. Das Auto ist zwar drei Minuten schneller als der ÖPNV, dafür fast drei Mal umweltschädlicher. Zudem ist der Pkw deutlich teurer. (VCD, 2018)

Tabelle 9: Von Tür zu Tür - Verkehrsmittelvergleich Kurzstrecke

Strecke innerstädtisch Berlin: Schlesisches Tor (Kreuzberg) - Humboldt-Universität (Unter den Linden/Mitte)	**Fahrrad**	**ÖPNV (Bus & Bahn)**	**Pkw (1 Person)**	**zu Fuß**
Entfernung (km)	4,0	5,9	6,5	4,0
Kosten (€)	0,36	2,10	3,64	0,00
Zeit (min)	14	26	23	49
Treibhausgasausstoß (kg CO_2)	0,00	0,42	1,12	0,00

Quelle: (VCD, 2018)

[8] Was kosten Radverkehr, Fußverkehr, öffentlicher Personennahverkehr und Kfz-Verkehr eine Kommune? Entwicklung und Anwendung einer Methode für den Vergleich von Erträgen und Aufwendungen verschiedener Verkehrsmittel anhand von kommunalen Haushalten

[9] In dem zweistufigen Forschungsprojekt, das durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur aus Mitteln des Nationalen Radverkehrsplans 2020 gefördert wurde, entstand ein „Tool“, ein Instrument auf Excel-Basis, mit dem die Kommunen die Kosten der einzelnen Verkehrssysteme bezogen auf ihre Gemeinde selbst ermitteln können. Damit können erstmalig die Zuschüsse des Radverkehrs mit denen der anderen Verkehrssysteme verglichen werden. (Universität Kassel)

6.2.2 Potenziale zur Vermeidung von Pkw-Verkehr

Modal Split in Deutschland

In Deutschland hatte der Urlaubs- und Freizeitverkehr im Jahr 2019 mit rund 40,7 Prozent den größten Anteil an der Personenverkehrsleistung. Damit hatte er beinahe einen doppelt so großen Anteil wie der Berufs- und Ausbildungsverkehr mit 21 Prozent. Auf Geschäftsreisen entfielen 17,6 Prozent und auf Einkaufsfahrten etwa 16,1 Prozent des Personenverkehrs. 4,7 Prozent der Personenverkehrsleistung wurden im Rahmen von Begleitfahrten wie dem Bringen und Holen von Personen erbracht. (Umweltbundesamt, 2022a)

Freizeitverkehr

Pkw und Motorrad waren in Deutschland im Jahr 2019 die beliebtesten Fortbewegungsmittel für Urlaub und Freizeit. Bei einem Anteil von 38,3 Prozent am gesamten Motorisierten Individualverkehr (Umweltbundesamt, 2022b) besteht hier ein enormes Potenzial, Verkehr durch bessere Naherholungsangebote zu vermeiden oder auf Bus und Bahn oder das Fahrrad zu verlagern.

Fernfahrten

1 Prozent aller Pkw-Fahrten in Deutschland sind länger als 100 km und machen 25 Prozent der Fahrleistung aus (Nobis & Kuhnimhof, 2018, S. 4). Ein großer Teil dieser Fahrleistung ließe sich auf die Bahn verlagern, wenn die nötigen Voraussetzungen geschaffen werden. Wichtig ist dabei etwa eine gute Verknüpfung der verschiedenen Verkehrsmittel des Umweltverbundes.

ÖPNV und Fahrrad im Pendlerverkehr

Mit durchschnittlich 16 Kilometern zählen die Wege zum Arbeitsplatz bereits zu den besonders langen Wegen (Agora Verkehrswende, 2021, S. 3). [10] In Baden-Württemberg liegt der Anteil der Erwerbstätigen mit einem Hinweg zur Arbeit, der kürzer als 10 km ist, bei 53,5 Prozent (Bauer-Hailer, 2019). Strecken unter 10 km könnten zumindest im Sommer problemlos mit dem E-Bike zurückgelegt werden. Zudem könnte ein ausgebauter ÖPNV große Beiträge leisten, Pendelverkehr von Personenkraftwagen zu vermeiden.

E-Bikes

Im Stadtverkehr sind E-Bikes bis zu einer Entfernung von etwa 7,5 Kilometern das schnellste Verkehrsmittel (Umweltbundesamt, 2022b). Hieraus ergibt sich ein großes Verlagerungspotenzial von Pkw-Fahrten auf das Fahrrad oder das E-Bike, denn die Hälfte aller Autofahrten ist sogar kürzer als fünf Kilometer (Umweltbundesamt, 2022b).

Besetzungsgrad im Pendlerverkehr

Die Berufswege werden in Deutschland zu 63 Prozent mit dem Pkw zurückgelegt, wobei im Schnitt nur 1,075 Personen im Auto sitzen. (Agora Verkehrswende, 2021) Könnte

[10] 2018 lag der Wert bereits bei 16,9 km. Im Jahr 2000 legten Pendler täglich noch rund 8,7 km auf dem Weg zur Arbeit zurück, 2014 waren es noch 10,5 Kilometer. (Statista, 2018)

auch im Pendlerverkehr der Besetzungsgrad z. B. durch Fahrgemeinschaften auf den aktuellen Gesamtdurchschnitt zwischen 1,34 und 1,48 erhöht werden [11], ließe sich dadurch theoretisch fast ein Viertel bis ein Drittel des Pendlerverkehrs vermeiden.

Homeoffice statt Pendeln

In Deutschland arbeiteten 2018 nur 5 Prozent der Beschäftigten zu Hause, in den Niederlanden waren es 14 Prozent. (Thomas, 2021, S. 8) Würden auch in Deutschland zusätzliche 9 Prozent der Beschäftigten zu Hause arbeiten, hätte dies einen erheblichen Effekt auf das Berufsverkehrsaufkommen.

Geschäftsreisen

Schon heute können „60% aller Geschäftsreisen und Meetings auch virtuell, ohne Produktivitätsverlust, mittels einer Onlinekonferenz stattfinden“ (Business-Travel, 2008). 60 Prozent der Geschäftsreisen, die per Pkw erfolgen, entsprechen 10,6 Prozent an der per Pkw erbrachten Personenverkehrsleistung.

Wohnungstausch

Wohnungstausch zwischen Pendlern, die jeweils in der Nähe des Wohnortes der/des anderen arbeiten, bietet ein erhebliches Verkehrsvermeidungspotenzial. Durch Wohnungstausch lassen sich Verkehrsvermeidung und eine bessere Nutzung des vorhandenen Wohnraums verbinden.

Pendler können, wenn sich geeignete Tauschpartner finden, durch einen Wohnungstausch eine gleichwertige Wohnung in der Nähe ihres Arbeitsortes finden, die ansonsten vielleicht nicht auf den Markt gekommen wäre, und damit vor allem Zeit, Kraftstoffkosten und CO_2 einsparen und Stress reduzieren.

Landkreise und Städte können daher umzugswillige Bürgerinnen und Bürger, die durch ihren Wohnungstausch Verkehr vermeiden und Wohnraum besser aufteilen mit wichtigen Impulsen, wie persönlicher Information, der gezielten Nutzung von Wohnungstauschplattformen und Umzugsprämien zum Umzug motivieren und dabei unterstützen.

Einkaufen

Laut dem EU-Project CycleLogistics könnten 51 Prozent aller motorisierten Transporte in europäischen Städten auf Fahrräder, Radanhänger oder Lastenräder verlagert werden, da sie eine Streckenlänge von unter sieben Kilometern und ein Gewicht von weniger als 200 kg haben. Von 6.000 untersuchten Einkäufen an Super- und Baumärkten hätten 80 Prozent der Einkäufe mit dem Rad, 14 Prozent mit einem zusätzlichen Radanhänger oder mit einem Lastenrad bewältigt werden können. Nur für die übrigen 6 Prozent wäre ein Pkw nötig gewesen. (Wrighton & Reiter, 2016, zit. n. Deutsches Institut für Urbanistik, 2017)

[11] Der Wert variiert, je nachdem, ob er auf die zurückgelegten Wege oder die zurückgelegte Wegstrecke bezogen wird.

Stadt der kurzen Wege

Das wirksamste Mittel, Verkehr zu vermeiden, ist es, ihn unnötig zu machen. Arbeiten und Wohnen wieder näher zueinander zu bringen, dezentrale Versorgung, lokale Nahrungsmittelproduktion und attraktive Freizeit- und Naherholungsangebote sind dabei ebenso wesentliche Elemente wie eine attraktive Gestaltung von Stadt und Landschaft. Wichtig ist zudem eine bessere Anpassung der Städte an den Klimawandel, beispielsweise durch Begrünung. Mehr Grün, z. B. in Verbindung mit Außengastronomie und attraktiven Kultur- und Sportangeboten, und weniger (Verkehrs-)Lärm wirken sich positiv auf Wohlbefinden und Gesundheit aus, nicht zuletzt, da Begrünung wesentlich zum Schutz vor Hitze beitragen kann.

6.3 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)

Zum Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen im Landkreis liegen, wie bereits dargestellt, nur vergleichsweise wenige Daten vor. Daher wird für die Einschätzung der Einsparpotenziale ebenfalls auf bundesweite Durchschnittswerte zurückgegriffen.

Der Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) ist, wie der Sektor Wohnen, zu erheblichen Teilen vom Heizverhalten abhängig. Raumwärme macht hier einen großen Teil des Endenergieverbrauchs aus. Gleichzeitig ist der Stromanteil im Sektor GHD relativ am höchsten, was auf den verstärkten Einsatz für Beleuchtung und mechanische Energie zurückzuführen ist. (Umweltbundesamt, 2022). Deutschlandweit wird im Sektor GHD ein Einsparpotenzial von ca. 27 Prozent gegenüber dem Jahr 2014 gesehen (Umweltbundesamt, 2022c)

6.3.1 Strom

6.3.1.1 Gewerbe

Elektrische Antriebe in Industrie und Gewerbe verbrauchen nach Angaben des Umweltbundesamtes „fast zwei Fünftel des gesamten Stromes in Deutschland und circa 80 Prozent in diesen zwei Sektoren. Gerade bei elektrischen Antrieben und den davon angetriebenen Aggregaten besteht ein großes und wirtschaftliches Stromeinsparpotenzial – besonders bei Druckluft, Pumpen und Ventilatoren“ (Umweltbundesamt, 2021).

Die größten Einsparpotenziale bieten eine effiziente Beleuchtung mit 20 Prozent des Einsparpotenzials, effiziente Lüftungssysteme mit 16 Prozent des Einsparpotenzials und Druckluftsysteme sowie der Einsatz energieeffizienter Pumpen mit jeweils ca. 11 Prozent des Einsparpotenzials. [12]

[12] Das Umweltbundesamt verweist auf die Studie „Energieeffizienz: Potenziale, volkswirtschaftliche Effekte und innovative Handlungs- und Förderfelder für die Nationale Klimaschutzinitiative“, nach welcher in den Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen rund 44 Milliarden Kilowattstunden (Mrd. kWh) Strom eingespart werden können, wobei die größten Einsparpotenziale besonders durch den Einsatz energieeffizienter Pumpen (5 Mrd. kWh), effizienter Beleuchtung (9 Mrd. kWh) und effizienter Lüftungs- (7 Mrd. kWh) und Druckluftsysteme (5 Mrd. kWh) ausgeschöpft werden könnten.

6.3.1.2 Dienstleistungen

Auch im Bereich von Dienstleistungsunternehmen bestehen erhebliche Einsparpotenziale. So können Unternehmen ihre Stromkosten für Informationstechnik mithilfe einer Green-IT-Strategie um bis zu 75 Prozent senken. (Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2012, S. 7) Das größte Potenzial bieten dabei die Serverräume, aber auch in den Büros sind die Einsparpotenziale beachtlich.

Unnötiger Stromverbrauch entsteht etwa durch Anschaffung ineffizienter Monitore, unnötige Zusatzfunktionen oder überdimensionierte Leistungen, aber auch beim Leerlauf von Etagen-Laserdruckern, die über Nacht oder am Wochenende nicht ausgeschaltet werden. Auch scheinbar ausgeschaltete Geräte wie PC, Monitor, Drucker usw. sind häufig nicht vollständig vom Stromnetz getrennt und verbrauchen durchgehend Strom. Sogenannte Master-Slave-Steckdosenleisten können dafür sorgen, dass beim Ausschalten des Master-Geräts (etwa der PC) gleichzeitig alle angeschlossenen Peripheriegeräte (Drucker, Monitor, Scanner etc.) automatisch vom Netz getrennt werden. Viele Geräte verfügen inzwischen auch über Einstellmöglichkeiten zu Stand-by-Umschaltzeiten und weiteren Sparfunktionen. Energieeffiziente Zeitschaltuhren ermöglichen die Programmierung von Aus- und Einschaltzeiten für Kopierer, Drucker, Multifunktionsgeräte etc., was eine energieeffiziente Nutzung ermöglicht. So können auch vergleichsweise einfache Maßnahmen den Stromverbrauch um bis zu 20 Prozent reduzieren. (VNR, 2020)

Die Nutzung von Videokonferenzen zur Vermeidung unnötiger Geschäftsreisen erhöht zwar den Stromverbrauch, vermeidet dafür aber erheblichen Energieverbrauch im Verkehr. Immerhin 60 Prozent aller Geschäftsreisen und Meetings können auch virtuell, ohne Produktivitätsverlust, mittels einer Onlinekonferenz stattfinden (Business-Travel, 2008).

Home-Office führt beim Stromverbrauch lediglich zu einer Verlagerung des Stromverbrauchs vom Arbeitsplatz ins heimische Büro, daher sollte auch im Home-Office auf die Energieeffizienz der Informationstechnologie geachtet werden. Mit Blick auf den Klimaschutz entstehen die Vorteile aber auch beim Homeoffice vor allem im Verkehrssektor. Auf 17 km Pendelstrecke, was in Deutschland der durchschnittlichen Pendelstrecke der Pendler entspricht, werden beim Durchschnittsverbrauch des deutschen Pkw-Bestandes und einem Besetzungsgrad von kaum mehr als 1,0 Personen pro Pkw hin und zurück fast 24 Kilowattstunden pro Pendler und Tag verbraucht. Im Durchschnitt werden für das Pendeln täglich knapp 40 Minuten aufgewendet. Durch feste Homeoffice-Tage können der Stress und krankheitsbedingte Ausfallzeiten reduziert werden: „Berufspendler fühlen sich häufig schlechter als Menschen, die keinen oder nur kurze Wege zur Arbeit zurücklegen müssen (…). Die Betroffenen besuchen deutlich häufiger den Allgemeinarzt. Gestützt werden die Ergebnisse von einer Studie der Techniker Krankenkasse, welche Pendlern ein erhöhtes Risiko psychischer Erkrankungen bescheinigt.“ (Deutsche Handwerkszeitung DHZ, 2018). Zudem kann die Produktivität steigen: Da Pendler meist früher aufstehen müssen, leiden sie häufiger unter Schlafmangel, Tagesmüdigkeit und Konzentrationsschwierigkeiten (Deutsche Handwerkszeitung DHZ, 2018).

6.3.1.3 GHD Insgesamt

Die Studie des Bund Naturschutz in Bayern e.V., angefertigt durch die Energieagentur Nordbayern, geht von einem Gesamteinsparpotential des Stromverbrauchs im Sektor GHD in Bayern bis 2030 um rund 35 Prozent gegenüber dem Jahr 2010 aus. Allerdings ist die bisherige Ausschöpfung der Potenziale des Sektors zwischen den Jahren 2010 und 2019 unbekannt. Es ist aber wahrscheinlich, dass die Potenziale zu großen Teilen noch nicht ausgeschöpft sind.

6.3.2 Wärme

Auch beim Brennstoffverbrauch liegt im Sektor GHD noch ein erhebliches Einsparpotenzial vor, das bisher kaum genutzt wird (Umweltbundesamt, 2021). Dafür gibt es laut Umweltbundesamt zwei Hauptgründe: „Ein Mangel an Information und finanzielle Einschränkungen. Industrie- und Gewerbeunternehmen verwenden die verfügbaren Investitionsmittel vorrangig für das Kerngeschäft und stellen hohe Anforderungen an die Amortisationszeit von Energieeffizienzmaßnahmen.“ (Umweltbundesamt, 2021).

Die Raumwärme hat typischerweise einen Anteil von ca. 80 Prozent am Wärmebedarf des Sektors (Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2016, S. 167). Der erreichbare Energiebedarf der Nichtwohngebäude liegt auf dem Niveau der Wohngebäude, woraus sich auch hier ein erreichbarer Wert von 50 – 60 kWh/m² ergibt. Sofern sich auch hier in Verbindung mit Wärmerückgewinnung und Wärmepumpen Einsparungen von ca. 60 bis 75 Prozent der Endenergie einsparen lassen, können allein durch die Gebäudemodernisierung 45 bis 60 Prozent des Endenergiebedarfs des Sektors für Wärmebereitstellung eingespart werden. Durch die Umstellung auf Wärmepumpen wird allerdings der Strombedarf des Sektors steigen.

6.4 Industrie

Das BMU ging im Jahr 2009 davon aus, dass in der Industrie zwischen 20 und 40 Prozent des Energieverbrauchs „zu wirtschaftlich vernünftigen Bedingungen bis 2020“ eingespart werden könnten (BMU, 2009). Ungeachtet der Unternehmensentwicklung im Landkreis ist der Energieverbrauch der Industrie zwischen 2008, dem Jahr vor der globalen Finanzkrise, und 2019 um rund 8 Prozent gesunken.

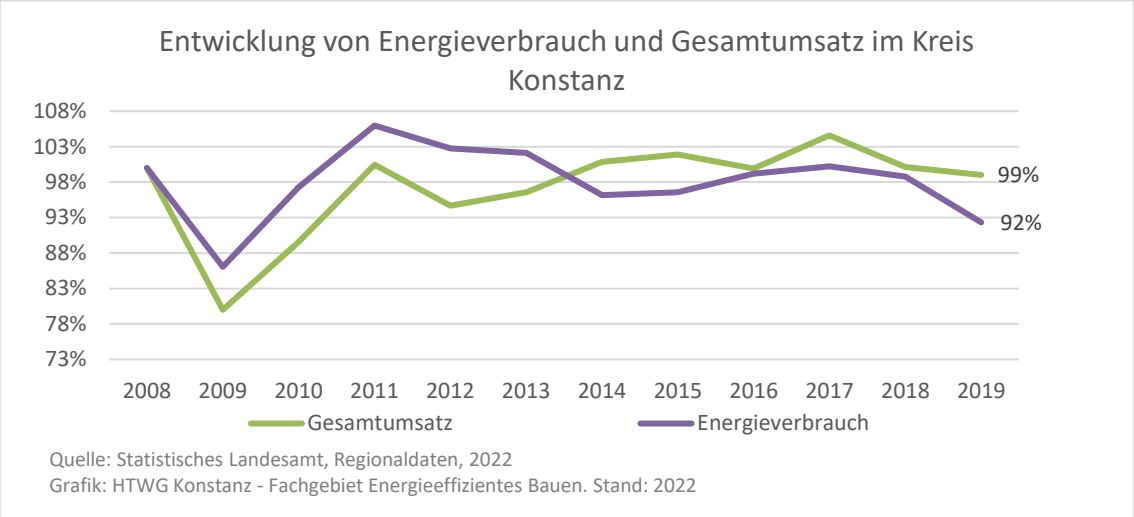


Abbildung 126: Entwicklung von Energieverbrauch und Gesamtumsatz des produzierenden Gewerbes seit 2008

Zugleich ist die Zahl der Betriebe des produzierenden Gewerbes bei fast konstantem Gesamtumsatz um 4 Prozent angestiegen, während die Zahl der Beschäftigten um 6 Prozent niedriger lag als 2008. Wie die Kurven in Abbildung 126 zeigen, besteht kein direkter, aber doch ein enger Zusammenhang zwischen industriellem Energieverbrauch und Gesamtumsatz des produzierenden Gewerbes. Dieser ist deutlich enger als der Zusammenhang zwischen Gesamtumsatz und Beschäftigung oder zwischen Energieverbrauch und Beschäftigung.

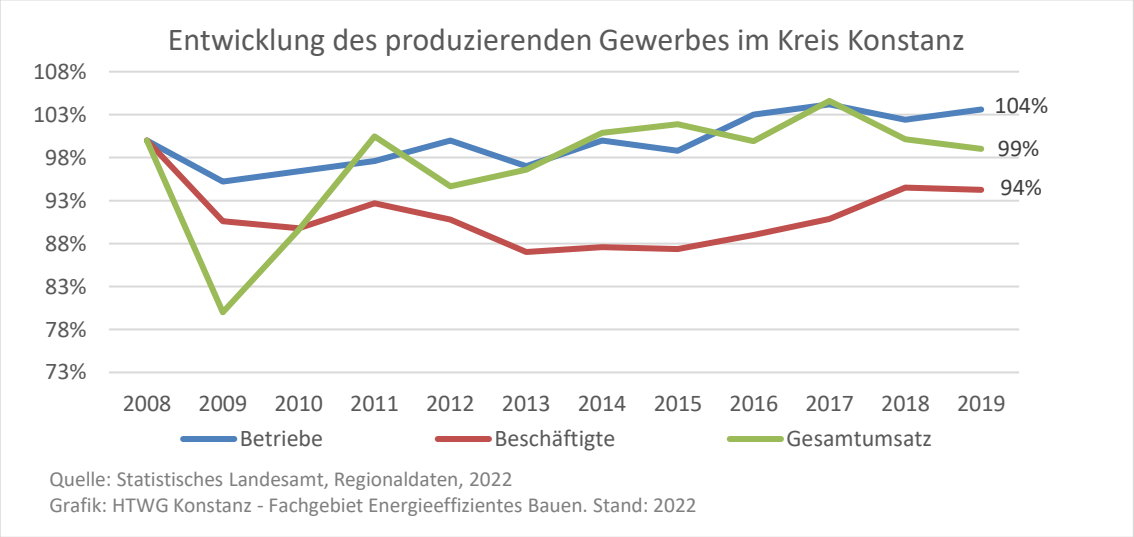


Abbildung 127: Entwicklung wichtiger wirtschaftlicher Kennzahlen des produzierenden Gewerbes

So zeigen letztlich auch die verschiedenen Kennwerte für Energieeffizienz recht deutliche Schwankungen. Sofern man auf dieser Basis von einem Trend sprechen kann, ist der Energieverbrauch zumindest im Verhältnis zur Zahl der Betriebe um 11 Prozent sowie im Verhältnis zum Gesamtumsatz um 7 Prozent gesunken.

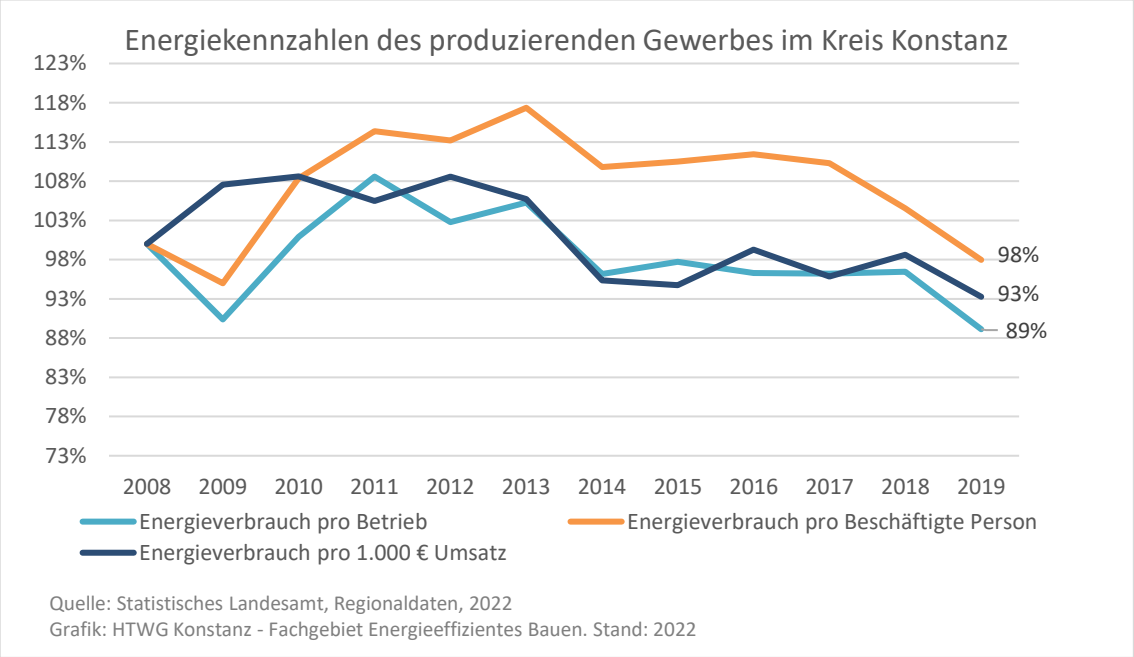


Abbildung 128: Entwicklung von Energiekennzahlen des produzierenden Gewerbes seit 2008

Somit könnten, sofern die vom BMU benannten Einsparpotenziale auf den Landkreis übertragbar sein sollten, zwischen 18 und 55 Prozent der Einsparpotenziale bereits ausgeschöpft sein. Das verbleibende Einsparungspotenzial würde sich dann zwischen 45 und 82 Prozent des im Jahr 2008 vorhandenen Einsparpotenzials bewegen.

Bezogen auf den Energieverbrauch des Jahres 2019 würde somit ein Einsparpotenzial von 11 bis 36 Prozent verbleiben.

6.4.1 Strom

Strom hatte in den Jahren 2019 und 2020 einen Anteil von 36 Prozent am gesamten Energieverbrauch der Industrie im Landkreis Konstanz. Große Bedeutung kommt in der Industrie dem Einsatz von Elektromotoren zu: „Elektrische Antriebe sind im Bereich der Industrie für rund 70 Prozent des Stromverbrauchs verantwortlich. Mehr als 90 Prozent der Gesamtkosten eines Elektromotors über die Lebensdauer entfallen auf den Stromverbrauch, weniger als zehn Prozent auf die Anschaffung.“ (BMU, 2009, S. 7).

6.4.2 Raumwärme und Warmwasser

Raumwärme hat nur einen vergleichsweise geringen Anteil am Energieverbrauch der Industrie (Umweltbundesamt, 2022d). Die Einsparpotenziale liegen auch hier vor allem im Bereich der Gebäudedämmung und, wo möglich, im Einsatz von Wärmepumpen. Unter Umständen steht Brauchwasserwärme oder auch ungenutzte speicherbare Abwärme

aus der Produktion als Wärmequelle zur Verfügung. Das meiste Warmwasser wird in Sanitäranlagen und Umkleideräumen benötigt, weite Wärmewege verursachen bis zu 60 Prozent Wärmeverluste (BMU, 2009, S. 12).

6.4.3 Prozesswärme

Mit über 60 Prozent hat Prozesswärme in Deutschland den größten Anteil am Endenergieverbrauch der Industrie. In vielen Fällen können herkömmliche Systeme durch strombasierte Systeme ersetzt werden, wie etwa durch heiße Wärmepumpen: „Ein norwegisches Konsortium hat eine industrielle Wärmepumpe gebaut, die eine Temperatur von bis zu 180 Grad Celsius erreichen kann. Sie kann bei verschiedenen industriellen Prozessen eingesetzt werden, die auf Dampf als Energieträger angewiesen sind, und kann den Energieverbrauch einer Fabrik um 40 bis 70 Prozent senken, da sie die Rückgewinnung von Niedertemperatur-Abwärme ermöglicht.“ (Bellini, 2021)

6.4.4 Übersicht Einsparpotenziale

In Tabelle 10 ist eine Auswahl von Einsparpotenzialen in der Übersicht dargestellt. Die Potenziale müssen im Einzelfall geprüft werden.

Tabelle 10: Übersicht Einsparpotenziale in der Industrie (Auswahl)

Potenzial	Mittel	Mögliche Einsparung
Druckluft	Hochwirkungsgrad-Motoren und Umrichter	bis zu 50 %
Elektromotoren	Drehzahlregler	20 bis 50 %
Pumpensysteme	Richtiger Pumpentyp für die jeweilige Anwendung und Betriebsumgebung, Doppelpumpenbetrieb etc.	12 bis 15 %
Beleuchtung	LED, tageslichtabhängige Steuerung u. a.	bis zu 80 %
Lüftung, Kühlung und Kälte	Lüftungsmotoren mit veränderbarer Drehzahl & Vermeidung unnötig hoher Drehzahlen, Lüftungsanlagen mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung, dezentrales Lüften	k. A.
Raumwärme und Warmwasser	Nachträgliche Wärmedämmung, Wärmepumpen, Brauchwasserwärmerückgewinnung	50 bis 75 %
Prozesswärme bis 180°C	Heiße Wärmepumpen	40 bis 70 %

Quellen: Bellini, 2021; BMU, 2009; dena, 2016

6.5 Öffentlich

Einen großen Anteil am Stromverbrauch öffentlicher Liegenschaften hat häufig die Straßenbeleuchtung, deren Anteil an den Stromkosten der Kommunen bis zu 40 Prozent betragen kann.

Im Bereich der Gebäude hat der Stromverbrauch meist einen Anteil von nicht mehr als 20 bis 25 Prozent am Energieverbrauch. In Verwaltungs- und Schulgebäuden mit Büros, IT-Arbeitsplätzen und Serverräumen entsprechen viele Stromsparpotenziale denen des Dienstleistungsbereichs im Sektor GHD.

Der größte Anteil des gesamten Energieverbrauchs öffentlicher Liegenschaften entfällt in der Regel auf die Raumwärme. Die technischen Einsparpotenziale im Bereich Raumwärme ähneln denen der Wohn- und Bürogebäude, wobei die Zielwerte pro Quadratmeter nicht zuletzt aufgrund des geringeren Warmwasserbedarfs meist sogar niedriger angesetzt werden können. Mit steigenden Kosten fossiler Energien gewinnt dieses Potenzial auch im öffentlichen Sektor zunehmend an Bedeutung. Daher sollten auch in diesem Sektor Einsparungen von ca. 50 bis 60 Prozent im Bereich der Raumwärme häufig realisierbar sein.

Schulgebäude sind nicht selten führende Energieverbraucher unter den öffentlichen Liegenschaften, die häufig 40 bis 60 Prozent der Energiekosten aller kommunalen Gebäude verursachen (Berlo & Seifried, 2016, S. 7). Dabei sind größere Einsparungen häufig bereits möglich, bevor ein Schulgebäude neu gedämmt wird. So wurde z. B. in vier Solar&Spar-Schulen eine Einsparung von rund 4,3 Mio. Kilowattstunden Wärme pro Jahr erreicht, ohne dass „auch nur ein Quadratmeter Isolation angebracht“ wurde. (Berlo & Seifried, 2016, S. 15). Die zahlreichen Einsparpotenziale in Schulen sind in der Broschüre „Einsparkraftwerk Schule – Wie Bürger und Klima profitieren können“ von Kurt Berlo und Dieter Seifried dokumentiert.

6.6 Landwirtschaft

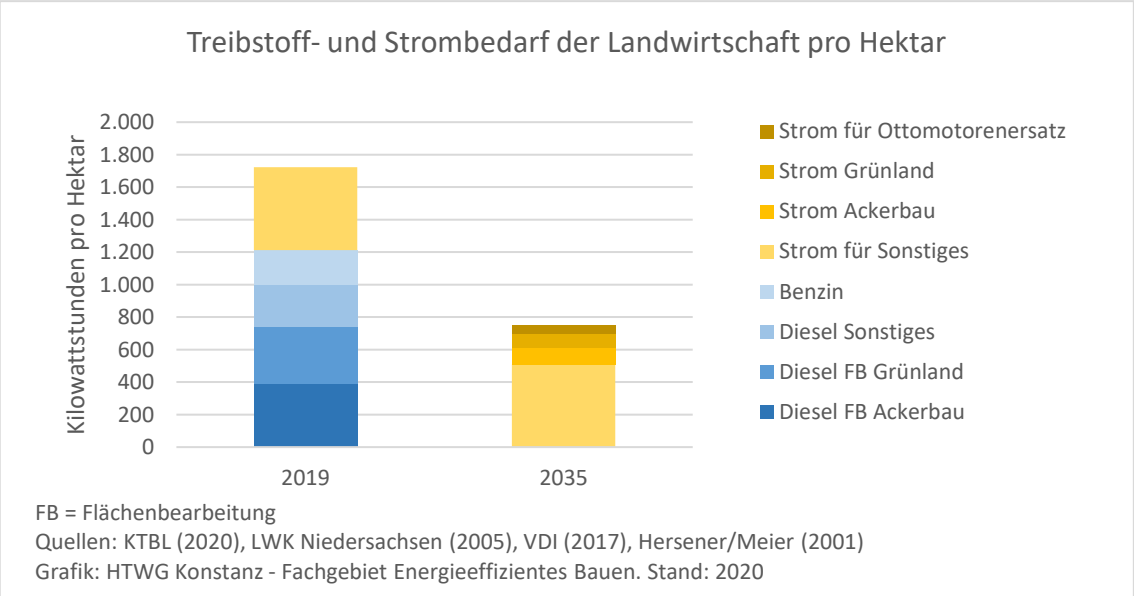
6.6.1 Gewächshäuser

Niedrigenergie-Gewächshäuser kommen auf Werte zwischen 100 und 146 kWh/m² (KTBL, 2014, S. 134). Die Modernisierung von Gewächshäusern mit einem Energieverbrauch von 230 - 300 kWh/m² und Jahr auf einen Standard von Niedrigenergie-Gewächshäusern könnte im Landkreis Konstanz ca. 20 bis 38 GWh pro Jahr einsparen.

6.6.2 Elektroantriebe

In der Landwirtschaft ist der Einsatz von Treibstoffen auf Basis von Pflanzenölen ein erprobtes Mittel, erdölbasierte Treibstoffe zu ersetzen. Aufgrund begrenzter Anbauflächen und relativ geringer Wirkungsgrade von Verbrennungsmotoren bietet jedoch die Elektrifizierung der Landmaschinen voraussichtlich das größte Potenzial, fossile Treib-

stoffe in Zukunft auch in der Landwirtschaft verzichtbar zu machen. Elektrische Erntemaschinen wie Mähdrescher, Feldhäcksler oder Pressen befinden sich großenteils noch in der Entwicklungs- bzw. Testphase. Elektrisch betriebene Traktoren sind dagegen bereits von mehreren Herstellern in den Handel gebracht worden. Ähnlich dem Verhältnis von Elektro-Pkw zu Pkw mit Verbrennungsmotor benötigen auch elektrisch betriebene Traktoren rund 75 Prozent weniger Endenergie als vergleichbare Fahrzeuge mit Dieselantrieb. Nach Herstellerangaben reichen 100 kWh Strom für ca. 5 Stunden durchschnittlichen Betrieb eines Elektro-Traktors aus (vgl. VDI, 2017). Herkömmliche Traktoren mit Dieselmotoren benötigen ca. 80 bis über 100 kWh für eine Stunde durchschnittlichen Betriebs (vgl. LWK Niedersachsen, 2005). Auf dieser Basis wurden die möglichen Entwicklungen des Treibstoffverbrauchs und des Stromverbrauchs in der Landwirtschaft im Landkreis Konstanz geschätzt, die sich in einem Klimaschutzszenario aus einer vollständigen Elektrifizierung der Landmaschinen ergeben könnten. Nach dieser Schätzung könnte der Endenergiebedarf für die Bereiche Treibstoffe und Strom auf diese Weise insgesamt um 56 Prozent reduziert werden.



FB = Flächenbearbeitung
Quellen: KTBL (2020), LWK Niedersachsen (2005), VDI (2017), Hersener/Meier (2001)
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2020

Abbildung 129: Treibstoff- und Strombedarf der Landwirtschaft pro Hektar im Status Quo und im Klimaschutzszenario

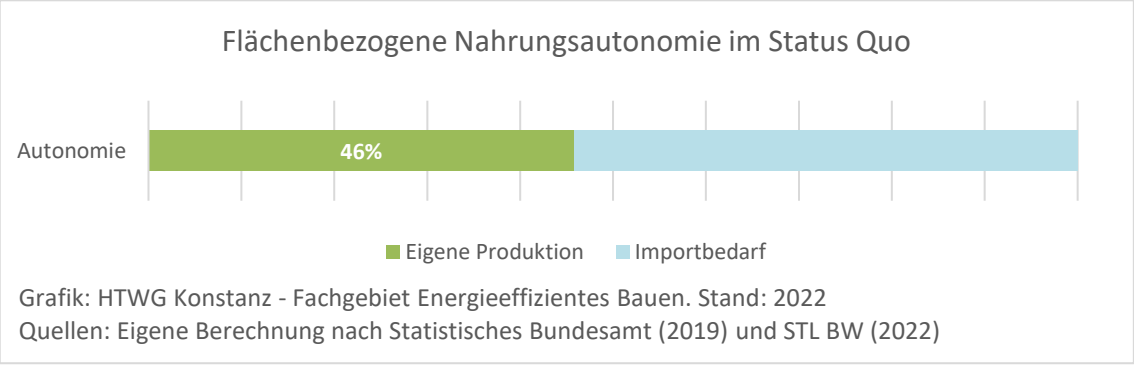
7 Ernährung & Konsum

7.1 Ernährung

Mit Blick auf die Ernährung sind neben den klimawirksamen Emissionen der Ernährung auch die Auswirkungen der Energiegewinnung auf die für die Ernährung verfügbaren Anbauflächen zu bedenken. Allerdings ist es sinnvoll, hierbei auch die Potenziale zu berücksichtigen, die beispielsweise eine an gesundheitlichen und ökologischen Kriterien orientierte Ernährungsumstellung bietet.

7.1.1 Mögliche Nahrungsautonomie und verbleibende Importabhängigkeit

Mit ca. 400 Terawattstunden pro Jahr weist die Bioenergie eines der drei größten erneuerbaren Energiepotenziale in Deutschland auf. Um dieses Potenzial auszuschöpfen, ist auch die Produktion von Anbaubiomasse erforderlich. Allerdings reduziert der Anbau von Energiepflanzen und nachwachsenden Rohstoffen die für die Nahrungsproduktion verfügbare Anbaufläche. Dies wirkt sich auf die Nahrungsautonomiepotenziale aus. Nach Erhebungen des Statistischen Bundesamtes beträgt die durchschnittliche Flächenbelegung durch Ernährungsgüter für den deutschen Konsum aktuell rund 0,23 Hektar pro Einwohner (Statistisches Bundesamt, 2019). Würde die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche für die Produktion von Nahrungsmitteln genutzt, könnte mit den im Kreis Konstanz vorhandenen Flächen (STL BW Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2021) im Status Quo ein Autonomiegrad von 49 Prozent erreicht werden. Werden wie bisher 10 Prozent der Ackerfläche für die Gewinnung von Energie und nachwachsenden Rohstoffen aufgewendet, verbleibt ein Autonomiepotenzial von ca. 46 Prozent.



Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022
Quellen: Eigene Berechnung nach Statistisches Bundesamt (2019) und STL BW (2022)

Abbildung 130: Flächenbezogene Nahrungsautonomie im Status Quo

Bleiben Konsum, Produktionsweise und klimatische Bedingungen konstant, kann der Verlust von landwirtschaftlicher Nutzfläche bis 2035 dazu führen, dass das Nahrungsautonomiepotenzial in Konstanz um voraussichtlich ca. 2 Prozentpunkte sinkt. In Verbindung mit Folgen des Klimawandels kann der Verlust von Autonomie auch größer ausfallen, da sich auch der weltweite Temperaturanstieg negativ auf die Erträge wichtiger Feldfrüchte (z. B. Weizen, Reis, Mais, Soja) auswirken wird (Zhao, et al., 2017).

Nach Angaben der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft zum konventionellen Anbau (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2010, S. 22) und Erhebungen von Wakamiya zum Flächenbedarf des Ökologischen Landbaus (Wakamiya, 2011) stiege der Flächenbedarf der Ernährung durch den Umstieg auf eine rein ökologische Erzeugung um ca. 54 Prozent, wenn die Ernährungsgewohnheiten ansonsten unverändert blieben. Dies würde zu einem Autonomiegrad von nur noch 34 Prozent führen.

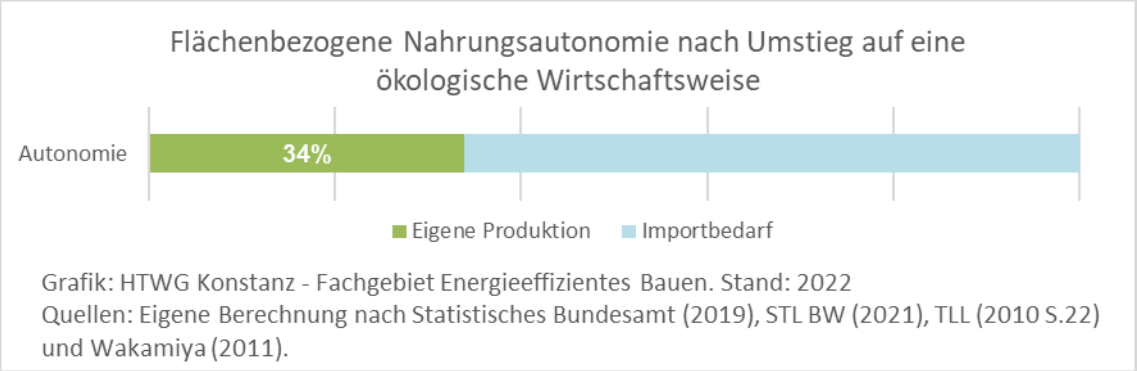


Abbildung 131: Flächenbezogene Nahrungsautonomie nach Umstieg auf eine ökologische Wirtschaftsweise

Durch eine Umstellung auf eine an gesundheitlichen Kriterien orientierte Ernährung, z. B. nach Empfehlungen der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES Österreich, 2017) und eine Minimierung der Lebensmittelverschwendung könnte dieser Verlust an Autonomie jedoch mehr als kompensiert werden. So sind nach Erhebungen des WWF aus dem Jahr 2015 (WWF Deutschland, 2015) und einer Studie des Thünen-Instituts aus dem Jahr 2019 (Schmidt, Schneider, Leverenz, & Hafner, 2019) ca. 54 Prozent der aktuellen Lebensmittelverluste vermeidbar. In Verbindung mit der als Beispiel genannten Ernährungsweise nach AGES könnte das Nahrungsautonomiepotenzial von Konstanz daher trotz der Umstellung auf ökologische Wirtschaftsweise auf einen Wert von ca. 56 Prozent gesteigert werden.

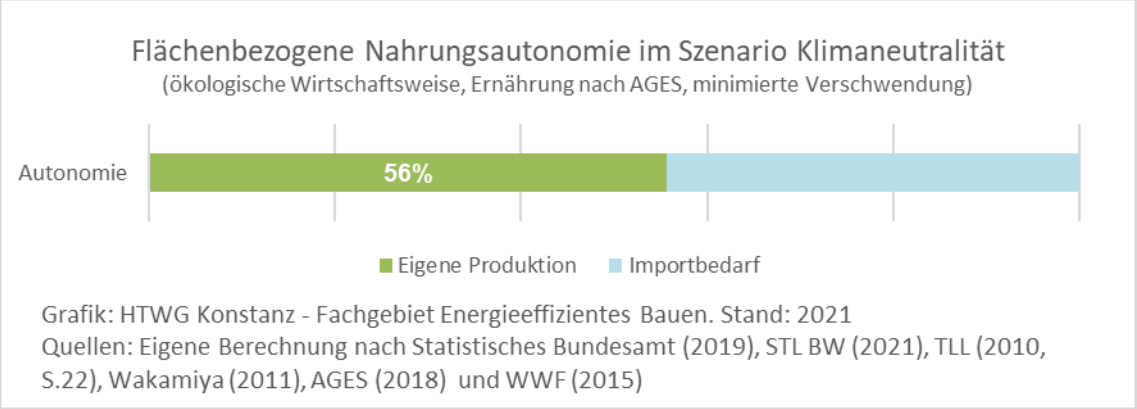
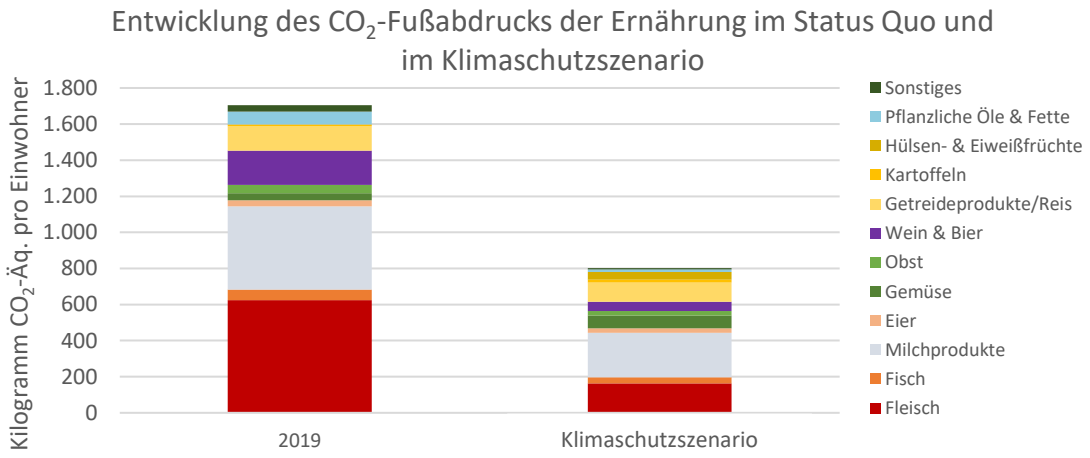


Abbildung 132: Flächenbezogene Nahrungsautonomie im Szenario "Klimaneutralität"

7.1.2 Mögliche CO_2-Vermeidung durch ökologische Ernährung insgesamt

Nach Angaben des Umweltbundesamtes wird die Klimabilanz der Ernährung in Deutschland derzeit auf ca. 1,7 Tonnen pro Person und Jahr geschätzt (Umweltbundesamt,

2021a). Gesenkt werden kann dieser Wert vor allem durch eine Reduktion tierischer Nahrungsmittel, die Vermeidung von Verschwendung, den Umstieg auf eine ökologische Wirtschaftsweise und eine Reduktion von Transport und Lagerung durch eine Bevorzugung regionaler und saisonaler Produkte. Wird zudem auf eine an gesundheitlichen Kriterien orientierte Ernährungsweise umgestellt, dürfte im Klimaschutzszenario eine Reduktion der jährlichen Emissionen auf 0,8 t CO_2-Äquivalent pro Person erreichbar sein. Somit würde die Ernährung im Klimaschutzszenario immer noch fast 1,1 t CO_2-Äq. pro Person und Jahr verursachen, wenn man den gesamten Zeitraum von 2022 bis zum Jahr 2050 betrachtet, in dem die Vereinten Nationen Klimaneutralität erreichen möchten. Der Gesamtausstoß entspricht damit rund 73 Prozent des verbleibenden Budgets des 1,5-Grad-Ziels. Eine klimaneutrale Nahrungsversorgung ist mit derzeitigen Mitteln nicht ohne weiteres möglich und erfordert voraussichtlich mehrere Kompensationsmaßnahmen, wie z. B. die CO_2-Absorption durch Humusaufbau (Kohlenstoffbindung).



Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022
Quellen: Eigene Berechnung nach AGES (2017), Lindenthal et al. (2010), Reinhardt et al. (2020), Umweltbundesamt (2021a), WWF (2015)

Abbildung 133: Entwicklung des CO_2-Fußabdrucks der Ernährung im Status Quo und im Klimaschutzszenario

Eine Orientierung der Ernährung an gesundheitlichen und ökologischen Kriterien und eine Reduktion vermeidbarer Nahrungsverluste sind dabei entscheidende Voraussetzungen, da der Flächenbedarf der ökologischen Landwirtschaft im Vergleich zur konventionellen Wirtschaftsweise größer ist. Bei unveränderten Ernährungsgewohnheiten würde der alleinige Umstieg auf Bio-Lebensmittel daher dazu führen, dass aufgrund des erhöhten Flächenbedarfs vermehrte Importe und damit ein erhöhter Transportaufwand erforderlich würden. Zudem dürften die zusätzlich benötigten Anbauflächen durch Landnutzungsänderungen gewonnen werden, die zu erheblichen CO_2-Emissionen führen und die positiven Effekte der ökologischen Produktion wieder zunichtemachen können. Auf diese Risiken weisen inzwischen mehrere Studien hin (vgl. z. B. Smith, Kirk, & Jones, 2019).

Die vorliegende Schätzung der Minderungspotenziale basiert auf den Ernährungsempfehlungen der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit

(AGES, 2017), Erhebungen von Reinhardt et al. (2020) zu den ökologischen Fußabdrücken von Lebensmitteln und Gerichten in Deutschland (Reinhardt, Gärtner, & Wagner , 2020) und einem Vergleich der Klimabilanz biologischer und konventioneller Lebensmittel durch Lindenthal et al. (Lindenthal, Markut, Hörtenhuber, Rudolph, & Hanz, 2010). Die Auswirkungen einer vermehrt regionalen Versorgung wurden nach Angaben des CO_2-Rechners des Umweltbundesamtes geschätzt.

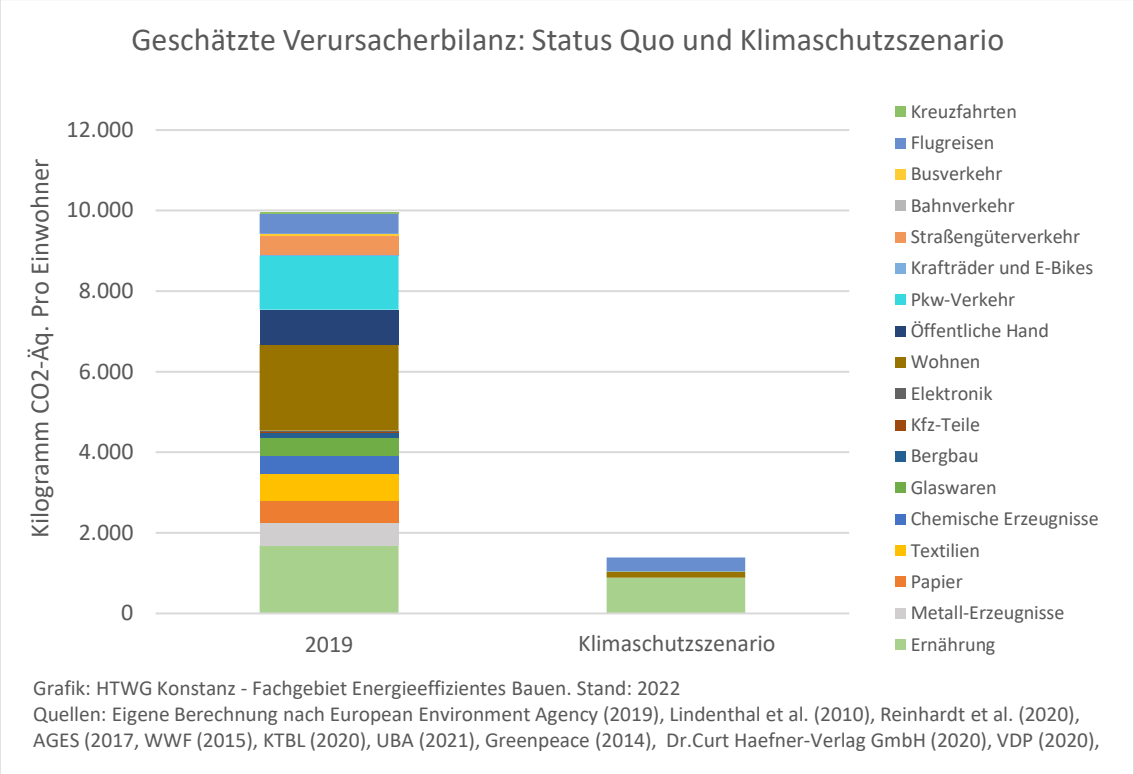
Klimafreundlich Kochen

Anregungen und Rezepte für klimafreundliches Einkaufen und Kochen gibt es unter anderem im Genuss N!-Kochbüchle (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, 2015) oder im vom Bundesumweltministerium empfohlenen Klimakochbuch (Balz, et al., 2015).

7.2 Geschätzte Verursacherbilanz einschließlich Konsum

Um den Konsum in der CO_2-Bilanz abbilden zu können, muss anstelle einer auf das Gemeindegebiet bezogenen Territorialbilanz eine Verursacherbilanz erstellt werden, die auch jene Emissionen umfasst, die durch den eigenen Konsum auch außerhalb der eigenen Stadtgebietsgrenzen verursacht werden. Da es zum Konsum der Einwohner im Landkreis Konstanz und der CO_2-Bilanz der durch sie konsumierten Produkte jedoch keine ausreichende Datengrundlage gibt, kann diese Bilanz nur sehr grob geschätzt werden. Um sie zumindest näherungsweise abzubilden, wurden vereinfachend bundesweite Durchschnittswerte für die Emissionen des Konsums einschließlich der Nutzung von Bahn, Flugzeug und Kreuzfahrtschiffen mit den Konstanzer Emissionen des Wohnens und des motorisierten Individualverkehrs kombiniert. Obwohl es sich hierbei nur um eine grobe Annäherung handeln kann, weist sie jedoch deutlich darauf hin, dass der Konsum bei den Bemühungen um das Erreichen des 1,5-Grad-Ziel ebenfalls berücksichtigt werden muss. Die geschätzte Verursacherbilanz beträgt mehr als 9,9 t CO_2 pro Einwohner und liegt damit ungefähr um ein Viertel über den energiebedingten Emissionen des Landkreises in der Territorialbilanz.

Mehr als 34 Prozent der Verursacherbilanz gehen auf den Konsum zurück. Da sich die Brutto-Emissionen der Nahrungsproduktion nicht auf null senken lassen, ergibt sich auch im Szenario Klimaschutzszenario ein Wert von ca. 800 bis 900 Kilogramm pro Einwohner und Jahr. Die Emissionen der Landwirtschaft lassen sich z. B. durch Maßnahmen zur vermehrten Humusbildung zumindest teilweise wieder kompensieren. Nicht eingeschätzt werden konnte, wie sich die Emissionen von Flugzeugen und Kreuzfahrtschiffen reduzieren werden, weshalb für sie keine spezifischen Absenkungen pro Streckeneinheit berechnet wurden. Angenommen wurde in diesem Bereich aber eine Reduktion des Konsums um 30 Prozent. Damit betragen die Gesamtemissionen nach dieser Schätzung selbst im Klimaschutzszenario 2035 mit ca. 96 Tonnen CO_2-Äq. pro Einwohner noch mehr als das Zweieinhalbfache des Wertes, der dem verbleibenden Budget des 1,5-Grad-Ziels entspricht.



Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022
Quellen: Eigene Berechnung nach European Environment Agency (2019), Lindenthal et al. (2010), Reinhardt et al. (2020), AGES (2017, WWF (2015), KTBL (2020), UBA (2021), Greenpeace (2014), Dr.Curt Haefner-Verlag GmbH (2020), VDP (2020),

Abbildung 134: Geschätzte Verursacherbilanz: CO_2-Emissionen im Status Quo und im Klimaschutzszenario 2035

7.2.1.1 Textil- und Papierkonsum als Beispiele

Derzeit liegt der Konsum von Textilien in Europa bei ca. 26 kg pro Person und Jahr. In Deutschland wird der Konsum auf einen sehr ähnlichen Umfang geschätzt. Dieser Konsum ist mit einem CO_2-Ausstoß von ca. 654 kg pro Person und Jahr verbunden (European Environment Agency, 2019). Der Papierkonsum, der in Deutschland bei ca. 243 kg pro Einwohner und Jahr liegt, verursacht Emissionen von ca. 148 kg CO_2 pro Einwohner und Jahr (VDP Verband deutscher Papierfabriken, 2020; Dr.Curt Haefner-Verlag GmbH, 2020). So schöpft allein der Konsum von Textilien und Papier das verbleibende jährliche CO_2-Budget des 1,5°-Ziels mit rund 800 kg/Person bereits zu 60 Prozent aus.

Eine wirksame und einfache Möglichkeit, den Ressourcenverbrauch und CO_2-Emissionen des Kleiderkonsums zu reduzieren, ist die Verlängerung der Nutzungsdauer. Weitere Möglichkeiten bieten z. B. die Nutzung von Mietkleidern oder Kleidertauschbörsen. Kleider, die nur für einen einzelnen besonderen Anlass benötigt werden, müssen so nicht mehr von jedem Einzelnen gekauft werden. Ein solches Kleider-Sharing könnte den Kleiderkonsum in beachtlicher Weise senken, denn rund 40 Prozent der in Deutschland gekauften Kleidung werden selten getragen und rund die Hälfte davon wird sogar so gut wie nie getragen (BMU Bundesministerium für Umwelt, 2021). Um den Ressourcenverbrauch des Kleiderkonsums um 60 Prozent zu reduzieren, müsste der Verbrauch der tatsächlich häufiger genutzten Kleidung dann lediglich um ein Drittel gesenkt werden. Dafür würde es beispielsweise ausreichen, die Nutzungsdauer eines Kleidungsstückes von drei Jahren auf 4,5 Jahre zu erhöhen.

8 Szenarien

8.1 Definition des Szenarios Klimaneutralität

Im Folgenden werden die Datengrundlagen und Annahmen für die Berechnung des **Szenarios Klimaneutralität** dargestellt, die zu den berechneten Energieverbräuchen, Autonomiepotenzialen und Treibhausgasemissionen im jeweils gewählten Zieljahr der Klimaneutralität (2035, 2040 oder 2045) führen.

Tabelle 11: Bezugsjahre und Bevölkerung des Status Quo und des Szenarios Klimaneutralität

Kennwert	Status Quo	Szenario	Quellen / Bemerkungen
Landkreis	Konstanz		Statistisches Landesamt, Regionaldatenbank, Bevölkerungsvorausrechnung
Bezug	Bestand	Szenario	
Bezugsjahr bzw. Zieljahr	2019	2035, 2040 oder 2045	
Einwohner:	286.305	290.502	

Tabelle 12: Sektor Wohnen - Wärmegewinnung und Beheizungsstruktur

Kennwert	Status Quo	Szenario	Quellen / Bemerkungen
Angestrebte Reduktion des Haushaltsstromverbrauchs:		20%	(Stadt Frankfurt am Main, 2015) (in Frankfurt wurden 23 % erreicht)
KWK-Anteil der Nutzung von Festbrennstoffen		50%	Annahme
KWK-Anteil der Biogasnutzung		50%	Annahme
Nutzbare Abwärme Insgesamt (kWh/Ea)		226	Berechnung nach Abzug von 11 Prozent Netzverlust (basierend auf Eingaben zu KWK-Anteilen).
Für Wohngebäude nutzbarer Abwärmeanteil		70%	Annahme
Für Wohngebäude eingeplanter Festbrennstoffanteil		100%	Annahme
Wärmebedarf pro Quadratmeter (kWh/m²):	130	55	Mittelwert des erreichbaren Standards (50 – 60 kWh/m² nach dena, 2016, S. 3)
Arbeitszahl Wärmepumpen:	3,0	3,6	Annahme

Tabelle 13: Sektor Wohnen - Gebäudebeheizungsstruktur (Anteile der Energieträger)

System	Status Quo*	Szenario	Quellen / Bemerkungen
Öl	28,7%	0,5%	Annahme
Gas (Status Quo: Erdgas, Szenario: Biogas)	56,1%	13,8%	Berechnung (Lokales Potenzial nach Eingabe KWK-Anteil)
Feste Biomasse	7,3%	12,5%	Berechnung (Lokales Potenzial nach Eingabe KWK-Anteil)
Solarthermie	1,1%	9,3%	Verdreifachung der heutigen Kollektorfläche
Wärmepumpen	3,0%	37,4%	Berechnung (Nicht über Biomasse, Solarthermie oder Infrarotheizung gedeckter Anteil)
Strom direkt	3,0%	2,0%	Infrarotheizungen
Wasserstoff	0,0%	5,0%	Annahme (Import/lokale Speicherung)
Nahwärme	1,0%	19,4%	Berechnung (Lokales Potenzial nach Eingabe KWK-Anteil)

* Schätzung nach LUBW zit. n. KEA BW (2022)

Tabelle 14: Mobilität der Bevölkerung

Kennwert	Status Quo	Szenario	Quellen / Bemerkungen
Kilometer pro Person und Jahr:	Stand 2019	Wie 2019	Annahme
Kilometer pro Pkw und Jahr:	10.929	10.929	Berechnung nach STL BW, 2022

Tabelle 15: Modal Split im Individualverkehr

Fortbewegung/ Verkehrsmittel	Geschätzter Bestand	Zukunftsmix	Quellen / Bemerkungen
Fußverkehr	3,0%	3,0%	Modal Split 2017: bundesweite Durchschnittswerte, nach MiD 2017 (Nobis & Kuhnimhof, 2018) Modal Split im Szenario: Annahmen in Anlehnung an div. Studien, wie in Abschnitt 6.2 dargestellt.
Fahrrad	1,5%	5,0%	
E-Bike	1,5%	11,0%	
Kraftrad	1,0%	1,0%	
Pkw-Fahrer	55,0%	32,0%	
Pkw Mitfahrer	20,0%	21,0%	
Bus	8,8%	17,0%	
Bahn	9,2%	10,0%	
Besetzungsgrad Pkw:	1,48	1,66	

Tabelle 16: Motorisierung der Pkw (bezogen auf die Anteile an der erbrachten Fahrleistung)

Motorisierung	Geschätzter Bestand	Zukunftsmix	Quellen / Bemerkungen
Pkw mit Ottomotor, Gas (Status Quo: Erdgas, 2035:Biogas)	0,5%	2,0%	Status Quo: Anteile in Baden-Württemberg Szenario: Annahme (3 Prozent Verbrenner inkl. Historische Fahrzeuge)
Pkw mit Ottomotor, Benzin/Ethanol	51,4%	1,00%	
Pkw mit Dieselmotor	48,0%	0,0%	
Pkw mit Elektromotor	0,1%	97,0%	
Pkw mit Wasserstoff-BZ	0,0%	0,0%	
Pkw mit Verbrenner & synthetischen Treibstoffen	0,0%	0,0%	

Tabelle 17: Motorisierung leichter Nutzfahrzeuge (bezogen auf die erbrachte Fahrleistung)

Motorisierung	Geschätzter Bestand	Zukunftsmix	Quellen / Bemerkungen
Dieselmotor	100%	0%	Annahme
Elektromotor	0%	100%	Annahme
Wasserstoff-BZ	0%	0%	Annahme
Verbrenner mit synthetischen Treibstoffen	0%	0%	Annahme

Tabelle 18: Motorisierung schwerer Nutzfahrzeuge (bezogen auf die erbrachte Fahrleistung)

Motorisierung	Geschätzter Bestand	Zukunftsmix	Quellen / Bemerkungen
Dieselmotor	100%	0%	Annahme
Elektromotor	0%	70%	Annahme
Wasserstoff-BZ	0%	30%	Annahme
Verbrenner mit synthetischen Treibstoffen	0%	0%	Annahme

Tabelle 19: Motorisierung der Busse (bezogen auf die erbrachte Fahrleistung)

Motorisierung Busse	Geschätzter Bestand	Zukunftsmix	Quellen / Bemerkungen
Dieselmotor	100%	0%	Annahme
Elektromotor	0%	50%	Annahme
Wasserstoff-BZ	0%	50%	Annahme
Verbrenner mit synthetischen Treibstoffen	0%	0%	Annahme
SUMME	100%	100%	

Tabelle 20: Kapazität und Besetzungsgrad im Busverkehr

Kapazität des Busverkehrs	Geschätzter Bestand	Ziel	Quellen / Bemerkungen
Sitzplätze pro Bus	40	40	Schätzung[13]
Besetzungsgrad	20%	30%	Durchschnitt in Bund und Landkreis / Annahme

Tabelle 21: Energieeinsparung und Elektrifizierung Industrie / Produzierendes Gewerbe

Kennwert	Bestand	Ziel	Quellen / Bemerkungen
Stromeinsparung:	-	25%	Annahme nach (BMU, 2009)[14]
Wärmeeinsparung:	-	45%	Annahme nach (BMU, 2009)
Elektrifizierungsrad Wärme	-	100%	10% Raumwärme: über Wärmepumpen, 90% sonstiger Wärmebedarf (direktelektrisch, z. B. über heiße Wärmepumpen)
Gesamteinsparung	-	39%	

Tabelle 22: Energieeinsparung und Elektrifizierung im Sektor Gewerbe, Handel & Dienstleistung

Kennwert	Bestand	Ziel	Quellen / Bemerkungen
Stromeinsparung:	-	20%	Annahme
Wärmeeinsparung:	-	60%	Annahme
Ersatz von Öl, Gas und Holz durch Strom (Wärmepumpen etc.)	-	100%	Annahme: Wärmebedarf zu 80 Prozent Raumwärme.
Ersatz von Nahwärme durch Strom (Wärmepumpen etc.):	-	0%	Annahme: Kein Rückbau vorhandener Nahwärmenutzung
Gesamteinsparung	-	69%	

[13] Die Spanne reicht bei Omnibussen in der Regel von 25 bis 52 Sitzplätzen, je nach Busgröße und Bestuhlungsvariante. Zweitürige Stadtbusse bieten in der Regel 25 bis 28 Sitzplätze, Gelenkbusse bieten meist zwischen 26 und 46 Sitzplätzen.

[14] Das BMU ging im Jahr 2009 davon aus, dass in der Industrie zwischen 20 und 40 Prozent des Energieverbrauchs „zu wirtschaftlich vernünftigen Bedingungen bis 2020“ eingespart werden könnten (BMU, 2009). Die tatsächlich erfolgte Einsparung bis zum Jahr 2017 lag in den fünf betrachteten Landkreisen lediglich bei 6 Prozent.

Tabelle 23: Sektor Landwirtschaft

Kennwert	Geschätzter Bestand	Ziel	Quellen / Bemerkungen
Wirtschaftsweise:	konventionell	ökologisch	Annahme
Ernährungsweise:	Bestand	AGES	An Nachfrage angepasste Produktion (AGES Österreich, 2017).
Nahrungsmittelverluste	25%	10%	Mögliche Minimierung der Verschwendung nach WWF Deutschland, 2015, und Schmidt, et al., 2019
Landmaschinen elektrifiziert (Rest Biodiesel)	0%	70%	Annahme
Neuer Flächenverbrauch 2019 bis 2035 ggü. Status Quo		2%	Annahme: Im Vergleichszeitraum der 16 Jahre von 2004 bis 2020 ist die landwirtschaftliche Fläche um 2,5 Prozent geschrumpft (von 40.913 auf 39.896 Hektar). Es wurde angenommen, dass der Verbrauch landwirtschaftlicher Fläche sich bis 2035 verlangsamt, sich aber aufgrund von Zuzug und Wohnungsbau zur Linderung der Wohnungsnot nicht wesentlich verringert.

Tabelle 24: Import erneuerbarer Energien

Kennwert	Geschätzter Bestand	Ziel	Quellen / Bemerkungen
Import von Bioenergie aus BW	k. A.	Nein	Annahme. Ein Import aus anderen Teilen Baden-Württembergs ist zwar möglich und kann durchaus sinnvoll sein, da der Landkreis Konstanz relativ dicht besiedelt ist. Für das Szenario wurde aber nur das lokale Potenzial berücksichtigt, um das geschätzte Autonomiepotenzial aufzuzeigen.
Angestrebter PV-Anteil am Stromimport		0%	Annahme
Angestrebter Windstrom-Anteil am Stromimport		100%	Annahme
Jahresertrag pro externe Windenergieanlagen (MWh/a)		5.000	Annahme

Tabelle 25: Nutzung lokaler erneuerbarer Energien

Kennwert	Geschätzter Bestand 2019	Szenario	Quellen / Bemerkungen
Dachmodulflächenpotenzial (m²/EW)	19,9	19,9	Energieatlas BW für Konstanz
Fassadenmodulfläche (m²/EW)	7,0	7,0	Annahme nach Ecofys (2007): Potenzial wurde proportional zum Dachflächenpotenzial übertragen.
Anteil Photovoltaik:	90%	98%	Bestand: Berechnung Szenario: Annahme
Anteil Solarthermie:	10%	2%	Bestand: Berechnung Szenario: Annahme
Wärmeertrag Solarthermie (kWh/m² MF):	520	520	Status Quo: heutiges Ertragspotenzial. Szenario: Annahme
Stromertrag Dach-PV (kWh/m² MF)	150	170	Status Quo: heutiges Ertragspotenzial. Szenario: Annahme
Stromertrag Fassaden-PV (kWh/m² MF)	68	75	Status Quo: heutiges Ertragspotenzial. Szenario: Annahme
Nutzung des Dachmodulflächenpotenzials	11%	100%	Bestand: Berechnung Szenario: Annahme
Nutzung des Fassadenmodulflächenpotenzials	0,6%	5%	Bestand: Schätzung Szenario: Annahme
Freiflächen-PV-Potenzial ohne Agri-PV (Hektar):	k. A.	667	Potenzial: Schätzung nach LANUV Nordrhein-Westfalen (2013) Bestand: Zur Fläche liegen keine Angaben vor. Bekannt ist die installierte Leistung
Nutzung Freiflächen-PV-Potenzial:	5%	100%	Schätzung des Status Quo nach Bundesnetzagentur (2022), STL BW (2022) und LANUV Nordrhein-Westfalen (2013). Schätzung des Potenzials nach STL BW (2022) und LANUV Nordrhein-Westfalen (2013).
Agriphotovoltaik-Anteil an LNF:	0%	5%	Annahme
Windenergie-Potenzial (MWh/a):	16.700	60.000	Schätzung des umsetzbaren Potenzials: IG Hegauwind
Wasserkraftpotenzial (MWh/a):	14.568	14.568	Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. (DGS)
Energiepflanzenanteil an Ackerfläche:	10%	20%	Bestand: Energieagentur Kreis Konstanz. Szenario: Erhöhung, da der Kreis Konstanz mit 10 Prozent bisher deutlich unter dem Bundesdurchschnitt liegt und 20 Prozent bis 2045 nachhaltig mit einer globalen Ernährungssicherung vereinbar ist, sofern die globale Erwärmung gemäß dem Pariser Klimaabkommen eingedämmt werden kann.

8.2 Verschiedene Wege zur Klimaneutralität

Im Folgenden wird ein Szenario, in dem sich die aktuell erkennbaren Trends fortsetzen mit drei Klimaschutzszenarien verglichen, die die Klimaneutralität der Energieversorgung in unterschiedlichen Jahren anstreben. Diese orientieren sich an den Zielen der Bundesregierung (Klimaschutzszenario 2045), der Landesregierung (Klimaschutzszenario 2040) und am 1,5-Grad-Ziel des Pariser Klimaabkommens von 2015 (Klimaschutzszenario 2035).

8.2.1 Szenario Trendfortsetzung

Szenarien mit dem Titel Trendfortsetzung sind immer mit viel Vorsicht zu betrachten, da die Unsicherheiten solcher Schätzungen groß und die Verläufe vieler Entwicklungen im Energiesektor manchmal selbst kurzfristig kaum absehbar sind, wie sich in der aktuellen Krise deutlich zeigt. So hatte die Bewegung „Fridays for Future“ einen unerwarteten Effekt auf die Klimaschutzpolitik. Über das Urteil des Bundesverfassungsgerichtes zum Klimaschutzgesetz von 2019 lässt sich Ähnliches sagen. Und auch noch kurz vor dem Beginn des Konfliktes in der Ukraine hatten wohl nur die wenigsten damit gerechnet, dass sich die Nachfrage nach Solaranlagen und Wärmepumpen in so kurzer Zeit derart verändern könnte. Wie schnell sich die Wirtschaft angesichts des Fachkräftemangels auf die steigende Nachfrage einstellen kann, ist aber ebenfalls ungewiss. Gleiches gilt für Antwort auf die Frage, wie wirkungsvoll und nachhaltig solche Trends sind. Dies wird auch in anderen Bereichen in hohem Maße von der Verfügbarkeit von Arbeits- und Fachkräften und weiteren Kostenentwicklungen abhängen. Somit ist auch in einem Szenario „Trendfortsetzung“ mit größeren Veränderungen zu rechnen. Im Folgenden sind die wesentlichen Annahmen dargestellt, die dem Szenario zugrunde gelegt wurden.

8.2.1.1 Wohnen

8.2.1.1.1 Sanierung des Gebäudebestandes

Bisher liegt die anhand der KfW-Daten geschätzte Sanierungsquote unter einem Prozent des Wohngebäudebestandes pro Jahr, was ungefähr dem deutschen Durchschnitt entspricht. Die zwischen 2002 und 2013 erzielte Einsparung betrug in Deutschland ca. 21 kWh pro Quadratmeter und Jahr, wodurch der spezifische Energieverbrauch von ca. 155 auf 134 kWh/m² gesenkt werden konnte (co2online gGmbH, 2014). Dies entspricht einer jährlichen Einsparung von ca. 1,9 kWh/m². Auch wenn die Sanierungsquote beibehalten würde, ist es jedoch unwahrscheinlich, dass damit pro Jahr die gleiche Reduktion des spezifischen Verbrauchs pro Quadratmeter erreicht werden kann, da die Zahl der besonders ineffizienten Gebäude abnimmt und ähnlich große Einsparungen bei Gebäuden, die bereits eine höhere Effizienz aufweisen, schwieriger zu erreichen sind. Sollte dies dennoch gelingen, weil etwa die Energiekosten steigen und der Sanierungsdruck zunimmt, könnte bei einer Trendfortsetzung in 26 Jahren bis 2045 eine Einsparung von 50 kWh erzielt werden. Der spezifische Wohnwärmebedarf im Landkreis Konstanz liegt wohl etwas über dem Landesdurchschnitt und wurde, inklusive Warmwasser, auf ca.

130 kWh/m²*a geschätzt. Somit würde im Wohngebäudebestand bis 2045 wahrscheinlich ein Standard von ca. 80 kWh/m² erreicht. Dies entspricht einer Einsparung von ca. 39 Prozent. Damit läge der Verbrauch um 20 bis 30 kWh/m² über dem Standard von 50 bis 60 kWh/m², der als technisch gut erreichbar gilt (dena, 2016, S. 3). Dies hätte zur Folge, dass 2045 voraussichtlich nur ca. 23 Prozent der Wohngebäude mit lokaler Bioenergie beheizt werden könnten. Dementsprechend hoch wäre der Anteil der Gebäude, die mit Wärmepumpen oder importierten Energieträgern beheizt werden müssten. Müsste man bis zu 77 Prozent der Gebäude mit Wärmepumpen beheizen, entstünde ein unnötig hoher Strombedarf im Winter, was einen erheblich höheren Bedarf an saisonaler Stromspeicherung mit sich bringen würde.

8.2.1.1.2 Wohnfläche

Im Wohnbau wurden von 2010 bis einschließlich 2019 rund 97.706 m² Wohnfläche fertiggestellt. Ins Verhältnis zur Entwicklung der Einwohnerzahl gesetzt, ergibt dies in diesem Zeitraum ca. 51,5 m² Wohnfläche pro hinzugekommene Person. Würde man pro hinzukommende Person im Neubau nur ca. 41 m² neu bauen, würde dies selbst im KfW-40-Standard rund 460 kWh Energiebedarf pro Person einsparen. Dies entspricht fast 5 Prozent des geschätzten erneuerbaren Energiepotenzials, das im Landkreis Konstanz pro Person zur Verfügung steht. Ein Wert von 41 m² pro Einwohner entspricht dem Durchschnitt der Landeshauptstadt Stuttgart im Jahr 2020 (Statista, 2022c). Setzt sich der Zuzug fort wie zwischen 2010 und 2019, könnte ein zusätzlicher Anstieg des Energiebedarfs um 0,8 bis 1,0 GWh pro Jahr vermieden werden. Um diesen zusätzlichen Bedarf mittels Wärmepumpen zu decken, bräuchte man ohne Berücksichtigung von Speicherverlusten jährlich ca. 0,3 GWh Windstrom, was sich in 10 Jahren auf den Ertrag einer halben Windkraftanlage summiert. Seit 2016 zeichnet sich pro hinzugekommene Person eher ein Trend zu noch größeren Wohnflächen ab, eine Umkehr dieses Trends ist daher noch nicht zu erkennen. Pro Neubauwohnung ist die durchschnittliche Wohnfläche allerdings im Vergleich zum vorigen Jahrzehnt (2000 – 2019) rückläufig, womit sie aber, wie in Abbildung 135 dargestellt, immer noch deutlich über den Durchschnittswerten des Zeitraums 1980 bis 1999 liegt.

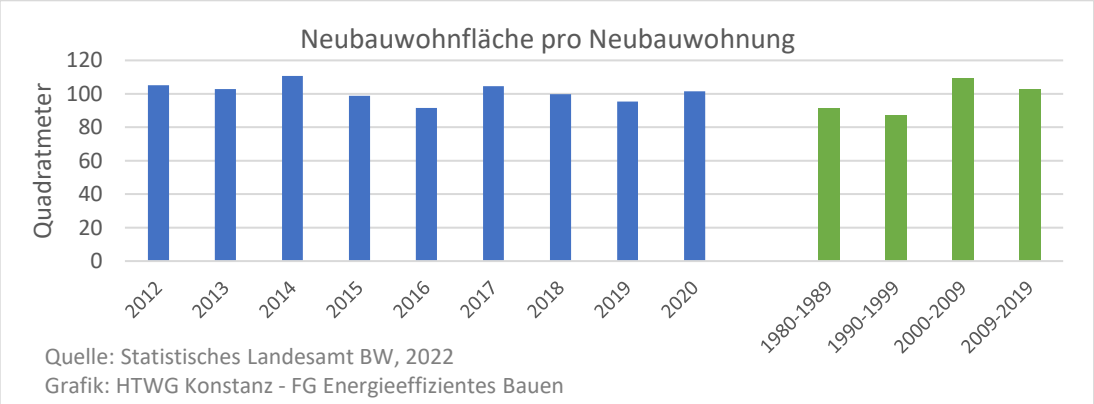


Abbildung 135: Neubauwohnfläche pro Neubauwohnung

Berücksichtigt man nur den Neubau, wird ein Anwachsen der Wohnfläche um ca. 0,2 m² pro Person bis 2040 erwartet. Verstärkt wird der Trend zu größeren Wohnflächen jedoch

durch die Alterung der Bevölkerung und den Trend zu immer geringeren Belegungsdichten, wobei vor allem die Zahl der Einpersonenhaushalte immer mehr zugenommen hat. Setzt sich dieser Trend zu geringeren Belegungsdichten fort, wird für das Trendszenario angenommen, dass die Wohnfläche bis 2040 noch mindestens um 0,7 m² bis über 1,5 m² pro Person anwächst. Dementsprechend wird ein Teil der Effizienzgewinne durch Wohnflächenzuwächse kompensiert.

8.2.1.1.3 Wärmepumpen

Bereits vor der aktuellen Energiekrise ist der Zubau von Wärmepumpen in Deutschland sprunghaft angestiegen. Nach den Absatzzahlen des Bundesverbands Wärmepumpe (BWP) und des Bundesverbands der Deutschen Heizungsindustrie (BDH) wurden im Jahr 2020 insgesamt 120.000 Heizungswärmepumpen neu installiert – und damit 49 Prozent mehr als im Vorjahr. Fast ein Viertel der 2020 installierten Wärmepumpen ersetzten alte Ölheizungen (NATURSTROM AG, 2021). Der Anteil von fertiggestellten Wohngebäuden, die durch Wärmepumpen beheizt werden, lag im Jahr 2020 bei rund 45,8 Prozent an der Gesamtzahl aller in diesem Jahr neu gebauten Wohngebäude in Deutschland (Statista, 2022d). Im Juli 2022 war die Nachfrage so hoch, dass sie das verfügbare Angebot deutlich überstieg. Ein Grund dafür waren Lieferengpässe im Bereich der Elektronik. Mittel- und langfristig hemmt dagegen vor allem der Mangel an Fachkräften den Zubau. Um die Ziele der Bundesregierung zu erreichen fehlen laut Schätzungen des Zentralverbandes Sanitär Heizung Klima deutschlandweit ca. 60.000 Fachkräfte. Der Zentralverband schätzt, dass derzeit nur höchstens 30 Prozent der Betriebe in der Lage sind, eine Wärmepumpe einzubauen. (Seifert, 2022)

Sollte aber die Nachfrage hoch bleiben und bedient werden können, müsste der Anteil der Wärmepumpen im Szenario Trendfortsetzung aufgrund der geringeren Energieeffizienz deutlich stärker erhöht werden als in den Klimaschutzszenarien von 2040 und 2035. Das hätte im Vergleich zu diesen Szenarien einen deutlich höheren Strombedarf der Wärmepumpen genau in jenen Wintermonaten zur Folge, in denen die Stromlücke am größten ist. Denn die Solarenergie liefert nur ca. ein Viertel ihres Ertrags im Winterhalbjahr und der Strombedarf der Wärmepumpen ist in den Monaten des niedrigsten Solarertrags (Nov., Dez., Jan., Feb.) am größten.

8.2.1.1.4 Erwartete Entwicklung des Energiebedarfs für Wohnen

Sofern die Sanierung der Wohngebäude und die Umstellung der Heizsysteme auf erneuerbare Energien nicht durch den zuvor dargestellten Mangel an Arbeits-/Fachkräften wesentlich ausgebremst werden sollte, wird aufgrund der bisher dargestellten Trends auch im Trendszenario immerhin eine Reduktion des Endenergiebedarfs für Wohnen um mehr als die Hälfte bis zum Jahr 2045 erwartet. Bis zum Jahr 2035 würde dies allerdings nur zu einer Reduktion um ca. 33 bis 36 Prozent führen. Zudem geht nach diesen Annahmen ein vergleichsweise großer Teil des Verbrauchsrückgangs auf den Einsatz von Wärmepumpen zurück, die mit Arbeitszahlen von 3 bis 4 den Endenergiebedarf deutlich unter den Nutzenergiebedarf senken.

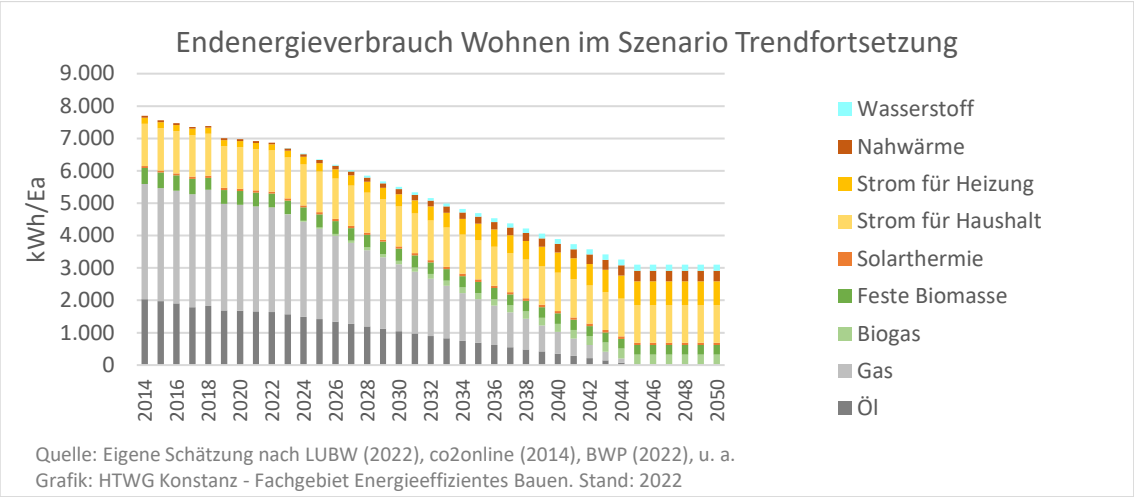


Abbildung 136: Endenergieverbrauch Wohnen im Szenario Trendfortsetzung

8.2.1.2 Verkehr

Eine nennenswerte Verlagerung vom Pkw-Verkehr hin zum Umweltverbund ist bisher nicht zu erkennen. Daher wurde hier ein konstanter Anteil des motorisierten Individualverkehrs angenommen.

In den Jahren 2015 bis 2020 wurden im Kreis Konstanz ca. 7.300 bis 8.300 Pkw pro Jahr neu zugelassen. Der gesamte Elektroautobestand des Jahres 2019 ist somit nicht einmal halb so groß wie die Zahl der jährlich neuzugelassenen Pkw. Selbst wenn alle Neuzulassungen mit Elektroantrieben ausgestattet wären (batterieelektrisch oder mit Brennstoffzelle), würde man bei diesen Zulassungszahlen folglich einen Zeitraum von 23 bis 27 Jahren benötigen. Die Umstellung wäre dann ungefähr zwischen 2043 und 2047 abgeschlossen. Dem steht jedoch im Wege, dass bisher nur ca. 20 Prozent der neu zugelassenen Pkw in Deutschland elektrisch angetrieben werden und auch die Zahl der Pkw sowohl absolut als auch pro 1.000 Einwohner noch immer anwächst. Würde sich der bisherige Trend unvermindert fortsetzen, könnte der Pkw-Bestand bis zum Jahr 2045 noch einmal um ein Drittel anwachsen. Angesichts steigender Kraftstoffkosten, zunehmender Verkehrsstaus und fortschreitender Parkplatzverknappung sowie der damit einhergehenden Flächenkonkurrenz mit dem Wohnungsbau erscheint dies zwar nicht sehr wahrscheinlich, doch von einer eigentlich nötigen Trendumkehr hin zu einer Reduktion des Pkw-Bestandes fehlt bisher jedes Anzeichen. Ebenso dürfte der Anteil alternativer Antriebe an den Neuzulassungen wohl kaum bereits bis zum Jahr 2024 auf 100 Prozent ansteigen, sodass eine rechtzeitige Umstellung des Pkw-Bestandes vor dem Jahr 2045 ohne erhebliche Einwirkung auf die Entwicklungstrends nicht zu erreichen sein wird. Ohne eine Reduktion der pro 1.000 Einwohner zugelassenen Pkw dürfte die Umstellung des Pkw-Bestandes im Kreis Konstanz im Jahr 2040, dem Jahr der in Baden-Württemberg angestrebten Klimaneutralität, erst zu 50 bis 80 Prozent abgeschlossen sein. Im Übrigen ist fraglich, ob angesichts der global zunehmenden Nachfrage und knapper Rohstoffe die lokale Nachfrage im Landkreis Konstanz bei unveränderter Pkw-Dichte überhaupt bedient werden kann.

8.2.1.3 Industrie

Wie bereits dargestellt, ist die betriebliche Energieeffizienz der Industrie zwischen dem Vorfinanzkrisenjahr Jahr 2008 und dem Jahr 2019 gestiegen. Während die daraus folgende Einsparung pro Betrieb um 11 Prozent relativ groß ausgefallen ist, ist sie im Verhältnis zu den Beschäftigten mit nur 2 Prozent sehr gering (vgl. Abbildung 128). Pro Betrieb ist der Verbrauch also in Relation zum Basisjahr durchschnittlich um ein Prozent pro Jahr gesunken. Setzt man den Energieverbrauch ins Verhältnis zur Bevölkerung zeigt sich ebenfalls ein Trend zur Energieeinsparung. Aufgrund der großen konjunkturell bedingten Schwankungen des Energieverbrauchs wurde dieser anhand von Vierjahreszeiträumen betrachtet. Hier zeigt sich im Vergleich des Zeitraums 2016-2019 mit dem Zeitraum 2004-2007 eine Reduktion des durchschnittlichen Energieverbrauchs um 15,5 Prozent. Nimmt man, ungeachtet der Tatsache, dass Einsparungen anfangs einfacher zu erreichen sind und mit jeder Steigerung der Effizienz zunehmend schwierig werden, eine Fortsetzung dieses Trends an, würde dies, umgerechnet auf einen Zeitraum von 21 Jahren zwischen 2019 und 2040 einer Einsparung von ca. 26 Prozent entsprechen, allerdings bezogen auf den Ausgangszeitraum 2004-2007. Bezogen auf den Verbrauch des Jahres 2019, entspräche dieser Wert einer Reduktion um 33 Prozent. Da aber Energieeinsparungen im Verlaufe ihres Fortschrittes zunehmend schwierig zu erreichen sind, wurde für das Szenario Trendfortsetzung vereinfachend von einer mittleren Einsparung von 30 Prozent ausgegangen.

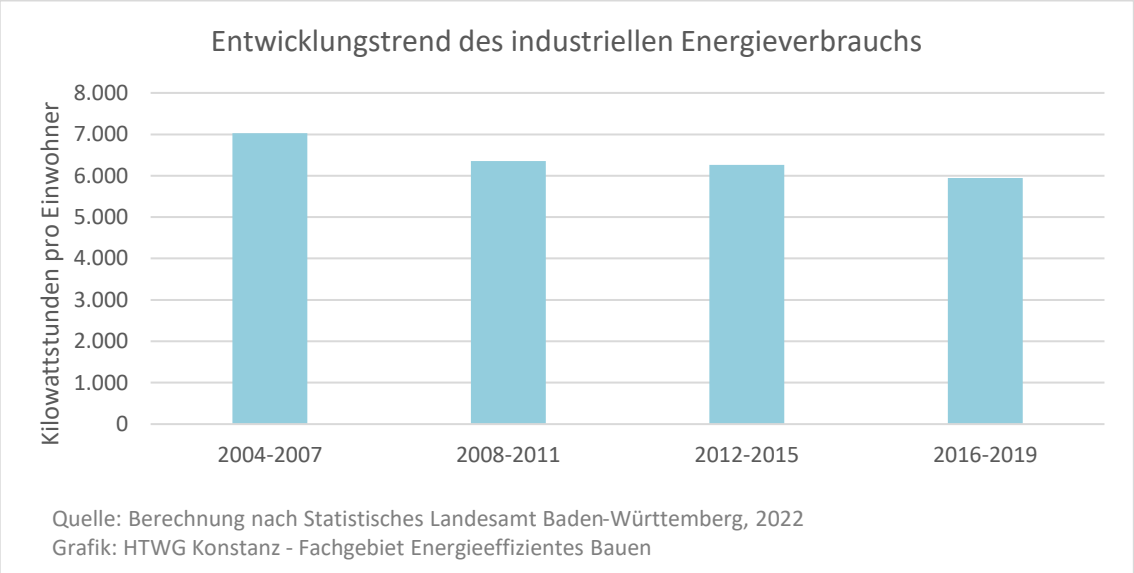


Abbildung 137: Entwicklungstrend des industriellen Energieverbrauchs

8.2.1.4 Gewerbe, Handel und Dienstleistung

Zum Energieverbrauch des Sektors GHD liegen bisher keine ausreichenden Daten für eine Einschätzung des bisherigen Entwicklungstrends vor. Da jedoch die Raumwärme typischerweise einen großen Anteil am Wärmebedarf hat und Wärmepumpen sich im Bereich Raumwärme auch hier häufig als Alternative zu herkömmlichen Systemen anbieten, wurde angenommen, dass sich die Energieeffizienz der Nichtwohngebäude im Bereich Raumwärme deutlich steigern wird, und zwar in ähnlichem Umfang wie im Sektor Wohnen.

Beim Stromverbrauch werden die Einsparpotenziale des Gewerbes in einer Größenordnung von 11 bis 20 Prozent angegeben (vgl. Abschnitt 6.3.1.1). Für den gesamten Sektor GHD wird das Stromsparpotenzial auf ca. ein Drittel geschätzt. Für das Szenario Trendfortsetzung wurde angenommen, dass dieses bisher wohl kaum ausgeschöpfte Potenzial ca. zur Hälfte ausgeschöpft wird.

8.2.1.5 Flächenpotenziale erneuerbarer Energien

8.2.1.5.1.1 Dachflächenpotenziale

Auf Basis der vorliegenden Daten ist kaum abschätzbar, wie sich das Dachflächenpotenzial für Solarenergie pro Einwohner entwickeln wird. Das geringe Außenentwicklungspotenzial vieler Gemeinden dürfte eine zunehmende Abkehr von klassischen Einfamilienhausgebieten erfordern. Dies zeigt auch die Entwicklung des Anteils der Einfamilienhäuser am Wohnungsneubau, der sich seit dem Jahr 2010 gegenüber dem vorigen Jahrzehnt von 38 Prozent auf 28 Prozent reduziert hat, wie in Abbildung 138 dargestellt ist. Gleichzeitig nimmt mit der sinkenden Belegungsdichte der Wohngebäude das Dachflächenpotenzial der Gebäude pro Bewohner zu. Vermutlich wird sich das Dachflächenpotenzial für Solarenergie pro Einwohner daher nicht wesentlich verändern, wenn diese Trends sich fortsetzen.

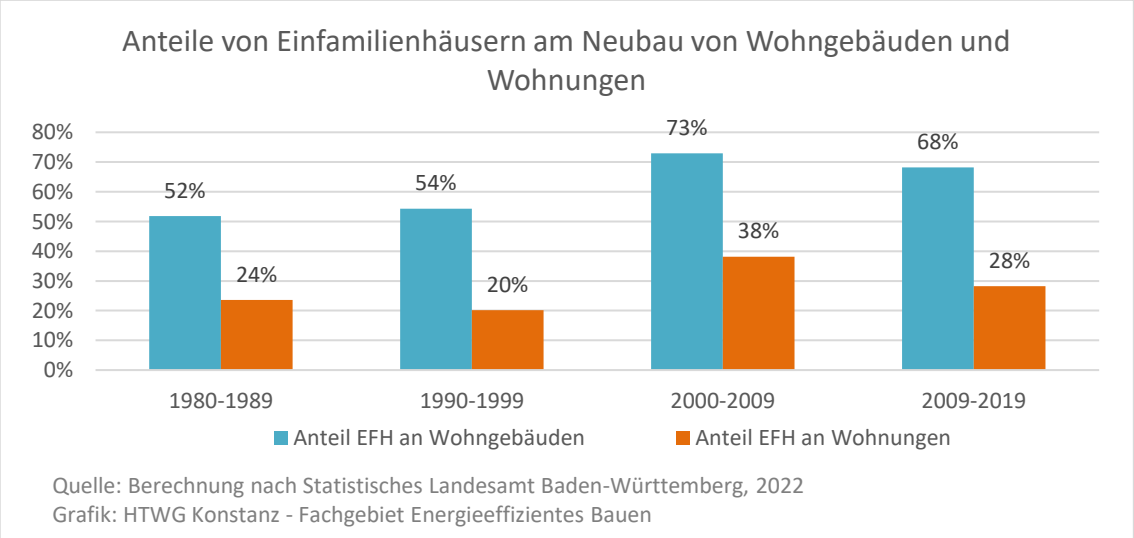


Abbildung 138: Anteile von Einfamilienhäusern am Neubau von Wohngebäuden und Wohnungen

8.2.1.5.1.2 Freiflächenpotenziale

Die Freiflächenpotenziale für die Produktion von Nahrung, Energieträgern und nachwachsenden Rohstoffen werden vor allem durch den weiteren Verlauf des Flächenverbrauchs beeinflusst. Die weitere Entwicklung des Flächenverbrauchs hängt wiederum von vielen Faktoren ab und ist schwer zu prognostizieren. Setzt sich der bisherige Trend fort, könnte das Wachstum der Siedlungs- und Verkehrsfläche von 2020 bis 2040 bis zu 1.000 Hektar landwirtschaftlicher Flächen beanspruchen. Angesichts zunehmender Konkurrenzen um Fläche, Arbeitskräfte, Energie und Rohstoffe sowie steigender Baukosten erscheint dies jedoch recht unwahrscheinlich. Rechnet man die derzeit pro Einwohner vorhandenen Siedlungs- und Verkehrsflächen auf die für 2040 vorausberechnete Bevölkerung (vgl. STL BW, 2022) hoch, ergibt sich ein Flächenverbrauch von weniger als 370 Hektar. Da die pro Person genutzte Siedlungs- und Verkehrsfläche zudem schon rückläufig ist, könnte der Wert noch geringer ausfallen. Andererseits steigt mit dem Klimawandel und wirtschaftlichen Risikofaktoren die Wahrscheinlichkeit einer krisenbedingten Zuwanderung aus anderen Teilen Deutschlands oder Europas, sodass für das Trendszenario der Mittelwert der aufgezeigten Spanne angenommen wurde, was einem Verlust von ca. 700 Hektar landwirtschaftlicher Flächen entspricht. Bei unveränderten Hektarerträgen würde die verbleibende Fläche bei konventioneller Wirtschaftsweise immer noch einen Nahrungsautonomiegrad von 46 Prozent ermöglichen. Angesichts zunehmender Beeinträchtigungen der Hektarerträge durch Folgen des Klimawandels kann das Autonomiepotenzial aber auch geringer ausfallen.

Mit Blick auf die Energiepotenziale ist die Konkurrenz mit dem Siedlungsbau um Flächen möglicherweise von großer Relevanz. Würde die gleiche Fläche für die Agriphotovoltaik genutzt, entsprächen 700 Hektar einem Agri-PV von ca. 350 bis 500 GWh/a bei gleichzeitig fortführbarer Nahrungsproduktion. Ohne Berücksichtigung von Speicherverlusten entspricht dieses Potenzial 25 bis 36 Prozent des heutigen Stromverbrauchs. Ein fortgesetzt hoher Flächenverbrauch wird im Szenario Trendfortsetzung somit zunehmend zum Hemmschuh für hohe Autonomiegrade in den Sektoren Energie und Nahrung.

8.2.1.6 Nutzung der Solarpotenziale

Die weitere Entwicklung der Photovoltaik ist kaum abschätzbar. Setzen sich die Trends der letzten Jahre fort, dürfte in 20 Jahren kaum mehr als ein Viertel des Dachpotenzials ausgeschöpft sein, während das Freiflächenpotenzial weitgehend genutzt sein könnte. Die Agri-PV wird wohl nur einen geringen Flächenanteil erhalten. Steigert sich die Zubaurate, könnten vielleicht auch ca. 50 Prozent des Dachpotenzials erreicht werden.

Tabelle 26: Angenommene Nutzung der PV-Potenziale im Szenario Trendfortsetzung

Kennwert	Annahmen für Szenario Trendfortsetzung
Nutzung Dachmodulflächenpotenzial:	26% - 50%
Nutzung Fassadenmodulflächenpotenzial:	1,0%
Freiflächen-Potenzial PV (Randstreifen, Parkplätze etc.):	667
Nutzung FPV-Potenzial:	90%
Agri-PV-Anteil an LNF	0,5%

8.2.1.6.1 Wichtige Ergebnisse aus dem Szenario Trendfortsetzung

8.2.1.6.1.1 Effekte auf den Bedarf an Wärmepumpen, saisonalen Stromspeichern und Fachkräften

Vor allem der Blick auf die mögliche Gebäudebeheizung zeigt, dass der Bedarf an Arbeits- und Fachkräften sich im Szenario Trendfortsetzung nicht überall gleich entwickeln wird. Bleibt die Vollsanierungsquote ungefähr auf dem heutigen Niveau, werden in diesem Bereich im Vergleich zu den Klimaschutzszenarien deutlich weniger Arbeitskräfte für die Sanierung der Gebäudehüllen benötigt, während der Bedarf an Fachkräften für den Umstieg auf Wärmepumpen deutlich größer sein wird als in den ambitionierteren Klimaschutzszenarien. Denn aus der geringeren Energieeffizienz des Gebäudebestandes ergibt sich dann ein sehr hoher Bedarf an Wärmepumpen, weil das Bioenergiepotenzial nicht beliebig vergrößerbar ist. Dies wirkt sich auch nachteilig auf den Strombedarf im Winter aus. Müssen statt 45 oder 50 Prozent eher 60 bis 70 Prozent der Gebäude, die dann anstatt eines Nutzwärmebedarfs von 55 kWh/m²*a einen Bedarf von ca. 80 kWh/m²*a aufweisen, mit Wärmepumpen beheizt werden, so steigt der Verbrauch im Vergleich zu einem Klimaschutzszenario dementsprechend deutlich. Dieser zusätzliche Strombedarf fällt fast vollständig im Winter an, was den Bedarf an saisonalen Stromspeicherkapazitäten erheblich erhöht. Die mögliche Entwicklung des Heizungsbestandes auf Basis lokaler Energiepotenziale, die sich aus einer Fortsetzung des Sanierungstrends ergeben könnte, ist in Abbildung 139 dargestellt.

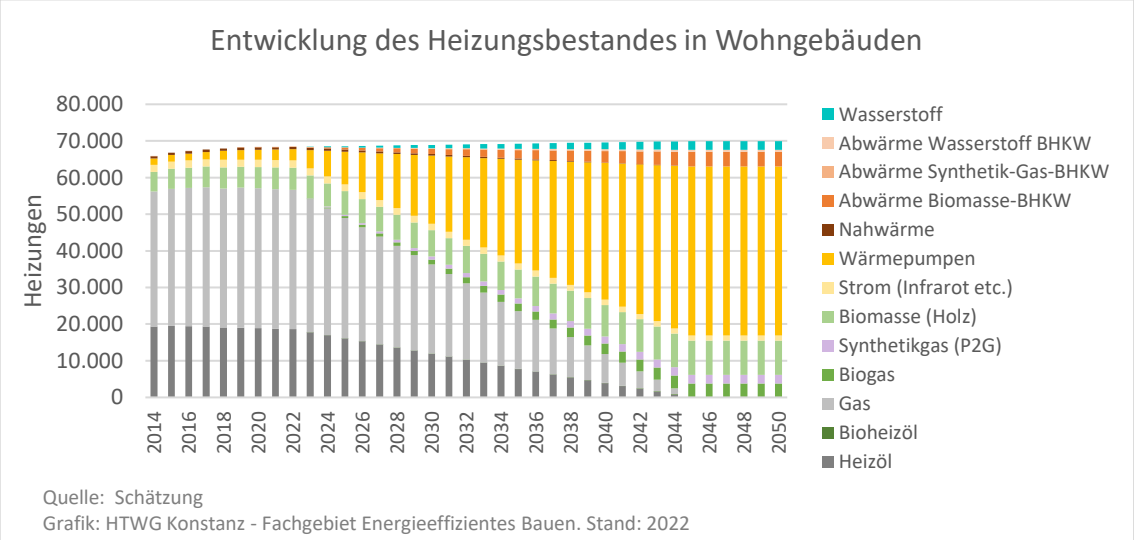


Abbildung 139: Geschätzte Entwicklung des Heizungsbestandes in Wohngebäuden bei Fortsetzung des Sanierungstrends

8.2.1.7 Lokaler Energieverbrauch im Szenario Trendfortsetzung

Im Szenario Trendfortsetzung ist unter den getroffenen Annahmen mit einem lokalen Energieverbrauch von 12 bis 13 MWh pro Person und Jahr zu rechnen. Damit erscheint es wahrscheinlich, dass immer noch ein relevanter Anteil des Energiebedarfs über den Import von Strom, Biomasse, erneuerbaren Kraftstoffen, Wasserstoff und synthetischem Erdgas gedeckt werden müsste.

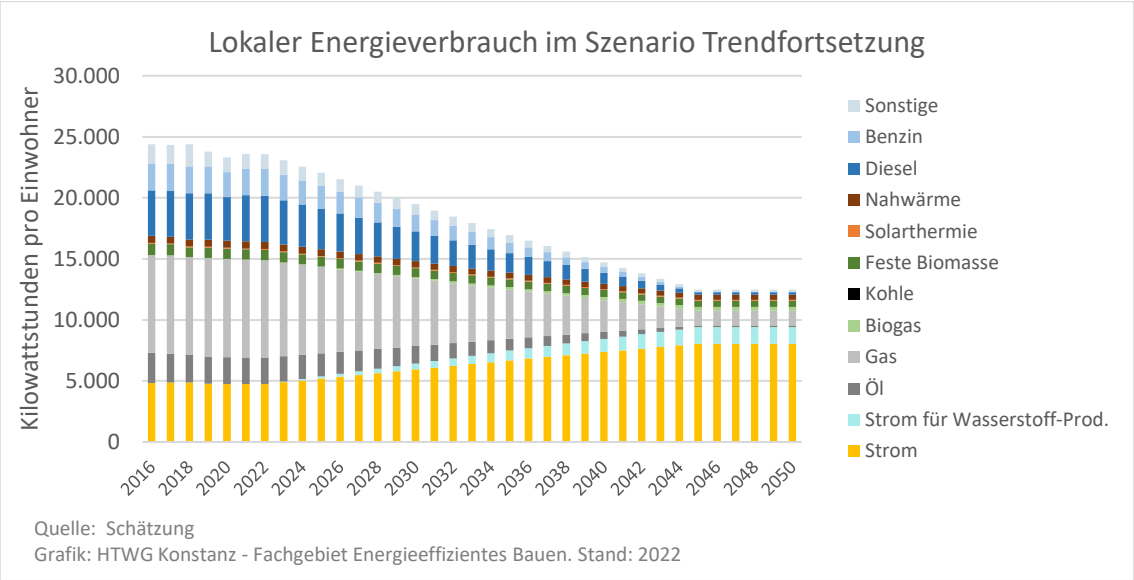


Abbildung 140: Lokaler Energieverbrauch im Szenario Trendfortsetzung

8.2.1.8 Stromverbrauch und Stromerzeugung im Jahresverlauf

Im Szenario Trendfortsetzung werden erhebliche Steigerungen der Energieautonomiegrade erreichbar. Dennoch werden 2045 nur rund zwei Fünftel des Strombedarfs produziert, wobei eine mögliche lokale Wasserstoffproduktion und Speicherverluste noch nicht berücksichtigt sind. Potenziale für eine saisonale Stromspeicherung fallen in diesem Szenario nicht an, denn Überschüsse wird es allenfalls im Tagesverlauf geben. Der Bedarf an Stromimporten wird daher auch 2045 noch groß sein. Der geschätzte Strombedarf ist dabei im Winter deutlich höher als im Sommer, im Januar dürfte er um mindestens 50 Prozent höher ausfallen als im Juli. Aus dem geschätzten Strombedarf und seinem Verlauf ergeben sich in den einzelnen Monaten mögliche Stromautonomiegrade von ca. 18 Prozent im Januar und 67 Prozent in den Monaten Juni und Juli.

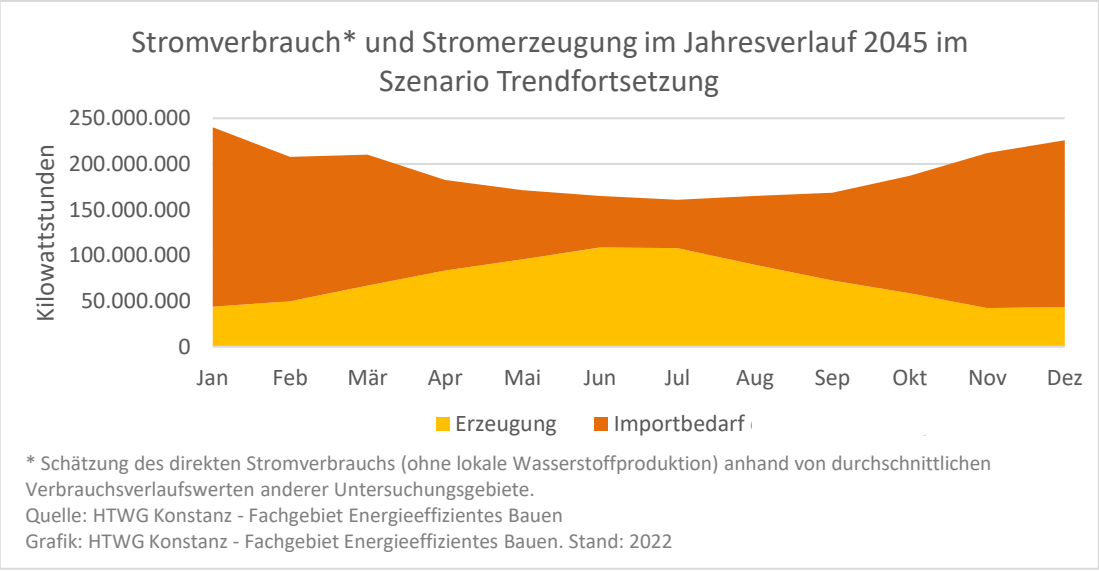


Abbildung 141: Geschätzter Stromverbrauch und lokale Stromerzeugung im Jahresverlauf 2040 im Szenario Trendfortsetzung

8.2.1.9 Mögliche Energieautonomie im Szenario Trendfortsetzung

Die erreichbare Energieautonomie bewegt sich im Szenario Trendfortsetzung ohne umfangreichere Agriphotovoltaiknutzung, je nach angenommenem Zubau der Dachflächenphotovoltaik **zwischen 32 und 38 Prozent**. Höhere Autonomiegrade von mehr als 50 Prozent können dann nur durch einen erheblichen Ausbau der Agri-Photovoltaik erreicht werden, was bisher jedoch häufig nur als letzte Option im Bereich der Solarenergienutzung angesehen und dementsprechend selten angewendet wird. Mit Agri-PV auf 5 Prozent der LNF wären aber ohne Berücksichtigung von Speicherverlusten voraussichtlich auch im Trendszenario etwas mehr als 70 Prozent Autonomie erreichbar. Je höher der Anteil der Photovoltaik ist, desto höher sind jedoch der saisonale Speicherbedarf und die damit verbundenen Speicherverluste, weil die ergänzende Windkraft als ausgleichender Faktor fehlt. Davon abgesehen ist bisher noch nicht absehbar, ob die Agriphotovoltaik bald schon wesentlich an Akzeptanz gewinnen wird.

8.2.1.10 Treibhausgasausstoß im Szenario Trendfortsetzung

Sollte der Strommix in Deutschland gemäß den Zielen der Bundesregierung bis 2045 die angestrebte Klimaneutralität erreichen und die zuvor geschilderten Annahmen eintreten, würde wohl eine Begrenzung des Treibhausgasausstoßes zwischen den Jahren 2022 und 2050 auf **85 bis 95 Tonnen pro Person** erreichbar. Dies kann allerdings der schon heute große Fachkräftemangel verhindern, wenn nicht deutlich größere Anstrengungen unternommen werden, um dieses Hemmnis abzubauen. Das Szenario ist daher eher optimistisch. Geht man mit Blick auf das 1,5°-Ziel des Pariser Klimaabkommens von einem ab Ende 2022 verbliebenen Budget von 35 Tonnen pro Person aus, läge man im Szenario Trendfortsetzung bei ca. 260 Prozent des pro Person verbleibenden Budgets.

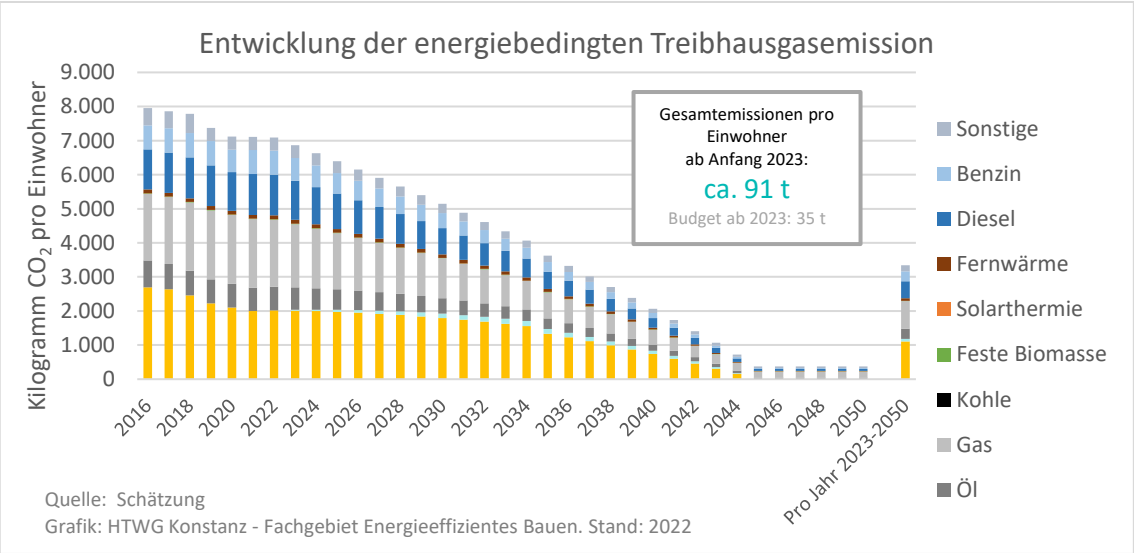


Abbildung 142: Energiebedingte Treibhausgasemission im Szenario Trendfortsetzung

8.2.2 Klimaschutzszenario 2045

Um das Ziel der Bundesregierung zu erreichen, muss die Energieversorgung bis 2045 auf klimaneutrale erneuerbare Energien umgestellt werden. Dafür sind auch im Landkreis Konstanz Anstrengungen erforderlich, die über die Fortsetzung der bisher absehbaren Trends hinausgehen. Der Hauptgrund dafür ist der immer noch hohe Importbedarf der Energieversorgung im Szenario Trendfortsetzung. Denn bisher ist nicht absehbar, dass andere Regionen derart große Überschüsse an erneuerbarer Energie produzieren werden können, dass sie mehr als die Hälfte des verbleibenden Energiebedarfs des Trendszenarios bedienen können. Im Klimaschutzszenario 2045 wird daher nicht nur eine Klimaneutralität bis 2045 angestrebt, sondern auch ein hoher Energieautonomiegrad unter weitgehender Ausschöpfung der lokalen Energiesparpotenziale. Dabei stehen bei der Energieversorgung vor allem Maßnahmen im Bereich der Energieeffizienzsteigerung sowie ein relativ umfangreicher Umstieg von Pkw auf den Umweltverbund im Vordergrund.

8.2.2.1 Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzszenario 2045 [15]

Wie sich die in Abschnitt 8.1 beschriebenen Veränderungen auf den Energieverbrauch des Landkreises Konstanz im Klimaschutzszenario 2045 auswirken, ist in Abbildung 143 dargestellt. Der Zielwert entspricht den Zielwerten der Klimaschutzszenarien 2040 und 2035 und wird hier lediglich später erreicht. Die weitgehende Elektrifizierung aller Sektoren führt in Verbindung mit Gebäudedämmung und Verkehrswende zu einer Reduktion des Endenergieverbrauchs um ca. 60 Prozent. Wird auch Wasserstoff für den Schwerverkehr lokal produziert und in den lokalen Energieverbrauch[16] einbezogen, beträgt die Einsparung gegenüber dem heutigen Endenergieverbrauch immer noch ca. 58 Prozent

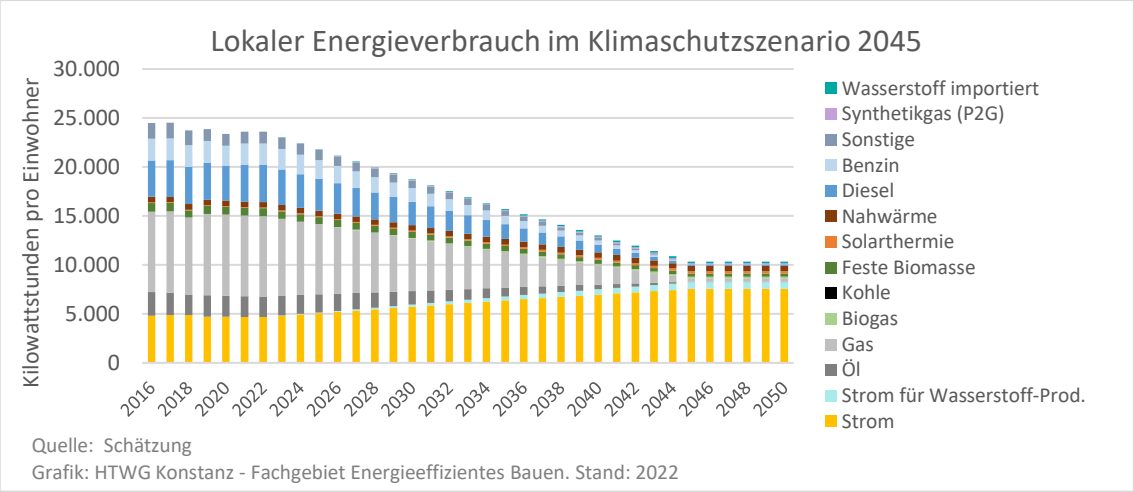


Abbildung 143: Lokaler Energieverbrauch im Szenario Klimaschutzszenario 2045

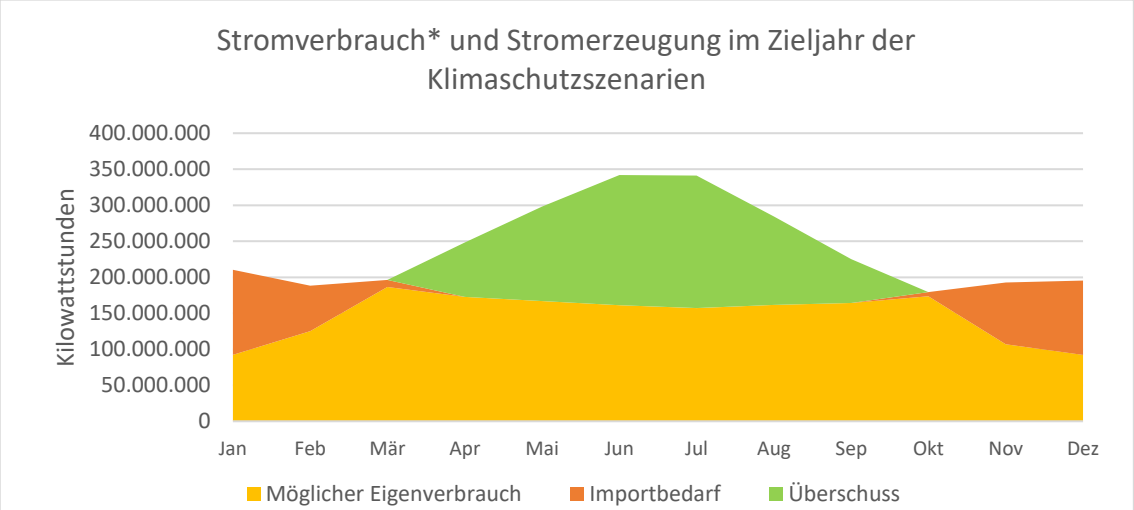
[15] Summe aus dem Endenergieverbrauch und dem Stromeinsatz der Wasserstoffproduktion als lokaler Energieverbrauch des Landkreises.

[16] In diesem Fall handelt es sich nicht um Endenergieverbrauch, da hier erst ein Endenergieträger aus erneuerbarer Primärenergie erzeugt wird. Daher wird die Summe aus dem sonstigen Endenergieverbrauch und dem Stromeinsatz der Wasserstoffproduktion als lokaler Energieverbrauch des Landkreises bezeichnet.

Die weitgehende Elektrifizierung führt allerdings zu einem erheblichen Anstieg des Strombedarfs. Im Klimaschutzszenario hat Strom einen Anteil von über 81 Prozent am Endenergieverbrauch und ca. 83 Prozent am lokalen Energieverbrauch (einschl. Wasserstoffproduktion für den Verkehr schwerer Nutzfahrzeuge).

8.2.2.2 Stromverbrauch und Stromerzeugung im Jahresverlauf

Ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Klimaschutzszenario 2045 und dem Szenario Trendfortsetzung wird in Abbildung 144 sichtbar. Hier zeigt sich ein deutlich kleinerer Importbedarf im Winter, während sich im Sommer erhebliche saisonale Stromüberschüsse ergeben. Diese können entweder mittels saisonalen Speichern für den Winter nutzbar gemacht oder exportiert werden. Unter Umständen kann der Export sinnvoller sein als die lokale Speicherung, wenn die Exporte andernorts direkt genutzt und Speicherverluste auf diese Weise vermieden werden können. Die Möglichkeiten für eine saisonale Speicherung von Strom sind begrenzt und meist mit hohen Verlusten verbunden. Aufgrund des eher geringen Stromwirkungsgrades der saisonalen Speicherung mittels Wasserstoff sind die dargestellten saisonalen Überschüsse nicht ausreichend, um die Stromlücke im Winter zu schließen. Umso wichtiger sind Maßnahmen zur Reduktion des Stromverbrauchs im Winter. Die Nutzung von Wasserstoff als saisonaler Speicher ist nur dann effizient, wenn die Abwärme effizient und möglichst vollständig genutzt werden kann.



* Schätzung des direkten Stromverbrauchs ohne lokale Wasserstoffproduktion anhand von durchschnittlichen Verbrauchsverlaufswerten anderer Untersuchungsgebiete.
Quelle: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022

Abbildung 144: Stromverbrauch und Stromerzeugung im Verlauf des Zieljahres der Klimaschutzszenarien ohne lokale Wasserstoffproduktion

8.2.2.3 Mögliche Energieautonomie

Im Vergleich zum Szenario Trendfortsetzung führen die ambitionierteren Zielpfade für die Energieeffizienz und den Ausbau der erneuerbaren Energien im Klimaschutzszenario 2045 zu einem deutlich höheren Autonomiegrad, der im Jahr 2045 auf bis zu 90 Prozent steigen kann. Damit wäre die erreichte Autonomie im Vergleich zum Szenario

Trendfortsetzung mehr als zweieinhalbmal so hoch. Dies bedeutet bei einem sehr ähnlichen Treibhausgasausstoß eine wesentlich größere Sicherheit vor Energiepreisschwankungen und einen deutlich reduzierten Kaufkraftverlust, was mit einer gesteigerten regionalen Wertschöpfung einhergeht. Im Szenario erfolgt der direkte Energieimport vor allem in Form von Strom. Die verbleibenden Lücken werden mit importiertem Synthetikgas und Wasserstoff gedeckt. Mit insgesamt 350 KWh/Ea ist der Anteil dieser beiden Energieträger am lokalen Energieverbrauch in diesem Szenario jedoch gering.

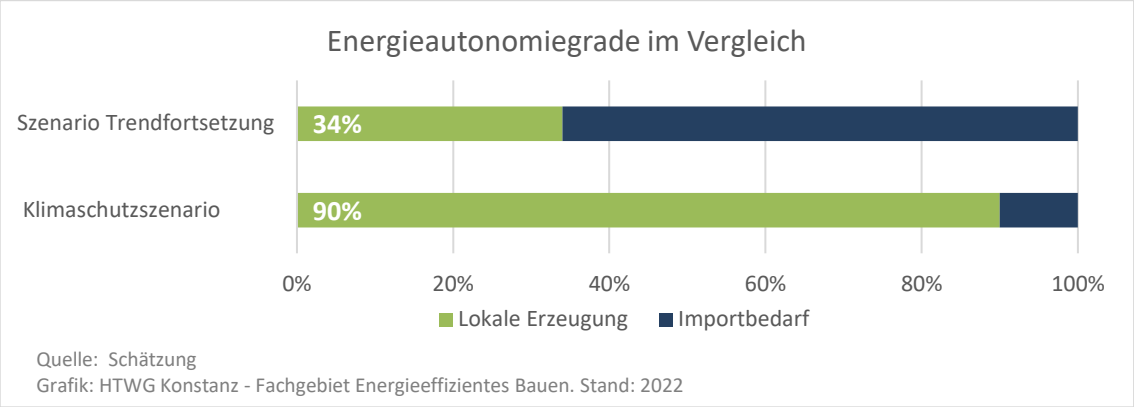


Abbildung 145: Energieautonomiegrade im Vergleich: Szenario Trendfortsetzung und Klimaschutzszenario

8.2.2.4 Treibhausgasausstoß im Klimaschutzszenario 2045

Die sich im Klimaschutzszenario 2045 ergebenden energiebedingten Treibhausgasemissionen sind in Abbildung 146 dargestellt. Zwischen 2022 und 2045 entstehen damit immer noch Emissionen von ca. 87 Tonnen CO_2-Äq. pro Person. Dies entspricht 249 Prozent des 1,5-Grad-Budgets, das ab Ende des Jahres 2022 noch ca. 35 t pro Person beträgt. Bedenkt man zudem die nicht energiebedingten Emissionen, die in Deutschland einen Anteil von ca. 15 Prozent haben, wird das Budget noch deutlicher überzogen.

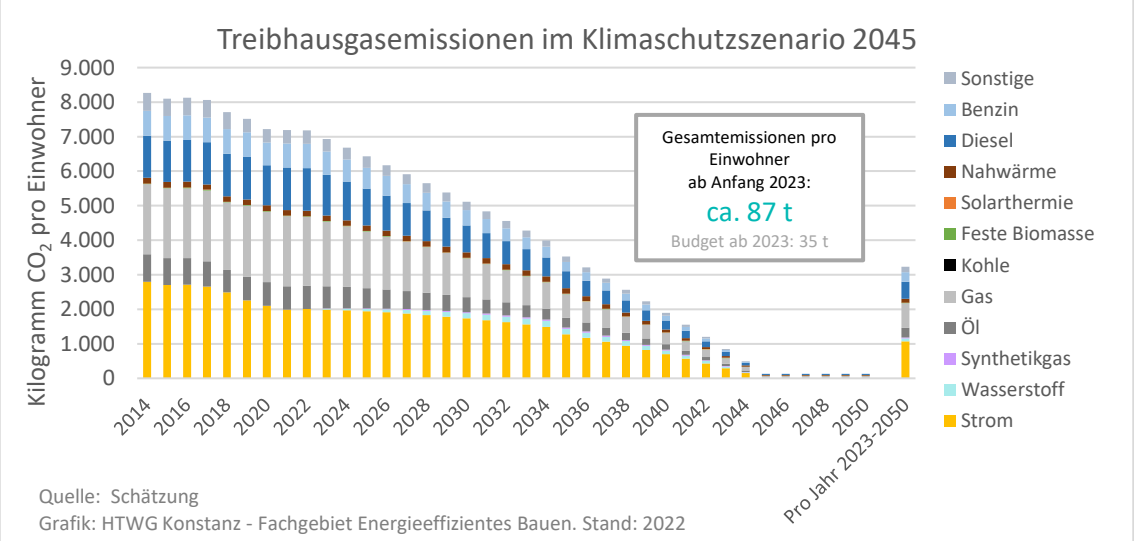


Abbildung 146: Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen im Landkreis Konstanz im Klimaschutzszenario 2045

8.2.3 Klimaschutzszenario 2040

8.2.3.1 Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzszenario 2040

Der Energieverbrauch im Zieljahr des Klimaschutzszenarios 2040 entspricht dem Energieverbrauch im Zieljahr des Klimaschutzszenarios 2045, wird aber um 5 Jahre früher erreicht. Dementsprechend sinkt der Zielpfad für den lokalen Energieverbrauch deutlich steiler ab.

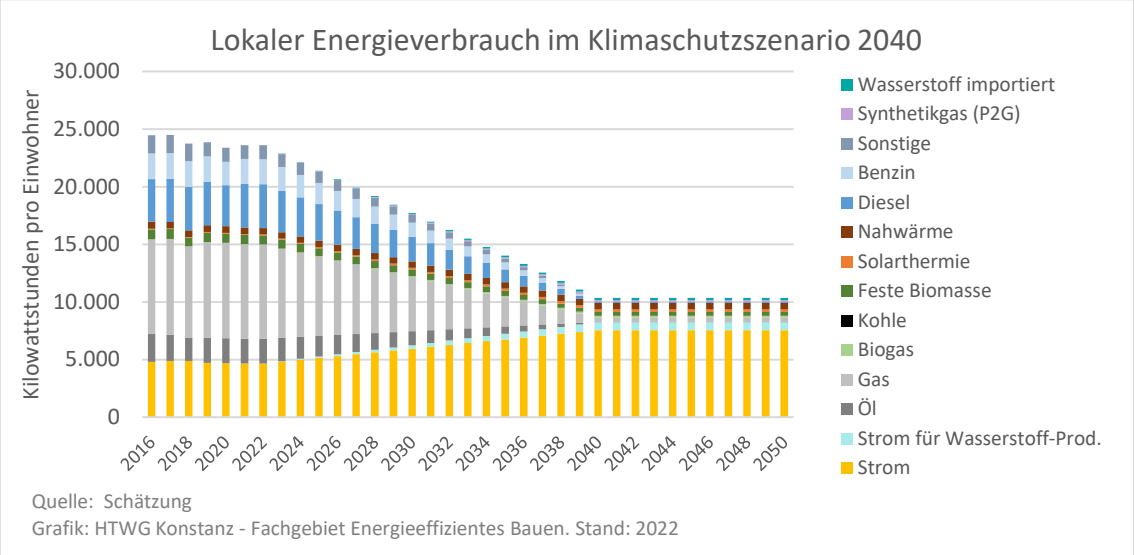


Abbildung 147: Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzszenario 2040

8.2.3.2 Stromverbrauch und Stromerzeugung im Jahresverlauf

Stromverbrauch und Stromerzeugung gleichen im Klimaschutzszenario 2040 in ihrem Verlauf dem Verlauf des Zieljahres im Klimaschutzszenario 2045 (vgl. Abbildung 144). Um dieses Ziel fünf Jahre früher zu erreichen, sind im Klimaschutzszenario 2040 deutlich höhere Raten beim Ausbau der erneuerbaren Energien und bei der Umstellung der Heizsysteme auf Wärmepumpen und Nahwärme erforderlich. Auch die Umstellung des Verkehrssystems auf Umweltverbund und Elektrofahrzeuge muss im Vergleich zum Klimaschutzszenario 2045 deutlich beschleunigt werden.

8.2.3.3 Mögliche Energieautonomie

Im Klimaschutzszenario 2040 entsprechen die Energiepotenziale denen des Klimaschutzszenarios 2045 und des Klimaschutzszenarios 2035. Bei gleicher Energieeinsparung können daher auch in diesem Szenario ca. 90 Prozent Energieautonomie erreicht werden.

8.2.3.4 Treibhausgasausstoß im Klimaschutzszenario 2040

Wird die Klimaneutralität im Landkreis Konstanz gemäß dem Ziel des Klimaschutzgesetzes für Baden-Württemberg im Jahr 2040 erreicht, summieren sich die Emissionen zwischen dem Jahr 2022 und dem Jahr 2050, wie in Abbildung 148 dargestellt, noch auf ca. 69 t CO_2-Äq. pro Person. Dies wären rund 197 Prozent des verbleibenden 1,5-Grad-

Budgets. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass auch der bundesweite Strommix bis zum Jahr 2040 klimaneutral wird. Andernfalls fallen die Emissionen noch höher aus.

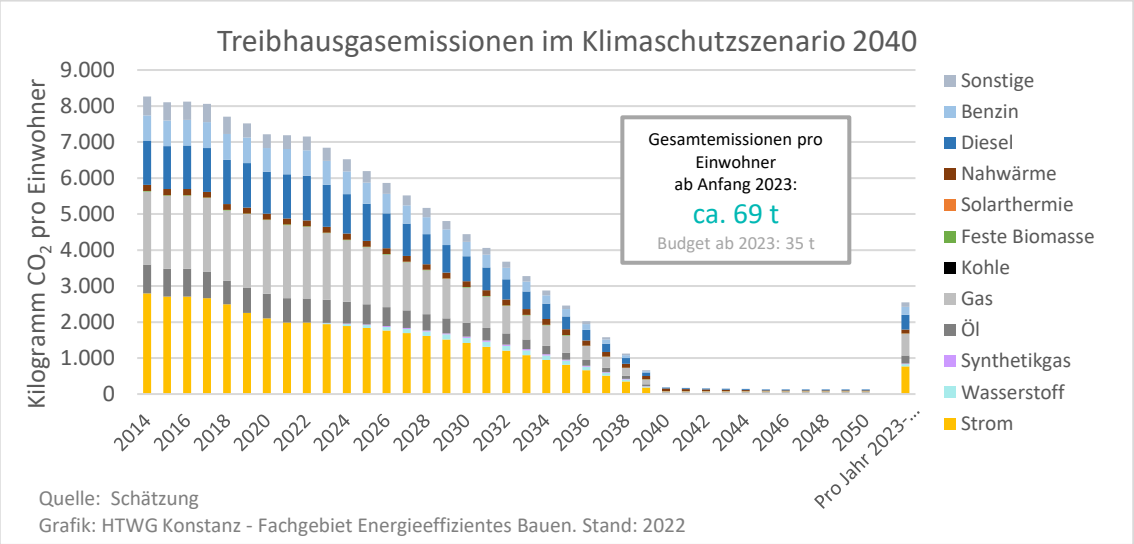


Abbildung 148: Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen im Landkreis Konstanz pro Person im Klimaschutzszenario 2040

8.2.4 Klimaschutzszenario 2035

8.2.4.1 Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzszenario 2035

Der Energieverbrauch im Zieljahr des Klimaschutzszenarios 2035 entspricht dem Energieverbrauch in den Zieljahren der Klimaschutzszenarien 2040 und 2045, wird aber früher erreicht. Dementsprechend sinkt der Zielpfad für den lokalen Energieverbrauch noch einmal deutlich steiler ab als im Klimaschutzszenario 2040.

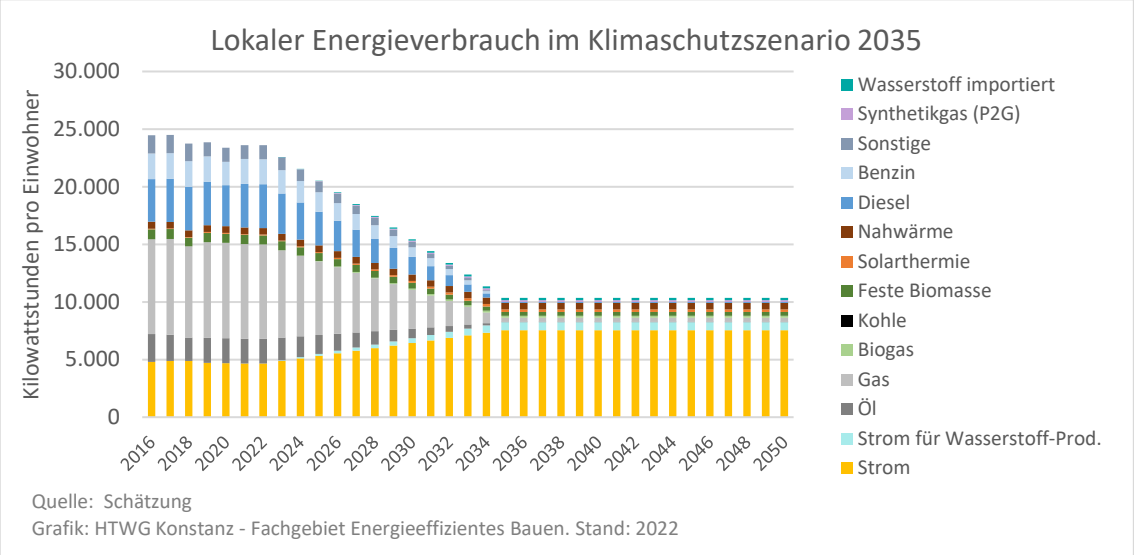


Abbildung 149: Lokaler Energieverbrauch im Szenario Klimaschutzszenario 2035

8.2.4.2 Stromverbrauch und Stromerzeugung im Jahresverlauf

Stromverbrauch und Stromerzeugung gleichen im Klimaschutzszenario 2035 in ihrem Verlauf dem Verlauf in den Zieljahren der Klimaschutzszenarien 2040 und 2045 (vgl. Abbildung 144). Um dieses Ziel so früh zu erreichen, sind im Klimaschutzszenario 2035 deutlich höhere Raten beim Ausbau der erneuerbaren Energien und bei der Umstellung der Heizsysteme auf Wärmepumpen und Nahwärme erforderlich, sowie bei der Elektrifizierung der Produktion in Industrie und Gewerbe. Auch die Umstellung des Verkehrssystems auf Umweltverbund und Elektrofahrzeuge muss im Vergleich zum Klimaschutzszenario 2040 noch einmal deutlich beschleunigt werden.

8.2.4.3 Mögliche Energieautonomie

Im Klimaschutzszenario 2035 entsprechen die Energiepotenziale denen des Klimaschutzszenarios 2040 und des Klimaschutzszenarios 2045. Bei gleicher Energieeinsparung können daher auch in diesem Szenario ca. 90 Prozent Energieautonomie erreicht werden. Der frühere Zeitpunkt erfordert im Zeitraum 2023 bis 2035 im Vergleich zu den übrigen Szenarien wesentlich höhere jährliche Investitionen und eine deutlich schnellere Veränderung der Gewohnheiten im Bereich Mobilität. Dafür werden in diesem Zeitraum wesentlich mehr Arbeitskraft und mehr Fachkräfte benötigt. Langfristig werden jedoch große Kaufkraft- und Wertschöpfungsverluste vermieden und ein weitreichender Schutz

vor globalen Energiepreisschwankungen dank eines hohen Energieautonomiegrades wird deutlich früher erreicht.

8.2.4.4 Treibhausgasausstoß im Klimaschutzszenario 2035

Wird die Klimaneutralität der Energieversorgung im Jahr 2035 erreicht, summieren sich die energiebedingten Emissionen des Landkreises zwischen 2022 und 2050 noch auf ca. 51 t CO_2-Äquivalent pro Person. Dies wären rund 146 Prozent des verbleibenden 1,5-Grad-Budgets. Dabei sind die nicht energiebedingten Emissionen, wie zuvor beschrieben, noch nicht enthalten[17]. Folglich müsste die Klimaneutralität im Landkreis Konstanz schon vor 2035 erreicht werden, wenn das Budget des 1,5-Grad-Ziels nicht sehr deutlich überschritten werden soll. Um in die Nähe des Budgets zu kommen, müssen zudem Kompensationsmaßnahmen ergriffen werden, wie etwa ein verstärkter Humusaufbau in der Land- und Forstwirtschaft oder die Absorption von CO_2 durch den Einsatz nachwachsender Baustoffe (Holz, Hanf, Lein usw.). Die energiebedingten Treibhausgasemissionen im Klimaschutzszenario 2035 sind in Abbildung 150 dargestellt.

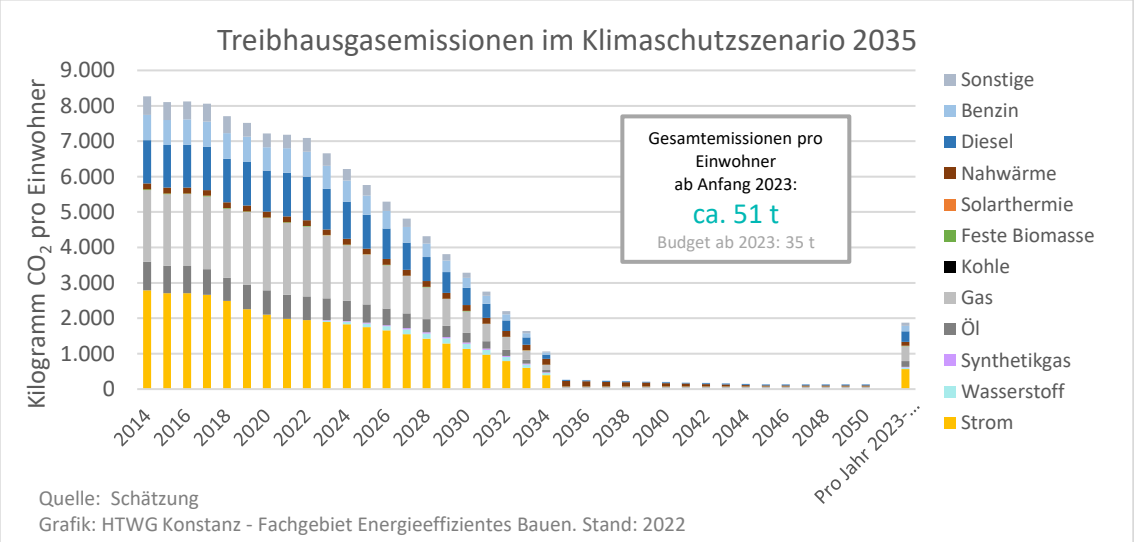


Abbildung 150: Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen im Landkreis Konstanz im Klimaschutzszenario 2035

8.2.4.5 Umsetzung mit Zeitpuffer durch Verkehrsvermeidung

Die dargestellten Szenarien gehen von der Annahme aus, dass die Bewohnerinnen und Bewohner des Landkreises im Personenverkehr auch in Zukunft die gleiche Zahl an Kilometern pro Jahr zurücklegen werden. Es wurde lediglich eine Verlagerung vom Pkw auf den Umweltverbund und ein Umstieg auf den Elektroantrieb angenommen. Die dargestellten Potenziale der Verkehrsvermeidung durch ein verbessertes Freizeitangebot und eine dezentrale Nahversorgung in einer Stadt der kurzen Wege, die engere räumliche Verbindung von Arbeiten und Wohnen, den Wohnungstausch von Berufspendlern,

[17] Nicht energiebedingte Emissionen haben bisher einen Anteil von ca. 15 Prozent an den gesamten Treibhausgasemissionen Deutschlands.

das Arbeiten im Homeoffice und die Vermeidung unnötiger Geschäftsreisen durch Videokonferenzen zeigen jedoch, dass erhebliche Anteile des Personenverkehrs auch komplett vermeidbar sind. Allein die Vermeidung von unnötigen Geschäftsreisen könnte den Personenverkehr demnach um ca. ein Zehntel reduzieren. Erhebliche Potenziale bestehen im Verkehrssektor außerdem im Bereich des Lieferverkehrs durch gute dezentrale Nahversorgung, mehr Postfilialen und Paketstationen sowie die Vermeidung unnötiger Rücksendungen. Würde es gelingen, durch all die genannten Optionen bis zum Jahr 2028 insgesamt 10 bis 20 Prozent des Personenverkehrs und des Lieferverkehrs (Lieferdienste, Paketdienste usw.) ganz zu vermeiden, könnte dies dazu führen, dass im Klimaschutzszenario 2035 bei unverändertem CO_2-Ausstoß schätzungsweise zwei bis vier Jahre mehr für die Modernisierung des Wohngebäudebestandes zur Verfügung stehen könnten.

Die geschätzte mögliche Absenkung des Energieverbrauchs des Straßenverkehrs unter den Pfad einer linearen Absenkung und der reduzierte Energieverbrauch ab 2035 sind in Abbildung 151 dargestellt.

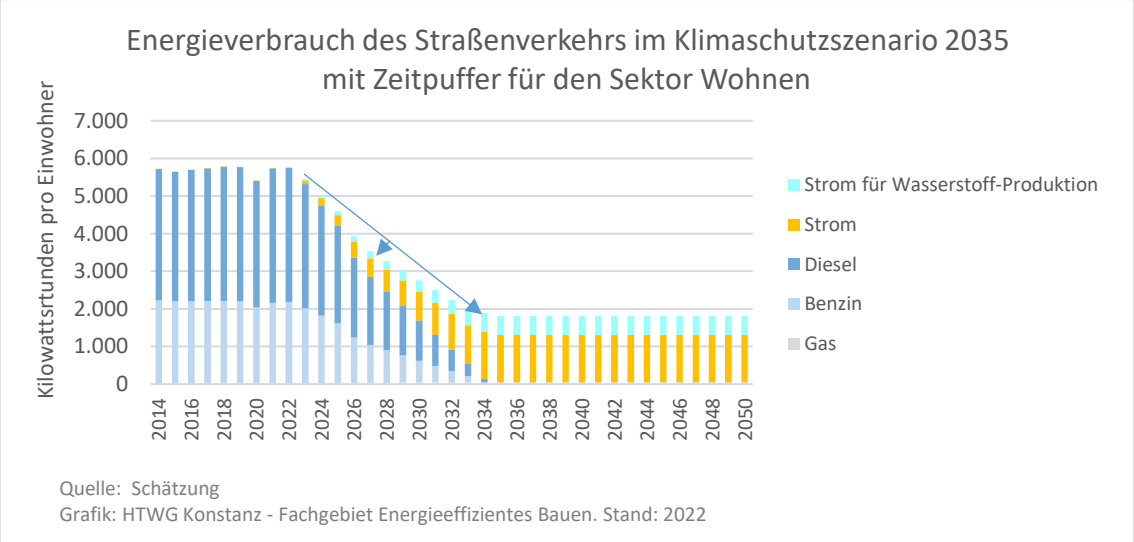


Abbildung 151: Energieverbrauch des Straßenverkehrs im Klimaschutzszenario 2035 bei Schaffung eines Zeitpuffers für den Sektor Wohnen

Abbildung 152 zeigt die nicht ganz lineare Absenkung des Energieverbrauchs im Sektor Verkehr und den Energieverbrauch im Sektor Wohnen, wenn der bis 2039 verlängerte Zeitkorridor für die Umstellung der Wohngebäude voll ausgeschöpft würde. Abbildung 153 zeigt die daraus folgenden Treibhausgasemissionen.

Unterstützt werden könnte die Schaffung des sicher nötigen Zeitpuffers durch eine möglichst frühzeitige Umsetzung kostengünstiger und wirksamer Klimaschutzmaßnahmen in den Sektoren Industrie und Gewerbe.

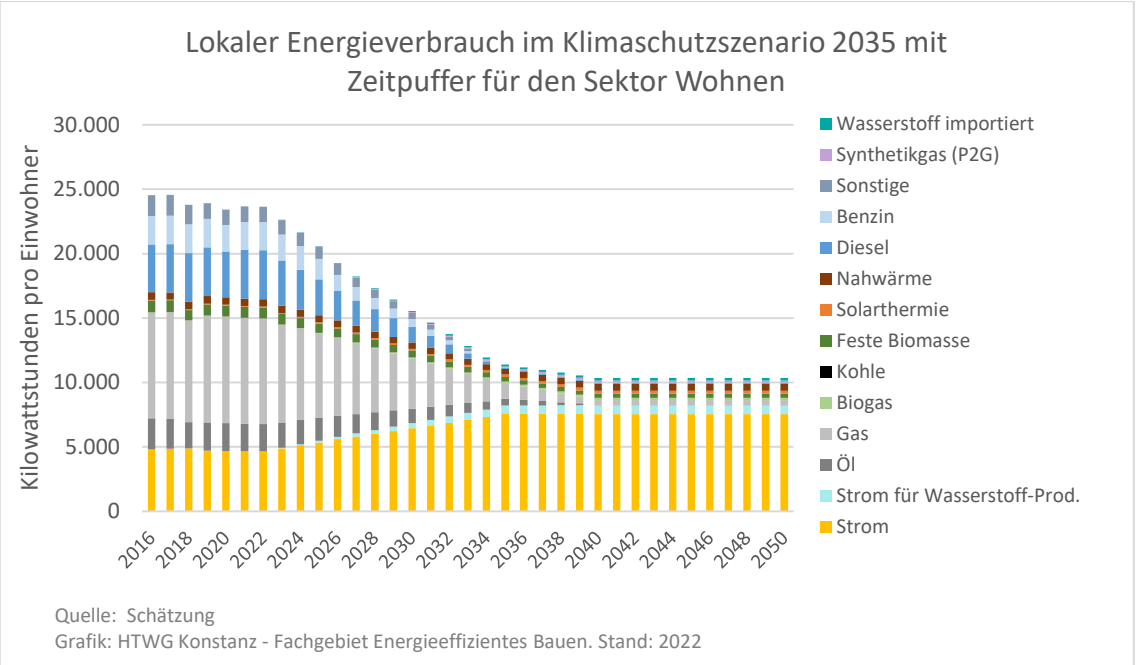


Abbildung 152: Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzszenario 2035 mit Zeitpuffer für den Sektor Wohnen

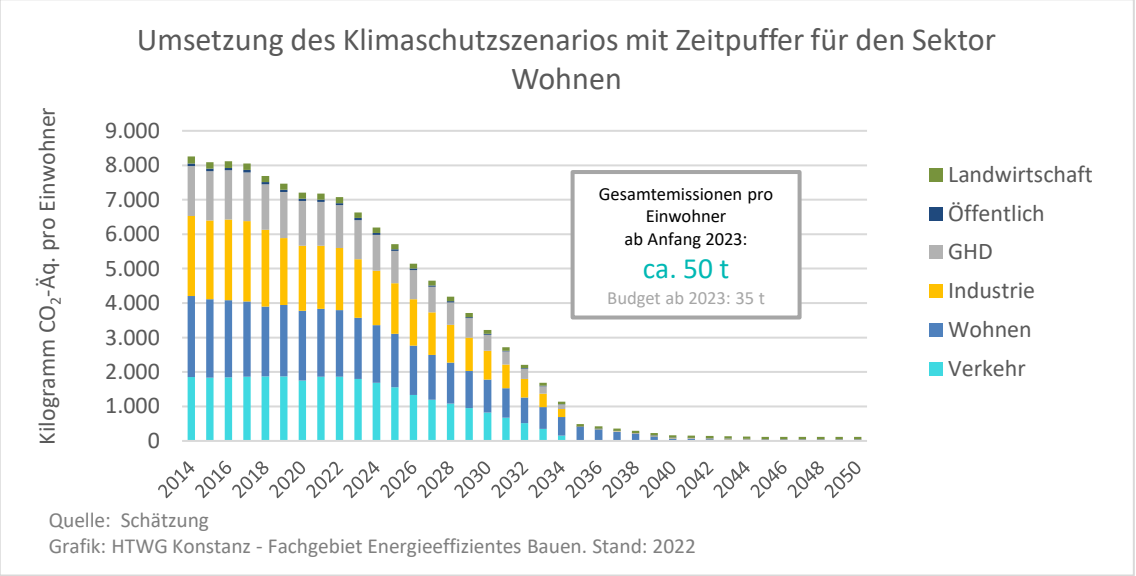


Abbildung 153: Energiebedingte THG-Emissionen im Klimaschutzszenario 2035 bei Umsetzung mit Zeitpuffer für den Sektor Wohnen nach Verbrauchssektoren

8.3 Vergleich der Szenarien

8.3.1 Bedarf an Wärmepumpen im Zieljahr

In den drei Klimaschutzszenarien werden im jeweiligen Zieljahr in Wohngebäuden schätzungsweise mehr als 26.000 Wärmepumpen benötigt (vgl. Abbildung 154). Dies sind 43 Prozent weniger als der geschätzte Bedarf im Szenario Trendfortsetzung (vgl. Abbildung 154 und Abbildung 139).

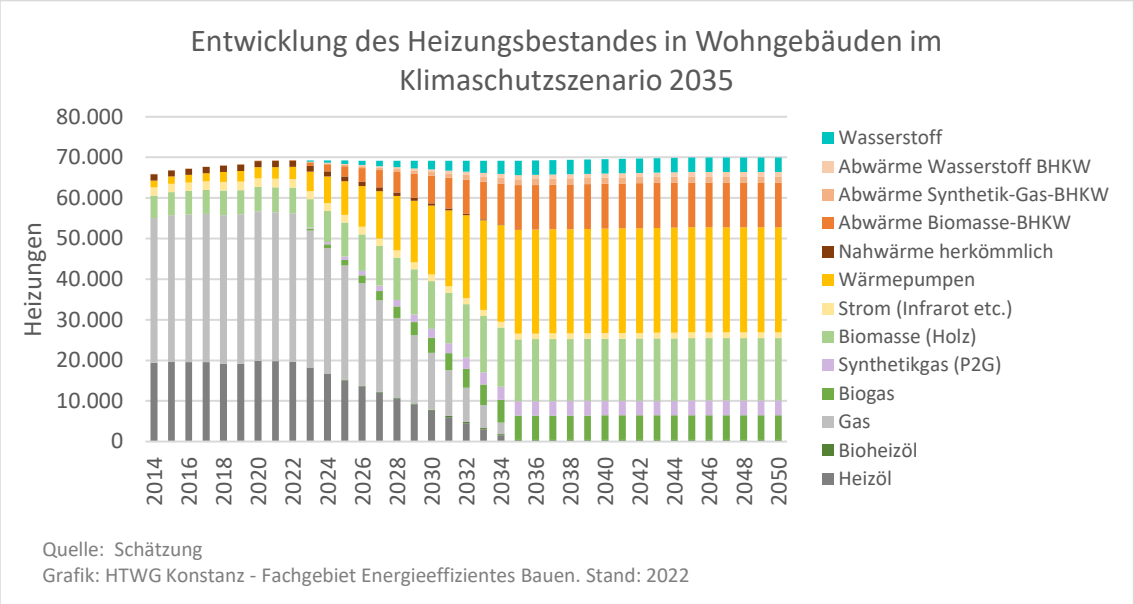


Abbildung 154: Entwicklung des Heizungsbestandes in Wohngebäuden im Klimaschutzszenario 2035

8.3.2 Zubaubedarf bei Wärmepumpen und sonstigen Heizsystemen

Im Klimaschutzszenario 2045 müssen wahrscheinlich nicht mehr Heizsysteme pro Jahr umgestellt werden, als für das Szenario Trendfortsetzung erwartet wird. In beiden Szenarien dürfte die Umstellung ungefähr zum Jahr 2045 weitgehend abgeschlossen sein.

Im Szenario Klimaschutzszenario 2040 müssen pro Jahr etwa ein Fünftel mehr Heizsysteme auf erneuerbare Energien umgestellt werden als im Klimaschutzszenario 2045. Um die Umstellung bis 2035 abschließen zu können, müssen dagegen rund zwei Drittel mehr Umstellungen pro Jahr erfolgen als im Trendszenario und im Klimaschutzszenario 2045. Auffällig ist, dass im Trendszenario auch schon im Zeitraum 2022 bis 2035 theoretisch deutlich mehr Wärmepumpen pro Jahr installiert werden müssen als im Klimaschutzszenario 2035. Zudem muss im Szenario Trendfortsetzung diese hohe Durchschnittsquote bis 2045 aufrechterhalten werden, um bis zum Jahr 2045 annähernd Klimaneutralität zu ermöglichen. Im Klimaschutzszenario 2035 ist die Zahl der jährlich herzustellenden Wärmenetzanschlüsse um den Faktor 1,7 über dem Vergleichswert im Klimaschutzszenario 2045 und um den Faktor 1,4 höher als im Klimaschutzszenario 2040. Für Biomasseheizungen und sonstige Heizsysteme trifft praktisch das gleiche Verhältnis zu.

Tabelle 27: Geschätzter jährlicher Umstellungsbedarf von Wohngebäudeheizungen bis 2035 nach Szenarien [Heizsysteme/Jahr]

Szenario	Wärme-pumpen*	Nahwärme	Biomasse	Sonstige**
Trendfortsetzung	1.820	160	140	360
Klimaschutzszenario 2045	980	540	390	560
Klimaschutzszenario 2040	1.190	660	480	680
Klimaschutzszenario 2035	1.640	910	660	930

* Biogas, Wasserstoff, Synthetisches Erdgas (P2G)
Quelle: Eigene Berechnung

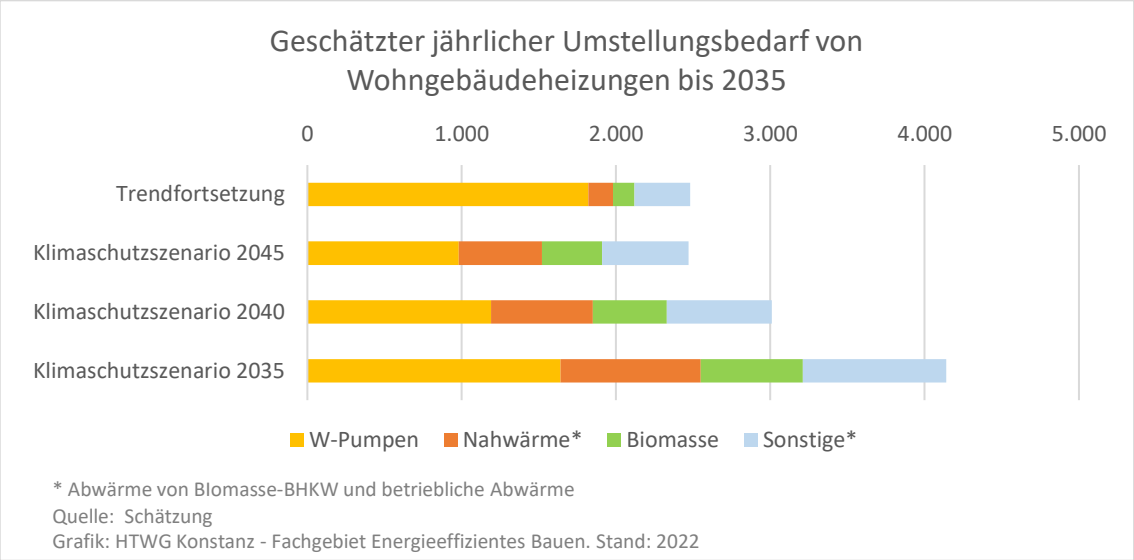


Abbildung 155: Geschätzter jährlicher Umstellungsbedarf von Wohngebäudeheizungen bis 2035

8.3.3 Strombedarf

Der deutlich geringere Bedarf an Wärmepumpen, der aus dem höheren Sanierungsniveau der Gebäudehüllen folgt, hat erhebliche Auswirkungen auf den Strombedarf. So sinkt der Stromverbrauch der Wohngebäude im Vergleich zum Szenario Trendfortsetzung über das gesamte Jahr gesehen um ca. 28 Prozent. Dabei ist der Unterschied im Winter mit 39 Prozent besonders groß. Dies bedeutet, dass der Strombedarf in den kalten Monaten November, Dezember, Januar und Februar um ca. 19 bis 29 GWh pro Monat geringer ausfällt. Über das gesamte Jahr liegt allein der Strombedarf für das Beheizen der Wohngebäude im Klimaschutzszenario um 125 GWh unter dem Vergleichswert des Szenarios Trendfortsetzung. Insgesamt sparen die privaten Haushalte im Vergleich zum Trendszenario ca. 147 GWh Strom pro Jahr. Dies entspricht dem Stromertrag von 22 großen Windenergieanlagen (bei 6,5 GWh pro WEA und Jahr).

8.3.4 Bedarf an saisonaler Stromspeicherung

Windenergieanlagen bieten gegenüber der Photovoltaik den Vorteil, dass sie den größeren Teil ihres Ertrags normalerweise im Winterhalbjahr liefern. Sie stellen daher eine wichtige Ergänzung zur Photovoltaik dar, weil sie eher geeignet sind, den Strombedarf der Wärmepumpen ohne Zwischenspeicherung zu decken. Für die saisonale Stromspeicherung stehen bisher nur wenige Optionen zu Verfügung. Dies sind vor allem Pumpspeicher und Wasserstoff. Für die umfangreiche Stromspeicherung in Pumpspeichern[18] mangelt es an den nötigen Kapazitäten[19], bei der Wasserstoffnutzung ist der elektrische Wirkungsgrad mit 35 (20 bis 45) Prozent relativ gering (Statista, 2022e). Um 125 GWh PV-Strom aus dem Sommer im Winter verfügbar zu machen, müssten daher im Sommer ca. 360 (313 bis 625) GWh PV-Strom aufgewendet werden. Dies entspricht einem Bedarf von ca. 600 Hektar ertragreicher Freiflächenphotovoltaik, der im Klimaschutzszenario gegenüber dem Szenario Trendfortsetzung dank einer verstärkten Gebäudesanierung vermieden werden könnte.

8.3.5 Pkw-Bestand

Der Pkw-Bestand dürfte im Szenario Trendfortsetzung sowohl absolut als auch pro 1.000 Einwohner noch weiter anwachsen. Wie groß dieser Zuwachs sein wird, ist jedoch kaum abzusehen. Das Wachstum dürfte sich kaum wie bisher fortsetzen, da der Bestand in diesem Fall bis 2045 noch einmal um rund ein Drittel zunehmen würde. Dem dürften die zunehmende Konkurrenz um Fläche sowie steigende Energiepreise und das immer größere Verkehrsaufkommen als Hemmschuhe entgegenwirken. Allerdings sind auch noch keinerlei Anzeichen für einen Trend in Richtung einer Reduktion des Pkw-Bestandes zu erkennen.

In den Klimaschutzszenarien könnte sich der Pkw-Bestand dagegen um 40 bis über 50 Prozent reduzieren. Sollte sich die Verlagerung auf den Umweltverbund und die Erhöhung des Besetzungsgrades der Pkw realisieren lassen wie im Szenario angenommen, könnte er um 52 Prozent reduziert werden. Mithilfe von Car-Sharing könnte die Reduktion sogar noch größer ausfallen. Eine noch größere Reduktion ist möglich, wenn, wie zuvor dargestellt, auch noch unnötiger Verkehr vermieden werden kann.

---

[18] Der Wirkungsgrad von Druckluftspeichern liegt bei 45 bis 55 Prozent, bei Pumpspeichern sind es 65 bis 85 Prozent. Die Speichervolumina liegen im Bereich von Megawattstunden bis Gigawattstunden.

[19] Das Pumpspeicherkraftwerk (PSW) Goldisthal im Thüringer Schiefergebirge ist das größte Wasserkraftwerk Deutschlands und eines der größten Europas. Bei vollständig gefüllten Oberbecken ist eine Energiemenge von 8,5 GWh gespeichert. Im Jahr 2017 verfügten alle Pumpspeicherkraftwerke Deutschlands über eine Speicherkapazität von 37,4 GWh (Heimerl & Kohler, 2017). Für den umfangreichen Zubau von Pumpspeichern fehlt bisher vielerorts die Akzeptanz. Eine weitere Option sind mancherorts möglichweise unterirdische Pumpspeicherkraftwerke. Ihr Ausbau ist jedoch zeitaufwendig. In der Schweiz wurde aktuell mit dem Nant de Drance ein solches Wasserspeicherkraftwerk in Betrieb genommen, dessen Bau 14 Jahre gedauert hat.

8.3.6 Bedarf an Pkw-Neuzulassungen

Eine Reduktion des Pkw-Bestandes erleichtert den Umstieg auf alternative Antriebe wie den Elektromotor. Blieben der Modal Split und der Pkw-Bestand im Wesentlichen unverändert, müssten, wie in Abbildung 156 dargestellt, pro Jahr ca. 70 Prozent mehr Pkw mit alternativen Antrieben (v. a. Elektroautos) neu zugelassen werden als im Klimaschutzszenario, das in Abbildung 157 dargestellt ist. Damit müssten pro Jahr bis zu zweimal so viele Pkw wie bisher zugelassen werden, um den Pkw-Bestand rechtzeitig auf erneuerbare Energien umzustellen. Dies ist nicht nur mit Blick auf die Umsetzbarkeit durch die privaten Haushalte fragwürdig, sondern auch mit Blick auf den Ressourcenaufwand und die Produktionskapazitäten der Industrie sowie den verfügbaren Raum für parkende Fahrzeuge und einen weiteren Ausbau der Straßen. Die Reduktion des Neuzulassungsbedarfs reduziert dagegen nicht nur den Ressourcenaufwand, sondern auch den Strombedarf des künftigen Pkw-Bestandes erheblich.

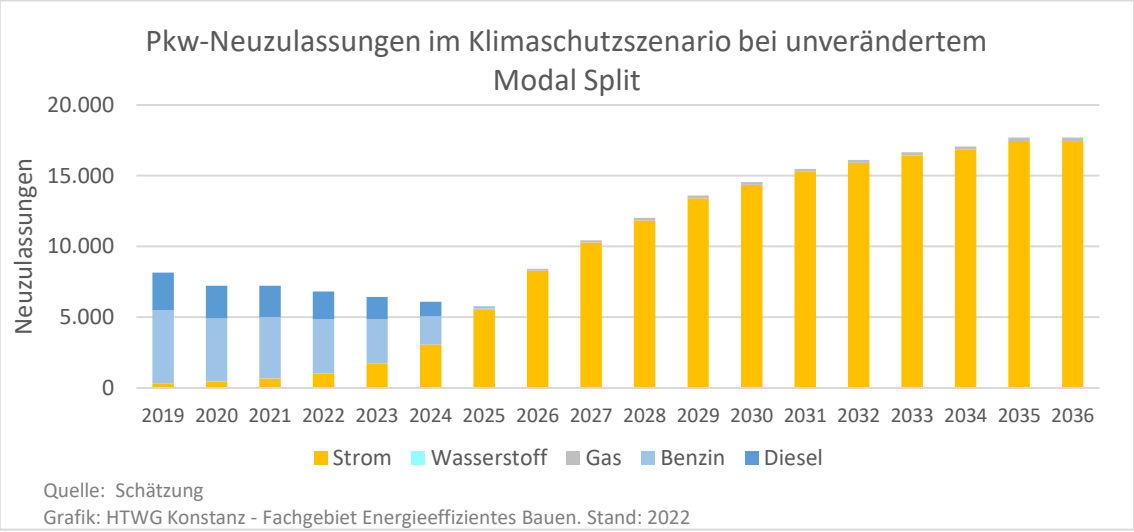


Abbildung 156: Pkw-Neuzulassungen im Klimaschutzszenario 2035 bei unverändertem Modal Split

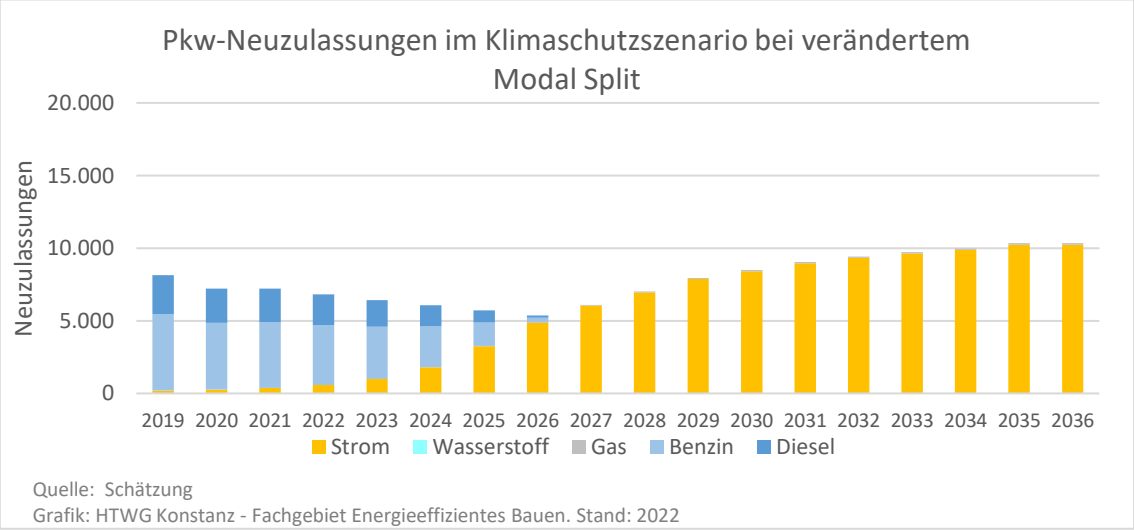
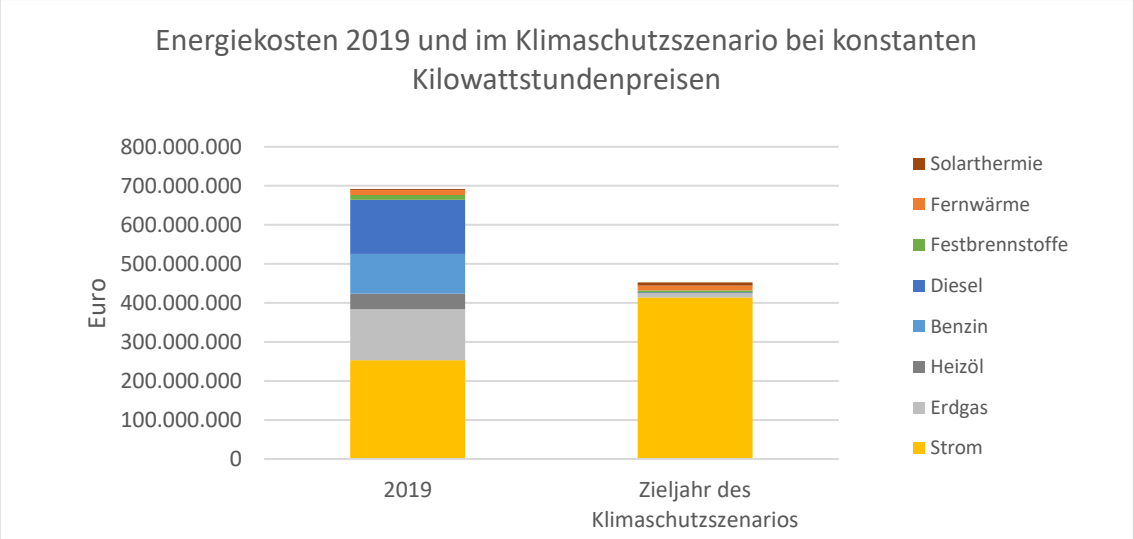


Abbildung 157: Pkw-Neuzulassungen im Klimaschutzszenario 2035 bei unverändertem Modal Split

8.3.7 Energiekosten

Infolge der aktuellen politischen Krisen sind Gestehungskosten und Endkundenpreise für Energie selbst mittelfristig kaum noch vorhersehbar. Schon im April 2022 waren die Preise an den Tankstellen stärker gestiegen als während der beiden Ölkrisen 1973/1974 und 1979/1980 und der Finanzmarktkrise 2008/2009 (Statistisches Bundesamt, 2022). Kraftstoffe waren im März 2022 für private Verbraucherinnen und Verbraucher um knapp die Hälfte teurer als ein Jahr zuvor und die Importpreise für Erdgas lagen mehr als dreieinhalb Mal so hoch wie im Vorjahresmonat (Statistisches Bundesamt, 2022). Kraftwerke zahlten für Erdgas im Juni 2022 227 Prozent mehr als ein Jahr zuvor, für Industrieabnehmer war Erdgas 183 Prozent teurer und für Wiederverkäufer 160 Prozent (SWP, 2022). Lieferengpässe und die enorm gestiegene Nachfrage lassen derzeit auch die Kosten für die Umstellung auf Wärmepumpen und Photovoltaik pro Kilowattstunde wieder steigen, nachdem sie zuvor lange gesunken waren. Anfang August 2022 waren die ungefähren Gestehungskosten einer Kilowattstunde Solarstrom mit ca. 8 bis 11 Cent aber noch vergleichsweise günstig (Gonschor, 2022).

Eine Berechnung der Energiekosten konnte aufgrund der mangelhaften Datenbasis noch nicht anhand der aktuellen Preise durchgeführt werden. Dennoch erscheint auch die Schätzung anhand der Energiekosten des Jahres 2019 aufschlussreich. Die nach BMWi (2020) geschätzten Energiekosten des Landkreises im Jahr 2019 betrugen ca. 692 Millionen Euro, was ca. 2.420 Euro pro Einwohner entspricht. Wären die Veränderungen des Klimaschutzszenarios bereits umgesetzt gewesen, hätten die Energiekosten des Landkreises 2019 mit ca. 453 Millionen Euro um rund 35 Prozent niedriger gelegen, was pro Einwohner verbleibenden Energiekosten von 1.559 Euro entsprochen hätte.



Quelle: Schätzung nach BMWi (2020) auf Basis der vorliegenden Energiebilanz, der Annahmen des Klimaschutzszenarios und der Energiepreise des Jahres 2019.
Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2022

Abbildung 158: Geschätzte Energiekosten im Jahr 2019 und im Klimaschutzszenario bei konstanten Kilowattstundenpreisen

Wenn die Energiepreise pro Kilowattstunde konstant auf dem Niveau des Jahres 2019 geblieben wären und auch in Zukunft auf diesem Niveau blieben, würden sich die gesamten Energiekosten von 2022 bis 2050 im Klimaschutzszenario 2045 auf ca. 16,03 Mrd. Euro summieren. Im Klimaschutzszenario 2035 würde sich eine Summe von ca. 14,78 Mrd. Euro ergeben. Dies entspricht einer Differenz von 7,8 Prozent oder 1,26 Mrd. Euro, was beinahe dem zweifachen (182 Prozent) der Energiekosten des Jahres 2019 entspricht. Bei dieser Schätzung sind Einsparungen durch einen möglichen hohen Eigenverbrauchsanteil noch nicht berücksichtigt. Dies zeigt, dass bei einem früheren Zieljahr bis 2035 pro Jahr zwar ein größerer Aufwand erforderlich ist, um die Ziele so früh zu erreichen, über den Vergleichszeitraum jedoch auch erhebliche Energiekosteneinsparungen möglich sind, die zusätzliche Mittel verfügbar machen können.

Die hohen Einsparungen gehen einher mit einem deutlich höheren Autonomiegrad, was zu einer erhöhten lokalen Wertschöpfung und deutlich reduzierten Kaufkraftabflüssen führen würde. Der hohe Autonomiegrad und die berechenbaren Grenzkosten bieten im Vergleich zum Status Quo zudem einen deutlich besseren Schutz vor problematischen Preisschwankungen auf dem Weltmarkt.

Aufgrund der dargestellten Potenziale erscheint es empfehlenswert, Berechnungen zu Energiekosten, vermiedenen Kaufkraftverlusten, Wertschöpfungseffekten, entstandenen Arbeitsplätzen und fiskalischen Auswirkungen der Energiewende zukünftig als Landkreis zu erstellen und in die politischen Entscheidungen einfließen zu lassen.

8.4 Schlussfolgerungen

Für eine erfolgreiche Energiewende sind neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz, ein beschleunigter Umstieg auf den Umweltverbund und eine sehr weitgehende Elektrifizierung aller Sektoren drei weitere unverzichtbare Voraussetzungen.

Die wesentlichen Schlussfolgerungen haben sich daher gegenüber dem Monitor Energiewende 2020 nicht verändert. Die meisten Trends setzen sich wie gehabt fort, lediglich beim Ausbau der Freiflächenphotovoltaik sowie bei den Zulassungen von Elektrofahrzeugen und dem Zubau von Ladeeinrichtungen zeigen sich im Vergleich zum Monitor 2020 nennenswerte und zum Teil deutliche Beschleunigungen der Entwicklung, die sich den Entwicklungsraten der Klimaschutzszenarien zumindest annähern. Dennoch sind auch in diesen Bereichen weitere Maßnahmen erforderlich, wenn die Klimaschutzziele eingehalten werden sollen und dabei nicht vor allem auf den Import erneuerbarer Energie gebaut werden soll. So wäre eine Steigerung der Photovoltaikstromproduktion auch im Verhältnis zur Bevölkerung sehr wichtig, ist bisher aber nicht festzustellen.

Den Klimaschutzzielen entgegen wirken weiterhin vor allem die geringe Sanierungsrate im Gebäudebestand und die anhaltenden Trends zu einer größeren Wohnfläche pro Person, höheren spezifischen Kraftstoffverbräuchen der Pkw pro 100 km Fahrleistung und die immer weiter ansteigende Gesamtjahresfahrleistung im Straßenverkehr, die vor allem auf Zuwächse bei den leichten Nutzfahrzeugen zurückzuführen ist.

Der ausführlichere Blick, den der Monitor 2022 auf die verschiedenen Szenarien bietet, zeigt darüber hinaus, dass die rechtzeitige Umsetzung der Energiewende auch in den einzelnen Sektoren immer schwieriger wird, je länger die notwendige Beschleunigung der Entwicklung verzögert wird. Er zeigt zudem, dass im Sektor Wohnen die Sanierung der Gebäudehüllen und die Umstellung der Heizsysteme Hand in Hand gehen müssen, wenn der Strombedarf im Winter und der Bedarf an saisonalen Speichern mit den daraus folgenden Energieverlusten nicht unnötig in die Höhe getrieben werden sollen.

Optionen der Umsetzung

Um den Stromverbrauch des Verkehrs möglichst gering zu halten und somit mehr Strom für die Gebäudebeheizung im Winter verfügbar zu machen, ist eine erhebliche Verlagerung von Personenbeförderungsleistung auf den Umweltverbund unerlässlich.

Dem Sektor Verkehr kommt zudem auch insgesamt eine Schlüsselrolle beim Klimaschutz zu. Bisher hat der Verkehrssektor zwar den geringsten Beitrag aller Sektoren zur Energiewende geleistet, doch sind seine Potenziale, in kurzer Zeit kostengünstig große Energieeinsparungen und eine entsprechende Reduktion des Treibhausgasausstoßes zu erreichen, sicherlich unter allen Verbrauchsektoren die größten. Mit Blick auf den Fachkräftemangel im Bausektor und speziell im Bereich Sanitär und Heizung erscheint es daher sinnvoll, eine Strategie für Klimaschutz und Energiewende zu entwickeln, die nicht für alle Sektoren das gleiche Zieljahr für das Erreichen der Klimaneutralität anstrebt, sondern versucht, kostengünstige große Einsparpotenziale frühzeitig zu nutzen

und so einen Zeitpuffer zu erarbeiten, der dem Sektor Wohnen mehr Zeit für die Gebäudesanierung und die Umstellung der Heizsysteme verschafft. Hierfür bietet sich vor allem der Sektor Verkehr an. Gleichwohl sollte dies aber nicht dazu führen, dass das Engagement in den Sektoren Wohnen und GHD nachlässt. Dafür spricht nicht zuletzt auch die Wahrscheinlichkeit weiter ansteigender Energiepreise und die zunehmenden Kaufkraft- und Wertschöpfungsverluste, die sich aus einer verzögerten Energiewende für den Landkreis ergeben. Mit einem Energieautonomiepotenzial von schätzungsweise bis zu 90 Prozent kann ein großer Teil dieser Verluste vermieden werden.

Dabei erscheint es wichtig festzustellen, dass die Anstrengungen und Investitionen, die in kurzer Zeit getätigt werden müssen, im Klimaschutzszenario 2035 mit Sicherheit und mit Abstand die größten sind. Allerdings bietet das Klimaschutzszenario 2035 auch die Chance auf die geringsten Energiegesamtkosten, sodass sich die getätigten Investitionen früher bezahlt machen könnten. Nicht unerheblich ist auch die mögliche Wertsteigerung der Immobilien, die mit der energetischen Sanierung einhergeht und meist auch mit einem verbesserten Schutz vor Klimafolgen, wie z. B. einem verbesserten Schutz vor sommerlicher Hitze, verbunden ist. Betriebs- und volkswirtschaftliche Aspekte sind nicht Gegenstand des Monitors, sollten aber nicht außer Acht gelassen werden. Ein reduzierter Kaufkraftabfluss und eine gesteigerte lokale Wertschöpfung führen auch zu höheren kommunalen Steuereinnahmen, die auch sozialen Zwecken zugutekommen können.

Daher erscheint es empfehlenswert, das vorliegende Energiewende Monitoring durch eine volkswirtschaftliche Betrachtung und Chancenanalyse zu ergänzen und auch diese Ergebnisse in künftige Überlegungen einfließen zu lassen. Gleiches gilt für Wechselwirkungen und mögliche Synergieeffekte zwischen Klima- und Naturschutz sowie zwischen Klimaschutz und Klimafolgenanpassung.

Mit Blick auf die Beschleunigung der Umsetzung erscheint auch eine Analyse der Potenziale von lokalen Anreizsystemen (z. B. Push-and-Pull-Anreizsystemen) empfehlenswert, die auch einen Überblick über bereits realisierte Best-Practice-Beispiele enthalten sollte.

9 Quellen- und Literaturverzeichnis

ADAC. (15. Juli 2020). *Dauerthema Parken: Kommunen müssen mehr Verantwortung übernehmen!* Von https://www.adac.de/der-adac/regionalclubs/nrw/nrw-kolumne-parken/ abgerufen

ADFC. (2012). *FAF 6: Fahrradparken - Vom Fahrradständer zum Abstellsystem. ADFC Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club (Hrsg.).* Bremen. Von www.adfc.de/files/2/110/111/FAF_6_neu.pdf abgerufen

ADFC Bayern. (2018). *Hinweise für die Planung von Fahrrad-Abstellanlagen.* München.

AGES Österreich. (2017). *Die Österreichische Ernährungspyramide*. (Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Herausgeber) Von https://www.ages.at/themen/ernaehrung/oesterreichische-ernaehrungspyramide/ abgerufen

Agora Energiewende. (16. 08. 2021). *Deutschland steht 2021 vor dem höchsten Anstieg der Treibhausgasemissionen seit 1990*. Von https://www.agora-energiewende.de/presse/pressemitteilungen/deutschland-steht-2021-vor-dem-hoechsten-anstieg-der-treibhausgasemissionen-seit-1990-1 abgerufen

Agora Verkehrswende. (2021). *Pendlerverkehr in Deutschland. Zahlen und Fakten zu den Wegen zwischen Wohn- und Arbeitsort. www.agora-verkehrswende.de.*

Andre, K. (26.. März 2018). *Das Fundament von Windenergieanlagen: Was passiert beim Rückbau?* (E. NRW, Herausgeber) Abgerufen am 07.. Februar 2020 von https://www.energieagentur.nrw/blogs/erneuerbare/beitraege/das-fundament-von-windenergieanlagen-was-passiert-beim-rueckbau/#fn-1

Baden-Württemberg Stiftung gGmbH. (2017). *Mobilität in Baden-Württemberg 2017. Wege der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität.* Stuttgart.

Balz, J., Blekker, J., Demrovski, B., Noll, C., Zinsius, C., & Keller, J. (2015). Das Klimakochbuch. Klimafreundlich einkaufen, kochen und genießen.

Bauer-Hailer, U. (2019). Berufspendler im Bundesländervergleich. *Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 2/2019. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.)*, S. 10-14.

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie. (2020). *Anergieatlas Bayern. Photovoltaik - Umweltaspekte*. Abgerufen am 05. Februar 2020 von https://www.energieatlas.bayern.de/thema_sonne/photovoltaik/umweltaspekte.html

BBSR. (2016). *Datenbasis zum Gebäudebestand.* Bonn.

BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (14. 08 2019). *Durchschnittlicher Haushaltsstromverbrauch. Stand 07/2019.* . Von

https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/durchschnittlicher-haushaltsstromverbrauch/. abgerufen

BDH und DWK. (2022). *Gemeinsame Pressemitteilung vom 24. März 2022. Heizungsbranche mit Lösungsstrategien für Klimaschutz und Versorgungssicherheit*.

Bellini, E. (20. August 2021). *Die heißeste Wärmepumpe der Welt*. (pv magazine group GmbH & Co. KG, Herausgeber) Von pv-magazine: https://www.pv-magazine.de/2021/08/20/die-heisseste-waermepumpe-der-welt/ abgerufen

Berlo, K., & Seifried, D. (2016). *Einsparkraftwerk Schule – Wie Bürger und Klima profitieren können. solar+spar contract GmbH c/o Wuppertal Institut (Hrsg.).* Wuppertal.

BMU. (2009). *Energieeffizienz - Die intelligente Energiequelle - Tipps fuer Industrie und Gewerbe.* Berlin.

BMU Bundesministerium für Umwelt. (16. 03 2021). *Mode und Textilien: Fast Fashion*. Von https://www.bmu.de/themen/nachhaltigkeit-digitalisierung/konsum-und-produkte/produktbereiche/mode-und-textilien abgerufen

BMWi. (2020). *Energiedaten, Tabelle 26, 03.03.2020: Entwicklung von Energiepreisen und Preisindizes zu nominalen Preisen.*

Bund Naturschutz. (2012). *Stromeinsparpotentiale in Bayern 2010 bis 2030. Eine Studie der Energieagentur Nordbayern im Auftrag des Bund Naturschutz in Bayern e.V.. März 2012. Zusammenfassung.*

Bundesministerium des Innern und für Heimat. (2019). *Strategie gegen Fachkräftemangel in der Bauwirtschaft. Pressemitteilung vom 13.03.2019*. Von https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/DE/2019/03/spitzengespraech-fachkraeftemangel-bauwirtschaft.html abgerufen

Bundesverband Boden e.V. (o. J.). *Boden und Windenergie*. Abgerufen am 07.. Februar 2020 von https://www.bodenwelten.de/content/boden-und-windenergie

Business-Travel. (2008). *Reisekosten sparen durch Online Konferenzen*. Abgerufen am 20. April 2022 von https://www.business-travel.de/reisekosten-sparen-durch-online-konferenzen/6761/

co2online gGmbH. (2014). *Trendreport 1. Heizenergieverbrauch Gebäude. Heizenergieverbrauch in Deutschland: Stand und Entwicklung. Berlin, August 2011 (Aktualisiert: September 2014)*. Von http://www.co2online.de/fileadmin/co2/research/Trendreport1_Heizenergieverbrauch.pdf abgerufen

dena. (2016). *Auswertung von Verbrauchskennwerten.* (Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Hrsg.) Deutsche Energie-Agentur GmbH.

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). (2012). *Green IT: Potenzial für die Zukunft. Energieeffizienz steigern, Wachstumsmärkte erschließen und Nachhaltigkeit sichern.*

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). (2016). *Der dena-Gebäudereport 2016. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand.* Berlin.

Deutsche Handwerkszeitung DHZ. (2018). *Pendeln zum Arbeitsplatz: Tipps für möglichst wenig Stress*. Von https://www.deutsche-handwerks-zeitung.de/pendeln-zum-arbeitsplatz-tipps-fuer-moeglichst-wenig-stress-147145/ abgerufen

Deutsches Institut für Urbanistik. (2017). *Alternativen für den privaten und wirtschaftlichen Lastentransport*. Von https://nationaler-radverkehrsplan.de/de/forschung/schwerpunktthemen/alternativen-fuer-den-privaten-und abgerufen

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt / KIT. (2016). *LADEN2020. Konzept zum Aufbau einer bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur in Deutschland von heute bis 2020.*

Dittrich, S. (2017). Das Thema "Parken" als Hemmnis oder als Steuerungsinstrument? Über den Umgang mit dem ruhenden Verkehr in städtebaulichen Konzepten. *Forum Wohnen und Stadtentwicklung*(Jg.9, Nr. 2), S. 87-90.

Dziewiaty, K. (24. Juni 2011). *Energiepflanzen und Vogelschutz – Maßnahmen zur Verbesserung der Artenvielfalt .* Abgerufen am 29. Juni 2019 von https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/Energiepflanzen_und_Vogelschutz_(2)_Endf_Dziewiaty.pdf

Ecofys, 2007, zit. n. EEM. (08. 03. 2007). *Ecofys: Mehr als 2300 Quadratkilometer Gebäudefläche für Photovoltaik und Solarthermie nutzbar.* Von https://www.solarserver.de/2007/08/03/ecofys-mehr-als-2300-quadratkilometer-gebaeudeflaeche-fuer-photovoltaik-und-solarthermie-nutzbar/ abgerufen

European Environment Agency. (19. November 2019). *Textiles in Europe's circular economy*. Abgerufen am 27. Oktober 2021 von https://www.eea.europa.eu/publications/textiles-in-europes-circular-economy/textiles-in-europe-s-circular-economy

FNR Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe. (2016 - 2021). *Kraftstoffverbrauch Deutschland*. Von https://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/aktuelle-marktsituation/ abgerufen

Fraunhofer ISE. (2019). *Solaranlagen in der Praxis: Hofgemeinschaft Heggelbach.* Abgerufen am 29. Mai 2019 von http://www.ise.solar-monitoring.de/year.php?page=yearsys&system=apvh&untersystem=0&date=2018-06-15&lang=de&jahr=2018

Fuhrhop, D. (2019). *Warum sich flexibles Wohnen lohnt. Vortrag beim Wohnprojektetag 27.09.2019.*

Furhhop, D. (2020). *Verbietet das Bauen! Neuauflage 2020.* München.

Gonschor, A. (04. August 2022). *Stromgestehungskosten – Wie viel kostet Strom aus Kohle, Gas oder Photovoltaik wirklich?* Von wegatech: https://www.wegatech.de/ratgeber/stromgestehungskosten/ abgerufen

Greenpeace. (2017). *Verkehrswende für Deutschland. Der Weg zu CO2-freier Mobilität bis 2035*.

Heimerl, S., & Kohler, B. (2017). Aktueller Stand der Pumpspeicher kraftwerke in Deutschland. *WasserWirtschaft* (10), S. 77-79.

Heinrichs, E., Schreiber, M., Rath, S., Kosarev, I., & Weinke, L. (2015). *Untersuchung von Stellplatzsatzungen und Empfehlungen für Kostensenkungen unter Beachtung moderner Mobilitätskonzepte.* Berlin.

HUSS. (09. 08. 2020). *Energieverbrauch von Elektrobussen*. (HUSS VERLAG GmbH, Herausgeber) Von https://www.nfz-messe.com/de/news/elektromobilitaet-studie-energieverbrauch-von-elektrobussen-2705.html abgerufen

ICLEI Europasekretariat. (2005). *Versteckte Kosten des städtischen Autoverkehrs. Öffentliche Gelder für den privaten Verkehr.* Freiburg.

IPSOS. (24. Mai 2022). *Weltfahrradtag: Sicherheitsbedenken halten Menschen vom Radfahren ab*. Von https://www.ipsos.com/de-de/weltfahrradtag-sicherheitsbedenken-halten-menschen-vom-radfahren-ab abgerufen

KEA-BW Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg. (Februar 2022). Datensatz Landkreis Konstanz. Karlsruhe.

KEA-BW Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg. (2022). *Emissionsfaktoren (CO2-Äquivalent, t/MWh).* Abgerufen am 02. Mai 2022 von https://www.kea-bw.de/kommunaler-klimaschutz/angebote/co2-bilanzierung

KIT Karlsruhe, 2019. (08. 11. 2019). *Daten und Fakten zum Energieverbrauch des Schienenverkehrs. Erstellt am: 16.02.2011 | Stand des Wissens: 08.11.2019*. Von https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/342234/ abgerufen

Kompetenzzentrum IEMB. (2009). *Umnutzung. Wohnen in alten Gebäuden.* Berlin.

KTBL. (2014). *Die Produktion in Niedrigenergiegewächshäusern ist pflanzenbaulich möglich und wirtschaftlich sinnvoll. Fachsymposium ZINEG, 24.09. - 25.09.2014, Berlin.* (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Hrsg.) Abgerufen am 28. 02 2018 von http://www.zineg.net/symposium_24.9.2014.pdf

Landtag von Baden-Württemberg. (2021). *Drucksache 17 / 943. Gesetz zur Änderung des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg.* Stuttgart.

Landtag von Baden-Württemberg. (2021a). *Drucksache 17 / 521. 13.7.2021. Gesetzentwurf "Gesetz zur Änderung des Klimaschutzgesetzes".* Stuttgart.

LANUV. (2013). *LANUV Fachbericht 40: Potenzialstudie Erneuerbare Energien, Teil 2: Solarenergie.* Recklinghausen.

LANUV NRW. (2013). *Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW. Teil 2 - Solarenergie. LANUV-Fachbericht 40.* Recklinghausen.

Lindenthal, T., Markut, T., Hörtenhuber, S., Rudolph, G., & Hanz, K. (2010). Klimabilanz biologischer und konventioneller Lebensmittel im Vergleich. *Ökologie und Landbau*.

LRA Konstanz. (2022). *Sachstandbericht Energiewende im Landkreis Konstanz vom 17. Februrar 2022.* Konstanz.

Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) gGmbH. (2022). *Verbleibendes CO2-Budget. So schnell tickt die CO_2-Uhr*. Abgerufen am 09. August 2022 von https://www.mcc-berlin.net/forschung/co2-budget.html

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft. (2015). Genuss N!-Kochbüchle – Restlos nachhaltig genießen und CO2 sparen! Stuttgart. Von https://www.nachhaltigkeitsstrategie.de/genussn-kochbuechle abgerufen

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. (2018). Mobilität in Baden-Württemberg 2017. (MID 2017).

NATURSTROM AG. (2021). *Wärmepumpen liegen im Trend. Artikel vom 03.02.2021* . Von energiezukunft: https://www.energiezukunft.eu/erneuerbare-energien/waerme/waermepumpen-liegen-im-trend/ abgerufen

Nobis, C., & Kuhnimhof, T. (2018). *Mobilität in Deutschland - MiD Ergebnisbericht. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15). Bonn, Berlin, www.mobilitaet-in-deutschland.de.*

Randelhoff, M. (2014/2019). *Vergleich unterschiedlicher Flächeninanspruchnahmen nach Verkehrsarten. 19. August 2014 / 10. Mai 2019*. Von Zukunft Mobilität: https://www.zukunft-mobilitaet.net/78246/analyse/flaechenbedarf-pkw-fahrrad-bus-strassenbahn-stadtbahn-fussgaenger-metro-bremsverzoegerung-vergleich/ abgerufen

Rauth, Jürgen et al. (2011). *Untersuchung zur Mobilität der Würzburger Studierenden. Studie im Rahmen des studentischen Projektseminars „Regionalentwicklung Unterfranken“ im Wintersemester 2010/2011 und Sommersemester 2011 – vorläufiger Bericht.*

Reinhardt, G., Gärtner, S., & Wagner , T. (2020). *Ökologischer Fußabdruck von Lebensmitteln und Gerichten in Deutschland.* (ifeu, Hrsg.) Heidelberg.

RWE. (17. 05. 2021). *China baut die weltweit größte Batterie ohne Lithium*. Von https://www.en-former.com/china-baut-die-weltweit-groesste-batterie-ohne-lithium/ abgerufen

Schmidt, T., Schneider, F., Leverenz, D., & Hafner, G. (2019). *Thünen Report 71. Lebensmittelabfälle in Deutschland – Baseline 2015 –.* (Thünen-Institut, Hrsg.) Braunschweig.

Schopp, L. (2017). *Das Potenzial neuer Wohnformen zur Reduzierung der Pro-Kopf-Wohnfläche im urbanen Raum. Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des Grades Master of Science.* München.

Schröter, F. (2021). *Orientierungswerte (Richtwerte) für die Planung. Stand: 28. September 2021*. Von Dr. Frank Schröter: https://www.dr-frank-schroeter.de/planungsrichtwerte.htm#Fl%C3%A4chenbedarf abgerufen

Seifert, A. (2022). *Mehr Wärmepumpen. Sanitärbranche klagt über großen Fachkräftemangel. Stand: 29. Juli 2022*. Von MDR AKTUELL : https://www.mdr.de/nachrichten/deutschland/wirtschaft/sanitaerbranche-waermepumpen-fachkraeftemangel-100.html abgerufen

Siebler, J. (2013). *Die Natur kehrt zurück.* Abgerufen am 28. Mai 2019 von www.bund-kreis-konstanz.de/fileadmin/bundgruppen/bcmskvkonstanz/Dokumente/Solarpark_Artikel_SW_Konstanz_4_2013.pdf

Sommer, C. (2020). *Was kosten Radverkehr, Fußverkehr, öffentlicher Personennahverkehr und Kfz-Verkehr eine Kommune? Entwicklung und Anwendung einer Methode für den Vergleich von Erträgen und Aufwendungen verschiedener Verkehrsmittel anhand von kommunalen Haushalten.* Von Verkehrsplanung und Verkehrssysteme. Abgeschlossene Projekte: https://www.uni-kassel.de/fb14bau/institute/institut-fuer-verkehrswesen-ifv/verkehrsplanung-und-verkehrssysteme/forschung/forschungsprojekte/abgeschlossene-projekte#accordion-collapse-1007870 abgerufen

Stadt Frankfurt am Main. (2015). *„Frankfurt spart Strom“. Ergebnis Stromsparprämie. Stand August 2015*. Von http://www.frankfurt-spart-strom.de/stromsparpraemie/ergebnis/ abgerufen

Stadt Frankfurt am Main. (2022). *Umzugsprämie. Prämienprogramm für Mieterinnen und Mieter unterbelegter Sozialwohnungen*. Von https://frankfurt.de/themen/planen-bauen-und-wohnen/wohnen/vermittlung-von-gefoerderten-wohnungen-und-fehlbelegungsabgabe/wohnungssuche---wohnungsvermittlung/umzugspraemie abgerufen

Statista. (2018). *Deutsche pendeln immer weitere Distanzen* . Von https://de.statista.com/infografik/13555/deutsche-pendeln-immer-weitere-distanzen/ abgerufen

Statista. (2021). *Endenergieverbrauch der privaten Haushalte für Wohnen in Deutschland nach Energieträger im Jahresvergleich 2010 und 2019* . Von https://de.statista.com/statistik/daten/studie/165394/umfrage/energieverbrauch-der-privaten-haushalte-fuer-wohnen-2000-und-2009/ abgerufen

Statista. (2021a). *Endenergieverbrauch der privaten Haushalte für Wohnen in Deutschland nach Energieträger im Jahresvergleich 2010 und 2019*. Abgerufen am 20. Juli 2022 von https://de.statista.com/statistik/daten/studie/165394/umfrage/energieverbrauch-der-privaten-haushalte-fuer-wohnen-2000-und-2009/

Statista. (2021a). *Höhe der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2020*. Von https://de.statista.com/statistik/daten/studie/76558/umfrage/entwicklung-der-treibhausgas-emissionen-in-deutschland/#professional abgerufen

Statista. (2022). *Bevölkerung - Zahl der Einwohner in Deutschland von 2010 bis 2021*. Abgerufen am 20. Juli 2022 von https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1217/umfrage/entwicklung-der-gesamtbevoelkerung-seit-2002/

Statista. (2022a). *Jährlicher Stromverbrauch eines privaten Haushaltes* in Deutschland in den Jahren 1991 bis 2020*. Von https://de.statista.com/statistik/daten/studie/245790/umfrage/stromverbrauch-eines-privathaushalts-in-deutschland/ abgerufen

Statista. (2022b). *Jährlicher Stromverbrauch eines privaten Haushaltes* in Deutschland in den Jahren 1991 bis 2020*. Von https://de.statista.com/statistik/daten/studie/245790/umfrage/stromverbrauch-eines-privathaushalts-in-deutschland/ abgerufen

Statista. (2022c). *Wohnfläche je Einwohner in Stuttgart im Jahr 2020 nach Stadtbezirken.* Von https://de.statista.com/statistik/daten/studie/971471/umfrage/wohnflaeche-je-einwohner-in-stuttgart-nach-stadtbezirken/ abgerufen

Statista. (2022d). *Anteil der Wärmepumpen im Neubau in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2020*. Von https://de.statista.com/statistik/daten/studie/237364/umfrage/bedeutung-der-waermepumpen-im-neubau-in-deutschland/ abgerufen

Statista. (2022e). Wirkungsgrad von Stromspeichern nach Speichertechnologie. Stromspeicher nach Wirkungsgraden. Statista Research Department, 09.05.2022.

Statistisches Bundesamt. (2019). *Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Flächenbelegung von Ernährungsgütern 2010 – 2017.* (Statistisches Bundesamt (Destatis), Hrsg.) Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt. (2022). *Aktuelle Preissteigerungen für Kraftstoffe höher als in den Krisen der vergangenen Jahrzehnte. Pressemitteilung Nr. 171 vom 20. April 2022.* Von https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/04/PD22_171_61.html abgerufen

STL BW Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2021). *Regionaldaten*. Landkreis Konstanz. Von https://www.statistik-bw.de/SRDB/?E=GS abgerufen

SWP. (28. Juli 2022). *Gaspreise 2022. Prognose und Entwicklung der Preise für Gas.* Von SWP: https://www.swp.de/panorama/gas-erdgas-gaspreise-2022-entwicklung-prognose-64584113.html abgerufen

Thomas, D. (22. April 2021). Warum Homeoffice gut fürs Klima ist – Arbeiten nach Corona. Impulsvortrag auf der 3. Sitzung der AG Systemfragen.

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. (2010). *Regionale Biomassepotenziale zur energetischen Nutzung im Freistaat Thüringen.* Jena.

ULB Stockach. (2020). Daten Landwirtschaft. Stockach.

Umweltbundesamt. (2021). *Energiesparen in Industrie und Gewerbe. Stand: 17.05.2021*. Von https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energiesparen-in-industrie-gewerbe#energieeinsparpotenziale abgerufen

Umweltbundesamt. (2021a). *CO2-Rechner des Umweltbundesamtes*. Von https://uba.co2-rechner.de/de_DE/ abgerufen

Umweltbundesamt. (2021b). *Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. Stand: 21. Juni 2021*. Von https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung abgerufen

Umweltbundesamt. (2022). *Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren. Stand: 25. März 2022*. Von https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren#allgemeine-entwicklung-und-einflussfaktoren abgerufen

Umweltbundesamt. (2022a). *Fahrleistungen, Verkehrsleistung und "Modal Split". Stand: 02. August 2022*. Von https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/fahrleistungen-verkehrsaufwand-modal-split#fahrleistung-im-personen-und-guterverkehr abgerufen

Umweltbundesamt. (2022b). *Mobilität privater Haushalte. Hoher Anteil von Urlaubs- und Freizeitverkehr. Stand: 13. Mai 2022*. Von https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/mobilitaet-privater-haushalte#verkehrsleistung-im-personentransport abgerufen

Umweltbundesamt. (2022c). *Energieeinsparpotenziale: Einsparpotenziale an Endenergie in den einzelnen Sektoren in Deutschland. Stand: 21. Januar 2022*. Von https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energieeinsparpotenziale abgerufen

Umweltbundesamt. (2022d). *Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren. Stand: 25. März 2022*. Von https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren#allgemeine-entwicklung-und-einflussfaktoren abgerufen

Umweltbundesamt. (2022e). *Kraftstoffverbrauch. Stand: 31. Januar 2022*. Von https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/kraftstoffe abgerufen

UNIKIMS GmbH. (o. J.). *Der Autoverkehr kostet die Kommunen das Dreifache des ÖPNV und der Radverkehr erhält die geringsten Zuschüsse.* Von https://www.unikims.de/blog/autoverkehr-kostet-die-kommunen abgerufen

Universität Kassel. (kein Datum). *CostTool. Ökonomische Bewertung kommunaler Verkehrssysteme (CostTool) .* Von https://www.uni-kassel.de/fb14bau/institute/institut-fuer-verkehrswesen-ifv/verkehrsplanung-und-verkehrssysteme/forschung/it-gestuetzte-tools/costtool abgerufen

Vartiainen, E., Masson, G., Breyer, C., Moser, D., & Medina, E. R. (2020). Impact of weighted average cost of capital, capital expenditure, and other parameters on future utility-scale PV levelised cost of electricity. *Volume 28, Issue 6*, S. 439-453. doi:https://doi.org/10.1002/pip.3189

VBG. (2013). *Fachinfoblatt: Pkw-Stellplatz-Flächen.* Hamburg.

VCD. (01. Januar 2018). *Verkehrsmittel im Vergleich.* Von https://www.vcd.org/artikel/verkehrsmittel-im-vergleich/ abgerufen

Verband öffentlicher Verkehr. (2021). *Perspektiven zur Erhöhung des Modalsplit des öffentlichen Verkehrs. Mehr Agilität für die Zukunft. VöV Schriften 10.* Bern.

VNR. (2020). *Energieeffizienz-Maßnahmen: So sparen Sie 20 % Energiekosten im Büro. Wirtschaftswissen VNR Verlag für die Deutsche Wirtschaft AG (Hrsg.)*. Von https://www.wirtschaftswissen.de/einkauf-produktion-logistik/einkaufsmanagement/energieeinkauf/so-sparen-sie-mithilfe-von-energieeffizienz-massnahmen-im-buero-20-energiekosten/ abgerufen

Wakamiya, A. (2011). Wie viel Fläche braucht ein Mensch um sich zu ernähren? *landinfo, 7*, S. 44-46.

Wrighton, S., & Reiter, K. (2016). CycleLogistics – Moving Europe Forward! In *Transportation Research Procedia. 12.* (S. 950-958). doi:10.1016/j.trpro.2016.02.046.

WWF Deutschland. (2015). *Das große Wegschmeißen. Vom Acker bis zum Verbraucher: Ausmaß und Umwelteffekte der Lebensmittelverschwendung in Deutschland.* (W. Deutschland, Hrsg.)

Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D., Huang, Y., . . . Yao, Y. (29.. August 2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *PNAS, 114*, S. 9326-9331. doi:10.1073/pnas.1701762114