



KONSTANZ | KLIMASCHUTZ

# ENERGIENUTZUNGSPLAN KONSTANZ

*Erstellt von der Tilia GmbH, Smart Geomatics Informationssysteme und  
der Energieagentur Ravensburg gGmbH im Auftrag der Stadt Konstanz*

## Übersicht Ansprechpartner

Der Energienutzungsplan wurde im Jahr 2018 erstellt von



**Tilia GmbH**

Inselstr. 31  
04103 Leipzig

Ansprechpartnerin:  
Nelly Lehr (Projektleitung)  
Nelly.Lehr@tilia.info



**Smart Geomatics**

Haid-und-Neu-Str. 7  
76131 Karlsruhe

Ansprechpartner;  
Thomas Beck (Geschäftsführer)  
Thomas.Beck@smartgeomatics.de



**Energieagentur Ravensburg gGmbH**

Zeppelinstr. 16  
88212 Ravensburg

Ansprechpartner:  
Walter Göppel (Geschäftsführer)  
Goeppel@energieagentur-ravensburg.de

Im Auftrag und unter Mitwirkung von



**Stadt Konstanz**

Amt für Stadtplanung und Umwelt  
Untere Laube 24  
78462 Konstanz

Ansprechpartner:  
Lorenz Heublein  
Lorenz.Heublein@konstanz.de

## Fördermittelgeber

Der vorliegende Energienutzungsplan wurde im Rahmen der nationalen Klimaschutzinitiative zu 50 % durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Eine Komplementärförderung in Höhe von 20 % wurde durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg gewährt.

Förderkennzeichen 03K03911

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und nukleare Sicherheit



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

## Inhalt

Übersicht Ansprechpartner .....	2
Abbildungsverzeichnis .....	6
Tabellenverzeichnis .....	7
Abkürzungsverzeichnis .....	8
Executive Summary .....	11
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>21</b>
1.2 Bisherige Klimaschutzaktivitäten der Stadt Konstanz .....	23
<b>2. Ziele und Vorgehen .....</b>	<b>25</b>
2.1 Ziele des Energienutzungsplans .....	25
2.2 Vorgehen bei der Erarbeitung des Energienutzungsplans .....	26
<b>3. Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz .....</b>	<b>28</b>
3.1 Wärmebilanz .....	29
3.1.1 Methodik zur Ermittlung der Wärmebedarfe und der Wärmeerzeugung .....	29
3.1.2 Wärmebedarf der Gebäude in Konstanz .....	31
3.1.3 Wärmebedarf nach Sektoren .....	34
3.1.4 Wärmedichten .....	35
3.1.5 Absoluter Wärmebedarf räumlich aufgegliedert .....	36
3.1.6 Wärmeerzeugung .....	39
3.2 Strombilanz .....	41
3.2.1 Stromverbrauch der Gebäude .....	41
3.2.2 Stromverbrauch nach Sektoren .....	43
3.2.3 Stromerzeugung .....	44
3.3 Vorhandene Energieinfrastruktur .....	45
3.3.1 Netze und Erzeugungsanlagen für Nahwärmeversorgung .....	45
3.3.3 Standorte regenerativer Energieerzeugungsanlagen .....	46
3.4 Treibhausgasemissionen .....	48
3.4.1 Treibhausgasemissionen durch Energieerzeugung .....	48
3.4.2 Treibhausgasemissionen durch Stromimporte .....	49
<b>4. Potenzialanalyse .....</b>	<b>49</b>
4.1 Potenziale für die Nutzung erneuerbarer Energien .....	49
4.1.1 Abwasserwärme .....	49
4.1.2 Dachflächennutzung Solar .....	51
4.1.3 Oberflächennahe Geothermie .....	55
4.1.4 Tiefengeothermie .....	59
4.1.5 Windkraft .....	59
4.1.6 Wasserkraft .....	62
4.1.7 Biomasse .....	62

4.2 Szenarien zur Entwicklung des Energiesektors.....	65
4.2.1 Szenarien zur Entwicklung des Wärmebedarfs.....	65
4.2.2 Szenarien zur Entwicklung des Strombedarfs.....	72
4.2.3 Szenarien Energieerzeugung .....	78
4.2.4 Nutzung von innovativen Technologien .....	96
4.3 Potenziale für die zukünftige Infrastruktur für Wärme und Strom	103
4.3.1 Einsatz von KWK-Anlagen.....	103
4.3.2 Einsatz von Mieterstrommodellen.....	103
4.3.3 Bau von Hoch- und Niedertemperaturnetzen.....	106
4.3.5 Dezentrale Wärmelösungen .....	109
4.3.6 Aufbau von Energieerzeugungsanlagen durch Energieversorger .....	110
4.3.7 Seewasserwärmenutzung .....	112
<b>5. Übersicht Energieerzeugungstechnologien .....</b>	<b>115</b>
5.1 Erdgas-KWK .....	115
5.2 Erdgas-Brennwerttherme .....	116
5.3 Solarthermie.....	117
5.4 Geothermie .....	118
5.5 Biomasse .....	120
5.6 Photovoltaik.....	121
<b>6. Betrachtung von Einzelgebieten.....</b>	<b>122</b>
6.1 Schwerpunktgebiete.....	122
6.2 Neubaugebiete.....	134
<b>7. Maßnahmenkatalog.....</b>	<b>145</b>
7.1 Begleitende Maßnahmen .....	145
7.2 Maßnahmen für Energieerzeugungstechnologien und Energieeinsparungen .....	148
7.3 Vergleich der Maßnahmen .....	157
<b>8. Akteursbeteiligung und Kommunikation .....</b>	<b>160</b>
8.1 Beteiligung der Schlüsselakteure .....	160
8.2 Beteiligung der Öffentlichkeit.....	160
8.3 Kommunikationsstrategie .....	161
<b>9. Verstetigung und Controlling.....</b>	<b>161</b>
<b>10. Ausblick und nächste Schritte .....</b>	<b>163</b>
Anhänge.....	165
Quellen.....	180

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Emissionen – Szenarienvergleich .....	13
Abbildung 2: Gesamtkosten Energieerzeugung von 2018 – 2015 – Szenarienvergleich.....	14
Abbildung 3: Absenkpfad zur Reduktion der energiebedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	24
Abbildung 4: Wärmebedarf nach Sektoren .....	34
Abbildung 5: Endenergiebedarfsdichte (Wärme) auf Straßenabschnittsebene .....	36
Abbildung 6: Absoluter Wärmebedarf auf Baublockebene.....	37
Abbildung 7: Spezifischer Endenergiebedarf auf Baublockebene.....	38
Abbildung 8: Wärmeerzeugung nach Energieträgern in Konstanz.....	41
Abbildung 9: Wärmeerzeugung nach Energieträgern in Deutschland.....	41
Abbildung 10: Stromverbrauch in Konstanz nach Sektoren .....	44
Abbildung 11: Stromerzeugung im Stadtgebiet Konstanz nach Energieträgern .....	45
Abbildung 12: KWK-Anlagen und Wärmenetze auf dem Gebiet der Stadt Konstanz .....	46
Abbildung 13: Verteilung der nach dem EEG geförderten Anlagen .....	47
Abbildung 14: Verteilung der Emissionen nach Energieträgern .....	48
Abbildung 15: Potenzial Abwasserwärmenutzung .....	51
Abbildung 16: Solarpotenzial Stadt Konstanz .....	54
Abbildung 17: Geothermiefpotenzial spezifische Wärmeentzugsleistung bei 1.800 h/a .....	57
Abbildung 18: Geothermiefpotenzial spezifische Wärmeentzugsleistung bei 2.400 h/a .....	58
Abbildung 19: Potenzial Windkraft.....	60
Abbildung 20: Ausschnitt des Regionalplans des Regionalverb. Hochrhein-Bodensee .....	61
Abbildung 21: Standorte Wasserkraft .....	62
Abbildung 22: Theoretische Potenziale erneuerbarer Energien .....	64
Abbildung 23: Wärmebedarf Wohngebäude bis 2050.....	67
Abbildung 24: Wärmebedarf Gebäude für öffentliche Zwecke bis 2050.....	68
Abbildung 25: Wärmebedarf GHD und Industrie.....	70
Abbildung 26: Entwicklung des Wärmebedarfs nach Sektoren und in Abhängigkeit der Sanierungsrate.....	71
Abbildung 27: Szenarien Stromverbrauch Haushalte .....	73
Abbildung 28: Szenarien Stromverbrauch Gebäude für öffentliche Zwecke.....	75
Abbildung 29: Strombedarf inkl. Elektromobilität und Wärmepumpen.....	77
Abbildung 30: Energiebedingte Emissionen im Szenario „Business-as-usual“ .....	82
Abbildung 31: Erzeugung „Klimaschutzszenario“ .....	86

Abbildung 32: Entwicklung und Ersatz von KWK-Anlagen im „Klimaschutzszenario“ .....	87
Abbildung 33: Energiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen im „Klimaschutzszenario“ .....	89
Abbildung 34: CO <sub>2</sub> -Emissionen „Klimaschutzszenario“ (extrapolierter Emissionsfaktor Stromimporte) .....	90
Abbildung 35: Investitionskosten Energieerzeugung 2018 – 2050 – Szenarienvergleich .....	91
Abbildung 36: Betriebskosten Energieerzeugung – Vergleich der Szenarien .....	92
Abbildung 37: Gesamtkosten Energieerzeugung – Vergleich der Szenarien .....	93
Abbildung 38: Entwicklung der Emissionen – Szenarienvergleich .....	94
Abbildung 39: Stromerzeugung aus Photovoltaik – Vergleich der Szenarien .....	96
Abbildung 40: Schematische Darstellung Mieterstrom (PV FINANCING) .....	104
Abbildung 41: Übersicht Schwerpunktgebiete .....	125
Abbildung 42: Vergleich CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten Schwerpunktgebiete .....	133
Abbildung 43: Kostenvergleich Szenarien Schwerpunktgebiete .....	134
Abbildung 44: Übersicht Neubaugebiete .....	135
Abbildung 45: CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten der vorgeschlagenen Maßnahmen .....	158
Abbildung 46: Vergleich der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen (Vollkostenbetrachtung 2018-2050) .....	159

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Klimaschutzziele der Europäischen Union .....	22
Tabelle 2: Klimaschutzziele Deutschland .....	22
Tabelle 3: Durchschnittlicher Wärmebedarf der einzelnen Gebäudetypen .....	32
Tabelle 4: Absoluter und spezifischer Wärmebedarf ausgewählter kommunaler Liegenschaften .....	33
Tabelle 5: Durchschnittlicher Wärmebedarf pro Sektor und Gebäude .....	35
Tabelle 6: Wärmeerzeugung von KWK-Anlagen .....	39
Tabelle 7: Wärmeerzeugungsanlagen nach Brennstoffen .....	40
Tabelle 8: Stromverbrauch nach Gebäudearten .....	41
Tabelle 9: Absoluter und spezifischer Strombedarf ausgewählter kommunalen Liegenschaften .....	42
Tabelle 10: Überblick Solarpotenzial .....	55
Tabelle 11: Biomassepotenziale Stadt Konstanz .....	63
Tabelle 12: Einsparungen bei Sanierungen der Gebäude für öffentliche Zwecke .....	69

Tabelle 13: Einsparungen Strom Gebäude für öffentliche Zwecke .....	76
Tabelle 14: Übersicht Technologien der Szenarien .....	78
Tabelle 15: Annahmen Szenario „Business-as-usual“ .....	79
Tabelle 16: Kosten Technologien „Klimaschutzszenario“ .....	85
Tabelle 17: Übersicht über die Voraussetzungen sowie Vor- und Nachteile dezentraler Wärmeerzeugungstechnologien .....	110
Tabelle 18: Annahmen Modell zur thermischen Seewassernutzung .....	114
Tabelle 19: Ergebnisse Modell Seewasserwärmenutzung .....	115

## Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AfA	Absetzung für Abnutzungen
ARA	Abwasserreinigungsanlage
AWNA	Abwasserwärmenutzungsanlagen
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BAU	Business-as-usual
BHKW	Blockheizkraftwerk
DIN	Deutsches Institut für Normung
eea	European Energy Award
EEG	Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien
EEWärmeG	Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich
EWärmeG	Erneuerbare-Wärme-Gesetz des Landes Baden-Württemberg
EnEV	Energieeinsparverordnung
ewi	Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln
FAZ	Frankfurter Allgemeine Zeitung
FW	Fernwärme
GEMIS	Globales Emissionsmodell integrierter Systeme
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GIS	Geoinformationssystem
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunden
GWS	Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung mbH
h	Stunde



HTWG	Hochschule Konstanz Technik, Wirtschaft und Gestaltung
IGKB	Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee
IINAS	Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien
ISONG	Informationssystem oberflächennahe Geothermie
IWU	Institut für Wohnen und Umwelt
JAZ	Jahresarbeitszahl
KEA	Klimaschutz und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH
KEFF	Kompetenzstelle Energieeffizienz
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
km	Kilometer
kW	Kilowatt
kW <sub>p</sub>	Kilowatt peak – Bezeichnung für die elektrische Leistung von Solarzellen
kWh	Kilowattstunden
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung
LGRB	Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau
m	Meter
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunden
N	Norden
ORC	Organic Rankine Cycle
PV	Photovoltaik
RWI	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung
s	Sekunde
SWK	Stadtwerke Konstanz GmbH
t	Tonnen
TWh	Terrawattstunden
W	Watt
WOBAK	Städtische Wohnungsbaugesellschaft Konstanz
WEG	Wohnungseigentümergeinschaft

Liebe Leserinnen und Leser,

wie Freiburg und Heidelberg gehört Konstanz zu den Schwarmstädten in Baden-Württemberg, die zuletzt ein stetiges Wachstum erlebt haben. Auf dieses Wachstum wollen wir mit dem Handlungsprogramm Wohnen reagieren. Dieses sieht unter anderem den Bau von über 7.900 Wohnungen bis 2035 vor. Wollen wir unseren Teil zur Eindämmung der Erderwärmung beitragen, ist gerade in diesem Bereich neues Denken gefragt.

Der vorliegende Energienutzungsplan bezieht sich allerdings nicht nur auf die Art und Weise, wie wir neue Gebäude bauen und mit Energie versorgen – gleichzeitig geht es auch um den bisherigen Gebäudebestand. Gerade hier haben wir es als Stadt mit eigener Wohnungsbaugesellschaft und Stadtwerken selbst in der Hand, den Energieverbrauch zu reduzieren und erneuerbare Energien einzusetzen. Der Energienutzungsplan zeigt auf eindrückliche Weise, wie viel Arbeit noch vor uns liegt und wie viel wir dadurch jedoch auch erreichen können – nicht nur für den Klimaschutz, sondern auch für die regionale Wertschöpfung!

Als Stadt können und möchten wir gemeinsam mit unserer Wohnungsbaugesellschaft und unseren Stadtwerken neue Angebote schaffen und vermehrt eine Vorreiterfunktion einnehmen. Als Gebäudeeigentümer, Bauherren oder Mieter sind jedoch auch Sie gefragt, sich mit den Ihnen zur Verfügung stehenden Möglichkeiten auseinanderzusetzen. Für eine schnelle Übersicht empfehle ich einen Blick in den Maßnahmenkatalog und die Steckbriefe zu Schwerpunkt- und Neubaugebieten in diesem Bericht.

Mit dem Energienutzungsplan verfügen wir ab sofort über eine sehr gute Grundlage zum Aufbau einer zukunftsfähigen Energieversorgung in Konstanz. Lassen Sie uns die Jahrhundertaufgabe Energiewende gemeinsam meistern!

Ihr



Uli Burchardt  
Oberbürgermeister



## Executive Summary

Um die durch den Menschen verursachte Erwärmung des Klimasystems so gut es geht zu begrenzen, müssen weitreichende Veränderungen auf allen Ebenen – international, national, kommunal bis hin zum individuellen Verbrauchsverhalten – stattfinden. Bereits jetzt steht in Frage, ob das Ziel, die Erderwärmung gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter auf zwei Grad zu begrenzen, überhaupt noch zu erreichen sein wird. Je stärker die Erderwärmung darüber hinaus geht, desto unkontrollierbarer drohen die Folgen zu werden.

Auf kommunaler Ebene erkannte die Stadt Konstanz schon zu Beginn der 1990er Jahre die Verantwortung, durch verschiedene Maßnahmen zur Emissionsminderung ihren Anteil zum Klimaschutz beizutragen. Im Jahr 1992 trat die Stadt dem Klima-Bündnis bei, mit dem Ziel die eigenen Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % zu reduzieren. Ein erstes Klimaschutzkonzept mit emissionsenkenden Maßnahmen wurde 1995 erstellt. Seitdem erfolgten zwei Fortschreibungen, zuletzt wurde 2016 das integrierte Klimaschutzkonzept verabschiedet.

Durch die Teilnahme am European Energy Award (eea) seit 2008 wurden die Bemühungen in ein Managementsystem gebettet und außerdem 2012 durch die Verabschiedung der Charta der 2000-Watt-Städte mit einem konkreten Ziel bezüglich des spezifischen Energieverbrauchs pro Einwohner versehen. Aus dem Ziel des spezifischen Energieverbrauchs konnten konkrete Ziele für die energiebedingten Treibhausgasemissionen der Stadt Konstanz bis 2050 abgeleitet werden.

Mit der Erstellung des vorliegenden Energienutzungsplans, in welchem Potenziale zur Energieverbrauchsreduzierung identifiziert und Szenarien zur Umstellung auf erneuerbare Energien aufgestellt werden, erfolgte nun der nächste logische Schritt auf dem Weg zu mehr Klimaschutz und einer zukunftsfähigen Energieversorgung. Neben den ökologischen Zielen spielt dabei auch die regionale Wertschöpfung eine zentrale Rolle. Der Energienutzungsplan erleichtert es, treibhausgaseinsparende Maßnahmen nach Kriterien wie der langfristigen Wirtschaftlichkeit und der lokal am besten geeigneten Methode auszuwählen, deren Ausführung sinnvoll zu planen sowie im zukünftigen Verlauf die ökologischen Auswirkungen sichtbar zu machen.

### Vorgehensweise

Für die Erstellung des Energienutzungsplans wurde zuerst eine Bestandsaufnahme des Status quo in Konstanz mit einer Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz des Strom- und Wärmesektors sowie der Darstellung der vorhandenen Energieinfrastruktur durchgeführt. Anschließend wurden

mögliche Potenziale zur Nutzung der regenerativen Energien Abwasserwärme, Solarenergie, Umweltwärme, oberflächennahe und tiefe Geothermie, Wind- und Wasserkraft sowie Biomasse analysiert.

Auf Grundlage dieser Bestandsaufnahme und Potenzialanalyse konnten anschließend einzelne Schwerpunktgebiete mit einem hohen Potenzial für Energie- und Emissionseinsparungen identifiziert und untersucht werden. Als Ergebnis wurden konkrete Maßnahmen zur Reduktion des Treibhausgasausstoßes abgeleitet.

Während der gesamten Projektdauer wurden verschiedene Akteure wie Vertreter der Stadtverwaltung und der Stadtwerke Konstanz (SWK) einbezogen. Im Rahmen einer Öffentlichkeitsveranstaltung wurde der Energienutzungsplan zudem der Bevölkerung vorgestellt und es wurden mögliche Maßnahmen für private Akteure aufgezeigt. Um im Nachgang eine Kontinuität in der Umsetzung der identifizierten Maßnahmen zu erreichen und die Wirkung auf Energieverbrauch und Treibhausgasausstoß zu untersuchen, wurde die Entscheidung getroffen, ein Controlling-System in Form der regelmäßigen Erstellung einer Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz zu etablieren.

### **Szenario „Business-as-usual“ und „Klimaschutzszenario“**

Um zu identifizieren, wie sich der Konstanzer Gebäudebestand und die Energieinfrastruktur entwickeln müssen, um die ambitionierten Klimaschutzziele einzuhalten, wurden zwei mögliche Szenarien zur zukünftigen Energieversorgung und zur Entwicklung des Wärme- und Strombedarfs der Sektoren Wohnen, öffentliche Gebäude und Gewerbe untersucht. Das erste Szenario geht von einem „Business-as-usual“-Fall aus, also von einer Entwicklung, in der man größtenteils die etablierten Technologien weiter einsetzt und auch ansonsten keine größeren Anstrengungen zur Energieverbrauchsreduktion unternimmt. Das zweite Szenario orientiert sich hingegen an der Erreichung der Klimaschutzziele. Unter anderem wurde hier auch berücksichtigt, dass durch die vermehrte Verwendung von Wärmepumpen zur Gebäudebeheizung sowie durch die zunehmende Nutzung der Elektromobilität mit einem steigenden Strombedarf zu rechnen ist. Bei der Nutzung fossiler Energieträger zur Deckung des Wärmebedarfs wird im „Klimaschutzszenario“ dagegen von einem starken Rückgang bis zum Jahr 2030 (Erdgas) bzw. einer Reduktion auf null (Heizöl) ausgegangen. Die Verwendung der erneuerbaren Energiequellen wie z. B. Biomasse oder Wärme aus Seewasser, Abwasser sowie Luft (letztere jeweils in Verbindung mit elektrischen Wärmepumpen) steigt hingegen deutlich. Ein etwas geringerer Anstieg wird bei Geothermie und Solarthermie angenommen (vgl. Abschnitt 4.2.3.3).

Auch für die Photovoltaiknutzung auf Dachflächen wird ein starker Anstieg angenommen, genauso wie bei der Zahl energetisch sanierter Gebäude.

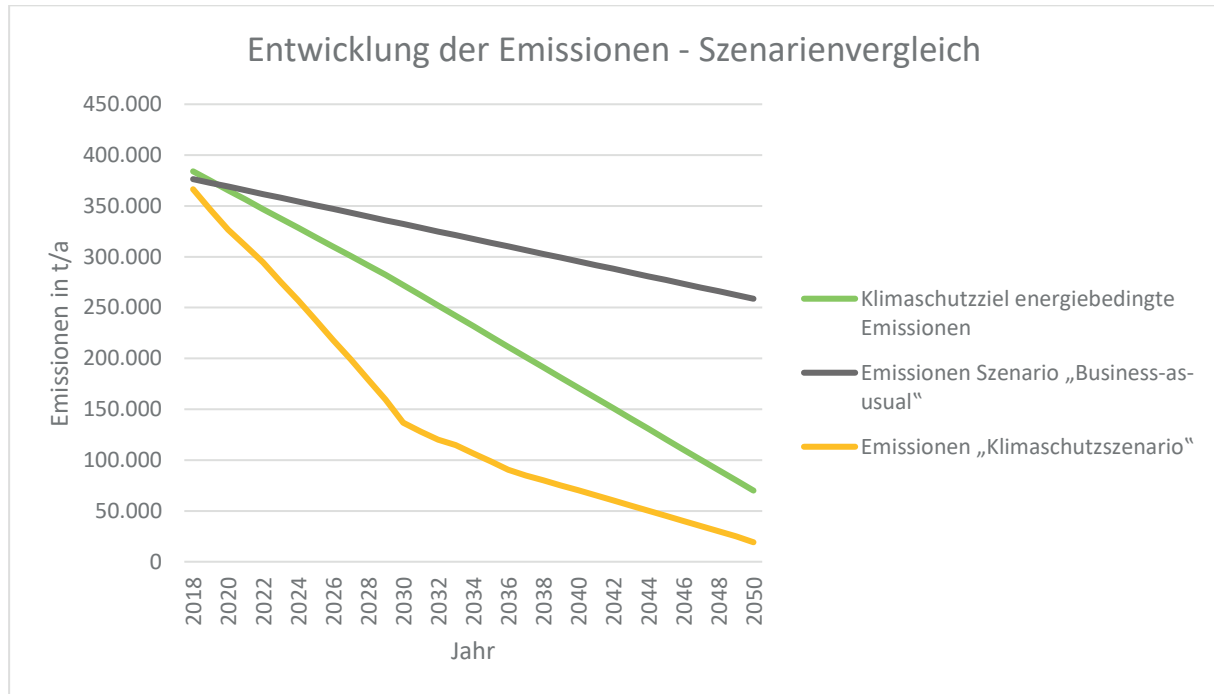


Abbildung 1: Entwicklung der Emissionen – Szenarienvergleich

Abbildung 1 vergleicht die Wirkung der beiden Szenarien hinsichtlich des Treibhausgasausstoßes. Sollten sich demnach bei Energieerzeugung und -verbrauch keine weitreichenden Veränderungen einstellen, werden die gesetzten Klimaschutzziele schon ab den frühen 2020er Jahren verfehlt. Mit der im Szenario „Klimaschutz“ beschriebenen Vorgehensweise könnten die Klimaschutzziele aus technischer Sicht erreicht werden.

Auch seitens der wirtschaftlichen Betrachtung der beiden Szenarien ist zu erwarten, dass sich die Umstellung auf erneuerbare Energien im Rahmen des „Klimaschutzszenarios“ zukünftig als die bessere Option als das Szenario „Business-as-usual“ erweisen wird. Wie in Abbildung 2 ersichtlich, sind die Gesamtkosten der Energieerzeugung von 2018 – 2050 in beiden Szenarien vergleichbar, obwohl bei den fossilen Energieträgern nur von moderaten Preissteigerungen ausgegangen wurde.

### Handlungsempfehlung zur Erreichung der Klimaschutzziele

Als Ergebnis der vorliegenden Untersuchung können Empfehlungen für die zukünftige Gestaltung der Konstanzer Energielandschaft ausgesprochen werden. Um einen möglichst hohen

Effekt von Maßnahmen zur Effizienzsteigerung und zur Treibhausgaseinsparung zu erreichen, sollten sich die Bemühungen zunächst auf Bereiche mit hohem Potenzial konzentrieren. Zu diesem Zweck wurden mehrere Gebiete identifiziert, für welche ortsspezifische Empfehlungen ausgesprochen werden (vgl. Abschnitt 6.1).

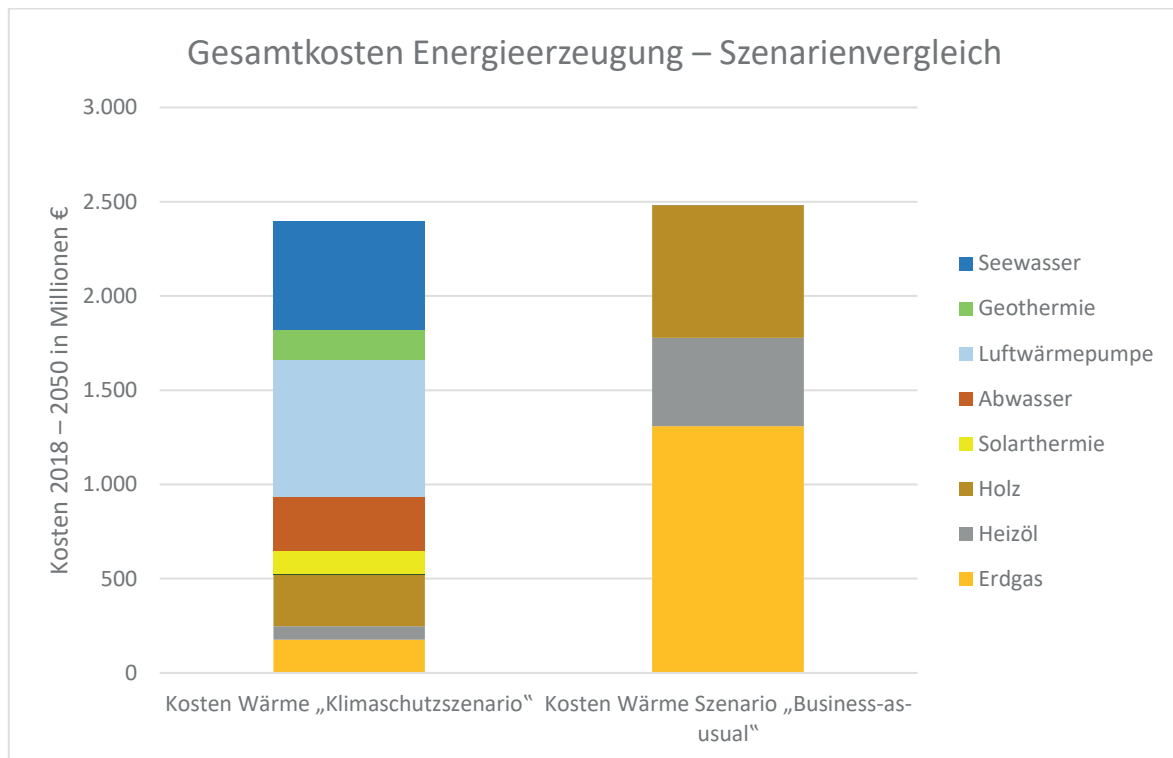


Abbildung 2: Gesamtkosten Energieerzeugung von 2018 – 2015 – Szenarienvergleich

Grundsätzlich wird zudem empfohlen, in Zukunft nur noch auf besonders effiziente und umweltfreundliche Technologien zu setzen, wobei neben langjährig erprobten, perspektivisch auch hochinnovative Ansätze wie neuartige Solarenergieanwendungen (vgl. Abschnitt 4.2.4) berücksichtigt werden sollten.

Eine wichtige Rolle spielen auch Anpassungen der Infrastruktur wie z. B. der Ausbau von Wärmenetzen (vgl. Abschnitt 4.3). Wärmenetze begünstigen die Verwendung umweltfreundlicher Technologien zur Wärmeherzeugung, da sie vergleichsweise schnell auf neue Wärmequellen umgestellt werden können. In Konstanz bietet sich aufgrund der geographischen Lage unter anderem die thermische Seewassernutzung in Niedertemperaturnetzen an. Es handelt sich hierbei um eine hochinnovative Technologie, die insbesondere für gut gedämmte Gebäude eine effiziente Wärmeherzeugung gewährleisten kann.

Um möglichst viele Akteure hinsichtlich der Belange des Klimaschutzes zu sensibilisieren und zu aktivieren, ist eine breit aufgestellte Öffentlichkeitsarbeit zum Thema Sanierung und Energieeffizienz im privaten wie im gewerblichen Sektor unerlässlich; auch die Vorbildfunktion der öffentlichen Hand ist dabei nicht zu vernachlässigen.

Zusammenfassung der empfohlenen Maßnahmen	
Bei Ersatz von dezentralen Heizungsanlagen sukzessive Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien (Solarenergie, Umweltwärme, Abwasserwärme, Biomasse)	
<p>Stadt Konstanz</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmeversorgung von kommunalen Liegenschaften durch Anlagen zur Nutzung von Solar- und Geothermie sowie Abwasserwärme, ggf. Biomasse.</li> <li>• Schaffung von Informationsangeboten zu sinnvollen Einsatzzwecken von erneuerbaren Energieträgern mit Verweis auf monetäre Anreize (z. B. Fördermöglichkeiten)</li> <li>• ggf. Auflegen eines eigenen kommunalen Förderprogramms, z. B. in Anlehnung an „Sanierungsbonus“ der Stadt Singen</li> </ul>	<p>SWK</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contractingangebote für Wärmepumpen und Solarthermieanlagen</li> <li>• Beibehaltung eines vergleichsweise günstigen Wärmepumpen-Stromtarifs</li> </ul>
Ausbau der zentralen Wärmeversorgung innerhalb der aufgezeigten Schwerpunktgebiete mit den Technologien zur Energieerzeugung	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seewasserwärmenutzung (mittel- bis langfristig)</li> <li>• Abwasserwärmenutzung (mittelfristig)</li> <li>• Hocheffiziente KWK (BHKW + Wärmepumpe) sowie Biomasse (kurzfristig)</li> </ul>	
<p>Stadt Konstanz</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaffung von Informationsangeboten zur netzgebundenen Wärmeversorgung</li> <li>• Anschluss kommunaler Gebäude an die netzgebundene Wärmeversorgung</li> </ul>	<p>SWK</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prüfung der rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen der Seewasserwärmenutzung sowie Etablierung von Pilotprojekten</li> <li>• Erweiterung bzw. Neubau und Betrieb von Nahwärmenetzen</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bereitstellung kommunaler Gebäude für Technikzentralen und Beheizung kommunaler Gebäude mit Nahwärme („Ankergebäude“)</li> <li>• Berücksichtigung der regenerativen Energieversorgungs-lösungen bei der Planung von Neubaugebieten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Errichtung und Betrieb von Anlagen zur Nutzung von Biomasse, Abwasserwärme und Geothermie</li> </ul>
--	---

Einsparung von Energie durch die gezielte Weiterentwicklung der Schwerpunktgebiete mit Hilfe integrierter Quartierskonzepte	
<p>Stadt Konstanz</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energetische Sanierung der kommunalen Liegenschaften, ggf. in Verbindung mit Energie-Einsparcontracting</li> <li>• Schaffung von Informationsangeboten bzgl. energetischer Sanierungsmaßnahmen</li> <li>• Erarbeitung integrierter Quartierskonzepte</li> <li>• ggf. finanzielle Förderung energetischer Sanierungsmaßnahmen</li> </ul>	<p>SWK</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• evtl. Teilfinanzierung der integrierten Quartierskonzepte</li> <li>• Schaffung von Angeboten in den Quartieren (z. B. Anschlussmöglichkeiten an lokale Wärmenetze)</li> </ul>
Nutzung Solarpotenzial Stadt Konstanz bis 2030	
<p>Stadt Konstanz</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausrüstung kommunaler Liegenschaften mit Solaranlagen (Strom und Wärme)</li> <li>• Schaffung von Informationsangeboten für interessierte Bürger</li> <li>• Ansprache der Besitzer größerer ungenutzter Dachflächen</li> </ul>	<p>SWK</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausweiten von Contractingangeboten für alle sinnvoll erschließbaren Dachflächen</li> </ul>



### Verwendung nachhaltiger Energiequellen und Technologien

Um nennenswerte Beiträge zum Klimaschutz zu leisten, muss die Energieerzeugung in Konstanz zukünftig deutlich stärker auf nachhaltige Technologien der Wärmeversorgung zurückgreifen. Derzeit stellt die Verwendung von Erdgas-BHKW die häufigste Wärmequelle der Konstanzer Bestands-Wärmenetze dar. Obwohl durch die KWK-Technologie nach gängiger Bilanzierung schon etwa 30 – 40 % der Treibhausgase im Vergleich zur konventionellen Wärmeerzeugung eingespart werden, ist zukünftig die Verwendung regenerativer Energien den fossilen vorzuziehen. Fossile KWK kann also bestenfalls noch in der Versorgung des Gebäudebestands als Brückentechnologie auf dem Weg zu einer emissionsarmen Wärmeversorgung dienen.

Ähnliches gilt für den Einsatz von erdgasbetriebenen Brennwertgeräten: Obwohl die Brennwertnutzung zu hohen Wirkungsgraden und damit zu einer effizienteren Ausnutzung des Energiegehalts des Brennstoffes führt, als dies durch viele andere Technologien möglich ist, muss konsequenterweise schnellstmöglich auf die Verwendung fossiler Energieträger verzichtet werden.

Sinnvolle Alternativen stellen Anlagen zur Verwendung erneuerbarer Energien wie Solarenergie, Umweltwärme, Geothermie oder Biomasse dar. Die Erzeugung elektrischer oder thermischer Energie mittels **Solarenergie** verursacht beispielsweise während des Betriebs kaum Treibhausgasemissionen. Sie sollte daher bis zum Jahr 2050 einen bedeutenden Anteil der Energieerzeugungsanlagen in Konstanz stellen. **Wärmepumpen** zur Hebung des geothermischen Potenzials erweisen sich vor allem bei Betrieb mit Ökostrom und bei einem geringen Wärmebedarf (unter 20.000 kWh/a) als emissionsarme Alternative zur Wärmeerzeugung mit fossilen Energieträgern. **Biogene Brennstoffe wie Bioöl, Biogas oder Holz** setzen bei der Verbrennung zudem nur die Menge an Treibhausgasen frei, die durch Photosynthese in der Pflanze gebunden wurde – sie sind damit bilanziell nahezu CO<sub>2</sub>-neutral.

### Zukünftige Berücksichtigung hochinnovativer Technologien

Neben den beschriebenen gängigen Maßnahmen zur Reduzierung der Konstanzer Treibhausgasemissionen wird auch empfohlen, in Zukunft verschiedene innovative Technologien im Bereich Strom, Wärme und der Sektorenkopplung zu berücksichtigen, sobald diese technisch ausgereift sind und sich wirtschaftlich darstellen lassen. Hierzu wird auf Abschnitt 4.2.4 verwiesen.

## **Anpassungen der Energieinfrastruktur**

Die Konstanzer Energieinfrastruktur muss im Sinne einer erfolgreichen Energiewende hinsichtlich der Energieerzeugung, -verteilung und -vermarktung zahlreiche Veränderungen erfahren. Die Verbindung von hocheffizient und regenerativ betriebenen Wärmeerzeugungsanlagen mit Wärmenetzen (Hoch- oder Niedertemperaturbetrieb) innerhalb der Stadt sollte in Gebieten mit entsprechender Wärmedichte als Alternative zu konventionellen, dezentralen Lösungen der Wärmeerzeugung etabliert werden. In welchen der Schwerpunktgebiete sich diese Option besonders anbietet, geht aus Abschnitt 6.1 hervor.

Um den in künftig mit Biomasse zu betreibenden BHKW-Anlagen erzeugten Strom zu verkaufen, kann aus einer Vielzahl an Vermarktungsmodellen gewählt werden. Eine attraktive Option, um die Energie möglichst gewinnbringend zu vermarkten bzw. um die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme zu erhöhen, ist der direkte Verkauf des in den BHKW erzeugten Stroms über bilaterale Lieferverträge an Endkunden (Mieterstrom) sowie Großverbraucher. Dies verringert Preisschwankungen und trägt zur Maximierung des Erlöses bei.

Mieterstrommodelle ermöglichen es, in Photovoltaikanlagen oder BHKW-Anlagen erzeugten elektrischen Strom direkt an die Mieter des Gebäudes in bzw. auf dem der Strom erzeugt wird, zu verkaufen. Durch die Vermeidung von Strompreisbestandteilen wie dem Netznutzungsentgelt und der Konzessionsabgaben und eine spezielle Förderung für Photovoltaikanlagen können sowohl für Endkunden als auch Betreiber attraktive Preise erzielt werden.

Um die Anzahl der genutzten Dachflächen zu erhöhen, können Hauseigentümer ohne Interesse an der Investition in eine eigene Photovoltaikanlage ihre Dächer zudem im Rahmen von Pachtmodellen zur Verfügung stellen. Derartige Angebote gibt es bei den SWK teils bereits, zudem hat die Stadt Tübingen gute Erfahrungen mit dem „swt-Energiedach“ gemacht. Die Gebäude mit dem diesbezüglich höchsten Potenzial wurden im Rahmen der Erstellung des Energienutzungsplans identifiziert. Gegebenenfalls bietet sich in diesem Zusammenhang auch die Einführung einer Solarpflicht für den Neubau nach Tübinger Vorbild an.

Als direkter Anrainer des Bodensees und des Seerheins sollte Konstanz außerdem Potenziale, die durch das vorhandene Oberflächenwasser bestehen, heben. In besonderem Maße eignen sich nach einer Ertüchtigung des Gebäudebestands dafür die Stadtteile, die direkt an den Bodensee oder den Seerhein grenzen. Theoretisch könnten auf diesem Weg bis 2050 rund 20 % des Wärmebedarfs regenerativ gedeckt werden. Zusätzlich besteht in der Gebäudekühlung eine weitere Anwendungsmöglichkeit der Seewasserwärme (vgl. Abschnitt 4.3.7).

### Priorisierung einzelner Gebiete

Die auf Wohnblockebene durchgeführte Potenzialanalyse macht es möglich, sowohl Bestands- als auch Neubauquartiere mit hohem energetischem Optimierungspotenzial der Energieversorgung zu identifizieren und hinsichtlich möglicher Treibhausgaseinsparmaßnahmen genauer zu untersuchen. Priorisiert wurden Gebiete mit einer hohen Wärmedichte, in denen öffentliche Ankergebäude, also öffentliche Liegenschaften mit Sanierungsbedarf, die als Ausgangspunkt für die lokal umzusetzenden Maßnahmen dienen können, vorhanden sind. Weiterhin sind idealerweise große Verbraucher vorhanden und die Erdgasinfrastruktur nicht oder nur teilweise ausgebaut (hoher Anteil Heizölnutzung). Sofern sich in direkter Nachbarschaft ein bestehendes Wärmenetz befindet, wurde das Gebiet aufgrund des Nahwärmeausbaupotenzials als Potenzialgebiet für eine zentrale Wärmeversorgung ausgewählt.

Auf diesem Weg konnten die folgenden sieben Schwerpunktgebiete im Bestand für die genauere Untersuchung und die Durchführung von Maßnahmen zur Treibhausgaseinsparung identifiziert werden:

- Geschwister-Scholl-Schule (Fürstenberg)
- Verkehrslandeplatz Nord (Industriegebiet)
- Berchen Gebiet (Wollmatingen)
- Brückenkopf Nord bis Benediktinerplatz (Petershausen-West)
- Nördlicher Bereich des Stadtteils Paradies
- Altstadt-Süd in Verbindung mit Stadelhofen (Altstadt)
- Ortsteil Litzelstetten

Aufgrund des erhöhten Einsparpotenzials und der günstigen Rahmenbedingungen bezüglich alternativer Energieversorgungslösungen wird empfohlen, diesen und ähnlichen Gebieten Vorrang einzuräumen. In Abschnitt 6.1 befinden sich Informationen über das spezifische Potenzial des jeweiligen Gebiets.

Weiterhin wurden acht Neubauvorhaben aus dem Handlungsprogramm Wohnen in Hinblick auf die zukünftige Energieversorgung einer Betrachtung unterzogen:

- Bücklestraße (Petershausen-West)
- Tennisclub (Petershausen-Ost)
- Weiherhof (Petershausen-West)
- Sportplatzverlagerung (Fürstenberg)
- Nördlich Hafner (im Norden von Wollmatingen)

- Petershauser Bahnhof (Petershausen-West)
- Gerstäcker (Wollmatingen)
- Döbele (Altstadt)

### Fazit

Wird die derzeitige Energieerzeugung in Konstanz weiter genutzt oder lediglich erneuert, werden schon zu Beginn der 2020er Jahre die städtischen Klimaschutzziele verfehlt werden. Um das Ziel eines nennenswerten Beitrags zur Eindämmung der Erderwärmung gemäß der Klimaschutzziele zu erreichen, müssen neue Strategien angewandt und regenerative Technologien genutzt werden. Das „Klimaschutzszenario“ im vorliegenden Bericht zeigt einen entsprechenden Pfad und dessen Implikationen auf.

## 1. Einleitung

Der globale Klimawandel und die damit einhergehenden Folgen gehören zu den größten globalen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Um den voranschreitenden Anstieg der Erderwärmung zu stoppen, sind grundlegende Änderungen in allen treibhausgasrelevanten Sektoren notwendig. Dies betrifft vor allem die Bereiche Energie, Verkehr und Landwirtschaft.

Insbesondere bei der Energieerzeugung und dem Energieverbrauch gibt es Handlungsbedarf. Zum einen, weil in der Energieerzeugung weltweit noch größtenteils fossile Brennstoffe verwendet werden (BP 2018), zum anderen, weil die Nutzung von Energie fast alle Gesellschafts- und Lebensbereiche beeinflusst. Die Abkehr von fossilen Energieträgern durch Umstellung der Energieerzeugung und Energieverbrauchsreduktionen erfordert deshalb Änderungen auf allen Ebenen – international, national, kommunal und individuell.

Die Stadt Konstanz hat diesen Handlungsbedarf erkannt, sie ist bereits seit Beginn der 1990er Jahre im Klimaschutz aktiv (PÖYRY; LBST 2016). Aufbauend auf dem städtischen Klimaschutzkonzept wurde der vorliegende Energienutzungsplan erarbeitet, der unter anderem Wege zu einer emissionsarmen Energieversorgung in Konstanz aufzeigen soll.

Neben wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Versorgungssicherheit stellt der Klimaschutz ein elementares Kriterium für die Planung der zukünftigen Energieversorgung dar. Aus diesem Grund werden zuerst die klimaschutzrechtlichen Rahmenbedingungen für die energiebedingten Emissionen der Stadt Konstanz vorgestellt, bevor die Ergebnisse des Energienutzungsplans inklusive Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen dargelegt werden.

### 1.1 Energiepolitische Zielsetzungen

Die energiepolitischen Zielsetzungen der Stadt Konstanz werden maßgeblich von den energiepolitischen Zielen der Europäischen Union, der Bundesrepublik Deutschland und des Landes Baden-Württemberg beeinflusst.

#### **Klimaschutzziele der Europäischen Union**

Die Europäische Union hat im Jahr 2014 Klimaschutzziele für ihre Mitgliedsstaaten beschlossen. Dabei wurden Ziele für die Jahre 2020, 2030 und 2050 festgelegt. In der folgenden Tabelle 1 sind die Klimaschutzziele aufgelistet, die direkten Einfluss auf den Energiesektor haben:

Tabelle 1: Übersicht über die Klimaschutzziele der Europäischen Union

<b>Ziele bis 2020</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verringerung der Treibhausgasemissionen um mindestens <b>20 %</b> gegenüber 1990</li> <li>• <b>20 %</b> Energie aus erneuerbaren Energiequellen</li> <li>• <b>20 %</b> mehr Energieeffizienz</li> </ul>
<b>Ziele bis 2030</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verringerung der Treibhausgasemissionen um <b>40 %</b></li> <li>• mindestens <b>32 %</b> EU-Energie aus erneuerbaren Quellen</li> <li>• Steigerung der Energieeffizienz um <b>32,5 %</b></li> <li>• <b>15 %</b> Verbundbildung bei den Stromnetzen (d. h. 15 % des in der EU erzeugten Stroms kann in andere EU-Länder exportiert werden)</li> </ul>
<b>Ziel bis 2050</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verringerung der Treibhausgasemissionen um <b>80 bis 95 %</b> gegenüber 1990</li> </ul>

(EUROPÄISCHE UNION 2016)

### Klimaschutzziele Deutschland

Auch in Deutschland gibt es seit 2010 nationale Klimaschutzziele, die in einigen Fällen sogar über die Klimaschutzziele der Europäischen Union hinausgehen. In der folgenden Tabelle 2 ist eine Übersicht über die wichtigsten Klimaschutzziele auf Bundesebene abgebildet:

Tabelle 2: Klimaschutzziele Deutschland

	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
<b>Treibhausgasemissionen (gegenüber 1990)</b>	- 40 %	- 55 %	- 70 %	- 80 – 95 %
<b>Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttoenergieverbrauch</b>	18 %	30 %	45 %	60 %
<b>Einsparung Primärenergieverbrauch (gegenüber 2008)</b>	- 20 %	–	–	- 50 %
<b>Einsparung Bruttostromverbrauch (gegenüber 2008)</b>	- 10 %	–	–	- 25 %
<b>Einsparung Wärmebedarf Gebäude (gegenüber 2008)</b>	- 20 %	–	–	–

(MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT 2017)

## Klimaschutzziele Baden-Württemberg

Neben den Klimaschutzzielen auf europäischer und Bundesebene wurden Klimaschutzziele für das Land Baden-Württemberg gesetzlich beschlossen. 2013 beschloss die Landesregierung von Baden-Württemberg das „Klimaschutzgesetz“, in welchem eine Reduktion des Treibhausgasausstoßes um 25 % bis 2020 und um 90 % bis 2050 (gegenüber 1990) festgelegt wurde (MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG).

## 1.2 Bisherige Klimaschutzaktivitäten der Stadt Konstanz

Die Stadt Konstanz ist bereits seit Anfang der 1990er Jahre im Klimaschutz aktiv. Im Jahr 1992 trat die Stadt dem Klima-Bündnis bei, einem Bündnis von über 1.700 Kommunen und anderen Organisationen, das sich dem Klimaschutz verschrieben hat. Ziel der Mitgliedskommunen ist es unter anderem, den Ausstoß von Treibhausgasemissionen bis 2030 gegenüber 1990 zu halbieren. Zu Beginn der 1990er Jahre, 20 Jahre vor dem Beschluss der Klimaschutzziele der Bundesregierung (55 % Treibhausgasreduktion bis 2030, siehe Abschnitt 1.1), nahmen die Mitgliedskommunen mit der Festlegung dieses Ziels eine Vorreiterrolle ein (KLIMA-BÜNDNIS). Um Maßnahmen für die Reduzierung von Treibhausgasemissionen zu erarbeiten, folgte in Konstanz im Jahr 1995 die Erarbeitung eines ersten Klimaschutzkonzepts, das im Jahr 2007 fortgeschrieben wurde. Mit der Verabschiedung des Klimaschutzkonzepts im Jahr 2007 wurde auch die Teilnahme am European Energy Award (eea) vom Gemeinderat der Stadt Konstanz beschlossen (PÖYRY; LBST 2016).

Der eea ist ein Qualitätsmanagementsystem und Zertifizierungsverfahren für kommunale Energieeffizienz und Klimaschutz. Die teilnehmenden Kommunen setzen sich Ziele zur Treibhausgas- und Energieverbrauchsreduktion und werden je nach Zielerreichungsgrad mit dem eea in verschiedenen Kategorien zertifiziert. Mit der Teilnahme am eea wurde in Konstanz ein energiepolitisches Arbeitsprogramm mit Maßnahmen beschlossen, die bereits im Klimaschutzkonzept empfohlen wurden. Die Maßnahmen werden von einem „Energieteam“ (unter Leitung des Amtes für Stadtplanung und Umwelt und bestehend aus Vertretern verschiedener Verwaltungsabteilungen und der Stadtwerke Konstanz) alle zwei Jahre fortgeschrieben und mithilfe des eea auf Erfolg überprüft (STADT KONSTANZ).

Seit 2012 ist Konstanz zudem Mitglied in der 2.000-Watt-Gesellschaft. Die 2.000-Watt-Gesellschaft hat ihren Ursprung in der Schweiz. Sie verfolgt das Ziel, den Energieverbrauch auf maximal 2.000 Watt Dauerleistung pro Einwohner zu reduzieren. Davon darf nicht mehr als 500

Watt mit fossilen Brennstoffen erzeugt werden; das entspricht insgesamt etwa einer Tonne CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Einwohner und Jahr (STADT KONSTANZ). Aus den Zielen der 2.000-Watt-Gesellschaft wurde auch ein Absenkpfad zur Reduktion der energiebedingten Treibhausgasemissionen auf dem Gebiet der Stadt Konstanz abgeleitet. Die folgende Abbildung 3 stellt den Absenkpfad grafisch im Vergleich zu den Klimaschutzzielen von Baden-Württemberg dar.

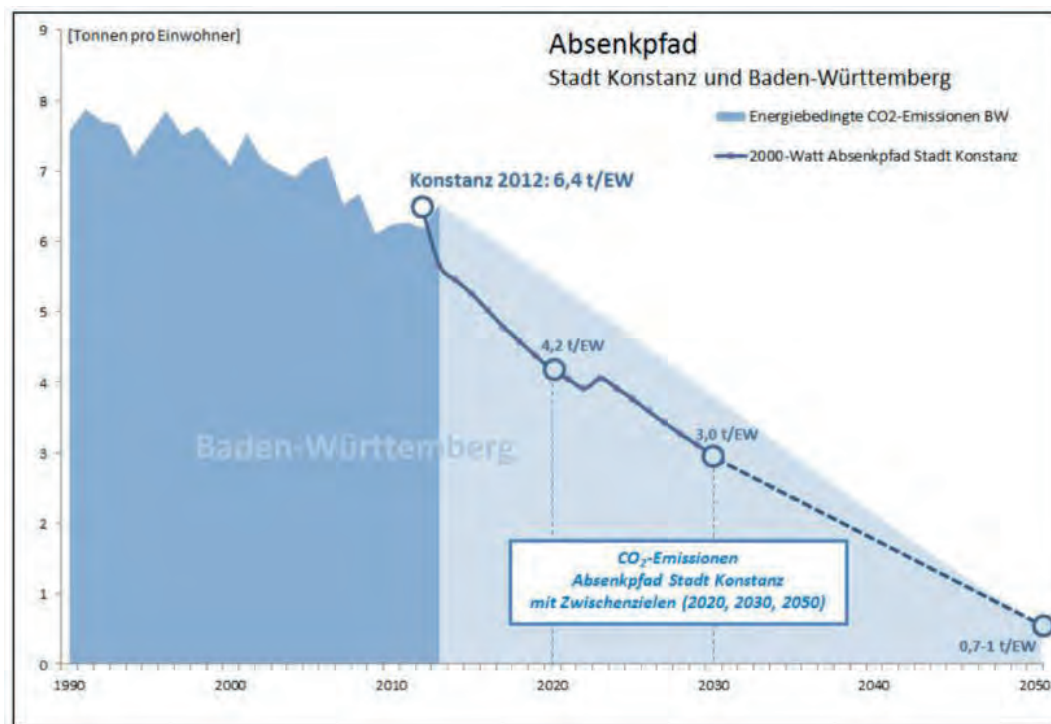


Abbildung 3: Absenkpfad zur Reduktion der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen  
(Fitz in PÖYRY; LBST 2016)

Da die Werte aus dem hier abgebildeten Absenkpfad im Wesentlichen den Klimaschutzzielen der Europäischen Union und der Bundesregierung entsprechen, werden im vorliegenden Energienutzungsplan die Klimaschutzziele der 2.000-Watt-Gesellschaft als Zielmarke für die zukünftige Energieversorgung übernommen. Diese Herangehensweise deckt sich auch mit derjenigen des Integrierten Klimaschutzkonzepts, das im Jahr 2016 fertiggestellt wurde. Im Rahmen des Klimaschutzkonzepts erfolgte zum einen die Erarbeitung des Absenkpfads aus Abbildung 3, zum anderen die Erstellung eines Maßnahmenplans, in welchem konkrete Klimaschutzmaßnahmen vorgeschlagen wurden (PÖYRY; LBST 2016). Eine der vorgeschlagenen Maßnahmen zur Erarbeitung weiterer Klimaschutzmaßnahmen aus dem Klimaschutzkonzept war die Erarbeitung des Energienutzungsplans. Infolgedessen wurde der vorliegende Energienutzungsplan im Jahr 2017 ausgeschrieben und in den Jahren 2017 und 2018 erstellt.



## 2. Ziele und Vorgehen

### 2.1 Ziele des Energienutzungsplans

Die zwei Hauptziele, die mithilfe des Energienutzungsplans erreicht werden sollen, bestehen in der Reduktion der Treibhausgasemissionen und der Einsparung von fossilen Brennstoffen im Energiebereich. Diese Ziele sollen hauptsächlich durch zwei Strategien erreicht werden: Zum einen durch die Reduzierung von Energieverbräuchen, zum anderen durch die Umstellung der Energieerzeugung auf erneuerbare Energien.

Für die Senkung des Energieverbrauchs werden im Energienutzungsplan Einsparpotenziale identifiziert (Abschnitte 4.2.1 und 4.2.2) und Maßnahmen zur Nutzung der Potenziale empfohlen (Kapitel 7).

Für die Umstellung auf erneuerbare Energien soll der Energienutzungsplan als Planungsinstrument für eine zukunftsfähige, nachhaltige Energieversorgung dienen. So können beispielsweise durch die erhobene Energiebilanz (Kapitel 3) schneller Orte mit besonders hoher Wärmebedarfsdichte identifiziert werden. Weiterhin wurde eine Potenzialanalyse für den Ausbau erneuerbarer Energien (Abschnitt 4.1) und den Ausbau der Energieinfrastruktur durchgeführt (Abschnitt 4.3). Die Identifizierung der Potenziale ermöglicht es, den Ausbau der erneuerbaren Energien gezielt und effizient voranzutreiben. Ein Beispiel für eine zukünftige Energieversorgung der Stadt Konstanz, die weitestgehend auf erneuerbaren Energien beruht, wird im Abschnitt 4.2.3 im „Klimaschutzszenario“ beschrieben. Dieses Szenario kann als grobe Planungsgrundlage und als Inspiration für eine zukünftige Energieversorgung dienen. Es ist aufgrund des langen Zeithorizonts bis 2050 aber auch einigen Unsicherheiten bezüglich der überkommunalen Rahmenbedingungen unterworfen.

Zusätzlich wurden Gebiete identifiziert, in denen Sanierungskampagnen und eine Optimierung der Energieversorgung voraussichtlich besonders große Wirkung erzielen können. Für die sogenannten „Schwerpunktgebiete“ werden in Abschnitt 6.1 konkrete Szenarien empfohlen. Ebenfalls werden für geplante Neubaugebiete Empfehlungen für die zukünftige Energieversorgung ausgesprochen (Abschnitt 6.2). Hier werden acht Neubaugebiete und deren mögliche Energieversorgung untersucht.

Grundsätzlich soll der vorliegende Energienutzungsplan es erleichtern, die Umstellung auf erneuerbare Energien effizient zu planen und umzusetzen, sowie Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs gezielt anzustoßen.

## 2.2 Vorgehen bei der Erarbeitung des Energienutzungsplans

In diesem Abschnitt sollen die Methodik und das Vorgehen zur Erstellung des Energienutzungsplans skizziert werden. Weitere Informationen zu den einzelnen Methoden und Vorgehensweisen befinden sich in den jeweiligen Kapiteln.

Der Energienutzungsplan ist unterteilt in sechs thematische Bereiche, die sich auch in den Kapiteln des vorliegenden Berichtes wiederfinden:

- Bestandsaufnahme
- Potenzialanalyse
- Betrachtung von Einzelgebieten
- Maßnahmenkatalog
- Akteursbeteiligung und Kommunikation
- Verstetigung und Controlling

Bei der Erstellung des Energienutzungsplans wurden die sechs Bereiche sukzessive erarbeitet. Dabei wurde wie nachfolgend beschrieben vorgegangen.

### Bestandsaufnahme

Bei der Bestandsaufnahme wurde hauptsächlich auf Daten der Stadtwerke Konstanz zurückgegriffen. Die Stadtwerke Konstanz stellten die Strom- und Gasverbrauchswerte der Gebäude in Konstanz aus den Jahren 2014 – 2017 zur Verfügung. Aus den Verbrauchsdaten der vier Jahre wurde für jeden Zählpunkt ein Mittelwert gebildet, aus dem sich die Energiebilanz erstellen ließ (Siehe Kapitel 3). Weiterhin wurde anhand von GIS-Daten jedem Gebäude eine Funktion zugeordnet. So ließen sich die Verbrauchsdaten in verschiedene Sektoren und Funktionsbereiche untergliedern.

Darüber hinaus stellten die Stadtwerke Konstanz eine Liste mit den derzeit aktiven, netzgebundenen KWK-Anlagen, den Anlagen zur Stromerzeugung, die nach dem EEG gefördert werden, sowie den bestehenden Nahwärmenetzen zur Verfügung. Vom Landesinnungsverband des Schornsteinfegerhandwerks wurde außerdem eine anonymisierte Liste über die nicht-netzgebundenen Energieerzeugungsanlagen in Konstanz übergeben.

Aus diesen Daten konnten die derzeitige Energieerzeugung und der derzeitige Energieverbrauch in Konstanz abgeleitet werden. Bei den Gebäuden, die weder mit Erdgas noch mit netzgebundenen KWK-Anlagen versorgt wurden, wurde der Wärmebedarf anhand des Verfahrens zur Ermittlung des Raumwärmebedarfs nach IWU (siehe Abschnitt 3.1.1) berechnet. Für die Bestimmung der Wärmeerzeugungsart wurde auf die Schornsteinfegerdaten zurückgegriffen.

### Potenzialanalyse

Bei der Potenzialanalyse erfolgte zunächst eine Untersuchung des Potenzials für erneuerbare Energien. Dabei wurde für die Potenzialbestimmung der Abwasserwärme auf Daten der Entsorgungsbetriebe Konstanz zurückgegriffen, die Karten mit den Verläufen der Abwasserkanäle mit Durchflussmengen von über 10l/s zur Verfügung stellten. Das Solarpotenzial wurde von der Firma Smart Geomatics bestimmt, die Berechnungen dazu sind im Abschnitt 4.1.2 zu finden.

Das Potenzial für oberflächennahe Geothermie wurde über die Daten des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau von Land Baden-Württemberg bestimmt. Beim Potenzial für Tiefengeothermie wurde auf eine Studie der Firma GeoEnergyConsulting zurückgegriffen und bei der Wind- und Wasserkraft auf Daten des Energieatlanten von Baden-Württemberg. Die Potenziale für Biomasse stellte die Bodensee-Stiftung zur Verfügung.

Mit den in der Bestandsaufnahme und den Potenzialen für erneuerbare Energien erhobenen Daten wurden anschließend Szenarien für die zukünftige Energieversorgung in Konstanz bis 2050 erarbeitet. Dafür wurden zwei Szenarien entwickelt: Das Szenario „Business-as-usual“, bei dem stillgelegte Energieerzeugungsanlagen durch neue Anlagen der gleichen Technologie ersetzt werden und das „Klimaschutzszenario“, bei dem der Austausch stillgelegter Anlagen weitestgehend durch erneuerbare Energien erfolgt. Außerdem wurden Annahmen zur Sanierung der Gebäudehüllen getroffen. Für die Szenarien wurden jeweils die zu erwartenden Energieverbräuche und deren Deckung sowie die Investitions- und Betriebskosten bis 2050 errechnet (Ergebnisse siehe Abschnitt 4.2.3).

Weiterhin wurden die Potenziale der zukünftigen Infrastruktur betrachtet, aus welchen Empfehlungen zum Aufbau von Energieerzeugungsanlagen und Wärmenetzen abgeleitet wurden.

### Betrachtung von Einzelgebieten

Im nächsten Schritt wurden Gebiete identifiziert, in denen das Potenzial zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen besonders hoch ist. Für die so identifizierten „Schwerpunktgebiete“ wurden anhand der vorliegenden Bestandsdaten Empfehlungen für eine Optimierung der Energieversorgung ausgesprochen. Für acht Neubaugebiete konnten zusätzlich Energieversorgungsoptionen aufgezeigt werden.

### Maßnahmenkatalog

Im Maßnahmenkatalog wurden nach Auswertung der vorliegenden Daten Vorschläge für Maßnahmen gemacht, die zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen beitragen. Hierbei sind alle Maßnahmen bereits in anderen Städten getestet und als erfolgreich eingestuft worden. Die vorgeschlagenen Maßnahmen wurden in begleitende Maßnahmen und Maßnahmen für Energieerzeugungstechnologien und Energieeinsparmaßnahmen unterteilt (siehe Kapitel 7).

### Verstetigung und Controlling

Die in der Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz erhobenen Daten wurden in das Datenerfassungssystem BICO2BW eingefügt. Sie sollen ab sofort alle zwei Jahre im Rahmen des Audits zum eea aktualisiert werden. Auf diese Weise erfolgt auch ein Monitoring über den Erfolg der umgesetzten Maßnahmen.

### Akteurseinbindung

Während der gesamten Erarbeitung des Energienutzungsplans fand eine enge Einbindung der relevanten Akteure der Stadtverwaltung sowie der Stadtwerke Konstanz statt. In regelmäßigen Lenkungsgruppentreffen wurden die Ergebnisse des Energienutzungsplans diskutiert und mit Erfahrungen aus der Praxis abgeglichen.

Für die Bürger der Stadt Konstanz gab es zudem eine Öffentlichkeitsveranstaltung, in welcher erste Ergebnisse des Energienutzungsplans vorgestellt wurden. Weiterhin ist eine Broschüre erarbeitet worden, in der die Ergebnisse des Energienutzungsplans zusammengefasst präsentiert werden, sowie eine Webseite, auf welcher die Karten des Energienutzungsplans datenschutzkonform abgerufen werden können.

Nach dem kurzen Überblick über die Methodik werden in den folgenden Kapiteln die einzelnen Arbeitsschritte und Ergebnisse des Energienutzungsplans detailliert dargestellt.

## 3. Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz

Das Ziel der Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz ist es, einen Überblick über den Status Quo der Energieerzeugung und des Energieverbrauchs zu bekommen, um daraus Optimierungsmaßnahmen ableiten zu können.

Die Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz basiert hauptsächlich auf Daten der Stadtwerke Konstanz. Es wurden hierfür Stromverbrauchsdaten, Gasverbrauchsdaten und Daten der Energieerzeu-

gungsanlagen des gesamten Stadtgebiets zur Verfügung gestellt. Weiterhin basiert die Auswertung auf anonymisierten Daten des Landesinnungsverbandes des Schornsteinfegerhandwerks, sowie auf eigenen Berechnungen anhand von GIS-Daten. Die Methodik zur Ermittlung der Wärmeverbräuche wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

## 3.1 Wärmebilanz

### 3.1.1 Methodik zur Ermittlung der Wärmebedarfe und der Wärmeerzeugung

Um einen Überblick über die Wärmebilanz zu bekommen, wurden zunächst die Wärmebedarfe der Stadt Konstanz ermittelt. Anschließend wurde die bestehende Wärmeerzeugung analysiert.

#### Energetische Bewertung von Wohngebäuden

Grundlage zur Bewertung des energetischen Zustands von Gebäuden in der Stadt Konstanz ist die Wärmebedarfsanalyse. Diese zeigt den Endenergiebedarf von beheizten Wohngebäuden auf Basis vorhandener Geo- und Sachdaten auf.

Zur Berechnung der Gebäudegeometrie wird ein 3D-Modellierungsverfahren eingesetzt, welches aus Gebäudegrundrissen des Liegenschaftskatasters und Laserscandaten Informationen zur Gebäudehöhe, Geschözzahl, Brutto- und Nettogrundfläche sowie Anbausituation ableitet. Somit stehen die benötigten Eingangsparameter für das „Kurzverfahren Energieprofil“ des Instituts für Wohnen und Umwelt (IWU) zur Verfügung.

Die vom IWU entwickelte Methode erlaubt es, mit wenig Aufwand den energetischen Zustand von Wohngebäuden zu bewerten. Mithilfe der berechneten Eingangsgrößen können die Flächen von Außenwänden, Fenstern, Dach und Kellerdecke ermittelt werden. Die Baualterklasse der Gebäude (basierend auf der Zensusdatenbank 2011) ermöglicht die grobe Einstufung des Wärmeschutzes der Bauteile, wobei auch nachträglich durchgeführte Maßnahmen berücksichtigt werden. Berechnungen zu den Transmissionsverlusten der Gebäudehülle für Wohnhäuser erfolgen nach DIN 4108 „Wärmeschutz im Hochbau“. Heizungsverluste und Normheizlast werden nach DIN 4701 – 10 und DIN EN 12831 ermittelt. Vorgaben für die Energieeinsparungseffekte von Sanierungsmaßnahmen werden der aktuellen Energieeinsparverordnung EnEV 2014 entnommen.

Die Beheizung der Gebäude konnte bei einer Nutzung von Erdgas aus den Gasverbrauchsdaten der Stadtwerke Konstanz entnommen werden. Die Wärme- und Warmwasserversorgung der restlichen Gebäude wurde aus den Daten des Landesinnungsverbands des Schornsteinfegerhandwerks abgeleitet.

### Berücksichtigung bereits durchgeführter Sanierungsmaßnahmen

Zur Berücksichtigung von bereits durchgeführten Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden werden Annahmen getroffen, wobei das Gebäudealter das entscheidende Kriterium zur Abschätzung vorgenommener Sanierungsmaßnahmen darstellt. Für Gebäude mit einem Baujahr vor 1960 wird ein zwischenzeitlich erfolgter Fensteraustausch angenommen (doppelverglaste Fenster mit Holzrahmen). Weiterhin wird in der Berechnung davon ausgegangen, dass Heizungsanlagen einmal erneuert wurden. Diesbezügliche Jahresnutzungsgrade werden auf das Jahr 1990 bezogen und gehen ebenso wie die Primärenergiefaktoren und die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren der eingesetzten Energieträger in die Berechnung ein.

### Anpassung der Endenergiebedarfswerte auf das Niveau typischer Verbrauchswerte

Grundsätzlich ist hierbei zu unterscheiden zwischen energetischen Kenngrößen der Bauphysik (Bedarfswerte) und den realen, von Nutzern verursachten und gemessenen Energieverbräuchen.

Versucht die Energieeinsparverordnung (EnEV) in erster Linie die energetische Qualität von Gebäuden auf der Grundlage von Energiebedarfswerten zu vergleichen und damit die Basis zur Entwicklung von Sanierungsmaßnahmen zu legen, fallen die tatsächlichen, von Nutzern verursachten Verbräuche, in der Regel deutlich geringer aus. In der Praxis findet man bei Wohngebäuden eine große Bandbreite baulicher und haustechnischer Randbedingungen vor, woraus sich die Diskrepanz zwischen Bedarf und Verbrauch erklärt. Zur Minimierung dieser Diskrepanz lässt sich der Endenergiebedarf mittels Korrekturfaktor an das Niveau typischer Verbrauchswerte anpassen. Der Korrekturfaktor geht aus einer Bewertung des Verhältnisses von Bedarf und Verbrauch in Untersuchungen des IWU zu einer Vielzahl von Gebäuden hervor, womit sich eine erste realistische Planungsgrundlage für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, beispielsweise von Nahwärmenetzen, erstellen lässt.

### Energieträger-Mix und Primärenergie-Faktoren

Einer Aussage zur Primärenergie liegen die Primärenergiefaktoren aus der EnEV 2014 zugrunde. Aus der GEMIS Datenbank Version 4.95 (IINAS) werden CO<sub>2</sub>-Äquivalente für die verschiedenen Energieträger entnommen. Für Gebäude, zu denen keine Angaben hinsichtlich Energieträgern und Heizungssystemen existieren, wird ein lokaler Energieträgermix angenommen.

Dieser lokale Energieträgermix ergibt sich einerseits aus den Angaben der Schornsteinfeger für die fünf Kehrbezirke in Konstanz und andererseits aus der Kenntnis der von den Stadtwerken Konstanz gasversorgten Gebäude.

### Energetische Bewertung von kommunalen Liegenschaften

Zustand und Wärmebedarf der kommunalen Gebäude wurden zum einen aus Energiekataster-Reports aus den Jahren 2013 und 2014 und zum anderen aus dem Sanierungsfahrplan der gebäudetechnischen Anlagen für die Stadt Konstanz entnommen.

Im Rahmen der Erstellung der Energiekatasterreports untersuchte das Ingenieurbüro ebök Planung und Entwicklung GmbH bei ausgewählten Gebäuden den Ist-Zustand sowie die Einsparmöglichkeiten durch bauliche Maßnahmen. Die Auswertung ist für 38 kommunale Liegenschaften verfügbar.

Im Sanierungsfahrplan für gebäudetechnische Anlagen sind wiederum Informationen für 85 Gebäude erfasst.

### Energiebedarf von GHD und Industrie

Der Energiebedarf im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und Industrie wurde aus Gasverbrauchsdaten der SWK abgeleitet. Die Gasverbräuche wurden über die Jahre 2014 bis 2017 gemittelt. Aus Gründen des Datenschutzes dürfen die Gasverbräuche nur aggregiert (mind. auf Baublockebene) dargestellt werden. Ferner stammen Angaben zu KWK-Anlagen und Nahwärmenetzen ebenfalls von den SWK.

Die Ergebnisse der beschriebenen Methoden werden in den folgenden Abschnitten aufgezeigt.

#### 3.1.2 Wärmebedarf der Gebäude in Konstanz

In der folgenden Tabelle 3 ist der Wärmebedarf der Gebäude in Konstanz abgebildet. Dabei wurden pro Gebäudekategorie (z. B. Wohnhäuser) nur die wichtigsten Gebäudearten (z. B. Mehrfamilienhäuser) ausgewählt. Die Auflistung der Gebäudearten ist dementsprechend nicht umfassend und die Aufsummierung der verschiedenen Gebäudearten einer Kategorie ergibt nicht den Gesamtenergieverbrauch der Kategorie.

Tabelle 3: Durchschnittlicher Wärmebedarf der einzelnen Gebäudetypen

	Anzahl Gebäude	absoluter Wärmebedarf in kWh/a	Durchschnittlicher Wärmebedarf pro Gebäude in kWh/a	spezifischer Wärmebedarf kWh/m <sup>2</sup> /a
<b>Wohnhäuser</b>				
<b>Wohnhäuser gesamt</b>	<b>10.273</b>	<b>494.614.905</b>	<b>145.436</b>	<b>167</b>
Mehrfamilienhäuser	6.143	348.489.362	56.730	156
Wohnblöcke	95	31.945.732	336.271	177
Hochhäuser	111	32.318.899	291.161	142
Doppel-/Reihenhäuser	2.488	47.509.572	19.095	174
Ein-/Zweifamilienhaus	1.436	34.351.340	23.922	188
<b>Gebäude für öffentliche Zwecke</b>				
<b>Öffentliche Gebäude Gesamt</b>	<b>176</b>	<b>85.817.452</b>	<b>438.475</b>	
Schulen	29	14.759.591	508.951	
Badegebäude/Hallenbäder	5	9.563.141	1.912.628	
Feuerwehrgebäude	5	628.779	125.756	
Verwaltung/Gericht/Rathaus	43	12.818.008	298.093	
Kindergärten	32	1.736.148	54.255	
Kirchen	20	1.405.007	70.250	
Turnhallen	42	4.174.568	99.394	
Hochschulgebäude	3	35.644.322	11.811.411	
<b>Gewerbe/Handel/Dienstleist.</b>				
<b>GHD Gesamt</b>	<b>541</b>	<b>91.439.665</b>	<b>189.724</b>	
Hotel- und Gastgewerbe	43	10.757.119	250.166	
Fabrik/Werkstatt/Lager	149	22.834.654	153.253	
Weitere GHD	349	57.847.892	165.753	
<b>Gesundheit/Pflege</b>				
	15	32.315.409	2.154.361	
<b>Wohnmischnutzungen</b>				
	1.110	110.618.906	99.657	



In den Energiekatasterreports der Stadt Konstanz und dem Sanierungsfahrplan für gebäude-technische Anlagen der öffentlichen Liegenschaften sind 35 städtische Energiebezugsflächen mit Wärmebedarfen erfasst. Tabelle 4 zeigt eine Übersicht des absoluten und des spezifischen Wärmebedarfs der kommunalen Liegenschaften.

Tabelle 4: Absoluter und spezifischer Wärmebedarf ausgewählter kommunaler Liegenschaften

	Anzahl Gebäude	absoluter Wärmebedarf in kWh/a	spezifischer Wärmebedarf pro Gebäude in kWh/m <sup>2</sup> /a
<b>Komm. Liegenschaften (Auswahl)</b>	<b>35</b>	<b>13.337.705</b>	<b>127</b>
Schulen	16	10.404.959	213
Feuerwehr	1	64.395	163
Verwaltung	2	589.429	90
Kindergarten	1	111.271	78
Turnhallen	5	1.477.553	133
Wohnen	9	529.395	151
Hotel, Motel, Pension	1	160.703	64

Die Wärmebedarfswerte zeigen, dass die Stadt Konstanz bezüglich des Wärmebedarfs der Gebäude etwa im deutschen Durchschnitt liegt. Der Durchschnitt bei deutschen Einfamilienhäusern liegt bei ca. 25.000 kWh/a (ENERGIEHELD), mit einem durchschnittlichen Bedarf von 24.986 kWh/a für Ein- und Zweifamilienhäuser liegen die Gebäude der Stadt Konstanz marginal darunter. Auch der Wärmebedarf der Reihenhäuser entspricht (unter der Annahme, dass durchschnittlich 4 Personen in einem Reihnhaus leben) dem bundesdeutschen Durchschnitt von 20.000 kWh/a (RWI 2012).

Der Wärmebedarf bei den Gebäuden für Gesundheit und Pflege liegt hingegen deutlich unter dem durchschnittlichen Wärmebedarf für Krankenhäuser (ÖGUT 2011). Das Klinikum Konstanz liegt beim Wärmeverbrauch pro Bett ca. 9 % unter dem deutschen Durchschnitt, beim Stromverbrauch pro Bett ca. 6 % (ÖGUT 2011, Interview mit dem Klinikum Konstanz 2018). Aufgrund des geringen Energieverbrauchs wurde das Klinikum auch als „energiesparendes Krankenhaus“ vom BUND zertifiziert (Management und Krankenhaus 2008).

Bei den weiteren Gebäudetypen gibt es eine große Heterogenität bezüglich der Größe und Bauart, sodass kein stichhaltiger Vergleich mit deutschen Durchschnittswerten vorgenommen werden kann.

### 3.1.3 Wärmebedarf nach Sektoren

In der folgenden Abbildung 4 ist der Wärmebedarf nach Sektoren abgebildet. Dabei ist zu sehen, dass etwa drei Viertel des Wärmebedarfs auf Wohngebäude entfallen, etwa ein Achtel des Wärmebedarfs auf die Gebäude für öffentliche Zwecke und etwa ein Sechstel des Wärmebedarfs auf GHD und Industrie. Bei der Einteilung nach Sektoren wurden Gebäude mit Wohnmischnutzung (z. B. Wohnhaus mit Einzelhandel im Erdgeschoss, Wohnhaus mit integrierten Büros etc.) dem Sektor Wohnen zugeteilt, Gebäude für Gesundheit und Pflege wurden dem Sektor Gewerbe und Industrie zugeordnet.

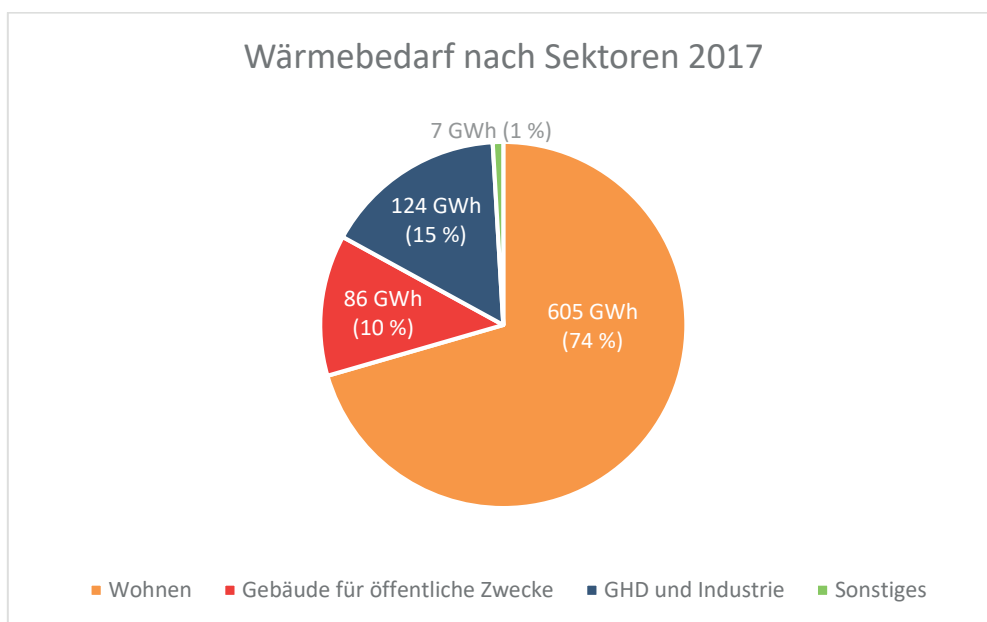


Abbildung 4: Wärmebedarf nach Sektoren

Wird der Wärmebedarf in Relation zur Gebäudezahl im jeweiligen Sektor gesetzt, so zeigt sich, dass der Gasverbrauch pro Gebäude bei Wohngebäuden am niedrigsten ist (vgl. Tabelle 5). Es folgen Gebäude, die für Gewerbe und Industrie genutzt werden. Der höchste Wärmebedarf pro Gebäude fällt bei den Gebäuden für öffentliche Zwecke an. Die höchsten Wärmebedarfe treten hier bei der Universität (40 %), Verwaltungsgebäuden (17 %), Schulen (14 %) und Badegebäuden (11 %) auf.

Der Wärmeverbrauch steht in direkter Relation zu der Größe der Gebäude, auch dieses Ergebnis entspricht dem deutschen Bundesdurchschnitt.

Tabelle 5: Durchschnittlicher Wärmebedarf pro Sektor und Gebäude

	Wärmebedarf pro Jahr	Wärmebedarf in %	Anzahl	Anzahl in %	Durchschn. Bedarf je Gebäude und Jahr
<b>Wohnen</b>	605 GWh	74 %	11.383	93 %	53 MWh
<b>Gebäude für öffentliche Zwecke</b>	86 GWh	10 %	208	2 %	413 MWh
<b>GHD und Industrie</b>	124 GWh	15 %	556	5 %	223 MWh
<b>Sonstiges</b>	7 GWh	1 %	121	1 %	58 MWh
<b>Gesamt</b>	<b>822 GWh</b>	<b>100 %</b>	<b>12.268</b>	<b>100 %</b>	<b>67 MWh</b>

### 3.1.4 Wärmedichten

Der Wärmebedarf aller Gebäude in den Sektoren Wohngebäude, kommunale Liegenschaften sowie GHD und Industrie wurde über Adressen den Straßenabschnitten zugeordnet. Der Wärmebedarf in Relation zur Länge eines Straßenabschnittes ergibt die Wärmedichte.

Die Abbildung der Wärmedichte auf Straßenabschnitten zeigt auf, welche Bereiche über eine hohe Wärmedichte verfügen und Potenzial für Wärmenetze bieten. Die Realisierung eines Nahwärmenetzes nach aktuellen Rahmenbedingungen benötigt eine Wärmedichte von mindestens 1.000 kWh/m<sup>2</sup>. Bei der Ermittlung der Schwerpunktgebiete in Abschnitt 6.1 werden ebenfalls die im Folgenden abgebildeten Wärmedichten zugrunde gelegt.

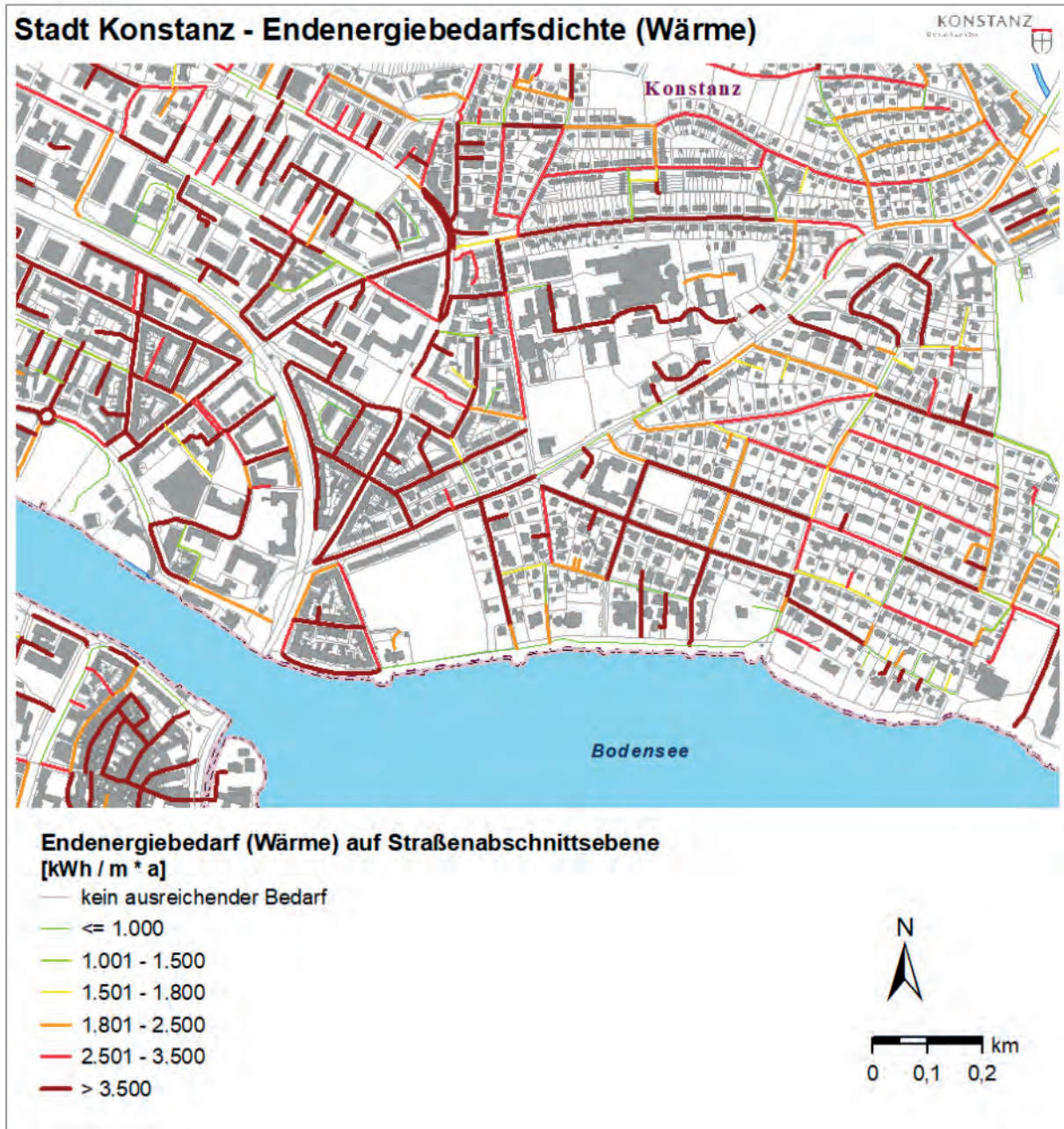


Abbildung 5: Endenergiebedarfsdichte (Wärme) auf Straßenabschnittsebene

### 3.1.5 Absoluter Wärmebedarf räumlich aufgegliedert

In Abbildung 6 ist der absolute Wärmebedarf räumlich aufgegliedert nach Baublöcken zu sehen. Ein besonders hoher absoluter Wärmebedarf (über 4.000.000 kWh/a) ist in der Karte im Industriegebiet zu erkennen, sowie im Bereich des Klinikums in Petershausen-Ost und in eini-

gen Teilen der Altstadt. Die energieintensiven Baublöcke wurden bei der Auswahl der Schwerpunktgebiete (Abschnitt 6.1) berücksichtigt. Sie sollten bei der Auswahl von weiterführenden Maßnahmen zur Optimierung der Energieversorgung als Ausgangspunkte dienen.

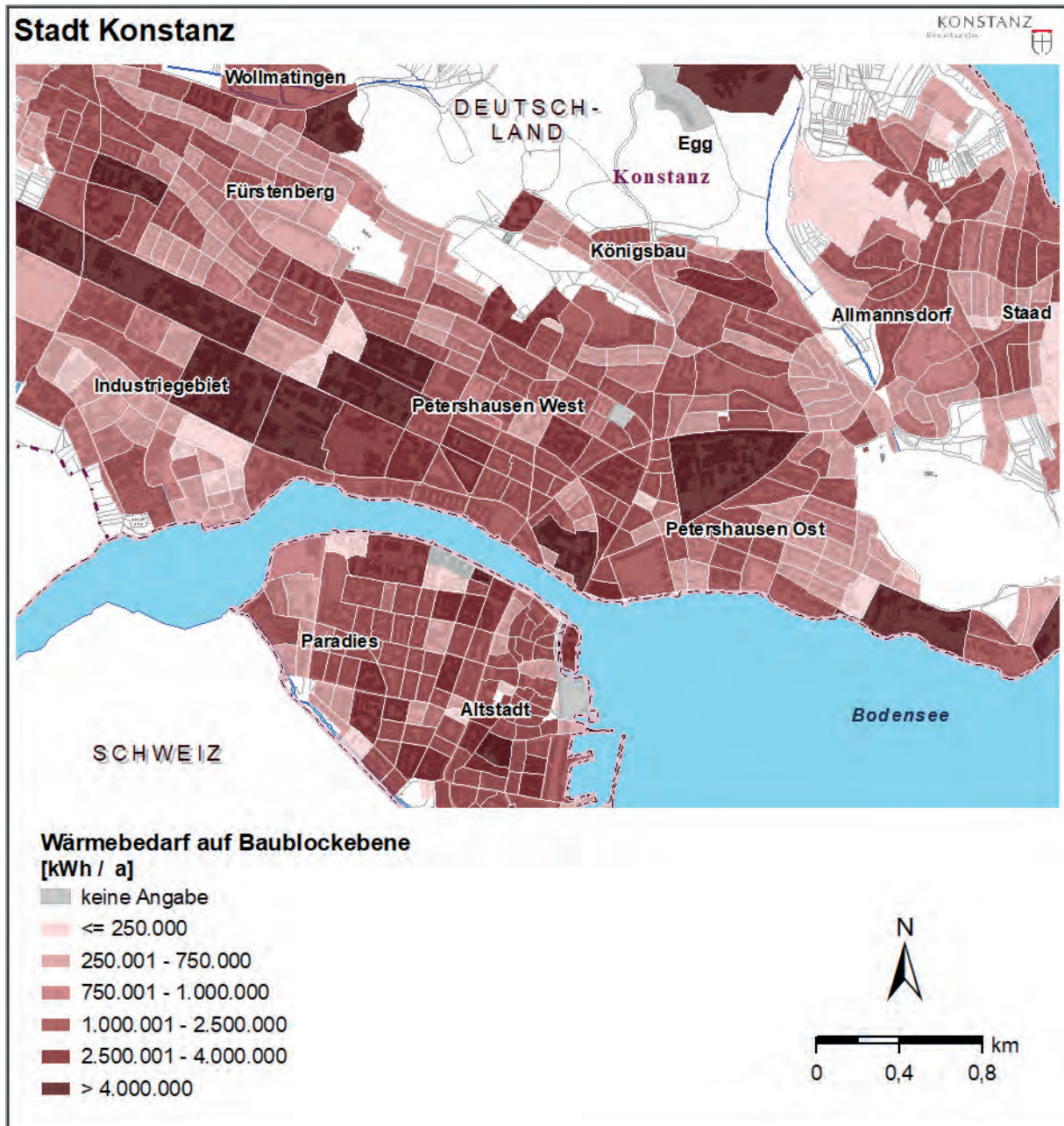


Abbildung 6: Absoluter Wärmebedarf auf Baublockebene

Ein ähnliches Ergebnis zeigt sich, wenn man nur den spezifischen Endenergiebedarf der Wohngebäude auf Baublockebene betrachtet. Beim spezifischen Endenergiebedarf wird der Wärmebedarf der Wohngebäude durch die entsprechende Wohnfläche der Gebäude geteilt.

In Abbildung 7 ist zu erkennen, dass auch der spezifische Endenergiebedarf der Wohngebäude im Bereich des Klinikums und Teilen des Industriegebiets sehr hoch ist. Weitere Wohngebiete mit hohen spezifischen Endenergiebedarfen befinden sich u. a. im Stadtteil Paradies, in der Altstadt, in Fürstenberg und im Königsbau. Die Karte für den spezifischen Endenergiebedarf im gesamten Stadtgebiet ist im Anhang zu finden.

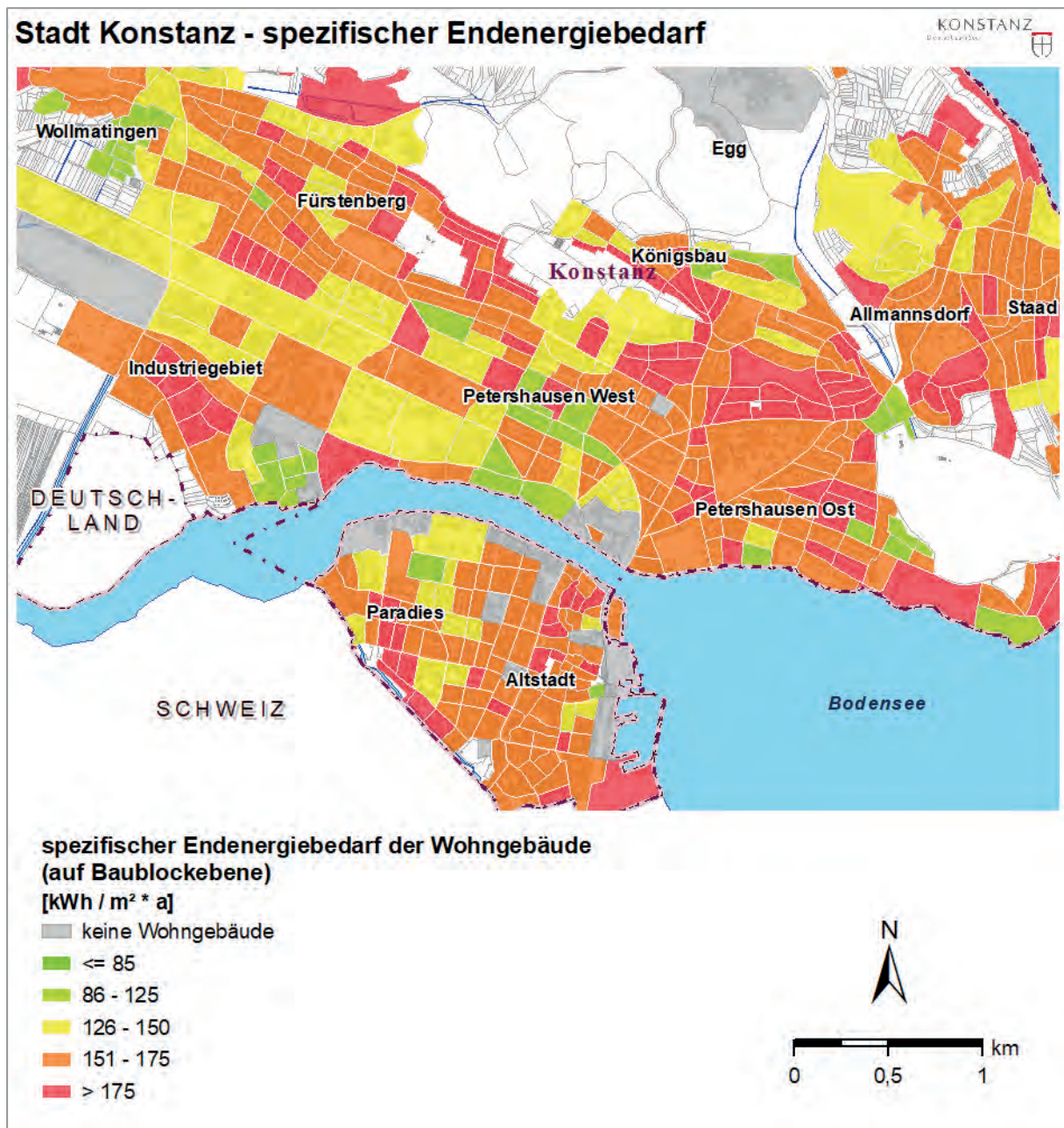


Abbildung 7: Spezifischer Endenergiebedarf auf Baublockebene

### 3.1.6 Wärmeerzeugung

Wie bereits in Abschnitt 3.1.1 beschrieben, wurde die Wärmeerzeugung aus den Daten der Stadtwerke Konstanz sowie den Daten des Landesinnungsverbandes des Schornsteinfegerhandwerks abgeleitet.

Bei den Wärmeerzeugungsanlagen ist zwischen zwei Arten von Anlagen zu unterscheiden: Zum einen Wärmeerzeugungsanlagen, die ausschließlich Wärme produzieren, zum anderen KWK-Anlagen, die neben Wärme auch noch Strom erzeugen. Die KWK-Anlagen sind z. T. mit einem Wärmenetz verbunden oder versorgen einzelne größere Gebäude.

Die Daten zu den KWK-Anlagen wurden von den SWK zur Verfügung gestellt. Eine Auswertung der Daten ergab folgende Verteilung nach Brennstoffen:

Tabelle 6: Wärmeerzeugung von KWK-Anlagen

KWK-Anlagen		
	Anzahl	Erzeugung/a
Erdgas	87	Ca. 42 GWh
Heizöl	5	Ca. 0,9 GWh
Klärgas	1	Ca. 2 GWh

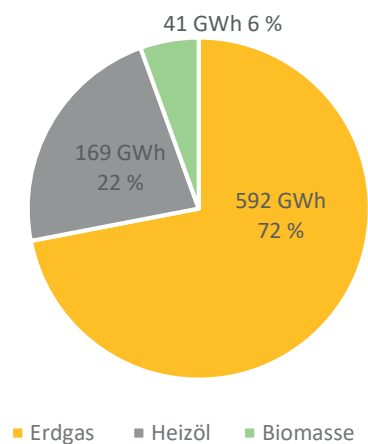
Bei den Gebäuden, die nicht durch die erfassten KWK-Anlagen und nicht durch Nahwärmenetze mit Wärme versorgt werden, wurde eine Wärmeerzeugung auf Einzelhausebene angenommen. Aus den Gasverbrauchsdaten der Stadtwerke konnte bereits die Gebäudezahl identifiziert werden, die durch eine Wärmeerzeugungsanlage auf Erdgasbasis beheizt werden (6.792 von 11.854 Gebäuden, ca. 57 % der Gebäude). Der Aufstellung des Landesinnungsverbandes des Schornsteinfegerhandwerks war weiterhin anonymisiert die Anzahl der Anlagen auf dem Stadtgebiet der Stadt Konstanz einschließlich Brennstoff zu entnehmen. Die Verteilung der in den Schornsteinfegerdaten enthaltenen Anlagen wurde auf die nicht mit Erdgas beheizten Gebäuden übertragen. Da keine eindeutige Zuordnung der Anlagen zu den Gebäuden vorgenommen werden konnte, wurden die Daten allgemein auf die übrigen Gebäude verteilt. In Tabelle 7 ist die errechnete Anzahl und die errechnete Erzeugung der Wärmeerzeugungsanlagen aufgelistet. Dabei wird deutlich, dass ein Großteil der Wärmeerzeugungsanlagen (ebenso wie der KWK-Anlagen) auf Erdgasbasis betrieben wird.

Tabelle 7: Wärmeerzeugungsanlagen nach Brennstoffen

Wärmeerzeugungsanlagen		
Brennstoff	Anzahl Anlagen	Erzeugung/a
Erdgas	7.873	502 GWh
Heizöl	3.682	169 GWh
Biomasse	614	41 GWh

Bei einer Aufsummierung der Wärmeerzeugungsanlagen und KWK-Anlagen ergibt sich die Verteilung nach Energieträgern gemäß Abbildung 8. Wie dort zu erkennen ist, wird der größte Teil (ca. drei Viertel) der Wärme auf dem Gebiet der Stadt Konstanz mithilfe von Erdgas erzeugt. Danach folgt Heizöl mit einem Anteil von 22 % an der Wärmeerzeugung.

Wärmeerzeugung Konstanz  
2016



Wärmeerzeugung Deutschland 2016

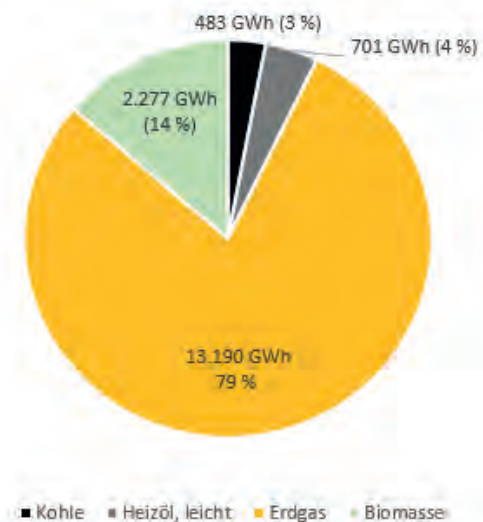


Abbildung 8: Wärmeerzeugung nach Energieträgern in Konstanz

Abbildung 9: Wärmeerzeugung nach Energieträgern in Deutschland

Die Verteilung nach Energieträgern zur Wärmeerzeugung entspricht auch in etwa der Verteilung der Brennstoffe bei der bundesweiten Wärmeerzeugung (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9). Auch auf nationaler Ebene wird der größte Teil der Wärme mithilfe von Erdgas erzeugt (79 %), der Anteil von Heizöl ist mit 7 % deutlich geringer als in Konstanz. Dafür ist der Anteil der Wärmeerzeugung aus Biomasse und aus Stein- und Braunkohle bundesweit deutlich höher als in Konstanz, wo keine Kohlekraftwerke stehen.



Nach der Betrachtung des Wärmebedarfs und der Wärmeerzeugung soll im nächsten Abschnitt analog zur Wärme der Stromverbrauch und die Stromerzeugung betrachtet werden.

### 3.2 Strombilanz

Die Strombilanz wurde auf Grundlage von Daten der Stadtwerke Konstanz erstellt. Zur Verfügung standen Daten zum Stromverbrauch der Jahre 2014 – 2017 (aus denen ein Mittelwert gebildet wurde), sowie Daten zur Stromerzeugung von KWK-Anlagen und zur Stromerzeugung aus Anlagen, die nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz gefördert wurden. Als Datengrundlage wurde hier die Stromerzeugung aus dem Jahr 2016 herangezogen.

#### 3.2.1 Stromverbrauch der Gebäude

Der Stromverbrauch wurde aus den genannten Stromverbrauchsdaten der Stadtwerke Konstanz ermittelt. In Tabelle 8 ist der durchschnittliche Stromverbrauch für die verschiedenen Gebäudekategorien und Gebäudearten zu sehen. Auch hier ist die Angabe der Gebäudearten nicht umfassend, sondern lediglich beispielhaft ausgewählt.

Tabelle 8: Stromverbrauch nach Gebäudearten

	Anzahl Gebäude	Absoluter Strombedarf in kWh/a	Durchschnittlicher Strombedarf pro Gebäude in kWh/a	spezifischer Strombedarf in kWh/m <sup>2</sup> /a
<b>Wohnhäuser</b>				
<b>Wohnhäuser gesamt</b>	<b>10.273</b>	<b>95.673.844</b>	<b>30.114</b>	<b>33</b>
Mehrfamilienhäuser	6.143	65.880.454	10.724	30
Wohnblöcke	95	6.399.296	67.361	35
Hochhäuser	111	7.103.306	63.994	31
Doppel-/Reihenhäuser	2.488	9.699.952	3.899	35
Ein-/Zweifamilienhaus	1.436	6.590.836	4.590	36
<b>Gebäude für öffentliche Zwecke</b>				
<b>Öffentliche Gebäude gesamt</b>	<b>176</b>	<b>18.978.780</b>	<b>160.204</b>	
Schulen	29	2.859.377	98.599	
Badegebäude/Hallenbäder	5	3.458.113	691.623	
Feuerwehr	5	144.537	28.907	

Verwaltung/Gericht/Rathaus	43	10.399.110	241.840	
Kindergarten	32	657.588	20.550	
Kirchen	20	196.428	9.821	
Turnhallen	42	1.263.627	30.086	
<b>Gewerbe/Handel/Dienstleist.</b>				
<b>GHD gesamt</b>	<b>541</b>	<b>72.804.560</b>	<b>127.910</b>	
Hotel- und Gastgewerbe	43	5.016.308	116.658	
Fabrik/Werkstatt/Lager	149	18.937.607	127.098	
Weitere GHD	349	48.850.645	139.973	
<b>Gesundheit/Pflege</b>	15	15.689.377	1.045.958	
<b>Wohnmischnutzungen</b>	1.110	42.197.290	38.016	

Auch beim Strombedarf ist durch die Energiekatasterreports der Stadt Konstanz und den Sanierungsfahrplan für gebäudetechnische Anlagen der spezifische Strombedarf für 37 Gebäude bekannt. In Tabelle 9 ist der absolute und spezifische Strombedarf der entsprechenden kommunalen Liegenschaften aufgelistet.

Tabelle 9: Absoluter und spezifischer Strombedarf ausgewählter kommunalen Liegenschaften

	<b>Anzahl Gebäude</b>	<b>absoluter Strombedarf in kWh/a</b>	<b>spezifischer Strombedarf pro Gebäude in kWh/m<sup>2</sup>/a</b>
<b>Komm. Liegenschaften (Auswahl)</b>	<b>37</b>	<b>2.735.573</b>	29
Schulen	15	1.932.775	43
Feuerwehr	1	5.324	13
Verwaltung	2	285.289	44
Kindergarten	2	55.504	17
Turnhallen	5	188.833	17
Wohnen	11	177191	34
Hotel, Motel, Pension	1	90.657	36

Beim Stromverbrauch liegt Konstanz, ähnlich wie beim Wärmebedarf, im bundesdeutschen Durchschnitt. Mit einem durchschnittlichen Stromverbrauch von 4.579 kWh/a bei Ein- und Zweifamilienhäusern liegen die Bewohner der Stadt Konstanz leicht unter dem deutschen Durchschnitt (ENERGIEHELD). Unter der Annahme, dass ein Reihenhaus von durchschnittlich 4 Personen bewohnt wird, liegt auch der durchschnittliche Stromverbrauch von Reihenhäusern (3.888 kWh/a) leicht unter dem durchschnittlichen Stromverbrauch von 4.000 kWh/a für einen deutschen Vier-Personen Haushalt (CO<sub>2</sub> ONLINE).

Der Stromverbrauch für Verwaltungsgebäude liegt mit 23 kWh/m<sup>2</sup>/a immer noch deutlich über dem empfohlenen Richtwert aus dem Klimaschutzkonzept (PÖYRY; LBST 2016) von 10 kWh/m<sup>2</sup>/a. Auch die Turnhallen liegen mit einem Verbrauch von 79 kWh/m<sup>2</sup>/a deutlich über dem Richtwert von 9 – 10 kWh/m<sup>2</sup>/a. Dasselbe lässt sich bei den Schulen (33 kWh/m<sup>2</sup>/a vs. 6 kWh/m<sup>2</sup>/a), Kindertagesstätten (26 kWh/m<sup>2</sup>/a vs. 7 kWh/m<sup>2</sup>/a) und den Feuerwehrgebäuden feststellen (13 kWh/m<sup>2</sup>/a vs. 6 kWh/m<sup>2</sup>/a).

Für die restlichen Gebäudearten lassen sich aufgrund sehr unterschiedlicher Rahmenbedingungen (Größe, vorhandene Technik) leider keine pauschalen Aussagen treffen.

### 3.2.2 Stromverbrauch nach Sektoren

Der Gesamtstromverbrauch der Stadt Konstanz beträgt 279 GWh/a. In Abbildung 10 ist die Aufteilung des Stromverbrauchs nach Sektoren zu sehen. Wie bei der Wärme entfällt der größte Teil des Stromverbrauchs auf den Sektor „Wohnen“, allerdings ist der Anteil mit 49 % deutlich geringer als beim Wärmebedarf.

Im Sektor „Wohnen“ werden auch hier Gebäude mit Wohnmischnutzung miterfasst, sowie Stromverbrauch, der durch die Beheizung von Wohngebäuden mithilfe von Nachtspeicherheizungen entsteht. Der Stromverbrauch für die Beheizung von 1.078 Wohngebäuden durch Nachtspeicherheizungen beträgt 3,6 GWh (ca. 1 % des Gesamtstromverbrauchs).

Prozentual verursacht der Sektor GHD und Industrie deutlich mehr des Gesamtstrombedarfs (Anteil von 32 %) als des Gesamtwärmebedarfs (Anteil von 16 %).

Im bundesweiten Durchschnitt liegt der Anteil von GHD und Industrie im Stromverbrauch bei 72 %, der Anteil des Sektors Wohnen bei 25 % (UMWELTBUNDESAMT 2018). Dieser Vergleich zeigt, dass in Konstanz der Anteil von Gewerbe und Industrie generell – und insbesondere aus stromintensiven Branchen – gering ist.

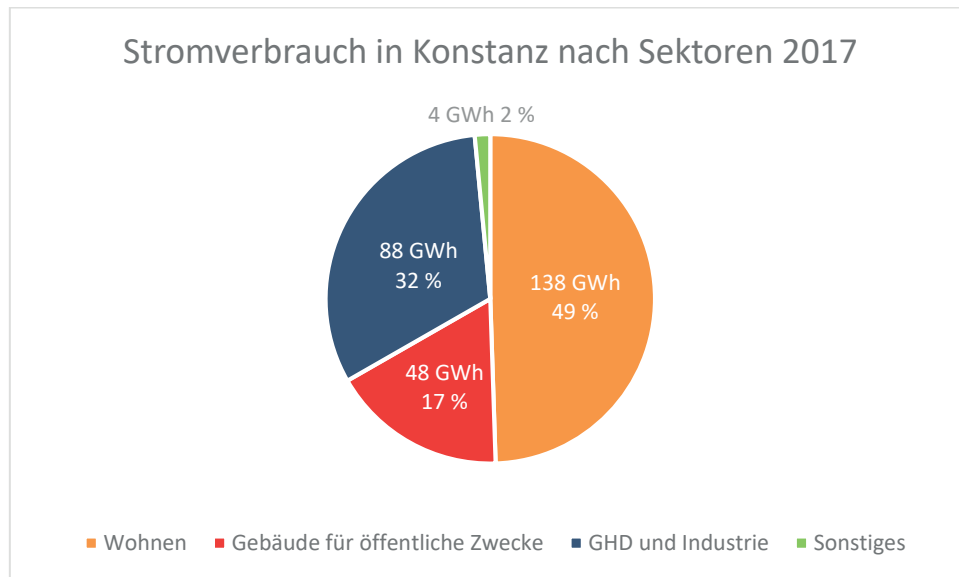


Abbildung 10: Stromverbrauch in Konstanz nach Sektoren

### 3.2.3 Stromerzeugung

Bei der Betrachtung der Stromerzeugung muss beachtet werden, dass mittlerweile ca. 18 % (50 GWh von 279 GWh) des Stromverbrauchs in Konstanz von Quellen innerhalb des Stadtgebiets gedeckt werden. Dies ist im Vergleich zu 10 GWh aus dem Klimaschutzkonzept eine deutliche Steigerung, welche vor allem auf den Zubau von erdgasbetriebenen KWK-Anlagen und Photovoltaikanlagen zurückzuführen ist.

In Abbildung 11 ist die Stromerzeugung im Stadtgebiet Konstanz nach Energieträgern zu sehen. Ähnlich wie bei der Wärmeerzeugung wird der Strom in Konstanz zu einem wesentlichen Teil (67 %) in Energieerzeugungsanlagen auf Erdgasbasis produziert. Auch die Stromerzeugung aus Photovoltaik spielt eine signifikante Rolle. 26 % des im Jahr 2016 in Konstanz erzeugten Stroms stammten aus Photovoltaikanlagen.

Die räumliche Verteilung der Stromerzeugungsanlagen kann den Abschnitten 3.3.1 (KWK-Anlagen) und 3.2.3 (Photovoltaik und Biomasse) entnommen werden.

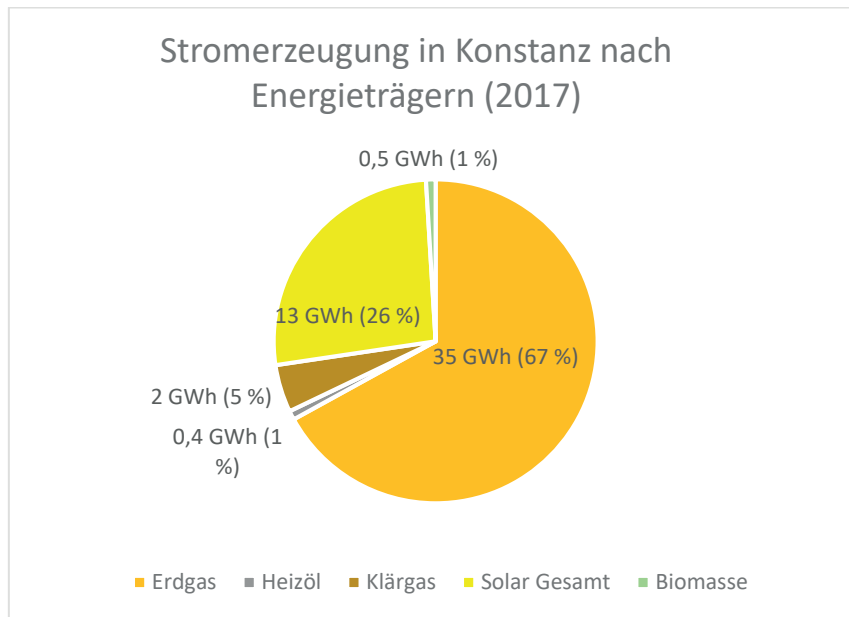


Abbildung 11: Stromerzeugung im Stadtgebiet Konstanz nach Energieträgern

Nachdem der gegenwärtige Energieverbrauch der Stadt Konstanz dargestellt wurde, soll im folgenden Abschnitt die dazugehörige energetische Infrastruktur dokumentiert werden.

### 3.3 Vorhandene Energieinfrastruktur

In diesem Abschnitt wird die vorhandene Energieinfrastruktur dokumentiert, das heißt die Standorte der Energieerzeugungsanlagen, sowie der Verlauf der Nahwärmenetze.

#### 3.3.1 Netze und Erzeugungsanlagen für Nahwärmeversorgung

In Abbildung 12 sind die vorhandenen KWK-Anlagen auf dem Gebiet der Stadt Konstanz zu sehen sowie die bestehenden Nahwärmenetze. Neben den in Abbildung 12 abgebildeten Nahwärmenetzen gibt es noch Nahwärmenetze in Petershausen-Ost (östlich des Kartenausschnitts), in Egg (nördlich des Kartenausschnitts) und in Wollmatingen (ebenfalls nördlich des Kartenausschnitts). Die Karte mit den KWK-Anlagen und Wärmenetzen für das gesamte Stadtgebiet ist in Anhang 3 zu finden. Dabei sind für die Wärmenetze lediglich die Hauptstränge eingezeichnet, die eingezeichneten Hausanschlüsse markieren die Eintrittspunkte des Verteilnetzes in das jeweilige Gebäude.

## Stadt Konstanz

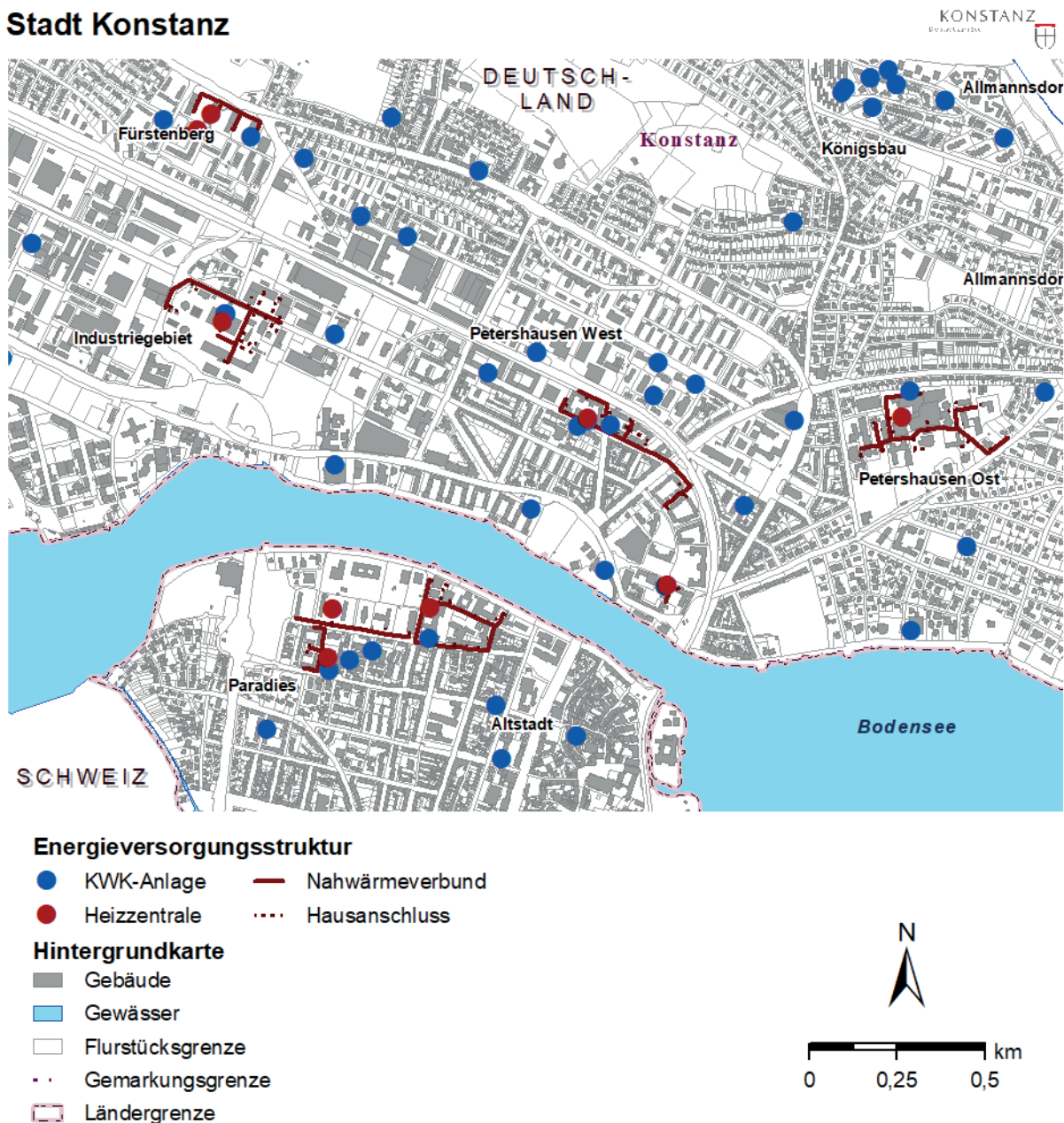


Abbildung 12: KWK-Anlagen und Wärmenetze auf dem Gebiet der Stadt Konstanz

### 3.3.3 Standorte regenerativer Energieerzeugungsanlagen

Im Stadtgebiet Konstanz waren im Jahr 2016 regenerative Energieerzeugungsanlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 15 MW<sub>el</sub> installiert (zum Vergleich: im gleichen Jahr existierten KWK-Anlagen im Umfang von 5,7 MW<sub>el</sub>). Zahlenmäßig am häufigsten sind Photovoltaikanlagen auf Gebäudedächern (1.156 Anlagen). Weiterhin gibt es Stromerzeugungsanlagen auf Basis von Klärgas, Deponiegas und Biomasse (insgesamt 8 Anlagen). In Abbildung 13 ist die

Verteilung der Stromerzeugungsanlagen in der Konstanzer Innenstadt zu sehen. Die Karte des gesamten Stadtgebiets ist in Anhang 3 zu finden.

### Stadt Konstanz

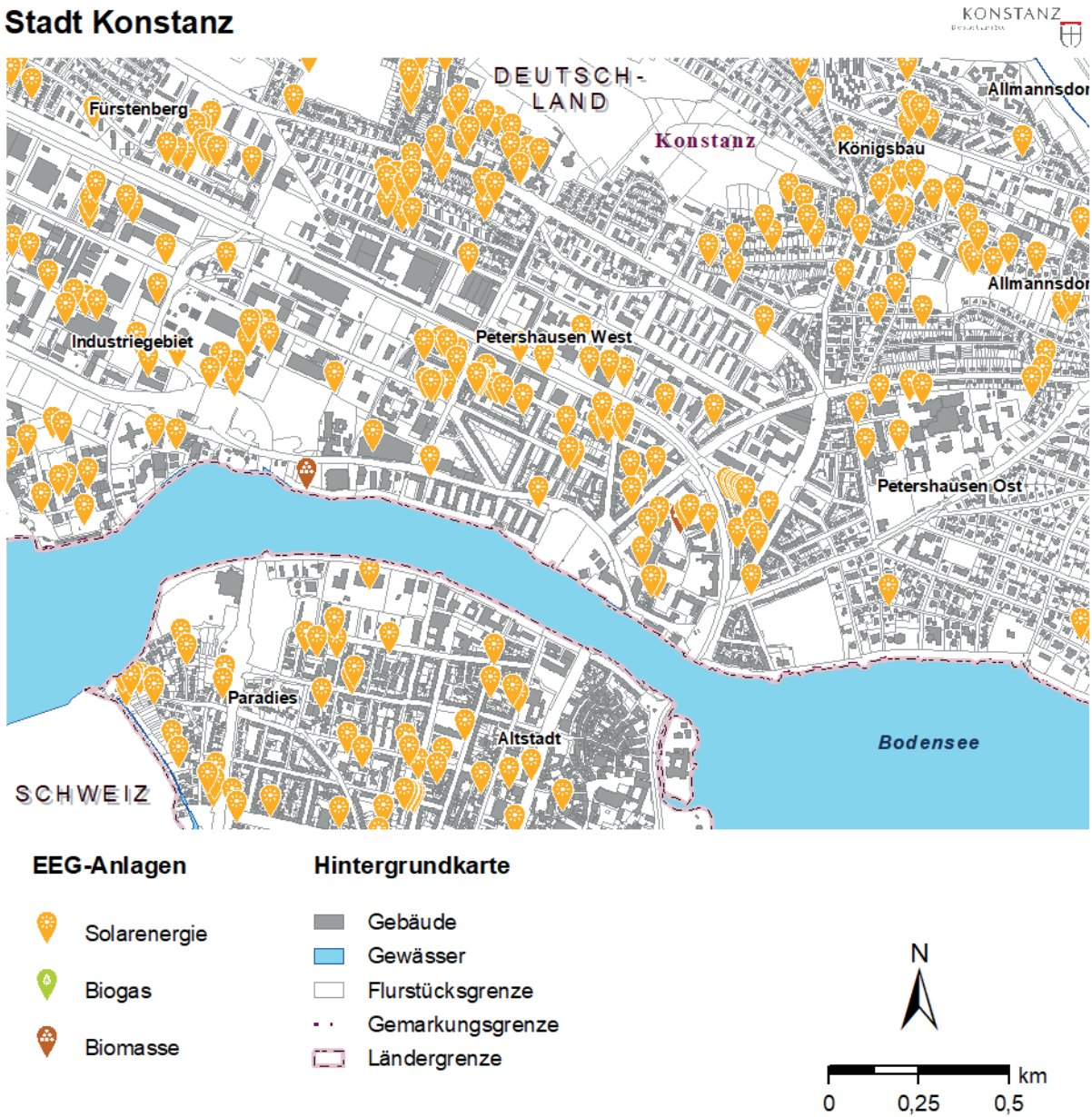


Abbildung 13: Verteilung der nach dem EEG geförderten Anlagen

### 3.4 Treibhausgasemissionen

Für die Ermittlung der Treibhausgasemissionen wurde die in Konstanz erzeugte Energie (Wärme und Strom in kWh) mit den entsprechenden Emissionsfaktoren der fossilen Brennstoffe multipliziert. Dabei wurde für Erdgas ein Emissionsfaktor von 250 g/kWh (GEMIS) angenommen und für Heizöl ein Emissionsfaktor von 319 g/kWh (GEMIS). Bei den Emissionsfaktoren handelt es sich um die indirekten Emissionsfaktoren, in welche bereits die Emissionen durch Gewinnung und Transport einberechnet wurden.

#### 3.4.1 Treibhausgasemissionen durch Energieerzeugung

Die vor Ort in Konstanz anfallenden Emissionen werden größtenteils durch die Energieerzeugung verursacht (PÖYRY; LBST 2016). In Abbildung 14 ist die Verteilung der Emissionen nach Energieträgern zu sehen. Es ist zu erkennen, dass die Energieerzeugung mit Erdgas über die Hälfte (57 %) der Emissionen durch Energieerzeugung verursacht; Heizöl verursacht wiederum ein Drittel der territorialen Emissionen. Setzt man dies jedoch in Relation zu den Anteilen der Energieträger an der Energieversorgung (Erdgas 65 %, Heizöl 25 %), wird deutlich, dass die mit Erdgas betriebenen Energieerzeugungsanlagen eine deutlich höhere Emissionseffizienz aufweisen, als die mit Heizöl betriebenen Anlagen.

Die Emissionen aus Biomasse sind so gering, dass sie in der Gesamtbilanz als klimaneutral behandelt werden. Heizöl-KWK verursachen aufgrund der geringen Verbreitung lediglich Emissionen von 500 t CO<sub>2</sub>/a und sind deshalb in der Abbildung nicht mit aufgelistet.

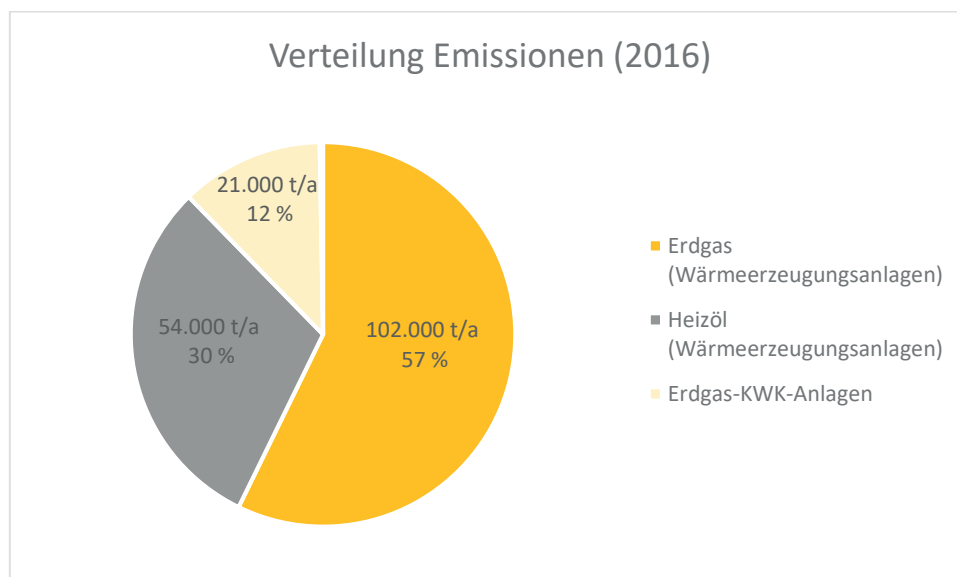


Abbildung 14: Verteilung der Emissionen nach Energieträgern



### 3.4.2 Treibhausgasemissionen durch Stromimporte

Auf Grundlage des durchschnittlichen Stromverbrauchs in den Jahren 2014 – 2017 und dem durchschnittlichen Emissionsfaktor für Stromerzeugung im Jahr 2017 (UMWELTBUNDESAMT 2018), können die Emissionen durch Stromimporte nach Konstanz auf ca. 113.000 t CO<sub>2</sub>/a beziffert werden. Die zukünftige Entwicklung dieser bilanziellen Emissionen hängt sowohl vom Stromverbrauch als auch von der gesamtdeutschen Stromerzeugung ab. Weitere Informationen zu prognostizierten Entwicklungen der indirekten Emissionen durch Stromimporte sind in Abschnitt 4.2.3.3 zu finden.

## 4 Potenzialanalyse

In diesem Abschnitt werden Potenziale für die Gestaltung der zukünftigen Energieerzeugung aufgezeigt. Dabei werden zuerst die Potenziale für die Nutzung von erneuerbaren Energien betrachtet, anschließend werden zwei Szenarien für eine zukünftige Energieversorgung bis 2050 aufgestellt. Auch die Potenziale für die Entwicklung der zukünftigen energetischen Infrastruktur werden beleuchtet.

### 4.1 Potenziale für die Nutzung erneuerbarer Energien

In diesem Kapitel werden die Potenziale von erneuerbaren Energien im Stadtgebiet Konstanz untersucht. Dabei werden die Potenziale für Abwasserwärme, Dachflächennutzung zur solaren Energiegewinnung, oberflächennahe Geothermie, Tiefengeothermie, Windkraft, Wasserkraft und Biomasse betrachtet.

#### 4.1.1 Abwasserwärme

Als Abwasserwärmerückgewinnung wird die Nutzung der im Abwasser enthaltenen thermischen Energie bezeichnet. Häusliches und industrielles Abwasser haben ein hohes Potenzial an Wärme, das bisher weitgehend ungenutzt der Kanalisation zugeführt wird. Systeme zur Nutzung dieser Energie werden auch als Abwasserwärmenutzungsanlagen (AWNA) bezeichnet.

Steigende Energiepreise und knapper werdende Rohstoffe haben der Energiegewinnung aus kommunalen Abwässern nicht nur umweltrelevante, sondern auch wirtschaftliche Bedeutung gegeben. Durch die Wärmegewinnung aus Abwasser kann die kommunale Kanalisation mittels Wärmepumpen einer zusätzlichen Nutzung im Stadtgebiet zugänglich gemacht werden.

Sowohl bei Kanalneubauten als auch bei Nachrüstungen können standardisierte Plattenwärmetauscher aus Chromstahl entlang des Bodens eines Abwasserkanals montiert werden, die dann vom Abwasser über- und gegebenenfalls auch unterströmt werden. Eine weitere Alternative, die jedoch im Regelfall nur für Kanalneubauten geeignet ist, besteht darin, Betonelemente mit integriertem Wärmetauscher zu verbauen.

Vom Wärmetauscher zirkuliert ein Solemedium zur Wärmepumpe. Dem durchschnittlich 15 °C warmen Abwasser kann somit je nach kommunaler Vorschrift bis auf 5 °C Wärme entzogen werden. Voraussetzung für einen zuverlässigen Betrieb ist eine kontinuierliche Abwassermenge, was wiederum bedingt, dass das zu versorgende Objekt in Reichweite einer hinreichend stark durchströmten Kanalisation oder in der Nähe einer Abwasserreinigungsanlage (ARA) gebaut wird.

Grundlage für die Potenzialermittlung der Abwasserwärme stellen die Abwasserkanäle mit einer Trockenwetterabflussmenge von mindestens 10 sowie 15 Litern pro Sekunde dar. Die entsprechenden Kanalabschnitte wurden von den Entsorgungsbetrieben Konstanz identifiziert und für den Energienutzungsplan bereitgestellt.

Entlang der Abwasserkanäle wurde im Anschluss der Energiebedarf aller beheizten Gebäude in einem Bereich von 100 Metern selektiert. Insgesamt beläuft sich die Zahl der Gebäude auf 1.368 mit einem Energiebedarf von insgesamt 166.000 MWh pro Jahr und 92 MW Leistung. Somit könnten potenziell 11 % der Gebäude in Konstanz mit Abwasserwärme beheizt werden und 20% des Wärmebedarfs mithilfe von Abwasserwärme gedeckt werden. Das exakte Potenzial der Abwasserwärme ist von der Durchflussmenge, der Abwassertemperatur und der möglichen Entzugstemperatur des Abwassers abhängig. Bei der Nutzung der Abwasserwärme sollten aus diesem Grund Einzelfallprüfungen erfolgen.

In Konstanz wird bereits in einem Neubaugebiet am Bahnhof Petershausen die Abwasserwärme zur Wärmeversorgung genutzt (VBW MAGAZIN 2016).



Abbildung 15: Potenzial Abwasserwärmenutzung

#### 4.1.2 Dachflächennutzung Solar

Konstanz verfügt dank 1.800 Sonnenstunden und einer mittleren jährlichen Globalstrahlung von ca. 1.150 kWh/m<sup>2</sup> im Jahr über optimale Rahmenbedingungen zur Nutzung der Sonnenenergie.

Eine Photovoltaikanlage amortisiert sich im Durchschnitt nach 12 – 15 Jahren, die typische Lebensdauer der Anlage beträgt mindestens 25 Jahre. Photovoltaikanlagen werden über die Einspeisevergütung staatlich gefördert. Dem Betreiber einer Photovoltaikanlage wird über den Zeitraum von 20 Jahren eine Abnahme des eingespeisten Stroms zu einem festen Preis garantiert. Über die Höhe der Einspeisevergütung bestimmt der Gesetzgeber indirekt die Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaikanlage. Nachdem die Einspeisevergütung mittlerweile nur noch geringfügig über den üblichen Erzeugerpreisen liegt, lohnt sich vor allem der Eigenverbrauch. Ist mehr selbstproduzierter Strom als benötigt vorhanden, wird dieser im Energiespeicher in Form von Warmwasser und/oder Strom gespeichert. Ist der Speicher voll, wird der überschüssige Strom ins öffentliche Netz eingespeist.

Die durchgeführte Potenzialanalyse beinhaltet nach aktuellem Stand der Technik und unter Berücksichtigung der Qualität der Geobasisdaten den Neigungswinkel, die Ausrichtung sowie die nutzbare Dachfläche aller berücksichtigten Gebäude als Basiswerte.

Abschattungseffekte, die infolge umliegender Gebäude oder topographischer Gegebenheiten entstehen, fließen als Kennzahl in die jährliche Ertragsberechnung mit ein. Letztere geht von einem Optimalwert aus und wird unter Berücksichtigung der oben genannten Parameter angepasst. Die Leistung der Photovoltaikanlagen, der voraussichtliche Stromertrag sowie die jährliche CO<sub>2</sub>-Einsparung wurden ebenfalls ermittelt. Dynamische Einflussgrößen wie Art der Module, der Wirkungsgrad oder die Performance Ratio<sup>1</sup> wurden nach aktuellen Gegebenheiten zum Zeitpunkt der Erhebung berücksichtigt. Als Basis für die Berechnungen dienen Durchschnittswerte bestehender Photovoltaikanlagen.

Eine andere weitverbreitete Möglichkeit der Nutzung der Sonnenwärme ist die Erzeugung von Brauchwarmwasser mithilfe einer solarthermischen Anlage. Eine zusätzliche Nutzung der Sonnenwärme wird erreicht, wenn diese nicht nur für die Brauchwarmwassererzeugung, sondern auch zur Unterstützung der Raumheizung genutzt wird. Um auch im Winter genug Warmwasser bzw. Heizwärme produzieren zu können, werden Solarthermieanlagen mit einem Wärmespeicher und dem bestehenden Heizkessel kombiniert.

Folgende Übersicht zeigt die zugrunde gelegten Werte für jedes untersuchte Gebäude:

- nutzbare zusammenhängende Dachfläche in m<sup>2</sup>
- Ausrichtung der nutzbaren Dachfläche nach Himmelsrichtung
- Dachneigung in Grad

---

<sup>1</sup> Die Performance Ratio, übersetzt Leistungsverhältnis, bezeichnet für Photovoltaikanlagen das Verhältnis zwischen dem möglichen (maximalen) Ertrag und dem tatsächlich erreichten Ertrag. (PHOTO-VOLTAIK.ORG)

- mittlere jährliche Globalstrahlung in kWh/m<sup>2</sup>
- Reduzierung der Einstrahlung durch Abschattungseffekte
- jährlicher Stromertrag in kWh<sub>el</sub>
- jährlicher thermischer Ertrag in kWh<sub>therm</sub>
- mögliche Anlagenleistung Photovoltaik in kWp
- jährliche CO<sub>2</sub>-Einsparung in kg/a

Denkmalgeschützte Gebäude wurden in der Auswertung gesondert berücksichtigt. Die Installation von Solaranlagen muss im Bereich der Altstadtsatzung und für sämtliche denkmalgeschützte Gebäude mit der unteren Denkmalschutzbehörde der Stadt Konstanz im Einzelfall geklärt werden. Grundsätzlich besteht in Konstanz das Potenzial, um weitere 20 % des Gesamtstromverbrauchs mithilfe von Dachflächen-Photovoltaikanlagen zu decken. Auf denkmalgeschützte Gebäude entfallen 3 % dieses Potenzials, womit diese Gebäudekategorie 15 % des noch vorhandenen Dachflächenpotenzials ausmacht. Es sollten daher verstärkt Lösungen gesucht werden, um den Einsatz erneuerbarer Energien mit dem Denkmalschutz besser vereinbaren zu können.

Zur besonders effizienten Nutzung des Solarpotenzials wurde eine Übersicht mit den 40 Gebäuden mit dem höchsten noch ungenutzten Solarpotenzial an die Stadt Konstanz übergeben.



Abbildung 16: Solarpotenzial Stadt Konstanz

In der folgenden Tabelle 10 ist ein Überblick über das Solarpotenzial mit und ohne Berücksichtigung des Denkmalschutzes zu finden. Dabei ist zu erkennen, dass durch den Denkmalschutz bei strikter Auslegung (keine Anlagen auf denkmalgeschützten Gebäuden) ca. 13 % des CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzials ungenutzt blieben.

Tabelle 10: Überblick Solarpotenzial

	Potenzial mit Berücksichtigung des Denkmalschutzes	Potenzial ohne Berücksichtigung des Denkmalschutzes
Dachfläche	Ca. 880.000 m <sup>2</sup>	Ca. 1.000.000 m <sup>2</sup>
Potenzieller Ertrag Solarthermie	Ca. 377 GWh/a	Ca. 427 GWh/a
Potenzieller Ertrag Photovoltaik	Ca. 81 GWh/a	Ca. 94 GWh/a
CO <sub>2</sub> -Einsparungen Photovoltaik	Ca. 46.000 t/a	Ca. 53.000 t/a

Die Stromerzeugung aus Photovoltaikanlagen betrug im Jahr 2016 ca. 14 GWh. Das bedeutet, dass 85 % des Photovoltaikpotenzials der Stadt Konstanz (94 GWh) momentan ungenutzt sind. Hier verbirgt sich dementsprechend ein gewaltiges Potenzial; nahezu ein Drittel des derzeitigen Stromverbrauchs könnte vor Ort durch das Solarpotenzial gedeckt werden.

Im Wärmebereich könnte zudem knapp die Hälfte des Wärmeverbrauches durch die komplette Ausnutzung des Solarpotenzials mit Solarthermieanlagen gedeckt werden. Allerdings ist es aufgrund von begrenzt verfügbaren Dachflächen (Flächenkonkurrenz) nicht möglich, beide Potenziale vollständig zu nutzen. Es sollte im Einzelfall entschieden werden, ob für das jeweilige Gebäude eine Versorgung mit Solarthermie oder Photovoltaik effizienter ist.

#### 4.1.3 Oberflächennahe Geothermie

Bei der oberflächennahen Geothermie handelt es sich um die Nutzung der Erdwärme bis ca. 400 m Tiefe. Erdwärmesonden werden normalerweise in Tiefen zwischen 50 und 160 m abgeteuft, in denen eine 7 bis 12 °C konstante Bodentemperatur vorherrschen sollte. Durch die Erdwärmesonde wird eine Sole in den Boden gepumpt, die dem Erdreich Wärme entzieht. Diese Flüssigkeit wird anschließend wieder an die Oberfläche gefördert und mit einer Wärme-

pumpe auf das gewünschte Temperaturniveau angehoben. Voraussetzung für eine KfW-Förderung von Geothermieanlagen ist die Jahresarbeitszahl<sup>2</sup> elektrischer Wärmepumpen von 3,8 bei Wohngebäuden und 4,0 bei Nichtwohngebäuden. Am effizientesten arbeitet eine Wärmepumpe bei einer Vorlauftemperatur des Heizsystems von weniger als 45 °C wie z. B. bei einer Bodenheizung (BUNDESVERBAND GEOTHERMIE).

Der effiziente Einsatz von Wärmepumpen ist aufgrund des niedrigen erreichbaren Temperaturniveaus ausschließlich in gut sanierten Altbauten sowie in Neubauten garantiert. Für neu errichtete Gebäude hat sich der Einsatz von Wärmepumpen etabliert, da diese Technologie neben BHKWs die derzeit wirtschaftlichste Erfüllungsmöglichkeit des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) des Bundes darstellt.

Die Potenzialermittlung der oberflächennahen Geothermie basiert auf dem Informationssystem ISONG des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) im Regierungspräsidium Freiburg. Darin sind Informationen über geothermische Effizienz, Wasser- und Heilquellenschutzgebiete, artesische Grundwasserverhältnisse, Störungen sowie spezifische Wärmeentzugsleistungen in unterschiedlichen Bohrtiefen enthalten.

Das Stadtgebiet Konstanz wird mit einer guten geothermischen Effizienz geführt. Demnach liegt die Wärmeentzugsleistung in 100 Metern Bohrtiefe bei 55 – 65 W/m für die Laufzeit einer Wärmepumpe von 1800 h/a (siehe Abbildung 17). Die gleiche Bohrtiefe weist 45 – 55 W/m Wärmeentzugsleistung für die Laufzeit einer Wärmepumpe mit 2400 h/a auf (siehe Abbildung 18). Würde die gesamte Stadtfläche von Konstanz (54,11 km<sup>2</sup>) für Geothermiebohrungen genutzt werden, so würde das Potenzial bei einem Abstand von 1.000 m<sup>2</sup> zwischen den Bohrungen 536 GWh/a bei 1.800 h/a und 649 GWh/a bei 2.400 GWh/a betragen.

---

<sup>2</sup> Eine Jahresarbeitszahl beschreibt den Stromaufwand, der für die Wärmeerstellung notwendig ist. Bei einer Jahresarbeitszahl von 4 beträgt der Stromaufwand  $\frac{1}{4}$  des Wärmeertrags.



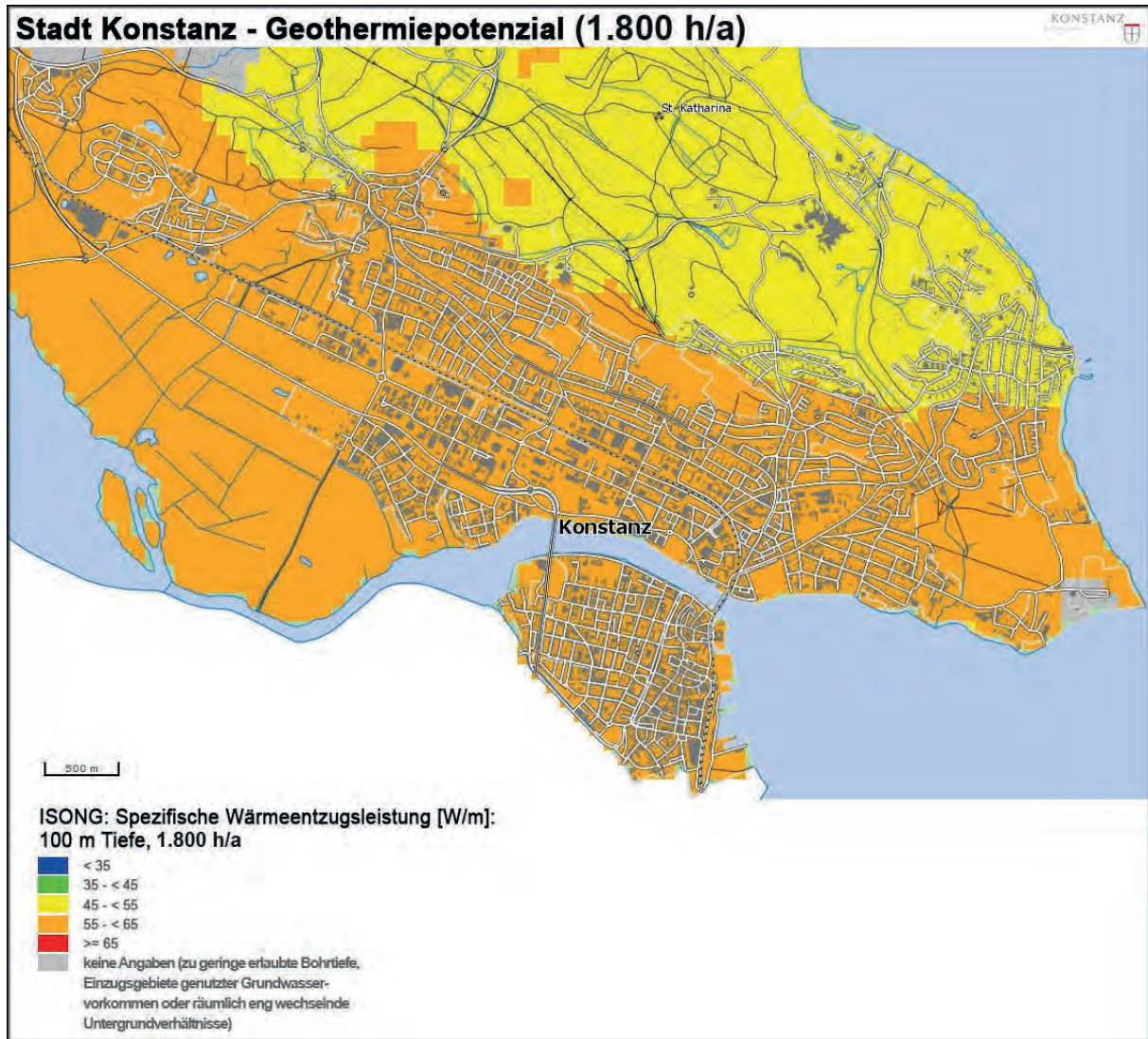


Abbildung 17: Geothermiepotenzial spezifische Wärmeentzugsleistung bei 1.800 h/a

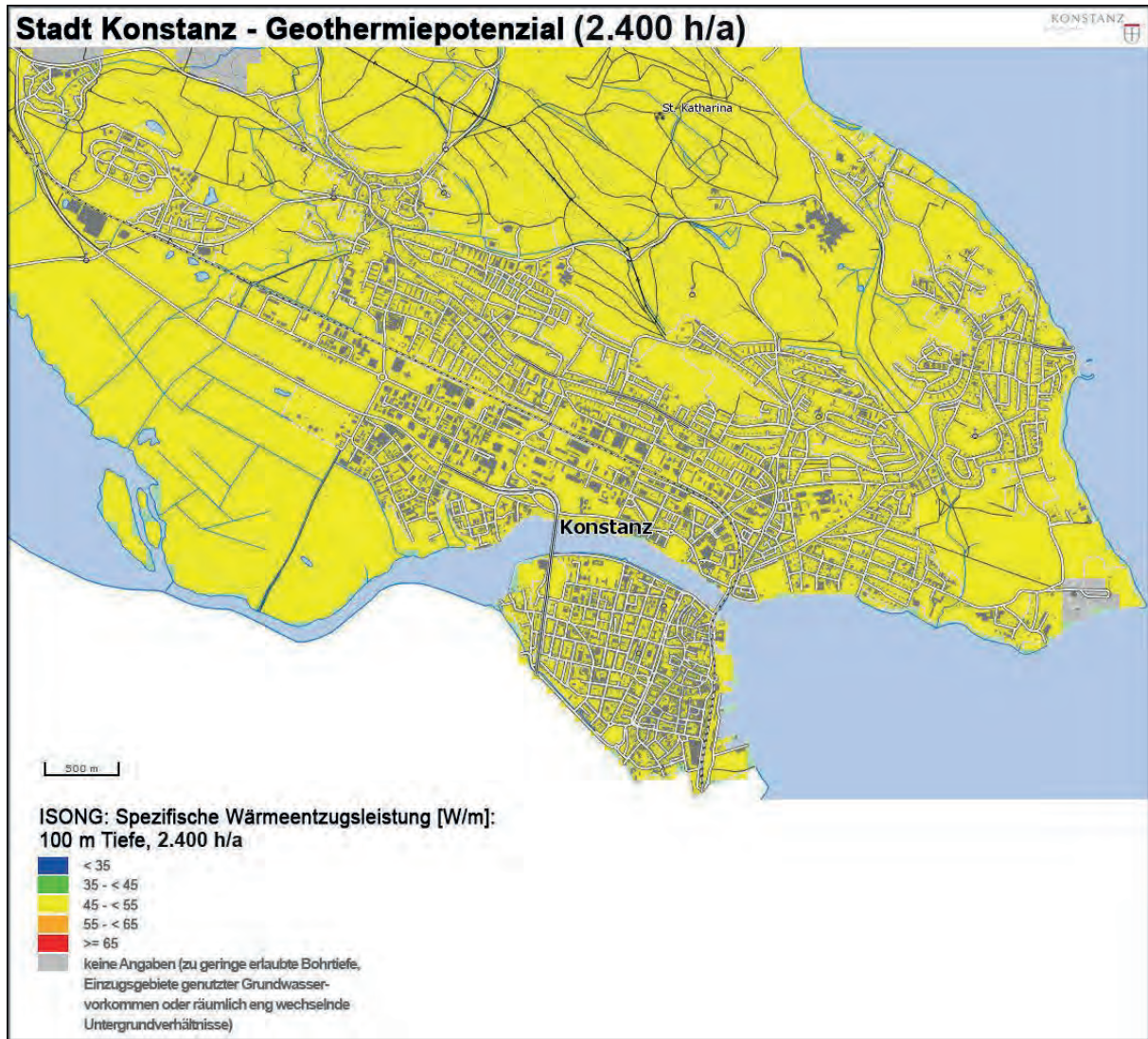


Abbildung 18: Geothermiepotenzial spezifische Wärmeentzugsleistung bei 2.400 h/a

#### 4.1.4 Tiefengeothermie

Bei der Tiefengeothermie handelt es sich um Wärmegewinnung ab einer Tiefe von 400 m. Das Potenzial der Tiefengeothermie in Konstanz wurde bereits im Jahr 2008 von der Firma GeoEnergyConsulting im Auftrag der Stadtwerke Konstanz untersucht. In der Studie mit dem Titel „Potenzial- und Wirtschaftlichkeitsabschätzung der Nutzung tiefer Geothermie im Großraum der Städte Konstanz, Friedrichshafen und Überlingen“ kommen die Autoren zum Fazit, dass eine Nutzung der Geothermie mit einem klassischen hydrogeothermalen Erschließungsverfahren wirtschaftlich nicht darstellbar ist. Grund dafür ist der sehr feste Granitboden im Raum Konstanz, in welchem nur sehr wenige Hohlräume für Luft- und Wassereinlagerungen vorhanden sind. Diese sind jedoch notwendig, um die Tiefengeothermietechnik effizient einsetzen zu können (GEOENERGYCONSULTING 2008).

Eine Alternative wäre die Anwendung der sogenannten EGS-Technik (Enhanced Geothermal Systems). Bei dieser Technik werden durch kleinere Sprengungen Hohlräume im Erdreich geschaffen, die dann zur Wärmenutzung genutzt werden können. Diese Art der Tiefengeothermie ist jedoch sehr umstritten. In St. Gallen kam es zu einem Stopp eines Tiefengeothermieprojekts, als bei der Anwendung der EGS-Technik durch die Sprengungen leichte Erdbeben (3,6 auf der Richterskala) ausgelöst wurden (FAZ 2013).

Da die EGS-Technik sehr kostenaufwendig und umstritten ist, ist eine Gewinnung von Wärme durch Tiefengeothermie in Konstanz nur im Falle neuer Erkenntnisse zu den einsetzbaren Technologien und der Wirtschaftlichkeit zu empfehlen.

#### 4.1.5 Windkraft

Der Energieatlas Baden-Württemberg weist eine bedingt geeignete Fläche für Windkraft zwischen Wollmatingen und Dingelsdorf aus (vgl. Abbildung 19).

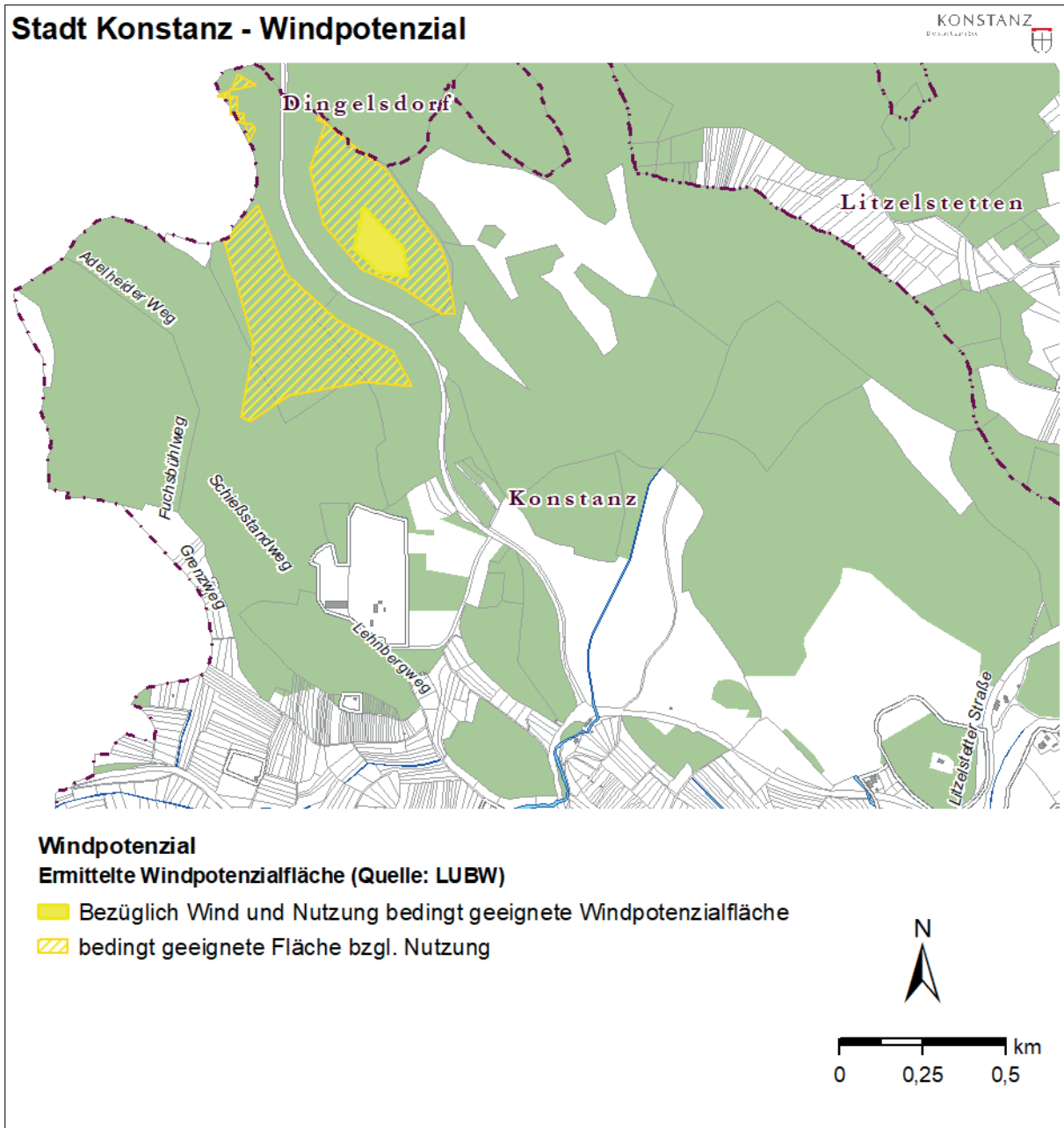
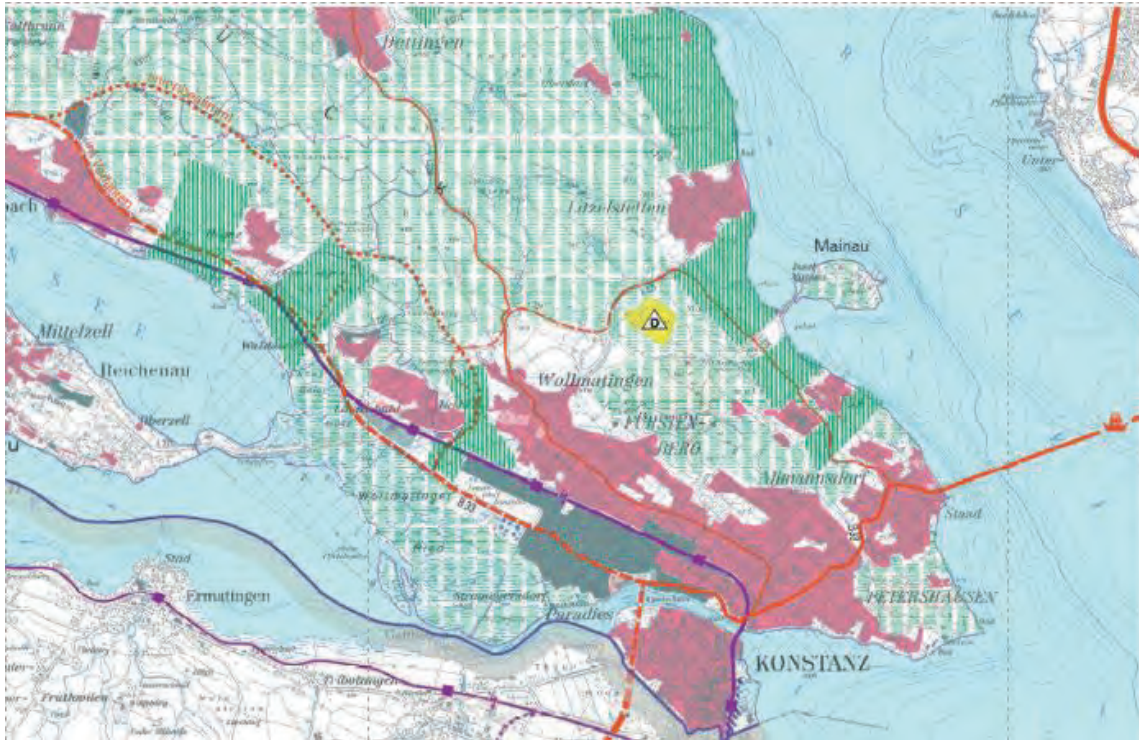



Abbildung 19: Potenzial Windkraft

Jedoch sind laut der zweiten Teilfortschreibung des Regionalplans des Regionalverbandes Hochrhein-Bodensee keine Windkraftstandorte auf dem Stadtgebiet Konstanz ausgewiesen. Aus diesem Grund ist auf dem Stadtgebiet mittelfristig keine Nutzung der Windkraft möglich.












**Regionale Freiraumstruktur**

 Regionaler Grünzug (VRG) (PB 3.1.1)


 Grünzäsur (VRG) (PB 3.1.2)

**Regionale Infrastruktur**

Nachrichtliche Übernahmen aus dem Regionalplan 2000:

- | Bestand   | Planung   | Variante  | Straßenverkehr                                    |
|---|---|---|---|
|  |  |  | Straßen für großräumigen Verkehr / Kategorie I    |
|  |  |  | Straßen für überregionalen Verkehr / Kategorie II |
|  |  |  | Straßen für regionalen Verkehr / Kategorie III    |


**Schielenverkehr**


 Eisenbahnstrecke mehrgleisig

 Bahnhof oder Haltepunkt

**Regionale Siedlungs- und Infrastruktur**

Nachrichtliche Übernahmen (Stand: RP 2000 vom 10.04.1998)

 Siedlungsfläche Wohnen und Mischgebiet (Überwiegend) (N)

 Siedlungsfläche Industrie und Gewerbe (Überwiegend) (N)

 Deponie (N)

**Entwurf zur 2. Anhörung 2. Teilfortschreibung Regionalplan 2000 Windenergienutzung**


 Standort für regionalbedeutsame Windkraftanlagen (VRG) - ENTWURF  
(Teilfortschreibung RP2000 - Windenergienutzung, PB 4.2.5.3)

Abbildung 20: Ausschnitt des Regionalplans des Regionalverb. Hochrhein-Bodensee

#### 4.1.6 Wasserkraft

Eine Studie des Bundesumweltministeriums hat deutschlandweit die Potenziale für Wasserkraft an 672 Standorten analysiert. Auf dem Stadtgebiet der Stadt Konstanz sind laut der Studie keine Potenziale für die Nutzung von Wasserkraft vorhanden. (MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG 2015)

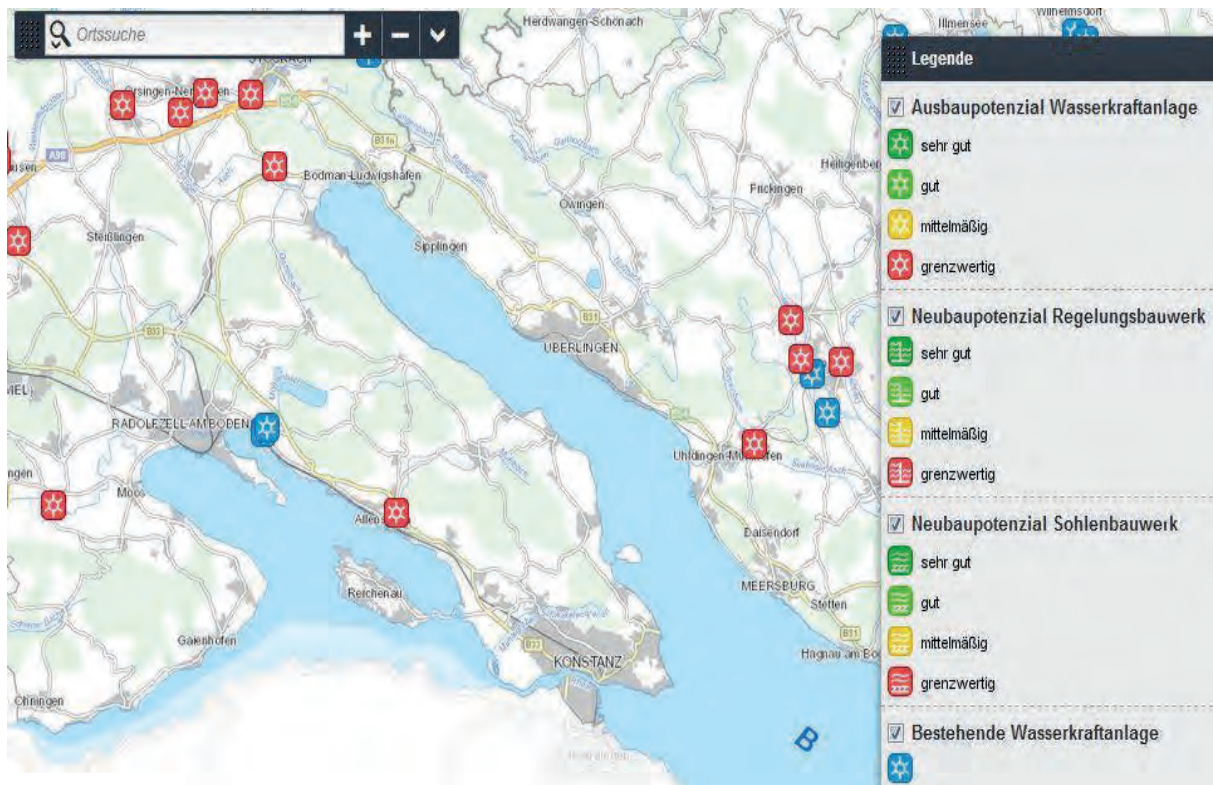


Abbildung 21: Standorte Wasserkraft

#### 4.1.7 Biomasse

Die Biomassepotenziale der Bodenseeregion wurden in einer Studie des Deutschen Biomasseforschungszentrums im Rahmen der technisch-ökonomischen Begleitforschung zu den „Bioenergie-Regionen 2.0“ im Jahr 2014 erfasst. In der Studie wurden alle Biomassepotenziale aus landwirtschaftlicher Biomasse, forstwirtschaftlicher Biomasse sowie Abfällen und Reststoffen erfasst, mit Ausnahme von landwirtschaftlichem Grünschnitt, Energiepflanzen und tierischen Exkrementen. Auch die Biomassepotenziale aus Klärschlamm wurden nicht berücksichtigt.

Für die Stadt Konstanz (bzw. in einem Fall für den Landkreis Konstanz) wurden in der genannten Studie folgende technische Biomassepotenziale ermittelt:

Tabelle 11: Biomassepotenziale Stadt Konstanz

	Bezugsfläche	Herkunft	Potenzial an Biomasse in kWh/a
Abfälle und Reststoffe	Stadt Konstanz	Bioabfall, Grünabfall, Gewerbliche Speiseabfälle, Altholz, Grünanlagen, Friedhöfe, Obstplantagen, Weinbau, Moor, Straßenbegleitflächen	48.954.000
Landwirtschaftliche Biomasse	Stadt Konstanz	Stroh	1.648.000
Forstwirtschaftliche Biomasse	Landkreis Konstanz	Holz aus forstwirtschaftlichen Flächen	460.528.000

Der exakte Umfang des Biomassepotenzials ist zum einen von der Menge der in der Studie nicht erfassten Biomassepotenziale abhängig, d.h. von der Menge an landwirtschaftlichem Grünschnitt, Energiepflanzen, tierischen Exkrementen und Klärschlamm.

Weiterhin ist die Höhe des technischen Biomassepotenzials davon abhängig, welcher Anteil der forstwirtschaftlichen Biomasse des Landkreises Konstanz für die Stadt Konstanz zur Verfügung steht. Wird das Biomassepotenzial anteilig zu den Einwohnern berechnet, so stehen der Stadt Konstanz 133 GWh/a aus forstwirtschaftlicher Biomasse zur Verfügung. Das in der Studie ermittelte technische Biomassepotenzial für die Stadt Konstanz würde unter diesen Annahmen 184 GWh/a betragen.

Im Jahr 2016 wurden im Stadtgebiet Konstanz 494.000 kWh Strom aus Biomasse (exkl. Klärgas) produziert. Das Potenzial des Landkreises Konstanz wurde dementsprechend nur zu einem geringen Anteil ausgenutzt.

Ein Großteil der in der Stadt Konstanz existierenden Biomasse ist jedoch bereits in Stoffkreisläufen gebunden. Die Rohstoffe werden entweder weiterverkauft oder bereits einer energetischen Nutzung zugeführt. Dies trifft insbesondere auf die forstwirtschaftliche Biomasse der Stadt Konstanz zu, sowie auf den in der Kläranlage Konstanz anfallenden Klärschlamm.

Die Bodensee-Stiftung erfasst seit 2013 die ungenutzten Biomassepotenziale in Konstanz und steht dazu in Kontakt mit allen großen Biomasseproduzenten der Stadt Konstanz. Laut Schätzungen der Bodenseestiftung aus dem Jahr 2018 existieren ca. 4 GWh/a ungenutzte Biomassepotenziale in Konstanz.

Die bisherigen Analysen zeigen, dass das Potenzial an Biomasse im Stadtgebiet Konstanz bislang nicht ausgeschöpft wird. Es wird eine Ausschöpfung des Potenzials der energetischen Nutzung der Biomasse unter Berücksichtigung von Nutzungskonflikten und bestehenden Stoffströmen empfohlen (siehe Abschnitt 7.2).

### Vergleich der theoretischen Potenziale

Vergleicht man die theoretischen Potenziale untereinander, so fällt auf, dass die oberflächennahe Geothermie das größte theoretische Potenzial besitzt (siehe Abbildung 22). Jedoch ist dieses Potenzial insbesondere im dicht bebauten Bestand technisch nur schwierig auszuschöpfen, sodass es notwendig ist, neben der oberflächennahen Geothermie weitere erneuerbare Energien zur Wärmeerzeugung zu nutzen, um eine auf erneuerbaren Energien basierende Wärmeerzeugung aufzubauen (siehe Abschnitt 4.2.3.3). Es wird deshalb eine Kombination von mehreren erneuerbaren Energieträgern empfohlen.

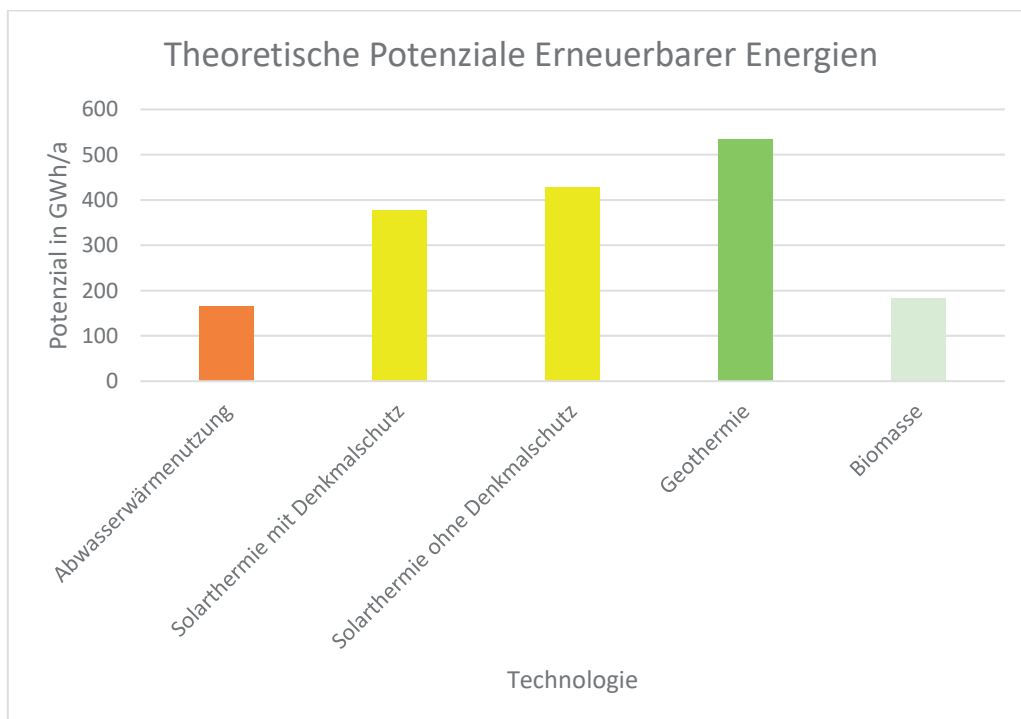


Abbildung 22: Theoretische Potenziale erneuerbarer Energien



Nachdem im vorangegangenen Abschnitt das Potenzial der erneuerbaren Energien beleuchtet wurde, werden im nächsten Abschnitt zwei Szenarien für die Entwicklung der Energieerzeugung in Konstanz beschrieben.

## 4.2 Szenarien zur Entwicklung des Energiesektors

Im folgenden Kapitel werden verschiedene Szenarien zur Entwicklung des Energieverbrauchs und der Energieerzeugung vorgestellt. Dabei wird in den folgenden zwei Abschnitten zuerst auf die Entwicklung des Wärmebedarfs und des Strombedarfs in den verschiedenen Sektoren eingegangen. Anschließend werden mögliche Szenarien für die Entwicklung der Energieerzeugung aufgezeigt.

### 4.2.1 Szenarien zur Entwicklung des Wärmebedarfs

Die Szenarien für die zukünftige Entwicklung des Wärmebedarfs unterscheiden sich untereinander durch verschiedene Sanierungsraten. Die Sanierungsrate beschreibt den Anteil aller Gebäude, die in einem Jahr energetisch saniert werden.

Die Sanierungsrate wird nicht regelmäßig erhoben (DENA 2017), weshalb es auch keine aktuellen Daten zu den Sanierungsraten in Deutschland oder Konstanz gibt. Die letzte Erhebung der Sanierungsrate für Wohngebäude wurde für den Zeitraum 2005 – 2008 durchgeführt, damals wurde eine Sanierungsrate von 0,8 % bei deutschen Wohngebäuden errechnet (DENA 2018).

Um den Wärmebedarf langfristig zu senken, hat die Bundesregierung das Ziel von einer bundesweiten Sanierungsrate von mindestens 2 % bis 2020 beschlossen (DIE BUNDESREGIERUNG). Aufgrund der bisher wesentlich geringeren Sanierungsraten wird jedoch von Fachleuten (z. B. dem Vorstand der Deutschen Energieagentur) davon ausgegangen, dass dieses Ziel verfehlt wird (FRANKFURTER RUNDSCHAU 2017).

Um die Einsparziele der Europäischen Union (32,5 % Energieeinsparung bis 2030) im Wärmebereich zu erreichen, müsste eine Sanierungsrate von ca. 6 % erreicht werden. Bei der bisher anzunehmenden Sanierungsrate von unter 1 % ist dies und damit auch das Ziel der Europäischen Union jedoch als überaus ambitioniert einzuschätzen.

Abgeleitet aus diesen Rahmenbedingungen werden bei den Szenarien für die Entwicklung des Wärmebedarfs folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- Szenario 0,8 % Sanierung: Es wird davon ausgegangen, dass die derzeitige Sanierungsrate anhält.

- Szenario 2 % Sanierung: Es wird angenommen, dass das Ziel der Bundesregierung ab 2018 umgesetzt wird.
- Szenario 3 % Sanierung: Das Ziel der Bundesregierung wird übertroffen.

Um die Einsparungen zu berechnen, wurde mit der Klassifizierung nach dem EU-Projekt TABULA (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment) eine Klassifizierung von Gebäuden nach einem Schema des IWU zugrunde gelegt. Im TABULA-Modell werden die Gebäude nach Baualter, Größe und Nutzung unterschieden. Entsprechend der Klassifizierung können Aussagen über typische Verbräuche und Einsparpotenziale der Gebäude getroffen werden (siehe Abschnitt 3.1.1). Das durchschnittliche Einsparpotenzial der Gebäude durch Sanierungen liegt in Konstanz nach dem TABULA-Modell bei 41 % des bisherigen Energiebedarfs.

In den Szenarien der Energiebedarfe wird auch die Bevölkerungsentwicklung von Konstanz berücksichtigt. Hier wird von einem Anstieg der Einwohnerzahl von Konstanz von 85.000 Einwohner (2016) auf 100.000 Einwohner bis 2050 ausgegangen. Die zugrundeliegenden Berechnungen sind in Anhang 1 zu finden.

#### *4.2.1.1 Szenarien zur Entwicklung des Wärmebedarfs bei Wohngebäuden*

Bei der Entwicklung des zukünftigen Wärmebedarfs werden in diesem Abschnitt zuerst die Wohngebäude betrachtet. Zu den Wohngebäuden zählen in diesem Fall sowohl Gebäude, die ausschließlich für Wohnnutzung genutzt werden, als auch Gebäude mit Wohnmischnutzung, in denen ein Teil für Verwaltung oder Gewerbe genutzt wird.

Werden die Annahmen zu Sanierungsraten und Einsparpotenzialen gemäß des vorangegangenen Abschnitts zugrunde gelegt, so ergibt sich für die zukünftige Entwicklung des Wärmebedarfs das Ergebnis aus Abbildung 23.

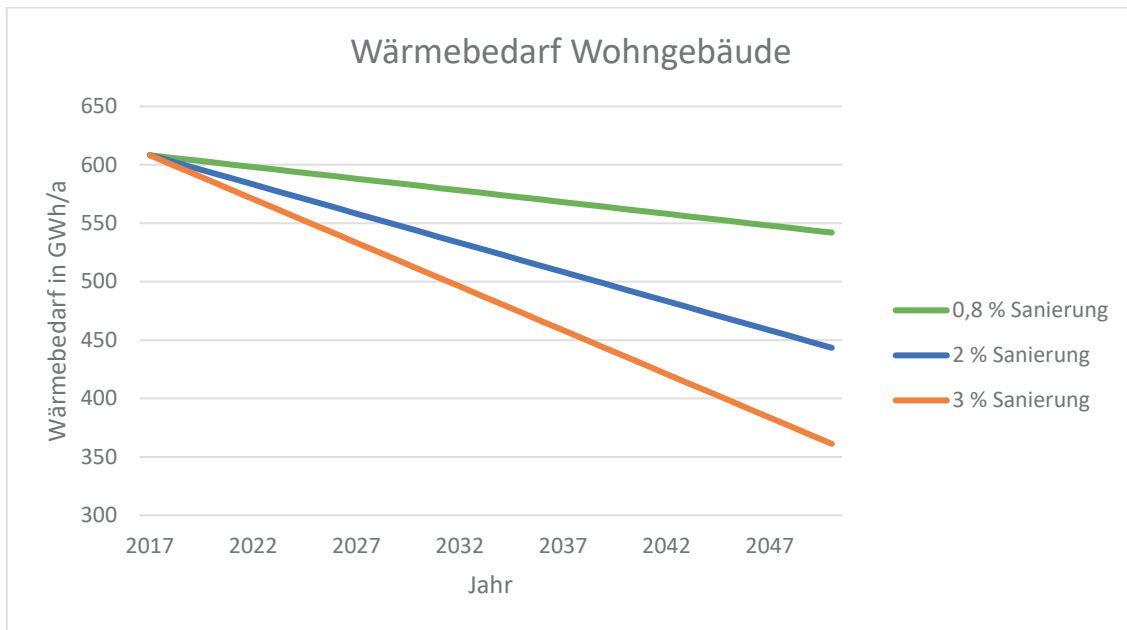


Abbildung 23: Wärmebedarf Wohngebäude bis 2050

Während die derzeitige Sanierungsrate von 0,8 % nur zu einer Reduzierung des Wärmebedarfs von 11 % bis 2050 führt, würde eine Sanierungsrate von 3 % Einsparungen von 41 % mit sich bringen.

Die Effizienzziele der Europäischen Union betragen 32,5 % Effizienzsteigerung bis 2030. Dieses Ziel würde unter den hier getroffenen Annahmen beim Wärmeverbrauch auch bei einer Sanierungsrate von 3 % verfehlt werden. Mit einer Sanierungsrate von 3 % wären die Einsparungen im Jahr 2044 (32,5 % Einsparungen) erreicht.

#### 4.2.1.2 Szenarien zur Entwicklung des Wärmebedarfs bei Gebäuden für öffentliche Zwecke

Analog zu der zukünftigen Entwicklung des Wärmebedarfs für Wohnhäuser wird in diesem Abschnitt der Wärmebedarf der Gebäude für öffentliche Zwecke betrachtet. Zu den Gebäuden für öffentliche Zwecke zählen hauptsächlich kommunale und Landes-/Bundesgebäude, jedoch vereinzelt auch Gebäude privater Träger. Zu den Gebäuden für öffentliche Zwecke in Konstanz gehören:

- Allgemeinbildende Schulen (33 Gebäude)
- Stadtbibliothek (1 Gebäude)
- Bahnhofsgebäude (3 Gebäude)
- Feuerwehr (5 Gebäude)

- Gebäude für Sportzwecke (41 Gebäude)
- Gerichte (3 Gebäude)
- Hallenbäder und Thermen (3 Gebäude)
- Hochschulgebäude (3 Gebäudekomplexe)
- Justizvollzugsanstalt (1 Gebäude)
- Kinderkrippe, Kindergarten, Kindertagesstätte (32 Gebäude)
- Kirchen (20 Gebäude)
- Museum (4 Gebäude)
- Polizei (1 Gebäude)
- Rathäuser (4 Gebäude)
- Sport- und Turnhallen (10 Gebäude)
- Veranstaltungsgebäude (19 Gebäude)
- Verwaltungsgebäude (36 Gebäude)

Bei den Gebäuden für öffentliche Zwecke wurden analog zu den Wohngebäuden Sanierungsraten von 0,8 %, 2 % und 3 % angenommen und auch hier die Einsparungen gemäß des TABULA-Modells ermittelt (siehe Abschnitt 4.2.1.1). Es ergibt sich folgendes Ergebnis:

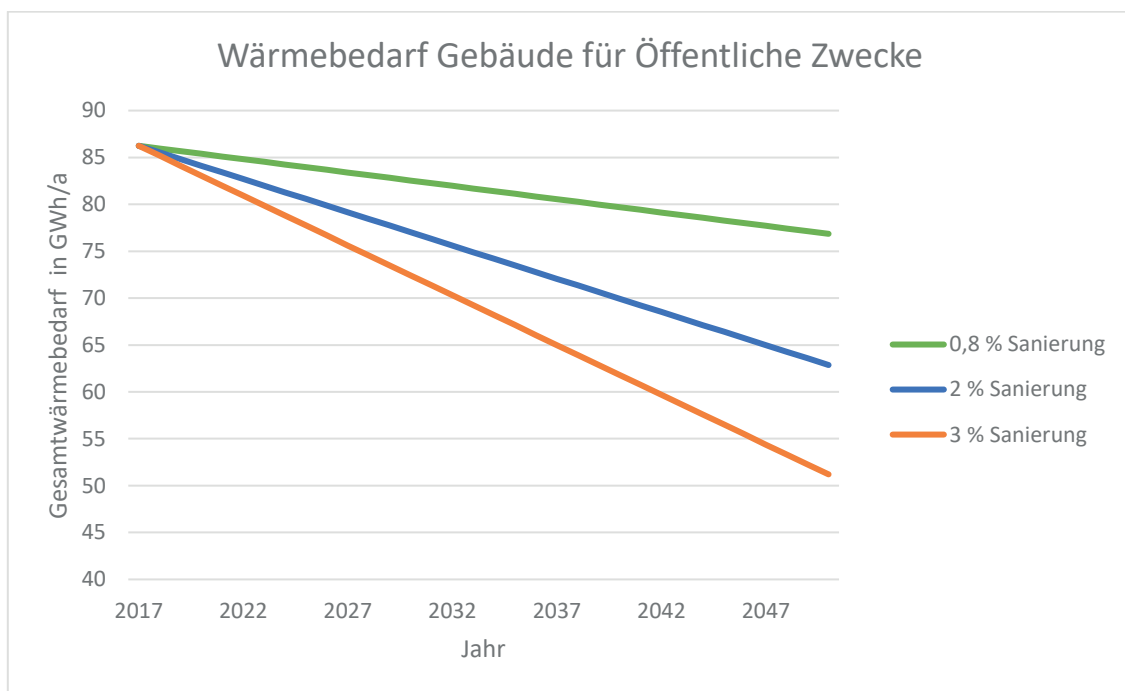


Abbildung 24: Wärmebedarf Gebäude für öffentliche Zwecke bis 2050

Auch hier sind je nach Sanierungsrate deutliche Unterschiede im Wärmebedarf zu sehen. Die Sanierungsrate wirkt sich aber nicht nur auf das Erreichen der EU-Effizienzziele aus (siehe Abschnitt 4.2.1.1), sondern auch auf die durch die Wärmeerzeugung verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen und die durch Wärmeerzeugung entstehenden Kosten. Da knapp drei Viertel der Wärme in Konstanz durch Erdgas erzeugt werden (siehe Abschnitt 3.1.6), wird bei der folgenden Berechnung davon ausgegangen, dass die Gebäude für öffentliche Zwecke ebenfalls mit Erdgas beheizt werden. Bei einer Sanierungsrate von 3 % könnten bei den Gebäuden für öffentliche Zwecke 8.712 t CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart werden; bei einem Erdgaspreis von 0,0476 €/kWh (vgl. Stadtwerke Konstanz, 2018) entspricht dies einer jährlichen Energiekosten-Einsparung von ca. 2 Mio. €.

Tabelle 12: Einsparungen bei Sanierungen der Gebäude für öffentliche Zwecke

Sanierungsrate	Einsparung Verbrauch [GWh pro Jahr]	Einsparung Verbrauch [%]	Einsparung CO <sub>2</sub> -Emissionen [t CO <sub>2</sub> /a]	Einsparung Kosten Erdgas [€/a]
0,80 %	9	11 %	1.900	447.000
2 %	23	27 %	4.700	1.113.000
3 %	35	41 %	7.000	1.668.000

#### 4.2.1.3 Szenarien zur Entwicklung des Wärmebedarfs für Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie

Als letzter verbleibender Sektor bei der Analyse des Wärmebedarfs wird in diesem Abschnitt der Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und Industrie betrachtet. Zu den Gebäuden des Sektors GHD und Industrie gehören in Konstanz:

##### Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

- Betriebsgebäude (132 Gebäude)
- Bürogebäude (97 Gebäude)
- Freizeit- und Vergnügungsstätten (7 Gebäude)
- Gaststätten, Restaurants (39 Gebäude)
- Gebäude für Vorratshaltung (53 Gebäude)
- Geschäftsgebäude (76 Gebäude)
- Hotels, Motels, Pensionen (40 Gebäude)
- Jugendherberge (1 Gebäude)

- Krankenhäuser (1 Gebäudekomplex)
- Sanatorien (2 Gebäude)
- Seniorenheime (12 Gebäude)
- Tankstellen (3 Gebäude)

### Industrie

- Fabriken (7 Gebäude)
- Werkstätten (91 Gebäude)

In diesem Sektor wird bei den Gebäuden für GHD analog zu den Sanierungsraten bei Wohnhäusern und Gebäuden für öffentliche Zwecke von Sanierungsraten von 0,8 %, 2 % und 3 % ausgegangen. Bei den Industriegebäuden wird von einer Sanierungsrate von lediglich 0,5 % ausgegangen. Grund dafür ist, dass der Anreiz zur Sanierung von Industriegebäuden wesentlich geringer ist, als der Anreiz für Sanierungen von z. B. Wohngebäuden. Durch ein Aufkommen von Abwärme und einen geringen Raumwärmebedarf sind die Einsparungen in vielen Fällen nicht so hoch wie bei Gebäuden mit anderen Nutzungsformen. In Abbildung 25 sind die aufsummierten Verbräuche bei entsprechenden Sanierungsraten bis 2050 zu erkennen.

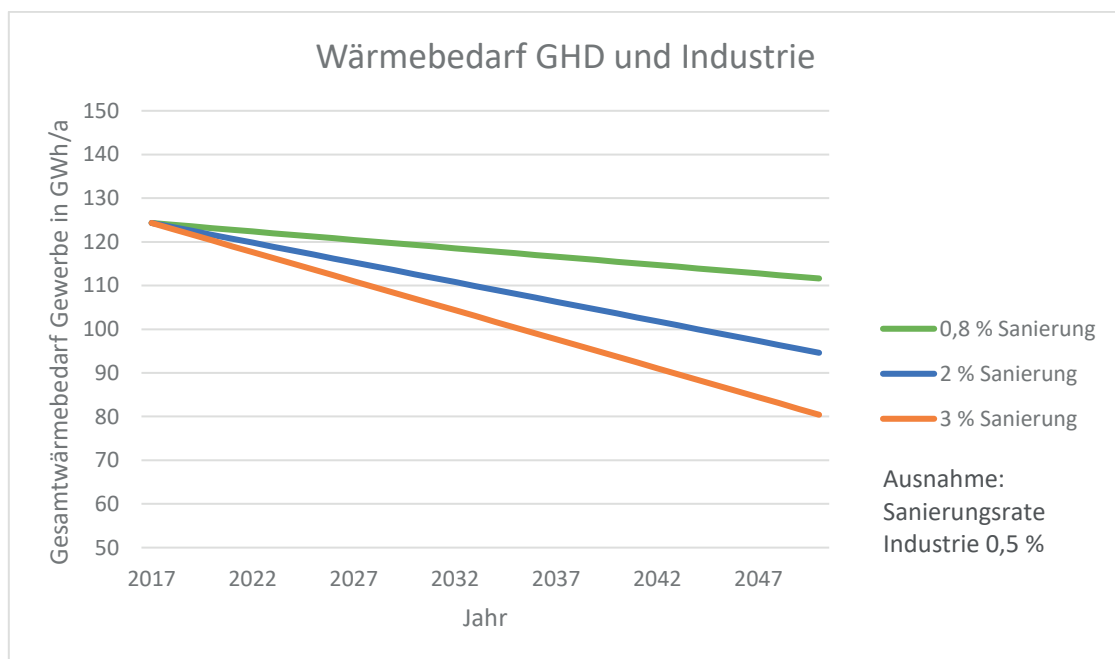


Abbildung 25: Wärmebedarf GHD und Industrie

Durch die geringere Sanierungsrate bei Industriegebäuden sind hier die Einsparungen geringer als bei den Wohngebäuden und den Gebäuden für öffentliche Zwecke. Bei einer Sanierungsrate von 3 % betragen die Verbrauchseinsparungen 35 % bis zum Jahr 2050, im Vergleich zu 41 % bei den anderen Sektoren.

#### 4.2.1.4 Entwicklungen des Wärmebedarfs – Überblick über alle Sektoren

In Abbildung 26 sind die Entwicklungen des zukünftigen Wärmebedarfs in den verschiedenen Sektoren für die Jahre 2025, 2035 und 2050 zu sehen. Aus der Abbildung ist deutlich zu erkennen, dass mit voranschreitender Zeit die Unterschiede im Wärmeverbrauch zwischen den Szenarien zunehmen.

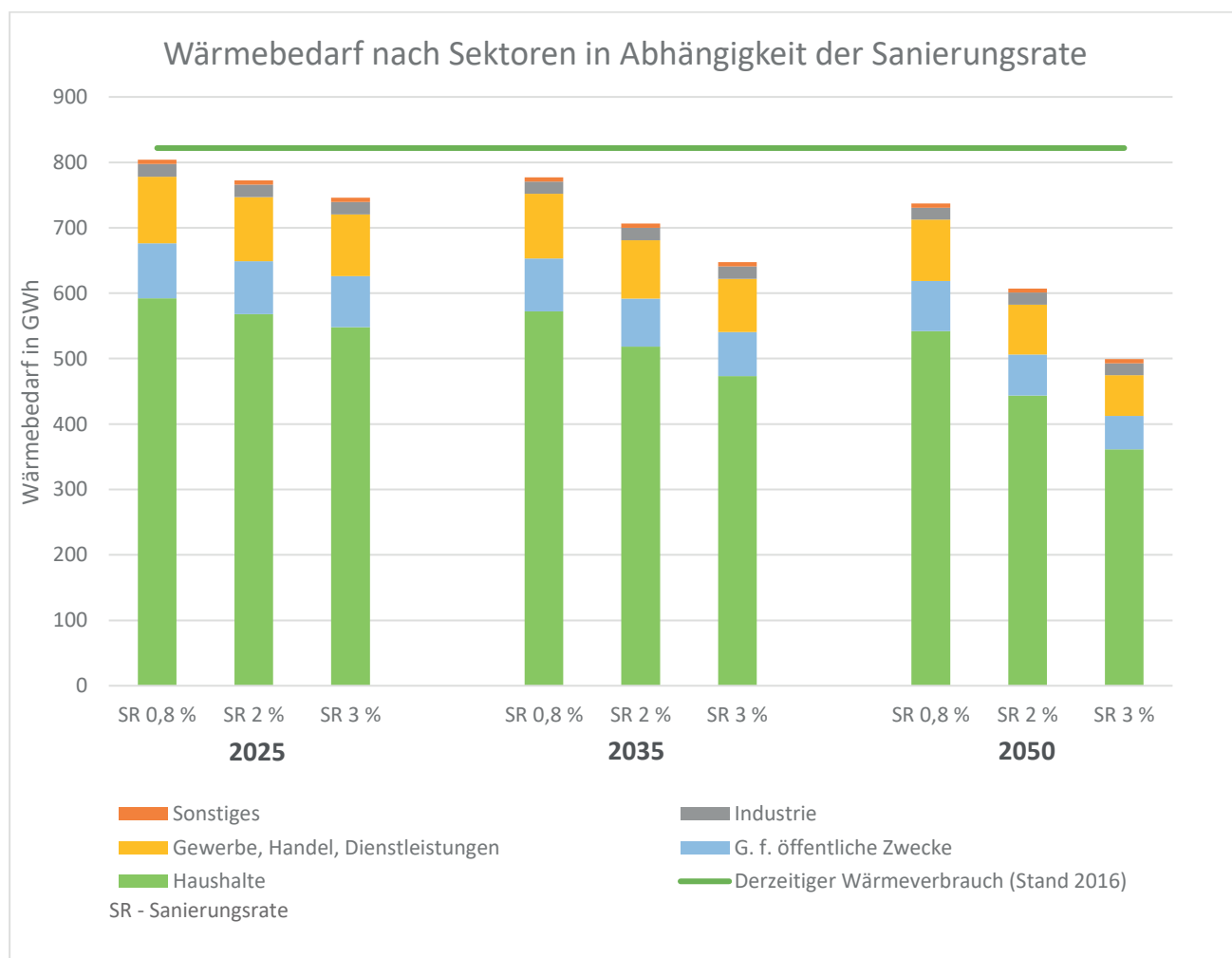


Abbildung 26: Entwicklung des Wärmebedarfs nach Sektoren und in Abhängigkeit der Sanierungsrate

Obwohl der Wärmeverbrauch in den Szenarien mit höherer Sanierungsrate schon signifikant geringer ist, als im Szenario mit einer Sanierungsrate von 0,8 %, wird in allen Szenarien das Effizienzziel der EU mit den vorliegenden Annahmen nicht erreicht. Selbst bei der sehr ambitionierten Sanierungsrate von 3 % wäre das Effizienzziel von 32,5 % erst im Jahr 2045 erreicht. Um das Effizienzziel zu erreichen, müsste entweder das Einsparpotenzial von energetischen Sanierungen (momentan durchschnittlich 41 %) deutlich steigen oder eine Sanierungsrate von mindestens 6,6 % erreicht werden.

Durch die Betrachtung wird klar, dass es eine deutliche Steigerung bei den energetischen Sanierungen geben muss, um die Effizienzziele der EU zu erfüllen. Alternativ können die Abweichungen nur mit deutlichen Produktions- und Effizienzsteigerungen im Strombereich ausgeglichen werden.

#### 4.2.2 Szenarien zur Entwicklung des Strombedarfs

Im folgenden Abschnitt wird die zukünftige Entwicklung des Strombedarfs beleuchtet. Dafür werden, analog zur Entwicklung des Wärmebedarfs, die Sektoren Haushalte, Gebäude für öffentliche Zwecke sowie GHD und Industrie betrachtet. Der Unterschied zwischen den Szenarien liegt hier in der Geschwindigkeit des Austauschs und im Anstieg der Effizienz der elektronischen Geräte. Werden elektronische Geräte schneller durch energieeffizientere neue Geräte ersetzt, sinkt dadurch der Stromverbrauch.

##### 4.2.2.1 Szenarien Strombedarf Haushalte

Für die Ermittlung der Entwicklung des zukünftigen Strombedarfs der Haushalte wurden die Prognosen der Studie „Entwicklung der Energiemärkte – Energierferenzprognose“ von der Prognos AG, dem Energiewirtschaftlichen Institut an der Universität zu Köln (ewi) und der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS) übernommen. Es handelt sich dabei um Abschätzungen zur Entwicklung der Energieeffizienz von Elektrogeräten. Im Bereich der Haushalte wurden folgende Geräte betrachtet: Kühlschrank, Waschmaschine, Geschirrspüler, Fernseher, Radio/HiFi-Anlage, DVD-Player, Computer und Licht. Diese Gerätebetrachtung ist zwar keineswegs abschließend, beinhaltet aber die typischerweise größten Stromverbraucher im Haushalt.



Im Szenario „Normaler Austausch“ wurden für die genannten Geräte typische Lebensdauern angenommen. Weiterhin wurde ein moderater Anstieg der Effizienz der Geräte bis 2050 angenommen, der durchschnittliche Effizienzgewinn pro Jahr beträgt dann 1,58 % (PROGNOS; EWI; GWS 2014).

Im Szenario beschleunigter Austausch wurde ein Austausch der Elektrogeräte nach der Hälfte der typischen Lebensdauer angenommen. Außerdem wird hier von einem schnelleren Anstieg der Effizienz ausgegangen, der durchschnittliche Effizienzgewinn beträgt in diesem Szenario 1,81 % pro Jahr (PROGNOS; EWI; GWS 2014). Eine detaillierte Aufstellung der Annahmen der zwei Szenarien ist in Anhang 1 zu finden.

Auch bei den zwei Szenarien zur Entwicklung des Stromverbrauchs wurde ein Bevölkerungszuwachs der Stadt Konstanz auf 100.000 Einwohner angenommen und eine entsprechende Erhöhung des Stromverbrauchs berücksichtigt.

Unter Annahme der vorgestellten Szenarien, ist in Abbildung 27 der kumulierte Stromverbrauch für die Konstanzer Haushalte dargestellt. Das Ergebnis zeigt, dass es im Jahr 2050 im Szenario „Beschleunigter Austausch“ einen Effizienzgewinn von 11 % (14 GWh) gegenüber dem Szenario „Normaler Austausch“ gibt. 14 GWh entsprechen etwa der derzeitigen jährlichen Stromerzeugung aus Photovoltaikanlagen in Konstanz (Stand 2016).

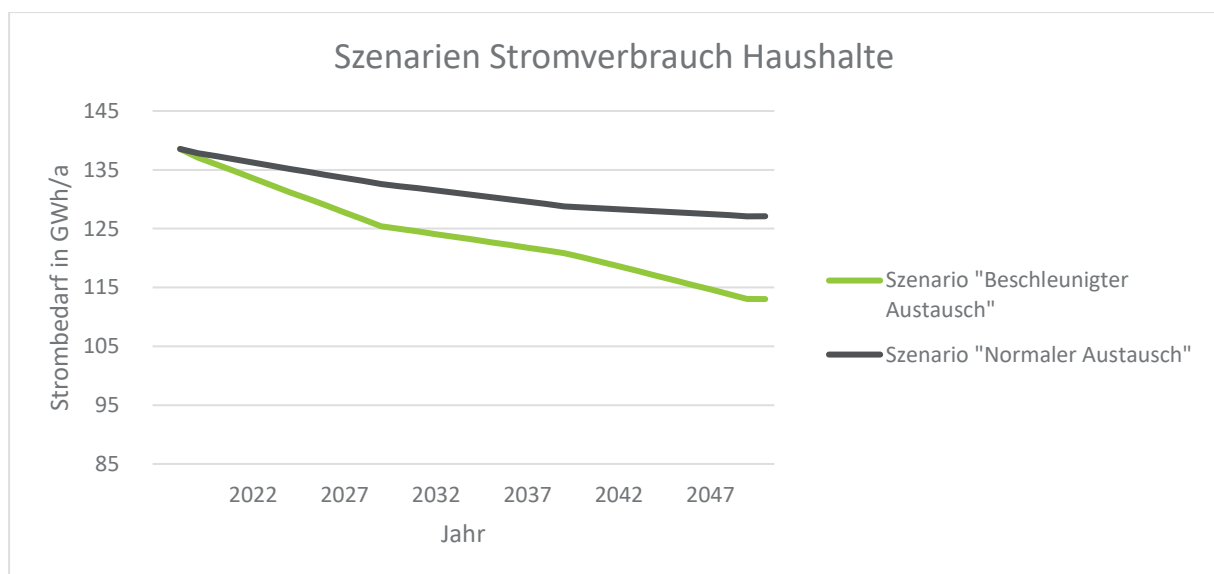


Abbildung 27: Szenarien Stromverbrauch Haushalte

Aufgrund von Rebound-Effekten und der Tatsache, dass bei der Produktion der Elektrogeräte ebenfalls ein hoher Verbrauch an Energie und Ressourcen entsteht, ist der Effizienzgewinn durch den Austausch bei den meisten Elektrogeräten nicht signifikant. Daher ist aus energetischer Sicht ein beschleunigter Austausch meist nicht zu empfehlen. Hohe Effizienzgewinne sind vor allem beim Austausch von Lampen, die noch nicht auf LED umgerüstet wurden, und beim Austausch älterer Fernsehgeräte zu erzielen. Bei vielen anderen Elektrogeräten ist es aus energetischer Sicht sinnvoll, die typische Lebensdauer oder einen Defekt des Gerätes abzuwarten, ehe ein Austausch erfolgt und das Gerät durch ein energieeffizienteres ersetzt wird.

Die in Abbildung 27 dargestellte Entwicklung des Stromverbrauchs berücksichtigt noch nicht den zunehmenden Stromverbrauch durch zusätzliche Elektrogeräte im Haushalt. Mit der Zunahme von „Smart Home“-Technologien und der zunehmend komplexeren Kommunikations-, Informations- und Unterhaltungstechnologie ist trotz Effizienzgewinnen eine Reduktion des Stromverbrauchs in Haushalten fraglich.

#### *4.2.2.2 Szenarien Strombedarf Gebäude für öffentliche Zwecke*

Bei der Betrachtung der künftigen Entwicklung des Strombedarfs öffentlicher Gebäude wurde von einem Austausch der Beleuchtung und der EDV-Technologie in bestimmten Zyklen ausgegangen (PROGNOS; EWI; GWS 2014). Details zu den beiden betrachteten Szenarien finden sich unterhalb von Abbildung 28 sowie in Anhang 1.

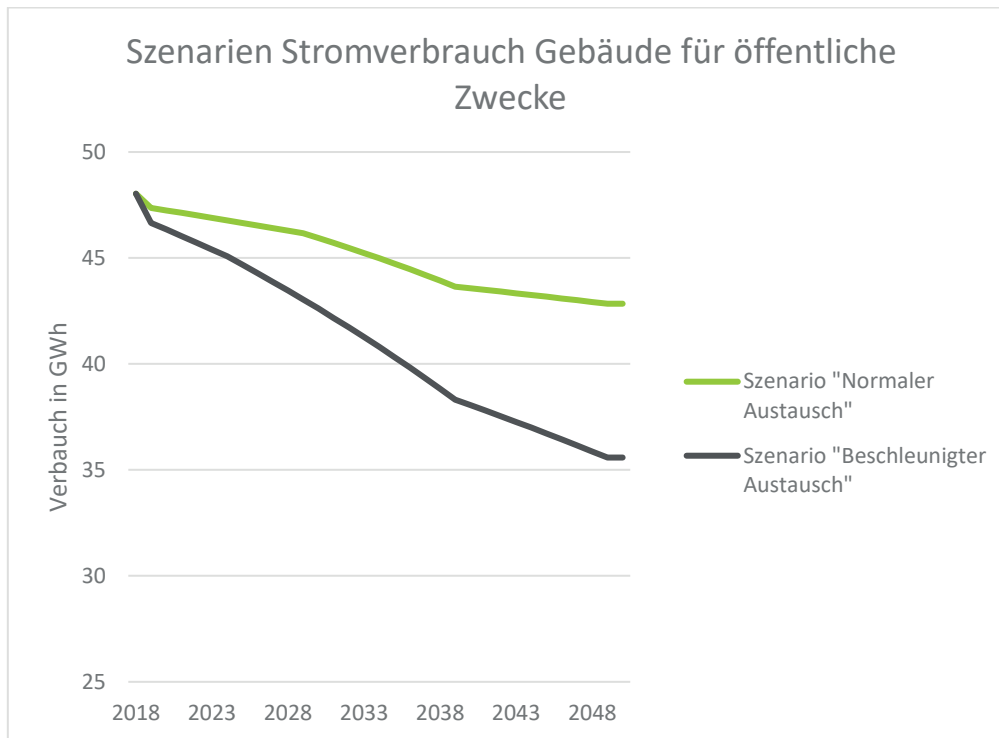


Abbildung 28: Szenarien Stromverbrauch Gebäude für öffentliche Zwecke

Abbildung 28 stellt die erwartete Entwicklung des Stromverbrauchs von Gebäuden für öffentliche Zwecke dar. Während im Szenario „Normaler Austausch“ von einem Effizienzgewinn in Höhe von insgesamt 11 % bis 2050 ausgegangen wird, ergibt sich im Szenario „Beschleunigter Austausch“ für denselben Zeitraum ein Effizienzgewinn von 26 %.

Der Effizienzgewinn setzt sich beim Szenario „Normaler Austausch“ wie folgt zusammen:

- durchschnittliche Effizienzsteigerung der Beleuchtungs- und EDV-Technologie um 2,27 % pro Jahr
- Austausch der Beleuchtung nach 10 Jahren sowie der EDV-Technologie nach 4 Jahren

Im „Szenario beschleunigter Austausch“ werden wiederum folgende Annahmen getroffen:

- durchschnittliche Effizienzsteigerung der Beleuchtungs- und EDV-Technologie um 2,9 % pro Jahr
- Austausch der Beleuchtung nach 5 Jahren sowie der EDV-Technologie nach 2 Jahren

Hinterlegt man bei den Einsparungen durch die gesteigerte technologische Effizienz den SWK-Stromtarif (SeeEnergie ÖkostromOnline) in Höhe von 24,95 ct/kWh und einen durchschnittlichen Emissionsfaktor von 360g/kWh bis 2050 (vgl. UBA 2013), so erhält man folgende Ergebnisse:

Tabelle 13: Einsparungen Strom Gebäude für öffentliche Zwecke

Szenario	Einsparung Verbrauch [GWh pro Jahr]	Einsparung Verbrauch [%]	Einsparung CO <sub>2</sub> -Emissionen [t CO <sub>2</sub> /a]	Einsparung Stromkosten [€/a]
Normaler Austausch	5	10 %	1.900	1,3 Mio. €
Beschleunigter Austausch	12	23 %	4.500	3,1 Mio. €

Die aufgezeigten Einsparungen tatsächlich zu erreichen, ist sehr ambitioniert. In der Realität war in der Vergangenheit trotz Effizienzsteigerungen ein Anstieg des Stromverbrauchs von Gebäuden für öffentliche Zwecke festzustellen, da immer mehr Technik eingesetzt wurde (Rebound-Effekt). Dies trifft ebenso auf Haushalte, Gewerbe und Industrie zu.

Nichtsdestotrotz wurden zumindest die Annahmen des Szenarios „normaler Austausch“ (siehe Abschnitt 4.2.1.1) der Gesamtprognose des zukünftigen Strombedarfs zugrunde gelegt. Dies liegt zum einen darin begründet, dass die Energieeffizienzziele der EU nur mit nennenswerten Verbrauchsreduktionen zu erreichen sind. Zum anderen handelt es sich um technisch bereits verfügbare Möglichkeiten, deren Nutzung auch im Rahmen des eea empfohlen wird.

#### 4.2.2.3 Szenarien Strombedarf GHD und Industrie

Beim Stromverbrauch im Bereich GHD und Industrie gibt es bereits seit 2004 einen in etwa gleichbleibenden Bedarf, da die Effizienzgewinne von steigender Produktion ausgeglichen werden (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE 2017). Aus diesem Grund wird bei GHD und Industrie von einem gleichbleibenden Stromverbrauch von 88 GWh ausgegangen. Diese Annahme ist allerdings stark davon abhängig, welche Unternehmen in Zukunft in Konstanz tätig sein werden.

#### 4.2.2.4 Zukünftiger Strombedarf inkl. Wärmepumpen und Elektromobilität

Zusätzlich zum Strombedarf der bestehenden Sektoren kommt voraussichtlich ein signifikanter Stromverbrauch durch die Elektromobilität hinzu. Um den Strombedarf zu ermitteln, wurde eine Studie des Öko-Instituts herangezogen. In dieser Studie wurde ein zusätzlicher Strombedarf für die Elektromobilität in der EU in Höhe von 130 TWh im Jahr 2030 und 448 TWh im

Jahr 2050 ermittelt (vgl. Öko-Institut 2016). Heruntergerechnet auf die Einwohnerzahl von Konstanz ergibt das einen zusätzlichen Strombedarf von 24 GWh im Jahr 2030 und 86 GWh im Jahr 2050.

Im folgenden Abschnitt 4.2.3 (Szenarien Energieerzeugung) wird im „Klimaschutzszenario“ der Wärmebedarf ab dem Jahr 2031 zu ca. 65 % mit Erdwärmepumpen, Abwasserwärmepumpen, Luftwärmepumpen und Seewasserwärme gedeckt. Auch durch die Nutzung dieser Technologien fällt ein zusätzlicher Strombedarf an.

In Abbildung 29 ist der Gesamtstrombedarf des Szenarios „Normaler Austausch“ abgebildet sowie die zusätzlichen Stromverbräuche durch Wärmepumpen und Elektromobilität. In der Grafik ist zu erkennen, dass mit einem Ausbau der Elektromobilität und einer Verbreitung der Wärmepumpentechnologie der Gesamtstrombedarf bis 2050 deutlich (laut Szenario um 43 %) ansteigen wird. Im Jahr 2050 würde unter den vorgestellten Annahmen der Strom für Elektromobilität 18 % des Gesamtstrombedarfs verursachen, der Strom für Wärmepumpen 25 %.

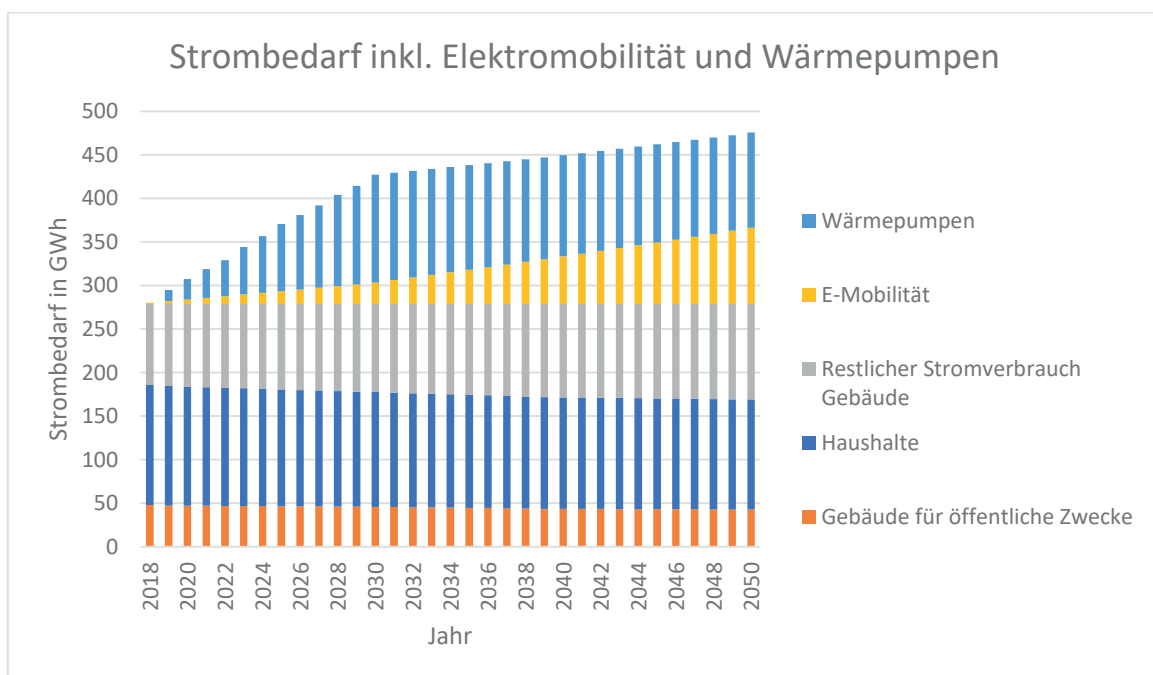


Abbildung 29: Strombedarf inkl. Elektromobilität und Wärmepumpen

Nachdem verschiedene Szenarien für den Energieverbrauch vorgestellt wurden, wird im nächsten Abschnitt die Entwicklung der Energieerzeugung näher beleuchtet.

### 4.2.3 Szenarien Energieerzeugung

Die Entwicklung der Energieerzeugungsarten auf dem Gebiet der Stadt Konstanz hängt von zahlreichen Faktoren ab (politische Rahmenbedingungen, Brennstoffpreise, Kosten für CO<sub>2</sub>-Emissionen, etc.). Sie ist somit ausgesprochen schwierig zu prognostizieren. In diesem Abschnitt wird daher in zwei Szenarien vorgestellt, wie sich die Energieerzeugung entwickeln könnte. Es ist jedoch zu beachten, dass alle Ergebnisse nur unter den angegebenen Rahmenbedingungen Bestand haben. Sollen die Klimaschutzziele erreicht werden, führt kein Weg am „Klimaschutzszenario“ mit seinen weitreichenden Veränderungen vorbei.

#### 4.2.3.1 Übersicht der Szenarien

Um mögliche Entwicklungen der Energieerzeugung in Konstanz bis 2050 abzubilden, wurden zwei Szenarien entwickelt. Das erste Szenario ist das „Business-as-usual“-Szenario. In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass die derzeitige Energieerzeugung im Wesentlichen bestehen bleibt. Lediglich Energieerzeugungsanlagen, deren Lebensdauer überschritten ist, werden durch neue Anlagen derselben Technologie ersetzt, soweit dies die gesetzlichen Rahmenbedingungen zulassen.

Im Gegensatz dazu werden im „Klimaschutzszenario“ soweit technisch möglich alle Anlagen durch Anlagen zur Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien ersetzt. In Tabelle 14 ist eine Übersicht zu finden, in der aufgelistet ist, durch welche Technologien die derzeitigen Technologien ausgetauscht werden. Weitere Informationen zu den Szenarien können den folgenden Abschnitten (4.2.3.2 und 4.2.3.3) entnommen werden.

Tabelle 14: Übersicht Technologien der Szenarien

Ausgangstechnologie	Technologie im Szenario „Business-as-usual“	Technologie im „Klimaschutzszenario“
Erdgas- und Heizöl-KWK-Anlagen	Erdgas-KWK und Heizöl-KWK	Solarthermie und Biomasse-KWK
Erdgas (Wärmeerzeugungsanlagen)	Erdgas-Brennwertthermen + Sanierungsfahrplan	

<b>Heizöl (Wärmeerzeugungsanlagen)</b>	Heizöl-Brennwertthermen + Sanierungsfahrplan	Solarthermie, Luftwärmepumpen, Abwasserwärme, Seewasserwärmenutzung, Geothermie, Erdgas-Brennwertthermen
<b>Klärgas</b>	Klärgas	Klärgas
<b>Wasserstoff</b>	Wasserstoff	Wasserstoff
<b>Biomasse (nicht netzgebunden)</b>	Biomasse-KWK	Biomasse-KWK

#### 4.2.3.2 Wärmeerzeugung im Szenario „Business-as-usual“

Wie bereits erwähnt, werden die bestehenden Energieerzeugungsanlagen im Szenario „Business-as-usual“ lediglich durch Anlagen derselben Technologie ersetzt und nicht durch Anlagen anderer Technologien ausgetauscht. Um den Anforderungen des EWärmeG in Baden-Württemberg zu entsprechen (MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG), werden nicht-wärmenetzgebundene Erdgas- und Heizöl-Anlagen durch neue Brennwertkessel und einen Sanierungsfahrplan ersetzt. In der folgenden Übersicht sind die Annahmen für die Kosten und die Lebensdauer der Anlagen zu finden. KWK-Anlagen erhalten dabei nach 45.000 Volllaststunden<sup>3</sup> eine große Inspektion (Kosten: 50 % der Investitionskosten) und werden nach 90.000 Volllaststunden ersetzt.

Tabelle 15: Annahmen Szenario „Business-as-usual“

	Investitionskosten	Kosten Brennstoff	Kosten Instandhaltung	Lebensdauer	CO <sub>2</sub> -Emissionen
<b>Erdgas-KWK-Anlagen</b>	Vgl. ASUE 2015	4,76 Ct/kWh mit 1,5 % Preissteigerung	Vgl. ASUE 2015	90.000 Volllast- stunden	0,202 kg/kWh
<b>Heizöl-KWK-Anlagen</b>	Vgl. ASUE 2015	5,63 Ct/kWh mit 1,5 % Preissteigerung	Vgl. ASUE 2015	90.000 Volllast- stunden	0,319 kg/kWh

<sup>3</sup> Bei den Volllaststunden handelt es sich um eine Angabe zur Berechnung der Auslastung einer Anlage. Um die Volllaststunden zu berechnen, wird die jährlich erzeugte Energiemenge durch die maximale Leistung der Anlage dividiert. Ist eine gewisse Anzahl an Volllaststunden erreicht, ist auch die maximale Lebensdauer der Anlage erreicht. (RP ENERGIE LEXIKON)

<b>Erdgas (Wärmeerzeugungsanlagen)</b>	0 – 50 kW = 150 €/kW 50 – 100 kW = 100 €/kW > 100 kW = 80 €/kW	4,76 Ct/kWh + 132 € Grundpreis mit 1,5 % Preissteigerung	250 €/a	Max. 16 Jahre	0,250 kg/kWh
<b>Heizöl (Wärmeerzeugungsanlagen)</b>	0 – 50 kW = 150 €/kW 50 – 100 kW = 100 €/kW > 100 kW = 80 €/kW	5,63 Ct/kWh mit 1,5 % Preissteigerung	250 €/a	Max. 16 Jahre	0,319 kg/kWh
<b>Biomasse (Wärmeerzeugungsanlagen)</b>	< 14 kW = 14.700 € 15 – 24 kW = 18.600 € 25 – 34 kW = 22.500 € > 35 kW = 25.500 €	5,19 Ct/kWh	150 €/a	Max. 16 Jahre	keine

Die Kosten für Erdgas und Heizöl werden mit einer Preissteigerung von 1,5 % hinterlegt. Diese Annahmen sind aus dem Arbeitspapier zur Vorbereitung des Themen-Workshops „Energieeffizientes Bauen“ der Stadt Konstanz entnommen (EBÖK 2017). Die Preise für Erdgas und Heizöl gehören zu den größten Unsicherheiten im Modell, da sie von zahlreichen politischen Rahmenbedingungen abhängig und deshalb schwer zu prognostizieren sind. Die in dem Arbeitspapier angenommenen Prognosen sind jedoch wissenschaftlich gestützt: Der World Energy Outlook der International Energy Agency prognostiziert bis 2050 eine Preissteigerung für Erdgas von durchschnittlich ca. 1,5 % pro Jahr (EWI ENERGY RESEARCH & SCENARIOS GGMBH 2017). Es handelt sich dabei um einen realen, das heißt inflationsbereinigten Preisanstieg.

Bei den Investitionskosten wurde keine Preissteigerung angenommen. Die Kosten im Baugewerbe stiegen bundesweit durchschnittlich von 2000 – 2014 um 2,8 % jährlich (WALBERG ET AL 2015). Im gleichen Zeitraum stiegen die Nominallöhne (Löhne inkl. Inflation) um 2,5 % jährlich. Die genannten Preissteigerungen werden also zumindest zu großen Teilen durch die steigenden Nominallöhne der Käufer (in Konstanz hauptsächlich private Haushalte) ausgeglichen (STATISTA 2018).

Für das Szenario „Business-as-usual“ wurde wie auch im Klimaschutzszenario eine Sanierungsrate von 2 % angenommen. Es handelt sich hierbei um den von der Bundesregierung bis 2020 angestrebten Wert, der mindestens eine Verdoppelung der bisherigen Sanierungsrate bedeutet. Weitere Informationen zur Sanierungsrate und dem daraus resultierenden Wärmebedarf sind in Abschnitt 4.2.1 zu finden.

Zusätzlich zu den Emissionen durch Energieerzeugung auf Konstanzer Gemarkung kommen energiebedingte Emissionen durch Verkehr und Stromimporte.



Die Emissionen durch Verkehr im Stadtgebiet wurden bereits im Klimaschutzkonzept (PÖYRY; LBST 2016) erfasst und aus diesem übernommen. Da das Klimaschutzkonzept die Entwicklung der Emissionen nur bis zum Jahr 2030 prognostiziert hat, wurden die Emissionen bis 2050 entsprechend extrapoliert. Im Szenario „Business-as-usual“ werden für die Emissionen durch den Verkehr die Werte des „Trendszenarios“ (des konservativsten Szenarios des Konzepts) zugrunde gelegt. Hier wird von einer Kraftstoffeinsparung und entsprechend auch einer Emissionseinsparung von 33 % bis 2030 ausgegangen. Das bedeutet eine Emissionseinsparung im Verkehrsbereich von 70 % bis 2050. Dieses Ziel ist bereits als überaus ambitioniert zu bewerten, vor allem im Hinblick darauf, dass die Emissionen im Verkehrsbereich seit 1990 etwa gleichbleibend sind (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT).

Bei den Emissionsfaktoren durch Stromimporte wurden die Emissionen durch Stromerzeugung von 1990 bis 2017 zugrunde gelegt und bis 2050 extrapoliert (vgl. Umweltbundesamt 2018). Angesichts des geringen Ausbaus der erneuerbaren Energien in den 90er Jahren und des beschleunigten Ausbaus Anfang der 2000er Jahre, wird hier von einem moderaten Anstieg des Anteils erneuerbaren Stroms im deutschen Strommix ausgegangen.

Werden die soeben vorgestellten Annahmen in einem Modell zusammengeführt, können Ergebnisse für Kosten und Emissionen der Energieerzeugung errechnet werden. Die exakte Höhe der Kosten und Emissionen kann Anhang 1 entnommen werden, ein Vergleich zum „Klimaschutzszenario“ dem Abschnitt 4.2.3.4.

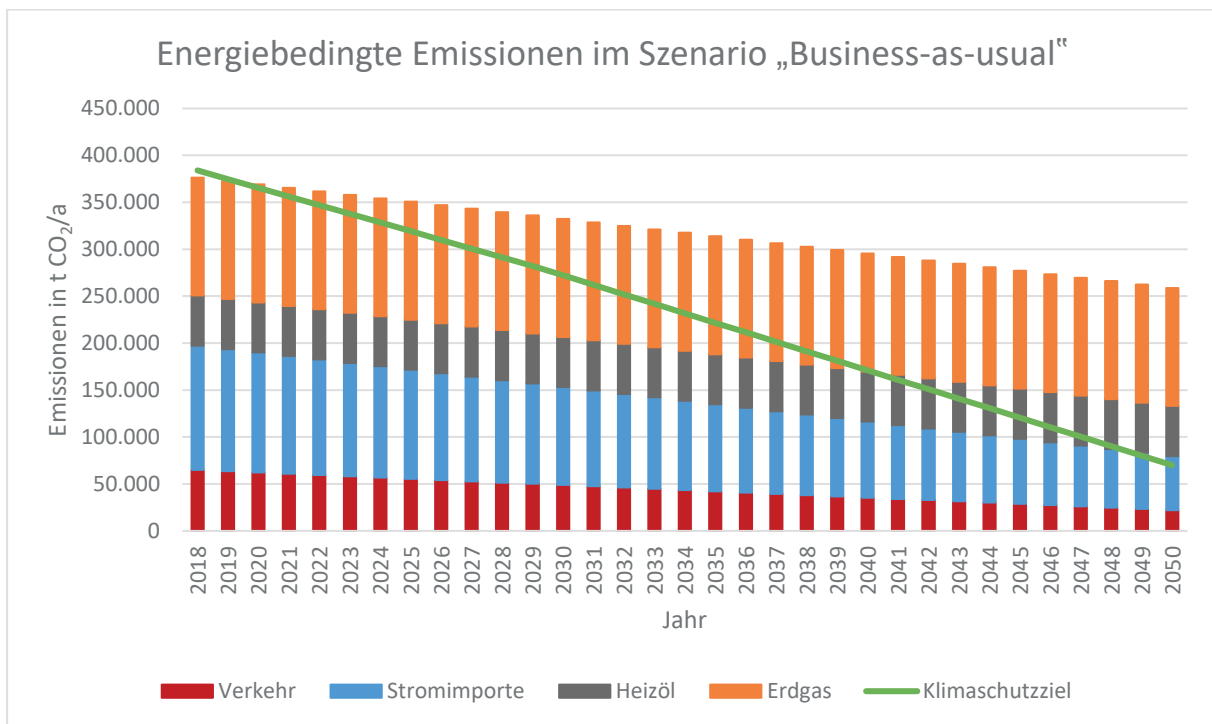


Abbildung 30: Energiebedingte Emissionen im Szenario „Business-as-usual“

In Abbildung 30 sind die errechneten energiebedingten Emissionen des Szenarios „Business-as-usual“ bis zum Jahr 2050 zu sehen. Dabei ist zu erkennen, dass die Emissionen bilanziell und ohne Berücksichtigung indirekter „grauer Emissionen“ aus Importen zwar momentan noch knapp unter dem Klimaschutzziel der 2.000-Watt-Gesellschaft (vgl. Abschnitt 1.2) liegen, jedoch bereits im Jahr 2021 das Klimaschutzziel übersteigen. Hieraus kann geschlussfolgert werden, dass ohne zusätzliche Energieeinsparungen und einen deutlich beschleunigten Umstieg auf erneuerbare Energien das Klimaschutzziel der Stadt Konstanz deutlich verfehlt werden würde. Wie ein derartiger Umstieg auf erneuerbare Energien aussehen könnte, wird im nächsten Abschnitt (4.2.3.3) im „Klimaschutzszenario“ beschrieben.

#### Exkurs: Unterschiede zur Klimabilanz des Klimaschutzkonzepts von 2016

Im Klimaschutzkonzept aus dem Jahr 2016 errechnen die Autoren Emissionen von 512.000 t CO<sub>2</sub>/a für die Stadt Konstanz, während im vorliegenden Energienutzungsplan Emissionen von 357.000 t CO<sub>2</sub>/a im Jahr 2018 errechnet werden. Dieser Unterschied hat mehrere Gründe.

Zum einen hat sich durch den deutschlandweiten Ausbau der erneuerbaren Energien der Emissionsfaktor für Stromimporte von 745 g CO<sub>2</sub>/kWh auf 502 g CO<sub>2</sub>/kWh verringert. Daraus entsteht ein bilanzieller Unterschied in Höhe von 106.000 t CO<sub>2</sub>/a in der Berechnung der Emissionen.

Beim Verbrauch von Heizöl wurde zudem eine andere Datengrundlage verwendet. Während beim Klimaschutzkonzept bei der Ermittlung des Verbrauchs noch die Brennstoffverteilung von Baden-Württemberg als Grundlage genommen wurde, konnte beim vorliegenden Bericht auf anonymisierte Daten zu Heizungsanlagen vom Landesinnungsverband des Schornsteinfegerhandwerks zurückgegriffen werden. Durch diese neue Datengrundlage wurde der Bestand an Heizungen, die mit Heizöl befeuert werden, bilanziell deutlich reduziert und damit auch die Emissionen durch Heizöl. Die veränderte Datengrundlage verursachte eine bilanzielle Reduzierung der heizölbedingten Emissionen um 33.000 t CO<sub>2</sub>/a.

Durch die exaktere Ermittlung der Brennstoffe wurde auch der Erdgasverbrauch geringer. Die neue Datengrundlage verursachte in diesem Falle eine bilanzielle Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 13.000 t CO<sub>2</sub>/a.

Die verbleibende Differenz von 3.000 t/a ist durch eine bilanzielle Reduzierung der Emissionen im Verkehr zu erklären.

#### 4.2.3.3 Wärmeerzeugung im „Klimaschutzszenario“

Im „Klimaschutzszenario“ werden alle Energieerzeugungsanlagen weitestgehend durch Energieerzeugungsanlagen mit erneuerbaren Energien ersetzt. Dabei wurden folgende Annahmen getroffen:

- Von 2019 bis 2050 wird durchgängig von einer Sanierungsrate von 2 % ausgegangen. Ausnahme sind Industriegebäude (Fabriken und Werkstätten), bei denen eine Sanierungsrate von 0,5 % angenommen wird. Hintergrundinformationen zur Sanierungsrate und dem daraus resultierenden Wärmebedarf sind in Abschnitt 4.2.1 zu finden.
- In den Stadtteilen Petershausen, Altstadt und Paradies wird flächendeckend Wärme aus dem Bodensee gewonnen. Dabei wird von einer äußerst ambitionierten Anschlussquote von 80 % ausgegangen. Die Nutzung wird kontinuierlich zwischen 2019 und 2030 umgesetzt. Weitere Informationen zur Technologie und den benötigten Rahmenbedingungen sind im Abschnitt 4.3.7 zu finden.

- Entlang der Hauptabwasserkanäle werden Wärmepumpen installiert, sodass die Wärme der Abwasserkanäle für die Beheizung der Häuser genutzt werden kann. Gebäude, die im Radius von 100 m des Abwasserkanals liegen, bekommen in diesem Szenario eine Wärmeversorgung über die Abwasserwärme.
- Das Solarpotenzial der Stadt Konstanz wird zu 30 % zur Erzeugung von Wärme durch Solarthermie und zu 70 % zur Erzeugung von Strom durch Photovoltaik genutzt. Dabei werden die 30 % der Gebäude mit dem höchsten Solarthermiepotenzial für Solarthermie genutzt und die restlichen Gebäude mit Solarpotenzial für die Stromerzeugung aus Photovoltaik. Die Gebäude, die im Szenario für Solarthermie genutzt werden (und nicht in die Gebiete mit Seewassernutzung oder Abwasserwärmenutzung fallen), werden zwischen 2019 und 2030 kontinuierlich mit Solarthermieanlagen ausgestattet. Ist das Solarthermiepotenzial nicht ausreichend, um den gesamten Wärmebedarf zu decken, wird die Wärmeerzeugung mit Geothermie (bei Verbrauch unter 20.000 kWh/a), Luftwärmepumpen (bei Verbrauch über 20.000 kWh/a und einer benötigten Anlagenkapazität von unter 50 kW) oder – als allerletzte Option – Erdgasbrennwertthermen ergänzt.
- Alle Verbraucher, die über kein Potenzial für Solarthermie, Seewasserwärme oder Abwasserwärme verfügen und die einen Wärmeverbrauch von unter 20.000 kWh/a haben, bekommen eine Wärmeversorgung über Geothermie.
- Die verbleibenden Gebäude, bei denen die derzeitige Heizanlage kleiner als 50 kW ist, bekommen eine Wärmeversorgung über eine Luftwärmepumpe.
- Die weiterhin verbleibenden Gebäude bekommen eine neue Erdgas-Brennwerttherme und einen Sanierungsfahrplan.
- Die bestehenden netzgebundenen KWK-Anlagen werden im Falle eines Solarthermiepotenzials in räumlicher Nähe (derselbe Straßenzug) durch Solarthermieanlagen ersetzt. Sofern das Solarthermiepotenzial nicht ausreicht, werden Biomasse-KWK-Anlagen eingesetzt.

Aus Tabelle 16 können die Kosten für die im „Klimaschutzszenario“ eingesetzten Technologien entnommen werden. Bei den Technologien, die bereits im Szenario „Business-as-usual“ eingesetzt werden, wurden die Annahmen aus diesem Szenario übernommen. Die Kostenannahmen von Erdgas (KWK-Anlagen und Wärmeerzeugungsanlagen), Heizöl (KWK-Anlagen und Wärmeerzeugungsanlagen) sowie Biomasse (Wärmeerzeugungsanlagen) können dementsprechend dem Abschnitt 4.2.3.2 entnommen werden.

Tabelle 16: Kosten Technologien „Klimaschutzszenario“

	Investitionskosten	Kosten Betrieb
<b>Solarthermie</b>	250 €/m <sup>2</sup> Kollektorfläche + 3.500 € Installationskosten	120 €/a
<b>Geothermie</b>	50€/m Bohrung 16.400 € für die Anlage	Stromverbrauch: Jahresarbeitszahl (JAZ) 4
<b>Luftwärmepumpen</b>	Pumpe: 10.700 € – 29.000 € Speicher: 2.700 € – 5.700 € Montage: 2.100 €	Warmwasser JAZ 2,4 Heizung JAZ 2,8
<b>Abwasserwärme</b>	1.000 €/kW	Stromverbrauch JAZ 4
<b>Biomasse</b>	Vgl. ASUE 2015	Vgl. ASUE 2015
<b>Seewasser</b>	Siehe Abschnitt 4.3.7	Siehe Abschnitt 4.3.7

Für die Technologien, bei denen Wärmepumpen zum Einsatz kommen (Geothermie, Luftwärmepumpen, Abwasserwärme), wurde ein Stromverbrauch angenommen, der dem Wärmebedarf dividiert durch die Jahresarbeitszahl entspricht. Die Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen für Geothermie- und Abwasserwärmenutzung liegt in Bestandsgebäuden zwar teilweise etwas niedriger, als die hier im Szenario angenommene Jahresarbeitszahl von 4 (Erfahrungswerte der SWK). Da jedoch bei Wärmepumpen in Neubauten bzw. neu sanierten Häusern mit einer durchschnittlichen Jahresarbeitszahl von 4 zu rechnen ist und voraussichtlich die Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen mit dem technischen Fortschritt steigen wird, wurde für das vorliegende Szenario eine Jahresarbeitszahl von 4 angenommen. Weiterhin ist für die Wärmepumpen im Vergleich zu den gängigsten fossilen Technologien mit einem erhöhten Platzbedarf zu rechnen. So eignen sich Wärmepumpen besonders für Heizsysteme mit Fußbodenheizung und benötigen Stellfläche im Keller oder Erdgeschoss. Es gibt auf dem Markt mittlerweile aber auch dezentrale Kleinstwärmepumpen, die derart kompakt sind, dass sie zum Beispiel Gaseta- genheizungen in kleineren Wohnungen ersetzen können (mit zentraler Wärmequelle).

Für die Berechnung der Betriebskosten der Wärmepumpen wurde der Wärmepumpentarif der Stadtwerke Konstanz genutzt. Der Strompreis des Tarifs liegt momentan bei 20,74 ct/kWh und

einem Grundpreis von 166,50 €/a (STADTWERKE KONSTANZ), in diesem Szenario wird eine Preissteigerung von 1,5 % pro Jahr auf beide Preiskomponenten angenommen.

Unter den vorgestellten Annahmen ergibt sich die Erzeugungsstruktur, die in Abbildung 31 dargestellt ist. In der Abbildung ist deutlich der Rückgang des Wärmeverbrauchs durch die Sanierungsrate von 2 % zu sehen. Wie bereits im Abschnitt 4.2.1 diskutiert, ist jedoch auch mit einer ambitionierten Sanierungsrate von 2 % das Effizienzziel der EU (Endenergieeinsparung von 32,5 % bis 2030) nicht zu erreichen. Bei der hier angenommenen Sanierungsrate von 2 % liegt die Reduzierung des Wärmebedarfs bis 2050 bei 26 %. Wie im Abschnitt 4.2.2.1 gezeigt, ist es unwahrscheinlich, dass Einsparungen im Stromverbrauch die Differenz zu den Energieeffizienzzielen so weit ausgleichen, dass diese bis zum Jahr 2030 noch erreicht werden können.

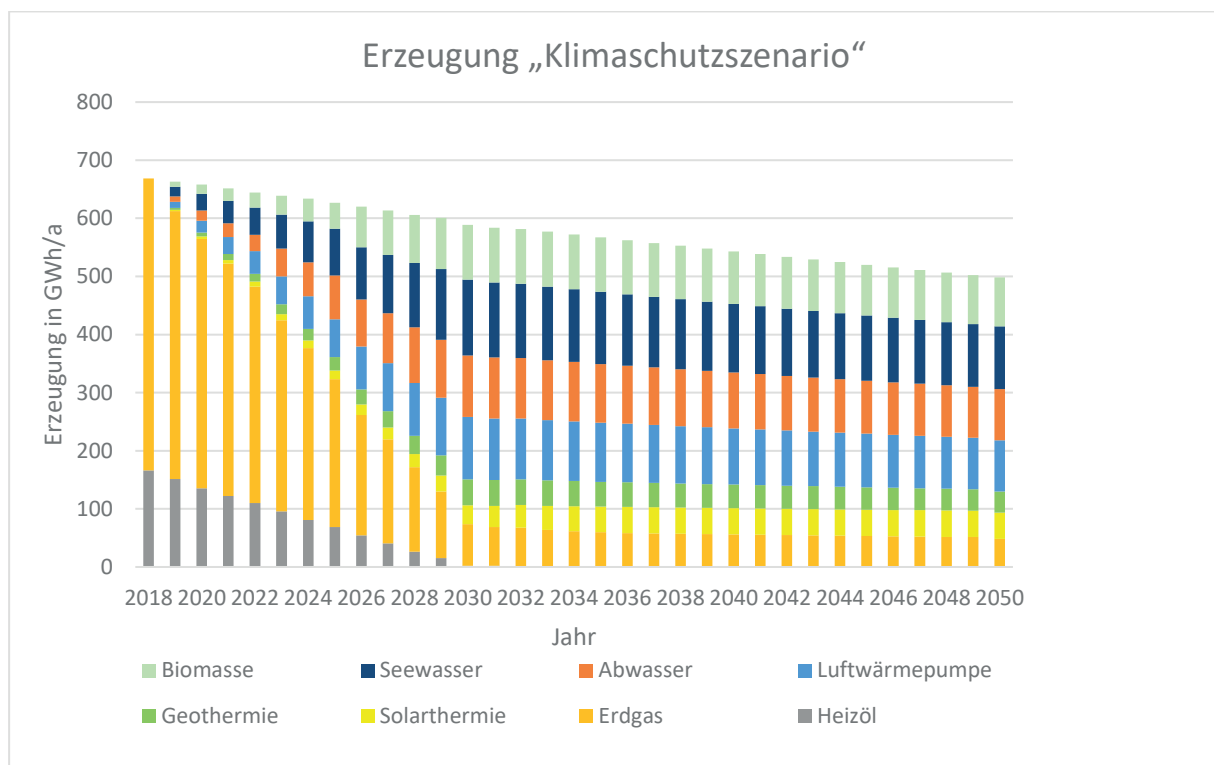


Abbildung 31: Erzeugung „Klimaschutzszenario“

In Abbildung 31 ist weiterhin zu erkennen, dass im „Klimaschutzszenario“ im Jahr 2050 ca. 24 % des Wärmebedarfs von Luftwärmepumpen gedeckt werden. Weitere 17 % des Wärmebedarfs werden durch die thermische Nutzung des Bodensees gedeckt und 14 % durch

Abwasserwärme. Da durch die Wärmepumpen der Stromverbrauch ansteigen würde (siehe Abschnitt 4.2.2.4), ist es bei der Umsetzung des Szenarios im Wärmebereich besonders wichtig, parallel zum Ausbau der erneuerbaren Energien im Wärmebereich auch die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auszubauen. Hier sollte in Konstanz besonders auf die Stromproduktion durch Photovoltaikanlagen gesetzt werden (siehe Abschnitt 4.2.3.5).

Wie bereits in den Annahmen vorgestellt, werden in diesem Szenario die bestehenden netzgebundenen Erdgas- und Heizöl-KWK-Anlagen durch Solarthermie in der unmittelbaren Umgebung oder (wenn kein Solarthermiepotenzial vorhanden) durch Biomasse-KWK-Anlagen ersetzt. Die entsprechenden KWK-Anlagen werden dabei entweder nach 90.000 Volllaststunden Betrieb oder nach 20 Jahren Laufzeit ersetzt. In Abbildung 32 ist der Prozess des Austauschs anhand der abgebildeten Erzeugungsmengen der verschiedenen Technologien abgebildet. Dabei ist auffällig, dass es einen signifikanten Anstieg der Biomasse im Jahr 2026 gibt. Dies liegt darin begründet, dass im Jahr 2026 rechnerisch zwei 10 MW KWK-Anlagen 90.000 Volllaststunden erreichen. Da nur wenig Solarthermiepotenzial in der Nähe der Anlagen vorhanden ist, werden die Anlagen in dem Szenario (fast) komplett durch Biomasse-KWK ersetzt.

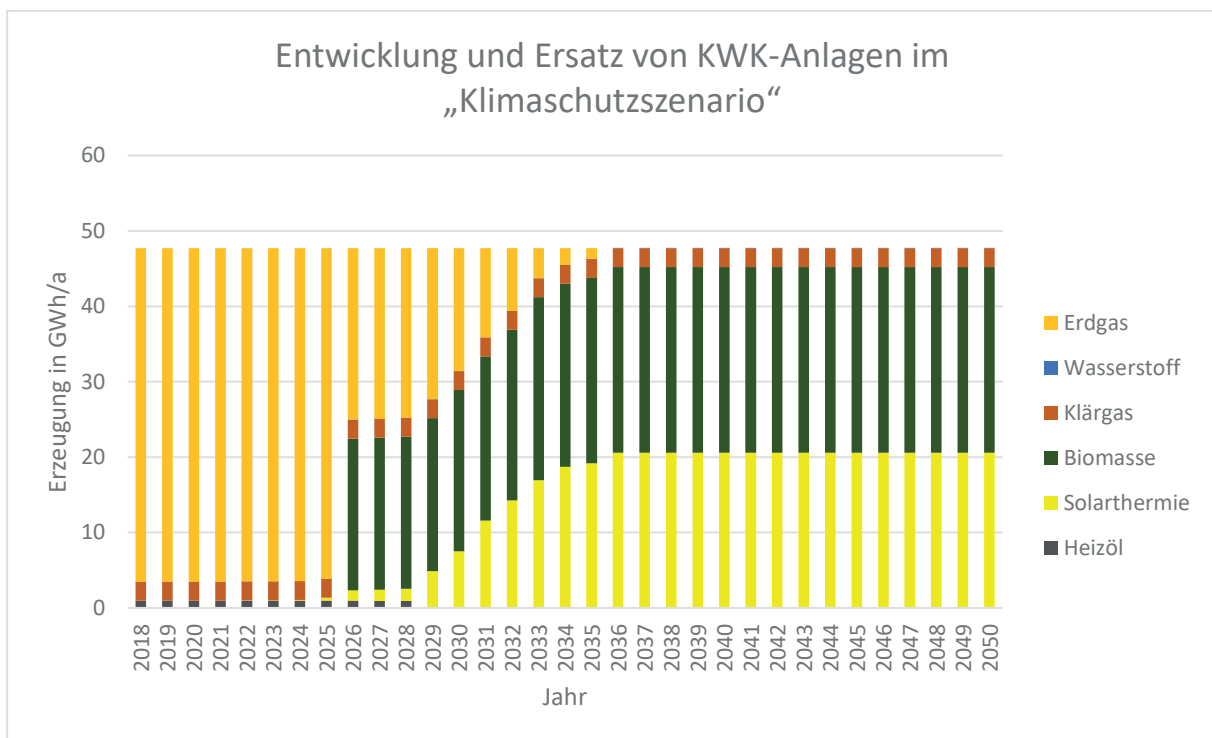


Abbildung 32: Entwicklung und Ersatz von KWK-Anlagen im „Klimaschutzszenario“

Die als umweltfreundlich und effizient beworbene<sup>4</sup> Kraft-Wärme-Kopplungs-Technologie kommt bewusst im „Klimaschutzszenario“ nicht im großen Stil zum Einsatz. Dafür gibt es mehrere Gründe:

- KWK-Anlagen werden in den häufigsten Fällen mit Kohle, Erdgas, Heizöl oder Biomasse beheizt (vgl. Umweltbundesamt 2017). Eine flächendeckende Wärmeerzeugung durch KWK-Anlagen, die mit fossilen Energieträgern befeuert werden, würde ein Maß an Emissionen mit sich bringen, mit dem die Klimaschutzziele nicht mehr erreicht werden könnten.
- In diesem Szenario wurde eine Wärmeerzeugung von 98 GWh/a durch Biomasse angenommen. Im Abschnitt 4.1.7 wird beleuchtet, dass ein Großteil des Biomassepotenzials bereits in bestehenden Stoffströmen eingebunden und von den entsprechenden Nutzern benötigt wird. Bei einer Erhöhung der Erzeugung aus Biomasse müsste deshalb voraussichtlich auf Importe zurückgegriffen werden. Eine deutliche Erhöhung der Biomasseimporte würde jedoch höhere Emissionen durch Transporte mit sich bringen, die die Klimabilanz des Energieträgers wiederum verschlechtern würden. Außerdem sind bei Biomassenutzungen mögliche Flächenkonkurrenzen, z. B. mit der Nahrungsmittelproduktion, zu berücksichtigen.

Aus diesen Gründen wurde im „Klimaschutzszenario“ für 2050 zu 96 % eine Wärmeerzeugung aus Anlagen angenommen, die nicht über die KWK-Technologie verfügen.

In diesem Szenario nicht berücksichtigt ist die Energieerzeugung durch KWK-Anlagen mit Brennstoffzellentechnik. Mit der Brennstoffzellentechnik können Emissionen im Vergleich zu Erdgas-Brennwertthermen um 50 % reduziert werden (DOELLING). Gründe dafür, dass die Brennstoffzellentechnik im Szenario nicht berücksichtigt wurde, sind die geringe Verbreitung der Erzeugung von Strom und Wärme aus Brennstoffzellen in Deutschland (UMWELTBUNDESAMT 2017) sowie ihre im Moment nur geringe Marktreife für lediglich Ein- und Zweifamilienhäuser bei noch vergleichsweise hohen Anschaffungskosten (DOELLING).

Die geringe Verbreitung der Wärmeerzeugungstechnologie trifft auch auf die thermische Seewassernutzung zu. Diese Technologie wurde im „Klimaschutzszenario“ dennoch eingesetzt, da es in Konstanz durch den Bodensee ein außergewöhnlich hohes Potenzial zur thermischen Seewassernutzung gibt und die Wärmegewinnung aus Oberflächenwasser bereits sehr erfolgreich in Beispielanlagen getestet wurde (KAMMER 2017). So gibt es zum Beispiel in Genf ein mit Seewasserwärme betriebenes Wärmenetz, das mithilfe von Wärmepumpen mit einer Kapazität von 3 MW mehrere Hauptquartiere von internationalen Organisationen mit Wärme und

---

<sup>4</sup> Eine Suche bei der Suchmaschine Google mit der Wortkombination „KWK und umweltfreundlich“ erzielte 76.000 Ergebnisse, die Wortkombination „KWK und effizient“ 232.000 Treffer



Kälte versorgt (KAMMER 2017). Eines der größten umgesetzten Projekte zur thermischen Seewassernutzung befindet sich in Mansfield (Großbritannien). Hier wird das lokale Krankenhaus über den örtlichen See und Wärmepumpen mit einer Kapazität von 5 MW mit Kälte und Wärme versorgt (KAMMER 2017).

Mit der vorgestellten Umstellung der Energieerzeugung würde es zu einer deutlichen Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und zur Erfüllung der territorialen Klimaschutzziele kommen. In Abbildung 33 ist die Entwicklung der Emissionen im „Klimaschutzszenario“ zu sehen. Es ist zu erkennen, dass unter den getroffenen Annahmen die Emissionen deutlich unter dem Klimaschutzziel der 2.000-Watt-Gesellschaft für energiebedingte Emissionen liegen. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Analyse keine Aussagen zu indirekten „grauen Emissionen“ trifft, die beispielsweise andernorts durch unser Konsumverhalten entstehen.

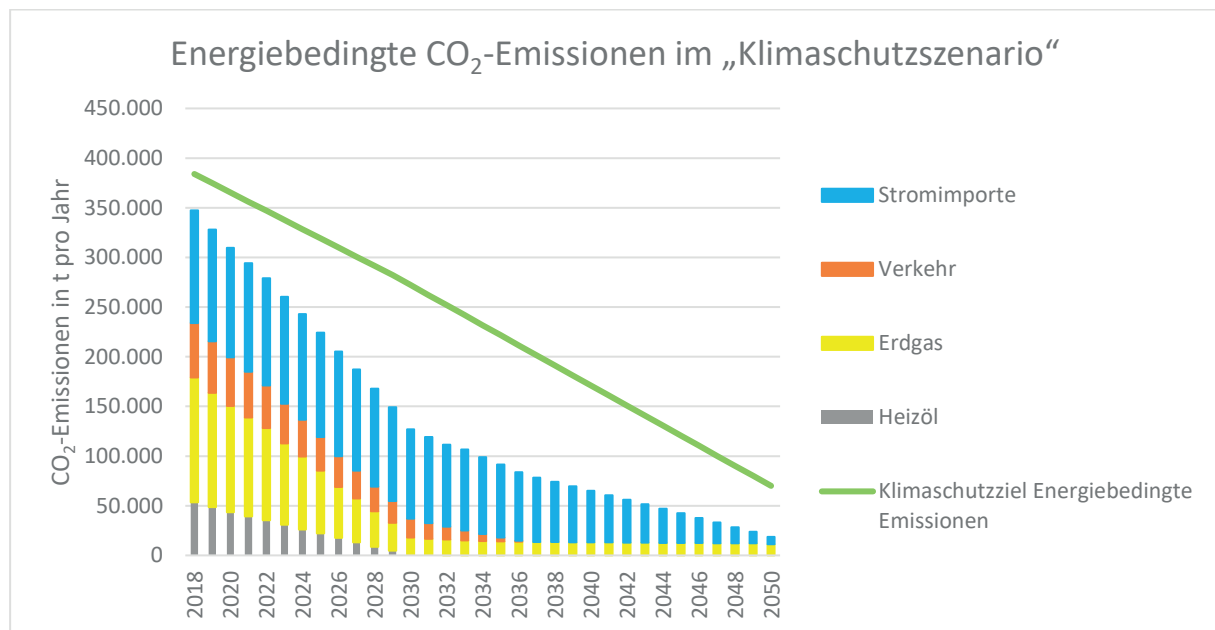


Abbildung 33: Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen im „Klimaschutzszenario“

Im „Klimaschutzszenario“ werden die Bemühungen zur Umstellung auf erneuerbare Energien zudem nicht nur für die Stadt Konstanz angenommen, sondern für die gesamte Bundesrepublik Deutschland. Aus diesem Grund wurde für die Emissionsfaktoren der Stromimporte in diesem Szenario nicht die lineare Weiterentwicklung der Emissionsfaktoren der Jahre 1990 – 2017 angenommen (wie im Szenario „Business-as-usual“), sondern die ermittelten Emissionsfaktoren aus dem Szenario „Klimaneutrales München“ aus dem Klimaschutzreport München. Das darin enthaltene Szenario wurde wiederum aus einer Prognose für den bundesweiten

Kraftwerkspark in der Studie „Klimaschutzszenario 2050“ des Öko-Instituts und des Fraunhofer-ISI abgeleitet (ÖKO-INSTITUT 2017). In den genannten Studien wird durchgängig von einer Einhaltung der deutschen Klimaschutzziele ausgegangen. Genauere Informationen zur bundesweiten Implementierung von erneuerbaren Energien können aus den genannten Studien entnommen werden.

Auch für die Emissionen des Verkehrssektors wurden andere Annahmen getroffen. Statt des „Trendszenarios“ aus dem Klimaschutzkonzept der Stadt Konstanz von 2016 wurden hier die Emissionen des „Klimaschutzszenarios“ übernommen. Im „Klimaschutzszenario“ wird von einer extrem ambitionierten Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und somit auch der Emissionen um 74 % bis 2030 ausgegangen (PÖYRY; LBST 2016). Eine Extrapolation des Szenarios bedeutet einen emissionsfreien Verkehr in Konstanz im Jahr 2037.

Werden bei der Ermittlung der Emissionen durch Stromimporte dagegen die im „Business-as-usual-Szenario“ angenommenen Emissionsfaktoren herangezogen, ergäben sich deutlich höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2050. In Abbildung 34 ist zu erkennen, dass in diesem Fall die CO<sub>2</sub>-Emissionen die Zielwerte überschreiten würden. Es sind dementsprechend nicht nur massive Bemühungen auf lokaler Ebene, sondern auch auf Bundesebene notwendig, um die Klimaschutzziele zu erreichen.

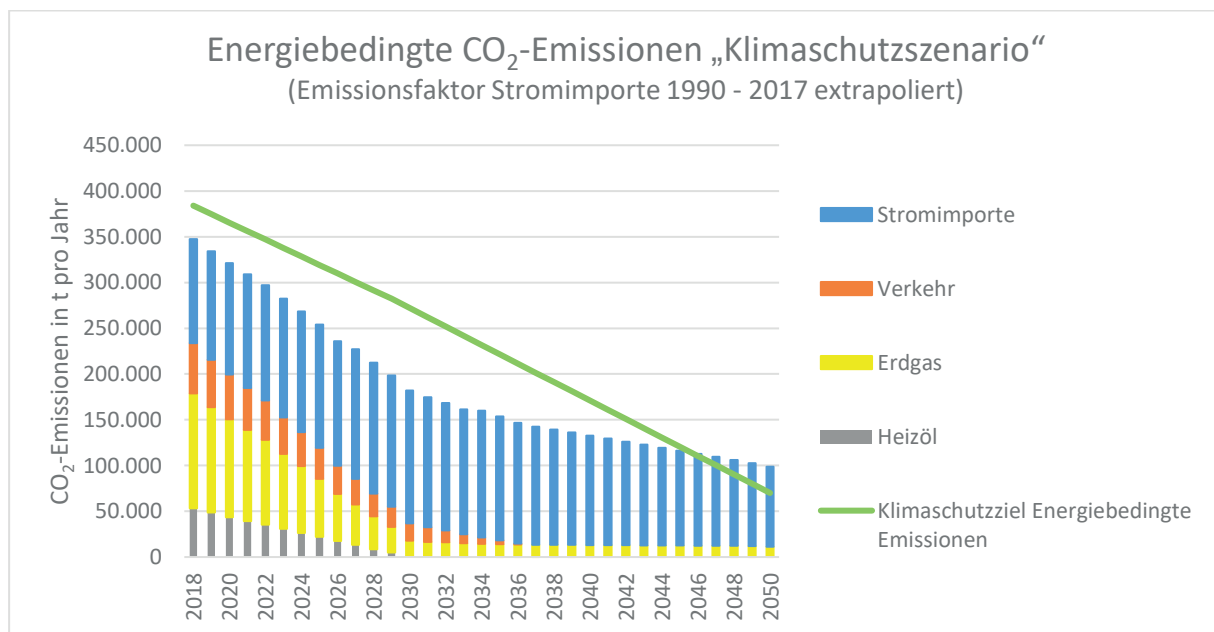


Abbildung 34: CO<sub>2</sub>-Emissionen „Klimaschutzszenario“ (extrapolierter Emissionsfaktor Stromimporte)

Die Emissionen aus der Beheizung mit Biomasse wurden in beiden Abbildungen aufgrund der geringen Menge nicht berücksichtigt (bilanziell ist Biomasse je nach Herstellung nahezu klimaneutral).

Die exakten Ergebnisse zu den voraussichtlichen Kosten und Emissionen des Szenarios können Anhang 1 entnommen werden. Ein Vergleich mit dem Szenario „Business-as-usual“ folgt.

#### 4.2.3.4 Vergleich der Szenarien

In diesem Abschnitt werden die in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Szenarien, das Szenario „Business-as-usual“ und das „Klimaschutzszenario“, miteinander verglichen. Dabei werden zum einen die durch die Energieerzeugung verursachten Kosten, zum anderen die durch die Energieerzeugung verursachten Emissionen verglichen.

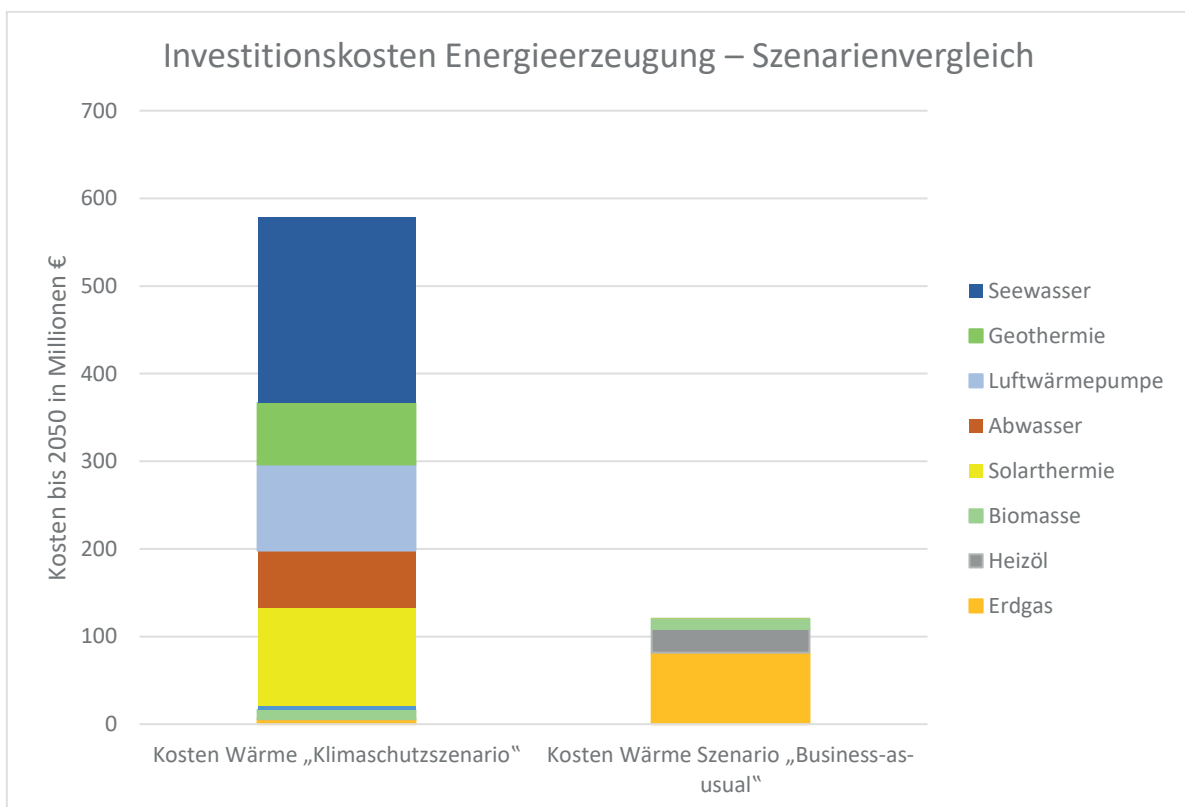


Abbildung 35: Investitionskosten Energieerzeugung 2018 – 2050 – Szenarienvergleich

In Abbildung 35 sind die Investitionskosten der beiden Szenarien zu sehen. Dabei ist zu erkennen, dass im „Klimaschutzszenario“ deutlich höhere Investitionskosten entstehen, als im

„Business-as-usual“-Szenario. Werden die Investitionskosten beider Szenarien bis 2050 aufsummiert, so übersteigen die Kosten des „Klimaschutzszenarios“ die des Szenarios „Business-as-usual“ um 388 Mio. € (76 %).

Dafür sind jedoch im „Klimaschutzszenario“ die Betriebskosten wesentlich geringer. Bis zum Jahr 2050 sind im „Klimaschutzszenario“ 484 Mio. € (20 %) Betriebskosten weniger notwendig als im Szenario „Business-as-usual“. Dies hat zur Folge, dass die Technologien im „Klimaschutzszenario“ mittelfristig günstiger sind, als die im Szenario „Business-as-usual“ eingesetzten Technologien.

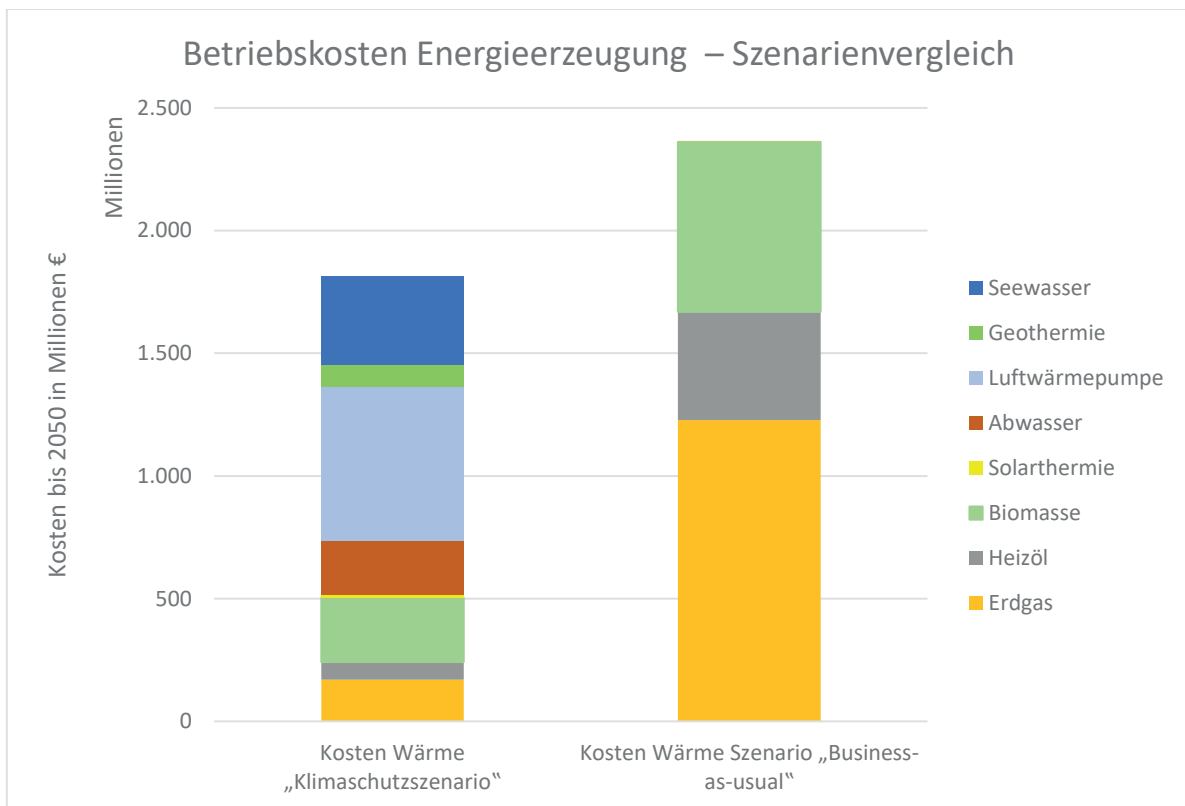


Abbildung 36: Betriebskosten Energieerzeugung – Vergleich der Szenarien

In der Betrachtung der Gesamtkosten bis 2050 ist deshalb das „Klimaschutzszenario“ sogar um 4 % günstiger als das Szenario „Business-as-usual“ (siehe Abbildung 37). Die Umstellung auf erneuerbare Energien ist unter den genannten Annahmen also auch aus kostentechnischer Sicht den aktuell genutzten Technologien vorzuziehen.

Die hier abgebildeten Kosten sind den bereits in Abschnitt 4.2.3.32 erwähnten Unsicherheiten unterworfen. Die Investitionskosten hängen direkt von den Preisentwicklungen der einzelnen

Technologien ab, die Betriebskosten von der Entwicklung des Erdgas- und Heizöl-Preises sowie von der Entwicklung der Stromkosten. Auch die Förderung von einzelnen Technologien, z. B. durch das EEG, ist im Szenario nicht mitberücksichtigt. Die Einbeziehung von entsprechenden politischen Maßnahmen würde dem „Klimaschutzszenario“ einen weiteren Kostenvorteil verschaffen (dies z. B. auch bei Berücksichtigung von CO<sub>2</sub>-Folgekosten).

Trotz der Unsicherheiten bezüglich der Kostenentwicklungen ist es aus heutiger Sicht sehr wahrscheinlich, dass durch erneuerbare Energien mittelfristig Betriebskosten eingespart werden können und in der Betrachtung der Vollkosten bis 2050 die Umstellung auf erneuerbare Energien in etwa genauso teuer ist, wie die Weiternutzung aktuell genutzter Technologien.

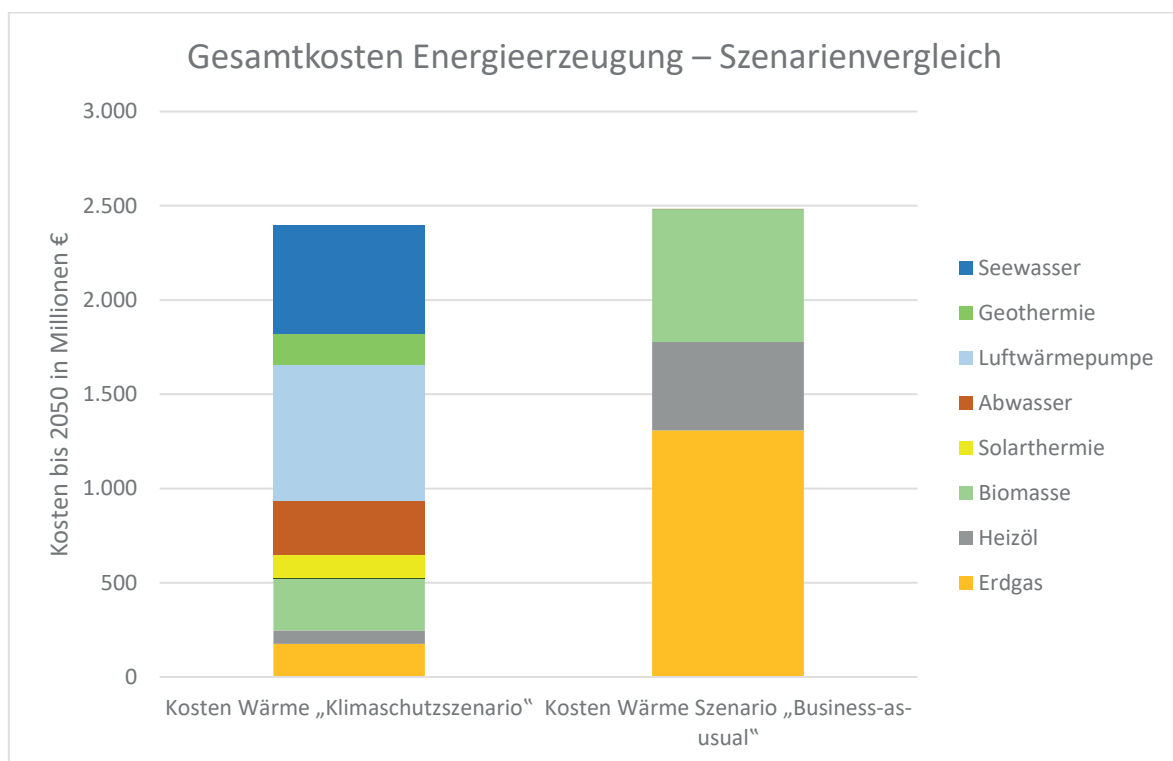


Abbildung 37: Gesamtkosten Energieerzeugung – Vergleich der Szenarien<sup>5</sup>

Der wohl wichtigste Vorteil bei der Umstellung auf erneuerbare Energien ist die deutliche Einsparung von Treibhausgasemissionen. Wie bereits bei der Auswertung der einzelnen Szenarien in den Abschnitten 4.2.3.2 und 4.2.3.3 gezeigt, können beim Szenario „Business-as-usual“ die Klimaschutzziele der Stadt Konstanz bereits im Jahr 2024 nicht mehr eingehalten werden, obwohl auch hier bereits von einer Sanierungsrate von 2 % pro Jahr ausgegangen wird.

<sup>5</sup> Biogas und Klärgas bringen im Vergleich zu den anderen Technologien vernachlässigbare Kosten mit sich und sind daher in der Grafik nicht mit aufgeführt.

Beim „Klimaschutzszenario“ dagegen können die Klimaschutzziele bis 2050 durchgängig eingehalten werden. Die bilanziellen Emissionen des „Klimaschutzszenarios“ betragen nur 8 % des Szenarios „Business-as-usual“. Ein Vergleich der errechneten Emissionspfade beider Szenarien ist in Abbildung 38 zu sehen.

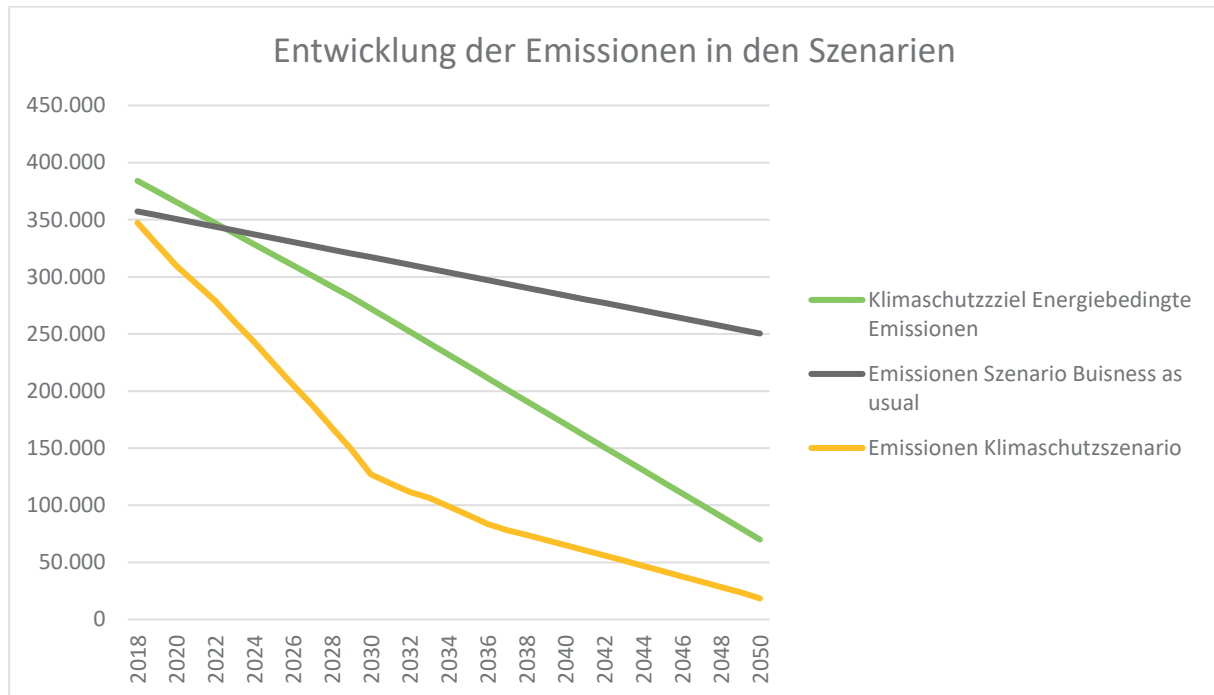


Abbildung 38: Entwicklung der Emissionen – Szenarienvergleich

Zusätzlich zu den direkten ökologischen und finanziellen Vorteilen trägt der beschleunigte Ausbau der erneuerbaren Energien zur regionalen Wertschöpfung bei. Anlagen können von Handwerksbetrieben vor Ort installiert und gewartet werden und die Verwertung von Biomasse aus der Region stärkt regionale Agrarbetriebe und schafft Arbeitsplätze. Außerdem wird die Abhängigkeit von der Lieferung fossiler Energieträger aus häufig krisengeschüttelten und politisch instabilen Ländern gemindert (NEXT KRAFTWERKE 2017).

### Fazit zum Vergleich der Szenarien

Die Ergebnisse des Energienutzungsplans zeigen sehr eindeutig, dass eine beschleunigte Umstellung auf erneuerbare Energien zur Wärmeerzeugung klar zu empfehlen ist. Sie bringt neben ökologischen Vorteilen zumindest langfristig auch finanzielle Vorteile mit sich und stärkt die regionale Wertschöpfung, sowie die von anderen Staaten unabhängige Energieerzeugung.

#### 4.2.3.5 Szenarien zur Stromerzeugung

Ergänzend zu den Szenarien zur Wärmeerzeugung sollen in diesem Abschnitt Szenarien zur lokalen Stromerzeugung betrachtet werden. Ebenso wie bei der Betrachtung der Wärmeerzeugung, gibt es hier zwei Szenarien, das Szenario „Business-as-usual“ und das „Klimaschutzszenario“. Während auch hier im Szenario „Business-as-usual“ die bestehenden Technologien lediglich durch neue Anlagen ersetzt werden, wird im „Klimaschutzszenario“ die Erzeugung von Strom aus Photovoltaikanlagen weitestgehend ausgebaut.

Bei der Betrachtung der Szenarien ist zu beachten, dass momentan nur ca. 18 % des Stroms auf dem Stadtgebiet der Stadt Konstanz erzeugt werden. Die restlichen 82 % werden importiert und deshalb in diesem Energienutzungsplan nicht in gesonderten Szenarien betrachtet.

Für bestehende und zugebaute Photovoltaikanlagen wurden wieder die Kosten bis 2050 bestimmt. Dabei wurden folgende Kostenannahmen zugrunde gelegt:

##### Investitionskosten

- Unter 50 kW<sub>p</sub> → 1.350 €/kW<sub>p</sub>
- Über 50 kW<sub>p</sub> → 1.150 €/kW<sub>p</sub>

##### Betriebskosten

- 1 % der Investitionskosten pro Jahr

Die weitere Stromerzeugung in Konstanz stammt aus KWK-Anlagen. Die Kostenannahmen hierzu wurden dem „Business-as-usual-Szenario“ zur Wärmeerzeugung entnommen (vgl. Abschnitt 4.2.3.2).

Im „Klimaschutzszenario“ soll das Solarpotenzial komplett ausgeschöpft werden. Wie bereits im „Klimaschutzszenario“ der Wärmeerzeugung erwähnt, werden 30 % der geeigneten Dachflächen für Solarthermie und 70 % der Dachflächen für Photovoltaikanlagen genutzt.

Dabei wurde in der Betrachtung ein Unterschied zwischen Häusern mit und ohne Denkmalschutz gemacht.

In Abbildung 39 ist die derzeitige Stromerzeugung in der Stadt Konstanz abgebildet und im Vergleich dazu die mögliche Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen – mit und ohne Berücksichtigung denkmalgeschützter Gebäude. Hier ist zu erkennen, dass sich mithilfe der Ausnutzung des bisher ungenutzten Solarpotenzials die Stromerzeugung in Konstanz nahezu verdoppeln könnte: Nimmt man denkmalgeschützte Gebäude aus, könnte die Stromerzeugung auf dem Stadtgebiet um 87 % (auf 98 GWh) gesteigert werden. Damit könnten allein durch die

noch ungenutzten Potenziale 17 % des bisherigen Stromverbrauchs der Stadt Konstanz gedeckt werden. Knapp 90 % des vor Ort produzierten Stroms würde dann aus erneuerbaren Energien stammen.

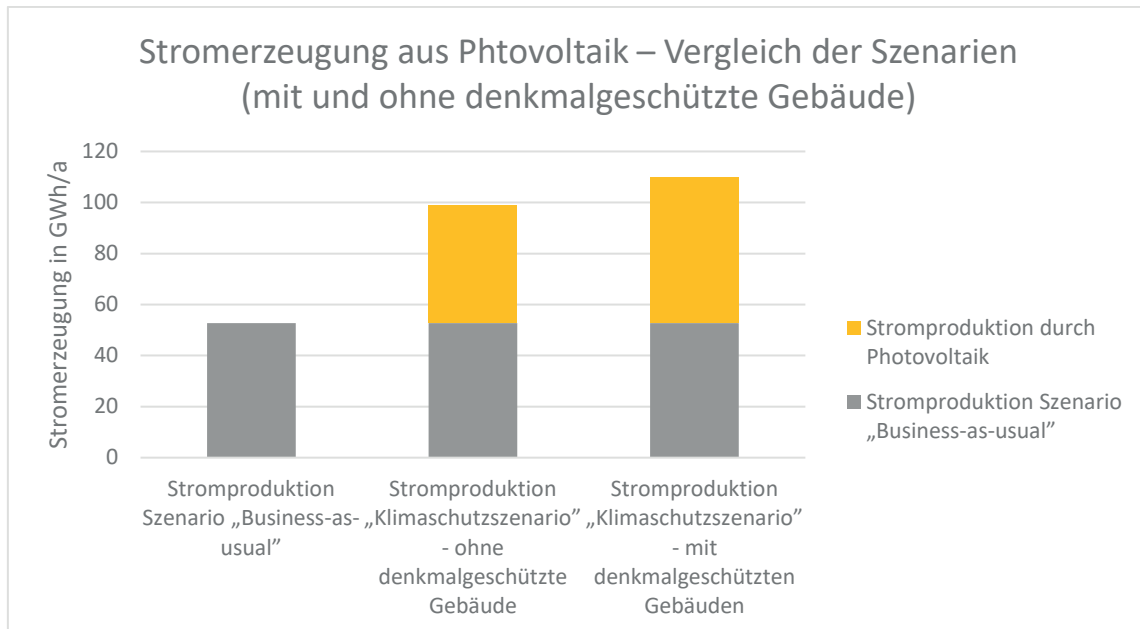


Abbildung 39: Stromerzeugung aus Photovoltaik – Vergleich der Szenarien

Unter Einbezug der denkmalgeschützten Gebäude könnte die Stromerzeugung auf dem Stadtgebiet sogar um 108 % (auf 109 GWh) gesteigert werden. Dies entspräche einer zusätzlichen photovoltaikbasierten Erzeugung in Höhe von 20 % des bisherigen Gesamtstrombedarfs der Stadt Konstanz.

Die aus dem Ausbau der Stromerzeugung resultierenden Kosten können Anhang 1 entnommen werden.

Nachdem in den letzten Abschnitten Möglichkeiten der Energieerzeugung aus bereits erforschten und etablierten Technologien (mit Ausnahme der Seewassernutzung) vorgestellt wurden, sollen im nächsten Abschnitt innovative Zukunftstechnologien vorgestellt werden.

#### 4.2.4 Nutzung von innovativen Technologien

Im Zeitraum bis 2050 wird es voraussichtlich auch signifikanten technologischen Fortschritt in der Energieerzeugungstechnologie geben. Aus heutiger Sicht ist es nicht möglich, eine exakte Prognose zur Entwicklung des Fortschritts der Energieerzeugungstechnologien zu erstellen.



Deshalb soll an dieser Stelle nur eine Auswahl an innovativen Technologien vorgestellt werden, die bis 2050 effizient in der Energieerzeugung eingesetzt werden könnten. Sie werden unterteilt in die Themenbereiche Strom, Wärme und Sektorenkopplung.

### Innovative Technologien im Bereich Strom

Solarstraßen und -radwege			
Beschreibung	Photovoltaikanlagen können mittlerweile nicht nur auf Dächern, sondern auch auf Straßen-, Fuß- und Radwegen angebracht werden. Die sehr flachen Solarmodule werden auf den Boden montiert und haben eine spezielle Beschichtung, sodass Fahrräder und Autos darüberfahren können. Erste Modellprojekte gibt es bereits in den Niederlanden.		
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Platzsparende Art der Stromerzeugung</li> <li>• Kann zur Stromversorgung von Straßenbeleuchtung oder Ampeln genutzt werden</li> </ul>	Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Müssen regelmäßig gereinigt werden</li> <li>• Nur an Orten ohne Schatten sinnvoll</li> <li>• Höherer Wartungsaufwand als bei Photovoltaik-Dachanlagen</li> </ul>
Kosten	Eine Fläche von 3,5 m x 11 m kann ca. 3.500 kWh Strom pro Jahr produzieren und kostet ca. 80.000 €. (SOLAROAD)		
Einschätzung	Momentan ist diese Art der Stromerzeugung noch sehr teuer. Sobald jedoch die Marktpreise sinken, ist es eine platzsparende Möglichkeit, Strom zu produzieren. Besonders Städte sollten die Entwicklung der Technologie verfolgen, um so eventuell zukünftig Strom für Ampeln, Straßenbeleuchtung oder Elektroladesäulen ohne zusätzlichen Flächenverbrauch liefern zu können.		

Solarfolie			
Beschreibung	Mit Solarfolien kann man, ebenso wie mit Photovoltaikmodulen, Strom erzeugen. Die Solarfolie kann auf zahlreichen Untergründen befestigt werden; auf Dächern, Textilien oder direkt auf Elektrogeräten. Durch die Solarfolie vergrößert sich der Anteil der Flächen, die für solare Stromerzeugung nutzbar sind, signifikant. (PHOTOVOLATIK-WEB.DE).		
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Platzsparende Art der Stromerzeugung</li> <li>• Kann auf fast allen Untergründen befestigt werden</li> </ul>	Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr geringer Nutzungsgrad von ca. 5 %. Neuere Module können sogar einen Wirkungsgrad von bis zu 10 % erzielen.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Herstellungskosten</li> <li>• Geeignet für nicht-netzgebundene Stromerzeugung (z. B. beim Campen)</li> </ul>		
<b>Kosten</b>	Die Kosten variieren je nach Anwendungsbereich: Ca. 7 – 20 €/W <sub>p</sub>		
<b>Einschätzung</b>	Momentan ist der Wirkungsgrad der Solarfolie noch recht gering. Aus diesem Grund wird der Einsatz von Solarfolie nur empfohlen, wenn nicht-netzgebundene Stromerzeugung notwendig ist, wie z. B. bei Booten oder beim Campen. Sollte der Wirkungsgrad jedoch weiter steigen, ist eine Anwendung z. B. auf der Oberfläche von Haushaltsgeräten durchaus effizient.		

### Wasserturbinen in Gewässern

<b>Beschreibung</b>	Wasserturbinen werden in den meisten Fällen in Kombination mit Staudämmen eingesetzt. Mittlerweile gibt es aber auch Turbinen auf dem Grund von Flüssen oder Seen, die Strom erzeugen können. Auch die Strömung des Seerheins oder des Bodensees könnte bei ausreichender Wassertiefe genutzt werden um Strom durch Turbinen zu erzeugen (VDI VERLAG)		
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stromerzeugung ohne Emissionen</li> <li>• Bisher ungenutztes Potenzial zur Stromerzeugung</li> </ul>	<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufwändige gewässerrechtliche Genehmigung</li> <li>• Praktikabilität bei Niedrigwasser</li> <li>• Stärke der Strömung in der Tiefe</li> </ul>
<b>Kosten</b>	20 kW kosten 25.000 € (VDI VERLAG)		
<b>Einschätzung</b>	Kann allenfalls in geringem Umfang eingesetzt werden, eine flächendeckende Nutzung des Seerheins zur Stromerzeugung ist gewässerschutzrechtlich und ggf. auch technisch schwierig.		

### Nutzung von Industrieabwärme mit ORC-Technologie

<b>Beschreibung</b>	Viele Industrien erzeugen Abwärme, die anschließend nicht mehr benötigt wird. Es gibt schon zahlreiche Projekte, in denen die Abwärme zum Heizen von Gebäuden genutzt wird. Mit Einsatz der ORC-Technologie kann mit der Abwärme sogar Strom effizient Strom gewonnen werden. Die ORC-Anlagen
---------------------	---

	funktionieren nach demselben Prinzip wie Wasserdampfturbinen, statt Wasserdampf wird allerdings Fluid aus organischen Stoffen genutzt. Bei einem ORC-Prozess kann bereits bei einem relativ niedrigen Temperaturniveau die Abwärme zur Stromerzeugung nutzbar gemacht werden (GETEC 2018).		
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abwärme kann sinnvoll genutzt werden</li> <li>• Zusätzliche Energieerzeugung spart CO<sub>2</sub></li> </ul>	<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostenintensiv</li> <li>• Häufige Korrosionserscheinungen</li> <li>• Produzent und Abnehmer müssen überzeugt werden</li> </ul>
<b>Kosten</b>	Keine Angabe		
<b>Einschätzung</b>	Bei genügend Abwärme ohne entsprechende Wärmeverbraucher sind ORC-Anlagen eine effiziente Technologie. Jedoch gibt es in der Stadt Konstanz kaum Industrie, die für den Einsatz der Anlagen in Frage kommt.		

### Innovative Technologien im Bereich Wärme

<b>Solarfarbe/Solarputz</b>			
<b>Beschreibung</b>	Solarfarben und Solarputze wirken im Sommer reflektierend und im Winter dämmend. Diese Eigenschaft bewirkt, dass Temperaturunterschiede zum Teil ausgeglichen werden können und so Energie eingespart werden kann. (BUNDESBAUBLATT)		
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Algen- oder Schimmelbildung (wie häufig bei Polystyrol-Dämmung)</li> <li>• Günstige Alternative zur klassischen Wärmedämmung</li> <li>• Heizkosteneinsparungen von 10 %</li> </ul>	<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Niveau eines Niedrigenergiehauses oder Passivhauses lässt sich mit Solarputz nicht erreichen</li> </ul>
<b>Kosten</b>	Keine Angabe		
<b>Einschätzung</b>	Die Solarfarbe oder der Solarputz ersetzt keine komplette Wärmedämmung. Es handelt sich jedoch um eine sinnvolle Alternative für Fälle, in welchen eine herkömmliche Wärmedämmung nicht wirtschaftlich ist.		

Nachhaltige Dämmstoffe			
Beschreibung	Während Dämmung aus energetischer Sicht in vielen Fällen zu empfehlen ist, stellt eine konventionelle Wärmedämmung eine hohe ressourcentechnische Belastung dar. Bei einer klassischen Wärmedämmung mit Styropor o. Ä. wird Erdöl bei der Produktion eingesetzt und bei Abriss des Hauses muss das Material häufig als Sondermüll entsorgt werden. Nachhaltige Wärmedämmung nutzt Naturprodukte und ist darum aus ökologischer Sicht noch empfehlenswerter. Die Dämmung kann dabei aus Zellulose, Baumwolle, Holz, Kork, Hanf oder Flachs hergestellt sein (RÖSEMEIER).		
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ökologischere Herstellung</li> <li>• Ökologischere Entsorgung/Weiterverwendung</li> <li>• Keine Algen- oder Schimmelbildung</li> </ul>	Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzungskonflikte bei den eingesetzten Ressourcen</li> <li>• Teilweise werden in der Aufbereitung der Stoffe auch Chemikalien verwendet.</li> </ul>
Kosten	Je nach Material		
Einschätzung	Eine sinnvolle Alternative zur konventionellen Wärmedämmung.		

Reflektion statt Dämmen – Folie zur Reflektion von Wärme			
Beschreibung	Durch Reflektionsfolie können Wärmeverluste von Gebäuden reduziert werden. Anstelle einer Dämmung wird eine (z. B. mit Aluminium) beschichtete Folie innen oder außen am Haus angebracht, die die Wärme wieder in den Innenraum reflektiert und Kälte am Eindringen ins Haus hindert. (LUPO-THERM)		
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostengünstiger und ressourcenschonender als konventionelle Dämmung</li> <li>• Kann bei denkmalgeschützten Gebäuden leichter als Wärmedämmung angebracht werden</li> </ul>	Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weniger Einsparungen als bei einer Wärmedämmung (OEBBEKE)</li> </ul>
Kosten	Je nach Beschichtung und Hersteller		
Einschätzung	Die Folie sollte nicht anstelle einer Wärmedämmung genutzt werden. Ist jedoch eine Wärmedämmung aus wirtschaftlichen oder denkmalchutztech-		

	nischen Gründen nicht möglich, ist die Reflektionsfolie eine sinnvolle Maßnahme, um zumindest einen gewissen Anteil an Wärme einsparen zu können.
--	---

### Innovative Technologien im Bereich Sektorenkopplung

<b>Brennstoffzelle</b>			
<b>Beschreibung</b>	In einer Brennstoffzelle kann durch eine chemische Reaktion aus einer geringen Menge Erdgas und Sauerstoff ein Brennstoff hergestellt werden, der zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt werden kann. Brennstoffzellen werden z. B. in Japan schon zehntausendfach genutzt, während die Nutzung in Deutschland aufgrund der hohen Kosten bislang wenig verbreitet ist. (DOELLING)		
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 40 % weniger Emissionen als bei einem Erdgas-Brennwertkessel</li> <li>• Hoher Wirkungsgrad (DOELLING)</li> </ul>	<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bislang nur als Anlagen bis 7,5 kW verfügbar (ASUE 2016)</li> <li>• Mit 30.000 € pro Anlage relativ hohe Investitionskosten (CO2 ONLINE)</li> </ul>
<b>Kosten</b>	Ca. 30.000 € pro Anlage (DOELLING)		
<b>Einschätzung</b>	Brennstoffzellen sind aufgrund ihres hohen Wirkungsgrades und ihrer geringen Emissionen besonders für Einfamilienhäuser mit nicht-netzgebundener Wärmeerzeugung eine ökologisch effiziente Option.		

<b>Biokohle</b>			
<b>Beschreibung</b>	Bei Biokohle wird aus Grünabfällen, Gärresten und Inhalten der Biotonne unter hoher Temperatur und hohem Druck Kohle hergestellt. Die Kohle ist bilanziell CO <sub>2</sub> -neutral, hat einen höheren Energiegehalt als Braunkohle und kann zur Energieerzeugung in Kraftwerken eingesetzt werden (SPIEGEL 2012)		
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effiziente Verwertung von Reststoffen</li> <li>• Hoher Energiegehalt</li> <li>• Kann auch in Kohlekraftwerken eingesetzt werden</li> </ul>	<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher Energieaufwand bei der Herstellung (20 % der gespeicherten Energie)</li> <li>• Ressourcenkonflikte mit Biogasanlagen</li> </ul>

<b>Kosten</b>	Herstellungskosten von ca. 75 – 100 €/t (TOP AGRAR ONLINE)
<b>Einschätzung</b>	Bei einem hohen Aufkommen von Reststoffen (Grünabfällen, Biomüll, etc.) kann die Biokohle eine Verwertungsoption sein.

<b>Power-to-Gas</b>			
<b>Beschreibung</b>	Durch die Power-to-Gas-Technologie kann aus überschüssigem regenerativen Strom Methangas bzw. Wasserstoff hergestellt werden. Dieser kann ähnlich wie Erdgas in Energieerzeugungsanlagen oder als Antriebsstoff in Fahrzeugen verwendet werden, ohne die entsprechenden Emissionen zu erzeugen. (DENA)		
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effizientes Lastmanagement von erneuerbaren Energien</li> <li>• Sinnvolle Verwertung von überschüssigem Strom</li> </ul>	<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Im Vergleich zu anderen Speicheralternativen sehr kostenintensive Möglichkeit um Überschussstrom zu speichern</li> <li>• Hohe Effizienzverluste (vgl. EUWID)</li> </ul>
<b>Kosten</b>	Ca. 4.600 €/kW <sub>el</sub> (MISSAL)		
<b>Einschätzung</b>	Bei negativen Strompreisen und Zunahme von Überschussstrom kann Power-to-Gas eine sinnvolle Option zur Verwertung von Überschussstrom sein. Allerdings sollten vorher kostengünstigere Speichertechnologien komplett ausgeschöpft werden.		

<b>Virtuelle Kraftwerke</b>			
<b>Beschreibung</b>	Mehrere kleinere dezentrale Anlagen zur Stromerzeugung werden bilanziell zusammengefasst und können so gemeinsam Strom an Großkunden oder am Regelenergiemarkt vermarkten. Durch die Zusammenfassung mehrerer Anlagen kann ein effizientes Lastmanagement erfolgen und zuverlässig eine konstante Strommenge aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden. (ASUE)		
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effizientes Lastmanagement</li> </ul>	<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostenintensive und komplexe IT-Infrastruktur nötig</li> </ul>

	• Günstige Form der Regelenergie		
Kosten	Abhängig von Komplexität und Größe des virtuellen Kraftwerks		
Einschätzung	Effiziente Option zur Integration der erneuerbaren Energien		

Nach dieser Betrachtung der Einsatzmöglichkeiten von innovativen Technologien werden im nächsten Abschnitt die Potenziale für die zukünftige Entwicklung der energetischen Infrastruktur beleuchtet.

### 4.3 Potenziale für die zukünftige Infrastruktur für Wärme und Strom

Bei den Potenzialen für die zukünftige Infrastruktur werden die Potenziale für den Einsatz von KWK-Anlagen, den Einsatz von Mieterstrommodellen, den Bau von Hoch- und Niedertemperaturnetzen, die Installation von dezentralen Wärmelösungen, den Aufbau von Energieerzeugungsanlagen und den Einsatz von Seewassernutzung untersucht.

#### 4.3.1 Einsatz von KWK-Anlagen

Der Einsatz von KWK-Anlagen wird im Zuge der Schwerpunktgebiete in Abschnitt 6.1 detaillierter beleuchtet. Mögliche potenzielle Einsatzorte für neue KWK-Anlagen sind:

- Nachbarschaft der Geschwister-Scholl-Schule in Fürstenberg (Ausbau des bestehenden Nahwärmenetzes)
- Nördlich Bahnhof Wollmatingen (Versorgung Wohnblöcke der WOBAK, Berchen-Schule)
- Altstadt Bahnhofsquartier (evtl. Aufbau eines Nahwärmenetzes mit KWK)
- Litzelstetten (evtl. Aufbau eines Nahwärmenetzes mit KWK)

Bei dem Einsatz von KWK-Anlagen sollte jedoch beachtet werden, dass KWK-Anlagen, die mit Erdgas betrieben werden, lediglich als Brückentechnologie eingesetzt werden sollten. Spätestens ab Mitte der 2020er Jahre sollte auf emissionsärmere Brennstoffe wie Holzhackschnitzel oder Biogas zurückgegriffen werden, damit die Klimaschutzziele erreicht werden können.

#### 4.3.2 Einsatz von Mieterstrommodellen

Strom aus Photovoltaikanlagen kann über so genannte „Mieterstrommodelle“ direkt an Mieter eines Wohnhauses verkauft und dabei von der Bundesregierung gefördert werden.

Um die Vorteile des Mieterstroms nutzen zu können, muss der Strom in direkter räumlicher Nähe zu dem Wohnhaus produziert werden, in dem der Strom verbraucht wird. Direkte räumliche Nähe bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Strom nicht durch das öffentliche Stromnetz geleitet, sondern direkt an den Endverbraucher (den Mieter) geliefert wird (BUNDESNETZAGENTUR). Strom, der nicht von den entsprechenden Mietern verbraucht wird, kann in das öffentliche Verteilnetz eingespeist und nach den Fördersätzen des EEG vergütet werden. Wichtig ist, dass der Mieter nicht verpflichtet werden kann, den angebotenen Mieterstrom abzunehmen. Vielmehr kann er sich auch jederzeit für einen anderen Stromanbieter entscheiden. In der folgenden Abbildung 40 wird das Mieterstrommodell schematisch dargestellt.

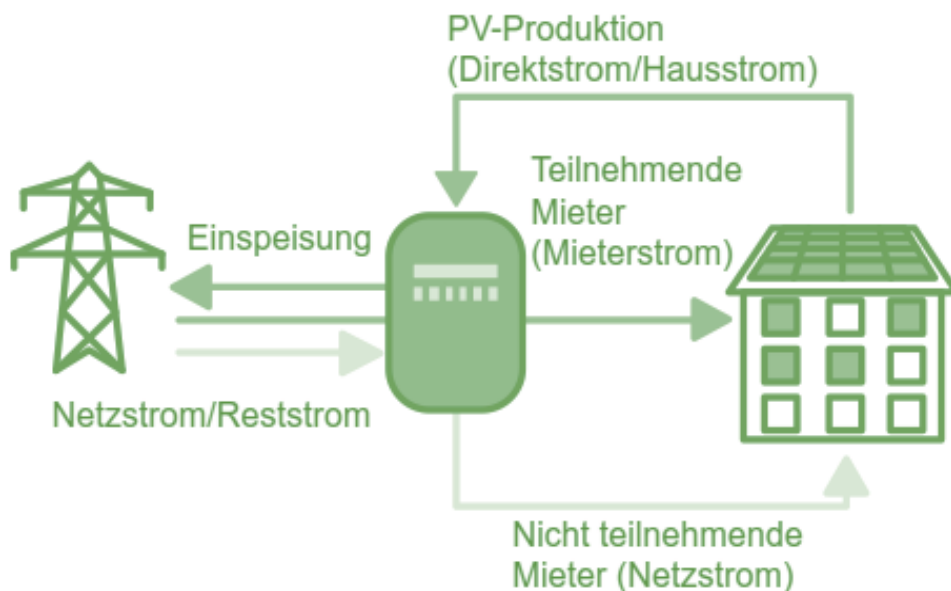


Abbildung 40: Schematische Darstellung Mieterstrom (PV FINANCING)

Für den entsprechenden Hauseigentümer (Immobilienunternehmen, Privatpersonen, Wohnungsbaugesellschaft oder -genossenschaft) des Mietshauses gibt es verschiedene Betreibermodelle, um Mieterstrom zu produzieren und an die Mieter zu verkaufen.

Eine Möglichkeit besteht darin, dass der Eigentümer des Hauses selbst als Betreiber der Photovoltaikanlage auftritt. Treten Wohnungsbaugesellschaften und -genossenschaften allerdings selbst als Betreiber auf, so laufen sie im Falle einer Gewinnerzielung über die Energieproduktion Gefahr, steuerliche Vorteile einzubüßen. Aus diesem Grund wird in derartigen Fällen empfohlen, mit bestehenden Anbietern wie den Stadtwerken Konstanz zusammenzuarbeiten. Letztere sind 2017 für ihr Mieterstrommodell vom Verband Kommunaler Unternehmen mit dem



Preis „Regionale Energiewende“ ausgezeichnet worden. Alternativ kann für den Betrieb der Photovoltaikanlage auch eine Tochterfirma gegründet werden, die gewerblich tätig sein und die entsprechenden Gewinne erzielen darf (INSTITUT FÜR WOHNEN UND UMWELT). Mieterstrommodelle stellen eine Win-Win-Situation für Mieter, Hauseigentümer und den Klimaschutz dar. Die Rahmenbedingungen wurden zudem mit Inkrafttreten des Mieterstromgesetzes im Juli 2017 verbessert.

Vorteile für den Mieter:

- Günstigerer Stromtarif (der Stromtarif des Mieterstroms darf max. 90 % des lokalen Grundversorgungstarifs betragen) (BUNDESNETZAGENTUR)
- Aktive Beteiligung an der Energiewende

Vorteile für den Anlagenbetreiber:

- Vergütung für den erzeugten Strom in Höhe von 2,2 – 3,8 Ct/kWh (je nach Größe der Anlage, Anlagen bis 100 kW<sub>p</sub> werden gefördert) (POLARSTERN)
- 40 % der staatlichen Abgaben des Strompreises entfallen (Netzentgelte, Stromsteuer, etc.) (POLARSTERN)
- 15 – 20 % mehr Rendite gegenüber der Netzeinspeisung (POLARSTERN)

Vorteile für den Gebäudeeigentümer:

- Attraktivität des Objektes für Mieter wird durch günstige Strompreise erhöht
- Pachtzahlungen des Anlagenbetreibers an den Gebäudeeigentümer

Mieterstrom darf auch aus BHKWs oder Kleinwindanlagen angeboten werden, in diesem Fall erfolgt jedoch keine Förderung über den Staat. Es ist ebenfalls möglich, mit dem Strom der installierten Photovoltaikanlagen Wärmepumpen zu betreiben und so das Wohngebäude zu beheizen. Auch in diesem Fall entfällt die Mieterstromförderung.

In Konstanz existieren 10.375 Wohnhäuser (inkl. Wohnmischnutzungen), mit einem Photovoltaikpotenzial von insgesamt 70 GWh<sub>el</sub>/a. Durch die Stadtwerke Konstanz wird Mieterstrom in derzeit 11 Objekten angeboten (Stand Oktober 2018). Dementsprechend existiert noch ein hohes ungenutztes Potenzial, das von Immobilieneigentümern und Mieterstromanbietern genutzt werden könnte. Eine Nutzung des Potenzials wird im Hinblick auf die Klimaschutzziele

und die Beteiligung von Mietern an der Energiewende empfohlen. Eine Liste mit den 40 Wohnhäusern mit dem höchsten Solarpotenzial wurde an die Stadt Konstanz übergeben. Die in der Liste aufgeführten Wohnhäuser könnten z. B. ein Ausgangspunkt für die Implementierung weiterer Mieterstromprojekte sein.

### 4.3.3 Bau von Hoch- und Niedertemperaturnetzen

Der Bau von Hoch- und Niedertemperaturnetzen ist ein wichtiger Baustein für eine klimaschonende Energieversorgung, zumal die Netze technologieoffen realisiert werden können: Verfügt man über größere Wärmenetze, können diese deutlich einfacher auf eine andere Wärmeerezeugungstechnologie umgestellt werden, als wenn in jedem einzelnen Gebäude die Wärmeerezeuger ausgetauscht werden müssten. In Wärmenetzen kann Wärme aus erneuerbaren Energien, hocheffizienten KWK-Anlagen oder Industrieabwärme effizient zu den Abnehmern transportiert werden. In Konstanz existieren momentan jedoch nur neun kleinere Wärmenetze, die mit erdgasbetriebenen KWK-Anlagen und Heizzentralen beheizt werden. Aufgrund der hohen Effizienz von Wärmenetzen wird empfohlen, die bestehenden Wärmenetze auszubauen und neue Wärmenetze zu bauen. Dabei stellt die thermische Nutzung des Bodensees (siehe Abschnitt 4.3.7) für das Stadtgebiet der Stadt Konstanz eine interessante Option dar, um Wärmenetze regenerativ oder mit regenerativen Anteilen zu betreiben.

Im Zuge der Betrachtung der Schwerpunktgebiete wurden bereits Gebiete identifiziert, die für eine Beheizung mit Wärmenetzen prinzipiell geeignet sind. Weitere Details zu den Gebieten und den möglichen Wärmenetzen können Abschnitt 6.1 entnommen werden.

Folgende Gebiete sind in Konstanz für den Bau von Wärmenetzen prädestiniert:

#### Umgebung der Geschwister-Scholl-Schule (Fürstenberg)

Das angrenzende Nahwärmenetz könnte erweitert werden.

#### Flugplatz (Industriegebiet)

Im Industriegebiet nördlich des Flugplatzes sind mehrere Industrieunternehmen mit einem hohen Wärmebedarf angesiedelt. Hier könnte der Aufbau eines Wärmenetzes im Zuge der Weiterentwicklung des Flugplatzes effizienter sein als eine dezentrale Wärmeerezeugung.

#### Nördlich Bahnhof Wollmatingen

Das angrenzende bestehende Wärmenetz in der Fürstenbergstraße könnte erweitert werden. In direkter Nachbarschaft befinden sich die Grund- und Werkrealschule Berchen sowie Bauten der WOBAK mit einer hohen Wärmedichte.

### Petershausen-West

Im Bereich des Schwerpunktgebiets vom Brückenkopf Nord bis zum Benediktinerplatz gibt es sieben KWK-Anlagen, die bislang separat betrieben werden. Es ist zu prüfen, ob durch ein Wärmenetz Effizienzgewinne entstehen würden.

### Südufer Seerhein (Paradies)

Am Südufer des Seerheins existieren bereits mehrere Wärmenetze. Es ist zu prüfen, ob evtl. die Studierendenwohnheime zwischen Bundesstraße 33 und HTWG ebenfalls an eines der Wärmenetze angeschlossen werden sollten.

### Altstadt, Bahnhofsquartier

In dem Gebiet um den Konstanzer Hauptbahnhof befinden sich mehrere Blöcke mit einer sehr hohen Wärmedichte. Hier sollte geprüft werden, ob der Aufbau eines Wärmenetzes, evtl. sogar mit Anteilen thermischer Seewassernutzung, technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist.

Die vorgestellten Gebiete sind nur Beispiele für potenzielle Wärmenetze, die Aufzählung ist nicht umfassend für das Stadtgebiet Konstanz. Weiterhin sollten in jedem Gebiet vor der Planung eines Wärmenetzes die technischen Rahmenbedingungen noch einmal detailliert untersucht werden.

Für die Planungs- und Investitionskosten von Wärmenetzen stehen unterschiedliche Fördermöglichkeiten zur Verfügung. Eine Auswahl ist nachstehend aufgeführt (Stand August 2018):

- Das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg fördert die Investition in und bezuschusst die Planung von Wärmenetzen.
- Das BAFA fördert die Planung und den Bau von innovativen Wärmenetzen über das Programm Wärmenetze 4.0.
- Der Bau von Wärmenetzen mit einem KWK-Anteil von über 75 % wird nach KWKG gefördert. Die Förderung kann über das BAFA beantragt werden.

- Die KfW-Bank vergibt günstige Kredite für die Investition in Wärmenetze und Hausübergabestationen.
- Die Planung von Wärmenetzen kann außerdem über Quartierskonzepte (KfW-Programm Nr. 432) von der Bundesregierung gefördert werden. Um tatsächlich vom Konzept in die Umsetzung zu kommen, ist die Einstellung sogenannter „Sanierungsmanager“, welche spezifisch für die ausgewählten Gebiete zuständig sind, unerlässlich. Sanierungsmanager werden ebenfalls über das KfW-Programm Nr. 432 für integrierte Quartierskonzepte gefördert: Stand August 2018 beträgt der Förderhöchstbetrag für die Stellen zum Sanierungsmanagement 150.000 € pro Quartier, bei Verlängerung bis 250.000 €. Die Kosten für die Konzepterstellung werden zu 65 % übernommen.

Ist ein Wärmenetz beschlossen und geplant, gibt es mehrere Optionen für den Betrieb des Wärmenetzes. Im folgenden Exkurs werden gängige Betreibermodelle für Wärmenetze vorgestellt.

#### **Exkurs: Betreibermodelle von Wärmenetzen**

Eine entscheidende Frage bei der Umsetzung von Nahwärmenetzen ist neben der Technologie und der Wirtschaftlichkeit auch das konkrete Betreibermodell. Hier kann die Stadt Konstanz als Treiber aktiv werden, muss jedoch Gestaltungsspielraum und Risikobeteiligung gegeneinander abwägen.

Prinzipiell kann die Stadt selbst in verschiedenen Formen als Betreiber auftreten. Die direkteste wäre der kommunale Betrieb, bei welchem die Investitionen als auch die laufenden Kosten direkt aus dem städtischen Haushalt beglichen werden. Ebenso fließen auch Erlöse und das betriebswirtschaftliche Ergebnis direkt in den Haushalt. Der Vorteil liegt im alleinigen Zugriff auf das Versorgungsgebiet und damit auch einem alleinigen Gestaltungsspielraum durch die Kommune. Jedoch verbleiben auch das Risiko und die Abwicklung aller Betriebsprozesse bei der Gemeinde, wozu i. d. R. der Aufbau neuer Kernkompetenzen notwendig ist. Daher ist dieses Modell selten zu empfehlen.

Durch die Organisation in einer Genossenschaft als Betriebsgesellschaft lässt sich das Risiko stark streuen, gleichzeitig hebt dies in der Regel auch die Akzeptanz in der Bevölkerung durch eine direkte Beteiligung von Bürgern. Die Entscheidungsgewalt wird dadurch aber auf mehrere Akteure verteilt, wodurch die Möglichkeit der Einflussnahme für die Stadt sinkt und der Aufwand für Organisation und Steuerung in der Betreibergesellschaft steigt. Genossenschaften sind meist dort zu empfehlen, wo eine hohe Bürgerbeteiligung Voraussetzung zur Umsetzung des Vorhabens ist.

Ansonsten kann die Betreibergesellschaft auch als GmbH ausgeführt werden.

Damit sinkt der Aufwand für die Organisation der Gesellschafter und das Risiko für den wirtschaftlichen Betrieb verbleibt außerhalb des städtischen Haushalts. Mit den SWK als hundertprozentiger Tochter der Stadt, besteht zudem schon eine Gesellschaft mit reichlicher Erfahrung in der Energiewirtschaft. Somit entfällt hier auch ein erheblicher zeitlicher Aufwand zum Aufbau von Kompetenzen. Allerdings agiert die Stadt in diesem Modell als Gesellschafter und hat somit auch nur bedingt Einfluss auf beispielsweise den operativen Betrieb.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Betrieb von Wärmenetz als auch -erzeugung vollständig an Dritte in Form von Ausschreibungen zu vergeben. Das wirtschaftliche Risiko ist damit für die Kommune nahe Null, aber der Gestaltungsspielraum beschränkt sich auch nur auf das Vergabeverfahren. Danach besteht meist kein Zugriff mehr.

Die Varianten können mitunter auch in einem Wärmenetz vermischt werden. So kann das Netz in Verantwortung der Gemeinde verbleiben und ein Dritter z. B. in einem Contractingmodell als Wärmelieferant auftreten. Eine Entscheidung für ein Betreibermodell sollte in jedem Fall die individuelle Situation (z. B. Größe des Netzes, Abnehmer, weitere beteiligte Akteure) berücksichtigen, um einen optimalen Betrieb zu gewährleisten.

#### 4.3.5 Dezentrale Wärmelösungen

Dezentrale Wärmelösungen sind überall dort prädestiniert, wo keine Wärmenetze existieren und auch keine Wärmenetze angedacht sind. Da Wärmenetze nur in Gebieten mit hohen Wärmedichten rentabel sind, ist es vor allem in Gebieten mit geringen Wärmedichten notwendig, auf dezentrale Wärmelösungen zurückzugreifen. Geringe Wärmedichten existieren in Gebieten mit weitläufiger Bebauung wie z. B. in den Konstanzer Vororten.

Für die dezentrale Wärmeherzeugung sollte aus Klimaschutzgründen auch auf erneuerbare Energien zurückgegriffen werden. In der folgenden Tabelle 17 ist eine Übersicht über die vorhandenen regenerativen dezentralen Technologien zur Wärmeherzeugung zu finden.

Tabelle 17: Übersicht über die Voraussetzungen sowie Vor- und Nachteile dezentraler Wärmeerzeugungstechnologien

Technologie	Notwendige Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
Geothermie	Geothermische Wärmequelle und niedrige Heiztemperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe Betriebskosten</li> <li>• Kombination mit Photovoltaik möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aufwendige Planung, hohe Anschaffungskosten</li> </ul>
Luftwärmepumpe/ Wasserwärmepumpe	niedrige Heiztemperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe Anschaffungskosten</li> <li>• Kombination mit Photovoltaik möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe Effizienz (viel Stromverbrauch)</li> </ul>
Technologie	Notwendige Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
Holzheizung (Pellet oder Scheibholz)	Separater Raum für Heizungsanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestandsanlage z. T. weiter nutzbar</li> <li>• geringe Betriebskosten bei regionaler Holzquelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• manueller Aufwand</li> <li>• Brennstoff und Asche als Reststoffe</li> <li>• komplexe Anlagentechnik</li> <li>• Verfügbarkeit</li> </ul>
Solarthermie	Ausreichendes Solarpotenzial und ausreichend verfügbare Dachfläche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe Betriebskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muss mit anderen Wärmeerzeugungsanlagen kombiniert werden, da sonst im Winter nicht genügend Heizleistung zur Verfügung steht</li> </ul>

Weitere Informationen zu dezentralen Wärmelösungen können mit individueller Beratung bei der Verbraucherzentrale oder der Energieagentur Landkreis Konstanz eingeholt werden.

#### 4.3.6 Aufbau von Energieerzeugungsanlagen durch Energieversorger

Nachdem im letzten Abschnitt die dezentrale Wärmeerzeugung beleuchtet wurde, werden in diesem Abschnitt die Optionen für zentrale Energieerzeugungsanlagen von Energieversorgern dargestellt.

Energieversorger können zum einen über Contractingmodelle dezentrale Energieerzeugungsanlagen anbieten. Wie schon im vorherigen Abschnitt genannt, ist es im Sinne des Klimaschutzes sinnvoll, hier auf regenerative Energieerzeugungsanlagen zu setzen.

Zum anderen können Energieversorger über Wärmenetze eine größere Anzahl an Verbrauchern mit einer Wärmeerzeugungsanlage gleichzeitig beliefern. Momentan setzen hier die SWK sowie andere in Konstanz aktive Anbieter hauptsächlich auf erdgasbetriebene KWK-Anlagen (siehe Abschnitt 3.1.6). Wenn jedoch die Klimaschutzziele in Konstanz erreicht werden sollen, ist eine Umstellung auf erneuerbare Energien unumgänglich. Unter den gegebenen politischen Rahmenbedingungen erscheint es aus heutiger Sicht sehr wahrscheinlich, dass die Menge an Treibhausgasemissionen, die laut Klimaschutzziele im Energiebereich „erlaubt“ sind, bereits von Anlagen zur dezentralen Wärmeerzeugung ausgestoßen werden. Das ist ein Grund, warum die Stadtwerke Konstanz und ggf. andere in Konstanz aktive Energieversorger eine Vorreiterrolle bei der erneuerbaren Energieversorgung übernehmen sollten. Weitere Gründe bestehen darin, dass die Energieversorgungsunternehmen über die entsprechende Expertise zum Ausbau der erneuerbaren Energien verfügen und dass die SWK als kommunales Unternehmen die Klimaschutzziele der Stadt Konstanz als einen festen Bestandteil in ihre strategische Agenda integrieren sollten. Weiterhin hat der Ausbau von zentralen Wärmeerzeugungsanlagen eine größere Hebelwirkung als die Umrüstung von dezentralen Wärmeerzeugungsanlagen.

Für die Beheizung der Wärmenetze mit erneuerbaren Energien bietet sich Biomasse (im vorhandenen Maße) oder die thermische Seewassernutzung sowie die Abwasserwärmenutzung an. Bei ausreichender Flächenverfügbarkeit können auch Geothermieanlagen in ein Wärmenetz integriert werden, beispielsweise in Neubaugebieten. Eine Integration von Freiflächen-Solarthermieanlagen ist aufgrund des hohen Flächendrucks in Konstanz aus heutiger Sicht unwahrscheinlich. Wie in Abschnitt 4.2.3.4 gezeigt, ist die Umstellung auf erneuerbare Energien im Wärmebereich nur kurzfristig teurer, langfristig kann sie dagegen Kosteneinsparungen mit sich bringen.

Darüber hinaus sollten auch im Strombereich die regenerativen Energieerzeugungsanlagen ausgebaut werden. Hier wird vor allem der Ausbau von Photovoltaikanlagen empfohlen, da diese im Stadtgebiet das größte Stromerzeugungspotenzial besitzen (siehe Abschnitt 4.1.2).

#### 4.3.7 Seewasserwärmenutzung

Für die Beheizung oder Kühlung von Gebäuden kann als eine Option der regenerativen Energieversorgung auch Oberflächenwasser eingesetzt werden. Bereits im „Klimaschutzszenario“ (siehe Abschnitt 4.2.3.3) wurde angenommen, dass ein Teil der Gebäude mit Wärme aus dem Bodensee beheizt wird. In diesem Abschnitt soll noch einmal näher auf die Technologie und die zugrundeliegenden Annahmen eingegangen werden.

Oberflächenwasser kann zur Beheizung oder Kühlung von Gebäuden verwendet werden. Im vorliegenden Energienutzungsplan soll der Fokus auf der Beheizung durch Oberflächenwasser liegen, da eine Beheizung von Gebäuden in Konstanz im größeren Stil benötigt wird als eine Kühlung von Gebäuden. Liegt jedoch bei einem Gebäude ein hoher Kühlbedarf vor, ist es ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll, auch die Kühlung mithilfe von Oberflächenwasser in Erwägung zu ziehen.

Für die Beheizung mithilfe von Oberflächenwasser existieren grundsätzlich zwei verschiedene Systeme: offene und geschlossene Systeme (KAMMER 2017).

##### Offenes System

Bei einem offenen System wird dem Oberflächengewässer Wasser entnommen, durch Wärmepumpen erhitzt, zur Beheizung der Gebäude verwendet und wieder dem Gewässer zugeführt. Bei dieser Variante ist besonders darauf zu achten, dass durch die Wasserentnahme das Ökosystem des Oberflächengewässers nicht verändert wird (KAMMER 2017). In der Praxis kommt diese Lösung aufgrund ihrer ökologischen Risiken kaum zum Einsatz. Für den Bodensee ist sie in der Bodenseerichtlinie ausgeschlossen (IGKB 2014).

##### Geschlossenes System

Bei einem geschlossenen System werden Wärmetauscher in Form von Rohren oder Wärmeplatten in unmittelbarer Nähe des Oberflächengewässers eingesetzt. Die verwendete Wärmeträgerflüssigkeit ist bei Einleitung in den Wärmetauscher ca. 3 – 5 Grad Celsius kälter als die Wassertemperatur, sodass sie durch den indirekten Kontakt mit dem Gewässer erwärmt wird (Wärmeübertragung vom Gewässer auf die Wärmeträgerflüssigkeit, wobei die Flüssigkeiten stets räumlich voneinander getrennt bleiben). Die erwärmte Flüssigkeit wird anschließend zu Wärmepumpen geführt und mit deren Hilfe auf das für die Beheizung der Gebäude benötigte Temperaturniveau gehoben. Im Anschluss wird sie wieder in den Wärmetauscher zurückgeleitet.



Aufgrund der direkten Anbindung an den Bodensee existiert in Konstanz ein hohes theoretisches Potenzial für thermische Seewassernutzung. Laut einer Dissertation von Dr. Henriette Kammer an der Universität Würzburg aus dem Jahr 2017, beträgt das theoretische thermische Potenzial des Bodensees bei einer Abkühlung von einem Kelvin 3,4 GW.

Um die technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen dieses Potenzials zu untersuchen, wurde im Zuge des Energienutzungsplans ein Modell entworfen, bei dem die Stadt- und Ortsteile Niederburg (Altstadt), Wallhausen, Petershausen und Paradies durch die thermische Nutzung des Bodensees beheizt werden. Aufgrund der Vorschriften der Bodenseerichtlinie wurde bei der Modellierung vom Einsatz geschlossener Systeme zur thermischen Seewassernutzung ausgegangen.

In der folgenden Tabelle 18 ist eine Übersicht der Annahmen zu finden, die für die Seewasserverwärmernutzung getroffen wurden. In dem Modell werden 62 % des Wärmebedarfs durch Seewassernutzung gedeckt, der Rest wird durch mit Biomasse betriebene Spitzenlastkessel beheizt. Weiterhin wird für das Modell eine Anschlussquote von 80 % der in Frage kommenden Gebäude angenommen. Da durch das EWärmeG in Baden-Württemberg Eigentümer von Wohngebäuden verpflichtet sind, im Falle eines Heizungstausches einen gewissen Anteil erneuerbarer Energien nachzuweisen (MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG), ist der Anreiz für Verbraucher in Baden-Württemberg, sich an Wärmenetze mit erneuerbaren Energien anzuschließen, höher als in anderen Bundesländern. Trotzdem zeigen bisherige Projekterfahrungen, dass eine Anschlussquote von 80 % an ein Wärmenetz in der Stadt Konstanz sehr ambitioniert ist. Um eine derartige Anschlussquote erreichen zu können, müssten bestehende Rahmenbedingungen zum Beispiel wie folgt verändert werden:

- Verschärfung des EWärmeG in Baden-Württemberg oder des EEWärmeG auf Bundesebene (z. B. Erhöhung des verpflichtenden Anteils von erneuerbaren Energien, Ausweitung auf Nicht-Wohngebäude, Ausweitung auf Bestandanlagen mit einer gewissen Übergangsfrist, keine bzw. weniger Ausnahmen für denkmalgeschützte Gebäude)
- Einführung eines Anschluss- und Benutzungszwangs für die entsprechenden Gebiete (für den Bestand müsste es eine Übergangsregelung geben, z. B. für Eigentümer, die ihre Heizungsanlage gerade erst erneuert haben)
- Günstige Bereitstellung von Flächen für Technikzentralen durch Stadt, Land und Bund

Tabelle 18: Annahmen Modell zur thermischen Seewassernutzung

<b>Wärmebedarfe</b>	
Niederburg (Altstadt)	67 GWh/a
Wallhausen	6 GWh/a
Petershausen	69 GWh/a
Paradies	55 GWh/a
<b>Technische Annahmen</b>	
Anschlussquote	80 %
Vollbenutzungstunden	Durchschnittlich 1.800 h/a
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	JAZ = 3,0 <sup>6</sup>
<b>Wirtschaftliche Annahmen</b>	
Zinsfuß	2 %
Nutzungsdauer Technik	20 Jahre
Nutzungsdauer Netze	50 Jahre
Strompreis	15 – 20 Cent/kWh
Gaspreis	2,5 – 3,5 Cent/kWh
Betriebskosten	3 % der Investitionskosten
Sonstige Kosten	1,5 % der Investitionskosten
Investitionskosten	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Wärmepumpe: 400 €/kW</li> <li>○ Peripherie Wärmepumpe: 20 % der Investitionskosten für die Wärmepumpen</li> <li>○ Entnahmeleitung Seewasser: 400 €/m</li> <li>○ Horizontalspühlbohrverfahren: 500 €/m</li> <li>○ Kosten Technikgebäude: zwischen 250.000 € – 500.000 € pro Gebäude (1 Gebäude pro Versorgungsgebiet)</li> <li>○ Spitzenlastkessel: 100 €/kW</li> <li>○ Wärmespeicher: 1.200 €/m<sup>3</sup></li> <li>○ Fernwärmenetz: 1.200 €/m</li> <li>○ Hausanschlüsse: 9.000 €/Anschluss</li> <li>○ Peripherie FW-Netz: 20 % der Investitionskosten für das Fernwärmenetz</li> <li>○ Projektierung, Planung, Nebenkosten: 18 % der gesamten Investitionskosten</li> </ul>

<sup>6</sup> Auch hier kann es bei Wärmepumpen in Bestandsgebäuden geringere Jahresarbeitszahlen geben. Bei Neubauten und auch perspektivisch kann jedoch von einer, heute in einigen Fällen ambitionierten, durchschnittlichen Jahresarbeitszahl von 3 bei den einzusetzenden Wärmepumpen ausgegangen werden.

Unter den in Tabelle 18 vorgestellten Annahmen ergeben sich bei einer Berechnung des Modells die in Tabelle 19 aufgelisteten Ergebnisse. Die Ergebnisse sind für die einzelnen Teilgebiete sowie für das Gesamtgebiet aufgelistet.

Verglichen mit einem Wärmemischpreis von Öl- oder Erdgaskesseln, die bei 100 – 150 €/MWh liegen, ist der Wärmemischpreis für die thermische Seewassernutzung mit durchschnittlich 102 €/MWh konkurrenzfähig zu den heute etablierten Technologien. Berücksichtigt man zusätzlich noch die eingesparten Emissionen und die voraussichtlich steigenden Öl- und Gaspreise (siehe Abschnitt 4.2.3), so erscheint die Seewassernutzung als technisch, ökologisch und wirtschaftlich effiziente Option für die Wärmeversorgung der Stadt Konstanz.

Tabelle 19: Ergebnisse Modell Seewasserwärmenutzung

	Einheit	Niederburg	Wallhausen	Petershausen	Petershausen-West	Paradies	Gesamt
Verbrauch	kWh	72,1 Mio.	6,7 Mio.	15,8 Mio.	57,6 Mio.	59,5 Mio.	211,9 Mio.
Investitionskosten	€	36,9 Mio.	7,2 Mio.	11,0 Mio.	44,8 Mio.	46,6 Mio.	146,6 Mio.
Kapitalkosten <sup>7</sup>	€/a	1.690.000	314.000	489.000	1.847.000	1.943.000	6.212.000
Verbrauchs-kosten <sup>8</sup>	€/a	2.327.000	262.000	541.000	1.853.000	1.921.000	6.497.000
Betriebskosten	€/a	1.110.000	216.000	330.000	1.344.000	1.389.000	4.398.000
Vollkosten <sup>9</sup>	€/a	5.682.000	901.000	1.524.000	5.715.000	5.962.000	19.784.000
Mischpreis	€/MWh	79	133	97	99	100	102

## 5 Übersicht über Energieerzeugungstechnologien

### 5.1 Erdgas-KWK

Kraft-Wärme-Kopplung ist die gleichzeitige Erzeugung von mechanischer Energie bzw. Strom und nutzbarer Wärme in einem gemeinsamen Prozess. Meist geschieht dies in einem Heizkraftwerk unter Auskopplung der Wärme bei der Stromerzeugung, jedoch gewinnen kleinere KWK-Anlagen, so genannte BHKW, in der Versorgung von Quartieren oder Industriebetrieben zunehmend an Bedeutung. Als Brennstoff kommt überwiegend Erdgas zum Einsatz, allerdings

<sup>7</sup> Kapitalkosten sind die Investitionskosten, heruntergerechnet auf ein Jahr.

<sup>8</sup> Kosten für Strom

<sup>9</sup> Gesamtkosten pro Jahr

können auch andere fossile Brennstoffe, z. B. Heizöl, als auch erneuerbare Energien, z. B. Holz oder Bioöle, eingesetzt werden.

Momentan sind BHKW in Kombination mit Erdgas-Heizkesseln die häufigste Art der zentralen Wärmeerzeugung in den bestehenden Nahwärmenetzen in Konstanz.

Die Vorteile der gekoppelten Erzeugung bestehen wesentlich in einem um ca. ein Drittel niedrigerem Primärenergieeinsatz im Vergleich zur getrennten Erzeugung von Wärme und Strom und somit einer erheblichen Brennstoffeinsparung. Folglich sind auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die höhere Effizienz geringer. Mit dem Einsatz von Biomasse oder gar regenerativ erzeugtem Wasserstoff in Brennstoffzellen, welche ebenfalls zu den KWK-Anlagen gehören, lassen sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf nahe Null reduzieren. Ein weiterer bedeutender Vorteil liegt in der Regelbarkeit der Anlagen und ihrer Unabhängigkeit von Witterungsverhältnissen.

Unter Einsatz von Erdgas als Brennstoff bildet die KWK-Technologie jedoch nur eine Brückentechnologie, da nach wie vor fossile Brennstoffe mit klimaschädlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen verbrannt werden. Zudem leidet die Erdgas-KWK ebenso wie andere auf fossilen Energieträgern basierende Erzeugungsformen unter der Importabhängigkeit ebenjener Brennstoffe, bei denen langfristig mit einer Verknappung und damit Kostensteigerung zu rechnen ist. Mittelfristig kann ein wirksamer Klimaschutz nur gewährleistet werden, wenn in KWK-Anlagen erneuerbare Brennstoffe genutzt werden.

Die Investitions- und Anschaffungskosten sind aufgrund der höheren Komplexität der Anlagen i. d. R. verhältnismäßig hoch, was häufig eine Nutzung als Grundlastanlage mit hoher Jahresbetriebsstundenzahl zur Folge hat – Voraussetzung ist hierfür ein entsprechend hoher Wärmebedarf. In diesem Fall sinken die Kosten relativ zur Energiemenge auf ein wirtschaftliches Niveau. Meist wird jedoch eine Ergänzung durch eine Spitzenlastanlage benötigt, welche besonders hohe Wärmebedarfe, z. B. in der Heizperiode, abdeckt.

Je nach Größe und Wirkungsgrad fallen die CO<sub>2</sub>-Emissionen für Erdgas-KWK-Anlagen im Vergleich zur getrennten Erzeugung von Strom und Wärme mit fossilen Energieträgern um 30 – 40 % geringer aus. Geht man langfristig bis 2050 von einer komplett regenerativen Stromerzeugung aus, so wird dieser Vorteil erdgasbetriebener KWK-Anlagen hinfällig.

## 5.2 Erdgas-Brennwerttherme

Brennwertkessel oder -thermen sind eine Weiterentwicklung des Heizkessels zur Bereitstellung von Heizwärme oder Warmwasser. Hierbei wird im Unterschied zu konventionellen Heizkesseln das Abgas weiter ausgekühlt und dadurch auch die Kondensationswärme des im

Rauchgas enthaltenen Wassers genutzt. Somit steigen die Brennstoffausnutzung und der Wirkungsgrad der Wärmeerzeugung. Brennwertthermen mit Erdgas als Brennstoff sind dabei heute gängiger Stand der Technik, wobei auch andere fossile als auch erneuerbare Energieträger genutzt werden können. In Konstanz ist diese Technologie neben Niedertemperaturkesseln eine der häufigsten Formen der dezentralen Wärmeerzeugung.

Neben dem hohen Wirkungsgrad bieten Erdgas-Brennwertthermen vor allem Vorteile in ihrem geringen Platzbedarf, ihrer Zuverlässigkeit als auch in ihren vergleichsweise geringen Anschaffungskosten. Im Vergleich zu konventionellen Heizkesseln sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich niedriger.

Dennoch entstehen auch beim im Vergleich zum Heizöl emissionsärmeren Brennstoff Erdgas klimaschädliche Abgase. Wie bei allen fossilen Energieträgern besteht außerdem auch hier eine Importabhängigkeit sowie die langfristige Tendenz zu steigenden Energiepreisen.

Im Vergleich zu den anderen beschriebenen Technologien ist die Brennwerttechnik die verbreitetste, was sich auch in niedrigen Anschaffungskosten niederschlägt. Die Betriebskosten fallen durch die weniger komplexe Technik ebenfalls moderat aus, jedoch sind die Verbrauchskosten in Abhängigkeit der Preisentwicklung von Erdgas hoch.

Erdgas hat einen Emissionsfaktor von 202 g CO<sub>2</sub>/kWh. Dieser ist für einen fossilen Brennstoff zwar gering, kann jedoch nicht mit den nahe Null liegenden Faktoren erneuerbarer Energien konkurrieren. Erdgas ist deshalb im Sinne des Klimaschutzes nur als Brückenlösung oder in besonderen Einzelfällen weiterzuverfolgen.

### 5.3 Solarthermie

Solarthermie ist die Umwandlung von solarer Strahlungsenergie in nutzbare Wärme. Solarkollektoren absorbieren die Sonnenwärme und erwärmen ein flüssiges Wärmeträgermedium. Das erhitzte Wärmeträgermedium dient zur Weiterverteilung der Wärme und wird nach dessen Abkühlung wieder in den Solarkollektor gefördert, wo der Prozess von neuem beginnt.

Prinzipiell werden Solarthermieanlagen in Freiflächenanlagen für eine zentrale Wärmeversorgung und in Dachanlagen für eine dezentrale Versorgung unterschieden. Daneben existieren verschiedene Kollektortechnologien bzw. -bauformen wie etwa Flach- oder Röhrenkollektoren, die unterschiedliche Eigenschaften, Wirkungsgrade und Kosten aufweisen. Beide Arten haben durch die nötigen Kollektorflächen einen im Vergleich zu anderen Wärmeerzeugungsarten hohen Flächenbedarf. Jedoch fallen gleichzeitig keine Brennstoffkosten an, da die Sonnenergie als Wärmequelle dient.

Für Dachanlagen, etwa für Einfamilienhäuser, ist dabei die Nutzung eines Pufferspeichers sehr sinnvoll. Somit werden witterungsbedingte Schwankungen oder Tag-Nacht-Wechsel überbrückt, ohne auf Warmwasser verzichten zu müssen. Gleichzeitig werden Dachanlagen meist zur Warmwasserbereitung genutzt, da hier i. d. R. niedrigere Temperaturen als in Großanlagen erreicht werden und der Ertrag in der Heizperiode maximal für eine Heizungsunterstützung ausreicht, nicht jedoch zur alleinigen Bereitstellung der Heizenergie. Möglich ist es auch, über Photovoltaikanlagen Strom und daraus bei Bedarf wieder Wärme zu erzeugen. Aufgrund der stark gefallenen Photovoltaikmodulpreise kann dies eine wirtschaftliche Alternative zum klassischen Kollektor sein.

Großanlagen sind aufgrund der jahreszeitlichen Abhängigkeit der Wärmeerzeugung nur unter Einbindung in ein Wärmenetz mit mehreren Erzeugern oder saisonalen Speichern sinnvoll. Somit lassen sich sonnenarme Zeiträume ohne Wärmeunterbrechung überbrücken.

Der Vorteil solarthermischer Anlagen besteht in ihrem nahezu emissionsfreien Betrieb. Zudem fallen nur geringe Betriebskosten an, da kein Brennstoff benötigt wird und die Anlage selbst kaum Verschleiß aufweist.

Größter Kostenfaktor für Solarthermieanlagen sind die Aufwendungen für Anschaffung und Installation. Diese machen einen wesentlichen Teil der Lebenszykluskosten der Anlagen aus. Im Betrieb selbst fallen nur noch Kosten für die Wärmeverteilung, z. B. Pumpen an; außerdem Versicherungs- und Verwaltungskosten sowie Wartungskosten.

Es entstehen nur indirekte Emissionen, einerseits durch die vorgelagerte Prozesskette in der Produktion der Anlagen, andererseits durch den Betrieb der Wärmeverteilung. Die Gewinnung der Wärme selbst ist emissionsfrei, womit keine direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen.

## 5.4 Geothermie

Geothermie bezeichnet in diesem Kontext die Nutzung der in der Erdkruste gespeicherten thermischen Energie zur Wärme- oder auch Stromerzeugung.

Unterschieden wird in oberflächennahe Geothermie in einer Tiefe bis 400 m sowie in Tiefengeothermie über 400 m Tiefe. Die oberflächennahe Geothermie ist geologisch für jedes Grundstück geeignet, wird jedoch durch rechtliche und wirtschaftliche Aspekte begrenzt. Über Erdkollektoren, Erdwärmesonden oder ähnliche Anlagen wird in einem Rohrleitungssystem ein Wärmeträgermedium eingebracht, welches als Wärmequelle für eine Wärmepumpe dient. Diese stellt die Nutzwärme bereit. Das System kann ohne Wärmepumpe so auch zur Kühlung

eingesetzt werden. Aufgrund der niedrigen Temperaturen der Wärmequellen in Oberflächennähe sind i. d. R. sehr große Flächen insbesondere für größere zu versorgende Objekte notwendig. Daher eignet sich diese Variante meist für Objekte mit geringem Wärmebedarf, wie Einfamilien- und kleinere Mehrfamilienhäuser sowie energieeffiziente Neubauten.

Bei der Tiefengeothermie werden weit tiefere geologische Schichten genutzt; die Technologie kann bei der richtigen geologischen Beschaffenheit sogar zur Stromerzeugung genutzt werden. Jedoch sind die Voraussetzungen im Umkehrschluss nicht für jeden Ort gegeben, um eine wirtschaftliche Nutzung zu realisieren. Für das Gebiet der Stadt Konstanz ist eine Nutzung nur sehr aufwendig und kostenintensiv umsetzbar. Deshalb konnte die Anwendung der Tiefengeothermie schon frühzeitig als derzeit unwirtschaftliche Möglichkeit zur Wärmeversorgung ausgeschlossen werden.

Emissionen treten durch die Wärmequelle nicht auf. Unter Nutzung regenerativ erzeugten Stroms für Umwälzpumpen und insbesondere die Wärmepumpe bei oberflächennaher Geothermie fallen im Betrieb gar keine Klimagasemissionen an. Zudem ermöglicht die Technologie eine regelbare und ganzjährige Wärmeversorgung.

Nachteilig auf das Potenzial wirkt sich der hohe Flächenbedarf aus, sowie der u. U. begrenzte Ertrag aus Wärmequellen bei begrenzter Fläche. Wegen Flächenkonkurrenz kann somit voraussichtlich auch nur ein Teil des vorhandenen Potenzials tatsächlich genutzt werden.

Die Kosten für die Anschaffung unterteilen sich noch einmal in die Anlagentechnik, beispielsweise für die Wärmepumpe, und die Nutzbarmachung der Wärmequelle durch Erdbohrungen oder die Verlegung von Kollektoren. Während die Anlagentechnik moderate Kosten aufweist, können die Tiefbau- und Bergbauarbeiten insbesondere bei der Tiefengeothermie erhebliche Kosten verursachen. Dies ist jedoch wesentlich von den lokalen geologischen Gegebenheiten abhängig. Die Betriebskosten sind moderat und mit anderen Technologien, z. B. der Brennwerttherme, vergleichbar. Die Verbrauchskosten fallen hauptsächlich als Stromkosten für die Wärmepumpe an. Die Höhe wird dabei wesentlich von der Sorgfalt der vorgenommenen Planung der geothermischen Anlage und der sich ergebenden Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe bestimmt. Bei den meist eingesetzten Sole-Wärmepumpen sollte die Jahresarbeitszahl über 4 liegen. Das bedeutet, dass pro eingesetzter Kilowattstunde Strom 4 Kilowattstunden Wärme erzeugt werden. Mit sinkender Arbeitszahl steigt somit der Strombedarf bei gleicher Wärmemenge.

In der ökologischen Bewertung stellt sich Geothermie gegenüber fossilen Energieträgern vorteilhaft dar, da Umweltwärme emissionsfrei genutzt wird. Emissionen entstehen nur durch den

Einsatz von Strom zum Betrieb der Wärmepumpe, in Abhängigkeit des Emissionsfaktors für den Strommix. Mit der möglichen Kombination einer lokalen regenerativen Stromerzeugung im Rahmen der Sektorkopplung, z. B. durch eine Photovoltaikanlage, können diese Emissionen durch die direkte Nutzung des erzeugten Stroms auf nahe Null gesenkt werden.

## 5.5 Biomasse

Eine weitere Möglichkeit zur Wärmeerzeugung besteht im Einsatz biogener Brennstoffe in Form von Holz, seltener auch Bioölen oder Biogas bzw. Biomethan. Aufgrund der Bindung von Kohlenstoffdioxid während des Wachstums der genutzten Pflanzen kann von Klimaneutralität ausgegangen werden. Technologisch ähneln die Anlagen zur Nutzung der Biomasse dabei denjenigen zur Nutzung fossiler Brennstoffe. Holz kann beispielsweise in Heizkesseln oder mit vorheriger Vergasung auch in BHKWs zur gekoppelten Erzeugung von Wärme und Strom eingesetzt werden. Gleiches gilt für Bioöle oder Biogas, welche meist direkt auf Biogasanlagen in BHKWs verstromt werden.

Holz in Form von Scheitholz, Holzhackschnitzeln oder Holzpellets kann dabei auch im kleineren Maßstab im Privatwohnraum verwendet werden. Grünschnitt oder Biogas finden meist eher Anwendung in Heizwerken mit angeschlossenen Wärmeverbänden. Grund hierfür ist i. d. R. eine erhöhte Anforderung an die technische Betriebsführung mit einer Vielzahl manueller Eingriffe in den Betrieb.

Der größte Vorteil der Nutzung von Biomasse als Brennstoff gegenüber fossilen Energieträgern besteht in deutlich geringeren klimaschädlichen Emissionen. Zwar sind die direkt emittierten CO<sub>2</sub>-Emissionen ähnlich hoch wie bei fossilen Energieträgern, jedoch ist dabei zu bedenken, dass dieses CO<sub>2</sub> von den Pflanzen zuvor aus der Atmosphäre gebunden wurde und in der Bilanz kein Mehreintrag von Emissionen erfolgt. Ähnlich wie bei anderen erneuerbaren Energien fallen wesentliche Emissionen in der Gewinnung und Verarbeitung der Erzeugnisse an, bilanziell jedoch nicht in der eigentlichen Nutzung. Ein weiterer Vorteil von Biomasse ist die häufig lokale Verfügbarkeit, welche nicht nur einen weiteren positiven Effekt auf die Klimabilanz hat, sondern auch die regionale Wertschöpfung stärken kann. Zudem ist Biomasse leicht speicherbar und bietet eine flexibel einsetzbare Energiequelle.

Nachteilig ist die eingeschränkte Verfügbarkeit von Biomasse aufgrund begrenzter Anbauflächen. Eine Erweiterung läuft dabei Gefahr, in Konkurrenz zu Anbauflächen von Nutzpflanzen für Lebensmittel zu stehen. Da einer der Vorteile die regionale Verfügbarkeit ist, ist weiterhin





von Biomasseimporten abzuraten. Letztere würden die Klimabilanz der Energieträger signifikant verschlechtern und damit die eigentlich gewünschte Reduktion klimaschädlicher Emissionen mindern.

Die Anschaffungs- als auch die Betriebskosten sind meist etwas höher als bei vergleichbaren Anlagen unter Einsatz fossiler Brennstoffe. Dies liegt an einer größeren Inhomogenität von Biomasse im Vergleich zu beispielsweise Erdgas oder Heizöl, was wiederum die Anlagentechnik als auch den Betrieb aufwendiger macht. Die Brennstoffkosten unterschieden sich stark nach lokal verfügbarem Angebot. Ist dieses vorhanden, liegen die Verbrauchskosten i. d. R. deutlich unter den Kosten vergleichbarer fossiler Brennstoffe. Bei überregionaler Beschaffung sind die Preise vergleichbar mit denjenigen von Heizöl oder Erdgas.

## 5.6 Photovoltaik

Photovoltaik ist die direkte Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie mithilfe von Solarzellen. In auf Silizium basierten Solarzellen regt das natürliche Sonnenlicht im atomaren Maßstab Teilchen an. Unter einer Spannung werden diese „Teilchen-Ströme“ an Elektroden gesammelt. Hier entsteht der elektrisch nutzbare Strom in Form einer Gleichspannung.

Durch die Verschaltung mehrerer Solarzellen entstehen Photovoltaikmodule, welche ebenfalls wieder in einer entsprechenden Verschaltung eine Photovoltaikanlage ergeben. Somit sind die Anlagen von wenigen Quadratzentimetern bis zu hektargroßen Freiflächenanlagen skalierbar. Ähnlich wie in der Solarthermie wird zwischen Dachanlagen und Freiflächenanlagen unterschieden, wobei die Unterscheidung insbesondere für den rechtlichen Regulierungsrahmen eine Rolle spielt. Da Gleichstrom erzeugt wird, sind i. d. R. noch Wechselrichter notwendig, um eine für herkömmliche elektrische Geräte betriebskonforme Wechselspannung zu erzeugen.

Die technische als auch wirtschaftliche Entwicklung der Photovoltaik ist in Deutschland stark von Fördermitteln getrieben worden. Während der Fokus bis vor wenigen Jahren noch auf der Einspeisung des erzeugten Stroms in das öffentliche Netz gegen eine Vergütung lag, tendiert die Entwicklung heute im Bereich Haushalt und Gewerbe zu einer möglichst hohen Eigennutzung des Stroms vor Ort. Demensprechend fördert dies auch die Verbreitung von Batteriespeichern zur besseren Ausnutzung von Photovoltaikanlagen. Infolge des Photovoltaik-Booms kam es jedoch auch bei den Modulen selbst zu erheblichen Kostensenkungen in der Produktion und zu Effizienzverbesserungen. Daher sinken die Modulkosten heute immer noch stetig und liegen nur noch bei einem Bruchteil der Kosten des vergangenen Jahrzehnts. So rentieren

sich Freiflächenanlagen heute fast ohne eine Fördervergütung und sind damit zu einer auf dem freien Markt konkurrenzfähigen Technologie geworden.

Die Vorteile der Photovoltaik ergeben sich analog zur Solarthermie: Die Energieerzeugung selbst ist emissionsfrei und laufende Betriebskosten fallen kaum an, da die Anlagen keinen größeren Verschleiß aufweisen. Zudem sind keine Brennstoffe notwendig, was die Erzeugung unabhängiger von Weltmarktpreisen macht.

Nachteilig sind der notwendige Flächenbedarf sowie die volatile, d. h. witterungsbedingt schwankende und nicht an den Strombedarf angepasste Erzeugung. Gerade für kleine haushaltsübliche Anlagen kann dies durch die ebenfalls fortgeschrittene Speichertechnologie jedoch mittlerweile in hohem Maße kompensiert werden.

Auf Seite der Kosten haben vor allem die Anschaffungskosten der Anlage und ggf. eines Stromspeichers Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaikanlage. Die Betriebskosten für Wartung, Versicherung u. ä. sind gering und Verbrauchskosten fallen nicht an.

Direkt fallen durch die Nutzung der Strahlungsenergie der Sonne keine CO<sub>2</sub>-Emissionen an. Zudem sind auch keine Hilfsenergien, wie beispielsweise bei der Anwendung von Solarthermie, für Pumpen o. ä. Aggregate, notwendig.

## 6 Betrachtung von Einzelgebieten

Im folgenden Abschnitt wird die Energieversorgung einzelner Quartiere in Konstanz betrachtet. Dabei handelt es sich zum einen um Quartiere, in welchen ein hohes Potenzial zur Optimierung der Energieversorgung vorhanden ist (so genannte Schwerpunktgebiete), zum anderen um Neubaugebiete, die sich momentan in Planung befinden.

Für alle betrachteten Gebiete sind in den folgenden Abschnitten jeweils Steckbriefe mit Handlungsempfehlungen und den wichtigsten Kennzahlen der Gebiete zu finden. Für die Neubaugebiete sind weitere Informationen auf der Homepage der Stadt Konstanz zu finden.

### 6.1 Schwerpunktgebiete

Die Schwerpunktgebiete sind Gebiete, in welchen aus heutiger Sicht ein hohes Potenzial zur Optimierung der Energieversorgung existiert. Diese Gebiete eignen sich deshalb besonders für die Umsetzung energetischer Maßnahmen, wie zum Beispiel dem Aufbau eines Wärmenetzes.

Die Kriterien, nach denen die Schwerpunktgebiete ausgewählt wurden, waren die folgenden:

#### Hohe Wärmedichte

Bei einer hohen Wärmedichte existiert potenziell auch ein höheres Einsparpotenzial. Sanierungen sind deshalb in diesen Gebieten besonders sinnvoll.

### Öffentliche Ankergebäude

Sind öffentliche Ankergebäude in einem Gebiet vorhanden, existieren bereits sichere Abnehmer für ein städtisch initiiertes Wärmenetz. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, öffentliche Ankergebäude von Anfang an in die Planung von potenziellen Wärmenetzen einzubeziehen. Zu beachten ist jedoch, dass ausschreibungsrechtliche Hürden es für die öffentliche Hand oft kompliziert machen, eine Heizzentrale für die Quartiersversorgung bereitzustellen.

### Keine Beheizung mit Erdgas

Wenn in einem Gebiet weder eine zentrale Wärmeversorgung durch Heizzentralen existiert, noch eine dezentrale Versorgung durch Erdgasheizungen, ist es wahrscheinlich, dass die Bewohner offen für Alternativen zu ihrer bisherigen Wärmeerzeugungstechnologie sind (insbesondere Heizöl-Nutzer).

### Große Verbraucher

Gibt es Unternehmen, Wohngebäude oder öffentliche Gebäude mit einem hohen Verbrauch im Gebiet, so ist der Effekt der umgesetzten Maßnahme höher. Einsparmaßnahmen und die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen sind bei großen Verbrauchern wesentlich effizienter durchzuführen als bei vielen kleineren Verbrauchern.

### Bestehendes Nahwärmenetz in der unmittelbaren Umgebung

Existiert ein bestehendes Nahwärmenetz in der Nähe eines Schwerpunktgebiets, so besteht potenziell die Möglichkeit, weitere Gebäude an dieses Nahwärmenetz anzuschließen.

Bei den Schwerpunktgebieten wurden Quartiere ausgewählt, die mindestens zwei der genannten Kriterien erfüllen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit). An den ausgewählten Orten ist aus heutiger Sicht das Potenzial zur Reduzierung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen besonders hoch. Die Schwerpunktgebiete wurden mit dem Amt für Stadtplanung und Umwelt sowie den SWK abgestimmt. In der folgenden Abbildung 41 ist eine Übersicht der Schwerpunktgebiete zu sehen.

In den folgenden Steckbriefen werden die Kosten für eine Umrüstung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien, die dadurch potenziell vermeidbaren CO<sub>2</sub>-Emissionen, sowie die Kosten für einen Weiterbetrieb der gegenwärtigen Technologie ausgewiesen.

Die aufgeführten CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten wurden mit einem Preis von 70 €/t CO<sub>2</sub> berechnet (vgl. Gemeinderatsbeschluss 2012 – 112 zu Umweltfolgekosten). Bei dem aufgeführten Kostenvergleich wurde angenommen, dass die Investitionen für neue Erzeugungstechnologien über 20 Jahre abgeschrieben werden und das Wärmenetz über 40 Jahre. Für die bereits vorhandenen Investitionen der bisherigen Erzeugung wurden 20 Jahre Abschreibungsdauer angenommen<sup>10</sup>.

Weiterhin gibt es für jedes Gebiet konkrete Empfehlungen für die Umsetzung (inkl. Umsetzungszeitraum), sowie eine Auflistung der Kriterien, auf deren Grundlage das Quartier als Schwerpunktgebiet ausgewählt wurde. Bevor eine neue Energieversorgung im entsprechenden Schwerpunktgebiet installiert wird, sollte eine umfassende Sanierungs- und Modernisierungskampagne für die Gebäude des Gebiets erfolgen. Es gilt für alle Schwerpunktgebiete (sowie auch für das weitere Stadtgebiet, vgl. Abschnitt 4.2.1), dass kontinuierlich eine Sanierungsrate von mindestens 2, eher 3 % umgesetzt werden sollte.

---

<sup>10</sup> Die Unterschiede in der Abschreibungsdauer kommen dadurch zustande, dass bei der neuen Erzeugung häufiger Wärmenetze zum Einsatz kommen. Diese haben durchschnittlich eine längere Abschreibungsdauer (40 Jahre) als die Anlagentechnik (durchschnittlich 20 Jahre).

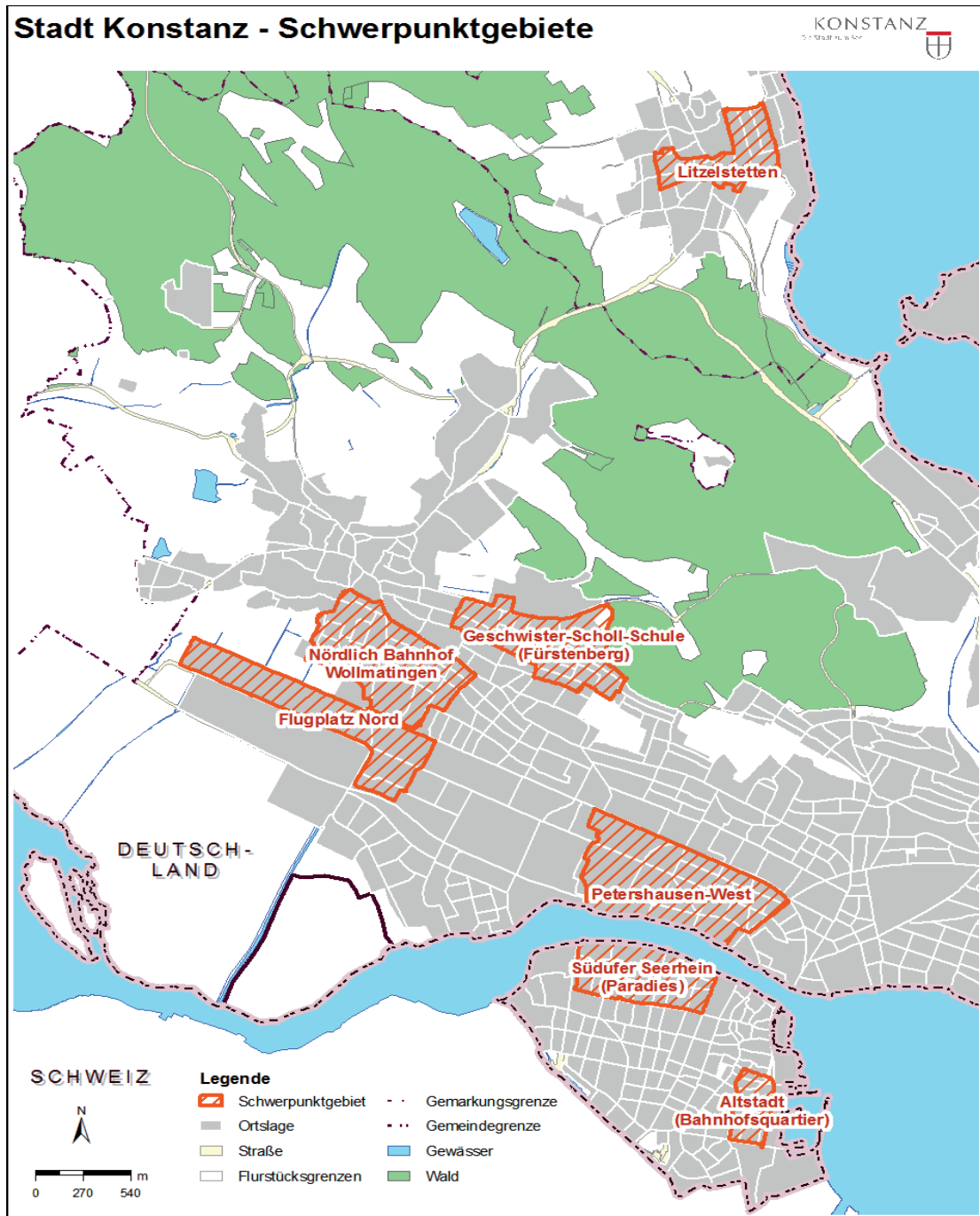
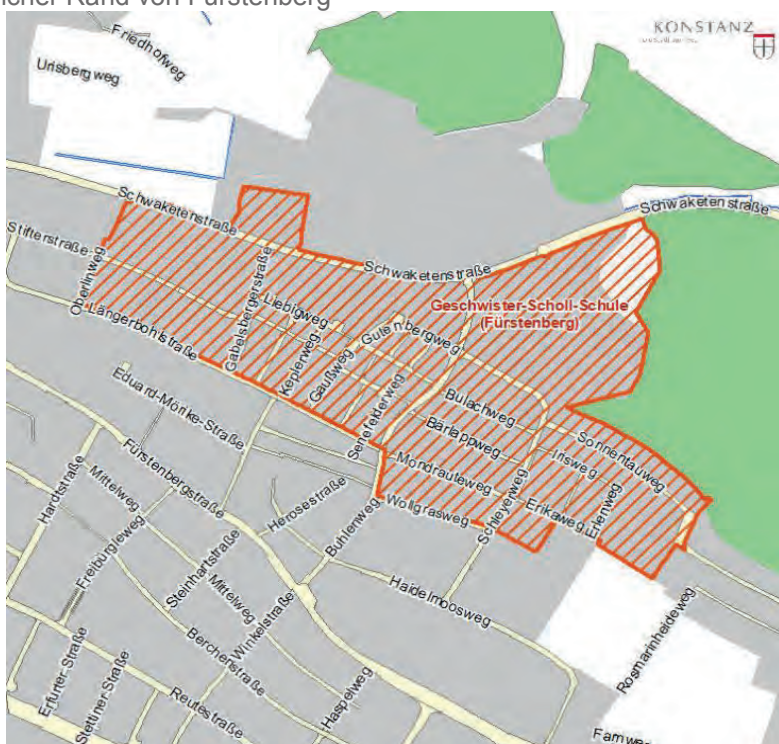




Abbildung 41: Übersicht Schwerpunktgebiete

<b>1. Geschwister-Scholl-Schule (Fürstenberg)</b>			
<b>Lage</b>	Nördlicher Rand von Fürstenberg 		
<b>Auswahlkriterien Schwerpunktgebiet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 Kommunale Schulgebäude, Sporthallen sowie Schwaketenbad als mögliche öffentliche Ankergebäude</li> <li>• Bestehendes Nahwärmenetz könnte erweitert werden</li> <li>• Geplantes Neubaugebiet auf dem an das Schwerpunktgebiet angrenzenden Sportplatz (siehe Steckbrief „Sportplatzverlagerung Fürstenberg“)</li> </ul>		
<b>Derzeitige Energieerzeugung</b>	2 Erdgas-KWK-Anlagen mit Heizzentralen	<b>Derzeitiger Energieverbrauch</b>	Ca. 19,6 GWh Wärme Ca. 3,6 GWh Strom
<b>Nähe zum Gasnetz</b>	Gasnetz ist im Schwerpunktgebiet vorhanden	<b>Nähe zum Nahwärmenetz</b>	Es existiert bereits ein Nahwärmenetz in Teilen des Schwerpunktgebiets
<b>CO<sub>2</sub>-Ersparnis pro Jahr</b>	Ca. 5.200 t/a (77 %)	<b>Eingesparte CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten</b>	Ca. 367.000 €/a
<b>Kostenvergleich</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten bisherige Erzeugung pro Jahr: ca. 1,8 Mio. €</li> <li>• Kosten Erzeugung neu pro Jahr: ca. 1,9 Mio. €</li> </ul>		
<b>Vorschläge für zukünftige Energieversorgung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erneuerung und Ausbau des Nahwärmenetzes: Anschluss der Wohnsiedlung inkl. Gebäuden von WOBAK und Spar- und Bauverein sowie Haidelmooschule</li> <li>• Nach Möglichkeit Nutzung der bestehenden Heizzentrale in der Geschwister-Scholl-Schule</li> <li>• Platz für den Bau einer zusätzlichen Technikzentrale wäre evtl. gegeben</li> <li>• Brennstoffmix aus Biomasse (ca. 50 %) und Erdgas (Spitzenlast)</li> <li>• Volle Ausnutzung des Solarpotenzials im Gebiet mit Solarthermie und Photovoltaik</li> </ul>		
<b>Empfehlung Umsetzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konkretisierung und Planung ist bereits angelaufen</li> <li>• Umsetzung 2020 – 2025</li> </ul>		

## 2. Flugplatz Nord

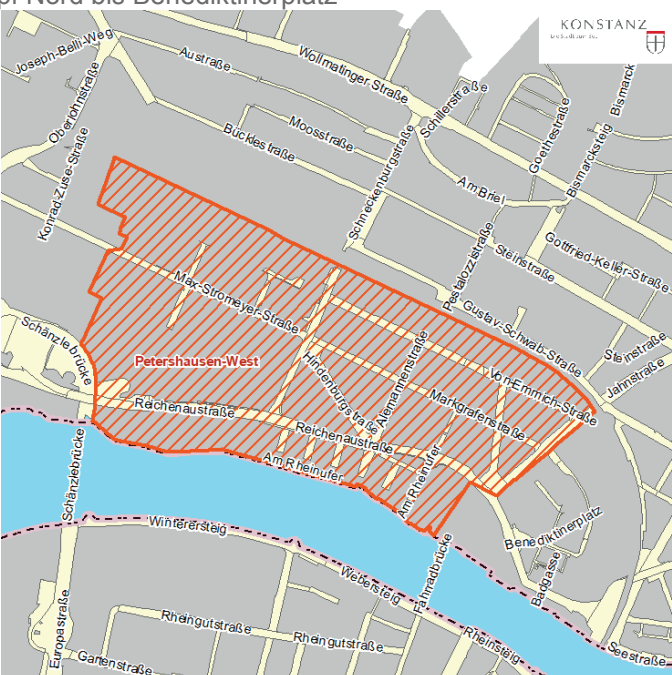
<p><b>Lage</b></p>	<p>Südlicher Teil von Fürstenberg</p> 		
<p><b>Auswahlkriterien Schwerpunktgebiet</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finanzamt als eventuelles Ankergebäude (Land Baden-Württemberg)</li> <li>• Hohe Wärmedichte</li> <li>• Mehrere Großverbraucher durch Industriegebiet</li> <li>• Ggf. Einbindung von benachbarter Kläranlage</li> </ul>		
<p><b>Derzeitige Energieerzeugung</b></p>	<p>KWK-Anlagen in Umgebung, sonst durch Wärmeerzeugungsanlagen</p>	<p><b>Derzeitiger Energieverbrauch</b></p>	<p>Ca. 32 GWh Wärme Ca. 18 GWh Strom</p>
<p><b>Nähe zum Gasnetz</b></p>	<p>Gasnetz ist im Schwerpunktgebiet vorhanden</p>	<p><b>Nähe zum Nahwärmenetz</b></p>	<p>Die nächsten Nahwärmenetze sind ca. 600 m und ca. 750 m entfernt. Es besteht jedoch laut den SWK keine Möglichkeit auf deren Erweiterung</p>
<p><b>CO<sub>2</sub>-Ersparnis pro Jahr</b></p>	<p>Ca. 13.300 t/a (78 %)</p>	<p><b>Eingesparte CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten</b></p>	<p>Ca. 933.000 €/a</p>
<p><b>Kostenvergleich</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten bisherige Erzeugung pro Jahr: ca. 4,7 Mio. €</li> <li>• Kosten Erzeugung neu pro Jahr: ca. 4,8 Mio. €</li> </ul>		
<p><b>Vorschläge für zukünftige Energieversorgung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erdgas-KWK in Industriebetrieben zur Eigennutzung des Stroms als Übergangslösung</li> <li>• Einbindung der Kläranlage in Energieversorgung als Strom- und Wärmelieferant (soweit Überschüsse vorhanden – dies ist derzeit nicht der Fall)</li> <li>• Wärmenetz mit multivalenter Erzeugerstruktur (Biomasse, Abwasserwärme, KWK-Anlagen)</li> <li>• Volle Ausnutzung Solarpotenzial</li> <li>• Möglichkeit der Direktvermarktung/des Contractings bei Großkunden</li> </ul>		
<p><b>Empfehlung Umsetzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konkretisierung bis 2025</li> <li>• Umsetzung 2025 – 2035</li> </ul>		

### 3. Nördlich Bhf. Wollmatingen (Berchen-Gebiet)

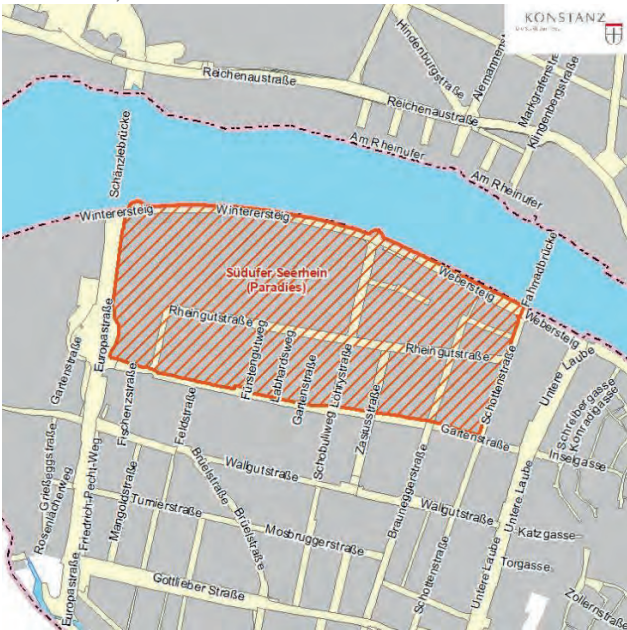
<p><b>Lage</b></p>	<p>Südlicher Teil von Wollmatingen</p> 		
<p><b>Auswahlkriterien Schwerpunktgebiet</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grund- und Werkrealschule Berchen als öffentliches Ankergebäude</li> <li>• Hohe Wärmedichte</li> <li>• Bestehendes Wärmenetz könnte perspektivisch erweitert werden</li> <li>• Bauten der WOBAK und WEGs mit einigen hundert Wohneinheiten</li> </ul>		
<p><b>Derzeitige Energieerzeugung</b></p>	<p>2 KWK-Anlagen und kleines Nahwärmenetz</p>	<p><b>Derzeitiger Energieverbrauch</b></p>	<p>Ca. 31 GWh Wärme Ca. 7 GWh Strom</p>
<p><b>Nähe zum Gasnetz</b></p>	<p>Gasnetz ist im Schwerpunktgebiet vorhanden</p>	<p><b>Nähe zum Nahwärmenetz</b></p>	<p>Nahwärmenetz ist im Schwerpunktgebiet vorhanden</p>
<p><b>CO<sub>2</sub>-Ersparnis pro Jahr</b></p>	<p>Ca. 9.7000 t/a</p>	<p><b>Eingesparte CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten</b></p>	<p>Ca. 679.000 €/a</p>
<p><b>Kostenvergleich</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten bisherige Erzeugung pro Jahr: ca. 3,0 Mio. €</li> <li>• Kosten Erzeugung neu pro Jahr: ca. 3,1 Mio. €</li> </ul>		
<p><b>Vorschläge für zukünftige Energieversorgung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau Wärmenetz mit Schwerpunkt Mehrfamilienhäuser und WOBAK, ggf. Nahwärmeinseln pro Straßenblock</li> <li>• Versorgungsmix aus Biomasse, Abwasserwärme, Geothermie und Solarthermie sowie Erdgas-KWK denkbar (letzteres nur als Übergangslösung)</li> <li>• Ausbau der regenerativen Versorgung der Einfamilienhäuser</li> <li>• Volle Ausnutzung des Solarpotenzials</li> </ul>		
<p><b>Empfehlung Umsetzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konkretisierung und Planung bis 2020</li> <li>• Umsetzung 2020 – 2025</li> </ul>		



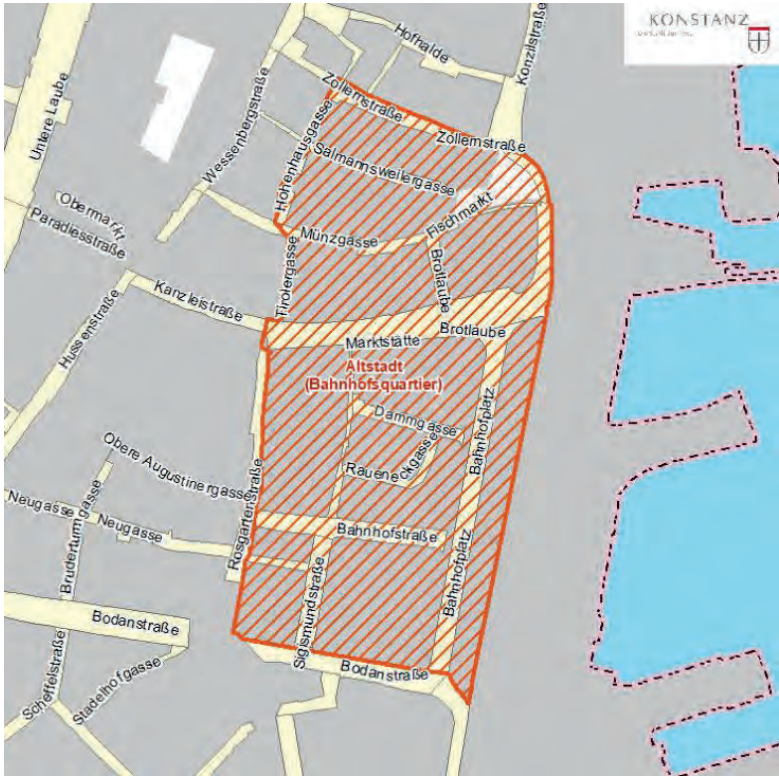
## 4. Petershausen-West

<p><b>Lage</b></p>	<p>Brückenkopf Nord bis Benediktinerplatz</p> 		
<p><b>Auswahlkriterien Schwerpunktgebiet</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Wärmedichte</li> <li>• Hallenbad und öffentliche Gebäude am Benediktinerplatz als mögliche Ankergebäude</li> <li>• 7 bestehende KWK-Anlagen im Quartier</li> </ul>		
<p><b>Derzeitige Energieerzeugung</b></p>	<p>7 KWK-Anlagen</p>	<p><b>Derzeitiger Energieverbrauch</b></p>	<p>Ca. 49 GWh Wärme Ca. 20 GWh Strom</p>
<p><b>Nähe zum Gasnetz</b></p>	<p>Gasnetz ist im Schwerpunktgebiet vorhanden</p>	<p><b>Nähe zum Nahwärmenetz</b></p>	<p>Im Schwerpunktgebiet befindet sich die Nahwärmeinsel Benediktinerplatz (archäol. Landesmuseum, Musikschule, Stadtarchiv).</p>
<p><b>CO<sub>2</sub>-Ersparnis pro Jahr</b></p>	<p>Ca. 17.300 t/a</p>	<p><b>Eingesparte CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten</b></p>	<p>Ca. 1,2 Mio. €/a</p>
<p><b>Kostenvergleich</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten bisherige Erzeugung pro Jahr: ca. 5,9 Mio. €</li> <li>• Kosten Erzeugung neu pro Jahr: ca. 6,9 Mio. €</li> </ul>		
<p><b>Vorschläge für zukünftige Energieversorgung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erweiterung des Wärmeverbunds</li> <li>• Einbindung der Abwasserwärmenutzung und ggf. See(rhein)wärmenutzung zum Zeitpunkt des Auslaufens der KWK-Anlagen</li> <li>• Volle Ausnutzung des Solarpotenzials</li> </ul>		
<p><b>Empfehlung Umsetzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seewasserwärmenutzung spätestens ab 2030</li> <li>• Wenn nötig ggf. Übergangslösungen mit hocheffizienter Erdgas-KWK</li> </ul>		


## 5. Südufer Seerhein (Paradies)

<p><b>Lage</b></p>	<p>Südlich des Seerheins, Nördlicher Teil des Stadtteils Paradies</p> 		
<p><b>Auswahlkriterien Schwerpunktgebiet</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestehendes Nahwärmenetz rund um die HTWG könnte erweitert werden</li> <li>• Mehrere Studierendenwohnheime, HTWG und Wessenberg-Schule als öffentliche Ankergebäude</li> </ul>		
<p><b>Derzeitige Energieerzeugung</b></p>	<p>7 KWK-Anlagen</p>	<p><b>Derzeitiger Energieverbrauch</b></p>	<p>Ca. 22 GWh Wärme Ca. 6 GWh Strom</p>
<p><b>Nähe zum Gasnetz</b></p>	<p>Gasnetz ist im Schwerpunktgebiet vorhanden</p>	<p><b>Nähe zum Nahwärmenetz</b></p>	<p>Nahwärmenetze in der Brauneggerstraße, der Rheingutstraße und dem Fürstentgutweg</p>
<p><b>CO<sub>2</sub>-Ersparnis pro Jahr</b></p>	<p>Ca. 6.800 t/a</p>	<p><b>Eingesparte CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten</b></p>	<p>Ca. 474.000 €/a</p>
<p><b>Kostenvergleich</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten bisherige Erzeugung pro Jahr: ca. 2,2 Mio. €</li> <li>• Kosten Erzeugung neu pro Jahr: ca. 2,7 Mio. €</li> </ul>		
<p><b>Vorschläge für zukünftige Energieversorgung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erweiterung des Wärmeverbunds</li> <li>• Einbindung der Oberflächen- und Abwasserwärmenutzung (wenn nötig Übergang mit hocheffizienter Erdgas-KWK bis max. 2030)</li> <li>• Volle Ausnutzung des Solarpotenzials</li> </ul>		
<p><b>Empfehlung Umsetzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seewasserwärmenutzung spätestens ab 2030</li> <li>• Wenn nötig ggf. Übergangslösungen mit hocheffizienter Erdgas-KWK</li> </ul>		

## 6. Altstadt (Bahnhofsquartier)

<p><b>Lage</b></p>	<p>Zentral-östlicher Teil des Stadtviertels Altstadt</p> 		
<p><b>Auswahlkriterien Schwerpunktgebiet</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mehrere Straßenzüge mit hohen Wärmedichten nebeneinander</li> <li>• Bahnhof, Badisches Landesmuseum und Rosgartenmuseum als öffentliche Ankergebäude</li> <li>• Bislang keine zentrale Versorgung</li> </ul>		
<p><b>Derzeitige Energieerzeugung</b></p>	<p>Dezentral</p>	<p><b>Derzeitiger Energieverbrauch</b></p>	<p>Ca. 21 GWh Wärme Ca. 9,5 GWh Strom</p>
<p><b>Nähe zum Gasnetz</b></p>	<p>Gasnetz ist im Schwerpunktgebiet vorhanden</p>	<p><b>Nähe zum Nahwärmenetz</b></p>	<p>Im Schwerpunktgebiet sind keine Nahwärmenetze vorhanden</p>
<p><b>CO<sub>2</sub>-Ersparnis pro Jahr</b></p>	<p>Ca. 7.900 t/a</p>	<p><b>Eingesparte CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten</b></p>	<p>Ca. 551.000 €/a</p>
<p><b>Kostenvergleich</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten bisherige Erzeugung pro Jahr: ca. 2,7 Mio. €</li> <li>• Kosten Erzeugung neu pro Jahr: ca. 3,1 Mio. €</li> </ul>		
<p><b>Vorschläge für zukünftige Energieversorgung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau eines Nahwärmenetzes</li> <li>• Mittelfristig Wärmeerzeugung durch Oberflächenwassernutzung</li> <li>• Volle Ausnutzung des Solarpotenzials</li> </ul>		
<p><b>Empfehlung Umsetzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sukzessiver Ausbau des Wärmenetzes (Auslegung auf Gesamtgebiet), Beheizung mit erdgasbetriebenen, hocheffizienten KWK-Anlagen maximal als Übergangstechnologie bis 2030</li> <li>• Beheizung mit Seewasserwärme ab spätestens 2030</li> </ul>		

## 7. Litzelstetten

<p><b>Lage</b></p>	<p>Eingemeindeter Vorort im Norden von Konstanz</p> 		
<p><b>Auswahlkriterien Schwerpunktgebiet</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viele Gebäude sind nicht ans Gasnetz angeschlossen (→ Ölheizungen)</li> <li>• Ortsverwaltung und Seeblickhalle als öffentliche Ankergebäude</li> <li>• Freie Flächen für Technikzentralen vorhanden</li> </ul>		
<p><b>Derzeitige Energieerzeugung</b></p>	<p>Dezentral mit Ölheizungen</p>	<p><b>Derzeitiger Energieverbrauch</b></p>	<p>Ca. 10 GWh Wärme Ca. 2 GWh Strom</p>
<p><b>Nähe zum Gasnetz</b></p>	<p>Gasnetz ist im Schwerpunktgebiet vorhanden</p>	<p><b>Nähe zum Nahwärmenetz</b></p>	<p>Im Schwerpunktgebiet sind keine Nahwärmenetze vorhanden</p>
<p><b>CO<sub>2</sub>-Ersparnis pro Jahr</b></p>	<p>Ca. 3.000 t/a</p>	<p><b>Eingesparte CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten</b></p>	<p>Ca. 216.000 €/a</p>
<p><b>Kostenvergleich</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten bisherige Erzeugung pro Jahr: ca. 0,9 Mio. €</li> <li>• Kosten Erzeugung neu pro Jahr: ca. 0,8 Mio. €</li> </ul>		
<p><b>Vorschläge für zukünftige Energieversorgung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau eines Nahwärmenetzes um Ankergebäude mit Erzeugungsmix aus Biomasse und Solarthermie</li> <li>• Dezentrale Wärmeversorgung für Einfamilienhäuser (Geothermie, Hybridheizung)</li> <li>• Volle Ausnutzung des Solarpotenzials</li> </ul>		
<p><b>Empfehlung Umsetzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau Nahwärmenetz bis 2030</li> <li>• Dezentrale Lösungen im sukzessiven Ausbau, in Verbindung mit dem Austausch der Bestandsheizungen bis 2035</li> </ul>		

### Vergleich der Schwerpunktgebiete

Die vorgeschlagenen Maßnahmen der Schwerpunktgebiete lassen sich am transparentesten über die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten vergleichen. Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten errechnen sich aus dem Quotienten der Vollkosten der empfohlenen Maßnahmen und den vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Das Ergebnis beschreibt die Kosten, die nötig sind, um eine Tonne CO<sub>2</sub>-Emissionen zu vermeiden.

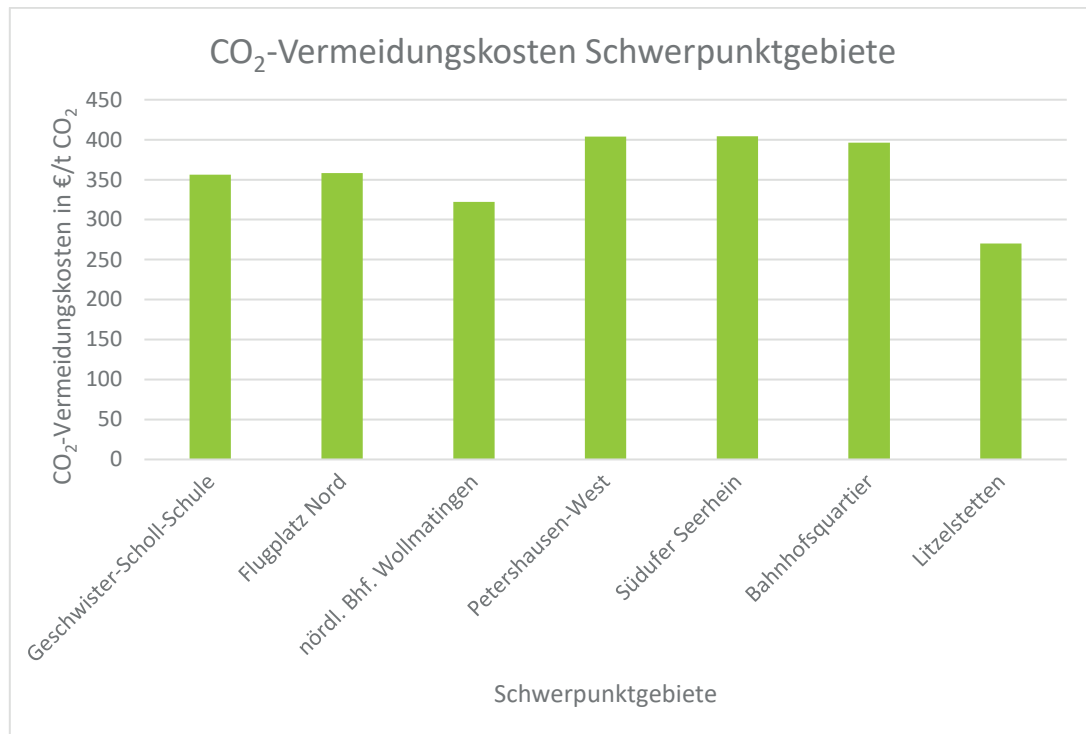


Abbildung 42: Vergleich CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten Schwerpunktgebiete

Aus Abbildung 42 wird deutlich, dass die Vermeidungskosten im Schwerpunktgebiet Litzelstetten deutlich geringer sind, als z. B. beim Schwerpunktgebiet Südufer Seerhein (Paradies). Es wird empfohlen, zuerst die Maßnahmen in Schwerpunktgebieten mit geringen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten umzusetzen.

Ein weiterer aussagekräftiger Faktor ist der Vollkostenvergleich der vorgeschlagenen Energieversorgung mit der derzeitigen Energieversorgung. In der folgenden Abbildung 43 sind die Vollkosten der vorgeschlagenen Energieversorgung für jeweils ein Jahr abgebildet, sowie die jährlichen Vollkosten der gegenwärtig eingesetzten Technologie zur Energieversorgung (Szenario „Business-as-usual“). Dabei ist zu erkennen, dass in den Schwerpunktgebieten Geschwister-Scholl-Schule, Flugplatz Nord, nördlich Bahnhof Wollmatingen (Berchen-Gebiet) und Litzelstetten die Kosten einer Energieversorgung mit erneuerbaren Energien in etwa den

Kosten der derzeitigen Energieversorgung entsprechen. Bei den Schwerpunktgebieten Petershausen-Süd, Südufer Seerhein und Bahnhofsquartier liegen die Kosten der vorgeschlagenen erneuerbaren Energien dagegen deutlich über denjenigen der gegenwärtigen Energieversorgung. Bei diesem Kostenvergleich werden die Vollkosten für ein Jahr verglichen, das heißt die Betriebs- und Verbrauchskosten für ein Jahr zuzüglich der jährlichen Abschreibungen auf die Investitionen.

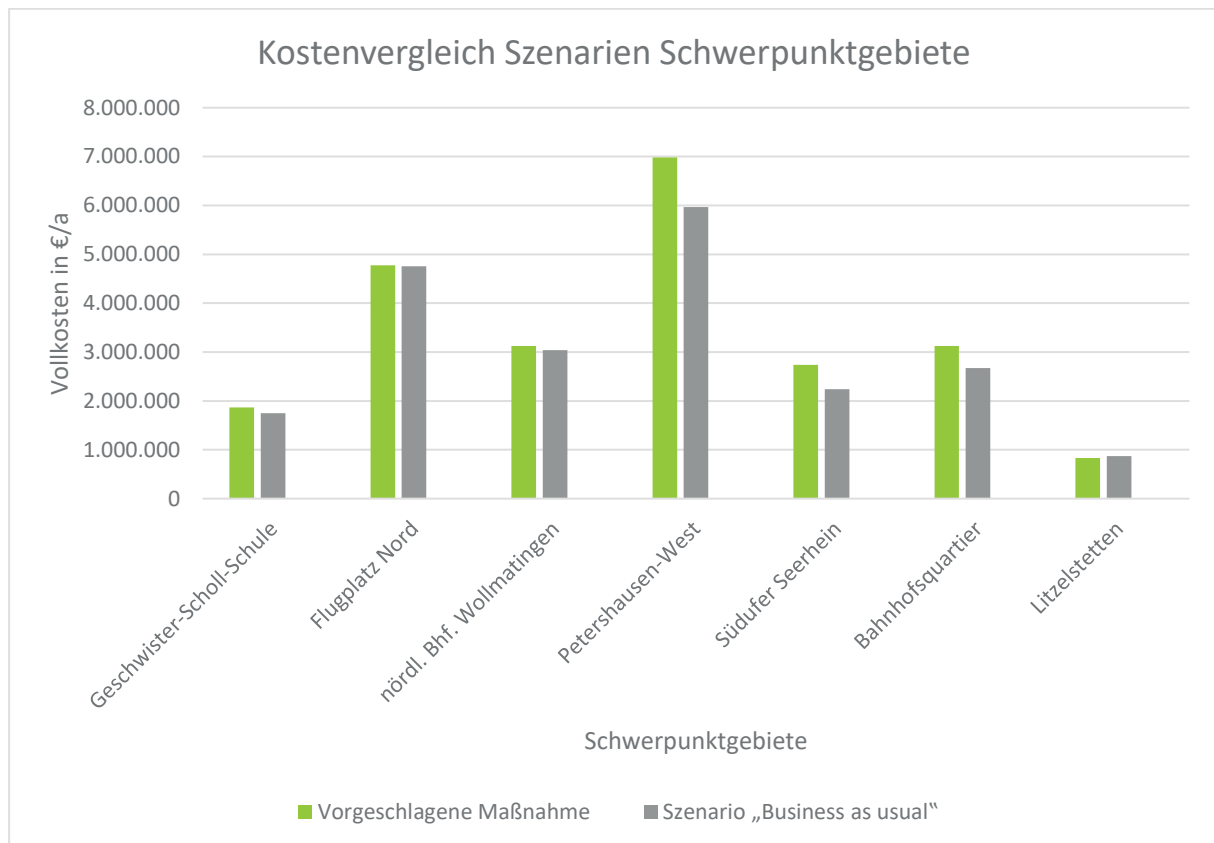
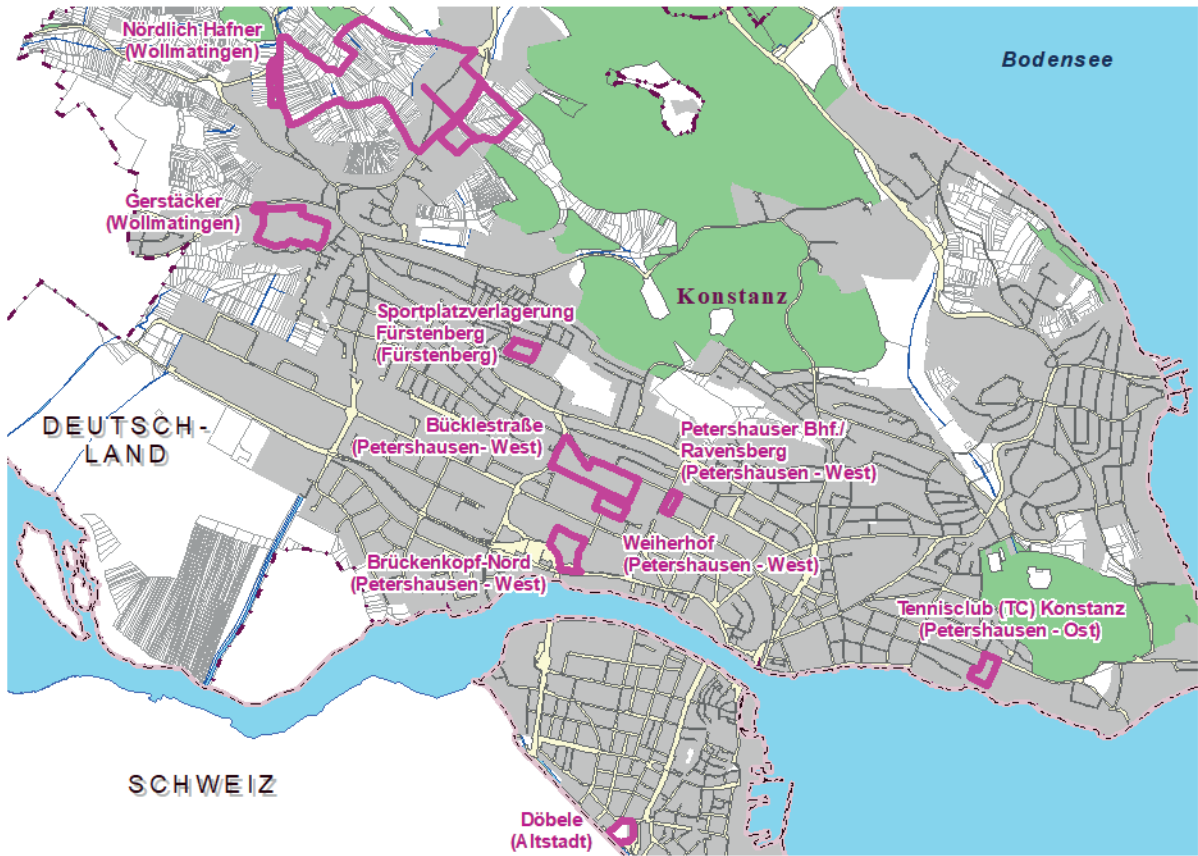


Abbildung 43: Kostenvergleich Szenarien Schwerpunktgebiete

## 6.2 Neubaugebiete

Auch für die geplanten Neubaugebiete der Stadt Konstanz sind Empfehlungen für die Energieversorgung erarbeitet worden. Die Empfehlungen sowie die wichtigsten Kennzahlen der Neubaugebiete sind in den Steckbriefen nach der Übersichtskarte zu finden. Es wurde für die Neubauten von einem Wärmebedarf in Höhe von 35 kWh pro Quadratmeter und Jahr ausgegangen (entspricht energetischem Mindeststandard KfW Effizienzhaus 55).

Stadt Konstanz



Legende

- Neubauegebiet
- Straße
- Ortslage
- Gewässer
- Gemarkungsgrenze
- Ländergrenze

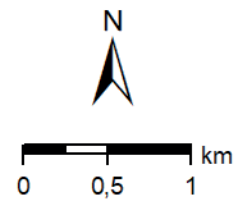
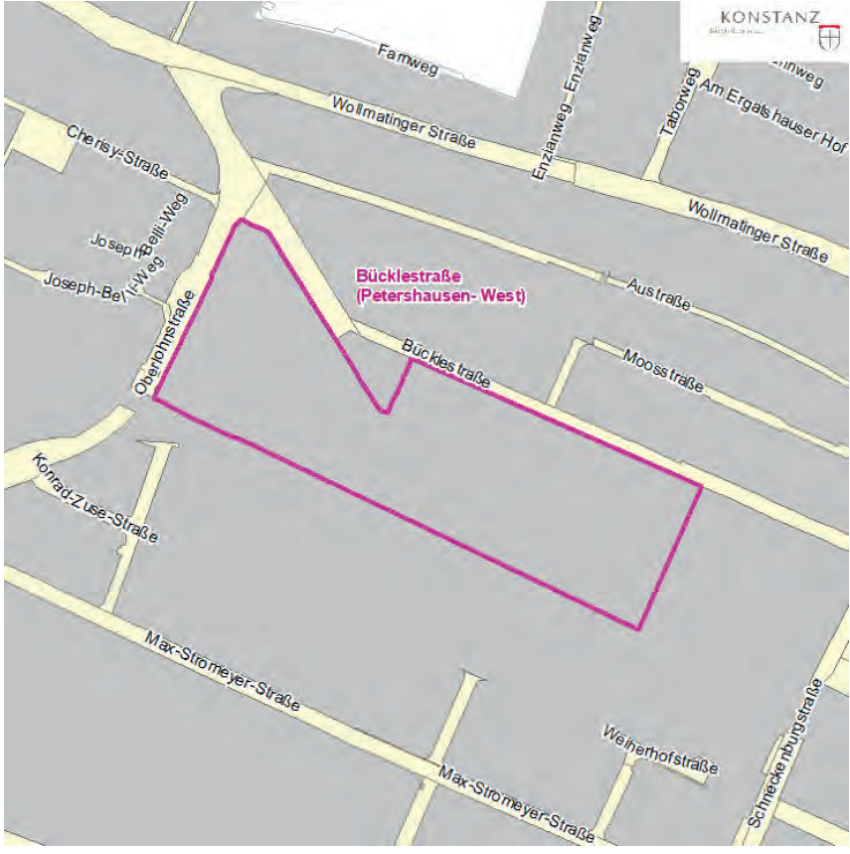



Abbildung 44: Übersicht Neubauegebiete

## 1. Bücklestraße (Petershausen-West)


<p><b>Lage</b></p>	<p>Im Westen von Petershausen</p> 		
<p><b>Geplante bauliche Umsetzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geplanter Neubau von kleinteiligem Geschosswohnungsbau (ca. 1/3 Gewerbe, 2/3 Wohnen)</li> <li>• Areal ist bereits verkauft, geplanter Baubeginn: 2022</li> </ul>		
<p><b>Geplante Größe</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 600 Wohneinheiten</li> <li>• 13.440 m<sup>2</sup> Wohnfläche netto</li> <li>• 2,4 ha Grundfläche</li> </ul>	<p><b>Voraussichtlicher Energiebedarf pro Jahr</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 470.400 kWh Wärme</li> <li>• 153.000 kWh Strom</li> </ul>
<p><b>Nähe zum Gasnetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasnetz ist in den umliegenden Gebieten vorhanden</li> </ul>	<p><b>Nähe zum Nahwärmenetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ca. 200 m zum Nahwärmenetz Max-Stromeyer-Straße</li> </ul>
<p><b>Geothermiepotenzial</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es sind 13 Bohrungen bei 300 m Tiefe notwendig, um den Wärmebedarf zu decken. Dies entspricht einem Flächenbedarf von ca. 13.000 m<sup>2</sup>.</li> </ul>		
<p><b>Vorschläge für zukünftige Energieversorgung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anschluss an nahegelegenes Nahwärmenetz (Max-Stromeyer-Straße) denkbar</li> <li>• Geothermie</li> <li>• Solarthermie/Photovoltaik</li> <li>• Luftwärmepumpen</li> <li>• Abwasserwärme</li> </ul>		



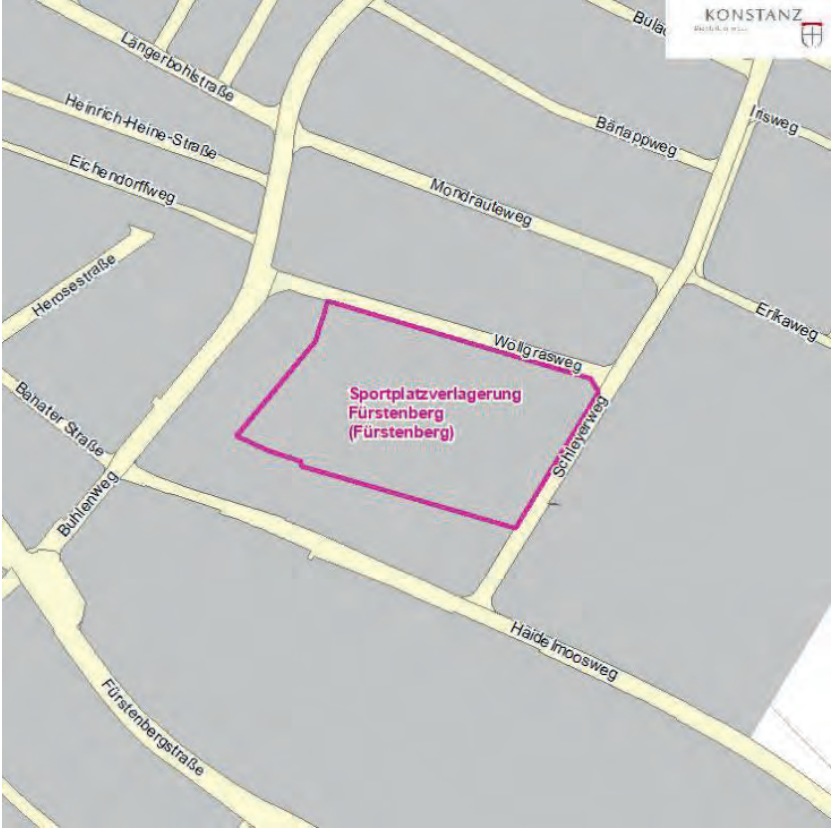
## 2. Tennisclub (TC) Konstanz (Petershausen-Ost)

<p><b>Lage</b></p>	<p>Im Osten von Petershausen</p> 		
<p><b>Geplante bauliche Umsetzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geplant: Kleinteiliger Geschosswohnungsbau (50 %), Mehrfamilienhäuser (40 %) und verdichtete Einfamilienhausbebauung (10 %)</li> <li>• Zeitplan zur Umsetzung abhängig von Ersatzflächen für die Tennisplätze</li> </ul>		
<p><b>Geplante Größe</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 135 Wohneinheiten</li> <li>• 2,0 ha Grundstück</li> <li>• 15.360 m<sup>2</sup> Wohnfläche netto</li> </ul>	<p><b>Voraussichtlicher Energiebedarf pro Jahr</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 537.600 kWh Wärme</li> <li>• 405.000 kWh Strom</li> </ul>
<p><b>Nähe zum Gasnetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasnetz ist in den umliegenden Gebieten vorhanden</li> </ul>	<p><b>Nähe zum Nahwärmenetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nahwärmenetz Eichhornstraße in direkter Umgebung</li> </ul>
<p><b>Geothermiepotenzial</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es sind 15 Bohrungen bei 300 m Tiefe notwendig, um den Wärmebedarf zu decken. Dies entspricht einem Flächenbedarf von ca. 15.000 m<sup>2</sup>.</li> </ul>		
<p><b>Vorschläge für zukünftige Energieversorgung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anschluss an nahegelegenes Nahwärmenetz (Eichhornstraße)</li> <li>• Wenn möglich: Nahwärmenetz mit Seewassernutzung</li> <li>• Solarthermie (für Warmwasser)</li> <li>• Luftwärmepumpen</li> <li>• Geothermie</li> </ul>		

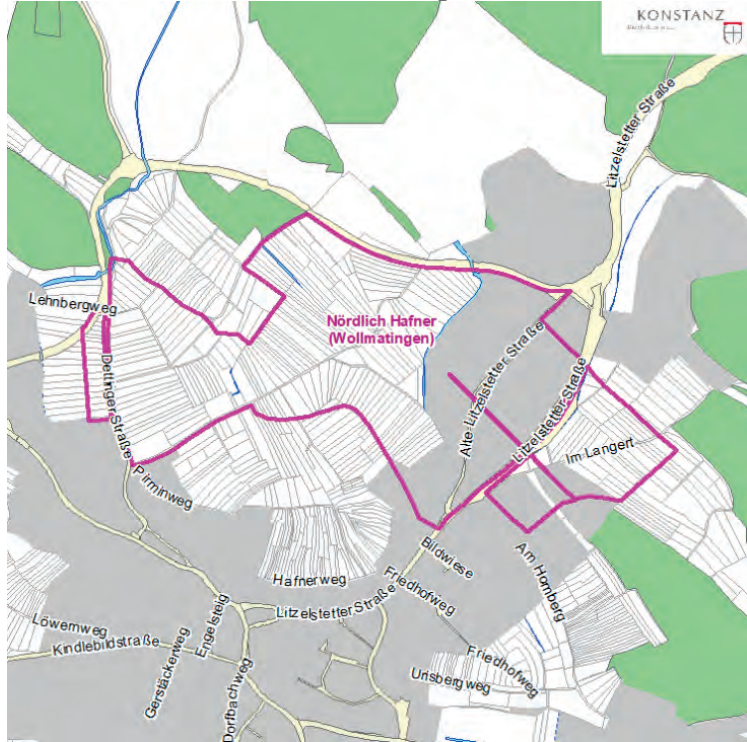
### 3. Weiherhof (Petershausen-West)

<p><b>Lage</b></p>	<p>Im Westen des Stadtteils Petershausen</p> 		
<p><b>Geplante bauliche Umsetzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschosswohnungsbau, ca. 30 % Gewerbe, 70 % Wohnen und Altenpflege</li> <li>• Geplanter Baubeginn 2019 für Gewerbe und 2021 für Wohnen und Altenpflege</li> </ul>		
<p><b>Geplante Größe</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 100 Wohneinheiten</li> <li>• 1,1 ha Grundstück</li> <li>• 10.032 m<sup>2</sup> Wohnfläche netto</li> </ul>	<p><b>Voraussichtlicher Energiebedarf pro Jahr</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 351.100 kWh Wärme</li> <li>• 405.000 kWh Strom</li> </ul>
<p><b>Nähe zum Gasnetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasnetz ist in den umliegenden Gebieten vorhanden</li> </ul>	<p><b>Nähe zum Nahwärmenetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein Nahwärmenetz in der unmittelbaren Umgebung</li> </ul>
<p><b>Geothermiepotenzial</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es sind 10 Bohrungen bei 300 m Tiefe nötig, um den Wärmebedarf zu decken. Dies entspricht einem Flächenbedarf von ca. 10.000 m<sup>2</sup></li> </ul>		
<p><b>Vorschläge für zukünftige Energieversorgung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solarthermie</li> <li>• Luftwärmepumpen</li> <li>• Geothermie</li> <li>• Abwasserwärme</li> </ul>		

## 4. Sportplatzverlagerung Fürstenberg (Fürstenberg)

<p><b>Lage</b></p>	<p>Im nördlichen Teil des Stadtteils Fürstenberg</p> 		
<p><b>Geplante bauliche Umsetzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kleinteiliger Geschosswohnungsbau (70 %), Stadthäuser (30 %)</li> <li>• Geplanter Baubeginn 2021, Fertigstellung bis 2024 geplant</li> </ul>		
<p><b>Geplante Größe</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 105 Wohneinheiten</li> <li>• 1,3 ha Grundstück</li> <li>• 9.360 m<sup>2</sup> Wohnfläche netto</li> </ul>	<p><b>Voraussichtlicher Energiebedarf pro Jahr</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 327.600 kWh Wärme</li> <li>• 315.000 kWh Strom</li> </ul>
<p><b>Nähe zum Gasnetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasnetz ist in den umliegenden Gebieten vorhanden</li> </ul>	<p><b>Nähe zum Nahwärmenetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein Nahwärmenetz in unmittelbarer Umgebung</li> </ul>
<p><b>Geothermiepotezial</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es sind 9 Bohrungen bei 300 m Tiefe notwendig, um den Wärmebedarf zu decken. Dies entspricht einem Flächenbedarf von ca. 9.000 m<sup>2</sup>.</li> </ul>		
<p><b>Vorschläge für zukünftige Energieversorgung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geothermie</li> <li>• Solarthermie</li> <li>• Luftwärmepumpen</li> <li>• Kleines Netz mit Biomasse-BHKW</li> </ul>		

## 5. Nördlich Hafner (Wollmatingen)

<p><b>Lage</b></p>	<p>Im nördlichen Teil des Stadtteils Wollmatingen</p> 		
<p><b>Geplante bauliche Umsetzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ca. 45 Hektar Wohnbauflächen und ca. 15 Hektar Gewerbeflächen</li> <li>• Geplanter Baubeginn: 2025, Fertigstellung: 2035+</li> </ul>		
<p><b>Geplante Größe</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mindestens 3.000 Wohneinheiten</li> <li>• 45 ha bebaubare Fläche</li> <li>• 360.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche netto</li> </ul>	<p><b>Voraussichtlicher Energiebedarf pro Jahr (überschlägig)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 12.000.000 kWh Wärme</li> <li>• 8.600.000 kWh Strom</li> </ul>
<p><b>Nähe zum Gasnetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasnetz ist in den umliegenden Gebieten vorhanden</li> </ul>	<p><b>Nähe zum Nahwärmenetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein Nahwärmenetz in unmittelbarer Nähe</li> </ul>
<p><b>Geothermiepotenzial</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es sind 350 Bohrungen bei 300 m Tiefe notwendig, um den Wärmebedarf zu decken. Dies entspricht einem Flächenbedarf von ca. 350.000 m<sup>2</sup> (diese Flächen können jedoch grundsätzlich auch überbaut oder als Freiflächen genutzt werden).</li> </ul>		
<p><b>Vorschläge für zukünftige Energieversorgung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geothermie, Solarthermie, Biomasse (Wald in der Umgebung, gute Verkehrsanbindung, Wertstoffhof)</li> <li>• Photovoltaik</li> <li>• Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen mit Biomasse</li> <li>• Ggf. Windkraft (z. B. im Wald 1,5 km nördlich, nur bei möglicher Änderung des Regionalplans des Regionalverbandes Hochrhein-Bodensee)</li> </ul>		

## 6. Petershauser Bhf./Ravensberg (Petershausen-West)

### Lage

Im nördlichen Teil des Stadtteils Petershausen-West



### Geplante bauliche Umsetzung

- 60 % Berufsschulzentrum, 40 % Wohnen
- Geplanter Baubeginn ab 2022

### Geplante Größe

- 700 Wohneinheiten
- 0,67 ha Grundstück
- 8.040 m<sup>2</sup> Wohnfläche netto

### Voraussichtlicher Energiebedarf pro Jahr

- 281.000 kWh Wärme
- 100.000 kWh Strom

### Nähe zum Gasnetz

- Gasnetz ist in den umliegenden Gebieten vorhanden

### Nähe zum Nahwärmenetz

- Kein Nahwärmenetz in unmittelbarer Nähe


### Geothermiepotenzial

- Es sind 8 Bohrungen bei 300 m Tiefe notwendig, um den Wärmebedarf zu decken. Dies entspricht einem Flächenbedarf von ca. 8.000 m<sup>2</sup>.

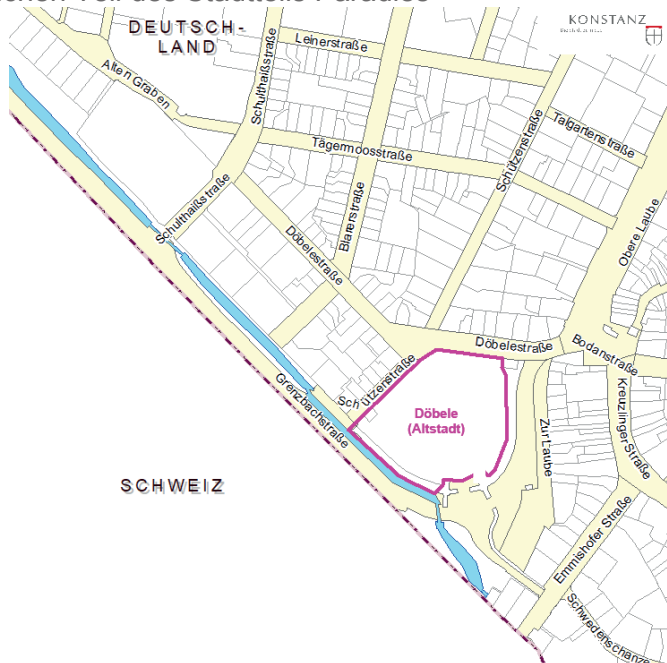
### Vorschläge für zukünftige Energieversorgung

- Geothermie
- Solarthermie
- Luftwärmepumpen
- Mieterstrommodell mit Photovoltaik oder BHKW
- Abwasserwärme


## 7. Gerstäcker (Wollmatingen)

<p><b>Lage</b></p>	<p>Im nördlichen Teil des Stadtteils Petershausen-West</p> 		
<p><b>Geplante bauliche Umsetzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschosswohnungsbau (70 %), Doppel- und Reihenhäuser (30 %)</li> <li>• Geplanter Baubeginn 2024</li> </ul>		
<p><b>Geplante Größe</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 550 Wohneinheiten</li> <li>• 7,5 ha Grundstück</li> <li>• 54.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche netto</li> </ul>	<p><b>Voraussichtlicher Energiebedarf pro Jahr</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1.890.000 kWh Wärme</li> <li>• 1.470.000 kWh Strom</li> </ul>
<p><b>Nähe zum Gasnetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasnetz ist in den umliegenden Gebieten vorhanden</li> </ul>	<p><b>Nähe zum Nahwärmenetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein Nahwärmenetz in unmittelbarer Nähe</li> </ul>
<p><b>Geothermiepotenzial</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es sind 53 Bohrungen bei 300 m Tiefe notwendig, um den Wärmebedarf zu decken. Dies entspricht einem Flächenbedarf von ca. 53.000 m<sup>2</sup>.</li> </ul>		
<p><b>Vorschläge für zukünftige Energieversorgung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geothermie, (Freiflächen-)Solarthermie, Biomasse (2 Gartenbetriebe in der Umgebung)</li> <li>• Photovoltaik</li> <li>• Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen mit Biomasse</li> <li>• Windkraft (z. B. im Wald 1,5 km nördlich, nur bei möglicher Änderung des Regionalplans des Regionalverbandes Hochrhein-Bodensee)</li> </ul>		

## 8. Döbele (Altstadt)

<p><b>Lage</b></p>	<p>Im südöstlichen Teil des Stadtteils Paradies</p> 		
<p><b>Geplante bauliche Umsetzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschosswohnungsbau</li> <li>• Geplanter Baubeginn derzeit noch ungewiss (nach Fertigstellung der Parkmöglichkeiten am „Brückenkopf Nord“)</li> </ul>		
<p><b>Geplante Größe</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 300 Wohneinheiten</li> <li>• 1,3 ha Grundstück</li> </ul>	<p><b>Voraussichtlicher Energiebedarf pro Jahr</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 450.000 kWh Wärme</li> <li>• 900.000 kWh Strom</li> </ul>
<p><b>Nähe zum Gasnetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasnetz ist in den umliegenden Gebieten vorhanden</li> </ul>	<p><b>Nähe zum Nahwärmenetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein Nahwärmenetz in unmittelbarer Nähe</li> </ul>
<p><b>Geothermiepotenzial</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es sind 12 Bohrungen bei 300 m Tiefe notwendig, um den Wärmebedarf zu decken. Dies entspricht einem Flächenbedarf von ca. 12.000 m<sup>2</sup>.</li> </ul>		
<p><b>Vorschläge für zukünftige Energieversorgung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abwassernutzung vom Abwasser-Hauptsammler in Kreuzlingen</li> <li>• Solarthermie für Warmwasser</li> </ul>		

## 9. Brückenkopf-Nord (Petershausen-West)

<p><b>Lage</b></p>	<p>Im Süden des Stadtteils Petershausen-West</p> 		
<p><b>Geplante bauliche Umsetzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raum für Parken, Gewerbe (50%), Wohnen (30%) und Handel (20%), Errichtung eines Bahnhofs für Fern- und Reisebusse</li> <li>• Investorenwettbewerb wurde durchgeführt, Baubeginn 2022</li> </ul>		
<p><b>Geplante Größe</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 ha Grundstück</li> <li>• 80.000 m<sup>2</sup> Bruttogrundfläche</li> </ul>	<p><b>Voraussichtlicher Energiebedarf pro Jahr</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.800.000 kWh Wärme</li> <li>• 2.194.000 kWh Strom</li> </ul>
<p><b>Nähe zum Gasnetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasnetz ist in den umliegenden Gebieten vorhanden</li> </ul>	<p><b>Nähe zum Nahwärmenetz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nahwärmenetz Max-Stromeyer-Straße in der unmittelbaren Umgebung</li> </ul>
<p><b>Geothermiepotenzial</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es sind 78 Bohrungen bei 300 m Tiefe nötig, um den Wärmebedarf zu decken. Dies entspricht einem Flächenbedarf von ca. 78.000 m<sup>2</sup></li> </ul>		
<p><b>Vorschläge für zukünftige Energieversorgung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abwasserwärme</li> <li>• Thermische Seewassernutzung</li> <li>• Solarthermie</li> <li>• Luftwärmepumpen</li> <li>• Geothermie</li> </ul>		



## 7 Maßnahmenkatalog

Aus den mittels Datenerhebung und Potenzialanalyse gewonnenen Erkenntnissen konnten Maßnahmen abgeleitet werden, die zur nötigen Verringerung der Treibhausgasemissionen beitragen. Insbesondere konnte durch die erstellten Szenarien der Einsatz von Technologien prognostiziert und eine Einschätzung der jeweiligen klimatischen Auswirkungen vorgenommen werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sind in den vorliegenden Maßnahmenkatalog eingeflossen.

Es ist zu beachten, dass die hier vorgestellten Maßnahmen nur eine kleine Auswahl an möglichen Klimaschutzmaßnahmen darstellen. Weiterhin sollte beachtet werden, dass das Umsetzen von lediglich einzelnen Maßnahmen oder das Umsetzen der Maßnahmen im geringeren Umfang die Klimaschutzwirkung nennenswert reduziert. Ein unvollständiges Umsetzen der Maßnahmen würde aus heutiger Sicht mit hoher Wahrscheinlichkeit dazu führen, dass die Klimaschutzziele nicht erreicht werden.

Die Maßnahmen sind nicht als einmalige Handlungsempfehlung gedacht, sie müssen vielmehr kontinuierlich verfolgt werden. Der Ausbau von erneuerbaren Energien sowie die Sanierung von Gebäuden sollten kontinuierlich verfolgt und angestoßen werden, die entsprechenden Anlagen und die dazugehörige Infrastruktur sollten regelmäßig gewartet und erneuert werden.

Die Maßnahmen wurden in begleitende Maßnahmen und Maßnahmen zum Umbau von Technologie und Infrastruktur aufgeteilt. Die Umsetzung beider Maßnahmenarten ist für das Erreichen der Klimaschutzziele unerlässlich.

### 7.1 Begleitende Maßnahmen

Unter den begleitenden Maßnahmen werden Maßnahmen verstanden, die im Vorfeld der Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen stattfinden. Durch die begleitenden Maßnahmen werden Klimaschutzmaßnahmen angestoßen und ermöglicht, sie sind deshalb für eine erfolgreiche Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen notwendig.

#### **Ausweitung der Energieberatungsangebote**

Eine professionelle und umfassende Energieberatung sollte in allen Sektoren (Haushalte, Gewerbe, öffentliche Liegenschaften) stattfinden. Die Energieberatung ist ein effizientes Werk-

zeug, um Energieeinsparpotenziale und ökologische Optionen für Unternehmen und Hauseigentümer aufzuzeigen. Aus diesem Grund sollte eine sektorspezifische Energieberatung möglichst von öffentlichen Trägern (Kommunen, Landkreis, Bund) angeboten bzw. unterstützt werden. Mit der Energieagentur Landkreis Konstanz bestehen gute Voraussetzungen für die Ausweitung von Energieberatungsangeboten.

#### Energieberatung für Haushalte

Energieberatung für Haushalte wird bereits von der Energieagentur Landkreis Konstanz angeboten. 2018 wurde erstmals im Rahmen eines Klimaschutzprojekts für Bürgerinnen und Bürger der eigentlich anfallende Eigenanteil von bis zu 40 € pro Beratung von der Stadt übernommen. Es wird empfohlen, dieses Angebot beizubehalten und die Energieberatung für Haushalte ab sofort kostenfrei anzubieten. Besonders effektiv ist die Energieberatung bei Hauseigentümern, hier gibt es aufgrund der Eigentumsverhältnisse mehr Optionen für energetische Sanierungen und eine Umstellung auf eine klimafreundlichere Energieerzeugung. Doch auch bei Haushalten in Mietwohnungen können in nahezu jedem Fall Einsparpotenziale gefunden und genutzt werden. Es wird dementsprechend allen Bürgern empfohlen, eine professionelle Energieberatung in Anspruch zu nehmen. Neben der Energieagentur bieten auch die Stadtwerke Konstanz ihren Kunden eine vergünstigte Energieberatung an.

#### Energieberatung für Gewerbe

Über die Kompetenzstelle Energieeffizienz (KEFF) werden bereits kostenlose Energieberatungen für Unternehmen angeboten. Es wird empfohlen dieses kostenlose und unabhängige Beratungsangebot aufrechtzuerhalten. Weiterhin wird empfohlen, besonders energieintensive Unternehmen gezielt auf das Angebot zur Energieberatung anzusprechen.

#### Energieberatung für öffentliche Liegenschaften

Hier sollte es mindestens einen Verantwortlichen bei der Stadt Konstanz oder der Energieagentur Landkreis Konstanz geben, der die Energieeffizienz der öffentlichen Liegenschaften und Energieerzeugungsanlagen überwacht. Weiterhin sollte diese Person Möglichkeiten aufzeigen und umsetzen, mit deren Hilfe Energie bei öffentlichen Liegenschaften eingespart und Treibhausgasemissionen reduziert werden können.

Besonders sinnvoll ist die Energieberatung für öffentliche Liegenschaften als Bestandteil eines umfassenden kommunalen Energiemanagements.

### Kommunales Energiemanagement

Um die Energieeffizienz der kommunalen Liegenschaften zu erhöhen und die Emissionen durch kommunale Energieerzeugungsanlagen zu reduzieren, wird ein umfassendes und strategisch ausgerichtetes kommunales Energiemanagement empfohlen. Im Rahmen des kommunalen Energiemanagements sollte ein regelmäßiges Monitoring des Energieverbrauchs der öffentlichen Liegenschaften stattfinden, sowie daraus Maßnahmen abgeleitet und umgesetzt werden. Die vorgeschlagenen Maßnahmen können sowohl Maßnahmen sein, die durch Verhaltensänderungen Energieeinsparungen bewirken, als auch Maßnahmen, bei denen durch effizientere Technologie Energie eingespart wird.

#### Beispiele für Maßnahmen durch Verhaltensänderung

- Energieeffizientes Heizen und Lüften
- Ausschalten von Geräten mit Stand-by-Modus und stromsparendes Konfigurieren der städtischen Computer
- Nutzung von kaltem Wasser beim Händewaschen

#### Beispiel für Maßnahmen durch effizientere Technologie

- Austausch der Innenraumbeleuchtung gegen LED-Lampen
- Nutzung von energieeffizienten Geräten in Teeküchen und Kantinen
- Nutzung von energieeffizienter EDV-Technologie und energieeffizienten Servern
- Für Außenbereiche: Weitere Umrüstung der Straßenbeleuchtung auf LED-Technologie

Doch wie in der Energiebilanz zu sehen ist (siehe Abschnitt 3.1.3 und Abschnitt 3.2.2), wird der größte Teil der Endenergie nicht für kommunale Gebäude, sondern für Wohngebäude verwendet. Auch hier sollten Anreize gesetzt werden, um Hauseigentümer zu Energieeinsparungen und zur Umrüstung auf erneuerbare Energien zu bewegen.

### Technologieanreize für Privatpersonen

Um Privatpersonen zur Installation von emissionsarmen und energieeffizienten Technologien zu bewegen, können von verschiedenen Akteuren finanzielle Anreize gesetzt werden. Eine Möglichkeit besteht im Angebot von attraktiven Finanzierungsangeboten, z. B. über Contractingverträge für erneuerbare Wärmeerzeugungsanlagen. Die Contractingverträge könnten von den SWK oder anderen Energieversorgungsunternehmen angeboten werden.

### Quartiers- und Energiekonzepte

Als weitere begleitende Maßnahmen werden Detaillierungen der im vorliegenden Energienutzungsplan vorgeschlagenen Maßnahmen und Konzepte empfohlen. Dies kann z. B. im Rahmen von Quartierskonzepten (gefördert durch das KfW-Programm Nr. 432) geschehen, oder durch die Anfertigung individueller Energiekonzepte.

Die begleitenden Maßnahmen haben allesamt das Ziel, Energieeinsparungen und eine Umrüstung auf emissionsarme Technologien zu erleichtern. Im folgenden Kapitel sollen Optionen für Umrüstungen auf emissionsarme Technologien aufgezeigt werden.

## 7.2 Maßnahmen für Energieerzeugungstechnologien und Energieeinsparungen

Zum klimafreundlichen Umbau der Energieerzeugungsseite werden emissionsarme Energieerzeugungstechnologien vorgeschlagen, die bereits heute ausgereift und erprobt sind. Die Vorschläge sind aus heutiger Sicht als ökologisch effizient einzuschätzen, im Rahmen der jeweiligen Umsetzung sollte gerade in späteren Jahren jedoch geprüft werden, ob es durch technologischen Fortschritt evtl. schon geeignetere Technologien für den konkreten Fall gibt. Weiterhin sollte jede Maßnahme vor der Umsetzung einer Einzelfallbetrachtung unterzogen werden. Die hier getroffenen Aussagen sind lediglich unter den getroffenen Annahmen (siehe Abschnitt 4.2.3) gültig. Es ist zu beachten, dass Ergebnisse im Einzelfall abweichen können. Für die Bewertung der Maßnahmen wurden für jede Maßnahme die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten errechnet. Den Vermeidungskosten liegt dabei folgende Formel zugrunde:

$$CO_2 - \text{Vermeidungskosten} = \frac{\text{Vermiedene } CO_2 - \text{Emissionen [in t/a]}}{\text{Vollkosten der Umrüstung für ein Jahr [in €/a]}}$$

Die vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie die Kosten der Umrüstung wurden dem „Klimaschutzszenario“ entnommen (siehe Abschnitt 4.2.3.3). Die zugrundeliegenden Annahmen können im entsprechenden Abschnitt eingesehen werden. Bei den Kosten wurden jeweils die Vollkosten der neuen Technologie für ein Jahr zugrunde gelegt. Das bedeutet, die Investitionskosten werden durch die jeweilige Abschreibungsdauer der Anlagen dividiert (für die Bestimmung der Lebensdauer wurden die auch im Steuerrecht angewandten AfA-Tabellen herangezogen, Werte siehe Anhang 1) und mit den Betriebskosten für ein Jahr addiert.

Diese Vollkosten werden im Vergleich mit den Vollkosten einer Wärmeversorgung im Szenario „Business-as-usual“ gegenübergestellt.

Weiterhin werden für jede Maßnahme die vermiedenen CO<sub>2</sub>-Folgekosten angegeben, für die Berechnungen wurden hier wieder 70 €/t CO<sub>2</sub> angenommen (vgl. Gemeinderatsbeschluss 2012 – 112 zu Umweltfolgekosten).

Im Folgenden sind die Maßnahmen in standardisierten Maßnahmenblättern aufgelistet. Die Reihenfolge der Maßnahmen ist dabei zufällig, sie stellt keine Wertung dar. Ein Vergleich der vorgeschlagenen Maßnahmen ist am Ende dieses Abschnittes zu finden.

## Maßnahme 1 | Energieerzeugung und -einsparung Nutzung des Solarpotenzials

<b>Beschreibung der Maßnahme</b>	Das vorhandene Solarpotenzial kann sowohl zur Erzeugung von Strom (durch Photovoltaikanlagen) als auch zur Erzeugung von Wärme (durch Solarthermieanlagen) genutzt werden. Da die Anlagen jeweils auf Dächern installiert werden können, eignen sich beide Technologien für eine erneuerbare Energieerzeugung in urbanen Stadtgebieten.		
<b>Handlungsempfehlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadt Konstanz: Versorgung von kommunalen Liegenschaften mit Photovoltaik- oder Solarthermieanlagen; Schaffung von Informationsangeboten mit Verweis auf bestehende monetäre Anreize (s. u.)</li> <li>• Hauseigentümer: Installation von Photovoltaik- oder Solarthermieanlagen</li> <li>• Stadtwerke Konstanz: Anbieten und Bewerben von Contracting- und Pachtangeboten für größere Dachflächen</li> </ul>		
<b>Geplantes Ergebnis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximale Ausnutzung des noch zu über 80 Prozent ungenutzten Dachflächenpotenzials für Photovoltaik- und Solarthermieanlagen</li> </ul>		
<b>Mögliche Akteure / Initiatoren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadt Konstanz, Stadtwerke Konstanz, Gebäudeeigentümer</li> </ul>		
<b>Energieeinsparung</b>	keine	<b>CO<sub>2</sub>-Einsparung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ca. 24.000 t CO<sub>2</sub>/a durch Photovoltaikanlagen und ca. 6.500 t CO<sub>2</sub>/a durch Solarthermieanlagen</li> <li>• Vermiedene CO<sub>2</sub>-Folgekosten: ca. 2,1 Mio. €/a</li> </ul>
<b>Förderungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Photovoltaikanlagen: Einspeisevergütung nach EEG, Kredite zur Finanzierung über das KfW-Programm Nr. 270</li> <li>• Solarthermieanlagen: Investitionszuschüsse vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), Kredite zur Finanzierung über die KfW im Programm „Energieeffizient Sanieren“</li> </ul>		
<b>Kosten</b>	Photovoltaikanlagen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Photovoltaikanlagen: Vollkosten 3,0 Mio. €/a</li> </ul> Stromkosten pro Jahr für äquivalente Stromimporte: 16,8 Mio. €  Solarthermie: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solarthermieanlagen: Vollkosten ca. 7,0 Mio. €/a</li> <li>• Wärmeversorgung im Szenario „Business-as-usual“: Vollkosten ca. 3,4 Mio. €/a</li> </ul>		
<b>CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (Kosten/CO<sub>2</sub>)</b>	Photovol.: 125 €/t Solarth.: 1.098 €/t	<b>Priorität</b>	Photovoltaik: 1 Solarthermie: 2
<b>Umsetzungszeitraum</b>	Intensiver Ausbau von Photovoltaik- und Solarthermieanlagen bis 2030, danach kontinuierliche Wartung und Austausch sowie weiterer Ausbau.		

## Maßnahme 2 | Energieerzeugung und -einsparung Nutzung der Abwasserwärme

<b>Beschreibung der Maßnahme</b>	Wärme aus dem Abwasser kann durch Wärmeübertragerplatten gewonnen und mithilfe von Wärmepumpen zum Beheizen von Gebäuden genutzt werden (siehe Abschnitt 4.1.1). Gerade entlang größerer Abwasserkanäle ist diese Form der Wärmegewinnung sehr effektiv und deshalb zu empfehlen.		
<b>Handlungsempfehlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stadt Konstanz: Versorgung von kommunalen Liegenschaften mit Abwasserwärme; Berücksichtigung der Technologie in der Planung von Neubaugebieten</li> <li>Stadtwerke Konstanz: Errichtung und Betrieb von Anlagen zur Abwasserwärmegewinnung</li> </ul>		
<b>Geplantes Ergebnis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deutlicher Anstieg der Wärmeerzeugung aus Abwasserwärme</li> </ul>		
<b>Mögliche Akteure / Initiatoren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stadt Konstanz, Stadtwerke Konstanz</li> </ul>		
<b>Energieeinsparung</b>	keine	<b>CO<sub>2</sub>-Einsparung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ca. 22.500 t CO<sub>2</sub>/a</li> <li>Vermiedene CO<sub>2</sub>-Folgekosten: ca. 1,5 Mio. €/a</li> </ul>
<b>Förderung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kredite über die KfW (Programm Nr. 201, 202, 271)</li> <li>Investitionskostenzuschüsse für Wärmepumpen durch das BAFA</li> </ul>		
<b>Kosten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abwasserwärmenutzungsanlagen: Vollkosten ca. 7,6 Mio. €/a</li> <li>Wärmeversorgung der Anlagen im Szenario „Business-as-usual“: ca. 11,9 Mio. €/a</li> </ul>		
<b>CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (Kosten/CO<sub>2</sub>)</b>	338 €/t	<b>Priorität</b>	1
<b>Umsetzungszeitraum</b>	Intensiver Ausbau von Abwasserwärmenutzungsanlagen bis 2030, danach regelmäßige Wartung und Austausch sowie weiterer Ausbau.		

## Maßnahme 3 | Energieerzeugung und -einsparung Nutzung von Luftwärmepumpen

<b>Beschreibung der Maßnahme</b>	Die Nutzung von Wärmepumpen wurde bereits im Zusammenhang mit dem Einsatz von Geothermie, Abwasserwärme und Seewassernutzung empfohlen. Wärmepumpen können jedoch auch ohne die Kopplung mit einer weiteren Technologie zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden. In diesem Fall gewinnt die Wärmepumpe Wärme aus der Umgebungsluft und nutzt diese Wärme zur Beheizung von Gebäuden. Die Technologie weist vergleichsweise geringe Investitionskosten auf, ist im Betrieb aber deutlich ineffizienter als Wärmepumpen mit „echter“ Wärmequelle.		
<b>Handlungsempfehlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stadt Konstanz: Informationsangebote zu sinnvollen Einsatzzwecken von Luftwärmepumpen.</li> <li>Stadtwerke Konstanz: Contractingangebote und Beibehaltung eines günstigen Wärmepumpen-Stromtarifs.</li> <li>Gebäudeeigentümer: Installation von Luftwärmepumpen soweit technisch sinnvoll (insbesondere in hocheffizient gedämmten Neubauten).</li> </ul>		
<b>Geplantes Ergebnis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deutlicher Anstieg der Wärmeerzeugung durch Luftwärmepumpen</li> </ul>		
<b>Mögliche Akteure / Initiatoren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stadt Konstanz, Stadtwerke Konstanz, Gebäudeeigentümer</li> </ul>		
<b>Energieeinsparung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine</li> </ul>	<b>CO<sub>2</sub>-Einsparung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ca. 31.000 t CO<sub>2</sub>/a</li> <li>Vermiedene CO<sub>2</sub>-Folgekosten: ca. 2,1 Mio. €/a</li> </ul>
<b>Förderungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Investitionszuschüsse durch das BAFA möglich</li> <li>Kredite von KfW (z. B. über das Programm Nr. 270)</li> </ul>		
<b>Kosten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luftwärmepumpen: Vollkosten ca. 27,5 Mio. €/a</li> <li>Szenario „Business-as-usual“: Vollkosten ca. 21,9 Mio. €/a</li> </ul>		
<b>CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (Kosten/CO<sub>2</sub>)</b>	888 €/t	<b>Priorität</b>	2
<b>Umsetzungszeitraum</b>	Intensiver Ausbau von Luftwärmepumpen bis 2030, danach regelmäßige Wartung und Austausch sowie weiterer Ausbau.		



## Maßnahme 4 | Energieerzeugung und -einsparung Nutzung von Biomasse

<b>Beschreibung der Maßnahme</b>	Organische Abfälle, Grünschnitt oder Reststoffe aus der Landwirtschaft können mithilfe von Energieerzeugungsanlagen zu Strom und Wärme verarbeitet werden (siehe Abschnitt 5.5). Die Energieerzeugung aus Biomasse ist nahezu emissionsfrei und in vielen Fällen sinnvoll für die Resteverwertung. Das zur Verfügung stehende Potenzial der Stadt Konstanz (siehe Abschnitt 4.1.7) sollte ausgeschöpft werden.		
<b>Handlungsempfehlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadt Konstanz: Gründung und Unterstützung von Netzwerken zur Kooperation von Biomasselieferanten (Landwirte, Forstamt, etc.) und Energieversorgern (z. B. Stadtwerke Konstanz)</li> <li>• Stadtwerke Konstanz: Aktive Entwicklung von Kooperationen mit Biomasselieferanten, Errichtung und Betrieb von Biomasseanlagen (z. B. am Hafner, ggf. in Kooperation mit dem Landkreis).</li> </ul>		
<b>Geplantes Ergebnis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deutlicher Anstieg der Energieerzeugung aus Biomasse</li> </ul>		
<b>Mögliche Akteure / Initiatoren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadt Konstanz, Stadtwerke Konstanz, Landkreis Konstanz (Abfallwirtschaft, Kreisforstamt), Landwirte, Entsorgungsbetriebe Konstanz</li> </ul>		
<b>Energieeinsparung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine</li> </ul>	<b>CO<sub>2</sub>-Einsparung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ca. 20.000 t CO<sub>2</sub>/a</li> <li>• Vermiedene CO<sub>2</sub>-Folgekosten: ca. 19.000 €/a</li> </ul>
<b>Förderungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eingespeister Strom wird nach dem EEG vergütet</li> <li>• Kredite von der KfW (Programm Nr. 271, 281)</li> <li>• Investitionszuschüsse können über das BAFA beantragt werden</li> <li>• Kommunalrichtlinie 2019 fördert neue Anlagen zur energetischen Verwertung von Biomüll mit bis zu 600.000 € (40 % Förderquote)</li> </ul>		
<b>Kosten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomasseanlagen: Vollkosten ca. 2,7 Mio. €/a</li> <li>• Wärmeversorgung durch Erdgasanlagen: ca. 13,7 Mio. €/a</li> </ul>		
<b>CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (Kosten/CO<sub>2</sub>)</b>	319 €/t	<b>Priorität</b>	1
<b>Umsetzungszeitraum</b>	Intensive Umrüstung von Erdgas-KWK auf Biomasse bis 2030, danach regelmäßige Wartung und Austausch.		

## Maßnahme 5 | Energieerzeugung und -einsparung

### Umfassende Gebäudesanierung

<b>Beschreibung der Maßnahme</b>	<p>Um Wärmeverbräuche zu reduzieren ist eine umfassende energetische Sanierung von Gebäuden unvermeidbar. Aus diesem Grund ist neben einer Umrüstung der Energieerzeugungsanlagen auch die energetische Sanierung von Gebäudehüllen notwendig.</p> <p>Energetische Sanierungen amortisieren sich am schnellsten im Rahmen von „Sowieso-Maßnahmen“. Das sind Maßnahmen, bei denen eine Reparatur oder eine Renovierung des Gebäudes ohnehin ansteht. Die Kombination dieser Maßnahmen mit Maßnahmen der energetischen Sanierung senkt die Kosten der energetischen Sanierung signifikant. Spätestens nach ca. 30 Jahren sollte jedes Gebäude saniert werden, dabei sollten auch die entsprechenden energetischen Sanierungen vorgenommen werden. In vielen Fällen setzt der sinnvolle Einsatz regenerativer Wärmeerzeugungstechnologien eine umfassende Gebäudesanierung voraus.</p>		
<b>Handlungsempfehlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadt Konstanz: Sanierung der kommunalen Liegenschaften, Information von Gebäudeeigentümern, integrierte Quartierskonzepte mit Sanierungsmanagement, Unterstützung der Energieagentur</li> <li>• Gebäudeeigentümer: Energetische Sanierung der Gebäude</li> <li>• Energieagentur Landkreis Konstanz: Ausweitung von Beratungsangeboten und Bewerbung</li> </ul>		
<b>Geplantes Ergebnis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion des Wärmeverbrauchs durch energetische Sanierungen</li> </ul>		
<b>Mögliche Akteure / Initiatoren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadt Konstanz, Gebäudeeigentümer, Energieagentur</li> </ul>		
<b>Energieeinsparung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 206 GWh/a</li> </ul>	<b>CO<sub>2</sub>-Einsparung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ca. 49.000 t CO<sub>2</sub>/a</li> <li>• Vermiedene CO<sub>2</sub>-Folgekosten: Ca. 3,4 Mio. €/a</li> </ul>
<b>Förderungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verschiedene Zuschüsse und Kredite über die KfW oder die L-Bank</li> </ul>		
<b>Kosten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten Gebäudesanierung: Durchschnittlich ca. 40.000 € pro Haus (BOSCH THERMOTECHNIK GMBH), Vollkosten für ganz Konstanz in der Größenordnung von 15,8 Mio. €</li> <li>• Eingesparte Kosten: ca. 1.000 € pro Jahr und Haus, Einsparung für ganz Konstanz in der Größenordnung von 11,8 Mio. €/a</li> </ul>		
<b>CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (Kosten/CO<sub>2</sub>)</b>	325 €/t	<b>Priorität</b>	1
<b>Umsetzungszeitraum</b>	<p>Energetische Sanierungen sollten durchgängig stattfinden. Unter der Annahme, dass ein Haus ca. alle 30 Jahre saniert werden sollte, wäre eine Sanierungsrate von mindestens 3,5 % pro Jahr erstrebenswert.</p>		

## Maßnahme 6 | Energieerzeugung und -einsparung Wärmenutzung aus Seewasser

<b>Beschreibung der Maßnahme</b>	Wird eine Heizflüssigkeit in Rohren durch ein Gewässer geleitet, so kann auf diese Weise dem Gewässer Wärme entzogen werden. Diese Wärme kann in Kombination mit Wärmepumpen und einem Nahwärmenetz zur Beheizung von Gebäuden verwendet werden.		
<b>Handlungsempfehlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadtwerke Konstanz (oder andere Energieversorger): Prüfung der rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen, Etablierung von Pilotprojekten, Bau von Niedertemperatur-Nahwärmenetzen zur Verteilung der Wärme</li> </ul>		
<b>Geplantes Ergebnis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deckung von 50 % des Wärmebedarfs in Schwerpunktgebieten aus Wärmepumpen und Spitzenlastkesseln und schrittweise Erweiterung auf angrenzende Bereiche</li> <li>• Wärmeerzeugung bis zu 110 GWh</li> <li>• Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um bis zu 75 % bis 2050</li> </ul>		
<b>Mögliche Akteure / Initiatoren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadt Konstanz, Stadtwerke Konstanz, weitere Betreiber, Forschung</li> </ul>		
<b>Energieeinsparung</b>	–	<b>CO<sub>2</sub>-Einsparung</b>	Ca. 40.500 t CO <sub>2</sub> /a (Schwerpunktgebiete)
<b>Förderungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Studien und Umsetzung können über das Förderprogramm „Wärmenetze 4.0“ des BAFA gefördert werden</li> </ul>		
<b>Kosten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Siehe Abschnitt 4.3.7</li> </ul>		
<b>CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (Kosten/CO<sub>2</sub>)</b>	300 €/t	<b>Priorität</b>	2
<b>Umsetzungszeitraum</b>	Es wird empfohlen, Studien und Modellprojekte zeitnah anzustoßen, um bereits 2030 über erste größer angelegte Wärmenetze zu verfügen.		

## Maßnahme 7 | Energieerzeugung und -einsparung Nutzung von Geothermie

<b>Beschreibung der Maßnahme</b>	Durch Bohrungen ins Erdreich und Wärmepumpen kann Erdwärme zur emissionsfreien Gebäudebeheizung genutzt werden. Diese Form der Wärmeerzeugung ist vor allem bei Einfamilienhäusern und Neubauten zu empfehlen.		
<b>Handlungsempfehlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadt Konstanz: Versorgung von kommunalen Liegenschaften mit Geothermie</li> <li>• Stadtwerke Konstanz: Errichtung und Betrieb von Geothermieanlagen</li> <li>• Gebäudeeigentümer: Installation von Geothermieanlagen</li> <li>• Energieagentur Landkreis Konstanz: Information und Beratung</li> </ul>		
<b>Geplantes Ergebnis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deutlicher Anstieg der Wärmeerzeugung aus Geothermie</li> </ul>		
<b>Mögliche Akteure / Initiatoren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadt Konstanz, Stadtwerke Konstanz, Gebäudeeigentümer</li> </ul>		
<b>Energieeinsparung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine</li> </ul>	<b>CO<sub>2</sub>-Einsparung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ca. 10.000 t CO<sub>2</sub>/a</li> <li>• Vermiedene CO<sub>2</sub>-Folgekosten: 700.000 €/a</li> </ul>
<b>Förderungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zuschüsse für Investitionskosten durch das BAFA</li> <li>• Kredite werden von der KfW angeboten (Programm Nr. 272, 282)</li> </ul>		
<b>Kosten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geothermiebohrungen und Wärmepumpen: Vollkosten ca. 6,1 Mio. €/a</li> <li>• Szenario „Business-as-usual“: Vollkosten ca. 4,7 Mio. €/a</li> </ul>		
<b>CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (Kosten/CO<sub>2</sub>)</b>	590 €/t	<b>Priorität</b>	2
<b>Umsetzungszeitraum</b>	Intensiver Ausbau von Geothermieanlagen bis 2030, danach regelmäßige Wartung und Austausch sowie weiterer Ausbau.		

### 7.3 Vergleich der Maßnahmen

Eine mögliche Größe zum Vergleich der vorgeschlagenen Maßnahmen besteht in den CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten der Maßnahmen. Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten geben an, wieviel durchschnittlich pro Jahr investiert werden müsste, um eine Tonne CO<sub>2</sub> im Jahr einzusparen. Abbildung 45 zeigt die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten der vorgeschlagenen Maßnahmen im Vergleich. Dabei ist zu erkennen, dass Photovoltaik, Seewassernutzung, Abwasserwärme, Sanierung (Kosten für Sanierung: durchschnittlich 40.000 € pro Haus) und Biomasse im Vergleich sehr niedrige CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten haben, hohe Vermeidungskosten ergeben sich dagegen bei der Installation von Luftwärmepumpen, Geothermie- und Solarthermieranlagen. Es ist jedoch zu beachten, dass ein Grund für die hohen Vermeidungskosten bei Solarthermie unter anderem darin besteht, dass die in den AfA-Tabellen festgelegte Abschreibungsdauer der Anlagen nur 10 Jahre beträgt (im Vergleich: Wärmepumpen und Photovoltaik haben eine Abschreibungsdauer von 20 Jahren).

Neben einer quantitativen Bewertung der Maßnahmen sollte jedoch auch eine qualitativ-strategische Auswertung der Maßnahmen erfolgen. Ohne Gebäudesanierungen, die im Übrigen auch stark gefördert werden und den Gebäudewert steigern, sind die Klimaschutzziele nicht zu erreichen (vgl. „Efficiency first“-Grundsatz in BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, BAU UND REAKTORSICHERHEIT 2016, Klimaschutzplan 2050). Durch Sanierungen wird zudem der Einsatz regenerativer Technologien zur Wärmeerzeugung erleichtert – je niedriger der Wärmebedarf eines Gebäudes, desto eher können zum Beispiel Wärmepumpen mit Niedertemperatur zum Einsatz kommen. Zu beachten ist auch, dass die Seewasserwärmenutzung sich nur dann zu den angegebenen geringen Kosten realisieren lässt, wenn die Abdeckung annähernd so umfassend wie in dem vorgestellten Modell ist (vgl. Abschnitt 4.3.7).

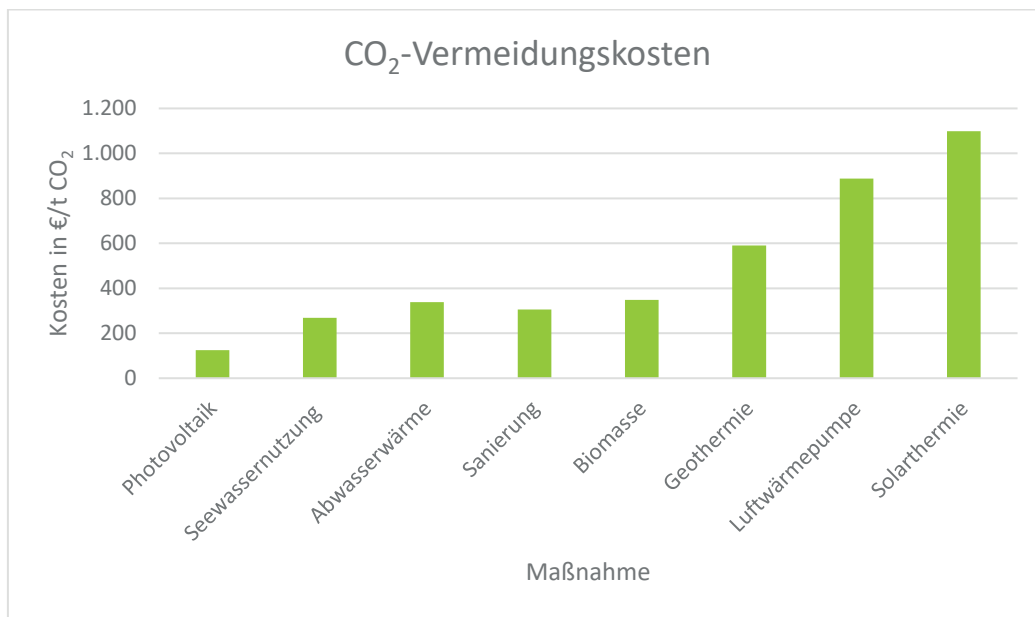


Abbildung 45: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten der vorgeschlagenen Maßnahmen

Um eine differenziertere Betrachtung der Maßnahmen und der entsprechenden Wirtschaftlichkeit vornehmen zu können, ist es sinnvoll, die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme mit einer alternativ möglichen Option der Energieversorgung zu vergleichen. In diesem Fall stellt die „Alternativoption“ der Maßnahme das Szenario „Business-as-usual“ dar, bei dem die vorhandenen Technologien beibehalten werden. In Abbildung 46 ist ein Vergleich der Vollkosten der entsprechenden Maßnahme mit der Versorgung im Szenario „Business-as-usual“ zu sehen. Im Fall des Ausbaus der Photovoltaikanlagen wurden durchschnittliche Strombezugskosten (29,42 Ct/kWh) als „Business-as-usual“-Szenario gewählt, bei Gebäudesanierungen wurden im „Business-as-usual“-Szenario die entsprechenden Betriebskosteneinsparungen in Form von Kosten aufsummiert.

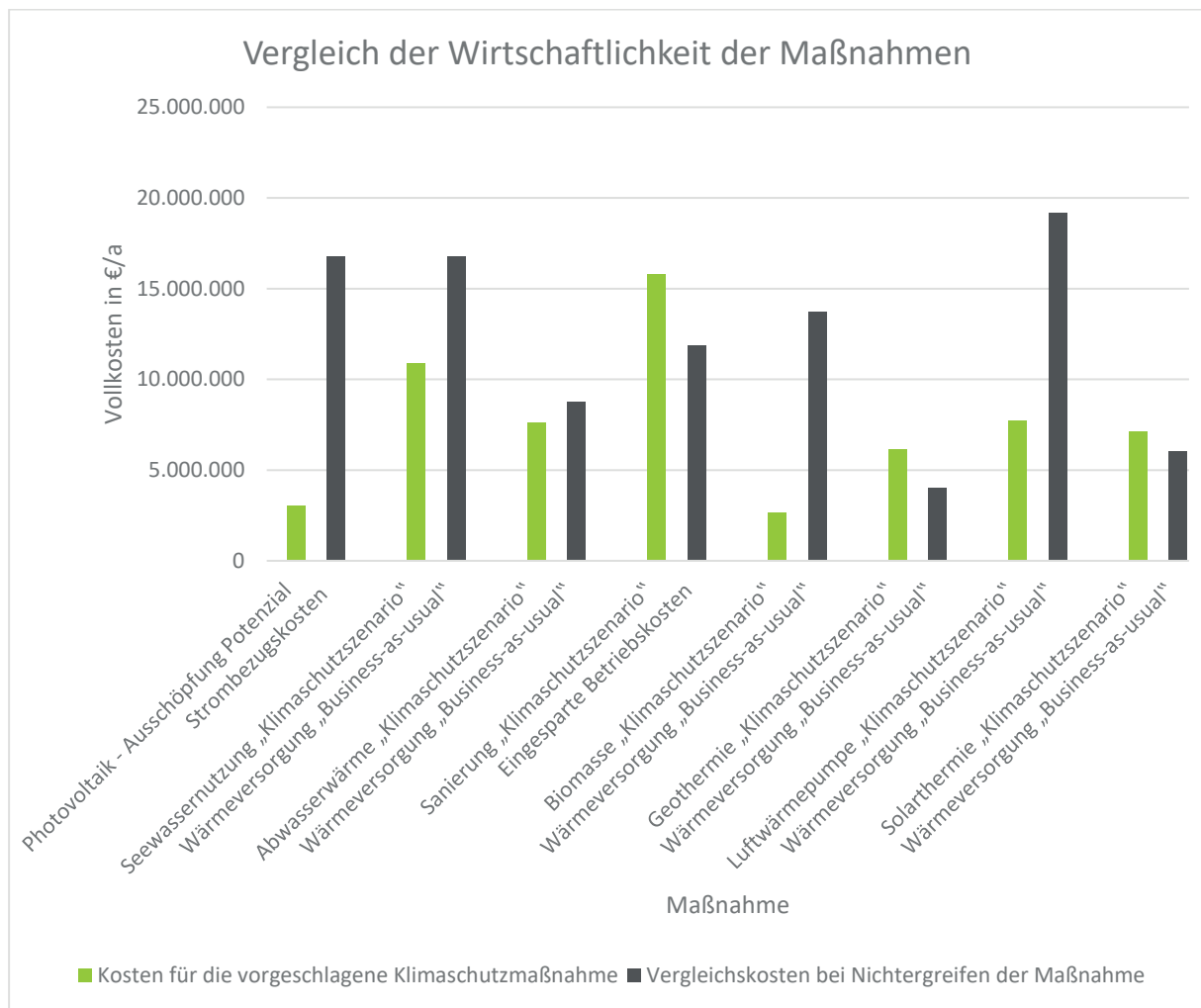


Abbildung 46: Vergleich der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen (Vollkostenbetrachtung 2018-2050)

Durch Abbildung 46 wird deutlich, dass bei Photovoltaik, Biomasse, thermischer Seewassernutzung und Luftwärmepumpen die Vollkosten der Maßnahme unter denen des Szenarios „Business-as-usual“ liegen. Bei der Geothermie, der Solarthermie und den Sanierungsmaßnahmen liegen die Vollkosten der Maßnahme leicht über denjenigen des Szenarios „Business-as-usual“.

Es ist zu beachten, dass die hier dargestellten Ergebnisse ausschließlich unter den getroffenen Annahmen gelten. Vor der Umsetzung jeder Maßnahme müssen die Rahmenbedingungen daher sorgfältig geprüft werden.

Neben der technischen und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit der Maßnahmen spielt auch die politische Umsetzbarkeit und die gesellschaftliche Akzeptanz eine wichtige Rolle. Aus diesem Grund ist eine Akteursbeteiligung unerlässlich.

## 8 Akteursbeteiligung und Kommunikation

Bereits bei der Erstellung des Energienutzungsplans wurden alle relevanten Akteure (Stadt Konstanz, Stadtwerke Konstanz, Energieagentur Landkreis Konstanz und die Konstanzer Bevölkerung) eingebunden bzw. informiert. Auch bei der Umsetzung der Maßnahmen sollte eine kontinuierliche Kommunikation mit allen relevanten Akteuren erfolgen.

### 8.1 Beteiligung der Schlüsselakteure

Während der gesamten Erstellung des Energienutzungsplans wurden insbesondere die Schlüsselakteure einbezogen. Es gab einen festen Lenkungsgruppenkreis, bestehend aus Mitarbeitern des Amtes für Stadtplanung und Umwelt, einem Mitarbeiter der Stadtwerke Konstanz sowie den Bearbeitern des Energienutzungsplans (die Mitarbeiter der Tilia GmbH, von Smart Geomatics Informationssysteme mbH und der Energieagentur Ravensburg gGmbH). Der Lenkungsgruppenkreis hat während der einjährigen Erstellung des Energienutzungsplans monatlich getagt, entweder über eine Telefonkonferenz oder während persönlicher Lenkungsgruppentreffen in Konstanz. Auf diese Art und Weise wurden die Schlüsselakteure kontinuierlich über den Erstellungsprozess des Energienutzungsplans informiert und sie konnten Hinweise zu Methodik und ersten Ergebnissen abgeben. Zwischenergebnisse wurden regelmäßig per Mail an die Schlüsselakteure versendet, sodass der gesamte Erstellungsprozess transparent und konsensbasiert war. So konnte in diesen Energienutzungsplan das Wissen und die Expertise aller beteiligten Akteure einfließen.

### 8.2 Beteiligung der Öffentlichkeit

Auch die Öffentlichkeit wurde bei der Erstellung des Energienutzungsplans eingebunden und informiert.

Am 13. Juni 2018 fand eine Vorstellung des Energienutzungsplans für die Öffentlichkeit statt, im Rahmen derer Zwischenergebnisse des Energienutzungsplans präsentiert und anschließend diskutiert wurden. Bei der Veranstaltung waren ebenfalls der Baudezernent der Stadt Konstanz, Herr Langensteiner-Schönborn, sowie Mitarbeiter der Stadtwerke Konstanz und der Energieagentur Landkreis Konstanz als Ansprechpartner für die Bevölkerung vertreten.

Weiterhin wurde eine Informationsbroschüre angefertigt, die die Ergebnisse des Energienutzungsplans kurz und prägnant zusammenfasst. Die Broschüre ist sowohl in Papierform im Bürgerbüro der Stadt Konstanz als auch online erhältlich.



Weiterhin sind auch der vorliegende Abschlussbericht sowie interaktive Karten des Energienutzungsplans auf der Homepage der Stadt Konstanz abrufbar.

### 8.3. Kommunikationsstrategie für die Verbreitung des Energienutzungsplans

Für die weitere Verbreitung der Ergebnisse des Energienutzungsplans sollte auf die bereits im Klimaschutzkonzept vorgestellten Methoden zurückgegriffen werden (PÖYRY; LBST 2016). Hier wird eine Vielzahl an Möglichkeiten aufgezählt, um die Bevölkerung in die Umsetzung der Maßnahmen einzubeziehen und sie über den Prozess zu informieren.

Im Fall der Maßnahmen des Energienutzungsplans sollte die Öffentlichkeitsarbeit noch gezielter erfolgen als bei den Maßnahmen des Klimaschutzkonzepts. Hier sollten z. B. gezielt Bewohner und Akteure der Schwerpunktgebiete und Neubaugebiete angesprochen werden, um mit ihnen gemeinsam Maßnahmen umzusetzen. Pro Maßnahme erscheint es sinnvoll, eine eigene Lenkungsgruppe zu etablieren, die die Bewohner auf Infoveranstaltungen über die Maßnahme informiert, die Umsetzung der Maßnahme initiiert und begleitet und den Erfolg der Maßnahme dokumentiert. So könnten z. B. einzelne Lenkungsgruppen für die jeweiligen Schwerpunktgebiete und Neubaugebiete (siehe Abschnitt 6.1 und Abschnitt 6.2) gebildet werden, die die Umsetzung der jeweiligen Maßnahmen begleiten und deren Erfolg überwachen. Abhängig von Gebiet und personeller Zusammensetzung kann auch eine Lenkungsgruppe für mehrere Gebiete verantwortlich sein.

Es ist wichtig, dass diese Lenkungsgruppen in der Öffentlichkeit präsent (über Veranstaltungen und Internetauftritte) und erreichbar sind. Weiterhin ist es unerlässlich, dass die entsprechende Lenkungsgruppe zu Beginn jeder Maßnahme Ziele definiert und die Zielerreichung in regelmäßigen Abständen überprüft. Die Verstetigung und das Controlling sollte sowohl für jede einzelne Maßnahme stattfinden, als auch für die Gesamtumsetzung der im Energienutzungsplan vorgeschlagenen Strategie.

## 9 Verstetigung und Controlling

Nach Fertigstellung des Energienutzungsplans gilt es, die erarbeiteten Maßnahmen sukzessive umzusetzen und alle zwei Jahre die erreichten Klimaschutzziele zu evaluieren. Das Controlling-Konzept wird mit bestehenden Strukturen wie dem eea sowie dem Klimaschutzkonzept der Stadt Konstanz verbunden. Es dient als Steuerungs- und Koordinierungsinstrument innerhalb des kommunalen Klimaschutzes.

### Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz

Die Erstellung von aktuellen Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen stellt für den kommunalen Klimaschutz ein elementares Instrument dar. Die Bilanzierung erfolgt mit dem in Baden-Württemberg einheitlichen Bilanzierungstool BICO2BW. Ziel einer kommunalen Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz ist es, den Energieverbrauch und die Emissionen klimarelevanter Treibhausgase in einer Kommune darzustellen und im Idealfall deren Verursacher (Verbrauchssektoren) und die verschiedenen Energieformen (Energieträger) aufzuzeigen. Darauf aufbauend können Minderungspotenziale berechnet und Schwerpunkte bei der Maßnahmenplanung gesetzt werden. Die Bilanzierung erfolgte auf Grundlage der im Energienutzungsplan erhobenen Daten. Sie sollte in regelmäßigen Abständen (alle 2 Jahre) durch das Amt für Stadtplanung und Umwelt im Rahmen des eea fortgeschrieben werden, um so die Entwicklungen der Energieverbräuche und Emissionen abbilden zu können. Darauf aufbauend können die Fortschritte im Klimaschutz evaluiert werden.

### Evaluierung der Fortschritte

Anhand eines Excel-Tools können die Fortschritte der Stadt Konstanz im Klimaschutz künftig im Rahmen der eea-Audits evaluiert werden. Dabei werden der Anteil der erneuerbaren Energien (Strom, Wärme) auf Gesamtstadtebene sowie die Treibhausgasemissionen mit den Szenarien aus dem Energienutzungsplan in einer Soll-Ist Analyse abgeglichen. Als Datengrundlage dienen immer die fortgeschriebenen Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen sowie die Energieverbrauchsdaten der Stadtwerke Konstanz.

Anhand der Ergebnisse sollte das energiepolitische Maßnahmenprogramm der Stadt Konstanz fortgeschrieben werden, um die Klimaschutzziele und den daraus resultierenden Absenkpfad der CO<sub>2</sub>-Emissionen einzuhalten.

### Optimierung des kommunalen Energiemanagements

Die Energieverbrauchsdaten und die in den kommunalen Gebäuden verwendeten Energieträger werden für die Fortschreibung der Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz, genauso wie für den Prozess des eea, benötigt. Aus diesem Grund sind die Energieverbräuche der Liegenschaften anhand einer Klassifizierung der thermischen Leistung der Wärmeversorgungsanlagen zu erfassen:

- kleiner 200 kW monatlich
- kleiner 3.000 kW wöchentlich
- größer 3.000 kW täglich

Eine Klassifizierung der Gebäude mit Ablesezyklus der Energieverbräuche ist dem Anhang 2 zu entnehmen.

### Kosten und Personalaufwand

Die Umsetzung des Energienutzungsplans ist ein langfristiges und zeitintensives Vorhaben. Zur Steuerung und Umsetzung des Energienutzungsplans sowie der Maßnahmen aus dem eea ist neben der Stelle zum Klimaschutzmanagement das Mitwirken aller betroffenen Akteure gefragt. Für das Angehen gezielter Maßnahmen in den Quartieren besteht zudem die Möglichkeit einer Förderung von Stellen zum Sanierungsmanagement, welche sowohl bei der Kommune als auch anderen Akteuren (z. B. Energieagentur) angesiedelt sein können.

Die Durchführung des Controllings kann durch die Verknüpfung von Energienutzungsplan, eea und Klimaschutzkonzept so effizient wie möglich durchgeführt werden.

## 10 Ausblick und nächste Schritte

Der Erarbeitung des Energienutzungsplans sollte eine stringente und konsequente Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen folgen. Es wird empfohlen, die Umsetzung der Maßnahmen parallel durchzuführen. Folgende Schritte werden im direkten Anschluss an den Energienutzungsplan empfohlen:

- Verabschiedung eines Gemeinderatsbeschlusses, in dem die Umsetzung erster konkreter Maßnahmen gefordert wird
- sukzessive Erarbeitung von Quartierskonzepten für die in Abschnitt 6.1 vorgeschlagenen Schwerpunktgebiete und ggf. weitere Gebiete
- Gezielte Aufforderung zur Energieberatung für die relevanten Entscheider der energieintensivsten Unternehmen und Wohngebäude
- Beschleunigte Umsetzung von Maßnahmen (z. B. Heizungstausch oder energetische Sanierung) bei kommunalen Liegenschaften, im Sinne der Vorbildfunktion
- Beratung bei energetischen Sanierungen und der Erneuerung dezentraler Wärmezeugungsanlagen durch Broschüren, Internetauftritte und Energieberater

Gleichzeitig zu den hier genannten begleitenden Maßnahmen sollte der Umbau der Energieversorgung hin zu erneuerbaren Energien und einer kontinuierlichen Reduktion des Energieverbrauchs begonnen werden – nur dies bringt unmittelbare CO<sub>2</sub>-Ersparnisse mit sich. Vorschläge für den Einsatz der entsprechenden Technologien können dem Maßnahmenkatalog (Abschnitt 7.2) entnommen werden.

## 11 Fazit

Aus dem vorliegenden Energienutzungsplan lassen sich abschließend folgende Aussagen für die Stadt Konstanz ableiten:

Werden die Technologieentscheidungen der letzten Jahre im Energiebereich in den kommenden Jahren unverändert fortgeführt, so wird voraussichtlich bereits zu Beginn der 2020er Jahre das Klimaschutzziel der Stadt Konstanz deutlich verfehlt werden (siehe Abschnitt 4.2.3.32). Dies hätte sowohl Folgen für die Glaubwürdigkeit der Politiker und Energieversorger, die sich für das Erreichen der Klimaschutzziele einsetzen, als auch verheerende ökologische, humanitäre und finanzielle Folgen.

Das „Klimaschutzszenario“ zeigt auf, dass es Alternativen zur derzeitigen Energieversorgung gibt, die technologisch und wirtschaftlich umsetzbar sind. Der Energienutzungsplan enthält einen möglichen Weg, wie die Stadt Konstanz und ihre Bewohner einen signifikanten Beitrag im Kampf gegen den Klimawandel leisten können. Dabei sollte bei der Umstellung auf erneuerbare Energien und der Einsparung von Energie nicht in blinden Aktionismus verfallen werden. Vielmehr empfiehlt es sich, das Thema auf gesamtstrategischer Ebene anzugehen und dabei für Umsetzungsschritte relevante Partner wie SWK und Energieagentur einzubinden.

Nicht auf alle relevanten Akteure kann jedoch direkter Einfluss ausgeübt werden. Umso wichtiger ist es, auch mithilfe von Aufklärungsarbeit, Beratungsangeboten und gegebenenfalls finanziellen Anreizen darauf hinzuwirken, dass sämtliche Entscheidungsträger ihre ökologische Verantwortung wahrnehmen und ihren Beitrag zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen im Energiebereich leisten. Bewohner sollten vorhandene Energieeinsparpotenziale nutzen, Hauseigentümer sollten energetische Sanierungen konsequent durchführen und auf erneuerbare Wärmeerzeugungsanlagen setzen. Energieversorger sollten eine konsequente Umstellung auf emissionsarme Technologien vorbereiten und umsetzen, Politik und Verwaltung sollte darüber hinaus die nötigen Veränderungen regulatorisch wie in der konkreten Umsetzung erleichtern und selbst mit gutem Beispiel vorangehen.

Die Analysen des Energienutzungsplans haben deutlich gezeigt, dass die Klimaschutzziele nur mit einer Neuausrichtung der derzeitigen Strategien und Verhaltensweisen zu erreichen sind. Dies trifft nicht nur auf den Energiebereich, sondern auch auf andere emissionsintensive Bereiche, wie z. B. den Verkehrs- und den Agrarsektor, zu. Die Neuausrichtung der Strategien und Verhaltensweisen sollte kurzfristig und umfassend erfolgen, damit die Stadt Konstanz die anvisierten Klimaschutzziele noch erreichen und so einen signifikanten Beitrag im Kampf gegen den Klimawandel leisten kann.

## Anhänge

### Anhang 1: Berechnung und Annahmen

#### Abschnitt 4.2.1 Szenarien zur Entwicklung des Wärmebedarfs

##### *Entwicklung der Bevölkerungszahl in Konstanz*

Bei der Berechnung der Entwicklung der Bevölkerungszahl von Konstanz wurde die Studie „Kleinräumige Bevölkerungsvorausrechnung der Stadt Konstanz bis zum Jahr 2035“ von Tilmann Häusser (September 2017) als Grundlage verwendet. Darin wird ein Bevölkerungsanstieg von 12 % bis 2035 (von 85.478 im Jahr 2016 auf 95.928 im Jahr 2035) prognostiziert. Werden diese Werte weiter extrapoliert, ergibt sich bis 2050 eine Bevölkerungszahl von 104.178 Einwohner. Aufgrund von voraussichtlichem Wohnraummangel wurde diese Entwicklung als etwas schwächer angenommen und die Bevölkerungszahl auf 100.000 Einwohner im Jahr 2050 abgerundet.

#### Abschnitt 4.2.2 Szenarien zur Entwicklung des Strombedarfs

##### *Angenommene Lebensdauer und Entwicklung der Effizienz von Elektrogeräten in Haushalten*

##### 1. Szenario „Normaler Austausch“ – Haushalte

	Angenommene Lebensdauer in Jahren	Steigerung der Energieeffizienz bis 2050 in %
Kühlschrank	10	43 %
Gefrierschrank	10	38 %
Waschmaschine	5	26 %
Geschirrspüler	5	23 %
Fernseher	6	44 %
Radio-HIFI	3	15 %
Video/DVD/Blu-Ray-Disc (Abspielgeräte)	3	51 %
Computer	4	30 %
Licht	10	63 %

## 2. Szenario „Beschleunigter Austausch“ – Haushalte

	Angenommene Lebensdauer in Jahren	Steigerung der Energieeffizienz bis 2050 in %
Kühlschrank	5	48 %
Gefrierschrank	5	41 %
Waschmaschine	2,5	29 %
Geschirrspüler	2,5	29 %
Fernseher	3	48 %
Radio-HIFI	1,5	18 %
Video/DVD/Blu-Ray-Disc (Abspielgeräte)	1,5	51 %
Computer	2	40 %
Licht	10	72 %

*Angenommene Lebensdauer und Entwicklung der Effizienz von Elektrogeräten in Gebäuden für öffentliche Zwecke*

### 1. Szenario „Normaler Austausch“ – Gebäude für öffentliche Zwecke

	Angenommene Lebensdauer in Jahren	Steigerung der Energieeffizienz bis 2050 in %
Computer	4	30 %
Licht	10	60 %

### 2. Szenario „Beschleunigter Austausch“ – Gebäude für öffentliche Zwecke

	Angenommene Lebensdauer in Jahren	Steigerung der Energieeffizienz bis 2050 in %
Computer	2	40 %
Licht	5	72 %

### Abschnitt 4.2.3 Szenarien Energieerzeugung

Anmerkung: Alle Kostenangaben wurden auf Tausend gerundet

*Ergebnisse Wärmeerzeugung Szenario „Business-as-usual“*

#### 1. Kosten-Wärmeerzeugung bis 2050 im Szenario „Business-as-usual“

	Investitionskosten	Betriebskosten	Gesamtkosten
Erdgas-KWK	15.194.000 €	110.183.000 €	125.377.000 €
Heizöl-KWK	533.000 €	68.615.000 €	29.458.000 €
Klärgas-KWK	468.000 €	790.000 €	1.258.000 €
Erdgas (Wärmeerzeugungsanlagen)	66.404.000 €	1.117.325 €	1.183.729.000 €
Heizöl (Wärmeerzeugungsanlagen)	26.396.000 €	372.991.000 €	399.387.000 €
Biomasse (Wärmeerzeugungsanlagen)	11.639.000 €	691.833.000 €	703.472.000 €
Gesamt	120.633.0 €	2.361.738.000 €	2.482.371.000 €

#### 2. CO<sub>2</sub>-Emissionen im Szenario „Business-as-usual“

Anmerkung: Alle Emissionsangaben wurden auf Hundert gerundet.

	Pro Jahr in t	Bis 2050 in t	Prozent
Erdgas-KWK	10.900	350.000	9 %
Heizöl-KWK	300	10.300	0,3 %
Erdgas (Wärmeerzeugungsanlagen)	53.700	1.781.700	46 %
Heizöl (Wärmeerzeugungsanlagen)	52.700	1.685.000	45 %

*Ergebnisse zur Wärmeerzeugung im „Klimaschutzszenario“*

Anmerkung: Alle Kostenangaben wurden auf Tausend gerundet

1. Kosten der Wärmeerzeugung im „Klimaschutzszenario“

	Investition	Betrieb bis 2050	Gesamt
Erdgas-KWK	3.007.000 €	47.516.000 €	50.532.000 €
Heizöl-KWK	170.000 €	698.000 €	868.000 €
Solarthermie (Ersatz KWK-Anlagen)	34.968.000 €	1.184.000 €	36.153.000 €
Biomasse (Ersatz KWK-Anlagen)	3.972.000 €	279.000 €	4.251.000 €
Klärgas-KWK-Anlage	468.000 €	790.000 €	1.258.000 €
Erdgas bestehende Kessel		40.693.000 €	40.693.000 €
Erdgas Restbeheizung Solarthermie	1.757.000 €	64.577.000 €	66.334.000 €
Erdgas neue Brennwertthermen	980.000 €	17.835.000 €	18.815.000 €
Erdgas Gesamt	5.745.000 €	170.621.000 €	176.366.000 €
Heizöl		70.408.000 €	70.408.000 €
Biomasse (Wärmeerzeugungsanlagen)	10.662.000 €	262.610.000 €	273.272.000 €
Solarthermie	77.223.000 €	7.697.000 €	84.920.000 €
Abwasser	64.763.000 €	223.401.000 €	288.164.000 €
Luftwärmepumpe	98.293.000 €	626.464.000 €	724.757.000 €
Geothermie	70.349.000 €	89.404.000 €	159.754.000 €
Seewasser (inkl. Biomasse Spitzenlast)	211.905.000 €	361.664.000 €	573.569.000 €
<b>Gesamt</b>	<b>578.518.000 €</b>	<b>1.815.221.000 €</b>	<b>2.393.739.000 €</b>

*Ergebnisse der Szenarien zur Stromerzeugung*

1. Kosten der Stromerzeugung bis 2050 im Szenario „Business-as-usual“

	Investitionskosten	Betriebskosten	Gesamtkosten	Prozent
Erdgas-KWK	11.140.000 €	46.130.000 €	57.270.000 €	61 %
Heizöl-KWK	532.000 €	9.553.000 €	10.085.000 €	11 %
Klärgas-KWK	468.000 €	790.000 €	1.258.000 €	1 %
Photovoltaik	18.722.000 €	5.991.000 €	24.714.000 €	26 %
Biomasse	298.000 €	737.000 €	135.000 €	1 %



## 2. Kosten für Stromerzeugung bis 2050 im „Klimaschutzszenario“

	Investition	Betrieb
PV ohne Denkmalschutz	75,5 Mio. € Zubau neue Anlagen + 18,7 Mio. € Bestandsanlagen	24,2 Mio. € Zubau neue Anlagen + 5,9 Mio. € Bestandsanlagen
PV mit Denkmalschutz	60,5 Mio. € Zubau neue Anlagen + 18,7 Mio. € Bestandsanlagen	19,3 Mio. € Zubau neue Anlagen + 5,9 Mio. € Bestandsanlagen

### Kapitel 7

#### Abschreibungsdauern nach AfA

Technologien	Abschreibungsdauer
Photovoltaik	20 Jahre
Solaranlagen	10 Jahre
Wärmepumpen	20 Jahre
KWK-Anlagen	10 Jahre
Sanierungen	30 Jahre (Annahme)

Quelle: BUNDESMINISTERIUM FÜR FINANZEN 2000

## Anhang 2: Erfassungszyklus kommunaler Gebäude

Empfohlener Erfassungszyklus der Energieverbräuche der kommunalen Gebäude Systematik gem. Richtlinien des Fördermittelgebers:

- Anlagen kleiner 200 kW Erfassung monatlich
- Anlagen kleiner 3.000 kW Erfassung wöchentlich
- Anlagen größer 3.000 kW Erfassung täglich

Strasse	Hausnummer	Postleitzahl	Gebäudenutzung	Energieverbrauch (Wärme) [kWh]	Energieträger	Thermische Anlagenleistung real (ebök) [kW]	Thermische Anlagenleistung überschlägig [kW]	Erfassungszyklus
Schwaketenstraße	112	78467	Schule	3.604.196	Fernwärme	3.277		täglich
Pestalozzistraße	2	78467	Schule	1.788.954	Pellets	Nicht zuzuordnen	1.626	wöchentlich
Wintersteig	23	78462	Sportg.	800.473	Fernwärme	920	728	wöchentlich
Zähringerplatz	1	78464	Schule	968.805		840	881	wöchentlich
Schoffenplatz	2	78462	Schule	671.112		805	610	wöchentlich
Neuhauser Straße	1	78464	Schule	837.674	Erdgas	785	762	wöchentlich
Sankt-Stephans-Platz	17	78462	Schule	782.801			712	wöchentlich
Kanzleistraße	13/15	78462	Rathaus	481.017	Erdgas	570	437	wöchentlich
Katzgasse	7	78462	Museum	622.228			566	wöchentlich
Wallgutstraße	14	78462	Schule	232.201	Pellets	550	211	wöchentlich
Untere Laube	24	78462	Vwg	538.963		530	317	wöchentlich
Brauneggerstraße	29	78462	Schule	465.808		520	423	wöchentlich
Inselgasse	2	78462	Wkst.	538.721			490	wöchentlich
Großherzog-Friedrich-Straße	12	78465	Schule	371.286	Erdgas	480	338	wöchentlich
Schulweg	7	78465	Sportg.	414.296	Erdgas	460	377	wöchentlich
Wessenbergstraße	39	78462	W/Ghs	163.709		460	149	wöchentlich
Sonnenbühlstraße	32	78464	Schule	410.640		455	373	wöchentlich
Breslauer Straße	18	78467	Schule	407.502		Nicht zuzuordnen	370	wöchentlich
Gustav-Schwab-Straße	12	78467	Veranst	89.160		370	81	wöchentlich
Konzilstraße	11	78462	Veranst	251.293	Erdgas	295	228	wöchentlich
Rosgartenstraße	3	78462	Museum	191.869		285	174	wöchentlich
Sonnentauweg	39	78467	Schule	384.023	Erdgas	285	349	wöchentlich
Pestalozzistraße	1	78467	Schule	365.404	Erdgas	281	332	wöchentlich
Benediktinerplatz	2	78467	Vwg	404.434	Erdgas	280	238	wöchentlich

Anhang 2: Erfassungszyklus kommunaler Gebäude

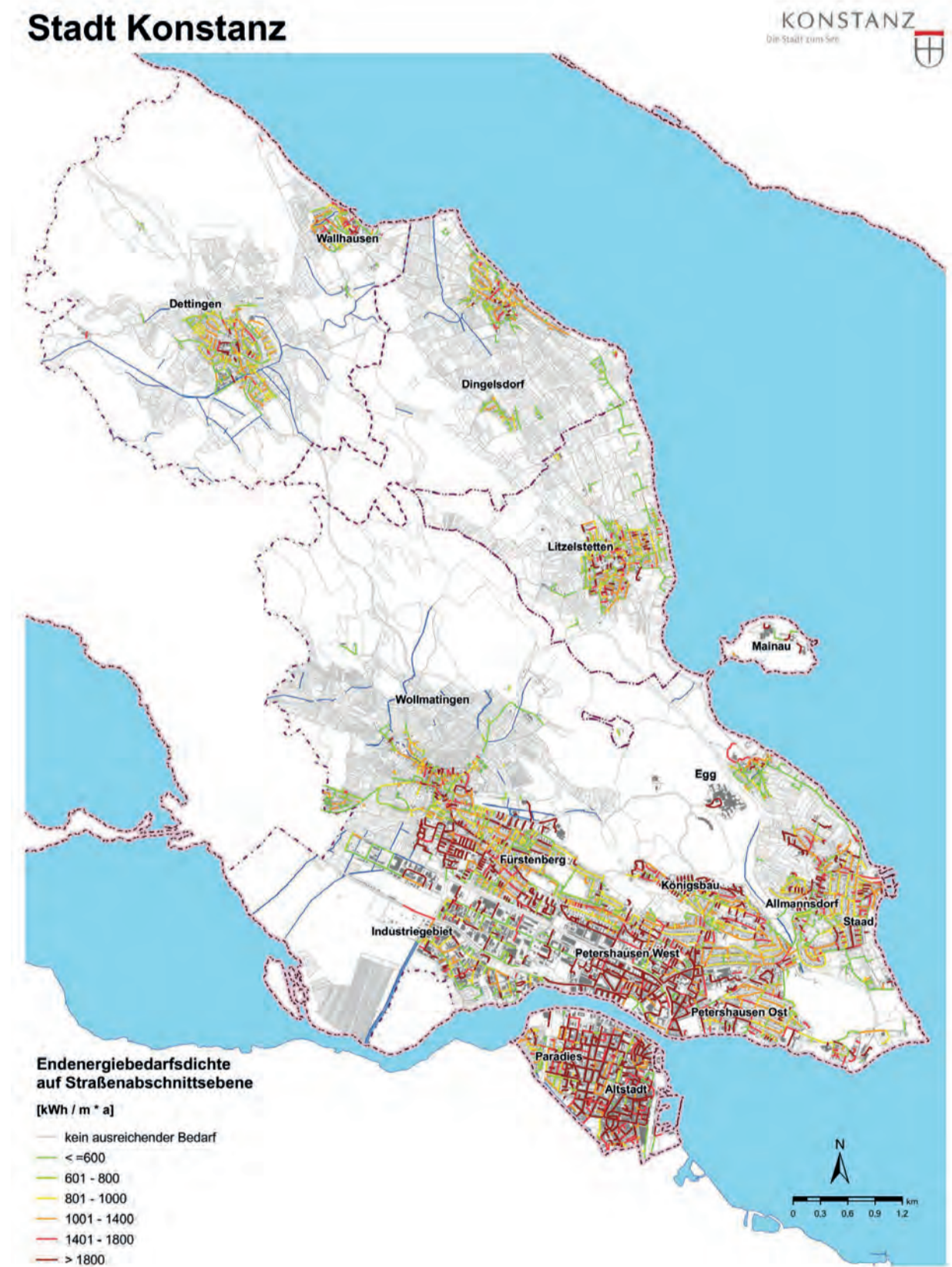
Straße	Hausnummer	Postleitzahl	Gebäudenutzung	Energieverbrauch (Wärme) [kWh]	Energieträger	Thermische Anlagenleistung real (ebök) [kW]	Thermische Anlagenleistung überschlüssig [kW]	Erfassungszyklus
Hafenstraße	2	78462	Veranst	390.551	Erdgas	280	355	wöchentlich
Radolfzeller Straße	14	78467	Schule	297.641		280	271	wöchentlich
Rebbergstraße	36	78467	JH	270.463			246	wöchentlich
Mainaustraße	147	78464	Schule	231.021		240	210	wöchentlich
Höhenweg	14	78464	Schule	290.050	Erdgas	235	264	wöchentlich
Max-Stromeyer-Straße	120	78467	Lagg	17.405	Öl	186	16	monatlich
Thingoltstraße	36	78465	Sportg	202.932			184	monatlich
Schwaketenstraße	31	78467	Sportg	243.015	Erdgas	170	221	monatlich
Conradin-Kreutzer-Straße	5	78467	Sportg	130.707		130	119	monatlich
Fischmarkt	2	78462	Veranst	133.982	Erdgas		122	monatlich
Rheinsteig	4	78462	Veranst	113.536	Erdgas		103	monatlich
Rebweg	11	78465	Kiga	111.271	Erdgas		101	monatlich
Marktsstätte	15	78462	Hotel	160.703		96	146	monatlich
Kapitän-Romer-Straße	39	78465	Whs	61.326	Erdgas	93	56	monatlich
Kapitän-Romer-Straße	37	78465	WBtrg	87.123	Erdgas	93	79	monatlich
Rathausplatz	2	78465	Schule	84.795			77	monatlich
Breslauer Straße	16	78467	Sporth	100.426		64	91	monatlich
Litzelstetter Straße	34	78467	Fwg	61.564	Erdgas		56	monatlich
Leipziger Straße	10	78467	Whs	40.674	Erdgas	50	37	monatlich
Leipziger Straße	14	78467	Whs	36.797	Erdgas	50	33	monatlich
Leipziger Straße	19	78467	Kiga	20.438	Erdgas	50	19	monatlich
Leipziger Straße	16	78467	Whs	40.735	Erdgas	50	37	monatlich
Leipziger Straße	12	78467	Whs	40.855	Erdgas	50	37	monatlich
Zur Mühle	11	78465	Gdehs	59.529	Erdgas	48	54	monatlich
Benedikt-Bauer-Straße	6	78467	Kiga	104.818	Erdgas	45	95	monatlich
Rheingutstraße	33	78462	Kiga	47.991			44	monatlich
Kapitän-Romer-Straße	4	78465	Rathaus	50.466	Erdgas	43	46	monatlich
Radolfzeller Straße	38	78467	Rathaus	68.576	Erdgas	43	62	monatlich
Kuckucksweg	2	78465	Fwg	64.395		42	59	monatlich
Am Pfeiferhölzle	6	78467	Whs	41.886	Erdgas	39	38	monatlich
Rathausplatz	1	78465	Vwg	37.519	Erdgas	35	22	monatlich
Wessenbergstraße	41	78462	Bibl	36.609			33	monatlich
Rathausplatz	3	78465	Fwg	52.651		29	48	monatlich
Schwanenweg	10	78465	Kiga	47.773	Erdgas	25	43	monatlich
Nestgasse	5	78464	Whs	16.290	Erdgas	16	15	monatlich

Strasse	Hausnummer	Postleitzahl	Gebäude- nutzung	Energiever- brauch (Wärme) [kWh]	Energie- träger	Thermische Anlagenleistung real (ebök) [kW]	Thermische Anlagenleistung überschlägig [kW]	Erfassungs- zyklus
Großherzog-Friedrich-Straße	12	78465	Sportg		Fernwärme	Vers. über Schule	Vers. über Schule	
Höhenweg	14	78464	Sporth			Vers. über Schule	Vers. über Schule	
Mainaustraße	147	78464	Sporth			Vers. über Schule	Vers. über Schule	
Sonnenbühlstraße	30	78464	Sportg			Vers. über Schule	Vers. über Schule	
Sonnentaumweg	39	78467	Sporth		Erdgas	Vers. über Schule	Vers. über Schule	
Radolfzeller Straße	14	78467	Sporth			125	Vers. über Schule	
Sankt-Stephans-Platz	19	78462	Sporth			Vers. über Bürgersaal	Vers. über Bürgersaal	
Walguitsstraße	14	78462	Sportg			120	Kein Realverbrauch	
Rosgartenstraße	5	78462	Museum		Erdgas	160	Kein Realverbrauch	
Katzgasse	9	78462	Museum			Nicht zuzuordnen	Kein Realverbrauch	
Mainaustraße	43	78464	Kiga		Fernwärme	Nicht zuzuordnen	Kein Realverbrauch	
Rebbergstraße	34	78467	JH			Nicht zuzuordnen	Kein Realverbrauch	
Schulweg	5	78465	Schule		Fernwärme	Nicht zuzuordnen	Kein Realverbrauch	
Schulweg	1	78465	Schule		Fernwärme	Nicht zuzuordnen	Kein Realverbrauch	
Schwaketenstraße	110	78467	Sportg		Fernwärme	Nicht zuzuordnen	Kein Realverbrauch	
Seestraße	33	78464	Schule			Nicht zuzuordnen	Kein Realverbrauch	
Webersteig	1	78462	Sporth			Nicht zuzuordnen	Kein Realverbrauch	
Zum Hussenstein	12	78462	Gewhs		Erdgas	198	Kein Realverbrauch	
Seehalde	7	78464	Heim			130	Kein Realverbrauch	
Katzgasse	5	78462	Museum			80	Kein Realverbrauch	
Großherzog-Friedrich-Straße	10	78465	WVwg			65	Kein Realverbrauch	
Gütlestraße	8	78462	Kiga		Erdgas	48	Kein Realverbrauch	
Spanierstraße	11	78462	Kiga			43	Kein Realverbrauch	
Schwaketenstraße	51	78467	Sportg		Erdgas	40	Kein Realverbrauch	
Benediktinerplatz	5	78462	Museum		Fernwärme	Nicht zuzuordnen	Kein Realverbrauch	
Benediktinerplatz	6	78462	Schule		Fernwärme	Nicht zuzuordnen	Kein Realverbrauch	
Stadtgarten	1	78462	Veranst		Erdgas	Nicht zuzuordnen	Kein Realverbrauch	

### Anhang 3: Karten für das Stadtgebiet

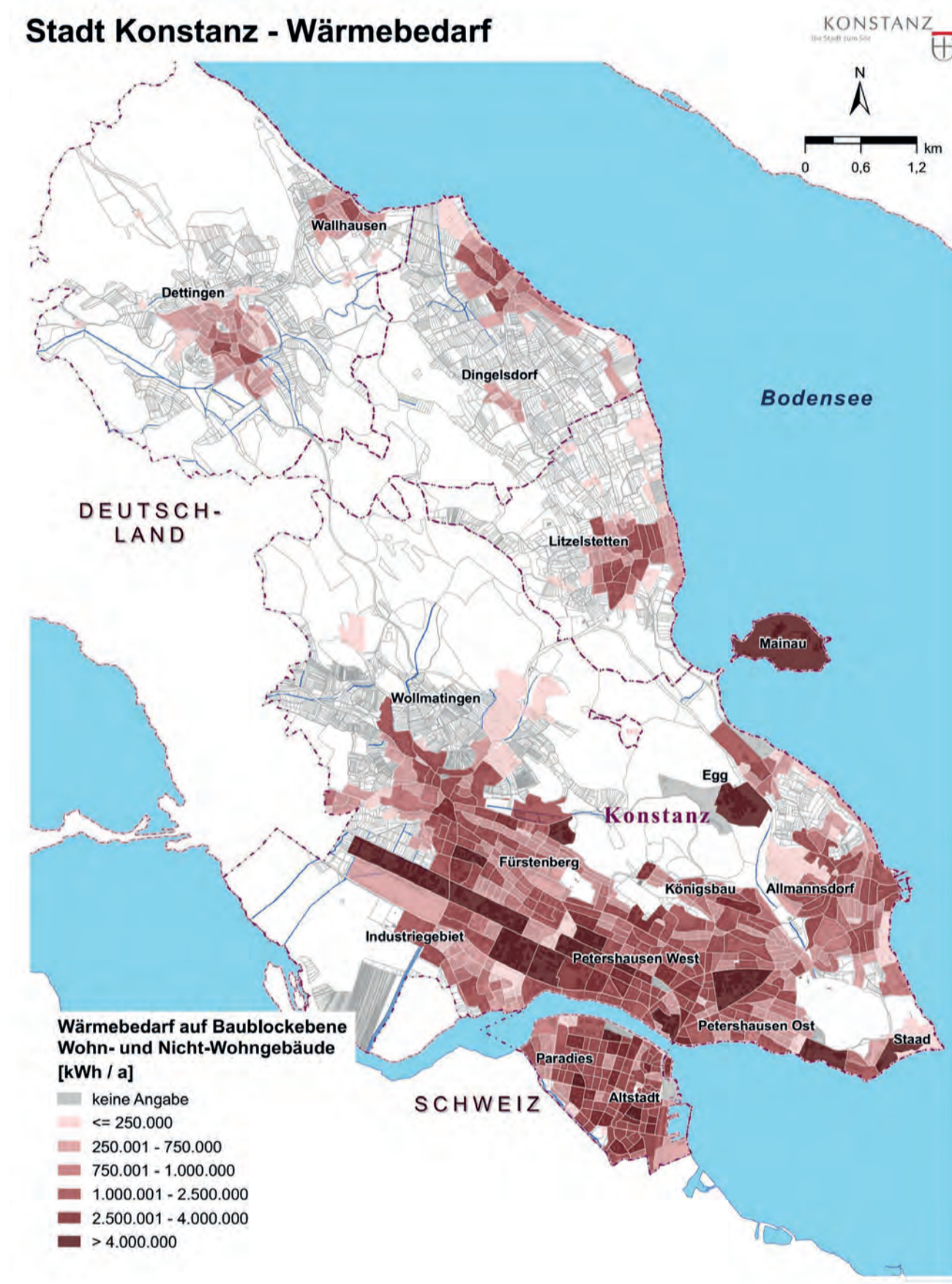
#### Karte 1 – Wärmedichten Konstanz

Karte 1 zeigt die Wärmedichten der Straßenzüge von Konstanz in kWh/a pro Meter Straßenzug. Bei der Berechnung wurde auf die erfassten Gasverbrauchswerte der SWK zurückgegriffen (verbrauchsorientierte Aufstellung).



Karte 2 – Wärmebedarf auf Baublockebene

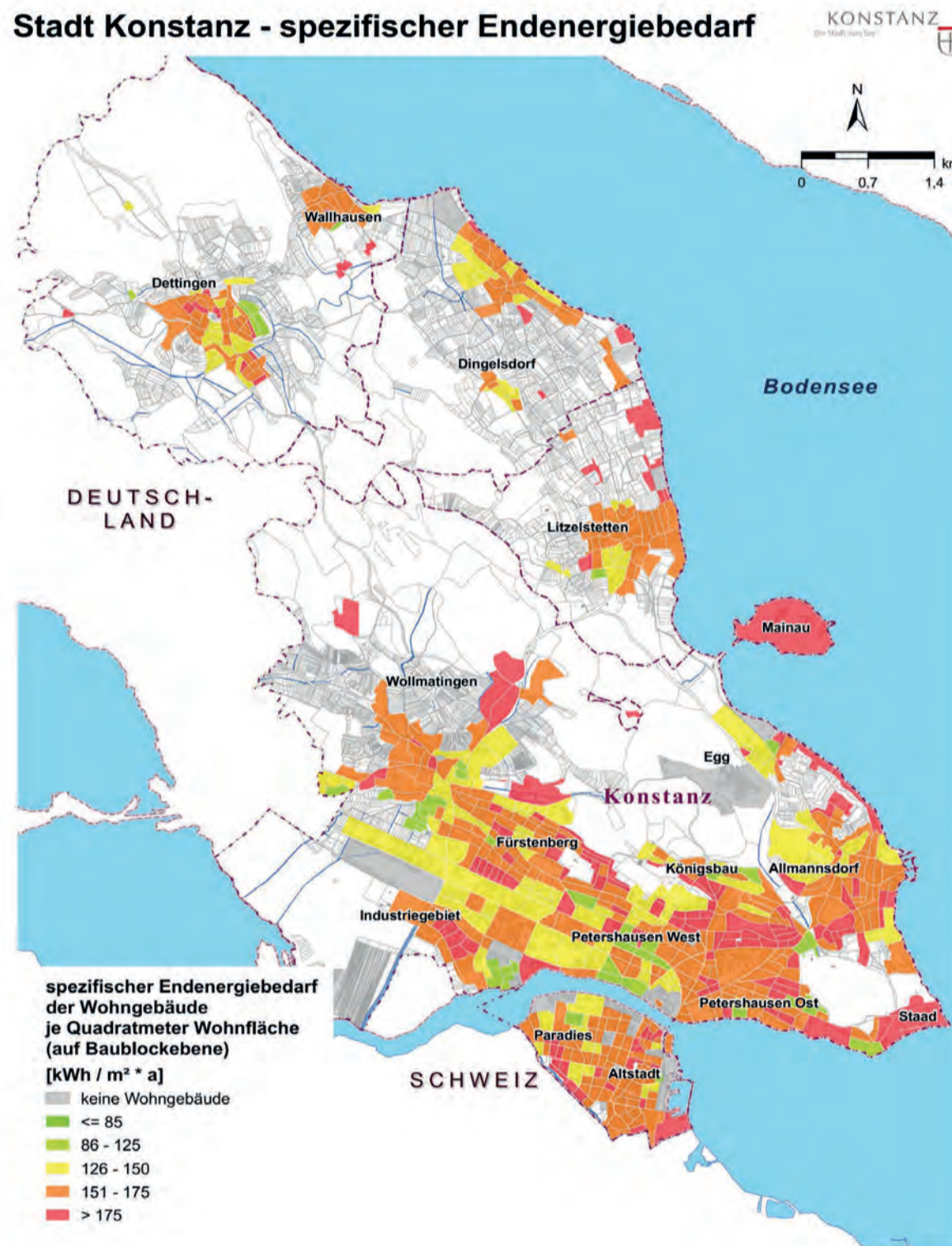
Auf Karte 2 ist der Wärmebedarf auf Baublockebene dargestellt. Angegeben wird der absolute Wärmebedarf in kWh/a pro Baublock.



Anhang 3: Karten für das Stadtgebiet

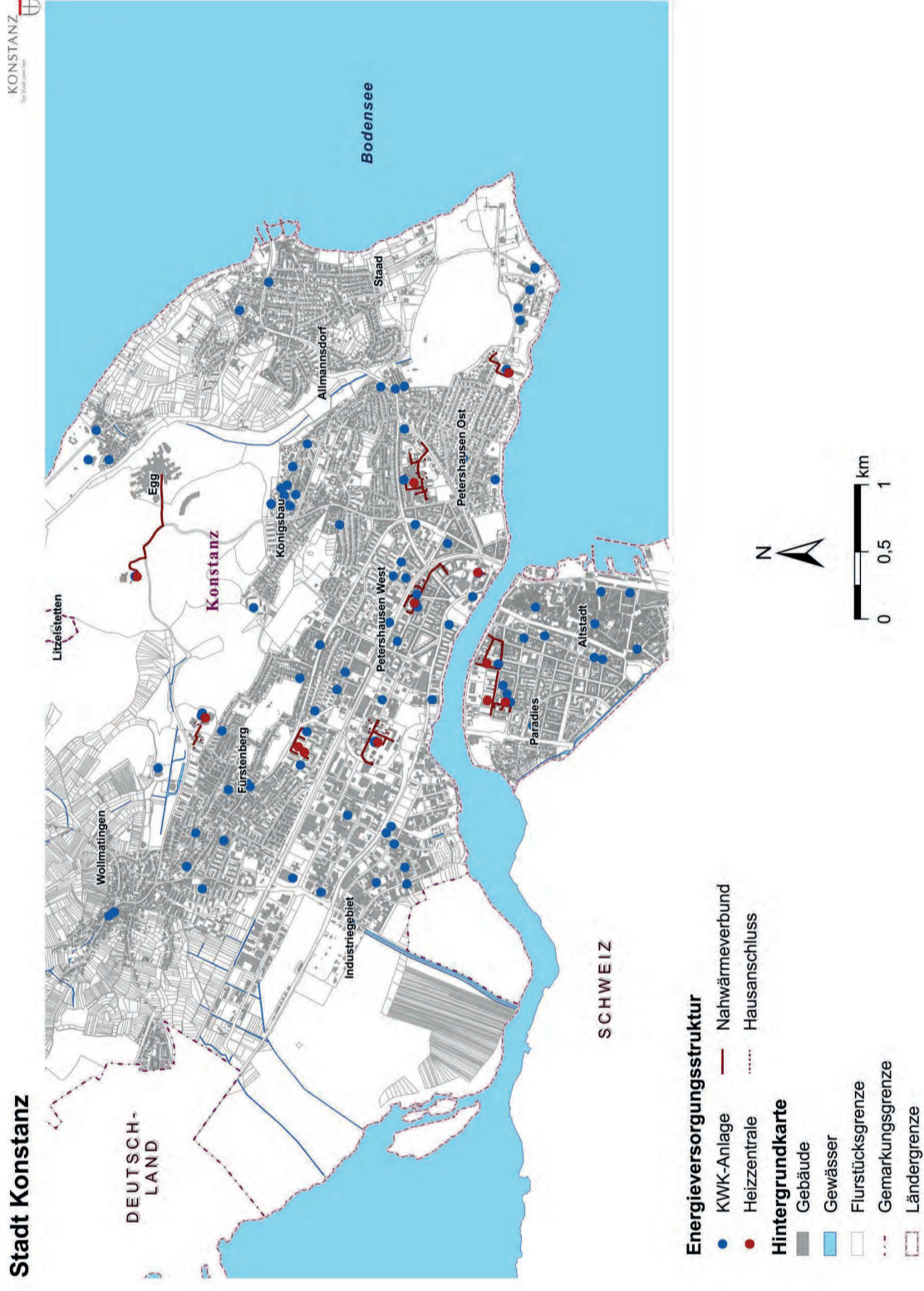
**Karte 3: Spezifischer Endenergiebedarf auf Baublockebene**

Auf der Karte 3 ist der spezifische Endenergiebedarf der Wohngebäude in Konstanz auf Baublockebene dargestellt. Der spezifische Endenergiebedarf bezeichnet den Wärmebedarf von Haushalten in kWh pro m<sup>2</sup> Wohnfläche und Jahr.



#### Karte 4 – Energieversorgungsstruktur

Die Karte 4 zeigt die KWK-Anlagen und Heizzentralen der Stadt Konstanz sowie die installierten Wärmenetze. Dabei sind für die Wärmenetze lediglich die Hauptstränge eingezeichnet, die eingezeichneten Hausanschlüsse markieren die Eintrittspunkte des Verteilnetzes in das jeweilige Gebäude.





Karte 5: Potenzial Abwasserwärmenutzung

Auf Karte 5 ist das Potenzial zur Abwasseremutzung in Konstanz zu sehen. Markiert wurde die Fläche von 100 m um das jeweilige Abwassernetz.



Karte 6: Schwerpunktgebiete

Auf Karte 6 sind die in Abschnitt 6.1 beschriebenen Schwerpunktgebiete zu sehen.



Anhang 3: Karten für das Stadtgebiet

Karte 7: Neubaugebiete

Karte 7 zeigt eine Übersicht der in Abschnitt 6.2 betrachteten Neubaugebiete.



## Quellen

ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR SPARSAMEN UND UMWELTFREUNDLICHEN ENERGIE-  
VERBRAUCH E.V. (ASUE) 2015: BHKW Kenndaten 2014/2015

[https://asue.de/sites/default/files/asue/themen/blockheizkraftwerke/2014/broschue-  
ren/05\\_10\\_14\\_bhkw\\_kenndaten\\_leseprobe.pdf](https://asue.de/sites/default/files/asue/themen/blockheizkraftwerke/2014/broschue-<br/>ren/05_10_14_bhkw_kenndaten_leseprobe.pdf) (zugegriffen am 20.07.2018)

ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR SPARSAMEN UND UMWELTFREUNDLICHEN ENERGIE-  
VERBRAUCH E.V. (ASUE) 2011: Virtuelle Kraftwerke

[https://www.asue.de/sites/default/files/asue/themen/blockheizkraftwerke/2011/broschue-  
ren/05\\_12\\_10\\_asue-virtuelle-kraftwerke-0211.pdf](https://www.asue.de/sites/default/files/asue/themen/blockheizkraftwerke/2011/broschue-<br/>ren/05_12_10_asue-virtuelle-kraftwerke-0211.pdf) (zugegriffen am 31.07.2018)

ASUE 2016: Brennstoffzellen für die Hausenergieversorgung

[https://asue.de/sites/default/files/asue/themen/umwelt\\_klimaschutz/2016/broschue-  
ren/asue\\_factsheet\\_brennstoffzelle\\_web\\_02\\_105.jpg](https://asue.de/sites/default/files/asue/themen/umwelt_klimaschutz/2016/broschue-<br/>ren/asue_factsheet_brennstoffzelle_web_02_105.jpg) (zugegriffen am 31.07.2018)

BODENSEE-STIFTUNG 2018: Biomassepotenziale

BP 2018: Statistical Review of World Energy 2018

[https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-re-  
view/bp-stats-review-2018-full-report.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-re-<br/>view/bp-stats-review-2018-full-report.pdf) (zugegriffen am 17.07.2018)

BUNDESBAUBLATT 2015: Wärmedämmung mit Bodyguard

[http://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb\\_Waermedaemmung\\_mit\\_Body-  
guard\\_\\_2473152.html](http://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb_Waermedaemmung_mit_Body-<br/>guard__2473152.html) (zugegriffen am 30.07.2018)

B.&S.U. BERATUNGS- UND SERVICE-GESELLSCHAFT UMWELT MBH: Der European  
Energy Award

<https://www.european-energy-award.de/european-energy-award/> (zugegriffen am  
18.07.2018)

BUNDESMINISTERIUM FÜR FINANZEN 2000: AfA-Tabelle für die allgemein verwendbaren  
Anlagegüter

[http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Wei-  
tere\\_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/2000-12-15-afa-103.pdf?\\_\\_blob=publica-  
tionFile&v=1](http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Wei-<br/>tere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/2000-12-15-afa-103.pdf?__blob=publica-<br/>tionFile&v=1)

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, BAU UND REAKTORSICHERHEIT 2017: Klima-  
schutz in Zahlen: Der Sektor Verkehr

[https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutz\\_in\\_zah-  
len\\_verkehr\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutz_in_zah-<br/>len_verkehr_bf.pdf) (zugegriffen am 07.08.2018)

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, BAU UND REAKTORSICHERHEIT 2016: Klima-  
schutzplan 2050

[https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan\\_2050\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf) (zugegriffen am 28.08.2018)

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE 2017: Energieeffizienz in Zahlen

[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=10](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen.pdf?__blob=publicationFile&v=10) (zugegriffen am 20.07.2018)

BUNDESNETZAGENTUR 2018: EEG-Registerdaten und EEG Fördersätze

[https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG\\_Registerdaten/EEG\\_Registerdaten\\_node.html;jsessionid=B856B2EF1E7BB9C3C339E9F7663F41F4#\[Mieter\]](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG_Registerdaten/EEG_Registerdaten_node.html;jsessionid=B856B2EF1E7BB9C3C339E9F7663F41F4#[Mieter]) (zugegriffen am 20.08.2018)

BUNDESNETZAGENTUR: Mieterstrom

[https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Verbraucher/Vertragsarten/Mieterstrom/Mieterstrom\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Verbraucher/Vertragsarten/Mieterstrom/Mieterstrom_node.html) (zugegriffen am 20.08.2018)

BUNDESVERBAND MITTELSTÄNDISCHE WIRTSCHAFT 2012: Positionspapier Energiewende

<https://www.bvmw.de/fileadmin/pdf-archiv/Positionspapier-Energiewende.pdf> (zugegriffen am 17.07.2018)

CO2 ONLINE (Autoren Simons/Franken): Brennstoffzellen-Heizung: Von Preis und Kosten nicht abschrecken lassen.

<https://www.co2online.de/modernisieren-und-bauen/brennstoffzellen-heizung/brennstoffzellen-heizung-kosten-preise/> (zugegriffen am 31.07.2018)

CO2 ONLINE: Stromverbrauch im 4-personen Haushalt

<https://www.stromspiegel.de/stromkosten/stromverbrauch-im-haushalt/4-personen-haushalt/> (zugegriffen am 01.08.2018)

DEUTSCHE ENERGIEAGENTUR (DENA) 2017: dena-Gebäudereport: Sanierungsrate weiterhin viel zu gering

<https://www.dena.de/de/newsroom/meldungen/2017/dena-gebaeudereport-sanierungsrate-weiterhin-viel-zu-gering/> (zugegriffen am 18.07.2018)

DEUTSCHE ENERGIEAGENTUR (DENA) 2015: Der dena-Gebäudereport 2015

[https://www.zukunft-haus.info/fileadmin/zukunft-haus/publikationen/dena-Gebaeudereport\\_2015.pdf](https://www.zukunft-haus.info/fileadmin/zukunft-haus/publikationen/dena-Gebaeudereport_2015.pdf) (zugegriffen am 18.07.2018)

DEUTSCHE ENERGIEAGENTUR (DENA) 2013: Sektorenübergreifende Systemlösung Power-to-Gas

<http://www.powertogas.info/power-to-gas/sektoreneuebergreifende-systemloesung/> (zugegriffen am 31.07.2018)

DEUTSCHES BIOMASSEFORSCHUNGSZENTRUM gGMBH 2014: Technisch-ökonomische Begleitforschung zu Bioenergie-Regionen 2.0

DIE BUNDESREGIERUNG: Energiewende. Fragen und Antworten  
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/fragen-und-antworten/allgemeines/warum--455344> (zugegriffen am 20.11.2018)

DOELLING, ROBERT (ENERGIE-EXPERTEN.ORG): So funktioniert eine Brennstoffzellen-Heizung  
<https://www.energie-experten.org/heizung/brennstoffzelle/brennstoffzellen-heizung.html#c12742> (zugegriffen am 26.07.2018)

EBÖK 2017: Energiestandards und Wärmeversorgung in Konstanz, Arbeitspapier zur Vorbereitung des Themen Workshops „Energieeffizientes Bauen“

ENERGIEHELD GMBH: Kosten einer Pelletheizung – mit Förderung und Amortisation  
<https://www.energieheld.de/heizung/pelletheizung/kosten> (zugegriffen am 23.07.2018)

ENERGIEHELD GMBH: Energieverbrauch – Welche Werte sind normal?  
<https://www.energieheld.de/blog/energieverbrauch-eines-wohnhauses/> (zugegriffen am 01.08.2018)

EUROPÄISCHE UNION 2014: Energie  
[https://europa.eu/european-union/topics/energy\\_de](https://europa.eu/european-union/topics/energy_de) (zugegriffen am 17.07.2018)

EUWID 2017: 5 Nachteile von Power-to-Gas  
<https://www.euwid-energie.de/5-nachteile-von-power-to-gas/#3/4/> (zugegriffen am 31.07.2018)

EWI ENERGY RESEARCH & SCENARIOS GGMBH 2017: Energiemarkt 2030 und 2050 – Der Beitrag von Gas - und Wärmeinfrastruktur zu einer effizienten CO<sub>2</sub>-Minderung  
[https://www.ewi.research-scenarios.de/cms/wp-content/uploads/2017/11/ewi\\_ERS\\_Energiemarkt\\_2030\\_2050.pdf](https://www.ewi.research-scenarios.de/cms/wp-content/uploads/2017/11/ewi_ERS_Energiemarkt_2030_2050.pdf), (zugegriffen am 29.08.2018)

FRANKFURTER ALLGEMEINE ZEITUNG (FAZ) 2013: Geothermieprojekt nach Erdbeben vorerst gestoppt  
<http://www.faz.net/aktuell/gesellschaft/schweiz-geothermieprojekt-nach-erdbeben-vorerst-gestoppt-12289959.html> (zugegriffen am 02.08.2018)

FRANKFURTER RUNDSCHAU 2017: Energetische Sanierung kommt nicht voran  
<http://www.fr.de/wirtschaft/deutsche-energieagentur-energetische-sanierung-kommt-nicht-voran-a-745129> (zugegriffen am 18.07.2018)

GETEC 2018: Mit Dampfkraft Strom erzeugen

<https://www.getec-energyservices.com/Start/Technologien/ORC-Prozess/> (zugegriffen am 25.11.2018)

INSTITUT FÜR WOHNEN UND UMWELT 2015: Möglichkeiten der Wohnungswirtschaft zum Einstieg in die Erzeugung und Vermarktung elektrischer Energie

[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/ake50\\_mmieterstrom/Behr\\_Mieters-trom\\_BBSR.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/ake50_mmieterstrom/Behr_Mieters-trom_BBSR.pdf) (zugegriffen am 20.08.2018)

INTERNATIONALE GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE 2014: Bodenseerichtlinien 2005

[https://www.igkb.org/fileadmin/user\\_upload/dokumente/die\\_igkb/Bodensee-Richtlinien\\_2005\\_2015.pdf](https://www.igkb.org/fileadmin/user_upload/dokumente/die_igkb/Bodensee-Richtlinien_2005_2015.pdf) (zugegriffen am 22.08.2018)

KLIMABÜNDNIS: Kommunaler Klimaschutz

<http://www.klimabuendnis.org/ueber-uns/klimaschutz/kommunaler-klimaschutz.html> (zugegriffen am 17.07.2018)

KLIMASCHUTZ- UND ENERGIEAGENTUR BADEN-WÜRTTEMBERG GMBH (KEA) : CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren

<http://www.kea-bw.de/service/emissionsfaktoren/> (zugegriffen am 18.07.2018)

KÜHN, UWE: Lebensdauer (von Solaranlagen)

<http://www.solarindex-buseck.de/index.php?page=95> (zugegriffen am 16.08.2018)

LUBW – LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG: Thermische Nutzung von Bodenseewasser Bodensee – Richtlinie und Grundlagen

[https://www.energieagentur-ravensburg.de/fileadmin/redakteur/pdf/Bildung/2016\\_02\\_11\\_IGKB-Richtlinien-Waermenutzung\\_Energieagentur-ohne-bilder.pdf](https://www.energieagentur-ravensburg.de/fileadmin/redakteur/pdf/Bildung/2016_02_11_IGKB-Richtlinien-Waermenutzung_Energieagentur-ohne-bilder.pdf) (zugegriffen am 14.08.2018)

LUPOTHERM 2003: Luft in kleinen Waben

<http://www.lupotherm.com/publikationen/waermedaemmung-luft-in-kleinen-waben-ddh-072003/> (zugegriffen am 31.07.2018)

MANAGEMENT UND KRANKENHAUS 2008: Energie sparendes Krankenhaus: Klinikum Konstanz erhält Gütesiegel vom BUND (Artikel vom 01.11.2008)

<https://www.management-krankenhaus.de/topstories/facility-management/energie-sparendes-krankenhaus-klinikum-konstanz-erhaelt-guetesiegel-v> (zugegriffen am 20.09.2018)

MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT 2017: Klimaschutz in Zahlen

[https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz\\_in\\_zahlen\\_2017\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz_in_zahlen_2017_bf.pdf) (zugegriffen am 17.07.2018)

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG 2015: Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWärmeG)  
<https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/neubau-und-gebauedesanierung/erneuerbare-waerme-gesetz-2015/> (zugegriffen am 25.07.2018)

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG: EWärmeG, Erfüllungsoptionen für Wohngebäude  
<https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/neubau-und-gebauedesanierung/erneuerbare-waerme-gesetz-2015/erfuellungsoptionen-wohngebaeude/> (zugegriffen am 12.09.2018)

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG: Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg  
<https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimaschutz-in-baden-wuerttemberg/klimaschutzgesetz/> (zugegriffen am 17.07.2018)

MISSAL, PETER 2014: Power-to-Gas: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Sensitivitätsanalyse  
[https://www.swk-kl.de/fileadmin/data/downloads/pdfs/Energieforum/Vortrag\\_Missal\\_fuer\\_Internet.pdf](https://www.swk-kl.de/fileadmin/data/downloads/pdfs/Energieforum/Vortrag_Missal_fuer_Internet.pdf) (zugegriffen am 31.07.2018)

NEXT KRAFTWERKE 2017: Die Energiewende ist das beste Friedensprojekt auf der Welt  
<https://www.next-kraftwerke.de/energie-blog/energiewende-friedensprojekt> (zugegriffen am 27.07.2018)

OEBBEKE 2016: Urteil: Verbot von Werbeaussagen zum Dämmstoff „Lu..po. Therm B2+8“ bestätigt  
<https://www.baulinks.de/webplugin/2016/1203.php4> (zugegriffen am 31.07.2018)

ÖKO-INSTITUT, TRANSPORT AND MOBILITY LEUVEN, TNO, TRINOMICS 2016: Electric Mobility In Europe – Future impact on the emissions and the energy systems  
<https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Assessing-the-status-of-electrification-of-the-road-transport-passenger-vehicles.pdf> (zugegriffen am 20.07.2018)

ÖKO-INSTITUT 2017: Klimaschutzziel und -strategie München 2050  
[https://www.muenchen.de/rathaus/dam/jcr:8fab7200-cc0b-4e9b-8a9a-319d459e1a57/fachgutachten\\_2050.pdf](https://www.muenchen.de/rathaus/dam/jcr:8fab7200-cc0b-4e9b-8a9a-319d459e1a57/fachgutachten_2050.pdf) (zugegriffen am 22.08.2018)

ÖGUT 2011: Kennzahlen zum Energieverbrauch in Dienstleistungsgebäuden  
[https://www.oegut.at/downloads/pdf/e\\_kennzahlen-ev-dlg\\_zb.pdf](https://www.oegut.at/downloads/pdf/e_kennzahlen-ev-dlg_zb.pdf), zugegriffen am 29.08.2018

PHOTOVOLTAIK.ORG: Performance Ratio  
<http://www.photovoltaik.org/wissen/performance-ratio> (zugegriffen am 07.08.2018)

PHOTOVOLTAIK-WEB.DE: Einsatzbereiche und Hersteller von PV-Folien



<https://www.photovoltaiik-web.de/photovoltaik/module/sondermodule/solarfolien-pv-folien> (zugegriffen am 30.07.2018)

POLARSTERN: Mehr Wert für Immobilien mit wirklich besserer Energie. Wirklich Mieterstrom.  
[https://www.polarstern-energie.de/fileadmin/files/mieterstrom/PDF\\_Mieterstrom\\_2018.pdf](https://www.polarstern-energie.de/fileadmin/files/mieterstrom/PDF_Mieterstrom_2018.pdf)  
(zugegriffen am 20.08.2018)

PROGNOS 2005: Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030  
[https://www.prognos.com/fileadmin/pdf/Energiereport%20IV\\_Kurzfassung\\_d.pdf](https://www.prognos.com/fileadmin/pdf/Energiereport%20IV_Kurzfassung_d.pdf) (zugegriffen am 25.07.2018)

PROGNOS AG, ENERGIEWIRTSCHAFTLICHES INSTITUT AN DER UNIVERSITÄT ZU KÖLN, GESELLSCHAFT FÜR WIRTSCHAFTLICHE STRUKTURFORSCHUNG MBH 2014: Entwicklung der Energiemärkte - Energiereferenzprognose, Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie  
[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose-endbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose-endbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=7) (zugegriffen am 22.08.2018)

PV FINANCING: Geschäftsmodelle mit PV-Mieterstrom  
[https://www.pv-mieterstrom.de/wp-content/uploads/2016/11/PV\\_Financing\\_Mieterstrom.pdf](https://www.pv-mieterstrom.de/wp-content/uploads/2016/11/PV_Financing_Mieterstrom.pdf)  
(zugegriffen am 20.08.2018)

PYÖRY DEUTSCHLAND GMBH / LUDWIG-BÖLKOW-SYSTEMTECHNIK GMBH 2016: Integriertes Klimaschutzkonzept der Stadt Konstanz (beauftragt von der Stadt Konstanz)  
<http://www.konstanz.de/umwelt/01064/01083/07339/index.html> (zugegriffen am 22.08.2018)

RÖSEMEIER, JÜRGEN: Nachhaltige Wärme-Dämmung: Auch auf graue Energie achten  
<https://www.ecowoman.de/25-haus-garten/758-nachhaltige-waermedaemmung> (zugegriffen am 30.07.2018)

RP ENERGIE LEXIKON: Volllaststunden  
<https://www.energie-lexikon.info/volllaststunden.html> (zugegriffen am 25.07.2018)

RWI 2012: Datenauswertung zum Energieverbrauch der privaten Haushalte differenziert nach Gebäudemerkmale  
[http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-projektberichte/PB\\_Datenauswertung-Energieverbrauch-privHH.pdf](http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-projektberichte/PB_Datenauswertung-Energieverbrauch-privHH.pdf) (zugegriffen am 02.08.2018)

SOLAROAD: The SolaRoad Kit  
<https://en.solaroad.nl/solaroad-kit/> (zugegriffen am 30.07.2018)

SOLARENNER: Folienmodule  
<https://www.shop-muenchner-solarmarkt.de/solarmodule/folien-module/> (zugegriffen am 30.07.2018)

SPIEGEL 2012: Von Biokohle bis Drachen-Power

<http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/hannover-messe-technik-fuer-die-energie-wende-a-829607-3.html> (zugegriffen am 31.07.2018)

STADT KONSTANZ: European Energy Award

<http://www.konstanz.de/umwelt/01064/01083/04123/index.html> (zugegriffen am 17.07.2018)

STADT KONSTANZ: 2.000-Watt-Gesellschaft

<http://www.konstanz.de/umwelt/01064/01083/04124/index.html> (zugegriffen am 17.07.2018)

STADT KONSTANZ: Integriertes Klimaschutzkonzept

<http://www.konstanz.de/umwelt/01064/01083/07339/index.html> (zugegriffen am 17.07.2018)

STATISTA 2018: Entwicklung der Reallöhne, der Nominallöhne und der Verbraucherpreise in Deutschland von 2008 bis 2017 (gegenüber dem Vorjahr)

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/384228/umfrage/entwicklung-der-realloehne-nominalloehne-und-verbraucherpreise-in-deutschland/> (zugegriffen am 29.08.2018)

TOPAGRARONLINE 2011: Erste Biokohle ab 2012 am Markt

<https://www.topagrar.com/news/Energie-News-Erste-Biokohle-ab-2012-am-Markt-100132.html> (zugegriffen am 31.07.2018)

UMWELTBUNDESAMT 2013: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2012

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/climate\\_change\\_07\\_2013\\_icha\\_co2emissionen\\_des\\_dt\\_strommixes\\_webfassung\\_barrierefrei.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/climate_change_07_2013_icha_co2emissionen_des_dt_strommixes_webfassung_barrierefrei.pdf) (zugegriffen am 18.07.2018)

UMWELTBUNDESAMT 2017: KWK-Nettostromerzeugung nach Energieträgern

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/kraft-waerme-kopplung-kwk#textpart-3> (zugegriffen am 26.07.2018)

UMWELTBUNDESAMT 2018: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2017

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-04\\_climate-change\\_11-2018\\_strommix-2018\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-04_climate-change_11-2018_strommix-2018_0.pdf) (zugegriffen am 25.07.2018)

UMWELTBUNDESAMT 2018: Stromverbrauch

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/stromverbrauch> (zugegriffen am 01.08.2018)

UMWELTBUNDESAMT 2018: Europäische Energie- und Klimaziele

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/europaeische-energie-klimaziele> (zugegriffen am 17.07.2018)

VBW MAGAZIN (MAGAZIN DES VERBANDES BADEN-WÜRTTEMBERGISCHER WOHNUNGS- UND IMMOBILIENUNTERNEHMEN E.V.) 2016: Besondere Anerkennung für den Bahnhof Petershausen

[https://www.vbw-online.de/fileadmin/user\\_upload/dokumente/Publikationen/Magazin\\_aktuell/aktuell\\_1\\_2016.pdf](https://www.vbw-online.de/fileadmin/user_upload/dokumente/Publikationen/Magazin_aktuell/aktuell_1_2016.pdf) (zugegriffen am 01.08.2018)

VDI VERLAG: Mini-Kraftwerk erzeugt Strom in jedem Bach oder Fluss

<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/mini-kraftwerk-erzeugt-strom-in-bach-fluss/> (zugegriffen am 30.07.2018)

WALBERG ET AL (ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR ZEITGEMÄSSES BAUEN E.V.) 2015: Kostentreiber für den Wohnungsbau

[https://www.impulse-fuer-den-wohnungsbau.de/fileadmin/images/Studien/kostentreiber/kostentreiber-fuer-den-wohnungsbau\\_studie.pdf](https://www.impulse-fuer-den-wohnungsbau.de/fileadmin/images/Studien/kostentreiber/kostentreiber-fuer-den-wohnungsbau_studie.pdf) (zugegriffen am 07.09.2018)

### Quellen Kostenannahmen

#### Kosten Geothermie

- 50€ pro m für die Bohrung  
Quelle: <https://www.kaeufportal.de/energie/erdwaermepumpen/bohrung-kosten/>
- 16.400€ für die Anlage  
<http://www.umweltbewusst-heizen.de/Heizungsvergleich/Waermepumpe/Wirtschaftlichkeitsrechnung/Kosten-Wirtschaftlichkeit-Waermepumpe-Erdwaerme.html>

#### Stromkosten Wärmepumpen

- Arbeitspreis netto 17,43 ct/kWh
- Grundpreis netto 139,62 €/a  
Quelle: <https://www.stadtwerke-konstanz.de/energie-und-wasser/strom/seeenergie-tarife/waermepumpe/>

#### Luftwärmepumpe

- 3 kW kosten 8.000 €, 16 kW: 13.500 € (weitere Werte extrapoliert)
- Wärmespeicher: zwischen 2.250 € (200l) und 3.250 € (400l)
- Anschlussarbeiten, Lieferung und Montage (ca. 2.000 €)  
Quelle: <http://www.wegatech.de/ratgeber/waermepumpe/kosten-und-wirtschaftlichkeit/uebersicht/>>
- Betriebskosten: Jahresarbeitszahl 2,4 für Warmwasser und 2,8 für Wärme  
Quelle: <https://blog.paradigma.de/wie-berechnet-man-den-stromverbrauch-einer-waermepumpe/>

#### Gaspreis

STADTWERKE KONSTANZ 2018: Seeenergie Erdgasonline

<https://www.stadtwerke-konstanz.de/energie-und-wasser/erdgas/seeenergie-tarife/erdgasonline/> (zugegriffen am 19.07.2018)