
Energiebilanz Region Freiburg 2.0



Auftraggeber: Stadt Freiburg
Rathausplatz 2-4
79098 Freiburg

Auftragnehmer: Energieagentur Regio Freiburg GmbH
Wilhelmstraße 20 a
79098 Freiburg

Bearbeiter: Arne Blumberg (Energieagentur Regio Freiburg)

Datum: 06.12.2023

Inhalt

1.	Die Energiewende regional gestalten	3
1.1	Eine gemeinsame Energiebilanz für die Region.....	3
1.2	Kernaussagen	3
2.	Energiebilanz Region Freiburg 2.0.....	6
2.1	Hinweis zur Aktualisierung	6
2.2	Statistische Daten zur Region	7
2.3	Überblick: Energiebilanz und Potenziale	8
2.4	Energiebilanz und Potenziale für Wärme, Strom und Kraftstoffe.....	13
2.5	Energiebilanz nach Sektoren und Energieträgern	16
2.6	Auswirkungen auf die THG-Emissionen.....	20
2.7	Ökonomische Auswirkungen	21
3.	Erläuterungen zum Vorgehen	22
3.1	Effizienz- / Einsparpotenziale.....	22
3.2	Potenziale Regenerativer Energien.....	24
4.	Anhang	30
4.1	Abkürzungsverzeichnis	30
4.2	Quellenverzeichnis.....	31
4.3	Detailtabellen.....	32
4.4	Übersichten der drei Kreise	34

„Es gilt die Kohle aus unserer Energieversorgung auszuschalten und sie mit größtmöglicher Beschleunigung durch andere Energieträger zu ersetzen.“
(Hans Günter, In hundert Jahren - die künftige Energieversorgung der Welt, 1931)

1. Die Energiewende regional gestalten

1.1 Eine gemeinsame Energiebilanz für die Region

Die Stadt Freiburg und die umliegenden Landkreise Emmendingen und Breisgau-Hochschwarzwald eint das gemeinsame Ziel, eine lebenswerte und künftig klimaneutrale Region zu gestalten. Die vorliegende Energiebilanz liefert eine Datengrundlage, die dabei helfen kann, dieses Ziel zu erreichen. Es handelt sich hierbei um eine Aktualisierung einer Veröffentlichung von 2012. Dargestellt werden eine aktualisierte Endenergiebilanz sowie Potenziale zur Einsparung von Energie und für den Einsatz erneuerbarer Energien.

Die Region ist bereits auf vielfältige Weise miteinander verbunden: bei Wirtschaft und Arbeitsplätzen wie auch Wohnungsmarkt, Kultur, Naherholung und Freizeitgestaltung. Es besteht ein reger Austausch an Waren und Dienstleistungen, viele Orte und Veranstaltungen ermöglichen zwischenmenschliche Begegnung. Die Städte und Gemeinden der Region profitieren dabei in großem Ausmaß voneinander.

Auch bei der Energieversorgung wächst die Region zusammen. So wurden auf dem Roßkopf Windenergieanlagen auf unterschiedlichen Gemarkungen in enger Zusammenarbeit der Genehmigungsbehörden errichtet. In Eschbach werden Abfälle aus der ganzen Region thermisch verwertet und dabei Strom erzeugt. Auch die Planungen zur Errichtung einer Tiefengeothermieanlage umfassen verschiedene Kreise. Ausgangspunkt ist der vergleichsweise hohe Wärmebedarf der Stadt Freiburg, doch würden vom Bau einer Wärmeleitung auch weitere, räumlich nahe liegende Gemeinden profitieren.

Es ist also sinnvoll, den Bedarf an Energie und die Potenziale zur Erzeugung klimaneutralen Stroms und Wärme über Stadt- und Landkreise hinweg zu betrachten. Diese sind unterschiedlich verteilt, doch zeigt sich, dass bei Energieeinsparung und dem Ausbau erneuerbarer Energien alle ihren Beitrag leisten können und auch müssen. Das trägt auch zur regionalen Wertschöpfung bei: Handwerksbetriebe und Planungsbüros in Stadt und Landkreisen setzen bereits tatkräftig die Energiewende vor Ort um und schaffen auf diese Weise Arbeitsplätze.

1.2 Kernaussagen

Ziel der vorliegenden Studie ist es darzustellen, wie die Region Freiburg vollständig mit erneuerbaren Energien versorgt werden kann. Eine solche „100 % Erneuerbare Energien-Region“ kann gelingen, wenn die im Folgenden gezeigten Potenziale zur Energieeinsparung, zur Effizienzsteigerung, wie auch zum Ausbau erneuerbarer Energien in der gesamten Region gehoben werden.

Hierbei steht die bilanzielle Selbstversorgung (also über das Jahr gerechnet) im Fokus. Absolute Energieautarkie zu jedem Zeitpunkt eines Jahres wird auf keiner politischen Ebene angestrebt, vielmehr die Vorteile eines (europaweit) verbundenen Energiesystems betont. Angesichts eines stockenden Stromnetzausbaus muss auch die Region Freiburg ihren Beitrag zur erneuerbaren Stromerzeugung leisten und dabei die regional vorhandenen Potenziale nutzen, insbesondere bei der Photovoltaik und der Windkraft. Die Wärmeerzeugung muss hingegen vorrangig lokal bzw. regional betrachtet werden, da sich Wärme nur über kurze Strecken transportieren lässt.

Die im folgenden dargestellten Kennzahlen beziehen sich auf das Jahr 2018, aus dem die aktuellsten, für die Stadt sowie die Landkreise vergleichbare Daten zur Verfügung stehen. Zudem werden so die Verwerfungen des Energiemarktes aufgrund von Pandemie und Krieg in der Ukraine nicht aufgenommen. Die Stadt Freiburg wie auch die Landkreise Emmendingen und Breisgau-Hochschwarzwald wachsen beständig. Stand 2023 leben in der Region etwa 673.000 Einwohner_innen, auf einer Fläche von ca. 2.200 km².

Derzeitige Energiebilanz

Der Verbrauch an Endenergie in der Region Freiburg betrug 2018 witterungsbereinigt 15,7 Terawattstunden (TWh). Knapp über die Hälfte dieser Energiemenge wurde im Sektor Wärme aufgewandt (insbesondere zu Heizzwecken und für industrielle Prozesse), gefolgt von Verkehr und Strom (Kap. 2.4).

Der Endenergieverbrauch je Einwohner liegt für alle drei Kreise unterhalb des deutschlandweiten Durchschnitts von 30 Megawattstunden pro Jahr (MWh/EW/a). Dies liegt in Summe an niedrigeren Verbräuchen bei Verkehr und Industrie. Die Haushalte verbrauchen pro Kopf mit 7,8 Megawattstunden pro Jahr genauso viel wie im deutschen Durchschnitt

Auf die Region gerechnet entfallen je 31 Prozent der verbrauchten Endenergie auf Verkehr und private Haushalte und je 18 Prozent auf Industrie und Gewerbe. Unter den eingesetzten Energieträgern dominieren weiterhin die fossilen. Zugleich ist in allen Kreisen erkennbar, dass zunehmend Wärme aus erneuerbaren Quellen eingesetzt wird (Kap. 2.5).

Die zuletzt für die gesamte Region erhobene Endenergiebilanz betrug für das Jahr 2010 11,1 Terawattstunden/ Jahr, ohne Verkehr. Die gleichen Sektoren betrachtend stehen dem 10,75 Terawattstunden/ Jahr im Jahr 2018 gegenüber. Angesichts steigender Einwohner_innenzahlen sinkt also der Energieverbrauch pro Kopf leicht, eine Trendwende hin zur absoluten Einsparung an Energie ist aber noch nicht ersichtlich.

Potenziale zur Einsparung von Energie

Die Einsparung von Energie ist das oberste Ziel der Energiewende. Eine Reduktion ist vor allem bei Wärme- und Kraftstoffverbrauch möglich, durch die Dämmung von Gebäuden, effizientere Industrieprozesse und Heizungstechnik oder der Nutzung alternativer Antriebstechnologien bzw. Mobilitätsangebote. Beim Strom ist dagegen von steigendem Verbrauch auszugehen. Dies liegt an dessen verstärkter Nutzung in den Bereichen Mobilität, Gebäudeheizung und industrielle Prozesse im Rahmen der Sektorkopplung.

Um – wie zum Beispiel in Freiburg beschlossen – bereits 2035 Klimaneutralität zu erreichen, sind immense Anstrengungen im Bereich Energieeinsparung notwendig. Dazu würden unter anderem eine durchschnittliche Sanierungsrate von 5 %, eine Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs um 25 Prozent sowie des Güterverkehrs um 10 Prozent gehören.

Die Einsparpotenziale liegen in der Region bei etwa 65 Prozent im Wärmesektor und bei etwa 88 Prozent im Verkehrssektor. Für den Stromsektor wird ein Anstieg um etwa 68 Prozent angenommen.

Potenziale zur Erzeugung erneuerbarer Energie

Die Region bietet vielfältige Potenziale zum Einsatz erneuerbarer Energie (Kap. 2.4). Bei gleichzeitiger Senkung des Energiebedarfs und einer tatsächlichen Hebung dieser Potenziale könnte sich die Region bilanziell (also über das Jahr gerechnet) klimaneutral mit Strom und Wärme versorgen und so gemeinsam das Ziel einer „100 % Erneuerbare Energien-Region“ erreichen.

Es zeigt sich, wie an vielen anderen Orten, dass die Großstadt darauf angewiesen ist, erneuerbare Energien auch aus dem Umland zu beziehen. Umso wichtiger ist es, dass die Stadt Freiburg die eigenen Potenziale zur Erzeugung erneuerbarer Energie vorbildlich realisiert und ihren Beitrag zur regionalen Energiewende leistet.

Das größte Erneuerbare Energie-Potenzial in der Region weist die Photovoltaik auf: 2.995 Gigawattstunden pro Jahr (GWh/a) auf Dächern und Fassaden, 1.807 GWh/a an Freiflächenanlagen. Für die Windkraft beträgt das Potenzial 2.956 GWh/a.

Im Bereich der Wärmeerzeugung bietet sich vor allem die Umweltwärme an, das Potenzial für oberflächennahe Geothermie und Umgebungsluft beträgt 2.115 GWh/a, gefolgt von der Tiefengeothermie mit 400 GWh/a. Das Tiefengeothermie-Potential ist dabei räumlich sehr ungleich verteilt und v.a. im Oberrheingraben vorhanden. Zu industrieller Abwärme liegen keine gesicherten Zahlen vor, dieses nicht zu unterschätzende Potenzial konnte hier nicht berücksichtigt werden. Der Vergleich von Potenzialen und künftig erwartetem Bedarf zeigt, dass insbesondere im Bereich Wärme der Großteil der potenziellen Quellen auch noch erschlossen werden müssen.

Auch Energiespeicher sind notwendig

Die vorliegende Energiebilanz entspricht in ihrer Methodik dem Vorgehen bei der Erstellung eines Klimaschutzkonzeptes. Es wurden Szenarien auf Basis von Jahreswerten gerechnet. Auf diese Weise konnte jedoch eine weitere wichtige Säule der Energiewende, die Energiespeicherung, nicht berücksichtigt werden. Die dafür notwendige Simulation mit stundenweisen Kennwerten zu Energieerzeugung, -speicherung und -transport kann im Rahmen dieser Aktualisierung nicht geleistet werden.

Nichtsdestotrotz soll an dieser Stelle auf die große Relevanz von Speichern hingewiesen werden. Mit zunehmendem Anteil an erneuerbaren Energien muss mehr Flexibilität im Energiesystem geschaffen werden, um auf variable Strom- und Wärmeerzeugung zu reagieren. Neben Strom- und Wärmespeichern gehören dazu auch regelbare Lasten (zum Beispiel bei Industrieprozessen), Anwendungen der Sektorkopplung wie E-Mobilität und eine Verstärkung der (über-)regionalen Netzinfrastruktur.

2. Energiebilanz Region Freiburg 2.0

2.1 Hinweis zur Aktualisierung

Die vorliegende Untersuchung benennt Potenziale und Bilanzen, die zusammengetragen, abgeschätzt oder hochgerechnet wurden. Ziel war die Aktualisierung der Energiebilanz Region Freiburg – Verbrauch und Potenziale [14], in der die Möglichkeit der bilanziellen Selbstversorgung mit den Zahlen von 2010 untersucht wurde. Der Autor weist darauf hin, dass die Ergebnisse keine Detailplanung ersetzen können und auch keinen Anspruch darauf erheben. Ferner wird auch kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben.

Dieses Dokument beschränkt sich auf die Änderungen gegenüber dem Bericht vom September 2012. Statistische Analysen oder Bereiche, die unverändert sind, sind hier nicht zu finden, sondern nur diese Thematik betreffende, relevante Unterschiede und neue Erkenntnisse – auch was die Potenzialerhebung betrifft.

Die Region strebt Klimaneutralität und keine Energieautarkie an. Nichtsdestotrotz sind viele Maßnahmen zur Erreichung eines der beiden Zustände deckungsgleich.

2.2 Statistische Daten zur Region

Tabelle 1: statistische Daten 2018 und Veränderungen seit 2010

	Stadt Freiburg	Emmendingen	Breisgau-Hochschwarzwald	Gesamt/ Durchschnitt
Fläche [km ²]	150	680	1.400	2.200
Einwohnerdichte [km ⁻¹]	1.500	240	190	300
Einwohner (gerundet) [1000]	230	170	260	660
Veränderung seit 2010	+ 2,3 %	+ 4,3 %	+ 3,7 %	+ 3,3 %
Wohngebäude [1000]	98	66	104	268
Belegungsdichte [EW/Geb.]	8,9	4,6	4,7	5,6
Erwerbstätige [1000]	170	75	120	240
Primärsektor [1000]	0,5 ↘	2 ↘	5 ↘	8 ↘
Sekundärsektor [1000]	19 ↘	26 ↗	35 ↗	80 ↗
Tertiärsektor [1000]	160 ↗	47 ↗	80 ↗	280 ↗

Rot = Verringerung seit 2010, Grün = Steigerung seit 2010



Abbildung 1: Einwohnerzahl und Fläche des Stadt- und der Landkreise im Jahr 2018

2.3 Überblick: Energiebilanz und Potenziale

Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse für die Region Freiburg zusammenfassend dargestellt. Zunächst die Endenergiebilanz des Ist-Zustandes aus dem Bilanzjahr 2018 (15,6 TWh/a), eine unter Ausschöpfung der Einsparpotenziale zukünftige Bilanz z. B. im Klimaneutralen Zustand (8,6 TWh/a), sowie die gesamten Energieerzeugungspotenziale (13,2 TWh/a) der Region in zwei verschiedenen Stapeln.

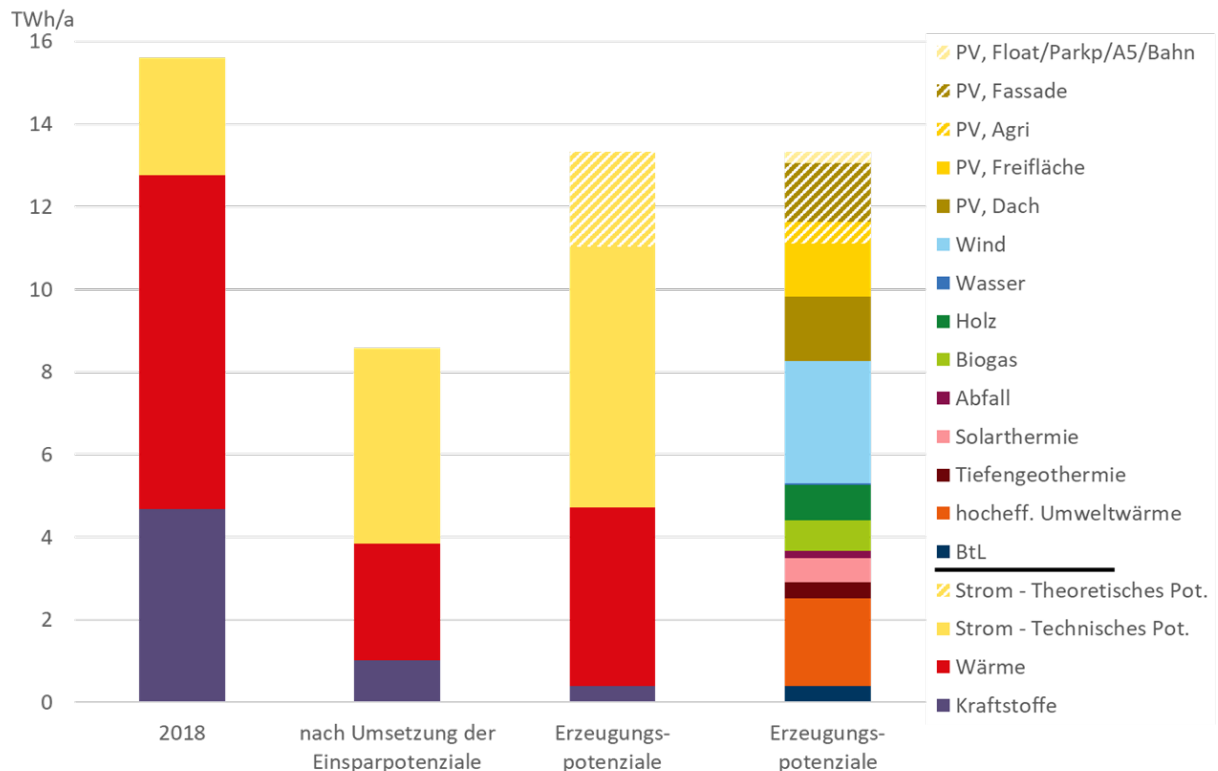


Abbildung 2: Endenergiebilanz der Region Freiburg 2018, eine Prognose und die Potenziale in der Region

Das gesamte Einsparpotenziale über alle Sektoren oder über alle Energieträger, wie dargestellt, liegt bei knapp über 45 % (ca. 7 TWh). Einsparungen sind auch in allen Sektoren nötig, um eine bilanzielle Selbstversorgung zu ermöglichen. Da auch der Ausbau erneuerbarer Energien einen Eingriff in die Umwelt darstellt, ist nicht deren Vollausbau prioritär, sondern die Einsparungen, insbesondere bei der Wärme und den Kraftstoffen. Auch beim Strom muss beim Ist-Verbrauch gespart werden, denn aufgrund der voraussichtlichen Elektrifizierungen in allen Sektoren ist mit einem Mehrbedarf (Steigerung von 2,8 TWh/a auf 4,5 TWh/a angenommen) bei anderen Verwendungszwecken zu erwarten.

Die gesamte Potenzialstapelhöhe ist beachtlich und ließe die bilanzielle Selbstversorgung zu – wenn der Ausbau erneuerbarer Energien einher geht mit Energieeinsparungen. Die größten Potenziale sind PV, Wind und oberflächennahe Geothermie, die zu hocheffizienter Umweltwärme zählt. Ein Ausbau der Netzinfrastruktur und Energiespeicherung wurden nicht betrachtet, müssen aber flankierend erfolgen, je nach Zusammensetzung des zukünftigen Energiemixes.

Tabelle 2: Endenergiebilanzen Ist und Soll (gerundet) im Überblick

Gesamtendenergiebilanz Region Freiburg	2018 TWh/a	Zustand „Klimaneutral“ TWh/a	Einsparpotenzial (Differenz)
Prozessenergie	9,1	6,3	2,8
Raumwärme	5,2	1,0	4,2
Raumkälte	0,1	0,3	-0,2
Warmwasser	1,3	1,0	0,3
Gesamt	15,7	8,6	7,1
Strom	2,8	4,7	-1,9
Wärme	8,1	2,8	5,3
Kraftstoffe	4,7	1,0	3,7
Gesamt	15,7	8,6	7,1

Tabelle 2 übersetzt Abbildung 2 in die Zahlenwerte (untere Zeilen) und dazu in vier Energieverwendungszwecke. Die Abschätzung der Einsparpotenziale erfolgte über diese Verwendungszwecke je Sektor (Haushalte, GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistung), Industrie und Verkehr). Der maßgebliche Treiber der Einsparungen je Verwendungszweck soll hier in einem bis zwei Stichworten beschrieben werden.

Prozessenergie: Effizienz

Raumwärme: Hüllendämmung, Effizienz (Heizungsmodernisierung)

Raumkälte: erhöhter Bedarf

Warmwasser: Effizienz und Optimierungen

Eine genauere Beschreibung zu den Einsparungen je Verwendungszweck und zu jedem Sektor finden sich im Kapitel 3.1. Suffizienz bedingte Einsparungen wurden nicht mit betrachtet, weil eine Transformation ohne Komfortverlust vorausgesetzt wurde. Ungeachtet dessen haben die Erfahrungen der „Lockdowns“ während der Coronapandemie sowie die Energiekrise 2022 gezeigt, dass Suffizienz einen großen nicht zu unterschätzenden Einfluss haben kann.

Tabelle 3 (Folgeseite) zeigt die Potenziale der Abbildung 2 im Zahlenüberblick. Zu beachten ist, dass nicht jedes Potenzial die gleiche Genauigkeit bei der Erhebung hatte und das unterschiedliche Kriterien herangezogen wurden. Das Biogaspotenzial könnte bspw. höher sein, aber hier wurde die Nahrungsmittelproduktion höher gewichtet. Autobahn-PV Untersuchungen laufen noch und auf die detaillierten Ergebnisse wurde nicht gewartet, weil die zu erwartende Gesamthöhe dies nicht rechtfertigt. Solarthermie könnte mehr Wärme produzieren, aber hier wurden zuerst die Einsparungen gewertet, dann eine solare Deckung des zukünftigen Bedarfs und dann eine Restdachflächennutzung durch Photovoltaik bevorzugt. Details zu den Potenzialerhebungen finden sich ebenfalls im Kapitel 3.2.

Tabelle 3: Potenzialübersicht lokale, CO₂-arme Energieerzeugung

Potenzialname	Potenzialart	Größe in GWh/a (gerundet)	Nutzenergieform
Abfall	Technisch	200	Strom + Wärme oder Wärme
Biogas	T-S	750	Strom + Wärme
Biomass-to-liquid (BtL)	T-S	400	Strom + Wärme oder Kraftstoffe
Holz (inkl. Rebholz)	Technisch	950	Strom + Wärme oder Wärme
Wasserkraft	Technisch	40	Strom
Windkraft	T-W	3.000	Strom
PV Fassade	Theoretisch	1.500	Strom
PV, Dach	Technisch	1.700	Strom
PV Freifläche	T-W	1.300	Strom
PV Agri	T-W	530	Strom
PV Parkplatz	Theoretisch	150	Strom
PV Floating	Technisch	90	Strom
PV Autobahn (A5)	Theoretisch	20	Strom
PV Bahntrassen	Theoretisch	10	Strom
Solarthermie	Nachfrage**	570	Wärme
Umweltwärme	Nachfrage**	2.100	Wärme
Tiefengeothermie	Umsetzung***	400	Wärme
Summe		4.300	Wärme
Summe		8.600	Strom

*T-S = technisch-sozial, T-W = technisch-wirtschaftlich, Umweltwärme = Wärmeproduktion aus Wärmepumpen (Außenluft & oberflächennahe Geothermie); **Erläuterung zum Nachfragepotenzial in Kapitel 3.2.2; *** Erläuterung zum Umsetzungspotenzial in Kapitel 3.2.4

Tabelle 4: Beispielrandbedingungen, um Klimaneutralität¹⁾ zu erreichen

Klimaneutral in	2035	2040
Durchschn. Sanierungsrate p. a. ²⁾	ca. 5 % p. a.	ca. 3 % p. a.
Verkehrsentwicklung:		
MIV (Motorisierter Individualverkehr)	- 25 %	- 20 %
GV (Güterverkehr)	- 10 %	- 5 %
E-Mobilitätsrate (MIV und ÖPNV)	75 % in 2035	50 % in 2035
Wasserstoff in Industrie und Güterverkehr	Perspektivisch nur grün / nur klimaneutral	
Erneuerbare Energien Schwerpunkte	Inkl. Windkraft und Freiflächen-/Agri-PV, Holz-KWK und Tiefengeothermie bei Nahwärme	
Strombedarf in TWh/a 2018 → 2035 → 2045	2,8 → 4,8 → 4,5	2,8 → 4,1 → 4,5
Nahwärmeausbau	Insb. in Städten ³⁾ und wo Abwärme-, Holz- oder Tiefengeothermiefpotenzial vorhanden ist	

1) Pro Kopf-Emissionen < 0,5 t (CO₂e p. a.)

2) keine Vollsanierung, sondern Summe von Objekten mit Hüllensanierung und Objekten mit Heizungsumstellung auf erneuerbare Energieträger.

3) Räume, in denen absehbar eine hohe Wärmedichte sein wird, z. B. Altstädte, in denen die Bausubstanz keinen hohen Effizienzstandard zulässt, oder hochverdichtete Räume

Die in Tabelle 4 dargestellten Randbedingungen sind Beispiele, wie der oben definierte Zustand „Klimaneutral“ erreicht werden könnte. Eine Übererfüllung von einem Sektor, kann dabei eine Untererfüllung eines anderen teilweise kompensieren. Ferner liegen hier Abschätzungen der Bevölkerungs- und Beschäftigungsentwicklung zu Grunde, die nur einen möglichen Pfad von vielen darstellen (siehe Anhang). Die hier angenommenen Zahlen sind rein theoretische, rechnerische Werte und im Einzelfall sehr schwierig umsetzbar, z. B. bei den Sanierungsraten fehlt es an ausreichend Ressourcen an Arbeitskraft und Material, um diese Änderungen so schnell umzusetzen, gleiches gilt für den Ausbau des ÖPNV, ein Realitätscheck würde hier vermutlich eher negativ ausfallen. Die Umrechnung von Verbrauch in Emissionen erfolgt über CO₂e-Faktoren, die mit GEMIS (G**l**obales E**mission**s**m**odel i**n**tegrierter S**ysteme**) gerechnet wurden. Zu einem großen Teil sind diese nicht dynamisch (z. B. Benzin oder Braunkohle). Bei allen Energieträgern wurde die regionale Selbstversorgung errechnet. Hier gibt es Trivialfälle z. B. 0 % bei Kerosin und 100 % bei Nahwärme. Das für die Emissionen Entscheidende ist dann aber der kalkulierte Regionalmix.

Beim Strom ist dieser noch gewichtiger, verglichen mit der Nahwärme, wegen dessen sektorübergreifenden Bedeutung (vgl. Tabelle 8). Die im folgenden Kapitel dargestellten Detailbilanzen in Grafik, Tabelle und Text verdeutlichen die Ziele der Transformation.

2.4 Energiebilanz und Potenziale für Wärme, Strom und Kraftstoffe

Die drei Energieträgergruppen Wärme, Strom und Kraftstoffe werden im Folgenden einzeln dargestellt. Die Erläuterung, wie welche Zahlen erhoben wurden, findet sich im Anhang unter den Kapiteln 2.1 und 2.2.

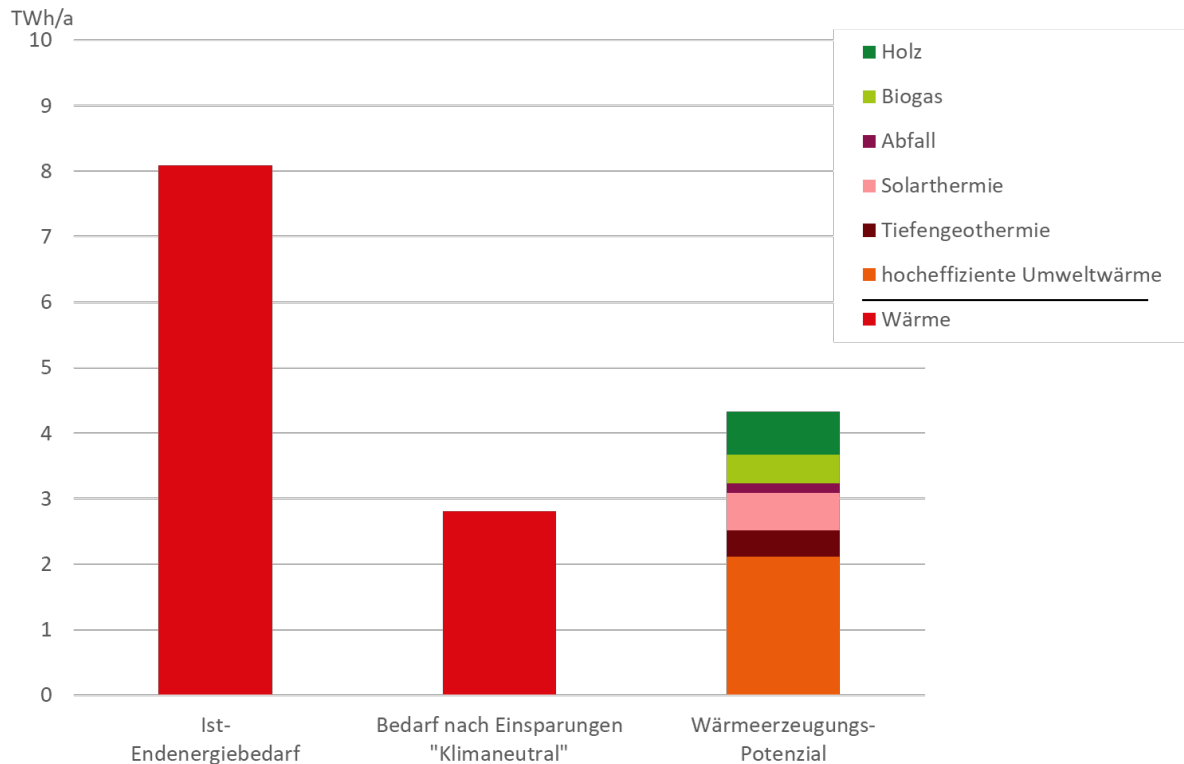


Abbildung 3: Wärmebilanz der Region Freiburg 2018 und Potenziale

Die Wärmeeinsparungen sind eine wichtige Voraussetzung für die Erreichung der Klimaneutralität. Wie im Anhang zu Umweltwärme/Wärmepumpen beschrieben, wäre auch eine Versorgung mit weniger gut gedämmten/optimierten Gebäuden denkbar. Allerdings zu Lasten des Strombedarfs, der noch einmal zusätzlichen und unnötigen Druck auf den Ausbau der stromerzeugenden erneuerbaren Energien macht – mit allen negativen ökonomischen und ökologischen Konsequenzen.

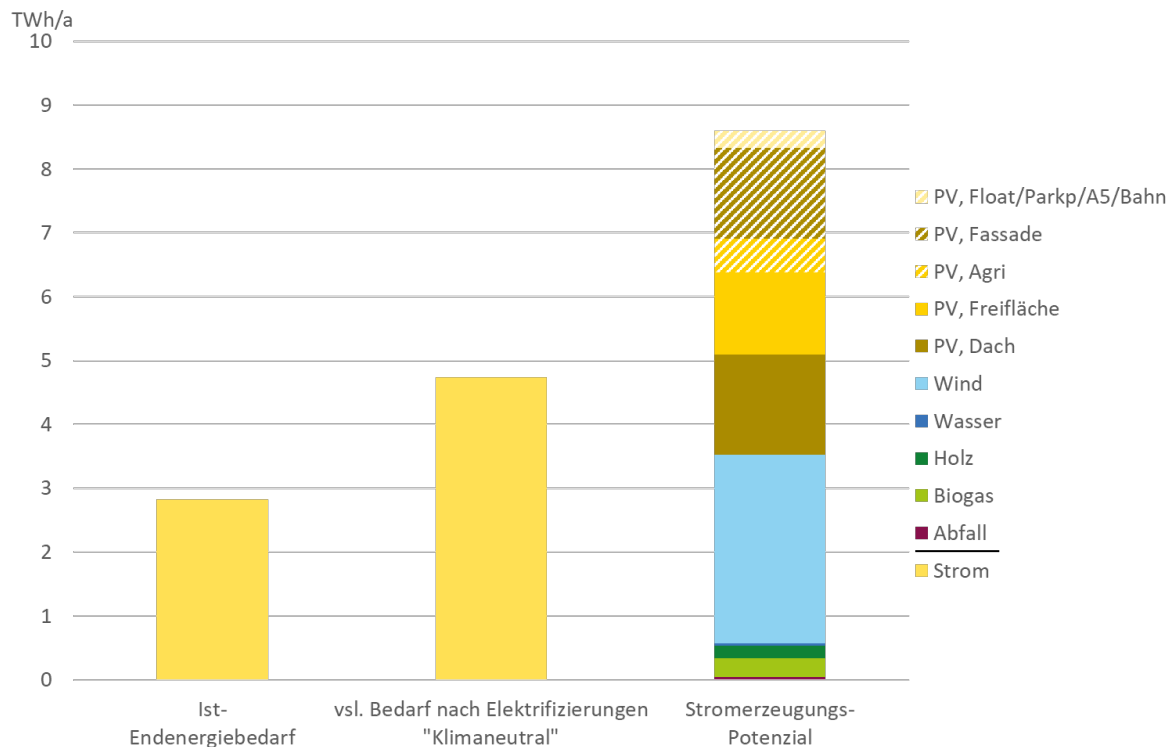


Abbildung 4: Strombilanz der Region Freiburg 2018 und Potenziale

Trotz möglicher Stromeinsparungen im Haushaltsbereich durch effizientere Geräte, im Gewerbebereich durch (Maschinen-) Effizienz, wird es nach einem Szenario der Energieagentur zu einem Mehrbedarf durch 3-fach Elektrifizierung kommen.

1. Wärmepumpeneinsatz in Gebäuden (Privathaushalte, GHD)
+ ca. 1.100 GWh/a Umweltwärme gedeckt durch + ca. 250 GWh/a an Strom
2. Gesteigerter Raumkältebedarf (lässt sich teilweise mit Wärmepumpen kombinieren),
+ ca. 250 GWh/a
3. Verkehr: MIV, ÖPNV, aber ggf. auch GV
(Motorisierter Individualverkehr, öffentlicher Personennahverkehr und Güterverkehr)
+ ca. 2.500 GWh/a

Wind(kraft) und PV bieten mit Abstand die größten Potenziale. Bei PV entfällt über die Hälfte davon auf vorrangig schon versiegelte Flächen (an/auf Gebäuden, aber auch auf der Autobahn, auf Bahntrassen und über Parkplätzen). Agri- und Freiflächen-PV sind neue, in der Studie von 2012 nicht untersuchte Potenziale. Von der voraussichtlichen Höhe des Potenzials her, wird die Gesellschaft die Frage der Landschaftsbildveränderung diskutieren müssen. Bei Agri-PV gibt es einen möglichen Doppelnutzen. Denn je nach Fruchtfolge und Flächennutzung kommen zur Nahrungsmittelerzeugung mögliche Positivnutzen hinzu wie Verschattung, Frostschutz, Bewässerung etc., die in Zeiten des Klimawandels von zunehmender Bedeutung sind.

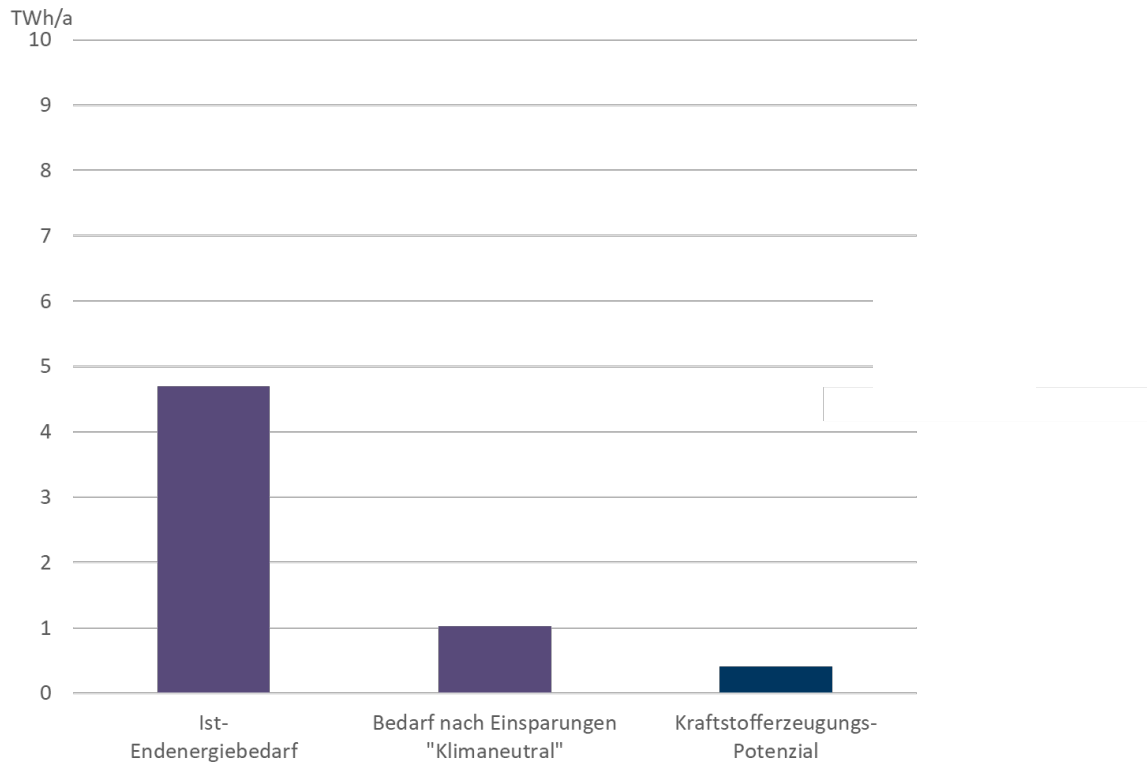


Abbildung 5: Kraftstoffbilanz der Region Freiburg und Potenziale

Kraftstoffeinsparungspotenziale durch weniger Einzel-PKW-Bewegung (kürzere Wege durch Infrastrukturangebote, Mitfahrangebote, Stärkung von Rad- und Fußverkehr, Carsharing, ÖPNV), Effizienzgewinne und Elektrifizierung (Motoreffizienz) reichen aller Voraussicht nicht, um den Bedarf unter das lokale Erzeugungspotenzial zu senken. Eine bilanzielle Selbstversorgung im Kraftstoffbereich wäre allenfalls mit stärkerem Fokus auf Energiepflanzenanbau möglich. Dies wird u. a. aufgrund der Konkurrenz zum Nahrungsmittelanbau nicht angestrebt. Als Alternative steht zum einen die Agri-PV Nutzung im Raum, die wiederum aber eine Elektrifizierung (oder – weniger effizient, aber auch möglich – Wasserstoffnutzung) nahelegt.

Hier wurde davon ausgegangen, dass in der Region ein Kraftstoff-Import auch in der absehbaren Zukunft unumgänglich ist und auch nicht unerhebliche Restemissionen entstehen.

98 % des in Abbildung 5 dargestellten Bedarfs nach Einsparungen entfallen auf Wasserstoff (hauptsächlich Verkehr, aber auch industriell benötigt).

2.5 Energiebilanz nach Sektoren und Energieträgern

Die Basis der Untersuchung stellen die veröffentlichten Endenergiebilanzen der Region Freiburg (= Stadt Freiburg, LK Breisgau-Hochschwarzwald und LK Emmendingen) dar. Glücklicherweise sind die drei Bilanzen mit der gleichen Systematik erstellt worden: BiCO₂BW. Da zwei Bilanzen auf dem Jahr 2018 und eine auf dem Jahr 2017 basieren, wurde vor der Addition eine Witterungskorrektur durchgeführt, um der Standardbilanz näher zu kommen – unter Inkaufnahme der damit einhergehenden Ungenauigkeit. Die nicht-witterungsbereinigten Bilanzen sind im Anhang aufgeführt und in beiden Jahren kleiner als im bereinigten Zustand.

Als Nebeneffekt der BiCO₂BW-Systematik ist der Verkehrssektor mit hinzugekommen, weil dieser standardmäßig mit inkludiert ist. Deshalb sind nun folgende vier Sektoren enthalten:

- Private Haushalte
- Industrie (verarbeitendes Gewerbe, Sekundärsektor)
- Gewerbe und Kleingewerbe (kurz: GHD, Primär- und Tertiärsektor)
- Verkehr

Jeder Sektor umfasst wiederum eine Aufschlüsselung nach diesen Energieträgern:

- Strom (auch Heizstrom)
- Heizöl
- Erdgas (auch Flüssiggas)
- Fernwärme
- Kohle
- Wärme aus EEQ (Biomasse, Umweltwärme, Solarthermie)
- Sonstige Energieträger (auch Wasserstoff)
- Kraftstoffe

Tabelle 5: Endenergiebilanz der Region Freiburg (2018, witterungskorrigiert)

GWh	Strom	Heizöl	Erdgas	Fern-wärme	Kohle	Wärme aus EEQ	Sonstige Energieträger	Kraftstoffe	Summe	Anteil
Private Haushalte	810	1.100	1.900	128	3	860	-		4.900	31%
Gewerbe und Sonstiges	690	310	850	360	1	720	-		2.900	18%
Verarbeitendes Gewerbe	1.100	17	1.100	544	-	25	35		2.800	18%
Kommunale Liegenschaften	48	4	82	14	-	1	-		150	1%
Verkehr	98							4.800	4.900	31%
Summe	2.800	1.500	4.000	1.000	5	1.600	35	4.800	15.700	100%
	18%	10%	25%	6%	0%	10%	0%	31%	100%	

Zum Vergleich der Zahlenwert der Endenergiebilanz 2010 (ohne Verkehr): ca. 11,1 TWh/a oder 11.100 GWh/a [14]

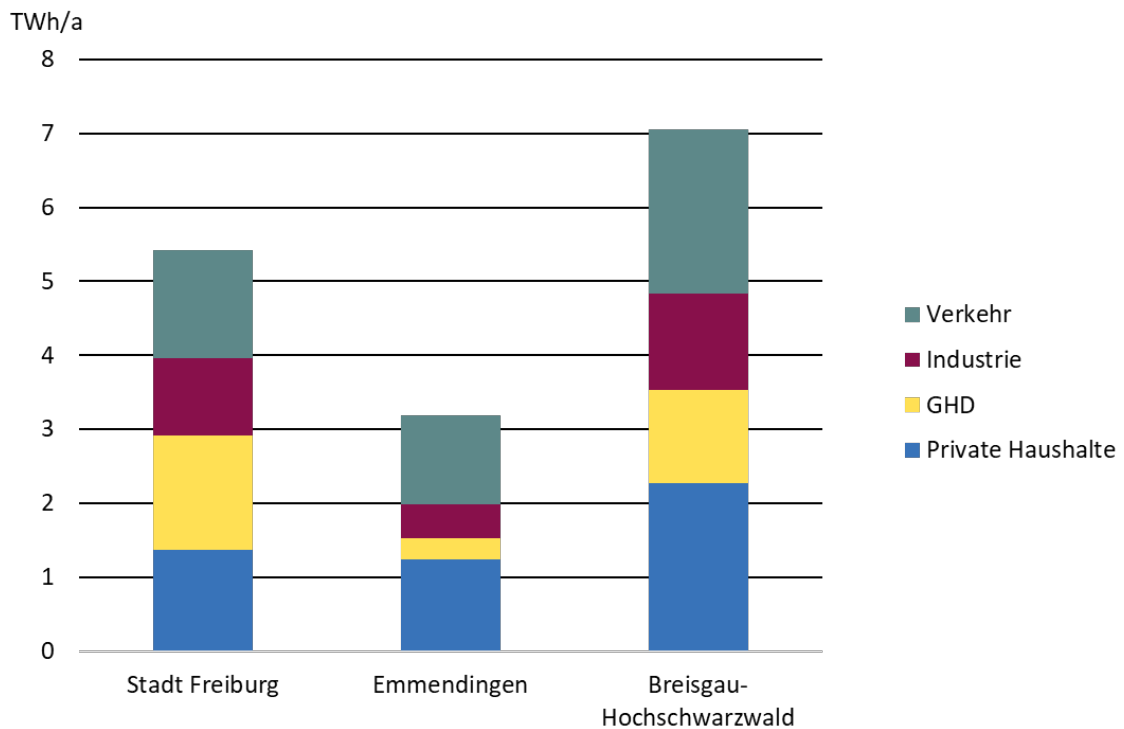


Abbildung 6: Ist-Endenergiebilanz (2017,2018) je Kreis und Sektor der Region Freiburg

Vergleich mit den Endenergiebilanzen 2010 (**ohne Verkehr**, entspricht also den jeweils unteren drei Stapelteilen) [14]:

Stadt Freiburg: ca. 4,0 TWh/a

Landkreis Emmendingen: ca. 2,5 TWh/a

Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald: ca. 4,6 TWh/a

Die Verbräuche der Kreise sind in etwa gleichgeblieben. Für den Verkehrssektor ist mangels alter Daten kein Vergleich für die Landkreise möglich. In der Klimabilanz der Stadt Freiburg gab es zwischen 2010 und 2018 sehr wenig Änderung bei den Emissionen aus dem Verkehrsbereich. Die Kfz-Zulassungsstatistik zeigt darüber hinaus einen steigenden PKW-Bestand. Wird die durchschnittlich um +3,3 % gestiegene Einwohnerzahl mit hinzugedacht und auch das Plus an Beschäftigung, siehe Tabelle 1, relativiert dies die Zahlen. Dennoch ist keiner der drei Kreis bis 2018 auf einem hinreichenden Pfad in Richtung Klimaneutralität unterwegs, weil auch der Ausbau der erneuerbaren Energien zu langsam passiert (nicht dargestellt, vergl. Tabelle 8).

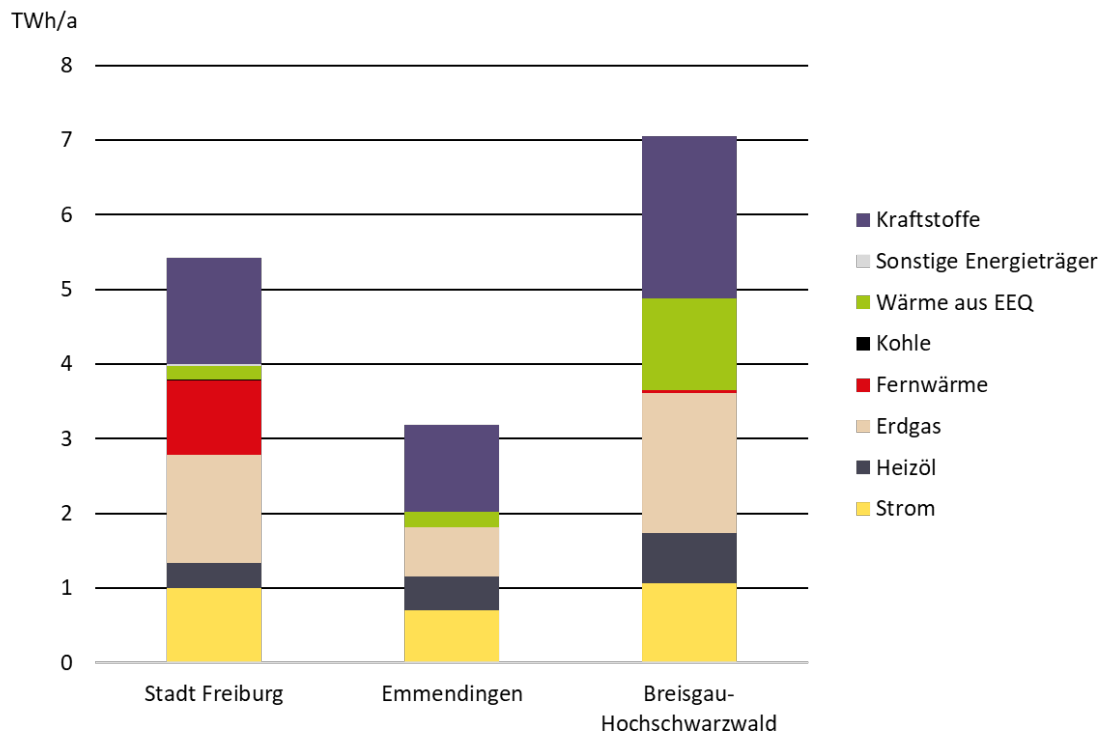


Abbildung 7: Ist-Endenergiebilanz je Kreis und Energieträger der Region Freiburg

Derzeit ist noch eine hohe Dominanz fossiler Energieträger feststellbar – auch Strom gehört (noch) dazu. In allen Kreisen ist Wärme aus Erneuerbaren Quellen (EEQ) schon gut sichtbar. Das stimmt auch für die Fernwärme, wo eine Dekarbonisierung potenziell schneller möglich ist.

Heizöl, Erdgas und Erdöl-basierte Kraftstoffe sind fossile Energieträger, bei denen eine regionale Versorgung durch erneuerbare Alternativen gar nicht oder nur sehr eingeschränkt (BtL) möglich ist. Das Wegsparen oder der Ersatz dieser Energieträger sind demzufolge die Möglichkeiten hin zur Unabhängigkeit und auch zur Klimaneutralität.

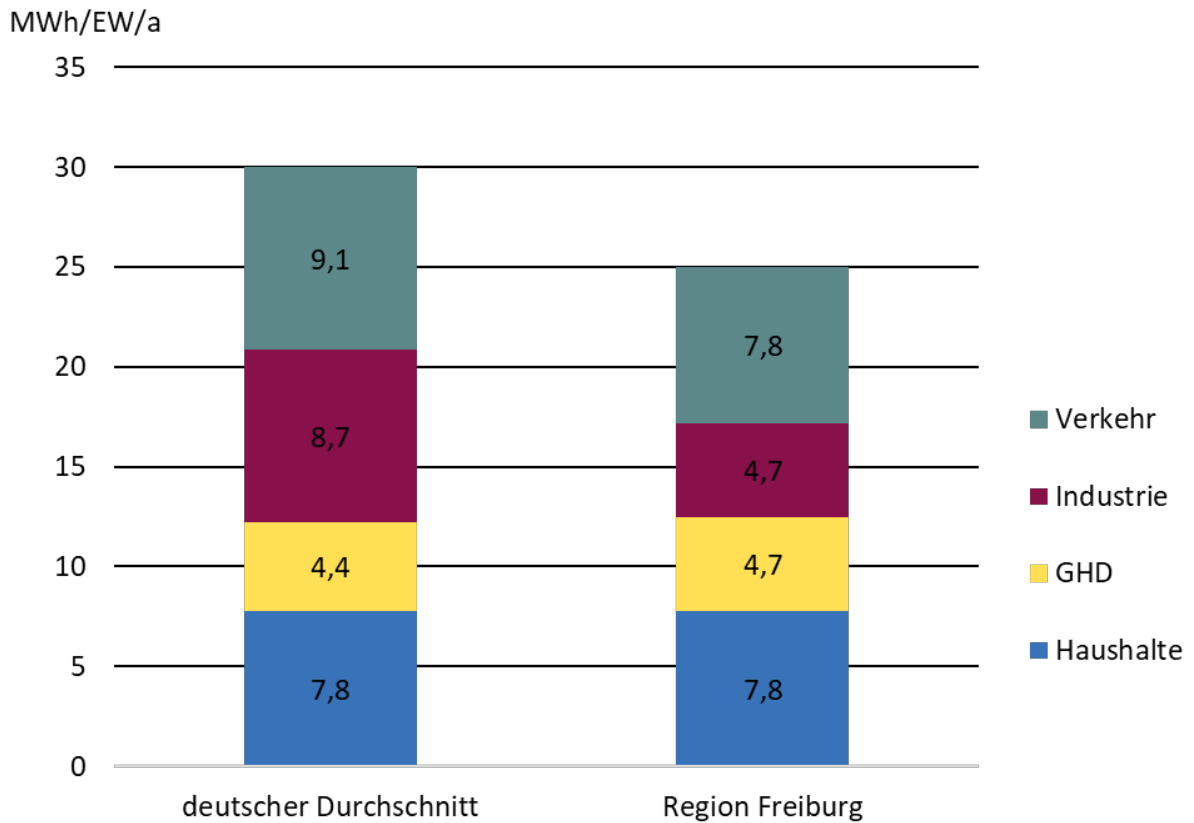


Abbildung 8: Pro-Kopf-Durchschnittsendenergiebilanzen Deutschland und Region Freiburg im Vergleich (2018)

Im Vergleich mit dem deutschen Durchschnittsenergieverbrauch fällt auf, dass die Privathaushalte und der GHD Sektor fast genau im Bundesschnitt liegen. Deutlich geringer sind die Verbräuche in den Sektoren Industrie und Verkehr. Es gibt auch vergleichsweise wenig industrielle Arbeitsplätze und Pro-Kopf-Autobahn-Meter in der Region, was die Unterschiede plausibel erscheinen lässt.

2.6 Auswirkungen auf die THG-Emissionen

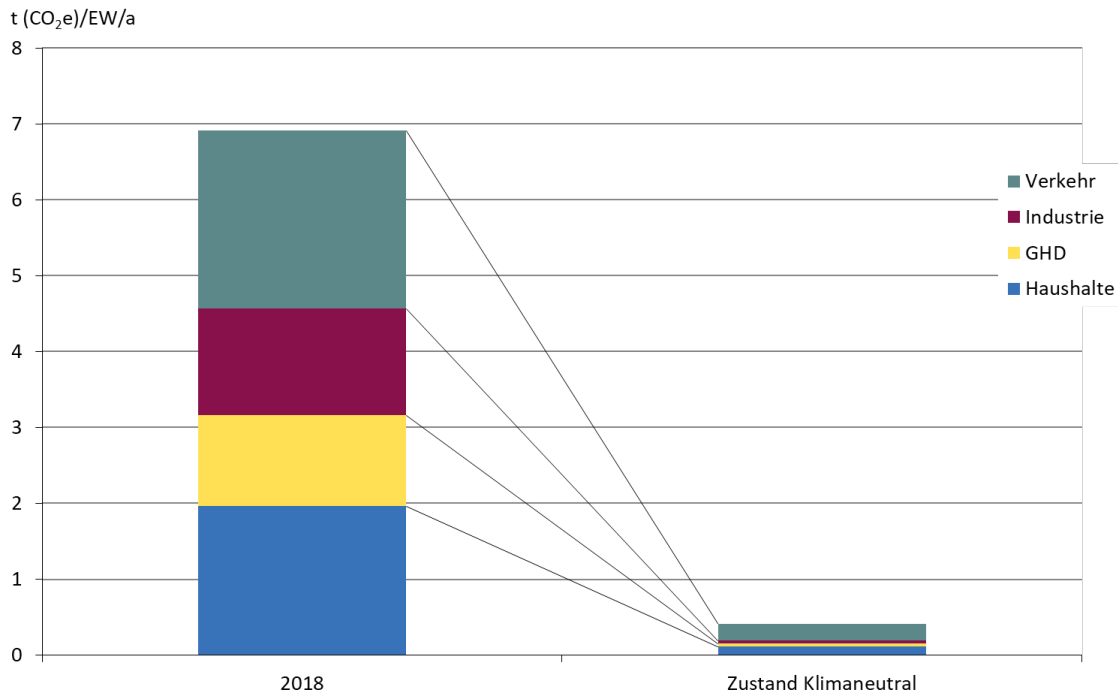


Abbildung 9: CO₂e-Emissionen 2018 und im fiktiven Zustand der Klimaneutralität

Würden die in Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellten Potenziale gehoben werden, so sanken die Treibhausgasemissionen, wie in Abbildung 9 gezeigt. Dargestellt sind die Pro-Kopf-Emissionen, nachdem der Energieverbrauch in Emissionen an Kohlendioxidäquivalenten inkl. Vorkette umgerechnet wurde. Der Begriff der Klimaneutralität wiederum ist von der Definition her verschärft worden von 1,0 t pro Einwohner und Jahr auf 0,5 t pro Einwohner und Jahr. Dieser Zielwert kann nach derzeitigem Kenntnisstand sinnvoll auf Null kompensiert werden.

Abbildung 9 lässt erahnen, dass die Verkehrsemissionen dominant sein werden, weil hier der Ersatz und die Einsparung schwieriger in der Gesamtheit umzusetzen sind als in den anderen Sektoren. Die Zielmarke für die anderen drei Sektoren ist insofern etwa 0,1 t pro Einwohner und Jahr.

2.7 Ökonomische Auswirkungen

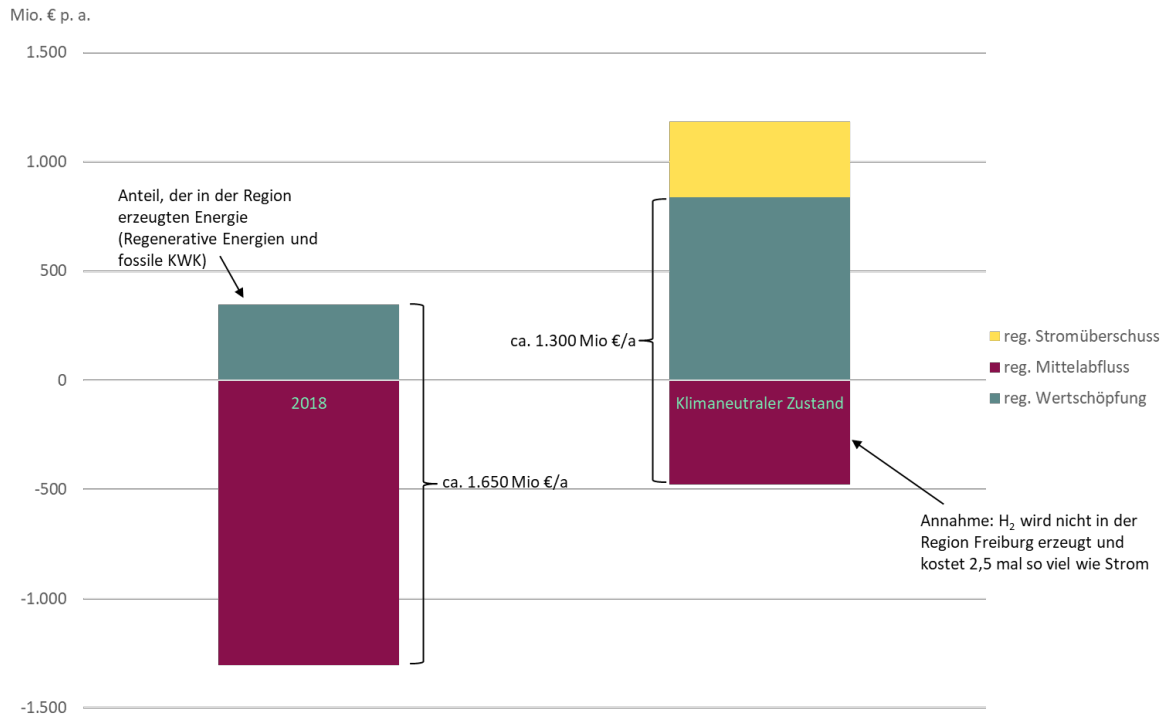


Abbildung 10: jährliche, statische Energieverbrauchskosten in 2018 und im Klimaneutralen Zustand

Abbildung 10 zeigt die Bilanzen nach der Umrechnung des Verbrauchs in Energieverbrauchskosten. Jedem Energieträger wurde dabei ein Autarkiewert zugewiesen, damit eine Aussage über den Regionalen Mittelabfluss (Energieträger-Import) oder die regionale Wertschöpfung (lokale Erzeugung) möglich ist. Lokale Überproduktion (hier nur beim Strom) kann für den Export aus der Region genutzt werden. Eine Änderung der Energiekosten wurde in der Darstellung nicht berücksichtigt. Für den Energieträger Wasserstoff musste eine Annahme über den zukünftigen Marktpreis getroffen werden: Hier mit dem Faktor 2,5 bezogen auf den Energieträger Strom. Ferner wurde angenommen, dass die Produktion nicht in dieser Region erfolgt, sondern dass anderswo eine Überproduktion (von klimaneutralem Wasserstoff, z. B. „grünem“) stattfindet.

Die Einsparungen führen zwar zu einem geringeren Energieverbrauch, aber es kommt gleichzeitig zu einem Umstieg auf aus heutiger Sicht teurere Energieträger (Umweltschäden durch die Verbrennung fossiler Kraftstoffe sind ja nicht inkludiert). In Folge sinken die Energiekosten etwas weniger. Der springende Punkt ist aber die Verschiebung hin zu mehr regionaler Wertschöpfung, weil den Einkauf der Energieträger hier in der Region passiert, bleiben die Mittel auch hier und können erneut in der Region investiert werden. Der hohe Anteil an Wasserstoff stellt dabei bei den laufenden Kosten einen eher hohen Wert dar. Lokale Erzeugung, oder eine stärkere Elektrifizierung würde die Verhältnisse ändern – erforderten wiederum aber möglicherweise weitere Infrastruktur und Speicherinvestitionen, die bei den Energieverbrauchskosten generell nicht berücksichtigt sind.

3. Erläuterungen zum Vorgehen

Zwei Potenzialkategorien werden untersucht: Zum einen die Einsparpotenziale, die sich aus der Differenz zu einer möglichen, zukünftigen Energiebilanz ergeben. Zum anderen die Erzeugungspotenziale erneuerbarer Energien.

Für die Bevölkerungsentwicklung wurde die 14. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung des statistischen Bundesamts und davon die Hauptvariante 3 „Moderate Entwicklung der Fertilität und Lebenserwartung bei hohem Wanderungssaldo“ angesetzt, sowie für die Beschäftigungsentwicklung eine weitere Fortführung hin zur Dienstleistungsgesellschaft (Abnahme der Beschäftigung im Primär- und Sekundärsektor zu Gunsten des Tertiärsektors).

3.1 Effizienz- / Einsparpotenziale

Potenziale zur effizienten Nutzung und zur Einsparung von Energie gibt es in allen betrachteten Sektoren. Es handelt sich hierbei um Einsparpotenziale beim Wärme- und Stromverbrauch von Gebäuden, Prozessenergie im Gewerbe, Kilometerleistung und Antriebseffizienz beim Verkehr sowie Kraft-Wärme-Kopplung und regionale Nahwärmeprojekte.

Bei den Gebäuden ist das was in Tabelle 4 Gesamtanierungsrate genannt wird entscheidend. Dabei müssen fast alle Gebäude, die keinen energetischen Neubaustandard oder vergleichbar haben „angefasst“ werden, um die Emissionen zu senken oder die regionale Selbstversorgung zu steigern. Beides geht Hand in Hand. Dabei ist es zweitrangig, ob Abriss und Neubau, Hüllensanierung, Heizungsmodernisierung oder Umstellung auf erneuerbare Energieversorgung stattfindet. Ausnahmen sind historische Altstadtkerne, in denen aller Voraussicht nach ein höherer spezifischer Wärmebedarf als der Neubaustandard von der Gesamtregion mitgetragen werden muss.

Eine Effizienzsteigerung im Haushaltsstrombereich wird im Sektor Privathaushalte voraussichtlich durch eine Steigerung des Kühlbedarfs (Deckung durch Strom, aber immerhin teilweise durch Wärmepumpen) mit einkalkuliert werden müssen. Die Trinkwarmwasserbereitung ist ein Verwendungszweck, bei dem im Gegensatz zur Raumwärme von nur einem geringen Einsparpotenzial ausgegangen wird. Dafür ist die Deckung durch erneuerbare Energien durch den sommerlichen Bedarf wirtschaftlich und ökologisch einfacher: Solarthermie oder die Kombination PV und Wärmepumpe decken im Sommerhalbjahr leicht den Bedarf. Auch in Wärmenetzen verteilte Tiefengeothermie hat hier wenig Abnahmekonkurrenz.

In den Wirtschaftssektoren wird der Ist-Energieverbrauch auf den Verwendungszweck umgerechnet. Bsp. Raumwärmebedarf: Er fällt auf nahezu Null, weil er vsl. durch Abwärme und/oder Dämmung gedeckt werden kann. Bsp. Prozessenergie: Es sind zwar Fortschritte bei der Effizienz zu erwarten, aber nur in sehr viel kleinerem Ausmaß, als bei der Raumwärme. Effizientere Motoren/Pumpen, Wärmerückgewinnung oder Umstellung von fossilen Energieträgern auf den teilweise regenerativen Strom wäre hier zu nennen. Industriell ist mit einem Bedarf von Wasserstoff für Hochtemperaturprozesse zu rechnen. Bsp. Wärmenetze: Der Wärmeatlas Baden-Württemberg liefert hier eine erste Einschätzung, die jeweils von den Einzelkommunen geprüft oder durch die Erstellung eines Wärmeplans untermauert werden soll. Wenn folgende Kriterien gegeben sind, so ist ein Wärmenetz in Betracht zu ziehen: hohe Wärmebedarfsdichte, bestimmte Mindesthöhe des absoluten Wärmebedarfs, viele alte, austauschwürdige Bestandskes-

sel als Zentralheizung oder Neubaugebiet, hinreichend Raum für eine Heizzentrale, leicht zu erschließendes Gebiet; so ist ein Wärmenetz in Betracht zu ziehen.

Kraft-Wärme-Kopplung lässt sich sowohl zentral in Wärmenetzen, als auch dezentral bis hin zu Etagenlösungen nutzen. Höhere Temperaturniveaus, wie in Altbauten oder historischen Gebäuden erforderlich, sind möglich. Das macht die Technik flexibel einsetzbar. Am effizientesten arbeiten die Geräte allerdings am Gasnetz, was derzeit eine fossile Versorgung bedeutet. Eine teilweise oder vollständige Umstellung auf Wasserstoff oder erneuerbares Methan ist derzeit technisch möglich, kann aber nicht vorausgesetzt werden. Das kalkulierte Potenzial wurde deswegen als reines effizienzsteigerndes Potenzial angesetzt und nicht als regeneratives (in der Summe der Tabelle 2 und nicht Tabelle 3 enthalten).

Das Energieeinsparpotenzial wird für die Industrie/verarbeitendes Gewerbe mit 30 % angenommen. Im GHD/Kleingewerbe liegt das Energieeinsparpotenzial bei 70 %. Grundlage dafür ist die Annahme der schon höheren Effizienz im Ist-Zustand bei der Industrie.

Die grundsätzlichen Minderungsmöglichkeiten der Emissionen im Verkehr lassen sich den Kategorien „Verkehrsvermeidung“, „Verlagerung auf weniger umweltbelastende Verkehrsarten“ und „Verbesserung der Effizienz der Verkehrsmittel“ zuordnen, in dieser Reihenfolge der Priorisierung.

Vermeidung:

- Förderung regionaler Wirtschaftskreisläufe (u. a. Verkürzung von Lieferwegen und Fahrstrecken durch Förderung regionaler Waren und Dienstleistungen)
- Transportsynergien: Verbesserung der Auslastung von Transportmitteln, dazu zählen auch Mitfahrgelegenheiten
- Verhaltensänderung: verstärkte Öffentlichkeitsarbeit zur Verkehrsvermeidung und Nutzung ökologischer Verkehrsmittel

Verlagerung:

- Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV): Bus- oder Bahnfahrten verursachen durchschnittlich zwei Drittel weniger CO₂-Emissionen als die Fahrt mit dem eigenen Pkw und bieten daher ein gutes Reduktionspotenzial.
- Fuß- und Fahrradverkehr: durchschnittlich 25-30 % der innerörtlichen Wege sind mit dem Fahrrad möglich (Umweltbundesamt)
- Carsharing: Reduzierung der Anzahl der notwendigen Fahrzeuge für die gleichen Fahrkilometer
- E-Mobilität: Fahrzeuge mit Elektroantrieb, allerdings nur sinnvoll bei Nutzung von 100 % Ökostrom

Effizienz:

- Förderung von Bussen mit Erdgas/Wasserstoff/Batterieelektrisch als Kraftstoffalternative
- Förderung der Anschaffung von Hybridbussen durch die Landesinitiative Elektromobilität
- Seminare und Informationen zu kraftstoffsparender Fahrweise

- Öffentlichkeitsarbeit für die Orientierung nach dem Treibstoffverbrauch bei der Fahrzeugauswahl durch die Bürger*innen

3.2 Potenziale Regenerativer Energien

Neben Energieeinsparung und Effizienzsteigerung ist der verstärkte Ausbau von regenerativen Energien ein entscheidender Baustein für die Erreichung der Klimaschutzziele. In diesem Kapitel wird die Ermittlung des Potenzials im Bereich der erneuerbaren Energien unter Berücksichtigung der lokalen Randbedingungen behandelt. Zu großen Teilen wurden die Potenziale in der Arbeit von 2012 untersucht. In der 2022er Untersuchung kamen einige Potenziale hinzu, bei anderen gab es neue Erkenntnisse. Altes Wissen wird hier nicht wiederholt, sondern nur die Veränderung beschrieben.

3.2.1 Photovoltaik

Das technische (technisch-wirtschaftliche) Potenzial für Photovoltaikanlagen wurde mit Hilfe von Geodaten des Energieatlas der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (kurz: LUBW) [8] für Dach- und Freiflächen abgeschätzt.

Für das PV-Potenzial der **Dachflächen** wurden nur Dächer aus dem Energieatlas des LUBW mit „mittlerer“ bis „sehr guter“ Eignung betrachtet (Dacheignung 1 bis 3 von 8). Da es nach Untersuchungen der Stadt Freiburg wegen aktuellen Denkmalschutzaufgaben, nicht geeigneter Dachstatik auf 44 % der Gebäude nicht möglich ist eine PV Anlage zu betreiben wurde ein Abschlagfaktor von 56 % auf das Dachflächen- und (wegen Denkmalschutzaufgaben) auch auf das Fassadenpotenzial angewendet.

Das Potenzial für **Freiflächenanlagen** wurde vom LUBW unterteilt nach „Konversionsflächen und Randstreifen“ sowie „(landwirtschaftlich) benachteiligte Gebiete“. Es wurden 75 % der Flächen ohne Restriktion (entspricht 1 MW_p pro ha), 50 % der Fläche mit weicher Restriktion (entspricht 0,66 MW_p pro ha), max. 15° Hangneigung, eine Mindestanlagengröße von 500 kW_p und ein über die Nutzungsdauer spezifischer Solarertrag von 950 kWh pro kW_p im Jahr angenommen.

Darüber hinaus wurde ein Erfahrungswert aus einer vergleichbaren Region in Baden-Württemberg herangezogen, der das technische Potenzial wegen weiterer Kriterien (z. B. nächster Netzanschlusspunkt, Natur- und Landschaftsschutz) auf 21 % dieses Ergebnisses begrenzt. Folgende Abbildung 11 zeigt das Zwischenergebnis VOR dieser Begrenzung. Nach Rücksprache mit dem Regionalverband südlicher Oberrhein zeigt die Abbildung leider deutliche Abweichungen zum dort angesetzten Fokus im Rahmen der Suchraumkulisse und dient daher nur der Veranschaulichung der Kalkulationsabschätzung. Die Größenordnung des Endergebnisses, also die gesamte Flächennutzung der Freiflächen-PV, dürfte nach dieser Rücksprache eine realistisch umsetzbare Größenordnung haben und die gesetzliche Landesvorgabe dabei übertreffen [15].

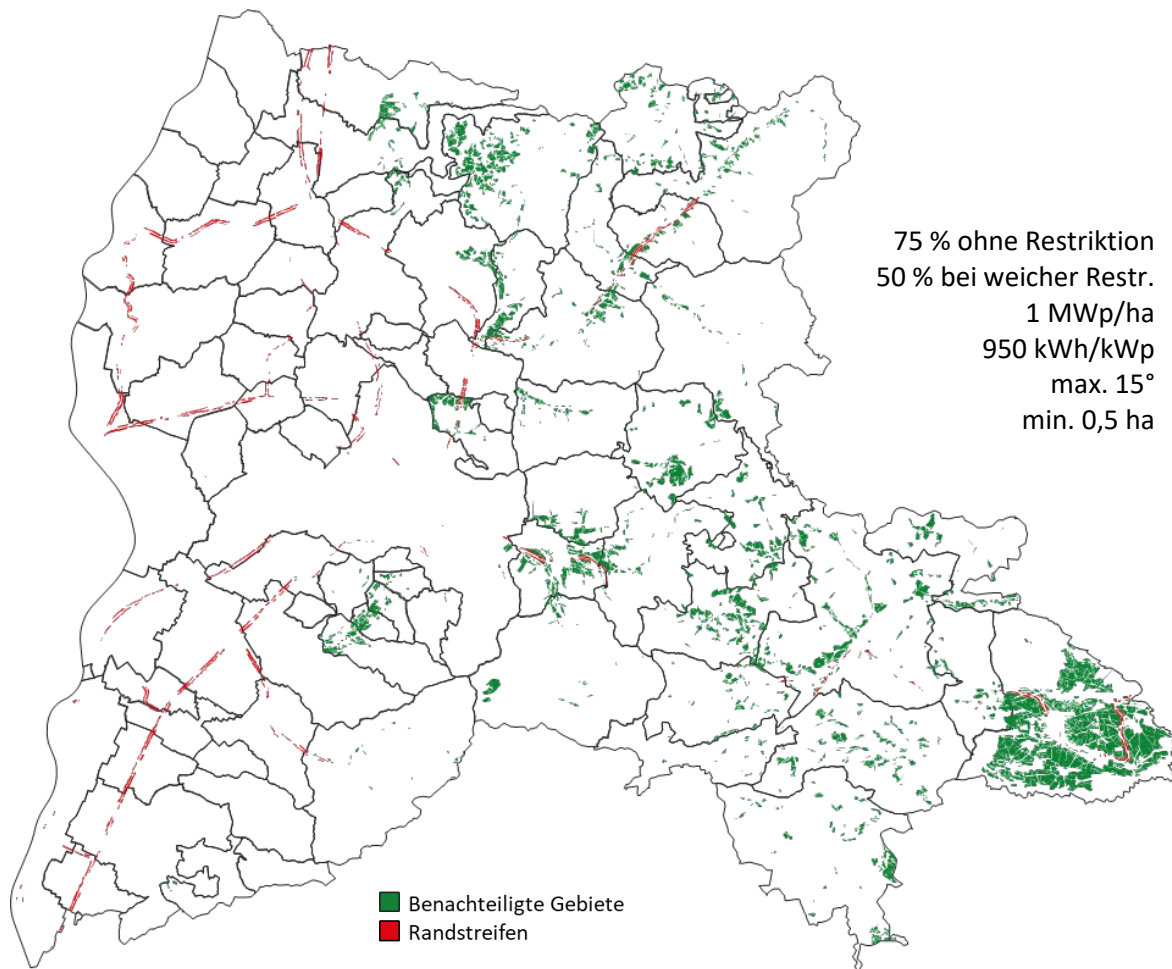


Abbildung 11: potenzielle Freiflächen für PV nach dem Energieatlas BaWü

Das **Agri-PV-Potenzial** wurde anhand der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Region, über Daten von vom Fraunhofer ISE ermittelten deutschen Gesamtpotenzial (angenommenes technisches Potenzial von 1.700 GW_p; entspricht ca. 14 % der Ackerfläche Deutschlands) für Agri-PV, heruntgerechnet. Die Landwirtschaftliche Fläche, die schon für Freiflächen-PV herangezogen wird (benachteiligte Gebiete), wird abgezogen. Die restlichen 542 km² landwirtschaftliche Fläche wird mit dem derzeit vorhandenen Abminderungsfaktor von 10 % (Netzanschlusspunkte, sonstige Auflagen) bewertet.

Die angesetzten Freiflächen- und Agri-PV-Potenziale entsprechen inkl. Abminderungsfaktoren 0,86 % der Gesamtfläche der Region Freiburg.

3.2.2 Thermische Solarenergie

Das solarthermische Angebotspotenzial ist riesig, aber i. d. R. nicht nutzbar, weil es zu Zeiten anfällt, in denen die Wärme nicht benötigt wird. Angesetzt wurde deswegen das Nachfragepotenzial von ca. 574 GWh/a, davon 526 GWh/a für die Trinkwarmwasserbereitung. Hinzu kommt ein unbeziffertes Potenzial, dass in Wärmenetzen zur Unterstützung genutzt werden könnte.

Berechnungsmethode:

Die Potenziale zur thermischen Nutzung von Solarenergie wurden über die Anzahl der Wohneinheiten, dem Energiebedarf für Warmwasser und Heizung pro Wohneinheit sowie den möglichen solaren Deckungsgraden abgeschätzt. Im Gegensatz zur Photovoltaik wird das Potenzial zur Solarthermienutzung durch den im Haus vorhandenen Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung begrenzt. Es wird hier eine solare Deckung von maximal 55 % des Trinkwarmwasserbedarfes und 5 % des Heizenergiebedarfes angenommen. Es steht also das Nachfrage- und nicht das Angebotspotenzial im Fokus. Trinkwarmwasser bereitende Anlagen erbringen etwa 400 kWh/m² an vermiedenem Brennstoffbezug und Heizungsunterstützende 300 kWh/m². Die hierdurch ermittelte Kollektorfläche (Flachkollektoren) wurde bei den zur Verfügung stehenden Dachflächen zuerst berücksichtigt. Nur die Restflächen wurden für das Photovoltaik-Potenzial (s. 4.2.1) verwendet. Das heißt PVT wurde vorerst ignoriert als Technik, der PVT Einsatz erhöht insofern das dargestellte Potenzial.

3.2.3 Umweltenergie für Wärmepumpen

Eine optimal eingesetzte Wärmepumpe hat vier Voraussetzungen:

1. eine gedämmte Gebäudehülle
2. ein Niedertemperaturheizungssystem
3. eine möglichst gleichbleibend warme Wärmequelle
4. eine PV-Anlage zur direkten Versorgung mit erneuerbarem Strom

Mit optimal ist dabei eine hohe Jahresarbeitszahl (JAZ) gemeint. Funktionieren wird eine Wärmepumpe auch als Hybridheizung oder mit nur einer oder null dieser Voraussetzungen – mit entsprechend negativem Einfluss auf die JAZ. Je schneller die Klimaneutralität erreicht werden soll, desto eher ist davon auszugehen, dass Wärmepumpen eingesetzt werden, die erst nachträglich weiter optimiert werden. Es kann daher zuerst zu einem höheren Strombedarf kommen, als unten angegeben, der erst später wieder sinkt.

Wo Erdwärme-Wärmepumpen möglich sind (3. Punkt aus obiger Liste), ist Online im Geoportal ISONG des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württembergs (kurz LGRB) einsehbar.

Das nachgefragte Wärmepotenzial (Wärmebedarf an Umweltwärme) liegt bei ca. 1.100 GWh/a nach überschlägiger Schätzung. Die Wärmepumpen bräuchten zukünftig nach unserer Abschätzung um 250 GWh/a an elektrischer Energie.

3.2.4 Tiefengeothermie

Das dargestellte Potenzial entspricht der vsl. Entnahme an zwei Bohrungen im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald mit Wärmetransport in den Stadtkreis Freiburg. Auszugehen ist von einer thermischen Leistung von etwa 50 MW, was 400 GWh/a an Wärmeenergie entspricht, die in Wärmenetzen als Grundlast nutzbar wären.

3.2.5 Windkraft

Zur Einschätzung der Windkraftpotenziale wurden Daten (Stand 2019) aus dem Windenergieatlas des LUBW herangezogen. Berechnet wurde einerseits das Potenzial für geeignete Flächen, andererseits für bedingt geeignete Flächen.

Die Flächen, die hinsichtlich ihrer Windhöflichkeit für WKA bedingt geeignet sind, weisen in 160 m ebenso eine mittlere gekappte Wandleistungsdichte von mindestens 215 W/m² auf. Jedoch müssen die Flächen bezüglich ihrer Nutzungsmöglichkeit für WKA in Bezug auf Flächenrestriktionen individuell geprüft werden. Umwelt-, Natur- oder Artenschutz könnten der Eignung entgegenstehen. Potenziell stehen 4,4 % der Gebietsfläche, sprich 8.164 ha bedingt geeignete Fläche mit einer maximalen Anlagenanzahl von 445 zur Verfügung.

Das Windkraftpotential auf geeigneten Flächen beträgt 2.956 GWh/a in 285 Anlagen. Nur dieses Potenzial wurde herangezogen. Die geeignete Fläche entspricht mit 3.550 ha etwa 1,6 % der Regionsfläche. Die Bundesvorgabe für Baden-Württemberg liegt bei 1,8 %. Der Regionalverband südlicher Oberrhein sieht den größten Flächenanteil der vier Kreise im Ortenaukreis [15].

3.2.6 Wasserkraft

Laut dem Energieatlas Baden-Württembergs gibt es mögliche Wasserkraftstandorte mit grenzwertiger Wirtschaftlichkeit. Das liegt meist an den zu geringen und unbeständigen Wassermassen und zu geringen Fallhöhen. Der Rhein kann zur Wasserkraftgewinnung nicht in den Bilanzraum mit einbezogen werden.

Das Potenzial entspricht somit weitestgehend der Ist-Nutzung. Es ist davon auszugehen, dass Effizienzgewinne durch Neuanlagen und Modernisierung durch Veränderung der Niederschlagsmengen wieder wettgemacht werden.

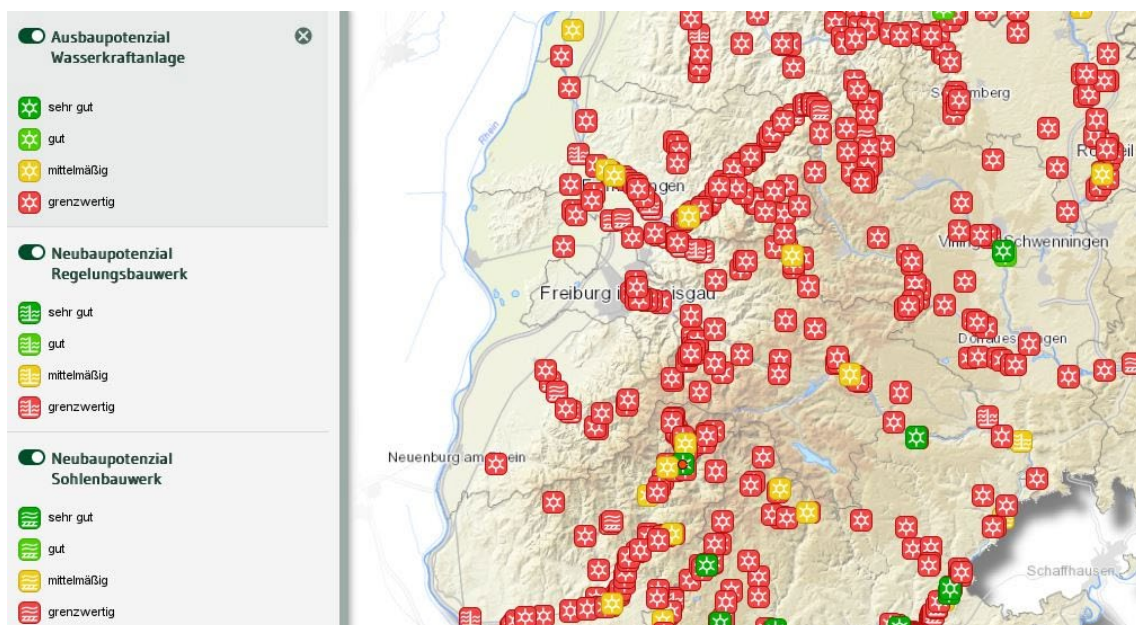


Abbildung 12: potenzielle Wasserkraftanlagen der Region Freiburg [LUBW]

3.2.7 Holz

Das energetisch nutzbare Potenzial aus Holz setzt sich zusammen aus den Potenzialen aus Waldholz, dem Landschaftspflegeholz, dem Industrie- und Sägerestholz, dem Abfall- und Gebrauchtholz sowie dem Rebholz. Daraus ergibt sich ein gesamtes nutzbares Energieholzpotenzial von 945 GWh/a. Eine Verstromung ist schon jetzt technisch möglich und umgesetzt in der Region. Bei dezentraler Verwendung, also im üblichen Gebäudebereich ohne Wärmenetz, wurde im Szenario von der reinen Verbrennung ausgegangen. Selbstverständlich wurde das Nachhaltigkeitsprinzip angewendet, das dort erfunden wurde, und z. B. die sonstige Nutzung des Waldholzes als Stamm- oder Industrieholz nicht verringert. Nicht auszuschließen ist, dass aufgrund von Klimawandeleffekten das Waldholzpotenzial langfristig sinkt; dargestellt ist der Ist-Zustand ohne Privatwälder.

Die energetische Nutzung von Holz ist auf verschiedene Arten möglich. Das klassische Verfahren zur Energiegewinnung aus holzartiger Biomasse ist die Verbrennung. Im kleinen Leistungsbereich (z.B. kleine Wohngebäude) geschieht dies meist über Scheitholz oder Holzpellets. Ganze Siedlungen und Stadtteile können wirtschaftlich über Holzhackschnitzel und Nah-/Fernwärmenetzen mit Wärme versorgt werden. Im größeren Leistungsbereich (ab ca. 1 MW_{th}) existiert die Möglichkeit, neben Wärme auch Strom über einen ORC-Prozess (Organic-Rankine-Cycle) auszukoppeln. Diese Form der Holznutzung ist besonders effizient.

3.2.8 Biomasse ohne Holz

Das Energiepotenzial aus Biomasse ohne Holz steht hauptsächlich aus der Nutzung von landwirtschaftlichen Stoffen zur Biogasproduktion und für die Erzeugung von Biotreibstoff zur Verfügung. Zur Abschätzung der Potenziale sonstiger Biomasse wurde das Modell „adapting mosaic“ angewendet, welches vom Büro für Technikfolgenabschätzung beim deutschen Bundestag im Bericht „Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen“ vorgestellt wurde. Nach Einschätzung der Energieagentur wird hier verglichen mit den anderen Modellen die sanfteste Bodennutzung angestrebt. Priorität hat weiterhin die Nahrungsmittelbereitstellung und auch die bewusste Nicht-Nutzung von Flächen. In Zahlen heißt das 754 GWh/a für Biogas und ca. 447 GWh/a als Biomass-to-liquid (Biokraftstoff der 2. Generation, auch in der KWK einsetzbar, hier aber als Kraftstoffpotenzial).

3.2.9 Abfall (inkl. Biomüll)

Über die thermische Abfallverwertung kann Wärmeenergie zur Beheizung von Gebäuden über ein Nahwärmenetz und/oder elektrische Energie über ein Turbinenkraftwerk gewonnen werden.

Das thermisch nutzbare Abfallpotenzial beträgt 204 GWh/a. Dies wurde über das durchschnittliche Abfallaufkommen einer Person multipliziert mit der Einwohnerzahl abgeschätzt. Die Abfallverwertung des Landkreis Emmendingen erfolgt gemeinsam mit dem Ortenaukreis in einer mechanisch-biologischen Anlage mit Standort außerhalb der Region Freiburg. Dort erfolgt die Biogasverstromung wie auch die Abwärmennutzung, somit ist das Potenzial in der Praxis in der Region kleiner.

Es wird von einem spezifischen Abfallaufkommen zur thermischen Verwertung von 191 kg je Einwohner im Jahr, einem Heizwert von 1,6 kWh pro kg Abfall ausgegangen.

4. Anhang

4.1 Abkürzungsverzeichnis

a – Jahr („Annum“)

CO_{2e} – Kohlenstoffdioxid-Äquivalente

EEQ – erneuerbare Energiequellen

GEMIS – Globales Emissionsmodell integrierter Systeme

GHD – Gewerbe, Handel, Dienstleistungen / Tertiärsektor

GV – Güterverkehr

ha – Hektar

JAZ – Jahresarbeitszahl

Kfz – Kraftfahrzeug(e)

kg – Kilogramm

km – Kilometer

LGRB – Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württembergs

LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

m² – Quadratmeter

MIV – motorisierter Individualverkehr

MW – Megawatt (vgl. GW, MW, kW)

MW_p – Megawatt „Peak“, elektrische Spitzenleistung unter standardisierten Testbedingungen (vgl. kW_p, GW_p)

MW_{th} – Megawatt thermisch (also Wärmeleistung)

ORC – organic rankine cycle

ÖPNV – öffentlicher Personennahverkehr

PKW – Personenkraftwagen

PV – Fotovoltaik

PVT – Kombination aus Photovoltaik- und Solarthermieanlage

TWh – Terawattstunde (vgl. GWh, MWh, kWh)

WKA – Windkraftanlage

4.2 Quellenverzeichnis

Literatur und Software:

- [1] Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken, Studie, Prognos / Öko-Institut e.V., 2009
- [2] Leitfaden Energienutzungsplan, Planungsleitfaden, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, 2011
- [3] „Leitstudie 2011“ (Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global), DLR, Fraunhofer IWES, ifne für das Bundesministerium für Umwelt, 2012
- [4] „Bedeutung von Wärmenetzen für die Energiewende“, Positionspapier, KEA et al., 2014, <http://www.kea-bw.de/service/downloads/>
- [5] Die Entwicklung des Pkw-Bestands bis 2025, Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 5/2007
- [6] Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, <https://www.statistik-bw.de>
- [7] Energieeffizienz-Potentiale und Umsetzungshemmnisse im Bereich Industrie, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2013, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/P-R/praesentation-energieeffizienz-potentiale-und-umsetzungshemmnisse-im-bereich-industrie>
- [8] Energieeffizienz im Betrieb, Bundesweites Energieeffizienz-Berater-Netzwerk, <http://www.energieeffizienz-im-betrieb.net/>
- [9] Energieatlas der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, laufen aktualisiert, <https://www.energieatlas-bw.de/>
- [10] „Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen“, Büro für Technikfolgenabschätzungen beim deutschen Bundestag, Arbeitsbericht Nr. 136, 2010
- [11] „WEGE ZU EINEM KLIMANEUTRALEN ENERGIESYSTEM“, Fraunhofer ISE, Freiburg, 2020 und Update 2021
- [12] „Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität“, UBA, Dessau-Roßlau, November 2019
- [13] BSKO Bilanzierungs-Systematik Kommunal, Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland, Kurzfassung (Aktualisierung 11/2019) / ifeu / 2019
- [14] Energiebilanz für die Region Freiburg – Verbrauch und Potenziale, FWTM Freiburg, Neumann/Blumberg/Schwieder/Sondermann, 2012
- [15] Telefonat mit dem Regionalverband südlicher Oberrhein, Blumberg/Rakelmann, 2023

4.3 Detailtabellen

Tabelle 6: Ergebnis der Endenergiebilanz der Kreise mittels BiCO2BW ohne Witterungskorrektur

Stadt Freiburg (2018)	MWh	Strom	Heizöl	Erdgas	Fernwärme	Kohle	Wärme aus EEQ	Sonstige Energieträger	Kraftstoffe	Summe	Anteil
	Private Haushalte	259.995	113.000	639.917	91.139	1.346	108.002				
Gewerbe und Sonstiges	412.973	168.548	409.434	305.198	577	41.759				1.338.488	26%
Verarbeitendes Gewerbe	268.056	6.646	183.683	525.496	0	6.592	33.089			1.023.562	20%
Kommunale Liegenschaften	19.757	2.798	29.058	1.904	0	666				54.183	1%
Verkehr	37.891								1.414.644	1.452.535	29%
Summe	998.671	290.992	1.262.092	923.737	1.923	157.018	33.089		1.414.644	5.082.166	100%
LK Emmendingen (2018)	MWh	Strom	Heizöl	Erdgas	Fernwärme	Kohle	Wärme aus EEQ	Sonstige Energieträger	Kraftstoffe	Summe	Anteil
	Private Haushalte	239.477	360.947	422.491	0	421	139.917	0		1.163.253	
Gewerbe und Sonstiges	92.761	52.603	74.869	0	180	46.062	0			266.275	9%
Verarbeitendes Gewerbe	335.364	9.560	111.415	0	0	6.482	889			463.711	15%
Kommunale Liegenschaften											0%
Verkehr	24.902								1.167.396	1.192.298	39%
Summe	692.503	423.110	608.575	0	601	192.462	889		1.167.396	3.085.637	100%
LK Breisgau-Hochschwarzwald (2017)	MWh	Strom	Heizöl	Erdgas	Fernwärme	Kohle	Wärme aus EEQ	Sonstige Energieträger	Kraftstoffe	Summe	Anteil
	Private Haushalte	312.642	624.477	756.562	21.557	1.244	589.600	0		2.306.083	
Gewerbe und Sonstiges	182.338	58.854	291.409	8.455	533	637.013	0			1.178.602	17%
Verarbeitendes Gewerbe	499.433	0	799.362	263	0	11.112	0			1.310.170	18%
Kommunale Liegenschaften	28.063	277	48.933	12.384	0	0	0			89.656	1%
Verkehr	35.219								2.176.924	2.212.143	31%
Summe	1.057.695	683.608	1.896.285	42.659	1.778	1.237.725	0		2.176.924	7.096.654	100%
SUMME über Region Freiburg	MWh	Strom	Heizöl	Erdgas	Fernwärme	Kohle	Wärme aus EEQ	Sonstige Energieträger	Kraftstoffe	Summe	Anteil
	Private Haushalte	812.114	1.098.424	1.818.970	112.696	3.011	837.519	0		4.682.734	
Gewerbe und Sonstiges	688.071	280.004	775.512	313.653	1.290	724.834	0			2.783.364	18%
Verarbeitendes Gewerbe	1.102.853	16.206	1.094.460	525.759	0	24.187	33.978			2.797.443	18%
Kommunale Liegenschaften	47.820	3.075	77.991	14.288	0	666	0			143.839	1%
Verkehr	98012								4.758.964	4.856.976	32%
Summe	2.748.870	1.397.710	3.766.932	966.396	4.302	1.587.205	33.978		4.758.964	15.264.357,2	100%

Tabelle 7: Ergebnis der Endenergiebilanz der Kreise mittels BiCO2BW mit Witterungskorrektur

MWh	Strom	Heizöl	Erdgas	Fernwärme	Kohle	Wärme aus EEQ	Sonstige Energieträger	Kraftstoffe	Summe	Anteil
Private Haushalte	260.160	131.809	742.717	107.191	1.607	126.062			1.369.545	25%
Gewerbe und Sonstiges	413.014	194.646	477.585	353.636	689	47.444			1.487.013	27%
Verarbeitendes Gewerbe	268.056	6.877	187.949	543.804	0	6.847	34.370		1.047.903	19%
Kommunale Liegenschaft	19.757	3.232	33.895	2.206	0	757			59.847	1%
Verkehr	37.891							1.414.644	1.452.535	27%
Summe	998.878	336.564	1.442.145	1.006.837	2.295	181.110	34.370	1.414.644	5.416.843	100%
MWh	Strom	Heizöl	Erdgas	Fernwärme	Kohle	Wärme aus EEQ	Sonstige Energieträger	Kraftstoffe	Summe	Anteil
Private Haushalte	241.469	393.221	458.951	-	421	148.646	-		1.242.708	39%
Gewerbe und Sonstiges	93.436	56.978	81.346	-	180	48.936	-		280.876	9%
Verarbeitendes Gewerbe	337.107	9.739	112.805	-	-	6.597	892		467.141	15%
Kommunale Liegenschaft	-	-	-	-	-	-	-		-	0%
Verkehr	24.902							1.167.396	1.192.298	37%
Summe	696.914	459.939	653.102	-	601	204.179	892	1.167.396	3.183.023	100%
MWh	Strom	Heizöl	Erdgas	Fernwärme	Kohle	Wärme aus EEQ	Sonstige Energieträger	Kraftstoffe	Summe	Anteil
Private Haushalte	312.642	615.039	745.127	21.231	1.226	580.688	-		2.275.953	32%
Gewerbe und Sonstiges	182.338	57.964	287.004	8.328	525	627.385	-		1.163.544	17%
Verarbeitendes Gewerbe	499.433	-	799.362	263	-	11.112	-		1.310.170	19%
Kommunale Liegenschaft	28.063	273	48.193	12.196	-	-	-		88.725	1%
Verkehr	35.219	-	-	-	-	-	-	2.176.924	2.212.143	31%
Summe	1.057.695	673.276	1.879.686	42.018	1.751	1.219.185	-	2.176.924	7.050.535	100%
MWh	Strom	Heizöl	Erdgas	Fernwärme	Kohle	Wärme aus EEQ	Sonstige Energieträger	Kraftstoffe	Summe	Anteil
Private Haushalte	814.272	1.140.069	1.946.795	128.422	3.253	855.396	0		4.888.206	31%
Gewerbe und Sonstiges	688.788	309.588	845.935	361.963	1.394	723.765	0		2.931.432	19%
Verarbeitendes Gewerbe	1.104.596	16.617	1.100.116	544.067	0	24.556	35.262		2.825.214	18%
Kommunale Liegenschaft	47.820	3.504	82.088	14.403	0	757	0		148.572	1%
Verkehr	98012							4.758.964	4.856.976	31%
Summe	2.753.487	1.469.778	3.974.934	1.048.855	4.647	1.604.474	35.262	4.758.964	15.650.400,9	100%

Tabelle 8: Fernwärme- und Stromerzeugung im Gebiet in 2010, 2018 und 2040 (Klimaneutral)

Fernwärmeproduktion				Stromproduktion			
Bilanz	2010	Ist	KN 2040	Bilanz	2010	Ist	KN 2040
spez. Emissionen	g/kWh			spez. Emissionen	g/kWh		
Fernwärme (Durchschnitt)	199	118	15	Strom (Regionalmix)	460	251	9
Bezugsjahr	2010	2018	2040	Bezugsjahr	2010	2018	2040
	GWh				GWh		
Heizöl-Kessel	11	12	0	Wasser	35	25	38
Heizöl-BHKW	0	0	0	Atomkraft	0	0	0
Erdgas-Kessel	260	260	0	Erdgas-BHKW	563	604	0
Erdgas-BHKW	731	731	0	Sonne	105	261	4.645
Erdgas-WP	0	0	0	Biogas-BHKW	53	27	153
Holz-Kessel	37	89	15	Abfall-BHKW	0	1	0
Holz-KWK	0	723	534	Wind	34	55	2.634
Biogas-Kessel	0	0	36	Holz-KWK	0	63	133
Biogas-BHKW	12	44	188	Erdöl-BHKW	0	0	0
Solarkollektoren	0	0	48	Pfl.öl-BHKW	0	0	130
Strom-WP	0	0	42	Braunkohle	0	0	0
Abwärme	0	0	0	Steinkohle	0	0	0
Tiefengeoth.	0	0	400	Tiefengeoth.	0	0	0
Summe	1.050	1.859	1.262	Summe	789	1.036	7.733

Die zwei bedeutendsten Energieträger sind jeweils **fett**.

4.4 Übersichten der drei Kreise

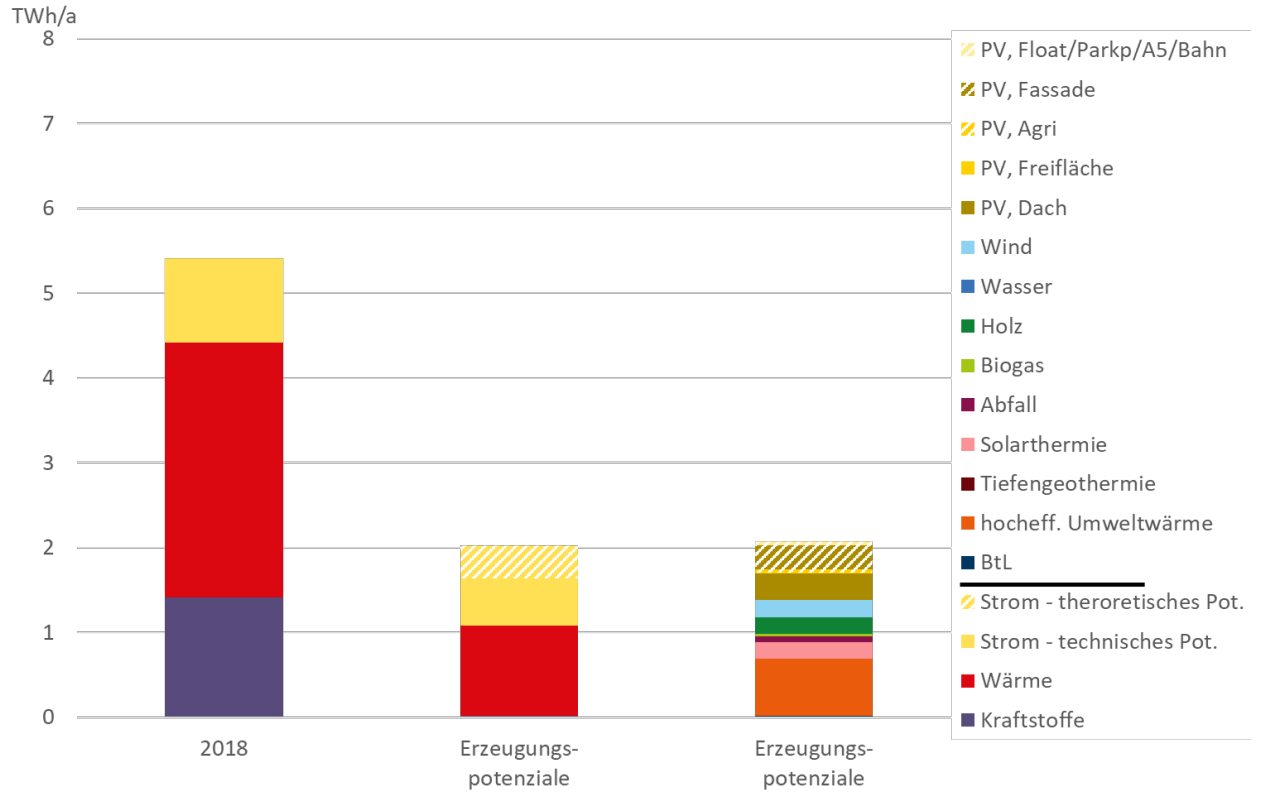


Abbildung 13: Endenergiebilanz der Stadt Freiburg 2018 und die Potenziale der Stadt

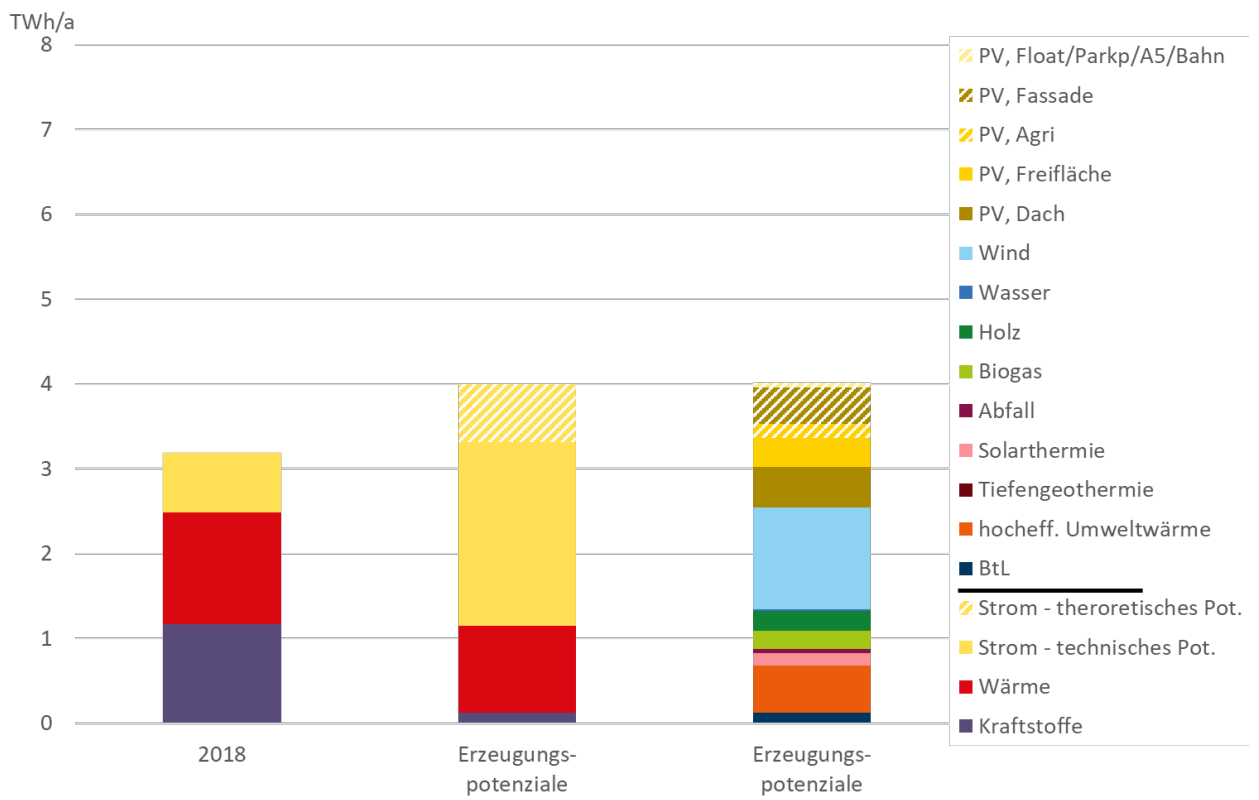


Abbildung 14: Endenergiebilanz des Landkreises Emmendingen 2018 und die Potenziale des Kreises

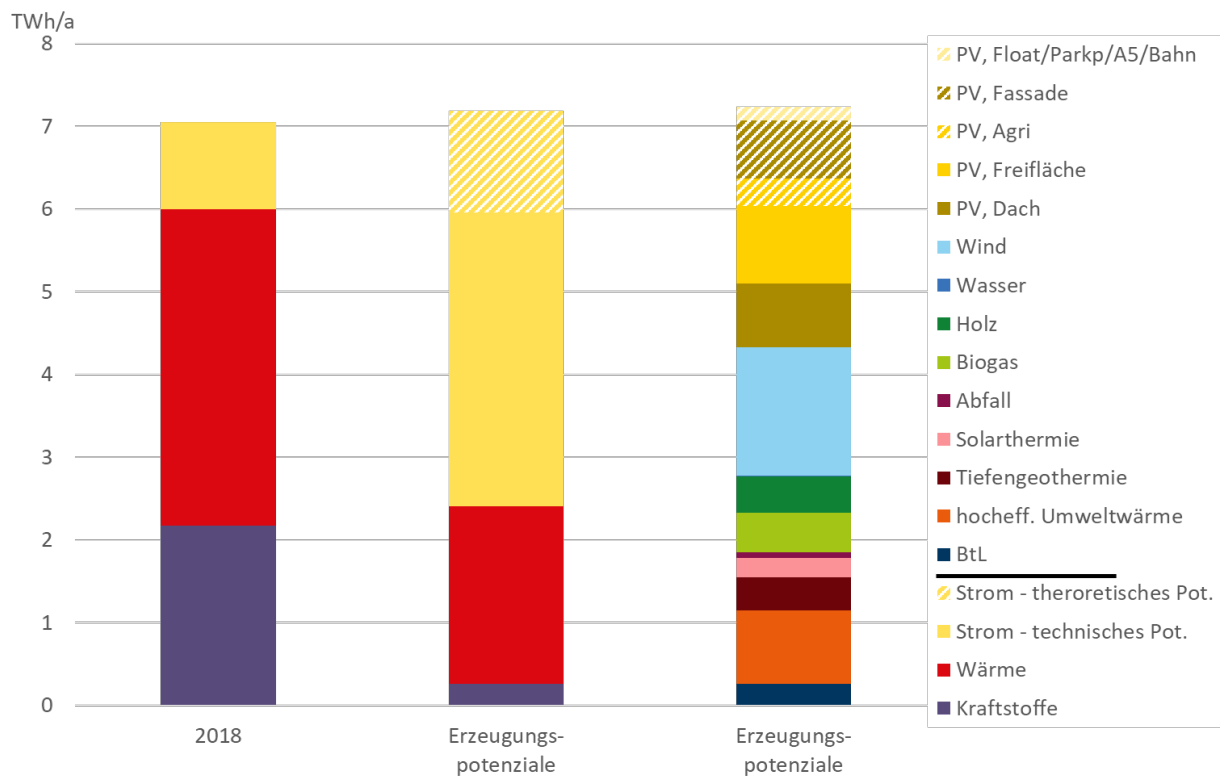


Abbildung 15: Endenergiebilanz des Landkreises Breisgau-Hochschwarzwald 2018 und die Potenziale des Kreises

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald der Anteil an Waldflächen (47,6% laut Statistischem Landesamt) und Schutzkulissen des Naturschutzes sehr hoch ist. Die bewegte Topographie und Abstandsflächen zu Splittersiedlungen erschweren zusätzlich die Realisierung von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energie.