

Freiburg 2050 – Auf dem Weg zur Klimaneutralität

Abschlussbericht

Im Auftrag der Stadt Freiburg

**Freiburg /
31. Oktober 2011**

Öko-Institut e.V.

Tanja Kenkmann (t.kenkmann@oeko.de)
Christof Timpe (c.timpe@oeko.de)
Veit Bürger (v.buerger@poeko.de)
Dr. Katja Schumacher (k.schumacher@oeko.de)
Dr. Wiebke Zimmer (w.zimmer@oeko.de)

Energieagentur Regio Freiburg GmbH

Christian Neumann (neumann@energieagentur-freiburg.de)

Öko-Institut e.V.

Geschäftstelle Freiburg
Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Tel.: +49-761-452 95-0
Fax: +49-761-452 95-288

Büro Berlin
Schicklerstr. 5-7
10179 Berlin
Tel. +49-30-40 50 85-0
Fax +49 -30-40 50 85-388

Büro Darmstadt
Rheinstr. 95
64295 Darmstadt
Tel.: +49-61 51-81 91-0
Fax: +49-61 51-81 91-133

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	13
2	Einleitung	18
2.1	Hintergrund und Zielstellung dieser Studie	18
2.2	Energie- und klimapolitischer Rahmen der Stadt Freiburg	19
2.3	Energie- und klimapolitischer Rahmen des Landes Baden-Württemberg	22
2.4	Energie- und klimapolitischer Rahmen des Bundes und der EU	23
3	Methodik der Untersuchung	24
3.1	Definition und Erstellung der Szenarien	24
3.2	Beteiligung lokaler Akteure	25
3.3	Beschreibung robuster Pfade und Entwicklung der Umsetzungsmaßnahmen	26
4	Datengrundlage und -fortschreibung	26
5	Ausgangslage zu Energieverbrauch und -umwandlung	31
6	Referenz-Szenario	34
6.1	Sektor Haushalte – Raumwärme	34
6.2	Sektor Haushalte – Warmwasser, Elektrogeräte und Kochen	35
6.3	Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)	36
6.4	Sektor Industrie	39
6.5	Sektor Verkehr	40
6.6	Sektor Energieumwandlung	44
6.7	Zusammenfassung Referenz-Szenario	46
7	Ziel-Szenario „Klimaneutrale Stadt“	48
7.1	Sektor Haushalte – Raumwärme	48
7.2	Sektor Haushalte – Warmwasser, Elektrogeräte und Kochen	51
7.3	Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)	54
7.4	Sektor Industrie	58
7.5	Sektor Verkehr	60
7.6	Sektor Energieumwandlung	67
7.7	Zusammenfassung zum Ziel-Szenario	72
8	Ökonomische Bewertung des Zielszenarios	76
8.1	Methodik der ökonomischen Bewertung	76
8.2	Ergebnisse für den Sektor HH – Raumwärme	79
8.3	Ergebnisse für den Sektor Energieinfrastruktur	86

8.4	Ergebnisse für den Sektor Verkehr	89
8.5	Kosten des Klimawandels	93
8.6	Effekte auf Beschäftigung und lokale Wertschöpfung	94
8.7	Abschätzung des Förderbedarfs durch Bund, Land und Kommunen	99
8.8	Abschätzung des Aufwands für Koordination und Umsetzung durch die Stadt Freiburg	101
9	Ergebnisse der Stakeholder-Foren	102
9.1	Forum Wohngebäude	102
9.2	Forum Energieumwandlung/Energieinfrastruktur	104
9.3	Forum Personenverkehr	105
10	Handlungsempfehlungen an die Stadt Freiburg	107
10.1	Handlungsempfehlungen zum Sektor Haushalte-Raumwärme	107
10.2	Handlungsempfehlungen zum Sektor Energieinfrastruktur	109
10.3	Handlungsempfehlungen Sektor Verkehr	113
11	Projektbeschreibungen für die Umsetzungsphase	116
11.1	Projektvorschlag „Initiierung eines energetischen Vorbild-Wohnquartiers im Bestand“	116
11.2	Projektvorschlag „Erschließung eines Absatzmarkts für ungenutzte Wärmepotenziale aus dem WVK Rhodia“	117
11.3	Projektvorschlag „Initiative „Radverkehr Freiburg 2.0“	118
11.4	Projektvorschlag „Innovatives Mobilitätsmanagement“	119
12	Referenzen	121
13	Anhang I	125
13.1	Spezifische Endenergiebedarfe für die Raumwärmebereitstellung	125
13.2	Datentabellen zum Referenz-Szenario	126
13.3	Datenbanken zum Ziel-Szenario	148

Anhang II "Dokumentation der Stakeholder-Workshops": extra Dokument

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Bevölkerungsentwicklung, Zahl der Haushalte und Wohnfläche pro Einwohner bis 2050	27
Abbildung 2:	Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren, ohne Verkehr, Bezugsjahr 2010, Gesamtverbrauch 4.020 GWh	31
Abbildung 3	Endenergieverbrauch ohne Verkehr (links) und Endenergieverbrauch im Sektor Verkehr (rechts), nach Energieträgern, Basisjahr 2010	32
Abbildung 4	Endenergieverbrauch der Landesliegenschaften, Basisjahr 2009	33
Abbildung 5	Endenergieverbrauch der städtischen Einrichtungen, Basisjahr 2009	33
Abbildung 6:	Entwicklung des Endenergiebedarfs im Sektor Haushalte – Raumwärme (Referenz-Szenario)	35
Abbildung 7:	Entwicklung des Endenergiebedarfs im Sektor Haushalte – Warmwasser (Referenz-Szenario)	36
Abbildung 8:	Entwicklung des Endenergiebedarfs im Sektor Haushalte – Elektrogeräte und Kochen (Referenz-Szenario)	36
Abbildung 9	Entwicklung des Endenergiebedarfs im Sektor GHD (Referenz-Szenario)	37
Abbildung 10	Entwicklung des Stromverbrauchs städtischer Liegenschaften und Beleuchtung (Referenz- und Ziel-Szenario)	38
Abbildung 11	Entwicklung des Endenergiebedarfs Sektor Industrie (Referenz-Szenario)	40
Abbildung 12	Personenverkehr: Entwicklung der Verkehrsleistung (Referenz-Szenario)	41
Abbildung 13	MIV: Anteile verschiedener Antriebsarten am Fahrzeugbestand (Referenz-Szenario)	42
Abbildung 14	Personenverkehr: Entwicklung des Endenergieverbrauchs (Referenz-Szenario)	42
Abbildung 15	Straßen-Güterverkehr: Entwicklung der Fahrleistungen (Referenz-Szenario)	43
Abbildung 16:	Energieumwandlung: Brennstoffeinsatz zur Strom- und Wärmeerzeugung (Referenz-Szenario)	45
Abbildung 17:	Energieumwandlung: Entwicklung der Stromerzeugung (Referenz-Szenario)	46
Abbildung 18	Entwicklung des Endenergieverbrauchs, Sektor Raumwärme (Ziel-Szenario)	50
Abbildung 19	Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor HH – Warmwasser (Ziel-Szenario)	52
Abbildung 20	Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Sektors HH – Elektrogeräte und Kochen (Ziel-Szenario)	52

Abbildung 21:	Sektor HH – Warmwasser, Elektrogeräte und Kochen: THG-Emissionen nach Energieträgern (Ziel-Szenario)	53
Abbildung 22	Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor GHD (Ziel-Szenario)	55
Abbildung 23	Sektor GHD: THG-Emissionen nach Energieträgern (Ziel-Szenario)	55
Abbildung 24	Entwicklung des Endenergieverbrauchs für die Landesliegenschaften nach dem Ziel-Szenario	57
Abbildung 25	Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Industrie (Ziel-Szenario)	59
Abbildung 26	Industrie: Entwicklung der THG-Emissionen nach Energieträgern (Ziel-Szenario)	60
Abbildung 27	Personenverkehr: Entwicklung der Verkehrsleistung	61
Abbildung 28	MIV: Anteile verschiedener Antriebsarten am Fahrzeugbestand (Ziel-Szenario)	62
Abbildung 29	Personenverkehr: Entwicklung des Endenergieverbrauchs (Ziel-Szenario)	63
Abbildung 30	Straßen-Güterverkehr: Entwicklung der Fahrleistungen (Ziel-Szenario)	64
Abbildung 31	Straßen-Güterverkehr: Anteile der Antriebsarten an der Fahrleistung	65
Abbildung 32	Sektor Verkehr: Entwicklung der THG-Emissionen (Ziel-Szenario)	66
Abbildung 33:	Energieumwandlung: Brennstoffeinsatz zur Strom- und Wärmeerzeugung (Ziel-Szenario)	68
Abbildung 34	Energieumwandlung: Entwicklung der Stromerzeugung (Ziel-Szenario)	71
Abbildung 35	Endenergieverbrauch 2020 nach dem Ziel-Szenario nach Energieträgern, Endenergieverbrauch gesamt 4.239 GWh	73
Abbildung 36	Endenergieverbrauch 2050 nach dem Ziel-Szenario nach Energieträgern, Endenergieverbrauch gesamt 2.492 GWh	73
Abbildung 37	Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der THG-Emissionen insgesamt nach dem Ziel-Szenario	74
Abbildung 38	Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der THG-Emissionen nach dem Szenario „Optimales Klimaschutz-Umfeld“ der Klimaschutz-Strategie der Stadt Freiburg 2007 und des Ziel-Szenarios	75
Abbildung 39:	Gliederung der Kosten bei Sanierungen und Modernisierungen	79
Abbildung 40:	Abhängigkeit der Vollkosten der Sanierung vom Endenergiebedarf für Heizung nach der Sanierung	80
Abbildung 41	Vergleich der Investitionen in energetische Sanierung und Modernisierung nach Referenz- und Ziel-Szenario bis 2050	83
Abbildung 42	Mittlere CO ₂ -Minderungskosten für verschiedene Sanierungsmaßnahmen	86

Abbildung 43	Beschäftigungseffekte der geförderten Investitionen – für ein Jahr gesicherte oder geschaffene Arbeitsplätze	96
Abbildung 44	Beschäftigung in Baden-Württemberg durch im Land wirksame Nachfrage nach EE-Anlagen und deren Betrieb im Jahr 2008	97
Abbildung 45	Gegenüberstellung der durch EE-Zubau in Baden-Württemberg gemäß des Energiekonzepts 2020 (EK2020) und der für Stromerzeugung erhöhten Ziele (25 % EE – EK2020plus) generierten Vollbeschäftigungsjahre über den Zeitraum von 2009 bis 2020	98

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Reduzierung des Endenergieverbrauchs und der THG-Emissionen gegenüber 2010 nach dem Ziel-Szenario	14
Tabelle 2:	Spezifische Verbrauchsdaten der PKW (Referenz-Szenario)	41
Tabelle 3:	Spezifische Verbrauchsdaten der Fahrzeuge im Straßen-Güterverkehr (Referenz-Szenario)	43
Tabelle 4:	Berechnungsgrößen für die Berechnung von PV-Stromproduktion und erforderlicher PV-Modulfläche (Referenz-Szenario)	46
Tabelle 5:	Änderung des Endenergieverbrauchs und der THG-Emissionen gegenüber 2010 nach dem Referenz-Szenario	47
Tabelle 6	Zwischenziele für die Reduzierung des Endenergiebedarfs und der THG-Emissionen im Sektor HH-Raumwärme	51
Tabelle 7	Zwischenziele für die Reduzierung des Endenergiebedarfs und der THG-Emissionen in den Sektoren HH – Warmwasser und HH – Elektrogeräte und Kochen	53
Tabelle 8:	Zwischenziele für die Reduzierung des Endenergiebedarfs und der THG-Emissionen im Sektor GHD	56
Tabelle 9	Zwischenziele für Landesliegenschaften	57
Tabelle 10	Zwischenziele für die Reduzierung des Endenergiebedarfs und der THG-Emissionen im Sektor Industrie	60
Tabelle 11	Entwicklung der spezifischen Verbräuche im MIV (Ziel-Szenario)	62
Tabelle 12:	Entwicklung der spezifischen Verbräuche im Straßen-Güterverkehr	64
Tabelle 13:	Zwischenziele für die Reduzierung des Endenergiebedarfs und der THG-Emissionen im Sektor Verkehr, Änderungen jeweils gegenüber 2010	67
Tabelle 14:	Berechnungsgrößen für die Berechnung von PV-Stromproduktion und erforderlicher PV-Modulfläche (Ziel-Szenario)	70
Tabelle 15	Zwischenziele für die Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung und der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien, Änderungen jeweils gegenüber 2010	72
Tabelle 16:	Reduzierung des Endenergieverbrauchs und der THG-Emissionen gegenüber 2010 nach dem Ziel-Szenario	74
Tabelle 17:	Übersicht über die angesetzten Werte für die spezifischen Sanierungskosten	81
Tabelle 18	Investitionskosten für Gebäudesanierung im Sektor HH-Raumwärme	82
Tabelle 19	Energiepreis-Szenarien: Verbraucherpreise zur Raumwärmebereitstellung im Sektor Haushalte	84

Tabelle 20	Investitionen, Energiekosten- und THG-Emissionseinsparungen im Sektor HH-Raumwärme (ohne Energieumwandlung) nach Ziel-Szenario bis 2050	85
Tabelle 21	Sektor Energieinfrastruktur: Investitionskosten der hier betrachteten Maßnahmen	88
Tabelle 22	Investitionen, Energiekosten- und THG-Emissionseinsparungen im Sektor Energieinfrastruktur nach dem Ziel-Szenario bis 2050	89
Tabelle 23	Sektor Verkehr: Investitionskosten der hier betrachteten Maßnahmen	90
Tabelle 24	Energiepreis-Szenarien: Verbraucherpreise Haushalte für Mineralölkraftstoffe, Strom und Wasserstoff	91
Tabelle 25	Investitionen, Energiekosten- und THG-Emissionseinsparungen im Verkehrs-Sektor nach Ziel-Szenario bis 2050	93

1 Zusammenfassung

Mit dieser Studie wird eine Strategie entworfen, mit der die Stadt Freiburg i. Br. ihre aus dem Verbrauch von Energie stammenden Treibhausgas-Emissionen bis zum Jahr 2050 um über 90% reduzieren kann. Mit der Realisierung dieser Strategie würde die Stadt ihren angemessenen Beitrag zur Stabilisierung des globalen Klimas und zur weitgehenden Dekarbonisierung der Industriestaaten leisten.

Bereits bisher hat sich Freiburg anspruchsvolle Klimaschutz-Ziele gesetzt und eine Vielfalt von konkreten Maßnahmen umgesetzt: Gemäß eines Beschlusses des Gemeinderats aus dem Jahr 2007 sollen die Treibhausgas-Emissionen bis zum Jahr 2030 um 40% reduziert werden. Unter anderem in den Bereichen der lokalen Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung, energetischen Sanierungen im Gebäudebestand, einer klimaschutzorientierten städtebaulichen Entwicklung und dem gezielten Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs sowie des Rad- und Fußverkehrs hat Freiburg bereits viele Erfolge erzielt.

Mit der hier vorgelegten Studie wird nun der Blick auf das langfristige Ziel der weitgehenden Klimaneutralität gerichtet. Das globale Ziel einer Begrenzung des Klimawandels auf eine Temperaturerhöhung von maximal zwei Grad kann nur erreicht werden, wenn auch die Kommunen in den Industrieländern eine weitreichende Dekarbonisierung erreichen. Um dieses Ziel zu realisieren, müssen der Energieverbrauch massiv reduziert und die Energieversorgung einschließlich des Verkehrsbereichs nahezu vollständig auf Erneuerbare Energien umgestellt werden. Angesichts der großen, weltweiten Herausforderung des Klimaschutzes ist es heute noch nicht möglich, eine derartige künftige Entwicklung in einem Szenario exakt zu beschreiben. Auch wenn die heute verfügbaren Technologien und das Angebot Erneuerbarer Energieträger grundsätzlich ausreichen würden, die genannten CO₂-Minderungsziele zu erreichen, so ist doch zu erwarten, dass im Zeitraum bis zum Jahr 2050 viele neue Klimaschutz-Technologien entwickelt und verfügbar gemacht werden, deren Details und Kosten heute noch nicht bekannt sind. Insofern sollte das in dieser Studie entwickelte „Zielszenario Klimaneutrale Stadt“ als eine denkbare Entwicklung angesehen werden, auf welchem Weg Freiburg nahezu klimaneutral werden könnte, nicht aber als eine genaue Prognose der Zukunft.

Das Ziel-Szenario zeigt jedoch eindeutig, dass es für das Erreichen einer Klimaneutralität insbesondere erforderlich ist, den Endenergiebedarf von **Wohngebäuden** durch weitgehende energetische Sanierungen um etwa 70% gegenüber dem Stand von 2010 zu reduzieren. Zusammen mit einer massiven Ausweitung des Anteils Erneuerbarer Energien an der Beheizung von Gebäuden kann somit in diesem Sektor eine Treibhausgas-Reduktion um über 97,5% erreicht werden. Ebenfalls sehr groß ist die erzielbare Einsparung von Emissionen aus dem Bereich der **Warmwassererzeugung**, die ebenfalls weitgehend auf Erneuerbare Energien umgestellt wird. Im Gegensatz hierzu rechnet das Szenario nur mit einem moderaten Rückgang des **Stromverbrauchs der privaten Haushalte**. Unter anderem ist damit zu rechnen, dass der bereits nicht mehr vermeidbare regionale Klimawandel einen verstärkten Bedarf zur Klimatisierung von Wohngebäuden hervorruft, der die Effizienzgewinne bei den anderen Stromanwendungen weitgehend ausgleichen könnte.

In dem in Freiburg wichtigen **Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen** liegt eine sehr diversifizierte Struktur des Energiebedarfs vor. Besonders bedeutend sind hier die verschiedenen Liegenschaften des Landes Baden-Württemberg im Stadtgebiet, die in Summe einen deutlich höheren Anteil an den Treibhausgas-Emissionen aufweisen als die städtischen Einrichtungen. Insgesamt erscheint es möglich, den Energiebedarf in diesem heterogenen Sektor bis zum Jahr 2050 um etwa 55% zu reduzieren. Ebenso wichtig ist es, auch diese Gebäude weitgehend aus Erneuerbaren Energien zu versorgen. Somit kann bis 2050 eine Reduktion der klimarelevanten Emissionen um etwa 95,7% erreicht werden.

Der Energiebedarf und die Emissionen der **Industrie** in Freiburg werden wesentlich durch die Firma Rhodia und das in deren räumlicher Nähe betriebene Wärmeverbundkraftwerk bestimmt. Im Szenario wird angenommen, dass dieser Produktionsstandort im Wesentlichen unverändert erhalten bleibt. Energieeinsparungen sind in der Industrie sowohl im Bereich der branchenübergreifend eingesetzten Querschnittstechnologien wie auch durch weitere Verbesserungen der Produktionsprozesse möglich. Zu erwarten ist zudem eine weiter voranschreitende Substitution von Produkten und Prozessen, die die Energieintensität der Industrie weiter reduzieren kann. Insgesamt wird im Szenario damit gerechnet, dass trotz eines weiteren, kontinuierlichen Wirtschaftswachstums der Endenergiebedarf der Industrie Freiburgs bis 2050 um etwa ein Drittel reduziert werden kann. In Kombination mit einem massiv verstärkten Einsatz Erneuerbarer Energien erscheint ein Rückgang der Treibhausgas-Emissionen des industriellen Sektors sogar um über 88% möglich.

Tabelle 1 Reduzierung des Endenergieverbrauchs und der THG-Emissionen gegenüber 2010 nach dem Ziel-Szenario

	Reduzierung Endenergieverbrauch	Reduzierung THG-Emissionen (gegenüber 2010)	Anteil Erneuerbarer Energien 2050, Strom ist zu 99,1% erneuer- bar
HH – Raumwärme	-70,9%	-97,49%	>99%
HH – Warmwasser	-37,4%	-92,97%	>99%
HH – Gerte/Kochen	-0,7%	-96,40%	99%
GHD	-54,8%	-95,71%	ca. 96%
Industrie	-35,1%	-88,42%	ca. 91%
Verkehr	-62,1%	-87,99%	ca. 85%
Gesamt	-51,6%	-92,55%	ca. 93,7%

Im Sektor **Verkehr** sind umfassende Treibhausgas-Reduktionen nur durch eine Kombination einer intelligenten Verkehrspolitik, dem Einsatz effizienterer Fahrzeuge sowie einem weitgehenden Umstieg auf Kraftstoffe aus nachhaltigen, Erneuerbaren Energien erreichbar. Im Ziel-Szenario wird angenommen, dass durch eine konsequente „Stadt-der-kurzen-Wege“-

Politik und einer ebensolchen Förderung der umweltfreundlichen Verkehrsträger Fußverkehr, Radverkehr und ÖPNV die Verkehrsleistung des motorisierten Personenverkehrs um ein Viertel sinkt. Der Endenergiebedarf kann daher und durch den Einsatz effizienterer Fahrzeugantriebe um etwa 80% gesenkt werden. Im Straßengüterverkehr werden sich dagegen die Verkehrsleistungen, dem deutschlandweiten und in der Vergangenheit auch in Freiburg beobachteten Trend folgend, noch leicht erhöhen, hier kann durch städtische Verkehrspolitik weniger erreicht werden. Auch die erzielbaren Effizienzgewinne sind deutlich geringer. Daher geht der Endenergiebedarf in diesem Bereich bis 2050 nur um knapp ein Viertel zurück. Insgesamt erscheint im Verkehrssektor durch einen stark auf Erneuerbaren Energien basierenden Mix an Kraftstoffen bis zum Jahr 2050 eine Emissionsreduktion um etwa 88% erreichbar.

Von großer Bedeutung für die Klimaneutralität der Stadt ist auch die weitere Entwicklung der Infrastruktur der **Energieumwandlung und -bereitstellung**. Aufgrund der verbesserten Isolierung der Gebäude werden sowohl der Bedarf an Nah- und Fernwärme wie auch der Bedarf an Erdgas massiv zurückgehen. Diese Entwicklung wird nur teilweise durch Neuanschlüsse ausgeglichen werden können. Die zentrale Erzeugung von Wärme muss zudem weitgehend auf Erneuerbare Energien umgestellt werden. Die weitere Entwicklung in diesem Sektor wird stark davon abhängen, in welchem Umfang und zu welchen Preisen feste oder gasförmige biogene Brennstoffe für die **Kraft-Wärme-Kopplung** und die ungekoppelte zentrale Wärmeerzeugung zur Verfügung stehen. Die Annahme im Ziel-Szenario, dass die Nah- und Fernwärme künftig weit überwiegend aus fester Biomasse erzeugt wird, ist insofern als Platzhalter für die heute noch nicht im Detail absehbare künftige Entwicklung insbesondere bei den beiden großen Heizkraftwerken im Stadtgebiet zu verstehen.

Deutlich zunehmen wird die **Stromerzeugung** aus Erneuerbaren Energien im Stadtgebiet, insbesondere aus Windkraft und Photovoltaik. Bis zum Jahr 2050 könnten allein diese beiden Technologien 25% des Strombedarfs der Stadt abdecken. Zusammen mit der Wasserkraft und der ebenfalls auf Erneuerbaren Energien basierenden Kraft-Wärme-Kopplung erreicht der Anteil des lokal und regenerativ hergestellten Stroms auf diese Weise 75% des Strombedarfs der Stadt. Der verbleibende Anteil wird aus dem Verbundnetz bezogen und – gemäß den Annahmen des bundesweiten Rahmenszenarios für diese Studie – ebenfalls weitgehend erneuerbar erzeugt.

Unter diesen Annahmen für die Entwicklung der einzelnen Sektoren des Energiebedarfs kann es gelingen, den **Endenergiebedarf** der Stadt bis zum Jahr 2050 etwa zu halbieren und die energiebedingten Treibhausgas-Emissionen um 91% zu senken. Damit würde die Emissionsentwicklung in Freiburg (unter Vernachlässigung der sonstigen Emissionen aus Land- und Forstwirtschaft, Abfall und vorgelagerten Emissionen der genutzten Produkte) in der Bandbreite der aus Sicht des globalen Klimaschutzes erforderlichen Entwicklung für die Emissionen der Industriestaaten bis zum Jahr 2050 liegen. Die Pro-Kopf-Emissionen würden von derzeit etwa 8,5 t CO₂-Äq./a bis zum Jahr 2050 auf 0,65 t CO₂-Äq./a sinken. Im Vergleich zum globalen Ziel einer Emission von maximal einer Tonne Treibhausgasen pro Kopf lässt dieser Wert für die rein energiebedingten Emissionen noch einen Spielraum für die sonstigen Emissionen, die der Freiburger Bevölkerung zuzurechnen sind. Nur noch etwa sechs Pro-

zent des Freiburger Energiebedarfs im Jahre 2050 stammt in diesem Szenario noch aus nicht erneuerbaren Energiequellen.

Um eine Vorstellung von den **wirtschaftlichen Effekten** des Ziel-Szenarios im Vergleich zu einer Referenzentwicklung ohne weiter verstärkte Klimaschutz-Anstrengungen auf kommunaler Ebene zu gewinnen, wurde eine grobe Analyse durchgeführt. Aufgrund verschiedenster methodischer Schwierigkeiten konnte diese Analyse nur für Teilbereiche des Szenarios angewendet werden. Ihre Ergebnisse sollten daher auch nur als grobe Abschätzung interpretiert werden. Abschätzt wurde beispielsweise, dass allein für die energetische Sanierung von Gebäuden gegenüber einer Trendentwicklung durchschnittlich etwa 47 Mio. €/a zusätzlich investiert werden müssen. Unter Einbezug der Kosten für die sonstigen Modernisierungsmaßnahmen, die mit den energetischen Sanierungen in der Regel einhergehen, steigt diese Summe auf ca. 71 Mio. €/a. Um die großen, derzeit brach liegenden Potenziale rasch zu erschließen, wurde im Szenario angenommen, dass in den kommenden 15 Jahren sogar eine doppelt so hohe Summe jährlich zusätzlich investiert wird. Im Zeitraum bis 2050 müssen so allein für die energetische Sanierung der Freiburger Gebäude Zusatzinvestitionen in Höhe von ca. 1,8 Mrd. € vorgenommen werden.

Verglichen hiermit nehmen sich die Zusatzinvestitionen in den beiden anderen exemplarisch betrachteten Handlungsbereichen bescheiden aus. Im Bereich der Energieumwandlung sind Wärmenetze auszubauen und Heizkraftwerke zur Nutzung von Erneuerbaren Energien zu ertüchtigen. In grober Abschätzung wurden hierfür Investitionen von insgesamt etwa 40 Mio. € angesetzt. Im Verkehrsbereich sind über die bereits bestehenden Planungen hinaus verschiedene zusätzliche Maßnahmen erforderlich, insbesondere die verstärkte Anschaffung verbesserter Fahrzeuge für die private Nutzung und für den ÖPNV. Hier wird bis zum Jahr 2050 mit kumulierten Investitionen in Höhe von knapp 0,5 Mrd. € gerechnet. Für weitere Sektoren des Energiebedarfs konnten vergleichbare Abschätzungen aus methodischen Gründen nicht durchgeführt werden.

Zu beachten ist, dass ein wesentlicher Teil der aufgeführten zusätzlichen Investitionskosten durch vermiedene Kosten für den Bezug von Energieträgern gegenfinanziert werden kann. Dies gilt insbesondere angesichts der im Rahmen eines ambitionierten Klimaschutz-Szenarios mit großer Sicherheit weiter steigenden Energiepreise. Im Bereich der Gebäudesanierung werden die hier unterstellten, sehr weitgehenden Maßnahmen jedoch aus Sicht der Eigentümer dennoch nicht wirtschaftlich sein. Es verbleibt somit ein erheblicher Bedarf an öffentlicher Förderung, die insbesondere vom Bund, ggf. auch anteilig vom Land und ergänzend von der Stadt aufgebracht werden muss.

Zusätzlich stehen den Investitionskosten, die ja auch die Umstellung auf erneuerbare Energieträger beinhalten, jedoch auch die enormen Ausgaben, die jährlich von Bevölkerung und Unternehmen der Stadt Freiburg für den Bezug von fossilen Energieträgern wie Erdgas und Erdöl getätigt werden müssen, gegenüber. Diese Beträge stünden künftig zu einem erheblichen Teil dem regionalem Wirtschaftskreislauf zur Verfügung, was eine große wirtschaftliche Chance für Gewerbe, Industrie und Bevölkerung darstellen würde.

Durch die im Ziel-Szenario angenommenen Investitionen in den Gebäudebestand ließen sich – wiederum in einer groben Abschätzung – insgesamt etwa 4.400 **Arbeitsplätze** dauerhaft

schaffen bzw. sichern. Weitere, hier nicht im Detail zu quantifizierende Arbeitsplatzgewinne ergeben sich durch den energieoptimierten Neubau, den Ausbau der Erneuerbaren Energien und die zugehörigen Planungs- und Wartungsleistungen.

Neben der Aufstellung des Klimaschutz-Szenarios und seiner ökonomischen Bewertung wurden im Zuge der Studie auch **Stakeholder-Foren** mit Vertretern der relevanten Akteure auf kommunaler Ebene durchgeführt. Diese Workshops behandelten die Themen der energetischen Gebäudesanierung, der Entwicklung der Infrastruktur zur Energieversorgung und den Personenverkehr. Neben einer Grundsatz-Diskussion zu dem Klimaschutz-Szenario waren wesentliche Ergebnisse der Workshops eine Konkretisierung dieses Szenarios in Handlungsempfehlungen an die Stadt Freiburg, insbesondere für die kommenden zehn Jahre. Die Vorschläge aus den Workshops wurden vom Projektteam aufgenommen und überarbeitet und werden in dieser Studie nach den drei Themengebieten der Stakeholder-Foren separat dargestellt. Auch wenn diese Empfehlungen nicht alle für den Klimaschutz relevanten Bereiche abdecken, so stellen sie doch – zusammen mit den quantifizierten Zwischenzielen in 10-Jahres-Etappen, die im Klimaschutz-Szenario dokumentiert wurden – ein robustes Programm in den wichtigsten Handlungsbereichen dar, mit dem die Entwicklung der Stadt in Richtung auf eine Klimaneutralität bis zum Jahr 2050 eingeleitet werden kann. Zugleich ist das Szenario dazu geeignet, künftige Entscheidungen der Stadt in Bezug auf langlebige Infrastrukturen im Energie- und Verkehrssektor auf ihre Verträglichkeit mit dem langfristigen Ziel der Klimaneutralität zu überprüfen.

Die vorliegende Studie wurde im Rahmen des „Wettbewerbs Klimaneutrale Kommune“ durch Mittel des Landes Baden-Württemberg gefördert.

Resultierend aus den Ergebnissen der Studie wurden vier Vorschläge für Projekte entwickelt, die, bzw. eine Auswahl davon, dem Land Baden-Württemberg für eine Folgefinanzierung von Umsetzungsmaßnahmen vorgeschlagen werden sollen.

2 Einleitung

2.1 Hintergrund und Zielstellung dieser Studie

Die Stadt Freiburg verfolgt seit vielen Jahren eine ambitionierte Klimaschutzpolitik. Zuletzt hat sich die Stadt im Jahr 2007 dazu verpflichtet, die Treibhausgas-Emissionen bis zum Jahr 2030 um 40 Prozent gegenüber dem Stand des Jahres 1992 zu reduzieren, und zugleich ein umfassendes Maßnahmenpaket aufgelegt.

Aktuelle Analysen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) haben gezeigt, dass das Ziel einer maximalen globalen Erwärmung um zwei Grad voraussichtlich nur dann erreicht werden kann, wenn die Volkswirtschaften der entwickelten Industrieländer bis zum Jahr 2050 weitgehend dekarbonisiert werden und zugleich die kumulierten Emissionen auf dem Weg dorthin möglichst gering gehalten werden. Jede Klimaschutzstrategie eines Landes oder einer Kommune muss sich an dieser radikalen, langfristigen Perspektive messen lassen. Dabei ist es im Rahmen einer langfristigen Strategie auch wichtig, Entwicklungen zu vermeiden, bei denen auf kurzfristige Sicht sinnvoll erscheinende Technologien eingesetzt und Infrastrukturen aufgebaut werden, die sich mittel- und langfristig als Sackgassen und Hemmnisse für den noch weitergehenden Klimaschutz herausstellen könnten. In der Realität ist dieser langfristige Blick allerdings nicht einfach umzusetzen, da für viele Bereiche des heutigen Energiebedarfs noch nicht klar ist, welche Technologien und welche Energiequellen bis zum Jahr 2050 zur Verfügung stehen werden. Insofern müssen klimapolitische Entscheidungen auch auf kommunaler Ebene unter gewissen Unsicherheiten getroffen werden. Dennoch sollte alles daran gesetzt werden, die künftige Klimaschutz-Aktivitäten an einer langfristigen Strategie auszurichten und insbesondere Entscheidungen hinsichtlich langlebiger Infrastrukturen wie Gebäude, Kraftwerke, Energienetze und Verkehrswege immer kritisch vor dem Hintergrund ihrer Auswirkungen auf und ihre Passung in die langfristige Klimaschutzstrategie zu prüfen.

In diesem Zusammenhang steht auch der Wettbewerb „Klimaneutrale Kommune“ des Landes Baden-Württemberg, der im Jahr 2010 ausgeschrieben wurde. In diesem Wettbewerb wird die Entwicklung langfristig angelegter Klimaschutzstrategien von Kommunen gefördert, die zeigen, mit welchen Maßnahmen und unter welchen Kosten eine drastische Reduktion der auf der Gemarkung der Kommune ausgelösten energiebedingten CO₂-Emissionen erreicht werden kann. Nachdem die Stadt Freiburg mit ihrer Projektskizze als einer der Gewinner dieses Wettbewerbs ausgezeichnet wurde, wird nun diese Studie als Ergebnis des Strategieprozesses vorgelegt.

Zur Umsetzung der vorstehend genannten Zielsetzung des Landeswettbewerbs soll diese Studie

- die zum Erreichen des Ziels der weitgehenden Klimaneutralität erforderlichen Veränderungen in Form eines Zielszenarios so konkret wie möglich beschreiben;
- in diesem Zusammenhang einen Vorschlag für die „Lastenverteilung“ der Emissionsreduktion zwischen den einzelnen Sektoren des Energiebedarfs machen;

- die mit dieser Strategie verbundenen Kosten so gut beziffern, wie dies aus heutiger Sicht möglich ist; und
- zudem den Handlungsbedarf auf kommunaler Ebene in konkrete und politisch handhabbare Zielstellungen, z.B. für die kommenden zehn Jahre, herunter brechen und geeignete Zwischenziele definieren, so dass bei aller Abstraktion des langfristigen Ziels zugleich konkrete, umsetzbare Strategien entstehen.

Als besonderes Element dieser Studie wurde im Kontext der Szenarioentwicklung auch eine Reihe von Workshops (Stakeholder-Foren) mit kommunalen Akteuren in den für den Klimaschutz wichtigsten Handlungsfeldern durchgeführt. Hiermit wurde zum einen die Annahmen des Klimaschutz-Szenarios abgesichert, zum anderen aber auch eine Auseinandersetzung der Akteure mit den Implikationen des langfristigen Klimaschutzziels auf ihren eigenen Tätigkeitsbereich eingeleitet und eine Diskussion zu den Prioritäten im jeweiligen Handlungsfeld für die kommenden zehn Jahre geführt.

Aus den Ergebnissen dieser Workshops werden in Kapitel 10 dieser Studie eine Reihe von konkreten und im Sinne der langfristigen Klimaschutzstrategie robusten Handlungsempfehlungen abgeleitet. Eine Auswahl von wichtigen Einzelmaßnahmen für die nächsten Jahre ist im Kapitel 11 dieser Studie dargestellt. Sie stellen die Vorschläge der Stadt Freiburg für die vom Land im Rahmen des Wettbewerbs angekündigte Förderung der Umsetzung ausgewählter Maßnahmen der Kommunen in einer zweiten Phase des Wettbewerbs dar.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse dieser Studie muss jederzeit klar sein, welche außerordentlich große Bedeutung die Region für die Erreichung der klima- und energiepolitischen Ziele der Stadt Freiburg hat. Alle genannten Zielstellungen sind überhaupt nur dann erreichbar, wenn die umliegende Region ähnliche Ziele verfolgt, und die Stadt Freiburg von den umliegenden ländlichen Regionen unterstützt wird (z.B. in der Frage der Berufspendler, der Biomasseversorgung).

2.2 Energie- und klimapolitischer Rahmen der Stadt Freiburg

2.2.1 Zielsetzungen und aktuelle Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen

Nach dem derzeit gültigen Gemeinderatsbeschluss will die Stadt Freiburg bis 2030 die klimaschädlichen Emissionen um 40% gegenüber 1992, dem Jahr der Erstellung einer ersten CO₂-Bilanz, senken. Dafür hat Freiburg eine umfangreiche Klimaschutz-Strategie (Öko-Institut, 2007) erarbeitet. Nach der aktuellen CO₂-Bilanz für 2008 und 2009 sind die Emissionen klimarelevanter Gase bis 2009 in Freiburg bereits um über 18% zurückgegangen. Pro Kopf sind die Emissionen sogar um 25,6% geschrumpft, da die Freiburger Bevölkerung seit Jahrzehnten wächst. Halten die aktuellen Minderungsraten an, so ist eine Reduktion der THG-Emissionen um 40% bis 2030 bereits mit den derzeitigen Anstrengungen möglich.

2.2.2 Potenziale zum Klimaschutz in Freiburg

Bereits durch frühere Klimaschutzkonzepte, zuletzt die Strategie aus dem Jahr 2007 (Öko-Institut, 2007), wurde nachgewiesen, dass das größte Potenzial für die Steigerung der Energieeffizienz im Bereich des Gebäudebestands liegt. Dies betrifft insbesondere die Wohngebäude, aber auch Dienstleistungsgebäude, öffentliche und sonstige Gebäude. Darüber hin-

aus stellen der effiziente Neubau von Gebäuden sowie Maßnahmen zur Stromeinsparung in allen Verbrauchssektoren wichtige Potenziale dar.

Zum Potential zur Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) soll das beauftragte Wärmekataster Auskunft geben. Hier ist insbesondere zu klären, welche Standorte für eine erdgasbasierte KWK-Installation geeignet sind. Hierzu sollten auch die Hinweise in Kapitel 10.2 dieser Studie beachtet werden.

Am besten untersucht sind die Potenziale zur Nutzung Erneuerbarer Energien in Freiburg.

In der Stadt Freiburg gab es 1995 ca. 2 Mio. m² für die Solarenergienutzung geeignete Dachflächen (Öko-Institut 1995). Auf dieser Fläche besteht ein theoretisches Potenzial für die Erzeugung von ca. 335 GWh/a Strom (bei 1.000 kWh/m² Globalstrahlung und 15 % Wirkungsgrad). 1,5 Mio. m² dieser Dachfläche befinden sich nicht in Fernwärme versorgten Stadtgebieten und sind daher für eine Solarthermienutzung geeignet. Dies bedeutet ein theoretisches Potenzial der Solarthermie von 450 GWh/a (Öko-Institut 1995). Es ist zu beachten, dass diese Potenziale zur Erzeugung von Strom und Wärme Alternativen in der Dachflächennutzung darstellen und daher nicht addiert werden dürfen. Eine Kurzstudie des Öko-Instituts für die Stadt Freiburg zur Abschätzung der künftigen Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien im Stadtgebiet rechnet mit einem Ausbau der Photovoltaik auf bis zu 53 GWh/a im Jahr 2030 (Öko-Institut 2011).

Eine Abschätzung des Windenergiepotenzials auf Freiburger Stadtgebiet unter den veränderten politischen Rahmenbedingungen nach dem Beschluss des Atomausstiegs und den zu erwartenden neuen Vorgaben für die Planung solcher Anlagen unter der neuen Landesregierung gibt es noch nicht. Die Kurzstudie des Öko-Instituts (Öko-Institut, 2011) rechnet bis zum Jahr 2030 mit einer Erhöhung der Stromerzeugung aus Windkraft von etwa 12 GWh/a im Jahr 2010 bis auf ca. 57 GWh/a im Jahr 2030.

Das technische Potenzial aus der Wasserkraftnutzung wurde 1995 mit maximal 3,8 GWh/a angegeben (Energieversorgungskonzept 1995). Die Kurzstudie von 2011 (Öko-Institut, 2011) rechnet auch bis 2030 mit nur einem geringen Anstieg der Erzeugung von etwa 2,3 GWh/a im Jahr 2010 bis auf ca. 2,7 GWh/a im Jahr 2030.

Auf dem Stadtgebiet Freiburgs befinden sich 6.400 ha Wald. Aus diesen Wäldern können jährlich 6.000 t energetisch nutzbares Restholz zur Verfügung gestellt werden. Das theoretische energetische Potenzial von Restholz aus diesen Wäldern liegt bei 25,2 GWh/a (Öko-Institut 1995). Je nach Wirkungsgrad der angewendeten Biomassekonversion können somit aus Restholz ca. 20 GWh/a Energie zur Verfügung gestellt werden (bei 80% Gesamtwirkungsgrad). Die oben genannte Kurzstudie (Öko-Institut, 2011) rechnet mit einer maximalen Stromerzeugung aus Biomasse von bis zu 39 GWh/a im Jahr 2030. Hierin enthalten ist als größte Maßnahme die Umstellung des Uni-Heizkraftwerks auf Holzbrennstoffe sowie Erdgas. Weitere Potenziale zur Nutzung der Bioenergie bestehen im Bereich der zentralen und dezentralen Wärmeerzeugung.

2.2.3 Aktuelle kommunale Maßnahmen und Förderprogramme

Die Erreichung der Klimaschutzziele der Stadt wird durch eine Vielzahl kommunalpolitische Maßnahmen, Förderprogramme und Kampagnen unterstützt. Dazu gehören unter anderem (www.freiburg.de):

Kommunalpolitik:

- Baulandpolitischer Grundsatzbeschluss: Integration u.a. der Instrumente Klimaschutz in der Bauleitplanung und der Neuen energetischen Baustandards (NEGSt) für die Entwicklung neuer Baugebiete (Energieeffizienzhaus 60 bzw. 40) in zwei Stufen 2009 und 2011
- Im Projekt Energieeffiziente Straßenbeleuchtung wird die herkömmliche Beleuchtung gegen Energiesparlampen oder LED-Leuchten ausgetauscht
- Gemeinderatsbeschluss zur Erarbeitung einer Strategie „Energieeffiziente Stadt“ (Aufbau eines Wärmekatasters, Entwicklung einer Ausbaustrategie energieeffizienter Wärme/Kälte inkl. Öffentlichkeitsarbeit), Beauftragung der Erstellung der Strategie
- Durchführung von Maßnahmen zur energetischen Verbesserung im städtischen Gebäudebestand (energetische Sanierungen und Erhöhung der Anzahl von Blockheizkraftwerken in geeigneten öffentlichen Gebäuden / Schulen)
- „Erstellung einer städtischen Klimaschutz-Bilanz (Durchführung eines CO₂-Monitorings) alle zwei Jahre durch die Stadt Freiburg mit Ifeu Heidelberg.
- Außerdem werden 10% der Konzessionsabgabe des regionalen Energieversorgers Badenova in Klimaschutzmaßnahmen investiert (z.B. Sanierung städtischer Liegenschaften)
- Der Verkehrsentwicklungsplan 2020 sieht u.a. folgende Schwerpunkte für die Entwicklung vor: Verbesserung der Rahmenbedingungen für den Fußverkehr, weiterer Ausbau und Vernetzung des Radwegenetzes, Ausbau des Stadtbahnnetzes, Bündelung des Autoverkehrs auf stadtverträgliche Trassen in Verbindung mit einer verstärkten Parkraumbewirtschaftung.

Städtisches Förderprogramm „Energiebewusst Sanieren“:

- seit 2003 Förderung von Wärmedämmung, Energieausweis mit Beratung und Heizungsoptimierung für Gebäude mit Baujahr vor 1995, wenn der angestrebte energetische Standard oder die Einzelmaßnahme deutlich besser als gesetzlich vorgeschrieben ist. Umfang des Förderprogramms seit 2009 450.000 € jährlich

Kampagnen zur Information und Motivation der Bevölkerung:

- „CO₂-Diät“: Erstellung einer persönlichen Klimabilanz und Information über Maßnahmen zur Verbesserung der Bilanz und zum Ausgleich der CO₂-Emissionen
- „200 Familien aktiv fürs Klima“: 200 Freiburger Haushalte lernen beispielhaft, welche Auswirkungen Lebensstil, Konsumverhalten und täglichen Gewohnheiten auf die Umwelt und welche nachhaltigen Alternativen es im Alltag gibt.

- „Stromfresser-Jagd“: Erstellung einer persönlichen Strombilanz, Identifizierung von „Stromfressern“ und Tipps zum Stromsparen
- Klimakampagne der Stadt Freiburg - CO₂LIBRI: Informations-, Aktions- und Vernetzungskampagne.

Badenova (regionaler Versorger für Gas, Strom, Wärme und Wasser)

- Die Badenova hat 2010 eigene „Ökologie- und Nachhaltigkeitsleitlinien“ beschlossen, in denen eine Ausrichtung zu mehr Energieeffizienz, zu einer dezentralen Versorgungsstruktur und zu einem regenerativen Erzeugungsmix (in Abgrenzung zu einem fossil-nuklearen) betont wird.
- Mit den Stichworten „Energiewende für alle“ und „Energiewende hier und jetzt“ unterstützt und forciert die Badenova den Zubau dezentraler Anlagen zur Erzeugung Erneuerbarer Energien, den KWK und BHKW-Ausbau und eigene Angebote und Dienstleistungen zum Energiesparen und zur Effizienzverbesserung.
- Mit dem „Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz“ fördert die Badenova jährlich Projekte im Bereich von 1-2 Mio Euro. 2010 wurden 17 Projekte bewilligt, die Gesamtzahl der geförderten Projekte seit 2001 beträgt 162.
- Mit den Bürgerbeteiligungsmodellen regioWind und regioSonne hat die Badenova gemeinsam mit der Ökostrom GmbH innovative Instrumente zur Förderung der Nutzung des Erneuerbare-Energien-Potenzials der Stadt ins Leben gerufen.

Die Stadt Freiburg verfolgt zudem auf Grund eines Gemeinderatsbeschlusses das energiepolitische Ziel der „Verdrängung von Atomstrom aus Freiburg“. Hier konnten bereits gute Erfolge erzielt werden.

2.3 Energie- und klimapolitischer Rahmen des Landes Baden-Württemberg

Das Entwicklungskonzept für die Region Südlicher Oberrhein sieht eine Reduktion der CO₂-Emissionen in zehn Handlungsfeldern um 20% von 2007 bis 2020 vor. (RVSO, 2007) Dieses Konzept ist allerdings derzeit in Überarbeitung, die Ziele werden in diesem Zusammenhang überprüft.

Im Klimaschutzkonzept 2020PLUS des Landes Baden-Württemberg wird ein Ziel von maximal 2 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Kopf für das Jahr 2050 anvisiert (Baden-Württemberg 2011). Dies bedeutet eine Treibhausgas-Reduktion um etwa 80% gegenüber 1990. Bundesweit wäre sogar eine Reduktion um 88% notwendig, in Baden-Württemberg sind die Pro-Kopf-Emissionen allerdings schon relativ niedrig. Als Zwischenziel für das Land wurde zudem eine Reduktion der Treibhausgase bis 2020 um 30% gegenüber 1990 formuliert. Im Klimaschutzkonzept 2020PLUS wurden sieben Sektoren (unter anderem Energieversorgung, Industrie und Gewerbe, private Haushalte und Verkehr) hinsichtlich der Klimaschutzpotenziale untersucht.

Nach dem Wechsel der Landesregierung ist der Koalitionsvertrag Baden-Württemberg 2011 ein weiterer wichtiger Rahmen. Hier ist von einer notwendigen Absenkung der CO₂-

Emissionen bis 2050 um 90% gegenüber 1990 die Rede. Geplant ist die Verabschiedung eines Klimaschutzgesetzes mit verbindlichen Zielen, auf dessen Grundlage ein umfassendes integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept entwickelt werden soll. Als weiteres Ziel wird genannt, bis 2020 10% des Stromverbrauchs mit heimischer Windkraft zu decken.

Der Generalverkehrsplan 2010 Baden-Württemberg zeigt die Landesziele zur Verkehrspolitik auf (Planungshorizont bis 2025): Zukunftspotenziale werden vor allem in der Elektromobilität, dem Ausbau des Schienen-Fernverkehrsnetzes sowie in der Elektrifizierung gesehen.

2.4 Energie- und klimapolitischer Rahmen des Bundes und der EU

Auch im Energiekonzept 2010 des Bundes ist wie im Klimaschutzkonzept des Landes von einer Treibhausgas-Emissionsreduktion bis 2050 um mindestens 80% gegenüber 1990 die Rede (entsprechend der damals noch gültigen Zielformulierung für die Industriestaaten). Es wird zudem folgender Entwicklungspfad als Soll formuliert: -40% bis 2020, -55% bis 2030, -70% bis 2040. Auch für die Anteile Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch und am Stromverbrauch werden Ziele genannt. Die Sanierungsrate für Gebäude soll von derzeit jährlich weniger als 1% auf 2% des gesamten Gebäudebestands verdoppelt werden. Im Verkehrsbereich soll der Endenergieverbrauch bis 2020 um rund 10% und bis 2050 um rund 40% gegenüber 2005 zurückgehen. Im Energiekonzept werden für neun Handlungsfelder Strategien beschrieben (hier noch mit Kernkraft als Brückentechnologie).

Das Energiekonzept des Bundes weist somit ähnliche Reduktionsziele für die Treibhausgas-Emissionen auf wie das aktuelle Klimaschutzkonzept des Landes Baden-Württemberg.

Die sogenannten „20-20-20-Ziele“, auf welche sich die Europäische Union 2007 geeinigt hat, geben bis 2020 folgende europaweite Vorgaben vor: 20% weniger Treibhausgasemissionen als 2005, 20% Anteil von Erneuerbaren Energien am Endenergiebedarf, 20% mehr Energieeffizienz. Die Hälfte des Reduktionszieles (10%) soll durch ein reformiertes europäisches Emissionshandelssystem erreicht werden, die andere Hälfte soll von den Mitgliedsstaaten mit differenzierten nationalen Zielen beigetragen werden (für Deutschland werden 14% Reduktion gefordert). Neben dem Emissionshandel sollen der Ausbau Erneuerbarer Energien und die CO₂-Speicherung (CCS) wesentlich zu den Zielen beitragen. Es wird derzeit eine Erhöhung des Reduktionszieles auf 30% diskutiert, ggf. auch ohne vergleichbare Selbstverpflichtungen weiterer Industrie- und Schwellenländer.

Im Weißbuch Verkehr (Europäische Kommission, 2011) wurden auf europäischer Ebene Ziele für den Verkehrsbereich formuliert. Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen sollen die CO₂-Emissionen im Verkehr bis 2050 um 60% gegenüber 1990 reduziert werden. Dieses Ziel soll u.a. durch umfangreiche Änderungen beim Treibstoffverbrauch bzw. der Antriebsart der Fahrzeuge, durch weniger CO₂-emittierende Treibstoffe beim Flugverkehr und durch eine deutliche Verlagerung vom Straßen- zum Schienen- bzw. Schiffsverkehr erfolgen.

Die Klimaschutzziele auf EU-Ebene (20-20-20) reichen nur bis zum Jahr 2020 und sind im Vergleich zur vorliegenden Studie wenig ambitioniert.

3 Methodik der Untersuchung

Diese Studie besteht aus vier Elementen: Im Kern der Analyse stehen die quantitativen Szenarien für die Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen der Stadt Freiburg (Kapitel 4 bis 6.7). Aufbauend auf diesen Szenarien erfolgt eine Abschätzung der wichtigsten ökonomischen Effekte einer ambitionierten Klimaschutz-Strategie (Kapitel 8). Die Ergebnisse der Szenario-Analyse und die wichtigsten Handlungsvorschläge waren Gegenstand der Stakeholder-Foren, deren Ergebnisse in Kapitel 9 dokumentiert sind. In den abschließenden Kapiteln 10 und 11 werden die Handlungsvorschläge dargestellt.

Die nachfolgenden Abschnitte erläutern die Methodik der einzelnen Elemente. Die Methodik der ökonomischen Analyse ist in Kapitel 8.1 dargestellt.

3.1 Definition und Erstellung der Szenarien

In der vorliegenden Studie wurden zwei Szenarien erstellt: ein Referenz-Szenario und ein Ziel-Szenario. Die Szenarien sind keine Prognosen, sondern sollten als „Wenn – Dann“-Aussagen interpretiert werden. Sie beschreiben jeweils plausible Entwicklungen für den Energiebedarf und die daraus resultierenden Treibhausgas-Emissionen unter bestimmten Rahmenbedingungen und Annahmen. Die Ausgangslage und die Entwicklung der Rahmenbedingungen der Stadt für beide Szenarien basieren auf Daten, die den Bearbeitern von der Stadt Freiburg, der Badenova und anderen Akteuren zur Verfügung gestellt wurden. Die weiteren Annahmen der beiden Szenarien sind in wesentlichen Teilen an die Ergebnisse der Studie „Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050 vom Ziel her denken“ angelehnt (Prognos, Öko-Institut 2009). In dieser Studie haben Prognos und das Öko-Institut im Auftrag des WWF eine konkrete Vision entwickelt, wie Deutschland seine Treibhausgas-Emissionen bis 2050 um bis zu 95% gegenüber dem Stand von 1990 senken kann. Diese bundesweite Untersuchung wird in der hier vorliegenden Studie erstmalig auf die kommunale Ebene heruntergebrochen. Die Szenarien des „Modell Deutschland“ dienen dabei auch als Rahmenszenario auf Bundesebene, in welches das Freiburger Referenz- und Zielszenario eingebettet wurden. Diese Rahmenszenarien umfassen sowohl die unterstellten energie- und verkehrspolitischen Maßnahmen des Bundes wie auch die konkrete Beschreibung der Entwicklung z.B. der bundesweiten Stromerzeugung und von Energiepreisszenarien.

Die erstellten Szenarien können wie folgt definiert werden:

Referenz-Szenario: Fortschreibung der heutigen (bundesweiten) Aktivitäten, einschließlich des heutigen Aktivitätsniveaus der Stadt Freiburg zum Klimaschutz, jedoch keine wesentliche Ausweitung der Klimaschutz-Maßnahmen. Das Referenz-Szenario liefert in erster Linie Vergleichswerte für die Bewertung des Ziel-Szenarios.

Ziel-Szenario: Das Ziel einer weitgehend klimaneutralen Stadt, das heißt Senkung der Treibhausgasemissionen um mindestens 90%, wurde vorgegeben. Eine denkbare Entwicklung hin zu diesem Ziel wurde in Anlehnung an das Innovationsszenario der Studie „Modell Deutschland“ beschrieben. Hierbei wurden heute noch geltende wirtschaftliche Restriktionen nachrangig betrachtet.

Das Ziel-Szenario wurde basierend auf dem Klimaschutzkonzept der Stadt Freiburg aus dem Jahr 2007 und dem darin enthaltenen Szenario „Optimales Klimaschutzumfeld“ entwickelt. Es wurde zunächst eine Vision einer weitgehend klimaneutralen Stadt für das Jahr 2050 erstellt und mit detaillierten Daten zum verbleibenden Bedarf an Energie und dessen Deckung unterlegt. Darauf aufbauend wurde im Sinne des „Backcastings“ ein Szenariopfad entwickelt, der die Transformation von der heutigen Situation hin zu dieser Vision beschreibt.

Der Bilanzraum der Studie ist das Freiburger Stadtgebiet. Es wurden daher die auf der Gemarkung der Kommune verursachten, energiebedingten CO₂-Emissionen bilanziert. Betrachtet wurden dabei der Endenergiebedarf in privaten Haushalten, im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) einschließlich des Bereichs der kommunalen, landes- und bundeseigenen Einrichtungen im Stadtgebiet, in der Industrie und im Verkehr (ohne Flugverkehr und Schienen-Güterverkehr).¹ Zudem wurden die Potenziale und Anforderungen einer klimaverträglichen Energieumwandlung und Energieversorgung im Stadtgebiet analysiert. Entsprechend der methodischen Vorgabe des Landeswettbewerbs wurden die nicht energierelevanten Emissionen aus Land- und Forstwirtschaft sowie der Abfallwirtschaft und die vorgelegten Emissionen der in der Stadt verwendeten Produkte nicht berücksichtigt. Der Stromverbrauch wird jeweils anteilig mit den CO₂-Emissionen des bundesdeutschen Strom-Mixes und den CO₂-Emissionen der Stromerzeugungsanlagen auf der Gemarkung der Kommune bewertet.

3.2 Beteiligung lokaler Akteure

Bereits zu Beginn der Arbeiten an der Studie wurde durch die Stadt Freiburg eine Projektarbeitsgruppe mit den wichtigsten kommunalen Handlungsträgern initiiert. In regelmäßigen Treffen wurden Projektvorhaben, Projektfortschritt und Zwischenergebnisse vorgestellt und diskutiert. Mitglieder der Projektarbeitsgruppe waren neben den Bearbeitern Experten des Umweltschutzamtes, das als Auftraggeber der Studie fungierte, des Stadtplanungsamtes, des Garten- und Tiefbauamtes, der Badenova (regionaler kommunaler Energieversorger), der Energieagentur Regio-Freiburg sowie des Fraunhofer ISE.

In zwei „Visionen-Workshops“ wurden Zwischenergebnisse mit der Umweltbürgermeisterin Frau Stuchlik und der Projektgruppe diskutiert. Mit dem Baubürgermeister Prof. Haag fand ein separates Treffen der Bearbeiter zu den Projektinhalten statt.

Zusätzlich zu den Projektgruppentreffen wurden vier sogenannte Stakeholder-Foren zu den für die Zielstellung der Klimaneutralität strategisch relevanten Themen Wohngebäudesanierung (2 Foren), Personenverkehr und Energieinfrastruktur (je 1 Forum) durchgeführt. Auf diesen Workshops waren jeweils die wichtigsten lokalen Vertreter aus Wirtschaft, Verbänden, Forschung und Verwaltung zu dem jeweiligen Thema vertreten. Ziel der Workshops war es

- den Akteuren im jeweiligen Themenfeld die Dimension der Herausforderung und der erforderlichen Maßnahmentiefe zu vermitteln und anhand konkreter Beispiele greifbar

¹ Der Rad- und Fußverkehr wurde zwar implizit im Modal Split des Verkehrssektors berücksichtigt, aber nicht im Detail quantifiziert.

zu machen (bei den Gebäuden z.B. die Sanierungsrate und die erforderliche Intensität der Sanierungen),

- die in den Szenarien getroffenen Annahmen auf ihre grundsätzliche Realisierbarkeit hin zu überprüfen,
- die technischen, ökonomischen und unternehmerischen Implikationen insbesondere des Zielszenarios für das jeweilige Themenfeld zu diskutieren,
- auf dieser Grundlage ein konkretisiertes Verständnis des Transformationspfads zu einer weitgehenden Klimaneutralität bis 2050 und der hieraus abgeleiteten konkreten Anforderungen für die nächsten zehn Jahre zu entwickeln und die Verantwortung und konkreten Handlungserfordernisse für die verschiedenen Akteure zu identifizieren, und
- Zugleich wurden bereits in diesem Rahmen Ideen für mögliche Umsetzungsmaßnahmen im Rahmen der durch das Land geförderten Umsetzungsphase gesammelt.

Die Stakeholder-Foren wurden jeweils durch ein Papier mit Hintergrundinformationen vorbereitet sowie die Ergebnisse ausführlich dokumentiert.

3.3 Beschreibung robuster Pfade und Entwicklung der Umsetzungsmaßnahmen

Auf der Basis der in den Szenario-Rechnungen erlangten Resultate und der Ergebnisse der Stakeholder-Foren wurden robuste Pfade entwickelt, die der Stadt Freiburg als Grundlage für kommunalpolitische Entscheidungen, insbesondere zur Entwicklung der kostenintensiven, langlebigen Infrastruktur, dienen sollen.

Zum Abschluss wurden von den Bearbeitern der Studie in Abstimmung mit der Stadt Freiburg Vorschläge ausgearbeitet, welche Projekte im Rahmen der vorgesehenen Umsetzungsphase des Landeswettbewerbs vorgeschlagen werden sollen, vgl. hierzu Kapitel 11.

4 Datengrundlage und -fortschreibung

Als Datengrundlage zur Charakterisierung des Status Quo von Energieverbrauch und -umwandlung dienen Angaben, die den Bearbeitern von der Stadt, der Badenova als regionalem Energieversorger sowie anderen Akteuren zur Verfügung gestellt wurden. Die verfügbaren Daten reichten jedoch nicht immer aus, d.h. in einigen Bereichen waren keine für Freiburg spezifischen Zahlen verfügbar. In diesen Fällen wurden bundesweite Durchschnittswerte verwendet, die bei Bedarf an die Freiburger Verhältnisse angepasst wurden. Für die beiden Szenarien „Referenz“ und „Ziel“ wurde generell eine identische Entwicklung der Rahmendaten angenommen.

Zu den Datengrundlagen und den Daten-Fortschreibungen in den Szenarien sind insbesondere folgende Anmerkungen zu machen:

- **Die Entwicklung der Bevölkerung** bis 2020 beruht auf einer Bevölkerungsprognose der Abteilung Stadtentwicklung des Stadtplanungsamtes im Rahmen der Erstellung

des Flächennutzungsplan 2020 (unveröffentlicht). Für die weitere Bevölkerungsentwicklung bis 2050 wurden folgende Annahmen getroffen:

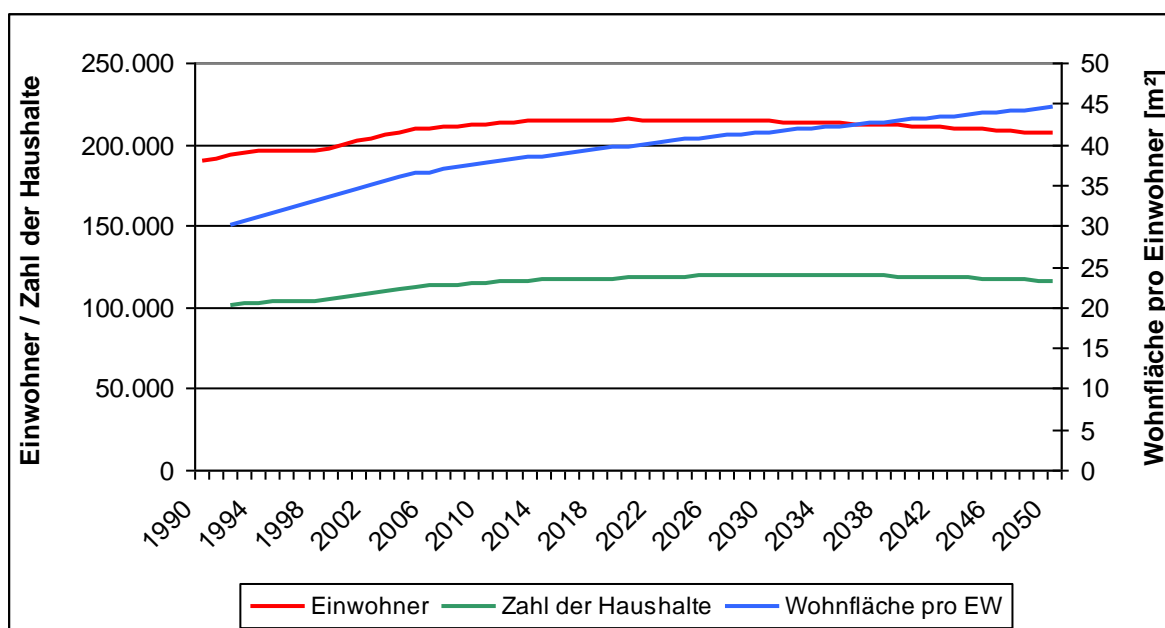
- Wanderungsdruck auf Freiburg hält an
- Grenzenloses Wachstum ist auf Grund beschränkten Wohnraumangebots nicht möglich, jährlicher Zubau der Nettowohnfläche sinkt ab 2020 um 5%/a (bis 2020 wurden die Annahmen des Flächennutzungsplans übernommen)
- Zunahme der Wohnfläche pro Einwohner um 0,2 m²/a setzt sich bis 2025 fort, danach langsamere Steigerung um 0,15 m²/a
- Auf Grund des in Folge des Klimawandels deutlich erhöhten Wärmebelastungsrisikos (Temperaturzunahme >2 K (Parlow et al, 2006)) kommt ab ca. 2030? zu einer Abwanderung insbesondere älterer Bevölkerungsschichten ins Umland (höhere Lagen im Schwarzwald)
- Der Wanderungssaldo wird durch weitere Zuwanderung jedoch ausgeglichen

Der Bevölkerungsrückgang beträgt demnach in Freiburg bis zum Jahr 2050 2,6%. Nach der 12. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des statistischen Bundesamtes (DESTATIS 2010) beträgt der Bevölkerungsrückgang bis 2050 in Deutschland 10% und in Baden Württemberg 5,3% (alle Zahlen gegenüber 2009).

Die Haushaltsgröße sinkt bis etwa 2035 weiter auf ein Minimum von 1,78 EW/HH, danach erfolgt eine Stabilisierung auf niedrigem Niveau

Die Entwicklung dieser Rahmendaten wurde mit dem Stadtplanungsamt abgestimmt. Die Fortschreibung erfolgte für beide Szenarien identisch.

Abbildung 1: Bevölkerungsentwicklung, Zahl der Haushalte und Wohnfläche pro Einwohner bis 2050



- **Im Bereich Haushalte Raumwärme** wurden zum einen die Daten zu Gebäudeflächen des Freiburger Amtes für Bürgerservice und Information verwendet. Zum anderen wurden die im Rahmen des Projektes „Energieeffiziente Stadt – Erstellung eines Wärmekatasters“ aus den Badenova-Verbrauchsdaten ermittelten spezifischen Heizenergieverbrauche der verschiedenen Gebäudetypen und Baualtersklassen verwendet. Diese Daten wurden während der Bearbeitungszeit der vorliegenden Studie mehrfach überarbeitet und lagen am Projektende noch nicht in der Endfassung vor. Die Heizenergiebedarfe einzelner Gebäudetypen erscheinen gegenüber Daten aus der Literatur nicht realistisch. Fehler in der Methodik bzw. Ungenauigkeiten im Datenbestand, die zu dieser Diskrepanz führten, sollen noch behoben werden. Für die vorliegende Studie konnten die nochmals korrigierten Zahlen leider nicht mehr verwendet werden.

Die Verteilung des Heizenergiebedarfs auf die Energieträger wurde nach den Daten der Ifeu-Klimabilanz 2007 (Ifeu, 2007) vorgenommen, welche wiederum auf Badenova-Daten und Daten der Schornsteinfegerinnung beruhen. Die Fortschreibung dieser Aufteilung erfolgte in Zusammenarbeit mit ISE und Energieagentur in Anlehnung an die Annahmen der Studie „Modell Deutschland“.

Die Abrissrate von Wohngebäuden liegt zwischen 0,01 und 0,2 % pro Jahr, je nach Gebäudetyp und Baualtersklasse. Der Netto-Zubau von Wohnfläche ergibt sich aus dem Abriss und dem Brutto-Zubau. Der Netto-Zubau wurde bis 2020 aus Vorausberechnungen des Stadtplanungsamtes übernommen. Ab 2020 wird mit einer jährlichen Abnahme des Zubaus um 5% gerechnet. Die Annahmen für Abrissrate und Zubau sind im Referenz- und im Ziel-Szenario gleich und wurden mit dem Stadtplanungsamt abgestimmt.

Nach Abschätzungen der Energieagentur beträgt die Sanierungsrate in der Region Südlicher Oberrhein ca. 1,1% der Wohnfläche jährlich. Diese Sanierungsrate wurde als Ausgangswert für die Stadt Freiburg angenommen.

- **Im Bereich Haushalte Warmwasser, Elektrogeräte und Kochen** ist der zunehmende Klimatisierungs- bzw. Kühlungsbedarf der Haushalte enthalten. Sowohl im Referenz- als auch im Ziel-Szenario wird davon ausgegangen, dass bis 2050 etwa 50% der Wohnfläche Freiburgs klimatisiert werden (eigene Schätzung nach Öko-Institut, 2009). Die Betriebsdauer der Klimageräte beträgt 750 h/a. Darüber hinaus wurden bei den Elektrogeräten Veränderungen der Ausstattungsraten und Effizienzsteigerungen in Anlehnung an die Studie „Modell Deutschland“ unterstellt.
- **Im Bereich Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD)** wurde zur Ermittlung des Status Quo durchgängig mit bundesweiten Daten zum spezifischen Energiebedarf (i.d.R. bezogen auf die Zahl der Beschäftigten) gearbeitet. Das Ergebnis wurde anschließend mit den Daten des gesamten Energiebedarfs der Stadt Freiburg aus der CO₂-Bilanz des Ifeu-Instituts korreliert. Die Fortschreibung des Status Quo erfolgte in beiden Szenarien jeweils durch einen Effizienzindex und einen Aktivitätsindex. Während der Effizienzindex jeweils den Umfang der Realisierung möglicher Energieeffi-

zierungspotentiale beschreibt, gibt der Aktivitätsindex die generelle Entwicklung des jeweiligen Bereichs, der Branche oder Einrichtung wieder.

Die Fortschreibung der Effizienzindices der einzelnen Branchen erfolgte nach „Modell Deutschland“, wo Zahlen zur Entwicklung der Energieverbräuche aller Branchen berechnet wurden. Für die Entwicklung der einzelnen Branchen in Freiburg (Aktivitätsindices) wurden aktuelle Trends fortgeschrieben bzw. bundesweit prognostizierte Entwicklungen auf Freiburg übertragen. Es werden auch hier keine Unterschiede in der Branchenentwicklung zwischen Referenz- und Ziel-Szenario angenommen.

Im Bereich GHD wurden anschließend, nach Bestimmung des Gesamt-Endenergieverbrauchs, die Verbräuche der städtischen Einrichtungen inkl. der städtischen Bäder (jedoch ohne andere Eigenbetriebe), der Verbrauch der Universität und des Universitäts-Klinikums, sowie der Landesliegenschaften gesondert ausgewiesen. Die Daten wurden von den jeweiligen Einrichtungen zur Verfügung gestellt. Die Fortschreibung des Verbrauchs für die nächsten 3-5 Jahre erfolgte bei den städtischen Einrichtungen und der Universität in Abstimmung mit den Institutionen. Längerfristige Verbrauchsprognosen liegen bei den genannten Einrichtungen nicht vor. Für die Fortschreibung bis 2050 sowie bei der Uni-Klinik und den Landesliegenschaften wurden die Ergebnisse aus „Modell Deutschland“ zu Grunde gelegt.

- **Im Sektor Industrie** basieren die Daten des Status Quo auf den Auswertungen des Statistischen Landesamtes, die auch in der Ifeu-Klimabilanz wiedergegeben sind. Auch hier erfolgte die Fortschreibung mit branchenspezifischen Effizienz- und Aktivitätsindices. Für die Fortschreibung wurde der Effizienzindex nach Modell Deutschland festgelegt, der Aktivitätsindex der einzelnen Branchen wurde jedoch auf die konkreten Rahmenbedingungen in Freiburg angepasst. In beiden Szenarien wird davon ausgegangen, dass der Standort der Rhodia AG in Freiburg, auf den 2010 60% des Energiebedarfs des Industriesektors im Stadtgebiet entfällt, erhalten bleibt.
- **Im Sektor Verkehr** basieren die aktuellen Daten auf den Zahlen zu den Fahrleistungen des Statistischen Landesamtes aus Verkehrszählungen und automatischen Verkehrszählstellen, sowie auf statistischen Zeitreihen der Freiburger Verkehrs-AG (VAG). Die Verkehrsdaten des statistischen Landesamtes sind mit Unsicherheiten behaftet, da sie auf Zählungen aus dem Jahr 2005 basieren, und jährlich hochgerechnet werden. Die Fortschreibung erfolgte unter Berücksichtigung des aktuellen Verkehrsentwicklungsplanes, der aktuellen Ausbaupläne für die Stadtbahn sowie der Vorhaben zum S-Bahn-Ausbau.

Die Fortschreibung der technologischen Entwicklung bei den Antrieben und für die spezifischen Verbräuche im motorisierten Verkehr erfolgte nach „Modell Deutschland“, wobei im Ziel-Szenario bei den Elektro- und bei den Brennstoffzellenantrieben etwas optimistischere Anteile angenommen wurden.

- Im Bereich der lokalen **Erzeugung von Strom und Prozess-/Nah-/Fernwärme** in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und in zentralen Heizwerken basieren die aktuellen Zahlen auf Angaben der Badenova bzw. beim Uniklinik-Heizkraftwerk und dem Heizwerk der Pfizer GmbH auf Angaben des Betreibers. Die Wärmeproduktion musste

zum Teil mit Hilfe von spezifischen Wirkungs- oder Nutzungsgraden errechnet werden. Von der Uni-Klinik wurden zum Heizkraftwerk der Primärenergieverbrauch insgesamt und die Anteile der Energieträger zur Verfügung gestellt. Die Fortschreibung der zentralen Wärmeerzeugung orientierte sich am Bedarf an leitungsgebundener Wärme aus den Szenarien der jeweiligen Sektoren. Der Primärenergieeinsatz und die Stromproduktion wurden hieraus über die Wirkungsgrade der Energieumwandlung abgeschätzt. Die abstrakte, bedarfsorientierte Fortschreibung der lokalen KWK erwies sich in dieser Aufgabenstellung als zielführender als eine anlagenspezifische Fortschreibung, die über die nächsten vier Dekaden hinweg von großen Unsicherheiten begleitet wäre.

Fernwärme, Nahwärme, sowie die aus dem Wärmeverbundkraftwerk am Standort der Rhodia AG bereit gestellte Hochtemperaturprozesswärme wurden vereinfachend unter dem Begriff Fernwärme zusammengefasst.

- Bei der Ausweisung der Entwicklung der Stromerzeugung aus Wind- und Photovoltaik wurden notwendige Maßnahmen für den Netzausbau bzw. für die intelligente Netzsteuerung weder beschrieben noch untersucht. Es wird jedoch unterstellt, dass entsprechende Maßnahmen ergriffen werden, da sie die Voraussetzung für eine Ausweitung der EE-Strom-Erzeugung sind.
- Die **Berechnung der Treibhausgas(THG)-Emissionen** erfolgte, sofern nicht anders angegeben, mit den Emissionsfaktoren nach GEMIS 4.6 (Öko-Institut 2010).

Der Emissionsfaktor des Stroms des lokalen Stromnetzes wurde bestimmt zum einen durch die anteilige Errechnung des Emissionsfaktors des auf dem Stadtgebiet erzeugten Stroms. Hierfür wurden die Emissionsfaktoren für die Stromerzeugung aus den einzelnen Erzeugungsarten bzw. Energieträgern nach GEMIS 4.6 (Öko-Institut, 2010) verwendet.

Der Emissionsfaktor des in das Stadtgebiet importierten bundesdeutschen Strommixes wurde anhand des den Szenarien in der Studie „Modell Deutschland“ (Prognos, Öko-Institut, 2009) zu Grunde liegenden Kraftwerksparks sowie der Emissionsfaktoren der Energieträger nach der GEMIS-Datenbank (Öko-Institut, 2010) berechnet. Die aktuellen Entwicklungen in der deutschen Energiewirtschaft in Folge der „Energiewende“ der derzeitigen Bundesregierung und dem beschleunigten Atomausstieg sind in diesen Datensätzen noch nicht berücksichtigt.

Der Emissionsfaktor der auf dem Stadtgebiet erzeugten leitungsgebundenen Wärme wurde bestimmt durch das gewichtete Mittel der Emissionsfaktoren der eingesetzten Energieträger nach GEMIS 4.6 (Öko-Institut, 2010).

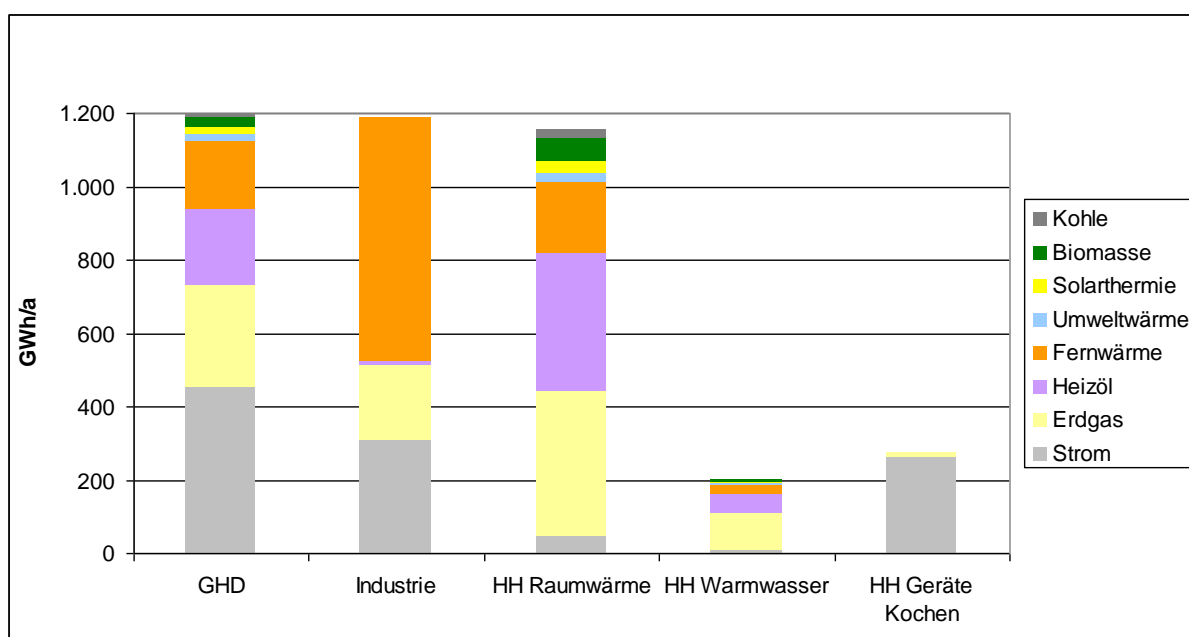
Die somit verwendeten Emissionsfaktoren stimmen relativ gut mit den vom Ifeu-Institut für die CO₂-Bilanz verwendeten Emissionsfaktoren überein, die ebenfalls aus GEMIS entnommen werden.

Alle weiteren Annahmen gehen aus den Tabellenblättern im Anhang bzw. aus den folgenden Beschreibungen hervor.

5 Ausgangslage zu Energieverbrauch und -umwandlung

Im Jahr 2010 wurden in der Stadt Freiburg ca. 5.200 GWh Endenergie verbraucht. Davon entfielen ca. 1.190 GWh auf den Verkehrssektor. Der Endenergieverbrauch für Raumwärmebereitstellung für Wohngebäude, Industrie und GHD ist mit jeweils 1.150 -1.200 GWh nahezu gleich hoch, gefolgt von nochmals 470 GWh für die Bereiche Warmwasser sowie Elektrogeräte und Kochen im Sektor Haushalte (Abbildung 2).

Abbildung 2: Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren, ohne Verkehr, Bezugsjahr 2010, Gesamtverbrauch 4.020 GWh

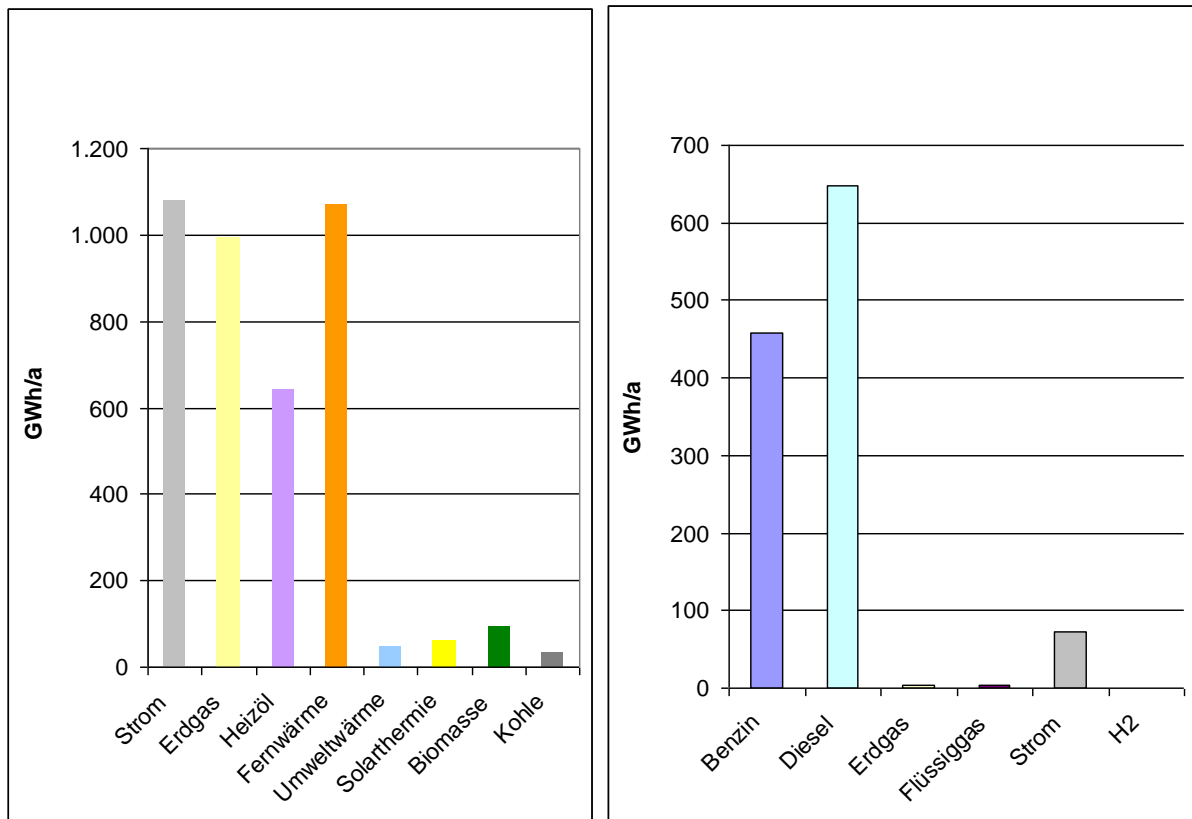


Der größte Anteil des Endenergiebedarfs der Sektoren Haushalte, Industrie und GHD wurde von Strom gedeckt (27%), direkt gefolgt von Fernwärme² (27%) und Erdgas (25%). Heizöl ist mit 600 GWh (16%) im Energieträgermix vertreten. Kleinere Anteile am Endenergieverbrauch haben Kohle (0,8%) und die Erneuerbaren Energien (Biomasse (2,4%), Umweltwärme (1,1%) sowie Solarthermie (1,5%)), vgl. hierzu Abbildung 3 links.

Im Sektor Verkehr werden im Basisjahr 2010 ca. 1.180 GWh/a Energie verbraucht. Hauptenergieträger ist Diesel mit 55% bzw. 650 GWh/a gefolgt von Benzin mit 460 GWh/a (39%). Der Stromverbrauch beträgt 72 GWh/a, die nahezu vollständig im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) eingesetzt werden (6%), Erd- und Flüssiggas haben jeweils nur einen Anteil von 0,3% (ca. 4 GWh/a), vgl. hierzu Abbildung 3 rechts.

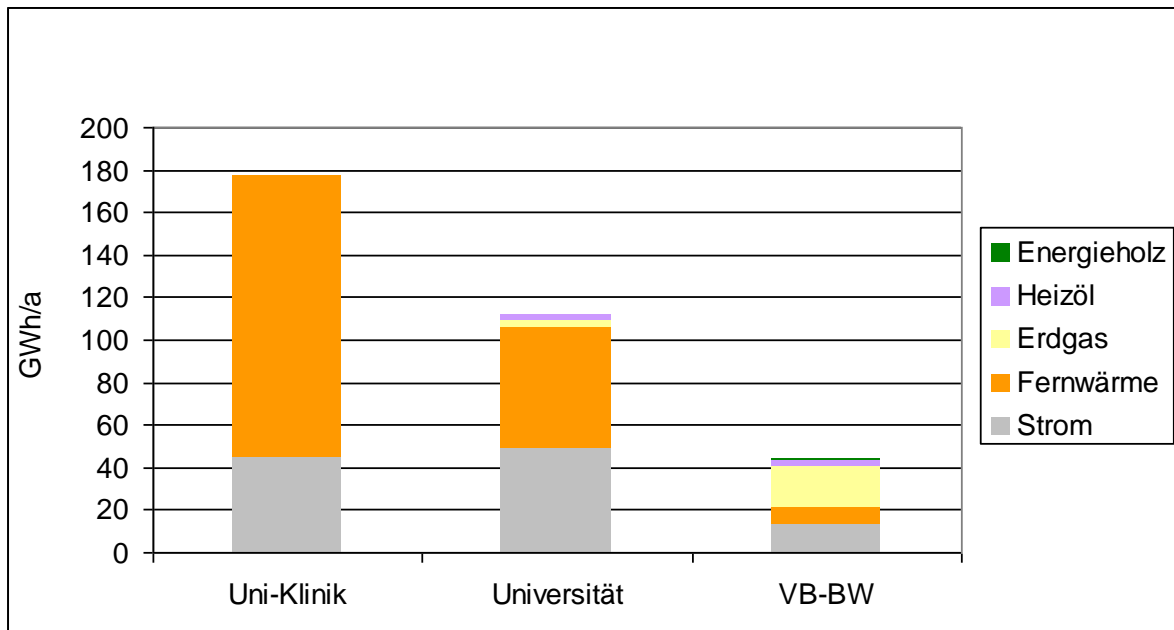
² Zur Definition des Begriffs Fernwärme vgl. Seite 18.

Abbildung 3 Endenergieverbrauch ohne Verkehr (links) und Endenergieverbrauch im Sektor Verkehr (rechts), nach Energieträgern, Basisjahr 2010



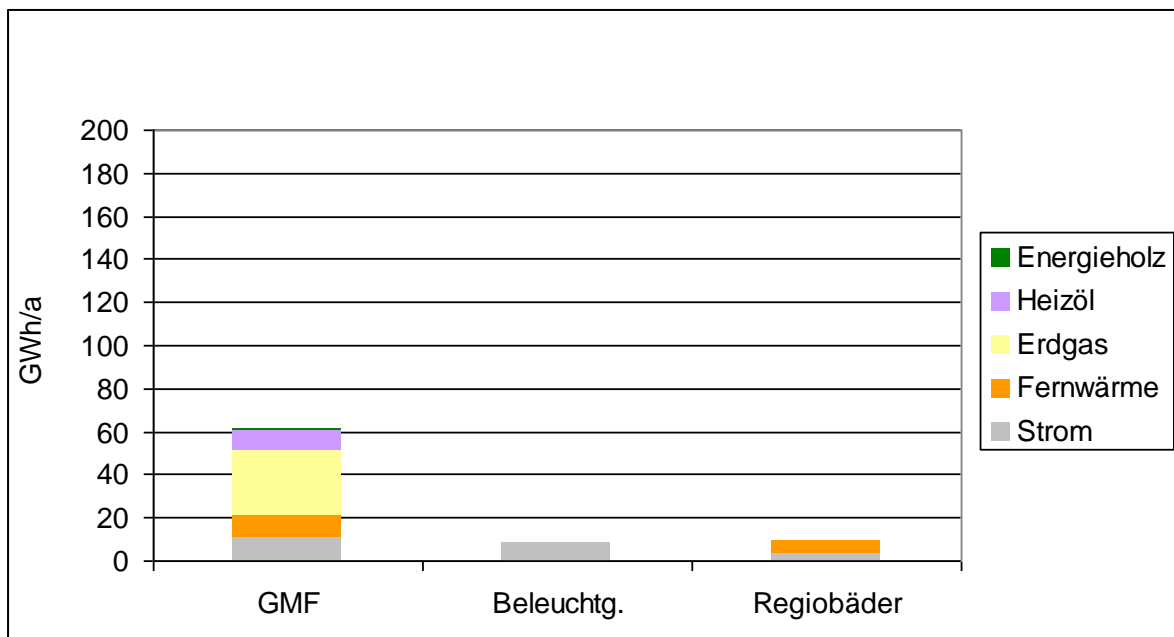
Die Landesliegenschaften in Freiburg verbrauchten 2009 mit 333 GWh fast ein Drittel der Endenergie des Sektors GHD. Dazu gehören das Universitäts-Klinikum, die Universität und die weiteren vom Landesamt für Vermögen und Bau Baden-Württemberg (VB-BW) verwalteten Liegenschaften. Abbildung 4 zeigt die Verteilung auf die einzelnen Verbraucher und auf die Energieträger. Die in diesen Liegenschaften genutzte Fernwärme wird vollständig vom Heizkraftwerk der Uni-Klinik bereitgestellt.

Abbildung 4 Endenergieverbrauch der Landesliegenschaften, Basisjahr 2009



Die städtischen Einrichtungen verbrauchten 2009 mit 79 GWh knapp 7% der Endenergie des Sektors GHD. Dazu gehören die vom Gebäudemanagement der Stadt Freiburg (GMF) verwalteten Liegenschaften, die öffentliche Beleuchtung sowie der Verbrauch der Regiobäder GmbH. Weitere Eigenbetriebe sind hier nicht enthalten (Abbildung 5).

Abbildung 5 Endenergieverbrauch der städtischen Einrichtungen, Basisjahr 2009



Der Primärenergieeinsatz für die Erzeugung leitungsgebundener Wärme (in der Industrie hauptsächlich Hochtemperatur-Prozesswärme) erfolgt derzeit zu 92% durch Erdgas, der Kohleanteil beträgt nach einer erfolgten weitgehenden Reduktion des Einsatzes von Kohle im Uni-Heizkraftwerk nur noch 3,4%, der Heizölanteil kann mit 0,1% vernachlässigt werden. Der Rest sind Erneuerbare und Deponiegas. Insgesamt wurden für die Erzeugung von 556 GWh Strom und 980 GWh Wärme in KWK-Anlagen 1.930 GWh/a Primärenergie eingesetzt. In Wind-, Wasser- und Photovoltaik-Anlagen wurden zusätzlich, 24,2 GWh/a Strom erzeugt. Die hier genannten Daten beziehen sich auf das Jahr 2009.

6 Referenz-Szenario

Das Referenz-Szenario spiegelt eine mögliche Entwicklung unter der Prämisse, dass die derzeitigen Klimaschutzanstrengungen fortgesetzt, jedoch nicht intensiviert werden. Die Ergebnisse des Referenz-Szenarios werden im Folgenden nur relativ kurz beschrieben, da sie letztendlich nur als Vergleichsgrößen für die ökonomische Bewertung des Ziel-Szenarios dienen. Auf die Entwicklung der THG-Emissionen nach dem Referenz-Szenario wird hier gar nicht eingegangen.

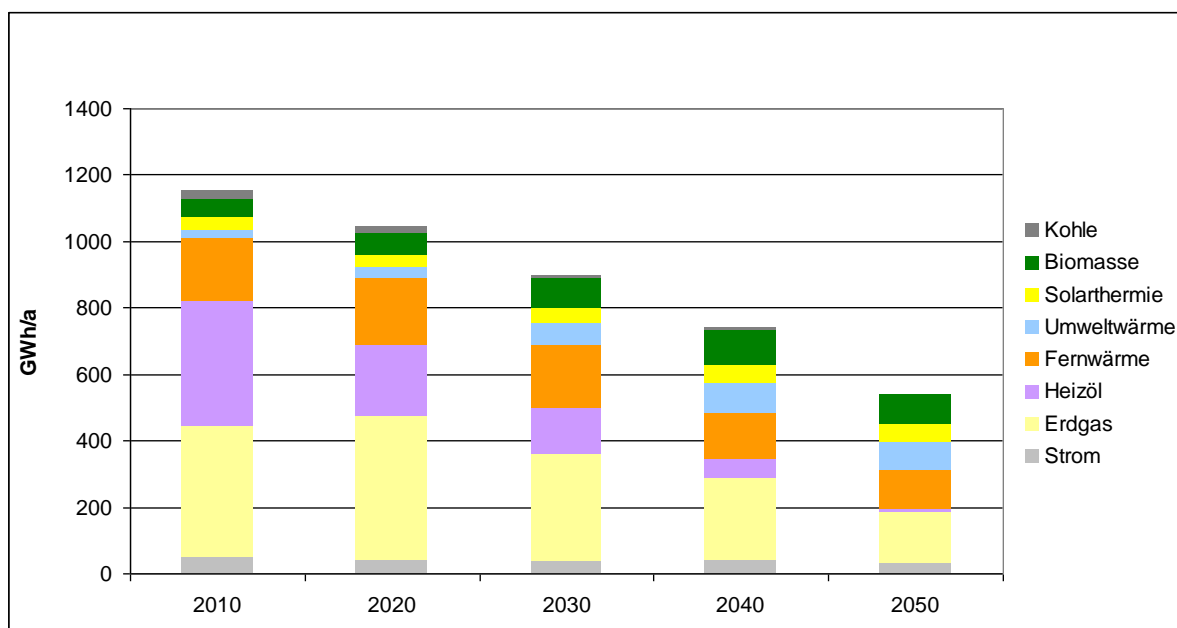
6.1 Sektor Haushalte – Raumwärme

Im Referenz-Szenario wird die Sanierungsrate entsprechend den Vorgaben im aktuellen Energiekonzept der Bundesregierung mittelfristig (bis 2025) von 1,1% auf 2% jährlich angehoben. Der Heizenergiebedarf nach Sanierungen sinkt auf Niedrigenergiehausniveau, konkret auf durchschnittlich 60 kWh/m²*a für Sanierungen bis 2020, auf 40 kWh/m² bis 2030 und auf 20 kWh/m² bis 2040. Bei späteren Sanierungen liegt er beim Passivhausstandard (bei durchschnittlich 10 kWh/m²*a).

Der energetische Standard im Neubau liegt bei 30 kWh/m²*a Heizwärmebedarf bis 2020, 20 kWh/m² bis 2040 und erreicht 10 kWh/m²*a bis 2050.

Nach diesen Annahmen kann der Endenergiebedarf bis 2050 um 53% gegenüber 2010 reduziert werden. Ein Drittel des Endenergiebedarfs wird 2050 immer noch aus fossilen Quellen gedeckt, und zwar 32% durch Erdgas und 2,5% durch Heizöl. Kohle wird nicht mehr verwendet. Bei den regenerativen Energieträgern dominieren Umweltwärme und Biomassenutzung. Der Fernwärmeabsatz geht bis 2050 von 190 GWh/a auf 120 GWh/a zurück, der Fernwärmeanteil steigt jedoch von 16,5% auf 22% (Abbildung 6).

Abbildung 6: Entwicklung des Endenergiebedarfs im Sektor Haushalte – Raumwärme (Referenz-Szenario)



6.2 Sektor Haushalte – Warmwasser, Elektrogeräte und Kochen

Der Warmwasserverbrauch steigt im Referenz-Szenario von 45 (2010) auf 50 l pro Kopf und Jahr (2050). 37% des Warmwassers können über Solarthermie bereitgestellt werden. Der Anteil fossiler Energieträger beträgt 2050 noch knapp 20%: 18% Erdgas und 1,5% Heizöl. 3% des Warmwasserbedarfs werden dezentral elektrisch erzeugt. Insgesamt sinkt der Endenergiebedarf für die Warmwasserbereitung bis zum Jahr 2050 um 18% (Abbildung 7).

Der Strombedarf für den Betrieb von Elektrogeräten und zum Kochen sinkt zunächst durch Effizienzgewinne bei den Haushaltsgeräten bis 2020 leicht ab, sinkt bis 2030 jedoch nicht weiter und steigt anschließend deutlich an. Ursache dafür ist der zunehmende Bedarf an Klimatisierung und Kühlung, der im Referenz-Szenario durch elektrische Klimageräte gedeckt wird. Insgesamt steigt der Energiebedarf im Bereich HH-Elektrogeräte und Kochen um 11% (Abbildung 8).

Abbildung 7: Entwicklung des Endenergiebedarfs im Sektor Haushalte – Warmwasser (Referenz-Szenario)

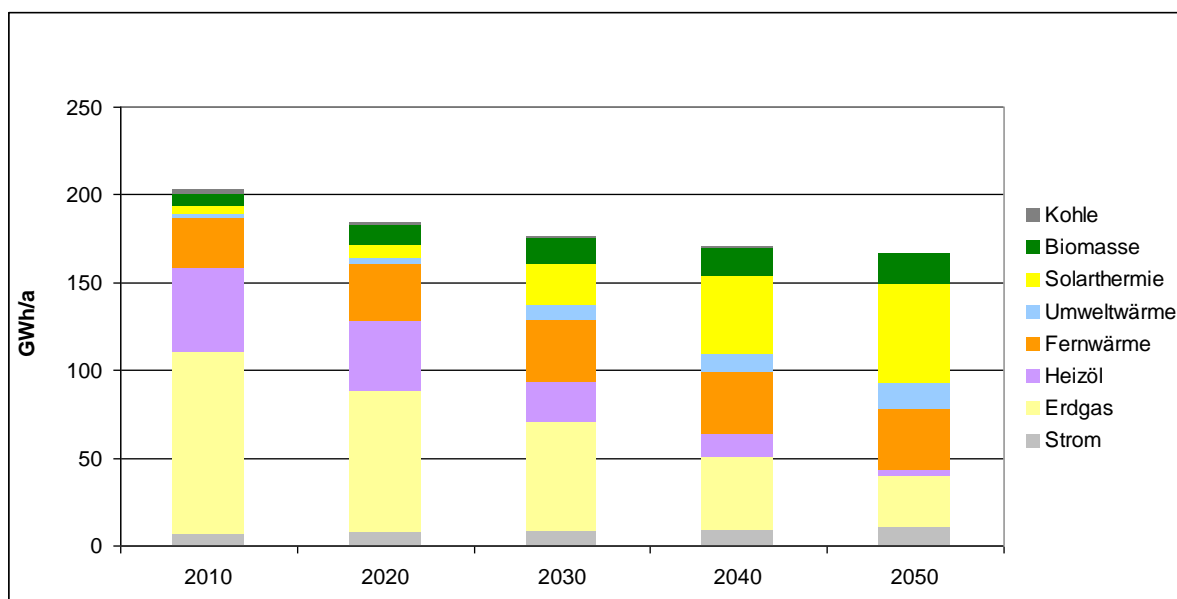
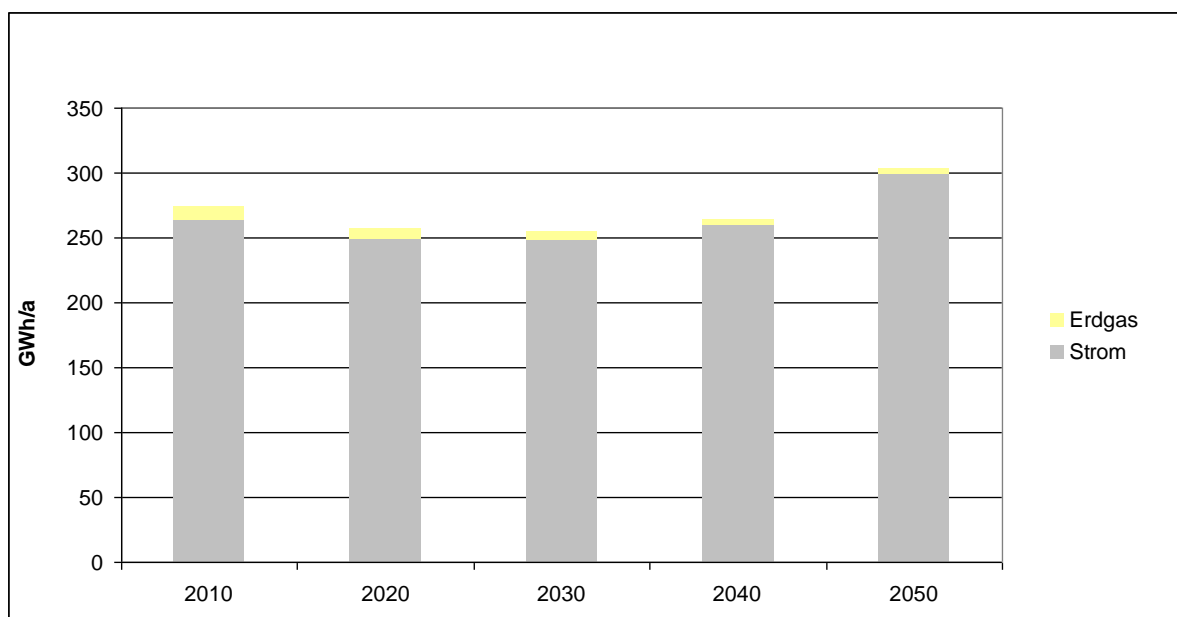


Abbildung 8: Entwicklung des Endenergiebedarfs im Sektor Haushalte – Elektrogeräte und Kochen (Referenz-Szenario)

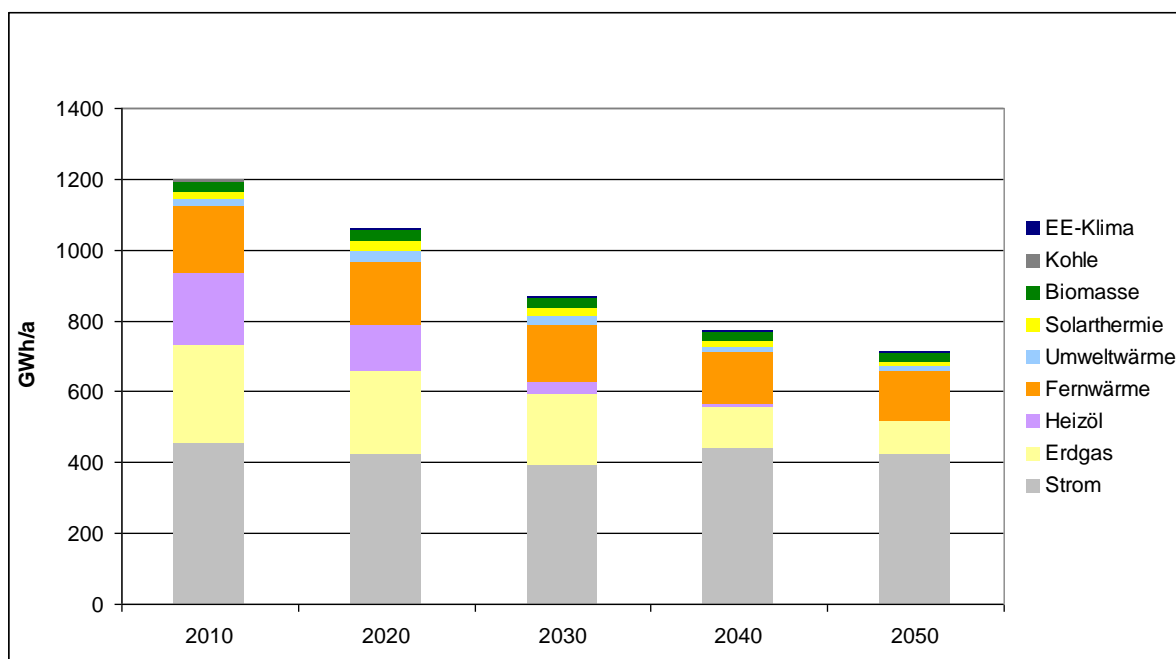


6.3 Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)

Der Endenergiebedarf im Sektor GHD sinkt von 1.200 GWh im Jahr 2010 auf 710 GWh im Jahr 2050, das ist eine Reduktion um insgesamt 40%. Strom bleibt der wichtigste Energieträger mit einem Anteil von knapp 60%. Die in Freiburg vorherrschenden GHD-Branchen (Gesundheits- und Sozialwesen, Handel, Dienstleistungen, öffentliche Verwaltung, Touris-

mus) sind überwiegend Raumwärme-dominiert. Entsprechend liegen hier, ähnlich wie im Sektor Raumwärme der Haushalte, große Einsparpotenziale, die durch die Verbesserung der energetischen Qualität der Gebäude realisiert werden müssen. Daher sinkt der Verbrauch der Energieträger, die zur Raumwärmebereitstellung genutzt werden können, anteilig ab, während der Stromanteil von 38% auf 59% steigt (Abbildung 9).

Abbildung 9 Entwicklung des Endenergiebedarfs im Sektor GHD (Referenz-Szenario)



Effizienzgewinne bei Bürogeräten, Beleuchtung und elektrischen Antrieben, die zu einem sinkenden Strombedarf führen, werden zum großen Teil durch einen höheren Stromverbrauch für elektrische Klimatisierung und Lüftung kompensiert. Daher sinkt der absolute Strombedarf kaum.

Nach dem Referenz-Szenario von Modell Deutschland werden 2050 49% des Stromverbrauchs im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen für Klimatisierung und Lüftung verwendet. Im Sektor GHD der hier vorliegenden Studie wird Klimatisierung aus Erneuerbaren Energien unter der Bezeichnung EE-Klima separat ausgewiesen. Dies geschieht mit der Absicht, für das Ziel-Szenario einen höheren Anteil an solarer Klimatisierung vorgeben zu können als im Referenz-Szenario. Im Referenz-Szenario werden 2% des Energiebedarfs für Klimatisierung und Lüftung durch solare Kühlung gedeckt.

Umweltwärme und Solarthermie können hauptsächlich für die Bereitstellung von Raumwärme eingesetzt werden. Hier müssen jedoch ebenso wie im Wohngebäudebereich durch Sanierungen hohe Einsparpotenziale realisiert werden. Daher steigt der absolute Verbrauch an Erneuerbaren Energien zunächst an und sinkt ab 2030 mit zunehmend verbesserten energetischen Gebäudestandards wieder ab. Auch der Biomasseanteil sinkt nach einem zwischenzeitlichen Anstieg wieder ab, wenn auch nicht so stark, da Biomasse neben der Erzeugung von Raumwärme auch für die Gewinnung von Prozesswärme eingesetzt wird.

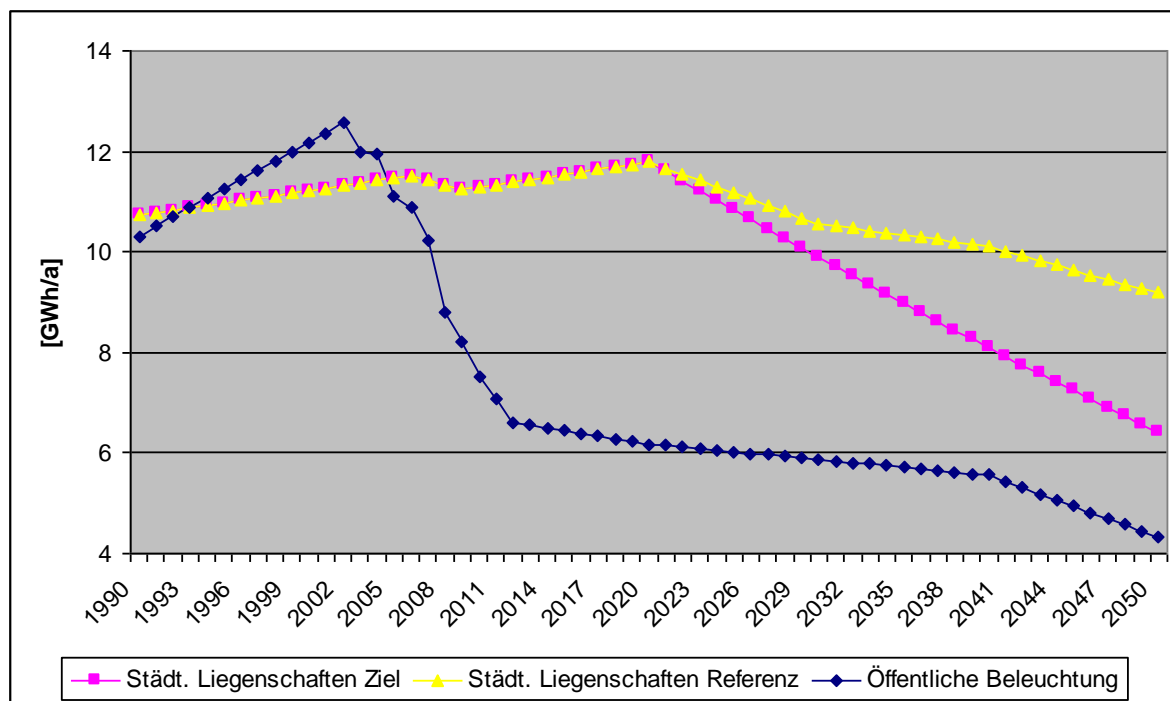
Insgesamt liegt der Anteil Erneuerbarer Energien im Jahr 2050 bei 8%, der von Erdgas bei 13% und der von Fernwärme bei 20%.

Städtische Einrichtungen und öffentliche Beleuchtung

Bei den städtischen Einrichtungen steigt der Stromverbrauch bis 2020 um 5 %. Ursache dafür sind u.a. eine steigende Ausstattung an elektrischen Geräten vor allem in Schulen und Kindergärten und eine höhere Kinderbetreuungsichte (Ganztagsschulen mit Essensversorgung, mehr Kindergartenplätze). Nach 2020 überwiegen Effizienzgewinne, letztendlich wirken sich abnehmende Schülerzahlen, ein leichter Rückgang bei den Verwaltungsmitarbeitern und die Verwaltungskonzentration am Standort des heutigen Technischen Rathauses auf den Stromverbrauch aus. Er sinkt nach dem Referenz-Szenario bis 2050 um 43%.

Der Heizenergieverbrauch der städtischen Liegenschaften sinkt in Folge konsequenter Sanierung mit großer Sanierungstiefe (und auch in Folge der geplanten Verwaltungskonzentration in einem Passivhaus-Neubau) von 50 GWh im Jahr 2009 auf 12 GWh im Jahr 2050.

Abbildung 10 Entwicklung des Stromverbrauchs städtischer Liegenschaften und Beleuchtung (Referenz- und Ziel-Szenario)



Der Strombedarf für die öffentliche Beleuchtung betrug 2010 7,5 GWh. Bis 2012 ist eine weitere Reduzierung auf 6,6 GWh geplant (Stadt Freiburg o.J.). Für die weitere Entwicklung wird von einer jährlichen leichten Zunahme der Leuchtanzahl sowie von weiteren Effizienzgewinnen in der Leuchtentechnologie durch Einsatz von LED-Lampen ab 2020 und Einsatz von OLED-Lampen ab 2040 (nach „Modell Deutschland“) ausgegangen. Der Energieverbrauch bei der städtischen Beleuchtung kann damit gegenüber 2001 um 65% gesenkt werden. Davon waren 39% bereits 2010 erreicht (Abbildung 10).

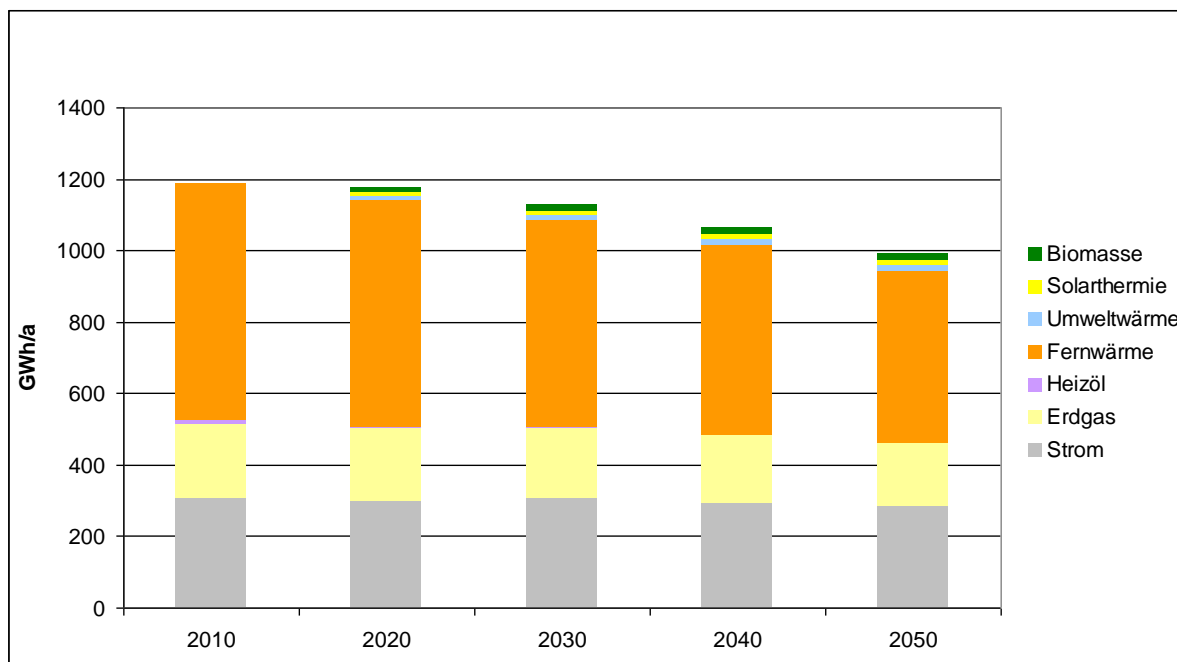
Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Landesliegenschaften, Universität und des Uni-Klinikums wird nur im Ziel-Szenario separat betrachtet.

6.4 Sektor Industrie

Im Referenz-Szenario sinkt der Endenergieverbrauch im Sektor Industrie bis zum Jahr 2050 um 16%. Für die in Freiburg ansässigen modernen Hochtechnologiebranchen wird nach Modell Deutschland ein Wachstum erwartet. Dies steht im Gegensatz z.B. zu den energieintensiven Branchen wie Stahl- und Grundstoffchemie, die in Freiburg nicht vertreten sind. Daher sind für die Freiburger Industrie keine Auswirkungen der deutschlandweiten Änderungen der Branchenstruktur auf den Endenergieverbrauch zu erwarten. Ein Teil der industriellen Wertschöpfung wandert durch Outsourcing und veränderte Organisation von Wertschöpfungsketten und -prozessen in den Dienstleistungssektor ab (z. B. IT, Kommunikation, Auftragsforschung, Vermarktung, Gebäudebetrieb etc.) und führt damit statistisch gesehen zu einer Reduktion des Energieverbrauchs im Industriesektor. Die noch vorhandenen Energieeffizienzpotentiale der derzeit eingesetzten Technologien sind begrenzt, da Maßnahmen mit großen Reduktionspotenzialen oft bereits umgesetzt wurden. Für eine darüber hinausgehende Reduzierung des Energiebedarfs ist der Einsatz völlig neuer Produktions- bzw. Erzeugungsverfahren notwendig. Ein Beispiel hierfür ist die bereits heute übliche Verwendung von Wärmeerzeugern mit hohen Wirkungsgraden (wie zum Beispiel die Installation eines GuD-Kraftwerkes am Standort der Rhodia anstelle weniger effizienter Vorgängertechnologien), die das Potenzial für weitere Verbesserungen in diesem Bereich begrenzt. Weitere Effizienzgewinne werden hauptsächlich erreicht durch branchenspezifische technische Entwicklungen und Verbesserungen der Energieeffizienz bei Prozessen und Anwendungen, die sich in einer Vielzahl von Wirtschaftszweigen finden (Querschnittstechnologien). Beim spezifischen Stromverbrauch bestehen Einsparoptionen für die Verwendungszwecke mechanischer Energie, Beleuchtung sowie Information und Kommunikation. Der Einsatz energieeffizienter Elektromotoren, Druckluftanlagen, Pumpen, Beleuchtungskörper sowie PC und deren Peripheriegeräte tragen zu einer Reduktion des spezifischen Stromverbrauchs bei. Die zunehmende Substitution brennstoffbasierter Produktionssysteme durch strombasierte Anwendungen kompensiert jedoch einen Teil der effizienzbedingten Reduktion des spezifischen Stromverbrauchs (Prognos, Öko-Institut 2009).

Die Erneuerbaren Energien gewinnen nur geringe Anteile am in der Industrie eingesetzten Energiemix hinzu, da ihre Einsatzmöglichkeiten im industriellen Bereich begrenzt sind. Strom- und Gasverbrauch bleiben in etwa konstant, der Fernwärmeanteil bleibt gleich, der absolute Verbrauch geht jedoch leicht zurück (Abbildung 11).

Abbildung 11 Entwicklung des Endenergiebedarfs Sektor Industrie (Referenz-Szenario)



6.5 Sektor Verkehr

Personenverkehr

Bei der Entwicklung des Personenverkehrs im Referenz-Szenario wird das derzeitige Verhältnis von Bevölkerung zu Verkehrsleistung fortgeschrieben. Das heißt, auf Grund der wachsenden Bevölkerung kommt es zu einer leichten Zunahme der Verkehrsleistung bis 2020 (Abbildung 12). Der Modal Split zwischen Motorisiertem Individualverkehr (MIV) und Öffentlichem Personennahverkehr (ÖPNV) sowie Fahrrad- und Fußverkehr ändert sich nicht wesentlich. Die Zahl der PKW, die Fahrzeug-Auslastung und der Anteil der Krafräder an der Fahrleistung bleiben ebenfalls konstant. Der Technologieentwicklung im MIV liegen Annahmen aus der Studie „Modell Deutschland“ zu Grunde, so bei der Marktdurchdringung innovativer Antriebstechnologien und der Entwicklung der spezifischen Verbräuche (Prognos, Öko-Institut 2009). Die Entwicklung der spezifischen Verbrauchsdaten ist in Tabelle 2 dargestellt. Innovative Antriebstechnologien wie Elektro- und Brennstoffzellenantriebe sowie Plug-In-Hybride setzen sich nur langsam und unvollständig durch. Dominierend bleiben Diesel- und Benzinantriebe, darunter auch Benzin-Hybride (Abbildung 13).

Abbildung 12 Personenverkehr: Entwicklung der Verkehrsleistung (Referenz-Szenario)

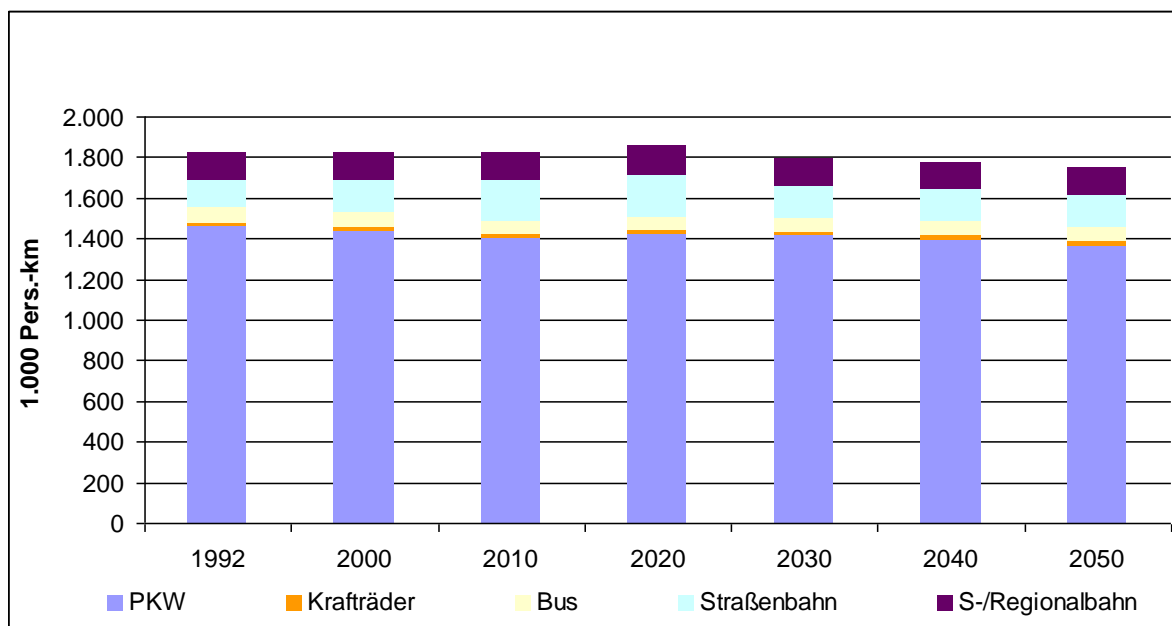
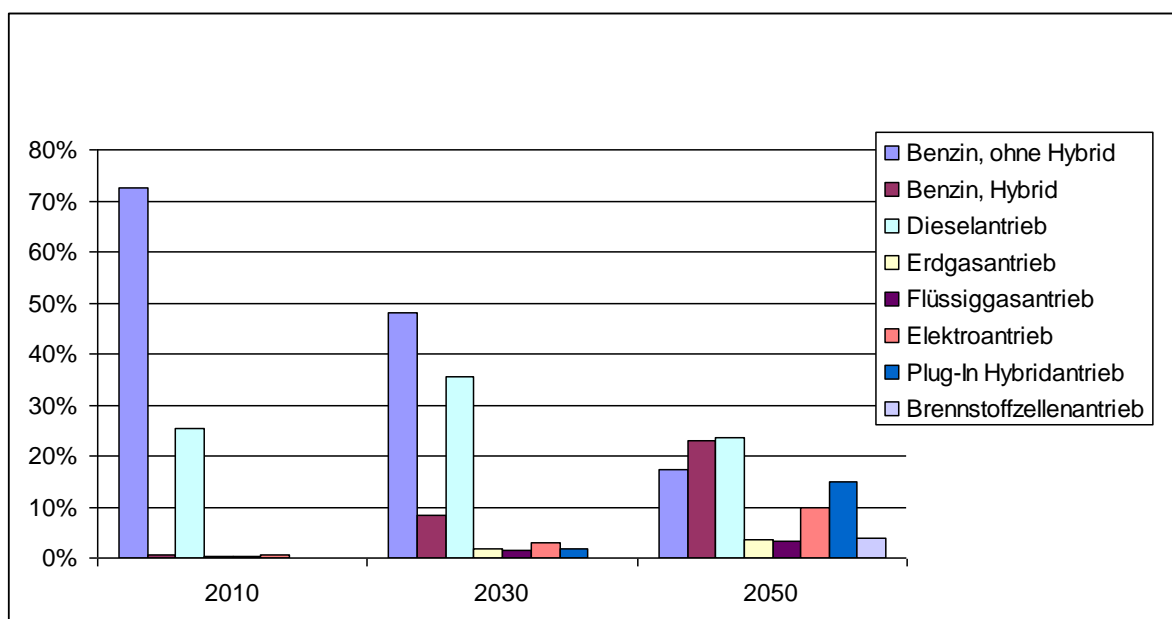


Tabelle 2: Spezifische Verbrauchsdaten der PKW (Referenz-Szenario)

Verbrauch	2010	2020	2030	2040	2050
Benzin, ohne Hybrid [l/100km]	7,8	6,7	5,8	5,4	5
Benzin, Hybrid [l/100km]	5,8	5	4,4	4	3,8
Diesel [l/100km]	6,3	5,4	4,9	4,7	4,5
Erdgas [kg/100km]	5,2	4,4	3,9	3,7	3,4
Flüssiggas [kg/100km]	5,7	4,9	4,3	4	3,7
Elektroantrieb [kWh/100km]	19,4	17	15	14,2	14
Plug-In Hybrid [kWh/100km]	26,2	24,5	21,5	20,1	19,2
Brennstoffzelle [kg H2/100km]	1,7	1,4	1,2	1,2	1,1

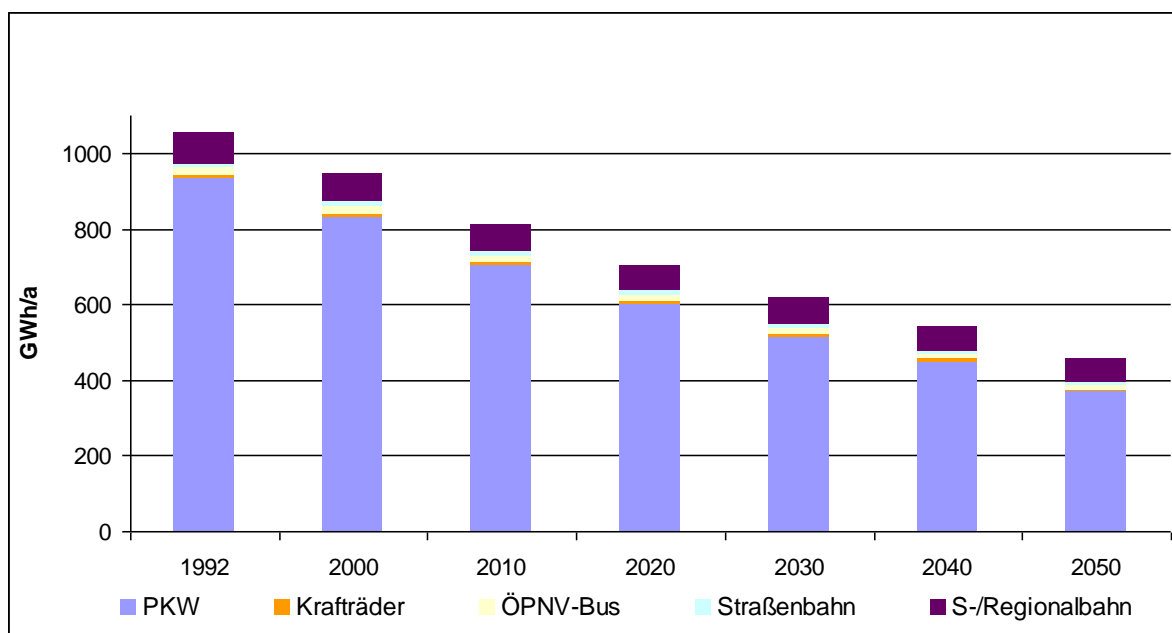
Der Technologieentwicklung im ÖPNV liegen folgende Annahmen zu Grunde: Bei Bus und Straßenbahn können bis 2050 Effizienzverbesserungen um 15% gegenüber 2010 realisiert werden. Brennstoffzellenbusse werden ab 2030 langsam eingeführt (2050 sind 20% aller Linienbusse Brennstoffzellenbusse), S- und Regionalbahn sind ab 2030 vollständig elektrifiziert.

Abbildung 13 MIV: Anteile verschiedener Antriebsarten am Fahrzeugbestand (Referenz-Szenario)



Im Ergebnis kann der Endenergieverbrauch im Personenverkehr um 44% reduziert werden. Den größten Anteil hieran hat der rückläufige Verbrauch der PKW. Vom verbleibenden Energiebedarf werden über 80% von PKW verbraucht, weniger als ein Fünftel vom ÖPNV (Abbildung 14).

Abbildung 14 Personenverkehr: Entwicklung des Endenergieverbrauchs (Referenz-Szenario)



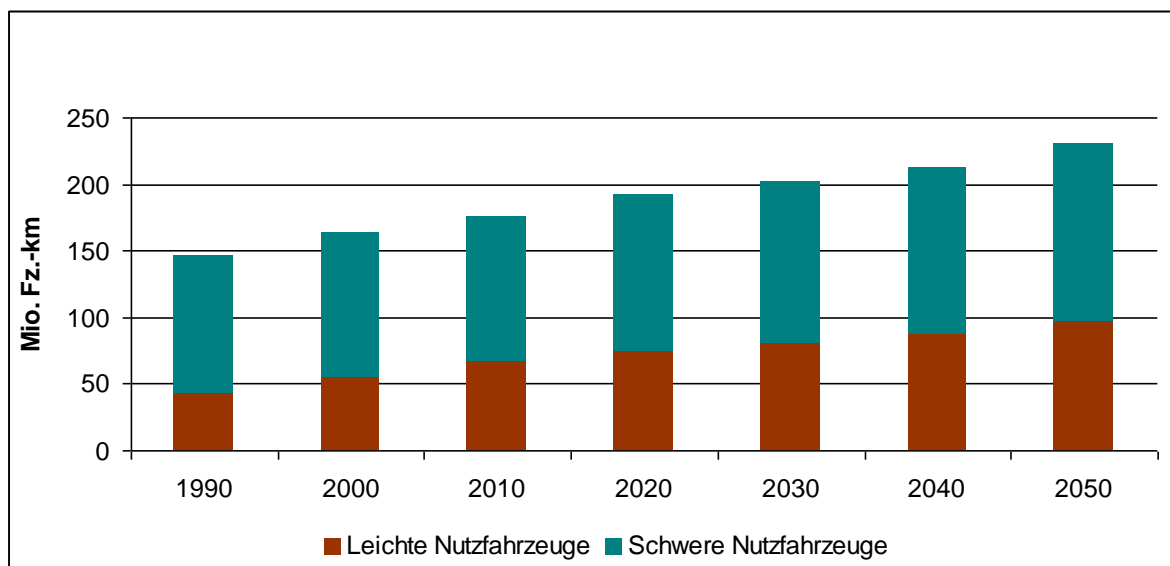
Straßen-Güterverkehr

Im Referenz-Szenario setzt sich die Zunahme der Fahrleistung im Güterverkehr wie in der Vergangenheit fort. Sie ist an die Zunahme des BIP gekoppelt. Innovative Antriebe spielen bis 2050 keine Rolle, 95% der Nutzfahrzeuge besitzen auch dann noch einen Dieselantrieb. Die Entwicklung der spezifischen Verbräuche wurde der Studie „Modell Deutschland“ entnommen. Die sinkenden spezifischen Verbräuche³ der Fahrzeuge können den starken Anstieg der Fahrleistungen nicht kompensieren, so dass es im Ergebnis zu einem Anstieg des Energieverbrauchs im Straßen-Güterverkehr um knapp 4% kommt.

Tabelle 3: Spezifische Verbrauchsdaten der Fahrzeuge im Straßen-Güterverkehr (Referenz-Szenario)

Verbrauch	2010	2020	2030	2040	2050
Benzin, ohne Hybrid [l/100km]	13,0	11,7	10,7	10,6	11,0
Diesel [l/100Km]	22,5	20,4	19,4	18,4	18,0
Erdgas [kg/100km]	15,3	14,2	13,3	12,9	12,8
Flüssiggas [kg/100km]	16,2	15,4	14,5	14,1	14,0
Elektroantrieb [kWh/100km]	54,1	50,4	47,5	44,3	42,8

Abbildung 15 Straßen-Güterverkehr: Entwicklung der Fahrleistungen (Referenz-Szenario)



³ Der spezifische Verbrauch bei Benzinantrieben nimmt zwischen 2040 und 2050 auf Grund steigender mittlerer Ladefaktoren zu (vgl. Studie „Modell Deutschland“).

Verkehr gesamt

Insgesamt können der Primärenergiebedarf im Verkehrssektor um 31% und die Treibhausgas-Emissionen um 60% reduziert werden.

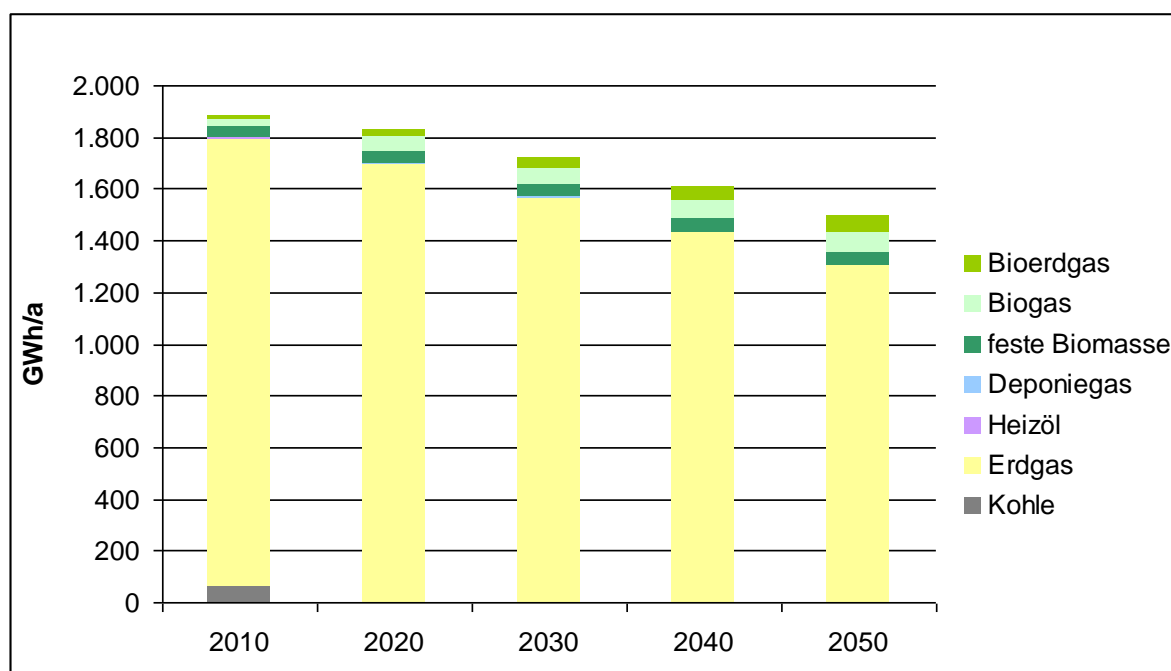
6.6 Sektor Energieumwandlung

Kraft-Wärme-Kopplung und Heizkraftwerke

Basierend auf den für die Vergangenheit erhobenen bzw. für das Szenario errechneten Mengen des erzeugten Stroms und der erzeugten Wärme wurden die Menge der Strom- und Wärmeproduktion sowie der notwendige Primärenergieeinsatz fortgeschrieben. Das heißt, es wird unterstellt, dass die Heizkraftwerke so betrieben werden, dass sie die Menge an Wärme produzieren, die auch benötigt wird. Da der Fernwärmebedarf trotz Zunahme der Abnehmer auf Grund der sinkenden Heizwärmebedarfe der einzelnen Gebäude sinkt, sinkt auch die Fernwärmeproduktion. Diese etwas vereinfachende Vorgehensweise berücksichtigt nicht eventuelle zukünftige technologische Entwicklungen zur Umstellung der KWK-Anlagen auf stromgeführten Betrieb mit entsprechenden Wärmespeichern. Nicht berücksichtigt werden im Referenzszenario auch die bereits heute zunehmende Bedeutung von mit Fernwärme betriebenen Absorptionskältemaschinen, die einen Fernwärmeabsatz auch im Sommer ermöglichen könnten und sich damit positiv auf die Wirtschaftlichkeit der Anlagen und Netze auswirken, jedoch auch zu einer Zunahme des Primärenergiebedarfs bzw. zu einem Ersatz anderer Energieträger, z.B. Strom, führen.

Im Referenz-Szenario wird unterstellt, dass sich der Brennstoffmix für den Einsatz in KWK-Anlagen bis 2050 nur wenig ändert. Die beiden großen Heizkraftwerke der Uni-Klinik und der Rhodia setzen zu 100% fossile Energieträger ein (nahezu ausschließlich Erdgas), in den kleineren BHKWs und Heizwerken der Badenova werden biogene Gase, Erdgas und auch feste Biomasse verbrannt. Insgesamt beträgt der Primärenergieeinsatz für die zentrale Strom- und Wärmeerzeugung im Jahr 2050 1.500 GWh. Damit werden 780 GWh Wärme und 440 GWh Strom produziert. Abbildung 16 zeigt die Entwicklung des Primärenergieeinsatzes zur Erzeugung von Strom- und leitungsgebundener Wärme.

Abbildung 16: Energieumwandlung: Brennstoffeinsatz zur Strom- und Wärmeerzeugung (Referenz-Szenario)



Wind, Wasser, Solarstrom

Die Stromproduktion aus Wind, Wasser und Photovoltaik vervielfacht sich bis 2050 auf 146 GWh. Dies wird erreicht durch einen Zuwachs bei **Photovoltaikanlagen** um 1,2 GWh/a bis 2020, ab 2020 erhöht sich der jährliche Zuwachs auf 2 GWh/a bis auf insgesamt 85 GWh/a Stromerzeugung im Jahr 2050. 1,2 GWh/a entsprechen, je nach Dachneigung, Ausrichtung und Beschattung einem jährlichen Zubau von 8.760 m² PV-Fläche, 2 GWh/a Zubau entsprechen 14.600 m² PV-Fläche pro Jahr. Ab 2030 werden höhere Modulwirkungsgrade und höhere Performance Ratios unterstellt, so dass dann für die Produktion von 2 GWh/a Strom nur noch 9.760 m² PV-Fläche pro Jahr zugebaut werden müssen. Tabelle 4 fasst die Annahmen, die dieser Berechnung zu Grunde liegen, zusammen.

Die **Windenergieerzeugung** vervierfacht sich bis 2050 auf 39 GWh/a. Die Leistung der bereits bestehenden 5 Windkraftanlagen wird durch Repowering verdoppelt, eine weitere Anlage wird auf dem Schauinsland zugebaut.

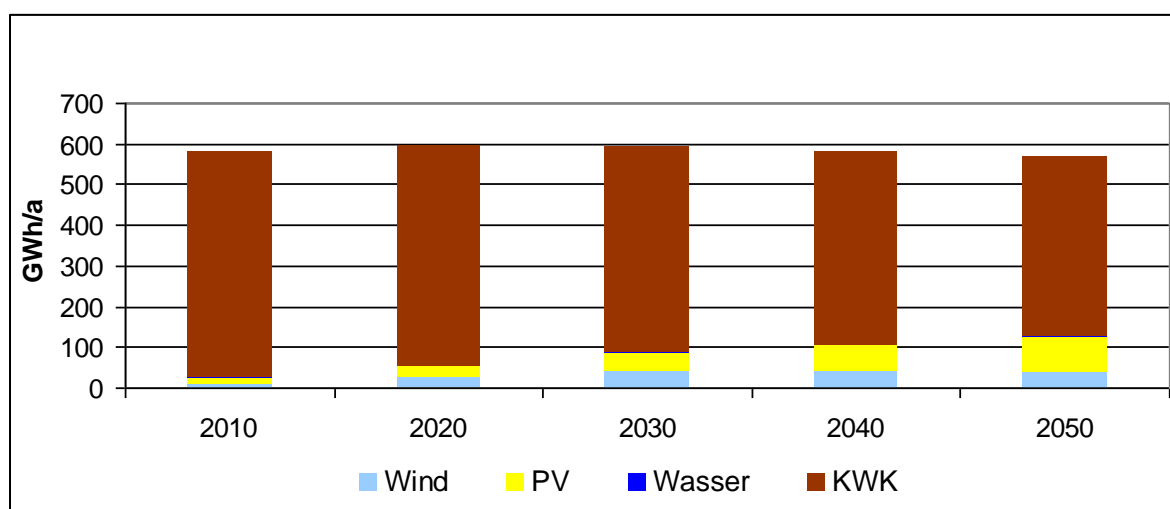
Die Stromerzeugung aus **Wasserkraft** erfährt keine weitere Zunahme.

Innerhalb der Stadt Freiburg werden nach dem Referenz-Szenario im Jahr 2050 noch 1.200 GWh Strom verbraucht. Unter den vorgenannten Annahmen werden 47% des verbrauchten Stroms, also 586 GWh, in der Stadt erzeugt. Davon werden 385 GWh Strom aus Erdgas und 201 GWh aus regenerativen Quellen produziert. Das heißt, etwa 17% des verbrauchten Stroms wird dezentral regenerativ erzeugt. Abbildung 17 zeigt die Entwicklung der Stromerzeugung.

Tabelle 4: Berechnungsgrößen für die Berechnung von PV-Stromproduktion und erforderlicher PV-Modulfläche (Referenz-Szenario)

Berechnungsgröße	Verwendete Werte
Globalstrahlung Freiburg	1.140 kWh/a
Modulwirkungsgrad	2012-2030: 15% 2031-2050: 20%
Performance Ratio	2012-2030: 80% 2031-2050: 90%
Stromertrag pro m ² PV-Fläche	2012-2030: 137 kWh/m ² /a 2031-2050: 205 kWh/m ² /a
Zuwachs Stromerzeugung PV	2012-2020: 1,2 GWh/a 2020-2050: 2 GWh/a
Zubau erforderliche PV-Fläche	2012-2020: 8.760 m ² /a 2021-2030: 14.600 m ² /a 2031-2050: 9.760 m ² /a

Abbildung 17: Energieumwandlung: Entwicklung der Stromerzeugung (Referenz-Szenario)



6.7 Zusammenfassung Referenz-Szenario

Insgesamt kann unter den im Referenz-Szenario getroffenen Annahmen der Endenergieverbrauch in der Stadt Freiburg von 5.203 GWh/a im Jahr 2010 auf 3.559 GWh/a im Jahr 2050 reduziert werden. Von dem verbleibenden Endenergieverbrauch können 270 GWh/a durch Energieträger zur Verfügung gestellt werden, die unbegrenzt zur Verfügung stehen (Solarthermie 139 GWh/a, erneuerbare Kühlung 4,2 GWh/a, Umweltwärme 127 GWh/a).

148 GWh/a werden dezentral durch Biomasse zur Verfügung gestellt. Erdgas ist mit 32,3% am Energieträgermix vertreten, mit 19% bei der Erzeugung von leitungsgebundener Wärme (Von 779 GWh/a an Nah-/Fern- und Prozesswärme werden 87,3%, also 680 GWh/a, durch Erdgas erzeugt. Die restlichen 12,7% durch feste und gasförmige Biomasse)

Von den im Verkehrsbereich eingesetzten Energieträgern basiert Diesel im Jahr 2050 zu 25% auf Biokraftstoffen, Ottokraftstoff zu 10%. 47% des in der Stadt verbrauchten Stroms werden durch (zu 87% erdgasbasierte) Kraft-Wärme-Kopplung, sowie durch Wind-, Wasser- und Sonnenkraft erzeugt.

Insgesamt können die Treibhausgas-Emissionen im Referenz-Szenario bis 2050 um 39,9% gegenüber 2010 reduziert werden. Tabelle 5 zeigt zusammenfassend noch einmal alle nach dem Ziel-Szenario erreichten Reduktionen.

Tabelle 5: Änderung des Endenergieverbrauchs und der THG-Emissionen gegenüber 2010 nach dem Referenz-Szenario

	Reduzierung Endenergieverbrauch	Reduzierung THG-Emissionen (gegenüber 2010)
HH – Raumwärme	-53,4%	-70,8%
HH – Warmwasser	-18,1%	-55,1%
HH – Geräte/Kochen	+11,0%	+5,6%
GHD	-40,6%	-42,6%
Industrie	-16,3%	-29,1%
Verkehr	-28,7%	-34,0%
Gesamt	-31,6%	-39,9%

7 Ziel-Szenario „Klimaneutrale Stadt“

Das Ziel-Szenario beschreibt eine Entwicklung, die zu einer weitgehenden Dekarbonisierung der Stadt Freiburg bis zum Jahr 2050 führt. Als Zielvorgabe für das Szenario galt eine Reduktion der gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen um mindestens 90% gegenüber dem Basisjahr 1992. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen in allen Sektoren des Energieverbrauchs weitgehende Emissionsreduktionen realisiert werden. Hierbei werden in Anlehnung an das Innovationsszenario der Studie „Modell Deutschland“ sehr ambitionierte Annahmen insbesondere für die Reduktion des Energiebedarfs und den Ausbau der Erneuerbaren Energien getroffen.

7.1 Sektor Haushalte – Raumwärme

Im Ziel-Szenario wird von einer sehr viel ehrgeizigeren Transformation des Gebäudebestandes ausgegangen, sowohl was die Sanierungsrate und –tiefe als auch die Energieversorgung betrifft. Konkret heißt das, dass bis zum Jahr 2050 90% des Gebäudebestandes, das sind 7,6 Mio. m² Wohnfläche, energetisch saniert sein müssen. Dabei werden sehr große Sanierungstiefen umgesetzt. Auch beim Neubau werden ausschließlich sehr hohe energetische Standards realisiert. Zudem werden die bisher genutzten fossilen Energieträger vollständig durch Erneuerbare Energieträger substituiert (Heizöl und Kohle bereits bis 2030, Erdgas bis 2050).

Um dies zu erreichen, muss die Sanierungsrate konsequent angehoben werden. Sie verdreifacht sich bis 2015 auf 3,5% und steigt bis 2020 weiter auf 4%. Ab 2025 sinkt die Sanierungsrate wieder auf letztendlich 2% bis 2035. Bis 2050 bleibt sie dann konstant bei diesem Wert. Mit dieser Annahme einer beschleunigten Sanierung soll erreicht werden, dass die CO₂-Emissionen des Wohngebäudebestandes möglichst schnell sinken, um das CO₂-Budget für Deutschland, welches nach den Berechnungen des wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen zur Erreichung des 2-Grad-Zieles bis 2050 zur Verfügung steht, einhalten zu können.

Der Heizenergiebedarf nach den Sanierungen sinkt auf Niedrigenergiehausniveau, konkret auf 30 kWh/m² bis 2020, auf 10 kWh/m² bis 2030 und auf Null-Energiehausniveau (5 kWh/m²) bis 2045. Der energetische Standard im Neubau liegt bei 30 kWh/m² Heizwärmebedarf bis 2020, 15 kWh/m² bis 2030 und 10 kWh/m² bis 2045 und 5 kWh/m² bis 2050.

Unter diesen Annahmen kann der Endenergiebedarf für die Raumwärmebereitstellung der Haushalte um 71% gegenüber 2010 (von aktuell 1.150 GWh auf dann 330 GWh) gesenkt werden. Der mittlere spezifische Heizenergiebedarf im Wohngebäudebestand sinkt bis 2050 auf 34 kWh/m² gegenüber 134 kWh/a im Jahr 2010.

Die Bereitstellung des verbleibenden Heizwärmebedarfes muss 2050 vollständig aus Erneuerbaren Quellen erfolgen. Über die in vier Dekaden einsetzbaren Technologien herrschen heute zwangsläufig noch Unsicherheiten. In dieser Studie wurden bei der Verteilung des Heizenergiebedarfs auf Energieträger bzw. Technologien folgende Prämissen zu Grunde gelegt:

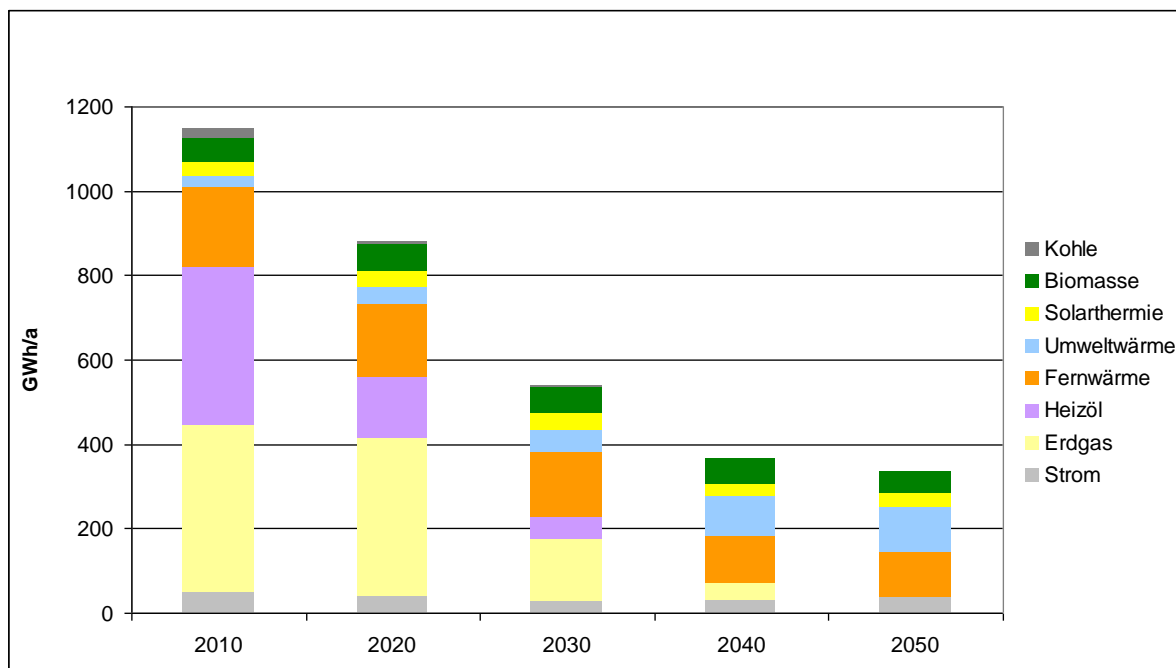
- In städtischen Räumen mit hoher Gebäudedichte, in denen Gebäude vorherrschen, die auf Grund von Restriktionen durch den Denkmal- und Fassadenschutz schlecht sanierbar sind bzw. den angestrebten energetischen Standard nach der Sanierung nicht erreichen können, wird Nah- bzw. Fernwärme als die für den Klimaschutz günstigste Variante der Raumwärmeversorgung gesehen. Fernwärmeversorgung bietet den Vorteil, hinsichtlich des eingesetzten Energieträgers relativ variabel zu sein und somit auf mittel- bis langfristige technologische Entwicklungen flexibel reagieren zu können. Bei dem begrenzten Raumangebot in den beschriebenen städtischen Räumen ist eine flächendeckende dezentrale Raumwärmebereitstellung auf der Basis Erneuerbarer Energien derzeit nicht darstellbar. Außerdem werden in diesem Quartieren auch nach der flächendeckenden Sanierung noch relativ hohe Wärmedichten bestehen, so dass eine wirtschaftliche Nah- oder Fernwärmeversorgung möglich sein sollte. In Freiburg trifft dies zum Beispiel auf den Kernstadtbereich zu. In den bisher mit Fernwärme versorgten Gebieten Weingarten, Rieselfeld und Landwasser wird die Versorgung beibehalten, in den kleineren Fernwärmeinseln möglichst auch.
- In städtischen Räumen mit eher geringer Gebäudedichte, mit z.B. Ein- und Zweifamilien- und Reihenhausbauung, werden eher dezentrale Wärmepumpen, Biomasseheizungen und Solarthermieanlagen zur Heizungsunterstützung eingesetzt.

In allen übrigen städtischen Räumen (aber auch in den vorstehend genannten) müssen individuelle Untersuchungen im Rahmen der Erstellung eines Energieversorgungskonzeptes auf der Basis des erstellten Wärmekatasters die für den Klimaschutz günstigste Lösung ermitteln.

Ein Drittel des Endenergiebedarfs der Haushalte für Raumwärme kann 2050 durch Umweltwärme gedeckt werden. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen im Bestand könnte dann bei 4,65 liegen (Prognos, EWI, 2006). Durch die stärkere Verbreitung von Wärmepumpen zur Nutzung der Umweltwärme erhöht sich der Anteil von Strom am Endenergieverbrauch der Haushalte für Raumwärme von 4% (2010) auf 12% (2050). Der absolute Stromverbrauch geht jedoch von 47 GWh/a auf 39 GWh/a zurück. Der Anteil an Stromdirektheizungen, die insbesondere im Passivhausbestand zur Deckung des Restwärmebedarfs in geringem Umfang wieder eingesetzt werden, liegt bei 3%. Der Fernwärmeanteil deckt 2050 ebenfalls ein Drittel des Heizenergiebedarfs der Haushalte, der absolute Fernwärmeabsatz reduziert sich jedoch von 190 auf 105 GWh. 15% des Heizenergiebedarfs wird durch Biomasse gedeckt. (Abbildung 18)

Die THG-Emissionen können unter den genannten Annahmen, einer konsequenten Reduzierung des Heizenergiebedarfs durch energetisch hochwertige Gebäudesanierung und sehr hohe energetische Standards im Neubau, ein 100%iger Wechsel bei dezentralen Heizungssystemen auf Erneuerbare-Energien-Technologien sowie bei 100%ig regenerativ erzeugter Fernwärme im Sektor HH-Raumwärme, um 97,5% reduziert werden.

Abbildung 18 Entwicklung des Endenergieverbrauchs, Sektor Raumwärme (Ziel-Szenario)



Anmerkung: Der Strombedarf zum Betrieb der Wärmepumpen ist in der Kategorie „Strom“ enthalten.

Zwischenziele bis zum Jahr 2020

Tabelle 6 zeigt die sich aus den Ergebnissen des Ziel-Szenarios bis 2050 ergebenden Zwischenziele bezüglich Endenergieverbrauch und THG-Emissionen. Demnach sollte der Endenergieverbrauch bis 2020 bereits um fast ein Viertel (23,4%) niedriger liegen als 2010.

Für die Gebäudesanierung und den Energieträgereinsatz bedeutet dies für die Stadt Freiburg folgende Zwischenziele:

- Sanierung von ca. 23% des Gebäudebestandes mindestens auf Niedrigenergiehaus-Niveau (auf 30-70 kWh/m²*a Heizenergiebedarf); das sind ca. 2,2 Mio. m² Wohnfläche
- Neubauten ebenfalls mind. in sehr hohem energetische Niveau ausgeführt (max. 15 kWh/a/m² Heizenergiebedarf in 2020)
- Verringerung des Heizöl- und Kohleanteils um 60%
- Erdgas bleibt mit 45% der wichtigste Energieträger für die Raumwärmebereitstellung
- leichte Verringerung des absoluten Fernwärmebedarfs bei zunehmendem Anteil am Raumwärmemarkt
- Ausbau der Solarthermie um mind. 10%
- Nahezu Verdoppelung der Nutzung von Umweltwärme in Wärmepumpen mit höchsten am Markt verfügbaren Arbeitszahlen

Unter diesen Prämissen bzw. Aktivitäten können die THG-Emissionen aus dem Heizenergiebedarf der Haushalte bis 2020 um ein Drittel reduziert werden.

Tabelle 6 Zwischenziele für die Reduzierung des Endenergiebedarfs und der THG-Emissionen im Sektor HH-Raumwärme

Größe	2010	2020	2030	2040	2050
Endenergieverbrauch [GWh/a]	1.151	882	540	367	335
Reduktion gegenüber 2010		23%	53%	68%	71%
THG-Emissionen [1.000 t/CO ₂ Äq.]	315,0	206,7	97,8	33,4	7,9
Reduktion gegenüber 2010		33,4%	68,9%	89,4%	97,5%

7.2 Sektor Haushalte – Warmwasser, Elektrogeräte und Kochen

Der Warmwasserverbrauch sinkt im Ziel-Szenario von 45 l (2010) auf 40 l pro Kopf und Tag 2050, hauptsächlich in Folge des Einsatzes energiesparender Armaturen (Prognos, Öko-Institut 2009). Daraus folgt, in Verbindung mit den leicht rückläufigen Bevölkerungszahlen, eine Abnahme des Endenergieverbrauchs für die Warmwasserbereitstellung bis 2050 um 37%, von 206 GWh in 2010 auf 129 GWh in 2050 (Abbildung 19).

Nach der Studie „Modell Deutschland“ kommt es zudem mittelfristig zu einer Entkopplung der Warmwasserbereitung vom Heizungssystem, d.h. ungekoppelte (dezentrale und dezentrale) Warmwasserbereitungsanlagen gewinnen stark an Bedeutung. Dementsprechend ändert sich der Energieträgermix. Hauptenergiequelle für die Warmwasserbereitung im Jahr 2050 sind Solarthermie (44%), Strom (28%) und Umweltwärme (17%); fossile Energieträger werden nicht mehr eingesetzt.

Da keine fossilen Energieträger mehr eingesetzt werden, können die THG-Emissionen um 93,0% gegenüber 2010 reduziert werden, von 55.400 t auf 4.800 t CO₂Äq. (Abbildung 21).

Der Endenergiebedarf für den Betrieb von Elektrogeräten und zum Kochen sinkt zunächst durch Effizienzgewinne bei den Haushaltsgeräten bis 2030 leicht ab. Den Effizienzgewinnen stehen jedoch höhere Ausstattungsgrade gegenüber, so dass nur eine Minderung um 11% erreicht wird, von 275 GWh auf 245 GWh im Jahr 2030. Ab 2030 stagniert der Endenergiebedarf und steigt ab 2040 wieder deutlich an bis auf 273 GWh im Jahr 2050. Ursache dafür ist der zu erwartende zunehmende Bedarf an Klimatisierung und Kühlung. Dem Ziel-Szenario liegt die Annahme zu Grunde, dass bis 2050 40% der Wohnfläche mit solarer (oder auch anderer Erneuerbarer) Kühlung (hier ist allerdings die technologische Unsicherheit noch recht hoch) klimatisiert werden, und nur 10% der Wohnfläche mit elektrischen Geräten. Daher kann letztendlich im Gegensatz zum Referenz-Szenario ein absoluter Anstieg des Strombedarfs zur Klimatisierung verhindert werden. Der Endenergiebedarf für solare Kühlung ist in Abbildung 20 als „EE-Klima“ separat ausgewiesen und beträgt 2050 100 GWh bzw. mehr als ein Drittel des Endenergiebedarfs des Sektors HH-Elektrogeräte und Kochen. Die THG-Emissionen sinken im Betrachtungszeitraum von 153.000 t CO₂Äq. auf 5.492 t CO₂Äq.

Abbildung 19 Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor HH – Warmwasser (Ziel-Szenario)

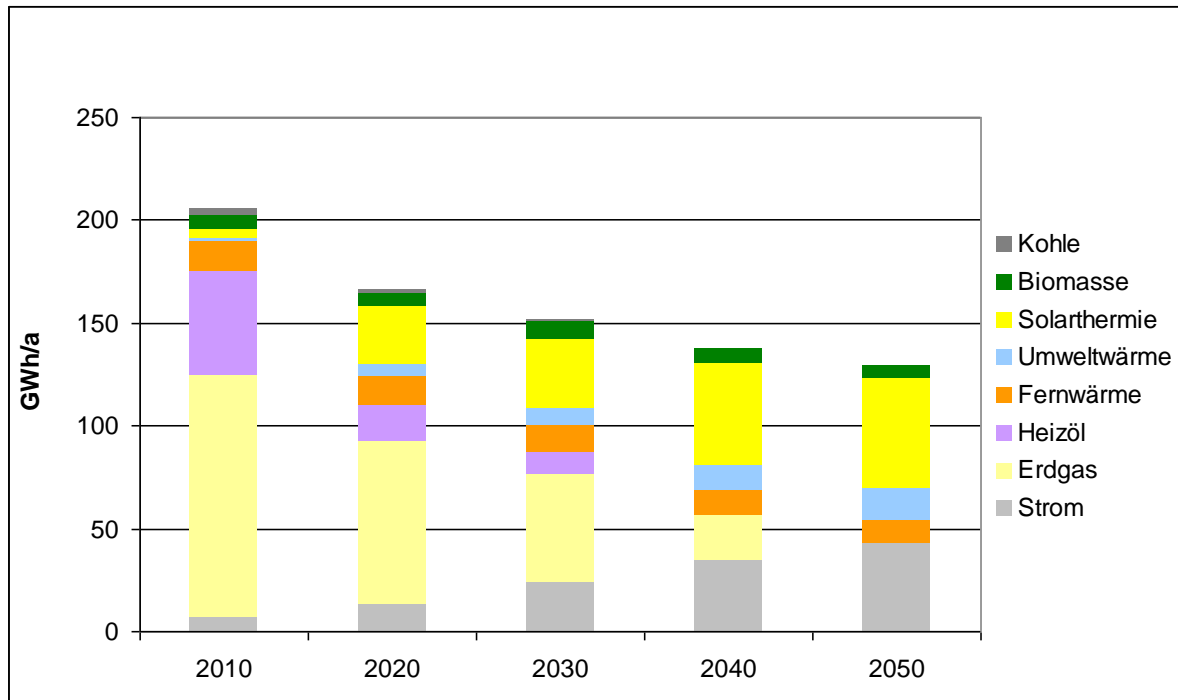


Abbildung 20 Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Sektors HH – Elektrogeräte und Kochen (Ziel-Szenario)

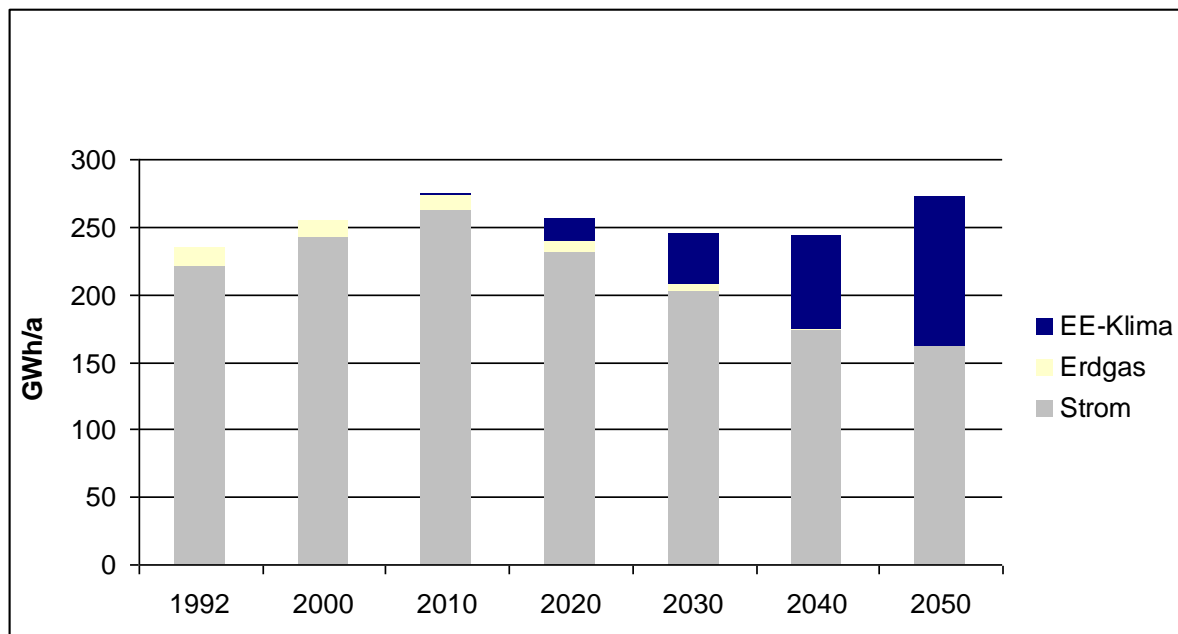


Abbildung 21: Sektor HH – Warmwasser, Elektrogeräte und Kochen: THG-Emissionen nach Energieträgern (Ziel-Szenario)

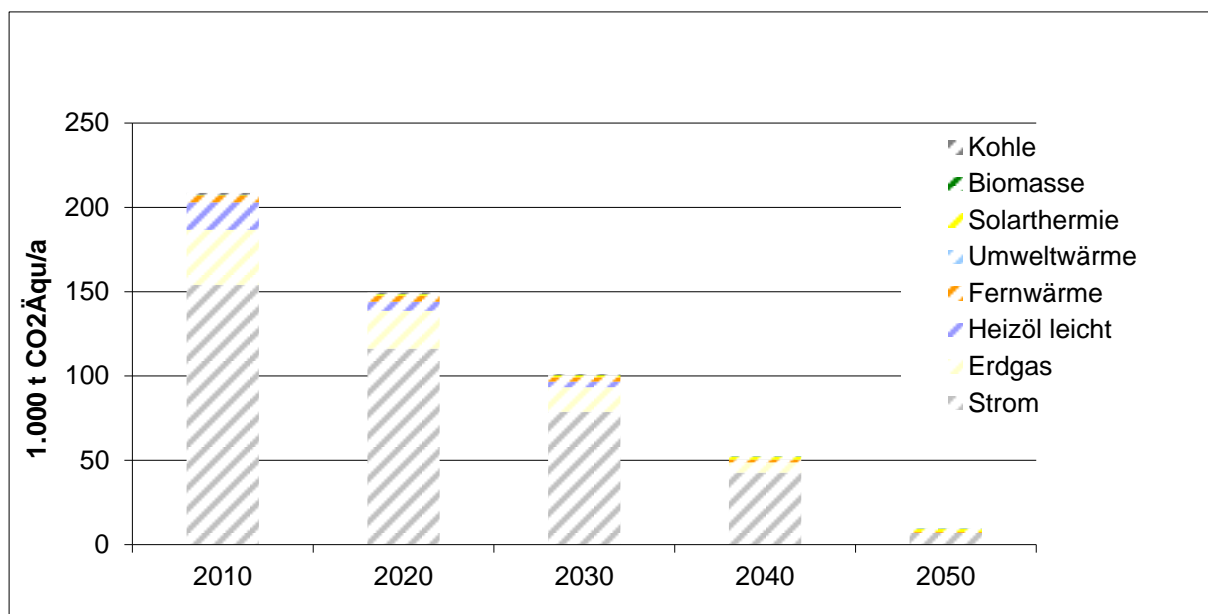


Tabelle 7 Zwischenziele für die Reduzierung des Endenergiebedarfs und der THG-Emissionen in den Sektoren HH – Warmwasser und HH – Elektrogeräte und Kochen

Sektor und Größe	2010	2020	2030	2040	2050
HH-Warmwasser					
Entwicklung Endenergieverbrauch [GWh/a]	206	166	152	138	129
Reduktion gegenüber 2010		19%	26%	33%	37%
Entwicklung THG-Emissionen [1.000 t/CO ₂ Äq]	55,4	37,3	29,4	16,1	3,9
Reduktion gegenüber 2010		32,8%	46,9%	70,9%	93,0%
HH-Elektrogeräte und Kochen					
Entwicklung Endenergieverbrauch [GWh/a]	275	256	245	244	273
Reduktion gegenüber 2010		7%	11%	11%	1%
Entwicklung THG-Emissionen [1.000 t/CO ₂ Äq]	153,0	112,1	71,6	36,1	5,5
Reduktion gegenüber 2010		26,7%	53,2%	76,4%	96,4%

Zwischenziele bis zum Jahr 2020

Tabelle 7 zeigt die Zwischenziele für den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen in 10-Jahresschritten bis zum Jahr 2050. Im Sektor HH-Warmwasser soll der Endenergiebedarf bis 2020 um 19,4% und die THG-Emissionen um 32,8% reduziert werden. Im Sektor

HH-Elektrogeräte und Kochen sind es -6,9% beim Endenergiebedarf und -26,7% bei den Emissionen.

7.3 Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)

Den Effizienzsteigerungen der einzelnen Branchen in diesem Sektor liegen Annahmen aus dem Innovations-Szenario aus der Studie „Modell Deutschland“ zu Grunde (Prognos, Öko-Institut 2009). Dies sind für das Ziel-Szenario im Bereich der Gewerbegebäuden Neubauten in hohem energetischem Standard sowie eine verstärkte Sanierung mit großer Sanierungstiefe. Die für das Referenz-Szenario angenommenen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz finden auch im Ziel-Szenario Anwendung. Es wird jedoch zusätzlich unterstellt, dass die Effizienzpotenziale schneller umgesetzt und nahezu vollständig genutzt werden. Zu den Effizienzpotentialen gehören der Einsatz energieeffizienter Querschnittstechnologien (Beleuchtung, Heizung, Klimatisierung etc.), eine Veränderung des Materialeinsatzes, Entwicklung und Produktion neuer, weniger energieintensiver Materialien und insgesamt verstärkte Mess- und Regelungsanstrengungen. Die in Freiburg vorherrschenden Dienstleistungsbranchen (z.B. Gesundheits- und Sozialwesen, Bildung und Forschung, Tourismus) sind zum großen Teil Raumwärme-dominiert und weisen einen im Vergleich mit dem bundesdeutschen Durchschnitt geringeren Energiebedarf für elektrische Antriebe und Prozesswärme auf. In Branchen mit hohen Raumwärmeanteilen sinkt der spezifische Energieverbrauch stärker als in Branchen mit hohen Anteilen an Prozesswärme und mechanischer Energie, da dort die gleichen Anstrengungen zur Reduktion des Heizenergiebedarfs unterstellt werden können wie im Wohngebäudebereich. In den IKT-intensiven Branchen wird davon ausgegangen, dass Technologieshifts (Optoelektronik, weiter miniaturisierte Hochleistungstechnologie für Datenspeicherung und -verarbeitung, neue Kühltechnologien etc.) zum Tragen kommen. Generell überkompensieren in allen Branchen die Effizienzeffekte das Wertschöpfungswachstum (Prognos, Öko-Institut 2009).

Der Endenergiebedarf im Sektor GHD sinkt insgesamt um 55% auf 544 GWh im Jahr 2050 (von 1.200 GWh im Jahr 2010). Strom ist der wichtigste Energieträger mit einem Anteil von 39%. Der absolute Strombedarf halbiert sich in Folge von massiven Effizienzgewinnen bei Bürogeräten, Beleuchtung und elektrischen Antrieben. Der steigende Energiebedarf für Kühlung und Klimatisierung kann zu 50% durch Erneuerbare Energien gedeckt werden (dies entspricht 46 GWh/a). Der Erdgaseinsatz wird fast vollständig durch Erneuerbare Energien oder Fernwärme abgelöst. Insgesamt liegt der Anteil Erneuerbarer Energien im Sektor GHD bis zum Jahr 2050 bei 38%, Erdgas noch bei 4% und Fernwärme bei 18% (Abbildung 22).

Die Menge der THG-Emissionen kann nach dem Ziel-Szenario im Sektor GHD um 95,7% reduziert werden. Da 2050 der Strom des lokalen Strommixes nahezu vollständig aus regenerativen Quellen stammt und die leitungsgebundene Wärme zu 100% Erneuerbar sind, werden im Energiemix dieses Sektors nur noch 4% fossile Energieträger (Erdgas) eingesetzt.

Abbildung 22 Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor GHD (Ziel-Szenario)

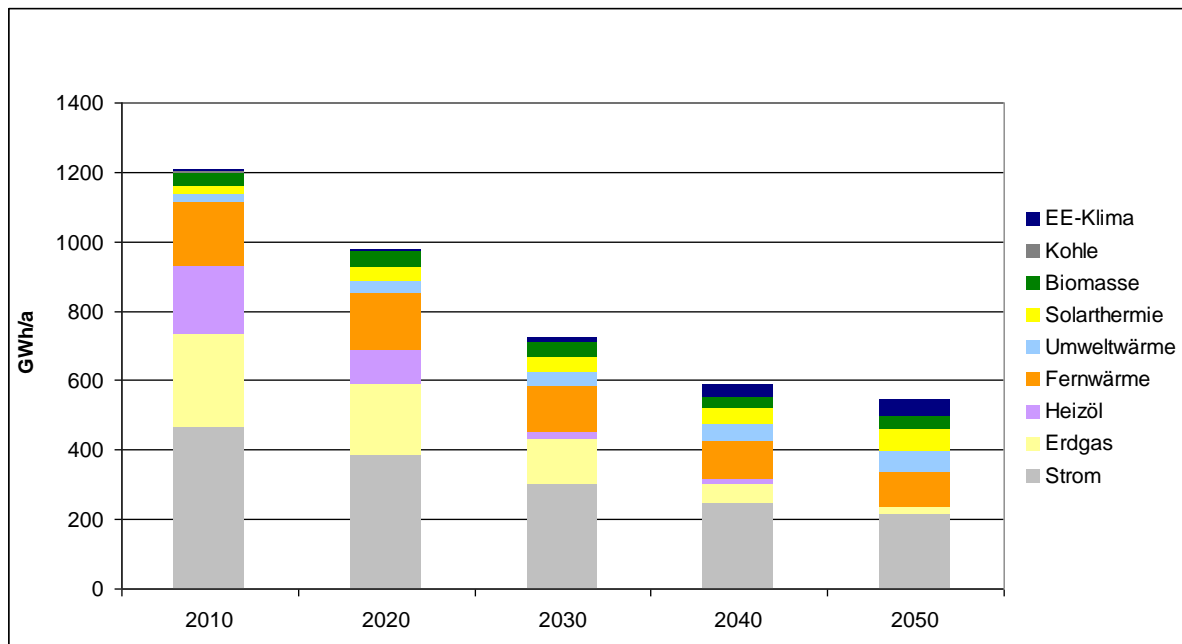
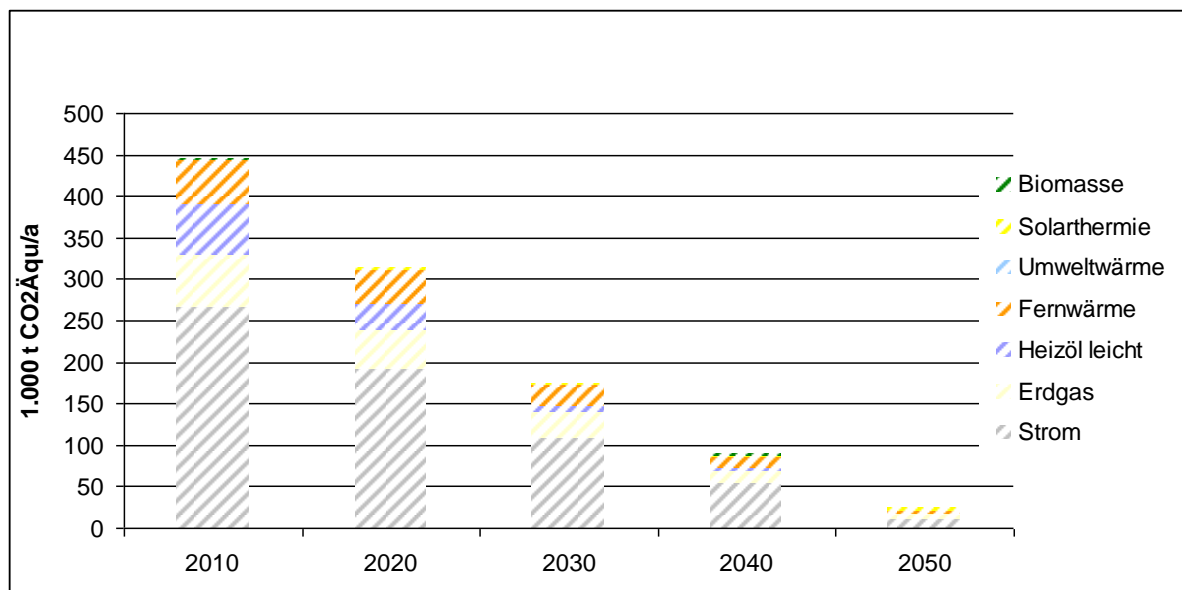


Abbildung 23 Sektor GHD: THG-Emissionen nach Energieträgern (Ziel-Szenario)



Zwischenziele bis zum Jahr 2020

In Tabelle 8 sind die Zwischenziele für die Energieeinsparung und Emissionsreduktion noch einmal zusammengefasst. Demnach müssen bis 2020 ca. 19% des Endenergiebedarfs und ca. 32,0% der THG-Emissionen reduziert werden.

Tabelle 8: Zwischenziele für die Reduzierung des Endenergiebedarfs und der THG-Emissionen im Sektor GHD

	2010	2020	2030	2040	2050
Entwicklung Endenergieverbrauch [GWh]	1.205	975	719	585	544
Reduktion gegenüber 2010		19%	40%	51%	55%
Entwicklung THG-Emissionen [1.000 t/CO ₂ Äq.]	448,7	305,4	170,0	84,0	19,2
Reduktion gegenüber 2010		32,0%	62,1%	81,3%	95,7%

Zwischenziele für die Landesliegenschaften

Freiburg ist Sitz einiger bedeutender Einrichtungen des Landes Baden-Württemberg. Dazu gehören die Albert-Ludwigs-Universität, das Universitäts-Klinikum, die Justizvollzugsanstalt, die Regierungspräsidien Freiburg und Stuttgart, die Pädagogische Hochschule, das staatliche Weinbauinstitut sowie zahlreiche weitere, kleinere Einrichtungen. Insgesamt verbrauchten diese Landesliegenschaften 2009 etwa 28% der Endenergie des Sektors GHD. Im Folgenden werden für diese separate Zwischenziele für die nächsten 10 Jahre ausgewiesen, deren Erreichung die Stadt Freiburg vertraglich mit dem Land Baden-Württemberg vereinbaren und regelmäßig überprüfen könnte.

Abbildung 24 zeigt die Entwicklung der Endenergieverbräuche der Landesliegenschaften, wenn Reduktionsraten aus Modell Deutschland zu Grunde gelegt werden (Prognos, Öko-Institut 2009). Demnach sollte sich der Energieverbrauch bis zum Jahr 2050 im Uni-Klinikum um 68,8%, in der Universität um 56,8% und in den sonstigen Landesliegenschaften um 78,2% reduzieren. In diesen Reduktionen sind die Auswirkungen der zukünftigen Entwicklung der jeweiligen Einrichtungen enthalten. Dazu gehört ein überdurchschnittliches Wachstum des Gesundheitswesens, rückläufige Studentenzahlen (allerdings nicht proportional zum Bevölkerungsrückgang, da mit einer wachsenden Popularität der Freiburger Universität bei ausländischen Studierenden gerechnet wird) und eine Reduzierung der Beschäftigung der Landesverwaltung.

Tabelle 9 zeigt die Zwischenziele, die die Stadt Freiburg mit dem Land Baden-Württemberg zum Endenergieverbrauch ihrer Einrichtungen und Liegenschaften vereinbaren sollte.

Abbildung 24 Entwicklung des Endenergieverbrauchs für die Landesliegenschaften nach dem Ziel-Szenario

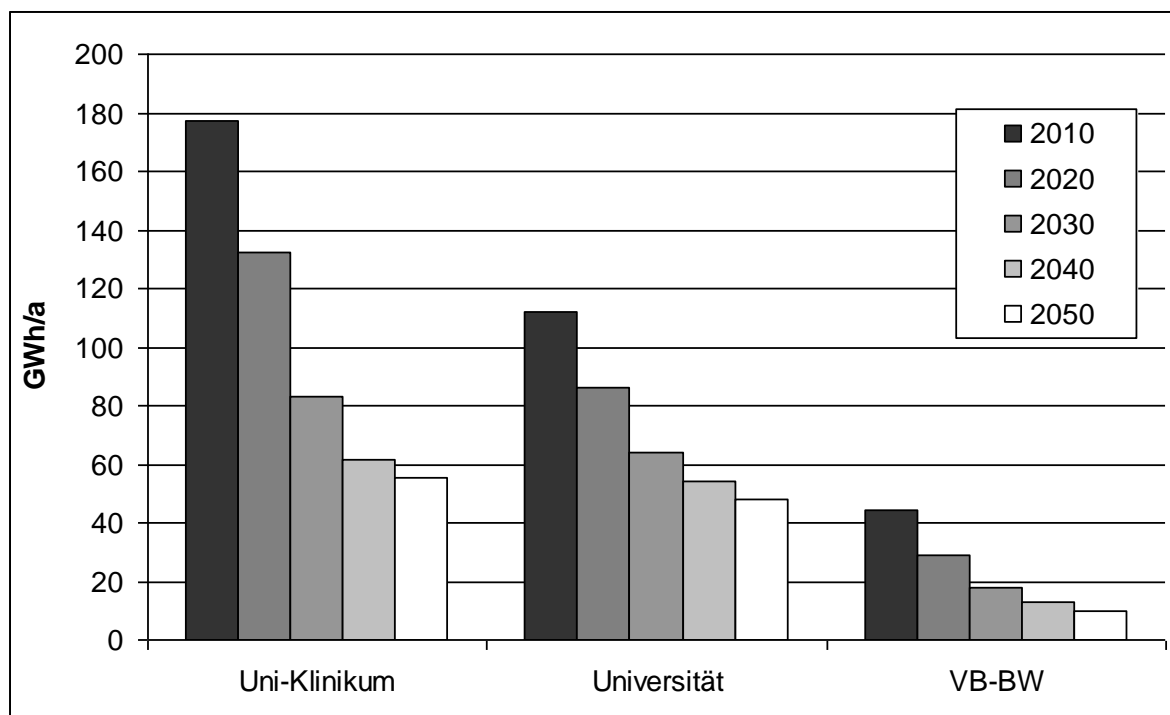


Tabelle 9 Zwischenziele für Landesliegenschaften

Bereich	Größe	Zwischenziel bis 2015	Zwischenziel bis 2020
Universitäts-Klinikum	Zwischenziel Endenergieverbrauch	154,4 GWh/a	132,0 GWh/a
	Reduktion gegenüber 2010	13%	25%
Universität	Zwischenziel Endenergieverbrauch	99,0 GWh/a	86,2 GWh/a
	Reduktion gegenüber 2010	11%	23%
Sonstige Landesliegenschaften	Zwischenziel Endenergieverbrauch	36,6 GWh/a	28,7 GWh/a
	Reduktion gegenüber 2010	18%	35%

7.4 Sektor Industrie

Im Ziel-Szenario sinkt der Endenergieverbrauch im Sektor Industrie bis zum Jahr 2050 um insgesamt 35%. Im Betrachtungszeitraum ist mit einer weiteren Verringerung der Energieintensität in den einzelnen Industriebranchen zu rechnen. Diese führt - wie auch im Sektor GHD - zu einer Absenkung der spezifischen Energieverbräuche. Wie schon im Sektor GHD angenommen, werden auch in der Industrie die Effizienzpotenziale im Vergleich zum Referenz-Szenario schneller und nahezu vollständig umgesetzt. Darüber hinaus führen grundsätzliche Verschiebungen und teilweise auch Substitutionen bei Prozessen und Produkten im Ziel-Szenario zu einer weiteren Absenkung der Energieintensität gegenüber der Referenz (Prognos, Öko-Institut 2009). Beispiele hierfür sind katalytische und biologische Prozesse in der Chemie, die den Prozesswärmebedarf verringern, Trocknungsprozesse mit geschlossenen Lösungsmittelkreisläufen, Härtungsprozesse mit Infrarotlasern, Reinigungsprozesse mit UV-Licht etc. Beim spezifischen Stromverbrauch sind die zusätzlichen Einsparpotenziale zu den bereits in der Referenz konsequent optimierten Querschnittstechnologien begrenzt. Miniaturisierung sowie die nächste und übernächste Generation der Lichterzeuger, IT-Technologien, Kältetechnologien etc. tragen hierzu bei. Grundsätzlich ergeben sich durch die angenommenen Prozessinnovationen zusätzliche Substitutionen von vorher brennstoffgefeuerten Prozessen zu strombasierten Techniken (z. B. Härtungsprozesse mit Infrarotlasern). Zusätzlich zu den Entwicklungen im Referenz-Szenario wird branchenabhängig eine Verringerung des spezifischen Stromverbrauchs im Bereich von 24 % bis 33 % erreicht (Prognos, Öko-Institut 2009) In der letzten Dekade des Betrachtungszeitraums neutralisieren sich Effizienzgewinne und Wachstum der Branchen. Daher kommt es ab etwa 2040 nicht mehr zu weiteren Reduktionen im Endenergieverbrauch.

Der wichtigste Energieträger der Freiburger Industrie bleibt die leitungsgebundene Prozesswärme/Fernwärme (inkl. der Wärmeabgabe des Wärmeverbundkraftwerks an die Rhodia) mit einem Anteil von 55%. Damit bleibt der Prozesswärmeanteil am Energieträgermix nahezu gleich, 2010 beträgt er 56%. Der absolute Stromverbrauch sinkt um knapp 30%, trotz des zusätzlichen Verbrauchs durch die Substitution von vormals erdgasbasierten Prozessen und die elektrische Klimatisierung.

Im Ergebnis dieser Veränderungen liegt der Stromanteil am Energieträgermix bei knapp 30%. Der Erdgaseinsatz wird um zwei Drittel reduziert: 2050 werden im Zielszenario nur noch 9% des Endenergieverbrauchs der Industrie durch Erdgas gedeckt.

Die Erneuerbaren Energien gewinnen wie im Referenz-Szenario nur geringe Anteile hinzu, da ihre Einsatzmöglichkeiten im industriellen Bereich begrenzt sind. Lediglich Biomasse kann in größerem Umfang für die Prozesswärmeerzeugung eingesetzt werden und dient zudem zur Erzeugung der in der Industrie eingesetzten leitungsgebundenen Prozess-/Fernwärme (vgl. Kapitel 7.6). Umweltwärme und Solarthermie kann nur für die Raumwärmebereitstellung und ggf. für die Klimatisierung genutzt werden. Da jedoch auch im industriellen Bereich der Bedarf an Raumwärme durch Gebäudesanierungen sinkt, sind die Einsatzmöglichkeiten hier begrenzt. Der Bedarf für elektrische Klimatisierung ist im Stromanteil enthalten. Der Anteil an Erneuerbaren am industriellen Endenergiebedarf liegt insgesamt bei nur 8% (Abbildung 25).

Nach dem Ziel-Szenario sinken die THG-Emissionen im Sektor Industrie bis 2050 um 88,4% gegenüber 2010. Dies ist neben der Reduktion des Endenergieverbrauchs der Tatsache zu verdanken, dass einschließlich der Prozess-/Fernwärme 91% des verbliebenen Endenergiebedarfs durch Erneuerbare Energien gedeckt werden. Der Strommix ist nahezu vollständig (zu 99,1%) erneuerbar, die leitungsgebundene Wärme wird zu 100% aus regenerativen Quellen bereitgestellt. Lediglich Erdgas ist als einziger fossiler Energieträger mit 9% im Mix vertreten. Abbildung 26 stellt die Entwicklung der THG-Emissionen dar.

Abbildung 25 Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Industrie (Ziel-Szenario)

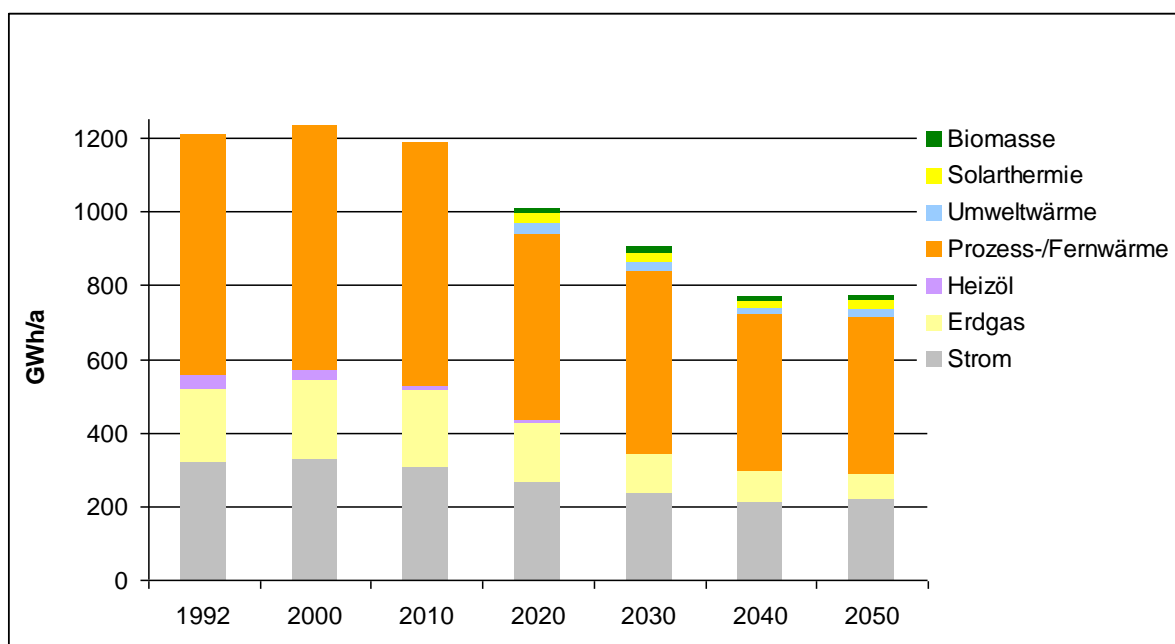
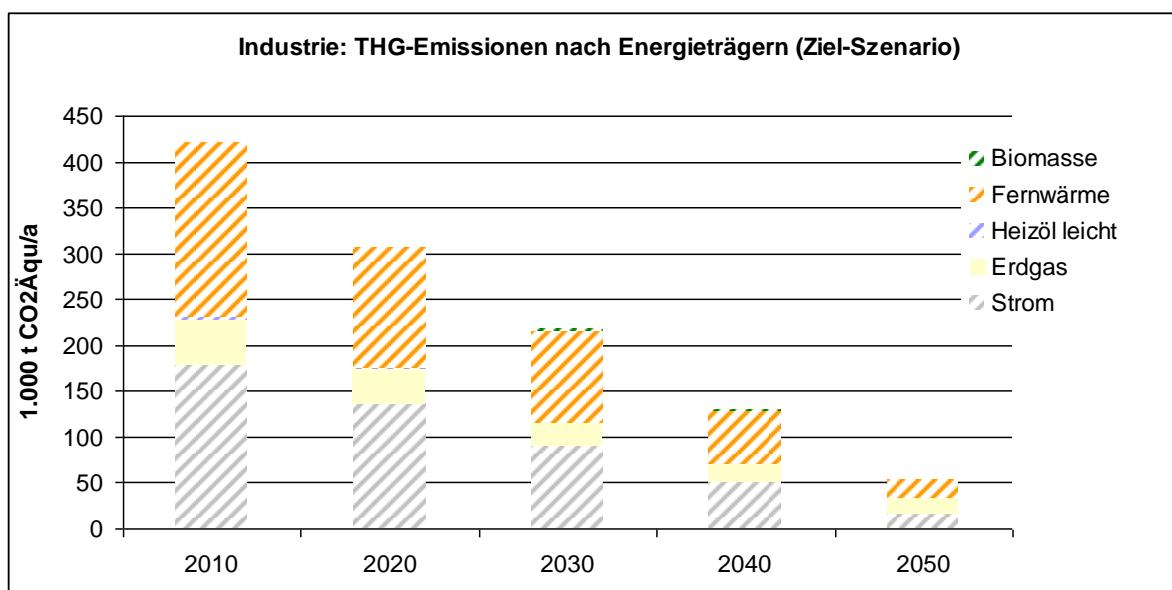


Abbildung 26 Industrie: Entwicklung der THG-Emissionen nach Energieträgern (Ziel-Szenario)



Zwischenziele bis zum Jahr 2020

In Tabelle 10 sind die Zwischenziele für Energieeinsparung und Emissionsreduktion im Sektor Industrie noch einmal zusammengefasst. Demnach müssen bis zum Jahr 2020 im Sektor Industrie 15% des Endenergieverbrauchs und 28,4% der THG-Emissionen eingespart werden.

Tabelle 10 Zwischenziele für die Reduzierung des Endenergiebedarfs und der THG-Emissionen im Sektor Industrie

	2010	2020	2030	2040	2050
Entwicklung Endenergieverbrauch [GWh]	1.189	1.008	907	767	772
Reduktion gegenüber 2010	0	15%	24%	36%	35%
Entwicklung THG-Emissionen [1.000 t/CO ₂ Äq.]	419,9	300,7	212,9	125,2	48,6
Reduktion gegenüber 2010	0	28,4%	49,3%	70,2%	88,4%

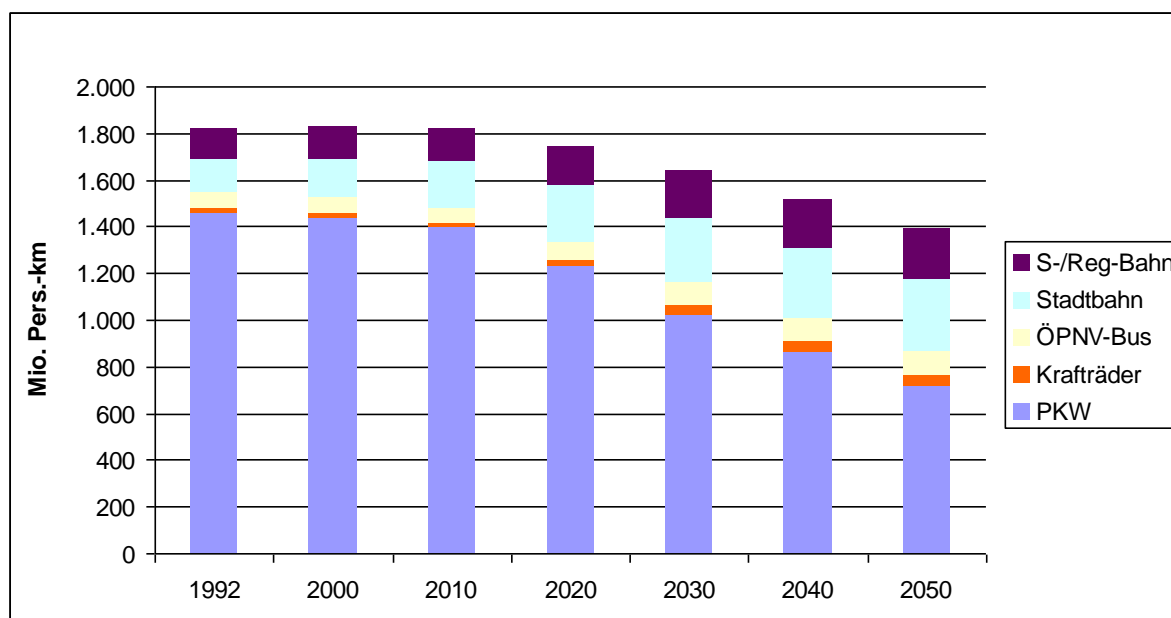
7.5 Sektor Verkehr

Personenverkehr

Bei der Entwicklung des Personenverkehrs im Ziel-Szenario wird die Entwicklung des Verhältnisses Bevölkerung–Verkehrsleistung zwischen den Jahren 1992 und 2009 bis zum Jahr 2050 fortgeschrieben. Das heißt, es gelingt auch bei zunächst wachsender Bevölkerung, die (absolute) Verkehrsleistung des MIV weiter zu reduzieren. Diese Reduzierung der Verkehrs-

leistung kann nur durch eine Reduzierung der zurückgelegten Wege („Stadt-der-kurzen-Wege-Politik) oder durch eine Substitution von motorisierten Individualfahrten, also durch eine starke Zunahme des ÖPNV sowie des Rad- und Fußverkehrs erreicht werden. In dieser Studie kann dies jedoch nicht weiter quantifiziert werden. Der Modal Split zwischen Motorisiertem Individualverkehr (MIV) und Öffentlichem Personennahverkehr (ÖPNV) ändert sich zu Gunsten des ÖPNV; der Anteil des ÖPNV an allen motorisierten Fahrten steigt bis 2050 von 22 auf 45%. Die Zahl der PKW sinkt im gleichen Zeitraum um 5%. Der Anteil der Kraftäder an der Fahrleistung des MIV steigt auf 9% (von 1,6% in 2010) (Abbildung 27). Vor allem für kürzere Wege werden verstärkt Krafträder eingesetzt, die mit Elektroantrieben ausgestattet sind. Deren Anteil an allen Krafträdern beträgt im Ziel-Szenario 50%. Die Auslastung sowohl der PKW als auch der Busse und Bahnen des ÖPNV verbessert sich aufgrund der Erhöhung der Attraktivität des ÖPNV bzw. der vorhandenen Mobilitätssysteme sowie der eingeführten Restriktionen für den MIV.

Abbildung 27 Personenverkehr: Entwicklung der Verkehrsleistung



Diese Abbildung stellt die Entwicklung der motorisierten Verkehrsträger dar. Nur diese werden im Modell abgebildet, da nur diese Verkehrsträger Treibhausgasemissionen verursachen. An dieser Stelle sei explizit auf die bedeutende Rolle der nichtmotorisierten Verkehrsträger hingewiesen, deren Verkehrsleistung und verkehrspolitische Bedeutung erheblich zunehmen wird.

Der Technologieentwicklung im MIV liegen Annahmen aus dem Innovations-Szenario von „Modell Deutschland“ zu Grunde; so bei der Marktdurchdringung innovativer Antriebstechnologien und der Entwicklung der spezifischen Verbräuche (Prognos, Öko-Institut 2009). Tabelle 11 zeigt die in „Modell Deutschland“ angenommene Entwicklung der spezifischen Verbräuche. Aufgrund der Unsicherheiten von Technologieentwicklungen über einen solch lan-

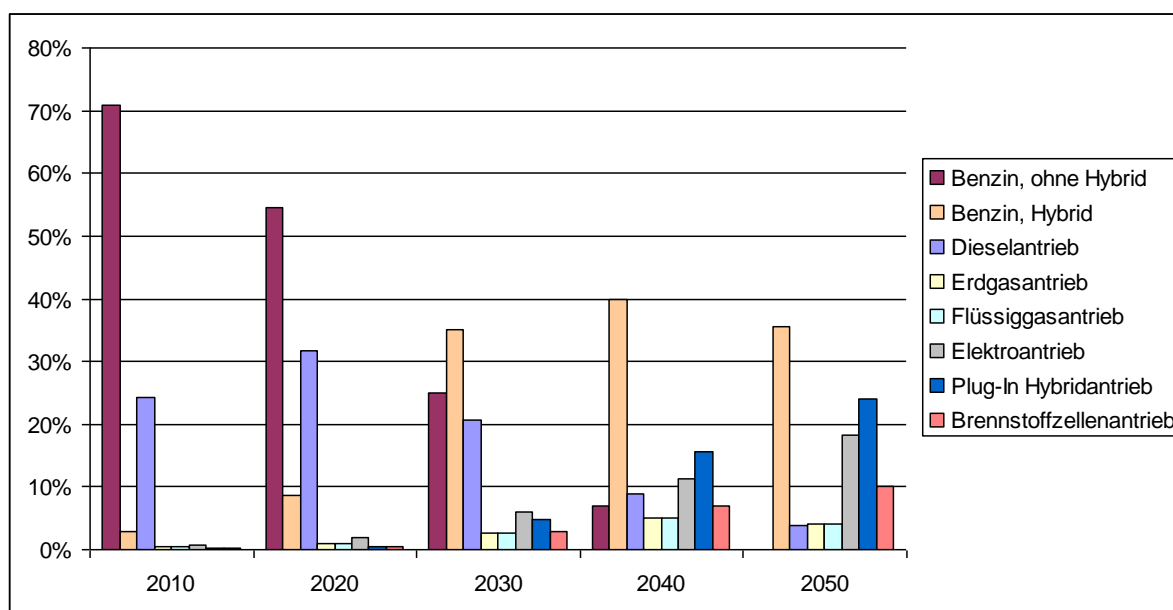
gen Zeitraum wird hier stärker als in „Modell Deutschland“ ein Mix zwischen den verschiedenen Antrieben zugrunde gelegt. Brennstoffzellen-PKW finden daher bis 2050 eine stärkere Berücksichtigung. Fahrzeuge mit reinem Benzinantrieb gibt es 2050 nicht mehr. Wichtigster Fahrzeugtyp bei den PKW ist der Benzin-Hybrid mit einem Marktanteil von einem Drittel. Elektro- und Brennstoffzellenantriebe sowie Plug-In-Hybride sind zu jeweils 10-25% im Fahrzeugbestand vertreten.

Tabelle 11 Entwicklung der spezifischen Verbräuche im MIV (Ziel-Szenario)

Verbrauch	2010	2020	2030	2040	2050
Benzin, ohne Hybrid [l/100km]	7,77	6,4	5,2	4,7	4,2
Benzin, Hybrid [l/100km]	5,7	4,8	3,9	3,5	3,2
Diesel [l/100km]	6,3	5,4	4,8	4,4	4,3
Erdgas [kg/100km]	5,2	4,3	3,5	3,2	2,9
Flüssiggas [kg/100km]	5,6	4,7	3,8	3,4	3,1
Elektroantrieb [kWh/100km]	19,2	16,5	14,5	14	13,9
Plug-In Hybrid [kWh/100km]	25,8	23,5	20	18,6	17,7
Brennstoffzelle [kg H ₂ /100km]	1,7	1,4	1,2	1,2	1,1

Quelle: Prognos, Öko-Institut 2009

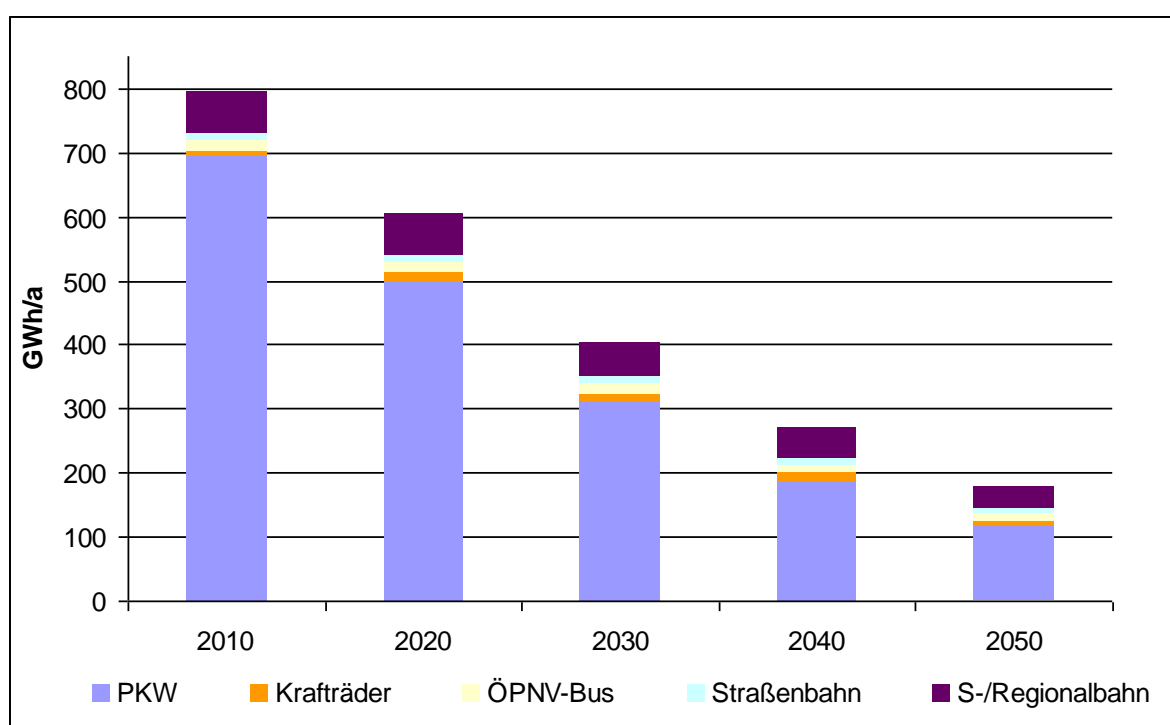
Abbildung 28 MIV: Anteile verschiedener Antriebsarten am Fahrzeugbestand (Ziel-Szenario)



Die Verkehrsleistung des ÖPNV verdoppelt sich bis 2050 in Folge des Modal Shifts vom MIV. Es wird eine Effizienzverbesserung bis 2050 bei Straßenbahnen um 30% und bei Bussen um 20% gegenüber 2010 angenommen (Öko-Institut 2009). Brennstoffzellenbusse werden ab 2020 konsequent eingeführt, 2050 fahren 100% der Linienbusse im ÖPNV mit Brennstoffzellenantrieb. Wie auch im Referenz-Szenario angenommen, sind S- und Regionalbahnen ab 2030 vollständig elektrifiziert.

Im Ergebnis kann der Primärenergieverbrauch im Personenverkehr um 78% reduziert werden. Vom verbleibenden Energiebedarf werden knapp 30% vom ÖPNV verbraucht (Abbildung 29).

Abbildung 29 Personenverkehr: Entwicklung des Endenergieverbrauchs (Ziel-Szenario)

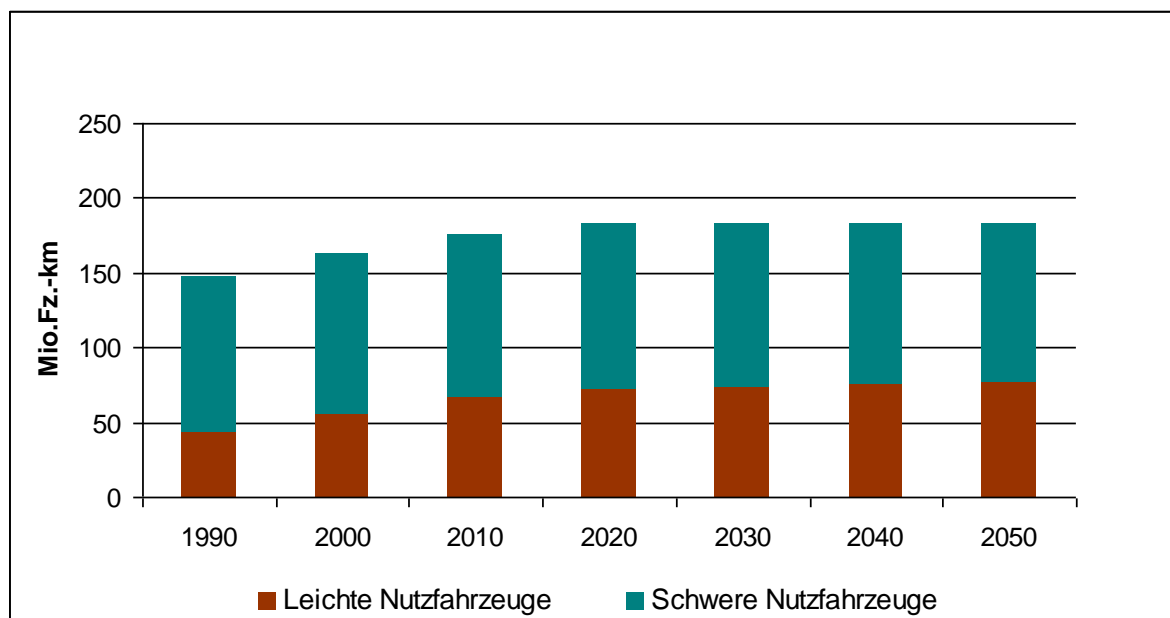


Straßen-Güterverkehr

Im Ziel-Szenario gelingt es, den ungebremsten Anstieg der Fahrleistung im Straßen-Güterverkehr der Vergangenheit zunächst bis zum Jahr 2020 abzubremesen. Ab 2020 steigt die Fahrleistung nicht weiter an, sondern stagniert auf gleich bleibend hohem Niveau. Damit gelingt es, die Entwicklung der Fahrleistung von der Entwicklung des BIP zu entkoppeln. Möglich wird dies u.a. durch eine dringend erforderliche Anpassung von Logistik- und Transportprozessen in der Feinverteilung zur Ver- und Entsorgung des Handels mit Nahrungs- und Konsumgütern. Politische Maßnahmen, die dies unterstützen können, gilt es zukünftig zu entwickeln. Der Verkehrssektor wird selbst auch zur Reduktion des Straßen-Güterverkehrs beitragen: durch eine geringere Nachfrage nach fossilen flüssigen Treibstoffen, die dann nicht mehr verteilt werden müssen, sinkt das Verkehrsaufkommen in diesem Bereich (Prog-

nos, Öko-Institut 2009). Die Fahrleistung im Straßen-Güterverkehr nimmt bis 2050 nach dem Ziel-Szenario um 4% gegenüber 2010 zu (Abbildung 30).

Abbildung 30 Straßen-Güterverkehr: Entwicklung der Fahrleistungen (Ziel-Szenario)



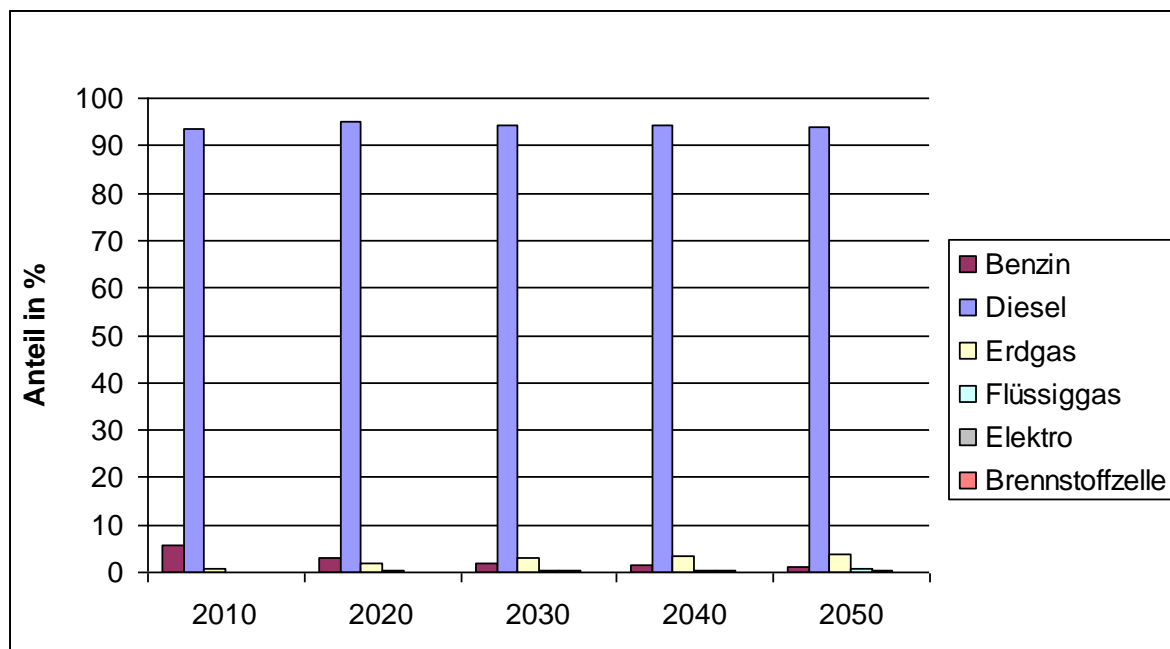
Basierend auf der Studie „Modell Deutschland“ können sich innovative Antriebe bei den Nutzfahrzeugen auch im Ziel-Szenario bis 2050 nicht durchsetzen: noch 95% der Nutzfahrzeuge besitzen einen Dieselantrieb (Abbildung 31). Die Berücksichtigung der Effizienzgewinne der Antriebe erfolgte wie im Personenverkehr nach „Modell Deutschland“; sie sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Entwicklung der spezifischen Verbräuche im Straßen-Güterverkehr

Verbrauch	2010	2020	2030	2040	2050
Benzin, ohne Hybrid [l/100km]	12,9	11,4	10,0	9,4	9,4
Diesel [l/100km]	22,4	20,1	18,6	17,5	16,8
Erdgas [kg/100km]	15,1	13,8	12,4	11,5	11,1
Flüssiggas [kg/100km]	16,0	14,9	13,5	12,5	12,2
Elektroantrieb [kWh/100km]	53,9	49,6	46,1	43	41,2

Quelle: Prognos, Öko-Institut 2009

Abbildung 31 Straßen-Güterverkehr: Anteile der Antriebsarten an der Fahrleistung

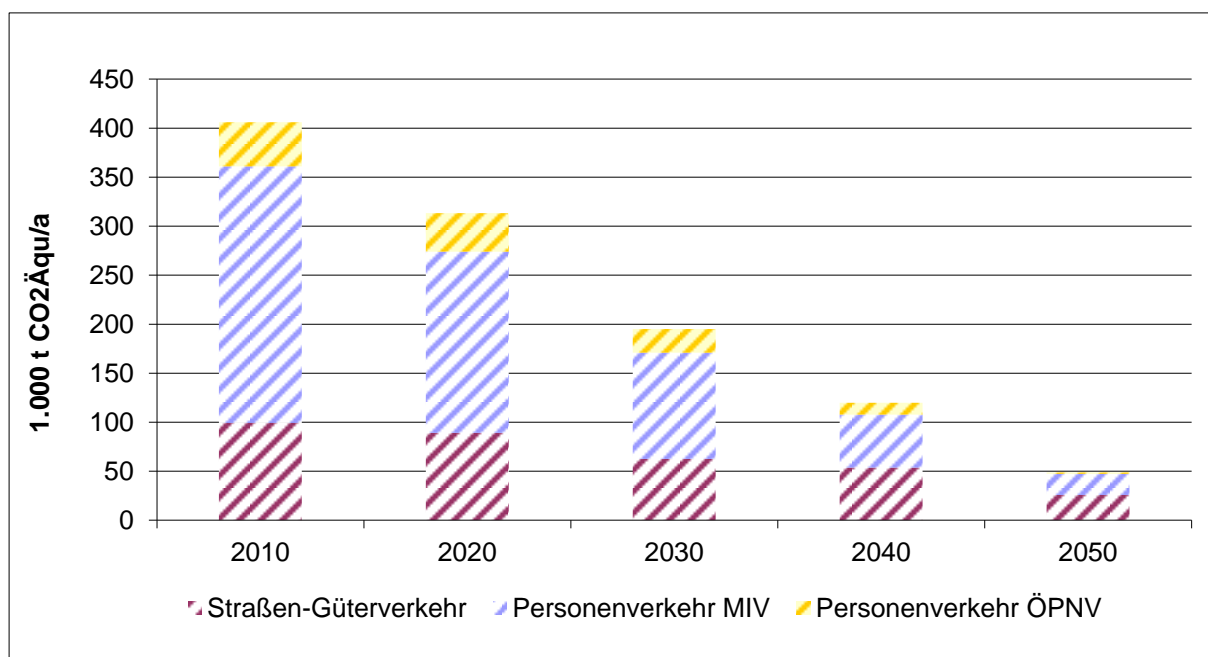


Treibhausgas-Emissionen

Die Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor Verkehr gelingt in Folge des gesunkenen Energieverbrauchs und des verstärkten Einsatzes innovativer „Kraftstoffe“, wie Strom, Biokraftstoffe und Wasserstoff. Der Biokraftstoffanteil im Dieselmotorkraftstoff steigt nach den Annahmen der Studie „Modell Deutschland“ im Ziel-Szenario bis 2050 auf 100% (vgl. nächsten Absatz). Für die spezifischen Emissionen des Biokraftstoffanteils werden die Vorgaben der EU-RL 2009/28/EG herangezogen, in welcher vorgegeben ist, um welchen Prozentsatz die THG-Emissionen von Biokraftstoffen die Emissionen der verschiedenen fossilen Kraftstoffe unterschreiten müssen. Emissionsfaktoren bis 2030 für alle Kraftstoffe wurden GEMIS 4.6 entnommen (Öko-Institut 2010). Die weitere Fortschreibung bis 2050 erfolgte durch eine Extrapolation dieses Trends. Der Emissionsfaktor für Strom ist der des Gesamt-mixes der lokalen Stromerzeugung und des Bezugs von außerhalb.

Im Verkehrssektor kann durch die Kombination aller beschriebenen Annahmen der Ausstoß von Treibhausgasen bis 2050 um 88,0% reduziert werden (Abbildung 29). Die größten Potenziale für eine darüber hinaus gehende Reduktion der Emissionen liegen im Bereich des Straßen-Güterverkehrs. Auch ist hier die Annahme aus „Modell Deutschland“, dass 100% des Dieselmotorkraftstoffs auf rezenter Biomasse basiert, aus heutiger Sicht eher unsicher. Es ist nicht sicher, dass für diesen Verwendungszweck ausreichend nachhaltig erzeugte Biomasse zur Verfügung stehen wird. Gleichzeitig sind bisher keine Technologien für die großskalige Produktion von Biokraftstoffen zweiter Generation, die hier zu Grunde gelegt werden, verfügbar und deren Entwicklung ist derzeit nicht absehbar.

Abbildung 32 Sektor Verkehr: Entwicklung der THG-Emissionen (Ziel-Szenario)



Zwischenziele

Insgesamt kann der Energiebedarf im Verkehrssektor unter den beschriebenen Annahmen um 62% reduziert werden. Den größeren Beitrag leistet der Personenverkehr mit einer Reduzierung um 80%, während im Straßen-Güterverkehr nur 23% erreicht werden.

Tabelle 13 fasst noch einmal die Ziele für den Sektor Verkehr nach dem Ziel-Szenario zusammen und gibt Zwischenziele in Zehnjahresschritten vor. Demnach sollten bis zum Jahr 2020 etwa 18% der Energie und 22,8% der Treibhausgas-Emissionen im Verkehrssektor eingespart werden. Um dies zu erreichen, ist es notwendig,

- den Modal Shift von MIV zu ÖPNV und Radverkehr wie im Szenario angenommen zu vollziehen, d.h.
 - den PKW-Verkehr um 12% zu reduzieren.
 - die Verkehrsleistung des ÖPNV um 20% zu steigern.
 - die Verkehrsleistung des Radverkehrs zu steigern;
- den Einstieg in innovative Antriebe im MIV zu vollziehen. Von den vorhandenen Fahrzeugen müssen bis 2020 mind. 2% Elektro-Antriebe, 9% Hybrid-Antriebe und 0,5% Brennstoffzellen-Antriebe aufweisen. Das Ziel der Bundesregierung, dass auf Deutschlands Straßen bis 2020 1 Mio. Elektro-PKW fahren, bedeutet einen Anteil von ca. 1,75% der Fahrzeuge. Die Annahmen des Ziel-Szenarios sind somit etwas ambitionierter als diese Zielsetzung.
- die weitere Zunahme der Fahrleistungen im Straßen-Güterverkehr zu bremsen; und

- konsequent den Einsatz effizienterer Antriebe sowie geringere Motorleistungen bei herkömmlichen Benzin- und Diesel-PKW zu forcieren.

Tabelle 13: Zwischenziele für die Reduzierung des Endenergiebedarfs und der THG-Emissionen im Sektor Verkehr, Änderungen jeweils gegenüber 2010

Sektor und Größe	2010	2020	2030	2040	2050
Sektor Verkehr gesamt					
Entwicklung Endenergieverbrauch [GWh]	1.164	951	716	550	441
Reduktion gegenüber 2010		18%	39%	53%	62%
Entwicklung THG-Emissionen [1.000 t/CO ₂ Äq.]	406	313,2	195,0	119,7	48,8
Reduktion gegenüber 2010		22,8%	52,1%	70,5%	88%
Personenverkehr					
Entwicklung Endenergieverbrauch [GWh]	794	605	399	253	157
Reduktion gegenüber 2010		24%	50%	68%	80%
Entwicklung THG-Emissionen [1.000 t/CO ₂ Äq.]	307	224,1	132,6	66,1	23,1
Reduktion gegenüber 2010		26,9%	56,9%	78,4%	92,5%
Straßen-Güterverkehr					
Entwicklung Endenergieverbrauch [GWh]	370	346	317	297	284
Reduktion gegenüber 2010		6,5%	14%	20%	23%
Entwicklung THG-Emissionen [1.000 t/CO ₂ Äq.]	99,2	89,1	62,5	53,6	25,6
Reduktion gegenüber 2010		10%	37%	46%	74%

7.6 Sektor Energieumwandlung

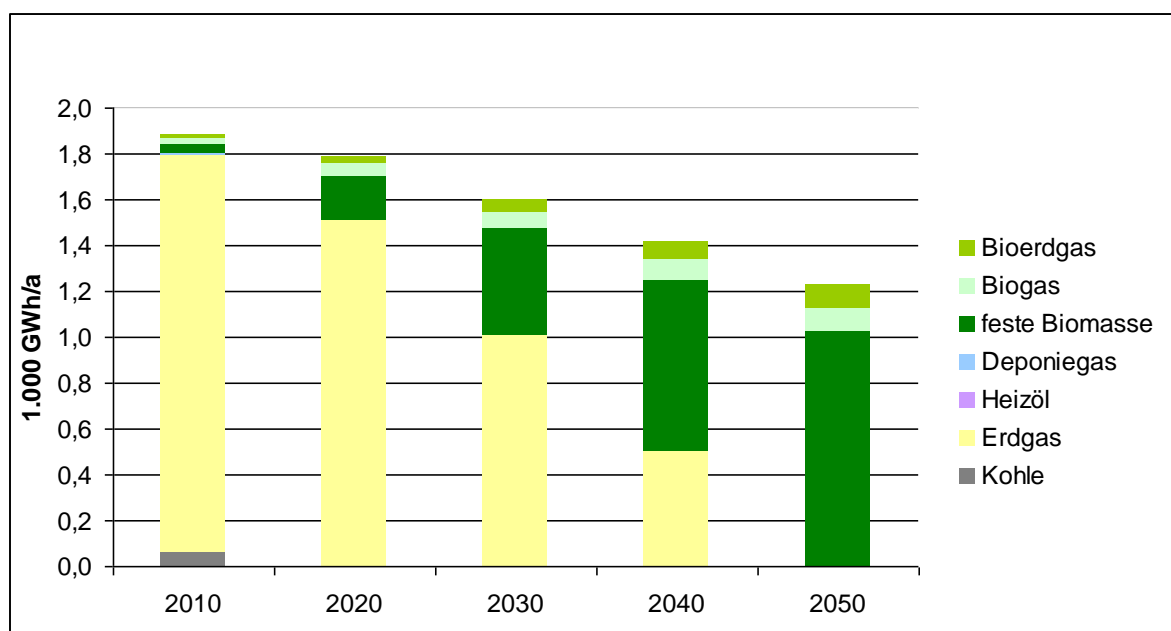
Kraft-Wärme-Kopplung und Heizwerke

Die Fortschreibung der Strom- und Wärmeproduktion in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen erfolgte für das Ziel-Szenario ebenso wie im Referenz-Szenario anhand des zuvor in der Szenariorechnung bestimmten Wärmebedarfs. Das heißt, es wurde auch hier unterstellt, dass die Heizkraftwerke wärmegeführt betrieben werden und genau die Menge an Wärme produzieren, die benötigt wird. Der Fernwärmebedarf sinkt im Ziel-Szenario auf Grund der stärker sinkenden Heizwärmebedarfe der Gebäude stärker als im Referenz-Szenario. Auch im Ziel-Szenario wurden eine eventuelle zukünftige Umstellung der KWK-Anlagen auf stromgeführten Betrieb mit entsprechenden Wärmespeichern bzw. Wärmeabfuhr und auch die zunehmende Bedeutung von mit Fernwärme betriebenen Absorptionskältemaschinen nicht betrachtet. Diese komplexen Aspekte müssten in einer gesonderten Studie analysiert werden.

Im Ziel-Szenario wird unterstellt, dass im Jahr 2050 leitungsgebundene Wärme ausschließlich regenerativ erzeugt wird. Die Unsicherheiten für die weitere Entwicklung von Technologien und Erneuerbaren Energieträgern bis 2050 sind jedoch groß. Künftige Wärmenetze können mit Technologien auf der Basis von Solarenergie, mit zentralen Wärmepumpen, mit Geothermie, Biomasse oder auch mit heute noch weitgehend unbekanntem Technologien betrieben werden. Eine Festlegung auf eine oder mehrere bestimmte Technologien ist daher zum heutigen Zeitpunkt noch nicht sinnvoll. Ausschließlich zum Zweck der Berechnung der Treibhausgasemissionen wird in dieser Studie dennoch eine mögliche Option der Technologieentwicklung ausgewählt: Es wird im weiteren davon ausgegangen, dass bis 2050 in den dann noch bestehenden KWK-Anlagen regenerative Brennstoffe überwiegend auf der Basis von Biomasse eingesetzt werden.

Diese vorläufige Annahme bedeutet, dass die beiden großen Heizkraftwerke der Uni-Klinik und der Rhodia zu 100% feste Biomasse als Energieträger einsetzen, während in den kleineren BHKWs der Badenova biogene Gase und zum Teil ebenfalls feste Biomasse verbrannt werden. Insgesamt beträgt der Primärenergieeinsatz für die zentrale Strom- und Wärmeerzeugung im Jahr 2050 noch 1.230 GWh. Damit werden 640 GWh Wärme und 360 GWh Strom produziert. Abbildung 33 zeigt die Entwicklung des Primärenergieeinsatzes zur Erzeugung von Strom und leitungsgebundener Wärme.

Abbildung 33: *Energieumwandlung: Brennstoffeinsatz zur Strom- und Wärmeerzeugung (Ziel-Szenario)*



Wind, Wasser, Solarstrom

Die Stromproduktion aus Wind, Wasser und Photovoltaik versiebenfacht sich im Ziel-Szenario bis 2050 auf 190 GWh/a. Dies wird erreicht durch einen Zuwachs bei **Photovoltaikanlagen**, deren Stromerzeugung sich bis 2020 auf 28 GWh verdoppelt. Ab 2020 nimmt die Stromerzeugung aus PV-Anlagen jährlich um 2,5 GWh zu bis auf insgesamt 103 GWh/a im

Jahr 2050. Bis 2020 müssen demnach jährlich gut 10.000 m² PV-Fläche zugebaut werden, ab 2021 sind es gut 12.000 m² PV-Fläche pro Jahr. Wie im Referenz-Szenario werden auch im Ziel-Szenario höhere Wirkungsgrade der PV-Module und ein höherer Performance Ratio der gesamten Anlagen unterstellt, allerdings hier schon ab 2021. Tabelle 14 fasst die Annahmen zusammen, die dieser Berechnung zu Grunde liegen.

Zwischen 2005 und 2009 betrug der jährliche Zuwachs der Stromproduktion in PV-Anlagen im Stadtgebiet durchschnittlich 1,65 GWh (Produktion 2005: 6 GWh, Produktion 2009: 12,6 GWh). Vor diesem Hintergrund erscheint die angenommene weitere Entwicklung nicht übermäßig ambitioniert. Hier wird der verringerten Einspeisevergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz Rechnung getragen. Zudem sind bereits viele gut geeignete Dachflächen mit thermischen oder photovoltaischen Solaranlagen belegt. Mittelfristig können jedoch sinkende Modulpreise und verbesserte Wirkungsgrade der Module und Anlagen die Wirtschaftlichkeit der Photovoltaik weiter verbessern und zu einem wachsenden Ausbau führen. Konkret wird die Wirtschaftlichkeit von dem Verhältnis der Modulpreise zu den Einspeisevergütungen abhängen, das hier nicht im Detail vorhergesagt werden kann. Zudem kann nach Erreichen der sog. Netzparität der Eigenverbrauch von PV-Strom zunehmend an Bedeutung gewinnen. Hierbei ist jedoch die oft nur teilweise gegebene Gleichzeitigkeit von PV-Angebot und Stromnachfrage des Anlagenbetreibers zu berücksichtigen. Ggf. werden hier dezentrale Stromspeicher an Bedeutung gewinnen, die jedoch mit zusätzlichen Kosten verbunden sind. Großprojekte für Freiflächen-PV-Anlagen auf Konversionsflächen im Stadtgebiet, wie die geplante Anlage auf der Deponie Eichelbuck mit 17.500 m² PV-Modulen, können relativ rasch zur Erreichung der Ausbauziele führen. Von den 2 Mio. m² zur Verfügung stehender Dachfläche (vgl. Kapitel 2.2.2) werden nach diesen Berechnungen bis zum Jahr 2050 etwa 25% für PV-Anlagen genutzt.

Tabelle 14: Berechnungsgrößen für die Berechnung von PV-Stromproduktion und erforderlicher PV-Modulfläche (Ziel-Szenario)

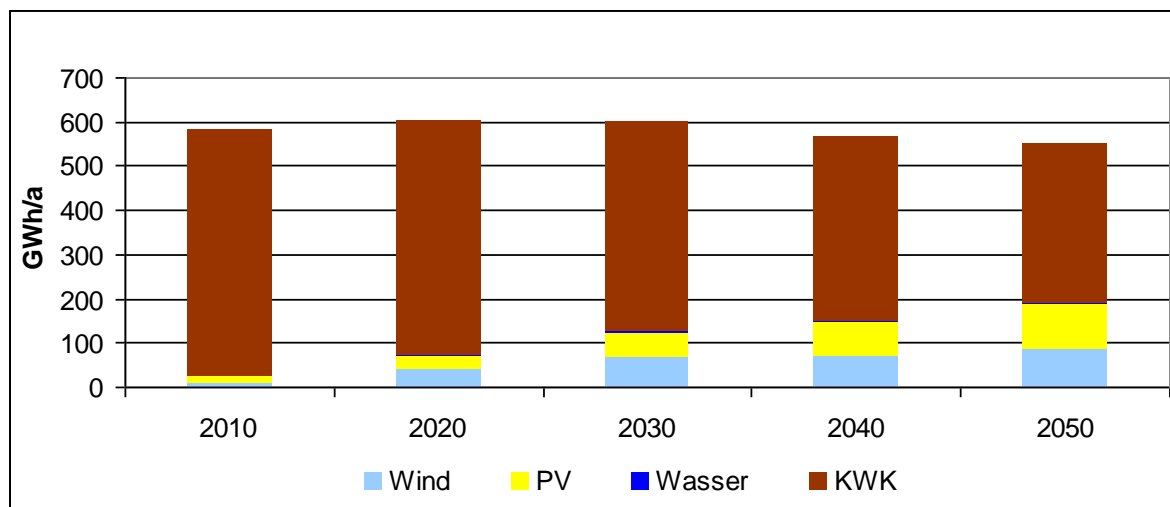
Berechnungsgrößen	Verwendete Werte
Globalstrahlung Freiburg	1.140 kWh/a
Modulwirkungsgrad	2012-2020: 15% 2021-2050: 20%
Performance Ratio	2012-2020: 80% 2021-2050: 90%
Stromertrag pro m ² PV-Fläche	2012-2020: 137 kWh/m ² /a 2021-2050: 205 kWh/m ² /a
Zuwachs Stromerzeugung PV	2012-2020: 1,4 GWh/a 2021-2050: 2,5 GWh/a
Zubau erforderliche PV-Fläche	2012-2020: 10.200 m ² /a 2021-2050: 12.200 m ² /a

Die **Windenergieerzeugung** steigt bis zum Jahr 2050 um den Faktor acht auf 84 GWh/a. Die Leistung der bereits bestehenden fünf Windkraftanlagen wird durch Repowering verdoppelt, vier weitere Anlagen der derzeit leistungsfähigsten Anlagentypen mit 200 Metern Höhe werden auf dem Stadtgebiet zugebaut. Dazu gehört die derzeit in Planung befindliche Anlage auf dem Schauinsland. Alternativ können auch mehrere Anlagen eines kleineren Typs zugebaut werden, für den Fall dass die „Großanlagen“ an den denkbaren Standorten nicht genehmigungsfähig sind.

Die Stromerzeugung aus **Wasserkraft** erfährt keine weitere Zunahme, da die Potenziale hier weitgehend erschöpft sind.

Innerhalb der Stadt Freiburg werden nach dem Ziel-Szenario im Jahr 2050 noch 750 GWh Strom verbraucht. Unter den vorgenannten Annahmen werden 71% des verbrauchten Stroms in der Stadt aus Erneuerbaren Quellen erzeugt (einschließlich der Kraft-Wärme-Kopplung auf Basis Erneuerbarer Energieträger). Da nach dem Ziel-Szenario auch der nationale Strommix zu 99,1% Erneuerbar ist, wird in der Stadt nahezu 100% Erneuerbarer Strom verbraucht.

Abbildung 34 Energieumwandlung: Entwicklung der Stromerzeugung (Ziel-Szenario)



Die Treibhausgas-Emissionen des Sektors Energieumwandlung/Energieinfrastruktur sind über den Emissionsfaktor der leitungsgebundenen Wärme bereits in den Darstellungen zu den einzelnen Sektoren des Energieverbrauchs enthalten und werden daher hier nicht erneut aufgeführt.

Zwischenziele bis 2020

Tabelle 15 zeigt die Zwischenziele für die Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung und den Ausbau der Stromerzeugung aus Solar- und Windenergie in jeweils 10-Jahres-Schritten bis 2050.

Um die für 2020 genannte Zielstellung zu erreichen, ist es im Bereich der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien notwendig,

- gut 10.000 m² neue PV-Module pro Jahr zuzubauen, mit einer zusätzlichen Stromproduktion von 14,3 GWh/a, sowie
- zwei Windkraftanlagen der derzeitigen höchsten Leistungsklasse mit 200 m Höhe zuzubauen (oder entsprechend mehr kleinere Anlagen), um damit die Stromproduktion auf 30 GWh/a zu steigern.

In der zentralen Wärmeerzeugung

- sinkt die Bereitstellung leitungsgebundener Wärme aus KWK-Prozessen von 942 GWh (2010) auf 854 GWh im Jahr 2020; das bedeutet eine Reduzierung um 9,3% bei steigender Abnehmerzahl;
- sind die vorhandenen Wärmenetze bis 2020 optimiert, d.h., die verfügbare Wärme vom Wärme-Verbund-Kraftwerk der Rhodia wird vollständig genutzt und die Anschlussdichte an das Netz des Uni-Heizkraftwerks ist optimiert und das Netz wurde ausgebaut, um Wärmeüberschüsse zu nutzen, die durch die Sanierungsaktivitäten im Bereich der angeschlossenen Gewerbegebäude (Uni-Klinik selbst, Gebäude der Universität und öffentliche Einrichtungen) zur Verfügung stehen;

- ist Erdgas auch 2020 noch wichtigster Energieträger, Kohle wird jedoch nicht mehr eingesetzt; und
- wurde die Strategie eines Ausbaus dezentraler KWK unter Berücksichtigung der in Kapitel 9.2 genannten Prämissen umgesetzt.

Tabelle 15 Zwischenziele für die Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung und der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien, Änderungen jeweils gegenüber 2010

	2010	2020	2030	2040	2050
Stromproduktion aus Solarenergie [GWh]	14	28	53	78	103
Steigerung gegenüber 2010		200%	380%	560%	740%
Stromproduktion aus Windenergie [GWh]	10	42	69	69	84
Steigerung gegenüber 2010		420%	690%	690%	840%
Stromproduktion in KWK-Prozessen [GWh]	556	528	473	418	362
Reduzierung gegenüber 2010		-5%	-15%	-25%	-35%
Wärmeproduktion in KWK-Prozessen [GWh]	943	854	788	661	639
Reduzierung gegenüber 2010		-9%	-16%	-30%	-32%

7.7 Zusammenfassung zum Ziel-Szenario

Insgesamt kann unter den im Ziel-Szenario getroffenen Annahmen der Endenergieverbrauch in der Stadt Freiburg von 5.190 GWh/a im Jahr 2010 auf 2.514 GWh/a im Jahr 2050 mehr als halbiert werden (Abbildung 36, Abbildung 35 zeigt zum Vergleich den Endenergieverbrauch nach Energieträgern für das Jahr 2020). Von dem verbleibenden Endenergieverbrauch können 535 GWh/a durch Energieträger zur Verfügung gestellt werden, die unbegrenzt zur Verfügung stehen (Solarthermie 172 GWh/a, solare Kühlung 156 GWh/a, Umweltwärme 207 GWh/a). 109 GWh/a werden dezentral durch Biomasse zur Verfügung gestellt, hinzu kommen 639 GWh/a an Nah-/Fern- und Prozesswärme. Wird die Fernwärme, wie in der Szenariorechnung angenommen, ebenfalls durch biogene Brennstoffe erzeugt, müssen insgesamt im Jahr 2050 748 GWh/a durch Biomasse bereitgestellt werden. Erdgas ist nur noch mit 4% im Energiemix vertreten und wird in den Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen eingesetzt. Kohle und Heizöl sind nicht mehr im Energieträgermix vertreten. Von den im Verkehrsbereich eingesetzten Energieträgern basiert Diesel im Jahr 2050 zu 100% auf Biokraftstoffen, Benzin zu 85%. Der im Verkehr eingesetzte Wasserstoff wird ebenfalls zu 100% regenerativ erzeugt. Damit wird der Energiebedarf des Verkehrsbereichs zu 85% aus regenerativen Energien gedeckt. Unter der Prämisse, dass auch der Strom zu nahezu 100% aus Erneuerbaren Energien bereitgestellt wird, sind ca. 93% der in der Stadt verbrauchten Endenergie erneuerbar. 71% des in der Stadt verbrauchten Stroms werden in der Stadt aus erneuerbaren Quellen erzeugt.

Abbildung 35 Endenergieverbrauch 2020 nach dem Ziel-Szenario nach Energieträgern, Endenergieverbrauch gesamt 4.239 GWh

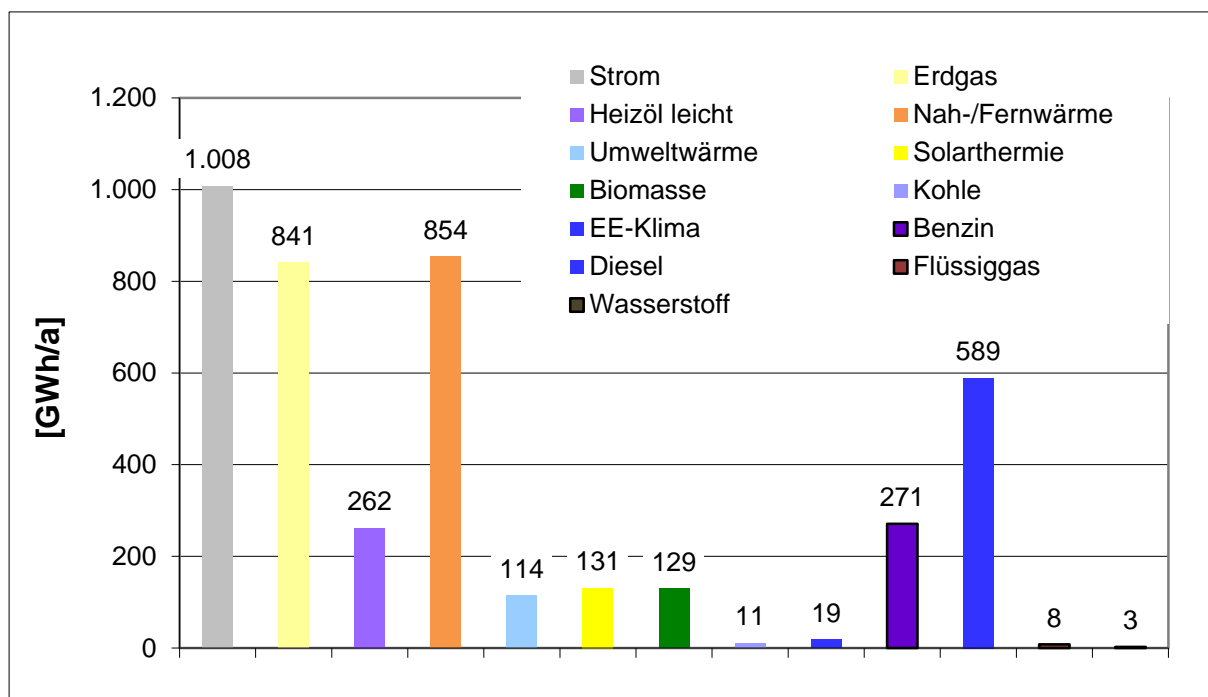
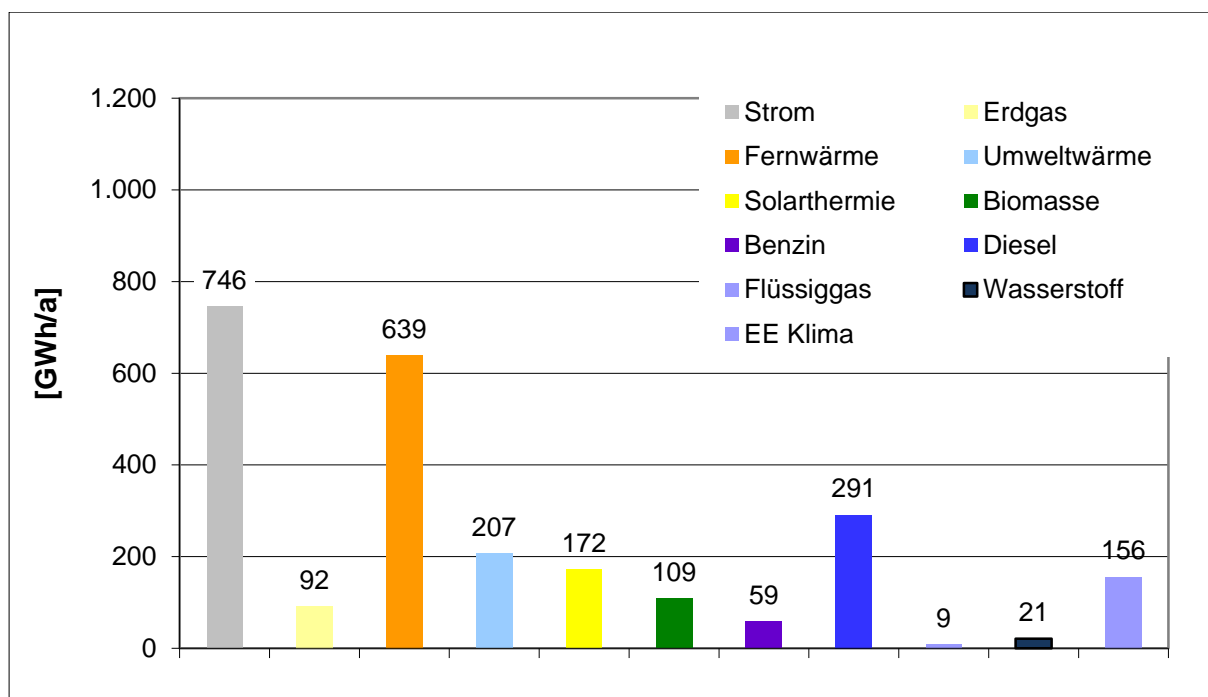


Abbildung 36 Endenergieverbrauch 2050 nach dem Ziel-Szenario nach Energieträgern, Endenergieverbrauch gesamt 2.492 GWh

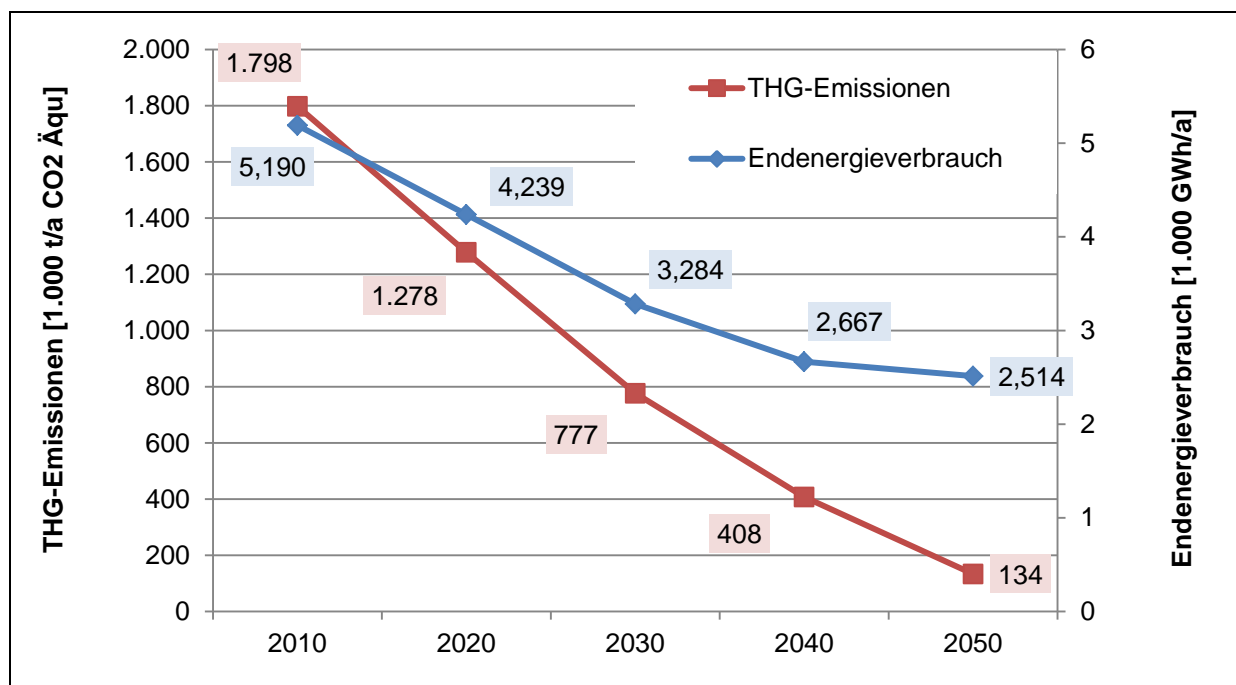


Insgesamt können die Treibhausgas-Emissionen im Ziel-Szenario bis 2050 um 92,55% gegenüber 2010 und um 93,54% gegenüber 1992 reduziert werden. Tabelle 16 zeigt zusammenfassend noch einmal alle nach dem Ziel-Szenario erreichten Reduktionen.

Tabelle 16: Reduzierung des Endenergieverbrauchs und der THG-Emissionen gegenüber 2010 nach dem Ziel-Szenario

	Reduzierung Endenergieverbrauch	Reduzierung THG-Emissionen (gegenüber 2010)	Anteil Erneuerbarer Energien 2050, Strom ist zu 99,1% erneuerbar
HH – Raumwärme	-70,9%	-97,49%	>99%
HH – Warmwasser	-37,4%	-92,97%	>99%
HH – Geräte/Kochen	-0,7%	-96,4%	99,1%
GHD	-54,8%	-95,71%	ca. 96%
Industrie	-35,1%	-88,42%	ca. 91%
Verkehr	-62,1%	-87,99%	ca. 85%
Gesamt	-51,6%	-92,55% (-93,54% ggü. 1992)	ca. 93,7%

Abbildung 37 Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der THG-Emissionen insgesamt nach dem Ziel-Szenario



Wird der in Freiburg verbrauchte Strom mit dem Emissionsfaktor des nationalen Strommixes bewertet, so betragen die THG-Emissionen im Jahr 2030 760.210 t/a und 2050 137.685 t/a CO₂Äqu.

Vergleich zur Klimaschutz-Strategie 2007

Abbildung 38 Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der THG-Emissionen nach dem Szenario „Optimales Klimaschutz-Umfeld“ der Klimaschutz-Strategie der Stadt Freiburg 2007 und des Ziel-Szenarios

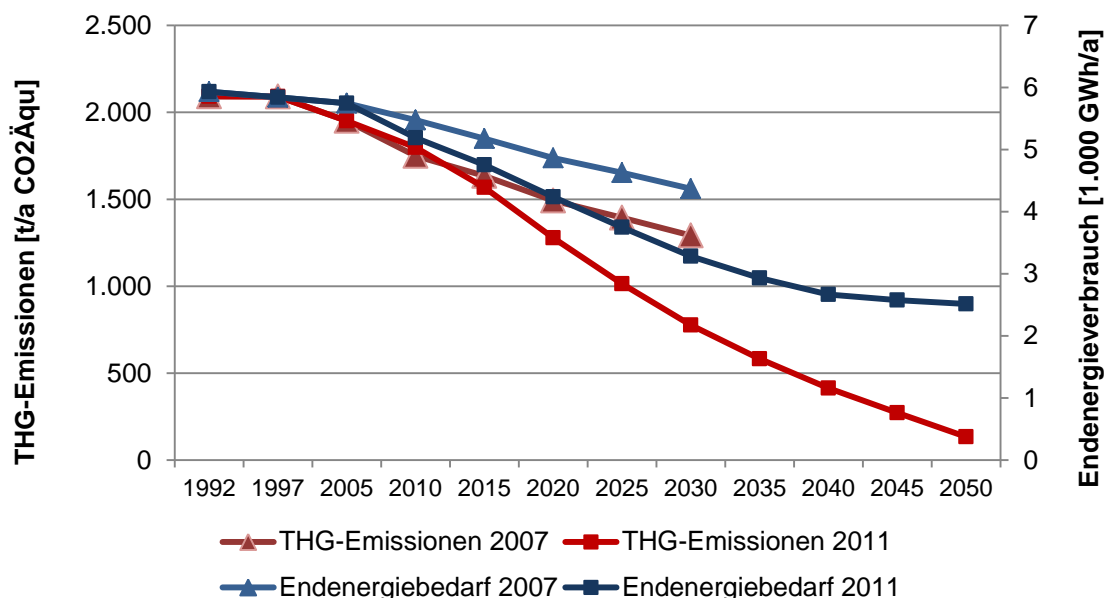


Abbildung 38 vergleicht die Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der THG-Emissionen nach dem Szenario „Optimales Klimaschutz-Umfeld“ (Zeithorizont bis 2030) der städtischen Klimaschutzstrategie aus dem Jahr 2007 und die Ergebnisse des Ziel-Szenarios der hier vorliegenden Studie. Es wird deutlich, dass die Anforderungen an Endenergieeinsparung und THG-Emissionen bei der Zielstellung der Klimaneutralität bis zum Jahr 2050 deutlich über denen des, als Forecasting erstellten, Szenarios der Klimaschutz-Strategie von 2007 liegen. So weist das Szenario der Klimaschutz-Strategie eine Reduktion des Endenergiebedarfs bis 2030 von 20,2% ggü. 2010 (bzw. 26,3% ggü. 1992) aus. Um Klimaneutralität bis 2050 zu erreichen müssen bis 2030 hingegen bereits 36,7% der Endenergie ggü. 2010 (bzw. 44,7% ggü. 1992) eingespart werden. Die Reduktion der Treibhausgasemissionen betrug nach dem Szenario der Klimaschutz-Strategie bis 2030 26,2% ggü. 2010 (38,2% ggü. 1992), nach dem Ziel-Szenario beträgt sie bis 2030 56,8% ggü. 2010 und 62,9% ggü. 1992.

Mit der Klimaschutz-Strategie der Stadt Freiburg aus dem Jahr 2007 wurde ein umfangreicher konkreter Maßnahmenplan zur Erreichung der klima- und energiepolitischen Ziele erarbeitet. Diese Maßnahmen wurden erst zum Teil umgesetzt und behalten nach wie vor ihre Gültigkeit.

8 Ökonomische Bewertung des Zielszenarios

Eine Abschätzung zur ökonomischen Bewertung des Zielszenarios wurde, wie in der Projektskizze zum Förderantrag bereits genannt, exemplarisch für die Sektoren Haushalte-Raumwärme, Verkehr und Energieinfrastruktur durchgeführt. Hierzu wurden die Differenz der geschätzten Investitionskosten zwischen Referenz- und Zielszenario, die Einsparungen an Energiekosten sowie die CO₂-Vermeidungskosten ermittelt. Basierend auf diesen Ergebnissen konnte weiterhin eine grobe Schätzung zu den Beschäftigungseffekten zentraler Teile des Zielszenarios durchgeführt werden. Für den zahlenmäßig wichtigsten Bereich der Gebäudesanierung wurde zudem eine Schätzung des voraussichtlichen Bedarfs an Fördermitteln vorgenommen.

Angesichts des sehr langen Zeitraums der hier betrachteten Szenarien und der Unsicherheiten über die konkreten, langfristig eingesetzten Technologien und Energieträger können diese Abschätzungen nicht mehr als grobe Indikatoren sein. Über diese groben Schätzungen hinausgehende, belastbare Berechnungen sind angesichts der Unwägbarkeiten der Entwicklungen bis zum Jahr 2050 methodisch nicht durchführbar. Aufgrund der auf kommunaler Ebene nur unzureichend zur Verfügung stehenden Daten war es auch nicht möglich, die genannten Abschätzungen auf alle im Zielszenario betrachteten Maßnahmenbereiche auszuweiten.

8.1 Methodik der ökonomischen Bewertung

In eine ökonomische Bewertung des Zielszenarios gehen die mit der Umsetzung dieses Szenarios über die Zeit verbundenen Kosten und finanziellen Einsparungen ein. Kosten und finanzielle Entlastungen werden dabei in Relation zum Referenzszenario betrachtet, es handelt sich also um zusätzliche Kosten oder Erlöse gegenüber der Referenz-Entwicklung. Kosten entstehen in Form von Investitionskosten sowie ggf. erhöhten Betriebs- und Instandhaltungskosten, während Erlöse in Verbindung mit Klimaschutzmaßnahmen überwiegend in Form von Einsparungen von Energiekosten, aber auch in Form von geringeren anderen Betriebs- und Instandhaltungskosten erzielt werden. Die Differenz dieser Kosten und Erlöse, also die Nettokosten der Emissionsminderungsaktivität, bildet die wesentliche ökonomische Entscheidungsgröße. Aus dem Verhältnis dieser Nettokosten zu den erzielten CO₂-Einsparungen ergeben sich anschließend die Minderungskosten pro vermiedene Tonne CO₂.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei den meisten Aktivitäten die Investitionen in der Anfangsphase anfallen, während die Einsparungen von Kosten und CO₂ über die Lebensdauer der Investition entstehen. Für die ökonomische Bewertung solcher Minderungsaktivitäten oder Maßnahmenpakete müssen die Zahlungen auf **denselben Zeitpunkt** bezogen werden. Dafür werden die künftigen Zahlungsströme über den Wirkzeitraum (normalerweise die Lebensdauer der Aktivität) mit einem Diskontierungsfaktor abgezinst und anschließend addiert, es wird also der sogenannte Barwert gebildet. Die Summe der Barwerte aller durch die Minderungsaktivität verursachten Zahlungen (Ein- und Auszahlungen) wird als **Nettogegenwartswert (oder Kapitalwert)** der Maßnahme zum Basiszeitpunkt bezeichnet.

Ein negativer Nettogegenwartswert impliziert dabei eine Kostenersparnis durch die Minderungsaktivität bzw. der dadurch herbeigeführten Investition und somit negative Vermeidungskosten. Diese Aktivitäten werden oftmals als „no-regret“-Maßnahmen bezeichnet und betreffen Aktivitäten, die vermutlich aufgrund von Hemmnissen oder Marktversagen bisher nicht durchgeführt wurden, obwohl sie – selbst ohne öffentliche Förderung – netto eine Ersparnis bedeuten würden (also ökonomisch effizient sind). Solche Hemmnisse oder Marktversagen können durch Transaktionskosten oder psychologische Faktoren begründet sein. Transaktionskosten umfassen beispielsweise Kosten für Informationsbeschaffung, Anpassungskosten, Kontrollkosten etc., also alle diejenigen Kosten, die nicht im Marktpreis der Investition enthalten sind, die in einem perfekten Markt nicht auftreten würden und in einem realen, „second best“ Markt in ihrer Höhe individuell schwanken.

Aus Sicht eines einzelwirtschaftlichen Akteurs bedeuten positive CO₂-Vermeidungskosten eine finanzielle Belastung durch die Maßnahme, die ggf. durch Fördermittel ausgeglichen werden kann.

Exkurs: Volkswirtschaftliche Sicht versus Entscheiderperspektive

Bei der wirtschaftlichen Bewertung einzelner Maßnahmen ist es notwendig, zwischen der volkswirtschaftlichen Sicht und der Entscheiderperspektive (also der einzelwirtschaftlichen Sichtweise eines Unternehmens oder Individuums) zu unterscheiden. Die beiden Sichtweisen unterscheiden sich insbesondere in Bezug auf die Verzinsung, die der Kalkulation zugrunde gelegte Laufzeit einer Investition oder eines Projektes und die Berücksichtigung von sozialen Transfers. Die Verzinsung fällt aus volkswirtschaftlicher Sicht anders aus als aus der Entscheiderperspektive, da die entscheidenden Unternehmen oder Individuen i.d.R. Verzinsungsansprüche hegen, die sich an der eigenen Situation und Position im Markt orientiert. Gleiches gilt für die unterstellte Laufzeit, die aus volkswirtschaftlicher Sicht die technisch-wirtschaftliche Lebensdauer der durch die Maßnahme initiierten Investitionen umfasst, bei der Entscheiderperspektive aber von den jeweils erwarteten Kapitalrückflusszeiten abhängt. Aus der Entscheiderperspektive spielen soziale Transfers (wie Steuern und Subventionen) eine wesentliche Rolle im Kalkül, da sie den Entscheider direkt belasten oder unterstützen. Aus volkswirtschaftlicher Sicht bleiben sie jedoch unbeachtet, da sie nur einen gesellschaftlichen Transfer und keine tatsächlichen Kosten oder Erlöse aus Sicht der Gesellschaft insgesamt darstellen.

Eine besondere Beachtung sollte den Kosten geschenkt werden, die aus einzelwirtschaftlicher Sicht für CO₂-Emissionen anfallen. Diese Kosten lassen sich in direkte und indirekte CO₂-Kosten unterteilen. Direkte CO₂-Kosten entstehen im Zusammenhang mit CO₂-Emissionen, die im Rahmen eines Projektes direkt, bspw. durch die Nutzung eines fossilen Brennstoffs, emittiert werden und die einer CO₂-Politik unterliegen, die sich, wie im Beispiel des Emissionshandels, durch einen Preis auf CO₂-Emissionen ausdrückt. Indirekte CO₂-Kosten entstehen durch Überwälzung der CO₂-Kosten aus vorgelagerten Industrien, wie es hauptsächlich für die Stromwirtschaft und dem daraus resultierenden CO₂-Anteil im Strompreis relevant ist. Indirekte CO₂-Kosten im Strompreis treten z.B. in allen Maßnahmen auf, in denen Stromeinsparungen erzielt werden. Ein privater Entscheider wird im Rahmen seiner Investitionsrechnung immer von Stromkosten bzw. einer Stromkosteneinsparung ausgehen, die sich an seinem real gezahlten Strompreis orientieren und damit die indirekten CO₂-Kosten beinhalten.

Annahmen und Vorgehen

In der vorliegenden Berechnung werden die Nettogegenwartswerte (Kapitalwerte) und die CO₂-Vermeidungskosten zusammengefasst für den Wohngebäudesektor, die Energieinfrastruktur und den Verkehrssektor ermittelt, da sich für diese Sektoren aus dem Ziel-Szenario tiefgehende Veränderungen ergeben. Damit können Aussagen über die ökonomische Effizienz auf sektoraler Ebene hergeleitet werden.

Um die kommunalen und betrieblichen Entscheidungsprozesse widerzuspiegeln, werden in der hier dargelegten ökonomischen Bewertung die Nettokosten und die Vermeidungskosten aus einzelwirtschaftlicher Sicht ermittelt. Damit werden die Entscheidungsprozesse der Individuen und Unternehmen dargestellt und die Vermeidungskosten derart bestimmt, wie sie auch in anderen Entscheidungsprozessen ermittelt würden oder werden. Dementsprechend wird hier auch der Strompreis inkl. des indirekten CO₂-Kostenanteils in der Berechnung verwendet.

Festzulegen sind noch die für die Berechnungen zu verwendenden Diskontraten bzw. Verzinsung. Dabei sollten sich die Diskontraten am Ertrag für alternative Anlagemöglichkeiten der jeweiligen Entscheidergruppe orientieren. Die zu verwendenden Diskontraten lassen sich in zwei Gruppen unterteilen: Diskontraten von 4 % sollten für alle Maßnahmen im Haushaltssektor (einschließlich privater PKWs), Diskontraten von 8 % dagegen für Maßnahmen im gewerblichen Bereich wie z.B. der Energieumwandlung verwendet werden. Die Bemessung der Nutzungsdauer orientiert sich jeweils an der Perspektive der Betreiber.

Alle Kostenkomponenten als auch alle KostenersparnisKomponenten werden als **reale Zahlungsströme in Werten von 2012** erfasst (also inflationsbereinigt) und werden nach der oben beschriebenen Barwertmethode auf das Basisjahr 2012 abgezinst, um die Zahlungen und Ersparnisse auf denselben Zeitpunkt zu beziehen. In den vorliegenden Berechnungen werden neben den Investitionskosten zunächst nur die Differenzen der Energiekosten zwischen dem Referenz-Szenario und dem Ziel-Szenario berücksichtigt, die sonstigen Betriebskosten der durchgeführten Maßnahmen bleiben unberücksichtigt. Diese Vereinfachung ist aufgrund des begrenzten Umfangs dieses Projekts erforderlich und sollte bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Relevant könnten die weiteren Betriebskosten vor allem in den Sektoren Verkehr und Energieinfrastruktur sein. Entsprechende detaillierte Untersuchungen sollten ggf. zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden. Der Nettogegenwartswert (Kapitalwert) wird somit als Summe der Barwerte der Investitionen und der Energiekosteneinsparungen ermittelt, die Energiekosteneinsparungen (Erlöse) sind dabei als negative Kosten darzustellen. Die spezifischen (Netto-)Minderungskosten bzw. CO₂-Vermeidungskosten für den jeweiligen Sektor ergeben sich dann als Relation des sektoralen Nettogegenwartswertes (Kapitalwertes) zu den sektoralen, über den Betrachtungszeitraum kumuliert eingesparten CO₂-Emissionen.

<p>Nettgegenwartswert (Kapitalwert) im Jahr 2012 =</p> <p>Barwert der gegenüber dem Referenzszenario zusätzlichen Investitionen bis 2050</p> <p>+ Barwert der durch die Investitionen ausgelösten Energiekosteneinsparungen bis 2050 (Einsparung hat negatives Vorzeichen)</p>
<p>CO₂-Vermeidungskosten =</p> <p>Nettgegenwartswert in 2012 der bis 2050 durchgeführten Aktivitäten</p> <p>/ kumulierte eingesparte Menge CO₂ bis 2050</p>

8.2 Ergebnisse für den Sektor HH – Raumwärme

8.2.1 Bestimmung der Sanierungskosten

Um eine Aussage über die Kosten der Gebäudesanierung zu machen, müssen zunächst die Kostenarten genauer definiert werden. Prinzipiell können die Vollkosten der energetischen Sanierung von den Kosten für Modernisierungsmaßnahmen unterschieden werden.

Abbildung 39: Gliederung der Kosten bei Sanierungen und Modernisierungen

Vollkosten der Instandhaltung und Modernisierung	Vollkosten der Sanierung	Instandhaltungskosten und Instandsetzungskosten	Anteiliger Erhaltungsaufwand, um Schäden zu beheben bzw. die Zunahme von Schäden zu verhindern und das Gebäude in einem vermietbaren Zustand zu halten	Finanziert über Rücklagen und künftige Einnahmen aus der bestehenden Nettokaltmiete
		Energiebedingte Mehrkosten (energiebedingte Modernisierungskosten) ⁵	Anteilige Kosten für energetisch wirksame Bestandteile und Mehraufwendungen an einem Bauteil	Mieterhöhungsspielraum gemäß § 558 oder § 559 BGB
	Modernisierungskosten ⁵		Wohnwertverbessernde Maßnahmen wie Wohnraumerweiterung (z. B. Dachausbau, Balkonanbau) oder Modernisierung des Innenausbaus (z. B. Badmodernisierung)	Mieterhöhungsspielraum gemäß § 558 oder § 559 BGB

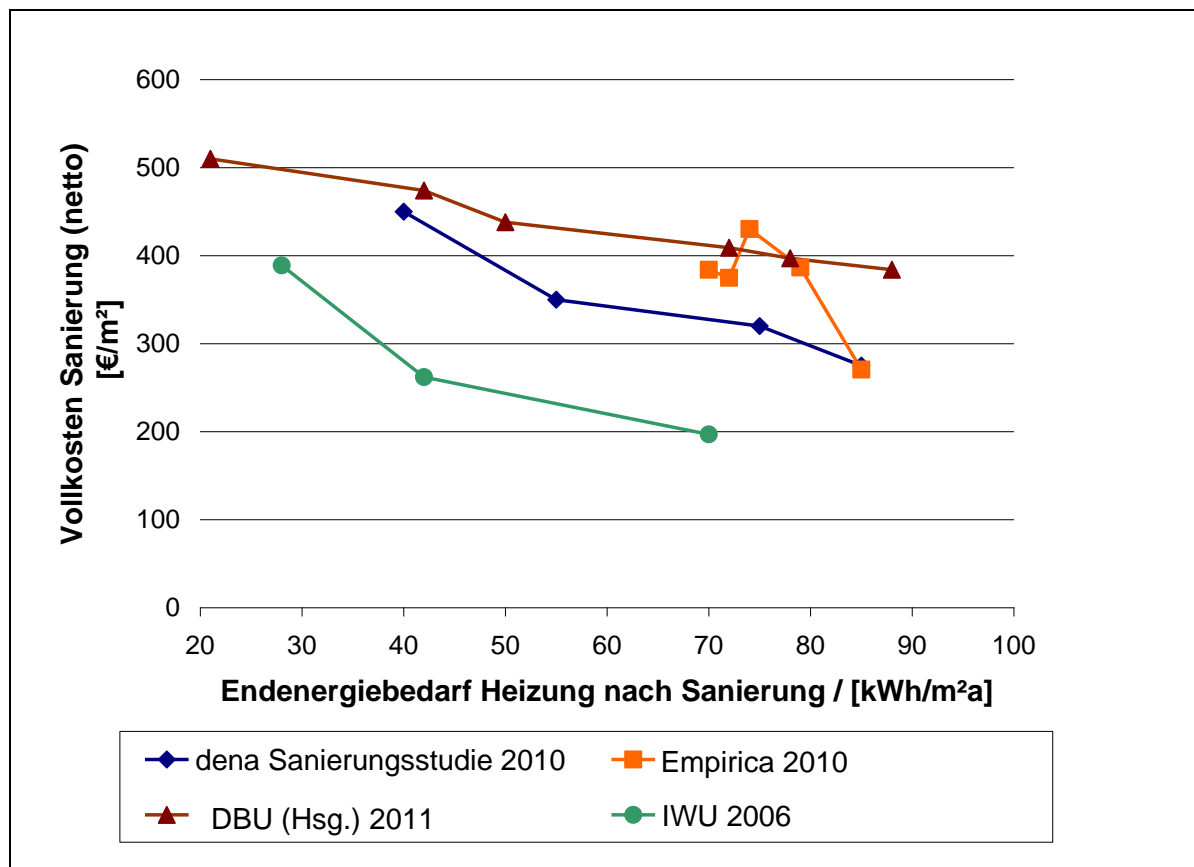
Quelle: Dena 2010

Die Vollkosten der Sanierung unterteilen sich weiter in Instandhaltungs- bzw. Instandsetzungskosten sowie in energiebedingte Mehrkosten. Für diese Studie werden die Vollkosten der Sanierung komplett als Investitionskosten für die Gebäudesanierung angesetzt.

Für die Untersuchung wurden verschiedene Studien ausgewertet, die Vollkosten der Sanierung für verschiedene energetische Standards ermittelt haben (IWU 2006, Schulze Darup 2011, Dena 2010, InWIS 2011, IIB Berlin 2010). Der Schwerpunkt all dieser Studien waren

Mehrfamilienhäuser. Abbildung 40 zeigt die komprimierten Ergebnisse der Studien im Vergleich.

Abbildung 40: Abhängigkeit der Vollkosten der Sanierung vom Endenergiebedarf für Heizung nach der Sanierung



Anmerkung: Die einzelnen Kurven beziehen sich auf die im Rahmen der Untersuchung ausgewerteten Studien.

Insgesamt lassen die Studien folgende Schlüsse zu:

- Der energetische Standard, der mit der Sanierung erreicht wird, hat großen Einfluss auf die Vollkosten der Sanierung. Die Werte reichen von ca. 250-300€/m² für einen Endenergiebedarf von 70 kWh/m²a (entspricht etwa KfW Effizienzhaus 100) bis zu 500 €/m² für einen Bedarf von 20 kWh/m²a (entspricht etwa KfW Effizienzhaus 55).
- Die Studien decken ein breites Spektrum verschiedener Baualtersklassen ab (ca. 1900 – 1980). Das Baualter hat hierbei keinen signifikanten Einfluss auf die Sanierungskosten.
- Die Berliner Studie (Empirica, 2010) zeigt den großen Einfluss des Gebäudetyps auf die Sanierungskosten. Einfach strukturierte Gebäude mit standardisierten Aufbauten (z.B. Plattenbauten) lassen deutlich geringere Sanierungskosten zu.

Bei der Bestimmung spezifischer Sanierungskosten ist jedoch zu beachten, dass sich die Angaben der Studien ausschließlich auf Mehrfamilienhäuser bzw. große Mehrfamilienhäuser beziehen. Die Kosten sind damit nicht direkt übertragbar auf kleinere Gebäude (z.B. Einfamilienhäuser), da diese je Quadratmeter Wohnfläche mehr Hüllfläche besitzen und daher im Mittel höhere spezifische Sanierungskosten aufweisen. Um dies zu berücksichtigen wurde ein Ansatz gewählt, mit dem über das A/V-Verhältnis (Verhältnis der Hüllfläche des Gebäudes zum Gebäudevolumen) der Gebäudetypen die spezifischen Kosten skaliert werden. Die folgende Tabelle zeigt die Kostenansätze die in dieser Untersuchung verwendet wurden.

Tabelle 17: Übersicht über die angesetzten Werte für die spezifischen Sanierungskosten

Gebäudetyp	A/V	Spezifische Sanierungskosten*	
		Referenzszenario €/m ²	Zielszenario €/m ²
EFH	1,0	583	833
ZFH	0,7	443	633
MFH (3-6)	0,5	350	500
GMFH (7-8)	0,4	303	433
GMFH 9+ / HH	0,3	257	367

* bezogen auf die Wohnfläche, EFH: Einfamilienhaus, ZFH: Zweifamilienhaus, MFH: kleines Mehrfamilienhaus, GMFH: Großes Mehrfamilienhaus (7-8 Wohneinheiten), GMFH9+/HH: Großes Mehrfamilienhaus oder Hochhaus mit mehr als 9 Wohneinheiten

In den genannten spezifischen Sanierungskosten sind Kosten für die Erneuerung des Heizungssystems nach aktuellen gesetzlichen Vorgaben enthalten. Die ausgewerteten Studien enthalten jedoch keine genaueren Angaben, welche Heizungssysteme berücksichtigt wurden. In der hier folgenden Betrachtung wird unterstellt, dass in den genannten Investitionskosten auch die Kosten für übliche Heizungssysteme auf Basis Erneuerbarer Energien vollständig enthalten sind.

Mit den auf diese Weise bestimmten spezifischen Sanierungskosten wurden sowohl für das Referenz- als auch Ziel-Szenario die Investitionskosten bestimmt.

8.2.2 Investitionskosten im Sektor HH-Raumwärme

Die notwendigen jährlichen Mehrinvestitionen des Ziel-Szenarios gegenüber dem Referenz-Szenario für die energetische Sanierung der Wohngebäude betragen bis 2050 durchschnittlich 47 Mio. €/a. Bis zum Jahr 2020 müssen zur Erreichung der im Ziel-Szenario vorgegebenen Ziele durchschnittlich sogar 96 Mio. €/a mehr investiert werden als in der Referenz-Entwicklung. Werden die Modernisierungskosten hinzugerechnet, so müssen in den Wohngebäudebestand bis zum Jahr 2050 insgesamt durchschnittlich 71 Mio. €/a mehr investiert werden, im Zeitraum bis 2020 sind es 168 Mio. €/a. Die über die Jahre kumulierte Differenz zum Referenz-Szenario beträgt in der Summe bis 2020 860 Mio. € für die energetische Sa-

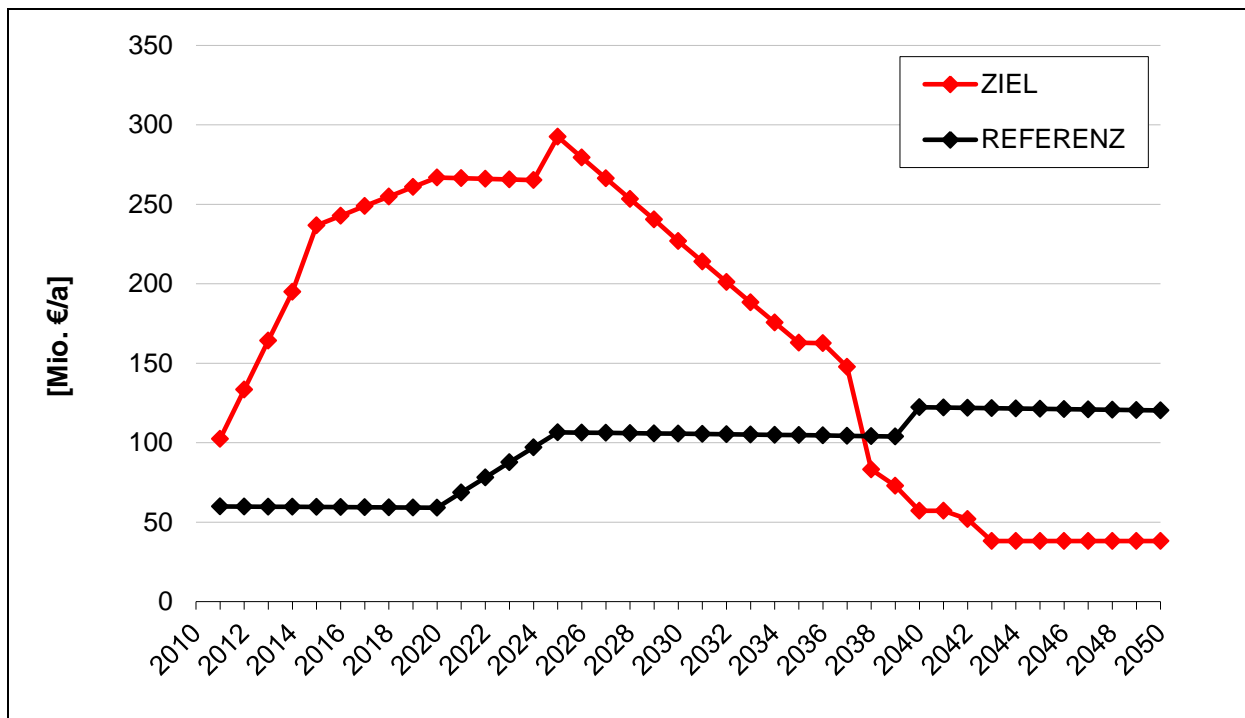
nierung und 1,5 Mrd. € für die energetische Sanierung und Modernisierung. Bis 2050 sind es 1,8 Mrd. € bzw. 2,77 Mrd. € (Tabelle 18). Dem gegenüber stehen im Referenz-Szenario absolute Investitionskosten für die energetische Gebäudesanierung in Höhe von derzeit 27 Mio. €/a, die sich bis 2050 auf 54 Mio. €/a verdoppeln.

Tabelle 18 Investitionskosten für Gebäudesanierung im Sektor HH-Raumwärme

		2012 bis 2020	2012 bis 2050
Durchschnittliche Mehrinvestitionen Ziel-Szenario ggü. Referenz-Szenario ab 2012, nur energetische Sanierung	Mio. €/a	96	47
Durchschnittliche Mehrinvestitionen Ziel-Szenario ggü. Referenz-Szenario ab 2012, energetische Sanierung und Modernisierung	Mio. €/a	168	71
Mehrinvestitionen kumuliert, nur energetische Sanierung	Mio. €	860	1.800
Mehrinvestitionen kumuliert, energetische Sanierung und Modernisierung	Mio. €	1.500	2.770
Jährliche Gesamt-Investitionen, nur energetische Sanierungen	Mio. €	125	90
Jährliche Gesamt-Investitionen, energetische Sanierung und Modernisierung	Mio. €	234	170

In Abbildung 41 ist der Verlauf der Investitionen dargestellt. Da im Ziel-Szenario zu Beginn der betrachteten Zeitraums mehr saniert und damit auch mehr investiert wird, sind am Ende des Betrachtungszeitraums die Investitionskosten im Ziel-Szenario geringer als im Referenz-Szenario. (Die rasche Durchführung der Sanierungen resultiert aus der Notwendigkeit, die CO₂-Emissionen aus dem Gebäudebereich so schnell wie möglich zu reduzieren.)

Abbildung 41 Vergleich der Investitionen in energetische Sanierung und Modernisierung nach Referenz- und Ziel-Szenario bis 2050



8.2.3 THG-Einsparungen und CO₂-Vermeidungskosten im Sektor HH-Raumwärme

Die ermittelten, gegenüber dem Referenzszenario zusätzlichen Investitionen für die energetische Sanierung bis 2050 werden wie oben beschrieben mit einem Zinssatz von 4% abdiskontiert. Der Barwert dieser Mehrinvestitionen im Jahr 2012 beträgt demnach 1,3 Mrd. €.

Um bei den folgenden Berechnungen die Änderungen bei den Energiekosten und den THG-Emissionen im Gebäudebereich von den Maßnahmen aus dem Sektor Energieinfrastruktur abzugrenzen und Doppelzählungen zu vermeiden, wurden die nun folgenden Berechnungen jeweils unter der Prämisse durchgeführt, dass die Fernwärmeversorgung nicht zu 100% auf Erneuerbare Energien umgestellt wird, sondern nach wie vor überwiegend mit Gas erfolgt. (Konkret bedeutet dies, dass das Uniklinik-HKW und das Wärmeverbundkraftwerk nicht auf Biomasse umgerüstet werden, diese Umstellung wird dem Sektor Energieinfrastruktur, Kapitel 7.4, zugerechnet.) Gleichzeitig bleiben die Anteile der Fernwärmeversorgung nahezu gleich und nehmen nicht zu, da Investitionskosten für den Netzausbau ebenfalls im Sektor Energieinfrastruktur zu verorten sind. Es erfolgt lediglich eine Erhöhung des Anteils der Fernwärmeversorgung um 4%, welcher ohne Netzausbau durch Erhöhung der Anschlussrate in bestehenden Fernwärmegebieten erfolgen kann. Ohne Netzausbau und Erhöhung der Fernwärmeversorgung ist allerdings auch der 100%ige Umstieg auf Erneuerbare Energien nicht realisierbar, so dass in diesem Fall ein Restbedarf an dezentraler Erdgasversorgung in Höhe von 11% bestehen bleibt. Unter diesen Prämissen wurden die Energiekosteneinsparungen und deren Barwert sowie die THG-Einsparungen berechnet.

Die erforderlichen Verbraucherpreis-Szenarien richten sich für Erdgas, Heizöl, Biomasse, Kohle nach der Studie „Modell Deutschland“ und bei Fernwärme nach eigenen Schätzungen der Autoren. Der aktuelle Strompreis wurde stammt von der Bundesnetzagentur (Bundesnetzagentur, 2011), die Fortschreibung der Preisentwicklung erfolgte nach der Entwicklung der Stromgestehungskosten in „Modell Deutschland“ (Prognos, Öko-Institut, 2009). Tabelle 19 zeigt die verwendeten Energiepreise. Der Fernwärmepreis für 2010 wurde nach aktuellen Daten der Badenova bestimmt, Wärmepreise des HKW des Uniklinikums sind nicht bekannt. Für die Preissteigerung der Fernwärme wurde die gleiche Steigerung wie für Biomasse angenommen, zusätzlich wurde alle 10 Jahre ein Aufschlag in Höhe von 1% (im Referenz-Szenario) und 2% (im Ziel-Szenario) vorgenommen, um die auf Grund insgesamt sinkender Gesamtabnahme steigenden spezifischen Kosten für den Netzunterhalt zu berücksichtigen.

Als Ausgangspreis für Biomasse wurden Preise für Pellets angenommen, da es hier aussagekräftige Preisstatistiken (Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband) gibt. Die Fortschreibung des Preises erfolgte anhand des Preises für Kaminholz aus „Modell Deutschland“. Der Ausgangspreis für Kohle (Braunkohlebriketts) wurde durch eigene Preisrecherchen ermittelt, die Fortschreibung erfolgte nach dem Steinkohlepreis in „Modell Deutschland“. Umweltwärme und Solarthermie wurden mit Kosten von Null bewertet.

Tabelle 19 Energiepreis-Szenarien: Verbraucherpreise zur Raumwärmebereitstellung im Sektor Haushalte

	2010	2020	2030	2040	2050
Erdgas (€-cent/kWh real 2012)	6,69	8,3	9,71	11,54	14,02
Heizöl (€-cent/kWh real 2012)	6,88	8,8	10,92	13,83	17,79
Strom Referenz-Szenario (€/kWh real 2012)	24,6	33,6	33,2	34	36,3
Strom Ziel-Szenario (€/kWh real 2012)	24,60	34,2	35	34,6	32,7
Fernwärme (Referenz-Szenario) (€-cent/kWh real 2012)	7,21	8,00	8,66	10,48	13,61
Fernwärme (Ziel-Szenario) (€-cent/kWh real 2012)	7,21	8,03	8,74	10,55	13,62
Biomasse (€-cent/kWh real 2012)	4,61	4,95	5,4	6,5	8,5
Kohle (€-cent/kWh real 2012)	4,74	7,38	9,8	12,5	15,9

Quellen siehe im Text darüber

Der Barwert der Energiekosten-Einsparung gegenüber dem Referenz-Szenario im Zeitraum bis zum Jahr 2050 beträgt nach dieser Methodik 489 Mio. €.

Der Barwert der Investitionen in Höhe von 1,3 Mrd. € wird diesem Barwert der Energiekosten-Einsparungen gegenübergestellt, um die Nettokosten (bzw. den Kapitalwert oder Nettogegenwartswert) der Minderungsaktivitäten zu bestimmen. Dieser beträgt somit 788 Mio. €.

Diesen Nettokosten der Minderungsaktivitäten steht eine kumulierte Einsparung von Treibhausgas-Emissionen durch die Wohngebäudesanierung in Höhe von 2,57 Mio. t CO₂Äq. gegenüber (vgl. Kapitel 7.1). Hieraus ergeben sich CO₂-Vermeidungskosten in Höhe von 306 €/t CO₂Äq.

Tabelle 20 Investitionen, Energiekosten- und THG-Emissionseinsparungen im Sektor HH-Raumwärme (ohne Energieumwandlung) nach Ziel-Szenario bis 2050

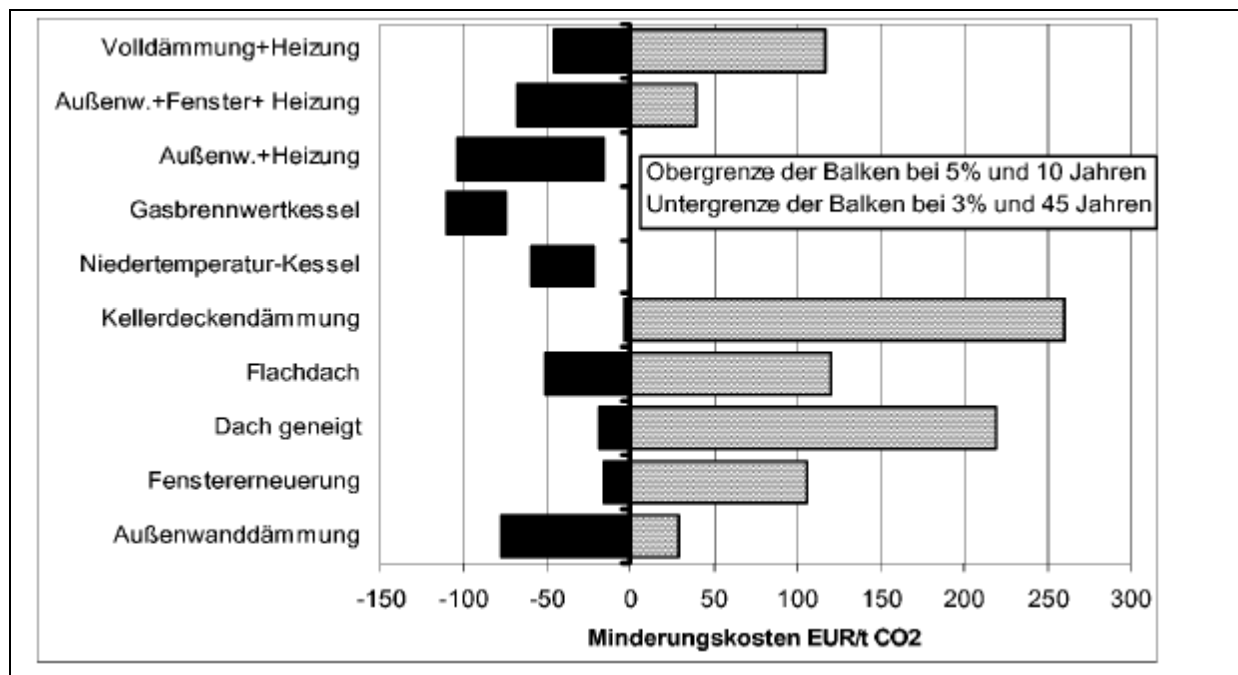
Differenzinvestitionen ggü. Referenz	Mio. € (real 2012)	1.816
Barwert der Differenzinvestitionen	Mio. € (real 2012)	1.277
Barwert der Energiekosteneinsparung ggü. Referenz	Mio. € (real 2012)	489
Nettogegegenwartswert der Minderungsaktivitäten	Mio. € (real 2012)	788
Kumulierte THG-Einsparungen ggü. Referenz	Mio. t CO ₂ Äq.	2,57
THG-Vermeidungskosten	€/t CO ₂ Äq. (real 2012)	306

Im Vergleich zu den heute geläufigen Kosten für Emissionsrechte im europäischen Emissionshandelssystem erscheint dieser Wert extrem hoch. Zu beachten ist allerdings, dass es hier um eine sehr weitgehende Sanierungsstrategie geht, die offensichtlich aus heutiger Sicht und bei heutigen Preisen für Emissionsrechte nicht wirtschaftlich ist. Zudem wurde hier bewusst zwischen der Gebäudesanierung und der Umstellung der (zentralen) Wärmeversorgung auf Erneuerbare Energien unterschieden (vgl. hierzu Kapitel 8.3). In einer Mischkalkulation dieser beiden, faktisch zusammenhängenden Bereiche stellen sich CO₂-Vermeidungskosten von ca. 270 €/t CO₂Äq. ein.

Positive Vermeidungskosten im dreistelligen Bereich für eine ambitionierte Strategie zur Gebäudesanierung und die Umstellung der Heizungssysteme auf Erneuerbare Energien werden in verschiedenen Studien bestätigt. Im Rahmen der Studie "Analyse der Treibhausgasvermeidungskosten klimapolitischer Maßnahmen in Oberösterreich" (Tichler et al, 2010) wurden für Oberösterreich CO₂-Vermeidungskosten für verschiedene Aktivitäten im Bereich Raumwärme ermittelt. Für die Gesamtsanierung (keine Sanierung des Heizsystems) eines betrieblich genutzten Gebäudes auf Niedrigenergiestandard werden dort CO₂-Vermeidungskosten von 271 €/t CO₂Äq. angegeben, für die Errichtung eines Passivhauses anstelle eines Niedrigenergiehauses 420 €/t CO₂Äq. und für den Ersatz eines herkömmlichen Heizungssystem mit einer Wärmepumpe 75 €/t CO₂Äq. Das gewichtete Mittel für Maßnahmen im Bereich der Installation innovativer Heizungssysteme liegt bei dieser Studie bei 81,5 €/t CO₂Äq., für die Sanierungsmaßnahmen (in der Regel auf Niedrigenergiehaus-Standard) bei 157 €/t CO₂Äq. McKinsey (2007) gibt für die Sanierung von 1-2 Familienhäusern auf 2-Liter-Haus-Niveau Vermeidungskosten von 1.000 €/t an, für die Sanierung von 3-6 Familienhäusern ebenfalls auf 2-Liter-Haus-Niveau fast 700 €/t CO₂Äq. Abbildung 42 zeigt mittlere CO₂-Vermeidungskosten, die im Rahmen des KfW-CO₂-Gebäudesanierungsprogramms erhoben wurden (Kleemann et al, 2003). Zu beachten sind hierbei die in der Grafik erläuterten Annahmen, die die Spannweiten der ermittelten Kosten begründen. Da in dem Ziel-Szenario für

Freiburg von größeren Sanierungstiefen ausgegangen wird als in der vorgenannten Studie, erscheinen die hier ermittelten Vermeidungskosten durchaus plausibel. Ihre Höhe offenbart jedoch einen erheblichen Bedarf für Fördermittel, damit die angenommenen Sanierungstiefen auch wirklich erreicht werden.

Abbildung 42 Mittlere CO₂-Minderungskosten für verschiedene Sanierungsmaßnahmen



Der energetische Zustand nach der Sanierung entspricht der jeweils geltenden Verordnung.

Quelle: Kleemann et al. 2003

8.3 Ergebnisse für den Sektor Energieinfrastruktur

Im Sektor Energieinfrastruktur wird zum Zwecke der ökonomischen Analyse ausschließlich der im Ziel-Szenario beschriebene Umbau der Fernwärmeversorgung im Stadtgebiet berücksichtigt, d.h. der Ausbau der Wärmenetze und die Umrüstung der beiden großen Heizkraftwerke auf Erneuerbare Energien.

8.3.1 Investitionskosten

Die Abschätzung der Investitionskosten in diesem Sektor stellt sich ungleich schwieriger dar als bei der Gebäudesanierung oder im Bereich Verkehr. So müssen Kosten für den Bau von Fernwärmeleitungen immer individuell für ein konkretes Projekt betrachtet werden. Die Verlegekosten sind abhängig vom gewählten Rohrsystem, dem Rohrdurchmesser, dem Verlegungsverfahren, den lokalen Randbedingungen und im Besonderen von der Planung, Ausschreibung und Vergabep Praxis. Daher können hier nur Bandbreiten für mögliche Kosten angegeben werden. Die Kostendaten basieren auf theoretischen Berechnungen bzw. realisierten Projekten. Die Kosten liegen zwischen 100 € pro Trassenmeter für eine Kellerverlegung bis zu 450 €/m für eine herkömmliche Erdreichverlegung. (UMSICHT 2001). Die Kosten für die Oberflächenwiederherstellung betragen 23-28%, die Baunebenkosten (Baustellenabsiche-

rung etc.) 18 bis 21% der Verlegekosten. Sofern hierauf wenigstens teilweise verzichtet werden kann, wie beispielsweise in Neubaugebieten, sind auch deutlich niedrigere Kosten möglich (ebenda).

Die nachfolgend genannten Freiburg-spezifischen Investitionskosten sind grobe Abschätzungen, die als Wenn-Dann-Aussagen interpretiert werden sollten und lediglich eine Größenordnung für die zu erwartenden Investitionskosten liefern können. Sie wurden absichtlich am oberen Rand der möglichen Kostenspanne angesetzt, um nicht grundsätzlich sinnvolle Maßnahmen „schön zu rechnen“.

Eine Erweiterung des Dampfnetzes der Uniklinik in der Innenstadt würde im Vergleich zur oben genannten Erdreichverlegung einen sehr viel größeren Aufwand bedeuten, da hier im dicht bebauten Stadtkern mit umfangreicher städtischer Infrastruktur gearbeitet werden müsste. Dies bedeutet neben dem baulichen Aufwand einer solchen Maßnahme in der Innenstadt mit zahlreichen Unwägbarkeiten auch einen sehr großen organisatorischen Aufwand. Hier scheinen Investitionskosten von bis zu 3.000 € pro Trassenmeter denkbar. Eine Realisierung der sehr viel günstigeren Kellerverlegung ist im Innenstadtbereich auf Grund der organisatorischen Hemmnisse (Leitungsrecht in allen Kellern, Gewährleistung ständiger Zugänglichkeit der Keller für den Energieversorger, Kompatibilität mit vorhandener Kellernutzung) vermutlich nicht realisierbar.

Für den Neubau einer Fernwärmetrasse zur Nutzung der Wärmepotentiale des Wärmeverbundkraftwerks lägen die Investitionskosten nicht so hoch wie in der Innenstadt, da die baulichen Verhältnisse weniger schwierig sind. Hier wird mit Investitionskosten von 1.000 € pro Trassenmeter gerechnet.

Die Erweiterung des vorhandenen Dampfnetzes der Uniklinik zur Fernwärmeversorgung der Innenstadt um z.B. 3 km würde demnach Investitionskosten von 9 Mio. € bedeuten. Die Errichtung eines Fernwärmenetzes zur Nutzung der Wärme des Wärmeverbundkraftwerks von z.B. 2 km Länge zöge nach den oben genannten Annahmen Investitionen in Höhe von 2 Mio. € nach sich. Selbstverständlich sind in beiden Fällen konkrete ingenieurfachliche Untersuchungen erforderlich, um belastbare Kostendaten zu erhalten. Letztendlich sind die Investitionskosten abhängig von der Länge der verlegten Wärmetrassen.

Ebenso schwierig ist die Abschätzung der Kosten der Umstellung der vorhandenen Heizkraftwerke Uni-Klinikum und Wärmeverbundkraftwerk auf Erneuerbare Energieträger. Im Ziel-Szenario wurde die Variante der Substitution von Erdgas durch feste Biomasse berechnet. Eine grobe Schätzung geht davon aus, dass eine mittel- bis langfristige Umstellung von Erdgas auf Biomasse für jedes Kraftwerk Investitionen in Höhe von ca. 10 Mio. € erfordern würde. Dies beinhaltet den Austausch der Kessel und die notwendige Anpassung der gesamten Kraftwerksinfrastruktur. Auch für diese Schätzung gelten die oben genannten Einschränkungen.

Für die BHKW in Weingarten und Landwasser sowie die weiteren kleinen BHKW gilt die Annahme, dass sie weiterhin bzw. mittelfristig mit Biogas bzw. Bioerdgas versorgt werden und daher keine Kessel- und Infrastrukturumstellung erfolgen muss.

Tabelle 21 Sektor Energieinfrastruktur: Investitionskosten der hier betrachteten Maßnahmen

Nr.	Maßnahme	Investition- real 2012)	Nutzungs- dauer
1	Ausbau Fernwärmenetz, Dampfnetz der Uni-Klinik um 3km	9 Mio. €	20 Jahre
2	Neubau eines Fernwärmenetzes zur Abwärmenutzung des Wärmeverbundkraftwerks von 2km Länge	2 Mio. €	20 Jahre
3	Uni-Heizkraftwerk: Ersatz der Gaskessel durch Biomassekessel, inkl. Anpassung der Infrastruktur	10 Mio. €	10 Jahre
4	Wärmeverbundkraftwerk: Ersatz der Gaskessel durch Biomassekessel, inkl. Anpassung der Infrastruktur	10 Mio. €	10 Jahre

8.3.2 THG-Einsparungen und CO₂-Vermeidungskosten im Sektor Energieinfrastruktur

Den genannten Investitionskosten stehen die Vorteile einer zentralen Wärmeversorgung in Bezug auf den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung und/oder regenerativer Energieträger und den damit möglichen CO₂-Minderungen gegenüber. Wie bereits an anderen Stellen des Gutachtens beschrieben sind insbesondere in städtischen Räumen mit hoher Gebäudedichte dezentrale regenerative Alternativen für die Heizwärmebereitstellung, insbesondere bei schlechter Sanierbarkeit der Gebäude, derzeit nicht absehbar. Die Investitionskosten werden mit einem Zinssatz von 8% abdiskontiert. Jeweils nach Ablauf der Nutzungsdauer werden Investitionen für Ersatzanschaffungen bzw. Reparaturen eingepreist. Die Energiekosten sinken in dieser groben Berechnung nicht spürbar, da der Preisunterschied zwischen Fernwärme und Erdgas in den verwendeten Energiepreisszenarien minimal ist (vgl. hierzu Kapitel 8.2.3). Durch die Ausweitung der Fernwärmenutzung und die Umstellung der Erzeugungsanlagen auf feste biogene Energieträger können bis 2050 kumuliert etwa 0,5 Mio. t CO₂Äq. eingespart werden. Die erzielbaren THG-Vermeidungskosten können demnach mit 20 €/t CO₂Äq. abgeschätzt werden. Tabelle 22 fasst die genannten Daten noch einmal zusammen.

Als Quelle für Vergleichszahlen aus der Literatur dient die schon vorab zitierte Studie von Tichler et al. (2010). Er ermittelte Treibhausgas-Vermeidungskosten eines Fernwärmesystems als Alternative für ein durchschnittliches herkömmliches Wärmesystem in Höhe von 84 €/t CO₂Äq. und für ein Hackschnitzel-basiertes Nahwärmesystem anstelle eines durchschnittlichen herkömmlichen Wärmesystems in Höhe von -5 €/t CO₂Äq. (diese Maßnahme ist also wirtschaftlich).

Tabelle 22 Investitionen, Energiekosten- und THG-Emissionseinsparungen im Sektor Energieinfrastruktur nach dem Ziel-Szenario bis 2050

Betrachtete Investitionen	Mio. € (real 2012)	36,0
Barwert der Differenzinvestitionen	Mio. € (real 2012)	10,4
Barwert der Energiekosteneinsparung ggü. Referenz	Mio. € (real 2012)	0,0
Nettogegenwartswert der Minderungsaktivitäten	Mio. € (real 2012)	10,4
Kumulierte THG-Einsparungen ggü. Referenz	Mio. t CO ₂ Äq.	0,52
THG-Vermeidungskosten	€/t CO ₂ Äq. (real 2012)	20,1

8.4 Ergebnisse für den Sektor Verkehr

Im Sektor Verkehr müssen eine Vielzahl von Maßnahmen zu den angestrebten THG-Emissionseinsparungen beitragen, deren Wirkung nicht im Detail quantifizierbar und einzeln zuzuordnen ist. Im Bereich Personenverkehr hat die Stadt über verkehrspolitische Konzepte und Maßnahmen und über die städtischen Verkehrsbetriebe (VAG) den größten Einfluss auf die Entwicklung der Verkehrsleistung, des Energieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen. Für den Straßen-Güterverkehr dagegen gibt es bisher deutschlandweit nur wenige erfolgreiche Konzepte, die als Vorbild für Maßnahmen zur Treibhausgas-Minderung herangezogen werden können. Aus diesen Gründen wird bei der nachfolgenden Abschätzung nur der Personenverkehr betrachtet.

Dabei sind insbesondere folgende Maßnahmen relevant:

- Maßnahmen, die zur Verschiebung des Modal Split zu Gunsten von Radverkehr und ÖPNV und zu Ungunsten der MIV-Verkehrsleistungen führen
- der Einsatz umweltfreundlicher Antriebe (Elektromobilität, Brennstoffzellen) bei PKW und ÖPNV-Linienbussen.

8.4.1 Investitionskosten im Sektor Personenverkehr

Bei der Abschätzung der Investitionskosten wurde, wie weiter oben bereits beschrieben, jeweils nur die Differenz zwischen Referenz- und Ziel-Szenario betrachtet. Da z.B. der Stadtbahnausbau bereits beschlossen ist, wird er schon im Referenz-Szenario berücksichtigt und ist daher hier nicht mehr kostenseitig zu abbilden.

Zu berücksichtigen sind vielmehr folgende Maßnahmen im Personenverkehr:

- Ausbau Radwegenetz, Verbesserung Bedingungen Radverkehr
- Verbesserung des ÖPNV-Angebotes durch Taktverdichtung und Kapazitätserweiterung bei S- und Stadtbahn durch längere Züge
- Einsatz von Brennstoffzellen-PKW, Elektro-PKW sowie Brennstoffzellen-Omnibussen anstelle von Fahrzeugen mit herkömmlichen Antrieben

Tabelle 23 zeigt die betrachteten Maßnahmen mit den jeweiligen Annahmen zu den Investitionskosten. Die Liste der Maßnahmen erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es ist daher davon auszugehen, dass für die Erreichung der im Zielszenario angenommenen Emissionsminderung noch weitere, in ihren Kosten heute nicht genau quantifizierbare Maßnahmen erforderlich sind. Ein Teil der Energieeinsparung beruht außerdem auf der fortlaufenden Effizienzverbesserung der Antriebe, für die nach dieser Betrachtung keine Investitionskosten anfallen. Die Kosten für die Neuanschaffung von S-Bahn-Wagen wurden nur zu einem Viertel berücksichtigt, die übrigen 75% werden den umliegenden Gemeinden bzw. Landkreisen zugerechnet.

Tabelle 23 Sektor Verkehr: Investitionskosten der hier betrachteten Maßnahmen

Nr.	Maßnahme	Investition (real 2012)	Nutzungsdauer
1	Ausbau Radwegenetz	30 Mio. €	
2	Anschaffung innovativer Omnibusse (Differenzkosten zu herkömmlichen Dieselbussen)	60 Mio. €	12 Jahre
3	Zusätzliche Anschaffung innovativer Omnibusse zur Erhöhung der Taktfrequenz	33 Mio. €	12 Jahre
4	Anschaffung längerer Straßenbahnfahrzeuge (42 statt 32 Meter, Differenzkosten)	10,5 Mio. €	40 Jahre
5	Zusätzliche Anschaffung von Straßenbahnen zur Erhöhung der Taktfrequenz	25,6 Mio. €	40 Jahre
6	Neuanschaffung von S-Bahn-Wagen zur Erhöhung der Kapazität (anteilig 25%)	15 Mio. €	40 Jahre
7	Neuanschaffung von Elektro-PKW anstelle konventioneller PKW	104 Mio. €	10 Jahre
8	Neuanschaffung von Brennstoffzellen-PKW anstelle konventioneller PKW	192 Mio. €	10 Jahre
	Gesamt	470 Mio. €	

Quellen: Nr. 1: analog zu dem Maßnahmenvolumen in der derzeit erstellten Radwegeverkehrsplanung; Nr. 2 und 3: Preisangabe Daimler AG; Nr. 4 und 5: Preisangabe Siemens AG; Nr. 2-5 außerdem Rücksprache mit VAG; Nr. 6: Preisangabe von Breisgau S-Bahn im Verkehrs-Workshop; Nr. 7 und 8: Preisangaben nach Internetrecherche, Händlerwebseiten, die Zahl der PKW ergibt sich aus den Szenarien.

Die Investitionen erfolgen beginnend im Jahr 2012 über 38 Jahre hinweg und werden mit 4% abdiskontiert. Bei allen Fahrzeuganschaffungen erfolgt nach Ablauf der Nutzungsdauer eine entsprechende Ersatzanschaffung, deren Kosten in der Investitionssumme enthalten sind. Die Nutzungsdauer für PKW wurde auf 10 Jahre festgelegt da davon ausgegangen wird,

dass ein PKW mindestens 10 Jahre gefahren wird, wenn auch nicht von demselben Besitzer. Die übrigen Nutzungsdauern beruhen auf den Angaben der Betreiber.

8.4.2 THG-Einsparungen und CO₂-Vermeidungskosten im Sektor Personenverkehr

Die gegenüber dem Referenz-Szenario zusätzlichen Investitionen in Höhe von kumuliert 469 Mio. € bis 2050 werden wie oben beschrieben durch Abdiskontierung (mit Zinssatz 4%) auf denselben Zeitpunkt (2012) bezogen. Der Barwert dieser Investitionen beträgt demnach 194 Mio. €. Dieser Betrag wird dem Barwert der Energiekosten-Einsparungen gegenübergestellt, um den Nettogegenwartswert zu bestimmen. Bei der Berechnung der Energiekosteneinsparungen muss die Entwicklung der Energiepreise berücksichtigt werden. Tabelle 24 zeigt die zu Grunde liegenden Energiepreisszenarien. Diese richten sich bei Strom, Benzin und Diesel nach der Studie „Modell Deutschland“ und bei Wasserstoff nach eigenen Schätzungen auf Grundlage von Experteninterviews. Die Summe der Energiekosteneinsparungen über die betrachtete Zeitspanne 2012 bis 2050 wird ebenfalls abdiskontiert und beträgt danach 635 Mio. € (real 2012). Dieser relativ hohe Kostenvorteil des Zielszenarios basiert im Wesentlichen auf den erheblichen Einsparungen im Verbrauch fossiler Treibstoffe im Vergleich zum Referenz-Szenario.

Der Nettogegenwartswert (Kapitalwert) für das Jahr 2012 der Kosten aller Maßnahmen bis zum Jahr 2050 beträgt folglich -441,23 Mio. €. Das negative Vorzeichen bedeutet, dass es sich um eine Nettokosteneinsparung handelt und damit Potenziale erschlossen werden, die wirtschaftlich sind. Durch die Minderungsaktivitäten im Sektor Personenverkehr können bis 2050 kumuliert 3,95 Mio. t CO₂Äq. eingespart werden (vgl. Kapitel 7.5). Daraus ergeben sich negative CO₂-Vermeidungskosten in Höhe von -111,6 €/t CO₂Äq.

Tabelle 24 Energiepreis-Szenarien: Verbraucherpreise Haushalte für Mineralölkraftstoffe, Strom und Wasserstoff

	2010	2020	2030	2040	2050
Benzin (€/l) (real 2012) ¹⁾	1,43	1,72	1,94	2,26	2,7
Diesel (€/l) (real 2012) ¹⁾	1,3	1,51	1,8,3	2,16	2,48
Strom Referenz-Szenario (€/kWh) (real 2012) ¹⁾	24,6	33,6	33,2	34	36,3
Strom Ziel-Szenario (€/kWh) (real 2012) ¹⁾	24,60	34,2	35	34,6	32,7
Wasserstoff (€/kg) (real 2012) ²⁾	8,24	7,21	6,18	5,15	4,12

Quellen: 1) Studie „Modell Deutschland“, 2) Experteninterview Daimler AG

Um dieses bemerkenswert positive Ergebnis besser einordnen zu können, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Es wurde berechnet, welche CO₂-Vermeidungskosten sich ergeben würden, wenn die notwendigen Investitionen doppelt so hoch wären wie zuvor angenommen. Der Barwert der Investitionen betrüge dann 390 Mio. € (anstelle von 194 Mio. €). Energiekosten- und CO₂-Einsparungen blieben gleich. In diesem Fall ergäben sich CO₂-Vermeidungskosten in Höhe von -62 €/t CO₂Äq. Nach diesen Abschätzungen und Berechnungen kann es als wahrscheinlich angenommen werden, dass Emissionsminderungsmaß-

nahmen im Bereich Personenverkehr negative CO₂-Vermeidungskosten aufweisen, das heißt dass diese Maßnahmen netto eine relevante Kostenersparnis bedeuten. Allerdings ist zu beachten, dass diese Maßnahmen durch nicht monetäre Hemmnisse blockiert werden können, die unter anderem daraus resultieren können, dass die Kosten und Erlöse unterschiedliche Akteure betreffen: Die Investitionen müssen von der öffentlichen Hand bzw. den städtischen Verkehrsbetrieben aufgebracht werden, während die Energiekosteneinsparungen größtenteils den Verbrauchern zu Gute kommen. Einschränkend muss zudem erwähnt werden, dass in den quantifizierten THG-Einsparungen auch Einsparungen in Folge von Effizienzgewinnen beim MIV und in Folge der Erhöhung des Biokraftstoffanteils bei Benzin und Diesel enthalten sind, die hier kostenseitig nicht berücksichtigt wurden. Dies verschiebt die CO₂-Vermeidungskosten zusätzlich ins Negative.

Vergleiche zu CO₂-Vermeidungskosten in der Literatur zeigen ein ähnliches Bild. So gibt die Studie *"Analyse der Treibhausgasvermeidungskosten klimapolitischer Maßnahmen in Oberösterreich Teil"* (Tichler et al. 2010) zwar CO₂-Vermeidungskosten für die Anschaffung eines Elektro-PKW in Höhe von 478 € t/CO₂-Äq. an. Allerdings wird dort mit für Deutschland unrealistischen Treibstoffpreisen gerechnet (1,05 €/l Benzin/Diesel, 18,4 ct./kWh Strom). Für den Ersatz eines PKW im Nahverkehr durch ein Fahrrad werden CO₂-Vermeidungskosten von -944 €/t CO₂-Äq. angegeben. Das gewichtete Mittel über alle untersuchten CO₂-Minderungsaktivitäten im Bereich Personenverkehr liegt in dieser österreichischen Studie bei -180 €/t CO₂-Äq. Untersucht wurden hauptsächlich die Vermeidungskosten für innovative und besonders effiziente Antriebe (die in der Regel positive CO₂-Vermeidungskosten haben) und Maßnahmen zur Verkehrsverlagerung auf das Fahrrad und Carpooling, die jeweils hohe negative Vermeidungskosten haben.

Einschränkend ist hervorzuheben, dass bei dieser Berechnung neben den Energiekosten keine weiteren Betriebskosten berücksichtigt wurden. Es muss davon ausgegangen werden, dass die genannten Maßnahmen höhere Betriebskosten verursachen, vor allem bei den Betrieben des ÖPNV. Den höheren Betriebskosten stehen jedoch auch höhere Einnahmen gegenüber, die ebenfalls berücksichtigt werden müssten. Hier wird der Unsicherheitsfaktor sehr hoch, so dass auch grobe Abschätzungen und Sensitivitätsrechnungen in die Irre führen könnten. Auch liegt das Interesse der Stadt zunächst auf den Investitionskosten. Letztendlich stellt der Verzicht auf die Einbeziehung der Betriebskosten jedoch eine Vereinfachung dar, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

Tabelle 25 Investitionen, Energiekosten- und THG-Emissionenseinsparungen im Verkehrs-Sektor nach Ziel-Szenario bis 2050

Differenzinvestitionen ggü. Referenz	Mio. € (real 2012)	469
Barwert der Differenzinvestitionen	Mio. € (real 2012)	194,5
Barwert der Energiekosteneinsparung ggü. Referenz	Mio. € (real 2012)	635,7
Nettogegegenwartswert der Minderungsaktivitäten	Mio. € (real 2012)	-443,6
Kumulierte THG-Einsparungen ggü. Referenz	Mio. t CO ₂ Äq.	3,95
THG-Vermeidungskosten	€/t CO ₂ Äq. (real 2012)	-111,6

8.5 Kosten des Klimawandels

In der Literatur wurden verschiedenste Analysen zu den Kosten des Klimawandels auf globaler und nationaler sowie teilweise regionaler Ebene vorgenommen, die jedoch sehr divergent und mit hohen Unsicherheiten behaftet sind. Im Folgenden wird für den hier vorliegenden Kontext versucht, unter Zuhilfenahme dieser Analysen eine einfache, aggregierter Abschätzung über die durch den Klimawandel verursachten Kosten vorzunehmen. Diese Kosten würden voraussichtlich anfallen, wenn Freiburg, Deutschland und die gesamte Welt sich nicht zu einer ambitionierten Klimaschutzpolitik durchringen können und sind somit in einer umfassenden Analyse den Mehrkosten für die Erreichung der Klimaschutzziele gegenüber zu stellen.

Dabei ist zu beachten, dass hier eine spezifische Ermittlung für die Region Freiburg weder angestrebt noch möglich ist. Angesichts der relativ großen Unsicherheiten in diesem Bereich können die in der Literatur angegebenen Werte für die Kosten des Nichthandelns ohnehin nur als Indikation der Größenordnungen der anzusetzenden Kosten dienen.

Eine Studie von Kemfert (2007) weist für Baden-Württemberg durch Klimaschäden verursachte Kosten in Höhe von 129 Mrd. € kumuliert bis 2050 aus. Als grobe Abschätzung wird dieser Wert anhand des Anteils der Schäden an der Bruttowertschöpfung (BWS) in Baden-Württemberg in eine Näherung für die Kosten der Klimaschäden für die Stadt Freiburg übertragen.

Die für Baden-Württemberg geschätzten Schäden in Höhe von 129 Mrd. € entsprechen ca. 1,2% der bis 2050 kumulierten Bruttowertschöpfung des Landes. Würde diese Herangehensweise in einer groben Näherung auf die Stadt Freiburg übertragen, bedeutete dies, dass die Stadt ebenfalls Klimaschäden zu verkraften hätte, die ebenfalls einen Anteil von 1,2% der bis 2050 kumulierten Bruttowertschöpfung der Stadt entsprechen. Da die Entwicklung der Bruttowertschöpfung bis 2050 für Freiburg nicht bekannt ist, wird in grober Näherung die heutige Bruttowertschöpfung in realen Geldwerten bis 2050 fortgeschrieben. Bei Annahme einer linearen Verteilung der Klimaschäden, die allerdings eine weitere, sehr grobe Näherung darstellt, wären dies für 2008 Schäden in Höhe von 89 Mio. € (1,2% der Bruttowertschöpfung von 2008 in Höhe von 7,4 Mrd. €). Eher ist aber zu erwarten, dass die Schadens-

kurve marginal zunimmt, was bedeutet, dass in den ersten Jahren geringere und in der Zukunft höhere Schäden anfallen. Wird dieser Schätzwert für die auf Freiburg entfallenden Kosten des Klimawandels im Referenz-Szenario in eine Zeitreihe bis 2050 aufgetragen und mit einem Zinssatz von 4% abdiskontiert, dann entsteht ein Nettogegenwartswert im Jahr 2012 in Höhe von ca. 1,7 Mrd. €.

Im Vergleich hierzu beträgt der Nettogegenwartswert der Differenzkosten bei der Gebäudesanierung etwa 0,8 Mrd. € und derjenige der Maßnahmen zum Ausbau der Fernwärmeversorgung und deren Umstellung auf Erneuerbare Energien ca. 0,01 Mrd. €. Der entsprechende Wert für die Maßnahmen im Bereich Verkehr beträgt – 0,4 Mrd. €. Auch wenn diese Betrachtung sehr grob ist und wichtige Sektoren des Energieverbrauchs wie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie Industrie hier nicht berücksichtigt werden konnten, so erscheint es doch plausibel, dass die gesamten Mehrkosten des Ziel-Szenarios gegenüber dem Referenz-Szenario eher niedriger liegen als die Kosten, die Freiburg im Falle eines ungebremsten Klimawandels anteilig zu tragen hätte.

8.6 Effekte auf Beschäftigung und lokale Wertschöpfung

Die durch die Aktivitäten zur Umsetzung des Ziel-Szenarios angestoßenen Wertschöpfungseffekte sind in Kapitaleffekte (also Effekte durch Investitionen) und Beschäftigungseffekte zu unterscheiden. Eine Quantifizierung der Kapitaleffekte über die bis hierher durchgeführte Abschätzung der Investitionskosten ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Schon für die Ermittlung des Status Quo wäre eine detaillierte Erhebung im lokalen Raum erforderlich, da für Kommunen spezifische Wirtschaftsrechnungen nicht verfügbar sind. Daher konzentriert sich die Studie im Weiteren auf die Abschätzung der Beschäftigungseffekte.

Zur Bestimmung der Effekte der Umsetzung des Ziel-Szenarios auf die lokale Beschäftigung werden vorhandene bundesweite und für Baden-Württemberg spezifische Studien zu diesem Thema ausgewertet und deren Ergebnisse als Anhaltspunkte für eine mögliche zukünftige Entwicklung in Freiburg genutzt.

8.6.1 Übersicht der vorliegenden Studien

Insbesondere zu dem Thema der Beschäftigungseffekte der Förderung Erneuerbarer Energien liegen bereits verschiedene Studien vor. Mit ZSW, 2009 gibt es eine recht aktuelle und umfangreiche Studie zu den Beschäftigungswirkungen des Ausbaus der Nutzung Erneuerbarer Energien im Land Baden Württemberg. Lehr et al, 2011, untersuchte das gleiche für die Bundesrepublik Deutschland. Die Ergebnisse beider Studien werden nachfolgend vorgestellt.

Etwas schwieriger ist die Literaturlage bei dem Thema der durch verstärkte Gebäudesanierungen hervorgerufenen Beschäftigungseffekte. Hier liefern insbesondere die Auswertungen der KfW-Programme zum Energieeffizienten Bauen und Modernisieren wichtige Hinweise (Kleemann et.al, 2003; Müller 2011).

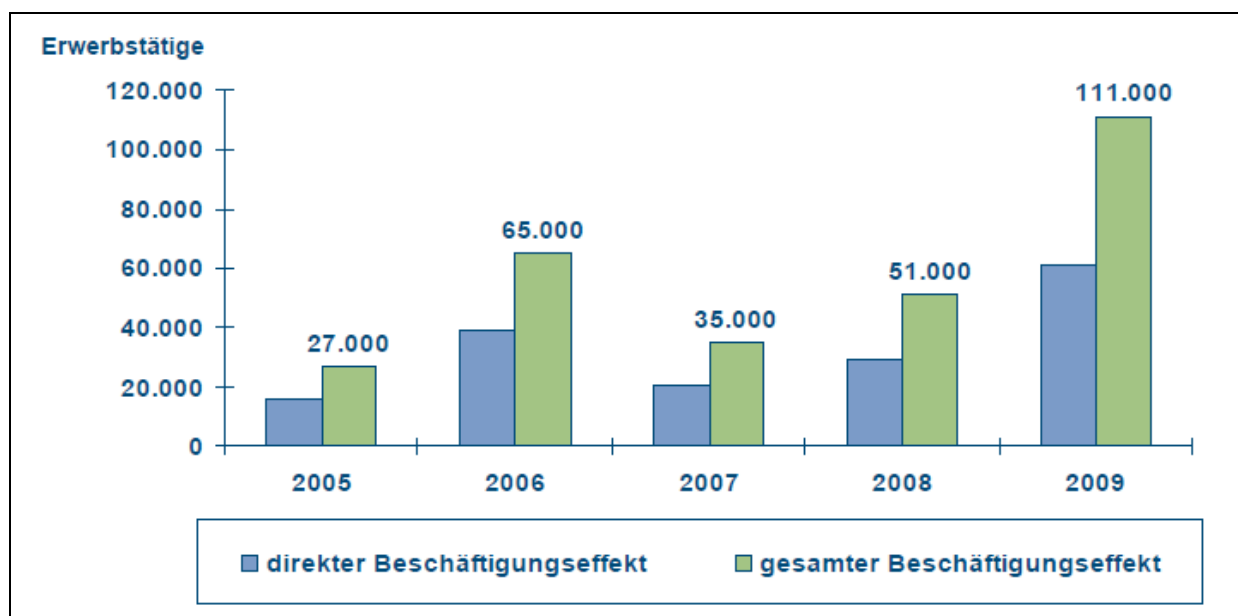
Die Vergangenheit hat gezeigt, dass die wohnungspolitischen Förderprogramme der Bundesregierung maßgeblich zur Stabilisierung der Bauwirtschaft beigetragen haben. Die energetische Sanierung und Modernisierung im Wohngebäudebereich erfolgt zu einem hohen Anteil durch Klein- und Mittelbetriebe mit unter 100 Beschäftigten. Unternehmen dieser Grö-

ße profitieren demnach voraussichtlich am meisten von einer zunehmenden Zahl von Gebäudesanierungen mit zunehmend ‚aufwendigeren‘ Sanierungstiefen. Durch Gebäudesanierungsprogramme der KfW-Bank wurden von 1996 bis 2001 im Mittel fast 13.000 Arbeitsplätze jährlich gesichert bzw. geschaffen. Für das Jahr 2001 ergab sich im Bereich der Altbaumodernisierung ein Arbeitsplatzvolumen von rund 23.000 Personenjahren. Für die Folgejahre wurden Beschäftigungseffekte durch die KfW-Programme von 20.000 bis 35.000 Arbeitsplätze jährlich bundesweit erwartet, je nach Ausschöpfung des Kreditvolumens (Kleemann et al 2003). Eine andere „Faustregel“ ist, dass jede in die Wohngebäudesanierung investierte Milliarde Euro 26.000 Arbeitsplätze für ein Jahr sichert bzw. schafft (BMVBW 2003). Nach Müller, K. u. Weimer, S. (2001) fallen die meisten dieser Arbeitsplätze im Handwerk an, da die Gebäudesanierung primär eine Domäne des Handwerks ist.

Auch im Neubau führen die Ausführung von Gebäuden in Niedrigenergie- oder Passivhausbauweise zu positiven Arbeitplatzeffekten. Die von der Neubauförderung der KfW ausgelösten Arbeitplatzeffekte belaufen sich 1998 auf 12.300 Personenjahre, 1999 wurde dann der Spitzenwert von ca. 91.200 Personenjahren erreicht (Kleemann et al, 2003). Alle genannten Zahlen sind Netto-Beschäftigungseffekte: von den Beschäftigungszahlen, die durch investive Maßnahmen entstehen, inklusive der Produktion der Vorleistungsgüter, wurden die Arbeitsplatzverluste aufgrund des Verdrängungseffektes abgezogen.

Aktuellere Zahlen der KfW geben folgendes Bild: Durch Investitionen, die von den KfW-Programmen Energieeffizientes Bauen und Sanieren gefördert wurden, konnten 2009 deutschlandweit 111.000 Arbeitsplätze geschaffen oder gesichert werden (Abbildung 43). Davon entfallen 77% auf Klein- und Mittelständische Unternehmen, vor allem aus Bauwirtschaft und Handwerk. Die Investitionen werden vollständig von Unternehmen aus Deutschland ausgeführt, und 90% der Investitionen von Unternehmen, die ihren Sitz nicht mehr als 50km vom Investitionsort entfernt haben (Müller 2011).

Abbildung 43 Beschäftigungseffekte der geförderten Investitionen – für ein Jahr gesicherte oder geschaffene Arbeitsplätze

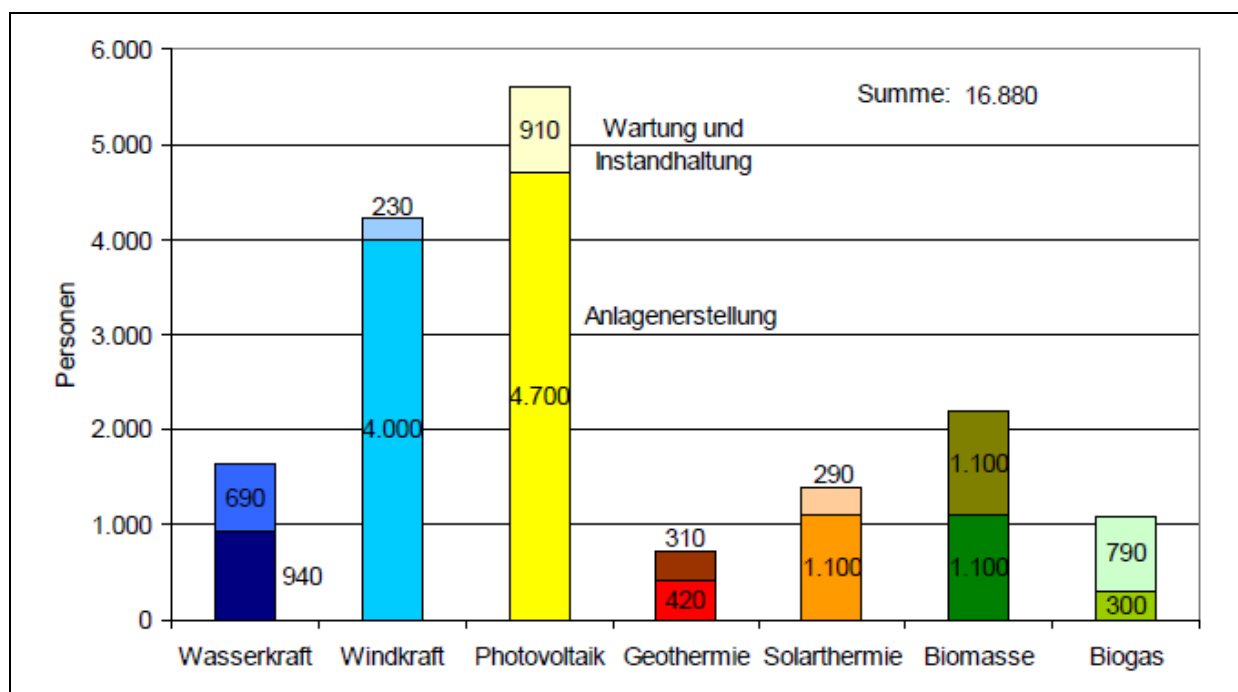


Quelle: Müller, 2011

Aus der Studie von ZSW (2009) liegen Werte zu den aktuellen Beschäftigtenzahlen im Bereich Erstellung von Erneuerbare-Energien-Anlagen und -Komponenten sowie deren Wartung und Instandhaltung in Baden-Württemberg vor. Demnach waren 2008 16.900 Personen in diesem Bereich beschäftigt, 74% in der Anlagenerstellung und 26% in der Wartung und Instandhaltung. Mit 33% der Beschäftigten stellt die Photovoltaik die wichtigste Branche dar, gefolgt von der Windkraft mit 25% und fester Biomasse mit 13%. Die anderen Erneuerbaren Energieträger weisen Anteile von 10% oder darunter auf. Zu beachten ist, dass die Beschäftigten in der Anlagenherstellung auch für den Export produzieren, und daher nicht allein vom regionalen Markt abhängen, während die Beschäftigten in der Wartung und Instandhaltung in der Regel regional tätig sind. Hinzu kommen ca. 2.000 Arbeitsplätze für die Bereitstellung biogener Brennstoffe. Weitere Beschäftigung entsteht im Bereich der öffentlichen Hand, z.B. in den Bereichen „Forschung und Entwicklung“ sowie „Öffentlichkeitsarbeit und Wirtschaftsförderung“. Im Jahr 2007 wurden für Baden-Württemberg in diesem Bereich rund 740 Beschäftigte ermittelt.

In dieser Statistik nicht erfasst sind z.B. Hersteller von Maschinen zur PV-Modulproduktion, die dem Maschinenbau zugerechnet werden.

Abbildung 44 Beschäftigung in Baden-Württemberg durch im Land wirksame Nachfrage nach EE-Anlagen und deren Betrieb im Jahr 2008



Quelle: ZSW 2009

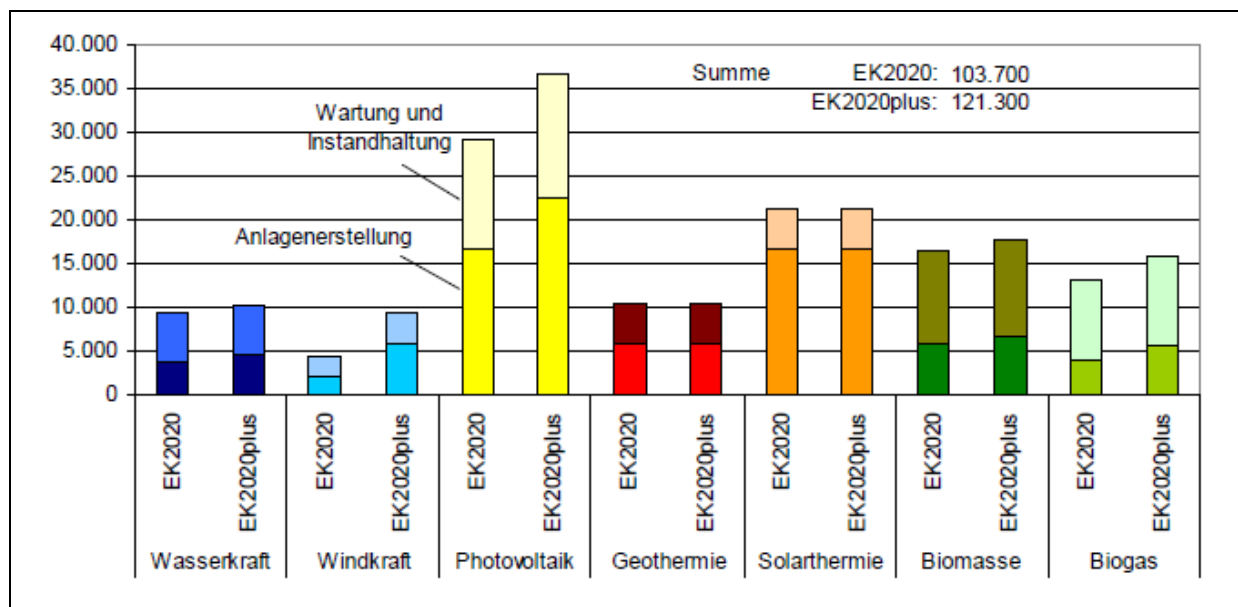
Aufbauend auf diesen Zahlen des Status Quo wurde in der zitierten Studie versucht, mit Hilfe eines Modells die Auswirkungen eines Investitionsimpulses, der etwa durch politische Maßnahmen ausgelöst wird, zu analysieren. Konkret wurde ein Arbeitsplatz-Szenario für die im Energiekonzept 2020 der Landesregierung formulierten Ausbauziele im Bereich Erneuerbare Energien erstellt (20% der Stromerzeugung in 2020). In diesem Szenario sind Ausbaupfade für jede Energietechnologie bis 2020 enthalten. Anschließend wurden die mit dem jeweiligen Ausbaupfad verbundenen Investitionen und Betriebskosten ermittelt und die in Baden-Württemberg wirksame Nachfrage nach Anlagen, Wartung und Instandhaltung geschätzt.

Im Ergebnis sind mit dem Zubau an Erneuerbaren Energien zur Erreichung der Ziele des Energiekonzeptes 2020 über den Zeitraum 2009-2020 in Baden-Württemberg über 100.000 Vollbeschäftigungsjahre durch Anlagenerstellung sowie Wartung und Instandhaltung verbunden, die meisten davon in den Sparten Photovoltaik, Solarthermie sowie feste Biomasse (Abbildung 45). Beschäftigungseffekte durch den Export sind hier nicht enthalten.

Durchschnittlich entstehen in den entsprechenden Technologiebereichen insgesamt 8.600 Vollzeitstellen pro Jahr. Der Anteil der Wartung und Instandhaltung an der Gesamtbeschäftigung beträgt 47 %. Diese etwa 4.000 Vollbeschäftigten pro Jahr haben auch über den Ausbauperioden hinaus Bestand, da die Anlagen über die gesamte Lebensdauer gewartet werden müssen. Hinzu kommen 2.700 Vollbeschäftigte pro Jahr für die Brennstoffbereitstellung aus Biomasse.

Wird ein ehrgeizigeres Ausbauziel, nämlich 25% Anteil Erneuerbarer an der Stromerzeugung unterstellt, entstehen bei Berücksichtigung der Brennstoffbereitstellung etwa 1.700 Vollzeitstellen auf jährlicher Basis mehr als für die Ziele des Energiekonzepts 2020.

Abbildung 45 Gegenüberstellung der durch EE-Zubau in Baden-Württemberg gemäß des Energiekonzepts 2020 (EK2020) und der für Stromerzeugung erhöhten Ziele (25 % EE – EK2020plus) generierten Vollbeschäftigungsjahre über den Zeitraum von 2009 bis 2020



Quelle: ZSW 2009

Eine weitere Studie mit Fokus auf Gesamtdeutschland von Lehr et al (2011) ermittelte für Deutschland folgende Zahlen: Mit der Herstellung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien, deren Betrieb und Wartung, der Bereitstellung biogener Brenn- und Kraftstoffe sowie der aus öffentlichen und gemeinnützigen Mitteln zugunsten der EE resultierenden Beschäftigung waren in 2009 beinahe 340.000 Personen beschäftigt. Die Zahl der Beschäftigten hat sich damit seit 2004 (160.500) mehr als verdoppelt.

Der Ausbau Erneuerbarer Energien auf knapp 32 % des Endenergieverbrauchs im Jahr 2030 führt in nahezu allen analysierten Szenarien zu positiver Nettobeschäftigung (zwischen 100.000 und 250.000 unter verhaltenen bzw. optimistischen Exportannahmen in 2030) über den gesamten Beobachtungszeitraum.

Lehr et al weisen allerdings für Gesamtdeutschland wesentlich geringere Beschäftigungszuwächse aus als ZSW 2009. Die Ursachen dafür können hier nicht im Detail ermittelt werden; diese Zahlen bieten jedoch einen Indikator für die Größenordnungen möglicher Entwicklungen und sind in ihrer Richtung eindeutig.

8.6.2 Mögliche Beschäftigungseffekte in der Region Freiburg

Für die Stadt Freiburg sind aktuelle Zahlen für Beschäftigte der Bauwirtschaft sowie der Umweltwirtschaft bekannt. So waren im Jahr 2010 insgesamt 3.200 Menschen in der Bau-

wirtschaft beschäftigt. Die Umweltwirtschaft (Forschung, Ver- und Entsorgung, Solartechnik, Consulting, etc.) in der Region erlebt ein seit mehreren Jahren anhaltendes Wachstum. Zwischenzeitlich wird in diesem Bereich ein jährlicher Umsatz von 500 Millionen Euro produziert. Dies führte bislang zu mehr als 10.000 Arbeitsplätzen.

Mit Hilfe des oben genannten Indikators von 26.000 Vollzeitstellen für ein Jahr pro 1 Mrd. € Investitionssumme in die Gebäudesanierung lassen sich die Beschäftigungseffekte der Gebäudesanierung für die Region Freiburg errechnen. Demnach würden durch die ebenfalls oben errechneten jährlichen Gesamtinvestitionen für die energetische Sanierung von durchschnittlich 90 Mio. €/a bis 2050 durchschnittlich 2.300 Arbeitsplätze dauerhaft geschaffen oder gesichert. Für die Investitionskosten für energetische Sanierung plus Modernisierung (durchschnittlich 170 Mio. €/a bis 2050) ergeben sich rund 4.400 Arbeitsplätze, die dauerhaft geschaffen bzw. gesichert werden.⁴

Ein weiterer Anhaltspunkt für die mögliche Entwicklung der Beschäftigung in Folge zunehmender Sanierungsanstrengungen ergibt sich aus der Betrachtung der Sanierungsrate. Werden anstelle von heute 1,1% der Gebäude künftig jährlich 3,5% bis 4% der Gebäude saniert, noch dazu in einer größeren Sanierungstiefe, macht dies in erster Näherung eine Zunahme der erforderlichen Arbeitskräfte in der gleichen Höhe erforderlich. Auch die Ausführung von Neubauten in höheren energetischen Standards als bisher bedeutet einen größeren Arbeitsaufwand und somit einen positiven Beschäftigungseffekt, der sich hier allerdings nicht quantifizieren lässt.

Schwieriger ist die Abschätzung der Beschäftigungseffekte für die Stadt Freiburg im Bereich Erneuerbarer Energien, da der Status Quo der Beschäftigtenzahlen im Bereich Erneuerbarer Energien im Detail nicht bekannt ist. In Baden-Württemberg wurde unter der Annahme, dass bis 2020 20% des im Land erzeugten Stroms aus Erneuerbaren Quellen stammt, eine Versechsfachung der Beschäftigung in diesem Bereich errechnet (siehe Kapitel 7.6.1, ZSW, 2009). Nach dem Ziel-Szenario werden in Freiburg bis 2020 10% des verbrauchten Stroms dezentral Erneuerbar erzeugt sowie 17% der Raumwärme für Wohngebäude Erneuerbar bereitgestellt. Positive Beschäftigungseffekte dürften sich demnach vor allem bei Installation, Wartung und Instandhaltung von Photovoltaikanlagen und regenerativen Heizungssystemen, sowie den diesen Technologien vor- und nachgelagerten Bereichen ergeben.

Zusätzliche positive Effekte ergeben sich außerdem für die Bereiche Ingenieur- und Planungsbüros, Energieberater, Baustoff- und weiterer relevanter Handel sowie Finanzwirtschaft. Von einer Quantifizierung wird an dieser Stelle Abstand genommen, da die fehlende Datengrundlage zu große Unsicherheiten birgt.

8.7 Abschätzung des Förderbedarfs durch Bund, Land und Kommunen

Da die Gebäudesanierung der voraussichtlich kapitalintensivste Bereich des Ziel-Szenarios ist, fokussiert die Betrachtung in diesem Kapitel auf diesen Bereich.

⁴ Diese Abschätzungen beziehen sich auf die absoluten Effekte des Ziel-Szenarios, sie sind also nicht gegenüber dem Referenz-Szenario saldiert.

Zur groben Abschätzung des Förderbedarfs wird hier ebenfalls auf Berichte und Statistiken der KfW-Bank zurückgegriffen. Hier liegen Auswertungen der Förderungen durch das Marktanzreizprogramm zur Nutzung Erneuerbarer Energien (MAP) vor. Im Jahr 2009 beliefen sich die im MAP bewilligten Fördermittel auf mehr als 490 Mio. €, wovon 395 Mio. € im Rahmen des BAFA-Programms und 96 Mio. € direkt durch die KfW zugesagt wurden. Die insgesamt durch die Förderung ausgelösten Investitionen werden vom Bundesumweltministerium mit ca. 3 Mrd. € angegeben (Langniß 2010). Wird diese Förderquote auf die in Freiburg nach dem Ziel-Szenario notwendige Investitionssumme für die Gebäudesanierung übertragen, und wird davon ausgegangen dass jede Sanierung gefördert wird, ergibt sich bei jährlichen Investitionen von 170 Mio. € für die energetische Sanierung ein Förderbedarf in Höhe von 27,8 Mio. €/a. Im Falle einer Einbeziehung der Modernisierungskosten in die Förderung erhöht sich das zu fördernde Investitionsvolumen auf insgesamt 234 Mio. €/a und der Förderbedarf auf 38,2 Mio. €/a.

Der Erfolg der Förderung hängt letztlich auch von der tatsächlichen Ausgestaltung der Förderrichtlinie und der angesprochenen Zielgruppe ab. Eine Übertragung des gebündelten bundesweiten Marktanzreizprogramms, welches überwiegend Verbraucher und die Wirtschaft anspricht, auf unterschiedliche, sektorenbezogene Maßnahmen in der Region Freiburg kann nur eine Orientierung bieten. Festzuhalten ist, dass Maßnahmen, die überwiegend auf reine Verhaltensänderungen abstellen, in der Regel eine hohe Förderquote aufweisen sollten. Die Förderquote für investitionsbezogene Maßnahmen muss dagegen individuell in Abhängigkeit von der jeweiligen Zielgruppe festgelegt werden.

Angesichts des hohen Fördervolumens, das ja in einer bundesweiten Klimaschutz-Strategie in allen Städten und Gemeinden in entsprechender Höhe fällig würde, erscheint der Bund mit seinem CO₂-Gebäudesanierungsprogramm als der einzig sinnvolle Fördergeber. Eine Beteiligung von Land und Stadt an der Förderung würde für die Bauherren zudem eine mehrfache Antragstellung und Nachweispflichten mit sich bringen. Eine klare Rolle hat die Kommune dagegen bei der konkreten Bewerbung des Bundesprogramms bei ihren Bauherren und den entsprechenden begleitenden Kommunikationsmaßnahmen.

Dies bedeutet auch, dass es allein vom Fördervolumen her für die Stadt kaum möglich sein wird, eine Entwicklung hin zu den hohen Sanierungsraten und großen Sanierungstiefen wie im Zielszenario unterstellt, durch eigene Fördermittel und ohne die Unterstützung von Bund und Land anzustoßen. Sofern Land und Kommune eigene Fördermittel einsetzen wollen, dann sollten diese nicht breit ausgeschüttet, sondern auf besondere Hemmnisse und Potenziale fokussiert werden. So könnten z.B. vom Land im Rahmen von Gebäudesanierungen Bürgschaften übernommen werden, falls die Eigentümer der Objekte aufgrund von Alter, mangelndem Eigenkapitals oder anderen Gründen keinen Förderkredit einer Geschäftsbank erhalten können. Denkbar wäre zudem, auf Landes- oder kommunaler Ebene die Sanierung von zusammen hängenden Stadtquartieren und besonders innovative Sanierungskonzepte (z.B. neue, Kosten senkende Verfahren oder neue Verfahren für die Sanierung denkmalgeschützter Gebäude) (Baden-Württemberg 2011). Städtische Fördermittel könnten also ergänzend eingesetzt werden, um die Inanspruchnahme der Bundesmittel gezielt in bestimmte Gebiete und auf bestimmte Maßnahmen zu lenken, in denen sie im Rahmen einer klimaschutzorientierten Energieversorgungsstrategie der Stadt besonders sinnvoll eingesetzt sind.

Sofern die Stadt hier einen ausreichend spürbaren Anreiz setzen will, wird es neben einer Überprüfung der inhaltlichen Ausrichtung des Programms „Energieeffizient Sanieren“ zweifellos erforderlich sein, das derzeitige Budget dieses Programms mittelfristig um ein Vielfaches zu erhöhen. Genaue Angaben zu den erforderlichen kommunalen Mitteln können an dieser Stelle nicht gemacht werden.

8.8 Abschätzung des Aufwands für Koordination und Umsetzung durch die Stadt Freiburg

Es ist offensichtlich, dass die Realisierung des Ziel-Szenarios nur möglich sein wird, wenn die Stadt Freiburg eine starke koordinierende Rolle einnimmt und eng mit den wichtigen Akteuren in den einzelnen Handlungsbereichen zusammen arbeitet. Ein über das bisherige Ausmaß hinausgehendes städtisches Engagement erscheint u.a. in folgenden Bereichen erforderlich:

- Strategische Planung der Sanierungsschwerpunkte im Stadtgebiet auf Basis einer noch zu entwickelnden klimaschutzorientierten Energieversorgungsstrategie
- Zusammenarbeit mit Gebäudeeigentümern, Planern und Handwerk bei der Realisierung anspruchsvoller Standards bei der energetischen Gebäudesanierung
- Verstärkte energetische Beratung von Sanierungs- und Bauwilligen, Abwicklung eines evtl. deutlich ausgeweiteten städtischen Förderprogramms zur Gebäudesanierung
- Planung der weiteren Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung und der Nah- und Fernwärmeversorgung in Zusammenarbeit mit der Badenova und anderen relevanten Akteuren auf Basis der vorstehend genannten Energieversorgungsstrategie.
- Bündelung und Stärkung der Planungen zur Ausweitung des ÖPNV-Angebots und der zugehörigen Mobilitätsberatung

Weitere, hier ebenfalls relevante Hinweise für Handlungsempfehlungen an die Stadt und die kommunalen Akteure finden sich in Kapitel 10.

Zweifellos kann die Stadt hierbei nur erfolgreich sein, wenn die personellen Ressourcen in der Stadtverwaltung zur Realisierung der kommunalen Klimaschutzpolitik gezielt erweitert werden. Als erster Schritt könnte hierbei vorgesehen werden, die aktuelle Personalausstattung im Umweltschutzamt und anderen „klima-relevanten“ städtischen Dienststellen bzw. Gesellschaften zu diesem Themenbereich innerhalb von zwei Jahren mindestens zu verdoppeln. Details hierzu, insbesondere der Bedarf nach Personal mit spezifischen inhaltlichen Kenntnissen und Erfahrungen sowie zumindest die mittelfristige Perspektive der personellen Ausstattung der kommunalen Klimaschutzpolitik sollten auf Basis eines noch zu erstellenden Handlungskonzepts für die nächsten Jahre geplant werden.

9 Ergebnisse der Stakeholder-Foren

Das vorliegende Gutachten verfolgte von Anfang an das Ziel, die lokale Fachöffentlichkeit in die Erstellung der Studie mit einzubeziehen. Dies geschah u.a. in vier Stakeholder-Foren, in denen die Projektannahmen, Zwischenergebnisse der Szenariorechnungen und mögliche Schlussfolgerungen daraus insbesondere für die kommunalen Handlungsstrategien der nächsten zehn Jahre diskutiert wurden.

Die Foren fanden zu den Themen Gebäude (2 Workshops), Personenverkehr und Energieumwandlung/Energieinfrastruktur (jeweils 1 Workshop) statt. Zur Vorbereitung der Teilnehmer zu den Inhalten der Workshops wurde jeweils ein Hintergrundpapier erstellt. Diese Papiere sowie die Protokolle der Veranstaltungen befinden sich im Anhang der Studie. Insgesamt ist es gelungen, für die genannten Themen nahezu alle relevanten Akteure als Teilnehmer zu gewinnen und in einer offenen, konstruktiven, z.T. auch kontroversen Diskussion für den weiteren Projektverlauf wichtige Ergebnisse zu erzielen, die in die Ergebnisse der Studie eingeflossen sind. Viele der Teilnehmer der Workshops haben sich bereit erklärt bzw. Interesse bekundet, weiterhin gemeinsam mit der Stadt an der Umsetzung der Ziele der Klimaneutralität zu arbeiten. Darauf sollten die städtischen Akteure unbedingt zurückkommen und die gemachten Angebote zur Kooperation zeitnah weiter nutzen.

9.1 Forum Wohngebäude

Zum Thema Wohngebäude fanden zwei Workshops statt, die unter dem Motto „Der Beitrag der Gebäude zur Klimaneutralität“ standen.

Erster Workshop

Im ersten Workshop wurde den Teilnehmern das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 vorgestellt und Implikationen, die sich daraus ergeben, diskutiert. Mit dem Fokus auf Gebäudesanierungen wurde ganz konkret der Frage nachgegangen, welche Hemmnisse einer Erhöhung von Sanierungsrate und –tiefe gegenüberstehen, welche Lösungsansätze für die Überwindung dieser Hemmnisse denkbar sind und welche besonderen Rahmenbedingungen es hierfür in Freiburg gibt. Letztendlich wurde mit den Teilnehmern diskutiert, welche (Projekt-) Strukturen notwendig sind, um in Freiburg auf Stadtteilebene konkrete Sanierungsprojekte zu initiieren, und welchen Beitrag die einzelnen Akteure dazu leisten können.

Bei dem Workshop waren folgende Institutionen vertreten: Handwerkskammer Freiburg, Haus und Grund Freiburg (Verband der Immobilienbesitzer), Freiburger Stadtbau GmbH (städtische Wohnungsbaugesellschaft), Familienheim Baugenossenschaft e.G., Badenova (regionaler Energieversorger), Architektenkammer Kammergruppe Freiburg, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Sparkasse Freiburg, Stadt Freiburg mit Vertretern des Umweltschutzamtes und des Stadtplanungsamtes, Öko-Institut und Energieagentur Regio Freiburg.

Folgende Hemmnisse für die Zielerreichung wurden genannt:

- Probleme der Wirtschaftlichkeit und Finanzierung:

- generell hohe Kosten einer Gebäudesanierung und in Verbindung hiermit die rechtlichen Rahmenbedingungen (das geltende Mietrecht)
- eine unübersichtliche, wechselhafte und häufig mit hohem Verwaltungsaufwand verbundene Förderlandschaft
- unattraktive Konditionen und Zinssätze für Kredite
- unattraktive Preisgestaltung bei Fernwärme (Verhältnis Leistungs- und Arbeitspreis)
- Niedrige Qualität des Energieausweises und fehlende Anerkennung des Passivhausstandards.
- Interne Hemmnisse innerhalb der Stadtverwaltung:
 - Ziele der verschiedenen kommunalen Politikbereiche sind oft nicht ausreichend aufeinander abgestimmt
 - wirksame rechtliche Instrumente fehlen
- Faktor Mensch
 - negative Berichterstattung über Sanierungsprojekte
 - das Thema Stromverbrauch ist in der öffentlichen Wahrnehmung präsenter als das Thema Wärmeverbrauch
 - Vorteile ganzheitlicher Sanierungskonzepte würden noch nicht genügend kommuniziert
 - Besondere Eigentumsverhältnisse sind problematisch: Wohnungseigentümergemeinschaften und Erbengemeinschaften
 - Altersstruktur von Immobilien-, besonders Einfamilienhausbesitzern
 - Bequemlichkeit von Hausbesitzern
 - Wechselnde Qualität der Beratung durch Handwerker
 - Allgemein unzureichende Informationspolitik der Politik und der Unternehmen

Folgende Lösungsvorschläge für die Überwindung der genannten Hemmnisse wurden diskutiert:

- Schaffung einer gesamtstädtischen Strategie, die allen Politik- bzw. Verwaltungsbereichen die Klimaschutzziele bekanntmacht und Hinweise gibt, wie deren Ziele in der konkreten Arbeit implementiert werden sollten
- Schaffung neuer Arten der Finanzierung
- Schaffung neuer Arten von Dienstleistungen (z.B. „schlüsselfertige Sanierung“)
- Durchführung einer Kampagne mit Demonstration gebäudeübergreifender Lösungen
- Realisierung eines Demonstrations-/Pilotstadtteils für ambitionierte Sanierung im Bestand (nach dem Vorbild „Vauban“ als Vorbildstadtteil im Neubau)

Besonderheiten der Stadt Freiburg:

- Relativ wenig Industrie und Gewerbe

- Viele schützenswerte Fassaden
- Relativ niedrige verfügbare Einkommen
- Viele Single-Haushalte (Studentenstadt)
- Aktive Freiburger Klimaschutzzszenen

Zweiter Workshop

Im zweiten Workshop wurde das Ziel verfolgt, konkrete Handlungsoptionen für die nächsten acht Jahre (bis zum Jahr 2020) zu analysieren und gemeinsam mit den Teilnehmern eine konkrete Projektidee auszuarbeiten. Das Ziel des Projektes sollte die Initiierung einer Sanierungsoffensive im Stadtgebiet sein. Für alle beteiligten Institutionen sollte festgelegt werden, welchen Beitrag sie zu dem Projekt leisten können. Als Anreiz wurde die Option in den Raum gestellt, dass das Projekt in der an die Studie voraussichtlich anschließenden Umsetzungsphase zur Förderung durch das Land eingereicht werden könnte. Neben den möglichen Inhalten des Projektes wurde diskutiert, ob das Projektgebiet ein räumlicher oder ein „virtueller“ Stadtteil (Konzentration auf Gebäudetypen gleicher Art) und wer konkret die Zielgruppe sein sollte (Baugenossenschaften oder –gesellschaften, Wohnungseigentümergeinschaften, Privateigentümer von selbstgenutzten EFH, Mieter, andere). Eine ausführlichere Projektbeschreibung, die auf den gesammelten Ideen beruht, befindet sich in Kapitel 11.

9.2 Forum Energieumwandlung/Energieinfrastruktur

Ziel dieses Workshops war es zu diskutieren, wie die Energieversorgung in verschiedenen urbanen Strukturen im Jahr 2050 aussehen könnte und wie der Transformationspfad dahin verlaufen könnte. Diese Fragen sollten anhand von Beispielstadtteilen diskutiert werden. Darüber hinaus sollte ein möglicher Maßnahmenplan für die nächsten fünf bis zehn Jahre erarbeitet und abgestimmt werden. Mögliche Umsetzungsmaßnahmen für eine Anschlussförderung des Landes und konkrete Handlungsaufträge an lokale Akteure sollten identifiziert werden.

Folgende Institutionen waren bei dem Workshop vertreten: der regionale Energieversorger und Netzbetreiber Badenova, die Geschäftsführer der beiden großen Freiburger Heizkraftwerke (des Wärmeverbundkraftwerkes und des Heizkraftwerkes des Uni-Klinikums), das Ingenieurbüro solares bauen, das Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme, die Stadt Freiburg mit Vertretern des Umweltschutzamtes, die Energieagentur Regio Freiburg sowie das Öko-Institut.

Die Diskussionen der genannten Themen gestalteten sich teilweise kontrovers, wenn auch insgesamt eine konstruktive Stimmung vorherrschte.

Folgende Themen wurden u.a. diskutiert und dabei teilweise Ergebnisse erzielt:

- Wie sind die Biomasse-Potenziale für die Region und deutschlandweit, wo müssen Bilanzgrenzen gezogen werden?
- Die verschiedenen Investitionszyklen der relevanten Infrastrukturen müssen bei Betrachtungen künftiger Entwicklungen berücksichtigt werden.

- Welche Rolle wird Strom in der klimaneutralen Kommune und auf dem Weg dahin für die Raumwärmebereitstellung spielen?
- Einigkeit herrschte darüber, dass die Anschlussbereitschaft an Wärmenetze erhöht werden muss.
- Bei der Substitution gasförmiger durch feste Brennstoffe gibt es technische Restriktionen, die beachtet werden müssen.
- Die Zukunft der KWK-Technologie bis zum Jahr 2050 ist unsicher – sie hängt davon ab, ob im Stromnetz nahezu 100% Erneuerbarer Strom verfügbar ist und ob KWK mit regenerativen Energieträgern durchgeführt werden kann.
- Gibt es Synergieeffekte durch einen Fernwärmeverbund zwischen Wärmeverbundkraftwerk und Heizkraftwerk des Uni-Klinikums? Hierzu herrschten unterschiedliche Ansichten.
- Im Wärmeverbundkraftwerk bestehen derzeit ungenutzte Wärmepotentiale. Die Geschäftsführung des Wärmeverbundkraftwerks hat Interesse daran, gemeinsam mit der Stadt Möglichkeiten zur Nutzung dieser Wärme zu erarbeiten.
- Der Geschäftsführer des Heizkraftwerkes des Uniklinikums bestätigt, dass auch dort ungenutzte Wärmepotentiale bestehen, die in Zukunft wahrscheinlich in Folge von Effizienzmaßnahmen bei den versorgten Gebäuden zunehmen werden.

Die Ergebnisse des Workshops und die Hinweise der Teilnehmer wurden bei der weiteren Bearbeitung der Studie berücksichtigt.

9.3 Forum Personenverkehr

Im Workshop zum Thema Personenverkehr wurden Thesen zu einem weitgehenden Wandel des Mobilitätsleitbilds diskutiert. Der Schwerpunkt lag dabei nicht nur auf einer Reduzierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen, sondern auch auf einer Aufwertung der (inner-)städtischen Räume durch eine Verkehrsminderung. Die aus dem Projekt heraus entworfenen Visionen werden von allen Teilnehmern im Wesentlichen unterstützt. Auch wenn z.B. die Vorstellungen über konkrete Maßnahmen zur Einschränkung des Autoverkehrs auseinandergingen, so waren doch alle Teilnehmer einig, dass der MIV massiv reduziert werden sollte.

Im Verlauf des Workshops wurden eine Vision bis zum Jahr 2020 und eine weitere Vision bis zum Jahr 2050 entworfen und Schritte hin zur Realisierung dieser Visionen diskutiert.

An dem Workshop waren folgende Institutionen beteiligt: Allgemeiner Deutscher Fahrrad Club (ADFC), Verkehrsclub Deutschland, Stadtmobil Südbaden AG, Breisgau S-Bahn GmbH, Zweckverband Regio Nahverkehr Freiburg (ZRF), Freiburger Verkehrs AG (VAG), ADAC, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, die Stadt Freiburg mit Vertretern des Umweltschutzamtes und des Garten- und Tiefbauamtes, das Öko-Institut und die Energieagentur Regio Freiburg. Damit waren Vertreter des Fahrradverkehrs, des ÖPNV, des Automobilverkehrs, der städtischen Verwaltung und aus der Forschung anwesend.

Vision 2020

Die Vision für das Jahr 2020 wurde von den Workshop-Teilnehmern wie folgt beschrieben:

- Die bestehenden Verkehrssysteme sind besser vernetzt, dazu gehören
 - Die Optimierung von Umsteigepunkten
 - Die bessere (auch geografische) Vernetzung und Arbeitsteilung verschiedener Verkehrsträger
 - eine grenzüberschreitende Planung mit Frankreich
 - die Vernetzung der Informations- und Beratungsmöglichkeiten der verschiedenen Verkehrsunternehmen
- Die Information zu den Angeboten der Verkehrsunternehmen wurde verbessert, dazu gehört:
 - Eine virtuelle Mobilitätsberatung, die immer und überall (von verschiedenen Medien/Endgeräten aus) erreichbar ist
 - Ein Angebot an professioneller, moderner Mobilitätsberatung
 - Weitere Verbesserungen der Informationen über bestehende Angebote
- Das Angebot des ÖPNV wurde verbessert, Restriktionen beim MIV umgesetzt und dadurch Räume zur Innenstadtentwicklung freigemacht:
 - Die Kapazität und Taktfrequenzen im ÖPNV wurden erhöht, im Umland wurde die Taktfrequenz von Bus und Bahn sogar verdoppelt .
 - Die Fahrradmitnahme wurde erleichtert.
 - Es gibt attraktive grenzübergreifende Tarife nach Frankreich.
 - Es wurden mehr autofreie Quartiere eingerichtet.
 - Die Zahl der Parkplätze in der Innenstadt wurde um 50% reduziert.
 - Es wurden weitere Tempo 30-Zonen im gesamten Stadtgebiet ausgewiesen.
- Radverkehr und CarSharing wurden gefördert und ausgebaut:
 - Schnell-Radwege wurden eingerichtet (z.T. auf stillgelegten Straßen, die heute vom MIV genutzt werden), u.a. eine kreuzungsfreie Nord-Süd-Trasse
 - Das Radwegekonzept wurde umgesetzt, das Radwegenetz generell ausgebaut, es gibt Fahrrad-orientierte Ampelschaltungen, generell Vorfahrt für das Rad in der Stadt
 - Pedelecs wurden gefördert
 - CarSharing Stellplätze im öffentlichen Raum wurden eingerichtet und CarSharing Stationen an ÖPNV Haltestellen

Die Vision für das Jahr 2050 geht noch weiter. Sie beschreibt die Straße als Lebensraum und nicht mehr als Verkehrsader, mit einer erhöhten Aufenthaltsqualität in Wohnstraßen, auch auf Grund von verschärften Tempolimits. Die Anzahl der PKW hat generell stark abgenommen, 70% aller Haushalte sind ohne eigenes Auto und nutzen stattdessen die Angebote

eines umfassenden Mobilitätssystems. Der verbliebene Individualverkehr ist rein elektrisch betrieben; Elektro-Fahrräder und Elektro-Motorroller sind weit verbreitet.

Im weiteren Verlauf des Workshops wurden Ideen zur Realisierung dieser Visionen gesammelt:

- die vorhandene Mobilitätszentrale "mobile" sollte professionalisiert werden und zu einer Verkehrsagentur mit anteilig städtischer und privatwirtschaftlicher Finanzierung ausgebaut werden;
- die Verkehrserziehung sollte in den Schulunterricht aufgenommen werden;
- es sollte ein jährlicher Innovationspreis für Unternehmen mit vorbildlichen Mobilitätslösungen vergeben werden; und
- ein „ÖV-Förderungsgesetz“ nach dem Vorbild des Erneuerbare Energien Gesetz sollte geschaffen werden.

Einige dieser Ideen wurden in die Handlungsempfehlungen im nachfolgenden Kapitel 9 übernommen.

10 Handlungsempfehlungen an die Stadt Freiburg

Als Ergebnis der vorliegenden Studie, inklusive der durchgeführten Stakeholder-Foren, werden die folgenden Handlungsempfehlungen an die Stadt gegeben. Die Empfehlungen konzentrieren sich auf einen von heute aus überschaubaren Zeithorizont, haben zum Teil aber auch langfristige Implikationen und sind als „robuste Pfade“ im Hinblick auf das langfristige Ziel der Klimaneutralität zu verstehen. Darüber hinaus behalten die konkreten Maßnahmevorschläge, welche im Rahmen der Klimaschutz-Strategie 2007 erarbeitet wurden, ihre Gültigkeit (sofern sie nicht bereits abschließend umgesetzt wurden). Eine wichtige Handlungsempfehlung ist es demnach, weiterhin an der Umsetzung dieser Maßnahmen zu arbeiten.

10.1 Handlungsempfehlungen zum Sektor Haushalte-Raumwärme

In den vorhergehenden Kapiteln wurde beschrieben, welche weitgehenden Herausforderungen im Sektor Haushalte-Raumwärme bewältigt werden müssen, um das Ziel der Klimaneutralität bis zum Jahr 2050 erreichen zu können. Die nachfolgenden Empfehlungen unterstützen diese Zielerreichung:

- Auf einen Sanierungszyklus beschränken
Es soll angestrebt werden, bis zum Jahr 2050 nur einen Sanierungszyklus pro Gebäude durchzuführen. Das bedeutet, dass die Gebäude, wenn sie saniert werden, gleich in der entsprechenden Sanierungstiefe saniert werden müssen. Andernfalls würde sich bis 2050 die Notwendigkeit eines zweiten Sanierungszyklus ergeben, was zu höheren Gesamtkosten führt.

Allerdings sind die städtischen Einflussmöglichkeiten auf die Sanierungstätigkeit privater Wohnungs- bzw. Gebäudebesitzer begrenzt bzw. fehlen sie gänzlich. Insbe-

sondere die in der Stadt zahlreichen Wohnungseigentümergeinschaften stellen ein schwieriges Klientel für die Realisierung einer energetischen Sanierung dar.

- Sanierungsziele vorgeben und Einhaltung überprüfen

Bei allen Sanierungen im Bestand soll ab 2012 bis 2020 durchschnittlich das 3-Liter-Haus erreicht werden (30 kWh/m² Heizenergieverbrauch), ab 2020 ist das Ziel der Passiv- bzw. Nullenergiehausstandard. Die in der Szenariorechnung vorgegebenen Sanierungsziele wurden pauschal für alle Gebäudetypen vorgegeben. Für diese Sanierungsziele sollte eine Differenzierung nach Gebäudetypen entwickelt werden und diese Ziele sollten durch ein geeignetes Bündel von Maßnahmen realisiert werden (vgl. hierzu im Folgenden). Die Einhaltung der vorgegebenen Sanierungsstandards muss konsequent kontrolliert werden (denkbar wären einerseits städtische Kontrollen oder externe Prüfsachverständige).

- Instrument des Ersatzneubaus einsetzen

Der Energiebedarf über den Lebenszyklus von neugebauten Passivhäusern ist erheblich geringer als im sanierten Bestand. Höhere Aufwendungen an grauer Energie bei Abbruch, Erstellung und Bau lassen sich amortisieren. Bezüglich der Stoffflüsse der Abfälle beim Abbruch muss jedoch auf eine möglichst hohe Recycling- und Wiederverwendungsrate geachtet werden (Econcept, 2004). Auf Quartiersebene sollte geprüft werden, wo ein Ersatzneubau einer energetischen Sanierung des Gebäudebestandes vorzuziehen ist. Bis 2015 sollte eine flächendeckende Strategie für Sanierungen vs. Ersatzneubau erstellt werden. In den für Ersatzneubau vorgesehenen Quartieren sollten dann keine Sanierungen mehr durchgeführt werden.

- Koordination von Sanierungswellen

Es sollte angestrebt werden, „stadtteilspezifische Sanierungswellen“ zu koordinieren, um möglicherweise Kostenvorteile für die Sanierung zu generieren, aber auch um die sich ändernden Anforderungen an die Energieversorgung im Zuge der Sanierung optimal berücksichtigen zu können bzw. neue Energieversorgungskonzepte zeitnah zur Sanierung umsetzen zu können.

- Bei Sanierungsförderung weg von der Gießkanne

Passend zum Konzept der Sanierungswellen sollten kommunale Fördermittel für Gebäudesanierung stärker fokussiert eingesetzt werden, z.B. auf einen Stadtteil, dessen Sanierung aktuell realisiert werden soll, oder auf bestimmte Gebäudetypen. Bedingung für eine Förderung von Sanierungen muss eine große Sanierungstiefe sein. Das Förderbudget sollte entsprechend diesen Anforderungen stark erhöht werden.

Ein kommunales Förderprogramm mit Schwerpunkt Sanierung der Heizung wird nicht empfohlen. Eine Heizungserneuerung birgt beachtliches kurzfristiges CO₂-Einsparpotential. Jedoch sollte eine neue Heizungsanlage möglichst an den reduzierten Energiebedarf des sanierten Gebäudes angepasst werden. Bei einer Dimensionierung der Anlage für den Heizenergiebedarf im unsanierten Zustand besteht die Gefahr, langfristig Hemmnisse für eine Gebäudesanierung und damit für eine Redu-

zierung des Endenergieverbrauchs, die letztendlich notwendig ist für die Erreichung der klimapolitischen Ziele, aufzubauen.

- **Vorbildwirkung kommunaler Gebäude erweitern**
Die konsequente Umsetzung der Sanierungsstrategie für kommunale Gebäude soll fortgesetzt werden (Vorbildwirkung kommunaler Gebäude).
- **Verwaltungskonzentration in Passivhausneubau**
Die Verwaltungskonzentration in einem Passivhausneubau am Standort Technisches Rathaus wird aus energetischer Sicht befürwortet. Nach einem Umzug der Verwaltung an den neuen Standort sollten die dann nicht mehr von der Stadt genutzten Gebäude nicht ohne Sanierung weitermietet oder verkauft werden.
- **Sanierung von Landesliegenschaften einfordern**
Mit den entsprechenden zuständigen Stellen des Landes Baden-Württemberg sollten Vereinbarungen zur Minderung der Treibhausgasemissionen in den Landesliegenschaften in Freiburg getroffen werden (CO₂-Zielpfade). Auf Landesseite sollten Strukturen und Finanzierung so geändert werden, dass sich Energieeinsparung für die beteiligten Akteure lohnt. Aufgrund der aktuellen Konstellation der Landesregierung bestehen für diese Initiative relativ gute Voraussetzungen.
- **Sozialkonzept für Sanierungen**
An die Bundesebene soll die Forderung herangetragen werden, im Rahmen eines bundesweiten Sanierungsfahrplans ein Sozial- und Finanzierungskonzept zu erstellen. Dieses Konzept soll Wege aufzeigen, die Auswirkungen umfassender Wohngebäudesanierungen (und der damit einhergehenden Mieterhöhungen) auf einkommensschwache Mieter zu mildern.
- **Entwicklung eines Finanzierungsinstrumentes gemeinsam mit der Sparkasse**
Mit der Sparkasse Freiburg, die in den Stakeholder-Foren ausdrücklich ihre Bereitschaft zur Zusammenarbeit mit der Stadt erklärt hat, soll ein gemeinsames Projekt entwickelt werden, um die Finanzierung von Sanierungsmaßnahmen attraktiver zu gestalten.

10.2 Handlungsempfehlungen zum Sektor Energieinfrastruktur

Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass die Ziele der klimaneutralen Stadt nur dann zu erreichen sind, wenn neben allen Anstrengungen zur massiven Verbesserung der Energieeffizienz (weitgehend) emissionsfreie Energieträger eingeführt werden, die bis zum Jahr 2050 den ganz überwiegenden Teil des verbliebenen Energiebedarfs decken müssen. Das heißt für den Gebäudebereich, aber auch für industrielle und gewerbliche Wärme- und Kältenutzungen, dass eine (nahezu) vollständige Umstellung auf Erneuerbare Energien erfolgen muss. Eine wichtige Determinante hierbei ist, dass die Stromerzeugung in Freiburg und auch bundesweit ebenfalls fast vollständig auf Erneuerbare Energien umgestellt wird, so dass Strom in den Fällen, wo dies im Vergleich zu den Alternativen sinnvoll ist, verstärkt eingesetzt werden kann.

Detaillierte Vorhersagen des Standes der Entwicklungen bei den Technologien zur Energieumwandlung und bei Leitungssystemen sowie der Entwicklung der einzelnen Märkte für Erneuerbare Energieträger bis zum Jahr 2050 sind heute offensichtlich weder machbar noch sinnvoll. Die Auswertung aktueller Forschungsergebnisse und –analysen sowie die derzeitigen thematischen Schwerpunkte von Forschungsverbänden und –verbänden ermöglichen jedoch qualitative Aussagen zu möglicherweise im Jahr 2050 zur Verfügung stehenden Technologien.

10.2.1 Raumwärmeversorgung allgemein

Zur zukunftsfähigen Gestaltung der Raumwärmeversorgung sollte, basierend auf dem 2010/2011 erstellten Wärmekataster und den Ergebnissen dieser Studie, für jeden Stadtteil bzw. für jede Siedlungsstruktur die nach den Gebäudesanierungen zu erwartenden Wärmedichten quantifiziert und unter Berücksichtigung der vorhandenen Potenziale die effizienteste Wärme- und Energieversorgung mit Erneuerbaren Energien bestimmt werden. Dabei ist die Zielsetzung der Klimaneutralität zu beachten. . Zu prüfen wäre, ob das aktuell erarbeitete Wärmekataster hierzu in ein szenariofähiges Instrument zur räumlich aufgelösten Planung der städtischen Energieversorgung überführt werden kann.

10.2.2 Entwicklung der Fernwärme

Die Zukunft der Fernwärme in der klimaneutralen Stadt ist eine der wichtigsten Fragen für die Entwicklung von Strategien für die zukünftige Energieversorgung. Dies liegt darin begründet, dass die Fernwärmeinfrastruktur zum einen eine sehr langlebige, und zum anderen eine recht kostenintensive Infrastruktur ist. In dieser Studie werden unter dem Begriff der Fernwärme auch Nahwärmenetze und die Bereitstellung von Prozesswärme aus dem Wärmeverbundkraftwerk zusammengefasst.

Als Prämisse für die weitere Entwicklung der Fernwärme muss gelten, dass die erzeugte Wärme bis zum Jahr 2050 vollständig aus Erneuerbaren Energien stammen muss. Die im Rahmen dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse führen zu dem Schluss, dass unter dieser Prämisse der Erhalt und der Ausbau einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung in bestimmten Siedlungsstrukturen die effizienteste Möglichkeit der Gebäudewärmeversorgung mit Erneuerbaren Energien sein kann. Dies trifft auf Strukturen mit folgenden Eigenschaften zu:

- hohe Bebauungsdichte mit mehrstöckigen Gebäuden,
- die Sanierbarkeit der Gebäude ist beschränkt auf Grund von Denkmal- und Fassadenschutz, daher keine Erreichung des Passivhausstandards nach Sanierung möglich,
- daher auch nach Sanierung noch hohe Wärmedichte vorhanden.

In städtischen Strukturen mit diesen Eigenschaften ist eine dezentrale Raumwärmeversorgung mit Erneuerbaren Energien, die die derzeit vorherrschenden Öl- und Gasheizungen ablösen könnten, derzeit nicht absehbar.

Allerdings darf die Eignung einer Siedlungsstruktur für eine Nahwärmeversorgung letztendlich nicht allein unter dem Gesichtspunkt der Wärmedichte gesehen werden. Innovative, der-

zeit in der Entwicklung befindliche sogenannte „Kalte Nahwärmenetze“ können z.B. auch in (Neubau-)Gebieten mit Gebäuden im Niedrigenergiehausstandard wirtschaftlich sein.

Mit der Studie „Untersuchung zu Kooperationsmöglichkeiten in der Freiburger Fernwärmewirtschaft“ vom November 2004 liegt eine ingenieurwissenschaftliche Betrachtung verschiedener Fernwärmeverbünde in Freiburg vor (Eproplan 2004).

Zentrale Ergebnisse dieser Studie sind:

- Die Fernwärmegebiete der Badenova in Landwasser, Weingarten, Rieselfeld und Vauban sollten als abgeschlossene Versorgungsgebiete weiter betrieben werden. An allen Standorten bestehen Potentiale, eventuelle Neubauvorhaben in die Wärmeversorgung einzubinden.
- Synergieeffekte könnten sich bei einer Kooperation der Fernwärmeversorgung der Innenstadt durch die Heizzentrale der Badenova im Stadttheater und das Dampfnetz des Uni-Heizkraftwerkes ergeben. Beide Netze verlaufen teilweise parallel. Eine Kooperation könnte technisch durch eine Wärmeübergabe aus dem Uniklinik-Dampfnetz an das Fernwärmenetz der Badenova erfolgen.
- Synergieeffekte könnten sich außerdem bei einem Wärmeverbund Uniklinikum-Wärmeverbundkraftwerk ergeben. Allerdings stehen den möglichen Vorteilen hier zahlreiche Nachteile gegenüber.

Ergebnisse dieser Studie sollten in ein künftiges Energieversorgungskonzept einfließen.

Folgende konkrete Handlungsempfehlungen können zur Entwicklung der Fernwärme gegeben werden:

- Die vorhandene Fernwärmeversorgung sollte optimiert und ausgebaut werden. Dabei hat der Anschluss weiterer Abnehmer an die vorhandenen Netze Vorrang, so dass die bestehenden Potenziale zur Wärmeerzeugung auch mittel- und langfristig gut ausgenutzt werden.
- Insbesondere beim Fernwärme-Dampfnetz des Uniklinikums sollte der Anschlussgrad erhöht werden. Dieses Netz sollte außerdem im Bereich der Innenstadt ausgebaut werden. Schon heute sind hier ungenutzte Wärmepotentiale vorhanden, die erschlossen werden sollten. Grundsätzliche Voraussetzung ist jedoch, dass im zugehörigen Heizkraftwerk der Uni-Klinik (UHKW) die Verfeuerung von Steinkohle möglichst bald eingestellt wird. Vertraglich wurde zwischen UHKW und badenova im August 2011 vereinbart, dass dies bis 2016 erfolgen soll. Beim Ersatz von Kohle sollte biogenen Energieträgern unbedingt Vorrang eingeräumt werden. Mit wachsenden Effizienzgewinnen in den Gebäuden des Landes Baden-Württemberg (einschließlich Klinikum und Universität), die derzeit über dieses Netz vorrangig mit Wärme versorgt werden, stehen weitere Wärmemengen zur Verfügung. Das Netz verläuft bereits in der westlichen Innenstadt und an deren nördlichem Rand, so dass angrenzende Gebiete voraussichtlich mit relativ geringem Aufwand erschlossen werden können. Vom Eigentümer des Netzes sollte zuvor eine Untersuchung zum baulichen und technischen Zustand des Netzes vorgelegt werden, um hier ggf. Verbesserungen anzustoßen.

- Das Wärmeverbundkraftwerk Freiburg GmbH sollte prüfen und entsprechende Initiativen am Markt entwickeln, ob und wie die bestehenden Wärmepotentiale dieses Kraftwerks am effizientesten zur Bereitstellung von Raumwärme oder Kälte genutzt werden können. Vertreter der Wärmeverbundkraftwerk Freiburg GmbH haben ihre Bereitschaft bzw. ihr Interesse an einem solchen Projekt im Rahmen des durchgeführten Stakeholder-Forums erklärt. Badenova und Stadt sollten dies in geeigneter Weise unterstützen und begleiten.
- Die Errichtung eines Wärmeverbundes zwischen Uniklinikum und Wärmeverbundkraftwerk sollte den Entscheidungen der handelnden Unternehmen überlassen bleiben. Hohen Investitionskosten stehen vermutlich nur relativ überschaubare Effizienzgewinne gegenüber (Eproplan, 2004).
- Die vorhandenen Fernwärmegebiete der Badenova in Landwasser, Weingarten und Rieselfeld sollten so wie bisher fortlaufend saniert und sofern möglich erweitert werden.
- Die Option, eine leitungsgebundene Wärmeversorgung über kleine Nahwärmenetze zu realisieren, sollte bei jedem größeren Sanierungs- oder Neubauvorhaben geprüft werden.
- Spätestens bei anstehenden Ersatzinvestitionen in Kessel im Wärmeverbundkraftwerk und im Heizkraftwerk des Uni-Klinikums soll eine Umstellung auf Biomasse geprüft werden. Hierbei muss jedoch ebenfalls geprüft werden, in welchem Umfang die dann notwendige Biomasselogistik die klimapolitische Zielstellung der Reduzierung des Straßen-Güterverkehrs gefährdet und ob eine ausreichende regionale Biomasseverfügbarkeit gegeben ist.

10.2.3 Dezentrale KWK-Strategie

Der Ausbau der dezentralen, auf Erdgas basierten Kraft-Wärme-Kopplung in Mini-BHKW kann unter bestimmten Bedingungen ein sinnvoller Zwischenschritt auf dem Weg zur Klimaneutralität sein. Dies gilt unter folgenden Bedingungen:

- Mini-KWK darf keine Alternative zur Sanierung oder zum Einsatz Erneuerbarer Energien sein, sie sollte also nur nach Prüfung und möglichst weitgehender Umsetzung dieser beiden Optionen oder zeitlich befristet bis zu einer später sinnvoll erscheinenden Umsetzung eingesetzt werden;
- Geeignet sind daher nur Stadtteile oder Quartiere, für die derzeit keine wirtschaftliche regenerative Technologie zur Wärmeversorgung zur Verfügung steht; und
- (trotz anliegendem Gasnetz) sollten durch Mini-KWK vorrangig Heizungssysteme auf Basis von Heizöl (oder Kohle) abgelöst werden.

Langfristig wäre eine dezentrale, auf gasförmigen Energieträgern basierende KWK-Strategie nur dann sinnvoll, wenn über das Gasnetz ausreichend regenerativ erzeugtes „EE-Methan“ verfügbar wäre. Die Entwicklung dieser Technologien bis zum großtechnischen Maßstab bis zum Jahr 2050 und die Verfügbarkeit eines so erzeugten Gases für den Raumwärmemarkt sind derzeit äußerst unsicher. Zugleich ist der flächendeckende Erhalt von kommunalen

Gasverteilnetzen bei schrumpfender Erdgasabnahme und ohne die Verfügbarkeit von „EE-Methan“ für den Raumwärmemarkt eher unwahrscheinlich.

Eine evtl. Kampagne zum Ausbau von Mini-BHKWs sollte den genannten Kriterien strikt folgen, insbesondere hinsichtlich des Zeithorizontes und der Auswahl der Gebiete. Der Zeithorizont sollte beschränkt werden, geeignete Gebiete sollten auf der Grundlage des Wärmekatasters ausgewählt werden.

10.3 Handlungsempfehlungen Sektor Verkehr

In der Verkehrspolitik hat die Stadt Freiburg schon seit längerem den richtigen Weg eingeschlagen und daher Erfolge bei der Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der THG-Emissionen vorzuweisen. Trotzdem gehört die Erreichung der angestrebten weitergehenden Klimaschutzziele im Sektor Verkehr, wie sie im Kapitel 7.5 beschrieben sind, zu den großen Herausforderungen auf dem Weg der Stadt zur Klimaneutralität.

Folgende Empfehlungen werden als Ergebnis der Studie gegeben:

- Daten-/Mobilitätsenerhebung

Eine profunde Datenbasis ist die Voraussetzung für die Entwicklung tragfähiger und erfolgreicher Konzepte und Maßnahmen für die Erreichung der Klimaschutzziele im Verkehrsbereich. Die Stadt Freiburg sollte daher die Datengrundlage insbesondere in den Bereichen Fuß- und Radverkehr, Motorisierter Individualverkehr und Straßen-Güterverkehr aktualisieren und deutlich verbessern. Hierzu sollte sie eine umfassende Primärdatenerhebung beauftragen. Dabei sollten auch Pendlerströme zwischen Freiburg und seinem Umland sowie Daten zum Mobilitätsverhalten der Touristen umfassend analysiert werden. Im Zuge einer Mobilitätsenerhebung sollen Dauerzählstellen an strategischen Punkten eingerichtet werden. Idealerweise sollte die Mobilitätsenerhebung nicht nur die Stadt Freiburg betrachten, sondern die Stadt zusammen mit der umliegenden Region.

- Radverkehr stärken

Die Stärkung des Radverkehrs ist ein sehr wirksamer Beitrag zum Klimaschutz, da Radverkehr CO₂-frei ist und zudem Nahmobilität fördert. Hier sind mit vergleichsweise geringen Investitionen große Nutzeneffekte zu erwarten. Das derzeitige städtische Investitionsvolumen von ca. 200.000 Euro/Jahr (Stand: 2011) ist zu wenig, um spürbare Verbesserungen im Radverkehrsnetz zu erzielen. Auch im Vergleich zu anderen Städten ist dieses finanzielle Volumen für Investitionen im Radverkehr mit umgerechnet 1 € pro Einwohner und Jahr im Vergleich sehr niedrig.

Auf dem Weg zur klimaneutralen Stadt muss der Verkehrsträger Rad eine essentielle Rolle spielen. Das derzeit in Erstellung befindliche Radverkehrskonzept 2020 ist ein wichtiger Schritt für einen Qualitätssprung im Radverkehrsnetz und wird (idealerweise verbunden mit Marketingmaßnahmen) zu einem Modal-Shift zu Gunsten des Radverkehrs führen. Dazu beitragen werden die im Konzept vorgesehenen Vorrangrouten für den Radverkehr bzw. „Schnellradwege“. In Folge der Zunahme des Radverkehrs ist eine Abnahme von Kfz-Verkehr zu erwarten.

Die Investitionsmittel für die Radverkehrsinfrastruktur sollten deutlich erhöht werden. Eine Betrachtung der durchgeführten Investitionen für ÖPNV-Ausbau und Ausbau des Straßennetzes zeigt, dass auf Freiburger Stadtgebiet in den letzten Jahren Investitionen mit mehrstelligen Millionenbeträgen getätigt wurden. Im Vergleich dazu waren die Investitionen für den Radverkehr marginal. Eine deutliche Erhöhung der Mittel für den Radverkehr ist angesichts des großen und weiter wachsenden Anteils des Radverkehrs verhältnismäßig.

Zur Stärkung des Radverkehrs sollten außerdem weitere unterstützende Maßnahmen initiiert und durchgeführt werden (Stichworte: bessere Kombinierbarkeit des Radverkehrs mit anderen Verkehrsmitteln, bessere Mitnahme von Fahrrädern im ÖPNV, Fahrradstellplätze, Förderung von Pedelecs).

- ÖPNV ausbauen und attraktiver gestalten

Der Ausbau des ÖPNV (Bus, Stadtbahn, S- und Regionalbahn) sollte wie bisher geplant umgesetzt werden. Nach Abschluss der Ausbaumaßnahmen muss fortlaufend der Bedarf an weiteren Ausbaustrecken geprüft werden. In allen ÖPNV-Verkehrsmitteln sollte eine Taktverdichtung vorgenommen werden.

- Erstellung eines Mobilitätskonzeptes

In einer Fortschreibung des zur Zeit gültigen Verkehrsentwicklungsplans 2020 soll der Schwerpunkt auf ein verkehrsträgerübergreifendes Mobilitätskonzept gelegt werden.

In diesem Mobilitätskonzept sollen in einer ganzheitlichen Planung von Klimaschutz, Städtebau und Verkehr die Teilbereiche Fußgängerverkehr, Radverkehr, öffentlicher Personennahverkehr und Autoverkehr in einem ausgewogenen Verhältnis berücksichtigt werden. Zentralen Raum sollten dabei die Wechselbeziehungen zwischen städtebaulicher Struktur und Verkehrsentwicklung sowie den daraus resultierenden Klima- und Umweltauswirkungen einnehmen. Ein besonderer Schwerpunkt sollte auf Konzepten und Maßnahmen für die zukunftsweisende Abwicklung des Güterverkehrs in der Stadt liegen sowie auf der mittel- bis langfristigen Änderung des Mobilitätsverhaltens der Bürger.

- Stadt- und Verkehrsplanung

Das Stadtplanungskonzept der „Stadt der kurzen Wege“ sollte beibehalten und weiter konsequent realisiert werden. Dem nichtmotorisierten Verkehr ist in allen Planungen und Entscheidungen Priorität einzuräumen.

- CarSharing forcieren

CarSharing ist ein wirksames Konzept zur Reduktion der Kfz-Menge und der Verkehrsleistungen im Kfz-Verkehr und somit ein Beitrag zur CO₂-Reduktionen. Es sollten Maßnahmen und Konzepte entwickelt werden, die eine weitere Verbreitung des CarSharing fördern und CarSharing von einer „Nischenanwendung“ in den breiten Markt bringen. Vorgeschlagen wird z.B.:

- die Ausweisung von Car-Sharing Mobilitätsstandorten in den Wohngebieten, um eine leichtere Zugänglichkeit und eine bessere optische Erkennbarkeit im Stadtbild zu erreichen
- eine Integration von CarSharing in gewerbliche Fuhrparke (z.B. auch Stadtverwaltung)
- eine aktivere Vermarktung, auch im Umweltverbund (VAG, RVF)
- die Unterstützung des CarSharings bei dem Einstieg in die Elektromobilität
- die Unterstützung einer aktiveren Akquise von Neukunden (z.B. Gutscheine im Neubürgerpaket u.a.)
- Berufspendlerverkehr thematisieren
Der Berufspendlerverkehr aus dem Umland in die Stadt trägt ganz wesentlich zum Verkehrsaufkommen und zur Verkehrsleistung des MIV und den damit verbundenen Emissionen bei. Hier sollten konkrete Maßnahmen entwickelt und Projekte initiiert werden, diesen Verkehr auf den ÖPNV zu verlagern (vorausgesetzt die Kapazität des ÖPNV wird vorab erhöht) und um die verbleibenden PKW besser auszulasten.
- Strukturen schaffen
Es sollte eine schlagkräftige Organisationsstruktur geschaffen werden, die die Steuerung der Prozesse der Umsetzung des Mobilitätskonzeptes übernehmen kann. Beispielsweise könnte eine der vorhandenen Institutionen des ÖPNV (Regio-Verkehrsverbund Freiburg oder Zweckverband Regio-Nahverkehr) zum Mobilitätsverbund weiterentwickelt werden.
- Darüber hinaus sollten weitere Projekte angeregt und initiiert werden:
 - zur Aufnahme von Mobilitätserziehung in den Unterrichtsstoff
 - zum Mobilitätsmanagement in Unternehmen
 - zum forcierten Einstieg in innovative Antriebskonzepte im MIV und ÖPNV
 - zur Schaffung eines umfassenden, funktionierenden Fahrradverleihsystems
 - zur Schaffung attraktiver Verkehrs-Angebote für die Tourismusregion Freiburg
 - zur besseren Kooperation in der City-Logistik
 - zur Verbesserung der Information über bereits bestehende Angebote.
 - zur Einrichtung einer MobilitätszentraleEine Mobilitätszentrale ist eine Serviceeinrichtung, die
 1. eine auf Multimodalität ausgerichtete kommunale Mobilitätsstrategie (mit-) entwickelt und umsetzt;
 2. den Bürgern einen leicht verständlichen Zugang zu den verschiedenen Verkehrsmöglichkeiten eröffnet und ihnen dabei die Wahl lässt, ob Preis, Komfort, Fahrzeit oder Umweltverträglichkeit die vorrangigen Kriterien bei der Nutzung ihres Mobilitätskontos sind; und

3. die Vernetzung der verschiedenen Verkehrsträger und Mobilitätsdienstleister initiiert und z.B. die Einführung umfassender elektronischer, tragbarer Mobilitätsassistenten unterstützt oder steuert.

Ziel aller Maßnahmen und Aktivitäten muss ein Wandel des Mobilitätsleitbildes sein, hin zu

- einer rationaleren Bewertung von Mobilität und Verkehrsmitteln, die zu einem deutlich flexibleren Verkehrsmittelwahlverhalten führt;
- einer nur noch durch den Nutzen bestimmten Entscheidung zum PKW-Kauf (PKW dienen nicht mehr als Statussymbol, es gibt einen Trend hin zu kleineren, leichteren und leistungsärmeren PKW); und
- einem Leitmotiv „Nutzen statt Besitzen“, das zu einem Rückgang der PKW-Zahlen führt.

11 Projektbeschreibungen für die Umsetzungsphase

Resultierend aus den Ergebnissen der Studie wurden vier Vorschläge für Projekte entwickelt, die dem Land Baden-Württemberg für eine Folgefinanzierung von Umsetzungsmaßnahmen vorgeschlagen werden sollen. Eventuell erfolgt eine Vorabstimmung, ob alle oder nur ein oder zwei ausgewählte Projekte vorgeschlagen werden, vorab durch die Fachverwaltung. Es handelt sich um folgende Maßnahmen:

- Vorschlag 1: Initiierung eines energetischen Vorbild-Wohnquartiers im Bestand
- Vorschlag 2: Erschließung eines Absatzmarkts für ungenutzte Wärmepotenziale aus dem WVK Rhodia
- Vorschlag 3a: Initiative „Radverkehr Freiburg 2.0“
- Vorschlag 3b: Innovatives Mobilitätsmanagement.

11.1 Projektvorschlag „Initiierung eines energetischen Vorbild-Wohnquartiers im Bestand“

11.1.1 Problemstellung

Der Sektor Raumwärmebereitstellung der Haushalte verursacht etwa ein Fünftel des Endenergieverbrauchs der Stadt Freiburg und einen etwa ebenso großen Anteil an den Treibhausgasemissionen. Gleichzeitig weist der Wohngebäudebestand durch Gebäudesanierungen und Umstellung auf effiziente, möglichst auf erneuerbaren Energieträgern basierenden, Heizungstechnologien, ein großes Treibhausgasminderungspotential auf. Um das langfristige Ziel der Klimaneutralität erreichen zu können, muss dieses Potential gehoben werden.

Zur deutlichen Reduzierung des Endenergieverbrauchs ist eine massive Erhöhung der Gebäudesanierungsaktivitäten erforderlich, sowohl eine Steigerung der Sanierungsrate als auch der Sanierungstiefe. Zahlreiche Hemmnisse, von der fehlenden Wirtschaftlichkeit von umfassenden Gebäudesanierungen, bis hin zu den schwierigen Eigentumsverhältnissen von Gebäuden (z.B. Wohnungseigentümergeinschaften) und dem fehlenden Interesse der Ei-

gentümer, stehen einer Erhöhung der Sanierungsaktivität entgegen. Parallel zur Gebäudesanierung muss, entsprechend der sinkenden Heizwärmebedarfe, die Bereitstellung des Restwärmebedarfs neu gestaltet werden. Hier gibt es die Chance, bzw. die Notwendigkeit, auf Quartiersebene effiziente Lösungen zu installieren, z.B. durch die Optimierung und/oder Erweiterung bestehender Nahwärmesysteme.

11.1.2 Inhalt des Projektes

Das Projekt stellt sich das Ziel, im Freiburger Stadtgebiet ein ausgewähltes Wohnquartier als energetisches Modellquartier zu entwickeln bzw. diese Entwicklung anzustoßen. Vorbild sind die bestehenden „Vorbild-Quartiere“ im Neubau, Vauban und Rieselfeld. Es soll an einem Bestands-Stadtteil gezeigt werden, dass Energiebedarf und Energieversorgung auch in gewachsenen urbanen Räumen klimagerecht gestaltet werden können. Die Auswahl des Quartiers erfolgt auf der Grundlage des Wärmekatasters nach der Abwägung verschiedener Kriterien wie zum Beispiel Eignung der Gebäude- und Energieinfrastruktur und Engagement der lokalen Gruppen.

Folgende Projektinhalte sollen umgesetzt werden:

- Entwicklung von Methoden zur Anbahnung koordinierter Sanierungsvorhaben mit verschiedenen Eigentümern
- Organisation der Sanierungen mit großer Sanierungstiefe
- Entwicklung neuer Finanzierungsinstrumente speziell für die weitgehende Sanierung im Gebäudebestand
- Optimierung der vorhandenen Nahwärmenetze
- Sichtbar machen der Maßnahmen und der Erfolge des Projekts

Die Aktionen und Maßnahmen sollen auf das gesamte Stadtgebiet sowie darüber hinaus ausstrahlen.

11.1.3 Kostenschätzung

Eine detaillierte, realistische Kostenschätzung kann erst nach detaillierter Ausarbeitung der Projektinhalte und -maßnahmen vorgenommen werden. Auf Grund der enormen Anstrengungen, die die vorbildhafte energetische Transformation eines ganzen Wohnquartieres bedeutet, kann das Projekt voraussichtlich jedoch nur den Startschuss für eine entsprechende Entwicklung darstellen. Letztendlich können, je mehr Projektmittel zur Verfügung stehen, umso mehr Maßnahmen umgesetzt werden.

11.2 Projektvorschlag „Erschließung eines Absatzmarkts für ungenutzte Wärmepotenziale aus dem WVK Rhodia“

11.2.1 Problemstellung

Das Wärmeverbundkraftwerk (WVK) der WVK Freiburg GmbH deckt den Energiebedarf der Rhodia Acetow und 40% des Freiburger Strombedarfs mit modernster Kraftwerkstechnik. Ein modernes GuD-Kraftwerk auf Erdgasbasis erzeugt jährlich etwa 400 GWh Strom und 566 GWh Wärme. Die Wärme wird als Hochtemperatur-Prozesswärme erzeugt und genutzt,

die entstehende Abwärme zu einem großen Teil bisher nicht verwertet, sondern unter Einsatz von Energie abgeführt.

Die Nutzung industrieller Abwärme stellt Deutschland-weit ein riesiges, bisher ungenutztes energetisches Potential dar. Zwei Drittel des industriellen Energiebedarfs werden für die Bereitstellung von Prozesswärme verwendet, die Abwärme in der Regel jedoch nicht oder nur unvollständig genutzt. Die Gründe dafür sind vielfältig, einen großen Anteil hat die fehlende Bereitschaft der Unternehmen, Zeit und finanzielle Mittel für eine Optimierung der Abwärmeeinnutzung aufzuwenden, da die wirtschaftlichen Vorteile noch nicht groß genug sind. Im Interesse des Klimaschutzes ist jedoch die Erschließung dieses Wärmepotentials (deutschlandweit) essentiell. Die Herausforderungen sind hier in den Themenfeldern Umwandlung, Transformierung, Speicherung und Transport von Wärme zu sehen.

11.2.2 Inhalt des Projektes

Für die Erschließung eines Absatzmarktes für das ungenutzte Wärmepotential des WVK bedarf es in erster Linie eines „Maklers“ zwischen Erzeuger und potenziellem Abnehmer der Wärme. Es ist eine gewerbliche Wärmenutzung außerhalb der Fabrik anzustreben, bei der die Versorgungssicherheit aller Parteien jederzeit gewährleistet sein muss. Folgende Projekteinhalte sollen umgesetzt werden:

- Installierung eines „Maklers“ zur Erschließung der Wärmepotenziale
- Bearbeitung gemeinsam mit dem WVK Rhodia
- Identifikation geeigneter Wärmeabnehmer auf Grundlage des Wärmekatasters
- Untersuchung der Möglichkeiten zur Erweiterung des bestehenden Wärmenetzes bzw. des Neubaus eines Wärmenetzes
- Entwicklung geeigneter Vermarktungsstrategien in Kooperation mit badenova
- Einbezug der potenziellen Kunden in die Planungen

Mit diesem Projekt besteht die Möglichkeit, ein bundesweit vorbildhaftes Pilotprojekt für die industrielle Abwärmeeinnutzung, in Kooperation mit dem Unternehmen und ggf. dem regionalen Energieversorger umzusetzen.

11.2.3 Kostenschätzung

Eine detaillierte, realistische Kostenschätzung kann erst nach detaillierter Ausarbeitung der Projekteinhalte und -maßnahmen vorgenommen werden.

11.3 Projektvorschlag „Initiative „Radverkehr Freiburg 2.0“

11.3.1 Problemstellung

In der Fachwelt und in Teilen der Freiburger Öffentlichkeit wird dem Radverkehr zwar einiges an Aufmerksamkeit zugesprochen, im politischen Entscheidungsprozess fehlt es jedoch an der notwendigen Unterstützung für einen über das bisherige Maß hinausgehenden Qualitätssprung in der Radinfrastruktur.

Der Radverkehr spielt neben dem Öffentlichen Personen Nahverkehr (ÖPNV) und dem Fußverkehr die zentrale Rolle zur CO₂-Reduktion im Verkehr. In dem durchgeführten Stakeholder-Forum wurde eingeschätzt, dass das Ansehen des Verkehrsträgers Rad in der Stadt Freiburg derzeit dringend verbessert werden muss. Dies zeigen unter anderem kommunalpolitische Entscheidungen in den letzten Jahren zur Bereitstellung von Finanzmitteln für den Radverkehr. Diese liegen um Größenordnungen unterhalb der Finanzmittel für Kfz-Verkehr und ÖPNV. Auch im Vergleich zu vielen anderen (insbesondere Fahrrad-)Städten befinden die Bemühungen um den Radverkehr in der Stadt Freiburg auf einem eher niedrigen Niveau. Eine Aufwertung des Verkehrsträgers Rad sowohl in der öffentlichen Meinung als auch in der Wahrnehmung kommunalpolitischer Entscheidungsträger ist dringend geboten.

11.3.2 Inhalt des Projektes

Zielstellung des Projektes ist die Aufwertung des Radverkehrs in der Stadt und damit letztendlich die Unterstützung des Modal Shifts hin zum Radverkehr. Folgende Projektinhalte sollen umgesetzt werden:

- Konzeption für ein Impulsprogramm zur qualitativen Weiterentwicklung des Radverkehrs bis zum Jahr 2020
 - Basierend auf der durchzuführenden Evaluation der CO₂-Einsparungen von ausgewählten Maßnahmen für den Radverkehr
 - Adressierung u.a. auch der Pendlerverkehre (5 bis 15 km)
 - Entwicklung zielorientierter Maßnahmen für 30% Radverkehr im Modal Split bis 2020
- Marketingkampagne „Radverkehr Freiburg 2.0“, bestehend aus z.B.
 - Der Etablierung eines „Fahrrad-Sonntages“ in der Freiburger Innenstadt
 - Der besseren Verbreitung der bereits bestehenden Angebote für Radfahrer
 - Der Schaffung neuer Service- und Informationsangebote für Radfahrer

11.3.3 Kostenschätzung

Eine detaillierte, realistische Kostenschätzung kann erst nach detaillierter Ausarbeitung der Projektinhalte und -maßnahmen vorgenommen werden.

11.4 Projektvorschlag „Innovatives Mobilitätsmanagement“

11.4.1 Problemstellung

Ein Modal Shift vom Motorisierten Individualverkehr hin zu Rad-, Fuß- und ÖPN-Verkehr ist essentielle Voraussetzung zur nachhaltigen Verringerung der Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors sowie zur Aufwertung städtischer Räume durch Minderung des Verkehrsaufkommens. Ein solcher Modal Shift kann und muss durch verschiedene Maßnahmen gefördert und unterstützt werden. Diese Maßnahmen werden durch ein „innovatives Mobilitätsmanagement“ gebündelt. Voraussetzung ist die gleichberechtigte Betrachtung der Teilbereiche in einer ganzheitlichen Planung von Städtebau, Verkehr und Umwelt.

Das Mobilitätsmanagement sollte im räumlichen Bezug sinnvollerweise über das Stadtgebiet hinausführen, und stellt damit eine Aufgabe dar, die über die Zuständigkeit der Stadtverwaltung hinausgeht. Die Stadtverwaltung wäre nur ein Akteur, Federführung müsste bei einer regional zuständigen Eben liegen. Das Herausarbeiten der regionalen Zuständigkeit wäre als ein eigenständig zu sehendes Arbeitspaket im Rahmen des Projekts.

11.4.2 Inhalt des Projektes

Zielstellung ist die Verringerung der Verkehrsleistung des Motorisierten Individualverkehrs zu Gunsten des Rad-, Fuß- und ÖPN-Verkehrs durch verschiedene Maßnahmen. Folgende Inhalte sollen in dem Projekt bearbeitet werden:

- Fortschreibung des gültigen Verkehrsentwicklungsplans 2020, Schwerpunkt: verkehrsträgerübergreifendes Mobilitätskonzept mit Berücksichtigung einer ganzheitlichen Planung von Klimaschutz, Städtebau und Verkehr
- Herausarbeitung der Zuständigkeitsstrukturen für ein langfristiges regionales Verkehrsmanagement (z.B. Regio Verbund wird zum Mobilitäts-Dienstleister, Zweckverband wird zum Mobilitätsverband, o.ä.)
- Schaffung der Voraussetzungen für eine bessere Verknüpfung von Fußgängerverkehr, Radverkehr, Öffentlicher Personen Nahverkehr und Autoverkehr (CarSharing ausbauen, Einführung einer „Mobilitätskarte“, Einrichtung einer Mobilitätszentrale u.a.)
- Untersuchung der Wechselbeziehungen zwischen städtebaulicher Struktur und Verkehrsentwicklung sowie den daraus resultierenden Klima- und Umweltauswirkungen

11.4.3 Kostenschätzung

Eine detaillierte, realistische Kostenschätzung kann erst nach detaillierter Ausarbeitung der Projekthinhalte und -maßnahmen vorgenommen werden.

12 Referenzen

Baden-Württemberg (2010): Generalverkehrsplan, im Internet abrufbar unter www.mvi.baden-wuerttemberg.de

Baden-Württemberg (2011): Klimaschutzkonzept 2020PLUS Baden-Württemberg

Bundesnetzagentur (2011): Jahresbericht 2010

Bundesregierung (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, abrufbar unter <http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Energiekonzept/energiekonzept.html>

BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und SPD Baden-Württemberg (2011): Koalitionsvertrag, im Internet abrufbar unter www.gruene-bw.de

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) (2003): Jetzt zugreifen. Die Wohnwertförderung der Bundesregierung

DBU (2011): Energieeffizienz mit städtebaulicher Breitenwirkung – Technische und wirtschaftliche Voraussetzungen für flächenhafte Umsetzung von energetisch hochwertigen Modernisierungen in zusammenhängenden Wohnquartieren, Abschlussbericht zum Forschungsprojekt AZ 26422 – 25

Dena (2010): Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand. Begleitforschung zum dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“ dena-Sanierungsstudie, Teil 1

DESTATIS (2010): Bevölkerung und Erwerbstätigkeit - Bevölkerung in den Bundesländern, dem früheren Bundesgebiet und den neuen Ländern bis 2060, Ergebnisse der 12. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung

Econcept AG (2004): Neubauen statt Sanieren, abrufbar unter: www.fhnw.ch/habg/jebau/afue/gruppe-bau/neu-bauen-statt-sanieren

Empirica GmbH (2010): Wirtschaftlichkeit energetischer Sanierung im Berliner Mietwohnbestand“, in Zusammenarbeit mit LUWOGÉ Consult GmbH im Auftrag der Investitionsbank Berlin

Eproplan (2004): Untersuchung zu Kooperationsmöglichkeiten in der Freiburger Fernwärmewirtschaft, unveröffentlicht

Europäische Kommission (2011): Weißbuch - Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT) (2001): Leitfaden Nahwärme, im Internet abrufbar unter www.nahwaerme-forum.de

Institut Wohnen und Umwelt (IWU) (2006): Energetische Gebäudesanierung und Wirtschaftlichkeit

- InWIS Forschung & Beratung GmbH (2011): Wege aus dem Vermieter-Mieter-Dilemma, Studie im Auftrag des GdW – Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen
- Kemfert, C. (2007): Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden, DIW Wochenbericht Nr. 11/2007
- Kleemann, M.; Heckler, R.; Kraft, A.; Kuckshinrichs, W. (2003): Klimaschutz und Beschäftigung durch das KfW-Programm zur CO₂-Minderung und das KfW-CO₂-Gebäudesanierungsprogramm
- Langniß et al. (2010): Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung Erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2009 bis 2011
- Lehr et al. (2011): Kurz- und langfristige Auswirkungen des Ausbaus der Erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt
- McKinsey (2007): Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland“, im Auftrag von "BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz"
- Müller, K.; Weimer, S. (2001): Beschäftigungseffekte durch Umweltschutz im Handwerk, Göttinger Handwerkswirtschaftliche Arbeitshefte, Heft 43
- Müller, M. (2011): Förderwirkungen der KfW-Programme zum energieeffizienten Bauen und Sanieren; Zentrale Ergebnisse der Programmevaluierung, Präsentation Berliner Energietage am 19. Mai 2011
- Öko-Institut (1995): Klimaschutzkonzept für die Stadt Freiburg i.Br.
- Öko-Institut (2007): Klimaschutz-Strategie der Stadt Freiburg i.Br.
- Öko-Institut (2009): Renewability – Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext Erneuerbarer Energien bis 2030
- Öko-Institut (2010): Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 4.6. Siehe www.gemis.de.
- Öko-Institut (2011): Abschätzung des künftigen Anteils der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Freiburg, unveröffentlicht
- Parlow et al. (2006): Regionale Klimaanalyse der Region Südlicher Oberrhein (REKLISO)
- Prognos, EWI (2006): Auswirkungen höherer Ölpreise auf Energieangebot und –nachfrage
- Prognos, Öko-Institut (2009): Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken
- Regionalverband Südlicher Oberrhein, RVSO (2005): Energieatlas Südlicher Oberrhein
- Regionalverband Südlicher Oberrhein, RVSO (2007): Langfristige Klimaschutz-Strategie für die Region Südlicher-Oberrhein
- Stadt Freiburg (o.J.): Interner Bericht des Garten- und Tiefbauamtes zum Strombedarf der städtischen Beleuchtung, unveröffentlicht

Tichler et al. (2010): Analyse von Vermeidungskosten von Treibhausgasemissionen in Oberösterreich

Umweltbundesamt (UBA), Öko-Institut (2008): Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente (ProBas). Siehe <http://www.probas.umweltbundesamt.de>.

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) (2009): Verbesserte Abschätzung des in Baden-Württemberg wirksamen Investitionsimpulses durch die Förderung Erneuerbarer Energien; Forschungsvorhaben des Umweltministeriums Baden-Württemberg

13 Anhang I

13.1 Spezifische Endenergiebedarfe für die Raumwärmebereitstellung

Spezifische Endenergiebedarfe für die Raumwärmebereitstellung									
Datenbasis 2006, Quelle: Wärmekataster der Stadt Freiburg (vorläufige Zahlen)									
		bis 1919	1920- 1948	1949- 1961	1962- 1987	1988- 1994	1995- 2001	2002- 2007	ab 2008
		BAK A	BAK B	BAK C	BAK D	BAK E	BAK F	BAK G	BAK H
EFH	kWh/m ² /a	221	185	190	163	133	80	46	45
ZFH	kWh/m ² /a	216	245	113	162	136	94	81	80
MFH	kWh/m ² /a	143	140	144	143	130	115	93	85
GMFH	kWh/m ² /a	139	138	133	305	133	129	73	70
GMFH 9+ / HH	kWh/m ² /a	129	113	117	159	153	104	54	50

EFH = Einfamilienhaus, ZFH = Zweifamilienhaus, MFH = Mehrfamilienhaus mit 3-6 Wohneinheiten, GMFH = Großes Mehrfamilienhaus mit 7-8 Wohneinheiten, GMFH9+ / HH = Großes Mehrfamilienhaus mit 9 oder mehr Wohneinheiten / Hochhaus

BAK = Baualtersklasse

Die Gebäudetypologie wurde aus dem Wärmekataster übernommen.

13.2 Datentabellen zum Referenz-Szenario

13.2.1 Sektor Haushalte – Raumwärme

				2010	2020	2030	2040	2050
Endenergiebedarf Haushalte Raumwärme								
Strom			GWh/a	47	39	38	41	33
Erdgas			GWh/a	396	434	324	247	152
Heizöl leicht			GWh/a	377	215	138	54	12
Fernwärme			GWh/a	191	203	190	138	117
Umweltwärme (über Wärme- pumpe)			GWh/a	24	34	62	95	82
Solarthermie			GWh/a	36	34	45	53	52
Biomasse			GWh/a	58	67	94	105	89
sonst. fossile / Kohle			GWh/a	23	18	9	6	0
Summe			GWh/a	1153	1043	899	739	537
Abrissrate								
	alle Gebäudetypen	bis 1919	%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		1920 - 1948	%	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%
		1949 - 1961	%	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%
		1962 - 1987	%	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%
		1988 - 1994	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,05%
Rate energetische Sanierung								
		bis 1919	%	1,10%	1,10%	2,00%	2,00%	2,00%
		1920 - 1948	%	1,10%	1,10%	2,00%	2,00%	2,00%
		1949 - 1961	%	1,10%	1,10%	2,00%	2,00%	2,00%
		1962 - 1987	%	1,10%	1,10%	2,00%	2,00%	2,00%
		1988 - 1994	%	1,10%	1,10%	2,00%	2,00%	2,00%
		1995 - 2001	%	0,00%	0,00%	0,00%	2,00%	2,00%
		2002 - 2007	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		ab 2008	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Zubau								
	Bruttozubau							
		EFH	m ² /a	2.163	1.874	1.681	1.656	1.568
		ZFH	m ² /a	9.036	5.200	3.534	2.591	1.981
		MFH	m ² /a	33.132	18.079	11.627	7.851	5.512

				2010	2020	2030	2040	2050
		GMFH	m ² /a	9.199	5.386	3.717	2.745	2.131
		GMFH 9+	m ² /a	35.459	19.897	13.253	9.430	7.005
		Ge-samt	m ² /a	79.811	40.964	24.527	14.685	8.792
	Nettozubau							
		EFH	m ² /a	798	410	245	147	88
		ZFH	m ² /a	7.981	4.096	2.453	1.469	879
		MFH	m ² /a	31.126	15.976	9.565	5.727	3.429
		GMFH	m ² /a	7.981	4.096	2.453	1.469	879
		GMFH 9+	m ² /a	31.924	16.386	9.811	5.874	3.517
		Ge-samt		79.811	40.964	24.527	14.685	8.792
spezifischer Heizwärme- (Endenergie-)verbrauch ohne Warmwasser, Neubau								
	EFH	ab 2008	kWh/m ² /a	45	30	40	20	10
	ZFH	ab 2008	kWh/m ² /a	50	30	30	20	10
	MFH (3-6)	ab 2008	kWh/m ² /a	50	30	30	20	10
	GMFH (7-8)	ab 2008	kWh/m ² /a	50	30	30	20	10
	GMFH++ / HH	ab 2008	kWh/m ² /a	50	30	30	20	10
Zielzustand Endenergiebe-darf nach Kom-plettsanierung			kWh/m ² /a	70	60	40	20	10
Verteilung des Heizwärmebedarfs auf Energieträger								
	Stromdirekthei-zung		%	3,00%	2,40%	2,00%	1,75%	1,75%
	Erdgas		%	35,00%	43,70%	39,50%	37,00%	31,75%
	Heizöl leicht		%	33,00%	21,00%	16,00%	8,00%	2,50%
	Fernwärme		%	16,00%	18,00%	19,00%	17,00%	20,00%
	Umweltwärme über Wärme-pumpe		%	3,00%	4,00%	8,00%	15,00%	18,00%
	Solarthermie		%	3,00%	3,00%	4,50%	6,50%	9,00%
	Biomasse		%	5,00%	6,20%	10,00%	14,00%	17,00%
	Sonstige fossi-le/Kohle		%	2,00%	1,70%	1,00%	0,75%	0,00%
Nutzungsgrad lokale Heizungsanlage								
	Elektroheizung ohne Wärme-pumpe		%	98,00%	98,00%	98,00%	98,00%	98,00%

				2010	2020	2030	2040	2050
	Erdgas	%		86,00 %	93,00 %	99,00 %	99,00 %	99,00 %
	Heizöl leicht	%		82,00 %	87,00 %	92,00 %	95,00 %	98,00 %
	Fernwärme	%		96,00 %	96,00 %	96,00 %	96,00 %	96,00 %
	Umweltwärme über Wärmepumpe	%		314,00 %	393,00 %	445,00 %	455,00 %	465,00 %
	Solarthermie	%		100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %
	Biomasse	%		72,00 %	74,00 %	76,00 %	78,00 %	80,00 %
	Kohle	%		73,00 %	75,00 %	77,00 %	79,00 %	81,00 %
Endenergiebedarf nach Heizungssystem								
	Strom (Elektroheizung ohne Wärmepumpe)		GWh/a	35,75	27,06	19,99	14,25	10,20
	Erdgas		GWh/a	396,19	433,54	323,71	247,01	151,79
	Heizöl leicht		GWh/a	377,48	215,44	137,52	54,06	11,66
	Fernwärme		GWh/a	190,65	202,93	189,89	138,40	116,60
	Umweltwärme über Wärmepumpe		GWh/a	35,75	45,09	79,95	122,12	104,94
	Solarthermie		GWh/a	35,75	33,82	44,97	52,92	52,47
	Biomasse		GWh/a	58,39	67,10	93,95	104,86	89,20
	Kohle		GWh/a	23,35	18,40	9,39	5,62	0,00
	Summe		GWh/a	1153,30	1043,39	899,38	739,23	536,86
Energiebedarf für Nutzung der Umweltwärme durch Wärmepumpen								
	Strom		GWh/a	11,38	11,47	17,97	26,84	22,57
	Umweltwärme		GWh/a	24,36	33,62	61,99	95,28	82,37
	Jahresarbeitszahl Wärmepumpe			3,14	3,93	4,45	4,55	4,65
Emissionen								
	Strom		t/CO ₂ Äqu /a	23.517	18.037	17.302	18.645	13.753
	Erdgas		t/CO ₂ Äqu /a	100.236	109.686	81.899	62.493	38.402
	Heizöl leicht		t/CO ₂ Äqu /a	121.172	69.157	44.144	17.353	3.743
	Fernwärme		t/CO ₂ Äqu /a	54.310	55.693	51.498	37.023	30.697
	Umweltwärme über Wärmepumpe		t/CO ₂ Äqu /a	0	0	0	0	0
	Solarthermie		t/CO ₂ Äqu /a	1.609	1.522	2.024	2.381	2.361
	Biomasse		t/CO ₂ Äqu /a	1.460	1.678	2.349	2.621	2.230

				2010	2020	2030	2040	2050
			/a					
	Kohle		t/CO ₂ Äqu /a	9.996	7.875	4.021	2.404	0
	Summe		t/CO ₂ Äqu /a	312.30 0	263.64 7	203.23 6	142.92 1	91.186

13.2.2 Sektor Haushalte – Warmwasser

			2010	2020	2030	2040	2050
Endenergiebedarf für Warmwasser							
Strom inkl. Wärmepumpenstrom		GWh/a	6,6	7,8	8,6	9,5	10,7
Erdgas		GWh/a	103,7	80,2	61,6	40,6	29,1
Heizöl leicht		GWh/a	47,9	39,6	23,5	13,2	2,7
Fernwärme		GWh/a	28,7	32,8	34,5	35,5	35,7
Umweltwärme		GWh/a	1,9	3,1	8,4	10,8	14,3
Solarthermie		GWh/a	4,3	7,4	24,1	44,3	56,7
Biomasse		GWh/a	7,2	11,7	14,1	16,2	17,2
Kohle		GWh/a	2,7	1,8	1,3	0,8	0,0
Summe		GWh/a	203	184	176	171	166
Warmwasserbedarf							
Anzahl Einwohner		1.000	212.05	214.94	213.80	210.92	206.46
spezifischer Warmwasserverbrauch		l/cap/a	5,0	9,5	6,7	5,1	2,6
	spezifischer Warmwasserverbrauch	l/cap/d	16.425,0	16.881,3	17.337,5	17.793,8	18.250,0
	Wärmekapazität Wasser	Wh/(kg*K)	45,0	46,3	47,5	48,8	50,0
	Temperaturdifferenz	K	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	Nutzenergiebedarf Warmwasser	kWh/m ²	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0
	Endenergiebedarf Warmwasser	kWh/m ²	17,7	17,3	17,0	16,8	16,7
	Nutzenergiebedarf Warmwasser	kWh/cap/a	24,4	20,9	17,5	16,1	14,8
Nutzenergiebedarf Warmwasser gesamt		GWh/a	668,6	687,2	705,7	724,3	742,9
			141,8	147,7	150,9	152,8	153,4
Verteilung des Warmwasserbedarfs auf Energieträger							
Strom, ohne Wärmepumpe		%	3,7%	4,0%	3,0%	3,0%	3,0%
Erdgas		%	49,0%	44,0%	35,5%	24,2%	18,0%
Heizöl leicht		%	22,3%	19,3%	12,0%	7,0%	1,5%
Fernwärme		%	16,0%	18,0%	19,0%	19,5%	20,0%
Umweltwärme		%	2,0%	3,0%	8,0%	10,0%	13,0%
Solarthermie		%	3,0%	5,0%	16,0%	29,0%	37,0%
Biomasse		%	3,0%	5,0%	6,0%	7,0%	7,5%
Kohle		%	1,0%	0,7%	0,5%	0,3%	0,0%
Summe		%	100,0%	99,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Nutzungsgrad lokale WW-Bereitstellung							
Strom dezentral		%	92%	92%	92%	92%	92%

			2010	2020	2030	2040	2050
Erdgas		%	67%	81%	87%	91%	95%
Heizöl leicht		%	66%	72%	77%	81%	84%
Fernwärme		%	79%	81%	83%	84%	86%
Wärmepumpe		%	211%	221%	231%	241%	251%
Solarthermie		%	100%	100%	100%	100%	100%
Biomasse		%	59%	63%	64%	66%	67%
Kohle		%	53%	56%	58%	61%	64%
mittlerer Nutzungs- grad		%	73%	83%	97%	105%	113%
Energiebedarf für Nutzung der Umweltwärme durch Wärmepumpen							
Strom		GWh/a	0,91	1,38	3,65	4,48	5,68
Umweltwärme		GWh/a	1,92	3,05	8,42	10,80	14,26
Emissionen							
Strom		t/CO ₂ Äq u/a	3.300	3.652	3.905	4.294	4.483
Erdgas		t/CO ₂ Äq u/a	26.233	20.299	15.577	10.279	7.352
Heizöl leicht		t/CO ₂ Äq u/a	15.377	12.709	7.548	4.238	879
Fernwärme		t/CO ₂ Äq u/a	8.180	9.008	9.367	9.487	9.390
Umweltwärme (über Wärmepumpe)		t/CO ₂ Äq u/a	0	0	0	0	0
Solarthermie		t/CO ₂ Äq u/a	149	258	845	1.551	1.986
Biomasse		t/CO ₂ Äq u/a	180	293	354	405	429
Kohle		t/CO ₂ Äq u/a	1.138	790	557	322	0
Summe		t/CO ₂ Äq u/a	54.556	47.011	38.153	30.575	24.520

13.2.3 Sektor Haushalte – Elektrogeräte und Kochen

		2010	2020	2030	2040	2050
Endenergiebedarf Haushalte Kochen, Haushaltsgeräte, Klima, gesamt						
Strom	GWh/a	263,11	248,85	248,37	259,31	299,29
Erdgas	GWh/a	11,20	8,20	6,19	4,75	4,06
Erneuerbare Kühlung	GWh/a	0	0	0	0	0
Summe	GWh/a	274	257	255	264	303
davon: Endenergiebedarf Kochen						
Strom	GWh/a	33,61	31,23	27,71	24,86	22,98
Erdgas	GWh/a	11,20	8,20	6,19	4,75	4,06
Summe	GWh/a	44,81	39,43	33,91	29,62	27,05
Klimatisierung/Kühlung						
Endenergieverbrauch Klimatisierung	GWh/a	2	19	47	86	138
Betriebsstunden der Klimageräte	h/a	500	563	625	688	750
Netto Wohnfläche gesamt	m ²	8.000.413	8.542.018	8.870.764	9.067.597	9.185.448
spez. Kühlleistung	W/m ²	25	29	33	36	40
Klimatisierungsrate	% der Wfl.	2	14	26	38	50
Emissionen						
Strom	t/CO ₂ Äqu/a	131.286	116.489	113.217	117.675	125.604
Erdgas	t/CO ₂ Äqu/a	2.833	2.075	1.567	1.203	1.028
Summe	t/CO₂Äqu/a	134.119	118.564	114.784	118.878	126.633

13.2.4 Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

		2010	2020	2030	2040	2050
Endenergiebedarf GHD						
Strom	GWh/a	455,0	421,9	393,7	437,1	422,7
Erdgas	GWh/a	277,0	236,8	201,2	120,5	92,5
Heizöl leicht	GWh/a	204,0	126,8	34,7	7,7	0,0
Fernwärme	GWh/a	188,0	179,7	156,1	146,8	142,3
Umweltwärme	GWh/a	19,0	29,6	26,0	15,5	14,2
Solarthermie	GWh/a	19,0	29,6	26,0	15,5	14,2
Biomasse	GWh/a	28,0	32,8	26,9	25,5	21,3
Kohle	GWh/a	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0
erneuerbare Kühlung	GWh/a	0,0	0,9	2,6	4,0	4,2
Summe	GWh/a	1.198	1.058	867	773	711
Entwicklung der Bezugsgrößen für den Energieverbrauch						
Zahl der Erwerbstätigen in Freiburg		121.320	119.926	112.886	106.562	103.271
Zahl der Schüler	Anzahl	41.062	38.804	38.105	36.848	35.447
Zahl der Krankenhausbetten	Anzahl	2.600	3.112	2.999	2901	2979
Wasserfläche der Bäder	m ² Wasserfläche	8378	8378	8378	8378	8378
Endenergieverbrauch nach Energieträgern						
Strom	%	38	40	46	57	60
Erdgas	%	23	22	23	16	13
Heizöl leicht	%	17	12	4	1	0
Fernwärme	%	16	17	18	19	20
Umweltwärme	%	2	3	3	2	2
Solarthermie	%	2	3	3	2	2
Biomasse	%	2	3	3	3	3
erneuerbare Kühlung	%	0	0	0	0	0
Sonstige fossile/Kohle	%	1	0	0	0	0
(von Strom) für Kühlen und Lüften	%	17	21	32	46	49
davon erneuerbare Kühlung	%	0	1	2	2	2
Emissionen						
Strom	t/CO ₂ Äqu/a	227.017	197.503	179.469	198.367	177.380
Erdgas	t/CO ₂ Äqu/a	64.846	55.400	47.072	28.204	21.641
Heizöl leicht	t/CO ₂ Äqu/a	63.742	39.699	10.856	2.418	0
Fernwärme	t/CO ₂ Äqu/a	53.464	49.312	42.327	39.269	37.458
Umweltwärme (über Wärmepumpe)	t/CO ₂ Äqu/a	0	0	0	0	0
Solarthermie	t/CO ₂ Äqu/a	671	1.036	910	541	498
Biomasse	t/CO ₂ Äqu/a	709	819	672	637	534

		2010	2020	2030	2040	2050
Kohle	t/CO ₂ Äqu/a	3.418	0	0	0	0
Summe	t/CO₂Äqu/a	413.866	343.769	281.306	269.436	237.510

13.2.5 Sektor Industrie

		2010	2020	2030	2040	2050
Endenergiebedarf Industrie						
Strom	GWh/a	309	301	308	291	283
Erdgas	GWh/a	205	200	194	193	175
Heizöl leicht	GWh/a	12	6	3	0	0
Fernwärme	GWh/a	662	634	580	530	485
Umweltwärme	GWh/a	0	12	14	16	16
Solarthermie	GWh/a	0	12	14	16	16
Biomasse	GWh/a	0,5	12	17	19	20
Sonstige fossile/Kohle	GWh/a	0	0	0	0	0
Summe	GWh/a	1.189	1.176	1.130	1.065	995
Endenergiebedarf nach Energieträgern						
Strom	%	26,0	25,6	27,2	27,3	28,5
Erdgas	%	17,2	17,0	17,2	18,1	17,6
Heizöl	%	1,0	0,5	0,3	0,0	0,0
Fernwärme	%	55,7	53,9	51,4	49,8	48,7
Umweltwärme	%	0,0	1,0	1,2	1,5	1,6
Solarthermie	%	0,0	1,0	1,2	1,5	1,6
Biomasse	%	0,0	1,0	1,5	1,8	2,0
Emissionen						
Strom	t/CO ₂ Äqu/a	178.741	141.164	140.517	132.188	127.827
Erdgas	t/CO ₂ Äqu/a	47.860	46.773	45.482	45.104	40.976
Heizöl leicht	t/CO ₂ Äqu/a	3.872	1.840	1.061	0	0
Fernwärme	t/CO ₂ Äqu/a	188.586	173.929	157.396	141.867	127.561
Umweltwärme (über Wärmepumpe)	t/CO ₂ Äqu/a	0	0	0	0	0
Solarthermie	t/CO ₂ Äqu/a	0	412	475	559	557
Biomasse	t/CO ₂ Äqu/a	0	294	339	399	398
Summe	t/CO₂Äqu/a	419.058	364.411	345.270	320.118	297.319

13.2.6 Sektor Verkehr

					2010	2020	2030	2040	2050
Endenergiebedarf Verkehrssektor gesamt									
Benzin, Ottokraftstoff				GWh/a	458	307	251	216	159
Dieselantrieb				GWh/a	648	681	629	574	526
Erdgasantrieb				GWh/a	3	8	11	13	18
Flüssiggasantrieb				GWh/a	4	9	12	15	20
Strom				GWh/a	73	72	83	92	112
Brennstoffzelle/H2				GWh/a	0,0	0,0	0,9	1,8	11,1
Summe				GWh/a	1.186	1.077	986	912	846
Personenverkehr									
	Verkehrsleistung gesamt			Tsd. Pers-km	1.828.224	1.853.179	1.843.327	1.818.483	1.780.010
		darin MIV		Tsd. Pers-km	1.420.530	1.439.920	1.432.265	1.412.962	1.383.068
		darin ÖPNV		Tsd. Pers-km	407.694	413.259	411.062	405.522	396.942
	Anteile an Verkehrsleistungen								
		MIV		%	77,7	77,7	77,7	77,7	77,7
		ÖPNV		%	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3
	Auslastung der Fahrzeuge								
		PKW: Belegung		Pers./Fz.	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
		Krafträder: Belegungs-dichte 1 angenommen							
		Bus		Pers / Fzg	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
		Stadtbahn		Pers / Fzg	67,1	67,1	67,1	67,1	67,1
		S- und Regionalbahn		Pers / Platz	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	S- und Regionalbahn: Anteil Dieselantrieb			%	15,3%	13,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Fahrleistungen (Fzg.-km)								
		Anteil PKW an MIV		%	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4
		Fahrleistung PKW		Tsd. Fzg-km	1.075.232	1.089.909	1.084.114	1.069.503	1.046.876

					2010	2020	2030	2040	2050
	Anteil Krafträder am MIV			%	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
	Fahrleistung Krafträder			Tsd. Fzg-km	17.483	17.722	17.628	17.390	17.022
	Fahrleistung ÖPNV-Bus			Tsd. Fzg-km	4.411	4.471	4.448	4.388	4.295
	Fahrleistung ÖPNV-Stadtbahn			Tsd. Fzg-km	2989	3031	3014	2974	2911
	Fahrleistung ÖPNV-S-und Regionalbahn								
		Diesel		Tsd. Platz-km	107.374	92.599	0	0	0
		Strom		Tsd. Platz-km	595.335	619.702	708.514	698.965	684.177
		Summe		Tsd. Platz-km	702.709	712.301	708.514	698.965	684.177
MIV Motorisierter Individualverkehr PKW und Kombi									
Entwicklung Fahrzeugbestand gesamt									
	Fahrzeugbestand gesamt				82.349	83.996	84.819	83.172	82.349
	Aktivitätsindex				100%	102%	103%	101%	100%
Anteile verschiedener Antriebsarten am Fahrzeugbestand									
	Benzin, ohne Hybrid			%	72,5%	59,0%	48,0%	34,3%	17,3%
	Benzin, Hybrid			%	0,6%	1,6%	8,3%	17,1%	23,1%
	Dieselantrieb			%	25,5%	35,3%	35,6%	31,9%	23,6%
	Erdgasantrieb			%	0,4%	1,0%	1,7%	2,3%	3,6%
	Flüssiggasantrieb			%	0,4%	0,9%	1,5%	2,2%	3,4%
	Elektroantrieb			%	0,6%	1,8%	3,0%	5,6%	10,0%
	Plug-In Hybridantrieb			%	0,1%	0,4%	1,9%	6,4%	15,0%
	Brennstoffzellenantrieb			%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	4,0%
Fahrzeugbestand nach Antriebsart									
	Benzin, ohne Hybrid				59.670	49.558	40.713	28.487	14.222
	Benzin, Hybrid				472	1.361	7.057	14.256	19.031
	Dieselantrieb				21.002	29.609	30.196	26.499	19.451
	Erdgasantrieb				302	857	1.416	1.896	2.948
	Flüssiggasan-				296	790	1.238	1.846	2.825

					2010	2020	2030	2040	2050
	trieb								
	Elektroantrieb				483	1.470	2.545	4.624	8.235
	Plug-In Hybridantrieb				115	353	1.645	5.340	12.344
	Brennstoffzellenantrieb				0	1	5	233	3.294
Jahresfahrleistung nach Antriebsart in Freiburg									
	Benzin, ohne Hybrid			Tsd. Fz.-km	642.955	490.983	418.204	319.391	171.333
	Benzin, Hybrid			Tsd. Fz.-km	4.011	12.047	71.756	159.835	229.271
	Dieselantrieb			Tsd. Fz.-km	416.329	549.235	516.946	423.648	290.893
	Erdgasantrieb			Tsd. Fz.-km	5.005	14.990	24.250	30.318	44.090
	Flüssiggasantrieb			Tsd. Fz.-km	4.914	13.814	21.201	29.520	42.242
	Elektroantrieb			Tsd. Fz.-km	1.834	7.127	19.273	48.968	98.353
	Plug-In Hybridantrieb			Tsd. Fz.-km	183	1.710	12.463	56.542	147.431
	Brennstoffzellenantrieb			Tsd. Fz.-km	1	3	21	1.281	23.263
	Summe			Tsd. Fz.-km	1.075.232	1.089.909	1.084.114	1.069.503	1.046.876
spez. Verbrauch									
	Benzin, ohne Hybrid			l/100km	7,8	6,7	5,8	5,4	5
	Benzin, Hybrid			l/100km	5,8	5	4,4	4	3,8
	Dieselantrieb			l/100km	6,3	5,4	4,9	4,7	4,5
	Erdgasantrieb			kg/100km	5,2	4,5	3,9	3,7	3,4
	Flüssiggasantrieb			kg/100km	5,7	4,9	4,3	4	3,7
	Elektroantrieb			kWh/100km	19,4	17	15	14,2	14
	Plug-In Hybridantrieb			kWh/100km	26,2	24,5	21,5	20,1	19,2
	H2 / Brennstoffzellenantrieb			kg H2/100km	1,7	1,4	1,2	1,2	1,1
Gesamtverbrauch an Kraftstoff für PKW und Kombi									
	Benzin, ohne Hybrid			Tsd. l/a	49.936	32.896	24.256	17.247	8.567
	Benzin, Hybrid			Tsd. l/a	233	602	3.157	6.393	8.712
	Dieselantrieb			Tsd. l/a	26.367	29.659	25.330	19.911	13.090
	Erdgasantrieb			Tsd.	262	675	946	1.122	1.499

					2010	2020	2030	2040	2050
				kg/a					
	Flüssiggas-antrieb			Tsd. kg/a	280	677	912	1.181	1.563
	Elektroantrieb			Tsd. kWh/a	356	1.212	2.891	6.953	13.769
	Plug-In Hybrid-antrieb			Tsd. kWh/a	48	419	2.680	11.365	28.307
	Brennstoffzel-lenantrieb			Tsd. kg H2/a	0	0	0	15	256
	Endenergiever-brauch MIV PKW und Kombi								
	Benzin, ohne Hybrid			MWh/a	437.44 0,6	288.16 7,6	212.48 0,9	151.08 4,7	75.043 ,9
	Benzin, Hybrid			MWh/a	2.038, 0	5.276, 6	27.657 ,8	56.006 ,3	76.319 ,6
	Dieselantrieb			MWh/a	258.40 1,3	290.65 5,1	248.23 7,5	195.13 2,1	128.28 3,8
	Erdgasantrieb			MWh/a	3.143, 4	8.094, 5	11.349 ,0	13.461 ,0	17.988 ,6
	Flüssiggas-antrieb			MWh/a	3.585, 6	8.664, 2	11.668 ,8	15.114 ,1	20.005 ,9
	Elektroantrieb			MWh/a	355,8	1.211, 5	2.891, 0	6.953, 5	13.769 ,4
	Plug-In Hybrid-antrieb			MWh/a	47,9	419,0	2.679, 6	11.365 ,0	28.306 ,8
	Brennstoffzel-lenantrieb			MWh/a	0,5	1,7	9,3	568,9	9.467, 9
	Summe			MWh/a	705.01 3,1	602.49 0,3	516.97 3,9	449.68 5,7	369.18 5,9
	Emissionen MIV PKW und Kombi								
	Benzin, ohne Hybrid			t CO2 Äqu	173.54 6	117.95 4	92.381	64.380	31.222
	Benzin, Hybrid			t CO2 Äqu	809	2.160	12.025	23.865	31.753
	Dieselantrieb			t CO2 Äqu	90.010	111.62 7	96.514	72.088	44.690
	Erdgasantrieb			t CO2 Äqu	968	2.624	3.910	4.469	5.891
	Flüssiggas-antrieb			t CO2 Äqu	951	2.418	3.418	4.352	5.644
	Elektroantrieb			t CO2 Äqu	178	567	1.318	3.156	5.779
	Plug-In Hybrid-antrieb			t CO2 Äqu	24	196	1.222	5.157	11.880
	H2/Brennstoffze llenantrieb			t CO2 Äqu	0	0	0	0	0
	Summe			t CO2 Äqu	266.48 5	237.54 5	210.78 7	177.46 7	136.85 8
MIV Krafträder									
	Fahrleistung gesamt			1.000 Fz.-km	17.483	17.722	17.628	17.390	17.022
	Anteil Elektroantrieb an Fahrleistung			%	1	5	10	20	30

					2010	2020	2030	2040	2050
spez. Energieverbrauch Benzinantrieb				MJ/Fz.-km	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5
spez. Energieverbrauch Elektroantrieb				kWh/100km	4	4	4	4	4
Endenergiebedarf									
	Benzin			GWh/a	7,7	7,4	6,9	6,0	5,0
	Elektro			GWh/a	0,001	0,004	0,007	0,014	0,020
	Gesamt			GWh/a	7,7	7,4	6,9	6,0	5,1
Emissionen MIV Krafträder									
	Benzin			t CO2 Äqu	2.034,5	1.860,2	1.610,3	1.287,0	995,2
	Elektroantrieb			t CO2 Äqu	3,5	16,6	32,1	63,1	85,7
	gesamt			t CO2 Äqu	2.037,9	1.876,8	1.642,4	1.350,2	1.080,9
ÖPNV									
Anteile versch. Verkehrsmittel an ÖPNV - Verkehrsleistung									
	Bus gesamt			%	17	17	17	17	17
		innerorts		%	13	13	13	13	13
		außerorts		%	3	3	3	3	3
	Stadtbahn			%	49	49	49	49	49
	S- und Regionalbahn			%	34	34	34	34	34
	gesamt			%	100	100	100	100	100
Bus									
	Anteile verschiedener Antriebe								
		Diesel			100	100	90	85	80
		Brennstoffzelle			0	0	10	15	20
	spez. Endenergiebedarf								
		Diesel							
			innerorts	MJ/Fkm	14,9	14,2	13,5	13,3	13,0
			außerorts	MJ/Fkm	11,2	10,6	10,1	9,6	9,1
		Brennstoffzelle		MJ/Fkm	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7

					2010	2020	2030	2040	2050
Stadtbahn									
	spez. Endenergiebedarf, Strom			kWh/Fz.-km	3,7	3,5	3,4	3,2	3,1
S- und Reginalbahn									
	spez. Endenergiebedarf								
		Diesel		MJ/Platz-km	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
		Strom		MJ/Platz-km	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
ÖPNV, Endenergiebedarf gesamt									
		Diesel		GWh	26,3	24,5	14,3	13,1	11,7
		Brennstoffzelle		GWh	-	-	0,9	1,3	1,6
		Biogas		GWh	-	-	-	-	-
		Strom		GWh	72,1	70,9	77,0	73,6	69,8
		Gesamt			98,5	95,3	92,2	87,9	83,1
ÖPNV Emissionen									
	ÖPNV-Bus Diesel			t CO2 Äqu	4.232	4.540	3.734	3.172	2.639
	Straba Strom, Freiburger Strommix			t CO2 Äqu	5.461	4.965	4.603	4.319	3.787
	S- und Reginalbahn			t CO2 Äqu	2.416	2.083	0	0	0
	Zug, Strom, Freiburger Strommix			t CO2 Äqu	30.531	28.203	30.503	29.076	25.523
Summe Emissionen ÖPNV				t CO2 Äqu	42.640	39.792	38.841	36.566	31.949
Personenverkehr, Endenergiebedarf gesamt									
	Benzin, Ottokraftstoff			GWh/a	447	301	247	213	156
	Dieselantrieb			GWh/a	285	315	263	208	140
	Erdgasantrieb			GWh/a	3	8	11	13	18
	Flüssiggasantrieb			GWh/a	4	9	12	15	20
	Strom			GWh/a	72	72	80	81	84
	Brennstoffzelle/H2			GWh/a	0	0	1	2	11
	Summe			GWh/a	811	705	613	532	429

					2010	2020	2030	2040	2050
Straßen-Güterverkehr									
Fahrleistungen									
	Leichte NFZ			Tsd. Fz-km	67.174	75.097	80.954	87.473	97.030
		Anteil an Gesamtfahrleistung		%	38	39	40	41	42
	Schwere NFZ, Busse			Tsd. Fz-km	108.897	116.714	120.666	125.090	133.164
		Anteil an Gesamtfahrleistung		%	62	61	60	59	58
	Summe Fahrleistungen			Tsd. Fz-km	176.071	191.811	201.620	212.564	230.194
Anteil der Fahrzeugarten an Fahrleistungen									
	Leichte NFZ								
		Innerorts		%	19,1	19	19	19	19
		Außerorts		%	7,9	8,3	8,3	8,3	8,3
		Autobahn im Stadtgebiet		%	11,2	12,4	12,4	12,4	12,4
		Summe		%	38,2	39,7	39,7	39,7	39,7
	Schwere NFZ, Busse								
		Innerorts		%	25,7	24	24	24	24
		Außerorts		%	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6
		Autobahn im Stadtgebiet		%	24,5	25	25	25	25
		Summe		%	61,8	60,6	60,6	60,6	60,6
Anteile verschiedener Antriebsarten am Fahrzeugbestand									
	Benzin			%	5,6	3,0	2,1	1,5	1,0
	Diesel			%	93,7	95,4	95,5	95,3	95,1
	Erdgas			%	0,5	1,3	1,8	2,4	2,9
	Flüssiggas			%	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6
	Elektro			%	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4
	Brennstoffzelle								
Spezifischer Verbrauch									
	Benzintrieb			l/100 km	13	12	11	11	11
	Dieselantrieb			l/100 km	22	20	19	18	18
	Erdgasantrieb			kg/100 km	15	14	13	13	13
	Flüssiggasantrieb			kg/100 km	16	15	15	14	14

					2010	2020	2030	2040	2050
	Elektroantrieb			kWh/100 km	54	50	48	44	43
	Brennstoffzelle								
	Gesamtkraftstoffverbrauch								
	Benzin			l	1.290.890	663.170	443.375	337.634	244.228
	Diesel			l	37.053.182	37.322.698	37.361.080	37.286.684	39.421.629
	Erdgas			kg	138.298	346.543	488.127	650.149	857.939
	Flüssiggas			kg	32.008	72.741	108.723	147.811	193.539
	Elektro			kWh	74.358	138.869	224.943	285.784	376.521
	Brennstoffzelle								
	Anteil an Biokraftstoffen								
	am Dieselmotorkraftstoff			%	5%	5%	10%	15%	25%
	am Benzin			%	6%	10%	10%	10%	10%
	Endenergieverbrauch Straßen-güterverkehr								
	Benzin			GWh	11	6	4	3	2
	Diesel			GWh	363	366	366	365	386
	Erdgas			GWh	0	0	0	0	0
	Flüssiggas			GWh	0	0	0	0	0
	Elektro			GWh	0	0	0	0	0
	H2			GWh					
	Gesamt			GWh	374	372	370	368	388
	THG-Emissionen								
	Leichte NFZ			t/a CO2 Äqu	16.408	16.310	15.596	15.979	17.330
	Schwere NFZ			t/a CO2 Äqu	85.083	90.125	83.045	81.631	84.963
	Summe			t/a CO2 Äqu	101.491	106.435	98.641	97.611	102.293
Verkehr gesamt									
	Endenergiebedarf								
	Benzin			GWh	458	307	251	216	159
	Diesel			GWh	648	681	629	574	526
	Erdgas			GWh	3	8	11	13	18
	Flüssiggas			GWh	4	9	12	15	20
	Elektro			GWh	72	72	80	81	84
	H2			GWh	0	0	1	2	11

					2010	2020	2030	2040	2050
	Gesamt			GWh	1.186	1.076	983	901	818
	THG-Emissionen			t/a CO2 Äqu	412.65 3	385.64 9	349.91 1	312.99 4	272.18 1

13.2.7 Sektor Energieumwandlung

		2010	2020	2030	2040	2050
Stromerzeugung im Stadtgebiet						
Erneuerbare Energien, ohne KWK						
Wasserkraft Bestand 2009	GWh/a	2,3	2,5	2,5	2,5	2,5
Windkraft Bestand 2009	GWh/a	10,0	12,0	24,0	24,0	24,0
Windkraft Neuanlagen	GWh/a		15,0	15,0	15,0	15,0
Photovoltaik	GWh/a	13,8	24,6	44,6	64,6	84,6
Geothermie	GWh/a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	GWh/a	26,1	54,1	86,1	106,1	126,1
Stromerzeugung KWK	GWh/a	556,0	539,6	506,9	474,2	441,5
Stromerzeugung gesamt	GWh/a	582,1	593,7	593,0	580,3	567,6
zentrale Wärmeerzeugung im Stadtgebiet	GWh/a	995,1	1049,2	960,9	851,0	779,0
Brennstoffeinsatz Strom- und zentrale Wärmeerzeugung im Stadtgebiet						
Kohle	GWh/a	64,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Erdgas	GWh/a	1729,7	1694,6	1564,9	1435,1	1305,0
Heizöl	GWh/a	2,0	1,7	1,1	0,6	0,0
Deponiegas	GWh/a	2,0	1,3	0,9	0,4	0,0
feste Biomasse	GWh/a	44,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Biogas	GWh/a	27,3	54,3	62,9	71,4	80,0
Bioerdgas	GWh/a	13,1	25,7	37,1	48,6	60,0
Biodiesel	GWh/a	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	GWh/a	1883,1	1827,6	1716,9	1606,1	1495,0
Bilanz der Stromversorgung						
Gesamter Strombedarf Freiburg	GWh/a	1.154	1.090	1.079	1.130	1.161
Verluste in den Stromnetzen	GWh/a	40	38	38	40	41
Anteil der Verluste an der Stromabgabe an Verbraucher	%	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Stromverbrauch im Stadtgebiet	GWh/a	1.194	1.129	1.116	1.170	1.201
Summe Stromerzeugung im Stadtgebiet	GWh/a	0	0	0	0	567,6
Strombezug von außerhalb des Stadtgebiets	GWh/a	1.194	1.129	1.116	1.170	634
Bilanz der Wärmeversorgung						
Gesamter Bedarf Nah- und Fernwärme in Freiburg	GWh/a	1.069,0	1.049,2	960,9	851,0	779,1
Verluste in den Wärmenetzen	GWh/a	117,6	115,4	105,7	93,6	85,7
Anteil der Verluste an der Wärmeabgabe an Verbraucher	%	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
Nah- und Fernwärmeverbrauch im Stadtgebiet	GWh/a	1.186,6	1.164,6	1.066,6	944,6	864,8
Summe Wärmeabnahme im Stadtgebiet	GWh/a	995,1	1.049,2	960,9	851,0	779,1

13.2.8 Zusammenfassung aller Sektoren

		2010	2020	2030	2040	2050
Endenergiebedarf						
Strom	GWh/a	1.154	1.090	1.079	1.130	1.161
Erdgas	GWh/a	996	967	798	619	471
Heizöl leicht	GWh/a	641	388	199	75	14
Nah-/Fernwärme	GWh/a	1.069	1.049	961	851	779
Umweltwärme	GWh/a	45	78	110	138	127
Solarthermie	GWh/a	59	83	109	129	139
Biomasse	GWh/a	94	123	152	166	148
Kohle	GWh/a	34	20	11	6	0
Erneuerbare Kühlung	GWh/a	0,3	0,9	2,6	4	4,2
Benzin	GWh/a	458	307	251	216	159
Diesel	GWh/a	648	681	629	574	526
Flüssiggas	GWh/a	4	9	12	15	20
H2/Brennstoffzelle	GWh/a	0	0	1	2	11
Summe	GWh/a	5.203	4.795	4.313	3.924	3.559
Endenergiebedarf, ohne Verkehr, Summe						
Strom, ohne Verkehr	GWh/a	1.081	1.018	996	1.038	1.049
Erdgas	GWh/a	993	959	787	606	453
Heizöl leicht	GWh/a	641	388	199	75	14
Nah-/Fernwärme	GWh/a	1.069	1.049	961	851	779
Umweltwärme	GWh/a	45	78	110	138	127
Solarthermie	GWh/a	59	83	109	129	139
Biomasse	GWh/a	94	123	152	166	148
Kohle	GWh/a	34	20	11	6	0
Erneuerbare Kühlung	GWh/a	0	1	3	4	4
Summe	GWh/a	4.017	3.718	3.327	3.012	2.713
Emissionen, ohne Verkehr, Summe						
Strom, ohne Verkehr	t/CO ₂ Äqu/a	563.861	476.845	454.410	471.170	449.048
Erdgas	t/CO ₂ Äqu/a	242.008	234.233	191.598	147.282	109.399
Heizöl leicht	t/CO ₂ Äqu/a	204.163	123.405	63.609	24.009	4.622
Nah-/Fernwärme	t/CO ₂ Äqu/a	304.539	287.942	260.589	227.646	205.106
Umweltwärme	t/CO ₂ Äqu/a	0	0	0	0	0
Solarthermie	t/CO ₂ Äqu/a	2.428	3.228	4.254	5.032	5.403
Biomasse	t/CO ₂ Äqu/a	2.349	3.084	3.713	4.063	3.591
Kohle	t/CO ₂ Äqu/a	14.552	8.665	4.578	2.726	0
Summe	t/CO₂Äqu/a	1.333.900	1.137.401	982.751	881.927	777.168

		2010	2020	2030	2040	2050
Emissionen Verkehr						
Personenverkehr, MIV, PKW	t/CO ₂ Äqu/a	266.485	237.545	210.787	177.467	136.858
Personenverkehr, MIV, Krafträder	t/CO ₂ Äqu/a	2.038	1.877	1.642	1.350	1.081
Personenverkehr, ÖPNV	t/CO ₂ Äqu/a	42.640	39.792	38.841	36.566	31.949
Straßen-Güterverkehr, LNF	t/CO ₂ Äqu/a	16.408	16.310	15.596	15.979	17.330
Straßen-Güterverkehr, SNF	t/CO ₂ Äqu/a	85.083	90.125	83.045	81.631	84.963
Summe	t/CO₂Äqu/a	412.653	385.649	349.911	312.994	272.181
Emissionen Gesamt						
Reduzierung um (ggü. 2010)	%		12,8	23,7	31,58	39,92
Reduzierung um (ggü. 1992)	%		26,5	35,7	42,36	49,38

13.3 Datentabellen zum Ziel-Szenario

13.3.1 Sektor Haushalte – Raumwärme

				2010	2020	2030	2040	2050
Endenergiebedarf Haushalte Raumwärme								
Strom			GWh/a	47	37	27	33	39
Erdgas			GWh/a	395	378	149	38	0
Heizöl leicht			GWh/a	377	143	50	0	0
Fernwärme			GWh/a	190	171	152	110	105
Umweltwärme (über Wärmepumpe)			GWh/a	24	43	54	95	107
Solarthermie			GWh/a	36	38	38	30	33
Biomasse			GWh/a	58	63	66	59	51
Sonstige fossile/Kohle			GWh/a	23	9	3	0	0
Summe			GWh/a	1151	882	540	367	335
Abrissrate								
	alle Gebäudety- pen	bis 1919	%	0,01%	0,00%	0,00 %	0,00 %	0,00 %
		1920 -						
		1948	%	0,20%	0,20%	0,20 %	0,20 %	0,20 %
		1949 -						
		1961	%	0,20%	0,20%	0,20 %	0,20 %	0,20 %
		1962 -						
		1987	%	0,20%	0,20%	0,20 %	0,20 %	0,20 %
		1988 -						
		1994	%	0,00%	0,00%	0,00 %	0,05 %	0,05 %
Rate energetische Sanierung								
		bis 1919	%	1,1%	4,0%	3,0%	2,0%	2,0%
		1920 -						
		1948	%	1,1%	4,0%	3,0%	2,0%	2,0%
		1949 -						
		1961	%	1,1%	4,0%	3,0%	2,0%	2,0%
		1962 -						
		1987	%	1,1%	4,0%	3,0%	2,0%	2,0%
		1988 -						
		1994	%	1,1%	4,0%	3,0%	2,0%	2,0%
		1995 -						
		2001	%	0,0%	1,0%	2,0%	2,0%	2,0%
		2002 -						
		2007	%	0,0%	0,0%	2,0%	2,0%	2,0%

				2010	2020	2030	2040	2050
		ab 2008	%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Zubau								
	Bruttozubau							
		EFH	m²/a	2.163	1.874	1.681	1.656	1.568
		ZFH	m²/a	9.036	5.200	3.534	2.591	1.981
		MFH	m²/a	33.132	18.079	11.627	7.851	5.512
		GMFH	m²/a	9.199	5.386	3.717	2.745	2.131
		GMFH 9+	m²/a	35.459	19.897	13.253	9.430	7.005
		Ge- samt	m²/a	88.989	50.437	33.812	24.273	18.197
	Nettozubau							
		EFH	m²/a	798	410	245	147	88
		ZFH	m²/a	7.981	4.096	2.453	1.469	879
		MFH	m²/a	31.126	15.976	9.565	5.727	3.429
		GMFH	m²/a	7.981	4.096	2.453	1.469	879
		GMFH 9+	m²/a	31.924	16.386	9.811	5.874	3.517
		Ge- samt		79.811	40.964	24.527	14.685	8.792
spezifischer Heizwärme- (Endenergie-)verbrauch ohne Warmwasser, Neubau								
	EFH	ab 2008	kWh/m²/ a	45	15	10	10	5
	ZFH	ab 2008	kWh/m²/ a	45	15	10	10	5
	MFH (3-6)	ab 2008	kWh/m²/ a	45	15	10	10	5
	GMFH (7-8)	ab 2008	kWh/m²/ a	45	15	10	10	5
	GMFH++ / HH	ab 2008	kWh/m²/ a	50	15	10	10	5
	Zielzustand Endenergiebedarf nach Komplettsanierung		kWh/m²/ a	70	30	10	10	5
Verteilung des Heizwärmebedarfs auf Energieträger								
	Stromdirektheizung		%	3,0%	2,4%	2,0%	1,8%	3,0%
	Erdgas		%	35,0%	45,2%	31,0%	12,3%	0,0%
	Heizöl leicht		%	33,0%	16,5%	10,0%	0,0%	0,0%

				2010	2020	2030	2040	2050
	Fernwärme		%	16,0%	18,0%	26,0 %	29,0 %	30,8 %
	Umweltwärme über Wärmepumpe		%	3,0%	6,0%	12,0 %	32,0 %	39,9 %
	Solarthermie		%	3,0%	4,0%	6,5%	8,0%	9,8%
	Biomasse		%	5,0%	6,9%	12,0 %	17,0 %	16,5 %
	Kohle		%	2,0%	1,0%	0,5%	0,0%	0,0%
Nutzungsgrad lokale Heizungsanlage								
	Elektroheizung ohne Wärmepumpe		%	98%	98%	98%	98%	98%
	Erdgas		%	86%	93%	99%	99%	99%
	Heizöl leicht		%	82%	87%	92%	95%	98%
	Fernwärme		%	96%	96%	96%	96%	96%
	Umweltwärme über Wärmepumpe		%	314%	393%	445 %	455 %	465 %
	Solarthermie		%	100%	100%	100 %	100 %	100 %
	Biomasse		%	72%	74%	76%	78%	80%
	Kohle		%	73%	75%	77%	79%	81%
Endenergiebedarf nach Heizungssystem								
	Strom (Elektroheizung ohne Wärmepumpe)		GWh/a	36	23	12	7	10
	Erdgas		GWh/a	395	378	149	38	0
	Heizöl leicht		GWh/a	377	143	50	0	0
	Fernwärme		GWh/a	190	171	152	110	105
	Umweltwärme über Wärmepumpe		GWh/a	36	57	70	122	136
	Solarthermie		GWh/a	36	38	38	30	33
	Biomasse		GWh/a	58	63	66	59	51
	Kohle		GWh/a	23	9	3	0	0
	Summe		GWh/a	1151	882	540	367	335
Energiebedarf für Nutzung der Umweltwärme durch Wärmepumpen								
	Strom		GWh/a	11,4	14,5	15,8	26,8	29,3
	Umweltwärme		GWh/a	24,3	42,5	54,4	95,0	106,8
	Jahresarbeitszahl Wärmepumpe			3,1	3,9	4,5	4,6	4,7
Emissionen								
	Strom		t/CO ₂ Äq u/a	26.949	18.597	10.006	7.450	2.150
	Erdgas		t/CO ₂ Äq u/a	99.993	95.695	37.607	9.667	0
	Heizöl leicht		t/CO ₂ Äq u/a	120.878	45.833	16.143	0	0

				2010	2020	2030	2040	2050
	Fernwärme		t/CO ₂ Äq u/a	54.17 9	43.20 9	29.9 84	14.0 54	3.81 4
	Umweltwärme (über Wärme- pumpe)		t/CO ₂ Äq u/a	0	0	0	0	0
	Solarthermie		t/CO ₂ Äq u/a	1.605	1.712	1.71 0	1.36 9	1.50 4
	Biomasse		t/CO ₂ Äq u/a	1.456	1.575	1.64 9	1.48 7	1.26 6
	Kohle		t/CO ₂ Äq u/a	9.971	3.907	1.17 6	0	0
	Summe		t/CO ₂ Äq u/a	315.0 32	210.5 27	98.2 76	34.0 28	8.73 4

13.3.2 Sektor Haushalte – Warmwasser

			2010	2020	2030	2040	2050
Endenergiebedarf für Warmwasser							
Strom, inkl. Wärmepumpe		GWh/a	6,6	13,4	23,9	34,3	42,8
Erdgas		GWh/a	117,7	79,3	52,5	22,0	0,0
Heizöl leicht		GWh/a	50,9	17,1	10,5	0,0	0,0
Fernwärme		GWh/a	14,4	13,8	13,0	12,3	11,4
Umweltwärme		GWh/a	1,9	6,3	8,4	12,5	15,1
Solarthermie		GWh/a	4,3	27,9	33,8	49,9	54,0
Biomasse		GWh/a	7,2	6,7	8,4	6,9	5,9
Kohle		GWh/a	2,7	1,7	1,2	0,0	0,0
Summe		GWh/a	206	166	152	138	129
Warmwasserbedarf							
Anzahl Einwohner		1.000	212.055	214.950	213.807	210.925	206.463
spezifischer Warmwasserverbrauch		l/cap/a	16.425	15.969	15.513	15.056	14.600
	spezifischer Warmwasserverbrauch	l/cap/d	45	44	43	41	40
	Wärmekapazität Wasser	Wh/(kg*K)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	Temperaturdifferenz	K	35	35	35	35	35
	Nutzenergiebedarf Warmwasser	kWh/m ²	17,7	16,4	15,2	14,3	13,4
	Endenergiebedarf Warmwasser	kWh/m ²	24,7	17,6	15,0	12,6	11,0
	Nutzenergiebedarf Warmwasser	kWh/cap/a	669	650	631	613	594
Nutzenergiebedarf Warmwasser gesamt		GWh/a	142	140	135	129	123
Verteilung des Warmwasserbedarfs auf Energieträger							
Strom, ohne Wärmepumpe		%	3,7%	7,0%	14,0%	21,0%	28,0%
Erdgas		%	55,6%	46,0%	33,8%	15,5%	0,0%
Heizöl leicht		%	23,7%	8,8%	6,0%	0,0%	0,0%
Fernwärme		%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%
Umweltwärme inkl. Wärmepumpenstrom		%	2,0%	6,5%	8,7%	13,4%	16,8%
Solarthermie		%	3,0%	20,0%	25,0%	38,6%	44,0%
Biomasse		%	3,0%	3,0%	4,0%	3,5%	3,2%
Kohle		%	1,0%	0,7%	0,5%	0,0%	0,0%
Summe		%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Nutzungsgrad lokale WW-Bereitstellung							
Strom dezentral		%	92%	92%	92%	92%	92%
Erdgas		%	67%	81%	87%	91%	95%

			2010	2020	2030	2040	2050
Heizöl leicht		%	66%	72%	77%	81%	84%
Fernwärme		%	79%	81%	83%	84%	86%
Wärmepumpe		%	211%	221%	231%	241%	251%
Solarthermie		%	100%	100%	100%	100%	100%
Biomasse		%	59%	63%	64%	66%	67%
Sonstige fossile		%	53%	56%	58%	61%	64%
mittlerer Nutzungsgrad (gewichtet)		%	72%	93%	101%	113%	121%
Energiebedarf für Nutzung der Umweltwärme durch Wärmepumpen							
Strom		GWh/a	0,9	2,7	3,4	4,8	5,5
Umweltwärme		GWh/a	1,9	6,3	8,4	12,5	15,1
Emissionen							
Strom		t/CO ₂ Äqu /a	3.782	6.659	8.720	7.648	2.330
Erdgas		t/CO ₂ Äqu /a	29.766	20.075	13.270	5.571	0
Heizöl leicht		t/CO ₂ Äqu /a	16.342	5.482	3.377	0	0
Fernwärme		t/CO ₂ Äqu /a	4.090	3.483	2.566	1.568	414
Umweltwärme (über Wärmepumpe)		t/CO ₂ Äqu /a	0	0	0	0	0
Solarthermie		t/CO ₂ Äqu /a	149	978	1.181	1.746	1.890
Biomasse		t/CO ₂ Äqu /a	180	166	211	171	147
Kohle		t/CO ₂ Äqu /a	1.138	747	498	0	0
Summe		t/CO ₂ Äqu /a	55.447	37.591	29.824	16.705	4.781

13.3.3 Sektor Haushalte – Elektrogeräte und Kochen

		2010	2020	2030	2040	2050
Endenergiebedarf Haushalte Kochen, Haushaltsgeräte, Klima						
Strom	GWh/a	262	231	202	173	162
Erdgas	GWh/a	12	9	5	2	0
Erneuerbare Kühlung	GWh/a	2	16	38	69	110
Summe	GWh/a	275	256	245	244	273
Endenergiebedarf Kochen						
Strom	GWh/a	33	31	28	27	26
Erdgas	GWh/a	12	9	5	2	0
Summe	GWh/a	45	40	33	29	26
elektrische Klimatisierung/Kühlung						
Endenergieverbrauch Klimatisierung	GWh/a	2	6	11	18	28
Betriebsstunden der Klimageräte	h/a	500	563	625	688	750
Netto Wohnfläche gesamt	m ²	8.000.41	8.542.01	8.870.76	9.067.59	9.185.44
spez. Kühlleistung	W/m ²	3	8	4	7	8
Klimatisierungsrate	% der Wfl.	25	29	33	36	40
Klimatisierungsrate	% der Wfl.	2	4	6	8	10
erneuerbare Kühlung						
Endenergieverbrauch Klimatisierung	GWh/a	2	16	38	69	110
Betriebsstunden der Klimageräte	h/a	500	563	625	688	750
Netto Wohnfläche gesamt	m ²	8.000.41	8.542.01	8.870.76	9.067.59	9.185.44
spez. Kühlleistung	W/m ²	3	8	4	7	8
Klimatisierungsrate	% der Wfl.	25	29	33	36	40
Klimatisierungsrate	% der Wfl.	2	12	21	31	40
Emissionen						
Strom	t/CO ₂ Äqu/a	150.102	115.179	73.498	38.551	8.831
Erdgas	t/CO ₂ Äqu/a	2.914	2.281	1.270	500	0
Summe	t/CO ₂ Äqu/a	153.017	117.460	74.768	39.050	8.831

13.3.4 Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

		2010	2020	2030	2040	2050
Endenergiebedarf GHD						
Strom	GWh/a	465	386	300	247	215
Erdgas	GWh/a	269	203	131	56	22
Heizöl	GWh/a	194	97	22	12	0
Fernwärme	GWh/a	186	165	127	108	98
Umweltwärme	GWh/a	23	37	44	49	62
Solarthermie	GWh/a	23	37	44	49	62
Biomasse	GWh/a	35	47	44	31	39
Kohle	GWh/a	8	0	0	0	0
erneuerbare Kühlung	GWh/a	1	3	8	32	46
Summe	GWh/a	1.205	975	719	585	544
Entwicklung der Bezugsgrößen für den Energieverbrauch						
Zahl der Erwerbstätigen in Freiburg		121.320	119.926	112.886	106.562	103.271
Zahl der Schüler	Anzahl	41.062	38.804	38.105	36.848	35.447
Zahl der Krankenhausbetten	Anzahl	2.600	3.112	2.999	2901	2979
Wasserfläche der Bäder	m ²	8378	8378	8378	8378	8378
Endenergieverbrauch nach Energieträgern						
Strom	%	38	40	44	51	50
Erdgas	%	23	21	18	9	4
Heizöl leicht	%	16	10	3	2	0
Fernwärme	%	16	17	18	18	18
Umweltwärme	%	2	4	6	8	11
Solarthermie	%	2	4	6	8	11
Biomasse	%	3	5	6	5	7
erneuerbare Kühlung	%	0	0	0	0	0
Sonstige fossile/Kohle	%	1	0	0	0	0
(von Strom) für Kühlen und Lüften	%	16	18	26	34	33
davon erneuerbare Kühlung	%	2	5	10	30	50
Emissionen						
Strom	t/CO ₂ Äqu/a	266.704	192.247	109.446	55.030	11.682
Erdgas	t/CO ₂ Äqu/a	63.015	47.509	30.640	13.027	5.257
Heizöl leicht	t/CO ₂ Äqu/a	60.828	30.406	6.831	3.872	0
Fernwärme	t/CO ₂ Äqu/a	53.102	41.688	25.106	13.791	3.568
Umweltwärme	t/CO ₂ Äqu/a	0	0	0	0	0
Solarthermie	t/CO ₂ Äqu/a	805	1.292	1.528	1.732	2.162
Biomasse	t/CO ₂ Äqu/a	873	1.166	1.091	773	983
Kohle	t/CO ₂ Äqu/a	3.395	0	0	0	0
Summe	t/CO₂Äqu/a	448.721	314.309	174.641	88.226	23.652

13.3.5 Sektor Industrie

		2010	2020	2030	2040	2050
Endenergiebedarf Industrie						
Strom	GWh/a	309,2	265,3	237,5	210,0	218,3
Erdgas	GWh/a	204,5	164,2	104,3	84,4	69,5
Heizöl leicht	GWh/a	12,4	5,0	0,0	0,0	0,0
Fernwärme	GWh/a	662,4	503,6	495,3	429,7	424,6
Umweltwärme	GWh/a	0,0	28,2	26,1	15,3	23,2
Solarthermie	GWh/a	0,0	28,2	26,1	15,3	23,2
Biomasse	GWh/a	0,5	13,1	17,4	12,3	13,1
Kohle	GWh/a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	GWh/a	1.189	1.008	907	767	772
Endenergiebedarf nach Energieträgern						
Strom	%	26,0	26,3	27,3	27,4	28,3
Erdgas	%	17,2	16,3	12,0	11,0	9,0
Heizöl	%	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0
Fernwärme	%	55,7	50,00	57,00	56,00	55,00
Umweltwärme	%	0,0	2,8	3,0	2,0	3,0
Solarthermie	%	0,0	2,8	3,0	2,0	3,0
Biomasse	%	0,0	1,3	2,0	1,6	1,7
Emissionen						
Strom	t/CO ₂ Äqu/a	178.984	135.656	90.492	50.050	15.770
Erdgas	t/CO ₂ Äqu/a	47.860	38.419	24.400	19.751	16.257
Heizöl leicht	t/CO ₂ Äqu/a	3.872	1.576	0	0	0
Fernwärme	t/CO ₂ Äqu/a	189.210	129.597	100.702	58.096	19.804
Umweltwärme	t/CO ₂ Äqu/a	0	0	0	0	0
Solarthermie	t/CO ₂ Äqu/a	0	987	912	537	811
Biomasse	t/CO ₂ Äqu/a	13	327	434	307	328
Summe	t/CO₂Äqu/a	419.938	306.562	216.941	128.742	52.970

13.3.6 Sektor Verkehr

					2010	2020	2030	2040	2050
Endenergiebedarf Verkehrssektor gesamt									
Benzin, Otto-				GWh/a	458	271	184	105	59
kraftstoff									
Dieselantrieb				GWh/a	631	589	430	328	291
Erdgasantrieb				GWh/a	3	7	12	15	8
Flüssiggasan-				GWh/a	4	8	14	17	9
trieb									
Strom				GWh/a	69	74	72	84	74
Brennstoffzel-				GWh/a	0	3	9	17	21
le/H2									
Summe				GWh/a	1.164	952	722	566	461
Personenverkehr									
	Ver-			Tsd.	1.819.50				
	kehrs-			Pers-	3	1.744.559	1.636.03	1.516.07	1.388.1
	leistung			km			3	1	55
	gesamt								
		darin MIV		Tsd. Pers-	1.413.75	1.256.082	1.063.42	909.643	763.48
				km	4		2		5
		darin ÖPNV		Tsd. Pers-	405.749	488.476	572.612	606.429	624.67
				km					0
	Anteile								
	an Ver-								
	kehrs-								
	leistung-								
	gen								
		MIV		%	77,7	72,0	65,0	60,0	55,0
		ÖPNV		%	22,3	28,0	35,0	40,0	45,0
	Auslas-								
	tung								
	der								
	Fahr-								
	zeuge								
		PKW: Belegung		Pers. /Fz.	1,3	1,3	1,3	1,4	1,5
		Krafträder: Belegungs-							
		gungsdichte 1 ange-							
		nommen							
		Bus		Pers / Fzg	15,3	15,3	16,5	18,5	20,0
		Stadtbahn		Pers / Fzg	67,6	68,5	73,0	75,0	77,0
		S- und Regional-		Pers / Platz	0,2	0,3	0,4	0,4	0,6
		bahn:							
				%	13,3%	7,0%	5,0%	0,0%	0,0%

					2010	2020	2030	2040	2050
	Anteil Dieselantrieb								
	Fahrleistungen (Fzg.-km)								
	Anteil PKW an MIV		%		98	97	95	93	91
	Fahrleistung PKW		Tsd. Fzg-km		1.070.103	937.231	777.116	604.263	463.181
	Anteil Krafträder am MIV		%		1,6	3,0	5,0	7,0	9,0
	Fahrleistung Krafträder		Tsd. Fzg-km		17.400	28.987	40.901	45.482	45.809
	Fahrleistung ÖPNV-Bus		Tsd. Fzg-km		4.390	5.285	5.726	5.409	5.154
	Fahrleistung Stadtbahn		Tsd. Fzg-km		2955	3508	3859	3978	3991
	Fahrleistung ÖPNV-S- und Regionalbahn								
		Diesel	Tsd. Platz-km		85.565	46.913	28.058	0	0
		Strom	Tsd. Platz-km		558.750	623.276	533.101	520.013	357.103
		Summe	Tsd. Platz-km		644.315	670.190	561.159	520.013	357.103
MIV Motorisierter Individualverkehr PKW und Kombi									
	Entwicklung Fahrzeugbestand gesamt								
	Fahrzeugbestand gesamt				82.349	83.996	84.819	81.526	78.232
	Aktivitätsindex				100%	102%	103%	99%	95%
	Anteile verschiedener Antriebsarten am Fahrzeugbestand								

					2010	2020	2030	2040	2050
	Benzin, ohne Hybrid			%	71,0%	54,5%	25,0%	7,0%	0,0%
	Benzin, Hybrid			%	2,9%	8,5%	35,0%	40,0%	35,5%
	Dieselantrieb			%	24,3%	31,8%	20,8%	9,0%	3,8%
	Erdgasantrieb			%	0,4%	1,1%	2,7%	5,1%	4,1%
	Flüssiggasantrieb			%	0,4%	1,1%	2,7%	5,1%	4,1%
	Elektroantrieb			%	0,7%	2,0%	6,0%	11,4%	18,3%
	Plug-In Hybridantrieb			%	0,2%	0,6%	4,8%	15,7%	24,1%
	Brennstoffzellenantrieb			%	0,2%	0,5%	3,0%	7,0%	10,0%
	Fahrzeugbestand nach Antriebsart								
	Benzin, ohne Hybrid				58.435	45.778	21.205	5.707	0
	Benzin, Hybrid				2.369	7.165	29.653	32.610	27.803
	Dieselantrieb				20.049	26.694	17.625	7.337	2.965
	Erdgasantrieb				310	882	2.316	4.141	3.223
	Flüssiggasantrieb				327	882	2.282	4.133	3.215
	Elektroantrieb				551	1.680	5.089	9.302	14.340
	Plug-In Hybridantrieb				162	496	4.105	12.816	18.862
	Brennstoffzellenantrieb				137	420	2.545	5.707	7.823
	Jahresfahrleistung nach Antriebsart in Freiburg								
	Benzin, ohne Hybrid			Tsd. Fz.-km	638.188	410.705	181.080	42.045	0
	Benzin, Hybrid			Tsd. Fz.-km	20.369	56.991	250.941	240.259	169.708
	Dieselantrieb			Tsd. Fz.-km	398.308	432.070	221.025	69.101	20.245
	Erdgasantrieb			Tsd. Fz.-km	5.151	13.460	29.037	39.003	22.008
	Flüssig-			Tsd.	5.425	13.460	28.612	38.927	21.954

					2010	2020	2030	2040	2050
	gasantrieb			Fz.-km					
	Elektroantrieb			Tsd. Fz.-km	2.122	7.303	32.105	64.958	86.786
	Plug-In Hybridantrieb			Tsd. Fz.-km	264	2.154	25.898	89.495	114.153
	Brennstoffzellenantrieb			Tsd. Fz.-km	276	1.088	8.418	20.474	28.327
	Summe			Tsd. Fz.-km	1.070.103	937.231	777.116	604.263	463.181
spez. Verbrauch									
	Benzin, ohne Hybrid			l/100km	7,7	6,4	5,2	4,7	4,2
	Benzin, Hybrid			l/100km	5,7	4,8	3,9	3,5	3,2
	Dieselantrieb			l/100km	6,3	5,4	4,8	4,4	4,3
	Erdgasantrieb			kg/100km	5,2	4,3	3,5	3,2	2,9
	Flüssiggasantrieb			kg/100km	5,6	4,7	3,8	3,4	3,1
	Elektroantrieb			kWh/100km	19,2	16,5	14,5	14,0	13,9
	Plug-In Hybridantrieb			kWh/100km	25,8	23,5	20,0	18,6	17,7
	H2 / Brennstoffzellenantrieb			kg H2/100km	1,7	1,4	1,2	1,2	1,1
Gesamtverbrauch an Kraftstoff für PKW und Kombi									
	Benzin, ohne Hybrid			Tsd. l/a	48.928	26.285	9.416	1.976	0
	Benzin, Hybrid			Tsd. l/a	1.168	2.736	9.787	8.409	5.431
	Dieselantrieb			Tsd. l/a	25.226	23.332	10.609	3.040	871
	Erdgasantrieb			Tsd. kg/a	266	579	1.016	1.248	638
	Flüssiggasantrieb			Tsd. kg/a	306	633	1.087	1.324	681
	Elektroantrieb			Tsd. kWh/a	408	1.205	4.655	9.094	12.063
	Plug-In Hybridantrieb			Tsd. kWh/a	68	506	5.180	16.646	20.205

					2010	2020	2030	2040	2050
	Brennstoffzellenantrieb			Tsd. kg H2/a	5	15	101	246	312
Endenergieverbrauch MIV PKW und Kombi									
	Benzin, ohne Hybrid			MWh/a	428.607	230.258	82.486	17.311	0
	Benzin, Hybrid			MWh/a	10.230	23.964	85.731	73.663	47.573
	Dieselantrieb			MWh/a	247.216	228.651	103.970	29.796	8.531
	Erdgasantrieb			MWh/a	3.194	6.945	12.196	14.977	7.659
	Flüssiggasantrieb			MWh/a	3.912	8.097	13.917	16.941	8.711
	Elektroantrieb			MWh/a	408	1.205	4.655	9.094	12.063
	Plug-In Hybridantrieb			MWh/a	68	506	5.180	16.646	20.205
	Brennstoffzellenantrieb			MWh/a	170	563	3.737	9.091	11.529
	Summe			MWh/a	693.806	500.190	311.872	187.520	116.271
Emission MIV PKW und Kombi									
	Benzin, ohne Hybrid			t CO2 Äqu	168.642	89.788	30.800	5.339	0
	Benzin, Hybrid			t CO2 Äqu	4.025	9.345	32.012	22.720	11.546
	Dieselantrieb			t CO2 Äqu	84.607	77.276	29.711	6.585	1.244
	Erdgasantrieb			t CO2 Äqu	996	2.356	4.682	5.750	2.940
	Flüssiggasantrieb			t CO2 Äqu	1.049	2.356	4.613	5.739	2.933
	Elektroantrieb			t CO2 Äqu	234	572	1.624	1.872	408
	Plug-In Hybridantrieb			t CO2 Äqu	39	240	1.807	3.427	684
	H2/Brennstoffzellenantrieb			t CO2 Äqu	0	0	0	0	0
	Summe			t CO2 Äqu	259.593	181.933	105.250	51.432	19.756
MIV Krafträder									

					2010	2020	2030	2040	2050
Fahrleistung gesamt				1.000 Fz.-km	17.400	28.987	40.901	45.482	45.809
Anteil Elektroantrieb an Fahrleistung				%	1	10	30	40	50
spez. Energieverbrauch Benzinantrieb				MJ/Fz.-km	1,60	1,58	1,56	1,54	1,52
spez. Energieverbrauch Elektroantrieb				kWh/100km	4	4	4	4	4
Endenergiebedarf									
	Benzin			GWh/a	7,7	11,4	12,4	11,7	9,7
	Elektro			GWh/a	0,001	0,012	0,049	0,073	0,092
	Gesamt			GWh/a	7,7	11,5	12,5	11,7	9,8
Emissionen MIV Krafträder									
	Benzin			t CO2 Äqu	2.024,75	2.882,45	2.906,00	2.524,53	1.912,99
	Elektroantrieb			t CO2 Äqu	3,99	55,06	171,22	149,82	31,01
	gesamt			t CO2 Äqu	2.028,74	2.937,51	3.077,22	2.674,35	1.943,99
ÖPNV									
Anteile versch. Verkehrsmittel an ÖPNV - Verkehrsleistung									
	Bus gesamt			%	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
		innerorts		%	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4
		außerorts		%	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
	Stadt-bahn			%	49,2	49,2	49,2	49,2	49,2
	S- und Regionalbahn			%	34,3	34,3	34,3	34,3	34,3
	gesamt			%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Bus									
	Anteile verschiedener Antriebe								
		Diesel			100	80	50	20	0
		Brennstoffzelle			0	20	50	80	100

					2010	2020	2030	2040	2050
	spez. Endenergiebedarf								
		Diesel							
			innerorts	MJ/Fkm	14,9	14,0	13,0	12,0	11,0
			außerorts	MJ/Fkm	11,2	10,1	9,1	8,5	8,1
		Brennstoffzelle		MJ/Fkm	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7
	Stadtbahn								
	spez. Endenergiebedarf, Strom			kWh/Fz.-km	3,6	3,4	3,1	2,7	2,5
	S- und Regionalbahn								
	spez. Endenergiebedarf								
		Diesel		MJ/Platz-km	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
		Strom		MJ/Platz-km	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
	ÖPNV, Energiebedarf gesamt								
		Diesel		GWh	24,4	19,5	12,1	3,4	0,0
		Brennstoffzelle		GWh	0,0	2,1	5,6	8,3	9,6
		Biogas		GWh	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Strom		GWh	68,2	72,5	62,3	58,4	41,7
		Gesamt		GWh	92,6	94,2	80,1	70,1	51,3
	ÖPNV Emissionen								
	ÖPNV-Bus Diesel			t CO2 Äqu	4.075	3.863	1.603	0	0
	Straba Strom, Freiburger Strommix			t CO2 Äqu	6.161	5.665	4.173	2.211	338
	S- und Regionalbahn, Diesel			t CO2 Äqu	1.892	929	0	0	0
	S- und Regionalbahn,			t CO2 Äqu	32.921	28.777	18.488	9.814	1.074

					2010	2020	2030	2040	2050
	Freiburger Strommix								
Summe Emissionen ÖPNV			t CO ₂ Äqu		45.049	39.234	24.264	12.025	1.412
Personenverkehr, Endenergiebedarf gesamt									
	Benzin, Otto-Kraftstoff		GWh/a		446,5	265,7	180,6	102,6	57,2
	Dieselantrieb		GWh/a		271,7	248,1	116,1	33,2	8,5
	Erdgasantrieb		GWh/a		3,2	6,9	12,2	15,0	7,7
	Flüssiggasantrieb		GWh/a		3,9	8,1	13,9	16,9	8,7
	Strom		GWh/a		68,6	73,7	67,0	67,6	53,9
	Brennstoffzelle/H ₂		GWh/a		0,2	2,7	9,4	17,4	21,1
	Summe		GWh/a		794,0	605,3	399,2	252,7	157,1
Straßen-Güterverkehr									
Fahrleistungen									
	Leichte NFZ		Tsd. Fz-km		66.841	71.386	73.210	75.033	76.856
		Anteil an Gesamtfahrleistung	%		38	39	40	41	42
	Schwere NFZ, Busse		Tsd. Fz-km		108.357	110.947	109.124	107.300	105.477
		Anteil an Gesamtfahrleistung	%		62	61	60	59	58
	Summe Fahrleistungen		Tsd. Fz-km		175.198	182.333	182.333	182.333	182.333
Anteil der Fahrzeugarten an Fahrleistungen									
	Leichte NFZ								
		Innerorts	%		19,1	19	19	19	19
		Außerorts	%		7,9	8,3	8,3	8,3	8,3
		Autobahn im Stadtgebiet	%		11,2	12,4	12,4	12,4	12,4
		Summe	%		38,2	39,7	39,7	39,7	39,7
	Schwere NFZ, Busse								

					2010	2020	2030	2040	2050
		Innerorts		%	25,7	24	24	24	24
		Außerorts		%	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6
		Autobahn im Stadt- gebiet		%	24,5	25	25	25	25
		Summe		%	61,8	60,6	60,6	60,6	60,6
Anteile ver- schiedener Antriebsarten an der Fahr- leistung									
	Benzin			%	5,6	2,9	2,1	1,5	1,0
	Diesel			%	93,5	94,9	94,5	94,2	94,0
	Erdgas			%	0,7	1,8	2,9	3,5	4,0
	Flüssig- gas			%	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6
	Elektro			%	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4
	Brenn- stoffzel- le			%	0,0	0,0			
Spezifischer Verbrauch									
	Benzin- antrieb			l/100 km	12,9	11,4	10	9,4	9,4
	Diesel- antrieb			l/100 km	22,4	20,1	18,6	17,5	16,8
	Erdgas- antrieb			kg/100 km	15,1	13,8	12,4	11,5	11,1
	Flüssig- gasan- trieb			kg/100 km	16,0	14,9	13,5	12,5	12,2
	Elektro- antrieb			kWh/1 00 km	53,9	49,6	46,1	43	41,2
	Brenn- stoffzel- le			kg/100 km					
Gesamtkraft- stoffverbrauch									
	Benzin			l	1.272.84 0	609.290	374.248	256.951	169.56 2
	Diesel			l	36.639.2 18	34.770.96 7	32.041.5 05	30.072.4 54	28.807. 670
	Erdgas			kg	184.247	456.333	654.334	726.415	804.91 5
	Flüssig- gas			kg	30.184	63.021	85.890	110.819	132.04 2
	Elektro			kWh	74.873	133.501	189.781	238.260	297.27 5
	Brenn- stoffzel- le			kg					
Anteil an Biok- raftstoffen									
	am Diesel-			%	5	20	50	50	100

					2010	2020	2030	2040	2050
	kraftstoff								
	am Benzin		%		6	15	38	62	85
Endenergieverbrauch Straßengüterverkehr									
	Benzin		GWh		11,1	5,3	3,3	2,2	1,5
	Diesel		GWh		359,1	340,8	314,0	294,7	282,3
	Erdgas		GWh		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Flüssiggas		GWh		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Elektro		GWh		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	H2		GWh						
	Gesamt		GWh		370,2	346,1	317,3	297,0	283,8
THG-Emissionen									
	Leichte NFZ		t/a CO2 Äqu		16.044	13.648	9.879	8.839	4.421
	Schwere NFZ		t/a CO2 Äqu		83.194	75.414	52.602	44.751	21.222
Summe			t/a CO2 Äqu		99.238	89.062	62.481	53.591	25.643
Verkehr gesamt									
Endenergiebedarf									
	Benzin		GWh		457,6	271,0	183,9	104,9	58,7
	Diesel		GWh		630,7	588,9	430,1	327,9	290,8
	Erdgas		GWh		3,2	7,0	12,2	15,0	7,7
	Flüssiggas		GWh		3,9	8,1	13,9	16,9	8,7
	Elektro		GWh		68,6	73,7	67,0	67,6	53,9
	H2		GWh		0,2	2,7	9,4	17,4	21,1
	Gesamt		GWh		1.164,2	951,4	716,5	549,7	441,0
THG-Emissionen			t/a CO2 Äqu		405.909	313.166	195.072	119.722	48.754

13.3.7 Sektor Energieumwandlung

		2010	2020	2030	2040	2050
Stromerzeugung im Stadtgebiet						
Erneuerbare Energien, ohne KWK						
Wasserkraft Bestand 2009	GWh/a	2,3	2,5	2,5	2,5	2,5
Windkraft Bestand 2009	GWh/a	10,0	12,0	24,0	24,0	24,0
Windkraft Neuanlagen	GWh/a		30,0	45,0	45,0	60,0
Photovoltaik	GWh/a	13,8	28,1	53,1	78,1	103,1
Geothermie	GWh/a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	GWh/a	26,1	72,6	124,6	149,6	189,6
Stromerzeugung KWK	GWh/a	556,0	528,3	472,9	417,6	362,3
Stromerzeugung gesamt	GWh/a	582,1	600,9	597,5	567,2	551,9
zentrale Wärmeerzeugung im Stadtgebiet	GWh/a	978,3	853,7	787,7	660,6	639,3
Brennstoffeinsatz Strom- und zentrale Wärmeerzeugung im Stadtgebiet						
Kohle	GWh/a	64,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Erdgas	GWh/a	1729,7	1508,1	1005,4	502,7	0,0
Heizöl	GWh/a	2,0	1,7	1,1	0,6	0,0
Deponiegas	GWh/a	2,0	1,3	0,9	0,4	0,0
feste Biomasse	GWh/a	44,0	189,6	468,8	747,9	1027,0
Biogas	GWh/a	27,3	57,1	71,4	85,7	100,0
Bioerdgas	GWh/a	13,1	31,4	54,3	77,1	100,0
Biodiesel	GWh/a	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	GWh/a	1883,1	1789,3	1601,9	1414,5	1227,0
Bilanz der Stromversorgung						
Gesamter Strombedarf Freiburg	GWh/a	1.159	1.008	866	782	752
Verluste in den Stromnetzen	GWh/a	41	35	30	27	26
Anteil der Verluste an der Stromabgabe an Verbraucher	%	4	4	4	4	4
Stromverbrauch im Stadtgebiet	GWh/a	1.199	1.043	896	809	778

		2010	2020	2030	2040	2050
Summe Stromerzeugung im Stadtgebiet	GWh/a	582	601	598	567	552
Strombezug von außerhalb des Stadtgebiet	GWh/a	617	442	299	242	226
Anteil selbstproduzierter Strom	%	49	58	67	70	71
Bilanz der Wärmeversorgung						
Gesamter Bedarf Nah- und Fernwärme in Freiburg	GWh/a	1.069	1.049	961	851	639
Verluste in den Wärmenetzen	GWh/a	118	111	93	75	51
Anteil der Verluste an der Wärmeabgabe an Verbraucher	%	11	11	10	9	8
Nah- und Fernwärmeverbrauch im Stadtgebiet	GWh/a	1.187	1.160	1.054	926	691
Summe Wärmeabnahme im Stadtgebiet	GWh/a	978	854	788	661	639

13.3.8 Zusammenfassung aller Sektoren

		2010	2020	2030	2040	2050
Endenergiebedarf						
Strom	GWh/a	1.159	1.008	866	782	752
Erdgas	GWh/a	1.001	841	454	217	100
Heizöl leicht	GWh/a	634	262	83	12	0
Nah-/Fernwärme	GWh/a	1.053	854	788	661	639
Umweltwärme	GWh/a	49	114	132	172	207
Solarthermie	GWh/a	63	131	141	145	172
Biomasse	GWh/a	101	129	135	110	109
Kohle	GWh/a	34	11	4	0	0
erneuerbare Kühlung	GWh/a	3	19	46	101	156
Benzin	GWh/a	458	271	184	105	59
Diesel	GWh/a	631	589	428	328	291
Flüssiggas	GWh/a	4	8	14	17	9
H2/Brennstoffzelle	GWh/a	0	3	9	17	21
Summe	GWh/a	5.190	4.239	3.284	2.667	2.514
Endenergiebedarf, ohne Verkehr, Summe						
Strom, ohne Verkehr	GWh/a	1.090	933	791	697	678
Erdgas	GWh/a	998	834	441	202	92
Heizöl leicht	GWh/a	634	262	83	12	0
Nah-/Fernwärme	GWh/a	1.053	854	788	661	639
Umweltwärme	GWh/a	49	114	132	172	207
Solarthermie	GWh/a	63	131	141	145	172
Biomasse	GWh/a	101	129	135	110	109
Kohle	GWh/a	34	11	4	0	0
erneuerbare Kühlung	GWh/a	3	19	46	101	156
Summe	GWh/a	4.026	3.288	2.562	2.101	2.053
Emissionen, ohne Verkehr, Summe						
Strom, ohne Verkehr	t/CO ₂ Äqu/a	626.580	446.997	279.556	146.827	26.988
Erdgas	t/CO ₂ Äqu/a	243.549	203.979	107.187	48.515	21.514
Heizöl leicht	t/CO ₂ Äqu/a	201.920	83.297	26.350	3.872	0
Nah-/Fernwärme	t/CO ₂ Äqu/a	300.580	217.977	158.359	87.510	27.601
Umweltwärme	t/CO ₂ Äqu/a	0	0	0	0	0
Solarthermie	t/CO ₂ Äqu/a	2.559	4.969	5.332	5.385	6.366
Biomasse	t/CO ₂ Äqu/a	2.521	3.234	3.386	2.739	2.724
Kohle	t/CO ₂ Äqu/a	14.504	4.655	1.674	0	0
Summe	t/CO₂Äqu/a	1.392.214	965.108	581.844	294.848	85.192
Emissionen Verkehr, Summe						
Personenverkehr, MIV, PKW	t/CO ₂ Äqu/a	259.593	181.933	105.250	51.432	19.756
Personenverkehr, MIV, Krafträder	t/CO ₂ Äqu/a	2.029	2.938	3.077	2.674	1.944
Personenverkehr, ÖPNV	t/CO ₂ Äqu/a	45.049	39.234	24.264	12.025	1.412
Straßen-Güterverkehr, LNF	t/CO ₂ Äqu/a	16.044	13.648	9.879	8.839	4.421
Straßen-Güterverkehr, SNF	t/CO ₂ Äqu/a	83.194	75.414	52.602	44.751	21.222

		2010	2020	2030	2040	2050
Summe	t/CO2Äqu/a	405.909	313.166	195.072	119.722	48.754
Emissionen Gesamt	t/CO2Äqu/a	1.798.122	1.278.274	776.915	414.570	133.946
Reduzierung um (ggü. 2010)	%		28,9	56,8	76,9	92,6
Reduzierung um (ggü. 1992)	%	13,3	38,3	62,5	80,0	93,5
Gesamtemissionen, wenn Emissionen des Stromverbrauchs mit dem bundesweiten Strommix bewertet werden						
Emissionen, ohne Verkehr, Summe						
Strom, ohne Verkehr	t/CO2Äqu/a	660.353	438.542	264.269	132.072	30.265
Erdgas	t/CO2Äqu/a	243.549	203.979	107.187	48.515	21.514
Heizöl leicht	t/CO2Äqu/a	201.920	83.297	26.350	3.872	0
Nah-/Fernwärme	t/CO2Äqu/a	300.580	217.977	158.359	87.510	27.601
Umweltwärme	t/CO2Äqu/a	0	0	0	0	0
Solarthermie	t/CO2Äqu/a	2.559	4.969	5.332	5.385	6.366
Biomasse	t/CO2Äqu/a	2.521	3.234	3.386	2.739	2.724
Kohle	t/CO2Äqu/a	14.504	4.655	1.674	0	0
Summe	t/CO2Äqu/a	1.425.987	956.653	566.556	280.093	88.470
Emissionen Verkehr						
Personenverkehr, MIV, PKW	t/CO2Äqu/a	259.607	181.918	105.064	50.895	19.954
Personenverkehr, MIV, Krafträder	t/CO2Äqu/a	2.029	2.936	3.068	2.659	1.950
Personenverkehr, ÖPNV	t/CO2Äqu/a	47.007	38.589	23.040	10.806	1.669
Straßen-Güterverkehr, LNF	t/CO2Äqu/a	16.044	13.648	9.879	8.839	4.421
Straßen-Güterverkehr, SNF	t/CO2Äqu/a	83.194	75.414	52.602	44.751	21.222
Summe	t/CO2Äqu/a	407.881	312.505	193.653	117.950	49.215
Emissionen Gesamt	t/CO2Äqu/a	1.833.868	1.269.158	760.210	398.043	137.685
Reduzierung um (ggü. 2010)	%		30,8	58,5	78,3	92,5
Reduzierung um (ggü. 1992)	%		38,8	63,3	80,8	93,4