

„Masterplan Energieeffiziente Stadt Freiburg“

Planungsinstrument zum Ausbau der effizienten Energieversorgung in Freiburg

Ein Projekt der Stadt Freiburg

in Zusammenarbeit mit der
FICHTNER IT CONSULTING AG Stuttgart

gefördert durch den
Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der
badenova AG & Co. KG

Abschlussbericht

für den Innovationsfonds der badenova AG & Co. KG

Projektnummer: 2010-09

Titel: "Masterplan Energieeffiziente Stadt" – Planungsinstrument zum
Ausbau der effizienten Energieversorgung in Freiburg"

Projektlaufzeit: Januar 2010 bis Juni 2013

12.08.2013

Kontakt:

Rouven Kraft
Projektbeauftragter

Stadt Freiburg
Umweltschutzamt
Talstr. 4
79102 Freiburg
Tel. 0761 / 201-6144
Fax 0761 / 201-6199
rouven.kraft@stadt.freiburg.de

Inhaltsverzeichnis

1.	Zielsetzung	4
2.	Projektvorhaben	5
3.	Projektverlauf	6
3.1	Datenerhebung und –Aufbereitung	6
3.2	Erstellung eines Referenz-Energie-Systems	6
3.3	Erstellung eines Energiekatasters	6
3.4	Ermittlung der Möglichkeiten der Stadt Freiburg	7
3.5	Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren (Szenarien)	7
3.6	Reduktion des Energiekonsums	7
3.7	Energieeffizienzserhöhung	8
3.8	Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieformen	8
3.9	Energiemodell	8
4.	Projektergebnisse	9
4.1	Energiekataster	9
4.2	Energiemodell (MAED)	10
4.3	Szenarien	11
4.4	Strategien	12
4.4.1	Referenzfall	12
4.4.2	Strategie SPAR	13
4.4.3	Strategie GREEN	16
4.4.4	Strategie EFFIZIENZ	20
5.	Zusammenfassung	23
6.	Schlussfolgerungen	25
6.1	Übertragbarkeit	27
7.	Finanzierung	27
	Anlagen	27

1. Freiburger Klimaschutzzielsetzungen

Die Stadt Freiburg befindet sich bereits seit langer Zeit auf dem Weg zu einer „CO₂-neutralen Stadt“. Mit dem Klimaschutzkonzept 2007 wurde das ehrgeizige Ziel gesetzt, bis 2030 die CO₂ Emissionen der Stadt um mindestens 40% zu senken. Dazu hat die Stadt Freiburg einen Maßnahmenkatalog erstellt, der die dazu wichtigsten Handlungsfelder beschreibt. Eines der wichtigsten Handlungsfelder ist nach wie vor die Energieeffizienz und damit auch verbunden die Kraft-Wärme-Kopplung - KWK.

Die KWK-Vorteile einer gleichzeitigen Erzeugung von Wärme und Strom gegenüber der getrennten Erzeugung von Strom in Großkraftwerken und einer dezentralen Wärmeversorgung z.B. mit Erdgas sind eindeutig: Energieeinsparungen von bis zu 40% und eine Reduktion der CO₂-Emissionen bzw. ein geringerer Primärenergieeinsatz von bis zu 30%. Die Einsparungen gegenüber einer dezentralen Wärmeerzeugung mit Heizölkesseln und einer Stromerzeugung mit Kohlekraftwerken liegen noch höher.

Mittlerweile sind weit über 100 KWK-Anlagen in Freiburg in Betrieb, die von großtechnischen Anlagen wie dem Wärmeverbundkraftwerk (WVK) oder dem Uniklinik-Heizkraftwerk (Uni-HKW) über Stadtteil-BHKW wie Weingarten/Rieselfeld bis hin zu Klein-Blockheizkraftwerken (BHKW) im Gewerbe oder in Mehrfamilienhäusern reichen u. mehr als 50% des Freiburger Strombedarfes decken. Damit hat Freiburg das Ziel der Bundesregierung, den KWK-Anteil an der Stromerzeugung bis zum Jahr 2020 auf 25 % anzuheben, längst erreicht. Trotzdem besteht in Freiburg weiteres Ausbaupotential für eine energieeffiziente Energieversorgung unter Nutzung der KWK im Wärmebereich und zunehmend auch für die Kältebereitstellung, diese vor allem im Bürobereich.

Der Gemeinderat hat 2007 auf Basis des Gutachtens „Klimaschutzstrategie der Stadt Freiburg“ vom Öko-Institut ein CO₂-Reduktionsziel von – 40% bis 2030 beschlossen (Drucksache G-07/102). Grundlage dazu war das sog. Szenario „optimales Klimaschutz Umfeld“, das auch einen forcierten Ausbau der KWK in Freiburg angenommen hat, im Gebäudebestand, im Neubaubereich und in den Bereichen Gewerbe und Industrie.

Im Rahmen der Berichterstattung zur Klimabilanz 2006/2007 am 31.03.2009 wurde die Verwaltung beauftragt, eine Konzeption zum Ausbau der KWK zu erstellen (Drucksache G-09/059), was in das Ziel „Masterplan Energieeffiziente Stadt“ mündete. Die hierzu durchgeführten Arbeiten hatten zum Ziel eine Übersicht über die gesamtstädtische, bestehende Energieversorgung zu bekommen und weiteres Ausbaupotential im Energieeffizienzbereich (u.a. KWK) aufzuzeigen. Darüber hinaus sollte ein Tool geschaffen werden, das stadtplanerische Prozesse mit Aussagen über mögliche zukünftige Energiebedarfsentwicklungen unterstützen kann.

2. Projektbeschreibung

Im Rahmen des Projektes sollte ein innovatives und dynamisches Planungsinstrument geschaffen werden, das es ermöglicht, ein für die Stadt Freiburg umfassendes,

nachhaltiges Energiekonzept, einen sog. Masterplan, zu erarbeiten, unter Berücksichtigung von Energieeinsparungs- und Effizienzsteigerungsmaßnahmen und der Nutzung erneuerbarer Energiequellen.

Daneben sollte der aktuelle Datenbestand aus verschiedenen Quellen zusammengeführt und in Form eines Energiekatasters visualisiert werden. Die für das Energiekataster erarbeitete Datengrundlage sollte die Ausgangsbasis bilden, auf der ein Energiemodell entwickelt werden sollte. Mit dem Energiemodell sollte analysiert werden, in welchen Bereichen Freiburgs Energie- und CO₂-Emissionsreduktionspotentiale vorliegen. Dazu sollten auch zentrale, zukunftsbezogene Fragestellungen behandelt werden, wie z.B.:

- Welche Energieversorgungstechnologien spielen zukünftig eine Rolle?
- Wie werden sich die Energiebedarfe entwickeln?
- Wie können die unterschiedlichen Energiebedarfe und die Energiebereitstellung aufeinander abgestimmt werden?
- Wie können Synergieeffekte frühzeitig erkannt und genutzt werden?

Als Teil des „Masterplan energieeffizientes Freiburg“ sollte ein handlungsorientiertes Planungsinstrument auf GIS-Basis (geographisches Informationssystem) entwickelt und in die Geodateninfrastruktur (GDI) der Stadt Freiburg integriert werden.

Die Stadt Freiburg nutzt bereits verschiedene Instrumente, um die energieeffiziente Versorgung im Stadtgebiet auszubauen. Zu erwähnen sind z.B. die Erstellung von Energiekonzepten als Vorgabe bei B-Plänen und Grundstücksverkäufen und die Berücksichtigung von Synergieeffekten angrenzender Gebiete (z.B. Fernwärme-erweiterung). Außerdem die Bezuschussung von Energieoptimierungsmaßnahmen im Rahmen des Altbauförderprogramms „Energiebewusst Sanieren“ oder energetische Neubaustandards. Mit Hilfe des Energiekatasters und des Energiemodells könnten zukünftig strategische Maßnahmen für die Gestaltung des Energiesystems der Stadt Freiburg abgeleitet und zu einem stadtweiten Energiekonzept, dem Masterplan, zusammengeführt werden.

Die Energieverbrauchsentwicklung beruht auf einer Vielzahl unterschiedlicher Einflussfaktoren sowohl endogener als auch exogener Natur u. liegt daher entweder innerhalb oder außerhalb des Einflussbereichs der Stadt. Dies erfordert eine gesamtheitliche, systemische Betrachtungsweise, die angefangen von den diversen Energieimporten bis hin zur Nutzenergie die Wertschöpfungskette vollständig berücksichtigt.

Um strategische Handlungsoptionen im Energiebereich zu erarbeiten, wurden Annahmen für die Entwicklungsmöglichkeiten der exogenen Einflussfaktoren wie z.B. Bevölkerungswachstum und wirtschaftliche Entwicklung Freiburgs getroffen. Des weiteren wurde die zukünftige Wärmebedarfsentwicklung in Einklang mit der zu erwartenden demographischen Entwicklung der Stadt abgeschätzt, um dadurch die Auswirkung auf das Versorgungssystem zu beurteilen. Ebenso berücksichtigt wurde die Verfügbarkeit erneuerbarer Energieträger sowie bestehende und zukünftig verfügbare Energieumwandlungstechnologien, Energiepreissteigerungsprognosen u. zukünftige politische Zielrichtungen.

3. Projektverlauf

3.1 Datenerhebung und –Aufbereitung

Für die gutachterlichen Arbeiten wurden viele verschiedene Daten benötigt. Diese mussten zusammengeführt und für die Katastererstellung bzw. die Modellierung aufbereitet und auf Vollständigkeit überprüft werden. Dazu musste zuerst recherchiert werden, welche Daten bei der Stadt bzw. ihr zugänglichen Quellen vorlagen und mit den Dateneigentümern Datenschutzvereinbarungen getroffen werden, als Voraussetzung für einen Datentransfer.

Als Datenquellen wurden u.a. andere Dienststellen (Amt für Bürgerservice und Informationsverarbeitung für Gebäude- und Sachdaten, Eigenbetrieb Stadtentwässerung für Abwassernetzdaten) konsultiert sowie badenova (für Energieverbrauchsdaten), WärmePlus (für Wärmeerzeugerdaten), badenova Netze (für Gasnetzinformationen) sowie öffentliche Datenquellen (European Energy and Transport, OECD Veröffentlichungen).

Da verschiedene Datenquellen herangezogen wurden, mussten die Daten öfter synchronisiert werden, weil die jeweiligen Zeitbezüge differierten. Die Daten wurden in einer Datenbank zusammengefasst. Der resultierende Datensatz war Grundlage des Energiekatasters und diente auch zum Aufbau des Energiemodells. Datenlücken bei den Energieverbräuchen in Bezug auf die Objekte erwiesen sich als problematisch und mussten mit Hilfe von Analogieschlüssen, Mittelung oder dem Einsatz von Statistikwerten geschlossen werden.

Die Datenbeschaffung und deren Aufbereitung brachte einen deutlichen größeren Aufwand mit sich als ursprünglich angenommen. Daraus ergab sich ein mehrmonatiger Zeitverzug.

3.2 Erstellung eines Referenz-Energie-Systems

Die aufbereiteten Daten mündeten in ein Referenz-Energie-System (RES), eine Aufstellung der Energieflüsse der Stadt Freiburg. Mit Hilfe des RES wurden die Systemgrenzen definiert und die relevanten endogenen und exogenen (BIP, Energiepreise, politische Ziele) Einflussfaktoren des Energiesystems der Stadt Freiburg identifiziert. Das RES weist Bezugsquellen, Energieerzeugungsanlagen, Energietransportmöglichkeiten sowie die zu betrachtenden Verbrauchergruppen aus und diente außerdem als Ausgangsbasis für die Modellierung.

3.3 Erstellung eines Energiekatasters

Ein Energiekataster, als Visualisierungshilfe, sollte dazu dienen die Energieverbräuche geographisch zuzuordnen und graphisch darzustellen. Es sollte ein Kataster für das Basisjahr erstellt werden. Dazu sollten geographische und thematische Daten in Bezug gesetzt und in Kartenform dargestellt werden.

Der Detaillierungsgrad dieser Darstellung hing wesentlich von den zur Verfügung stehenden Daten und den Vorgaben des Datenschutzes bezüglich der Handhabung und

Auflösung der Daten ab. Schlussendlich war der größtmögliche Auflösungsgrad die Baublockebene.

3.4 Ermittlung der Möglichkeiten der Stadt Freiburg

In diesem Arbeitspaket ging es darum mögliche Maßnahmen der Stadt Freiburg abzuleiten, um die drei folgenden wesentlichen Aspekte zu beeinflussen:

- Reduktion des Energiekonsums
- Energieeffizienzerhöhung
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieformen.

Dazu sollten Einflussfaktoren auf diese Aspekte bezüglich Ihrer Entwicklung abgeschätzt werden.

3.5 Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren (Szenarien)

Es sollten Annahme zur Entwicklung des Energieverbrauchs getroffen werden, gestützt auf die Ausgangsbasis des Energiekatasters. Wenn vorhanden, sollten Energienachfrageprognosen des EVU und von Kraftwerks- bzw. Netzbetreibern herangezogen werden. Außerdem sollten die wirtschaftliche Entwicklung, sowie Annahmen zu den Rohstoffpreisentwicklungen und der demographischen Entwicklung berücksichtigt werden.

Die Entwicklung der Wirtschaft in Deutschland und in der EU hat Einfluss auf die Verfügbarkeit von Arbeitskräften, auf die Energienachfrage speziell im Industrie- und Gewerbebereich, aber auch auf die Investitionsbereitschaft im Energiesektor. Dazu konnten Prognosen von verschiedenen Quellen herangezogen werden. Unter anderem wurden Kurzfristprognosen von nationalen Quellen aber auch von internationalen, wie beispielsweise von der OECD oder der EU herangezogen. Eine Langfristprognose zur Entwicklung des BIP konnte dem Report „European Energy and Transport: Trends to 2030 – Update 2005“ entnommen werden.

Aufgrund der Unsicherheiten von Annahmen, sollte mindestens ein „Hochpreis-“ (Prosperitäts-) und ein „Niedrigpreis-“ (Stabilisierungs-) Szenario berechnet werden.

Einige bedeutende Inputs für die Szenarienaufstellung konnten nicht eruiert werden, wie lokale Energieverbrauchsprognosen und Wirtschaftsprognosen (Wirtschaftswachstum für die Region Freiburg allgemein, spezifische Entwicklung verschiedener Wirtschaftssektoren). Ebenso konnten keine Entwicklungsannahmen für das Bau- und Ausbaugewerbe in der Region Freiburg eruiert werden. Die Verfügbarkeit an Arbeitskräften bzw. Gewerben, die Sanierungsarbeiten durchführen, ist ein die Sanierungsrate von Freiburgs Gebäuden beeinflussender Faktor.

3.6 Reduktion des Energiekonsums

Es sollten strategische Handlungsbereiche identifiziert werden, um den Energieverbrauch positiv zu beeinflussen. Das Ziel dieser Aufgabe war es, durch Maßnahmen einen Anstieg der Energienachfrage abzufedern und somit den Ausbaubedarf der

Energieumwandlungsanlagen und der Verteilungsnetze zu reduzieren. Die Maßnahmen sollten als Handlungsoptionen in das Energiemodell integriert werden.

3.7 Energieeffizienzerhöhung

Zentrale Lösungen mit regionalen Großkraftwerken bringen verschiedene Nachteile für Kommunen mit sich, wie Abhängigkeit von einzelnen Energieversorgern (Gefahr der Marktbeherrschung), relative Systeminstabilität bzw. Anfälligkeit für Marktbewegungen/Preisschwankungen der Energieträger. Außerdem besteht ein höherer Netzinfrastukturbedarf aufgrund der Distanz zwischen Energiequelle und Senke (z.B. Stromtrassen, Umspannwerke, Fernwärmeleitungen) und es entsteht keine oder relativ wenig regionale Wertschöpfung.

Es sollten Aussagen zu strategischen Maßnahmenbereichen für Energieeffizienzsteigerungen getroffen werden. Dabei standen die technologischen Möglichkeiten zur Reduktion der Energieverluste bei der Erzeugung und beim Transport von Energie im Fokus.

3.8 Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieformen

Neben der Erhöhung der Energieeffizienz ist auch der Ausbau erneuerbarer Energieformen im Freiburger Klimaschutzkonzept verankert. Durch den Einsatz erneuerbarer Energien, im besten Fall regionalen Ursprungs, wird nicht nur die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern – und somit der Energieimporte – reduziert, sondern auch die regionale Wirtschaft unterstützt.

Es sollten Aussagen zu einer möglichen Strategie für den Ausbau erneuerbarer Energien getroffen werden.

3.9 Energiemodell

Aufbauend auf der Ausgangsbasis (3.1/3.3) und den Handlungsoptionen (3.4-3.8), sollte ein dynamisches Planungsinstrument erstellt werden, welches eine quantitative Bewertung der Handlungsoptionen und somit zukünftig die Ableitung eines Masterplans „Energieeffiziente Stadt Freiburg“ ermöglichen sollte.

Unter dem Planungsinstrument ist ein Energiemodell zu verstehen, aufbauend auf dem Referenz-Energie-System und den darin dargestellten Technologien und Energieflüssen. Das Energiemodell sollte auf einer aggregierten Ebene das Energiesystem der Stadt Freiburg, unterteilt in verschiedene Regionen abbilden. Es sollte zwischen Industrie-, Gewerbe- und Wohnsektor unterschieden werden. In den einzelnen Regionen sollten bestehende Erzeugungsanlagen und Verbrauchersektoren abgebildet werden.

Das Energiemodell fußt auf „MAED“ (Model for Analysis of Energy Demand), welches von der „International Atomic Energy Agency“ (IAEA) ursprünglich für die Ermittlung des zukünftigen Endenergiebedarfs von Entwicklungsländern konzipiert wurde. Diese Ursprungsversion wurde über die Jahre erweitert, um einen flexibleren Einsatz des Werkzeuges zu ermöglichen. Die hier angewandte Version wurde für den Einsatz im städtischen Bereich weiterentwickelt. Das Modell setzt sich aus mehreren, miteinander

verknüpften Dateien zusammen – den Daten-Sheets, den Input-Sheets, den Berechnungs-Sheets und den Resultat-Sheets.

4. Projektergebnisse

Die ausführliche Ergebnisdarstellung mit zahlreichen Tabellen und Diagrammen kann dem Abschlussbericht des Gutachters entnommen werden. Aus Gründen der besseren Übersicht wird hier einer beschreibenden Ergebniszusammenfassung Vorrang gewährt.

4.1 Energiekataster

Das Energiekataster ermöglicht die visuelle Darstellung einer „Ist-Situation“ des Energieverbrauchs und der Energieinfrastruktur für das Stadtgebiet Freiburg.

Es wurden verschiedene Kennzahlen bzw. Aspekte visualisiert:

- Baublöcke
- Blockheizkraftwerke
- Stromverbrauch absolut
- Stromverbrauch/Nutz- u. Wohnfläche
- Stromverbrauch/kopf u. Nutz- u. Wohnfläche
- Raumwärmebedarf absolut
- Raumwärmebedarf/Nutz- u. Wohnfläche
- Kanalnetz
- Wärmenetze
- Gasnetz
- Für Abwasserabwärmenutzung geeignete Kanäle

Die einzelnen Kennzahlen können jeweils als sog. Layer aufgerufen und mit einem Stadtplan im Hintergrund dargestellt werden. Quantitative Angaben wie z.B. Verbräuche werden auf der Baublockebene gruppiert und farblich abgestuft visualisiert. So ergibt sich eine geographisch bezogene Ansicht der Energieverbräuche von ausgewählten Gebäuden, differenziert durch farbliche Abstufungen. Eine Legende erläutert die Bedeutung der farblichen Kennzeichnung und Abstufung.

Somit wird auf einen Blick erkennbar, wo sich beispielsweise hohe Energieverbraucher in einer Stadt befinden oder welche Endenergieträger in welchen Stadtgebieten vorhanden sind. Hieraus können erste strategische Ansätze zum Ausbau der Energieversorgungsinfrastruktur oder zur Reduktion des Energiekonsums geschaffen werden. Alternativ kann durch die Hinterlegung von Leitungsnetzen und anhand der vorhandenen Energieträger bzw. der Verbrauchskennzahlen ermittelt werden, wo zukünftige Ausbaumöglichkeiten dieser Netze bestehen. Das Energiekataster ist in erster Linie ein visuelles Hilfsmittel, das einen Überblick über die Daten ermöglicht. Gleichzeitig bildete die Datenbasis des Energiekatasters einen Input für das Energiemodell, das parallel entstand.

Die Ansichten (Datendarstellungen) wurden auf drei verschiedenen Layern erstellt. Als Basislayer, also als geographische Karte, wurde im Rahmen der Erarbeitung „OpenStreetMap“ verwendet, später die Freiburger Stadtkarte. Diese bildet die Grundlage, auf der die Visualisierung heute vorliegt. Der WMS-Layer (Web-Map-Service) beinhaltet die BHKW's, Strom- und Raumwärmebedarfe (absolut und spezifisch), das

Fernwärme-, Erdgas- und Abwasserkanalnetz inkl. für Abwasserabwärmenutzung geeignete Netzabschnitte. Der WFS-Layer (Web-Feature-Service) wurde für die Baublöcke angelegt.

Mit Abschluss der Arbeiten lieferte der Auftragnehmer gemäß Auftrag und datenschutzrechtlichen Vorgaben eine „Blackbox“ mit der Datenbasis an die Stadt. Die darin enthaltenen Daten sind nur per Skripte, also per vorkonfigurierten Layerdarstellungen bzw. Ansichten (siehe Kapitel 3.1.3 Ansichten) in der Oberfläche einsehbar (daher sog. „blackbox“). Die Einzeldaten sind aus datenschutzrechtlichen Gründen für die Stadt Freiburg nicht einsehbar. Das Energiekataster steht über das städtische Intranet und die Anwendung FreiGIS der gesamten Stadtverwaltung zur Verfügung.

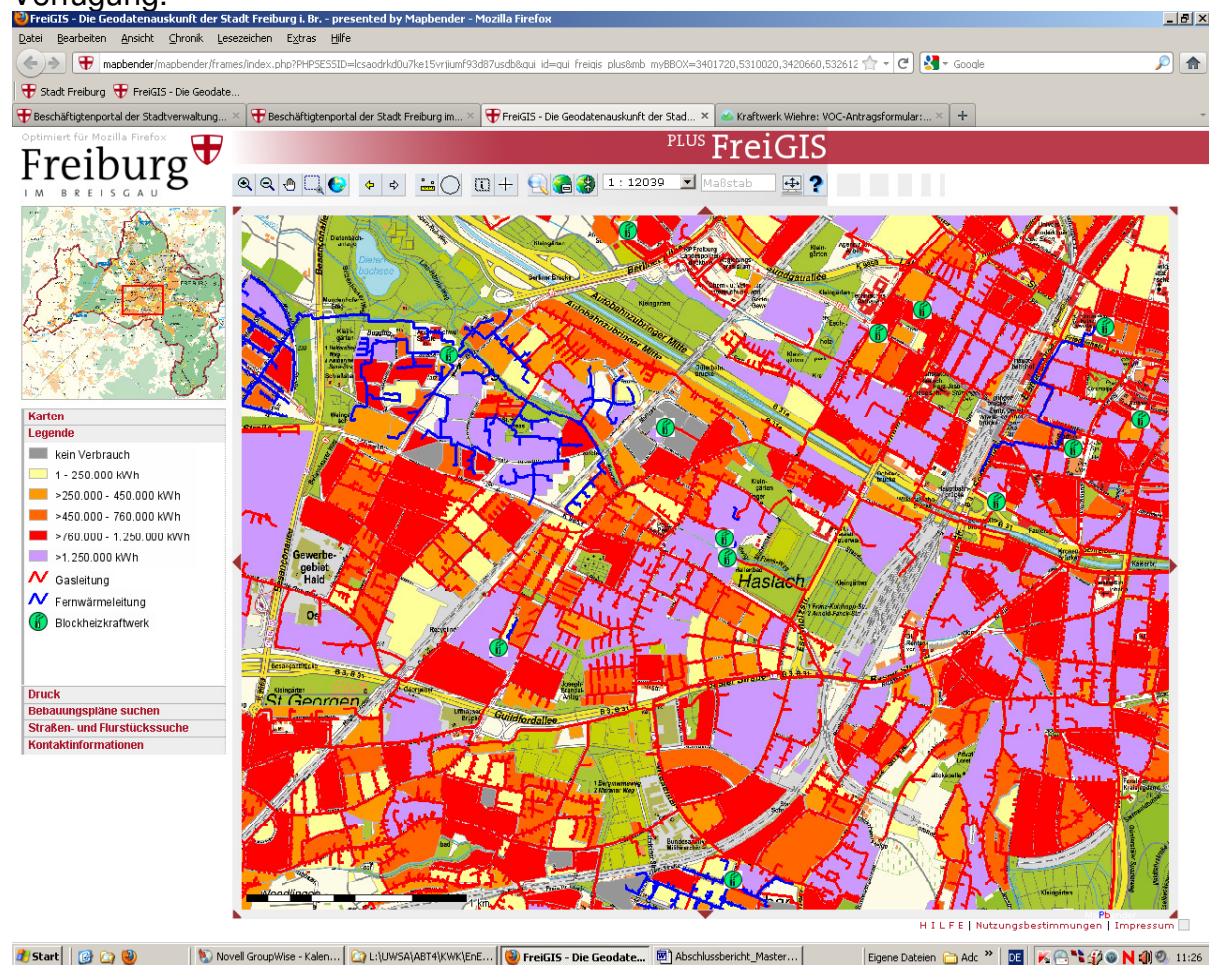


Abb.: Bspl.karte aus dem Energiekataster

4.2 Energiemodell (MAED)

MAED (Modell for Analysis of Energy Demand) ist ein Simulationsmodell, was bedeutet, dass die Eingabedaten mit den Ergebnissen direkt über mathematische Formeln verknüpft sind.

Durch bestimmte Eingabeparameter können Rahmenbedingungen vorgegeben werden, um spezifische Szenarien zu generieren, vor deren Hintergrund dann die Berechnungen (forecasting) des zukünftigen Endenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen laufen. Das lässt Rückschlüsse zu, welche Energieträger und Versorgungsarten zukünftig gefragt

sein könnten, welches die Haupteinflussfaktoren bzw. die Treiber der Endenergienachfrage sind.

Die Entwicklung des Endenergiebedarfs wird durch eine Reihe von unterschiedlichen Parametern beeinflusst, die wiederum Interdependenzen aufweisen. Es wurde prinzipiell zwischen den drei Nachfragesektoren Dienstleistungsbereich, Haushalte und Industrie unterschieden. Der Endenergiebedarf in MAED wird auf der Ebene der Nutzenergie in den jeweiligen einzelnen Sektoren betrachtet – es werden also die notwendigen Energiedienstleistungen ermittelt und mit Kennzahlen hinterlegt.

Es wird außerdem zwischen dem direkten und dem indirekten Energieverbrauch unterschieden. Unter dem direkten Energieverbrauch versteht man die Energie, die z.B. zum Kochen oder für Beleuchtung benötigt wird. Unter dem indirekten Energieverbrauch versteht man den benötigten Energieeinsatz, der für die Erzeugung eines Endbenutzergerätes bereit gestellt werden muss oder jene Faktoren, die zusätzlich die Energiedienstleistung beeinflussen, wie beispielsweise die Gebäudeisolierung. Die Wirkungsgrade der Technologien, die eine bestimmte Energiedienstleistung zur Verfügung stellt, können sehr unterschiedlich sein. Dies führt dazu, dass die Menge der benötigten Endenergie erheblich variieren kann.

Diese Detailliertheit des MAED erlaubt es die Entwicklung der Endenergienachfrage genauer abschätzen zu können als andere Modelle, bedingt aber auch eine Vielzahl an Informationen.

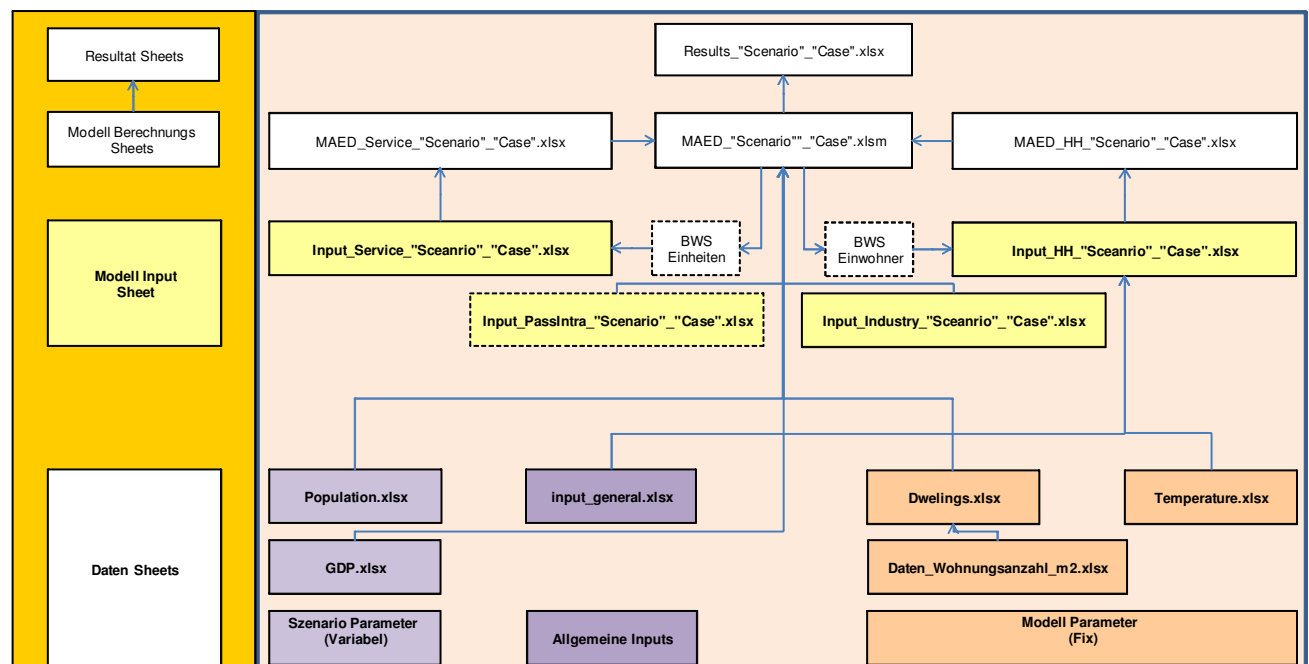


Abb.: MAED Modell im Überblick

4.3 Szenarien

Das Energiemodell wurde mit Daten für das Basisjahr befüllt, um den Referenzfall sozusagen als „Business-As-Usual“ Szenario zu formulieren. Berechnungen wurden bis zum Jahr 2050 durchgeführt.

Es wurden Annahmen für die Entwicklungsmöglichkeiten der exogenen Einflussfaktoren 'Bevölkerungswachstum' und 'wirtschaftliche Entwicklung' getroffen. Die Annahmen wurden in zwei Szenarien „*Stabilisierung*“ und „*Prosperität*“ gebündelt. Damit ist es möglich, Unsicherheiten der angenommenen Entwicklungen zu berücksichtigen und robuste Entscheidungselemente abzuleiten.

Der Referenzfall berücksichtigt keine zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen zu den zum Projektbeginn genehmigten Maßnahmen oder Projekten. Der Referenzfall wurde als Vergleichsgrundlage für die Strategien und zur Bewertung deren Maßnahmenempfehlungen verwendet.

4.4 Strategien

Es ging darum, eine Abschätzung der zukünftigen Energienachfrageentwicklung und deren Effekte auf das Freiburger Energiesystem bis 2050 zu bekommen. Wie man darauf reagieren könnte, sollte in Form von drei verschiedenen strategischen Maßnahmen berechnet und in Handlungsoptionen beschrieben werden:

- Strategie „Spar“: Reduktion des Energiekonsums
- Strategie „Effizienz“: Energieeffizienzerhöhung
- Strategie „Green“: Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieformen

4.4.1 Referenzfall

Ein Referenzfall fungierte als Vergleichsbasis für die drei o.g. Strategien. Dieser Referenzfall wurde in zwei möglichen charakteristischen Verläufen aufgestellt, den sog. Szenarien „*Stabilisierung*“ und „*Prosperität*“. Im Stabilisierungs-Szenario wurde angenommen, dass sich die Entwicklung der Wirtschaft als auch die der Bevölkerung in Freiburg an die in Deutschland anlehnt, d.h. weiterhin Wirtschaftswachstum aber ein Bevölkerungsrückgang ab 2015. Im Prosperitäts-Szenario wurde angenommen, dass die Wirtschaft stärker wächst als im Stabilisierungsszenario, die Bevölkerungsanzahl ab 2015 stabil bleibt (Details und Grafiken im Abschlussbericht des Gutachters, S. 19ff).

Als Ausgangsbasis des Referenzfalls wurden vorhandene Daten der Stadt Freiburg für das Jahr 2005 herangezogen bzw. wo möglich, zu Kalibrierungszwecken des Modells, Daten bis 2010. Ab dem Jahr 2011 mussten die historischen Daten fortgeführt werden. Dies geschah z.T. mit Hilfe öffentlicher Studien bzw. der Fortführung historischer Trends oder durch Annahmen (bei Datenlücken). Wo vorhanden, wurden beschlossene Maßnahmen, wie beispielsweise Ausbauprojekte bestimmter Erzeugungsanlagen berücksichtigt.

Die drei wesentlichen Datenquellen für den Referenzfall waren zum einen Daten des ABI (Amt für Bürgerservice und Informationsverarbeitung), die es ermöglichten, die bestehende Gebäudestruktur logisch zu gliedern. Die übrigen Inputdaten wurden aus der „*Klimaschutzstrategie der Stadt Freiburg*“ (Öko-Institut 2009) entnommen sowie aus der WWF-Studie „*Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050*“.

4.4.2 Strategie SPAR

Die Grundlage der Berechnung von beiden Szenarien („Stabilisierung“ u. „Prosperität“) der SPAR-Strategie bildete der Referenzfall, mit folgenden Anpassungen in Anlehnung an das Innovationsszenario der WWF-Studie:

Haushaltssektor

- vermindertes Wohnflächenwachstum – nur 25% des Wirtschaftswachstums
- Verdopplung der Sanierungsrate
- geringeres Wachstum bei Energiebedarf für Raumklimatisierung
- erhöhter Solarthermieanteil bei Raumwärme- u. Warmwasserbereitstellung
- dadurch Verringerung des Nutzenergiebedarfs um 13%
- EE und Strom bei Wärmebereitstellung von geringer Bedeutung
- Verdopplung des Fernwärmeanteils
- reduzierter Haushaltsstromverbrauch (-47%) wgn. effizienterer Geräte
- reduzierter Endenergieverbrauch (-22%)

Dienstleistungssektor

- reduzierte Energieintensität beim spezifischen Strombedarf und den Motorkraftstoffen (je -30%)
- leicht erhöhte Wirkungsgrade (verstärkte Abwärmenutzung)
- Anstieg des EE-Anteil am Endenergiebedarf
- reduzierter Endenergiebedarf (-23%)

Industriesektor

- reduzierte Energieintensität beim spezifischen Strom- und Brennstoffbedarf
- Steigerung der Wirkungsgrade bei der Energieerzeugung
- reduzierter Endenergiebedarf (-30%)

Endenergieverbrauch - Vergleich des Referenzfalls und der Sparstrategie - Szenario "Stabilisierung [GWh bzw. %]					
	2005	2050 - Ref	2050 - Spar	Rückgang - Ref	Rückgang - Spar
HH	1554	1095	837	30%	46%
DL	1513	974	747	36%	51%
IND	1117	868	567	22%	49%
Summe	4184	2936	2151	30%	49%

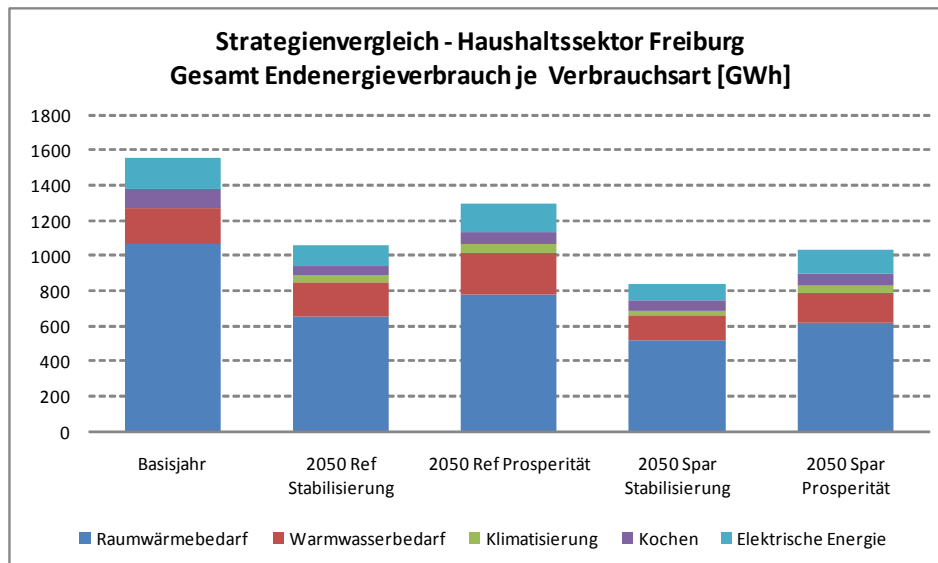
Ergebnisse Stabilisierungs- und Prosperitätsszenario

Haushaltssektor

Im Prosperitätsszenario wurden, im Unterschied zum Stabilisierungsszenario, die Auswirkungen einer angenommenen Bevölkerungsstabilisierung und eines Wirtschaftswachstum auf den Endenergiebedarf deutlich. Der Endenergieverbrauch kann trotz gleichbleibender Bevölkerung gehalten werden, wenn Sanierungsraten erhöht werden. Der daraus resultierende Raumwärmebedarf (vor allem in Neu- u. Ersatzbauten) dämpft den Nutzenergieerückgang gegenüber dem Referenzfall. Erdgas hat den größten Anteil an der Raumwärmebereitstellung u. ist daher am stärksten betroffen, Rückgang des Verbrauchs um 42%. Aufgrund der zunehmenden aktiven Klimatisierung steigt der Strombedarf geringfügig an. Die Energiebedarfsentwicklung - vor allem im Haushaltssektor - ist stark abhängig von technologischen Entwicklungen (Wirkungsgradverbesserung), also exogenen Einflussfaktoren. Hier könnten politische

Anreize geschaffen werden, um sicherzustellen, dass die Erneuerung von Haushaltsgeräten stetig erfolgt und ggfs. beschleunigt wird.

Der Fokus der Stadt Freiburg sollte aber auf der Forcierung von höheren Sanierungsraten liegen, da dieser Bereich besser beeinflussbar ist als das Konsumverhalten und unterstützend flankiert wird durch bundes- oder landesweite Wärmeschutzvorgaben. Die Substituierung von Heizöl, insbesondere im flächendeckend erdgasversorgten Stadtgebiet, sollte eine weitere Priorität sein. Bei sich verringenden Endwärmebedarfen aufgrund Sanierung ist das für die Preisstabilisierung der (Erdgas-/FW-) Netzinfrastrukturkosten empfehlenswert.



Dienstleistungssektor

Der Dienstleistungssektor wird durch die Szenarioparameter Prosperität weniger beeinflusst als der Haushalts- u. der Industriesektor, die Tendenzen entsprechen nahezu dem Stabilisierungsszenario: kaum Veränderung beim Energiebedarf für Klimatisierung; wenig Anstieg des Stromverbrauchs;

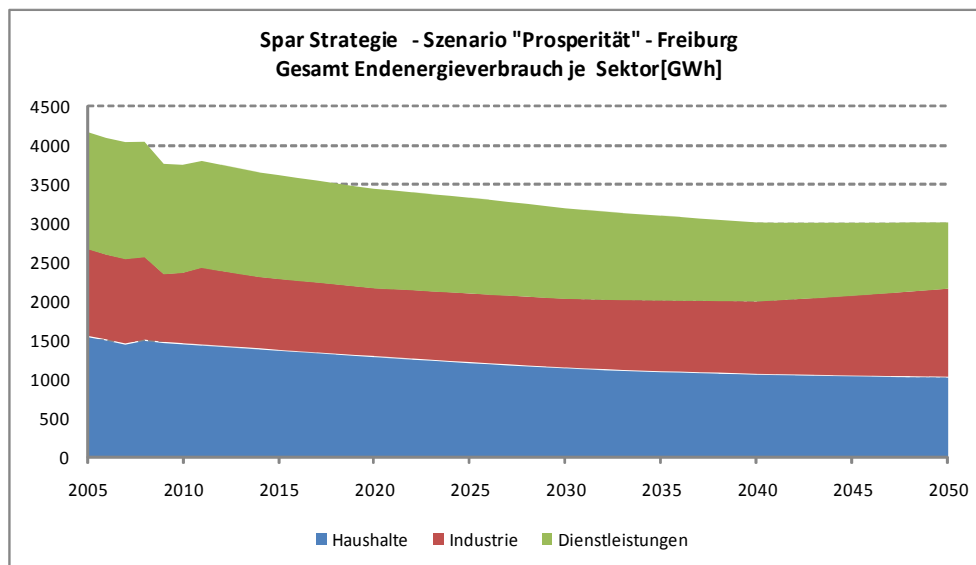
Die Stellhebel der Endenergienachfrage in diesem Sektor sind die Energieintensitäten, vor allem der stromspezifischen Anwendungen (Beleuchtung, Werbung, HLK, Komforteinrichtungen wie Rolltreppen u. Fahrstühle etc.), sowie die Nutzflächengrößen (je Arbeitskraft). Entsprechende Maßnahmen sind unter Berücksichtigung der Effekte auf Arbeitsklima u. Serviceorientierung auszuwählen.

Industriesektor

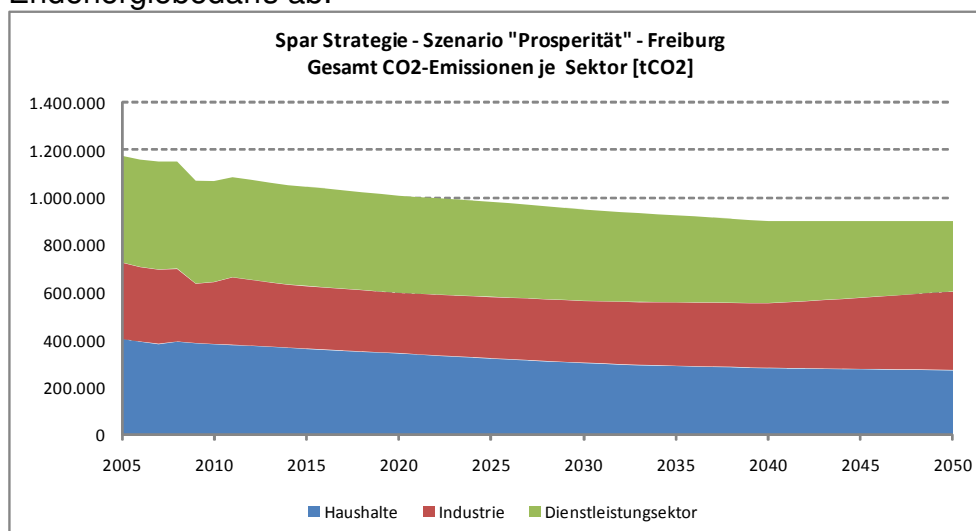
Ein Vergleich zwischen allen drei Sektoren zeigt, dass nur der Endenergiebedarf des Industriesektors bis 2050 minimal (vs. 2005) ansteigen wird, was auf das verstärkte Wirtschaftswachstum zurückzuführen ist. Abfedernd greifen hier strukturelle Änderungen und einsparende Maßnahmen auf der Energieerzeugungsseite.

Beim Strombedarf legt nur der Industriesektor zu (25%), während er im Haushaltssektor leicht (5%) und im Dienstleistungssektor stark zurück geht (46%).

Insgesamt bedeutet das für die Stadt Freiburg, dass das Hauptaugenmerk auf der Reduktion des Strom- bzw. Fernwärmebedarfs liegen sollte.



Die Ergebnisse bei den CO₂-Emissionen bilden die Aussagen zur Entwicklung des Endenergiebedarfs ab.



Die Emissionen zeigen, dass vor allem der Strombedarf der Hauptverursacher der CO₂-Emissionen ist. Diese stammen vor allem aus dem Dienstleistungs- und dem Industriesektor. Die Maßnahmen zur weiteren Reduktion sollten sich daher im Strombereich auf diese zwei Sektoren konzentrieren, weil diese fast 80% der strombedingten CO₂-Emissionen ausmachen. Vergleicht man die vier Szenarien miteinander dann zeigt sich, dass keines annähernd die Zielerreichung der EU (-50% bis 2050) ermöglichen würde, da der Verkehrssektor in den Berechnungen ja nicht berücksichtigt wurde u. noch dazu addiert werden müsste.

CO ₂ -Emissionen Strategien-Vergleich [%]				
	2005	2020	2030	2050
2050 Ref Stabilisierung	100	92	86	74
2050 Ref Prosperität	100	96	97	102
2050 Spar Stabilisierung	100	83	71	54
2050 Spar Prosperität	100	86	81	77

CO₂-Emissionen im Strategien-Vergleich

4.4.3 Strategie GREEN

Wie in der Spar-Strategie wurden auch in der Green-Strategie zwei Szenarien („Stabilisierung“ u. „Prosperität“) berechnet. In der Green-Strategie wurde davon ausgegangen, dass zusätzlich zu den aus dem technologischen Fortschritt resultierenden Energieeinsparpotentialen weitere Maßnahmen ergriffen werden, die ein gesteigertes Umweltbewusstsein der Bevölkerung voraussetzen. Aufbauend auf der Spar-Strategie wurden Konsumverhaltensveränderungen im Modell berücksichtigt. Betroffen hiervon sind vor allem der Haushaltssektor und teilweise auch der Dienstleistungssektor, nicht der Industriesektor.

Gegenüber dem Referenzfall wurden in der Green-Strategie folgende Annahmen gemacht:

Haushaltssektor

- gleiche Wirkungsgrade bei Energietechnik
- zukünftig kein Anstieg der durchschnittlichen Wohnungsgrößen
- gleichbleibende Sanierungsquote, aber
- Intensivierung der Sanierungsmaßnahmen (höhere Sanierungstiefe u. Qualität); durchschnittlicher Wärmebedarf im Bestand 10 kWh/m² in 2050 (denkmalgeschützte oder anderen Restriktionen unterlegene Gebäude ausgenommen); (lt. WWF-Studie Zielwertvorgabe: 5 kWh/m²)
- Passivhausstandard für Neubauten ab 2010
- (u.a. daher) Rückgang des Raumwärmebedarfs bis 2050 um 71% und
- Rückgang Energiebedarf f. Warmwasserbereitstellung (vs. Spar-Strategie) um 4%
- Rückgang des Kühlbedarfes vs. Spar-Strategie um 50% (bessere Isolierung)
- Reduktion des Heizölanteils für Heizung und Warmwasser auf 1% in 2050
- Verringerung des jährlichen Endenergiebedarfes (2005) bis 2050 um knapp 58%.

Dienstleistungssektor

- leicht erhöhter Strombedarf (Klimatisierung) bis 2050 um 16% (vs. 2005)
- Reduktion des Gesamtenergiebedarfes (vs. Spar-Strategie)
- Heizölsubstitution durch Fernwärme

Ergebnisse Stabilisierungsszenario

Es sind Maßnahmen anzustreben, die den Bedarf der Energiedienstleistungen verringern, z.B. Reduktion des thermischen Energieverbrauchs im Haushalts- und im Dienstleistungssektor. Zeitgleich ist es essentiell, Heizöl durch andere Endenergieträger zu substituieren.

Haushaltssektor

Im Haushaltssektor wie auch im Dienstleistungssektor könnten ebenfalls bedeutende Einsparungen beim Stromverbrauch erzielt werden. Im Haushaltssektor betrifft dies vor allem elektrische Haushaltsgeräte. Durch den zunehmenden Wohlstand der Bevölkerung könnten mehr elektrische Geräte eingesetzt werden. Hinzu kommt auch noch der tendenziell steigende Klimatisierungsbedarf. Es ist also essenziell, dass ineffiziente Haushaltsgeräte gegen effizientere ausgetauscht werden und dass neue Geräte Minimumeffizienzstandards unterliegen.

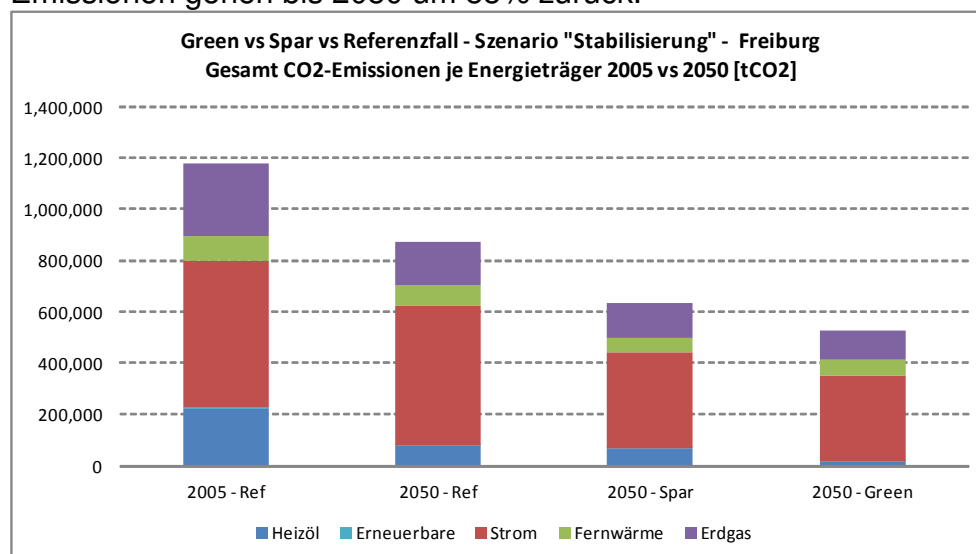
Dienstleistungssektor

Im Dienstleistungssektor ist dies ebenfalls zutreffend. Spezifische Anwendungen können oftmals nur schwer durch andere ersetzt werden. Somit ist es oftmals schwierig, beispielsweise Stromanwendungen durch andere Energieträger zu ersetzen. Es gilt also die Vorteile der technologischen Fortentwicklungen in Bereichen wie Beleuchtung, elektrische Haushalts- bzw. Bürogeräte, aber auch für die Klimatisierung einzusetzen.

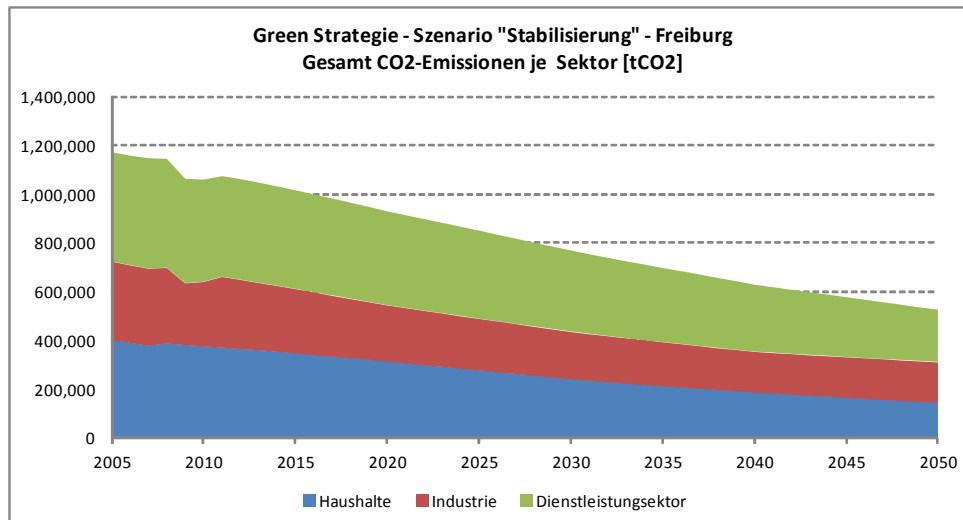
Industriesektor

Der Industriesektor als bedeutendster Stromverbraucher hat die größten Einsparpotentiale. Maßnahmen sollten vor allem auf die Verbesserungen der Energieintensität ausgelegt werden, d.h. Prozessoptimierungen und Erhöhung der technologischen Wirkungsgrade.

Die Annahme einer sinkenden Bevölkerung sowie ein (nur) leicht ansteigendes Wirtschaftswachstum begünstigen die CO₂-Zielerreichung Freiburgs. Die CO₂-Emissionen gehen bis 2050 um 55% zurück.



Der Dienstleistungssektor als bedeutendster Wirtschaftssektor Freiburgs 2050, wird daher auch der größte CO₂-Emittent sein, trägt aber mit dem Haushaltssektor auch am stärksten zur Reduktion bei. Strom bleibt der größte CO₂-Emittent in 2050 mit 64% der Gesamtemissionen. Der Ersatz von Heizöl durch alternative Energieträger bei der Wärmebereitstellung im Haushalts- und Dienstleistungssektor (93% weniger) bis 2050 leistet einen weiteren wichtigen Beitrag zur CO₂-Vermeidung; ebenso die grundsätzliche Wärmebedarfsreduktion.

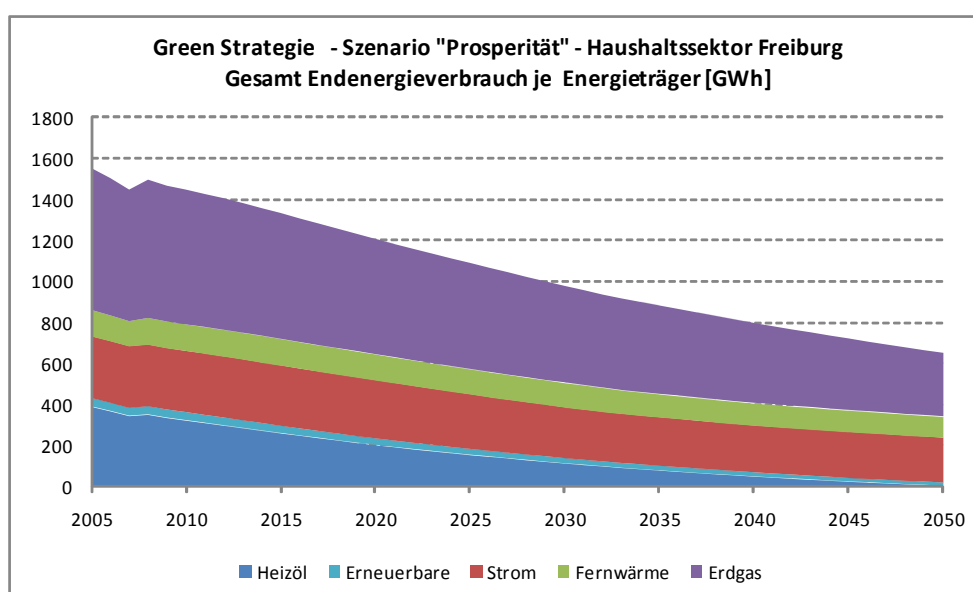


Ergebnisse Prosperitätsszenario

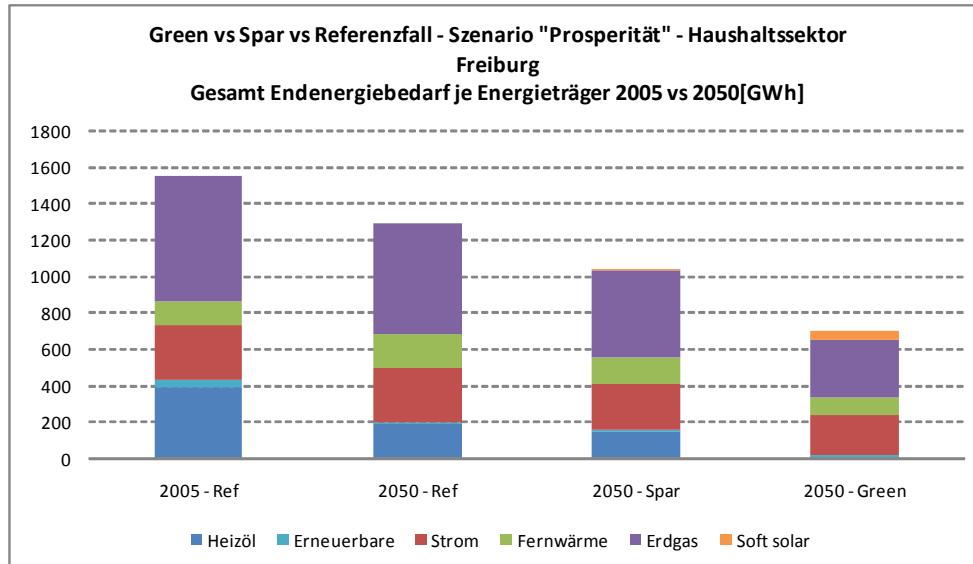
Für die Simulation der Green-Strategie im „Prosperitäts-Szenario“ wurde wieder ein höheres Wirtschaftswachstum sowie eine gleichbleibende Bevölkerungsanzahl angenommen.

Haushaltsektor

Die gegenüber dem Stabilisierungsszenario gleichbleibende anstatt zurückgehende Bevölkerungszahl löst zusätzliche Neu- bzw. Ersatzbauten aus. Daher ist der Endenergiebedarf des Haushaltssektors 2050 (wegen Haushaltsgeräte- und Komfortzuwachs, Warmwasserverbrauch, Kochen) gegenüber dem Stabilitätsszenario leicht erhöht, ebenso der Raumwärmebedarf (3% höher). Eine ähnliche Entwicklung zeichnet sich bei der Warmwasserbereitstellung ab. Die intensivere Gebäudesanierung kompensiert eine stärkere Steigerung des Raumwärme- sowie des Klimatisierungsbedarfs. Bei den Energieträgern wurde eine Verlagerung von Heizöl zu Fernwärme zu Grunde gelegt (Anstieg bis 2050 um 17%).

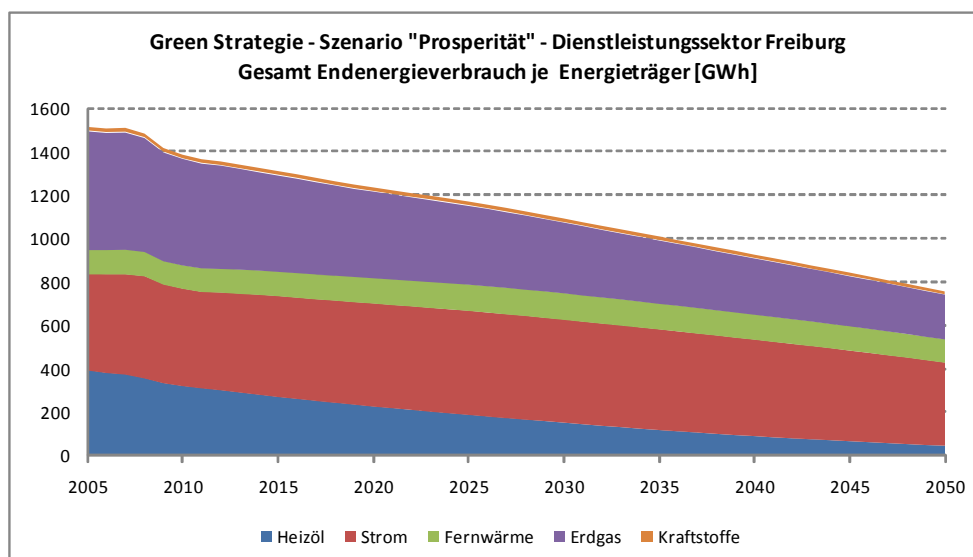


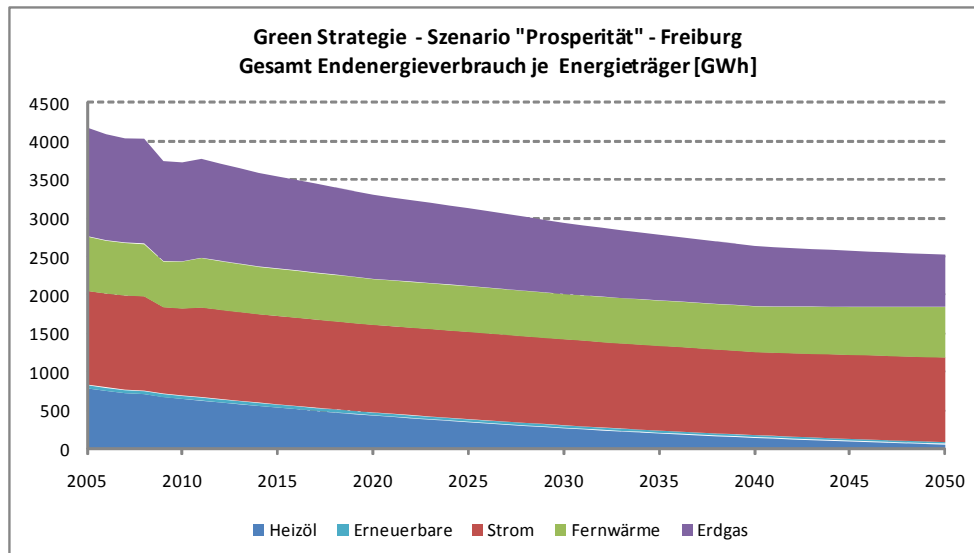
Die Gegenüberstellung der beiden bisherigen Strategien zeigt sich verringernde Anteile an Erdgas, Heizöl und Fernwärme und die gleichzeitige Substitution von Heizöl durch Fernwärme und Erdgas deutlich von Spar zu Green. Ebenso eine leichte Reduktion des Stromverbrauchs, durch effizientere Technologien und sparsameren Klimageräteinsatz, im Vergleich zum Referenzfall.



Dienstleistungs- u. Industriesektor

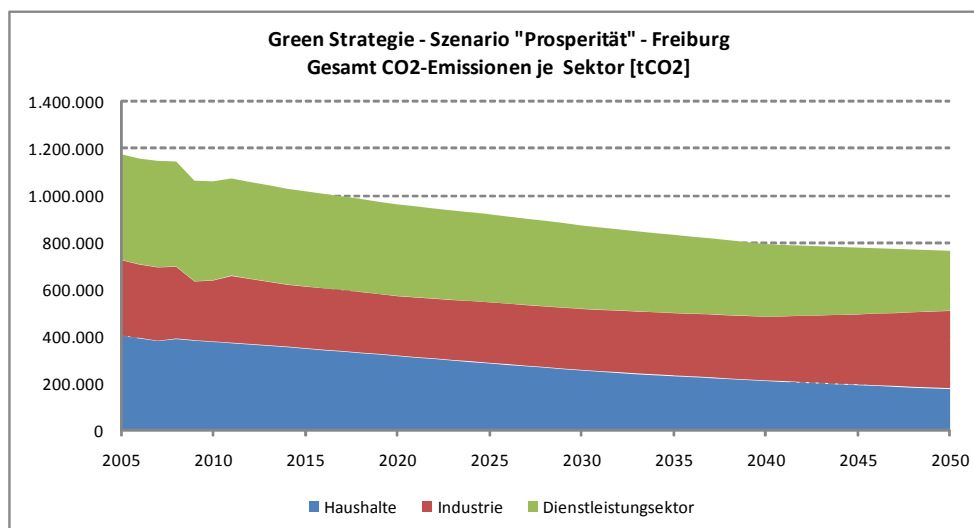
Weniger effektiv als im Haushaltssektor zeigen sich die beiden Haupteinflussfaktoren (Populations- und Wirtschaftsentwicklung) in der Dienstleistungs- u. Industriebranche. Wobei die Industrie Hauptverursacher des gegenüber dem Stabilisierungsszenario gesteigerten Gesamtenergiebedarfes ist. Wesentliche Einsparungen könnten durch Substitution von Heizöl (Erdgas) und durch die Reduktion des Wärmbedarfs erzielt werden. Daher insgesamt Einsparungen beim Erdgasverbrauch von insgesamt 62%. Der Strombedarf verringert sich kaum.





Das stärkere Wirtschaftswachstum des Prosperitätsszenarios verursacht wie beschrieben einen steigenden Endenergiebedarf im Industriesektor, was wiederum bewirkt, dass die CO₂-Emissionen deutlich weniger sinken (35%) als im Stabilisierungsszenario (56%).

Der Rückgang des CO₂-Ausstoss im Haushalts- (56%) und im Dienstleistungssektor (43%) durch die Green-Strategie ist in beiden Szenarien ähnlich. Den größten Effekt auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen hat der Strombedarf des Industriesektors.



Für Freiburg bedeutet das, dass ausgehend von einer prosperierenden Wirtschaft u. einer nicht abnehmenden Bevölkerung, die Green Strategie nicht ausreicht, um die politischen CO₂-Reduktionsziele zu erreichen. Es müssten wirksamere Maßnahmen im Industriebereich ermittelt werden, was eine genauere Analyse und eine enge Zusammenarbeit mit den Betrieben in Freiburg voraussetzen würde.

4.4.4 Strategie EFFIZIENZ

Es wurde angenommen, dass für die Energieerzeugung die CO₂-Emissionsfaktoren des Basisjahres über die Gesamtlaufzeit des Modells (bis 2050) gleich bleiben.

Das Potential lokal verfügbarer erneuerbarer Energien ist in Freiburg hauptsächlich auf den Endverbraucherbereich beschränkt (ST, PV, Wärmepumpen, BHKW). Der Hauptverbrauch an Wärme (z.T. Dampf) und Strom im Industrie- und Dienstleistungssektor wird hauptsächlich von den beiden großen Freiburger Kraftwerken, dem WVK (Rhodia) und dem UHKW (Uniheizkraftwerk) gedeckt (WVK: 63% der Wärme u. 69% des Stroms).

Ziel sollte es sein, zukünftig das an den großen lokalen Kraftwerken hängende Wärmenetz auszubauen und den Kohlenanteil des UHKW durch klimafreundlichere Energieträger zu ersetzen. Ausgehend von der Green-Strategie werden die Auswirkungen einer Umrüstung des Heizkraftwerkes des Uni-Klinikums untersucht. Es wird daher angenommen, dass der Kohleanteil des derzeitigen Energieeinsatzes zur Befuerung der Kraftwerke durch industrielle Pellets ersetzt wird. Diese haben annähernd den gleichen Brennwert wie Kohle, jedoch ist der damit verbundene CO₂-Ausstoß weitaus geringer. Nachfolgend werden für die zwei Szenarien Stabilisierung und Prosperität die Auswirkungen dieser Veränderung auf die CO₂-Emissionen untersucht.

Ergebnisse Stabilisierungs- und Prosperitätsszenario

Mit einer Veränderung des Energiemixes im UHKW hin zu Industriepellets reduzieren sich die CO₂-Emissionen für Strom in allen Sektoren, da dieser ins badenova Netz eingespeist wird. Bei der Fernwärme ergibt sich nur im Dienstleistungssektor eine Reduktion, da lediglich Universitätsgebäude und öffentliche Gebäude versorgt werden.

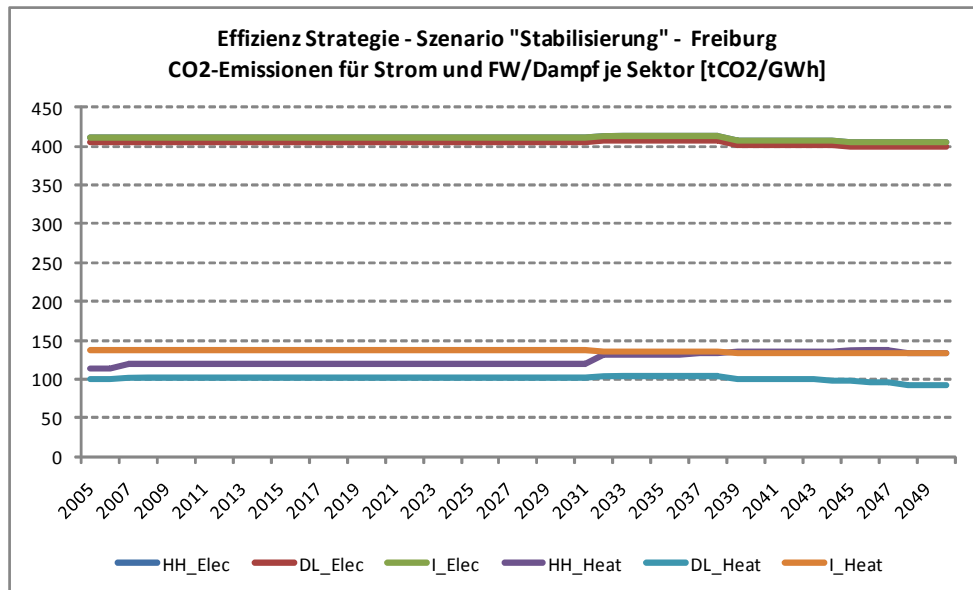
	tCO ₂ /GWh	Haushalte	Dienstleistungen	Industrie
mit Kohle	Strom	463	476	463
	Wärme	119	176	137
ohne Kohle	Strom	412	406	412
	Wärme	119	102	137
% Verringerung	Strom	11%	15%	11%
	Wärme	0%	42%	0%

Vergleich der CO₂-Faktoren für Strom und Fernwärme, mit und ohne Kohleeinsatz im Uni-Klinikums Kraftwerk

Es wurde in diesem Szenario davon ausgegangen, dass bestehende kleinere Kraftwerke am Ende ihrer Laufzeit nicht ersetzt werden und das WVK die frei werdenden Erzeugungskapazitäten erbringt. Diese frei werdende Erzeugungsmengen des WVK wären in das Fernwärmenetz zur Versorgung der Haushalte einzuspeisen. Dies erfolgt in einem dreistufigen Prozess, erstmals 2032, anschließend in 2039 und zuletzt in 2046.

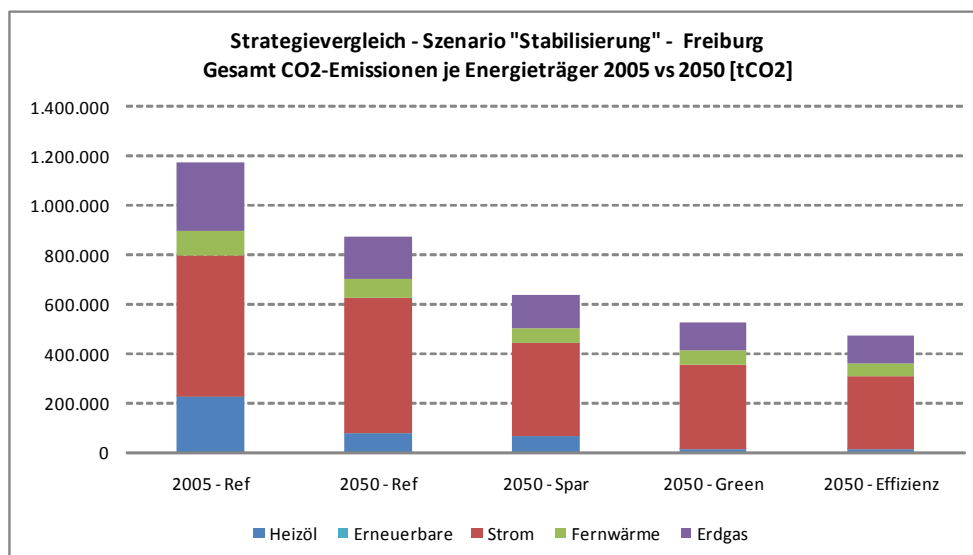
CO₂-Emissionen

Hieraus ergibt sich folgende Entwicklung der CO₂-Emissionen je GWh.



Die Effizienzstrategie bringt im Prosperitätsszenario grundsätzlich eine Reduktion der CO₂-Emissionen gegenüber dem Basisjahr um 38%. Verglichen mit dem Stabilisierungsszenario fallen diese aber in 2050 um etwa 212.000 t geringer aus als im Prosperitätsszenario. Verantwortlich dafür ist vor allem der höhere Stromverbrauch des Industriesektors. Der Fernwärme- und Erdgasverbrauch fällt bis 2050 nur geringfügig schwächer aus als im Stabilisierungsszenario.

Ein Vergleich der drei Strategien zeigt, dass durch den Wegfall kleiner Kraftwerke und die Umrüstung des UHKW auf Industriepellets, die jährlichen CO₂-Emissionen insgesamt um 11% bis 2050 verringert werden könnten.



Die CO₂-Emissionen könnten in allen drei Sektoren verringert werden, am stärksten im Industrie- und Dienstleistungssektor. Der Rückgang im Dienstleistungssektor beruht hauptsächlich auf der Umstellung des Uni-Klinikum Kraftwerkes von Kohle auf Biomasse.

Verglichen mit der Green-Strategie verringern sich die CO₂-Emissionen bis 2050 im Haushaltssektor um etwa 6%, im Dienstleistungssektor um 15% und im Industriesektor

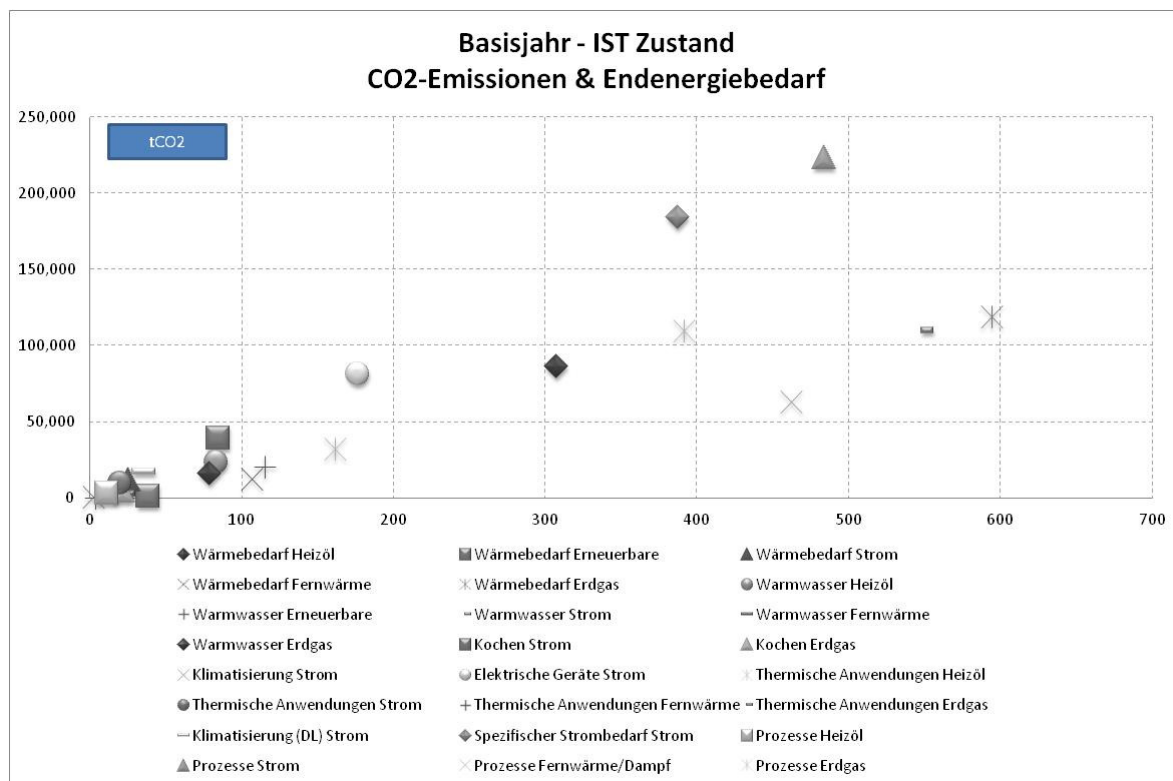
um knapp 10%. Bei der Betrachtung der einzelnen Endenergieträger wird die größte CO₂-Reduktion beim Strom (34%) erzielt, da dieser Endenergieträger auch den größten Anteil des Verbrauchs ausmacht.

5. Zusammenfassung

Betrachtet man die berechneten Szenarien aller Energiedienstleistungen der Stadt Freiburg je Endenergieträger anhand ihrer prognostizierten Entwicklung für den CO₂-Ausstoß und den Endenergiebedarf, lassen sich verschiedene Erkenntnisse ableiten.

Bereits im Basisjahr fallen einige Bereiche hoher Energiebedarfe auf:

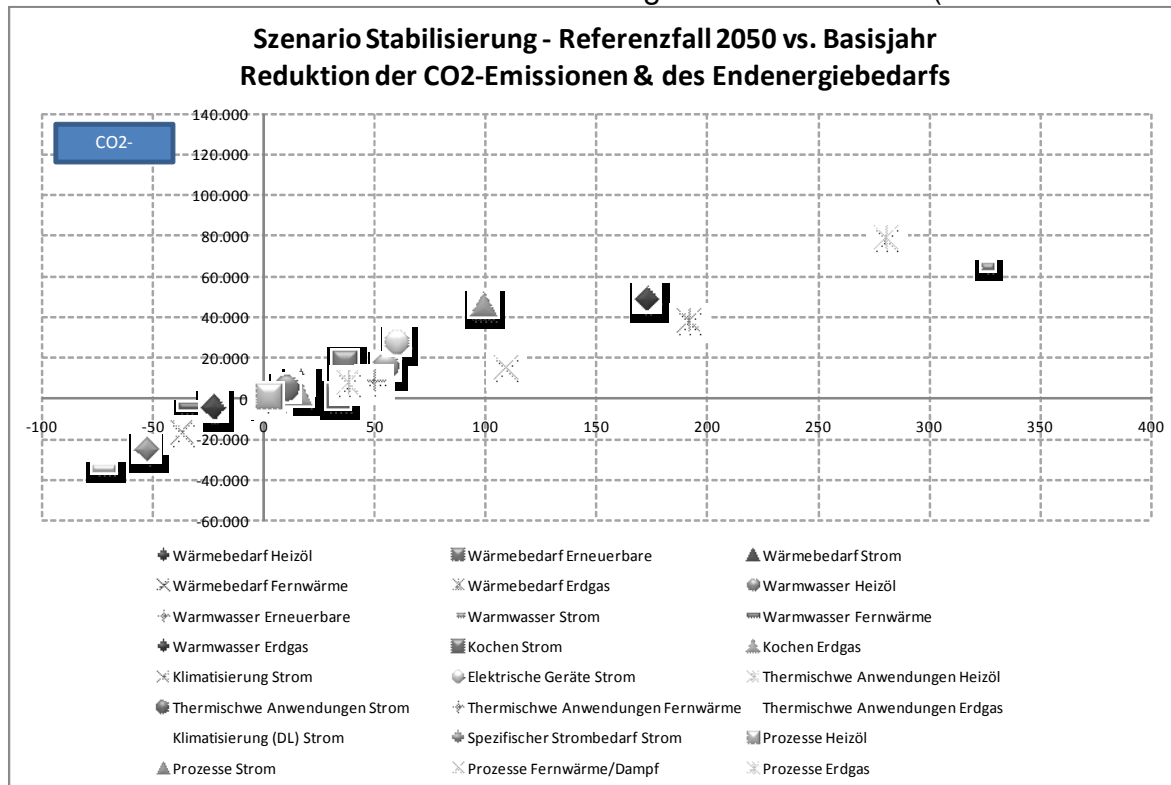
- im Haushaltssektor: der Wärmebedarf auf Erdgas u. -ölbasis
- im Dienstleistungssektor: thermische Anwendungen auf Erdgas u. -ölbasis u. der spezifische Strombedarf
- im Industriesektor: der Strom- und Fernwärme-/Dampfbedarf für Prozesse



Auf deren Entwicklung bis 2050 sollte eingewirkt werden, um das Erreichen der Klimaschutzziele zu unterstützen. Wie sich in der Berechnung des Referenzfall zeigte, wären - bis auf den Strombedarf im Dienstleistungs- und Haushaltssektor - diese Bereiche auf dem Weg ihren Bedarf bis 2050 zu reduzieren. Zum einen durch Gebäudesanierungen (Raumwärmebedarfssenkung Haushalte) zum anderen durch Verringerung der Energieintensität des Industriesektors (Endenergiebedarfssenkung).

Auslöser für den Anstieg des Stromverbrauchs sind im Dienstleistungs- u. Haushaltssektor der ansteigende Klimatisierungsbedarf aufgrund des erwarteten

Temperaturanstiegs. Es wird außerdem erwartet, dass sich der Wasserverbrauch erhöhen und die Anzahl der Stromanwendungen zunehmen wird (Komforterhöhung).



Die Maßnahmen, die in der **Spar-Strategie** basierend auf den absehbaren Entwicklungen im Referenzfall formuliert wurden, führen zu weiteren Reduzierungen im spezifischen Stromverbrauch des Dienstleistungssektors durch technologischen Fortschritt und Verbesserungen der Energieintensitäten. Im Haushaltssektor wurden die Sanierungsraten gegenüber dem Referenzfall verdoppelt, im Industriesektor führen strukturelle Veränderungen und Arbeitsprozessanpassungen zu weiteren Reduzierungen der Energieintensität und damit des Endenergiebedarfs.

Die Kennwerte der Energiedienstleistungen wie Warmwasserbereitung im Haushalt, Fernwärme- und Klimatisierungsbedarf im Haushalts- u. Dienstleistungssektor haben sich bereits im Referenzfall bis 2050 verschlechtert und werden durch die Spar-Strategie auch nur marginal verbessert. Die angenommene Reduktion des Heizölanteils an der Warmwasserbereitung wird durch Fernwärme substituiert.

Die **Green-Strategie** setzt nicht auf technologischen Fortschritt (besonders bei der Klimatisierung) sondern auch auf eine Bewusstseinsänderung der Bevölkerung. In den im Basisjahr noch kritischen Bereichen „thermische Anwendungen Erdgas und Heizöl“ des Dienstleistungssektors sowie „Wärmebedarf Heizöl und Erdgas“ des Haushaltssektors konnten Verbesserungen durch die Green-Strategie erzielt werden. U.a. greifen Sanierungsmaßnahmen bzw. liegen beim Neubau Passivhausstandards zu Grunde.

Die in der **Effizienz-Strategie** angenommene Anpassung des lokalen Energieerzeugungsmixes führte zu einer Emissionsreduktion bei der Wärmebereitstellung in allen drei Nachfragesektoren sowie bei der Stromerzeugung im

Dienstleistungssektor. Insgesamt haben die Maßnahmen dazu geführt, dass die Kennwerte der Energiedienstleistungen, deren Endenergiebedarf sich bis 2050 im Referenzfall erhöhte, nun in etwa gleich blieben oder sich nur geringfügig erhöhten (Prozess-Strom u. –Fernwärme/Dampf der Industrie, Strombedarf und Erdgasbedarf für Wärme im Dienstleistungs- und Haushaltsbereich).

Einen wesentlichen Effekt auf die Energieverbrauchsentwicklung zeigte bei sämtlichen Berechnungen, selbst beim **Stabilisierungsszenario**, der zunehmende Anteil an Strom am Endenergiebedarf. Die CO₂-Emissionen aus Strom machen im Basisjahr 29% des Endenergiebedarfs aus, in 2050 hingegen 41%, was impliziert, dass verstärkt Maßnahmen zur Reduktion des Stromverbrauchs ergriffen werden sollten, vor allem im Industrie- u. Dienstleistungssektor.

In den **Prosperitätsszenarien** bewirken eine beinahe konstante Bevölkerung und ein Wirtschaftswachstum, dass der Endenergiebedarf 2050 dem des Basisjahres in etwa gleicht. Die Reduktionen im Dienstleistungs- und Haushaltssektor wären nicht durchschlagend. D.h. die Strategien zur Energieverbrauchssenkung würden von den übergeordneten Randbedingungen mehr oder weniger kompensiert werden, Emissionsreduktionsziele wären gefährdet.

Aus dem Vergleich der beiden Referenzfälle (Stabilisierung und Prosperität) geht hervor, dass von den Szenarioparametern das Wirtschaftswachstum den größten Einfluss auf den Endenergiebedarf hat, wie das folgende Beispiel zeigt. Beim Prosperitäts-Szenario wird im Industriesektor ein jährliches Wirtschaftswachstum von etwa 1.6% erwartet, was insgesamt zu einer Verdoppelung der Bruttowertschöpfung im Industriesektor bis Ende 2050 führt. Der Endenergiebedarf steigt im Vergleich dazu über denselben Zeithorizont um 55%. Im Stabilisierungs-Szenario ist das Wirtschaftswachstum des Industriezweigs mit lediglich 0,07% pro Jahr angesetzt worden. Dadurch kann der Endenergiebedarf bis 2050 gegenüber dem Basisjahr um 23% abgesenkt werden.

Im Dienstleistungssektor hat das **Wirtschaftswachstum** einen weniger starken Einfluss als im Industriesektor, selbst im Prosperitätsszenario (Wirtschaftswachstum bis 2050 um 136%) sinkt der Endenergiebedarf bis 2050 um 33%. Die Volatilität des Industriesektors in Bezug auf das Wirtschaftswachstum ist um eine vielfache höher als jene des Dienstleistungssektors.

Der Faktor **Bevölkerungsentwicklung** hat vor allem Auswirkungen auf den Haushaltssektor. Der Energieverbrauch des Dienstleistungssektors wird vom Bevölkerungswachstum nicht direkt beeinflusst, da Arbeitskräfte von außerhalb Freiburgs benötigt werden um das angenommene Wirtschaftswachstum zu erzielen. Für Freiburg ist zu beachten, dass entgegen dem nationalen Trend des Bevölkerungsrückgangs, eine stabilisierte Einwohnerzahl voraussichtlich auch ein Wirtschaftswachstum mit sich bringt. Daher müssten Maßnahmen zur Energieverbrauchssenkung im Haushaltssektor (Wärmebedarf) ebenso forciert werden wie in den Wirtschaftssektoren.

6. Schlussfolgerungen

Durch die Berechnungen wurde klar, dass bestimmte Maßnahmen möglichst frühzeitig eingeleitet werden sollten, um eine ausreichende Vorlaufzeit und eine zielgerichtete

Umsetzung sicherzustellen zu können. Es wird empfohlen, als strategische Maßnahmenbereiche vorrangig folgendes anzugehen:

- Intensivierung der Gebäudesanierung im Haushaltssektor
- großflächige Vorbildmaßnahmen im öffentlichen Bereich
- Smart Industries
- Optimierung des Kraftwerksparks

Der derzeitige Häuserbestand in Freiburg besteht zu einem großen Anteil aus Gebäuden aus der Nachkriegszeit, vor allem der Baualtersklasse D, 1962-1987. Deren Anteil am Raumwärmeverbrauch im **Haushaltssektor** macht im Basisjahr 41% aus und sollte daher im Fokus der ersten Maßnahmen (Ersatz durch effiziente Neubauten bzw. energetische Sanierung) liegen. Diese Gebäude sind i.d.R. einfacher energetisch zu sanieren als Vorkriegsbauten, die häufiger denkmalgeschützt sind. Selbstverständlich sollte auch die Raumwärmeverorgungs- und Warmwasserversorgungsstruktur mit berücksichtigt u. ggfs. erneuert werden. Eine Umstellung auf erneuerbare Energieträger bzw. Fernwärmeanschluss ist eine weitere, projektspezifisch zu beurteilende Möglichkeit. Anschließend ist eine Sanierung der Gebäude der Baualtersklassen A bis C (Epoche 1919-1961) zu untersuchen, allerdings gibt es hier Einschränkungen bezüglich des Denkmalschutzes. Eine durchschnittliche Sanierungsrate von mindestens 2% pro Jahr sollte angestrebt werden, für die Baualtersklassen D zwischen 2% und 2,5% und für die Baualtersklassen A-C ca. 3%. Bis 2030 sollten diese Sanierungsraten beibehalten und dann sukzessive angepasst werden.

Im **Dienstleistungssektor** könnten Endenergiebedarfsreduktionen durch die Umsetzung von Maßnahmen im öffentlichen Bereich eine Vorbildwirkung erzielen. Sanierungen öffentlicher Gebäude und die Verbesserung der Energieintensität, vor allem bei Stromanwendungen, wären geeignete Maßnahmen. Die Veränderungen in der Altersstruktur (alternde Bevölkerung) lassen darauf schließen, dass im Gesundheitsbereich das Dienstleistungsangebot zunehmen wird, weshalb dieser Dienstleistungsbereich in der Maßnahmenplanung berücksichtigt werden sollte. Die Verringerung des Stromverbrauchs und präventive Maßnahmen gegen ein weiteres Ansteigen sollten vor allem durch öffentlich sichtbare Projekte mit Vorbildcharakter für den Privatsektor erreicht werden. Subventionierungs- bzw. Förderungsschemen der Stadt könnten damit verbunden werden. Bei Annahme eines Wirtschaftswachstums wäre das ein wichtiger, frühzeitig umzusetzender Schritt.

Im **Industriesektor** bedarf es langfristig einer proaktiven Umsetzung von Maßnahmen zur Verbesserung der Energieintensität. Teilweise kommen diese Verbesserungen durch technologischen Fortschritt und einhergehenden Wirkungsgradsteigerungen. Maßgebliche Verbesserungen können jedoch nur durch größere Prozessumstellungen erreicht werden. Hier bedarf es der Mitwirkung der Politik als Kommunikationsdrehscheibe zwischen den Unternehmen und Expertengruppen, um gemeinsam zukunftssträchtige Konzepte zu erarbeiten.

Einsparungen beim Stromverbrauch sind primär durch den Einsatz effizienterer Technologien z.B. für die Kühlung zu erzielen, was vor allen Dingen im Dienstleistungs- und im Industriesektor von Bedeutung ist. Der Stromverbrauch des Industriesektors reagiert am sensibelsten gegenüber Veränderungen der Einflussfaktoren (Prosperitätsszenario).

Es bedarf zukünftig einer Verfeinerung der Datengrundlage (z.B. Stand Sanierungsquote, Besitzstrukturen), um strategische Maßnahmen geographisch genauer zuordnen zu können bzw. zielgruppenspezifischer auf die Akteure (z.B. Immobilieneigentümer, Hausverwalter, Bauträger, Handwerker, Planer) ausrichten zu können. Außerdem ist eine regelmäßige Aktualisierung der Datengrundlage sinnvoll, z.B. mit Ergebnissen aus den aktuellen Stadtteilprojekten Wiehre und Haslach, der Innenverdichtungsentwicklung, statistischen Daten, Energieverbrauchs- u. Energieinfrastrukturdaten.

6.1 Übertragbarkeit

Um Klimaschutzziele wie Emissionsreduktion zu realisieren, gehen viele Kommunen den Weg über die Effizienzsteigerung. Dazu sollten die herrschenden Rahmenbedingungen der Kommune bekannt sein, wie z.B. Energieinfrastruktur oder Effizienzsteigerungspotential (z.B. KWK-Ausbaureserve im Bestand). Dafür ist die Erstellung eines Energiekatasters sinnvoll. Im Rahmen dieser Arbeiten, u.a. zur Erstellung der Datenbasis des Energiekatasters wurde deutlich, dass eine Umfeldanalyse unumgänglich ist, um sämtliche Datenquellen zu eruieren und frühzeitig über die Notwendigkeit der Datenlieferung zu informieren (im Vorfeld war eine sehr aufwendige Datenaufbereitung notwendig). Für ggfs. nicht verfügbare Daten (weil nicht vorhanden oder nicht in gewünschtem Format vorhanden oder aus Datenschutzgründen nicht erhältlich) müssen Lösungen gefunden werden. U.a. durch diese Punkte entstanden erhebliche Zeitverzögerungen im Projekt. Das Projekt "Energieeffiziente Stadt" könnte auch in anderen Kommunen oder Regionen umgesetzt werden. Gerade im Sinne der nachhaltigen Stadtentwicklung ist die Innenentwicklung durch die Verbindung von Bestand und Neubau ein sensibler Bereich. Aufgrund der oft gebietsweise heterogenen Mischung verschiedener Baualtersklassen und Gebäudetypen in Stadtteilen ist eine systematische Bestandsaufnahme (Energiekataster) inklusive der Energieversorgungsstrukturen und deren Ausbauvorhaben für eine nachhaltige Stadtplanung sinnvoll. In den aktuellen Stadtteilprojekten („Kraftwerk Wiehre“ und „Energie-Quartier-Haslach“) wurde das Energiekataster zur Priorisierung von Untersuchungsgebieten eingesetzt.

Das Projekt hat gezeigt, dass die Einbindung der betroffenen Dienststellen und Partner (Statistikamt, Geodatenmanagement, Stadtplanung, badenova, städtischer Wohnungsbau etc.) bezüglich der Erstellung als auch der späteren Anwendung essentiell ist.

7. Finanzierung

Die Projektkosten wurden mit 373'000 € veranschlagt. Die Förderung durch den Innovationsfonds der badenova AG & Co. KG beträgt 186.500 €. Der Eigenanteil der Stadt Freiburg in Höhe von 186.500 € wurde durch Mittel aus der Konzessionsabgabe (10% der Konzessionsabgabe werden für zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen eingesetzt; Drucksache G-10/064.2) erbracht.

Wir danken dem badenova Innovationsfond für die Unterstützung.

Anlagen

Kostenaufstellung und Projektfinanzierung (3 Seiten)