

Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., **100**, S. 129 - 146, Freiburg 2010

Analyse der Klimaschutz- und Energieeinsparpotenziale der Stadt Freiburg i.Br. anhand eines GIS basierten Wärmebedarfskatasters

Sven Fitz & Gaby Zollinger

Zusammenfassung

Ziel der Untersuchung ist die Erstellung eines Wärmebedarfskatasters für die Stadt Freiburg zur Darstellung der räumlichen Verteilung der benötigten Heizwärme, die auf Grund unterschiedlicher Gebäudetypen und unterschiedlichem Baualter auf lokaler Ebene ungleich verteilt ist. Zur Visualisierung des räumlichen Wärmebedarfs dient ein Geographisches Informationssystem (GIS).

Zunächst werden die notwendigen Datengrundlagen, die prinzipielle Vorgehensweise bei der Erstellung, die Aufbereitung der Daten in Geographischen Informationssystemen und die Nutzungsmöglichkeiten eines Wärmebedarfskatasters dargestellt. Neben den Potenzialen zur Reduktion des Wärmebedarfs im Siedlungsbereich werden auch die entsprechenden Bedarfs- werte der Wohngebäude in Freiburg erfasst. Damit wird den Entscheidungsträgern eine Basis für die Beurteilung lokaler Versorgungskonzepte zur Verfügung gestellt. Basierend auf diesen Ergebnissen können Wärmeinseln identifiziert werden, die für einen Ausbau oder Neubau der Nah-/Fernwärmeversorgung in Frage kommen. Die Ergebnisse für Freiburg dienen als methodische Grundlage, um für Gemeinden, Städte oder größere Regionen den Wärmebedarf zu ermitteln und diesen in ein Energie- und Klimaschutzkonzept einfließen zu lassen.

Stichwörter

Klimaschutz, Wärmebedarfskataster, GIS, Gebäudetypologie, Baualtersklassen, Gebäudetypen, Potenziale, Energie- und Klimaschutzkonzept, Fernwärme

Anschriften der Verfasser:

M.Sc. S. Fitz, Amstein + Walthert AG, Andreasstraße 11, CH-8050 Zürich, E-Mail: svenfitz@gmail.com
Prof. Dr. G. Zollinger, Institut für Physische Geographie, Werthmannstraße 4, 79085 Freiburg i. Br.

Analysis of climate protection and energy saving potentials of Freiburg i. Br. using a GIS-based heat demand map

Abstract

Objective of the project was to build up a heat demand map for the city of Freiburg to illustrate the spatial distribution of the heat demand on a local scale. A geographic information system (GIS) is used to visualize the spatial heat demand and also the potential to allocate any heat for different energy carriers, particular of those which are pipeline-bound, as district heat and gas.

In this article the necessary data bases, the proceeding in principle with the generation, the presentation of the data in geographical information systems, and the possible usage of a heat map will be represented. Besides the potentials to reduce heat demand within the settlement area, the appropriate demand values will be seized for residential buildings. Based upon these results the parameters necessary for an expansion or installation of district heat supply systems are fixed and marked within the GIS system. This shall enable the identification of areas that might be suitable for a pipeline-based heat supply.

Key words

Climate protection, heat demand map, GIS, building typology, age group of buildings, Energy-Concept for Climate Protection

1. Einleitung und Zielsetzung

Die Problematik des Klimawandels und die daraus resultierenden Folgen sowie die zur Neige gehenden fossilen Energiere Ressourcen sind zwei sich überlagernde Problemstellungen, die es in Zukunft zu bewältigen gilt. Dabei werden erneuerbare Energien und effizientere Formen der Energienutzung eine wesentliche Rolle spielen. Hierbei ist es wichtig zu wissen, wo sich der besonders energieintensive Bedarf zur Bereitstellung von Raumwärme in einer Stadt befindet, wie sich dieser in Zukunft entwickelt, welche Reduktionspotenziale sich durch Sanierungen ergeben und welche Reduktionen sich dadurch bei den CO₂-Emissionen erreichen lassen. Auch für die Planung von Nah- und Fernwärmenetzen oder Energienetzen ist es wichtig, die räumliche Verteilung des Bedarfs zu erkennen und Wärmeinseln zu lokalisieren. Diese Grundlagen bieten in Kombination mit der Darstellung in einem Geographischen Informationssystem (GIS) Entscheidungsgrundlagen, die der nachhaltigen Kommunalentwicklung dienen sollen.

1.1 Warum ist Klimaschutz wichtig?

Eine nachhaltige Gesellschaft deckt ihre heutigen Bedürfnisse ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu schmälern. Das Denken und Handeln in Deutschland und in vielen Teilen der industrialisierten Welt entsprechen bei weitem nicht diesem Leitbild. Diese Gesellschaften leben auf Kosten ihrer Nachkommen. Am deutlichsten zeigt sich dieses Verhalten an den anthropogenen CO₂-Emissionen. Die Verbrennung fossiler Energien ist nach wie vor für den größten Teil des Kohlendioxid-Ausstoßes verantwortlich. Drastische Klimaänderungen sind die Folge. Die Reduktion dieser Emissionen erachtet das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) und viele weitere Wissenschaftler und Politiker weltweit als die vordringlichste Aufgabe auf dem Weg zu einer nachhaltigen Gesellschaft.

1.2 Ressourcenverknappung

Desweiteren eröffnet sich vor dem Hintergrund zur Neige gehender fossiler Energien das Problemfeld der zukünftigen Energieversorgung. Der heutige Umgang mit Energie basiert auf einem Gerüst, das zu Zeiten der unbegrenzt und billig verfügbaren Energie entstand und nun zunehmend ins Wanken gerät. Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauches sind somit besonders in denjenigen Sektoren sinnvoll anzusiedeln, welche sowohl einen hohen Energieverbrauch als auch hohe Einsparpotenziale aufweisen.

1.3 Im Fokus: Der Gebäudesektor

Abgesehen von den hohen Verlusten bei der Energieerzeugung und -gewinnung, benötigt der Haushaltssektor noch vor Industrie, Verkehr und GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistung) mit 29 % den größten Teil der Endenergie. Alleine 75 % dieser Energie wird zum Heizen in Wohngebäuden verwendet. Es ist aber nicht nur die große Energiemenge, die diesen Sektor für den Klimaschutz so bedeutend und interessant macht. Der Wohngebäudesektor birgt überdies sehr hohe Potenziale zur Reduktion des Energieverbrauches, welche sowohl aus technischer als auch aus ökonomischer Sicht effizient umsetzbar sind. Hinzu kommt außerdem, dass infolge der meist hohen Lebensdauer von Bauwerken einmal getroffene Entscheidungen und Maßnahmen eine langfristige Wirkung haben. Die prognostizierte zeitliche Reichweite nicht erneuerbarer Energieträger wie Erdgas und Erdöl ist dabei meist geringer, als die zu erwartende Lebensdauer vieler Gebäude.

Jedes Gebäude benötigt je nach Alter und Bauweise eine unterschiedliche Energiemenge, um beheizt zu werden. Die Frage nach diesem Wärmebedarf ist besonders interessant, da nicht nur ein Drittel des Endenergieverbrauches sondern auch der resultierenden CO₂-Emissionen in Deutschland und Baden-Württemberg auf die Erzeugung von Wärme zurückgehen. Diverse Szenarien zur Entwicklung der künftigen Energieversorgung deuten darauf hin, dass Nah- und Fernwärme in Zukunft in Verbindung mit erneuerbaren Energieträgern eine überragende Rolle in der Realisierung eines aktiven Klimaschutzes spielen wird.

In Nah- und Fernwärmenetzen wird Wärme, die beispielweise durch ein Holzhackschnitzelkraftwerk erzeugt wird, in wärmeisolierten Rohren unterirdisch direkt in die Gebäude transportiert. Im Vergleich zu anderen Wärmeversorgungssystemen bieten diese Netze vor allem folgende Vorteile:

- vielfältige Möglichkeiten zur Nutzung erneuerbarer Energien als Wärmequelle,
- wirtschaftliche Vorteile bei größeren Leistungen (Economy of Scale),
- räumliche Vorteile für den Wärmekunden (geringer Raumbedarf),
- Komfortvorteile für den Wärmekunden (geringe Wartung).

Die Vorteile der Nah- und Fernwärme sind gut untersucht und bekannt (z.B. FÖRSTNER 2008). Der Wille zur Umsetzung ist in Kommunen meist ebenfalls vorhanden. Probleme treten jedoch in der Lokalisierung von Quartieren auf, die auf Grund ihres hohen Wärmebedarfs besonders für die Realisierung eines Fernwärmenetzes geeignet sind.

Wie sich Quartiere auf Grund verschiedener charakteristischer Eigenschaften energetisch stark unterscheiden können, soll im Folgenden aufgezeigt werden. Dabei spielt das Gebäudealter eine wichtige Rolle, aber auch die Frage, wie viel Flächen innerhalb von Einfamilien-, Mehrfamilien oder Hochhäusern liegen.

Das Ergebnis sind Wärmebedarfskarten, welche die quantitative Grundlage für die Ableitung von Nachhaltigkeitsindikatoren und für die Prüfung der grundsätzlichen Nah- und Fernwärmeeignung bedarfsintensiver Siedlungsinseln bildet.

2. Material und Methoden

2.1 Auswahl relevanter Merkmale zur Analyse des Gebäudebestandes

Von den architektonischen Merkmalen bis zur Wärmedämmung wird der Freiburger Gebäudebestand durch eine Vielzahl verschiedener Eigenschaften geprägt. Um den Gebäudebestand energetisch zu beschreiben, bedarf es charakteristischer Merkmale, mit Hilfe derer eine Klassifikation erstellt und damit die komplexe Struktur vereinfacht dargestellt werden kann.

Den genauen Energieverbrauch eines Gebäudes kann nur eine aufwändige Verbrauchsmessung liefern. Zum einen steht dabei jedoch der große Aufwand einer allgemeinen und flächendeckenden Erhebung und Ausführung im Wege, zum anderen verursacht das Nutzverhalten der Bewohner Schwankungen des Verbrauchs an Heizenergie um über 50 % (WEGLAGE 2008, S. 154). Somit stellen Verbrauchsmessungen keine geeignete Möglichkeit dar, um Gebäude energetisch vergleichbar zu bewerten. Hier wurde vielmehr auf den allgemeineren Ansatz der Gebäudetypologie zurückgegriffen.

Eine Gebäudetypologie dient als vergleichende und einordnende Klassifizierung von Gebäuden, welche von verschiedenen Städten zur Analyse des Gebäudebestandes in Auftrag gegeben wurde. Für die Stadt Freiburg liegt eine solche Gebäudetypologie bisher nicht vor. Verschiedene Eigenschaften des Gebäudebestandes ermöglichen Aussagen über die Baukonstruktion, die eingesetzten Baustoffe und dadurch auch auf den Heizenergiebedarf. Unter Zuhilfenahme dieser Eigenschaften ist es möglich, den Gebäudebestand einer Stadt in verschiedene Klassen einzuteilen, die analysiert und beschrieben werden können.

2.1.1 Datenverfügbarkeit in Freiburg

Der Umfang der erfassten Daten zum Gebäudebestand variiert in jeder Stadt sehr stark. Informationen zum Gebäudebestand der Stadt Freiburg sind zwar in vielfacher Form sowohl innerhalb der Stadtverwaltung als auch bei externen Unternehmen vorhanden, jedoch können diese Daten aus Gründen des Datenschutzes oder der nötigen aufwändigen Datenaufbereitungen nicht zur Verfügung gestellt werden. Jedoch liegt vom Amt für Statistik die FRITZ-Datenbank vor. FRITZ (Freiburger Informationen-Tabellen-Zahlen) ist eine HTML-basierte Datenbank des Amtes für Bürgerservice und Informationsverarbeitung in Kooperation mit dem Amt für Statistik. Sie enthält sowohl zusammengefasst für die Gesamtstadt, als auch detailliert für die 42 Stadtbezirke, nach Sachgebieten sortierte und jährlich aktualisierte Daten sowohl zu demographischen, politischen und ökonomischen Entwicklungen als auch detaillierte Daten zur Entwicklung des Gebäudesektors in Freiburg.

2.2 Erstellung einer Gebäudetypologie der Stadt Freiburg

Da die Summe aller Gebäude einer Stadt keine homogene Einheit bildet, ist eine differenzierte Betrachtung entsprechend einzelner Gebäudetypen notwendig. Ziel der statistischen Aufbereitung der Daten aus der FRITZ-Datenbank war es, den Gebäudebestand gemäß charakteristischer Merkmale zu unterteilen und an Hand dieser Merkmale Aussagen über den energetischen Zustand der Gesamtstadt sowie die in den einzelnen Stadtbezirken auftretenden regionalen Unterschiede des Wärmebedarfes zu treffen.

2.2.1 Gebäudeart

Der Fokus der Untersuchungen liegt auf der Gebäudeart „Wohngebäude“, da diese Gebäudeart mit einem Mengenanteil von 80 % in Freiburg weit dominiert und daher eine interessante Untersuchungsgrundlage ist. Des Weiteren kann auf Grund der weitestgehend homogenen Nutzung und Konstruktion von Wohngebäuden einfacher auf den Energiebedarf geschlossen werden, als dies bei industriell oder gewerblich genutzten Gebäuden der Fall wäre. Ein weiterer Grund für die Fokussierung auf Wohngebäude ist die hohe Lebensdauer von ca. 60 bis 100 Jahren (KLEIBER et al. 1998, S. 31), als auch der lange Renovierungszyklus von Wohngebäuden. Laut Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung erfolgen Renovierungen bei Wohngebäuden alle 30 bis 40 Jahre; bei Nichtwohngebäuden alle 25 bis 30 Jahre (BÖDE et al. 1999, S. 7). Hierdurch ergeben sich für Wohngebäude besonders langfristige Wirkungen der getroffenen Entscheidungen und Maßnahmen.

2.2.2 Gebäudetypen

Zwei charakteristische Eigenschaften eines Gebäudes sind die Oberfläche und das Volumen. Da sich die Größe und Kompaktheit eines Gebäudes wesentlich auf die Wärmeverluste durch die Außenflächen auswirken, ist eine entsprechende Differenzierung bei einer energetischen Analyse des Gebäudebestandes unumgänglich. Generell gilt der Leitsatz: Je größer das Gesamtvolumen eines zusammenhängenden Baukörpers, desto kleiner ist das erreichbare A/V-Verhältnis und desto geringer ist der Heizwärmebedarf (WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG 2002, S. 27f). Da für Freiburg keine Angaben über die verschiedenen Gebäudetypen zugänglich waren, wurde eine eigene Methode zur Ermittlung der Gebäudetypen entwickelt. Um eine Differenzierung der Gebäudegröße zu erreichen, wurde auf Basis der Datenbank „FRITZ“ für jeden Stadtbezirk die Anzahl der Wohnungen pro Gebäude ermittelt und einem Gebäudetyp zugeordnet. Beispielsweise wurde für ein Gebäude, in welchem sich lediglich eine Wohnung befindet, der Gebäudetyp eines Einfamilienhauses angenommen. Anhand der Anzahl der Wohnungen in einem Gebäude wurde der Gebäudebestand in die folgenden Gebäudetypen unterteilt.

Tab. 1: Gebäudetypenabgrenzung nach Anzahl der Wohnungen im Gebäude (FITZ 2009).

| Gebäudetyp | Klassengrenzen |
|------------------------------|--------------------------------|
| Einfamilienhaus EFH | 1 Wohnung im Gebäude |
| Zweifamilienhaus ZFH | 2 Wohnungen im Gebäude |
| Mehrfamilienhaus MFH | 3-6 Wohnungen im Gebäude |
| Großes Mehrfamilienhaus GMFH | 7-8 Wohnungen im Gebäude |
| Hochhaus HH | 9 u. mehr Wohnungen im Gebäude |

2.2.3 Baualtersklassen

Eine Charakterisierung des Gebäudebestandes lediglich nach der Gebäudegröße ist jedoch nicht ausreichend. Um eine qualifizierte Beurteilung des Gebäudebestandes zu gewährleisten, ist es unentbehrlich, die Entwicklung der Bautechniken, die Entwicklung der Wärmedämmung und vor allem auch die Einführung verschiedener Normen, Verordnungen und Gesetze zur Minimierung der Energieverluste zu berücksichtigen. Eine weitere energetisch charakteristische Gebäudeeigenschaft ist daher das Baualter.

Um den energetischen Zustand eines Gebäudes zu ermitteln, ist im Idealfall die genaue Bewertung der Bausubstanz eine grundlegende Voraussetzung. Da eine genaue Untersuchung der einzelnen Bausubstanzen auf dem gesamten Gebiet der Stadt Freiburg den Rahmen dieser Untersuchung gesprengt hätte, erwies sich die Differenzierung nach verschiedenen Baualtersklassen zielführend. Generell sorgen in allen Baupochen, in denen der Wärmeschutz keine nennenswerte Rolle spielte, geringe Wärmedämmungen, hohe Wärmedurchgangskoeffizienten, Undichtigkeiten im Bereich der Fenster und der ausgebauten Dachgeschosse, Lüftungs- und Transmissionswärmeverluste sowie Energieverluste durch überalterte Heizungsanlagen in unterschiedlich ausgeprägter Weise für einen hohen Heizwärmebedarf.

Unter Berücksichtigung dieser Tatsachen wurde der Gebäudebestand in die folgenden Baualtersklassen unterteilt:

Während in den Baualtersklassen A und B wärmedämmende Bauteile noch weitgehend unbekannt waren und im Vordergrund die Errichtung eines Gebäudes mit regional verfügbarem Baumaterial stand, sowie undicht verbaute einscheibenverglaste Fenster, kombiniert mit einer Ofenheizung den Standard bildeten (WEGLAGE 2008, S. 155), wurden in den folgenden Baualtersklassen C-G schrittweise Wärmeschutz- und Energieeinsparverordnungen zur Reduktion der Wärmeverluste eingeführt.

2.2.4 Heizwärmebedarf

Die Erstellung der Gebäudetypologie für die Stadt Freiburg erfolgte somit anhand der Merkmale Gebäudeart, Gebäudetyp und Baualtersklasse. Diese wurden gesondert für jeden Stadtbezirk ermittelt. Entsprechend der unterschiedlichen Eigenschaften ist für jeden Gebäudetyp und jede Baualtersklasse ein bestimmter Heizwärmebedarf charakteristisch. Um den flächenspezifischen Heizwärmebedarf [$\text{kWh/m}^2\text{a}$] eines Wohngebäudes berechnen zu können, bedarf es der Betrachtung der Fläche, welche innerhalb des Gebäudes liegt.

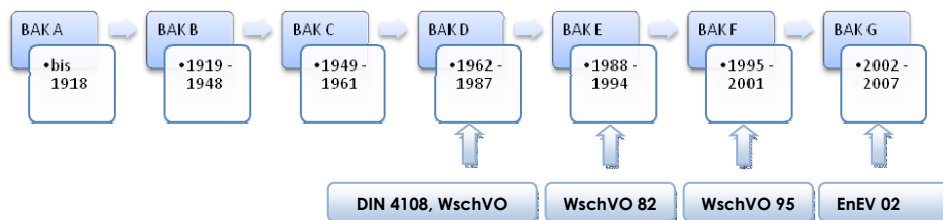


Abb. 1: Einteilung der Baualtersklassen mit Angabe des jeweils gültigen Wärmeschutzstandards (FITZ 2009).

Hier wird als Energiebezugsfläche die Wohn- und Nutzfläche nach DIN 277 verwendet, da diese für alle Gebäudetypen und Baualtersklassen aus der Wohnbaustatistik ausgelesen werden konnte.

Um den Wärmebedarf der Stadtbezirke ermitteln zu können, fehlen nun nur noch gebäudetypische Bedarfszahlen, die den charakteristischen Verbrauch eines Gebäudes widerspiegeln. Diese charakteristischen Energiekennzahlen sind in Gebäudetypologien dokumentiert. Die vom IWU (INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GmbH) für Deutschland entwickelte Gebäudetypologie enthält solche Kennzahlen. Einige Bundesländer verfeinerten für ihre Region diese Typologie, ebenso einige Städte und Kreise. Diese verfeinerten Typologien enthalten regional typische Heizwärmebedarfskennwerte für jedes Baualter und jeden Gebäudetyp. Mit Hilfe dieser Kennwerte und anhand der für Freiburg vorgenommenen Baualtersklassifizierung sowie der Definition verschiedener Gebäudetypen, konnten die Heizenergiekennwerte für jeden Gebäudetyp und jede Baualtersklasse ermittelt werden. Zur Analyse des Energieverbrauches des Freiburger Gebäudebestandes wurden die Gebäudetypologien der Stadt Hamburg (DEDEKIND 2006), Mannheim (STADT MANNHEIM 1998), Dortmund (STADT DORTMUND 2005), Heidelberg (STADT HEIDELBERG 1996) und die Gebäudetypologie Hessen (INSTITUT WOHNEN UND UMWELT 2003) herangezogen. Die in diesen Gebäudetypologien dargestellten Heizwärmebedarfskennwerte basieren sowohl auf den Ergebnissen bereits erstellter Wärmepässe (DEDEKIND 2006, S. 13) sowie auf Berechnungen anhand der Gebäudeform und Baukonstruktion mit Hilfe der dynamischen Berechnungssoftware STATBIL/ENBIL (GÖRTZ 2005, S. 14). Da die fünf Gebäudetypologien und deren Heizwärmebedarfskennwerte an unterschiedlichen Standorten in Deutschland erhoben wurden, muss der Faktor Regionalklima berücksichtigt werden, welcher den Heizwärmebedarf von Gebäuden wesentlich beeinflusst. Anhand der Gradtagszahlen der Standorte wurden für das Freiburger Klima spezifische Energiekennzahlen sowohl für den sanierten, als auch den unsanierten Gebäudebestand modelliert.

2.2.5 Energieträger und CO₂-Emissionen

Bisher unbeachtet blieben die Energieträger zur Bereitstellung der Raumwärme. Die Freiburger Gebäude werden hauptsächlich durch die Energieträger Öl und Gas (TIMPE & SEEBACH 2007) beheizt.

Die CO₂-Emissionen werden durch die Größe der beheizten Wohnfläche, den Energieverbrauch pro Wohnfläche und den Emissionsfaktor des verwendeten Brennstoffs beeinflusst. Die der Berechnung zu Grunde liegenden Emissionsfaktoren wurden aus der Datenbank GEMIS (FRITSCH 2008) übernommen. GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) dient zur Bestimmung von Lebenswegen für Energie-, Stoff- und Transportsysteme. Um Lebenswege zu berechnen, müssen nicht nur die Verbrennung selbst wie z.B. das Öl in einer Ölheizung betrachtet werden, sondern auch alle Vorketten der Produktion – also alle Aktivitäten, die mit der Bereitstellung der Energiedienstleistung verbunden sind – angefangen vom Öl-Bohrloch über Transporte, Raffinerie bis zum Tank im Gebäude.

2.2.6 GIS als Werkzeug in der Energieplanung

Die in ein GIS einfließenden Daten, statistische Auswertungen und Berechnungen liefern als Endergebnis raumbezogene Informationen zum Wärmebedarf und den daraus resultierenden CO₂-Emissionen. Als zentrales Arbeitsinstrument der Evaluierungs- und Analyse-

Sven Fitz & Gaby Zollinger

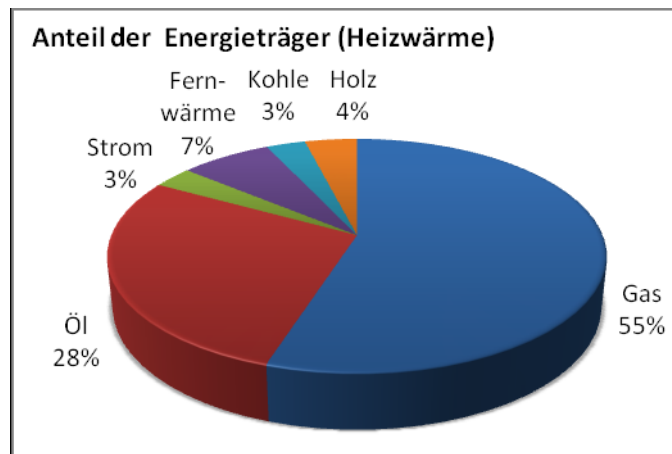


Abb. 2: Verteilung der Energieträger zur Bereitstellung der Heizwärme in Freiburg i. Br. (TIMPE & SEEBACH 2007).

phase wurde das Geographische Informationssystem ArcGIS 9.3 verwendet. Ein GIS ist unabdingbar für die räumliche Ermittlung und Darstellung des Wärmebedarfs sowie der CO₂-Emissionen, die Identifikation und Lokalisation von Wärmeinseln und deren Hinterlegung mit Kennzahlen. Es ist damit nicht nur ein analytisches Werkzeug, das den Untersuchungsthemen einen Raumbezug verleiht und graphisch darstellt, es liefert zudem Interpretations- und Entscheidungs- und Planungsgrundlagen.

3. Ergebnisse

3.1 Unsaniertes Gebäudebestand

3.1.1 Energiekennwerte des unsanierten Gebäudebestandes

Die im Folgenden dargestellten Energiekennwerte repräsentieren die für Freiburg typischen Heizwärmebedarfskennwerte für den unsanierten Gebäudepark.

Wie zu erwarten, ist der Heizwärmebedarf eines Einfamilienhauses auf Grund seines ungünstigen A/V-Verhältnisses in allen Baualterklassen am größten. Mit zunehmender Gebäudegröße verbessert sich das A/V-Verhältnis, was zu sinkenden Verbrauchswerten führt. Entsprechend der zunehmend verschärften Anforderungen an den Wärmeschutz nehmen die Verbrauchswerte mit abnehmendem Baualter ebenfalls ab. Gebäude mit dem höchsten Heizwärmebedarf sind somit Einfamilienhäuser der Baualterklasse A mit 225 kWh/m²a. Weniger als ein Viertel dieses Wertes benötigen moderne Hochhäuser der Baualterklasse G mit 52 kWh/m²a.

Abb. 4 stellt den Heizwärmebedarf der Stadt Freiburg unter Annahme eines unsanierten Gebäudeparks räumlich dar. Die Berechnung des Heizwärmebedarfes beruht auf Grundlage der Wohnfläche innerhalb der definierten Gebäudetypen und Baualterklassen und deren typischen Heizwärmebedarfswerte.

Analyse der Klimaschutz- und Energieeinsparpotenziale der Stadt Freiburg i. Br. anhand eines GIS basierten Wärmebedarfskatasters

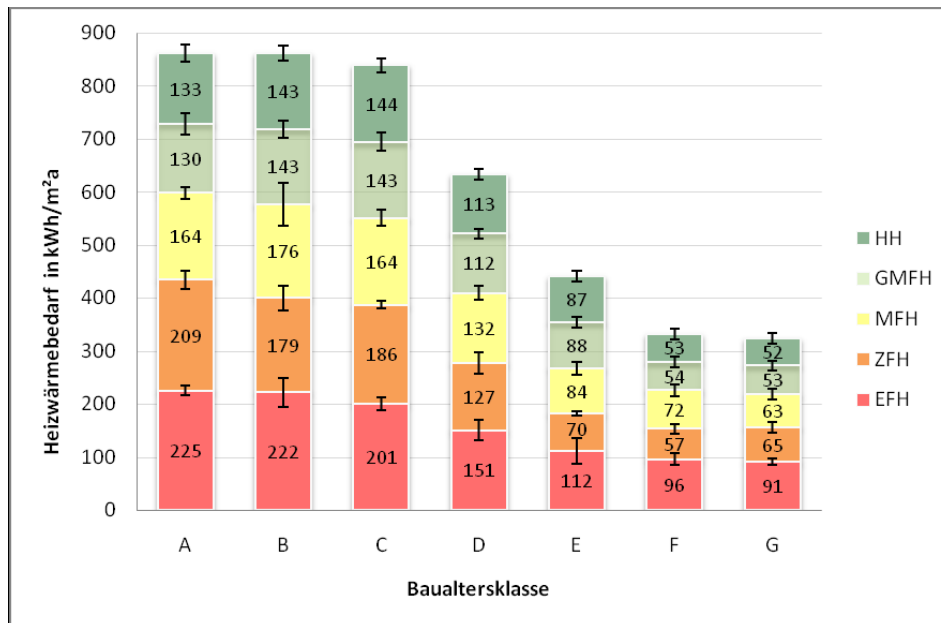


Abb. 3: Heizwärmebedarf der unsanierten Gebäudearten und -typen (FITZ 2009).

Mundenhof weist mit 184 kWh/m²a mit Abstand den höchsten Wert aller Stadtbezirke auf und bildet damit in Abb. 4 eine eigene Klasse, welche alle Werte über 160 kWh/m²a zusammenfasst. Im Ranking folgen die Stadtbezirke Kappel (159 kWh/m²a), Mittelwiehre (152 kWh/m²a) und Brühl-Industriegebiet (150 kWh/m²a), welche mit weiteren Stadtbezirken der Klasse mit Heizwärmebedarfswerten zwischen 140 und 160 kWh/m²a zuzuordnen sind.

Die Schlusslichter bilden Hochdorf mit 105 kWh/m²a und die Stadtbezirke Vauban und Rieselfeld mit Werten knapp über 60 kWh/m²a, welche sich damit in Abb. 4 bereits im Bereich des grünen Farbspektrums befinden.

Fazit: Für die gesamte Stadt Freiburg beträgt der mittlere Heizwärmebedarf im unsanierten Zustand pro Quadratmeter Wohnfläche 125 kWh/m²a.

3.2 Sanierter Gebäudebestand

Die Heizwärmebedarfswerte der verschiedenen Gebäudetypen und Baualterklassen unter der Annahme einer optimierten Gebäudehülle stellt Abb. 5 dar. Die klimabereinigten Werte beruhen auf dem arithmetischen Mittel der genannten fünf Gebäudetypologien, welche nach einer Dämmung der Außenwände, Kellerdecke, Dach und Fenster für das jeweilige Gebäude anzunehmen sind.

Die Heizwärmebedarfswerte eines sanierten Gebäudebestandes weisen vor allem in den älteren Baualterklassen wesentlich geringere Werte auf als im unsanierten Zustand. So liegt nun der höchste Bedarfswert nicht mehr bei den Einfamilienhäusern der Baualterklasse A, sondern bei den Einfamilienhäusern der Baualterklasse G. Der geringste Wert wird in Hochhäusern der Baualterklasse G mit 40 kWh/m²a erreicht. Ältere Gebäude (v.a. Einfamilienhäuser) können nach der Sanierung durch die mächtigen Außenwandstärken (massive

Sven Fitz & Gaby Zollinger

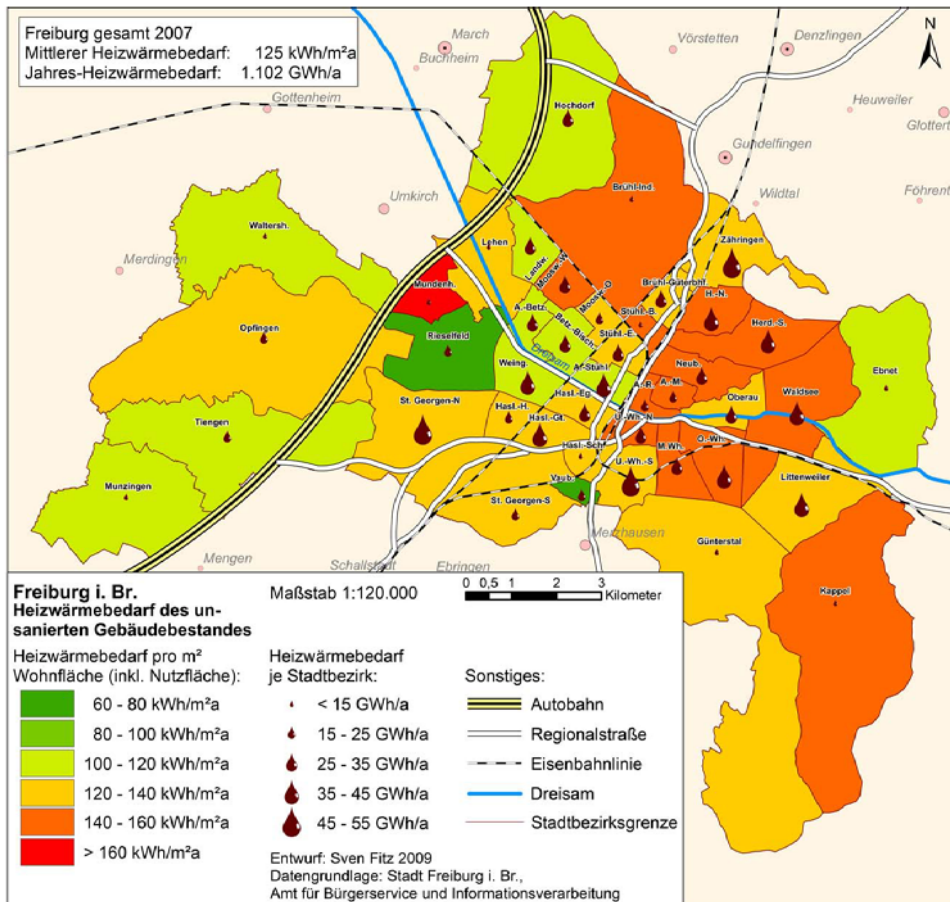


Abb. 4: Heizwärmebedarf des unsanierten Gebäudebestandes (FITZ 2009).

historische Außenwand + Wärmeschutzdämmung) sogar geringere Werte aufweisen, als moderne Neubauten. Einfamilienhäuser der Baualterklassen A und B weisen zwischen 73 und 75 % die höchsten Einsparungen gegenüber den Kennwerten des unsanierten Zustandes auf. In der Baualterklasse F ist die Summe des Heizwärmebedarfs aller Gebäudetypen, hauptsächlich auf Grund der geringen Einsparpotenziale der Einfamilienhäuser von 31 % etwas höher und ist mit der Summe der Baualterklassen B und C gleichzusetzen.

Abb. 6 stellt den Heizwärmebedarf der Stadt Freiburg unter Annahme eines vollständig sanierten Gebäudebestandes räumlich dar.

Dabei weist Kappel mit 71 kWh/m²a den weitaus höchsten Heizwärmebedarf bezogen auf die Wohnfläche auf und sticht somit als Stadtbezirk der Klasse mit Heizwärmebedarfswerten zwischen 70 und 75 kWh/m²a in der Graphik als einzige rote Fläche hervor. Neben Mundenhof schließen sich Mittel- und Unter-Wiehre sowie der Altstadt-Ring in der Rangfolge mit

Analyse der Klimaschutz- und Energieeinsparpotenziale der Stadt Freiburg i. Br. anhand eines GIS basierten Wärmebedarfskatasters

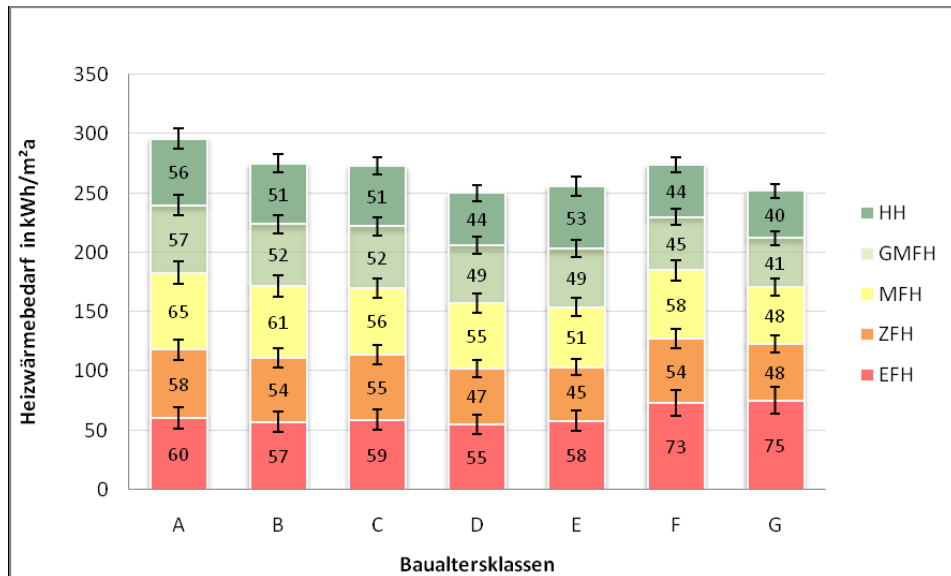


Abb. 5: Heizwärmebedarfswerte unter Annahme eines optimierten Gebäudebestandes in Freiburg. Alle im Diagramm angegebenen Zahlenwerte in kWh/m²a (eigene Berechnungen).

Werten um 60 kWh/m²a an. Landwasser und Betzenhausen-Bischofslinde haben mit Werten zwischen 46-47 kWh/m²a die geringsten Bedarfswerte bezogen auf die Wohnfläche.

Fazit: Für die Gesamtstadt Freiburg wäre unter optimierten Bedingungen ein Bedarf von 53 kWh/m² möglich. Im unsanierten Zustand lag dieser bei 125 kWh/m²a.

3.3 Potenziale zur Reduktion des Heizwärmebedarfs

Wird der Heizwärmebedarf eines sanierten Gebäudebestandes dem unsanierten Gebäudebestand gegenübergestellt, ergeben sich folgende Reduktionspotenziale.

Spitzenreiter ist mit einem Reduktionspotenzial von 67 % gegenüber dem Heizwärmebedarf eines unsanierten Gebäudebestandes der Stadtteil Mundenhof. Wie jedoch aus den gewonnenen Ergebnissen hervorgeht, hat Mundenhof aufgrund seiner geringen Wohnfläche die geringste absolute Einsparung aller Stadtbezirke von lediglich 0,2 GWh pro Jahr. Jedoch können auf dieser Wohnfläche pro Quadratmeter und Jahr 124 kWh Heizwärme eingespart werden. Waldsee weist ein Energieeinsparpotenzial der Heizwärme von 64 % auf, gefolgt von den Stadtbezirken Brühl-Industriegebiet, Herdern-Nord, Neuburg und Mooswald-West mit jeweils 63 % Einsparpotenzial.

Energieeinsparpotenziale unter 50 % weisen Hochdorf (49 %) und Munzingen (49 %) auf. Mit großem Abstand zu den restlichen Stadtteilen folgen Vauban mit 22 % und Rieselfeld mit lediglich 19 % Einsparpotenzial.

Mit 58 % Einsparung gegenüber dem unsanierten Zustand entspricht Zähringen dem Durchschnitt der Gesamtstadt Freiburg.

Sven Fitz & Gaby Zollinger

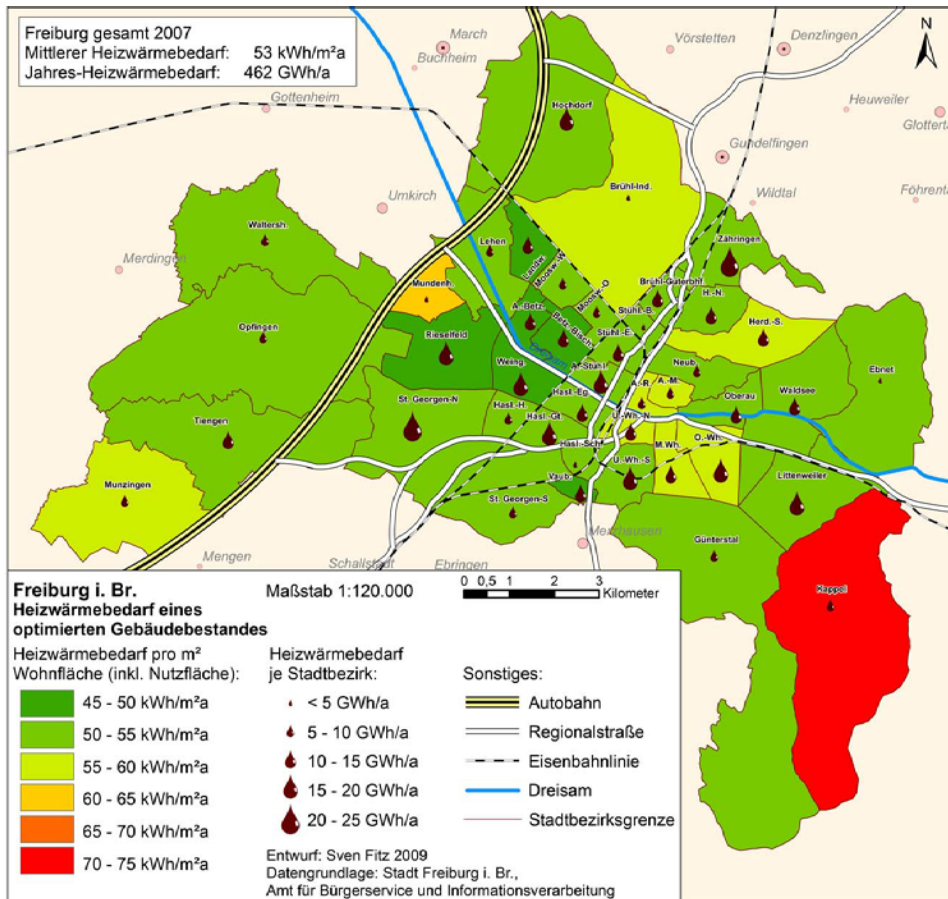


Abb. 6: Heizwärmebedarf eines optimierten Gebäudebestandes (FITZ 2009).

3.4 Kohlendioxidemissionen

Die durch die Bereitstellung der Raumwärme freigesetzten Kohlendioxidemissionen hängen wesentlich von den verwendeten Energieträgern und deren CO₂-Emissionsfaktoren ab.

Die größten Kohlendioxideinsparungen relativ zum historischen Zustand der Gebäude weisen Mundenhof (67 %) und Waldsee (64 %), sowie Mooswald-West, Neuburg, Herdern-Nord und Brühl-Industriegebiet mit je 63 % auf. Die Stadtteile Vauban (22 %) und Rieselfeld (19 %) weisen die geringsten CO₂-Einsparpotenziale auf.

Für die gesamte Stadt Freiburg ergibt sich eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 58 % im Vergleich zum ursprünglichen historischen Gebäudebestand.

In den Stadtbezirken Zähringen, St. Georgen-Nord und Unterwiehre-Süd können mit Werten um rund 8.000 Tonnen pro Jahr die größten Mengen an CO₂ eingespart werden. Mit Annäherung an die Altstadt nehmen die Reduktionspotenziale auf 5000-7000 Tonnen ab (z.B. Stühlinger, Herdern, Oberau, Oberwiehre). Im Bereich der Altstadt und den umliegenden Bezirken können insgesamt zwischen 3000-5000 Tonnen CO₂-Emissionen eingespart werden.

Analyse der Klimaschutz- und Energieeinsparpotenziale der Stadt Freiburg i. Br. anhand eines GIS basierten Wärmebedarfskatasters

Tab. 2: Absolute und relative Heizwärmebedarfseinsparungen durch Optimierung des Gebäudebestandes; Rangfolge nach relativer Einsparung in Prozent (FITZ 2009).

| Rang | Stadtbezirk | Reduktion des Jahresheizwärmebedarfs pro m ² [kWh/m ² a] | Reduktion des Heizwärmebedarfs [GWh/a] | Einsparung [%] |
|------|-----------------------|--|--|----------------|
| 1. | Mundenhof | 124,0 | 0,2 | 67,3 |
| 2. | Waldsee | 96,0 | 23,8 | 64,1 |
| 3. | Brühl-Industriegebiet | 94,7 | 1,6 | 63,1 |
| 4. | Herdern-Nord | 92,3 | 23,7 | 63,0 |
| 5. | Mooswald-West | 92,2 | 15,8 | 62,7 |
| 6. | Herdern-Süd | 91,5 | 23,4 | 61,5 |
| 7. | Stühlinger-Beurb. | 90,8 | 7,2 | 62,3 |
| 8. | Mittelwihre | 92,9 | 17,9 | 61,1 |
| 9. | Altstadt-Ring | 89,2 | 11,7 | 60,8 |
| 10. | Unterwihre-Nord | 89,0 | 17,6 | 60,2 |
| ... | | | | |
| 40. | Hochdorf | 51,1 | 14,3 | 48,8 |
| 41. | Vauban | 13,5 | 3,3 | 21,7 |
| 42. | Rieselfeld | 11,7 | 4,3 | 19,4 |

Bezogen auf die Energiebezugsfläche weisen Mundenhof mit rund 34 kg/m²a, Waldsee und Brühl-Industriegebiet mit 26 kg/m²a die höchsten CO₂-Reduktionspotenziale bezogen auf die Wohnfläche auf, gefolgt von Herdern-Süd, Mooswald-West und Herdern-Nord mit Werten knapp über 25 kg/m²a.

Der Bereich der Freiburger Innenstadt weist außer dem Stadtbezirk Alt-Stühlinger, welcher in etwa 15-20 kg/m²a weniger emittieren könnte, eine mögliche Reduktion der Emissionen um 20 bis 25 kg/m²a auf. Die das Stadtgebiet im Westen begrenzenden Bezirke Waltershofen, Opfingen und Tiengen weisen geringere Reduktionspotenziale zwischen 15 und 20 kg/m²a auf.

In Munzingen und Hochdorf ist lediglich eine Reduktion um 14kg/m²a möglich, in Rieselfeld und Vauban sogar nur zwischen 3 und 4 kg/m²a.

4. Diskussion der Ergebnisse

4.1 Wärmeinseln und Reduktionspotenziale

Eine Gegenüberstellung der absoluten Heizwärmeeinsparung eines sanierten Gebäudebestandes mit den Einsparpotenzialen relativ zu einem unsanierten Bestand zeigt, in welchen Bezirken ein hohes Maß an Energieeinsparungen erreicht werden kann. Waldsee, Unterwihre-Süd und Herdern-Nord befinden sich in beiden Fällen unter den zehn Stadtbezirken mit den jeweils höchsten Einsparpotenzialen, gefolgt von Haslach-Gartenstadt, Herdern-Süd, Oberwihre, Neuburg und St Georgen-Nord. Diese Stadtbezirke beherbergen somit einen Großteil der Gebäude, die sowohl absolut als auch relativ hohe Einsparpotenziale bieten.

Für den langfristig wirtschaftlichen Betrieb von Fernwärmenetzen ist es wichtig, diese dort zu realisieren, wo nicht nur der heutige, sondern auch der zukünftige Wärmebedarf hoch ist. In den Stadtbezirken Ober- und Mittel-Wiehre, Unterwiehre-Nord, Altstadttring und Altstadtmitte liegen sowohl im unsanierten als auch sanierten Zustand eine hohe Bedarfsdichte vor, was diese für eine nähere Untersuchung zur Umsetzung und Erweiterung von Nah- und Fernwärmenetzen interessant macht. Auch die Stadtteile Weingarten, Haslach und Herdern weisen ähnlich günstige Standortbedingungen auf. Gezielte Förderprogramme und eine Sensibilisierung des öffentlichen Bewusstseins hinsichtlich der Einsparpotenziale könnten in diesen Stadtbezirken ebenfalls besonders effektiv sein. Die Schlusslichter bilden Ebnet, Munzingen und insbesondere Rieselfeld und Vauban, welche auf Grund der modernen Gebäudestruktur die geringsten Einsparpotenziale aufweisen. Beispielsweise wurden alle Gebäude im Stadtteil Vauban mindestens entsprechend dem Niedrigenergie-Standard errichtet, wobei die etwa 100 Einheiten der Solarsiedlung über das Jahr gerechnet mehr Energie erzeugen sollen, als sie selbst verbrauchen (Disch 2009).

Insgesamt summieren sich die absoluten Einsparungen aller Stadtteile auf 640,3 GWh pro Jahr, was in etwa der Heizleistung von 63,4 Mio Liter Heizöl (ca. 2900 Tankwagen) entspricht. Würde die Dreisam Heizöl statt Wasser führen, würde diese Menge bei einem mittleren Abfluss von 5m³/Sekunde in 3 ½ Stunden an Freiburg vorbeifließen.

Das primäre Ziel des Freiburger Förderprogrammes „Wärmeschutz im Altbau“ aus dem Jahre 2002 und 2003 war die CO₂-Einsparung durch die energetische Sanierung von Gebäuden. Als CO₂-Einsparungsziel für die folgenden 30 Jahre wurden 37.500 t CO₂ vorgegeben. Durch die Umsetzung der Maßnahmen an verschiedenen Gebäuden in ganz Freiburg konnten durch das Förderprogramm in den Jahren 2002 und 2003 rund 68.000 MWh Heizenergie

Tab. 3: Rangfolge der relativen und absoluten Einsparpotenziale des Heizwärmebedarfs (FITZ 2009).

| Rang | Stadtbezirk | Einsparung relativ zum unsan. Bestand [%] | Rang | Stadtbezirk | Absolute Einsparung [GWh/a] |
|------|----------------|---|------|------------------|-----------------------------|
| 1. | Mundenhof | 67,35 | 1. | Zähringen | 29,72 |
| 2. | Waldsee | 64,13 | 2. | St. Georgen-N. | 29,70 |
| 3. | Brühl-Indust. | 63,13 | 3. | Unterwiehre-Süd | 28,58 |
| 4. | Herdern-Nord | 62,98 | 4. | Weingarten | 25,38 |
| 5. | Neuburg | 62,76 | 5. | Littenweiler | 25,35 |
| 6. | Moosw.-West | 62,71 | 6. | Haslach-Gt. | 24,88 |
| 7. | Stühl.-Beurb. | 62,33 | 7. | Alt-Stühlinger | 24,84 |
| 8. | Moosw. -Ost | 62,19 | 8. | Oberwiehre | 24,78 |
| 9. | Unterw. -Süd | 62,07 | 9. | Waldsee | 23,80 |
| 10. | Hasl. -Egerten | 61,80 | 10. | Herdern-Nord | 23,73 |
| ... | ... | | ... | ... | |
| 40. | Munzingen | 48,51 | 40. | Halslach-Schild. | 2,67 |
| 41. | Vauban | 21,65 | 41. | Brühl-Indust. | 1,60 |
| 42. | Rieselfeld | 19,40 | 42. | Mundenhof | 0,20 |

eingespart werden. Für die Umwelt bedeutet dies eine Entlastung von 20.750 t CO₂ in den nächsten 30 Jahren, bzw. 690 t/a (BASCHÉ 2004, S. 3) Für die Fortsetzung des Programmes im Jahr 2005 wurden vom Amt für Umweltschutz Abschätzungen der CO₂-Reduktion durch insgesamt 132 Effizienzsteigerungsmaßnahmen an Einzelgebäuden zur Verfügung gestellt (BASCHÉ 2007). Insgesamt summieren sich hierbei die Emissionsreduktionen in Freiburg auf 1.460 Tonnen pro Jahr bei einem Gesamtreduktionspotenzial von 173.700 Tonnen. Dies zeigt, dass das Potenzial der Gesamtstadt zur Reduktion der jährlichen Emissionen durch die beiden städtischen Förderungsprogramme noch nicht einmal zu 0,85 % erschlossen wurde. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass in den städtischen Programmen auch Optimierungsmaßnahmen an Heizungsanlagen umgesetzt wurden, die in dem hier errechneten Gesamtreduktionspotenzial von 173.700 Tonnen nicht enthalten sind. Die hier genannten Emissionsreduktionen durch Förderungen beinhalten nur die Resultate aus den Förderprogrammen der Stadt Freiburg. Weitere Verbesserungen im Gebäudebestand sind durch Förderungen des Bundes und der Länder, sowie verschiedener Förderbanken zu erwarten.

4.2 Kohlendioxidemissionen im nationalen Vergleich

In Deutschland werden pro Jahr 113 Mio. Tonnen CO₂ durch den Haushaltssektor emittiert. Rund 90 % dieser Emissionen (101,7 Mio. Tonnen) resultieren aus der Bereitstellung der Raumwärme (Umweltbundesamt 2007, S. 4). Bei einer Bundesbevölkerung von 82,1 Mio. Einwohnern ergibt sich somit eine Pro-Kopf-Emission von rund 1,24 Tonnen pro Person und Jahr.

Wird diese Berechnung auf die ermittelten Werte eines unsanierten Gebäudebestandes der Stadt Freiburg mit 300.000 Tonnen CO₂-Emissionen und 220.000 Einwohnern übertragen, so ergibt sich eine pro-Kopf-Emission von 1,36 Tonnen pro Jahr. Dieser Wert liegt somit 9 % über dem Bundesschnitt. Abweichungen ergeben sich auch durch die Annahme eines komplett unsanierten Gebäudebestandes für Freiburg. Unter Annahme eines vollständig sanierten Gebäudebestandes mit einer Jahresemission von 125.000 Tonnen CO₂ wären es lediglich 0,57 Tonnen pro Einwohner und Jahr. Dass die pro-Kopf-Emissionen aus der Heizwärmebereitstellung für Deutschland lediglich etwa 9 % unter dem angenommenen „Worst-Case-Szenario“ für Freiburg liegen zeigt, dass auch bundesweit ähnlich hohe und ungenutzte Potenziale sowohl zur Reduktion des Heizwärmebedarfes als auch der CO₂-Emissionen zu finden sind.

4.3 Kohlendioxidkompensationsflächen

Eine der wichtigsten natürlichen Kohlenstoffsenken sind Wälder. Eine Studie des Forschungsinstitut Eberswalde „Kohlenstoffpotenziale mitteleuropäischer Wälder“ von Prof. Dr. Gerhard Hofmann, Dr. Martin Jenssen und Dr. Siegfried Anders hat ergeben, dass jeder mitteleuropäische Hektar Wald im Durchschnitt 3,8 Tonnen Kohlenstoff oder dementsprechend 13,8 Tonnen CO₂ pro Jahr bindet. Eine Fichte im Altbestand bindet beispielsweise etwa 95 Kilogramm CO₂-Äquivalente pro Jahr, eine Buche 182 Kilogramm (HOFMANN et al. 2002). Für den Energieverbrauch zur Bereitstellung der Heizwärme im unsanierten Gebäudebestand wäre somit eine Fläche von 21.700 Hektar nötig, um die etwa 300.000 Tonnen CO₂ jährlich abzubauen. Dies entspricht der Fläche des gesamten Stadtgebietes mit einem zusätzlichen 1000 Meter breiten Band um die Stadtgrenze. Unter Annahme eines sanierten Gebäudebestandes, mit Emissionen von etwa 125.000 Tonnen CO₂, würde eine Fläche von lediglich 9.080 Hektar genügen - 58 % weniger als im ursprünglichen Zustand.

5. Übertragbarkeit der Methode auf andere Regionen

Die hier angewandte Methode zur Analyse des Gebäudebestandes ist auf beliebige Städte und Regionen anwendbar, insofern räumlich differenzierte Informationen zu Gebäudeart, Baualter und Gebäudegröße vorhanden und zugänglich sind. Die Klassengrenzen der Baualtersklassen, Gebäudetypen sowie der Bedarfs- und Emissionswerte können an die jeweils gültigen Rahmenbedingungen und Untersuchungsschwerpunkte angepasst werden. Anhand einer Klimabereinigung können auch überregionale Bedarfswerte an den jeweiligen Standort angepasst werden. Die Methode stellt damit eine kostengünstige Alternative zu aufwendigen Verbrauchsmessungen dar (siehe auch BUSCH et al. 2010).

6. Ausblick

Wärmebedarfskataster werden immer häufiger eine wichtige Rolle in der Planung der Umstellung auf erneuerbare Energieträger und effizientere Formen der dezentralen oder zentralen Wärmeabgabe spielen und bieten in Kombination mit der Darstellung in einem Geografischen Informationssystem (GIS) wichtige Entscheidungsgrundlagen, die der nachhaltigen Kommunalentwicklung dienen. Die Datenbank- und Layerstruktur eines GIS ermöglicht die thematische Weiterbearbeitung des vorliegenden Wärmebedarfskatasters hin zu einem vollständigen Energienutzungsplan, welcher zusätzlich die in der Region verfügbaren Potenziale regenerativer Energieträger darstellt (z.B. Biomasse, Wind, Freiflächen für solare Nutzung, Geothermie) und eine Planungsgrundlage zur Umsetzung von Maßnahmen zur Erfüllung der kommunalen Klimaschutzziele darstellt. Desweiteren werden möglichst alle kommunalen Liegenschaften, privaten Haushalte, Industrieunternehmen und weiteren Verbraucher aus Gewerbe, Handel, Dienstleistung für die Erstellung eines nachhaltigen und zukunftsorientierten Energiekonzepts mit einbezogen. Erarbeitete Maßnahmen zur Effizienzsteigerung und besseren Nutzung vorhandener Ressourcen sowie Vorschläge zu deren Umsetzung werden kartographisch dargestellt.

Danksagung

Die Autoren möchten sich bei Herrn Prof. Dr. Rüdiger Glaser (Leiter des Institutes für Physische Geographie) bedanken. Er hat nicht nur die Übernahme des Referates für die Magisterarbeit Fitz übernommen, sondern auch wertvolle Hinweise bei der Prüfung und dem Zustandekommen des Artikels gegeben. Stets war er ein hilfreicher Ansprechpartner und gerne bereit, Fragen zu beantworten und formale und inhaltlich Ratschläge zu geben.

Eingang des Manuskripts 11. November 2010

Angeführte Schriften

BASCHE, I. (2004): Förderprogramm Wärmeschutz im Altbau. Abschließende Bewertung der Pilotphase. Herausgegeben vom Umweltschutzamt Stadt Freiburg. Freiburg.

BASCHE, I. (2007): Förderprogramm Wärmeschutz im Altbau. Erfahrungsbericht 2005/2006. Herausgegeben vom Umweltschutzamt Stadt Freiburg. Freiburg.

Analyse der Klimaschutz- und Energieeinsparpotenziale der Stadt Freiburg i. Br. anhand eines GIS basierten Wärmebedarfskatasters

- BÖDE, U., GRUBER, E. & JOCHEM, E. (1999): Hemmnisabbau bei der rationellen Energieverwendung - Wohn- und Verwaltungsgebäude. Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (Hg.). Karlsruhe: ISI.
- BUSCH, M., BOTZENHART, F., HAMACHER, TH. & ZÖLITZ, R. (2010): GIS-gestützte Abbildung der Wärmenachfrage auf kommunaler Ebene am Beispiel der Stadt Greifswald mit besonderem Blick auf die Fernwärme. In: GIS.Science. Die Zeitschrift für Geoinformatik. Jg. 23, H. 3, S. 117-125.
- DISCH, R. (2009): Solarsiedlung in Freiburg. Wohnen mit der Sonne. Solarsiedlung GmbH. Online verfügbar unter <http://www.solarsiedlung.de>, zuletzt geprüft am 15.10.2010.
- DEDEKIND, M. (2006): Dämmen, heizen, lüften. Ihr Ratgeber für effizienten Wärmeschutz. Herausgegeben von Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt. Hamburg. Hamburg. (Wachsende Stadt - grüne Metropole am Wasser).
- FITZ, S. (2009): GIS-gestützte Analyse der Energieeinspar- und Klimaschutzpotenziale der Gebäudetypologie der Stadt Freiburg i. Br. Unver. MSc-Arbeit der FFU, Institut für Physische Geographie Freiburg im Breisgau.
- FITZ, S. (2010): GIS-gestützte Analyse der Energieeinspar- und Klimaschutzpotenziale der Gebäudetypologie der Stadt Freiburg i. Br. FreiDok: URL: <http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/7240/>. URN: urn:nbn:de:bsz:25-opus-72407.
- FÖRSTNER, U. (2008): Umweltschutztechnik. 7. Auflage. Hamburg: Springer Verl.
- FRITSCH, U. (2008): GEMIS Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme. Version 4.3: Institut für angewandte Ökologie e.V. Freiburg.
- GEBHARDT, H., GLASER, R. & RADTKE, U. (Hg.) (2007): Geographie. Physische Geographie und Humangeographie. 1. Aufl. München: Elsevier Spektrum Akad. Verl.
- GÖRTZ, W. (2005): Gebäudetypologie für die Stadt Düsseldorf. Endbericht. Herausgegeben von Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf. Ingenieurbüro ebök GbR.
- HOFMANN, G.; JENSEN, M. & ANDERS, S. (2002): Kohlenstoffpotenziale mitteleuropäischer Wälder. In: AFZ-Der Wald, Jg. 57, H. 12, S. 605–607.
- INSTITUT WOHNEN UND UMWELT (Hg.) (2003): Energieeinsparung durch Verbesserung des Wärmeschutzes und Modernisierung der Heizungsanlage für 31 Musterhäuser der Gebäudetypologie. Studie im Auftrag des Impulsprogramms Hessen. Darmstadt.
- KLEIBER, W., SIMON, J. & WEYERS, G. (1998): Verkehrswertermittlung von Grundstücken. Kommentar und Handbuch zur Ermittlung von Verkehrs-, Beleihungs-, Versicherungs- und Unternehmenswerten unter Berücksichtigung von WertV und BauGB /. 3. Aufl. Köln: Bundesanzeiger.
- STADT DORTMUND (Hg.) (2005): Dortmunder Gebäudetypologie. Neuauflage der Hausdatenblätter. Umweltamt. Dortmund.

Sven Fitz & Gaby Zollinger

- STADT HEIDELBERG (Hg.) (1996): Heidelberger Gebäudetypologie. 1. Aufl. Amt für Umweltschutz und Gesundheitsförderung. Heidelberg.
- STADT MANNHEIM (Hg.) (1998): Die Mannheimer Wärmefibel. Der Ratgeber zur Wärmedämmung und Energieeinsparung. 1. Aufl. Dezernat für Planung, Bauen, Umweltschutz und Stadtentwicklung. Mannheim.
- TIMPE, CH., SEEBACH, D. (2007): Klimaschutz-Strategie der Stadt Freiburg. Szenarien und Maßnahmenplan. Anlage zum Abschlussbericht. Öko-Institut e.V. Freiburg.
- UMWELTBUNDESAMT (Hg.) (2007): „Klimaschutz in Deutschland: 40%-Senkung der CO₂-Emissionen bis 2020 gegenüber 1990“. Dessau.
- WEGLAGE, A. (2008): Energieausweis - das große Kompendium. Grundlagen - Erstellung - Haftung. 2. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner (Programm Bauwesen).
- WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hg.) (2002): Solarfibel - Städtebauliche Maßnahmen. Solare und energetische Wirkungszusammenhänge und Anforderungen. 3. Aufl. (2002). Stuttgart.
- WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hg.) (2009): Informationszentrum Energie. Online verfügbar unter <http://www.wm.baden-wuerttemberg.de/informationszentrum-energie/63806.html>, zuletzt geprüft am 22.02.2009.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 2010

Band/Volume: [100](#)

Autor(en)/Author(s): Fitz Sven, Zollinger Gaby

Artikel/Article: [Analyse der Klimaschutz- und Energieeinsparpotenziale der Stadt Freiburg i.Br. anhand eines GIS basierten Wärmebedarfskatasters 129-146](#)