

# Kapitel 1

## Einleitung

### 1.1 Ausgangslage

#### 1.1.1 Die Energiefrage im 21. Jahrhundert

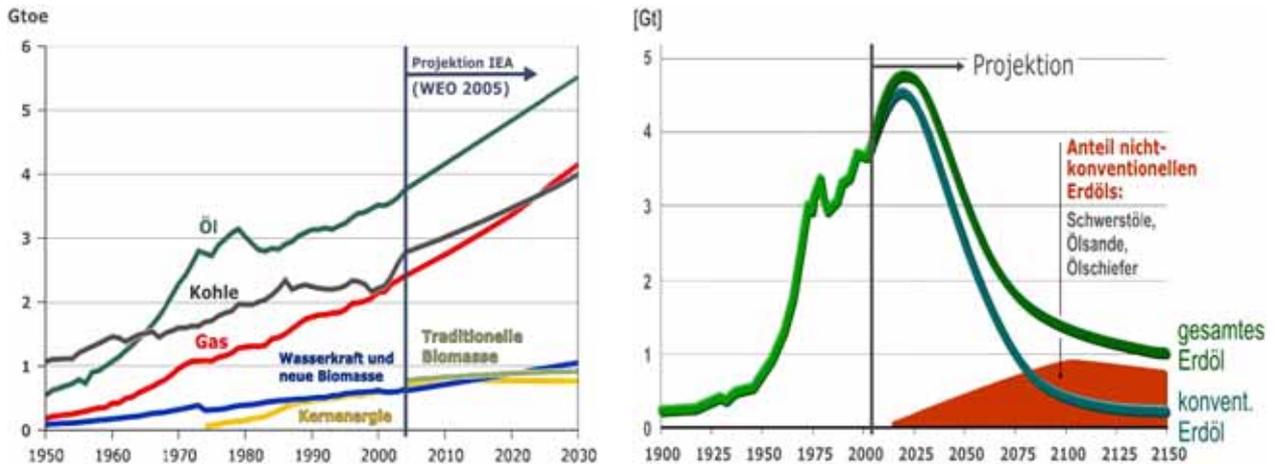
Eines der bestimmenden Themen im 21. Jahrhundert wird die Energiefrage und die Suche nach Antworten auf die damit verbundenen Probleme sein. Da insbesondere für die hoch technisierten Industrienationen zur Aufrechthaltung ihrer wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit und des hohen Lebensstandards große Mengen an Energie notwendig sind, andererseits aber die damit verbundenen Umweltbelastungen sowie die Verknappung der Ressourcen weit reichende Folgen haben, kommt der Entwicklung von diesbezüglichen Lösungsstrategien eine besondere Bedeutung zu.

Der Weltenergiebedarf steigt seit Jahrzehnten kontinuierlich an und wird zu 87 % mit fossilen Energieträgern gedeckt. In den letzten Jahren ist eine starke Zunahme des Verbrauchs insbesondere im asiatisch-pazifischen Raum zu verzeichnen gewesen, und es ist zu erwarten, dass sich dieser Trend mit der schnellen wirtschaftlichen Entwicklung in dieser Region fortsetzen und in Zukunft entscheidend zu einem weiteren Anstieg der weltweiten Verbrauchszahlen beitragen wird [vgl. 106].

Dem steigenden Energiebedarf steht die Begrenztheit der Energierohstoffvorkommen gegenüber. Auch wenn sich hier die Prognosen zum Teil deutlich unterscheiden, ist offensichtlich, dass in absehbarer Zeit bei ungebremster Nachfrage diese das Angebot übersteigen wird. Bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe geht man davon aus, dass für das Rohöl, welches mit 34 % den größten Anteil des Weltenergiebedarfs deckt, der depletion mid-point<sup>1</sup> in den nächsten 10 bis 15 Jahren erreicht sein wird [90, S.30-32]. Spätestens ab diesem Zeitpunkt entsteht bei weiter steigendem Bedarf ein nicht mehr auf bisherige Weise auszugleichendes Defizit.

---

<sup>1</sup> Zeitpunkt, an dem die Fördermenge nicht mehr gesteigert werden kann und abzunehmen beginnt.



Aus [90, S. 4, S. 32].

**Abbildung 1:** Entwicklung und Prognose des weltweiten Primärenergieverbrauchs

**Abbildung 2:** Entwicklung und Prognose der weltweiten Erdölförderung

Aus dem hohen Energieverbrauch und der Ressourcenknappheit ergibt sich eine Reihe von Problemen, die bedeutende ökologische und sozioökonomische Folgen haben können.

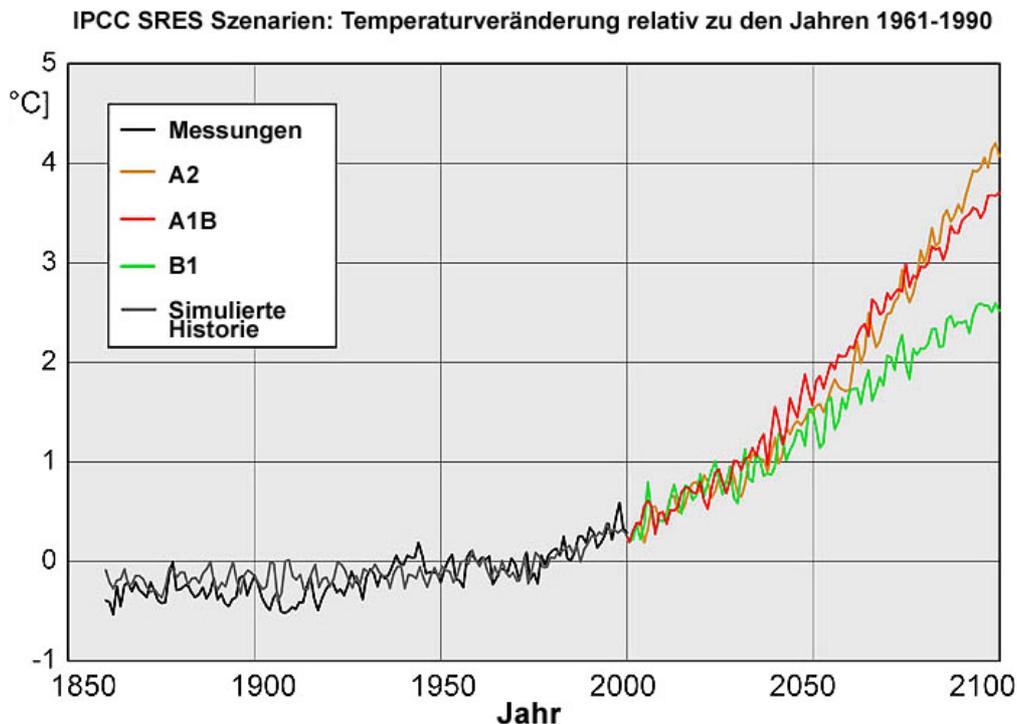
### 1.1.2 Folgen des hohen Energieverbrauchs und der Rohstoffknappheit

Durch den Verbrauch an fossilen Energieträgern hat sich die Menge der freigesetzten und in der Atmosphäre kumulierten Treibhausgase in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich erhöht. Gleichzeitig ist ein Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur um 0,6 °C im letzten Jahrhundert zu verzeichnen [102, S. 2]. In der wissenschaftlichen Diskussion besteht ein breiter Konsens darüber, dass ein direkter Zusammenhang zwischen diesen beiden Faktoren besteht und die globale Erderwärmung nicht alleine auf natürliche Ursachen zurückzuführen, sondern zu einem entscheidenden Teil anthropogenen Ursprunges ist [123, S. 21].

Mit Hilfe verschiedener Prognosemodelle ist ermittelt worden, mit welchen weiteren Temperaturanstiegen bei unterschiedlichen Energieverbrauchsszenarien in den nächsten Jahrzehnten gerechnet werden muss. Das Deutsche Klimarechenzentrum hat in einer Simulation zu dem für 2007 geplanten Assessment Report 4 des International Panel Of Climate Change (IPCC) je nach verwendetem SRES-Szenario<sup>2</sup>, einen An-

<sup>2</sup> Das IPCC hat 40 verschiedene „Second Report on Emission Scenarios“ erstellt, die die mögliche wirtschaftliche, technologische und soziale Entwicklung bis zum Jahr 2100 abbilden und in 4 Hauptgruppen unterteilt sind. Während die A-Szenarien eher eine ökonomisch ausgerichtete Entwicklung annehmen, wird den B-Szenarien eine deutlich ökologischere Ausrichtung zu Grunde gelegt.

stieg der durchschnittlichen Oberflächentemperatur bis zum Jahr 2100 um 2,5 bis 4,1 °C berechnet (siehe Abbildung 3). Andere Studien gehen davon aus, dass damit der Temperaturanstieg auf Grund von nicht hinreichend berücksichtigten Rückkopplungseffekten noch unterschätzt sein könnte [vgl. 138].



Nach [48].

**Abbildung 3:** Temperaturveränderungen nach IPCC SRES-Szenarien

Bei diesen prognostizierten Temperatursteigerungen sind einschneidende Folgen für das Ökosystem zu erwarten. Von der Verringerung der Landeismassen über den Anstieg der Meeresspiegel bis hin zur Zunahme von extremen Wetterereignissen sind bereits heute die Auswirkungen einer klimatischen Veränderung zu beobachten [vgl. auch [98; 102, S. 2-5]. Die möglichen ökonomischen Schäden lassen sich dabei nur schwer abschätzen, werden aber nach verschiedenen Studien bedeutende volkswirtschaftliche Auswirkungen haben [158, S. 1-3].

Eine weitere Verknappung der Ressourcen bei gleichzeitig steigendem Bedarf ist auch aus strategischer Sicht von besonderer Wichtigkeit. Da eine langfristig gesicherte Energieversorgung eine wichtige Grundlage für jede hoch technisierte Gesellschaft ist, wird eine Kontrolle der verfügbaren Reserven zu einer globalen Kernfrage, die bei einem Mangel an Alternativlösungen zu ernststen zwischenstaatlichen Konflikten führen kann. So fordert der Vorsitz des Europäischen Rates beispielsweise, die „...Arbeiten

zur Entwicklung und Durchführung einer externen Energiepolitik unter Einsatz aller verfügbaren Instrumente einschließlich der GASP<sup>3</sup> und der ESVP<sup>4</sup> voranzubringen...“ [134, S. 10], was die Aktualität dieser Problematik unterstreicht.

Diese Ressourcenverknappung macht sich nicht zuletzt bei den Energiepreisen deutlich bemerkbar, die in den letzten Jahren zum Teil im zweistelligen Prozentbereich pro Jahr gestiegen sind [vgl. 149]. Für den Endverbraucher führt das auf vielen Gebieten zu höheren Kosten, und es stellt sich die Frage, wie einschneidend die zukünftigen finanziellen Belastungen, insbesondere in energieintensiven Bereichen, sein werden.

Aus all diesen Gründen ist es von besonderer Bedeutung, kurzfristig Antworten auf die Energiefragen zu finden und Lösungsmöglichkeiten zu entwickeln. Dabei stehen zwei Strategien im Vordergrund. Zum einen ist es notwendig, die Energieversorgung langfristig auf alternative Energieträger umzustellen, und zum anderen muss parallel dazu der hohe Energieverbrauch reduziert werden.

Bei der Suche nach Energieeinsparmöglichkeiten sind im Hinblick auf eine möglichst große Effektivität der Maßnahmen dabei zunächst einmal diejenigen Bereiche mit dem größten Anteil am Gesamtenergieverbrauch von besonderem Interesse. Die Analyse der Energieverbrauchsstruktur ist demnach eine Voraussetzung zur Präzisierung der diesbezüglich wichtigsten Handlungsfelder.

### 1.1.3 Energieverbrauchsstruktur

Abbildung 4 zeigt die Aufteilung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland nach einzelnen Sparten. Die privaten Haushalte weisen hierbei mit über 29 % den größten Einzelanteil auf und tragen mehr zum Gesamtenergieverbrauch bei als die Bereiche Verkehr oder Industrie.

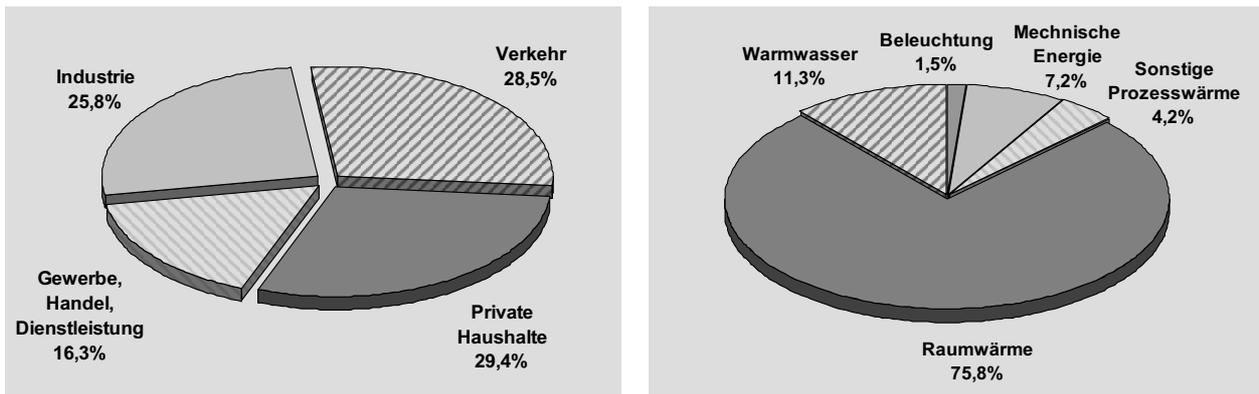
Die Aufteilung dieser energieintensivsten Sparte in einzelne Anwendungsfelder ist in Abbildung 5 dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Raumheizung mit knapp 76 % hierbei den größten Anteil aufweist. Zusammen mit der Warmwasserbereitung werden in diesem Bereich fast 90 % der Gesamtenergie benötigt.

Einer energetischen Optimierung der Bau- und Anlagentechnik bei Wohngebäuden kommt daher hinsichtlich des Ziels einer Energieverbrauchsreduzierung in Deutschland eine entscheidende Bedeutung zu.

---

<sup>3</sup> Gemeinsame Außen- und Sicherheitspolitik.

<sup>4</sup> Europäische Sicherheits- und Verteidigungspolitik.



In Deutschland, nach [45, Tabellen 5 und 7].

**Abbildung 4:** Anteil der Verbrauchssparten am Endenergieverbrauch

**Abbildung 5:** Endenergieverbrauch in privaten Haushalten nach Anwendung

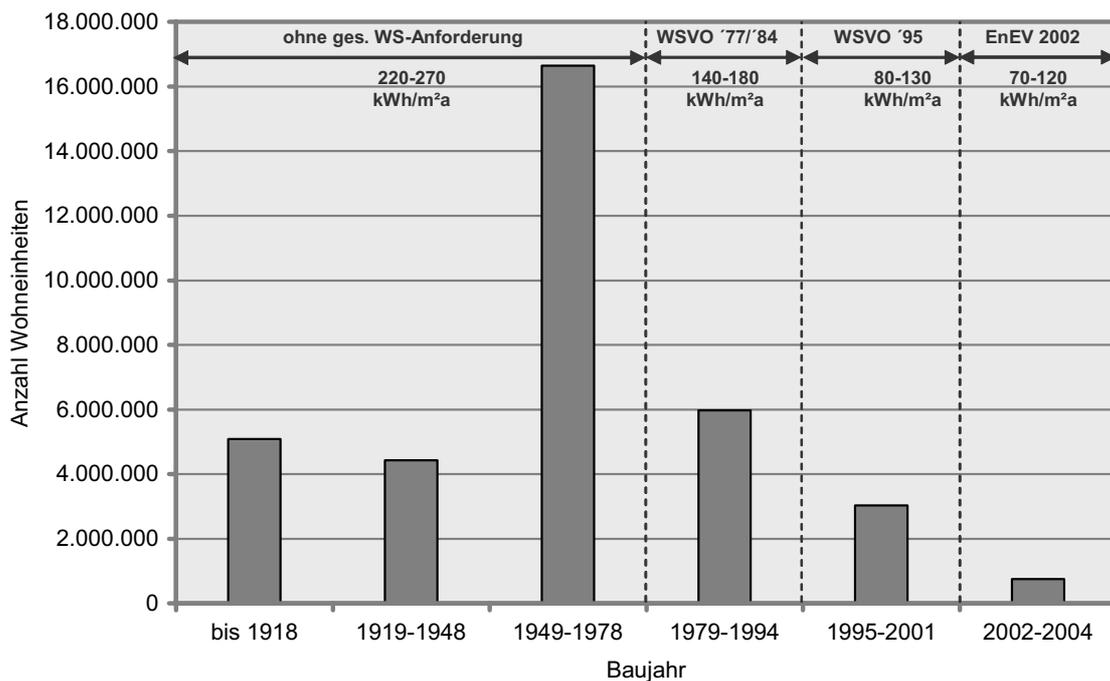
Dabei sind deutliche Unterschiede bezüglich des energetischen Ist-Zustandes festzustellen, je nachdem zu welcher Zeit und nach welchem Standard ein Objekt errichtet bzw. optimiert worden ist. In Abbildung 6 ist die Anzahl der Wohneinheiten in Deutschland nach Errichtungsjahr dargestellt und die wichtigsten Zeitmarken bezüglich der jeweils gesetzlich vorgeschriebenen Wärmeschutzstandards aufgetragen. Zusätzlich ist der für den jeweiligen Abschnitt typische durchschnittliche Heizwärmebedarf in kWh/m<sup>2</sup>a Wohnfläche angegeben.

Es ist ersichtlich, dass 73 % aller Bestandswohneinheiten zu einer Zeit errichtet worden sind, als noch keine Wärmeschutzmaßnahmen gesetzlich vorgeschrieben waren<sup>5</sup>. Damit weisen fast drei Viertel des Bestandes sehr hohe Heizwärmebedarfskennzahlen auf. Der Anteil von Wohneinheiten, die auf Grundlage der Energieeinsparverordnung 2002 mit einem dementsprechend niedrigeren Heizwärmebedarf errichtet worden sind, beträgt dagegen nur 2 %. Wenn man zusätzlich berücksichtigt, dass die jährliche auf den Gesamtbestand bezogene Neubaurate bei unter einem Prozent liegt, wird deutlich, dass eine nachhaltige und zeitnahe Senkung des Gesamtenergieverbrauches in erster Linie durch eine Reduzierung des Energiebedarfs der bis 1978 errichteten Wohngebäude erreicht werden kann.

Auch wenn allen Bauwerken dieser Gruppe gemeinsam ist, dass zu ihrer Erbauungszeit keine speziellen Wärmeschutzmaßnahmen ausgeführt wurden, ist hier aus energetischer Sicht dennoch eine Unterteilung in weitere Gebäudeklassen notwendig. Die

<sup>5</sup> Die erste Wärmeschutzverordnung trat am 01.11.1977 in Kraft und wurde knapp ein Jahr später durch die erste Heizungsanlagenverordnung ergänzt. Bis dahin waren lediglich in der DIN 4108 Regelungen zum Mindestwärmeschutz enthalten.

verschiedenen typologischen und bautechnischen Unterschiede zwischen den einzelnen Baustilen führen zu jeweils spezifischen energetischen Merkmalen, so dass eine Grobgliederung nach dem Errichtungsdatum in drei Kategorien erfolgt [vgl. auch 150]. Es zeigt sich, dass die überwiegende Zahl der vor 1978 errichteten Wohneinheiten in dem Zeitraum zwischen 1949 und 1978, die zweitgrößte Anzahl vor dem Jahr 1919 und der kleinste Anteil zwischen 1919 und 1949 entstanden ist. In dieser Reihenfolge ist dementsprechend auch die jeweilige Relevanz in Bezug auf die Verringerung des Gesamtenergieverbrauchs zu sehen.



In Deutschland, nach [150; 151, S. 328].

**Abbildung 6:** Anzahl der Wohneinheiten nach Baujahr

Neben der Energieverbrauchsreduzierung kann die energetische Gebäudesanierung dabei weitere positive Effekte aufweisen. Hier sind insbesondere die Komfortsteigerung auf Grund eines verbesserten baulichen Wärmeschutzes oder einer anlagentechnischen Modernisierung sowie die Bauschadensvermeidung durch eine bauphysikalische Optimierung zu nennen.

Aus all diesen Gründen stellt die energetische Sanierung, und hier insbesondere die des vor 1978 errichteten Altbaubestandes, ein wichtiges Handlungsfeld und dementsprechend umfassendes Aufgabengebiet für die Bauforschung dar.

## 1.2 Stand der Forschung

Auf dem Gebiet der energetischen Optimierung von Bestandsgebäuden ist in den letzten Jahren in den unterschiedlichsten Bereichen intensiv geforscht worden, wobei auch zahlreiche Demonstrations- und Beispielvorhaben umgesetzt wurden. Die Themenschwerpunkte reichen dabei von der Untersuchung einzelner bauphysikalischer Fragestellungen über Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und ökologische Analysen bis hin zur Entwicklung von Gebäude- oder Stadtsanierungsstrategien. Im Folgenden werden die diesbezüglich wichtigsten Forschungseinrichtungen und besonders relevante Publikationen aufgeführt.

- Im Bereich der bauphysikalischen Forschung hat das Fraunhofer-Institut für Bauphysik in seinem Institutsteil Holzkirchen zahlreiche Forschungsvorhaben, insbesondere auf dem Gebiet des hygrothermischen Bauteilverhaltens, bearbeitet. Dabei sind die Projekte unter anderem in einer Freilandversuchsstelle durchgeführt worden, in der Baukonstruktionen unter realen Bedingungen messtechnisch erfasst werden können [51].
- Das Passivhaus-Institut hat ebenfalls umfassende bauphysikalische Analysen zu verschiedenen Problemstellungen bei der Altbausanierung erstellt. So sind bezüglich des Themas „Altbau und Passivhauskomponenten“ mehrere Forschungsberichte erschienen, in denen schwerpunktmäßig die Bereiche Luftdichtheit, Innendämmung und Wärmebrücken detailliert behandelt werden [110; 141].
- An dem Institut für Bauklimatik der Technischen Universität Dresden ist insbesondere auf dem Gebiet der Simulation hygrothermischer Vorgänge in Bauteilen und der Innendämmung geforscht worden. Zur Zeit wird in Kooperation mit anderen Instituten auch ein Forschungsvorhaben bearbeitet, bei dem Materialdaten für die Gebäudesimulation erfasst und aufbereitet werden [54].
- Die Holzbalkenkopfproblematik in historischen Gebäuden ist Thema einer am Institut für Angewandte Bautechnik der TU Hamburg-Harburg durchgeführten Forschungsarbeit. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Entwicklung von thermisch optimierten Lösungen zum Austausch feuchtegeschädigter Balkenköpfe [53].
- Mit der Thematik der Nachhaltigkeit von Bestandssanierungsstrategien beschäftigt sich das Öko-Institut in seinem Arbeitsgebiet Umwelthandlungsfelder. Hier werden auch Stoff- und Energieflussanalysen zu verschiedenen Themen aus dem Bereich Bauen und Wohnen durchgeführt [62].
- Im Bereich der energetischen Optimierung von Gesamtgebäuden und der Entwicklung von entsprechenden Sanierungsstrategien hat die Abteilung Wärmetechnik des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik anhand verschiedener Demonstrationsvor-

haben Maßnahmen zur energetischen Sanierung untersucht, messtechnisch evaluiert und daraus übertragbare Konzeptionen entwickelt [52].

- Auf diesem Gebiet ist auch das Institut Wohnen und Umwelt tätig, wobei unter anderem auch verschiedene Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von energetischen Sanierungsmaßnahmen durchgeführt worden sind [55].
- In der Forschungsarbeit „Energetische Gebäudesanierung Faktor 10“ werden die Rahmenbedingungen von verschiedenen energetischen Sanierungsmaßnahmen analysiert und daraus Umsetzungsstrategien entwickelt [143].
- Die Deutsche Energie Agentur dena führt mit dem Modellvorhaben „Niedrigenergiehaus im Bestand“ in Kooperation mit dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung ein Projekt durch, bei dem unterschiedliche Bestandsbauten umfassend energetisch saniert und die Erkenntnisse anschließend ausgewertet und dokumentiert werden [47].
- Im Forschungs- und Demonstrationsprogramm EnSan werden im Rahmen eines vom Bundeswirtschaftsministerium aufgelegten Förderkonzeptes ebenfalls unterschiedliche Bestandsgebäude energetisch optimiert, wobei jedes Vorhaben wissenschaftlich begleitet und messtechnisch erfasst wird [50].

Dieser Blick auf die aktuelle Forschungslandschaft zeigt, dass derzeit eine große Bandbreite unterschiedlicher Themen auf dem Gebiet der energetischen Altbausanie rung bearbeitet wird. Dabei liegt der Fokus sowohl bei der Entwicklung von Gebäudeoptimierungsstrategien als auch bei deren praktischer Umsetzung auf den nach 1919 errichteten Gebäuden. So ist beispielsweise bei dem dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“ und der EnSan-Objektliste eine klare Gewichtung hin zu diesen Gebäudekategorien zu erkennen.

Für die Klasse der bis einschließlich 1918 erstellten Bauten sind dagegen bisher nur wenige Untersuchungen durchgeführt worden. Bei den diesbezüglich bisher bearbeiteten Forschungsvorhaben stand entweder die Betrachtung eines besonderen Teilaspektes [99] oder die praktische Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen an einem Beispielgebäude mit anschließender messtechnischer Auswertung im Vordergrund [50, Demonstrationsgebäude in Zittau; 122]. Umfassende Analysen hinsichtlich des wirtschaftlichen und ökologischen Gebäudeoptimierungspotentials und der gebäudespezifischen Effizienz verschiedener Maßnahmen oder Maßnahmenkombinationen sind für diese Gebäudeklasse bisher nicht durchgeführt worden, so dass hier noch Forschungsbedarf besteht.

## 1.3 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, verschiedene energetische Optimierungsmaßnahmen im Bereich der Anlagen- und Bautechnik für gründerzeitliche Etagenhäuser zu untersuchen und diese anhand von ökonomischen und ökologischen Kriterien zu analysieren und zu bewerten. Es soll so das Potential der jeweiligen Varianten dargestellt werden, wobei eine möglichst große Übertragbarkeit der Ergebnisse angestrebt wird.

Mit den gründerzeitlichen Etagenhäusern wird dabei eine Gebäudeklasse<sup>6</sup> untersucht, die das Bild vieler europäischer Innenstädte entscheidend prägt und ein wichtiger Vertreter der vor 1919 errichteten Gebäude ist. Die Beschränkung auf Hamburg erfolgt dabei, da sich bestimmte typologische Merkmale von Stadt zu Stadt unterscheiden [vgl. 161, S. 79-101] und diese städtetypischen Besonderheiten ein unterschiedliches energetisches Verhalten erwarten lassen. Im Sinne einer Übertragbarkeit der Ergebnisse ist daher eine regionale Betrachtung notwendig.

In diesem Zusammenhang ist es von besonderer Bedeutung festzustellen, in wie weit bei den einzelnen Bestandsgebäuden Gemeinsamkeiten hinsichtlich der energetisch relevanten Merkmale bestehen. Auf Grund einer Vielzahl typologischer Ähnlichkeiten zwischen den Gebäuden dieser Klasse, die sie klar erkennbar von dem übrigen Gebäudebestand abgrenzen, scheint es möglich, an einem einzelnen Gebäude ermittelte Untersuchungsergebnisse auf den übrigen Bestand zu übertragen. Daher ist zunächst zu klären, in wie weit diese Annahme zutreffend ist. Die erste Forschungsleitfrage stellt sich folglich nach Art und Umfang der typologischen Übereinstimmungen gründerzeitlicher Etagenhäuser in Hamburg und damit nach der Übertragbarkeit der Berechnungsergebnisse.

Auf Grundlage der typologischen Untersuchung lässt sich dann ein Referenzobjekt bestimmen, dessen energetische Merkmale möglichst repräsentativ für den gründerzeitlichen Gebäudebestand in Hamburg sein müssen und an dem dann die weiteren Untersuchungen durchgeführt werden können. Hier sind zwei Bereiche von besonderem Interesse. Zum einen die Optimierung der Anlagentechnik im Bereich der Raumwärme- und Warmwassererzeugung und zum anderen die bautechnische Verbesserung der wärmeübertragenden Hüllflächen. Dabei dienen die Werte für das unsanierte Referenzobjekt als Vergleichsmaßstab hinsichtlich der Analyse der verschiedenen Lösungen. Dazu sind Kriterien zu entwickeln, nach denen eine vergleichende Maßnahmenbewertung vorgenommen werden kann. Die zweite Forschungsleitfrage stellt

---

<sup>6</sup> Hier: Zusammenfassung von Gebäuden, die in einem bestimmten Zeitraum erstellt wurden und sich auf Grund spezifischer typologischer Merkmale gegen die übrigen Gebäude abgrenzen lassen.