

CLIMATE CHANGE

10/2011

# Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung



UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 3708 41 110  
UBA-FB 001467

## **Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung**

von

**Kjell Bettgenhäuser, Thomas Boermans, Markus Offermann,  
Anja Krechting, Daniel Becker**  
Ecofys Germany GmbH, Köln

mit einem Anhang von

**Markus Kahles, Fabian Pause, Thorsten Müller**  
Universität Würzburg, Forschungsstelle Umweltenergierecht

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/3979.html> verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten  
und Meinungen müssen nicht mit denen des  
Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4359

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>  
<http://fuer-mensch-und-umwelt.de/>

Redaktion: Fachgebiet I 2.4 Energieeffizienz  
Jens Schubert

Dessau-Roßlau, Juni 2011

<b>1. Berichtsnummer</b> UBA-FB 001467	<b>2.</b>	<b>3.</b>
<b>4. Titel des Berichts</b> Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung		
<b>5. Autor(en), Name(n), Vorname(n)</b> Bettgenhäuser, Kjell; Boermans, Thomas; Offermann, Markus; Krechting, Anja; Becker, Daniel		
<b>6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)</b> Ecofys Germany GmbH, Am Wassermann 36, 50829 Köln		
<b>7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)</b> Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau		<b>8. Abschlussdatum</b> 11/2010
<b>9. Veröffentlichungsdatum</b> 06/2011	<b>10. UFOPLAN-Nr.</b> 3708 41 110	<b>11. Seitenzahl</b>
<b>12. Literaturangaben</b>	<b>13. Tabellen u. Diagramme</b>	<b>14. Abbildungen</b>
<b>15. Zusätzliche Angaben</b>		
<b>16. Zusammenfassung</b> <p>Ziel der Studie ist eine Potentialabschätzung der Reduzierung von Endenergiebedarfen zur Gebäudekühlung in Deutschland. Hierzu werden zunächst die Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen für Gebäudekühlung basierend auf vorhandene Studien und Untersuchungen getrennt nach Wohn- und Nichtwohngebäuden ermittelt. In Energiebedarfssimulationen werden weiterhin konventionelle Techniken und alternative Vermeidungstechniken regenerativen Systemen für verschiedene Wohn- und Nichtwohnreferenzgebäude gegenübergestellt. Eine Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse der Systeme untereinander vergleicht die Techniken in Bezug auf Ökonomie und Ökologie.</p> <p>Wesentliches Ergebnis ist das technische und realistische Minderungspotential der untersuchten alternativen und regenerativen Techniken im Gebäudebestand, welches basierend auf den klimatisierten Flächen und erwarteten Umsetzungsraten für die betrachteten Techniken berechnet wird. Weiterhin werden die Einflussmöglichkeiten auf den Energiebedarf erläutert. Hierzu werden Hemmnisse erläutert, mögliche Handlungsansätze und Instrumente aufgezeigt und Verbraucherinformationen erarbeitet.</p>		
<b>17. Schlagwörter</b> Klimatisierung, Kühlung, Umweltwirkungen, Klimaschutz, Emissionen, Gebäudebestand, Gebäude		
<b>18. Preis</b>	<b>19.</b>	<b>20.</b>

<b>1. Report No.</b> UBA-FB 001467	<b>2.</b>	<b>3.</b>
<b>4. Report Title</b> Climate Protection by Reducing Cooling Demands in Buildings		
<b>5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s)</b> Bettgenhäuser, Kjell; Boermans, Thomas; Offermann Markus; Krechting, Anja; Becker, Daniel		
<b>6. Performing Organisation (Name, Address)</b> Ecofys Germany GmbH, Am Wassermann 36, 50829 Köln		
<b>7. Funding Agency (Name, Address)</b> Federal Environment Agency (Umweltbundesamt) Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau		<b>8. Report Date</b> 11/2010
<b>9. Publication Date</b> 06/2011	<b>10. UFOPLAN-Ref. No.</b> 3708 41 110	<b>11. No. of Pages</b>
<b>12. No. of Reference</b>	<b>13. No. of Tables, Diagrams</b>	<b>14. No. of Figures</b>
<b>15. Supplementary Notes</b>		
<b>16. Abstract</b>  <p>The aim of this study is to conduct estimation on the potential reduction in electricity demand from cooling appliances in buildings in Germany. Current electricity demand and greenhouse-gas emissions will be investigated through desk research for residential and non-residential buildings. Based on building simulations, conventional, alternative and renewable technologies will be compared for different reference buildings. An economic and environmental assessment will evaluate the technologies per reference building in further detail.</p> <p>The main result will be an estimation of the potential energy demand reduction for the alternative/regenerative technologies in the building stock. This will be based on the conditioned floor area and retrofit rates per system. Furthermore, the influence of cooling in buildings on energy demand will be annotated. Barriers in the reduction of energy demand will be described possible actions will be discussed along with types of policy instruments and consumer information.</p>		
<b>17. Keywords</b> Cooling, Ventilation, Environmental Impact, Climate Protection, Emissions, Building Stock, Buildings		
<b>18. Price</b>	<b>19.</b>	<b>20.</b>

# Zusammenfassung

## Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Ziel der vorliegenden Studie ist es, technische, ökonomische und ökologische Maßnahmen zu untersuchen und zu bewerten, die geeignet sind, den Energiebedarf für die Gebäudekühlung künftig zu begrenzen, zu reduzieren oder teilweise sogar ganz vermeiden zu können.

Als Ausgangsbasis wird zunächst der Status quo des Energiebedarfs zur Gebäudekühlung in Deutschland in Kapitel 2 dargestellt. Hieraus wird ersichtlich, welche Energiemengen zur Kühlung von Wohn- und Nichtwohngebäuden in Deutschland aktuell benötigt werden. Soweit in den zu Grunde liegenden Studien enthalten, wird auch die prognostizierte zukünftige Entwicklung aufgezeigt.

In Kapitel 3 werden die Techniken der konventionellen Gebäudekühlung erläutert. Nach einer quantitativen Übersicht der betrachteten Systeme werden die Energiebedarfe für eine Auswahl von Referenzgebäuden (Wohn- und Nichtwohngebäuden) und Klimavarianten (Standorte Hamburg und Frankfurt jeweils für normales Klima und Extremsommer) dynamisch für ein Referenzjahr simuliert. Die Simulationen liefern den Kühlenergiebedarf und den Endenergiebedarf der Kühlungssysteme, die anschließend in eine Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse eingehen.

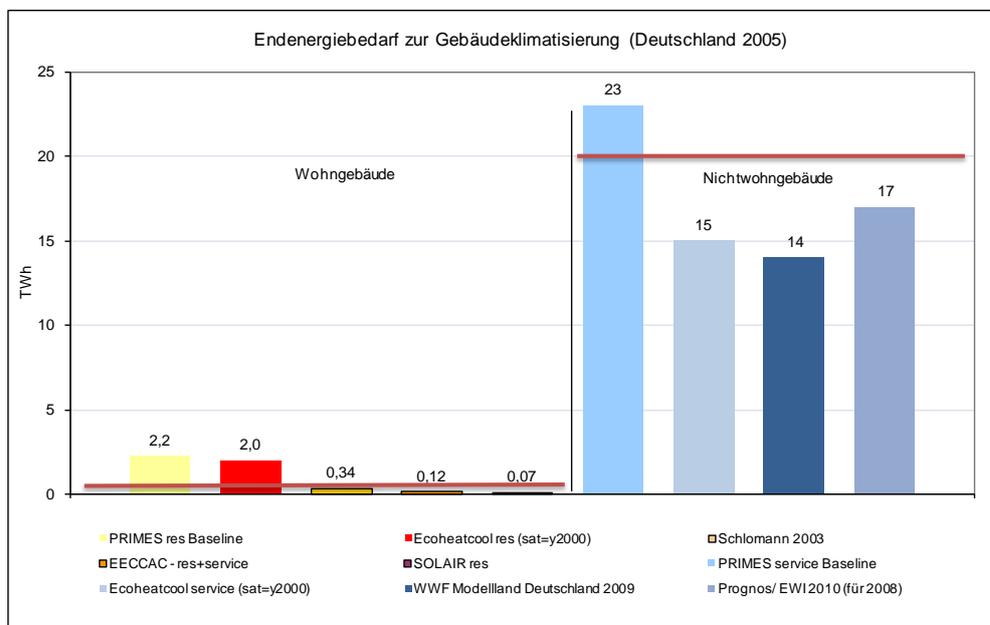
Techniken zur Minderung bzw. Vermeidung des Energiebedarfs sind in Kapitel 4 beschrieben. Hier werden sowohl Vermeidungsmaßnahmen (z.B. Verschattungssysteme) untersucht, als auch aktive, regenerative Systeme (z.B. adiabate Kühlung). Zu den konventionellen Varianten aus Kapitel 3 werden Alternativen simuliert, für die nach gleichem Schema die Energiebedarfe berechnet werden und die Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse durchgeführt wird. Im Anschluss daran wird in Abschnitt 3 des Kapitels 4 das realistische sowie technische Potential der betrachteten Vermeidungsmaßnahmen sowie der regenerativen Systeme für Deutschland für den Zeitraum bis 2030 berechnet. Dies erfolgt anhand einer Hochrechnung des Gebäudeinventars des deutschen Gebäudebestandes für Wohn- und Nichtwohngebäude, unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Referenzgebäudesimulationen, ergänzt durch weitere Studien.

Das Kapitel 5 stellt abschließend Einflussmöglichkeiten auf den Energiebedarf für die Gebäudekühlung dar. Es werden Hemmnisse identifiziert, Empfehlungen für Verbraucherinformationen vorgeschlagen sowie weiterer Handlungsbedarf aufgezeigt.

## Wesentliche Ergebnisse

### Energiebedarf der Gebäudekühlung

Die Angaben für den Kühlenergiebedarf in Wohngebäuden aus vorhandenen Studien schwanken, anders als bei Nichtwohngebäuden bei einem Vergleich der unterschiedlichen Quellen extrem stark. Der Kühlenergiebedarf für den Nichtwohngebäudebestand ist aufgrund der vorliegenden bewerteten Zahlen für das Jahr 2005 mit 15-20 TWh/a etwa 100-mal höher als derjenige für Wohngebäude. Künftig ist mit einer deutlichen Zunahme der durch Gebäudekühlung erzeugten Kohlendioxidemissionen zu rechnen. In Anlehnung an die Ergebnisse aus [Riviere, P.; Adnot, J. et al. 2008] ist im Wohngebäudebereich in den nächsten 20 Jahren mit etwa einer Verdoppelung zu rechnen. Im Nichtwohngebäudebereich ist der Anstieg geringer, allerdings mit ca. 25 % immer noch erheblich.



### Endenergiebedarf der Gebäudekühlung in Deutschland 2005

#### Simulierte Techniken und Referenzgebäude

Zur Untersuchung der Techniken der konventionellen Gebäudekühlung werden für den Bestand gekühlter Gebäude repräsentative Referenzgebäude ausgewählt, für die dynamisch thermische Simulationen durchgeführt wurden. Ziel dieser Analyse ist es, ein möglichst umfassendes Verständnis der gebäudespezifisch sehr individuellen Ursachen des Gebäudekühlenergiebedarfs zu erlangen. Insgesamt werden 10 Referenzgebäude, vier Wohngebäude und 6 Nichtwohngebäude, ausgewählt. Bei den Wohngebäuden werden Split- und Monoblockklimageräte sowie ein über Erdkälte

gekühltes Fußbodenkühlsystem untersucht. Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie Neubauten und Altbauten werden ebenfalls berücksichtigt. Bei der Untersuchung der Nichtwohngebäude liegt der Fokus der Simulationsberechnungen zunächst auf Büro- und Verwaltungsgebäuden. Auch hier werden Alt- sowie Neubauten berücksichtigt. Darüber hinaus werden unterschiedliche Verglasungsanteile der Fassaden und Sonnenschutzqualitäten untersucht. Die Bandbreite der berücksichtigten Klimasysteme reicht von (ineffizienten) Vollklimaanlagen über Kühldecken bis hin zu modernen Betonkernkühlungen. Als Referenz für eventuelle Nachrüstungen werden darüber hinaus auch Varianten ohne Kühlung untersucht. Neben dem erforderlichen Kühlenergieverbrauch wurde auch die erreichte Behaglichkeit berechnet.

Im Folgenden werden beispielhaft einige wesentliche Ergebnisse der Simulationen genannt.

Das Umgebungsklima hat einen starken Einfluss auf den Gebäude-Kühlenergiebedarf. Der Kühlenergieverbrauch unter Berücksichtigung des mildesten Klimas (Hamburg, ohne Klimawandel- und Hitzeinseleinfluss) und des heißesten Klimas (DWD Klimadatensatz TRY 12 mit integrierter Extremsommerperiode) unterscheidet sich teilweise um den Faktor 6, während das heißeste Klima nur 4,7-mal mehr Stunden über 26 °C hat als das kühlsche verwendete Klima.

Den erwartungsgemäß höchsten Kühlenergiebedarf benötigen die hochverglasten, mit einer Vollklimaanlage ausgerüsteten Büro-Altbauten. Der Endenergiebedarf für die Kühlung dieser Gebäudegruppe ist mit 36 kWh/(m<sup>2</sup>a) bis zu 98 kWh/(m<sup>2</sup>a) zehn- bis zwanzigmal höher als derjenige moderner Bürogebäude, die über eine Betonkernkühlung gekühlt werden.

Im nächsten Arbeitspaket wird die Wirksamkeit alternativer Techniken zur Reduktion des Gebäudekühlenergiebedarfs untersucht. Die alternativen Techniken werden in folgende Gruppen unterteilt:

- Techniken zur Reduktion/Vermeidung des Kühlenergiebedarfs (z.B. Sonnenschutz oder Lüftungskühlung)
- Regenerative Techniken zur Deckung des Kühlenergiebedarfs (z.B. Erdkälte oder Adiabate Kühlung)
- Besonders effiziente Maßnahmen zur Deckung des Kühlenergiebedarfs (z.B. Kühlanlagensanierungen)

Für ausgewählte Referenzgebäude werden anschließend geeignete alternative Techniken ausgewählt und in die vorhandenen Modelle implementiert.

In der folgenden Tabelle sind beispielhaft die Ergebnisse der Varianten eines Bürogebäudealtbaus (Baujahr 1980) mit Lochfassade sowie die der untersuchten alternativen Kühltechniken zur Vermeidung der Überhitzung in der Referenzvariante dargestellt.

Parameter	Region / Klima	5 - Büro 1960 Lochfassade ohne Kühlung	5a - Büro 1960 wie 5 + autom. ext. Sonnenschutz	5b - Büro 1960 wie 5a +Tischventilatoren	5c - Büro 1960 wie 5a +Max. Nachtlüftung	5d - Büro 1960 wie 5a + mit mech. Belüftung u. adiab. Kühlung
Klimatisierte Fläche		2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>
Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/a				
	HHX	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	16809 kWh/a
	FFM	0 kWh/a				
	FFMX	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	32444 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)				
	HHX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	7 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)				
	FFMX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	13 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/a				
	HHX	0 kWh/a	0 kWh/a	862 kWh/a	3179 kWh/a	1588 kWh/a
	FFM	0 kWh/a	0 kWh/a			
Endenergie	FFMX	0 kWh/a	0 kWh/a	1998 kWh/a	6080 kWh/a	3320 kWh/a
	HH	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
	HHX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
spez. Kühlenergieverbrauch	FFM	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
	FFMX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	HH	0 kWh/a				
Maximale empfundene Temperatur	HHX	35,9 °C	30,7 °C	28,9 °C	27,9 °C	27,8 °C
	FFM	34,2 °C				
	FFMX	37,9 °C	33,3 °C	31,5 °C	30,1 °C	29,4 °C
jährliche Überschreitungsstunden von 26°C	HH	626 h/a				
	HHX	868 h/a	311 h/a	70 h/a	77 h/a	29 h/a
	FFM	912 h/a				
Erf. Größe d. Kühlaggregats	FFMX	1279 h/a	753 h/a	403 h/a	282 h/a	259 h/a
	HH	0 kW				
	HHX	0 kW	0 kW	0 kW	0 kW	24 kW
	FFM	0 kW				
	FFMX	0 kW	0 kW	0 kW	0 kW	26 kW

Vergleich der Ergebnisse der Varianten 5, 5a, 5b, 5c und 5d

Es hat sich gezeigt, dass die meisten der untersuchten passiven Kühlmaßnahmen, zwar wirksam sind, teilweise aber, insbesondere beim Extremklima, allein nicht ausreichen, um behagliche Raumklimabedingungen zu erzeugen.

Hier wird die Implementierung weiterer Kühleinrichtungen wie z.B. einer mit Erdkälte versorgten Betonkernaktivierung oder Kühldecken erforderlich.

Neben den zuvor beschriebenen Möglichkeiten können aber teilweise auch durch einfachste Maßnahmen wie z.B. das Anheben des Temperatursollwertes Energieeinsparpotentiale in gleicher Größenordnung wie z.B. RLT-Anlagensanierung erreicht werden.

### *Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse*

Die Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalysen der konventionellen und alternativen Systeme ergibt folgendes Bild:

Wohngebäude (Varianten 1 bis 4)

Bei der Betrachtung der Einfamilienhäuser (Var.1-2) fällt auf, dass die Fußbodenkühlung im Vergleich zum nachgerüsteten automatischen Sonnenschutz die

wirtschaftlich günstigere Alternative ist (Voraussetzung: Erdsonden sind schon vorhanden!). Die teuerste Alternative (abgesehen vom Standort Hamburg im normalen Klima) ist das Splitgerät, das in der Anschaffung in etwa so viel kostet, wie die Automatisierung des Sonnenschutzes, zusätzlich aber Energiekosten und die höchsten spezifischen Emissionen verursacht. Der Einsatz eines hoch effizienten Splitgerätes (Var.1a) ist in Bezug auf die Jahresgesamtkosten günstiger als die Variante 1 und verursacht aufgrund der besseren Effizienz geringere Treibhausgas-Emissionen (THG). Generell wird deutlich, dass die Emissionen am Klimastandort „Hamburg (HH)“ am geringsten und am Standort „Frankfurt, extreme Sommerperiode (FFMX)“ am höchsten ausfallen.

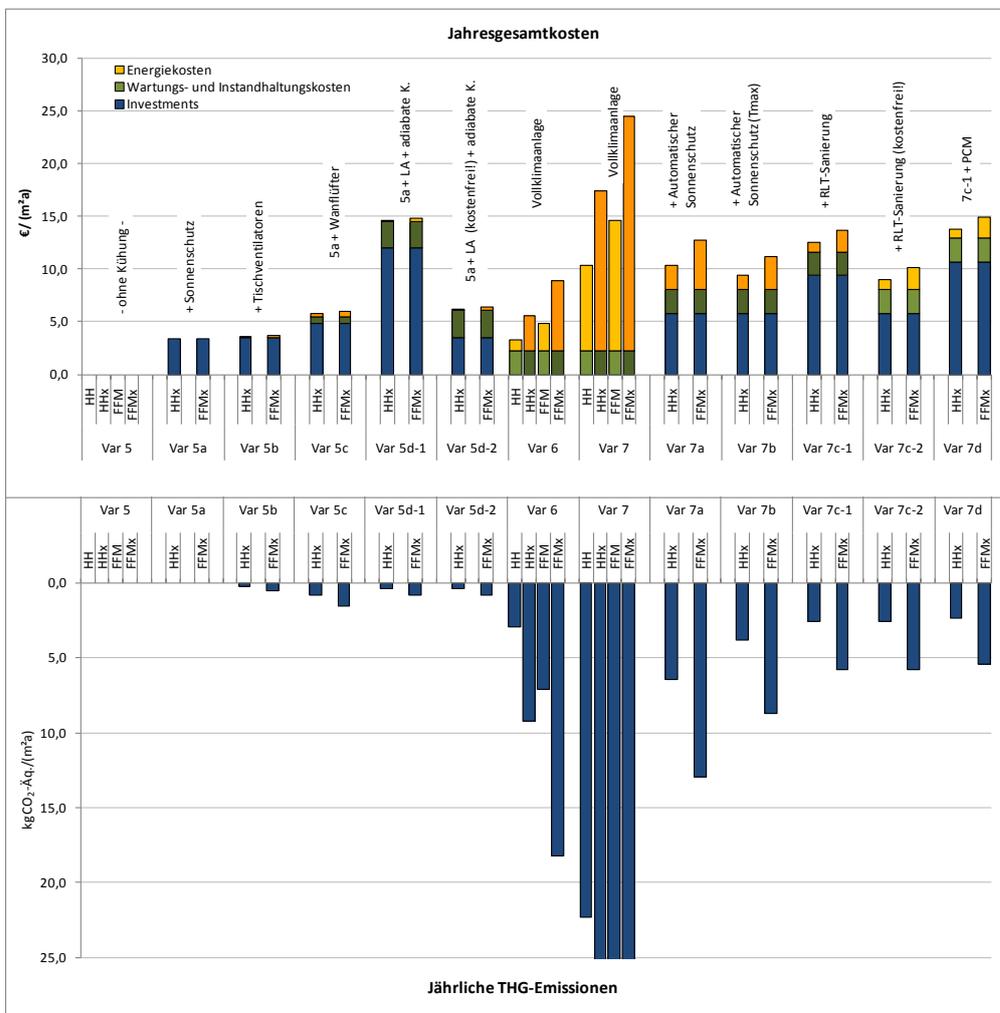
Bei der Betrachtung der Mehrfamilienhäuser (Var.3-4) fällt auf, dass das Kompaktgerät die wirtschaftlichste Lösung ist und das trotz der anteilig hohen Energiekosten, die zwischen 30 % bis 50 % der Jahresgesamtkosten (Szenario HH, HHx, FFM, und im Szenario FFMX sogar ungefähr 70 %) betragen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Klimagerätes sind jedoch deutlich höher als die des Sonnenschutzes. Die spezifischen Jahresgesamtkosten des automatisierten Sonnenschutzes betragen ungefähr zwei- bis dreimal so viel, wie die des Kompaktgerätes.

#### Bürogebäude (Varianten 5 bis 11)

Es wird deutlich, dass bestehende Bürogebäude mit Baujahr 1970 bis 1982 (Variante 6-8) im Vergleich zu Neubauten einen extrem hohen Endenergiebedarf zur Kühlung besitzen, besonders im Fall der Glasfassade in Kombination mit einer Vollklimaanlage (Variante 7, Baujahr 1978), wie beispielsweise am Standort Frankfurt mit 55 kWh/(m<sup>2</sup>a) Endenergie für Variante 7 im Vergleich zu 3 kWh/(m<sup>2</sup>a) für ein neu errichtetes Bürogebäude mit Lochfassade und Betonkernaktivierung (Variante 10). Bei Verwendung von Kühldecken lässt sich dieser Bedarf signifikant reduzieren (Büro 8, Baujahr 1982), beispielsweise am Standort Frankfurt von 55 auf 26 kWh/(m<sup>2</sup>a) Endenergie. Deutlicher wird jedoch die Einsparung, wenn eine Lochfassade anstatt einer Glasfassade berücksichtigt wird. Bestehende Bürogebäude mit hohen Kühllasten (Büro 6-9) verursachen je nach Standort hohe bis sehr hohe spezifische Treibhausgas-Emissionen. Hier wird erneut deutlich, dass die Treibhausgas-Emissionen am Standort „Hamburg (HH)“ am geringsten und in Szenario „Frankfurt, extreme Sommerperiode (FFMX)“ am höchsten ausfallen. Ein Faktor 10 für unterschiedliche Techniken am gleichen Standort ist möglich!

Die Betrachtung der bestehenden Bürogebäude (Var. 5-7, s. folgende Grafik) zeigt, dass bei einem Bürogebäude mit Baujahr 1960 mit Lochfassade und ohne Kühlung (Variante 5) die spezifischen Kosten der Lüftungsanlage ungefähr das Dreifache der spezifischen Kosten eines Sonnenschutzes betragen (Variante 5d-1, maximale Kosten). Da die Lüftungsanlage neben der Kühlfunktion auch für eine Wärmerückgewinnung genutzt werden kann, sind die Investitionskosten in der Variante 5d-2 bei gleichen technischen Eigenschaften der Heizfunktion zugewiesen (minimale

Kosten). Die für die Variante 5d anzusetzenden Kosten liegen in der Realität zwischen diesen beiden Werten. Die Investition in Sonnenschutz kann den Energiebedarf der Vollklimaanlage (Variante 7) auf ungefähr ein Viertel reduzieren und dadurch die spezifischen Gesamtkosten trotz Investition in den Sonnenschutz auf ungefähr die Hälfte sinken. Die spezifischen Energiekosten allein betrachtet werden um das ca. 5-6 fache reduziert und mit ihnen die Emissionen. Die Sanierung der RLT-Anlage halbiert die Energiebedarfe nochmals. Bei der RLT ist neben der Variante 7c-1 (maximale Kosten) mit den Vollkosten der Sanierung auch eine Variante 7c-2 mit einer in diesem Kontext „kostenfreien“ Sanierung der RLT-Anlage gerechnet. Die Kosten werden hierbei der zusätzlichen Wärmerückgewinnung zugerechnet. Der zusätzliche Einsatz von PCM vermindert die Energiekosten nur noch marginal. Es liegt daran, dass die Referenz-Bürogebäude bereits über eine relativ hohe thermische Speichermasse verfügen.



Spezifische Jahresgesamtkosten und THG-Emissionen der konventionellen und alternativen Kühlsysteme in Bürogebäuden (Varianten 5 bis 7).

Die Betrachtung der weiteren Gebäude zeigt, dass bei einem Büroneubau mit Glasfassade und Betonkernaktivierung (Variante 9) die Erdsondenaktivierung als Kühlung sich auf jeden Fall lohnt, wenn vorausgesetzt wird, dass es die Erdsonden der Wärmepumpe schon gibt und nur die Mehrkosten betrachtet werden. Die erzielte Energiekosteneinsparung ist in jedem Fall höher als die Investitionskosten für die Aktivierung der Erdsonden als Kältequelle (Wärmetauscher und Pufferspeicher). Gleiches gilt für das Passivhausbüro mit Erdsondenkühlung (Variante 11). Die Kapazität der Erdsonden kann bei Heiz- und Kühlbetrieb über die Sonden geringer ausfallen als bei reinem Heizbetrieb, da im letzten Fall ein größeres Bodenvolumen aktiviert werden muss.

## Schulen

Für die sanierte Schule mit dezentraler Lüftungsanlage (Varianten 12) und die Passivhausschule (Variante 13) führt die Nachrüstung der dezentralen Lüftung in der sanierten Schule zu ungefähr doppelt so hohen spezifischen Jahresgesamtkosten wie die Ausrüstung der Neubau-Passivhausschule mit einem Lufterdwärmetauscher. Hinsichtlich der Emissionen verursacht die dezentrale Lüftungsanlage leicht höhere Emissionen als der Lufterdwärmetauscher der Passivhausschule.

Hieraus lässt sich die generelle Aussage treffen, dass ein automatisierter Sonnenschutz bei Nichtwohngebäuden mit hohen Glasflächenteilen (Vollverglasung) unter den gegebenen Randbedingungen (Klima, Zinssatz, Investitionskosten, Zustand der Gebäude) stets wirtschaftlich einsetzbar ist. Hier überkompensieren die Energiekosteneinsparungen die Investitionskosten. Weiterhin ist eine Aktivierung ohnehin vorgesehener oder vorhandener Erdsonden als Kältequelle stets rentabel. Im Neubau (Variante 11) ist die solare Kühlung noch relativ teuer, hier ist die Kühlung über Erdsonden und eine adiabate Kühlung wesentlich wirtschaftlicher zu realisieren. Die THG-Emissionen unterscheiden sich bei diesen Varianten nur unwesentlich.

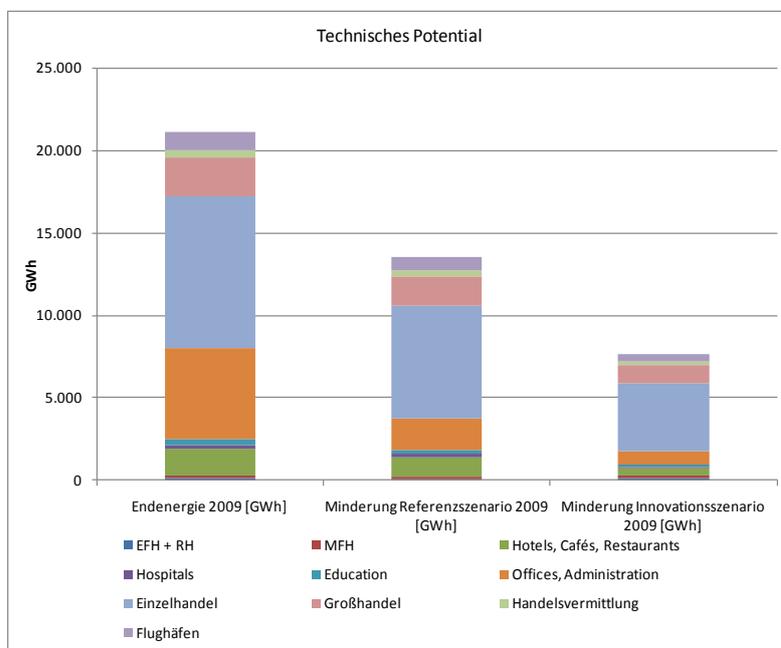
Eine detaillierte Übersicht der Berechnungen für alle Systeme ist in (Anhang A) zu finden.

## *Technisches und realistisches Minderungspotential*

Die Berechnungen zum technischen und realistischen Potential erfolgten in einem Bottom-up Ansatz, basierend auf folgenden Parametern: Kühlenergiebedarf pro Gebäudetyp, Umsetzungsraten passiver Kühlungsstrategien, Effizienzunterschiede von aktiven Systemen, Marktdurchdringung verschiedener Systeme sowie Neubau- und Abrissraten. Im Referenzszenario werden zwar der zukünftige Austausch von Kühlgeräten als auch Zubau und Rückbau berücksichtigt, nicht aber die technische Weiterentwicklung der Geräte. Alle zukünftig zu klimatisierenden Flächen werden mit der im Ausgangsjahr 2009 zur Verfügung stehenden Technik ausgerüstet. Für das

Innovationsszenario werden bei der Definition der Energiebedarfe (der auch die Simulationen zu Grund liegen) die technischen Weiterentwicklungen berücksichtigt. Somit sind die spezifischen Energiebedarfe für Austausch und Zubau geringer als im Referenzszenario.

Das technische Potential gibt an, wie viel Energie theoretische durch eine sofortige und vollständige Umsetzung der Maßnahmen gespart werden könnte. Würden die Techniken im Bestand heute mit den Techniken im Referenz- bzw. Innovationsszenario ad hoc ersetzt, dann ergeben sich folgende Reduktionspotentiale. Das technische Potential zur Minderung des Energiebedarfs zur Gebäudekühlung gegenüber dem Status quo von 21.000 GWh/a beträgt im Referenzszenario 36% und im Innovationsszenario 64%. Die folgende Grafik illustriert, dass die verhältnismäßig höchsten Potentiale bei den bestehenden Bürogebäuden liegen.



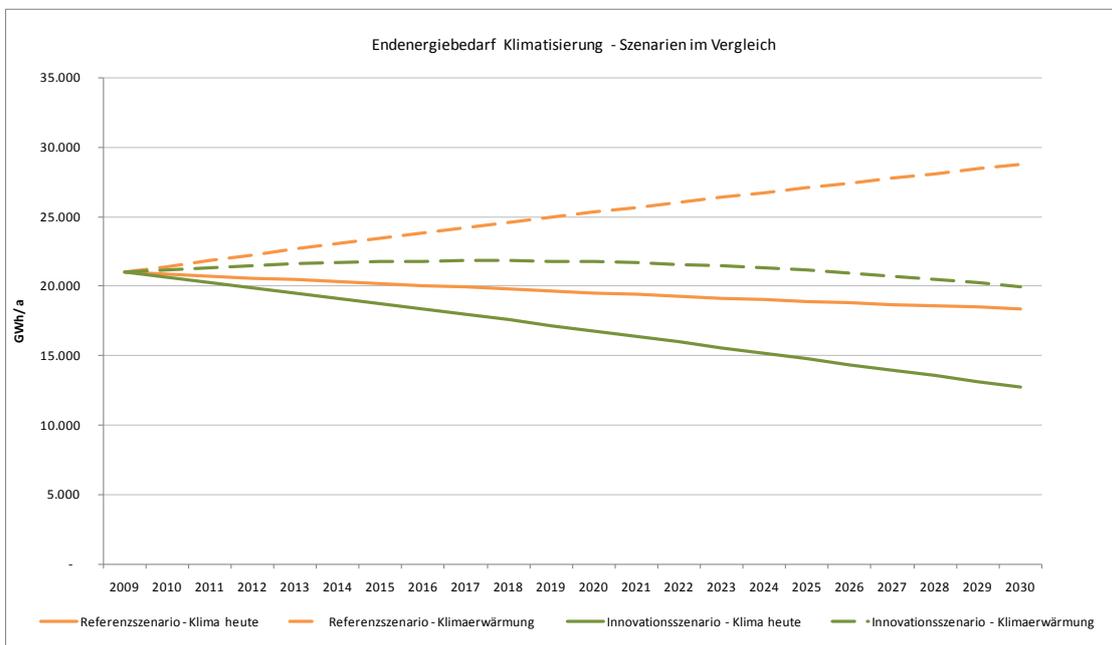
Technisches Potential für das Referenz- und Innovationsszenario.

Zur Bestimmung des realistischen Potentials liegen beiden Szenarien gleiche Umsetzungsraten in Bezug auf Austausch von Kühlgeräten, Zubau und Rückbau zu Grunde. Soweit möglich ist auf die Simulationen zurückgegriffen, ergänzt durch Literaturwerte in Bezug auf Kühlendenergiebedarfe pro Nutzung. In der Potentialberechnung ist dies derart berücksichtigt, dass die Flächen in Deutschland zu 2/3 dem Hamburger Klima und zu 1/3 dem Frankfurter Klima zugerechnet werden. Dies ergibt sich aus der Einteilung Deutschlands in Klimaregionen nach DIN 4108-2. Weiterhin wurde für beide Szenarien (Referenz- und Innovationsszenario) jeweils eine Variante mit und ohne Klimaeinfluss berechnet. Ohne Klimaeinfluss bedeutet, dass

steigende Endenergiebedarfe in Zukunft lediglich durch die Umsetzungsraten bestimmt werden können. In der Variante mit Klimaeinfluss sind die Simulationsergebnisse für das Referenzjahr mit heutigem Klima (heutiges Klima) und das Referenzjahr mit Extremsommer (Extremklima) derart kombiniert, dass in 2009 zu 100% das heutige Klima angenommen und bis 2030 mit einem linearen Übergang bis hin zum 100%-igen Extremklima gerechnet wird. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass das Extremklima das theoretische Maximum darstellt und nicht als realistisch eingeschätzt wird.

Da heute schon sehr viel effizientere Anlagen zur Kühlung auf dem Markt sind als in vielen Bestandsgebäuden (vor allem Nichtwohngebäude), nehmen die Energiebedarfe für das Referenzszenario trotz starker Zubauraten absolut etwas ab (orange Linie in folgender Grafik).

Wird der steigende Klimaeinfluss berücksichtigt, so ergeben sich hier jedoch auch Steigerungen bei den Energiebedarfen. Werden jedoch entsprechende Vermeidungsmaßnahmen getroffen sowie regenerative Techniken eingesetzt, können sich nochmals deutlich sinkende Energiebedarfe draus ergeben (grüne Linie). Selbst bei einer vollständigen Berücksichtigung der zukünftigen Klimaerwärmung (100% Extremklima in 2030!) würden damit die Energiebedarfe in 2030 auf etwa gleichem Niveau liegen wie 2009.



Szenarien zur Entwicklung des Endenergiebedarfs für Kühlung bis 2030.

Im Falle der maximal angenommenen Klimaerwärmung würde der Endenergiebedarf für Kühlung im Referenzszenario bei 28.800 GWh/a und im Innovationsszenario bei 19.900 GWh/a liegen. Somit wäre durch den Einsatz von alternativen Techniken

gegenüber dem Referenzszenario eine Einsparung von ~ 9.000 GWh/a bzw. von 32% möglich.

### *Einflussmöglichkeiten*

Der Energiebedarf für die Gebäudekühlung in Europa und Deutschland wird zukünftig vor allem aufgrund zunehmender Durchdringungsraten weiter ansteigen. Diese Tatsache trägt nicht zu den übergeordneten politischen Zielen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen bei, die sich Deutschland im Rahmen des Integrierten Klima- und Energieprogramms gesetzt hat. Ziel ist es, die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis 2020 um 40 % im Vergleich zu 1990 zu reduzieren. Im Fokus der Bearbeitung stehen dabei vor allem die folgenden Fragen:

Welche rechtlichen, technischen und organisatorischen Hemmnisse bestehen um die gestiegenen Anforderungen an den Markt für Gebäudekühlung zu erfüllen?

Welche juristischen Handlungsempfehlungen ergeben sich daraus?

Mit Hinblick auf die im Bereich der Gebäudekühlung vorherrschenden rechtlichen Instrumente der Energieeinsparverordnung (EnEV) und dem Erneuerbare-Energien-Wärme Gesetz (EE-WärmeG) fällt auf, dass es bereits Ansatzpunkte gibt, die das Thema Gebäudekühlung aufgreifen. So schließt die EnEV für Nicht-Wohngebäude die Gebäudekühlung in die Berechnung der maximalen Primärenergiekennwerte mit ein. Gerade im Bereich der Wohngebäude und Bestandsbauten, die nicht umfassend renoviert werden, ist bisher jedoch kein kühlungsspezifischer Ansatz vorhanden. Hier besteht Nachbesserungsbedarf beispielsweise in Form von Anforderungen an den Energieausweis für Wohngebäude oder in Anpassung der den Berechnungsmethoden der EnEV zugrunde liegenden DIN-Normen durch alternative Kühltechniken.

Auch im EE-WärmeG zeigt sich, dass der Bereich der Gebäudekühlung bisher nicht genügend adressiert wird. Hier ist beispielsweise an Maßnahmen wie die Einführung einer Mindestquote zur Deckung von Kühllasten aus erneuerbaren Energien oder Substitutionsmöglichkeiten oberhalb bestehender Mindeststandards durch Betonkernaktivierung oder intelligente Fassadensysteme zu denken.

Ebenso wie Handlungsempfehlungen, die weitere juristische und ökonomische Instrumente betreffen, ist jedoch festzuhalten, dass zusätzlich zur spezifischen Adressierung des Bedarfs der Gebäudekühlung ein Zusammenwirken mit entsprechenden finanziellen Förderprogrammen notwendig sein wird, um den Energiebedarf für die Gebäudekühlung zukünftig nachhaltig zu beeinflussen.

# Executive Summary

## Task and approach

The aim of this study is to investigate and evaluate suitable measures for the reduction or abatement of final energy needs for cooling in buildings in an economical and ecological way.

Basis is the evaluation of current energy needs for cooling in buildings for Germany in *chapter 2*. It becomes evident, which amount of energy is needed to condition residential and non-residential buildings. If from studies available, the future development is shown as well.

*Chapter 3* comprises a comprehensive overview on conventional technologies for cooling of buildings. After that, final energy needs are dynamically simulated for a selection of reference buildings (residential and non-residential), based on different climate scenarios (Frankfurt and Hamburg, standard and extreme climate conditions). Results of the simulations are cooling energy demand and final energy demand, which are input data for a comprehensive economical and environmental analysis.

Alternative technologies for abating or reducing the energy are described in *chapter 4*. Abatement options (i.e. shading systems) are subject as well as active renewable systems (i.e. adiabatic cooling). Alternative variants are calculated for the conventional technologies from chapter 3, which are analyzed in the same way. Subsequently to this, the technical and realistic final energy reduction potential of the alternative technologies for Germany up to 2030 is quantified in paragraph 3 of chapter 4. This is done following the approach of projecting the energy demands for cooling along the building inventory for residential and non-residential buildings in Germany, taking the simulations from chapter 3 and 4 as well as relevant studies into account.

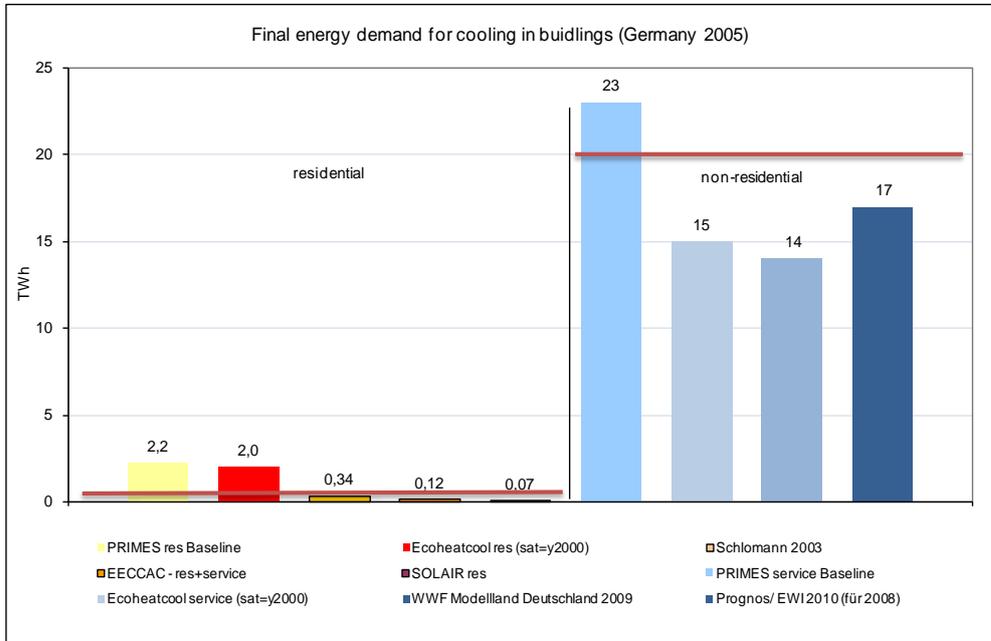
Afterwards the influence of cooling in buildings on energy demand is annotated. Barriers in the reduction of energy demand are described and possible actions are discussed along with the types of policy instruments and consumer information.

## Essential results

### *Energy demand of cooling in buildings*

The information on energy demands for cooling in residential buildings from existing studies are fluctuating a lot compared with the non-residential sector. The final energy demand for 2005 in the non-residential sector is based on evaluated studies with 15-20 TWh/a approximately 100 times higher than for residential buildings. A considerable increase in cooling-related CO<sub>2</sub>-emissions is been projected for the future. Based on

results from [Riviere, P.; Adnot, J. et al. 2008], final energy demands for the residential sector will double in the next 20 year, whereas the non-residential share will increase by 25%.



Final energy demand for cooling in buildings in Germany 2005

### *Simulation of technologies and reference buildings*

In order to quantify energy demands for cooling technologies in existing buildings, dynamic thermal simulations have been carried out based on representative reference buildings. Aim of the analysis was to gain in depth knowledge in the cooling demand related to building-specific technologies. Therefore 10 reference buildings have been designed (4 residential and 6 non-residential). Split, mono-block appliances and under floor-cooling systems based on geothermal power are investigated for residential buildings. Single and multi-family houses are taken into account as well as existing and newly built houses. The focus in non-residential houses is office and administrative buildings (existing and newly built houses). Furthermore different facade glazing-rates and sun-protection qualities are taken into account. The scope of cooling technologies goes from (inefficient) full-range air conditioning units via chilled-ceiling-systems up to modern concrete-core-cooling systems. Options with no cooling systems serve as a reference. Beside the energy demand issues, the thermal comfort is quantified.

In the following some essential results are presented:

The cooling energy demand is extremely dependent on the climate data. A factor of 6 is between the demand of the moderate climate (Hamburg, without climate change

impact) and the extreme climate (DWD climate dataset TRY12 with integrated extreme summer), while the difference in overheating hours between those climates is factor 4.7 only.

As expected the fully air conditioned existing office buildings with a high glazing share on the facade have the highest cooling energy demand, which is between 36 kWh/(m<sup>2</sup>a) and 98 kWh/(m<sup>2</sup>a). This is 10-20 times higher as the demand for modern concrete-core cooled office buildings.

The next work package contains simulations of the alternative technologies towards a reduction of final energy demands. These technologies are divided in three groups:

Technologies for reducing/ abating of cooling demand (i.e. sunlight-protection)

Regenerative technologies (i.e. adiabatic cooling systems)

High efficient conventional technologies (i.e. retrofit of cooling systems)

Simulations of alternative technologies have been implemented in some of the reference buildings.

The following table gives an exemplary overview on the simulation results for an office building (built 1980) with a relatively low glazing ratio with the reference and alternative cooling technology to avoid overheating.

Parameters	Region / Climate	5 - Office 1960 moderate glazing without cooling	5a - Office 1960 see 5 + autom. ext. sun-protection	5b - Office 1960 see 5a + Ondesk fan	5c - Office 1960 see 5a + max. night-cooling	5d - Office 1960 see 5a + with mech. ventilation and adiabatic cooling
Conditioned floor area		2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>
Cooling energy demand	HH	0 kWh/a				
	HHX	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	16809 kWh/a
	FFM	0 kWh/a				
	FFMX	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	32444 kWh/a
Specific cooling energy demand	HH	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)				
	HHX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	7 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)				
	FFMX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	13 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Final cooling energy demand	HH	0 kWh/a				
	HHX	0 kWh/a	0 kWh/a	862 kWh/a	3179 kWh/a	1588 kWh/a
	FFM	0 kWh/a	0 kWh/a			
	FFMX	0 kWh/a	0 kWh/a	1998 kWh/a	6080 kWh/a	3320 kWh/a
Specific final cooling energy demand	HH	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
	HHX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
	FFMX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Maximum temperature	HH	35,9 °C				
	HHX	36,4 °C	30,7 °C	28,9 °C	27,9 °C	27,8 °C
	FFM	34,2 °C				
	FFMX	37,9 °C	33,3 °C	31,5 °C	30,1 °C	29,4 °C
Overheating hour per year (>26°C)	HH	626 h/a				
	HHX	868 h/a	311 h/a	70 h/a	77 h/a	29 h/a
	FFM	912 h/a				
	FFMX	1279 h/a	753 h/a	403 h/a	282 h/a	259 h/a
Power of cooling appliance	HH	0 kW				
	HHX	0 kW	0 kW	0 kW	0 kW	24 kW
	FFM	0 kW				
	FFMX	0 kW	0 kW	0 kW	0 kW	26 kW

Comparison of results from variants 5, 5a, 5b, 5c and 5d

Most of the alternative measures analyzed are effective, but not sufficient – especially at extreme climate - to ensure a comfortable indoor climate. In these cases further measures need to be taken, i.e. groundwater-cooling with concrete-core activating.

Apart from the before mentioned measures there can in some cases simple actions to be taken (i.e. increase the set value of the supplied air), which end up with energy saving potential in the same order of magnitude as renovation of the air-conditioning system.

### *Economical and Environmental Analysis*

The economical and environmental Analysis of conventional and alternative systems gives the following results:

#### Residential buildings (Variants 1 to 4)

The under floor-cooling system is for the *single-family* buildings (Var.1-2) cheaper than the automatisisation of the sun-protection elements (condition: geothermal installation already in place!). The most expensive alternative (apart from Hamburg in moderate climate) is the split-unit. The reason is the upfront-investment, which is comparable to the automatisisation of the sun-protection, and the energy costs. Apart from that the split unit has the highest specific emissions. Using a high-efficient split-unit (Var.1a) is less expensive regarding overall costs and therefore emitting less greenhouse gasses. Overall, the emissions in Hamburg at moderate climate (HH) are the lowest, whereas they are the highest in Frankfurt at extreme climate (FFMx).

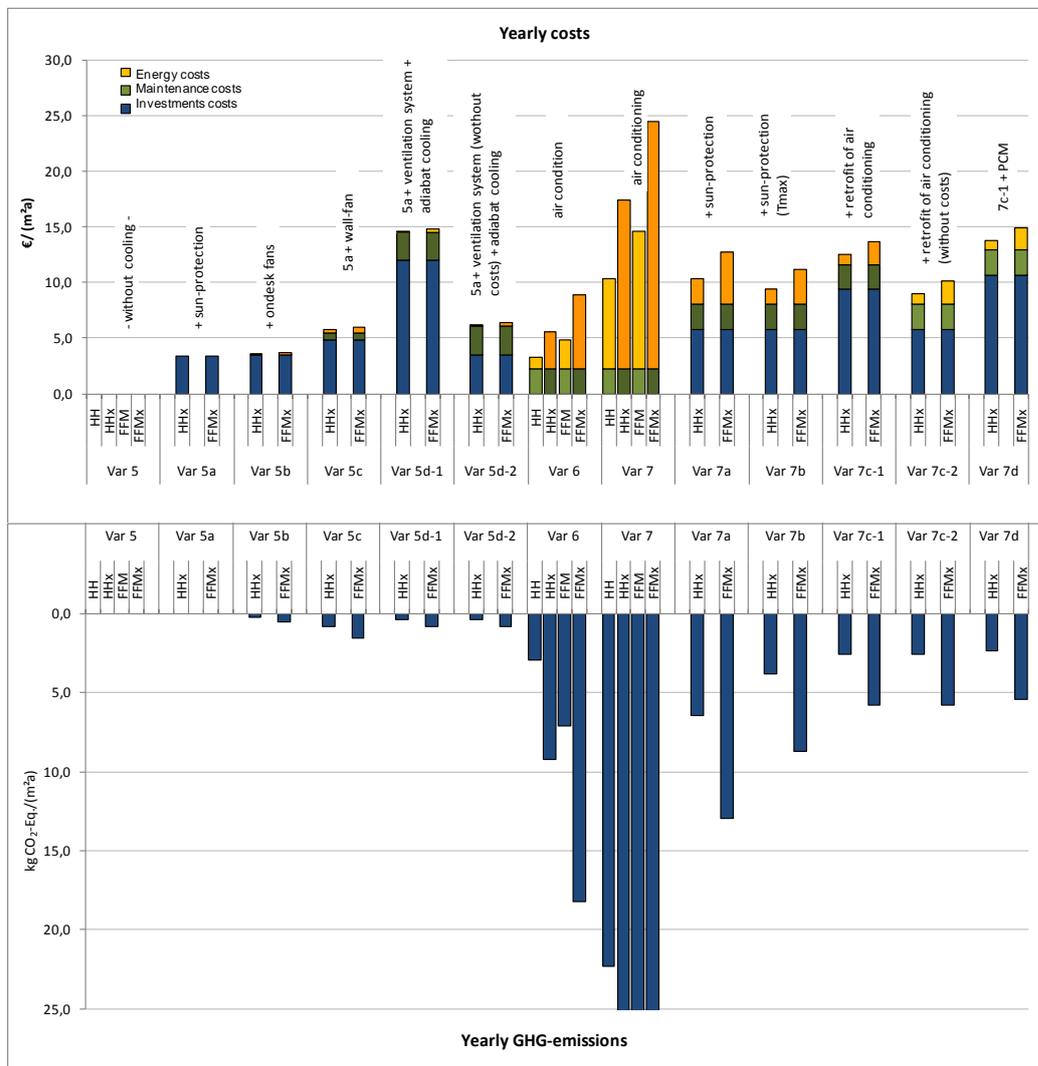
In the *multi-family buildings* (Var.3-4), the monoblock-appliances is most economic, even though it emits high emissions and the energy costs have a large share (between 30% and 70% of total costs). The specific costs of the sun-protection elements are 2-3 times higher than for the monoblock-appliance.

#### Office-Buildings (Variants 5-11)

It becomes obvious, that then existing office buildings (built between 1970 and 1982) (Var.6-8) have an extreme high energy demand for cooling. Especially the fully glazed office building with air-conditioning (Var.7) is prominent with up to 55 kWh/(m<sup>2</sup>a) energy demand in contrast to 3 kWh/(m<sup>2</sup>a) for Variant 10. Using chilled ceiling systems brings the final energy demand down by a factor of 2, i.e. at Var.8 (fully glazed office buildings) at Frankfurt moderate climate (from 55 kWh/(m<sup>2</sup>a) to 26 kWh/(m<sup>2</sup>a)). The saving potential is much higher when a lower facade glazing share is taken into account. Existing office-buildings with high cooling-loads (Var.6-9) cause depending on their location high or very high emissions. Here becomes obvious again, that the

emissions at Hamburg's moderate climate (HH) are the lowest, whereas the highest for extreme climate in Frankfurt (FFMx). A factor of 10 between technologies at one location is possible!

Looking at existing buildings (Var.5-7, see following graph) shows, that the costs of a ventilation systems at Var.5 (1960's office building without cooling) are approximately 3 times higher than for an external sun-protection (Var.5d-1, maximum costs). Because the ventilations systems has a positive effect on heating and heat recovery as well, the Variant 5d-2 assigns the investment costs fully to the heating function (minimum costs). The real costs for Variant 5d are in between these values.



Specific yearly costs and GHG-emissions of conventional and alternative technologies in office buildings (Var.5-7).

Furthermore investments in sun-protection elements for fully glazed office buildings (Var.7) can lower the energy demand for the air conditioning systems to approximately 25% and therefore bring down overall costs by 50%, instead of having investments for sun-protection elements. In this case energy costs are dropping by a factor 5-6 and therefore emissions. Retrofitting the air-conditioning system reduces the energy demand by 50% again. Beside the variant 7c-1 (maximum costs) with the full costs of retrofitting, the variant 7c-2 assigns the costs of retrofitting again to the heating- and heat recovery-function (minimum costs). Using PCM materials lowers the energy costs marginally only. This is due to relatively high thermal masses, which already exist.

The further analysis shows, that geothermal cooling at variant 9 (new office building, fully glazed, concrete core activation) is profitable in case of an already existing heat-pump system. The saved energy costs are in all cases higher than the investments needed for the heat-exchanger. This is the same for Var.11 (new passive house office with geothermal cooling). Furthermore the capacity of the geothermal system can be smaller in case of heating and cooling compared to heating only, because less soil needs to be activated.

#### Schools

The upgrade with decentralized ventilation systems in schools ends up for approximately doubled yearly overall costs as equipping a new passive-house school building with a soil-air heat-exchanger. Regarding emissions, the decentralized ventilation system is slightly higher than the soil-air heat exchanger.

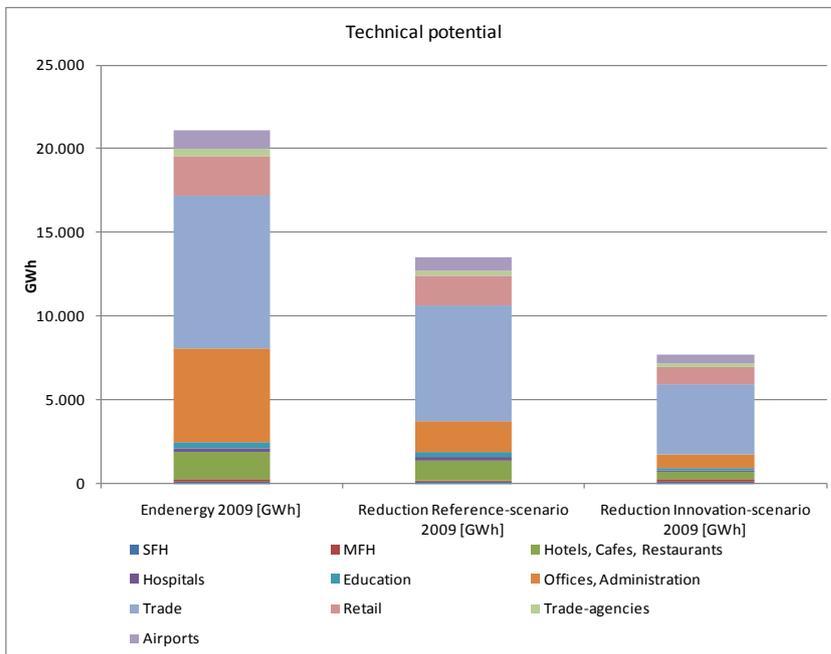
From these findings derives the message, that automatic sun-protection at non-residential buildings with a high facade glazing-share is always profitable at the given constraints (climate, discount rate, investment costs, building performance). Energy cost savings are higher than the upfront investments. Furthermore the activation of already existing geothermal systems and their usage for geothermal cooling appliances is always profitable. For new buildings (Var.11), the solar cooling is still relatively expensive. Geothermal cooling or adiabate cooling appliances are significantly more economic. These variants differ only minor with regards to GHG-emissions.

A detailed overview on the calculations is presented in appendix A.

### Technical and realistic reduction potential

The calculations for the technical and realistic potential follow a bottom-up approach, based on the following parameters: Cooling energy demand per building-type, replacement rates of passive cooling systems, efficiency increases regarding new active systems, market penetration of systems as well as new-building and demolition rates. The reference scenario comprises both the future replacement of cooling-appliances and demolition/ additional devices, but not the technical development (and hence increasing efficiencies etc.) in the future (Frozen Technology). All future appliances will be equipped with the 2009 technique. Only for the Innovation-scenario technical progress is taken into account. Therefore, the specific final energy demands in the Innovation-scenario are lower as in the Reference-scenario.

The technical potential shows theoretically, how much energy could be saved by a direct and complete implementation of all measures. If the technologies in stock would be replaced ad hoc with the ones in the Reference i.e. Innovation scenario, the following final energy reduction potentials apply. The technical potential to lower the energy demand for cooling in buildings (compared to 21.000 GWh/a currently) accounts 36% for the Reference- and 64% for the Innovation-scenario. The following graph illustrates, that the highest potential can be exploited in existing office buildings.



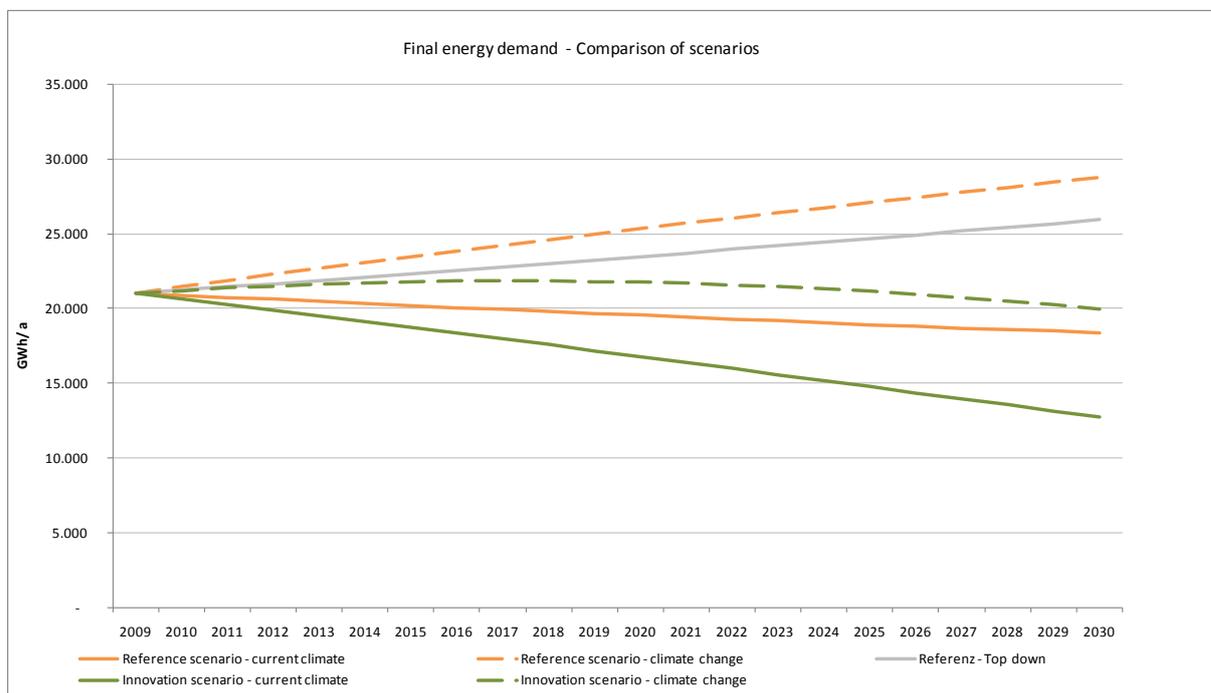
Technical potential for the Reference- and Innovation-scenario.

To quantify the realistic potential, both scenarios are based on the same replacement rates concerning exchange of systems, new built systems and demolition of systems.

Approximately 1/3 of the cooled floor areas are assigned to the climate in Frankfurt, 2/3 are represented by the climate in Hamburg. This is based on the German climates zones according to DIN 4108-2. Furthermore two scenarios are calculated for the Reference- and the Innovation-scenario: The first one without future climate change, the second one with steadily increasing climate change impact, ranging from 0% impact of extreme climate in 2009 to 100% impact of extreme climate in 2030 (linear increase). The extreme climate is a theoretic maximum und not realistic, it gives just the upper limit.

The final energy demands are decreasing in the Reference-scenario already, because the savings from replacing old systems in stock by very efficient new ones over compensate the additional demand created by new systems (see orange line in the following graph).

Taking into account an increasing climate impact, the final energy demand is increasing again. The effect of increasing passive abatement and reduction measures and renewable systems is a significant decreasing energy demand (green line). Even at 100% climate change impact (100% extreme climate!), the final energy demand in 2030 will be the same order of magnitude as in 2009.



Scenarios for the development of final energy demands up to 2030.

In case of maximum climate change impacts, the final energy demand in 2030 for cooling in buildings would end up at 28.800 GWh/a in the Reference scenario and at 19.900 GWh/a in the Innovation scenario. The impact of using alternative technologies would result in final energy demand saving of about ~9.000 GWh/a or 32%.

### *Influencing the energy demand*

The energy demand for cooling in buildings for Europe and Germany will significantly increase in the future, mainly due to increasing saturations. Out of this fact results a conflict with the overall target of reducing greenhouse-gas emissions, as Germany set its goals in the Integrated Climate- and Energy Program (IEKP) to reduce GHG-emissions by 40% until 2020, compared to 1990 level. Therefore the following questions arise:

- Which legal, technical and organizational barriers exist to fulfil the increasing requirements for cooling in buildings?
- Which legal guidance follows from it?

In light of the legal instruments in the area of cooling in buildings as the Energy Saving Ordinance (EnEV) or the Renewable Energy Heat law (EEWärmeG) it occurs, that some starting points are already. The maximum primary energy demands given by the EnEV for non-residential buildings for example already include the final cooling energy demand. Especially in the field of non-refurbished existing residential buildings, which are not undergoing full refurbishments, there is no cooling-demand related approach. This is where action is needed in order to establish requirements towards the energy certification of residential buildings or to modify the calculation rules and to include cooling demands.

The Renewable Energy Heat law (EEWärmeG) does neither address cooling properly. Measures like introducing a minimum renewable share for cooling demand or substitution possibilities above existing minimum standards by concrete-core activation or intelligent facade systems.

Apart from addressing the specific cooling demand it is very important, that this must go together with appropriate financial support (i.e. subsidies or soft loans) in order to bring down future emissions from cooling in buildings.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>III</b>
<b>Executive Summary.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>XXII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Energieverbrauch der Gebäudekühlung .....</b>	<b>3</b>
2.1 Anzahl und Leistung von Klimatisierungsgeräten.....	3
2.2 End- und Primärenergiebedarf von Klimatisierungsgeräten .....	5
2.2.1 Durch Klimatisierungsgeräte verursachte Kohlendioxid-Emissionen.....	9
2.2.2 Emissionen aus Kältemittel-Leckagen .....	10
2.3 Einordnung und Bewertung der Studien .....	11
<b>3 Techniken der konventionellen Kühlung.....</b>	<b>13</b>
3.1 Stand der Gebäudekühlung – Qualitative Übersicht.....	13
3.1.1 Art und Effizienz der eingesetzten Klimasysteme .....	13
3.1.2 Thermische Behaglichkeit .....	18
3.1.3 Rechtliche Aspekte zum Thema Raumklimaanforderungen .....	22
3.1.4 Umgebungsklima.....	23
3.2 Detaillierte Gesamtwirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse .....	28
3.2.1 Simulationen Referenzgebäude .....	28
3.2.2 Varianten Klimaeinfluss .....	45
3.2.3 Ergebnisse der Simulationen.....	47
3.2.4 Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse.....	54
<b>4 Techniken zur Minderung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung.....</b>	<b>57</b>
4.1 Qualitative Beschreibung alternativer Kühltechniken .....	57
4.1.1 Techniken zur Reduktion /Vermeidung des Kühlenergiebedarfs.....	57
4.1.2 Regenerative Techniken zur Deckung des Kühlenergiebedarfs.....	61
4.1.3 Besonders energieeffiziente Techniken zur Deckung des Kühlenergiebedarfs.....	62
4.2 Wirkung von Minderungsmaßnahmen .....	63
4.2.1 Varianten der Simulationsberechnungen der Minderungsmaßnahmen.....	63

4.2.2	Ergebnisse der Variante 1a: Reihenendhaus/Doppelhaushälfte, Altbau mit effizientem Splitgerät im Hauptraum.....	72
4.2.3	Ergebnisse der Variante 2a: Reihenendhaus/Doppelhaushälfte, Neubau EnEV73	
4.2.4	Ergebnisse der Verbesserungsvarianten 4a, 4b und 4c: Mehrfamilienhaus-Neubaus ohne Kühlung, Fokus Schlafzimmer in Dachgeschosswohnungen ..	74
4.2.5	Ergebnisse der Verbesserungsvarianten 5a bis 5c: Bürogebäude mit Lochfassade, Altbau (1960) teilsaniert ohne zentrale Kühlung .....	75
4.2.6	Ergebnisse der Verbesserungsvarianten 7, 7a bis 7d: Bürogebäude mit Glasfassade, Altbau (1978) teilsaniert mit Vollklimaanlage.....	77
4.2.7	Ergebnisse der Verbesserungsvarianten 9 und 9a: Bürogebäude mit Glasfassade, Neubau (2005) mit Betonkernkühlung (BKT) .....	78
4.2.8	Ergebnisse der Verbesserungsvarianten 10 und 10a: Bürogebäude mit Lochfassade, Neubau (2005) mit Betonkernkühlung (BKT) .....	79
4.2.9	Ergebnisse der Referenzgebäude Passivhausbüro .....	80
4.2.10	Ergebnisse der Referenzgebäude Schule .....	81
4.2.11	Zusammenfassende Ergebnisbewertung der untersuchten Varianten .....	82
4.2.12	Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse.....	84
4.3	Technisches und Realistisches Potential .....	93
4.3.1	Relaistisches Potential .....	96
4.3.2	Technisches Potential .....	99
<b>5</b>	<b>Einflussmöglichkeiten auf den Energiebedarf für Gebäudekühlung .....</b>	<b>101</b>
5.1	Hemmnisse und weitere Handlungsempfehlungen .....	101
5.1.1	Rechtliche Hemmnisse und weitere Handlungsempfehlungen .....	101
5.1.2	Organisatorische Hemmnisse.....	112
5.1.3	Technische Hemmnisse .....	113
5.1.4	Ergänzende neue Instrumente .....	114
5.2	Verbraucherinformation .....	118
5.2.1	Wie kommt die Wärme in das Haus?.....	119
5.2.2	Welche baulichen Maßnahmen können getroffen werden? .....	119
	<b>Literatur und Quellen.....</b>	<b>122</b>
	<b>Anhang A: Tabellen zur Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse .....</b>	<b>126</b>
	<b>Anhang B: Potentialberechnungen .....</b>	<b>130</b>
	<b>Anhang C: Hinweise zur rechtlichen Ausgestaltung der Handlungsempfehlungen</b>	

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Bestand und Prognose von Klimatisierungsgeräten in Deutschland.  
Quelle: ECODESIGN Lot 10, Draft report of Task 2, July 2008. .... 3

Abbildung 2: Bestand und Prognose von Klimatisierungsgeräten in Deutschland (in kW Leistung). Quelle: ECODESIGN Lot, Draft report of Task 2, July 2008. .... 4

Abbildung 3: Klimatisierte Flächen in Deutschland. Quelle: EECCAC. .... 5

Abbildung 4: Endenergiebedarf der Gebäudeklimatisierung in Deutschland 2005.  
Quellen: Eigene Darstellung aus Primes, BMWI, EECCAC, Ecoheatcool, SOLAIR. .... 6

Abbildung 5: Verlauf des Endenergiebedarfs der Gebäudeklimatisierung in Deutschland. Quellen: Eigene Darstellung aus Primes. .... 7

Abbildung 6: Primärenergiebedarf der Gebäudeklimatisierung in Deutschland 2005.  
Quellen: Eigene Darstellung aus Primes, BMWI, EECCAC, Ecoheatcool. .... 8

Abbildung 7: Verlauf des Primärenergiebedarfs der Gebäudeklimatisierung in Deutschland. Quellen: Eigene Darstellung aus Primes. .... 8

Abbildung 8: Treibhausgas-Emissionen der Gebäudeklimatisierung in Deutschland 2005. Quellen: Eigene Darstellung aus Primes, BMWI, EECCAC, Ecoheatcool. .... 9

Abbildung 9: Verlauf der Emissionen zur Gebäudeklimatisierung in Deutschland.  
Quellen: Eigene Darstellung aus Primes. .... 10

Abbildung 10: Übersicht Kompressions-Kältmaschinentypen. .... 18

Abbildung 11: Auslegungswerte für die operative Innentemperatur von Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlage, dargestellt als Funktion des exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur gem. DIN EN 15251. .... 22

Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf der Änderung des Sommermittels der 2m-Temperatur [°C] (Gebietsmittel Deutschland, gleitendes 10-Jahresmittel) in Bezug auf die KNP (1961-1990) für den Kontrolllauf (schwarz, sowie die Szenarien A1B (grün), B1 (blau) und A2 (orange), berechnet mit dem REMO Simulationsmodell. .... 24

Abbildung 13: Zunahme der Hitzetage im Bereich der städtischen Wärmeinsel der Stadt Kassel (Quelle: Katzschner et. al.: Das städtische Mikroklima: Analyse für die Stadt- und Gebäudeplanung, Bauphysik 31 (2009), Heft 1 ..... 25

Abbildung 14: Mittlere Anzahl der Tage mit einer Höchsttemperatur größer 25°C der vergangenen Jahre 1971-2000 in Frankfurt am Main. Der Antrieb für das

## Abbildungsverzeichnis

Stadtklimamodell MUKLIMO_3 stammt aus der REMO Projektion (MPI-Mi.A. des Umweltbundesamtes, 2006;Quelle der Abbildung: Deutscher Wetterdienst, 2009).....	25
Abbildung 15: Änderungssignal der Anzahl der Tage mit einer Höchsttemperatur größer 25°C als Differenz der mittleren Anzahl der Periode 2021-2050 zu 1971-2000 in Frankfurt am Main. Der Antrieb für das Stadtklimamodell MUKLIMO_3 stammt aus der REMO Projektion (MPI-Mi.A. des Umweltbundesamtes, 2006) Die Klimaprojektion in die Zukunft entspricht dem Szenario A1B (IPCC, 2007;Quelle der Abbildung: Deutscher Wetterdienst, 2009). .....	26
Abbildung 16: Klimaregionen in der BRD gemäß DIN 4108-2. ....	27
Abbildung 17: Weitere Spezifikationen der Wohngebäudevarianten .....	33
Abbildung 18: Südwestansicht Modell Doppelhaushälfte. ....	34
Abbildung 19: Modell Doppelhaushälfte: Zonierung Erdgeschoss in Eingangs und Erschließungsbereich und Wohn- Ess- und Küchenbereich.....	34
Abbildung 20: Modell Doppelhaushälfte: Zonierung Obergeschoss. ....	35
Abbildung 21: Südostansicht Modell Mehrfamilienhaus. ....	35
Abbildung 22: Modell Mehrfamilienhaus: Zonierung Dachgeschoss.....	36
Abbildung 23: Weitere Grundlagen der untersuchten Referenz-Büro- und Verwaltungsgebäudevarianten 5 bis 7. ....	42
Abbildung 24:Weitere Grundlagen der untersuchten Referenz-Büro- und Verwaltungsgebäudevarianten 8 bis 10 .....	43
Abbildung 25: Südostansicht Modell Bürogebäude. ....	44
Abbildung 26: Modell Mehrfamilienhaus: Zonierung Regelgeschoss.....	44
Abbildung 27: Überschreitungshäufigkeiten von Außentemperaturgrenzen ausgewählter Klimadatensätze .....	45
Abbildung 28: Energieflüsse eines über ein Splitklimagerät gekühlten Wohnraumes (Variante 1) während einer Sommerwoche .....	47
Abbildung 29: Summen-Diagramm der Energieflüsse eines über ein Splitklimagerät gekühlten Wohnraumes (Variante 1) während einer Sommerwoche.....	48
Abbildung 30: Energieflüsse einer Büroetage eines vollklimatisierten 70er Jahre Altbau mit Lochfassade(Variante 6) während einer Sommerwoche .....	50

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 31: Summen-Diagramm der Energieflüsse einer Büroetage eines vollklimatisierten 70er Jahre Altbau mit Lochfassade(Variante 6) während einer Sommerwoche .....	50
Abbildung 32: Spezifische Jahresgesamtkosten der Kühltssysteme und jährliche spezifische THG- Emissionen der Kühltssysteme (Wohn- und Nichtwohngebäude).....	55
Abbildung 33: Übersicht der wesentlichen Grundlagen der Varianten 11 bis 13.....	70
Abbildung 34: Modell Schule (Varianten 12 und 13), Nordwestansicht .....	71
Abbildung 35: Modell Schule (Varianten 12 und 13), Zonierung des 1. Obergeschosses.	71
Abbildung 36: Spezifische Jahresgesamtkosten und THG-Emissionen der konventionellen und alternativen Kühltssysteme in Wohngebäuden. ....	88
Abbildung 37: Spezifische Jahresgesamtkosten und THG-Emissionen der konventionellen und alternativen Kühltssysteme in Bürogebäuden (Varianten 5 bis 7).....	90
Abbildung 38: Spezifische Jahresgesamtkosten und THG-Emissionen der konventionellen und alternativen Kühltssysteme in Bürogebäuden (Varianten 8 bis 13). ....	92
Abbildung 39: Gebäudenutzflächenverteilung in Deutschland nach Sektoren.....	94
Abbildung 40: Spezifische und gesamte Endenergiebedarfe zur Kühlung nach Sektoren. ....	95
Abbildung 41: Spezifische Energiebedarfe zur Kühlung im Referenz- und Innovationsszenario.....	96
Abbildung 42: Szenarien zur Entwicklung des Endenergiebedarfs für Gebäudekühlung bis 2030. ....	98
Abbildung 43: Technisches Potential für das Referenz- und Innovationsszenario.....	100

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Entwicklung der HFKW-Emissionen [Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente] 1995-2007, nach [Schwarz 2009]. ..... 10

Tabelle 2: EER-Standardwerte gemäß DIN V 18599-7 unterschiedliche luftgekühlte Raumklimasystemtypen (< 12 kW) ..... 14

Tabelle 3: Umgebungsklima-Kategorien der EN ISO 7730 ..... 19

Tabelle 4: Grenzwerte operative Temperaturen für klimatisierte Gebäude (gem. EN ISO 7730) ..... 20

Tabelle 5: Abkühlungseffekte bei erhöhter Luftgeschwindigkeit ..... 20

Tabelle 6: Grenzwerte für maximale Innentemperaturen..... 21

Tabelle 7: Spezifikationen der Kühlsysteme der Wohngebäudevarianten ..... 30

Tabelle 8: Spezifikationen der Kühlsysteme der Bürogebäudevarianten 5 bis 7..... 38

Tabelle 9: Spezifikationen der Kühlsysteme der Bürogebäudevarianten 8 bis 10..... 40

Tabelle 10: Übersicht der Ergebnisse der Wohngebäudevarianten für die Referenzklimastandorte Frankfurt am Main (FFM) und Hamburg (HH) ..... 49

Tabelle 11: Übersicht der Ergebnisse der Bürogebäudevarianten für die Referenzklimastandorte Frankfurt am Main (FFM) und Hamburg (HH) ..... 51

Tabelle 12: Übersicht der Ergebnisse der Wohngebäudevarianten für die durchschnittlichen und extremen Klimadatensätze ..... 52

Tabelle 13: Übersicht der Ergebnisse der Bürogebäudevarianten für die durchschnittlichen und extremen Klimadatensätze ..... 53

Tabelle 14: Übersicht der Varianten zu Techniken zur Minderung des Kühlbedarfs..... 64

Tabelle 15: Vergleich der Ergebnisse der Varianten 1 und 1a..... 72

Tabelle 16: Vergleich der Ergebnisse der Varianten 2 und 2a..... 73

Tabelle 17: Vergleich der Ergebnisse der Varianten 4, 4a, 4b und 4c..... 74

Tabelle 18: Vergleich der Ergebnisse der Varianten 5, 5a, 5b und 5c..... 76

Tabelle 19: Vergleich der Ergebnisse der Varianten 7, 7a, 7b, 7c und 7d ..... 77

Tabelle 20: Vergleich der Ergebnisse der Varianten 9 und 9a..... 78

Tabelle 21: Vergleich der Ergebnisse der Varianten 10 und 10a..... 79

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 22: Übersicht der Ergebnisse der Varianten 11, 11a und 11b.....	81
Tabelle 23: Übersicht der Ergebnisse der Varianten 12 und 13 .....	82
Tabelle 24: Investitionskosten der alternativen Techniken. ....	87
Tabelle 25: Anteile klimatisierter Flächen nach Sektoren. ....	94
Tabelle 26: Annahmen zu Umsetzungsraten (Realistisches Potential).....	97
Tabelle 27: Übersicht zur Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse konventioneller und alternativer Systeme. ....	129
Tabelle 28: Flächenverteilung Wohn- und Nichtwohngebäude als Grundlage der Potentialberechnung. ....	130

## 1 Einleitung

Um die ehrgeizigen Ziele für die Reduktion von Treibhausgasen zu erreichen, nimmt der Gebäudesektor, aufgrund der großen Einsparpotentiale, eine Schlüsselposition ein. Während die Einsparung von Heizenergie längst als wichtiges Thema allgemein akzeptiert ist und sich entsprechend in politischen Beschlüssen, rechtlichen Vorgaben und in der Baupraxis niederschlägt, zeigt sich im Bereich der Kühlenergie ein anderes Bild.

Obwohl Deutschland mit Jahresmitteltemperaturen um 10 °C zur gemäßigten Klimazone zu zählen ist, ist eine zunehmende Nachfrage nach aktiven Systemen zur sommerlichen Gebäudekühlung zu beobachten. Dies betrifft nicht nur den Bereich der Bürogebäude und anderer Nutzbauten, sondern immer stärker auch Wohngebäude. Dies ist neben gestiegenen Komfortansprüchen auch auf den Klimawandel und die Städtische Hitzeinselbildung zurückzuführen.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, technische, ökonomische und ökologische Maßnahmen zu untersuchen und zu bewerten, die geeignet sind, um den Energiebedarf im Bereich Gebäudekühlung künftig zu begrenzen, zu reduzieren oder teilweise sogar ganz vermeiden zu können.

Als Ausgangsbasis wird zunächst der Status quo des Energiebedarfs zur Gebäudekühlung in Deutschland in Kapitel 2 dargestellt. Hieraus wird ersichtlich, welche Energiemengen zur Kühlung von Wohn- und Nichtwohngebäuden in Deutschland aktuell benötigt werden. Soweit in den zu Grunde liegenden Studien enthalten wird auch die prognostizierte zukünftige Entwicklung aufgezeigt. Es findet eine Bewertung der unterschiedlichen Studienergebnisse statt. Es werden Endenergie- und Primärenergiebedarfe sowie die hierdurch hervorgerufenen Treibhausgasemissionen in Form von Treibhausgasemissionen dargestellt.

In Kapitel 3 werden die Techniken der konventionellen Gebäudekühlung erläutert. Nach einer quantitativen Übersicht der betrachteten Systeme werden die Energiebedarfe für eine Auswahl von Referenzgebäuden (Wohn- und Nichtwohngebäuden) und Klimavarianten (Standorte Hamburg und Frankfurt jeweils für normales Klima und Extremsommer) dynamisch für ein Referenzjahr simuliert. Die Simulationen liefern den Kühlenergiebedarf und den Endenergiebedarf der Kühlsysteme, die anschließend in eine Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse eingehen.

Techniken zur Minderung bzw. Vermeidung des Energiebedarfs sind in Kapitel 4 beschrieben. Hier werden sowohl Vermeidungsmaßnahmen (z.B. Verschattungssysteme) untersucht, als auch aktive, regenerative Systeme (z.B. adiabate Kühlung). Zu den konventionellen Varianten aus Kapitel 4 werden Alternativen simuliert, für die nach gleichem Schema die Energiebedarfe berechnet

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

werden und die Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse durchgeführt wird. Im Anschluss daran wird in Abschnitt 3 des Kapitels 4 das realistische sowie technische Potential der betrachteten Vermeidungsmaßnahmen sowie der regenerativen Systeme für Deutschland für den Zeitraum bis 2030 berechnet. Dies erfolgt anhand einer Hochrechnung des Gebäudeinventars des deutschen Gebäudebestandes für Wohn- und Nichtwohngebäude, unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Referenzgebäudesimulationen, ergänzt durch weitere Studien. Außerdem wird der Einfluss der Vermeidungsmaßnahmen bei realistischer, ambitionierter und durch entsprechende Politikmaßnahmen unterstützter Umsetzung aufgezeigt.

Das Kapitel 5 stellt abschließend Einflussmöglichkeiten auf den Energiebedarf für die Gebäudekühlung dar. Es werden Hemmnisse identifiziert, Empfehlungen für Verbraucherinformationen vorgeschlagen sowie weiterer Handlungsbedarf aufgezeigt.

## 2 Energieverbrauch der Gebäudekühlung

Im vorliegenden Kapitel wird der Endenergie- und Primärenergiebedarf der Gebäudekühlung in Deutschland dargestellt sowie die dadurch verursachten Emissionen. Die Analyse stützt sich auf verfügbare Studien, Statistiken und Forschungsberichte. Soweit vorhanden werden auch zukünftig prognostizierte Entwicklungen aufgezeigt.

### 2.1 Anzahl und Leistung von Klimatisierungsgeräten

Abbildung 1 bezieht sich auf die Ökodesign-Studie [Riviere, P.; Adnot, J. et al. 2008] aus dem Jahre 2008 und stellt die Anzahl der Klimageräte in Deutschland für das Jahr 2005 getrennt nach Gebäudetyp und Geräteart dar. Es ist zu erkennen, dass mobile Geräte (Moveables) vor allem in Wohn- und Bürogebäuden eingesetzt werden, während Splitgeräte (split units) vorwiegend in Büro- und Verkaufsräumen genutzt werden. Weiterhin ist eine Prognose für das Jahr 2030 enthalten, der zufolge Klimageräte zur reinen Kühlung (Cooling only units) bis 2030 nicht mehr eingesetzt werden. Der Zuwachs ist bei Geräten zu erwarten, die sowohl eine Heiz- als auch Kühlfunktion besitzen (Reversible split units).

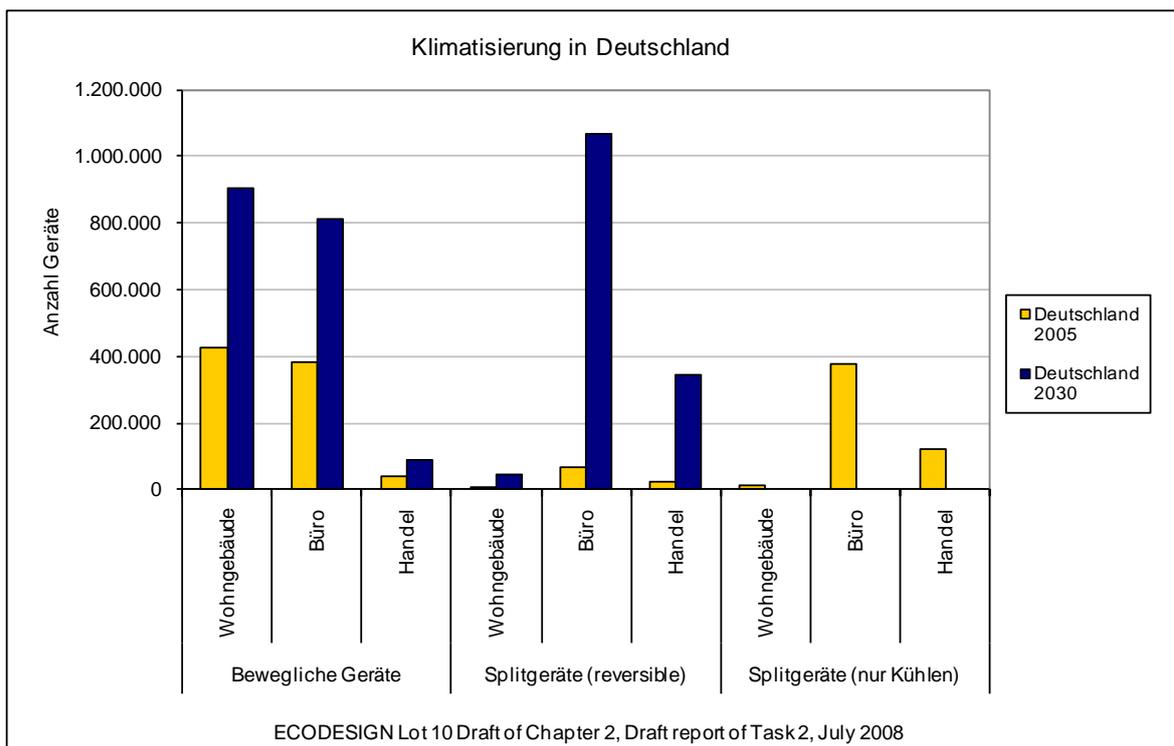


Abbildung 1: Bestand und Prognose von Klimatisierungsgeräten in Deutschland. Quelle: [Riviere, P.; Adnot, J. et al. 2008].

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Ein etwas verändertes Bild ergibt sich bei einer Darstellung der Klimageräte anhand der Leistung im Jahr 2005, siehe Abbildung 2. Hier zeigt sich zwar ebenfalls der zunehmende Klimatisierungstrend von 2005 bis 2030, jedoch mit den weitaus größten Leistungen im Bürogebäudebereich sowohl für 2005 als auch für 2030.

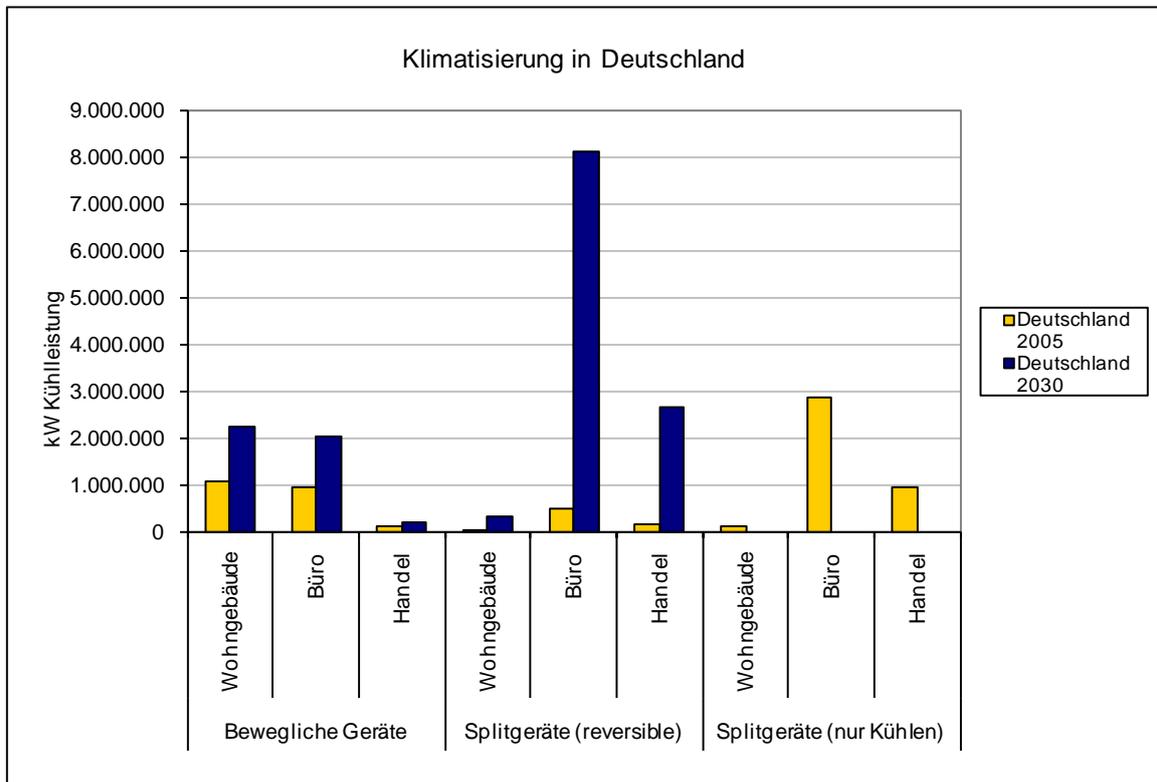


Abbildung 2: Bestand und Prognose von Klimatisierungsgeräten in Deutschland (in kW Leistung). Quelle: [Riviere, P.; Adnot, J. et al. 2008].

Mit einer zunehmenden Durchdringung der Klimatisierungsgeräte im Wohn- und vor allem im Nichtwohngebäudebereich ist eine Zunahme der klimatisierten Flächen zu erwarten. Folgende Abbildung 3 ergibt sich aus Zahlen der „Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners“-Studie [EECCAC] für DG-TREN für das Jahr 2003 und stellt eine Prognose der voraussichtlich in Deutschland gekühlten Flächen bis zum Jahr 2020 dar.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

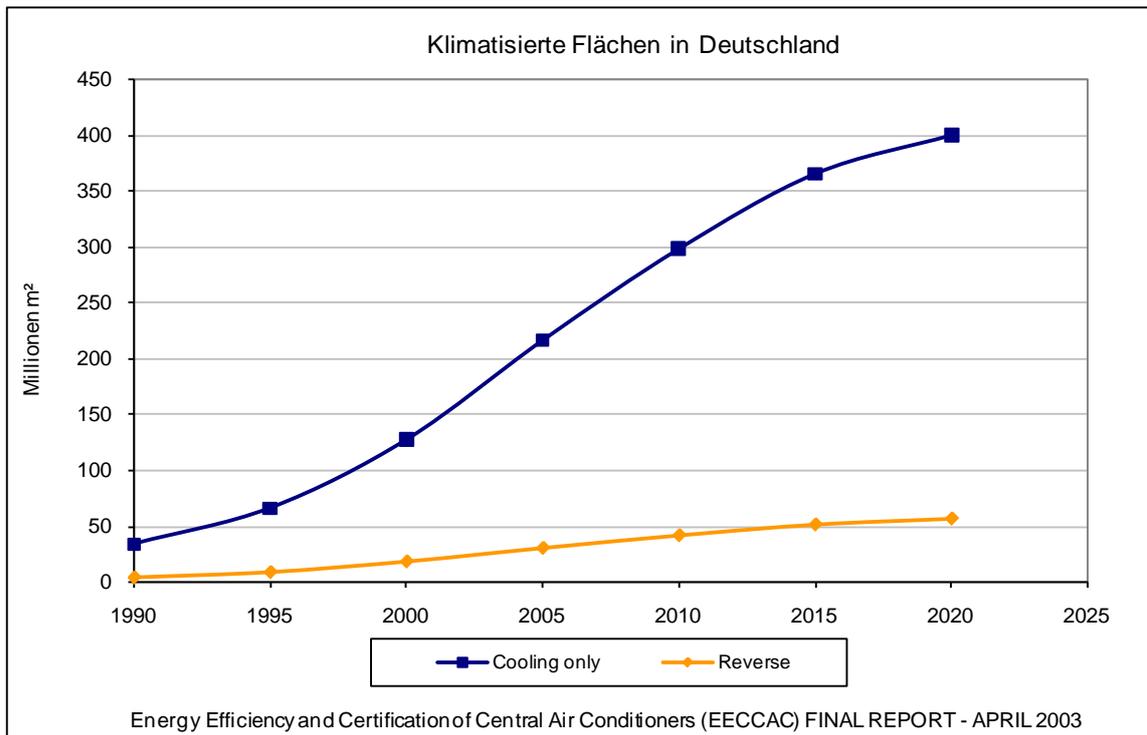


Abbildung 3: Klimatisierte Flächen in Deutschland. Quelle: [EECCAC].

Es ist deutlich zu erkennen, dass diese Prognose von EECCAC von einer überproportionalen Zunahme der Kühlgeräte ohne Heizfunktion ausgeht, während die Heiz- und Kühlgeräte (reverse systems) flächenmäßig nur langsam zunehmen. Dies steht im Widerspruch zu den Aussagen der Ecodesign-Studie (s. Abbildung 1 und 2), deren Autoren von einer starken Zunahme der Kühlgeräte mit Heizfunktion ausgehen. Eine Einordnung und Bewertung der unterschiedlichen Ergebnisse findet in Abschnitt 2.4 statt.

## 2.2 End- und Primärenergiebedarf von Klimatisierungsgeräten

Eine Reihe von Studien und Untersuchungen haben Zahlen zum Stromverbrauch (Endenergie) von Klimatisierungssystemen in Wohn- und Nichtwohngebäuden für Deutschland im Jahr 2005 veröffentlicht. Neben dem Baseline-Szenario von PRIMES [E3M-Lab 2008] sind dies im Wesentlichen eine Studie des „Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektor GHD“ im Auftrag des BMWi [Schloman, Barbara et al. 2006], die Studie „Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners“ (EECCAC) im Auftrag der EU-Kommission (DG-TREN), [Adnot, J., Riviere, P., et al. 2003] und die Ecoheatcool-Studie, Work package 2 von Euroheat&Power [Constantinescu, Norela; et al. 2006], sowie die WWF-Studie „Modell Deutschland“ [Kirchner, A., Matthes F.C. 2009] und das Gutachten „Szenarien für das Energiekonzept der Bundesregierung“ [EWI/Prognos 2010].

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Abbildung 4 verdeutlicht die Ergebnisse: Im Wohngebäudebereich reichen die Angaben für das Jahr 2005 von ca. 0,07 TWh bis 2,2 TWh elektrische Energie zur Kühlung aufgewendet, im Nichtwohngebäudebereich je nach Studie zwischen 14 TWh und 23 TWh. In diesem Zusammenhang bedeutet „sat=y2000“, dass die Durchdringungsrate im Gebäudebestand von Klimatisierungsgeräten für das Jahr 2000 zu Grunde liegt. In [Constantinescu, Norela; et al. 2006] gibt es ein weiteres Szenario mit zukünftigen Durchdringungsraten.

Für den Wohngebäudebereich sind massive Schwankungen der Ergebnisse zwischen den Studien zu beobachten. In Kapitel 2.4 werden diese sowie die anderen im Folgenden beschriebenen Ergebnisse ausführlich kommentiert und bewertet.

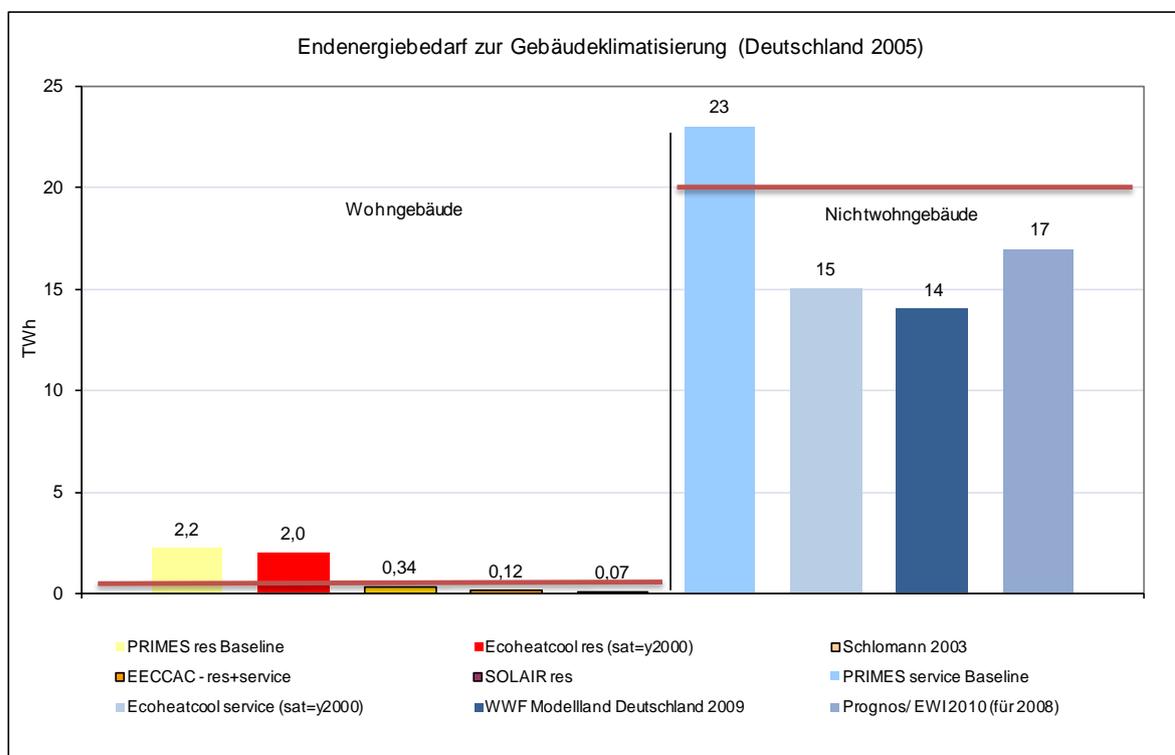


Abbildung 4: Endenergiebedarf der Gebäudeklimatisierung in Deutschland 2005. Quellen: Eigene Darstellung aus [E3M-Lab 2008], [Schlomann, Barbara et al. 2006], [Adnot, J., Riviere, P., et al. 2003], [Constantinescu, Norela; et al. 2006] und [SOLAIR 2008].

Neben den Werten für das Jahr 2005 existieren Szenarien bis 2030 aus der PRIMES-Studie. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt.

[E3M-Lab 2008] hat ein „Baseline“-Szenario veröffentlicht, welches die Fortführung des Status quo betrachtet. Das sogenannte „BFROZEN“-Szenario unterstellt zukünftige Entwicklungen unter Einbeziehung der prognostizierten Bevölkerungs- und Flächenentwicklung anhand von Indikatoren mit den heute verfügbaren Techniken. Effizienzverbesserungen oder Technologiesprünge finden hier nicht statt. Wie zu

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

erwarten werden die Energieverbräuche im „BFROZEN“-Szenario deutlich stärker ansteigen als im „Baseline“-Szenario, bei dem die geringeren Energiebedarfe vor allem auf Effizienzverbesserungen der Anlagen und Systemoptimierungen zurückzuführen sind. Beide Kurven verlaufen progressiv.

Für den Nichtwohngebäudebereich werden ebenfalls starke Anstiege des Endenergieverbrauchs erwartet, das „Baseline“-Szenario und das „BFROZEN“-Szenario unterscheiden sich entsprechend.

Bezüglich der Szenarien aus [E3M-Lab 2008] ist anzumerken, dass das „Baseline“-Szenario geeigneter erscheint um Einsparpotentiale durch Effizienzverbesserungen und passive Techniken, und nicht etwa das „BFROZEN“-Szenario, da davon auszugehen ist, dass Technikverbesserungen eintreten werden, auch wenn keine passiven Vermeidungstechniken eingeführt werden.

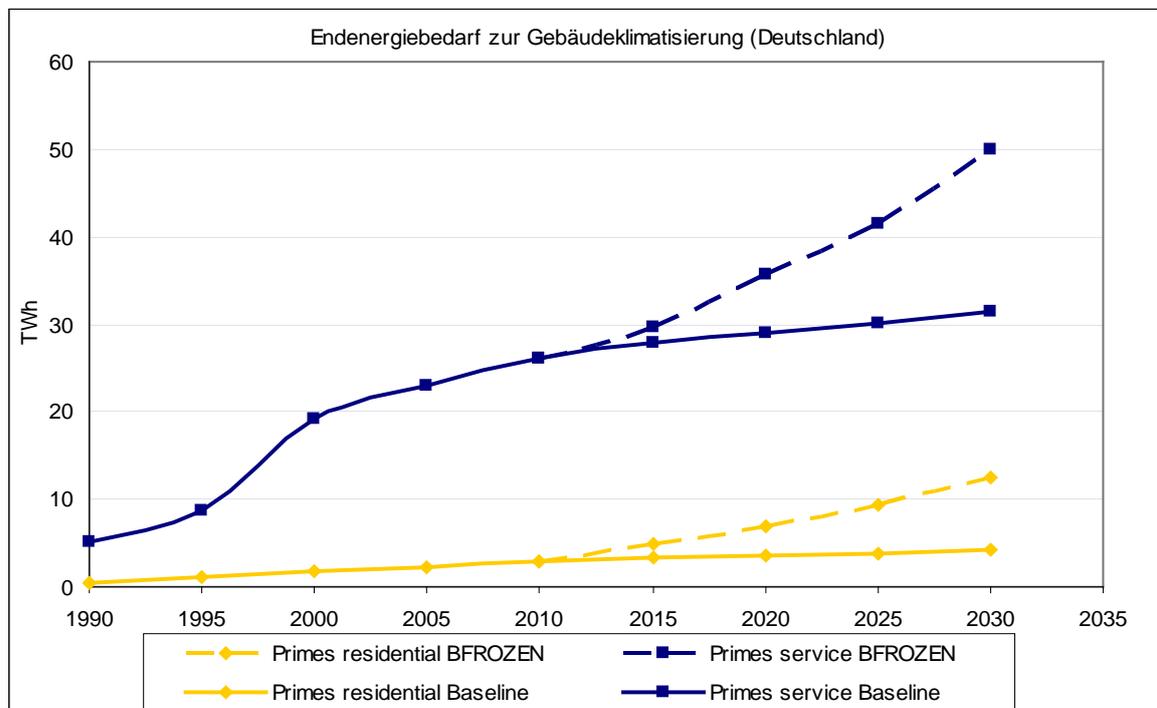


Abbildung 5: Verlauf des Endenergiebedarfs der Gebäudeklimatisierung in Deutschland.

Quellen: Eigene Darstellung aus [E3M-Lab 2008].

Wird ein Primärenergiefaktor von 2,6 laut DIN V 4701-10/A1 für Strom angenommen, so ergibt sich, abgeleitet aus Abbildung 4, folgender Primärenergiebedarf nach Abbildung 6. Diese Werte sind analog zur Darstellung des Endenergiebedarfs und liegen zwischen 6 und 11 TWh für den Wohngebäudebereich in Deutschland für 2005 und zwischen 40 und 61 TWh für den Nichtwohngebäudebereich.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

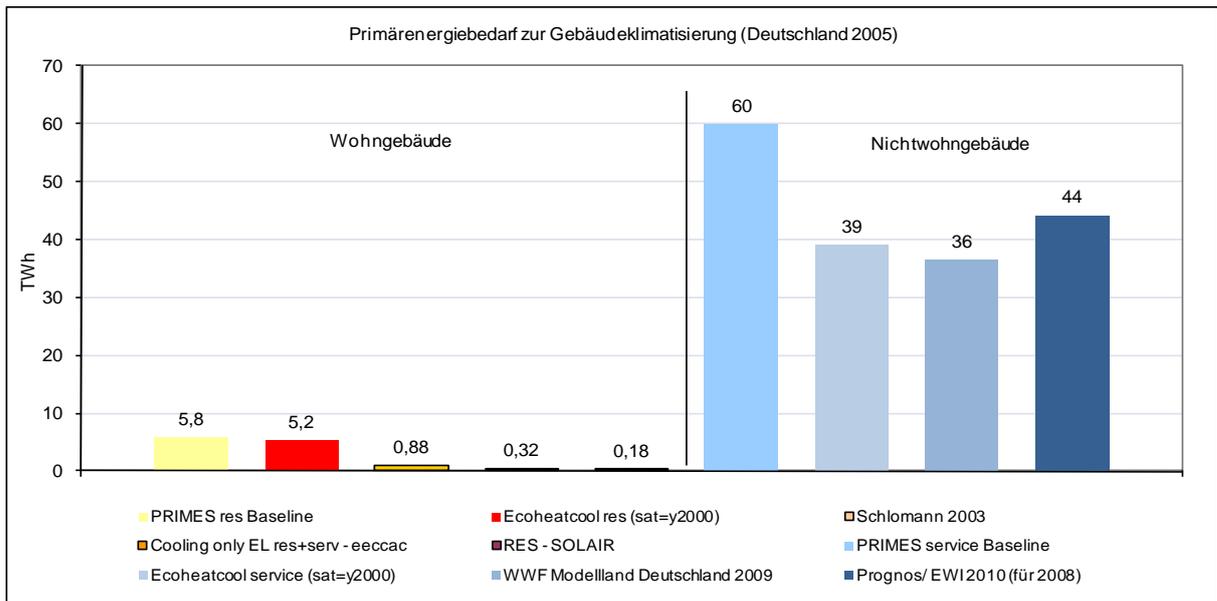


Abbildung 6: Primärenergiebedarf der Gebäudeklimatisierung in Deutschland 2005. Quellen: Eigene Darstellung aus [E3M-Lab 2008], [Schlomann, Barbara et al. 2006], [Adnot, J., Riviere, P., et al. 2003] und [Constantinescu, Norela; et al. 2006].

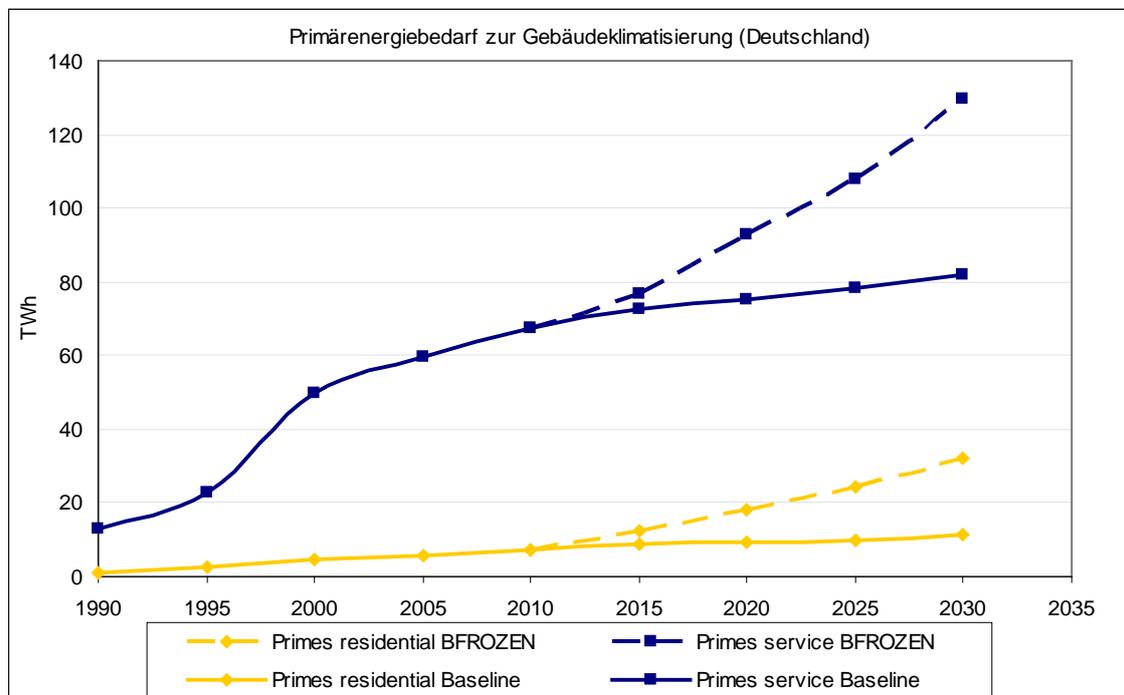


Abbildung 7: Verlauf des Primärenergiebedarfs der Gebäudeklimatisierung in Deutschland. Quellen: Eigene Darstellung aus [E3M-Lab 2008].

### 2.2.1 Durch Klimatisierungsgeräte verursachte Kohlendioxid-Emissionen

Die durch die Kühlung verursachten Treibhausgas-Emissionen für deutsche Wohngebäude schwanken ebenfalls extrem, je nach Autor zwischen 0,04 und 1,3 Mt im Jahr 2005 und zwischen 9 und 14 Mt für den Nichtwohngebäudebereich, wie Abbildung 8 verdeutlicht. Diese Werte basieren auf einem Emissionsfaktor von 623 g/ kWh, der aus dem CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (Quelle: UBA) für direkte Emissionen aus der Stromerzeugung für 2005 (597 g/ kWh) und den Äquivalenten sowie Vorketten aus Gemis 4.5 für das Szenario „Netz-el-DE-lokal HH/ KV 2005“ (26g/ kWh) resultiert.

Aus Abbildung 5 ergeben sich die Kohlendioxid-Emissionen wie in Abbildung 9 dargestellt. Zwischen den „Baseline“-Szenarien aus [E3M-Lab 2008] für den Wohn- und Nichtwohngebäudebereich liegt im Jahr 2030 ca. der Faktor 7.

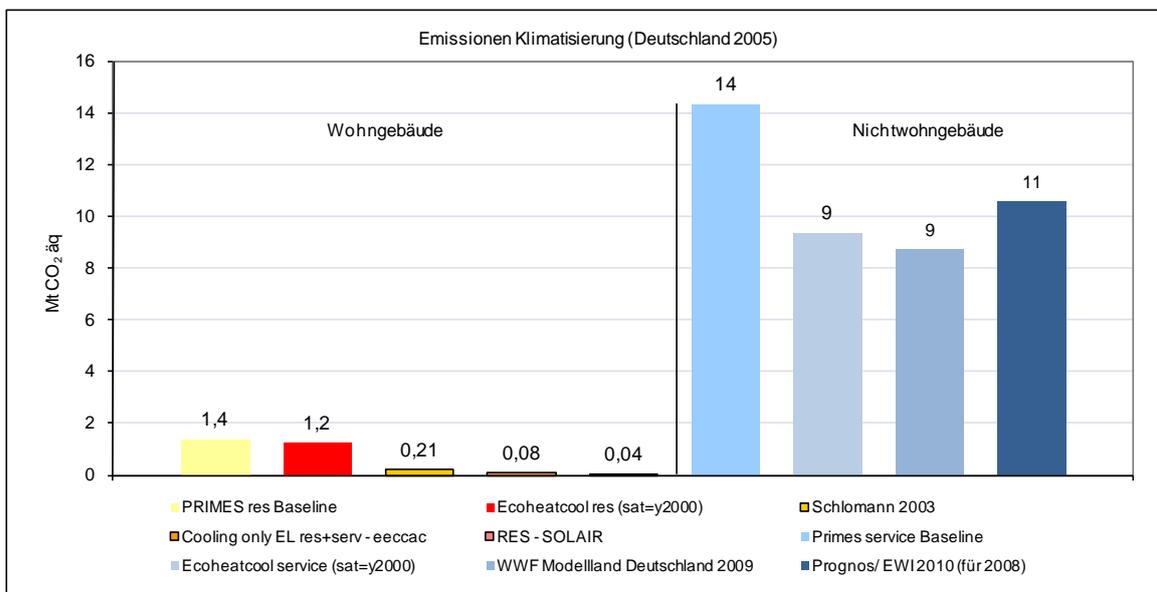


Abbildung 8: Treibhausgas-Emissionen der Gebäudeklimatisierung in Deutschland 2005. Quellen: [E3M-Lab 2008], [Schlomann, Barbara et al. 2006], [Adnot, J., Riviere, P., et al. 2003] und [Constantinescu, Norela; et al. 2006].

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

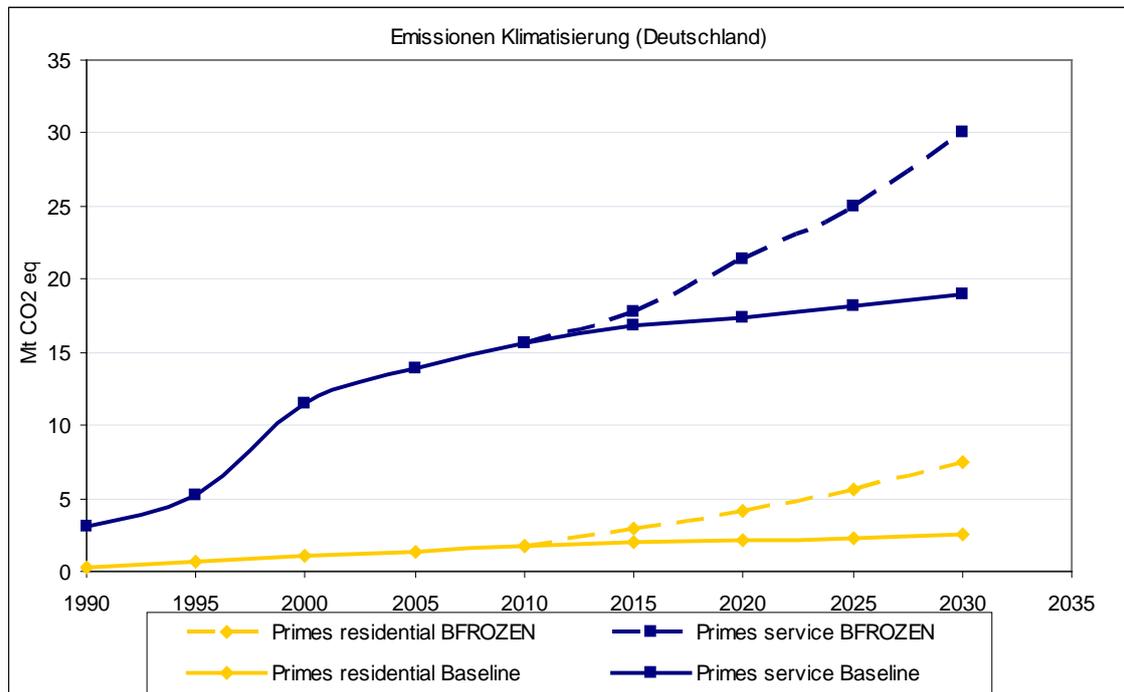


Abbildung 9: Verlauf der Emissionen zur Gebäudeklimatisierung in Deutschland. Quellen: Eigene Darstellung aus [E3M-Lab 2008].

### 2.2.2 Emissionen aus Kältemittel-Leckagen

Emissionen aus Kältemittel-Leckagen sind ebenfalls Teil der Treibhausgasemissionen. Das UBA-Forschungsvorhaben „Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland 2006 und 2007“ [Schwarz 2009] gibt Einblick in die durch die Klimatisierungstechnik entstandenen F-Gas Emissionen. Hierbei machen die Gewerbekälte 67%, die Industriekälte 24% sowie die Gebäude- und Raumklimatisierung incl. Wärmepumpen 8% der Emissionen aus, die sich insgesamt in 2007 auf 5.133 Mio. t Treibhausgas-Emissionen belaufen.

Tabelle 1: Entwicklung der HFKW-Emissionen [Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente] 1995-2007, nach [Schwarz 2009].

	1995	2000	2004	2006	2007
Stationäre Kälte/Klima	169	1.994	3.787	4.868	5.133

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Im Unterschied zur Gewerbe- und Industriekälte ist bei stationären Klimaanlage, Raumklimageräten und Wärmepumpen das Wachstum des HFKW-Bestands noch lange nicht erschöpft. Die Zahl der jährlich neuinstallierten Anlagen nimmt stetig zu.

Trotz des offensichtlich starken Anstieges liegt der Anteil der HFKW-Emissionen an den durch Klimatisierung verursachten gesamten Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich im einstelligen Prozentbereich.

### **2.3 Einordnung und Bewertung der Studien**

Da die in Kapitel 2 vorgestellten Studien teilweise einen sehr unterschiedlichen Energiebedarf in Bezug auf die Gebäudeklimatisierung aufweisen, werden diese im Folgenden bewertet und eine eigene Einschätzung gegeben.

#### **Wohngebäude**

Die Schwankungsbreiten sind besonders beim Energiebedarf für Wohngebäude sehr groß, hier gibt [E3M-Lab 2008] im Baselineszenario 2,2 TWh im Jahr 2005 an, während [SOLAIR 2008] von 68 GWh (abgeleitet aus einem Kühlenergiebedarf von 170 GWh) ausgeht. Zwischen den Werten dieser beiden Studien liegt ein Faktor 32. Ein ähnlich hoher Bedarf wie aus [E3M-Lab 2008] wird in [Constantinescu, Norela; et al. 2006] angegeben, hier sind es 2,0 TWh. Die BMWI-Studie (340 GWh) und die EECCAC-Studie (120 GWh) weisen einen Energiebedarf aus, der zumindest ansatzweise in gleicher Größenordnung wie der der SOLAIR-Studie liegt.

Da [E3M-Lab 2008] und [Constantinescu, Norela; et al. 2006] an vielen Stellen mit für ganz Europa durchschnittlichen Durchdringungsraten an Klimatisierungsgeräten rechnen, erscheinen hier die offensichtlich zugrunde gelegten Durchdringungen für Deutschland zu hoch.

Anhand einer unten näher spezifizierten, einfachen Plausibilitätsprüfung ergibt sich einen Endenergiebedarf für Kühlung im Wohngebäudebereich in der Größenordnung von 100 bis 300 GWh Strom pro Jahr. (Grundlagen Plausibilitätsprüfung: 38 Mio. Haushalte in Deutschland mit 1,4 Klimaanlage pro 100 Haushalten [Schloman, Barbara et al. 2006]. Dies ergibt 532.000 Klimaanlage. Mit einer durchschnittlichen Leistung von 1kW (elektrisch) und angenommenen 200 bis 500 Volllaststunden pro Jahr ergibt sich der oben genannte Strombedarf. Hierauf aufbauend erscheint uns für den Endenergiebedarf für Klimatisierung im Wohngebäudebereich in einer Größenordnung im Bereich von 200 GWh am meisten realistisch.

#### **Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie**

Der im Baselineszenario aus [E3M-Lab 2008] und in [Constantinescu, Norela; et al. 2006] gegebene Energiebedarf zur Klimatisierung von Nichtwohngebäuden erscheint mit 23 bzw. 15 TWh Endenergiebedarf in der Größenordnung plausibel zu sein. Da

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

[E3M-Lab 2008] den Umfang und die Verwendung der Energiebedarfe für Klimatisierung im Sektor GHD nicht genau umschreibt, ist anzunehmen, dass hier auch Teile nicht dem Gebäudebereich zuzuordnen sind. Eine Größenordnung von 15-20 TWh pro Jahr für die Sektoren GHD erscheint angemessen.

In den Politikszenerarien V [Matthes, Chr. et. al 2009] werden im Kapitel 4.2.1.2.5 ebenfalls Annahmen zum Energiebedarf zur Gebäudeklimatisierung in Deutschland getroffen. Diese gehen von einem Endenergiebedarf von 50 TWh im Jahr 2005 für die Sektoren GHD aus. Neben der Gebäudeklimatisierung ist hier auch die Gewerbekälte mit eingerechnet. Bis 2030 wird mit einem Anwachsen um 50% gerechnet.

### **Fazit**

Die Angaben für den Klimatisierungsenergiebedarf in Wohngebäuden schwanken, anders als beim Nichtwohngebäudebereich bei einem Vergleich der unterschiedlichen Quellen extrem stark. Der Klimatisierungsenergiebedarf für den Nichtwohngebäudebestand ist aufgrund der vorliegenden bewerteten Zahlen für das Jahr 2005 ca. 100-mal höher als derjenige für Wohngebäude.

Künftig ist mit einer deutlichen Zunahme der durch Gebäudeklimatisierung erzeugten Kohlendioxidemissionen zu rechnen. In Anlehnung an die Ergebnisse der ECODESIGN Studie ist im Wohngebäudebereich in den nächsten 20 Jahren mit etwa einer Verdoppelung zu rechnen. Im Nichtwohngebäudebereich ist der Anstieg geringer, allerdings mit ca. 25 % immer noch erheblich.

## 3 Techniken der konventionellen Kühlung

### 3.1 Stand der Gebäudekühlung – Qualitative Übersicht

Der Energiebedarf für Kühlung ist im Wesentlichen von folgenden Faktoren abhängig:

- Externe und interne Wärmelasten
- Raumklimaanforderungen
- Externe Klimabedingungen
- Art und Effizienz der eingesetzten Klimasysteme

#### 3.1.1 Art und Effizienz der eingesetzten Klimasysteme

Für unterschiedliche Gebäudetypen werden in der Regel verschiedene Kühlungslösungen vorgesehen. In der vorliegenden Studie liegt der Fokus in der Betrachtung von Wohngebäuden und Büro- bzw. Verwaltungsgebäuden.

##### Wohngebäude

Eine bauseits vorgesehene Klimatisierung/ Kühlung von Wohngebäuden ist in Deutschland insbesondere bei Bestandsgebäuden sehr selten. Da die durchschnittlichen inneren Wärmelasten im Wohnbereich in der Regel mit ca. 2 bis 5 W/m<sup>2</sup> (Annahmen unterschiedlicher Energiebedarfs Berechnungsverfahren: PHPP: 2.1 W/m<sup>2</sup>; LEG: 2,5 W/m<sup>2</sup> EFH, 3,2 W/m<sup>2</sup> MFH; EnEV: 5,0 W/m<sup>2</sup>) vergleichsweise gering sind, ist i.d.R. ein unzureichender sommerlicher Wärmeschutz die Hauptursache für einen Kühlbedarf.

Eine häufige Art der Kühlung ist die Nachrüstung einzelner überhitzter Räume (z.B. Schafzimmer, Wintergärten oder Wohn- und Arbeitszimmer) mit einem Umluftkühlgerät.

Die steigenden Verkaufszahlen dieser Geräte in den letzten Jahren sind wahrscheinlich auf das vermehrte Angebot und Werbung sowie auf die gesunkenen Preise zurückzuführen (vgl. Ecodesign-Studie Lot 10, Kapitel 2).

Es gibt im Wesentlichen zwei verschiedene Varianten von Raumklimageräten, die im Wohnbereich nachgerüstet werden:

- Splitgeräte (bzw. Multisplitgeräte)
- Kompaktgeräte (Mobile Klimageräte)

Bei beiden Systemen werden elektrische Kompressoren eingesetzt.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Splitgeräte bestehen aus zwei Einheiten: dem Kondensator und der Verdampfeinheit. Die Kondensatoreinheit wird im Außenbereich aufgestellt und ist über Kältemittel führende Leitungen mit der innen liegenden Verdampfeinheit verbunden.

Bei Kompaktgeräten befinden sich beide Einheiten in einem Gerät, welches in dem zu kühlenden Raum aufgestellt wird. Die im Kondensator anfallende Wärme wird über einen Abluftschlauch i.d.R. durch ein gekipptes Fenster nach außen abgeführt. Die Luft wird dabei aus dem zu kühlenden Raum abgesaugt. Die notwendige Zuluft strömt ebenfalls über das gekippte Fenster von außen nach. Hierdurch verschlechtert sich die Kühleffizienz, da die Raumluft durch die nachströmende warme Außenluft erwärmt wird. Eine Abdichtung der Öffnung ist jedoch ebenfalls problematisch, da die Zuluft dann aus anderen Zimmern einströmen müsste und hier eventuell bauphysikalische Probleme auftreten (Schimmelbildung etc.).

Die Energieeffizienz von Kühlanlagen wird durch die sogenannte Nennkälteleistungszahl (EER) beschrieben. Die Nennkälteleistungszahl ist das Verhältnis zwischen erreichter Kühlungsleistung und benötigter elektrischer Leistung und normierten Randbedingungen. Die Leistungszahl von Klimasplit- und Kompaktgeräten variiert je nach Fabrikat und Baujahr zwischen 2 und 5 wobei Kompaktgeräte bauartbedingt eher ungünstigere Werte aufweisen als Klimasplitgeräte.

Gemäß DIN V 18599-7 werden für unterschiedliche luftgekühlte Raumklimasystemtypen (< 12 kW) die folgenden EER-Standardwerte vorgegeben:

Tabelle 2: EER-Standardwerte gemäß DIN V 18599-7 unterschiedliche luftgekühlte Raumklimasystemtypen (< 12 kW)

Anlagensystem	EER
Kompaktklimageräte als Fenster oder Wandklimagerät	2,6
Split-Systeme	2,7
Muli-Split-Systeme	2,9

Aussagekräftiger hinsichtlich des tatsächlich benötigten Energieverbrauchs ist die Jahreskälteleistungszahl (SEER), die das Verhältnis zwischen der typischen jährlichen Kühlenergiemenge und dem zur Erzeugung benötigten Strombedarf angibt. Hierbei wird das Teillastverhalten berücksichtigt.

Es gilt:  $EER \times PLV_{av} = SEER$

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Wobei  $PLV_{av}$  der sogenannte mittlere Teillastfaktor ist.

Die in der DIN 18599 angegebenen mittleren  $PLV_{av}$ -Werte für luftgekühlte Raumkühlsysteme (< 12 kW) schwanken je nach Anlagen- und Raumtyp und zwischen 0,81 und 1,42.

Die Regelung der Geräte erfolgt meist über integrierte Thermostate, über die die gewünschte Raumtemperatur eingestellt werden kann.

In Neubauten, die mit einer Fußbodenheizung ausgestattet sind und die über Wärmepumpen beheizt werden, wird zunehmend auch von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, dies auch zur Kühlung zu nutzen. Bei Sole/Wasser oder Wasser/Wasser Wärmepumpen besteht durch die Integration eines weiteren Wärmetauschers die Möglichkeit einer passiven Kühlung über Erdkälte. Bei Luft/Wasser Wärmepumpen kann eine aktive Kühlung durch interne Umschaltung der Wärmepumpe erreicht werden.

### Büro und Verwaltungsgebäude

Etwa die Hälfte der Büro- und Verwaltungsgebäude sind mit Kühl- oder Klimatisierungsvorrichtungen ausgestattet. Ca. 10 % davon sind vollklimatisiert, ein gutes Drittel verfügt zumindest über eine Teilklimaanlage (Quelle: BBR-Online Publikation, Nr. 10/2008, Folgen des Klimawandels: Gebäude und Baupraxis in Deutschland).

Bei Altbauten, die vor den 70er Jahren gebaut wurden, sind zentrale Kühl- und Klimaanlagen eher die Ausnahme und allenfalls in Teilbereichen z.B. als nachgerüstete Splitgeräte in Serverräumen oder Besprechungsräumen vorzufinden. Zum einen waren zum Zeitpunkt der Errichtung des Gebäudes die inneren Lasten (u.a. bedingt durch das Fehlen von EDV) geringer, zum anderen trugen der meist vergleichsweise geringe Fensterflächenanteil und die massive Bauweise sowie die Möglichkeit der Fensterlüftung i.d.R. zu erträglichen sommerlichen Innerraumtemperaturen bei.

Bei der Kühlung von Büro- und Verwaltungsgebäuden gibt es eine Vielzahl von Umsetzungsvarianten, von denen die häufigsten Typen im Folgenden beschrieben werden.

- Zentrale Voll- oder Teilklimaanlagen (mit oder ohne Entfeuchtungsfunktion)
- Sogenannte unterstützende Lüftungsanlagen in Kombination mit einem Wasserkühlsystem (Kühldecken, Induktionsgeräte, Bauteilaktivierung)
- Umluftkühlgeräte z.B. zur Nachrüstung einzelner Zonen über Kompakt-, Split- oder sogenannte Multisplitgeräte

Bei den ersten 2 Typen wird die benötigte Kälte i.d.R. zentral erzeugt.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Zentrale Klimaanlage wurden insbesondere in Bürobauten der 70er und 80er Jahre zur Kühlung von Großraumbüros eingesetzt. Viele dieser Anlagen sind heute immer noch in Betrieb. Zentrale Klimaanlage zeichnen sich dadurch aus, dass der erforderliche Kühlenergiebedarf der Räume ausschließlich durch zentral aufbereitete Luft gedeckt wird. Dabei müssen Luftmengen transportiert werden, die das 4- bis 10-fache des hygienisch notwendigen Mindest-Luftwechsels betragen. Heute werden Zentrale Klimaanlage vor allem noch in Kaufhäusern eingesetzt. Im Vergleich zu den Anlagen aus den siebziger Jahren wurden bei modernen Anlagen zahlreiche energetische Verbesserungen eingeführt. Neben der Effizienzsteigerung der Ventilatoren und der Kälteerzeugungsanlagen wurden zum Beispiel Systeme zur freien Kühlung, Wärmerückgewinnung und der variablen Volumenstromregelung entwickelt.

Energetisch kritisch zu sehen und fehlregelungsanfällig sind ältere sogenannte Zweikanalanlagen, bei denen in 2 separaten Kanalnetzen permanent sowohl Warmluft als auch kühle Luft für alle Zonen bereitgestellt wird. Viele Bürogebäude aus den 70er und 80er Jahren weisen neben der veralteten Klimatechnik auch eine unter energetischen Gesichtspunkten besonders ungünstige Fassadenqualität auf. Zum einen sind viele Fassaden mit Festverglasungen, d.h. ohne die Möglichkeit der natürlichen Fensterlüftung ausgestattet, zum anderen sorgen hohe Glasanteile und ein i.d.R. unzureichender Sonnenschutz (häufig lediglich innen liegend oder über „getönte“ Scheiben) für erhebliche externe thermische Lasten und somit zu einem zusätzlichen Kühlenergiebedarf.

Da der Energietransport über Luft energetisch sehr ungünstig ist (z.B. erheblich ungünstiger als derjenige mit Wasser als energietragendem Medium) wurden Systeme entwickelt, bei denen die Menge zentral aufbereiteter Luft auf ein Minimum reduziert wurde, die sogenannte Induktionsgeräte bzw. Induktionsluftauslässe. Bei Induktionsgeräten und Induktionsluftauslässen kann die Menge der zentral aufbereiteten sogenannten Primärluft, ohne Einschränkung der Behaglichkeit deutlich reduziert werden, idealerweise auf das hygienisch notwendige Minimum. Durch den sogenannten Induktionseffekt wird bei der Primärlufteinbringung auch Raumluft mit umgewälzt. Der Raumluftanteil ist meist 2 bis 4-fache so groß wie die Primärluftmenge.

In den neunziger Jahren wurde mit der Abkehr von Großraumbürokonzepten und den Erkenntnissen des sogenannten Sick Buildings Syndroms wieder vermehrt die Möglichkeit der Fensterlüftung berücksichtigt. Bei Hochhäusern wurden Doppelfassaden entwickelt, die jedoch durch die Aufheizung im Fassadenspalt im Sommer und Nutzerfehlbedienungen häufig zu einem zusätzlichen Kühlenergiebedarf führen.

Ein weiterer Meilenstein in der Energieeffizienz von Büroklimasystemen ist durch Einsatz von wassergekühlten Flächenkühlssystemen erreicht worden. Zunächst in Form von Kühldecken und seit Mitte der neunziger Jahre vermehrt durch sogenannte Betonkernaktivierungssysteme, deren Anteil bei den Neubauten auf ca. 20 % bis 30 %

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

(Quelle: BINE Information „thermoaktive Bauteile“ Angegeben für das Jahr 2003, bzw. für das Jahr 2007: 28,5 % wovon 70 % per Betonkernaktivierung gekühlt werden, ca. 36 % der jährlich errichteten Nichtwohngebäude werden über Kühldecken gekühlt. Quelle: Dr. F.-K. Läge: Flächenheizung dreidimensional, Heizungsjournal, Heft 08/09) gestiegen ist. Aufgrund der Trägheit dieser Systeme ist in der Regel der Kühlenergiebedarf gegenüber anderen Systemen leicht erhöht. Durch die möglichen höheren Kaltwasservorlauftemperaturen von 18 °C bis 20 °C, die bei den zuvor genannten Systemen meist bei 6 °C liegen, wird jedoch ein deutlich besserer Wirkungsgrad bei der Kälteproduktion erreicht. Zudem wird der mögliche Anteil an freier Kühlung erheblich erhöht, was den Energieverbrauch weiter verringert.

In jüngster Vergangenheit werden, obwohl derzeit noch mit unbedeutendem Anteil, vermehrt Bürogebäude errichtet, die Passivhaustandard erreichen und mit sehr guten Wärme- und Sonnenschutzeinrichtungen ausgestattet sein müssen. Vor allem der notwendige hochwirksame Sonnenschutz und inneren Lasten führen, neben den verbesserten Wärmedämmqualitäten der Gebäudehülle, bei Passivhäusern zu einem deutlich verringerten Kühlenergiebedarf im Vergleich zu herkömmlich Gebäuden.

Aufgrund der im Vergleich zu Wohngebäuden sehr viel höheren internen Wärmeproduktion (höhere Beleuchtungsstärke, PCs und höhere Personendichte) ist bei Bürogebäuden die Kühlung von nahezu gleicher energetischer Relevanz wie die Beheizung.

Die häufigste Art der Kälteerzeugung ist nach wie vor diejenige über Kompressions-Kältemaschinen.

In der folgenden Abbildung 10 wird eine Übersicht über die gängigsten Kälteerzeugungsarten gegeben, wobei die grau hinterlegten die aktuell am häufigsten eingesetzten Systeme darstellen:

Kompressionskältemaschinen							
wassergekühlt				luftgekühlt			
Indirekte Systeme (Wasserkühlmaschinen)		Direkte Systeme (Direktverdampfer-Anlagen)		Indirekte Systeme (Wasserkühlmaschinen)		Direkte Systeme (Direktverdampfer-Anlagen, Raumklimasysteme)	
Nasskühler	Trockenkühler	Nasskühler	Trockenkühler	Kompaktbauweise	Splitbauweise	Einzel-System	Multi-System
Schrauben- und Scrollverdichteranlagen		Schrauben- und Scrollverdichteranlagen		Schrauben- und Scrollverdichteranlagen		Splitgerät	Multi-splitgerät
Schrauben-/Turboverdichteranlagen		Schrauben-/Turboverdichteranlagen		Schrauben-/Turboverdichteranlagen		Kompaktklimagerät	VRF-System

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Abbildung 10: Übersicht Kompressions-Kältmaschinentypen . Quelle: Leitfaden-für-Energiebedarfsausweise [Schmidt Reuter 2009].

Während Scrollverdichter hauptsächlich im mittleren bis kleinen Leistungsbereich (bis 50 kW) eingesetzt werden, werden bei größeren Anlagen überwiegend Turboverdichter eingesetzt.

Die Nennkälteleistungszahlen (d.h. ohne Teillastberücksichtigung und ohne Verteilungsverluste) von Kompressionskältemaschinen variieren je nach Typ und Randbedingungen zwischen 2,5 und 6.

Neben Kompressionskältemaschinen werden für die Kühlung von Bürogebäuden teilweise auch Ab- bzw. Adsorptionskältemaschinen eingesetzt, die, im Gegensatz zu Kompressionskältemaschinen, im Wesentlichen Wärmeenergie in Kälte umwandeln. Die benötigte Wärmeenergie kann dabei Prozesswärme, Fernwärme oder solarthermisch erzeugte Wärme sein. Das Nennwärmeverhältnis (Leistungszahl) für einstufige Adsorptionskälteanlagen liegt im Bereich von ca. 0,7, bei zweistufigen Anlagen bei ca. 1,2.

In der Praxis werden RLT- Anlagen häufig nur unzureichend gewartet. Darüber hinaus sind viele Anlagen schlecht geregelt oder lassen sich nur unzureichend regeln. Dies führt, zusammen mit einem Fehlverhalten der Nutzer dazu, dass die ggf. bei der Planung ermittelten Energieverbrauchswerte überschritten werden. Der Energieverbrauch im realen Betrieb beträgt nicht selten sogar das Doppelte und mehr des in der Planung angegebenen Wertes (BMWi Forschungsprojekt: Evaluierung von Energiekonzepten und Energierferat der Stadt Frankfurt a.M.: Pilotversuch Energieausweise Nichtwohngebäude, 2005/2006).

### **3.1.2 Thermische Behaglichkeit**

Die Notwendigkeit einer Kühlung entsteht durch den Mangel an thermischer Behaglichkeit.

Die diesbezüglichen, im Folgenden näher erläuterten, normativen Vorschriften ergänzen sich gegenseitig wie folgt:

Die EN ISO 7730 definiert thermische Behaglichkeit in drei Zufriedenheitskategorien (A, B und C). Die DIN 4108-2 gibt in Abhängigkeit von der Klimazone maximale Überschreitungsdauern von Grenztemperaturen an und die DIN EN 15251 definiert Obergrenzen für die Überschreitungen.

Das individuelle thermische Behaglichkeitsempfinden ist jedoch subjektiv, so dass objektivierbare Aussagen zur Behaglichkeit nur für ein durchschnittliches Personenkollektiv getroffen werden können. Umfassende Aussagen zum Thema

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Behaglichkeit enthält die EN ISO 7730, in der sogenannte Zufriedenheitskategorien definiert werden.

Für die Berechnung der thermischen Behaglichkeit sind im Wesentlichen folgende Parameter von Bedeutung:

- Lufttemperatur
- Oberflächentemperaturen / Strahlungstemperatur
- Aktivität der Personen
- Bekleidung der Personen
- Luftgeschwindigkeit und Turbulenzgrad
- Feuchtegehalt der Luft
- Gleichmäßigkeit/ Asymmetrie der Temperaturen

Die Begriffe PMV (=Predicted Mean Vote: Parameter zur Raumklimabeurteilung gem. EN ISO 7730:2005 (PMV=1: etwas warm; PMV=0: neutral; PMV=-1: etwas kühl)), als vorausgesagtes mittleres Votum des Wärmeempfindens und der PPD (=Predicted Percentage of Dissatisfied; Der bestmögliche PPD Wert beträgt 5 % Prozent) als vorausgesagter Prozentsatz Unzufriedener, werden als wesentliche Behaglichkeitskennwerte angegeben.

In der EN ISO 7730 werden drei Kategorien des Umgebungsklimas angegeben:

Tabelle 3: Umgebungsklima-Kategorien der EN ISO 7730

<b>Kategorie</b>	<b>PMV</b>	<b>PPD</b>	<b>Beschreibung</b>
A	-0,2 bis 0,2	< 6 %	hohes Maß an Erwartungen
B	-0,5 bis 0,5	< 10 %	normales Maß an Erwartungen
C	-0,7 bis 0,7	< 15 %	moderates Maß an Erwartungen

Die empfundene Temperatur, auch operative Temperatur genannt, hängt von der Lufttemperatur, der Temperatur der umgebenden Flächen und der Luftfeuchte ab. Der

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Luftfeuchteinfluss ist jedoch, mit ca. 0,3 °C pro 10 % relativer. höherer Feuchte (gem. EN ISO 7730), vergleichsweise gering. Überschlägig lässt sich die operative Temperatur als Mittelwert von Lufttemperatur und mittlerer Temperatur der Umgebungsflächen berechnen. Eine direkte Besonnung ist in jedem Falle zu vermeiden.

Unter normalen Bedingungen (Luftgeschwindigkeit 0,1 m/s bis 0,2 m/s, 40 % Turbulenzgrad, Sommerkleidung, 40 % bis 60 % relative Luftfeuchte, geringe körperliche Aktivität = sitzend) werden als maximal zulässige operative Temperaturen für klimatisierte Gebäude die in

Tabelle 4 aufgeführten Grenzwerte vorgegeben (Idealwert im Sommer 24,5 °C)

Tabelle 4: Grenzwerte operative Temperaturen für klimatisierte Gebäude (gem. EN ISO 7730)

Kategorie	Grenzwert (Sommer)
A	bis 25,5 °C
B	bis 26,0 °C
C	bis 27,0 °C

Durch eine erhöhte Luftgeschwindigkeit (z.B. durch das Öffnen von Fenstern oder den Einsatz von Ventilatoren) kann, gem. DIN EN ISO 7730, Anhang G, in begrenztem Maße, d.h. bis zu 3 °C, eine erhöhte operative Temperatur ausgeglichen werden.

Unter normalen Bedingungen (Sommerkleidung 40 % bis 60 % relative Luftfeuchte, geringe körperliche Aktivität (sitzend), Oberflächentemperaturen geringfügig über der Lufttemperatur) kann dabei von folgendem Einfluss ausgegangen werden:

Tabelle 5: Abkühlungseffekte bei erhöhter Luftgeschwindigkeit

Luftgeschwindigkeit um Temperatur über 26 C auszugleichen	Abkühlungseffekt
0,3 m/s	1 °C
0,5 m/s	2 °C

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Luftgeschwindigkeit um Temperatur über 26 C auszugleichen	Abkühlungseffekt
0,8 m/s	3 °C

Anmerkung: höhere Luftgeschwindigkeiten führen zu Zugerscheinungen.

In der DIN 4108-2 (Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz) werden die Grenzwerte für maximale Innentemperaturen nach Klimaregion festgelegt. Deutschland wird dabei in drei Regionen unterteilt:

Tabelle 6: Grenzwerte für maximale Innentemperaturen

<b>Klimaregion</b> <b>Sommer</b>	<b>Merkmal</b> <b>Innentemperatur</b>	<b>Grenzwert</b>	<b>Höchstwert der mittleren monatlichen Außentemp.</b>
A	sommerkühl	25 °C	< 16,5 °C
B	gemäßigt	26 °C	16,5 °C bis 18 °C
C	sommerheiß	27 °C	größer/gleich 18 °C

Die oben genannten Grenzwerte sollen in nicht mehr als 10 % der der Aufenthaltszeit überschritten werden. Der Bezugszeitraum wird jedoch nicht näher spezifiziert. Mit einem sinnvollen Bezugszeitraum von einem Monat bedeutet dies für Bürogebäude (typische Anwesenheitszeit 10 h/d bei 20 d/Monat), dass während der Betriebszeit nicht mehr als 20 h/Monat bzw. 60 h pro Sommer (unter der Annahme von 3 relevanten Sommermonaten) zulässig sind.

Durch die erhöhte Aufenthaltszeit von üblicherweise 24 h/d bei Wohngebäuden (realistisch zumindest für Familien und Rentner) erhöhen sich dort die zulässigen Überschreitungsdauern auf 74 h/Monat bzw. 221 h pro Jahr.

Die in der DIN 4108-2 genannten Bedingungen haben sich in der Praxis als gutes Kriterium zur Beurteilung erwiesen, ab wann Maßnahmen zur thermischen

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Innenraumklimaverbesserung unter normalen Raumklimaanforderungen erforderlich sind.

Dabei sind jedoch die gem. DIN EN 15251 empfohlenen Obergrenzen für Gebäude ohne mechanische Kühlanlagen einzuhalten.

Beispielsweise sollten bei einer mittleren Außentemperatur von 25 °C (z.B. bei Tageshöchsttemperaturen von 32 °C und minimalen Nachttemperaturen von 18 °C) bei normalen Anforderungen (Kat II) 30 °C erreicht werden.

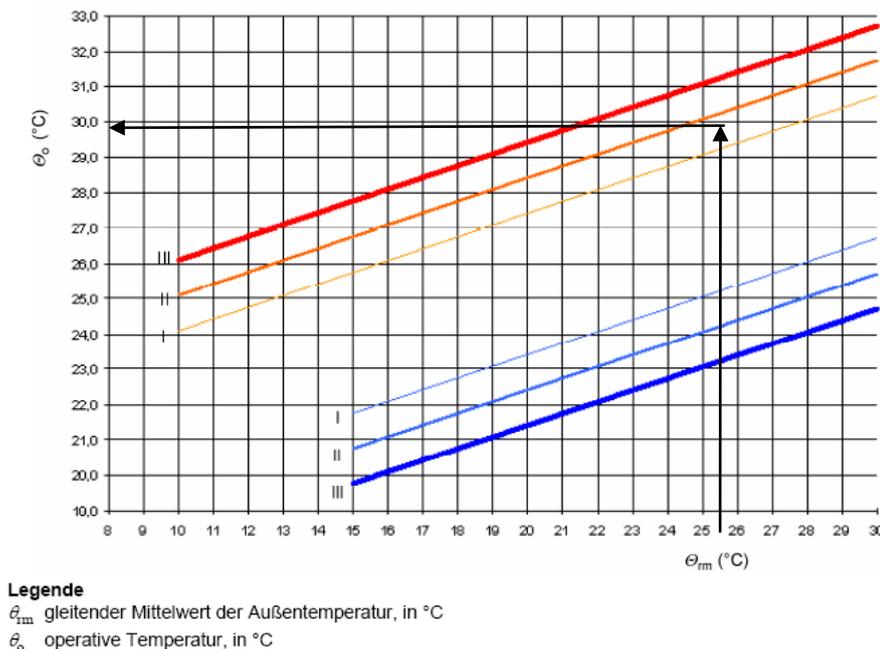


Abbildung 11: Auslegungswerte für die operative Innentemperatur von Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlage, dargestellt als Funktion des exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur gem. DIN EN 15251.

Alle obengenannten Aussagen gelten für normale Aufenthaltsräume. Eine Sonderstellung haben Schlafräume, für die als ideale Temperaturen 18 °C bis 20 °C angesehen wird.

### 3.1.3 Rechtliche Aspekte zum Thema Raumklimaanforderungen

In der aktuellen Fassung der EnEV (EnEV:2009) wird sowohl für zu errichtende Wohn- als auch für Nichtwohngebäude unabhängig davon, ob Sie gekühlt sind oder nicht gefordert, dass in allen Zonen die in der DIN 4108-2:2003-07 gestellten Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz eingehalten werden. In der DIN 4108 wird neben der maximal zulässigen Überschreitungsdauer der Raumlufttemperaturen, auch ein Sonneneintragskennwert eingeführt, der bei überschreiten gewisser Fensterflächenanteile, nicht überschritten werden darf.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Die zulässige Lufttemperatur in Arbeitsräumen wurde durch die Arbeitsstättenrichtlinie (ASR 6) mit 26 °C festgelegt.

Im, insbesondere vor dem Hintergrund des Extremsommers 2003, besonders vieldiskutierten Bielefelder 26 °C-Urteil verurteilten die Richter den Gebäudebetreiber zur Gewährleistung einer Raumlufttemperatur von maximal 26 °C bei einer Außenlufttemperatur von bis zu 32 °C einzuhalten. Bei höheren Außenlufttemperaturen muss die Raumlufttemperatur mindestens 6 K unter der Außenlufttemperatur liegen.

Eine Rechtswissenschaftliche Queranalyse [Busse, 2004] kam unter Berücksichtigung der Soll-Regelung der ASR 6 zu dem Schluss, dass juristisch in Gebäuden ohne RLT-Anlagen anders als in Gebäuden mit RLT Anlagen bei Gebäuden lediglich die Einhaltung des Baustandards der DIN 4108-2, nicht aber eine bestimmte Raumtemperatur gefordert werden kann.

Im Juni 2010 wurde offensichtlich wegen der oben beschriebenen unklaren rechtlichen Lage die ASR 6 durch die ASR A3.5 ersetzt. Danach soll die die Lufttemperatur an Arbeitsräumen 26 °C nicht überschreiten. Kommt es trotz Vorsehung „geeigneter Sonnenschutzmaßnahmen“ dennoch zu Raumlufttemperaturen über 26 °C so sollen zusätzlich Maßnahmen, wie z.B. eine effektive Steuerung des Sonnenschutzes und der Lüftungseinrichtungen, eine Reduzierung der inneren Lasten, die Nutzung der Gleitzeitregelungen, Lockerung der Bekleidungsregelungen oder das Bereitstellen geeigneter Getränke, angewandt werden. Bei Raumlufttemperaturen über 30 °C müssen zusätzlichen Maßnahmen gemäß der zuvor genannten Beispielen ergriffen werden. Oberhalb einer Raumlufttemperatur von 35 °C ist der Raum „für den Zeitraum der Überschreitung“ ... „nicht als Arbeitsraum geeignet“.

Faktisch bedeutet dies, dass gemäß der neuen ASR A3.5 eine mechanische Kühlung in Arbeitsräumen nur dann erforderlich wird, wenn unter Anwendung zusätzlicher (passiver) Maßnahmen eine Überschreitung der Raumlufttemperatur von 35 °C zu erwarten ist.

### **3.1.4 Umgebungsklima**

Das Umgebungsklima hat je nach Höhe der Komfortansprüche einen mehr oder minder hohen Einfluss auf den Energiebedarf für Kühlung.

Klimawandel

Außer den aktuellen Forschungsergebnissen (Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTEREG und REMO, vgl. [Spekat, W. E., Kreienkamp F. 2007] und [Jacob, D. 2008]) ist zu erkennen, dass in Deutschland offensichtlich bereits heute in Folge des Klimawandels eine Erwärmung der mittleren sommerlichen Temperaturen von ca. 0,5 °C im Vergleich zum langjährigen Mittel stattgefunden hat.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Während die prognostizierten mittleren sommerlichen Temperaturen im Zeitraum zwischen 1980 und 2030 für alle Emissionsszenarien zunächst nur geringfügig steigen, wird ab ca. Mitte dieses Jahrhunderts bis zum Jahr 2100 mit einem deutlichen Anstieg um 1,5 °C bis 3 °C je nach Emissionsszenario gerechnet.

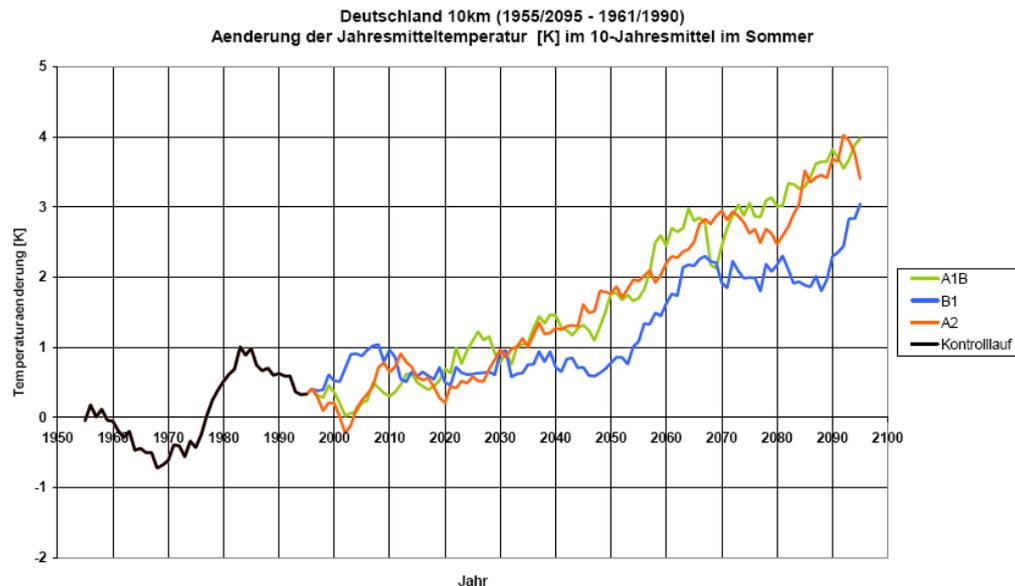


Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf der Änderung des Sommermittels der 2m-Temperatur [°C] (Gebietsmittel Deutschland, gleitendes 10-Jahresmittel) in Bezug auf die KNP (1961-1990) für den Kontrolllauf (schwarz, sowie die Szenarien A1B (grün), B1 (blau) und A2 (orange), berechnet mit dem REMO Simulationsmodell.

### Hitzeinselbildung in Großstädten

Eine geringe Vegetationsdichte und ein hoher Anteil versiegelter Flächen mit direkter Abführung der Niederschläge, Wärme speichernde Gebäudemassen, sowie die Abwärme von Klimaanlagen führen in Großstädten und Ballungszentren in den Sommermonaten zu einer lokalen Hitzeinselbildung. Durch fehlende Verschattung und Verdunstungskälte sowie der solaren Aufheizung der als thermische Speichermassen wirkenden Straßen, Dächer und Fassaden kann es zu einem Anstieg der mittleren sommerlichen Temperaturen von 1 °C bis 5,6 °C gegenüber dem Umland kommen (Quelle: diverse z.B. Klimatologie in der Planung, Universität Kassel, vgl. [Universität Kassel 2008]). Durch die zunehmende Urbanisierung wird der Effekt globalen Klimaerwärmung im Bereich von städtischen Ballungsgebieten lokal noch verstärkt (vgl. Abbildungen 17 bis 19).

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

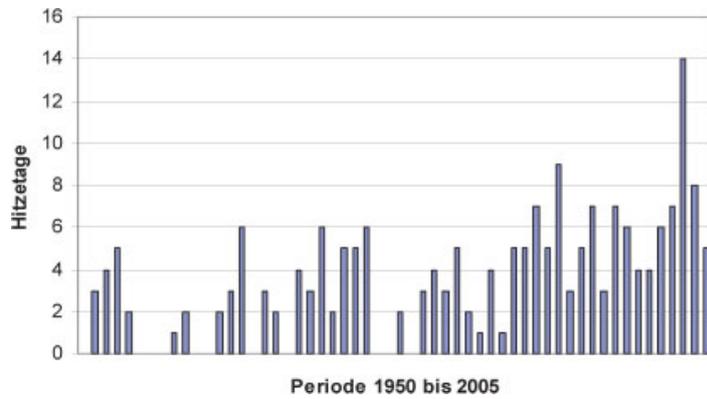


Abbildung 13: Zunahme der Hitzetage im Bereich der städtischen Wärmeinsel der Stadt Kassel (Quelle: Katzschner et. al.: Das städtische Mikroklima: Analyse für die Stadt- und Gebäudeplanung, Bauphysik 31 (2009), Heft 1)

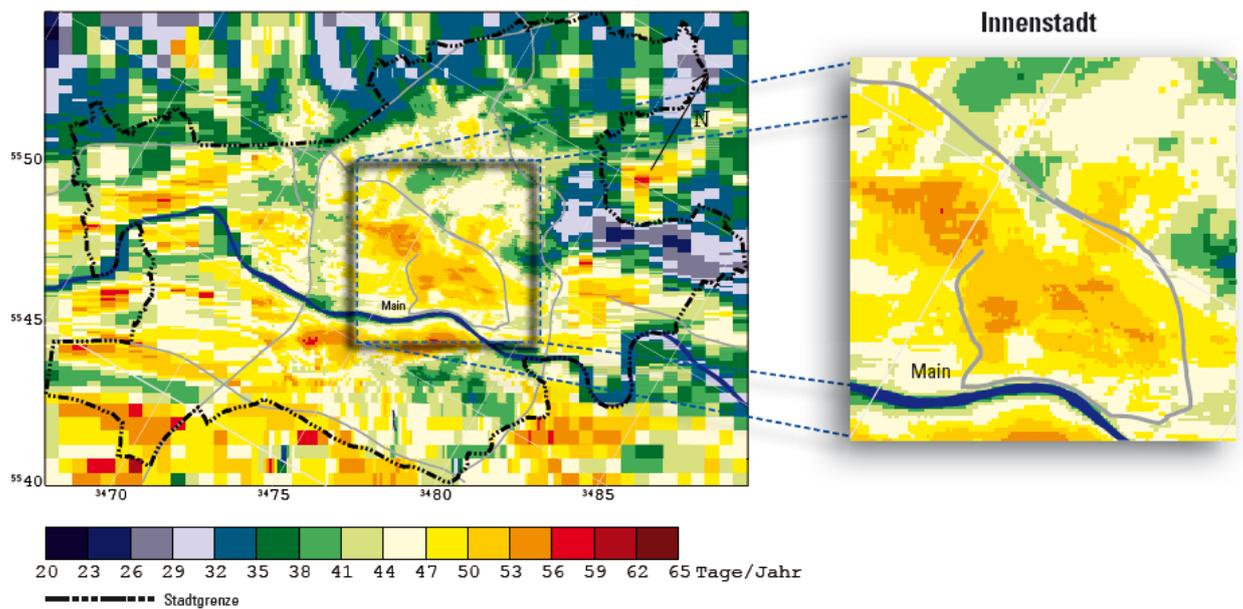


Abbildung 14: Mittlere Anzahl der Tage mit einer Höchsttemperatur größer 25 °C der vergangenen Jahre 1971-2000 in Frankfurt am Main. Der Antrieb für das Stadtklimamodell MUKLIMO\_3 stammt aus der REMO Projektion (MPI-Mi.A. des Umweltbundesamtes, 2006; Quelle der Abbildung: Deutscher Wetterdienst, 2009)

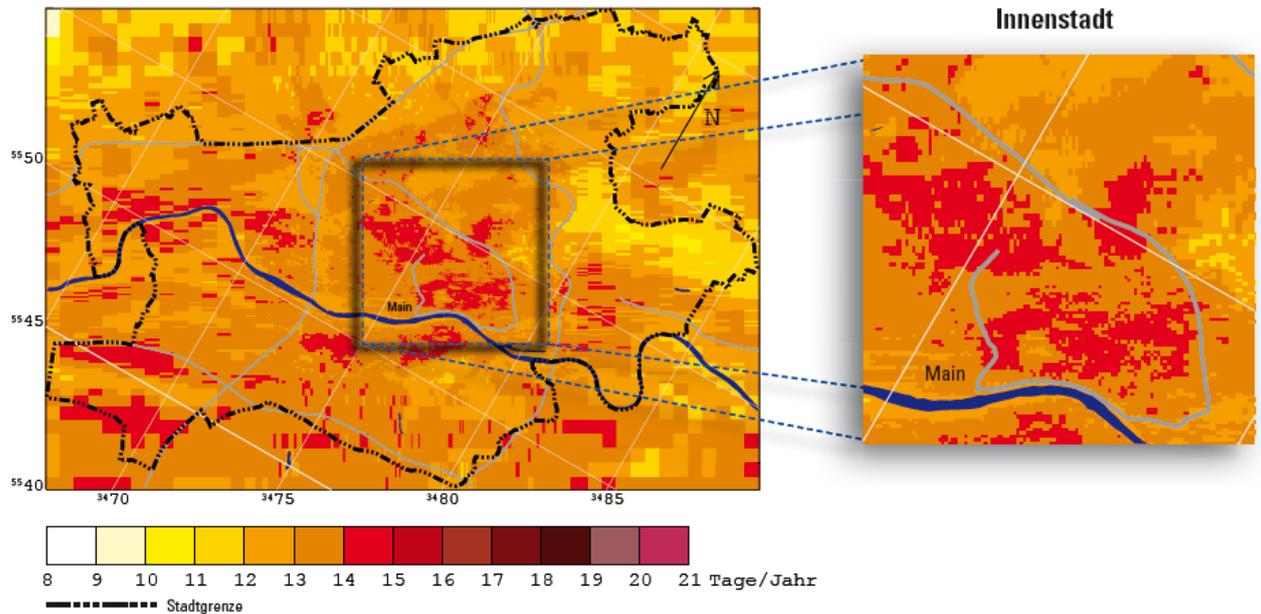


Abbildung 15: Änderungssignal der Anzahl der Tage mit einer Höchsttemperatur größer 25 °C als Differenz der mittleren Anzahl der Periode 2021-2050 zu 1971-2000 in Frankfurt am Main. Der Antrieb für das Stadtklimamodell MUKLIMO\_3 stammt aus der REMO Projektion (MPI-Mi.A. des Umweltbundesamtes, 2006) Die Klimaprojektion in die Zukunft entspricht dem Szenario A1B (IPCC, 2007; Quelle der Abbildung: Deutscher Wetterdienst, 2009).

## Regionale Klimaunterschiede

Im Vergleich zwischen sommerkühlen Regionen in Norddeutschland und sommerheißen Regionen in Süd-, Mittel- und Ostdeutschland weisen letztere nahezu doppelt so viele Stunden mit Außentemperaturen über 24 °C auf (Quelle: IWEC(International Weather for Energy Calculations)-Wetterdaten, Datenbasis 1982 bis 1999).

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

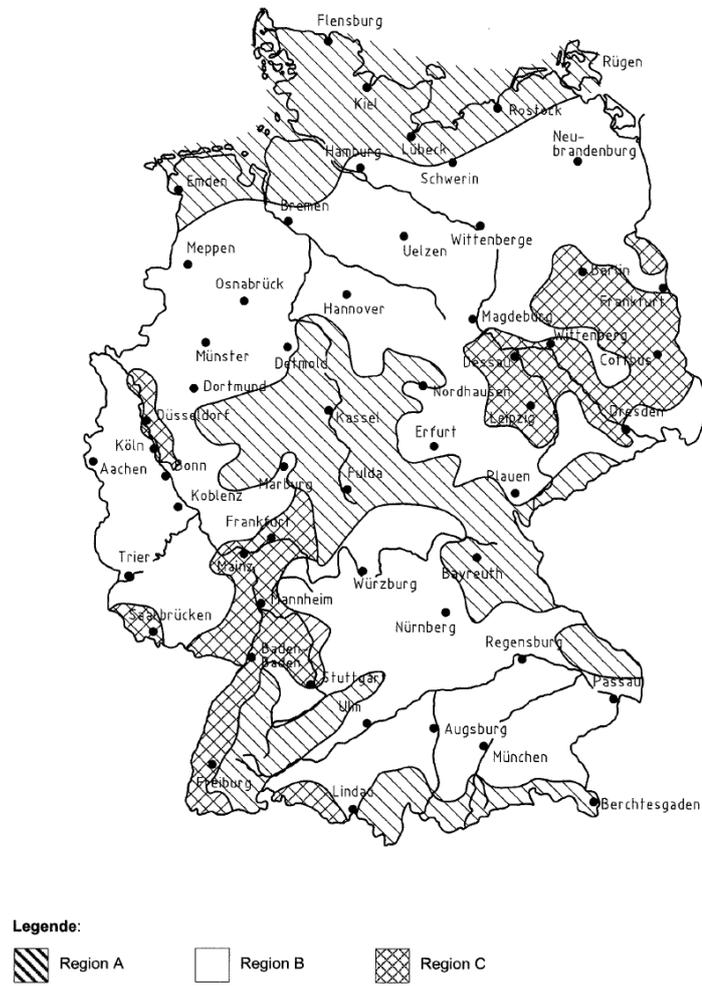


Abbildung 16: Klimaregionen in der BRD gemäß DIN 4108-2.

## 3.2 Detaillierte Gesamtwirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse

### 3.2.1 Simulationen Referenzgebäude

Der Kühlenergiebedarf von Gebäuden ist von vielen, teilweise ineinandergreifenden Parametern abhängig. Um die starke Individualität dieser den Gebäudekühlenergiebedarf beeinflussenden Parameter zu berücksichtigen und ein umfassenderes Verständnis der Zusammenhänge zu erlangen, wurden Referenzgebäude ausgewählt und deren sommerliches thermisches Verhalten anhand von Simulationsmodellen analysiert.

Zur Abbildung der Situation Kühlung im Wohngebäudebestand wurden vier Referenzgebäude festgelegt. Aufgrund des zuvor ermittelten höheren Kühlenergiebedarfs wurde der Fokus jedoch auf den Nichtwohngebäudebereich gelegt. Hierfür wurden sechs Referenzgebäude festgelegt. In Absprache mit dem Auftraggeber wurde sich im Nichtwohngebäudebereich auf vor allem Büro- und Verwaltungsbauten konzentriert.

Ziel der Auswahl der Referenzgebäude war es ein möglichst repräsentatives Abbild des Gebäude- und Klimasystemkollektivs zu erreichen, mit dem ein möglichst großer Anteil der derzeitigen und künftig zu erwartenden Treibhausgasemissionen abgedeckt wird. Außerdem berücksichtigt werden sollen dabei nicht-klimatisierte Gebäude, bei denen bereits jetzt eine Überhitzung zu beobachten und im Zuge der weiteren Klimaerwärmung mit der Nachrüstung von Klimaanlage zu rechnen ist.

Des Weiteren soll in geeigneter Form dem bereits erfolgten Klimawandel d.h. den gemessenen deutlich erhöhten sommerlichen Temperaturen und den unterschiedlichen Klimazonen in Deutschland Rechnung getragen werden.

#### Referenzgebäude Wohnen

Die vier Referenzgebäude für den Wohnbereich gliedern sich auf in die zwei Typen Ein- und Mehrfamilienhaus. Es wird jeweils einen Neu- und einen Altbau berücksichtigt. Gewählt wurden typische Kühlsituationen.

- Kühlung eines Schlafzimmers mit unzureichend gedämmter Dachschräge mittels Kompaktgeräten, deren Abluft über einen Schlauch durch das gekippte Fenster abgeführt wird am Beispiel eines Mehrfamilienhauses.
- Kühlung eines offenen Wohn/ Ess- und Küchenbereiches mit großformatigen, unzureichend verschatteten Süd- und Westverglasungen mittels Klimasplitgeräten am Beispiel einer Altbau Doppelhaushälfte.
- Kühlung des gesamten Gebäudes u.a. auch des offenen Wohn/ Ess- und Küchenbereichs mit unzureichend verschatteten großformatigen Süd- und Westverglasungen mittels Erdkälte von Erdwärmesonden, die über einen

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Wärmetauscher an die Fußbodenheizung abgegeben wird am Beispiel einer Neubau Doppelhaushälfte.

In einer vierten Variante sollen die Raumtemperaturen ohne Kühlung am Beispiel eines Neubaumehrfamilienhauses untersucht werden. Besonders interessant ist hier der Einfluss unterschiedlicher Klimarandbedingungen (Standort: Küstenklima oder Zentraldeutschland bzw. Großstadtklima).

In der folgenden Tabelle und Abbildung sind die wesentlichen bei den Simulationen berücksichtigten Parameter zusammengefasst.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Tabelle 7: Spezifikationen der Kühlsysteme der Wohngebäudevarianten

	<b>Variante 1: Reihenend- haus/ Doppelhaus- hälfte Altbau 70er Jahre</b>	<b>Variante 2: Reihenend- haus/ Doppelhaus älfte Neubau EnEV mit Fußboden- Kühlung</b>	<b>Variante 3: Mehrfamilien- haus Altbau 70er Jahre</b>	<b>Variante 4: Mehr- familien- haus Neubau</b>
Kühlsystem	Klimasplit- gerät (taktend), in Wohn- und Essbereich im EG	Fußboden- Kühlung Erdkälte über Wärmetausch- er	Klimakompakt- geräte (taktend) in Schlafzimmern in den DG- Wohnungen	kein
Jahreskälte- leistungszahl (SEER)	3,21	7,02	3,43	
Weitere, system- spezifische Kenndaten		Vorlauftemp.: > 19 °C  dt Vorlauf- Rücklauf- temperatur: max. 1.5 K  Kühlleistung: max. 20 W/m <sup>2</sup>	Im o.g. SEER Wert ist der Einfluss der nachströmenden Luft nicht enthalten. In den Simulationen ist dies jedoch berücksichtigt und führt zu einem erhöhten Kühlenergiebedar- f	Im o.g. SEER Wert ist der Einfluss der nach- strömenden Luft nicht enthalten. In den Simulation- en ist dies jedoch berücksich- tigt und führt zu einem erhöhten Kühlener-

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

				giebedarf
--	--	--	--	-----------

### Bemerkungen zur Tabelle 7:

Die angegebenen Werte für Jahresarbeitszahlen sind aus den Ergebnissen der Simulationen ermittelte Werte für die jeweiligen Systeme, unter Berücksichtigung des Referenzklimas. Tatsächlich berücksichtigt wurden betriebszustandsabhängige Stundenwerte für Leistungszahlen. Bei den Klimaspit- und Kompaktgeräten erfolgte die stundenfeine Berechnung betriebszustandsabhängige Stundenwerte für die Leistungszahl in linearerer Abhängigkeit von der Außentemperatur.

<sup>1)</sup> Die maximale Leistungszahl wurde bei den Klima-Splitgeräten mit 3,5, unterhalb einer Außentemperatur von 26 °C, die minimale Leistungszahl oberhalb einer Außentemperatur von 32 °C (Auslegungsbedingungen) wurde gem. DIN V 18559 mit 2,7 angenommen.

Anmerkung: der resultierende Wert entspricht in etwa dem SEER-Wert gem. DIN V 18559 von 3,3. Durch den Einsatz eines modernen, hocheffizienten modulierenden Gerätes könnte die Effizienz der Kühlung noch verbessert werden.

<sup>2)</sup> Die Jahresarbeitszahl der Fußbodenkühlung mittels Erdkälte mit Wärmetauschern ergibt sich aus dem Energiebedarf für den Betrieb der Pumpen. Die erforderliche Pumpenleistung wurde anhand einer separaten Berechnung mit insgesamt 103 W, aufgeteilt in 31 W für den internen Kühlkreis und 72 W für den externen Kühlkreislauf, angenommen. Für die Betriebszeiten wurde eine manuelle Ein- und Abschaltung angenommen, bei der davon ausgegangen wurde, dass eine Aktivierung nach einer Überschreitung der Zielkühltemperatur von 24,5 °C erfolgt. Die Abschaltung erfolgt, sobald die Raumtemperatur unter 20 °C sinkt, was i.d.R. erst nach einer mehrtägigen z.T. mehrwöchigen Laufzeit der Fall ist. Bei der Simulation wurde von einem vereinfachten Modell der Fußbodenkühlung ausgegangen, bei dem die Kühlleistung auf maximal 20 W/m<sup>2</sup> begrenzt wurde (=> maximaler Temperaturunterschied Fußboden Raum: 4 °C, Wärmeübergangswiderstand 5 W/(m<sup>2</sup>K)). Um eine Unterkühlung und Unbehaglichkeiten zu vermeiden müssen die Vorlauftemperaturen der Fußbodenkühlung im Bereich von 19-20 °C liegen. Eine mögliche Erschöpfung der Kältequelle Erdreich wurde bei den Berechnungen nicht berücksichtigt. Vor dem Hintergrund, dass der Wärmeentzug in den Wintermonaten den Kälteentzug in den Sommermonaten übersteigt, erscheint eine Erschöpfung der Kältequelle Erdreich auch unwahrscheinlich.

<sup>3)</sup> Die maximale Leistungszahl wurde bei den Klima-Splitgeräten mit 3,4 unterhalb einer Außentemperatur von 26 °C, die minimale Leistungszahl oberhalb einer Außentemperatur von 32 °C (bei Auslegungsbedingungen) wurde gem. DIN V 18559 mit 2,6 angenommen. Anmerkung: der resultierende SEER Wert von 3,4 liegt oberhalb des Wertes gem. DIN V 18559 von 3,2, was auf die, zu den angenommenen

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Betriebszeiten (18 bis 22 Uhr) vorherrschenden, bereits relativ niedrigen Außentemperaturen, zurück zu führen ist. Nicht in dem angegebenen SEER-Wert berücksichtigt jedoch in die Berechnung des erforderlichen Kältebedarfs eingeflossen ist die Außenluft, die durch das geöffnete Fenster in den Schlafraum nachströmt. Für diese wurde in Luftwechsel von 3 1/h angenommen. Eine ebenfalls mögliche Kurzschluss-Strömung wurde nicht berücksichtigt

# Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Geometrie	Reihenendhaus		Mehrfamilienhaus	
	Altbau 70 Jahre	Neubau	Altbau 70 Jahre	Neubau
	gem. MU Typologie TYP F Splitgerät im Wohnbereich	EnEV 2004 Fußbodenkühlung mit Erdkälte	gem. MU Typologie Typ F Kompaktgerät im Dachschlafzimmer	EnEV 2004 ungekühlt
Baujahr	1969-1978	2005	1969-1978	2005
beheizte Wohnfläche bzw. NGF	140 m²	140	608	608
Geschosshöhe	3	3	3	3
beheiztes Gebäudevolumen nach EnEV	546 m³	546	2388	2388
Gebäudenutzfläche gem. EnEV	175 m²	175	764	764
Anzahl Geschosse	2	2	4	4
Anzahl Wohneinheiten	1	1	8	8
<b>Oberster Gebäudeabschluss</b>				
Art	Puttdach	Puttdach	Satteldach	Satteldach
Konstruktion	Beton mit Wärmedämmung	Beton mit Wärmedämmung	Holz mit Zwischensparrendämmung	Holz mit Zwischensparrendämmung
Fläche	84 m²	84	267	267
U-Wert ist	0,52 W/(m²K)	0,3	0,59	0,3
<b>Fassaden</b>				
Bezeichnung	Außenwände	Außenwände	Außenwände	Außenwände
Konstruktion	Bimsvollsteine	Kalksandstein mit WDVS	Massive Bauteile/Betonfertigteile	Kalksandstein mit WDVS
Nordfassade	49	49	96	96
Ostfassade	0	0	245	245
Südfassade	42	42	96	96
Westfassade	78	78	245	245
U-Wert	0,8 W/(m²K)	0,35	1	0
<b>Unterer Gebäudeabschluss</b>				
Bezeichnung	Kellerdecken	Kellerdecken	Kellerdecken	Kellerdecken
Konstruktion	Beton mit Trittschalldämmung	Trittschall- und Wärmedämmung	Beton mit Trittschalldämmung	Trittschall- und Wärmedämmung
Fläche	84 m²	84	207,5	207,5
U-Wert ist	0,97 W/(m²K)	0,4	0,97	0,4
AV	0,62	0,62	0,48	0,48
<b>Transparente Bauteile</b>				
Text	Isolierverglasung in Metallrahmen, ungedämmte Profile	Zweischeibenwärmeschutzverglasung in Holz-/Kunststoffrahmen Standard	Isolierverglasung in altem Zweikammer Kunststoffrahmen	Zweischeibenwärmeschutzverglasung in Holz-/Kunststoffrahmen Standard
Fenster Nord	6,3 m²	6,3	17,3	17,3
Fenster Ost	0,0	0,0	43,9	43,9
Fenster Süd	23,6	23,6	43,9	43,9
Fenster West	13,7	13,7	17,3	17,3
Dachfenster Süd	0,0	0,0	0,0	0,0
Dachfenster Ost	0,0	0,0	9,0	9,0
Dachfenster West	0,0	0,0	9,0	9,0
Dachfenster Nord	0,0	0,0	0,0	0,0
U-Wert	4,30 W/(m²K)	1,70	2,80	1,70
g-Wert (Glas, senkrechter Einf.)	0,76	0,60	0,70	0,60
<b>Gebäudetechnik</b>				
<b>Sonnenschutz</b>				
Typ	kein, lediglich Rolläden	externe Jalousien	kein, lediglich Rolläden	kein, lediglich Rolläden
Steuerung	manuell	manuell	---	---
effektiver Reduktionsfaktor fc	1,00	0,50	1,00	1,00
<b>Lüftung</b>				
Art	Fensterlüftung	Abluftanlage DC geregelt	Fensterlüftung	Abluftanlage DC geregelt
Luftwechsel normal	0,50 1/h	0,50	0,50	0,50
Infiltration	0,50	0,10	0,30	0,10
Luftwechselluftschlag (bei Raumtemperatur > 24 °C)	1,00	1,00	1,00	1,00
Zusätzliche Lüftungskühlung bei Außentemperatur < Raumtemperatur > 24,5 °C	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>Heizung</b>				
Heizwärmeübergabe	Heizkörper Thermostatventile (2K)	Fußbodenheizung Thermostatventile (1K)	Heizkörper Thermostatventile (2K)	Heizkörper Thermostatventile (1K)
<b>Kühlung</b>				
Typ gekühlt/überhitzungsgefährdeter Bereich	Splitgerät in offenem Wohnbereich im EG/ Süd- und Südwestraum im OG	Fußbodenkühlung Erdkälte über Wärmetauscher gesamtes Gebäude	Kompaktgeräte 2,4 kW/je Raum Schlafzimmer unter dem Dach	keine, sommerl. Wärmeschutz gem. Anforderungen EnEV
gekühlt/überhitzungsgefährdete Fläche	46 m²	140	40	keine
Fensterflächen zu gekühlten / überhitzungsgefährdeten Bereichen	19,5/12,2 m²	43,6	4,5	4,5
Zieltemperatur (operativ)	24,5 °C	24,5	20	-
Betriebszeit Kühlung	7-22 Uhr	0-24 Uhr	16-23 Uhr	-
Innere thermische Lasten in der gekühlten Zone	4 Personen a 75 W im Mittel 8 h/d anw. el. Geräte im Mittel 1,4 W/m²	4 Personen a 75 W im Mittel 15 h/d anw. el. Geräte im Mittel 1,4 W/m²	2 Person a 75 W von 23 - 7 Uhr	1 Person/35 m² a 75 W im Mittel 15 h/d anw. el. Geräte im Mittel 1,4 W/m²

Abbildung 17: Weitere Spezifikationen der Wohngebäudevarianten

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

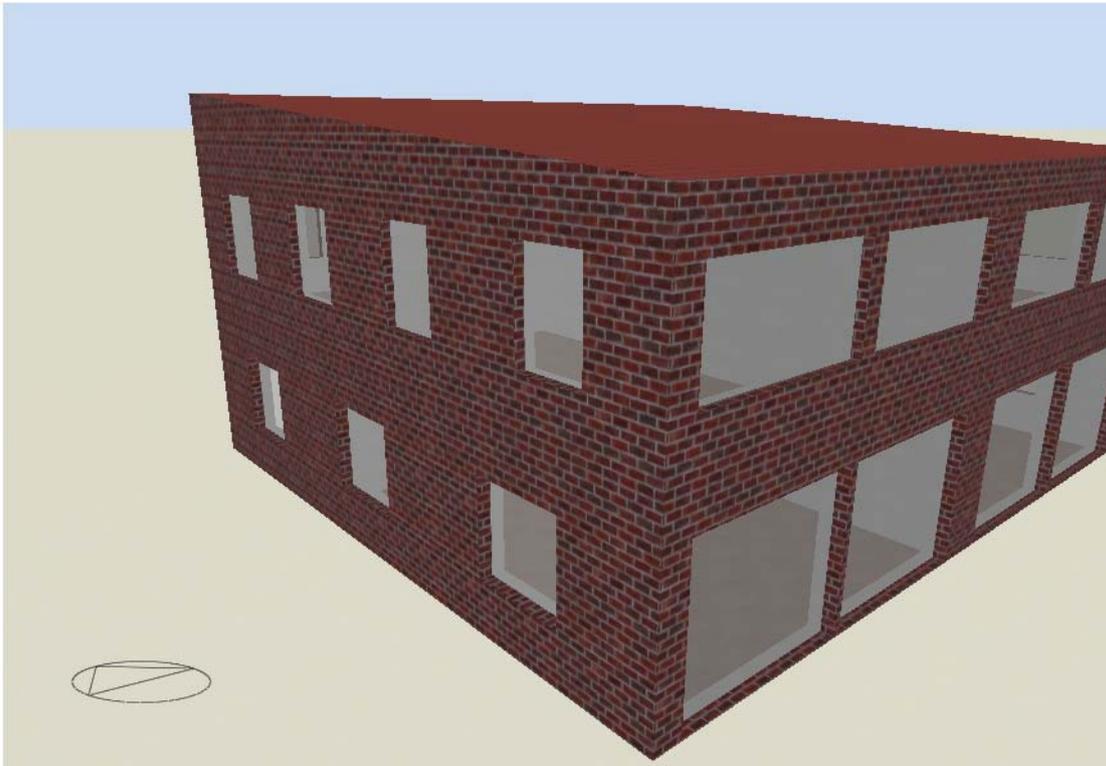


Abbildung 18: Südwestansicht Modell Doppelhaushälfte.

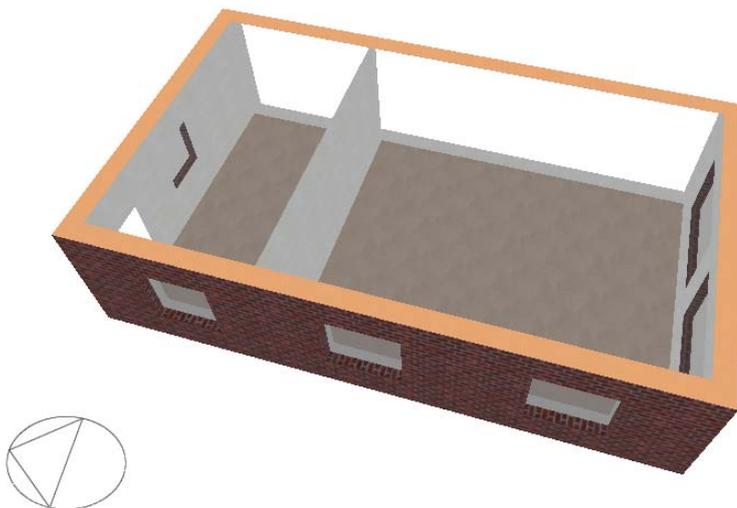


Abbildung 19: Modell Doppelhaushälfte: Zonierung Erdgeschoss in Eingangsbereich und Wohn- Ess- und Küchenbereich.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

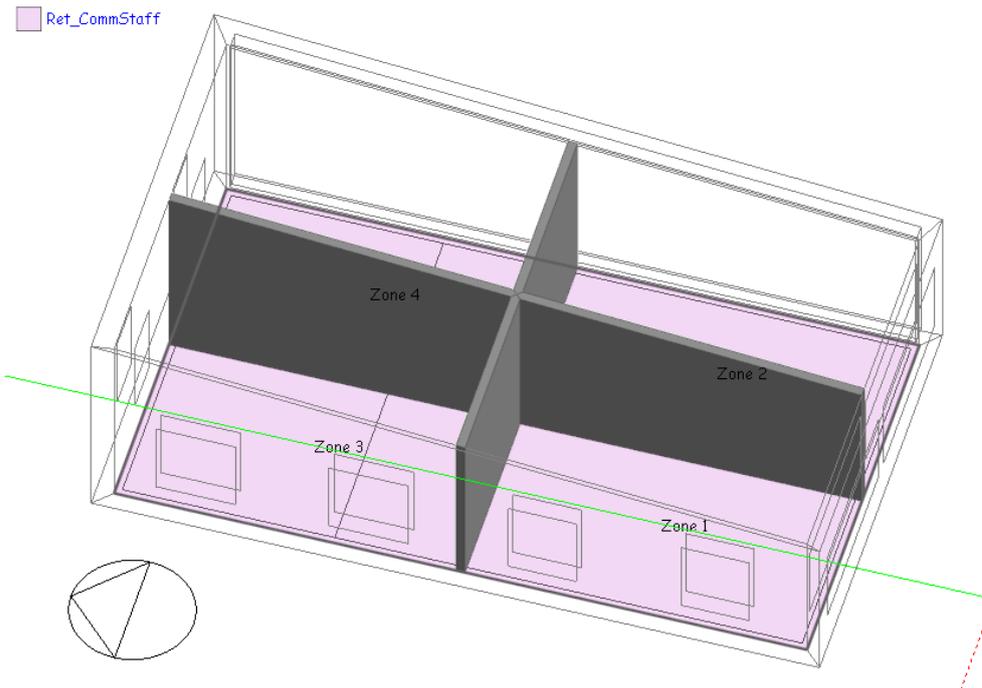


Abbildung 20: Modell Doppelhaushälfte: Zonierung Obergeschoss.

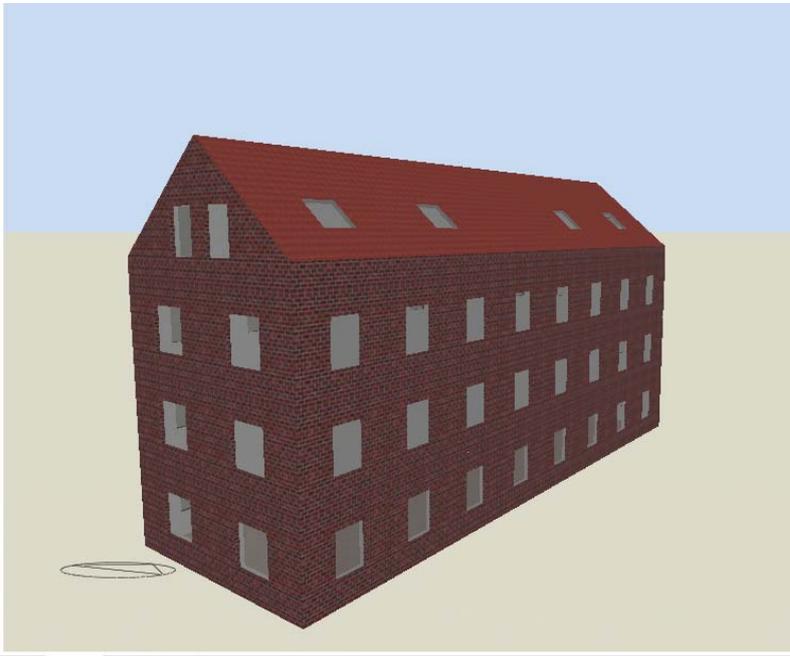


Abbildung 21: Südostansicht Modell Mehrfamilienhaus.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

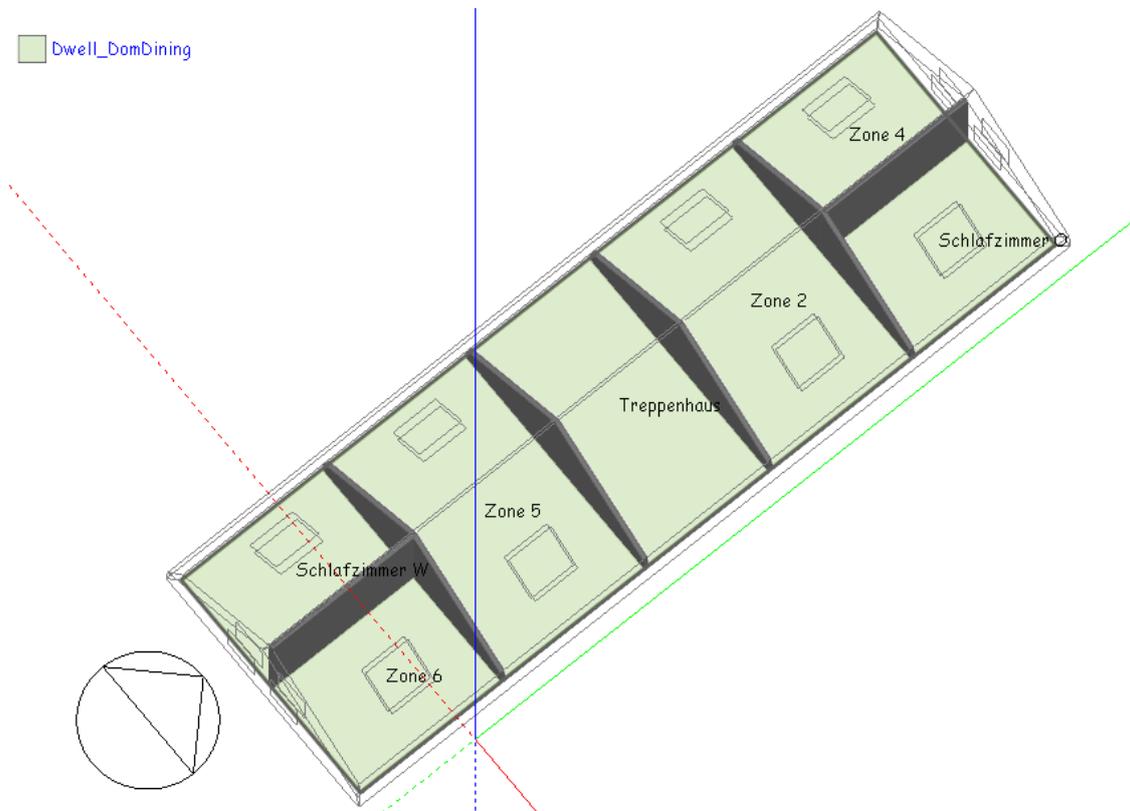


Abbildung 22: Modell Mehrfamilienhaus: Zonierung Dachgeschoss.

### Referenzgebäude Büro- und Verwaltungsgebäude

Da zum einen die Bandbreite bei den Klimasystemen in Büro- und Verwaltungsgebäuden viel größer ist als in Wohngebäuden und außerdem der prozentuale Anteil der klimatisierten Gebäude größer ist als im Wohngebäudebereich wurden bei der Gruppe der Büro- und Verwaltungsgebäude 6 Referenzgebäudetypen berücksichtigt. Einen wesentlichen Parameter bei der Untersuchung der Kühlung stellen der Verglasungsanteil und die Wirksamkeit des Sonnenschutzes dar. Einen weiteren Faktor stellt die Gebäudeform dar (vgl. Steinemann/Brunner: „Bauen wenn das Klima wärmer wird“). Sehr kompakte Gebäude weisen pro qm Nutzfläche einen geringeren Fassadenanteil auf als weniger kompakte Gebäude mit überwiegend fensternah angeordneten Arbeitsplätzen. In Deutschland wurde und wird die Form von Bürogebäuden jedoch meist so gewählt, dass möglichst alle Arbeitsplätze fensternah sind. Die Qualität der natürlichen Belichtung, Außensicht sowie die Möglichkeit der Fensterlüftung sind offensichtlich kulturbedingt in Deutschland von größerer Bedeutung als z.B. in den USA, England oder Frankreich. Dementsprechend wurden in der Vergangenheit häufig zweispännige Büroriegel, mit entlang eines zentralen Flurs angeordneten Einzel- und Gruppenbüros mit ca. 5 m bis 7 m Raumtiefe, errichtet. In jüngerer Vergangenheit ist vermehrt eine Durchsetzung von sogenannten Kombibüros zu beobachten. Dabei sind die Büroarbeitsplätze nach wie vor fassadennah

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

angeordnet. Die einzelnen Bürozellen sind hier jedoch weniger tief und offen gegenüber einer zentralen Kombizone gestaltet. Grundsätzlich führt das Kombibürokonzept zu ähnlichen Gebäudetiefen (12 m bis 17 m) wie das zweispännige Bürokonzept mit zentralem Flur. Durch eine zentrale Anordnung von Treppenhäusern, Aufzügen und WCs sowie anderer Nebenräume wie z.B. Lager kann zwar die Kompaktheit des Gebäudes verbessert werden, der für den Kühlenergieverbrauch entscheidende Parameter, nämlich die Menge der fassadennahen klimatisierten Nutzungszonen ändert sich hierbei jedoch nicht.

Unter Berücksichtigung der Gesamtheit der Bürogebäudetypen ist daher die Gebäudegröße und Form, in Deutschland anders als teilweise im Ausland, von eher untergeordneter Bedeutung. Für die Referenzgebäude wurde daher einheitlich ein typischer 6-geschossiger, 13 m breiter und 39 m langer Bürogebäuderiegel mit Flachdach gewählt.

In Variante 1 wird ein typischer (teilsanierter) Altbau mit Lochfassade ohne zentrale Klima und- Kühlsysteme dargestellt.

In den Varianten 2 und 3 wird das energetische und thermische Verhalten von älteren Vollklimaanlagen untersucht, wobei insbesondere auch der Einfluss des Verglasungsanteils bei dieser Baujahresgruppe dargestellt werden soll.

In Variante 4 wird eine der derzeit für den Neubau immer noch recht gängigen Kühlungsmöglichkeiten, die Kühldecke mit unterstützender Lüftung, untersucht.

Als typisches Klimasystem für den Neubau wird in den Varianten 5 und 6 eine Betonkernkühlung mit unterstützender Lüftung simuliert. Auch für dieses System soll der Einfluss unterschiedlicher möglicher Verglasungsanteile und Sonnenschutzqualitäten dargestellt werden.

Um eine möglichst realistische Nutzung darzustellen, werden die Gebäude aller Varianten in unterschiedliche Nutzungszonen mit unterschiedlichen Belegungsdichtetypen eingeteilt (siehe Abbildung 27).

Die im Kühlfall angestrebte operative Zieltemperatur beträgt bei allen klimatisierten Zonen 24,5 °C wobei gemäß Kategorie B (normales Maß an Erwartungen gem. DIN EN ISO 7730, vgl. Tabelle 3) eine Abweichung von 1,5 °C auf 26 °C zugelassen wird.

In den folgenden Tabellen sind die wesentlichen, bei den Simulationen berücksichtigten Parameter zusammengefasst.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Tabelle 8: Spezifikationen der Kühlsysteme der Bürogebäudevarianten 5 bis 7

	<b>Variante 5: Bürogebäude mit Lochfassade, Altbau (1960) teilsaniert ohne zentrale Kühlung</b>	<b>Variante 6: Bürogebäude mit Lochfassade, Altbau (1970) teilsaniert mit Vollklimaanlage</b>	<b>Variante 7: Bürogebäude mit Glasfassade, Altbau (1978) teilsaniert mit Vollklimaanlage</b>
Kühlsystem	Kein	Klimaanlage Kälteerzeugung mittels wassergekühlter Kompressionskältemaschi- ne	Klimaanlage Kälteerzeugung mittels wassergekühlter Kompressionskältemaschi- ne
Jahreskälte- leistungszahl (SEER)	---	2,851	2,851
Spez. Hilfsenergiebedarf für Lüftungskühlung	---	1,5 W/m <sup>3</sup> (Hochdruckverteilstrom)	1,5 W/m <sup>3</sup> (Hochdruckverteilstrom)
Auslegungsluft- wechsel in den klimatisierten Bereichen	---	Variabel zwischen 3 1/h (Grundlüftung) und 10 1/h bei voller Kühlleistung	Variabel zwischen 3 1/h (Grundlüftung) und 20 1/h bei voller Kühlleistung
Weitere, systemspezifische Kenndaten	keine	Systemtemperaturen: Kühlwasserein-/ austrittstemperatur: 40/45 °C Kaltwasser- austrittstemperatur: 6 °C Zulufttemperatur im Kühlfall 16 °C	Systemtemperaturen: Kühlwasserein-/ austrittstemperatur: 40/45 °C Kaltwasser- austrittstemperatur: 6 °C Zulufttemperatur im Kühlfall 16 °C

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

### Bemerkungen zur Tabelle 8:

1) Die berücksichtigte Jahresarbeitszahl für die Kälteerzeugung wurde in Anlehnung an die DIN V 18599-7 entsprechend der Kenndaten für eine wassergekühlte Kompressionskältemaschine mit Scrollverdichter mit taktender Zweipunkteregelung (EIN/AUS-Betrieb) ohne Feuchteanforderung und Trockenrückkühler gewählt (Nennkälteleistungszahl: 3,1 x Teillastfaktor: 0,92 = Jahresarbeitszahl: 2,85) . Bei der Berechnung des Endenergiebedarfs für Kühlung wurde der, stundenweise bedarfsabhängig ermittelte Hilfsenergiebedarf für die Lüftungskühlung (abzüglich des Lüftungsenergiebedarfs für die Grundlüftung) berücksichtigt. Nicht berücksichtigt wurde ein möglicher Mehrenergieverbrauch durch schlecht gewartete Anlagen, Fehleinstellung der Steuerung sowie thermische Energieverluste, die über die Verteilung entstehen.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Tabelle 9: Spezifikationen der Kühlsysteme der Bürogebäudevarianten 8 bis 10

	<b>Variante 8:</b> <b>Bürogebäude mit Glasfassade, Altbau (1982) teilsaniert mit Kühldecken</b>	<b>Variante 9:</b> <b>Bürogebäude mit Glasfassade, Neubau (2005) mit Betonkernkühlung</b>	<b>Variante 10:</b> <b>Bürogebäude mit Lochfassade, Neubau (2005) mit Betonkernkühlung</b>
Kühlsystem	Kühldecken Kälteerzeugung mittels wassergekühlter Kompressionskältemaschine	Betonkernkühlung Kälteerzeugung mittels wassergekühlter Kompressionskältemaschine	Betonkernkühlung Kälteerzeugung mittels wassergekühlter Kompressionskältemaschine
Jahreskälteleistungszahl (SEER)	3,41	4,72	4,72
Auslegungsluftwechsel in den klimatisierten Bereichen	Konstant 3 1/h während der Betriebszeit	Konstant 2 1/h während der Betriebszeit	Konstant 2 1/h während der Betriebszeit
Weitere, system-spezifische Kenndaten	Systemtemperaturen: Kühlwasserein/austrittstemperatur: 40/45 °C Kaltwasseraustrittstemperatur: 14 °C	Systemtemperaturen: Kühlwasserein/austrittstemperatur: 40/45 °C Kaltwasseraustrittstemperatur: 14 °C	Systemtemperaturen: Kühlwasserein/austrittstemperatur: 40/45 °C Kaltwasseraustrittstemperatur: 14 °C

### Bemerkungen zur Tabelle 8:

1) Die berücksichtigte Jahresarbeitszahl für die Kälteerzeugung wurde in Anlehnung an die DIN V 18599-7 entsprechend der Kenndaten für eine wassergekühlte Kompressionskältemaschine mit Scrollverdichter mit taktender Zweipunktregelung

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

(EIN/AUS-Betrieb) und Trockenrückkühler gewählt (Nennkälteleistungszahl: 3,7 x Teillastfaktor: 0,92 = Jahresarbeitszahl: 3,4) . Gegenüber den Kältemaschinen, die bei den Varianten mit Klimaanlage berücksichtigt wurden, führt die mögliche Erhöhung der Kaltwassertemperatur bei Flächenkühlungssystemen zu einer deutlichen Verbesserung der resultierenden Jahresarbeitszahl. Bei der Berechnung des Endenergiebedarfs für Kühlung wurde der, stundenweise bedarfsabhängig ermittelte Hilfsenergiebedarf für die Pumpenenergie für das Wasserverteilnetz sowie der Energiebedarf für den Rückkühler (Berechnung in Anlehnung an die die DIN V 18599-7) berücksichtigt. Nicht berücksichtigt wurde ein möglicher Mehrenergieverbrauch durch schlecht gewartete Anlagen, Fehleinstellung der Steuerung sowie thermische Energieverluste, die über die Verteilung entstehen.

2) Die Jahresarbeitszahl für die Kälteerzeugung der Betonkernkühlung wurde in Anlehnung an die DIN V 18599-7, entsprechend der Kenndaten für eine wassergekühlte Kompressionskältemaschine mit mehrstufig schaltbarem Scrollverdichter und Trockenrückkühler berechnet (Nennkälteleistungszahl: 3,7) stundenfein betriebszustandsabhängig berechnet. Für Berechnung Stundenwerte für die Leistungszahl wurde eine linearere Abhängigkeit von der Außentemperatur berücksichtigt. Die maximale Leistungszahl wurde dabei mit 4,8 unterhalb einer Außentemperatur von 26 °C, die minimale Leistungszahl oberhalb einer Außentemperatur von 32 °C (Auslegungsbedingungen) wurde gem. DIN V 18559 mit 3,7 angenommen.

Anmerkung: der resultierende Wert der Jahresarbeitszahl entspricht dem Wert gem. DIN V 18559 (=> SEER: 4,7).

Bei der Berechnung des Endenergiebedarfs für Kühlung wurde der, stundenweise bedarfsabhängig ermittelte Hilfsenergiebedarf für die Pumpenenergie für das Wasserverteilnetz sowie der Energiebedarf für den Rückkühler (Berechnung in Anlehnung an die die DIN V 18599-7) berücksichtigt. Der Hilfsenergiebedarf für Kaltwasserverteilung ist mit einem Anteil von bis zu 50 % am Endenergiebedarf für Kühlung von entscheidender Bedeutung für die Gesamtbeurteilung der Effizienz von modernen Betonkernkühlungssystemen.

Nicht berücksichtigt wurde ein möglicher Mehrenergieverbrauch durch schlecht gewartete Anlagen, Fehleinstellung der Steuerung sowie thermische Energieverluste, die über die Verteilung entstehen.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Energienstandard	Variante 5 Altbau		Variante 6 Altbau		Variante 7 Altbau	
	teilsaniert (Dach, Fenster)		Lochfassade Klimanlage		Glasfassade Klimanlage	
Baujahr	1960		1970		1976	
beheizte Wohnfläche bzw. NGF	2434 m <sup>2</sup>		2434 m <sup>2</sup>		2434 m <sup>2</sup>	
Geschosshöhe	3.5		3.5		3.5	
beheiztes Gebäudevolumen nach EnEV	10647 m <sup>3</sup>		10647 m <sup>3</sup>		10647 m <sup>3</sup>	
Gebäudenutzfläche gem. EnEV	3407 m <sup>2</sup>		3407 m <sup>2</sup>		3407 m <sup>2</sup>	
Anzahl Geschosse	6		6		6	
Anzahl Zonen pro Geschoss	12		12		12	
<b>Oberster Gebäudeabschluss</b>						
Art	Flachdach		Flachdach		Flachdach	
Konstruktion	Beton mit Wärmedämmung		Beton mit Wärmedämmung		Beton mit Wärmedämmung	
Fläche	507 m <sup>2</sup>		507 m <sup>2</sup>		507 m <sup>2</sup>	
U-Wert ist	0.5 W/(m <sup>2</sup> K)		0.5 W/(m <sup>2</sup> K)		0.5 W/(m <sup>2</sup> K)	
<b>Fassaden</b>						
Bezeichnung	Außenwände		Außenwände		Außenwände	
Nordfassade	273		273		96	
Ostfassade	819		819		245	
Südfassade	273		273		96	
Westfassade	819		819		245	
U-Wert	1 W/(m <sup>2</sup> K)		1,1 W/(m <sup>2</sup> K)		1,1 W/(m <sup>2</sup> K)	
<b>Unterer Gebäudeabschluss</b>						
Bezeichnung	Kellerdecken		Kellerdecken		Kellerdecken	
Fläche	507 m <sup>2</sup>		507 m <sup>2</sup>		507 m <sup>2</sup>	
U-Wert ist	1 W/(m <sup>2</sup> K)		1 W/(m <sup>2</sup> K)		1 W/(m <sup>2</sup> K)	
A/V	0.30		0.30		0.16	
<b>Transparente Bauteile</b>						
Text	Isolierverglasung in altem Zwei-kammer Kunststoffrahmen		Isolierfestverglasung in altem Zwei-kammer Kunststoffrahmen		Getönte Zweischeibenfestverglasung in Alurahmen	
Fenster Nord	103 m <sup>2</sup>		103 m <sup>2</sup>		245 m <sup>2</sup>	
Fenster Ost	332 m <sup>2</sup>		332 m <sup>2</sup>		762 m <sup>2</sup>	
Fenster Süd	103 m <sup>2</sup>		103 m <sup>2</sup>		245 m <sup>2</sup>	
Fenster West	332 m <sup>2</sup>		332 m <sup>2</sup>		762 m <sup>2</sup>	
Dachfenster Süd	0 m <sup>2</sup>		0 m <sup>2</sup>		0 m <sup>2</sup>	
Dachfenster Ost	0 m <sup>2</sup>		0 m <sup>2</sup>		0 m <sup>2</sup>	
Dachfenster West	0 m <sup>2</sup>		0 m <sup>2</sup>		0 m <sup>2</sup>	
Dachfenster Nord	0 m <sup>2</sup>		0 m <sup>2</sup>		0 m <sup>2</sup>	
U-Wert	3.00 W/(m <sup>2</sup> K)		3.00 W/(m <sup>2</sup> K)		4.30 W/(m <sup>2</sup> K)	
g-Wert (Glas, senkrechter Einf.)	0.70		0.70		0.35	
<b>Gebäudetechnik</b>						
<b>Sonnenschutz</b>						
Typ	kein, lediglich Rollläden		innenliegende Stores		innenliegende Stores	
Steuerung	manuell		manuell		manuell	
effektiver Reduktionfaktor fc	1.00		0.95		0.95	
<b>Lüftung</b>						
Art	Fensterlüftung		zentrale Klimaanlage (Konstantvolumen)		zentrale Klimaanlage (Konstantvolumen)	
Luftwechsel in Büros normal	0.50 1/h		3.00 1/h		3.00 1/h	
Infiltration	0.50 1/h		0.30 1/h		0.30 1/h	
Luftwechsel in Büros erhöht (Sommer tagsüber)	1.00 1/h		3.00 1/h		3.00 1/h	
Nachlüftungszuschlag	0.00 1/h		0.00 1/h		0.00 1/h	
<b>Heizung</b>						
Heizwärmeübergabe	Heizkörper Thermostatventile (2K)		zentrale Klimaanlage		zentrale Klimaanlage	
<b>Kühlung</b>						
Typ	keine		zentrale Klimaanlage		zentrale Klimaanlage	
gekühlter/ überhitzungsgefährdeter Bereich	alle Büro- und Besprechungsräume		alle Büro- und Besprechungsräume		alle Büro- und Besprechungsräume	
gekühlte/ überhitzungsgefährdete Fläche	keine m <sup>2</sup>		ca. 2000 m <sup>2</sup>		ca. 2000 m <sup>2</sup>	
Fensterflächen zu gekühlten / überhitzungsgefährdeten Bereichen	ca. 800 m <sup>2</sup>		ca. 800 m <sup>2</sup>		ca. 800 m <sup>2</sup>	
Zieltemperatur (operativ)	24.5 °C		24.5 °C		24.5 °C	
Betriebszeit Kühlung	7-18 Uhr		7-18 Uhr		7-18 Uhr	
Entfeuchtung	keine		ja		ja	
Zielfeuchte	keine		50%		50%	
Innere Lasten <b>Büroräume</b> :	Büro: 1 Pers. a 75 W/15 m <sup>2</sup> + 1 PC a 120 W/15 m <sup>2</sup> Betriebszeit 8 bis 18 Uhr 2 h Mittagspause mit reduzierter Last		Büro: 1 Pers. a 75 W/15 m <sup>2</sup> + 1 PC a 120 W/15 m <sup>2</sup> Betriebszeit 8 bis 18 Uhr 2 h Mittagspause mit reduzierter Last		Büro: 1 Pers. a 75 W/15 m <sup>2</sup> + 1 PC a 120 W/15 m <sup>2</sup> Betriebszeit 8 bis 18 Uhr 2 h Mittagspause mit reduzierter Last	
Innere Lasten <b>Besprechungsräume</b> :	Beleuchtung, Betriebszeit 100 %: 9-10 Uhr, 50 %: 12-14 Uhr, 100 %, 14 -1 7Uhr		Beleuchtung, Betriebszeit 100 %: 9-10 Uhr, 50 %: 12-14 Uhr, 100 %, 14 -1 7Uhr		Beleuchtung, Betriebszeit 100 %: 9-10 Uhr, 50 %: 12-14 Uhr, 100 %, 14 -1 7Uhr	
Innere Lasten <b>Sonstige Räume (Lager, Treppenhäuser, Flure, WC)</b> :	7 W/m <sup>2</sup> z.B. Beleuchtung von 7 bis 19 Uhr		7 W/m <sup>2</sup> z.B. Beleuchtung von 7 bis 19 Uhr		7 W/m <sup>2</sup> z.B. Beleuchtung von 7 bis 19 Uhr	

Abbildung 23: Weitere Grundlagen der untersuchten Referenz-Büro- und Verwaltungsgebäudevarianten 5 bis 7.

# Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Energiestandard	Variante 8		Variante 9		Variante 10	
	Altbau		Neubau		Neubau	
	Glasfassade Kühldecken		Lochfassade Betonkernaktivierung mit UL		Glasfassade Betonkernaktivierung mit UL	
Baujahr	-	1962	2005	2005	2005	2005
beheizte Wohnfläche bzw. NGF	m²	2434	2434	2434	2434	2434
Geschosshöhe	m²	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
beheiztes Gebäudevolumen	m³	10647	10647	10647	10647	10647
Gebäudenutzfläche gem. EnEV	m²	3407	3407	3407	3407	3407
Anzahl Geschosse	-	6	6	6	6	6
Anzahl Zonen pro Geschoss	-	12	12	12	12	12
<b>Oberster Gebäudeabschluss</b>						
Art	-	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach
Konstruktion		Beton mit Wärmedämmung				
Fläche	m²	507	507	507	507	507
U-Wert ist	W/(m²K)	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Fassaden</b>						
Bezeichnung	-	Außenwände	Außenwände	Außenwände	Außenwände	Außenwände
Nordfassade		96	96	96	96	96
Ostfassade		245	245	245	245	245
Südfassade		96	96	96	96	96
Westfassade	m²	245	245	245	245	245
U-Wert	W/(m²K)	1	0,35	0,35	0,35	0,35
<b>Unterer Gebäudeabschluss</b>						
Bezeichnung	-	Kellerdecken	Kellerdecken	Kellerdecken	Kellerdecken	Kellerdecken
Konstruktion		Beton mit Trittschalldämmung				
Fläche	m²	507	507	507	507	507
U-Wert ist	W/(m²K)	1	0,4	0,4	0,4	0,4
A/V		0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
<b>Transparente Bauteile</b>						
Text		Getönte Zweifelscheibenfestverglasung in Alurahmen	neutrale Sonnenschutzverglasung in Kunststoffrahmen Standard	neutrale Sonnenschutzverglasung in Kunststoffrahmen Standard	neutrale Sonnenschutzverglasung in Kunststoffrahmen Standard	Standard
Fenster Nord	m²	245	103	103	245	245
Fenster Ost	m²	762	332	332	762	762
Fenster Süd	m²	245	103	103	245	245
Fenster West	m²	762	332	332	762	762
Dachfenster Süd	m²	0	0	0	0	0
Dachfenster Ost	m²	0	0	0	0	0
Dachfenster West	m²	0	0	0	0	0
Dachfenster Nord	m²	0	0	0	0	0
U-Wert	W/(m²K)	4,30	1,70	1,70	1,70	1,70
g-Wert (Glas, senkrechter Einf.)	-	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
<b>Gebäudetechnik</b>						
<b>Sonnenschutz</b>						
Typ		innenliegende Stores	externe Jalousien	externe Jalousien	externe Jalousien	externe Jalousien
Steuerung	-	manuell	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch
effektiver Reduktionsfaktor fc	-	0,95	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Lüftung</b>						
Art		zentrale Lüftungsanlage Zuluft ganzjährig vorbehandelt auf 20 °C				
Luftwechsel in Büros normal	1/h	2,50	2,00	2,00	2,00	2,00
Infiltration	1/h	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10
Luftwechsel in Büros erhöht (Sommer tagsüber)	1/h	3,50	3,00	3,00	3,00	3,00
Nachlüftungszuschlag	1/h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Heizung</b>						
Heizwärmeübergabe		Heizkörper Thermostatventile (2K)	Heizkörper Thermostatventile (1K)	Heizkörper Thermostatventile (1K)	Heizkörper Thermostatventile (1K)	Heizkörper Thermostatventile (1K)
<b>Kühlung</b>						
Typ		Kühldecken	Betonkernaktivierung	Betonkernaktivierung	Betonkernaktivierung	Betonkernaktivierung
gekühlter / überhitzungsgefährdeter Bereich		alle Büro- und Besprechungsräume				
gekühlter / überhitzungsgefährdeter Fläche	m²	ca. 2000 m²	ca. 2000 m²	ca. 2000 m²	ca. 2000 m²	ca. 2000 m²
Fensterflächen zu gekühlten / überhitzungsgefährdeten Bereichen	m²	ca. 800 m²	ca. 800 m²	ca. 800 m²	ca. 800 m²	ca. 800 m²
Zieltemperatur (operativ)	°C	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
Betriebszeit Kühlung		7-18 Uhr				
Entfeuchtung		keine	keine	keine	keine	keine
Zielfeuchte	%	keine	keine	keine	keine	keine
Innere Lasten <b>Bürosräume</b> :		Büro: 1 Pers. a 75 W/15 m² + 1 PC a 120 W/15 m² Betriebszeit 8 bis 18 Uhr 2 h Mittagspause mit reduzierter Last	Büro: 1 Pers. a 75 W/15 m² + 1 PC a 120 W/15 m² Betriebszeit 8 bis 18 Uhr 2 h Mittagspause mit reduzierter Last	Büro: 1 Pers. a 75 W/15 m² + 1 PC a 120 W/15 m² Betriebszeit 8 bis 18 Uhr 2 h Mittagspause mit reduzierter Last	Büro: 1 Pers. a 75 W/15 m² + 1 PC a 120 W/15 m² Betriebszeit 8 bis 18 Uhr 2 h Mittagspause mit reduzierter Last	Büro: 1 Pers. a 75 W/15 m² + 1 PC a 120 W/15 m² Betriebszeit 8 bis 18 Uhr 2 h Mittagspause mit reduzierter Last
Innere Lasten <b>Besprechungsräume</b> :		Beleuchtung, Betriebszeit 100 %: 9-10 Uhr, 50 %: 12-14 Uhr, 100 %: 14 -1 7Uhr	Beleuchtung, Betriebszeit 100 %: 9-10 Uhr, 50 %: 12-14 Uhr, 100 %: 14 -1 7Uhr	Beleuchtung, Betriebszeit 100 %: 9-10 Uhr, 50 %: 12-14 Uhr, 100 %: 14 -1 7Uhr	Beleuchtung, Betriebszeit 100 %: 9-10 Uhr, 50 %: 12-14 Uhr, 100 %: 14 -1 7Uhr	Beleuchtung, Betriebszeit 100 %: 9-10 Uhr, 50 %: 12-14 Uhr, 100 %: 14 -1 7Uhr

Abbildung 24: Weitere Grundlagen der untersuchten Referenz-Büro- und Verwaltungsgebäudevarianten 8 bis 10

# Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

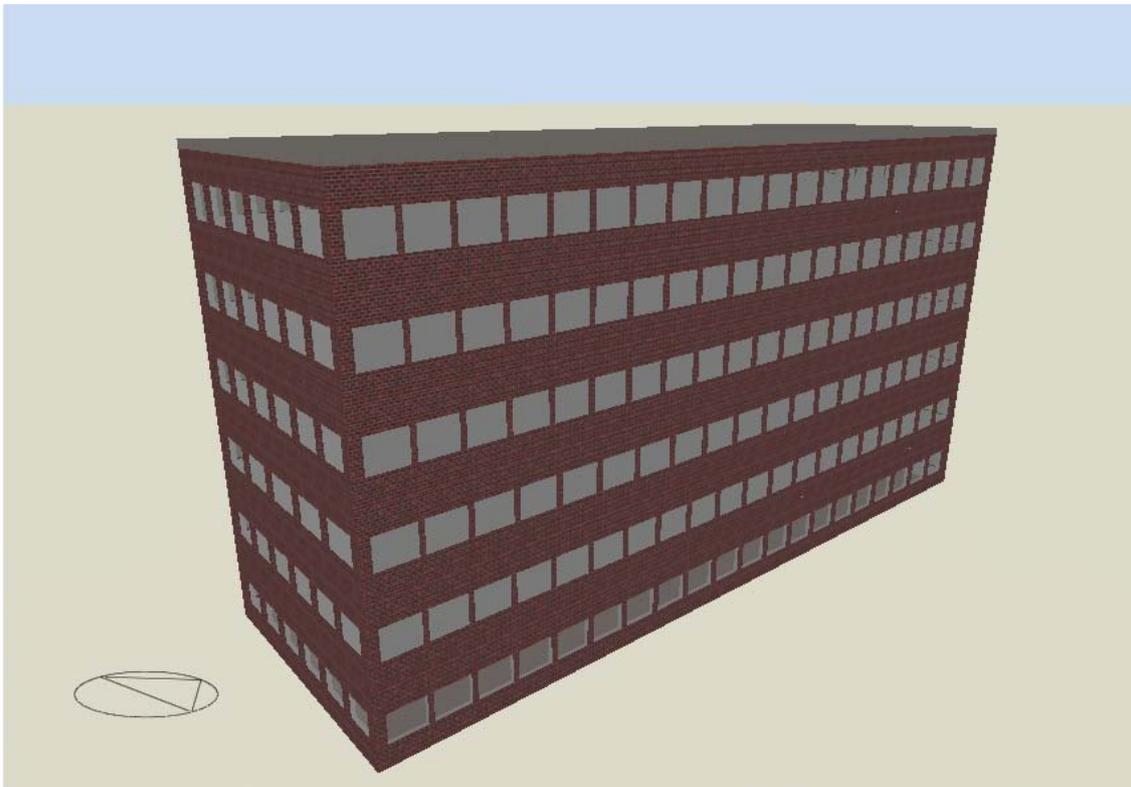


Abbildung 25: Südostansicht Modell Bürogebäude.

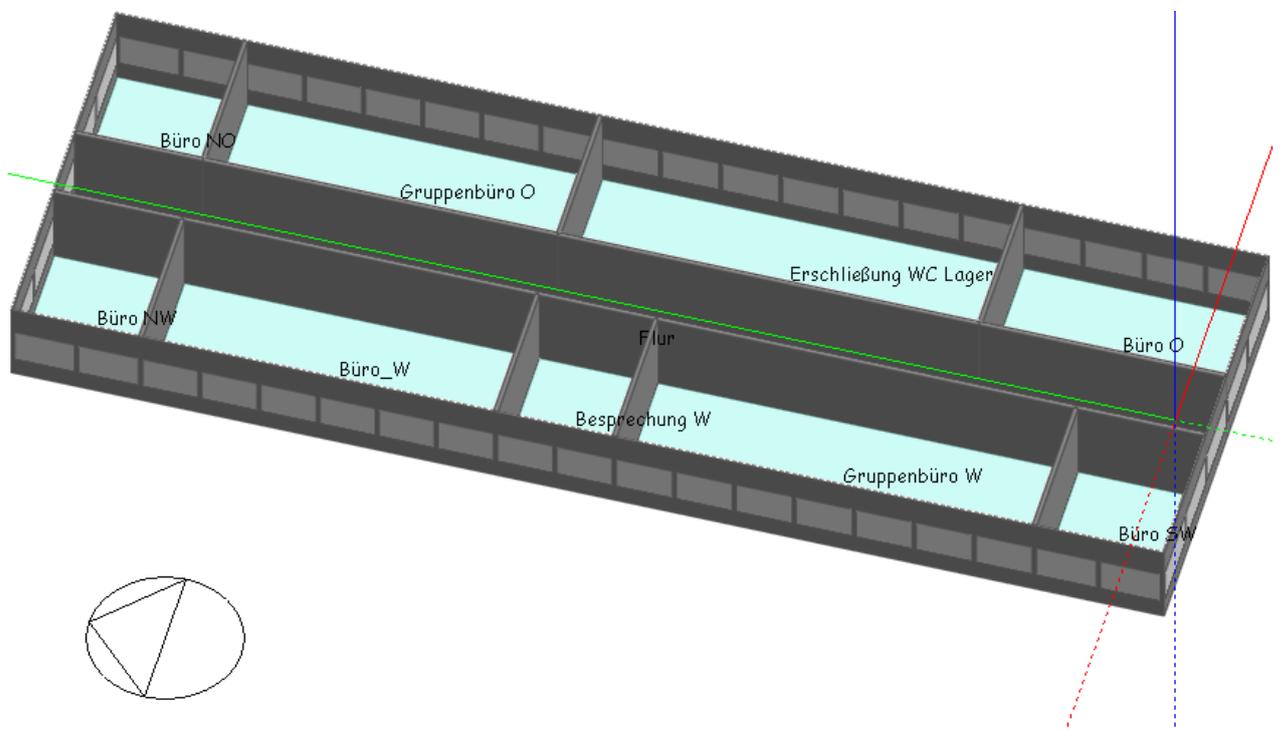


Abbildung 26: Modell Mehrfamilienhaus: Zonierung Regelgeschoss.

### 3.2.2 Varianten Klimaeinfluss

Der Gebäudekühlbedarf ist, wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, im Wesentlichen abhängig vom Umgebungsklima, insbesondere den sommerlichen Temperaturen. In Deutschland werden gem. DIN 4108-2 drei Klimaregionen unterschieden (vgl. Abbildung 20). Ein Großteil der Ballungszentren (Berlin, Leipzig, Frankfurt, Mannheim, Köln, Düsseldorf, etc.) befindet sich in der wärmsten, sommerheißen Klimaregion A. In Abbildung 31 sind die Überschreitungshäufigkeiten von Außentemperaturgrenzen für ausgewählte Städte und Klimadatensätze dargestellt.

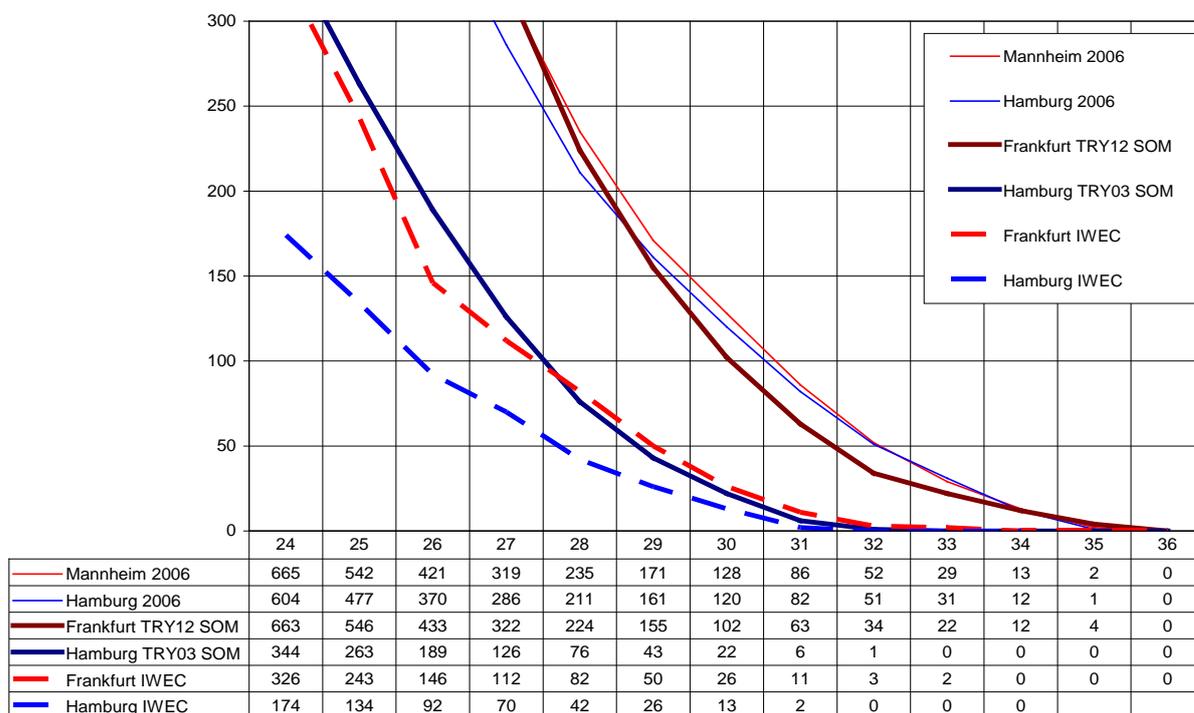


Abbildung 27: Überschreitungshäufigkeiten von Außentemperaturgrenzen ausgewählter Klimadatensätze

Quellen: IWEC (International Weather for Energy Calculations)-Wetterdaten, Datenbasis 1982 bis 1999; Deutscher Wetterdienst: Testreferenzjahre mit Extremsommerperioden sowie Messwerte für die Jahre 2006, vgl. [DWD 2006].

Signifikante Unterschiede ergeben sich beim Vergleich zwischen den Regionen (hier ausgewählt Frankfurt und Hamburg) und der Variabilität unterschiedlicher Jahre.

Bei extrem warmen Sommern, wie sie künftig häufiger zu erwarten sind (z.B. in Folge von urbaner Hitzeinselbildung und Klimawandel, vgl. Kapitel 3.1.6), kommt es zu einem starken Anstieg der Stunden und Tage mit heißen Temperaturen.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Derzeit liegen für Deutschland für Gebäudesimulationsberechnungen keine geeigneten Testreferenzjahre vor, die den aktuellen bzw. künftigen Klimawandel berücksichtigen. Der Bezugszeitraum der aktuellen TRY- Datensätze ist die 30 jährige Periode von 1961 bis 1990. Vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) wurde der DWD beauftragt aktualisierte TRY-Datensätze auf Basis des Zeitraumes 1988 bis 2007 zu erstellen. Diese Datensätze waren jedoch zum Abschluss des Projektes noch nicht fertig gestellt. Die Entwicklung von Datensätzen, die den künftigen Klimawandel berücksichtigen erfolgt ggf. in einem Nachfolgeprojekt mit derzeit unbekanntem Fertigstellungstermin. Um im Rahmen dieses Forschungsprojektes dennoch den Einfluss der Klimavariabilität aufzuzeigen, wurden bei den Simulationen folgende Varianten untersucht:

### 1. Referenzszenario 1 (FFM):

IWEC Klimadatensatz für Frankfurt (Standort Flughafen, Datenbasis 1982 bis 1999)

stellvertretend für das aktuelle durchschnittliche Klima der Klimaregion „sommerheiß“ ohne Hitzeinseleinfluss

### 2. Referenzszenario 2 (HH):

IWEC Klimadatensatz für Hamburg (Datenbasis 1982 bis 1999)

stellvertretend für das aktuelle durchschnittliche Klima der Klimaregion „gemäßigt bis sommerkühl“ ohne Hitzeinseleinfluss

### 3. Vergleichsklima 1 (FFMX):

DWD Klimadatensatz TRY12 mit integrierter extremer Sommerperiode

stellvertretend für einen heißen Sommer in der Klimaregion „sommerheiß“

### 4. Vergleichsklima 2 (HHX):

DWD Klimadatensatz TRY03 mit integrierter extremer Sommerperiode

stellvertretend für einen heißen Sommer in der Klimaregion „gemäßigt bis sommerkühl“

Obwohl die DWD Klimadatensätze mit extremen Sommerperioden lediglich Zehnjahresextremwerte des Zeitraumes von 1961 bis 1990 darstellen, sind diese jedoch derzeit offensichtlich die am besten geeignete Datengrundlage, um mittels thermischer Gebäudesimulationen den Einfluss des Klimas auf die Gebäudekühlung aufzuzeigen.

### 3.2.3 Ergebnisse der Simulationen

#### Varianten Referenzklima

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst.

Zunächst fällt auf, dass sich für die beiden Standorte signifikante Unterschiede bei dem Kühlenergiebedarf und den Überschreitungsdauern ergeben. Der erforderliche Kühlenergiebedarf ist für den Referenzstandort Frankfurt ca. doppelt so hoch wie der des Referenzstandortes Hamburg, die Überschreitungshäufigkeiten in Variante 4 beinahe dreimal so hoch.

Den Ergebnissen der Simulationen für Wohngebäude ist drüber hinaus zu entnehmen, dass im Wohngebäudebereich die Volllaststunden (= Kühlenergiebedarf/Maximalleistung-Kühlaggregat) der aktiven Kühlgeräte (Split und Kompaktgerät) mit weniger als 200 h/a verhältnismäßig niedrig sind.

Anhand des Energieflussdiagramms der hierfür beispielhaft ausgewählten Variante 1 (Abbildung 28) wird deutlich, dass bei Wohngebäuden die inneren Lasten im Vergleich zu den solaren Einträgen eine untergeordnete Rolle spielen.

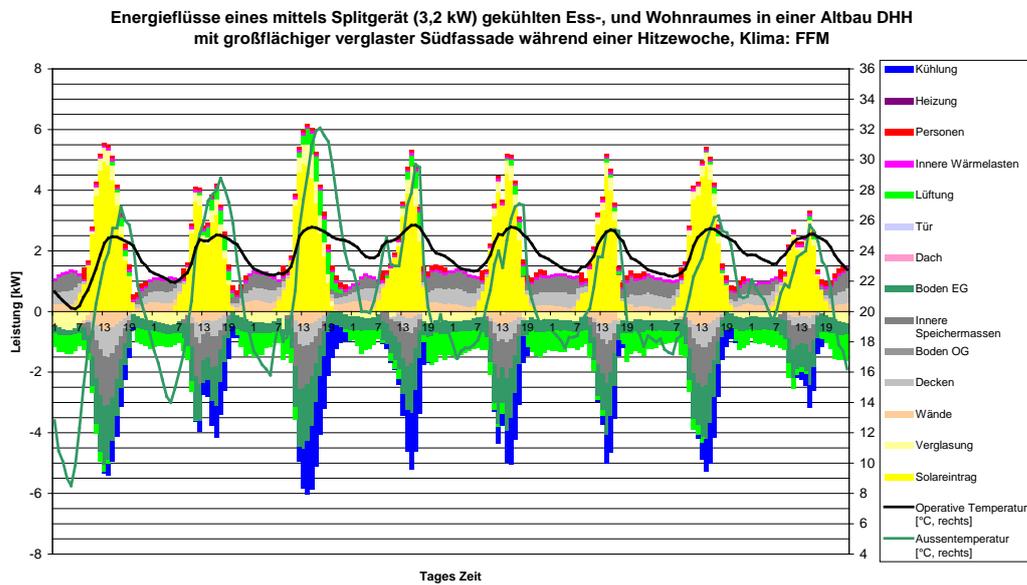


Abbildung 28: Energieflüsse eines über ein Splitklimagerät gekühlten Wohnraumes (Variante 1) während einer Sommerwoche

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

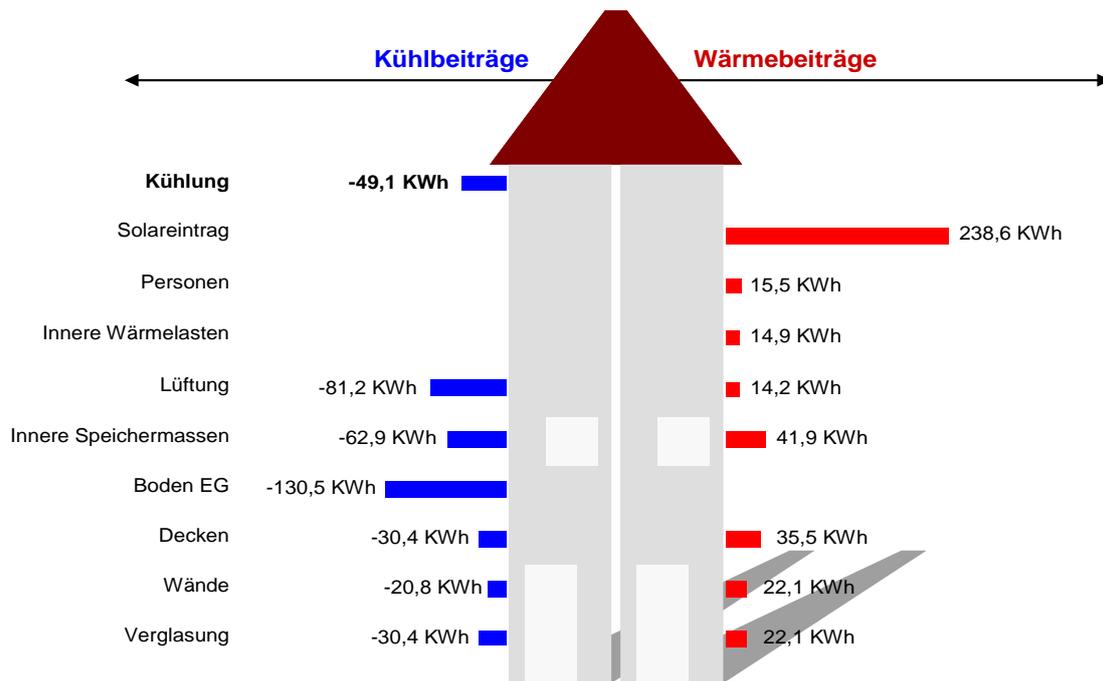


Abbildung 29: Summen-Diagramm der Energieflüsse eines über ein Splitklimagerät gekühlten Wohnraumes (Variante 1) während einer Sommerwoche

Die Fußbodenkühlung über Erdsonden in der DHH Neubauvariante ist in ihrer Leistung mit maximal 25 W/m<sup>2</sup> sehr begrenzt und eine Regelung aufgrund der thermischen Trägheit des Systems nicht einfach. Dennoch ist die Leistung offensichtlich ausreichend, um für ein behagliches sommerliches Raumklima zu sorgen. Der dafür erforderliche Endenergiebedarf (Strom) hält sich, trotz der beschriebenen Regelungsprobleme und der Kühlung aller Räume aufgrund der hohen Anlageneffizienz (resultierende Jahresleistungszahlen: HH: 4,3 und FFM: 7) in Grenzen. Bemerkenswert ist außerdem, dass es häufig, wie angenommen, bei einem nicht der aktuellen EnEV entsprechenden oder unzureichend geregelten Sonnenschutz, selbst beim sehr gut gedämmten Neubau (Variante 4), im Dachbereich zu unakzeptabel hohen sommerlichen Raumtemperaturen kommt.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Tabelle 10: Übersicht der Ergebnisse der Wohngebäudevarianten für die Referenzklimastandorte Frankfurt am Main (FFM) und Hamburg (HH)

Parameter	Region / Klima	1 - DHH Altbau Splitgerät im Hauptraum	2 - DHH Neubau Fußbodenkühlung	3 - MFH Altbau Kompaktgerät in Schlafzi.	4 - MFH Neubau ohne Kühlung Schlafzimmer mit Westdachschräge
Klimatisierte Fläche		56 m <sup>2</sup>	140 m <sup>2</sup>	40 m <sup>2</sup>	20 m <sup>2</sup>
Kühlenergieverbrauch	HH	173 kWh/a	878 kWh/a	563 kWh/a	0 kWh/a
	FFM	342 kWh/a	1629 kWh/a	951 kWh/a	0 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	14 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	12 kWh/(m <sup>2</sup> a)	24 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Kühlenergieverbrauch Endenergie	HH	55 kWh/a	203 kWh/a	166 kWh/a	0 kWh/a
	FFM	107 kWh/a	232 kWh/a	283 kWh/a	0 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch Endenergie	HH	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	7 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Maximale empfundene Temperatur	HH	26,1 °C	24,9 °C	<b>27,0 °C</b>	<b>33,8 °C</b>
	FFM	26,2 °C	24,7 °C	<b>26,7 °C</b>	<b>32,3 °C</b>
jährliche Überschreitungsstunden von 26°C	HH	6 h/a	0 h/a	<b>26 h/a</b>	<b>109 h/a</b>
	FFM	6 h/a	0 h/a	<b>29 h/a</b>	<b>309 h/a</b>
Erf. Größe d. Kühlaggregats	HH	3,0 kW	3,8 kW	7,2 kW	0,0 kW
	FFM	3,2 kW	3,7 kW	6,2 kW	0,0 kW

### Bemerkungen:

1. Die Parameter Maximale Operative Temperatur (T<sub>max</sub> f. Klima FFM) und Jährliche Überschreitungsdauern (>26 °C f. Klima FFM) beziehen sich jeweils auf die gekühlten Zonen.
2. Der bei Variante 1 genannte Hauptraum verfügt, wie in dem Kapitel zuvor beschrieben, über eine großflächige Südverglasung, befindet sich im Erdgeschoss und umfasst die Bereiche Wohnen und Essen sowie eine offene Küche.
3. Die unter Variante 3 genannten jeweils 20 m<sup>2</sup> großen Schlafzimmer befinden sich im Dachgeschoß. Die entsprechenden Dachschrägen sind, wie in dem Kapitel zuvor beschrieben, einmal nach Osten und einmal Westen orientiert angenommen. Der Kühlenergiebedarf des nach Westen orientierten Schlafzimmers ist ca. 30 % höher als der des nach Osten orientierten.
4. Fett gekennzeichnet sind Werte, die als Behaglichkeitseinschränkung zu beurteilen sind, gleichzeitige rote Einfärbung bedeuteten nicht tolerierbare Behaglichkeitseinschränkungen

Noch kritischer als bei dem akklimatisierten Wohngebäude stellt sich die Situation für ein nichtklimatisiertes Bürogebäude dar. Besonders wenn es sich, wie in der Variante Büro 1960 untersucht, um einen Altbau mit begrenzten natürlichen Lüftungsmöglichkeiten (z.B. durch Lage an einer befahrenen Straße) und mit unzureichenden Sonnenschutzeinrichtungen handelt.

Der notwendige Kühlbedarf für die Gebäude mit geringem Fensterflächenanteil ist im Vergleich zu den Varianten mit Vollverglasung (Baujahresspezifische Sonnenschutzverglasung, bei den Varianten Büro 1978 und Büro 1982 lediglich mit innenliegendem Sonnen/Blendschutz) deutlich geringer. Die zur Veranschaulichung

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

sind am Beispiel der Variante 6 in den folgenden Abbildungen die sich aus den Simulationen ergebenden Energieflüsse und Temperaturverläufe einer typischen Büroetage dargestellt.

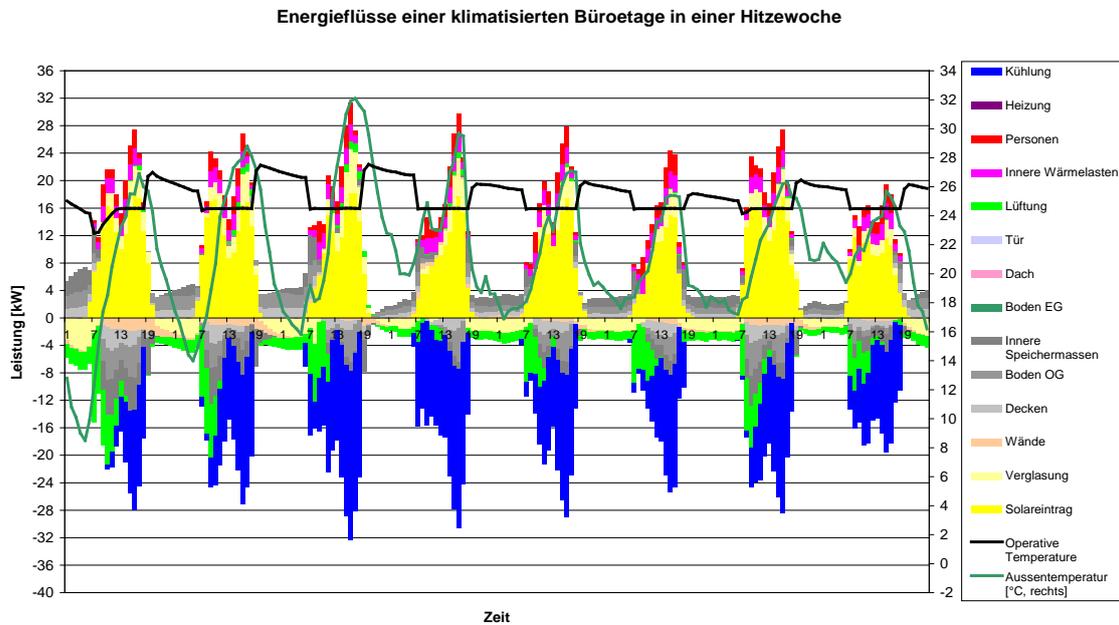


Abbildung 30: Energieflüsse einer Büroetage eines vollklimatisierten 70er Jahre Altbau mit Lochfassade(Variante 6) während einer Sommerwoche

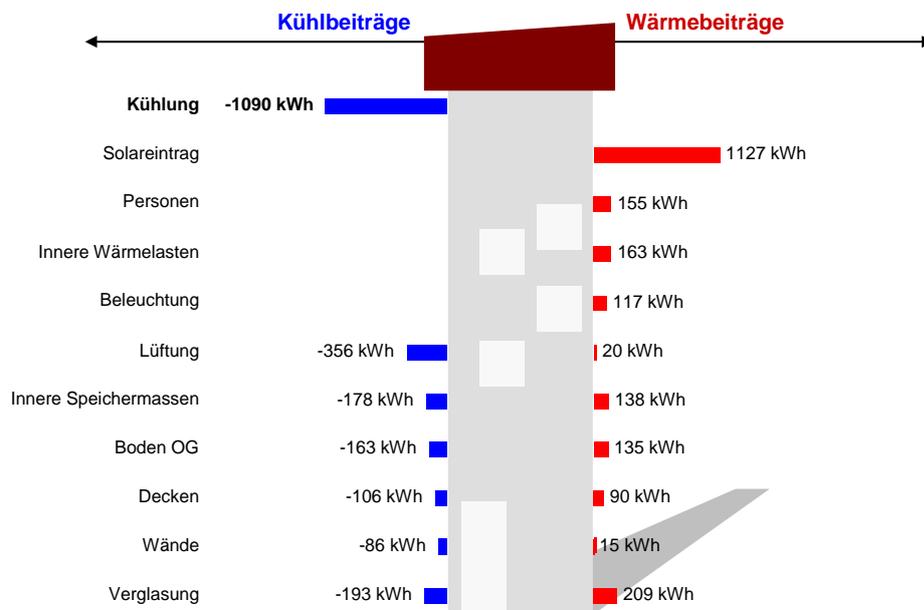


Abbildung 31: Summen-Diagramm der Energieflüsse einer Büroetage eines vollklimatisierten 70er Jahre Altbau mit Lochfassade(Variante 6) während einer Sommerwoche

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Durch die geringe Anlageneffizienz insbesondere der Vollklimaanlagen ist der resultierende Endenergiebedarf dieser Varianten trotz nicht berücksichtigter möglicher Fehlregelungen extrem hoch.

Die beiden untersuchten Varianten mit Betonkerntemperierung (Varianten 9 und 10) weisen, vor allem bedingt durch den erheblich verbesserten Sonnenschutz (automatisch gesteuerter außenliegende Lamellen aber auch durch die verbesserte Anlageneffizienz einen ca. 2 bis zu 16-fach reduzierten Endenergiebedarf für Kühlung auf. Die Anforderungen an die Behaglichkeit können im dargestellten Westbüro bei der Variante mit geringen Fensterflächenanteil, trotz der systembedingten Kühlleistungsbegrenzung auf ca. 35 W/m<sup>2</sup> bis 45 W/m<sup>2</sup> ausnahmslos erfüllt werden. Bei einer Vollverglasung wird die operative Grenztemperatur für das Referenzjahr FFM nur an 3 h/a geringfügig überschritten (vgl. Variante 10).

Tabelle 11: Übersicht der Ergebnisse der Bürogebäudevarianten für die Referenzklimastandorte Frankfurt am Main (FFM) und Hamburg (HH)

Parameter	Region / Klima	5 - Büro 1960 Lochfassade ohne Kühlung	6 - Büro 1970 Lochfassade Klimaanlage	7 - Büro 1978 Glasfassade Klimaanlage	8 - Büro 1992 Glasfassade Kühldecken	9 - Büro 2005 Glasfassade BKT	10 - Büro 2005 Lochfassade BKT
Klimatisierte Fläche		2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>
Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/a	21667 kWh/a	125581 kWh/a	131860 kWh/a	26936 kWh/a	9687 kWh/a
	FFM	0 kWh/a	43830 kWh/a	182727 kWh/a	191863 kWh/a	43547 kWh/a	20584 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	9 kWh/(m <sup>2</sup> a)	51 kWh/(m <sup>2</sup> a)	53 kWh/(m <sup>2</sup> a)	11 kWh/(m <sup>2</sup> a)	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)	74 kWh/(m <sup>2</sup> a)	78 kWh/(m <sup>2</sup> a)	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)	8 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Kühlenergieverbrauch Endenergie	HH	0 kWh/a	11712 kWh/a	88409 kWh/a	44613 kWh/a	9883 kWh/a	4913 kWh/a
	FFM	0 kWh/a	28104 kWh/a	134776 kWh/a	62997 kWh/a	13938 kWh/a	8184 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch Endenergie	HH	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	5 kWh/(m <sup>2</sup> a)	36 kWh/(m <sup>2</sup> a)	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	11 kWh/(m <sup>2</sup> a)	55 kWh/(m <sup>2</sup> a)	26 kWh/(m <sup>2</sup> a)	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	3 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Maximale empfundene Temperatur	HH	35,9 °C	24,5 °C	24,5 °C	24,5 °C	26,7 °C	24,2 °C
	FFM	34,2 °C	24,5 °C	24,5 °C	25,5 °C	26,5 °C	24,5 °C
jährliche Überschreitungs- stunden von 26°C	HH	626 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	15 h/a	0 h/a
	FFM	912 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	3 h/a	0 h/a
Erf. Größe d. Kühlaggregats	HH	0 kW	212 kW	384 kW	346 kW	88 kW	66 kW
	FFM	0 kW	197 kW	395 kW	355 kW	84 kW	66 kW

Bem.: Die Parameter Maximale Operative Temperatur (T<sub>max</sub>) und jährliche Überschreitungsdauern (>26 °C) beziehen sich jeweils auf die kritische Zone „Büro W“. Bei der Variante 5, dem unklimateierten Büro weisen auch die nicht nach Westen orientierten Büroräume zahlreiche Stunden mit unbehaglichen Verhältnissen auf. Fett gekennzeichnet sind Werte, die als Behaglichkeitseinschränkung zu beurteilen sind, gleichzeitige rot Einfärbung bedeuteten nicht tolerierbare Behaglichkeitseinschränkungen

### Varianten Klimaeinfluss

In den folgenden Tabellen wird der Klimaeinfluss auf den Kühlenergiebedarf, die notwendige Anlagengröße bzw. die maximalen operativen Temperaturen dargestellt.

Bei dem Einsatz von Klimageräten beträgt der Unterschied im Kühlenergiebedarf zwischen dem kühlestem Klima Hamburg, Fuhsbüttel (HH) und dem heißesten Klima, Testreferenzjahr TRY12 mit extrem heißen Sommer (FFMX) das drei- bzw. über sechsfache, bei nur geringfügig abweichender, erforderlicher Anlagengröße. Bei der

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Variante 2 (DHH mit Fußbodenkühlung) beträgt der Unterschied zwischen dem Klima HH und FFMX immerhin noch +50 %. Die kritischen Maximaltemperaturen bei dem ungekühlten Schlafzimmer mit Dachschräge im MFH Neubau erreichen beim Extremklima FFMX Maximalwerte über 36 °C, welche sich auch den entsprechenden Überschreitungshäufigkeiten widerspiegeln.

Tabelle 12: Übersicht der Ergebnisse der Wohngebäudevarianten für die durchschnittlichen und extremen Klimadatenätze

Parameter	Region / Klima	1 - DHH Altbau Splitgerät im Hauptraum	2 - DHH Neubau Fußbodenkühlung	3 - MFH Altbau Kompaktgerät in Schlafzi.	4 - MFH Neubau ohne Kühlung Schlafzimmer mit Westdachschräge
Klimatisierte Fläche		56 m <sup>2</sup>	140 m <sup>2</sup>	40 m <sup>2</sup>	20 m <sup>2</sup>
Kühlenergieverbrauch	HH	173 kWh/a	878 kWh/a	563 kWh/a	0 kWh/a
	HHX	502 kWh/a	1774 kWh/a	1059 kWh/a	0 kWh/a
	FFM	342 kWh/a	1629 kWh/a	951 kWh/a	0 kWh/a
	FFMX	1120 kWh/a	3621 kWh/a	1888 kWh/a	0 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	14 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	HHX	9 kWh/(m <sup>2</sup> a)	13 kWh/(m <sup>2</sup> a)	26 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	12 kWh/(m <sup>2</sup> a)	24 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFMX	20 kWh/(m <sup>2</sup> a)	26 kWh/(m <sup>2</sup> a)	47 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Kühlenergieverbrauch	HH	55 kWh/a	203 kWh/a	166 kWh/a	0 kWh/a
	HHX	147 kWh/a	263 kWh/a	312 kWh/a	0 kWh/a
	FFM	107 kWh/a	232 kWh/a	283 kWh/a	0 kWh/a
	FFMX	336 kWh/a	337 kWh/a	574 kWh/a	0 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	HHX	3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	8 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	7 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFMX	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	14 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Maximale empfundene Temperatur	HH	26,1 °C	24,9 °C	27,0 °C	33,8 °C
	HHX	26,1 °C	24,8 °C	27,4 °C	33,6 °C
	FFM	26,2 °C	24,7 °C	26,7 °C	32,3 °C
	FFMX	26,6 °C	25,7 °C	29,7 °C	36,6 °C
jährliche Überschreitungsstunden von 26°C	HH	6 h/a	0 h/a	26 h/a	109 h/a
	HHX	5 h/a	0 h/a	38 h/a	374 h/a
	FFM	6 h/a	0 h/a	29 h/a	309 h/a
	FFMX	58 h/a	0 h/a	257 h/a	707 h/a
Erf. Größe d. Kühlaggregats	HH	3,0 kW	3,8 kW	7,2 kW	0,0 kW
	HHX	2,9 kW	3,7 kW	7,3 kW	0,0 kW
	FFM	3,2 kW	3,7 kW	6,2 kW	0,0 kW
	FFMX	3,6 kW	4,1 kW	8,6 kW	0,0 kW

Bem.: Die Parameter Maximale Operative Temperatur (T<sub>max</sub>) und jährliche Überschreitungsdauern (>26 °C) beziehen sich jeweils auf die gekühlten Zonen. Fett gekennzeichnet sind Werte, die als Behaglichkeitseinschränkung zu beurteilen sind, gleichzeitige rote Einfärbung bedeuteten nicht tolerierbare Behaglichkeitseinschränkungen.

Bei den Bürogebäudevarianten weisen die Varianten mit geringem Fensterflächenanteil stärksten Klimaeinfluss auf, da bei den Varianten mit großen Glasflächen der Anteil der Solarstrahlung am Kühlenergiebedarf, sowie wie auch der absolute Betrag des Kühlenergiebedarfs, erheblich größer ist. Hier liegt der Endenergieverbrauch für das Klima FFMX ca. drei- bis sechsfach höher als bei dem

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Klima HH. Bei den Varianten mit geringem Verglasungsanteil, den Lochfassaden, beträgt dieser Unterschied Faktor 2-3. Selbst bei der kühlestem Klimavariante HH erreichen die maximalen Temperaturen im ungekühlten, schlecht verschatteten Westbüro von Variante 5 nahezu 36 °C bei jährlichen Überschreitungsdauern von über 600 h. Bei der über Betonkerntemperierung (BKT) gekühlten Variante 9 mit Glasfassade erreichen die operativen Maximaltemperaturen im Westbüro Werte von über 26 °C. Für das Extremklima FFMX erreichen die maximalen operativen Temperaturen im Westbüro Spitzenwerte über 28 °C, bei einer unakzeptablen Überschreitungsdauer von 26 °C von 123 h/a.

Tabelle 13: Übersicht der Ergebnisse der Bürogebäudevarianten für die durchschnittlichen und extremen Klimadatenätze

Parameter	Region / Klima	5 - Büro 1960 Lochfassade ohne Kühlung	6 - Büro 1970 Lochfassade Klimaanlage	7 - Büro 1978 Glasfassade Klimaanlage	8 - Büro 1992 Glasfassade Kühldecken	9 - Büro 2005 Glasfassade BKT	10 - Büro 2005 Lochfassade BKT
Klimatisierte Fläche		2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>
Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/a	21667 kWh/a	125581 kWh/a	131860 kWh/a	26936 kWh/a	9687 kWh/a
	HHX	0 kWh/a	60231 kWh/a	218672 kWh/a	242513 kWh/a	45145 kWh/a	20153 kWh/a
	FFM	0 kWh/a	43830 kWh/a	182727 kWh/a	191863 kWh/a	43547 kWh/a	20584 kWh/a
	FFMX	0 kWh/a	113392 kWh/a	311290 kWh/a	343203 kWh/a	75821 kWh/a	43338 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	9 kWh/(m <sup>2</sup> a)	51 kWh/(m <sup>2</sup> a)	53 kWh/(m <sup>2</sup> a)	11 kWh/(m <sup>2</sup> a)	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	HHX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	24 kWh/(m <sup>2</sup> a)	89 kWh/(m <sup>2</sup> a)	98 kWh/(m <sup>2</sup> a)	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)	8 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)	74 kWh/(m <sup>2</sup> a)	78 kWh/(m <sup>2</sup> a)	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)	8 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFMX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	46 kWh/(m <sup>2</sup> a)	126 kWh/(m <sup>2</sup> a)	139 kWh/(m <sup>2</sup> a)	31 kWh/(m <sup>2</sup> a)	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/a	11712 kWh/a	88409 kWh/a	44613 kWh/a	9883 kWh/a	4913 kWh/a
	HHX	0 kWh/a	36411 kWh/a	165378 kWh/a	79110 kWh/a	14226 kWh/a	7716 kWh/a
	FFM	0 kWh/a	28104 kWh/a	134776 kWh/a	62997 kWh/a	13938 kWh/a	8184 kWh/a
	FFMX	0 kWh/a	72014 kWh/a	242368 kWh/a	109782 kWh/a	21721 kWh/a	14143 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	5 kWh/(m <sup>2</sup> a)	36 kWh/(m <sup>2</sup> a)	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	HHX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	67 kWh/(m <sup>2</sup> a)	32 kWh/(m <sup>2</sup> a)	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	3 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	11 kWh/(m <sup>2</sup> a)	55 kWh/(m <sup>2</sup> a)	26 kWh/(m <sup>2</sup> a)	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	3 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFMX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	29 kWh/(m <sup>2</sup> a)	98 kWh/(m <sup>2</sup> a)	45 kWh/(m <sup>2</sup> a)	9 kWh/(m <sup>2</sup> a)	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Endenergie	HH	0 kWh/a	11712 kWh/a	88409 kWh/a	44613 kWh/a	9883 kWh/a	4913 kWh/a
	HHX	0 kWh/a	36411 kWh/a	165378 kWh/a	79110 kWh/a	14226 kWh/a	7716 kWh/a
	FFM	0 kWh/a	28104 kWh/a	134776 kWh/a	62997 kWh/a	13938 kWh/a	8184 kWh/a
	FFMX	0 kWh/a	72014 kWh/a	242368 kWh/a	109782 kWh/a	21721 kWh/a	14143 kWh/a
spez. Endenergie	HH	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	5 kWh/(m <sup>2</sup> a)	36 kWh/(m <sup>2</sup> a)	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	HHX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	67 kWh/(m <sup>2</sup> a)	32 kWh/(m <sup>2</sup> a)	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	3 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	11 kWh/(m <sup>2</sup> a)	55 kWh/(m <sup>2</sup> a)	26 kWh/(m <sup>2</sup> a)	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	3 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFMX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	29 kWh/(m <sup>2</sup> a)	98 kWh/(m <sup>2</sup> a)	45 kWh/(m <sup>2</sup> a)	9 kWh/(m <sup>2</sup> a)	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Maximale empfundene Temperatur	HH	35,9 °C	24,5 °C	24,5 °C	24,5 °C	26,7 °C	24,2 °C
	HHX	36,4 °C	24,5 °C	24,5 °C	24,5 °C	26,9 °C	24,3 °C
	FFM	34,2 °C	24,5 °C	24,5 °C	25,5 °C	26,5 °C	24,5 °C
	FFMX	37,9 °C	24,5 °C	24,5 °C	24,5 °C	28,1 °C	25,0 °C
jährliche Überschreitungsstunden von 26 °C	HH	626 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	15 h/a	0 h/a
	HHX	868 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	20 h/a	0 h/a
	FFM	912 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	3 h/a	0 h/a
	FFMX	1279 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	123 h/a	0 h/a
Erf. Größe d. Kühlaggregats	HH	0 kW	212 kW	384 kW	346 kW	88 kW	66 kW
	HHX	0 kW	222 kW	452 kW	432 kW	88 kW	70 kW
	FFM	0 kW	197 kW	395 kW	355 kW	84 kW	66 kW
	FFMX	0 kW	275 kW	512 kW	479 kW	95 kW	78 kW

Bem.: Die Parameter Maximale Operative Temperatur (T<sub>max</sub>) und jährliche Überschreitungsdauern (>26 °C) beziehen sich jeweils auf die kritische Zone „Büro W“. Fett gekennzeichnet sind Werte, die als Behaglichkeitseinschränkung zu beurteilen sind, gleichzeitige rote Einfärbung bedeutet nicht tolerierbare Behaglichkeitseinschränkungen.

### 3.2.4 Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse

Auf den obigen Simulationen basierend werden die Techniken in diesem Abschnitt wirtschaftlich und in Bezug auf ihre Umweltwirksamkeit bewertet.

Dabei werden die Jahresgesamtkosten der verschiedenen Systeme in den jeweiligen Referenzgebäuden aus den Annuitäten für die Investitionen, den Wartung- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten berechnet und verglichen. Ziel ist es, Techniken der Referenzgebäude zu vergleichen.

Die Investitionskosten für Splitgeräte im Einfamilienhaus 1 sind mit 190 €/ kW angenommen (Kennziffernkatalog/ Ecodesign Lot 10). Ein Kompaktgerät in Variante 3 zur Kühlung eines Raumes kostet ca. 400 € (Baumarktangaben). Zur notwendigen Montage des Splitgerätes kommen noch einmal 200 € hinzu, während das Kompaktgerät ohne weiteren Montageaufwand im Raum aufgestellt wird. Die Fußbodenkühlung im Einfamilienhaus 2 lässt sich relativ einfach realisieren. Hier ist lediglich ein zusätzlicher Sole/ Wasser Wärmetauscher zur Einbindung in das Heizsystem notwendig, der inkl. Einbau mit 500 € angenommen ist. Die Varianten 4 und 5 werden ohne Kühlsysteme berechnet, sodass hier auch keine Kosten anfallen. Die Bürogebäude 6-8 sind mit konventionellen Klimaanlage bzw. Kühldecke ausgerüstet, die jedoch schon als abgeschrieben angesehen werden können. Demnach sind hierbei keine Investitionskosten oder Annuitäten in Ansatz zu bringen. Lediglich für die letzten beiden Varianten (Bürogebäude-Neubau 2005 mit Glas- bzw. Lochfassade) sind Kosten anzunehmen. Diese werden für die Kältemaschine auf 128 €/ kW angesetzt (Kennziffernkatalog). Zusätzlich kommen 35 €/m<sup>2</sup> NGF für die Betonkernaktivierung hinzu. Nach Hinzurechnung von Regelungstechnik und Einbau kommt ein Gesamtinvestitionspreis von 55 €/m<sup>2</sup> zustande, der mit den Werten nach BKI 2008 übereinstimmt.

Der reale Marktzins (ohne Inflationseinflüsse) ist mit 6% angenommen. Die betriebsgebundenen Kosten setzen sich aus den Energie- und Wartungskosten zusammen. Wartungs- und Instandhaltungskosten fallen grundsätzlich nur bei Nichtwohngebäuden an und betragen nach VDI 2067 im Mittel jährlich 3% der Investitionskosten. Die Energiekosten für Elektrizität werden in Bezug auf das UBA Projekt „Umweltwirkungen von Heizungssystemen in Deutschland“ im Mittel bis 2030 mit 22,6 €/ct/ kWh angesetzt. Die Lebensdauern der Kühlsysteme betragen nach DIN EN 15459 durchweg 15 Jahre, während die Betonkerndecken mit einer Lebensdauer von 50 Jahren angesetzt werden. Der THG-Emissionsfaktor für Strom ist wie oben erläutert entnommen und beträgt 623 g/kWh.

Wesentliche Ergebnisse der Bewertung sind die spezifischen Jahresgesamtkosten, die in Abbildung 32 getrennt nach Investitionen, Energie- und Wartungs- bzw. Instandhaltungskosten aufgeführt sind. Diese sind für beide Klimastandorte (Hamburg und Frankfurt) sowie beide Klimata dargestellt.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

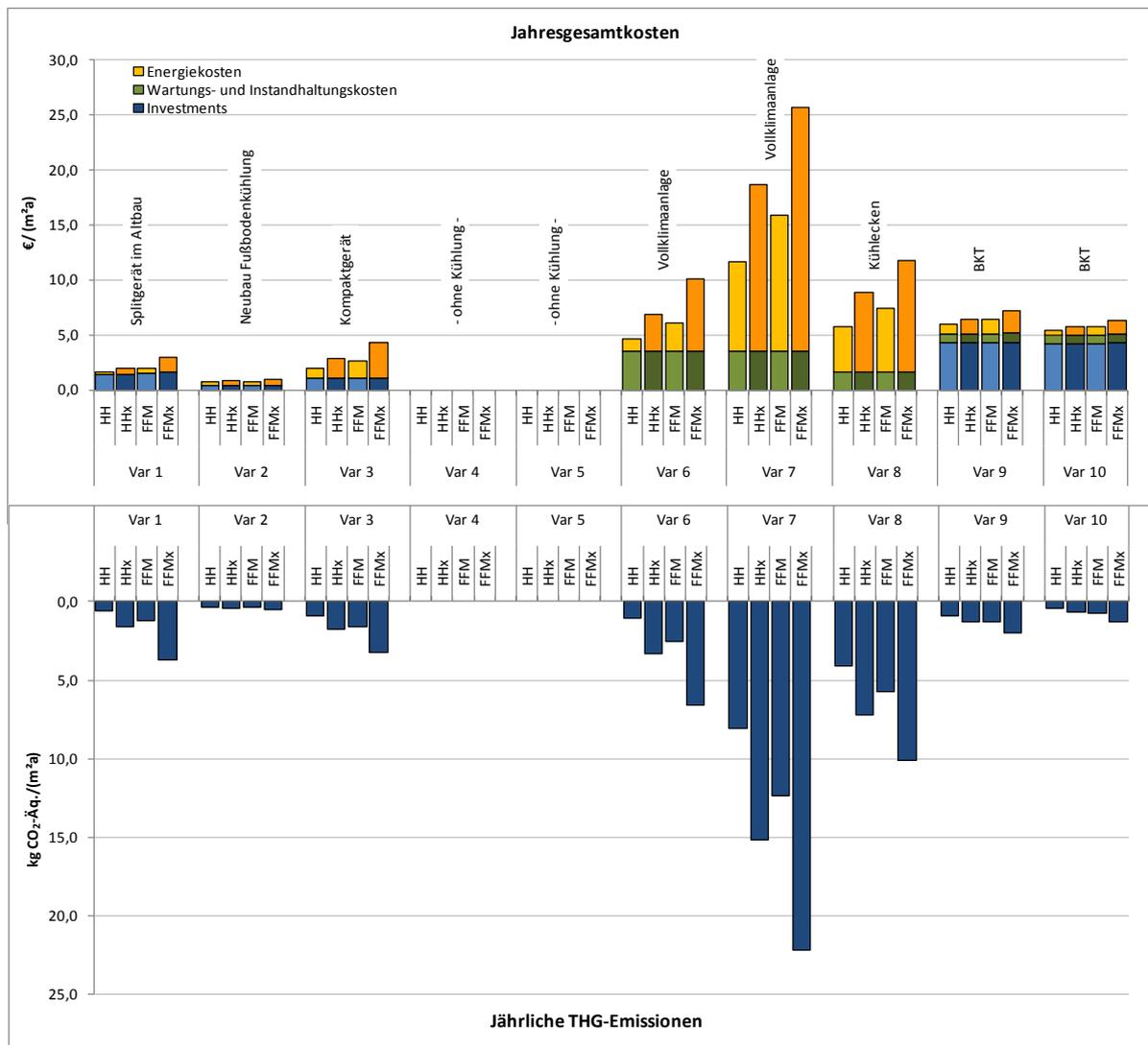


Abbildung 32: Spezifische Jahresgesamtkosten der Kühlsysteme und jährliche spezifische THG-Emissionen der Kühlsysteme (Wohn- und Nichtwohngebäude).

Es fällt auf, dass die Investitionskosten je nach Standort und Technik unterschiedlich sind, da sich Größen und Leistungen der Techniken unterscheiden. Weiterhin wird klar, dass die jährlichen Energiekosten für alle Systeme und Referenzgebäude am Standort "Hamburg (HH)" am geringsten und im Szenario "Frankfurt, extreme Sommerperiode (FFMx)" am größten sind. Es wird deutlich, dass bestehende Bürogebäude mit Baujahr 1970 bis 1982 (Variante 6-8) im Vergleich zu Neubauten einen extrem hohen Endenergiebedarf zur Kühlung besitzen, besonders im Fall der Glasfassade in Kombination mit einer Vollklimaanlage (Variante 7, Baujahr 1978), wie beispielsweise am Standort Frankfurt mit 55 kWh/(m²a) Endenergie für Variante 7 im Vergleich zu 3 kWh/(m²a) für Variante 10. Bei Verwendung von Kühldecken lässt sich dieser Bedarf signifikant reduzieren (Büro 8, Baujahr 1982), beispielsweise am Standort Frankfurt

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

von 55 auf 26 kWh/(m<sup>2</sup>a) Endenergie. Deutlicher wird jedoch die Einsparung, wenn eine Lochfassade anstatt einer Glasfassade berücksichtigt wird.

Bestehende Bürogebäude mit hohen Kühllasten (Büro 6-9) verursachen je nach Standort hohe bis sehr hohe spezifische Emissionen. Hier wird erneut deutlich, dass die Emissionen am Standort „Hamburg (HH)“ am geringsten und in Szenario „Frankfurt, extreme Sommerperiode (FFMX)“ am höchsten ausfallen. Ein Faktor 10 für unterschiedliche Techniken am gleichen Standort ist möglich!

Eine detaillierte Übersicht der Berechnungen für die konventionellen Systeme ist in (Anhang A) zu finden.

## **4 Techniken zur Minderung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung**

Ziel der im folgenden Kapitel beschriebenen Arbeitspakete ist es Kühlenergie-Vermeidungspotentiale aufzuzeigen. Dabei liegt der Fokus zunächst auf kosten- und wirkungseffizienten Maßnahmen, die zu einer Vermeidung eines Kühlbedarfs beitragen. Wie die Ergebnisse der im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführten Simulationsberechnungen für den Ist-Zustand zeigen, sind erhebliche Potentiale vor allem durch eine Verbesserung von Sonnenschutzmaßnahmen und die Implementierung einer geeigneten Lüftungsstrategie zu erschließen. Dort, wo nachweislich mit wirtschaftlich vertretbaren Mitteln eine Kühlung nicht vermieden werden kann, werden, entsprechend der jeweiligen Anforderung, die derzeit und künftig energieeffizienten Klimasysteme beschrieben.

Mittels Simulationsberechnungen wird anschließend anhand der ausgewählten Beispiele nachgewiesen, dass mit den vorgeschlagenen Maßnahmen langfristig die Bedürfnisse an die Behaglichkeit und die eventuell zusätzlichen Anforderungen, die durch den Klimawandel entstehen, erfüllt werden können.

### **4.1 Qualitative Beschreibung alternativer Kühltechniken**

Wie bereits bei den in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Untersuchungen ist bei der Untersuchung nach alternativen Kühltechniken grundsätzlich zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden, jedoch aber auch zwischen Altbau und Neubau, zu unterscheiden.

Während beim Neubau größere Maßnahmenspielräume bestehen, um möglichen Behaglichkeitsdefiziten mit geringen Aufwand entgegen zu wirken, sind beim Altbau i.d.R. speziell auf die individuellen Gegebenheiten maßgeschneiderte Lösungen erforderlich.

Im Folgenden werden die unterschiedlichen alternativen Klimatechniken aufgeführt.

#### **4.1.1 Techniken zur Reduktion /Vermeidung des Kühlenergiebedarfs**

##### *Sonnenschutz*

Grundsätzlich sind beim Sonnenschutz folgende Eigenschaften zu unterscheiden, die sich sowohl in Ihrer Wirksamkeit als auch in den erforderlichen Investitionskosten erheblich unterscheiden:

- Interne oder externe Verschattung
- Fixe oder bewegliche Verschattungseinrichtungen
- Automatische oder manuelle Bedienung

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Externe Verschattungseinrichtungen sind deutlich effizienter als die i.d.R. sehr ineffizienten innenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen, bei denen die Solarstrahlung zum überwiegenden Teil im Raum in Wärme umgewandelt wird.

Insbesondere bei östlichen oder westlichen Fassaden sind bewegliche Verschattungseinrichtungen zu bevorzugen. Um eine Sonnenschutzwirkung auch während der Abwesenheit der Nutzer zu erzielen und um Fehlregelungen vorzubeugen, ist eine automatische Regelung (mit einer aus Gründen der Nutzerakzeptanz notwendigen manuellen Übersteuerungsmöglichkeit) erforderlich.

### *Lüftungskühlungskonzepte*

Insbesondere in sommerkühlen Regionen sind die Häufigkeiten an denen die Außentemperaturen zu warm sind, um eine direkte Lüftungskühlung zu ermöglichen, so gering, dass hierdurch erhebliche Kühlenergieeinsparungen, bis hin zur Vermeidung einer aktiven Kühlung erzielt werden können. Um die Potentiale einer Nachtkühlung möglichst umfassend ausschöpfen zu können ist das Vorhandensein einer ausreichenden thermischen Speicherfähigkeit erforderlich.

Folgende Lüftungskühlungskonzepte können unterschieden werden:

- Mechanische Lüftung oder freie Lüftung
- Freie Lüftung mit motorischer oder manueller Bedienung
- Mechanische Lüftung: zentral oder dezentral
- Nacht- oder Taglüftung
- Automatische oder manuelle Regelung

### *Aktivierung von thermischen Speichermassen*

Eine massive Bauweise kann nur dann zu einer merklichen Reduzierung des Kühlenergiebedarfs beitragen, wenn zum einen eine effiziente Nachtlüftungskühlung vorliegt und zum anderen sichergestellt werden kann, dass die natürliche Kühlenergie z.B. durch massive freie Betondecken auch von den thermischen Speicherelementen aufgenommen werden kann. In diesem Zusammenhang sind auch Betonkernaktivierungssysteme und PCM-Speichersysteme zu erwähnen.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

### *Reduktion von inneren Lasten*

Häufig können nicht nur die externen Lasten sondern insbesondere in Bürogebäuden auch die inneren Lasten reduziert werden. Hierbei sind u.a. folgende Wärmequellen zu beachten:

Vermeidung von Standby-Betrieb (Abschalten ungeneigter Verbraucher über Nacht)

Einsatz Energieeffiziente Geräte (PC, Bildschirme, Drucker, Kopierer)

Effiziente Beleuchtungssysteme (Vorsehung von Anwesenheits- und Helligkeitsregeleinrichtungen, Individuelle bedarfsabhängige Arbeitsplatzbeleuchtung anstelle von hoher gleichmäßiger Grundbeleuchtung)

Gleichmäßige Belegung, bzw. bei unvollständiger Belegung bevorzugte Belegung von Ost- und Nordräumen im Sommer.

### *Optimierung des Regelkonzeptes/ Wartung*

Selbst hocheffiziente Anlagen werden zu „Energiefressern“, wenn sie nicht optimal eingeregelt sind und/oder nicht ausreichend gewartet werden.

Im Folgenden werden einige wesentliche diesbezügliche Punkte aufgezählt:

Regelmäßiger Filterwechsel und ggf. Wärmetauscherreinigung

Vermeidung von hohen Pumpen- und Lüftungslaufzeiten

Prüfung der Regelparameter für Temperaturen und Luftmengen

### *Nutzerinformation*

Da die meisten Systeme mehr oder minder abhängig von Nutzereinflüssen sind, ist zumindest eine Information der Nutzer über die Auswirkungen seiner Handlungen sinnvoll. Auch wenn natürlich allein durch Information nicht selbstverständlich ein optimales Nutzerverhalten vorausgesetzt werden kann.

Bei folgenden Punkten ist mit einem erheblichen Nutzereinfluss zu rechnen:

- Energieeffizienter Betrieb von Geräten (Bildschirmschoner , Drucker, Kopierer)
- Sonnenschutzregelung
- Temperaturzielwert der Kühleinrichtungen
- Fensterlüftungsverhalten

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

- Abschalten nicht benötigter Beleuchtung

### *Messeinrichtungen*

Anders als bei Heizungsanlagen wird der Energieverbrauch von Klimaanlage in den seltensten Fällen separat gemessen. Eine Messung des Energiebedarfs stellt jedoch die Grundvoraussetzung zur Beurteilung der Handlungsrelevanz und der Wirksamkeit durchgeführter Verbesserungen dar. Obwohl die Messung keine direkte Maßnahme zur Kühlenergiebedarfsreduktion ist, soll sie daher an dieser Stelle jedoch als eine der (erforderlichen) Technik zur Reduktion des Kühlbedarfs hervorgehoben werden.

### *Raum- und stadtplanerische Handlungsmöglichkeiten*

Durch eine geeignete Raum- und Stadtplanung kann einer sommerlichen Hitzeinselbildung (vgl. Kapitel 3.1.6), wie sie häufig in Ballungszentren zu beobachten ist, wirksam entgegen gewirkt werden.

Auf der Ebene der Regionalplanung ist die Ausweisung von regionalen Grünzügen ist möglich. Sie können u.a. größere unversiegelte Flächen, insbesondere Wälder, Seen und Flussauen umfassen und damit auch die Funktion von Kaltluftentstehungs- und Luftregenerationsgebieten übernehmen. Des Weiteren dienen die Grünzüge der Gliederung des Siedlungsraumes und tragen als Kaltluftleitbahnen und Frischluftschneisen dazu bei, sommerliche Temperaturextreme in hitzebelasteten Siedlungsräumen zu reduzieren.

Im innerstädtischen Bereich können regionale Grünzüge durch baumbestandene Stadtstraßen, gut gestaltete begrünte Stadtplätze, Grün- und Wasserflächen sowie Dach- und Fassadenbegrünung ergänzt werden. Die Verschattungs- und Kühlwirkung dieser Maßnahmen kann die Hitzebelastung in der Umgebung senken.

Städte und Gemeinden nutzen bereits verschiedene Instrumente; um Maßnahmen zur Entwicklung des städtischen Grüns auch zur Minderung sommerlicher thermischer Belastungen zu nutzen. Kommunen können auf der Grundlage des Baugesetzbuches, beispielsweise Dach- und Fassadenbegrünungen in einem Bebauungsplan festzusetzen. Auch die Möglichkeit der Minderung der Gebühren für Niederschlagswasser durch die Anrechenbarkeit unversiegelter Flächen und begrünter Dächer auf Grundstücken auf der Basis gesplitteter Abwassersatzungen besteht bereits in vielen Städten.

#### 4.1.2 Regenerative Techniken zur Deckung des Kühlenergiebedarfs

##### *Ausnutzung von Erdkälte*

Die Temperaturen in mittleren Erdreichschichten (zwischen 1 und 100 m Tiefe) und die Temperaturen der meisten Fließgewässer bewegen sich in Deutschland im Bereich der Jahresmitteltemperatur von 10 °C. Diese Temperatur ist theoretisch immer und überall in Deutschland ausreichend um den notwendigen Kühlenergiebedarf für Raumkühlung zu decken. Probleme der Nutzung sind vor allem auf genehmigungsrechtlicher Seite vorhanden. Aus ökologischen Gründen soll eine zwangsläufige Aufheizung des Erdreiches vermieden werden. Daher müssen Erdkältesysteme i.d.R. so konzipiert werden, dass die im Sommer eingespeicherte Wärme im Winter wieder entzogen wird.

Es kann zwischen folgenden Systemen unterschieden werden:

- Luft-Erdwärmetauscher
- Erdkollektoren
- Erdsonden
- Schluck- und Saugbrunnen

##### *Adiabate Kühlung*

Bei der adiabaten Kühlung wird die Verdunstungsenergie genutzt, die benötigt wird um Wasser vom flüssigen in den gasförmigen Zustand zu überführen.

Adiabate Kühlung kann entweder direkt durch Vernebelungsverdampfer, die Wasser in die zu kühlende Zone einbringen, oder indirekt, bei zentralen Lüftungsanlagen durch Befeuchtung der Abluft erfolgen. Über einen Wärmetauscher wird dabei die Kälte anschließend an die Zuluft übergeben.

##### *Solare Kühlung*

Eine solare Kühlung kann durch eine Kombination von thermischen Kollektoren und Ad- bzw. Adsorptionskältemaschinen bzw. offenen Sorptionsanlagen erreicht werden. Betriebserfahrungen mit Pilotanlagen derartiger Systeme sind vorhanden. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird derzeit an einer weiteren Effizienzoptimierung gearbeitet. Eine andere Möglichkeit würde eine Kombination von Photovoltaikelementen mit Kompressionskältemaschinen darstellen. Dieses System ist jedoch, ohne

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Berücksichtigung der hohen Förderung durch die PV-Einspeisevergütung, in Deutschland nicht wirtschaftlich.

### *PCM-Speichersysteme*

Bei sogenannten Phase Changing Materials (PCM)- Speichersystemen macht man sich die latente Energie, die für den Schmelzvorgang benötigt wird, zu nutze. Bei den zum Einsatz kommenden Materialien handelt es sich um Salzhydrate oder Paraffine, die einen Schmelzpunkt im Bereich der Raumtemperatur aufweisen.

Auf dem Markt werden derzeit unterschiedliche Systeme angeboten. Dabei kann zwischen passiven Systemen, wie z.B. die Einbindung von PCMs in Putze, und aktiven Systemen, bei denen die „Beladung“ des Kältespeichers mit mechanischen Hilfsmitteln (Ventilatoren oder das Pumpen eines Kühlmediums) erfolgt, unterschieden werden. Die Wirkung dieser Systeme ist wenig in der Praxis erprobt.

### **4.1.3 Besonders energieeffiziente Techniken zur Deckung des Kühlenergiebedarfs**

#### *Erhöhte Luftbewegung (Ventilatoren)*

Die Möglichkeiten einen Kühleffekt mittels einer erhöhten Luftbewegung durch Ventilatoren oder einer intensiven natürlichen Lüftung zu erzielen sind verhältnismäßig gering. Zum einen bewirkt die Antriebsenergie des Ventilators eine Aufheizung der Luft, zum anderen besteht die Gefahr von Unbehaglichkeiten in Folge von Zugerscheinungen. Der maximal erzielbare Abkühlungseffekt beträgt 3 °C (vgl. Kapitel 3.1.4).

#### *Sanierung ineffizienter Klimaanlage*

Die Sanierung ineffizienter Klimaanlage ist ein sehr breites Feld, das, insbesondere bei Zentralanlagen im Nichtwohngebäudebereich, höchst individuelle Lösungen erfordert.

Dabei sollte zunächst eine Analyse der bestehenden Systeme und eine Identifikation der, unter den aktuellen bzw. künftigen Bedingungen (nach Ausnutzung aller wirtschaftlichen Kühlenergievermeidungsmaßnahmen), am ineffizientesten arbeitenden Anlagenteile durch einen Experten vorgenommen werden. Häufig können bereits durch den Einsatz verbesserter Regelsysteme enorme Einsparpotentiale erschlossen werden.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Neben einem einfachen Austausch ineffizienter Anlagenteile wie z.B. Kompressoren, Ventilatoren und Pumpen können u.a. mit den folgenden Maßnahmen erhebliche Einsparpotentiale erschlossen werden.

- Verringerung der Luftgeschwindigkeiten im Kanalnetz
- Erhöhung der Kühltanktemperaturen
- Vermeidung der Möglichkeit von gleichzeitigem Heizen und Kühlen
- Vermeidung von Leckagen in Lüftungssystemen
- Dämmung der Kälteleitungen
- Standortüberprüfung der Rückkühlwerke (Im Schatten?)

## 4.2 Wirkung von Minderungsmaßnahmen

### 4.2.1 Varianten der Simulationsberechnungen der Minderungsmaßnahmen

In diesem Kapitel werden am Beispiel der in Kapitel 3.2 genannten Referenzgebäudetypen die erzielbaren Energieeinsparpotentiale für ausgewählte zuvor beschriebenen Techniken zur Minderung des Kühlbedarfs ermittelt. Abhängig von den individuellen Rahmenbedingungen der unterschiedlichen Objekte wurden Maßnahmenpakete zusammengestellt, die sowohl unter ökologischen als auch unter ökonomischen Aspekten sinnvoll erachtet wurden. Anhand von dynamisch thermischen Gebäudesimulationen werden die Grenzen und Möglichkeiten der Maßnahmenpakete der alternativen Kühltechniken bezüglich der jeweilig erzielbaren Behaglichkeit und der erzielbaren Kühlenergieeinsparung aufgezeigt.

Neben den der in Kapitel 3.2 genannten 10 Referenzgebäudetypen wurden außerdem drei zusätzliche Gebäudetypen, mit alternativen Klimakonzepten untersucht. Zum einen wurden hierbei ein Passivhausbüro zum anderen ein Schulneubau und eine sanierte Schule in die weiteren Betrachtungen mit einbezogen. Die Spezifikationen der zusätzlichen Varianten werden weiter unten dargestellt. Die Berechnungen erfolgen auf der Grundlage der DWD Klimadaten mit Extremsommern. Der Fokus bei der Variantenauswahl wurde zunächst auf mögliche Techniken zur Reduktion /Vermeidung des Kühlenergiebedarfs gelegt.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Tabelle 14: Übersicht der Varianten zu Techniken zur Minderung des Kühlbedarfs

<b>Nr.</b>	<b>Basis-Referenzvariante</b>	<b>Beschreibung</b>
V1a	V1: Reihenendhaus/ Doppelhaushälfte Altbau mit Splitgerät im Hauptraum	Vorsehung eine hocheffizienten Klimagerätes mit einem SEER von 5,0 anstelle von 3,2
V2a	V2: Reihenendhaus/ Doppelhaushälfte Neubau EnEV mit Fußbodenkühlung	Implementierung einer automatischen Sonnenschutzsteuerung Wegfall der Kühlung Ziel: Bestimmung der resultierenden Temperaturen
V4a	V4: Mehrfamilienhaus Neubau EnEV ohne Kühlung	Vorsehung eines externen, automatischen Sonnenschutzes <sup>1</sup> ohne Nachtlüftungsoption Ziel: Bestimmung der resultierenden Temperaturen
V4b	V4: Mehrfamilienhaus Neubau EnEV ohne Kühlung	Vorsehung eines externen, automatischen Sonnenschutzes <sup>1</sup> mit maximaler Nachtlüftung Ziel: Bestimmung der resultierenden Temperaturen
V4c	V4: Mehrfamilienhaus Neubau EnEV ohne Kühlung	Vorsehung eines externen, automatischen Sonnenschutzes mit maximierter Lüftungskühlung <sup>2</sup> und zentraler Lüftungsanlage und Vorkühlung der Zuluft über einen Luft-Erdwärmetauscher <sup>3</sup> Ziel: Bestimmung der resultierenden Temperaturen
V5a	Variante 5:	Vorsehung eines externen,

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Nr.	Basis-Referenzvariante	Beschreibung
	Bürogebäude mit Lochfassade, Altbau (1960) teilsaniert ohne zentrale Kühlung	automatischen Sonnenschutzes <sup>1</sup> Ziel: Bestimmung der resultierenden Temperaturen
V5b	Variante 5: Bürogebäude mit Lochfassade, Altbau (1960) teilsaniert ohne zentrale Kühlung	Vorsehung eines externen, automatischen Sonnenschutzes <sup>1</sup> Zusätzlich: Tischventilatoren an den Arbeitsplätzen Ziel: Bestimmung der resultierenden Temperaturen
V5c	Variante 5: Bürogebäude mit Lochfassade, Altbau (1960) teilsaniert ohne zentrale Kühlung	Vorsehung eines externen, automatischen Sonnenschutzes <sup>1</sup> Zusätzlich: Maximale Nachtlüftung Ziel: Bestimmung der resultierenden Temperaturen
V5d	Variante 5: Bürogebäude mit Lochfassade, Altbau (1960) teilsaniert ohne zentrale Kühlung	Vorsehung eines externen, automatischen Sonnenschutzes <sup>1</sup> Zusätzlich: Maximale Nachtlüftung und zusätzlich mit nachgerüstete Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und adiabater Kühlung <sup>4</sup> Ziel: Bestimmung der resultierenden Temperaturen
V7a	Variante 7: Bürogebäude mit Glasfassade, Altbau (1978) teilsaniert mit Vollklimaanlage	Vorsehung eines externen, automatischen Sonnenschutzes <sup>1</sup> Ziel: Bestimmung der Kühlenergiebedarfsreduzierung
V7b	Variante 7:	Vorsehung eines externen, automatischen Sonnenschutzes <sup>1</sup> und

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Nr.	Basis-Referenzvariante	Beschreibung
	Bürogebäude mit Glasfassade, Altbau (1978) teilsaniert mit Vollklimaanlage	Erhöhung der Temperaturtoleranz (Anhebung des Sollwertes von 24,5 °C auf 26 °C)  Ziel: Bestimmung der Kühlenergiebedarfsreduzierung
V7c	Variante 7:  Bürogebäude mit Glasfassade, Altbau (1978) teilsaniert mit Vollklimaanlage	Vorsehung eines externen, automatischen Sonnenschutzes <sup>1</sup> und Erhöhung der Temperaturtoleranz (Anhebung des Sollwertes von 24,5 °C auf 26 °C) sowie RLT-Anlagensanierung <sup>5</sup>  Ziel: Bestimmung der Kühlenergiebedarfsreduzierung
V7d	Variante 7:  Bürogebäude mit Glasfassade, Altbau (1978) teilsaniert mit Vollklimaanlage	Vorsehung eines externen, automatischen Sonnenschutzes <sup>1</sup> , Erhöhung der Temperaturtoleranz (Anhebung des Sollwertes von 24,5 °C auf 26 °C)  und Erhöhung der therm. Speichermasse durch PCM-System <sup>6</sup> sowie RLT-Anlagensanierung <sup>5</sup>  Ziel: Bestimmung der Kühlenergiebedarfsreduzierung
V9a	Variante 9:  Bürogebäude mit Glasfassade, Neubau (2005) mit Betonkernkühlung	Erdkälte als Kältequelle (Voraussetzung: Aktivierung der Erdsonden einer Sole-Wärmepumpenheizung) <sup>7</sup>  Ziel: Bestimmung der Kühlenergiebedarfsreduzierung und der resultierenden Temperaturen
V10a	Variante 10:	Optimierung der Beleuchtung (u.a. Helligkeits- und Anwesenheitssensoren

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Nr.	Basis-Referenzvariante	Beschreibung
	Bürogebäude mit Lochfassade, Neubau (2005) mit Betonkernkühlung	+ effizientere Ausrüstung <sup>8)</sup> und verbesserte Lüftungskühlung <sup>9</sup>  Wegfall der Betonkernkühlung  Ziel: Bestimmung der resultierenden Temperaturen
V11	Passivhaus-Bürogebäude mit geringem Glasanteil (Lochfassade), hochwirksamen automatischen Sonnenschutz, effizienter Büroausstattung und Lüftungsanlage (im Winter mit hochwirksamer Wärmerückgewinnung), Wärmeversorgung über Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden ohne Kühlung	Implementierung einer direkten passiven Vorkühlung der Zuluft über eine Sole-Wasserwärmetauscher <sup>7</sup>
V11a	Passivhaus Bürogebäude wie 11a jedoch mit Wärmeversorgung über Biomassekessel z.B. Holzpellets	Implementierung einer indirekten adiabaten Kühlung der Zuluft <sup>4</sup>
V11b	Passivhaus Bürogebäude wie 11a jedoch mit Wärmeversorgung über Biomassekessel z.B. Holzpellets	Implementierung einer solaren Kühlung <sup>10</sup>
V12	Sanierte Schule (Massive Bauweise, Lochfassade mit geringem Glasanteil) ohne Kühl und Lüftungseinrichtungen	Implementierung einer unterstützenden Lüftungsanlage über Fassadengeräte mit reduzierter Luftmenge von 17 m <sup>3</sup> /h pro Person und optimierter automatischer Nachtlüftung <sup>11</sup>
V13	Passivhaus-Schule mit geringem Glasanteil (Lochfassade), hochwirksamen automatischen Sonnenschutz, effizienter Beleuchtung und Lüftungsanlage (im Winter mit hochwirksamer	Vorsehung von Luft-Erdwärmetauschern zur Zuluftvorkühlung <sup>12</sup>

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Nr.	Basis-Referenzvariante	Beschreibung
	Wärmerückgewinnung), Wärmeversorgung über Biomassekessel z.B. Holzpellets	

Bemerkungen zur Tabelle 14:

- 1) Kennwerte Sonnenschutz:  $f_{ach} = 0,2$ , Steuerung nach Strahlung auf die Fassade, Schaltgrenze:  $150 \text{ W/m}^2$
- 2) Annahmen für maximierte Kühlungslüftung: Bei Außentemperaturen unterhalb der Raumtemperatur: Automatische Erhöhung des Luftwechsels im Schlafzimmer von  $0,4 \text{ 1/h}$  auf  $2,5 \text{ 1/h}$ . Ggf. zusätzlich tagsüber bei Anwesenheit (zwischen 6 und 8 Uhr , bzw. zwischen 18 und 23 Uhr) manuelle Fensterlüftung mit:  $6 \text{ 1/h}$  (des Nachts wird davon ausgegangen, das aufgrund Außenlärm keine Fensterlüftung möglich ist)
- 3) Lüfterwärmetauscher von  $70 \text{ m}$  Länge, Material PVC, spezifische Rohroberfläche  $0,1 \text{ m}^2/(\text{m}^3/\text{h}) \Rightarrow$  erreichbare Zulufttemperatur: max.  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , bei einer Luftwechselrate von  $2,5 \text{ 1/h}$  ( $\Rightarrow$  Maximal erreichbare Kühlleistung ca.  $10 \text{ W/m}^2$ )
- 4) Lüftungsanlage mit einer Luftwechselrate von  $4,5 \text{ m}^3/\text{h}$  in den Büroräumen und einer indirekten adiabaten Kühlung durch Kälterückgewinnung aus künstlich befeuchteter Abluft. Annahmen: Rückkältezahl:  $80 \%$ ; ideale Befeuchtungseffektivität der Abluft
- 5) Kennwerte der verbesserten RLT Anlage: EER der Kälteerzeugung  $3,4$  statt  $2,85$  sowie verbesserte elektrische Lüftungseffizienz:  $0,6 \text{ Wh/m}^3$  statt  $1,5 \text{ Wh/m}^3$
- 6) Mikroverkapseltes PCM in Innenwandverkleidung
- 7) Annahme: Systemauslegung so gewählt, dass die Zulufttemperatur im Kühlfall max.  $19 \text{ }^\circ\text{C}$  beträgt
- 8) Annahme: Reduktion der Wärmeabgabe der Büroausstattung um  $30 \%$  (durch optimierten Betrieb und effizientere Geräte)
- 9) Annahmen für maximierte Kühlungslüftung: Bei Außentemperaturen unterhalb der Raumtemperatur: Automatische Erhöhung des Luftwechsels im Büro von  $1,5 \text{ 1/h}$  auf  $3 \text{ 1/h}$ . Ggf. zusätzlich des Nachts (zwischen 18 und 8 Uhr) Fensterlüftung über gekippte Fenster mit:  $4,5 \text{ 1/h}$
- 10) Lediglich überschlägige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf Basis des Kühlenergiebedarfs gem. V11 (Eine Simulation des resultierenden Kühlenergiebedarfs und des erreichbaren Raumklimakomforts war im Rahmen des vorgegebenen Projektbudgets nicht möglich)

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

11) Annahmen für Nachlüftungskühlung: Bei Außentemperaturen unterhalb der Raumtemperatur: Automatisches Einschalten der Lüftungskühlung. Während der Unterrichtszeit ggf. Fensterlüftung mit Luftwechsel bis 6 1/h möglich.

12) Lüfterwärmetauscher von 70 m Länge, Material PVC, spezifische Rohroberfläche  $0,1 \text{ m}^2/(\text{m}^3/\text{h})$  => erreichbare Zulufttemperatur: max.  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , bei einer Luftwechselrate von 1,8 1/h (=> Maximal erreichbare Kühlleistung ca.  $10 \text{ W/m}^2$ )

Geometrien und Bauphysik der zusätzlichen Varianten 11 bis 13

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Energiestandard	Variante 11		Variante 12		Variante 13	
	Bürogebäude Passivhausqualität		Schule, teilsanierter Altbau		Schule, Passivhausqualität	
	Lochfassade Betonkernaktivierung mit UL		Lochfassade		Lochfassade	
Baujahr	-	2010	1960	2010		
beheizte Wohnfläche bzw. NGF	m²	2434	1500	1500		
Geschosshöhe	m²	3,5	3,5	3,5		
beheiztes Gebäudevolumen nach EnEV	m³	10647	5555	5555		
Gebäudenutzfläche gem. EnEV	m²	3407	1778	1778		
Anzahl Geschosse	-	6	3	3		
Anzahl Zonen pro Geschoss	-	12	6	6		
<b>Oberster Gebäudeabschluss</b>						
Art	-	Flachdach	Flachdach	Flachdach		
Konstruktion		Beton mit Wärmedämmung	Beton mit Wärmedämmung	Beton mit Wärmedämmung		
Fläche	m²	507	529	529		
U-Wert ist	W/(m²K)	0,11	0,5	0,11		
<b>Fassaden</b>						
Bezeichnung	-	Außenwände	Außenwände	Außenwände		
Nordfassade		273	121	121		
Ostfassade		819	483	483		
Südfassade		273	121	121		
Westfassade	m²	819	483	483		
U-Wert	W/(m²K)	0,13	0,27	0,13		
<b>Unterer Gebäudeabschluss</b>						
Bezeichnung	-	Kellerdecken	Kellerdecken	Kellerdecken		
Konstruktion		Beton mit Trittschalldämmung	Beton mit Trittschalldämmung	Beton mit Trittschalldämmung		
Fläche	m²	507	529	529		
U-Wert ist	W/(m²K)	0,2	1	0,2		
A/V		0,30	0,41	0,41		
<b>Transparente Bauteile</b>						
Text		Passivhausfenster	Wärmeschutzverglasung in Kunststoffrahmen Standard	Passivhausfenster		
Fenster Nord	m²	103	48	48		
Fenster Ost	m²	332	193	193		
Fenster Süd	m²	103	48	48		
Fenster West	m²	332	193	193		
U-Wert	W/(m²K)	0,77	1,60	0,77		
g-Wert (Glas, senkrechter Einf.)	-	0,46	0,58	0,46		
<b>Gebäudetechnik</b>						
<b>Sonnenschutz</b>						
Typ		externe Jalousien	externe Jalousien	externe Jalousien		
Steuerung	-	automatisch	automatisch	automatisch		
effektiver Reduktionfaktor fc	-	0,15	0,20	0,15		
<b>Lüftung</b>						
Art		hocheffiziente zentrale Lüftungsanlage	dezentrale Lüftungsgeräte	hocheffiziente zentrale Lüftungsanlage		
Luftwechsel in Büros normal	1/h	1,50	1,80	1,80		
Infiltration	1/h	0,05	0,05	0,05		
Luftwechsel in Büros erhöht (Sommer tagsüber)	1/h	bis 6 (Fensterlüftung)	bis 6 (Fensterlüftung)	bis 6 (Fensterlüftung)		
<b>Heizung</b>						
Heizwärmeübergabe		Zuluftvorerwärmung	Heizkörper Thermostatventile (1K)	Zuluftvorerwärmung		
<b>Kühlung</b>						
Typ		Zuluftvorkühlung	keine	Luft-Erdwärmetauscher zur Zuluftvorkühlung		
gekühlter / überhitzungsgefährdeter Bereich		alle Büro- und Besprechungsräume	---	alle Klassenräume		
gekühlte / überhitzungsgefährdete Fläche	m²	ca. 2000 m²	---	960 m²		
Fensterflächen zu gekühlten / überhitzungsgefährdeten Bereichen	m²	ca. 800 m²	---	264 m²		
Zieltemperatur (operativ)	°C	24,5	---	24,5		
Betriebszeit Kühlung		7-18 Uhr	---	7-15 Uhr		
Entfeuchtung		keine	keine	keine		
Zielfeuchte	%	keine	keine	keine		
Innere Lasten		Büro: 1 Pers. a 75 W/ 15 m² + 1 PC a 75 W/ 15 m² + Beleuchtung 10 W/m² (tageslicht- und anwesenheitsgesteuert) Betriebszeit: 8 bis 18 Uhr 2 h Mittagspause mit reduzierter Last	Klassenräume: 25 Pers. a 56 W/ 85 m² + Sonstige 7 W/m² (z.B. partielle Beleuchtung) Betriebszeit: 8 bis 13 Uhr => 100 % danach 50 % bis 15 Uhr	Klassenräume: 25 Pers. a 56 W/ 85 m² + Sonstige 3 W/m² (z.B. partielle Beleuchtung) Betriebszeit: 8 bis 13 Uhr => 100 % danach 50 % bis 15 Uhr		
<b>Hauptnutzungszone:</b> Innere Lasten <b>Sonstige Räume (Lager, Treppenhäuser, Flure, WCs):</b>		3 W/m² von 7 bis 19 Uhr (z.B. Beleuchtung, etc.)	7 W/m² von 7 bis 19 Uhr (z.B. Beleuchtung, etc.)	3 W/m² von 7 bis 19 Uhr (z.B. Beleuchtung, etc.)		

Abbildung 33: Übersicht der wesentlichen Grundlagen der Varianten 11 bis 13

# Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

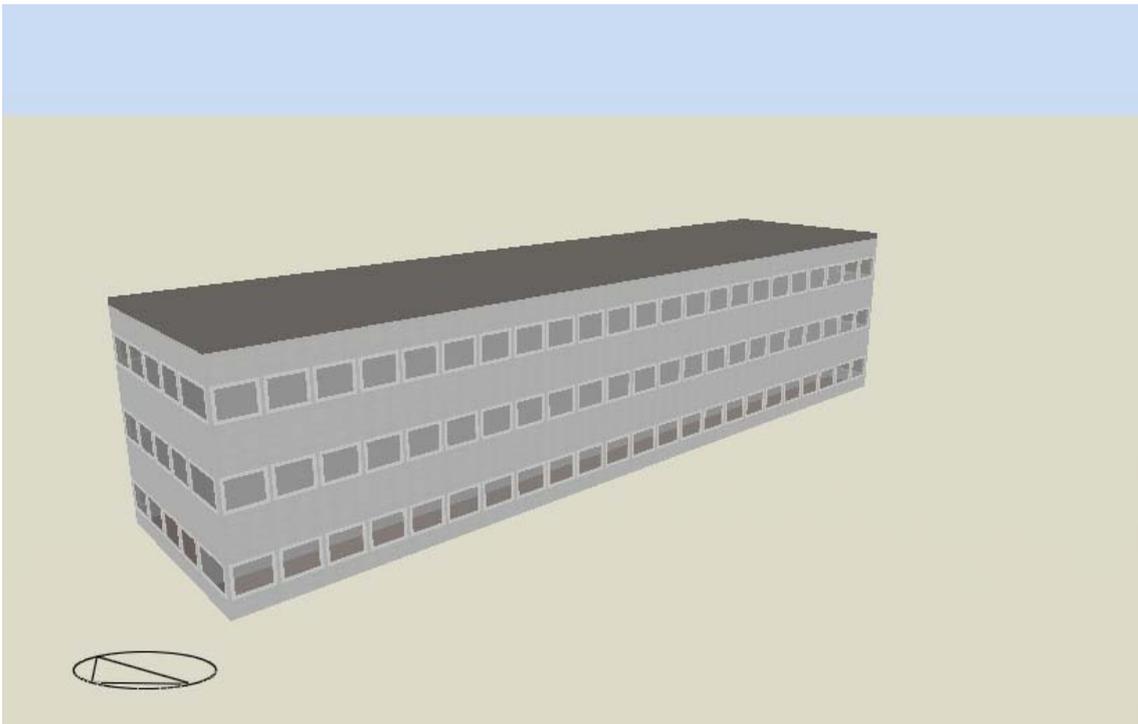


Abbildung 34: Modell Schule (Varianten 12 und 13), Nordwestansicht

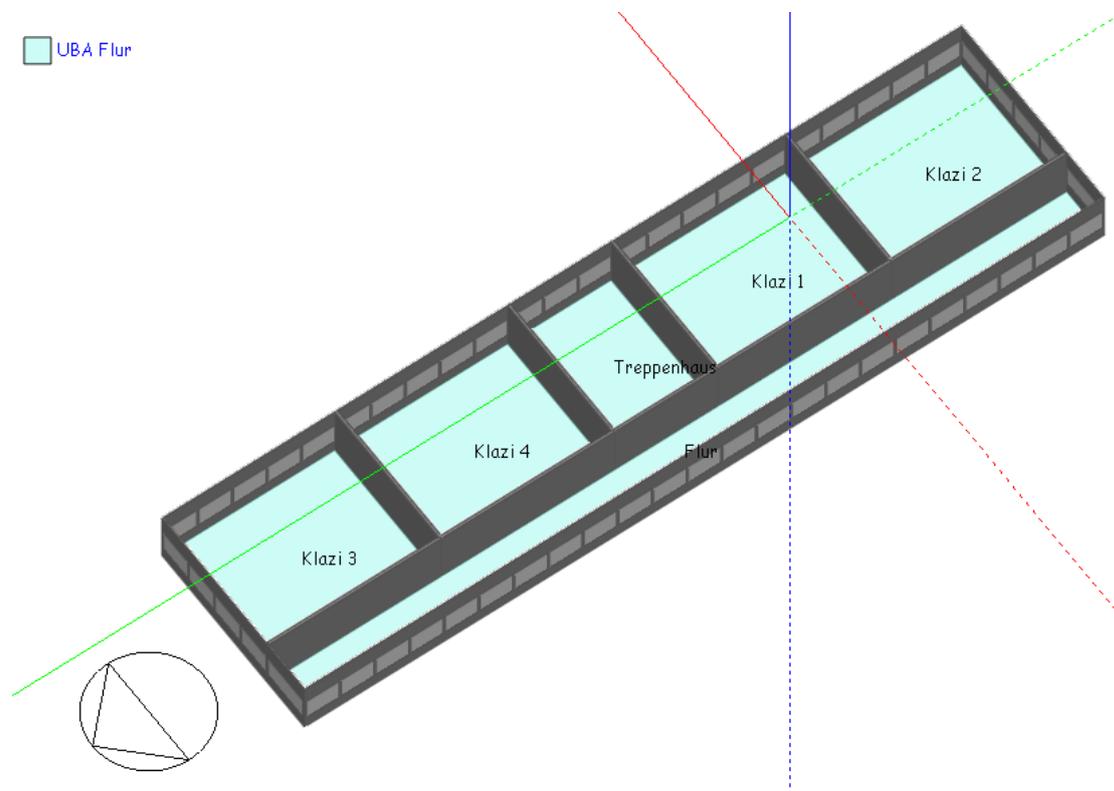


Abbildung 35: Modell Schule (Varianten 12 und 13), Zonierung des 1. Obergeschosses

#### 4.2.2 Ergebnisse der Variante 1a: Reihenendhaus/Doppelhaushälfte, Altbau mit effizientem Splitgerät im Hauptraum

Durch die Installation eines effizienten Splitgerätes kann der für die Kühlung erforderliche Endenergiebedarf gegenüber der Grundvariante mit einem weniger effizienten Gerät um über 30 % reduziert werden.

Tabelle 15: Vergleich der Ergebnisse der Varianten 1 und 1a

Parameter	Region / Klima	1 - DHH Altbau Splitgerät im Hauptraum	1 - DHH Altbau effizientes Splitgerät im Hauptraum
Klimatisierte Fläche		56 m <sup>2</sup>	56 m <sup>2</sup>
Kühlenergieverbrauch	HH	173 kWh/a	
	HHX	502 kWh/a	502 kWh/a
	FFM	342 kWh/a	
	FFMX	1120 kWh/a	1120 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	HHX	9 kWh/(m <sup>2</sup> a)	9 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	FFMX	20 kWh/(m <sup>2</sup> a)	20 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Kühlenergieverbrauch	HH	55 kWh/a	
	HHX	147 kWh/a	100 kWh/a
	FFM	107 kWh/a	
	FFMX	336 kWh/a	224 kWh/a
Endenergie	HH	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	HHX	3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	FFMX	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Maximale empfundene Temperatur	HH	26,1 °C	
	HHX	26,1 °C	26,1 °C
	FFM	26,2 °C	
	FFMX	26,6 °C	26,6 °C
jährliche Überschreitungsstunden von 26°C	HH	6 h/a	
	HHX	5 h/a	5 h/a
	FFM	6 h/a	
	FFMX	58 h/a	58 h/a
Erf. Größe d. Kühlaggregats	HH	3,0 kW	
	HHX	2,9 kW	2,9 kW
	FFM	3,2 kW	
	FFMX	3,6 kW	3,6 kW

#### 4.2.3 Ergebnisse der Variante 2a: Reihenendhaus/Doppelhaushälfte, Neubau EnEV

Obwohl durch die Vorsehung der automatischen Sonnenschutzsteuerung die Wirksamkeit des Sonnenschutzes erheblich verbessert werden kann (Vermeidung von Fehlregelungen), reicht diese Verbesserung weder für das betrachtete Extremsommer-Referenzklima HHX noch FFMX aus, um auch ohne die Vorsehung einer Kühlung ein behagliches Raumklima zu erreichen.

Tabelle 16: Vergleich der Ergebnisse der Varianten 2 und 2a

Parameter	Region / Klima	2 - DHH Neubau Fußbodenkühlung	2a - DHH Neubau ohne Fußbodenkühlung +autom. Sonnenschutz
Klimatisierte Fläche		140 m <sup>2</sup>	140 m <sup>2</sup>
Kühlenergieverbrauch	HH	878 kWh/a	
	HHX	1774 kWh/a	0 kWh/a
	FFM	1629 kWh/a	
	FFMX	3621 kWh/a	0 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	HHX	13 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	12 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	FFMX	26 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Kühlenergieverbrauch Endenergie	HH	203 kWh/a	
	HHX	263 kWh/a	0 kWh/a
	FFM	232 kWh/a	
	FFMX	337 kWh/a	0 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch Endenergie	HH	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	HHX	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	FFMX	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Maximale empfundene Temperatur	HH	24,9 °C	
	HHX	24,8 °C	29,8 °C
	FFM	24,7 °C	
	FFMX	25,7 °C	30,3 °C
jährliche Überschreitungsstunden von 26°C	HH	0 h/a	
	HHX	0 h/a	265 h/a
	FFM	0 h/a	
	FFMX	0 h/a	474 h/a
Erf. Größe d. Kühlaggregats	HH	3,8 kW	
	HHX	3,7 kW	0,0 kW
	FFM	3,7 kW	
	FFMX	4,1 kW	0,0 kW

Bemerkung: Fett gekennzeichnet sind Werte, die als Behaglichkeitseinschränkung zu beurteilen sind, gleichzeitige rote Einfärbung bedeuteten nicht tolerierbare Behaglichkeitseinschränkungen.

#### 4.2.4 Ergebnisse der Verbesserungsvarianten 4a, 4b und 4c: Mehrfamilienhaus-Neubaus ohne Kühlung, Fokus Schlafzimmer in Dachgeschosswohnungen

Die Vorsehung eines wirksamen automatischen Sonnenschutzes führt zu einer deutlichen, aber leider noch nicht ausreichenden Verbesserung der sommerlichen thermischen Situation in den untersuchten westorientierten Schlafzimmern mit Dachschrägenfenstern. Auch die Berücksichtigung einer theoretischen (Nacht-) Lüftung von 3 1/h für den Referenzort Hamburg und sogar 10 1/h für den Referenzort Frankfurt am Main führt nicht zu durchgängig angenehmen sommerlichen Nachttemperaturen. Für den Referenzort Hamburg wird durch die Kombination aus effektiven Sonnenschutz und Nachtlüftung die Akzeptanzgrenze für minimale Behaglichkeitsanforderungen gerade erreicht. Um den erforderlichen Luftwechsel auch bei Windstille und Außenlärm sicher zu stellen, sind mechanische Lüftungseinrichtungen erforderlich. Durch die Berücksichtigung eines Lüfterdwärmetauchers zur Vorkühlung der Zuluft können die maximalen Temperaturen zwar weiter gesenkt werden, optimale Raumklimabedingungen können jedoch auch hierdurch nicht erreicht werden.

Tabelle 17: Vergleich der Ergebnisse der Varianten 4, 4a, 4b und 4c

Parameter	Region / Klima	4 - MFH Neubau ohne Kühlung Schlafzimmer mit Westdachschräge	4a - MFH Neubau wie 4 + autom. ext. Sonnenschutz	4b - MFH Neubau wie 4a + optimaler Nachtlüftung	4c - MFH Neubau wie 4b + LEWT
Klimatisierte Fläche		20 m <sup>2</sup>	20 m <sup>2</sup>	20 m <sup>2</sup>	20 m <sup>2</sup>
Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/a			
	HHX	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a
	FFM	0 kWh/a			
	FFMX	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
	HHX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
	FFMX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/a			
	HHX	0 kWh/a	0 kWh/a	38 kWh/a	49 kWh/a
	FFM	0 kWh/a			
	FFMX	0 kWh/a	0 kWh/a	131 kWh/a	170 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
	HHX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
	FFMX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	7 kWh/(m <sup>2</sup> a)	7 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Maximale empfundene Temperatur	HH	33,8 °C			
	HHX	33,6 °C	29,8 °C	28,6 °C	26,1 °C
	FFM	32,3 °C			
	FFMX	36,6 °C	35,1 °C	31,8 °C	28,7 °C
jährliche Überschreitungsstunden von 26°C	HH	109 h/a			
	HHX	374 h/a	64 h/a	8 h/a	4 h/a
	FFM	309 h/a			
	FFMX	707 h/a	566 h/a	67 h/a	67 h/a
Erf. Größe d. Kühlaggregats	HH	0,0 kW			
	HHX	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW
	FFM	0,0 kW			
	FFMX	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW

Bemerkung: Fett gekennzeichnet sind Werte, die als Behaglichkeitseinschränkung zu beurteilen sind, gleichzeitige rote Einfärbung bedeuten nicht tolerierbare Behaglichkeitseinschränkungen.

#### **4.2.5 Ergebnisse der Verbesserungsvarianten 5a bis 5c: Bürogebäude mit Lochfassade, Altbau (1960) teilsaniert ohne zentrale Kühlung**

Obwohl durch die Vorsehung eines wirksamen, automatischen Sonnenschutzes die sommerliche Situation deutlich verbessert werden kann, reichen die untersuchten Maßnahmen unter den gegebenen Bedingungen nicht zum Erreichen eines behaglichen Raumklimas aus. Der zusätzliche Energieeintrag durch den Betrieb von Tischventilatoren (20 W/ Stück) ist im Verhältnis zu der erzielbaren Kühlwirkung (angenommen wurden hier 2 °C vgl. Kapitel 3.1.4) vernachlässigbar. Aber auch durch den Betrieb der Tischventilatoren kann die Überhitzung allenfalls gemildert, jedoch keine behaglichen Raumluftzustände erreicht werden. Ein ähnliches unzureichendes Behaglichkeitsniveau, wie durch den Einsatz von Tischventilatoren wird durch Implementierung von Freikühlungslüftungseinrichtungen führen, selbst wenn diese, wie in Variante 5c angenommen, einen extrem hohen Luftwechsel von bis zu 10 1/h ermöglichen könnten. Erst durch den Einsatz einer indirekten adiabaten Vorkühlung der Zuluft können, zumindest für den Standort Hamburg, akzeptable Raumklimazustände erreicht werden. Am Standort Frankfurt sollte vor Ausnutzung der letzten Möglichkeit, d.h. der Ausrüstung mit einer Einrichtung zur aktiven Kühlung, sichergestellt werden, dass zuvor auch alle sinnvollen Maßnahmen zur Reduktion der inneren Lasten ausgeschöpft wurden.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Tabelle 18: Vergleich der Ergebnisse der Varianten 5, 5a, 5b und 5c

Parameter	Region / Klima	5 - Büro 1960 Lochfassade ohne Kühlung	5a - Büro 1960 wie 5 + autom. ext. Sonnenschutz	5b - Büro 1960 wie 5a +Tischventilatoren	5c - Büro 1960 wie 5a +Max. Nachtlüftung	5d - Büro 1960 wie 5a + mit mech. Belüftung u. adiab. Kühlung
Klimatisierte Fläche		2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>
Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/a				
	HHX	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	16809 kWh/a
	FFM	0 kWh/a				
	FFMX	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	32444 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)				
	HHX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	7 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)				
	FFMX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	13 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/a				
	HHX	0 kWh/a	0 kWh/a	862 kWh/a	3179 kWh/a	1588 kWh/a
	FFM	0 kWh/a	0 kWh/a			
	FFMX	0 kWh/a	0 kWh/a	1998 kWh/a	6080 kWh/a	3320 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
	HHX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
	FFMX	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Maximale empfundene Temperatur	HH	35,9 °C				
	HHX	36,4 °C	30,7 °C	28,9 °C	27,9 °C	27,8 °C
	FFM	34,2 °C				
	FFMX	37,9 °C	33,3 °C	31,5 °C	30,1 °C	29,4 °C
jährliche Überschreitungsstunden von 26°C	HH	626 h/a				
	HHX	868 h/a	311 h/a	70 h/a	77 h/a	29 h/a
	FFM	912 h/a				
	FFMX	1279 h/a	753 h/a	403 h/a	282 h/a	259 h/a
Erf. Größe d. Kühlaggregats	HH	0 kW				
	HHX	0 kW	0 kW	0 kW	0 kW	24 kW
	FFM	0 kW				
	FFMX	0 kW	0 kW	0 kW	0 kW	26 kW

Bemerkung: Fett gekennzeichnet sind Werte, die als Behaglichkeitseinschränkung zu beurteilen sind, gleichzeitige rote Einfärbung bedeuten nicht tolerierbare Behaglichkeitseinschränkungen.

#### 4.2.6 Ergebnisse der Verbesserungsvarianten 7, 7a bis 7d: Bürogebäude mit Glasfassade, Altbau (1978) teilsaniert mit Vollklimaanlage

Allein durch die Vorsehung eines effektiven Sonnenschutzes kann der Kühlenergiebedarf bei dieser Variante um ca.  $\frac{3}{4}$  gesenkt werden. Ein weiteres erhebliches Energieeinsparpotential von über 30 % ist allein durch die Anhebung des Sollwertes der operativen Raumtemperatur von 24,5 auf 26 °C möglich. Einsparpotentiale in der gleichen Größenordnung d.h. auch im Bereich von ca. 30 % können durch einen Austausch der veralteten RLT Technik erreicht werden. Der Einsatz von PCM (hier angenommen in Form von passiv aktivierten, z.B. in die Trennwände und/oder Deckenkonstruktionen integrierten PCM-Flächen) führt u.a. aufgrund der relativ geringen täglichen Raumtemperaturschwankungen und der verhältnismäßig großen thermischen Massen des Gebäudes nur zu einer geringen Kühlenergiebedarfsreduktion.

Tabelle 19: Vergleich der Ergebnisse der Varianten 7, 7a, 7b, 7c und 7d

Parameter	Region / Klima	7 - Büro 1978 Glasfassade Klimaanlage	7a - Büro 1978 wie 7 + autom. ext. Sonnenschutz	7b - Büro 1978 wie 7a + Tmax 26 °C	7c - Büro 1978 wie 7b + eff. Lüftung und Kühlung	7d - Büro 1978 wie 7c + PCM
<b>Klimatisierte Fläche</b>		2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>
<b>Kühlenergieverbrauch</b>	HH	125581 kWh/a				
	HHX	218672 kWh/a	42698 kWh/a	26897 kWh/a	26897 kWh/a	24396 kWh/a
	FFM	182727 kWh/a				
	FFMX	311290 kWh/a	83115 kWh/a	57797 kWh/a	57797 kWh/a	54474 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	51 kWh/(m <sup>2</sup> a)				
	HHX	88 kWh/(m <sup>2</sup> a)	17 kWh/(m <sup>2</sup> a)	11 kWh/(m <sup>2</sup> a)	11 kWh/(m <sup>2</sup> a)	10 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	74 kWh/(m <sup>2</sup> a)				
	FFMX	126 kWh/(m <sup>2</sup> a)	34 kWh/(m <sup>2</sup> a)	23 kWh/(m <sup>2</sup> a)	23 kWh/(m <sup>2</sup> a)	22 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>Kühlenergieverbrauch</b>	HH	88409 kWh/a				
	HHX	165378 kWh/a	25378 kWh/a	15115 kWh/a	10293 kWh/a	9382 kWh/a
	FFM	134776 kWh/a				
	FFMX	242368 kWh/a	51217 kWh/a	34385 kWh/a	22830 kWh/a	21513 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	36 kWh/(m <sup>2</sup> a)				
	HHX	67 kWh/(m <sup>2</sup> a)	10 kWh/(m <sup>2</sup> a)	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	55 kWh/(m <sup>2</sup> a)				
	FFMX	98 kWh/(m <sup>2</sup> a)	21 kWh/(m <sup>2</sup> a)	14 kWh/(m <sup>2</sup> a)	9 kWh/(m <sup>2</sup> a)	9 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>Endenergie</b>	HH	88409 kWh/a				
	HHX	165378 kWh/a	25378 kWh/a	15115 kWh/a	10293 kWh/a	9382 kWh/a
	FFM	134776 kWh/a				
	FFMX	242368 kWh/a	51217 kWh/a	34385 kWh/a	22830 kWh/a	21513 kWh/a
spez. Endenergie	HH	36 kWh/(m <sup>2</sup> a)				
	HHX	67 kWh/(m <sup>2</sup> a)	10 kWh/(m <sup>2</sup> a)	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	55 kWh/(m <sup>2</sup> a)				
	FFMX	98 kWh/(m <sup>2</sup> a)	21 kWh/(m <sup>2</sup> a)	14 kWh/(m <sup>2</sup> a)	9 kWh/(m <sup>2</sup> a)	9 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>Maximale empfundene Temperatur</b>	HH	24,5 °C				
	HHX	24,5 °C	24,5 °C	26,0 °C	26,0 °C	26,0 °C
	FFM	24,5 °C				
	FFMX	24,5 °C	24,5 °C	26,0 °C	26,0 °C	26,0 °C
<b>jährliche Überschreitungsstunden von 26°C</b>	HH	0 h/a				
	HHX	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a
	FFM	0 h/a				
	FFMX	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a
<b>Erf. Größe d. Kühlaggregats</b>	HH	384 kW				
	HHX	452 kW	182 kW	168 kW	168 kW	161 kW
	FFM	395 kW				
	FFMX	512 kW	217 kW	201 kW	201 kW	196 kW

Bemerkung: Fett gekennzeichnet sind Werte, die als Behaglichkeitseinschränkung zu beurteilen sind, gleichzeitige rote Einfärbung bedeuteten nicht tolerierbare Behaglichkeitseinschränkungen.

#### 4.2.7 Ergebnisse der Verbesserungsvarianten 9 und 9a: Bürogebäude mit Glasfassade, Neubau (2005) mit Betonkernkühlung (BKT)

Bei der Variante 9a wurde eine direkte Kühlung (ohne Kompressionskältemaschine jedoch über Wärmetauscher zwischen Erdsonden-Sole- und BKT-Wasserkreislauf) angenommen. Diese ist derart dimensioniert, dass die erzielbare Kühlleistung sich nicht im Laufe des Jahres erschöpft, wovon bei einer Auslegung der Sonden für die Beheizung über eine Wärmepumpe i.d.R. ausgegangen werden kann. Trotz der vollständig regenerativen Kälteerzeugung darf der notwendige Energiebedarf für die Sole- und die BKT-Pumpen nicht vernachlässigt werden. Der Endenergiebedarf für die Kühlung reduziert sich bei diesem System im Vergleich zu einer herkömmlichen Kälteerzeugung jedoch um immerhin 50 %.

Tabelle 20: Vergleich der Ergebnisse der Varianten 9 und 9a

Parameter	Region / Klima	9 - Büro 2005 Glasfassade BKT	9a - Büro 2005 wie 9 jedoch mit Erdsondenkühlung
Klimatisierte Fläche		2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>
Kühlenergieverbrauch	HH	26936 kWh/a	
	HHX	45145 kWh/a	45145 kWh/a
	FFM	43547 kWh/a	
	FFMX	75821 kWh/a	75821 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	11 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	HHX	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	FFMX	31 kWh/(m <sup>2</sup> a)	31 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Kühlenergieverbrauch	HH	9883 kWh/a	
	HHX	14226 kWh/a	7181 kWh/a
	FFM	13938 kWh/a	
	FFMX	21721 kWh/a	10150 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	HHX	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	3 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	FFMX	9 kWh/(m <sup>2</sup> a)	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Endenergie	HH	26,7 °C	
	HHX	26,9 °C	26,9 °C
	FFM	26,5 °C	
	FFMX	28,1 °C	28,1 °C
Maximale empfundene Temperatur	HH	15 h/a	
	HHX	20 h/a	20 h/a
	FFM	3 h/a	
	FFMX	123 h/a	123 h/a
jährliche Überschreitungsstunden von 26°C	HH	88 kW	
	HHX	88 kW	0 kW
	FFM	84 kW	
	FFMX	95 kW	0 kW
Erf. Größe d. Kühlaggregats	HH		
	HHX		
	FFM		
	FFMX		

Bemerkung: Fett gekennzeichnet sind Werte, die als Behaglichkeitseinschränkung zu beurteilen sind, gleichzeitige rote Einfärbung bedeuten nicht tolerierbare Behaglichkeitseinschränkungen.

#### 4.2.8 Ergebnisse der Verbesserungsvarianten 10 und 10a: Bürogebäude mit Lochfassade, Neubau (2005) mit Betonkernkühlung (BKT)

Durch die Maßnahmen zu Reduktion der inneren Lasten für Bürogeräte und Beleuchtung sowie die Implementierung einer Nachlüftungskühlung (angenommener Luftwechsel: 4,5 1/h), können bei dieser Variante lediglich für das Extremsommerklima am Referenzstandort Hamburg als behaglich einzustufende Raumklimabedingungen erreicht werden. Am Standort Frankfurt müsste, wenn eine hohe Behaglichkeit angestrebt wird, ein Kühlsystem z.B. eine über Erdkälte versorgte Betonkernaktivierung vorgesehen werden.

Tabelle 21: Vergleich der Ergebnisse der Varianten 10 und 10a

Parameter	Region / Klima	10 - Büro 2005 Lochfassade BKT	10a - Büro 2005 wie 10 mit ver. Ausr + Nachtk. o. BKT
Klimatisierte Fläche		2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>
Kühlenergieverbrauch	HH	9687 kWh/a	
	HHX	20153 kWh/a	0 kWh/a
	FFM	20584 kWh/a	
	FFMX	43338 kWh/a	0 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	HHX	8 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	8 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	FFMX	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Kühlenergieverbrauch Endenergie	HH	4913 kWh/a	
	HHX	7716 kWh/a	1598 kWh/a
	FFM	8184 kWh/a	
	FFMX	14143 kWh/a	2876 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch Endenergie	HH	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	HHX	3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM	3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	FFMX	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Maximale empfundene Temperatur	HH	24,2 °C	
	HHX	24,3 °C	26,2 °C
	FFM	24,5 °C	
	FFMX	25,0 °C	28,9 °C
jährliche Überschreitungs- stunden von 26°C	HH	0 h/a	
	HHX	0 h/a	6 h/a
	FFM	0 h/a	
	FFMX	0 h/a	157 h/a
Erf. Größe d. Kühlaggregats	HH	66 kW	0 kW
	HHX	70 kW	0 kW
	FFM	66 kW	0 kW
	FFMX	78 kW	0 kW

Bem.: Fett gekennzeichnet sind Werte, die als Behaglichkeitseinschränkung zu beurteilen sind, gleichzeitige rote Einfärbung bedeuten nicht tolerierbare Behaglichkeitseinschränkungen.

#### **4.2.9 Ergebnisse der Referenzgebäude Passivhausbüro**

Die untersuchten regenerativen Kühlkonzepte der beiden Passivhauslösungen weisen, mit Werten im Bereich von 1 kWh/(m<sup>2</sup>a), einen sehr geringen verbleibenden Endenergieverbrauch für Kühlung auf. Bei beiden Konzepten müssen jedoch auch Einschränkungen bei der sommerlichen Behaglichkeit toleriert werden. Bei der Kühlung mit Erdkälte liegen die Behaglichkeitseinschränkungen für beide untersuchten Klimaszenarien in einem tolerierbaren Bereich. Am untersuchten Klimastandort Frankfurt führt die adiabate Kühlung zu unakzeptabel hohen Überschreitungsdauern. Für die solare Kühlung (Variante 11b) wurde keine separate Simulation durchgeführt, sondern der Kühlenergieverbrauch von Variante 11 übernommen. Zur Bestimmung des Endenergieverbrauchs für Kühlung wurde, in Abstimmung mit einem führenden Hersteller von Solarkühlungsanlagen, von einem elektrischen SEER von 10 ausgegangen. Eine deutlich Verbesserung der sommerlichen Behaglichkeit wäre durch die Vorsehung von zusätzlichen Kühleinrichtungen (vorzugsweise Flächenkühlungen, wie Betonkernaktivierung oder Kühldecken) möglich. Diese könnten entweder über Erdkälte (z.B. Grundwasser) oder über andere hocheffiziente Kälteerzeugungssysteme versorgt werden.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Tabelle 22: Übersicht der Ergebnisse der Varianten 11, 11a und 11b

Parameter	Region / Klima	11 - Passivhausbüro mit WP u. Erdsondenkühlung	11a - Passivhausbüro mit adiabater Kühlung	11b - Passivhausbüro mit solarer Kühlung
Klimatisierte Fläche		2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>	2466 m <sup>2</sup>
Kühlenergieverbrauch	HH			
	HHX	15741 kWh/a	12918 kWh/a	15741 kWh/a
	FFM			
	FFMX	28981 kWh/a	25201 kWh/a	28981 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH			
	HHX	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	5 kWh/(m <sup>2</sup> a)	6 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM			
	FFMX	12 kWh/(m <sup>2</sup> a)	10 kWh/(m <sup>2</sup> a)	12 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Kühlenergieverbrauch	HH			
	HHX	1241 kWh/a	1016 kWh/a	1574 kWh/a
	FFM			
	FFMX	2164 kWh/a	2021 kWh/a	2898 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH			
	HHX	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM			
	FFMX	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Maximale empfundene Temperatur	HH			
	HHX	26,3 °C	27,3 °C	26,3 °C
	FFM			
	FFMX	26,7 °C	28,4 °C	26,7 °C
jährliche Überschreitungsstunden von 26°C	HH			
	HHX	8 h/a	25 h/a	8 h/a
	FFM			
	FFMX	48 h/a	160 h/a	48 h/a
Erf. Größe d. Kühlaggregats	HH			
	HHX	23 kW	18 kW	23 kW
	FFM			
	FFMX	24 kW	19 kW	24 kW

### 4.2.10 Ergebnisse der Referenzgebäude Schule

Für beide untersuchten Schulvarianten ist sowohl der Endenergiebedarf für Kühlung sehr gering als auch die erreichbare Behaglichkeit für den untersuchten Klimastandort als gut zu bewerten. Dies ist vor allem auf die Betriebszeit, die sich auf die morgen- und frühen Nachmittagstunden konzentriert, zurückzuführen. Um auch für die für den Standort Frankfurt berücksichtigten Klimadaten behagliche Raumklimaverhältnisse zu erreichen, wären zusätzliche Kühlmaßnahmen (z.B. die Vorsehung von Kühldecken beim Altbau bzw. einer Betonkernaktivierung beim Neubau) erforderlich.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Tabelle 23: Übersicht der Ergebnisse der Varianten 12 und 13

Parameter	Region / Klima	12 - Sanierte Schule mit dez. Lüftungsanlage	13 - Passivhausschule mit LEWT
Klimatisierte Fläche		960 m <sup>2</sup>	960 m <sup>2</sup>
Kühlenergieverbrauch	HH		
	HHX	4579 kWh/a	7200 kWh/a
	FFM		
	FFMX	9727 kWh/a	25201 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH		
	HHX	5 kWh/(m <sup>2</sup> a)	8 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM		
	FFMX	10 kWh/(m <sup>2</sup> a)	26 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Kühlenergieverbrauch	HH		
	HHX	2211 kWh/a	2067 kWh/a
	FFM		
	FFMX	3056 kWh/a	2021 kWh/a
spez. Kühlenergieverbrauch	HH		
	HHX	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	FFM		
	FFMX	3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Endenergie	HH		
	HHX	26,6 °C	24,0 °C
	FFM		
	FFMX	28,1 °C	28,4 °C
jährliche Überschreitungsstunden von 26°C	HH		
	HHX	8 h/a	0 h/a
	FFM		
	FFMX	102 h/a	160 h/a
Erf. Größe d. Kühlaggregats	HH		
	HHX	0 kW	10 kW
	FFM		
	FFMX	0 kW	19 kW

### 4.2.11 Zusammenfassende Ergebnisbewertung der untersuchten Varianten

Die Simulationen der Verbesserungsvarianten haben gezeigt, dass, insbesondere für das DWD Klimareferenzjahr TRY12 mit Extremsommer (FFMX), die meisten der untersuchten passiven Kühlmaßnahmen, wie eine erhöhte Nachlüftung und ein verbesserter Sonnenschutz, zwar wirksam sind, teilweise aber allein nicht ausreichen, um behagliche Raumklimabedingungen zu erzeugen. Für fassadensanierte und neue Gebäude ist aufgrund der hohen erforderlichen Gebäudeluftdichtigkeit die Implementierung eines Lüftungskonzepts nahezu unabdingbar. Daher sollte, im Sinne einer zukunftsorientierten Planung, über die Möglichkeit einer regenerativen Vorkühlung der Zuluft nachgedacht werden. Dies kann z.B. durch Luft-Erdreichwärmetauscher, die Anbindung an den Solekreislauf bei Sole-Wärmepumpenbeheizung oder eine adiabate Kühlung bei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung erreicht werden.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Durch Implementierung solcher regenerativen Kühlsysteme kann die sommerliche Raumklimasituation weiter verbessert werden.

Insbesondere Objekten an sommerheißen Standorten und Standorten im Bereich urbaner Hitzeinseln, kann es vorkommen, dass auch diese Maßnahmen noch nicht ausreichen um den ggf. hohen Ansprüchen an den sommerlichen Raumkomfort zu genügen. Hier wird die Implementierung weiterer Kühleinrichtungen wie z.B. einer Betonkernaktivierung oder Kühldecken erforderlich. In diesem Fall sollte die Möglichkeit einer Ausnutzung von Erdkälte geprüft werden, die in etwa doppelt so effizient wie eine herkömmliche Kälteerzeugung mit Kompressionskältemaschinen sein kann.

Neben den zuvor beschriebenen Möglichkeiten können aber teilweise auch durch einfachste Maßnahmen wie z.B. das Anheben des Temperatursollwertes Energieeinsparpotentiale in gleicher Größenordnung wie z.B. eine umfassende RLT-Anlagensanierung erreicht werden.

#### 4.2.12 Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse

Aufbauend auf der Analyse der konventionellen Techniken in Abschnitt 0 werden die im Kapitel 4 simulierten alternativen Techniken in Bezug auf ihre Wirtschaftlichkeit und Umweltwirksamkeit bewertet. Dabei liegt die gleiche Methodik zu Grunde. Die angenommenen Investitionskosten sind in der folgenden Tabelle 24 aufgeführt.

	Einheit	Materialkosten	Montage	Quelle
Außenraffstore	[€/Fenster]	340	100	Marktanalyse (Sundiscount, jaloucity, etc.)
Wind- und Sonnensensor	[€/St.]	230		
Steuerungssystem	[€/Steuerungselement]	110		
Außenraffstore	[€/m <sup>2</sup> ]	75	20	Marktanalyse (velux, jaloucity)
Wind- und Sonnensensor	[€/St.]	350		
Steuerungssystem	[€/St.]	200		
Zubehör				
Extrasensor	[€/St.]	70		
Funk	[€/St.]	20		
Trennrelais	[€/	50		

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

	St.]			
Lüftung				Marktanalyse (Conrad electronic, Otto, Amazon, www.preistrend.de)
Wandlüfter	[€/ St.]	200	200	
Tischventilator	[€/ St.]	20	0	
Ansaugschacht	[€/ St.]	520		Marktanalyse (Hegler)
Mauerdurchführung	[€]	120		
Material (Verbindung, Muffen, Dichtung)	[€/ Anlage]	300		
Rohre	[€/ m]	14		
Montage	[€/ h]		50	
Lüftungsanlage				
mit WRG (incl. Montage)	[€/ m³]	25	Incl.	Kennziffernkatalog
mit adiabater Kühlung (incl. Montage)	[€/ m³]	0,5	Incl.	
RLT Sanierung				
Austausch Steuerung				Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie: Energetische Modernisierung raumluftechnischer Anlagen mit Radialventilatoren (2005)
Austausch Ventilatoren	[€/ St.]	4000	Incl.	

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Nachrüstung Antriebe	[€/St.]	2200	Incl.	
Mehrkosten WRG	[€/St.]	11000	Incl.	
Austausch Kühler	[€/m <sup>2</sup> ]	344	Incl.	Experteneinschätzung
PCM	[€/m <sup>3</sup> ]	45	Incl.	Marktanalyse (BASF)
Einsparung durch Aktivierung der Erdsonden einer Sole-Wärmepumpenheizung	[€/Anlage]	32500		eigene Berechnung basierend auf „Vorauslegung des Erdwärmesondenfeldes“ (Umwelt Baugrund Geothermie Geotechnik, 2010)
Sole-Wasser Wärmetauscher	[€/St.]	1300		Marktanalyse ( <a href="http://www.mercateo.com">http://www.mercateo.com</a> , <a href="http://www.dimplex.de/">http://www.dimplex.de/</a> )
Pufferspeicher	[€/St.]	650		
zusätzliche Verrohrung	[€]	1000		
Mehrkosten effizientere Lampen (TL5 und TL 13)	[€/St.]	42		Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie: Beratung und Sensortechnik für energieeffiziente Bürobeleuchtungssysteme (2005);
Mehrkosten für effizientere Monitore	[€/St.]	80		Deutsche Energie Agentur (dena): Strom sparen mit Computer und Co
Wärmepumpe	[€]	9000		Kennziffernkatalog GfEM

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Solare Kühlung	[€]	90000		Kostenvoranschlag von Sortech
Dezentrale Lüftungsanlage	[€]	120000		<a href="http://www.enob.info/de/sanierung/projekt/details/kaethe-kollwitz-schule-aachen/">http://www.enob.info/de/sanierung/projekt/details/kaethe-kollwitz-schule-aachen/</a>

Tabelle 24: Investitionskosten der alternativen Techniken.

Die detaillierten Annahmen zur Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse sind in Tabelle 27 (Anhang A) zu finden. An dieser Stelle sein nochmals darauf hingewiesen, dass die alternativen Varianten immer für die Extremklimata simuliert sind.

Wesentliche Ergebnisse sind die Spezifischen Jahresgesamtkosten Annuitäten, die in Abbildung 36 bis Abbildung 38 getrennt nach Investitionen, Energie- und Wartungs- bzw. Instandhaltungskosten aufgeführt sind. Genau wie bei der Betrachtung der konventionellen Techniken sind auch die Investitionskosten bei den alternativen Techniken je nach Standort und Technik unterschiedlich und variieren mit Größe und Technik.

Bei der Betrachtung der Einfamilienhäuser (Abbildung 36, Var.1-2) fällt auf, dass die Fußbodenkühlung im Vergleich zum automatischen Sonnenschutz die günstigere Alternative ist (Voraussetzung: Erdsonden sind schon vorhanden!). Die teuerste Alternative (abgesehen vom Standort Hamburg im normalen Szenario) ist das Splitgerät, das in der Anschaffung in etwa so viel kostet, wie die Automatisierung des Sonnenschutzes, zusätzlich aber Energiekosten verursacht. Der Einsatz eines hoch effizienten Splitgerätes (Var.1a) ist in Bezug auf die Jahresgesamtkosten günstiger als die Variante 1 und verursacht aufgrund der besseren Effizienz geringere THG-Emissionen.

Im Hinblick auf die Emissionen ist zu erkennen, dass das Splitgerät die höchsten spezifischen Emissionen verursacht, gefolgt von der Fußbodenkühlung. Sonnenschutz verursacht so gut wie keine Emissionen, da er so gut wie keinen Strom benötigt. Die Energiekosten für die Steuerung des Sonnenschutzes werden nicht betrachtet, da sie als marginal erachtet werden. Generell wird erneut deutlich, dass die Emissionen am Klimastandort „Hamburg (HH)“ am geringsten und in Szenario „Frankfurt, extreme Sommerperiode (FFMX)“ am höchsten ausfallen.

Bei der Betrachtung der Mehrfamilienhäuser (Abbildung 36, Var.3-4) fällt auf, dass das Kompaktgerät die wirtschaftlichste Lösung ist und das trotz der anteilig hohen Energiekosten, die zwischen 30 bis 50% (Szenario HH, HHx, FFM, und im Szenario

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

FFMX sogar ungefähr 70% betragen. Die spezifischen Kosten des Sonnenschutzes betragen ungefähr zwei- bis dreimal so viel, wie die des Kompaktgerätes.

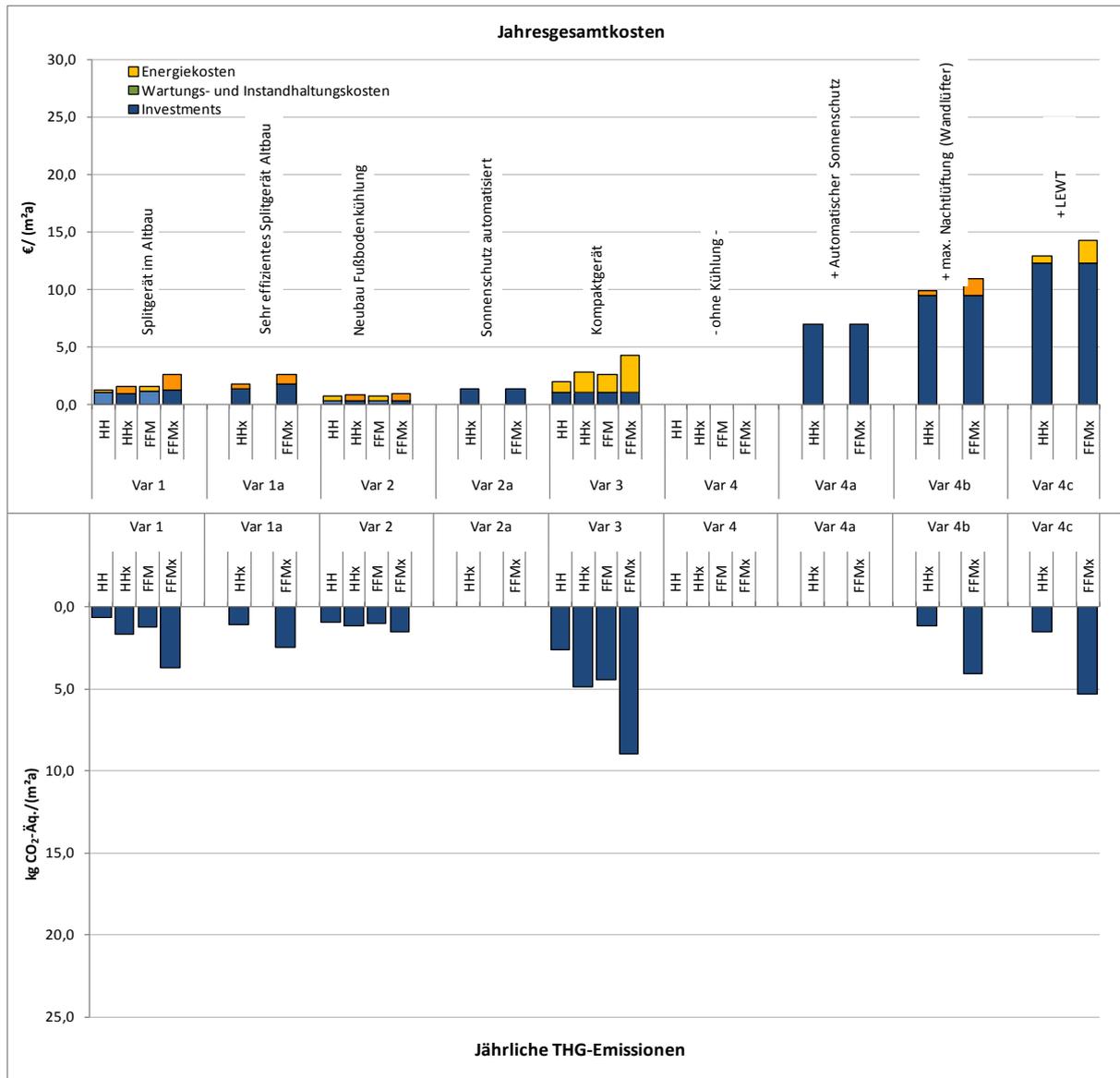


Abbildung 36: Spezifische Jahresgesamtkosten und THG-Emissionen der konventionellen und alternativen Kühlsysteme in Wohngebäuden.

An dieser Stelle sein angemerkt, dass Neubauten die Sonneneintragskennwerte nach EnEV 2009 nicht überschreiten dürfen (s. Anhang zur EnEV). Bei vielen Neubauten ist dies jedoch der Fall. In diesen Fällen wären ohnehin Sonnenschutzeinrichtungen vorzusehen, deren Kosten dann für die Reduzierung der Kühlenergiebedarfe nicht anfallen würden. Die Investitionskosten für die Variante 4c mit Luft-Erdwärmetauscher

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

berücksichtigen lediglich den Erdwärmetauscher. Es wird davon ausgegangen, dass eine Lüftungsanlage bereits vorhanden ist.

Die Betrachtung der bestehenden Bürogebäude (

Abbildung 37, Var. 5-7) zeigt, dass bei Variante 5 die spezifischen Kosten der Lüftungsanlage ungefähr das Dreifache der spezifischen Kosten eines Sonnenschutzes betragen (Variante 5d-1, maximale Kosten). Da die Lüftungsanlage neben der Kühlfunktion auch für eine Wärmerückgewinnung genutzt werden kann, sind die Investitionskosten in der Variante 5d-2 bei gleichen technischen Eigenschaften der Heizfunktion zugewiesen (minimale Kosten). Die für die Variante 5d anzusetzenden Kosten liegen in der Realität zwischen diesen beiden Werten.

Die Investition in Sonnenschutz können den Energiebedarf der Vollklimaanlage (Variante 7) auf ungefähr ein Viertel reduziert und dadurch die spezifischen Gesamtkosten trotz Investition in den Sonnenschutz auf ungefähr die Hälfte sinken.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

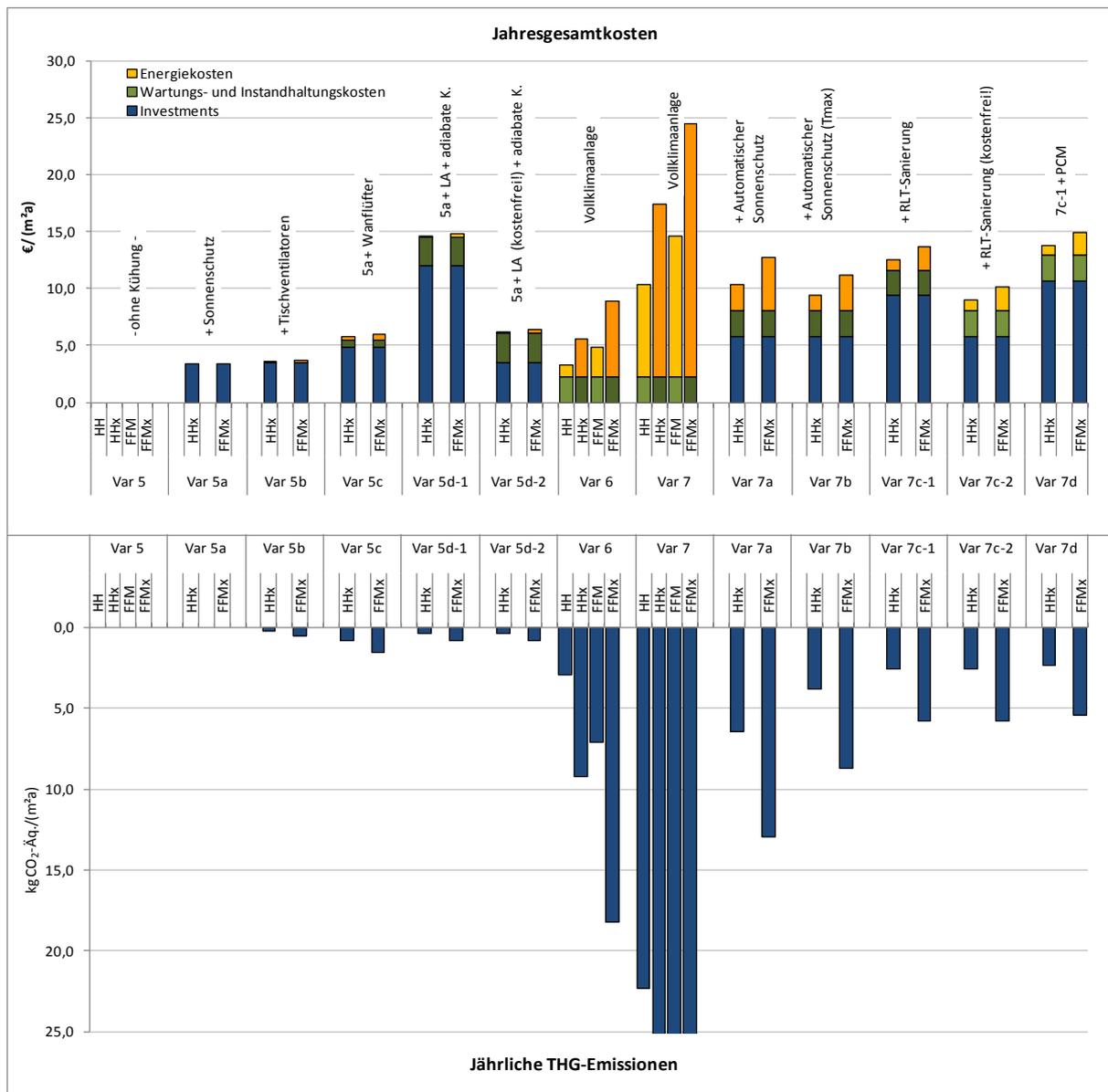


Abbildung 37: Spezifische Jahresgesamtkosten und THG-Emissionen der konventionellen und alternativen Kühlsysteme in Bürogebäuden (Varianten 5 bis 7).

Die spezifischen Energiekosten allein betrachtet werden um das ca. 5-6 fache reduziert und mit ihnen die Emissionen. Die Sanierung der RLT-Anlage halbiert die Energiebedarfe nochmals um die Hälfte. Bei der RLT ist neben der Variante 7c-1 (maximale Kosten) mit den Vollkosten der Sanierung auch eine Variante 7c-2 mit einer in diesem Kontext „kostenfreien“ Sanierung der RLT-Anlage gerechnet. Die Kosten werden hierbei der zusätzlichen Wärmerückgewinnung zugerechnet.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Der zusätzliche Einsatz von PCM vermindert die Energiekosten nur noch marginal. Es liegt daran, dass die Referenz-Bürogebäude bereits über eine relativ hohe thermische Speichermasse verfügen.

Die Betrachtung der weiteren Gebäude (Abbildung 38) zeigt, dass bei der Variante 9 die Erdsondenaktivierung als Kühlung sich auf jeden Fall lohnt, wenn vorausgesetzt wird, dass es die Erdsonden der Wärmepumpe schon gibt und nur die Mehrkosten betrachtet werden. Die erzielte Energiekosteneinsparung ist in jedem Fall höher als die Investitionskosten für die Aktivierung der Erdsonden als Kältequelle (Wärmetauscher und Pufferspeicher). Gleiches gilt für Variante 11. Die Kapazität der Erdsonden kann bei Heiz- und Kühlbetrieb über die Sonden geringer ausfallen als bei reinem Heizbetrieb, da im letzten Fall ein größeres Bodenvolumen aktiviert werden muss.

Weiterhin ist anzumerken, dass lediglich bei der WP mit Erdsondenkühlung in den Varianten 11-13 die maximal zulässige Temperatur nicht überschritten wird. Mit solarer Kühlung wird eine Überschreitung der Behaglichkeitstemperatur an 48 h/a erreicht, bei anderen Varianten (adiabate Kühlung, dezentrale Lüftung, Lufterdwärmetauscher) liegt der Wert um 100-300% höher. Variante 11 zeigt, dass eine Reduzierung der inneren Lasten nicht ausreicht, um behagliche Temperaturen zu erreichen (157 h/a Überschreitung).

Für die Varianten 12 und 13 führt die Nachrüstung der dezentralen Lüftung in der sanierten Schule zu ungefähr doppelt so hohen spezifischen Jahresgesamtkosten wie die Ausrüstung der Neubau-Passivhausschule mit einem Lufterdwärmetauscher. Hinsichtlich der Emissionen verursacht die dezentrale Lüftungsanlage leicht höhere Emissionen als der Lufterdwärmetauscher der Passivhausschule. Auch hier dient die Lüftungsanlage vor allem der Verbesserung der Raumluftqualität. Da die Investitionskosten jedoch in voller Höhe angesetzt sind, sind die tatsächlichen Kosten analog zu den Varianten 5 und 7 etwas niedriger.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

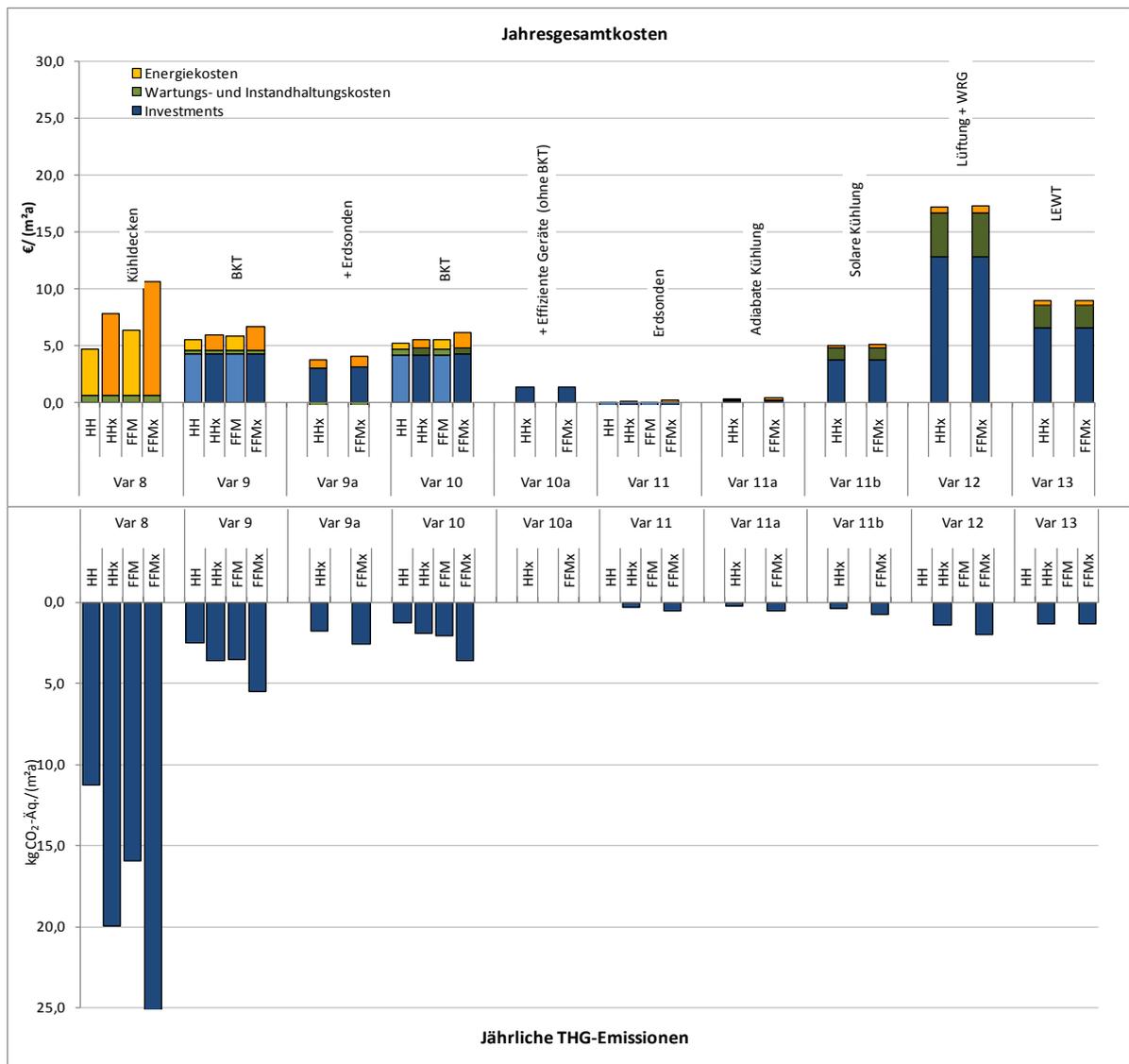


Abbildung 38: Spezifische Jahresgesamtkosten und THG-Emissionen der konventionellen und alternativen Kühlsysteme in Bürogebäuden (Varianten 8 bis 13).

Hieraus lässt sich die generelle Aussage treffen, dass ein automatisierter Sonnenschutz bei Nichtwohngebäuden mit hohen Glasflächenteilen (Vollverglasung) unter den gegebenen Randbedingungen (Klima, Zinssatz, Investitionskosten, Zustand der Gebäude) stets wirtschaftlich einsetzbar ist. Hier überkompensieren die Energiekosteneinsparungen die Investitionskosten.

Weiterhin ist eine Aktivierung ohnehin vorgesehener oder vorhandener Erdsonden als Kältequelle stets rentabel.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Ein Splitgerät ist in der Nachrüstung für bestehende Wohngebäude die wirtschaftlichste Lösung, aber mit den meisten Emissionen verknüpft. Hier ist ein automatisierter Sonnenschutz nicht rentabel, aber effektiv.

Im Neubau (Variante 11) ist die solare Kühlung noch relativ teuer, hier ist die Kühlung über Erdsonden und eine adiabate Kühlung wesentlich wirtschaftlicher zu realisieren. Die THG-Emissionen unterscheiden sich bei diesen Varianten nur unwesentlich.

### 4.3 Technisches und realistisches Potential

#### 4.3.1 Allgemeines

In diesem Arbeitspaket wird das Potenzial zur Treibhausgasminderung und Verringerung bzw. Vermeidung des Energieverbrauchs zur Kühlung (getrennt nach Wohn- und Bürogebäuden bei Neubau und im Bestand) untersucht. Dabei sind das technische und das realistische Potential ermittelt und dargestellt.

Technisches Potential:

Als technisches Potential werden die Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen bei einer theoretischen sofortigen und kompletten Umsetzung aller ermittelten Möglichkeiten betrachtet.

Realistisches Potential:

Zur Ermittlung des realistischen Potentials wurde ein Szenario entwickelt, das (durch politische und rechtliche Maßnahmen unterstützt) in einem ambitionierten aber realistischen Zeitrahmen eine substantielle Marktdurchdringung passiver Vermeidungsstrategien und umweltfreundlicher aktiver Kühlsysteme unterstellt.

Die Berechnungen zum technischen und realistischen Potential erfolgten in einem Bottom-up Ansatz, basierend auf folgenden Parametern: Kühlenergiebedarf pro Gebäudetyp, Umsetzungsraten passiver Kühlungsstrategien, Effizienzunterschiede von aktiven Systemen, Marktdurchdringung verschiedener Systeme sowie Neubau- und Abrissraten.

Dabei werden die Kühlenergiebedarfe für etwa 50% der klimatisierten Flächen aus den detaillierten Simulationen ermittelt (vor allem für Büro- und Verwaltungsbauten sowie Schulen). Für die restlichen 50% der klimatisierten Flächen in Deutschland werden spezifische Endenergiebedarfe zur Kühlung aus Studien (u.a. Schломann 2004) angesetzt. In Abbildung 39 ist die Flächenverteilung nach Sektoren im Gesamtbestand sowie die Aufteilung der klimatisierten Flächen gegeben. Wohngebäude haben einen hohen Anteil (> 50% an der Gesamtfläche in Deutschland). Insgesamt sind in

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Wohngebäuden nur zwei Prozent der Flächen gekühlt, wohingegen im Durchschnitt 33% der Flächen im Nichtwohngebäudebereich gekühlt sind (vgl. Tabelle 25). Die Grafik verdeutlicht, den hohen Anteil (~ 70%) der Bürogebäude und des Handels/kommerzielle Sektor an den gekühlten Flächen, wohingegen im Wohngebäudebereich verhältnismäßig wenig gekühlt wird.

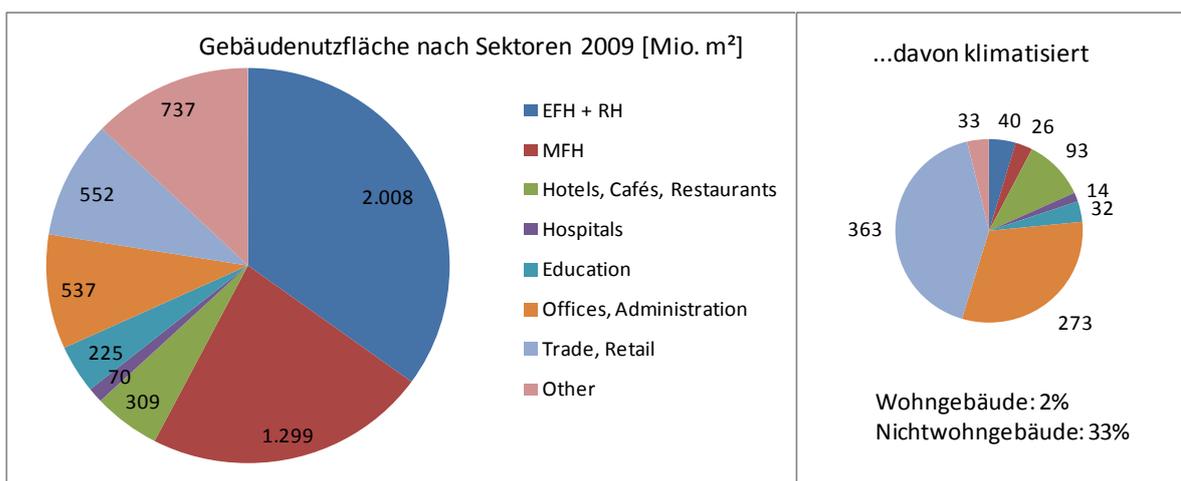


Abbildung 39: Gebäudenutzflächenverteilung in Deutschland nach Sektoren.

Klimatisierte Anteile	2009
<b>Wohnen</b>	
EFH + RH	2%
MFH	2%
<b>Nichtwohnen</b>	
Hotels, Cafés, Restaurants	30%
Krankenhäuser	20%
Erziehung, Bildung	14%
Büros, Verwaltung	51%
Handel, Einzelhandel	80%
Flughäfen	100%

Tabelle 25: Anteile klimatisierter Flächen nach Sektoren.

Für den Status quo sind die in Abbildung 40 angesetzten spezifischen Endenergiebedarfe berücksichtigt worden. Aus der Verknüpfung der klimatisierten Flächen (Abbildung 39) mit den spezifischen Bedarfen ergeben sich die gesamten Endenergiebedarfe nach Sektoren. Die spezifischen Endenergiebedarfe zur Kühlung sind in Flughäfen und im kommerziellen Sektor mit 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) am höchsten, gefolgt von Bürogebäuden, Krankenhäusern und Hotels mit 20 kWh/(m<sup>2</sup>a). Wohngebäude haben einen spezifischen Strombedarf für Kühlung um ca. 5 kWh/(m<sup>2</sup>a) im Falle des MFH und ca. 1 kWh/(m<sup>2</sup>a) im Falle des EFH. Der Gesamtbedarf an Strom zur Kühlung ist mit ca. 12.000 GWh/a am höchsten im Sektor Handel, gefolgt von dem der

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Bürogebäude mit ca. 5.000 GWh/a. Die beiden Sektoren sind ca. für 72 % des Strombedarfs für Kühlung verantwortlich.

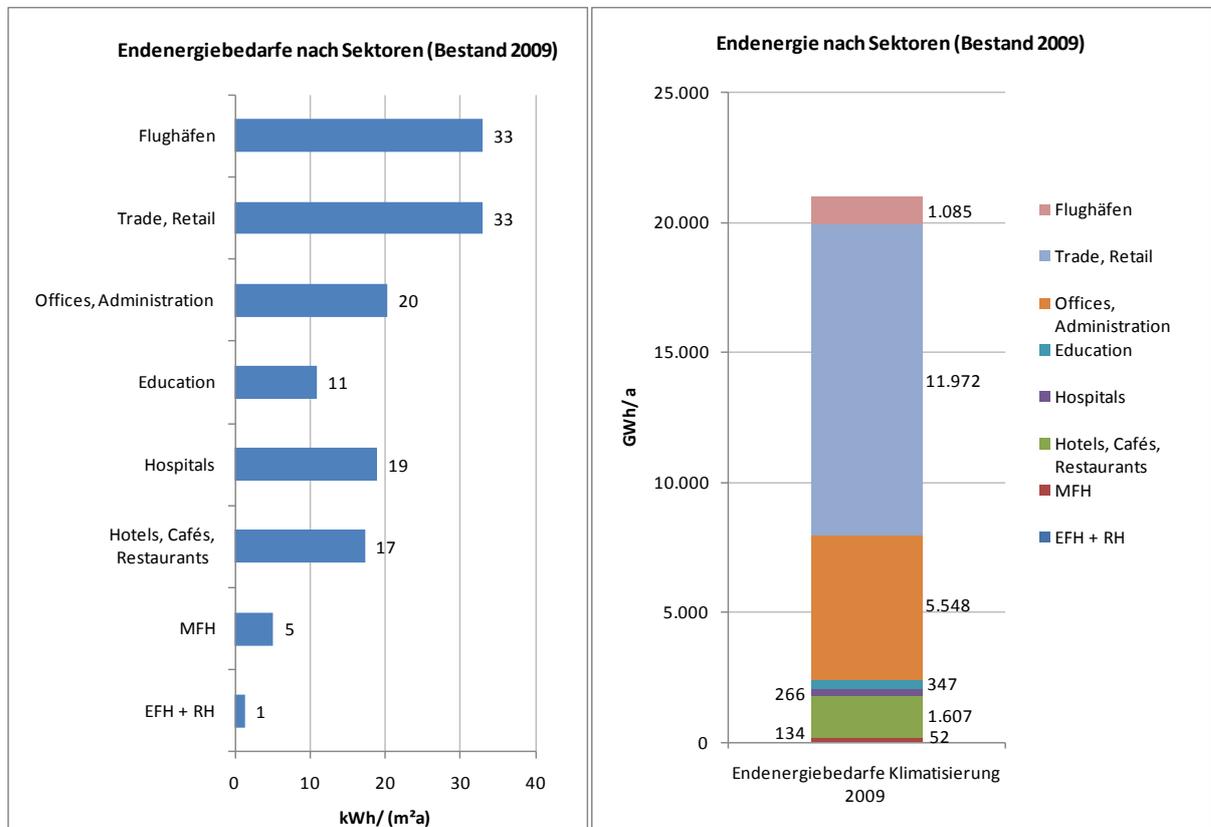


Abbildung 40: Spezifische und gesamte Endenergiebedarfe zur Kühlung nach Sektoren.

Zur Abbildung zukünftiger Entwicklungen sind zwei Szenarien gerechnet: Ein Referenzszenario (= Frozen Technology Reference Level) und ein Innovationsszenario.

Im Referenzszenario werden zwar der zukünftige Austausch von Kühlgeräten als auch Zubau und Rückbau berücksichtigt, nicht aber die technische Weiterentwicklung der Geräte (Frozen Technology). Alle zukünftig zu klimatisierenden Flächen werden mit der im Ausgangsjahr 2009 zur Verfügung stehenden Technik ausgerüstet. Daraus ergeben sich die in Abbildung 41 dargestellten spezifischen Energiebedarfe für den Austausch bestehender Systeme und für den Zubau neuer Anlagen.

Für das Innovationsszenario werden bei der Definition der Energiebedarfe (der auch die Simulationen zu Grund liegen) die technischen Weiterentwicklungen (wie z.B. verbesserte Effizienzen oder die Entwicklung von regenerativen Systemen) berücksichtigt. Somit sind die spezifischen Energiebedarfe für Austausch und Zubau geringer als im Referenzszenario (vgl. Abbildung 41).

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

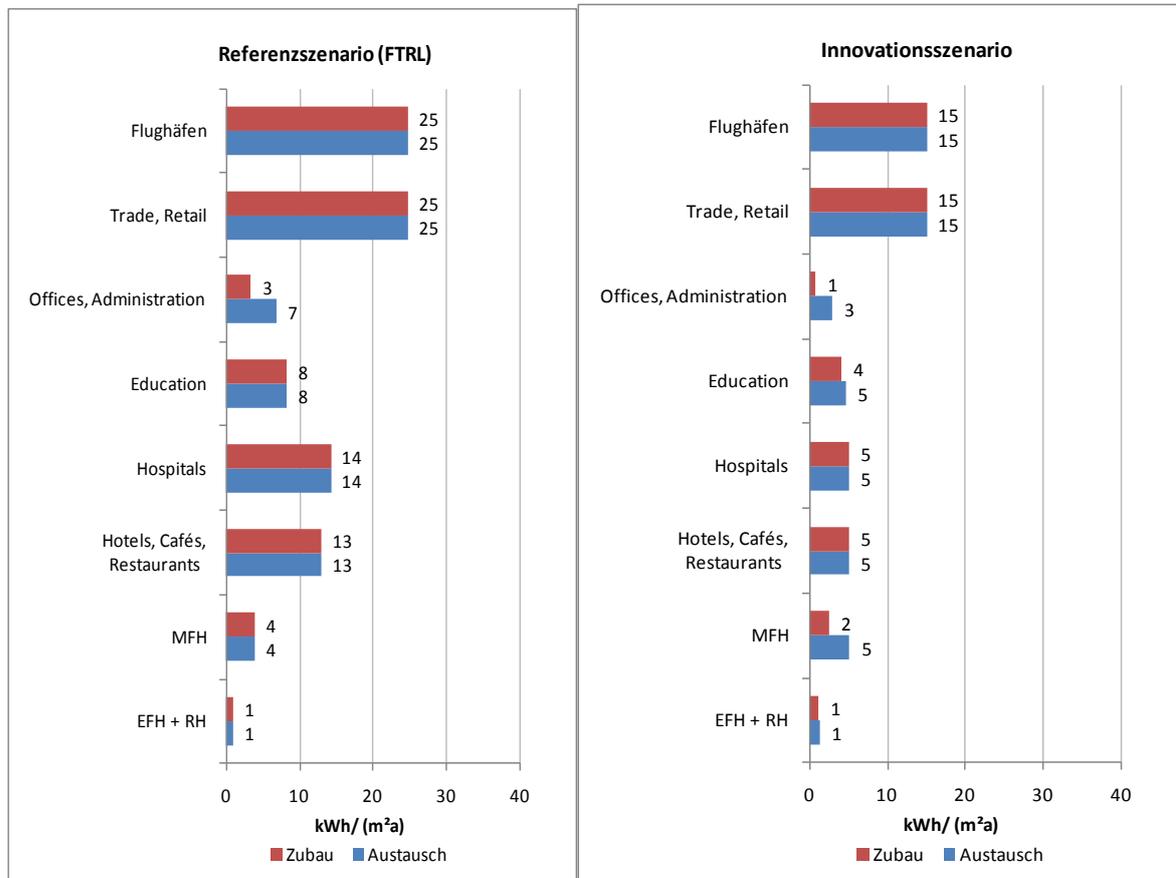


Abbildung 41: Spezifische Energiebedarfe zur Kühlung im Referenz- und Innovationsszenario (Zubau in Neubauten, Austausch in Bestandsgebäuden).

### 4.3.2 Realistisches Potential

Zur Bestimmung des Realistischen Potentials liegen beiden Szenarien gleiche Umsetzungsraten in Bezug auf Austausch von Kühlgeräten, Zubau und Rückbau zu Grunde. Die in Tabelle 26 genannten Umsetzungsraten beziehen sich auf die im jeweiligen Sektor klimatisierten m<sup>2</sup>.

Die Simulationen sowie die Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalysen sind jeweils für die Standorte Hamburg und Frankfurt durchgeführt worden, für ein Referenzjahr mit heutigem Klima und ein Referenzjahr mit Extremsommer. Soweit möglich ist auf die Simulationen zurückgegriffen, ergänzt durch Expertenschätzungen und Literaturwerte in Bezug auf Kühlendenergiebedarfe pro Nutzung (s. Anhang B). In der Potentialberechnung ist die derart berücksichtigt, dass die Flächen in Deutschland zu 2/3 dem Hamburger Klima und zu 1/3 dem Frankfurter Klima zugerechnet werden. Dies ergibt sich aus der Einteilung Deutschlands in Klimaregionen nach DIN 4108-2.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

	Austausch % p.a.	Zubau % p.a.	Rückbau % p.a.
<b>Wohnen</b>	bezogen auf die m <sup>2</sup> im Sektor		
EFH + RH	3,0%	10,0%	0,1%
MFH	3,0%	10,0%	0,1%
<b>Nichtwohnen</b>			
Hotels, Cafés, Restaurants	3,0%	2,0%	0,2%
Hospitals	3,0%	2,0%	0,2%
Education	3,0%	4,0%	0,2%
Offices, Administration	3,0%	2,0%	0,2%
Trade, Retail			
Einzelhandel	3,0%	0,5%	0,1%
Großhandel	3,0%	0,5%	0,1%
Handelsvermittlung	3,0%	0,5%	0,1%
Other			
Baugewerbe	0,0%	0,0%	0,0%
Herstellungsbetriebe	0,0%	0,0%	0,0%
Bäder	0,0%	0,0%	0,0%
Nahrungsmittelgewerbe	0,0%	0,0%	0,0%
Wäschereien	0,0%	0,0%	0,0%
Landwirtschaft	0,0%	0,0%	0,0%
Gartenbau	0,0%	0,0%	0,0%
Flughäfen	3,0%	0,0%	0,0%
Textil, Bekleidung, Leder	0,0%	0,0%	0,0%
Spedition, Lagerei	0,0%	0,0%	0,0%

Tabelle 26: Annahmen zu Umsetzungsraten (Realistisches Potential).

Weiterhin wurde für beide Szenarien (Referenz- und Innovationsszenario) jeweils eine Variante mit und ohne Klimaeinfluss berechnet. Ohne Klimaeinfluss bedeutet, dass steigende die Endenergiebedarfe in Zukunft lediglich durch die Umsetzungsraten bestimmt werden können. In der Variante mit Klimaeinfluss sind die Simulationsergebnisse für das Referenzjahr mit heutigem Klima (heutiges Klima) und das Referenzjahr mit Extremsommer (Extremklima) derart kombiniert, dass in 2009 zu 100% das heutige Klima angenommen mit und bis 2030 mit einem linearen Übergang bis hin zum 100%-igen Extremklima gerechnet wird. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass das Extremklima das theoretische Maximum darstellt und nicht als realistisch eingeschätzt wird.

Abbildung 42 zeigt den prognostizierten Verlauf der Endenergiebedarfe (Strombedarfe) zur Kühlung in Deutschland bis 2030 für das Referenzszenario als auch das Innovationsszenario. Die in Kapitel 2 durchgeführte Literaturrecherche und Einordnung der Ergebnisse führt zu der in grau dargestellten Prognose der Energiebedarfe.

Da heute schon sehr viel effizientere Anlagen zur Kühlung auf dem Markt sind als in vielen Bestandsgebäuden (vor allem Nichtwohngebäude), nehmen die Energiebedarfe für das Referenzszenario trotz starker Zubauraten absolut etwas ab (orange Linie).

Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung



Abbildung 42: Szenarien zur Entwicklung des Endenergiebedarfs für Gebäudekühlung bis 2030.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Wird der steigende Klimaeinfluss berücksichtigt, so ergeben sich hier jedoch auch Steigerungen bei den Energiebedarfen.

Werden jedoch entsprechende Vermeidungsmaßnahmen getroffen sowie regenerative Techniken eingesetzt, können sich nochmals deutlich sinkende Energiebedarfe draus ergeben (grüne Linie). Selbst bei einer vollständigen Berücksichtigung der zukünftigen Klimaerwärmung (100% Extremklima in 2030!) würden damit die Energiebedarfe in 2030 auf etwa gleichem Niveau liegen wie 2009.

Im Falle der maximal angenommenen Klimaerwärmung würde der Endenergiebedarf für Kühlung im Referenzszenario bei 28.800 GWh/a und im Innovationszenario bei 19.900 GWh/a liegen. Somit wäre durch den Einsatz von alternativen Techniken gegenüber dem Referenzszenario eine Einsparung von ~ 9.000 GWh/a bzw. von 32% möglich.

### 4.3.3 Technisches Potential

Neben dem Realistischen Potential wurde auch das technische Potential berechnet. Es gibt an, wie viel Energie theoretische durch eine sofortige und vollständige Umsetzung der Maßnahmen gespart werden könnte. Hier liegen die gleichen spezifischen Energiebedarfe zu Grunde (vgl. Abbildung 39 und Abbildung 41 sowie Tabelle 25). Würden die Techniken im Bestand heute mit den Technoligen im Referenz- bzw. Innovationsszenario ad hoc ersetzt, dann ergeben sich die Reduktionspotentiale nach Abbildung 43.

Das technische Potential zur Minderung des Energiebedarfs zur Gebäudekühlung gegenüber dem Status quo von 21.000 GWh/a beträgt im Referenzszenario 36% und im Innovationsszenario 64%. Die Grafik illustriert, dass die verhältnismäßig höchsten Potentiale bei den Bürogebäuden bestehen.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

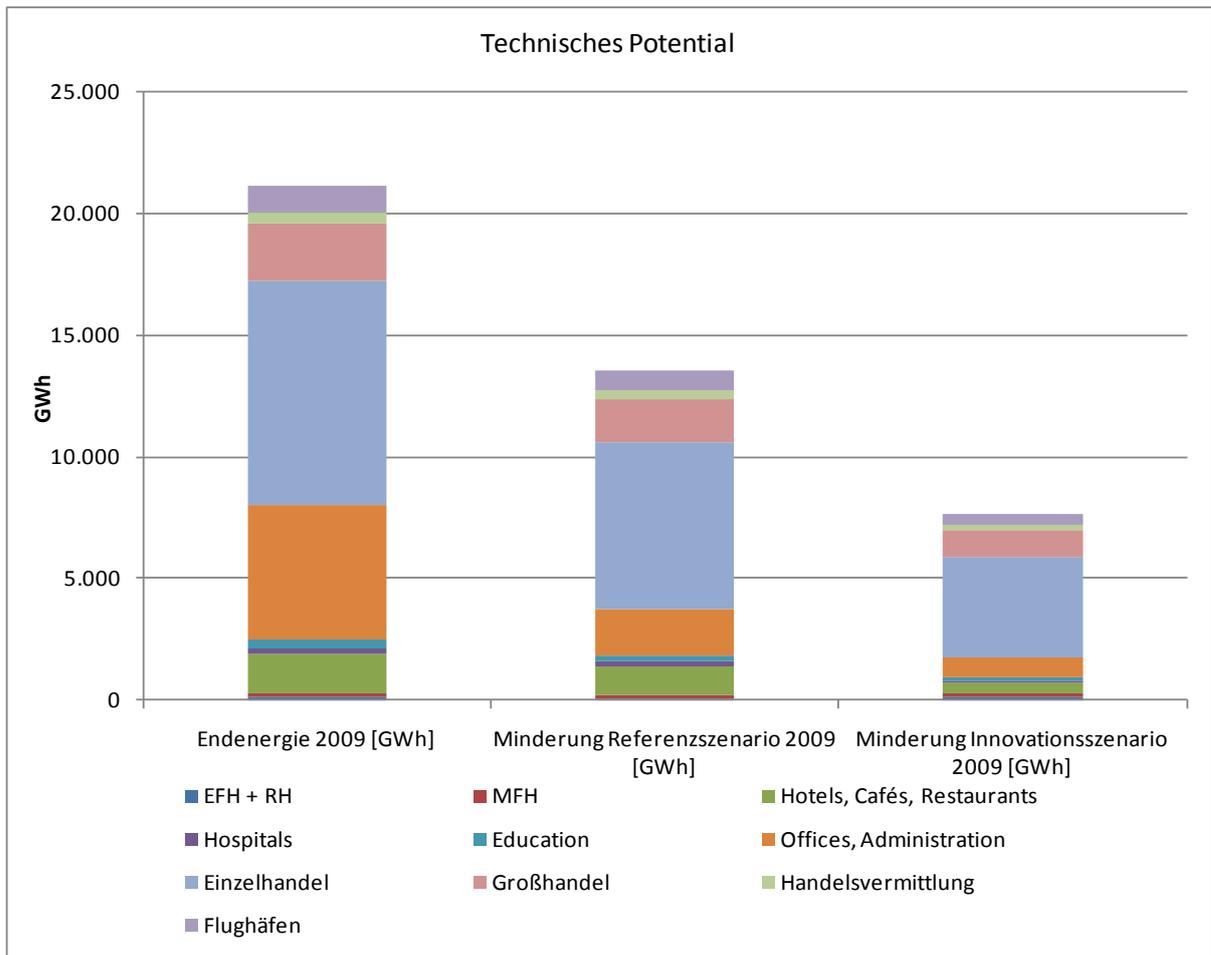


Abbildung 43: Technisches Potential für das Referenz- und Innovationsszenario.

## **5 Einflussmöglichkeiten auf den Energiebedarf für Gebäudekühlung**

Der Energiebedarf für die Gebäudekühlung in Europa und Deutschland wird zukünftig weiter ansteigen. Es wird angenommen, dass die zu kühlende Gebäudefläche im Jahr 2020 vier Mal so hoch sein wird wie im Jahr 1990 [Adnot et al. 1999; Adnot et al. 2003]. In Geschäfts- und Bürogebäuden wird bis 2020 die Kühlung auf 70 % im Gebäudebestand ansteigen [Adnot, J., Riviere, P., et al. (2003)]. Die Internationale Energieagentur bezeichnet Kühlung und Klimatisierung sogar als eines der am schnellsten wachsenden Felder des derzeitigen Energiebedarfs [International Energy Agency, 2004].

Diese Tatsache trägt nicht zu den übergeordneten politischen Zielen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen bei, die sich Deutschland im Rahmen des Integrierten Klima- und Energieprogramms gesetzt hat. Ziel ist es die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis 2020 um 40 % im Vergleich zu 1990 zu reduzieren.

Die Probleme liegen auf zwei Ebenen. Auf der einen Seite generieren die Anlagen, die in Neubauten installiert werden, oder die bei Sanierungsmaßnahmen von Bestandsgebäuden eingebaut werden, nicht nur vermeidbare ökologische Kosten, sondern sie verursachen auch beträchtliche ökonomische Kosten während ihres Betriebes. Auf der anderen Seite gibt es bereits Maßnahmen zur Gebäudekühlung, die nur wenig oder keine Energie zu ihrem Betrieb benötigen, dafür aber oftmals höhere Investitionskosten durch eine komplexere Planung und versteckte Kosten wie zusätzlich benötigte Schulungsmaßnahmen nach sich ziehen und damit die schnelle Anwendung dieser effizienten Techniken erschweren.

### **5.1 Hemmnisse und weitere Handlungsempfehlungen**

Für eine substantielle Marktdurchdringung passiver Vermeidungsstrategien und umweltfreundlicher aktiver Kühlsysteme bestehen verschiedene rechtliche, organisatorische und technische Hindernisse. Diese werden im Folgenden näher erörtert. Dabei wird auf die rechtlichen Hemmnisse fokussiert, da sich hieraus konkrete Ansatzpunkte für weitere Handlungsempfehlungen, die laut Aufgabenstellung zu entwickeln sind, ergeben.

#### **5.1.1 Rechtliche Hemmnisse und weitere Handlungsempfehlungen**

Mit Hinblick auf die im Bereich der Gebäudekühlung vorherrschenden rechtlichen Instrumente der Energieeinsparverordnung (EnEV) und dem Erneuerbare-Energien-Wärme Gesetz (EE-WärmeG) fällt auf, dass es bereits Ansatzpunkte gibt, die das Thema Gebäudekühlung aufgreifen. So schließt die EnEV für Nicht-Wohngebäude die

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Gebäudekühlung in die Berechnung der maximalen Primärenergiekennwerte mit ein. Gerade im Bereich der Wohngebäude und Bestandsbauten, die nicht umfassend renoviert werden, ist bisher jedoch kein kühlungsspezifischer Ansatz vorhanden. Entsprechender Nachbesserungsbedarf wird daher nach Erörterung der spezifischen Hemmnisse aufgezeigt.

### 5.1.1.1 Energieeinsparverordnung (EnEV)

Die Anforderungen der EnEV an Lüftungs- und Klimaanlageanlagen stehen hinter den Vorschriften für die Gebäudehülle und die Heiztechnik zurück. Zwar haben sich die Anforderungen bei der Novelle der EnEV 2009 im Gegensatz zu 2007 verschärft (so wird beispielsweise in § 15 für alle Klima- und Lüftungsanlagen ab 4000 m<sup>3</sup>/h eine Pflicht zur Wärmerückgewinnung eingeführt), trotzdem gibt es zahlreiche Möglichkeiten, die EnEV entsprechend den Anforderungen, die sich an den Markt für Klimatechnik stellen (höhere Kosteneffizienz bei gleichzeitig steigender Energieeffizienz), anzupassen.

Die rechtliche Grundlage für alle Maßnahmen im Gebäudebereich ist die Europäische Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (2010/31/EG), die durch das Energieeinspar-Gesetz (EnEG) und der darauf beruhenden Energieeinsparverordnung (EnEV) in nationales Recht umgesetzt werden wird. Für den Bereich Gebäudekühlung enthält darüber hinaus das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) grundlegende Vorschriften.

Die EnEV gilt für beheizte oder gekühlte Wohn- und Nichtwohngebäude bzw. Gebäudeteile, deren Nutzfläche mindestens 50 qm beträgt. Für Wohn- und Nichtwohngebäude unter 50 qm enthält sie ein weniger anspruchsvolles Anwendungsregime, das die Besonderheiten dieser Gebäude berücksichtigt. Die EnEV dient der ganzheitlichen Optimierung des Energieverbrauchs von Gebäuden. Dabei schreibt sie die Anwendung verschiedener Normen und Verfahren vor.

Die Regelungen der EnEV können wie folgt zusammengefasst werden:

- Energieausweis für Neu- und Bestandsbauten
- Energetische Mindestanforderungen für Neubauten
- Energetische Mindestanforderungen für Modernisierung, Umbau, Ausbau und Erweiterung bestehender Gebäude
- Mindestanforderungen für Heizungs-, Kühl- und Raumlufttechnik sowie Warmwasserversorgung
- Energetische Inspektion von Klimaanlageanlagen

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Hinsichtlich des Bezugs zur Gebäudekühlung ergeben sich für Wohn- und Nichtwohngebäude unterschiedliche Anforderungen aus der EnEV, woraus entsprechende Hemmnisse für die Senkung des Energieverbrauchs zur Gebäudeklimatisierung abgeleitet werden können.

### **Wohngebäude (Neubau und Bestand)**

Ein Haupthemmnis zur Senkung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung im Wohngebäudebereich ist darin zusehen, dass dieses Thema trotz ansteigenden Anforderungen an den Bedarf der Gebäudekühlung bisher nicht ausreichend in der EnEV adressiert wird.

Der Jahres-Primärenergiebedarf für Kühlung ist nach dem in Anlage 1 Nummer 2.8 EnEV angewendeten Verfahren zu berechnen. Für einzeln aufgelistete Kühltechniken sind unterschiedliche Aufschläge auf den berechneten Primär- bzw. Endenergiebedarf zu erheben. Zwar wird durch die Abstufung der Höhe der Aufschläge eine Differenzierung verschiedener Kühltechniken vorgenommen<sup>1</sup> und der Einsatz erneuerbarer Energien berücksichtigt, was dazu führt, dass die Kühlung in einem Wohngebäude entsprechend beim End- und Primärenergiebedarf berücksichtigt wird.

---

<sup>1</sup> Bei fest installierten Raumklimageräten (Split-, Multisplit- oder Kompaktgeräte) der Energieeffizienzklassen A, B oder C sowie bei Kühlung mittels Wohnungslüftungsanlagen mit reversibler Wärmepumpe ist der Jahres-Primärenergiebedarf um 16,2 kWh/(m<sup>2</sup> a) und der flächenbezogen Endenergiebedarf um 6 kWh/(m<sup>2</sup> a) zu erhöhen. Bei Einsatz von Kühlflächen im Raum in Verbindung mit Kaltwasserkreisen und elektrischer Kälteerzeugung, z. B. über reversible Wärmepumpe, ist der Jahres-Primärenergiebedarf um 10,8 kWh/(m<sup>2</sup> a) und der Endenergiebedarf um 4 kWh/(m<sup>2</sup> a) zu beaufschlagen. Erfolgt die Deckung des Energiebedarfs für Kühlung aus erneuerbaren Wärmesenken (wie Erdsonden, Erdkollektoren, Zisternen) muss der rechnerische Jahres-Primärenergiebedarf lediglich um 2,7 kWh/(m<sup>2</sup> a) und der Endenergiebedarf um 1 kWh/(m<sup>2</sup> a) erhöht werden. Bei Einsatz von Geräten, die weiter oben nicht aufgeführt sind, ist der Jahres-Primärenergiebedarf um 18,9 kWh/(m<sup>2</sup>a) und der Endenergiebedarf um 7 kWh/(m<sup>2</sup>a) zu erhöhen. Die Erhöhung gilt für den Anteil der Gebäudenutzfläche, bei dem eine derartige Technik zum Einsatz gelangt. Häufig werden nur Teilbereiche eines Wohnhauses gekühlt.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Dieser zusätzliche Energiebedarf wirkt sich bei Kühlung verschärfend auf die Anforderungen aus, da die aus dem Referenzgebäude ermittelten zulässigen Werte eine Raumkühlung nicht vorsehen und der zusätzliche Kühlanteil daher kompensiert werden muss. Nummer 3 der Anlage 1 nennt zusätzlich maximale Sonneneintragskennwerte für den Neubaubereich. Diese werden jedoch in der Praxis häufig nicht eingehalten. Für Bestandsgebäude, die die Anforderungen an den Primärenergiebedarf der EnEV erreichen und bei denen mehr als 10 Prozent des jeweiligen Bauteils der Gebäudefläche geändert wird, gelten nach § 9 EnEV dieselben Anforderungen wie für Neubauten, allerdings mit einem Zuschlag der Werte um 40 Prozent. Bei Bestandsgebäuden (Wohngebäude und Nichtwohngebäude) sind Höchstwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten bei Außenbauteilen angesetzt.

### **Weitere Handlungsempfehlungen:**

Da bisher zwar der Kühlenergieverbrauch bei Wohngebäuden bereits berücksichtigt, jedoch noch nicht ausreichend transparent (bspw. für Käufer, Mieter etc.) dargestellt wird, ist hinsichtlich § 16 ff (Energieausweise und Empfehlungen für die Verbesserung der Energieeffizienz) zu empfehlen, dass sowohl bei verbrauchs-basierten als auch bei bedarfsorientierten Energieausweisen für Wohngebäude der stromrelevante Energieverbrauch der Gebäudetechnik auszuweisen ist. (Zur Erfassung des speziellen Energieverbrauchs für die Klimageräte müsste ein entsprechender Zähler installiert werden – die Umsetzung zur Verpflichtung zu einer Installation bedarf einer weitergehenden juristischen Prüfung.) Bisher ist nur durch einen Hinweis in dem Energieausweis ersichtlich, dass in dem Wohngebäude gekühlt wird. Nicht zu ermitteln ist hier jedoch der entsprechende Stromverbrauch. Entsprechend sollte in § 19 Absatz 2 der EnEV eine Ergänzung vorgenommen werden.

### **Nichtwohngebäude (Neubau und Bestand)**

Im Gegensatz zu den Wohngebäuden gibt es im Bereich der Nichtwohngebäude bereits Ansatzpunkte zur Begrenzung des Kühlenergiebedarfs, die jedoch noch weiter ausgearbeitet werden müssen.

Für Nichtwohngebäude ist nach § 3 EnEV der Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasser, Lüftung, Kühlung und zusätzlich Beleuchtung nach Anlage 2 Nummer 2 oder 3 zu bestimmen. Im Gegensatz zu Wohngebäuden werden für Nichtwohngebäude in Tabelle 1 Referenzwerte zur Raumkühlung und Kälteerzeugung angegeben. Eine Begrenzung der Kühllasten besteht hiermit jedoch nicht, da beispielsweise durch effizientere Beleuchtung oder Heizungsanlagen ineffiziente Kühlsysteme ausgeglichen werden können. Auch der Einsatz erneuerbarer Energien wird nicht entsprechend berücksichtigt. Ebenso wie bei Wohngebäuden gelten nach § 9 EnEV dieselben Anforderungen für Bestandsgebäude, die die Anforderungen an den Primärenergiebedarf der EnEV erreichen, mit einem Zuschlag der Werte um 40 Prozent.

**Weitere Handlungsempfehlungen:**

Für Nichtwohngebäude besteht ein maximaler Jahres-Primärenergiekennwert, in den die Raumkühlung und Kälteerzeugung einbezogen ist. Um einer zu erwartenden Steigerung der Kühlenergie zu begegnen, ist daher zu empfehlen, in § 4 der EnEV einen zusätzlichen Absatz zur Begrenzung der Kühllasten bei Neubauten aufzunehmen, dessen weitere Ausführungen in Anlage 2 zu bestimmen wären. Diese Anforderungen müssten dabei dem Wirtschaftlichkeitsgebot aus dem EnEG entsprechen, wonach die Anforderungen nur dann als wirtschaftlich vertretbar gelten, wenn generell die erforderlichen Aufwendungen innerhalb der üblichen Nutzungsdauer durch die eintretenden Einsparungen erwirtschaftet werden können.

In § 4 Absatz 4 finden sich auch für Nichtwohngebäude Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz.

**Weitere Handlungsempfehlungen:**

Weiterhin ist die Verschärfung der Sonneneintragskennwerte in der EnEV für Nicht-Wohngebäude möglich, um die solaren Lasten im Sommer zu minimieren.

Die DIN V 18599 beinhaltet die Berechnungsmethoden für die Planung von Neu- und Altbauten sowie Wohn- und Nichtwohngebäuden. Die DIN V 18599 ist als Berechnungsgrundlage für Nichtwohngebäude bindend, für Wohngebäude kann auch noch die DIN 4108 angewendet werden.

**Weitere Handlungsempfehlungen:**

Die Berechnungsmethoden zur Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs für Kühlung in DIN V 18599 sollten auch innovative und alternative Berechnungsmethoden wie Betonkernkühlung, Nachtkühlung und solare Kühlung berücksichtigen. Hier sind ebenfalls entsprechende Ergänzungen vorzunehmen. In der EnEV müsste dann ein entsprechender Verweis auf die aktualisierte Fassung der DIN V 18599 erfolgen.

Schließlich wird in § 12 EnEV die energetische Inspektion von Klimaanlage über 12 kW gefordert. Eine Empfehlung bzw. Pflicht zum Unterlassen der Nutzung von ineffizienten Anlagen besteht damit aber noch nicht.

**Weitere Handlungsempfehlungen:**

In die EnEV sollte künftig ein Passus aufgenommen werden, der bestimmt, dass Klimaanlage, die einer bestimmten Effizienzklasse des EU-Labels zugeordnet werden können, innerhalb eines bestimmten Zeitraumes auszutauschen bzw. energetisch auf eine höhere Effizienzklasse zu sanieren sind. Dabei ist das Wirtschaftlichkeitsgebot des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) zu beachten und eine entsprechende Ermächtigungsgrundlage im EnEG vorzusehen.

**Fazit:** Trotz des Schwerpunktes auf Heizenergie wird sowohl bei Nichtwohngebäuden als auch bei Wohngebäuden der Energiebedarf für die Gebäudekühlung bei Bestands- und Neubauten zunehmend mit einbezogen. Angesichts eines sich verändernden Marktes und äußerer Temperaturbedingungen muss der Fokus hier jedoch zukünftig noch enger angesetzt werden. Eine große Lücke besteht zudem für Bestandsbauten, bei denen keine umfassenden Sanierungsmaßnahmen vorgenommen werden, obwohl diese Gebäude in Deutschland einen sehr großen Anteil am Gebäudebestand aufweisen. Es wäre wünschenswert, wenn auch für diese Gebäude zukünftig Anforderungen bestehen würden. Die Bundesregierung hat in ihrem aktuell veröffentlichten Energiekonzept der energetischen Gebäudesanierung eine zentrale Rolle eingeräumt und ein Konzept für einen langfristigen Sanierungsfahrplan angekündigt [BMW/BMU 2010]. Wünschenswert wäre, dass hier insbesondere diese Lücke geschlossen werden kann.

Darüber hinaus sind Instrumente im ökonomischen Bereich wie Förderprogramme, ebenso wie Kampagnen notwendig, um alternativen Kühlsystemen zum Durchbruch zu verhelfen.

### 5.1.1.2 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)

Neben der EnEV gilt seit Anfang 2009 für Neubauten das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz. Es fordert, dass Eigentümer die Wärme zum Heizen, Kühlen und Warmwasser teilweise durch erneuerbare Energie decken: Sonne, Biogas, Biomasse, Erd- oder Umweltwärme. Alternativ können verpflichtete Eigentümer auch die Energieeffizienz ihres Gebäudes erhöhen: durch eine bessere Wärmedämmung, indem sie Abwärme oder Kraft-Wärme-Kopplung nutzen oder ihr Gebäude an ein entsprechendes Wärmenetz anschließen.

Das EEWärmeG schließt zwar auch die Kältenutzung definitorisch mit ein, allerdings ist das Gesetz hinsichtlich seiner Konzeption und sämtlicher darin enthaltener Umsetzungsvorgaben faktisch allein auf die Wärmenutzung ausgerichtet. Es soll erreichen, dass bis 2020 mindestens 14 % der für Heizzwecke eingesetzten Primärenergie aus erneuerbaren Quellen stammen muss. Dies wird u.a. umgesetzt durch eine Nutzungspflicht erneuerbarer Energien für Neubauten, die je nach Technik zwischen 15 % (Solarthermie) und 50 % (Biomasse, Geothermie etc.) beträgt. Die Nutzungspflicht kann unter bestimmten Umständen substituiert werden, z.B. durch zusätzliche Dämmung, die dazu führt, dass der Primärenergiebedarf mindestens 15 % unter EnEV-Standard liegt.

Der zu erbringende Anteil erneuerbarer Energien bzw. der Substitutionsmaßnahmen wird anhand des prognostizierten Wärmebedarfs des jeweiligen Gebäudes rechnerisch ermittelt.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Es wird hier bereits deutlich, dass durch die bestehenden Regelungen nicht ohne weiteres ein zusätzlicher Bedarf bzgl. der Gebäudekühlung adressiert werden kann. Zum einen ist der Kühlungsbedarf eines Gebäudes von anderen Voraussetzungen abhängig:

- Neben der Dämmung haben vor Allem die Größe der verglasten Flächen sowie die Ausrichtung des Gebäudes zur Sonneneinstrahlung erhebliche Auswirkungen auf den Kühlungsbedarf
- Nutzungsabhängig kann es zu erheblichen Wärmeemissionen innerhalb des Gebäudes kommen (EDV, Beleuchtung, betriebliche Anlagen etc.), die ggf. einen zusätzlichen Kühlungsbedarf induzieren.

Insofern sind eine rechnerische Vorausbestimmung der Kühllasten und die Definition entsprechender Maßnahmen nur eingeschränkt möglich bzw. wesentlich komplexer als bezüglich des Wärmebedarfs.

Zum Anderen gehört die Gebäudekühlung in Deutschland nicht traditionell zur Standard-Ausstattung, sondern es handelt sich hier um einen relativ neuen Markt, der sowohl durch steigendes Komfortbedürfnis als auch die Zunahme heißer Sommertage in absehbarer Zeit weiter wachsen wird. Die technischen Optionen sind heterogener als im Bereich der Gebäudeheizung, bei gleichzeitig weniger anspruchsvollen technischen und baulichen Mindeststandards.

Aus diesen grundlegenden Unterschieden ergibt sich, dass für den Kältesektor andere Zielsetzungen erforderlich sind: es muss zunächst die Begrenzung von Zuwächsen beim Stromverbrauch in der EnEV angestrebt werden, bzw. deren möglichst hohe Deckung durch erneuerbare Energien, ohne dass Ausgangs- oder Zielgrößen klar bestimmt werden können. Hinzu kommt, dass kühlungsbedingte Zuwächse beim Stromverbrauch nach den derzeit vorherrschenden technischen Gegebenheiten nicht erfasst werden können.

Im Bereich der herkömmlichen, strombetriebenen Gebäudekühlung kann derzeit nur in begrenztem Umfang auf Substitution durch erneuerbare Energien zurückgegriffen werden (z.B. Anwendungen auf Basis von Kraft-Wärmekopplung, Solar- oder Geothermie). Hier besteht die Gefahr, dass der Einsatz erneuerbarer Energien in Gebäuden mit einem Energiestandard unter EnEV-Neubau-Niveau nicht kosteneffizient sein kann.

### **Weitere Handlungsempfehlungen:**

Bevor die Logik des EEWärmeG (bestimmter Anteil Erneuerbarer Energien sowie alternativ zusätzliche Effizienz) anwendbar ist, muss beispielsweise durch die zuvor beschriebene und juristisch begutachtete Verschärfung der EnEV ein ordnungspolitischer Rahmen geschaffen werden, der die weiter oben genannten

gebäudespezifischen Einflussfaktoren auf den Kühlungsbedarf lückenlos abbildet. Zusätzlich sollten hinsichtlich des Nutzerverhaltens anreizbasierte Maßnahmen ähnlich dem MAP geschaffen werden.

Sofern ein solcher ordnungspolitischer Rahmen besteht, können analog zum EEWärmeG folgende Regelungen für die Gebäudekühlung geschaffen werden:

- Definition einer Mindestquote zur Deckung des Endenergiebedarfs für Kühlung aus erneuerbaren Energien bzw. die Pflicht zur Deckung bestimmter Anteile der Gebäudekühlung mit erneuerbaren Energien (Wärmepumpen, z.B. in Verbindung mit Photovoltaik; Erdwärmesonden; solar- und biomassebasierte Anwendungen, z.B. in Verbindung mit Langzeitspeichern) oder Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung. Hier muss beachtet werden, dass eine Mindestquote unter Umständen verfassungsrechtlichen Bedenken unterliegen kann und das Prinzip der Verhältnismäßigkeit u.U. nur durch die gleichzeitige Auflage von finanziellen Förderprogrammen gewahrt sein könnte.
- Substitutionsmöglichkeit durch über die ordnungspolitisch gesetzten Mindeststandards hinausgehende Effizienzmaßnahmen (Betonkernaktivierung, intelligente Fassadensysteme, hocheffiziente Beleuchtung, Kälte-Rückgewinnung etc.)

Positiver Aspekt einer solchen Regelung wäre, neben der Begrenzung zusätzlicher Emissionen, die verstärkte Markteinführung bereits existenter Techniken, Produkte und Bauteile. Negativ könnten sich die u. U. hohen Investitionskosten der Maßnahmen auswirken, die zunächst von den Gebäudeeigentümern zu tragen wären. Aus diesem Grund sollte, ebenfalls analog zum EEWärmeG, die Nutzungspflicht unbedingt mit einem Fördersystem ähnlich dem Marktanreizprogramm (direkte Zuschüsse für die Maßnahmen) einhergehen.

### 5.1.1.3 Energiebetriebene Produkte-Gesetz (EBPG) /Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV)

Ansatzpunkte für eine weitere Marktdurchdringung alternativer Kühlsysteme ist die erhöhte Transparenz für den Verbraucher in Form von Kennzeichnungspflichten für konventionelle Klimasysteme. Da ein Großteil der Umweltwirkungen eines Produktes durch das Design und die Konstruktion bereits vorbestimmt ist, zielt die ErP-Richtlinie darauf ab, die Umweltverträglichkeit energiebetriebener Produkte (und mit der Neufassung (2009/125/EG) auch energierelevanter Produkte) durch die Vorgabe allgemeiner und spezifischer Ökodesign-Anforderungen zu verbessern. Die Ökodesign-Richtlinie wurde in Deutschland umgesetzt im Energiebetriebene Produkte-Gesetz.

Für mobile Klimageräte sind die rechtlichen Hemmnisse durch die Einführung des EU-Labels für Haushaltsgroßgeräte formal bereits durch die auf europäischen Vorschriften

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

gründende EnVKV beseitigt. Wie in einer aktuellen Untersuchung<sup>2</sup> jedoch festgestellt wurde, werden mobile Klimaanlage häufig mit irreführenden Klimaschutzargumenten beworben. 35 Unternehmen wurden abgemahnt, die für Klimaanlage mit fehlenden, falschen oder scheinbar positiven Angaben warben. Die Produkte waren gar nicht oder falsch in Bezug auf ihre Energieeffizienz und den Verbrauch gekennzeichnet und/oder mit Hinweisen wie "voll ökologisch" oder "hoch effizient" beworben, obwohl der Stromverbrauch dieser Geräte besonders hoch ist. Ein Großteil der Unternehmen wurde ebenfalls abgemahnt, weil sie die Kältemittel der Geräte als "umweltschonend" oder "umweltfreundlich" bezeichneten, obschon diese klimaschädlich sind und die Nutzung teilweise bereits seit 1991 gesetzlich eingeschränkt wurde. Die Bundesländer sind für die Kontrolle der Kennzeichnung durch den Handel zuständig, die stichprobenartig erfolgt.

### **Weitere Handlungsempfehlungen:**

Die jüngste Untersuchung hat gezeigt, dass der Vollzug der Kontrollen der Kennzeichnungspflicht zu wünschen übrig lässt [Verbraucherzentrale Bundesverband 2010]. Es besteht demnach weiterer Handlungsbedarf beispielsweise beim Vollzug der EnVKV.

Auch für Raumklimageräte bis zu 12 kW werden derzeit die Durchführungsmaßnahmen der Öko-Design- und der Energieverbrauchskennzeichnungs-Richtlinie auf EU-Ebene erarbeitet bzw. überarbeitet und somit die notwendigen Weichen zu höherer Transparenz für den Verbraucher gestellt. Diese Produktgruppe betrifft hauptsächlich Anlagen für den privaten Wohnbereich und für kleinere Gewerbeeinheiten. Die EU-Verordnungen werden für Anfang 2011 erwartet. Gewerbliche Klimaanlage sollen in einer gesonderten Verordnung behandelt werden; die Vorbereitungen auf europäischer Ebene laufen derzeit [Riviere, P. et al. 2010]. Die Kennzeichnungspflicht für Raumklimaanlagen bis zu 12 kW besteht bereits (ENKVKV). Für gewerbliche Klimaanlage über 12 kW ist es theoretisch denkbar, nationale Regelungen zu treffen, dies unter Umständen aber mit einem relativ großen Aufwand und mit der Gefahr verbunden, dass auch hier zukünftig europäische Regelungen vorgehen.

---

2 <http://www.vzbv.de/go/presse/1352/9/48/index.html>

**Weitere Handlungsempfehlungen:**

Um ineffiziente Klimageräte über 12 KW künftig für den Verbraucher transparenter darzustellen, ist daher zum einen eine Kennzeichnungsverpflichtung auf nationaler Ebene in der EnVKV anzudenken (dies vor allem für den Fall, in dem es auf europäischer Ebene zu keiner Einigung bei der Erarbeitung entsprechender Richtlinien kommt).

Um ineffiziente aktive Klimasysteme zukünftig vom Markt zu nehmen, ist darüber hinaus ähnlich dem EU-Verbot für das In-Verkehr-Bringen von Glühlampen zu empfehlen, auch für gewerbliche Klimaanlage über 12 KW ein stufenweises Verkaufsverbot einzuführen, was dann ohne entsprechende nationale Umsetzungsvorschrift direkt in Deutschland gelten würde. Hierzu wären entsprechende Regelungen in der europäischen Durchführungsmaßnahme vorzusehen.

**5.1.1.4 Smart Metering**

Seit dem 1. Januar 2010 sind Messstellenbetreiber gesetzlich zum Einbau von Smart Metern in Neubauten und in Gebäuden, in denen große Renovierungen durchgeführt wurden, verpflichtet. Ebenso erhalten bestehende Kunden die Möglichkeit, auf intelligente Zähler umzusteigen. Diese Regelung gilt laut Energiewirtschaftsgesetz, sofern dies technisch machbar und wirtschaftlich zumutbar ist. Smart Meter können durch kontinuierliche Aufzeichnung und eine Information über den Energieverbrauch dazu beitragen, energieintensive Stromverbraucher, z.B. Klimageräte, zunächst zu identifizieren und anschließend Strom sparende Maßnahmen umsetzen. Die rechtlichen Voraussetzungen für den Endverbraucher sind daher schon geschaffen.

Trotz der aufgezeigten Vorteile sind noch Defizite bei den digitalen Messgeräten auszumachen. So werden Defizite vor allem in der Darstellung der Verbrauchswerte und fehlenden Standards und daraus resultierenden Kosten gesehen [Verbraucherzentrale Bundesverband 2010]. Hinzu kommen Datenschutzprobleme, da sich aus den Daten, die durch den Stromzähler übermittelt werden, eventuelle Rückschlüsse auf die Bewohner ziehen lassen.

Diese sind in Einklang mit europa- und verfassungsrechtlichen Anforderungen zu bringen.

**Weitere Handlungsempfehlungen:**

Letztlich werden damit die wesentlichen Hemmnisse durch die bestehenden Regelungen adressiert, es bedarf jedoch weiterhin der Optimierung in der praktischen Umsetzbarkeit beispielsweise hinsichtlich einer Standardisierung.

**5.1.1.5 Energiedienstleistungsgesetz**

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Im Entwurf des Energieeffizienzgesetz vom 30.1.2009 zur Umsetzung der EU-Energieeffizienz-Richtlinie (2006/32/EG) sollten Betriebe des produzierenden Gewerbes, die energieintensiv sind und eine gewisse Größe haben nach § 7a EnEffG (Entwurf) verpflichtet werden, ein betriebliches Energiemanagement einzuführen. Dieser Paragraph ist letztlich nicht in das Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen aufgenommen worden. Er hätte jedoch den Vorteil gehabt, dass Mindestanforderungen, die an ein Energiemanagementsystem zu stellen sind, per Gesetz definiert werden und ein Maßstab der Nachprüfbarkeit geschaffen werden. Zwar bestehen mit der DIN EN 16001 und ISO/DIS 50001 bereits Normen, die Eigenschaften eines betrieblichen Energiemanagementsystems beschreiben, eine rechtliche Verbindlichkeit zur Einführung eines solchen Systems ist damit aber noch nicht gegeben. In einem solchen Verfahren werden kontinuierlich die einzelnen Energieverbräuche aufgedeckt und Energiespar-Maßnahmen abgeleitet. Eine solche Regelung ermöglicht den Nachweis der Erfüllung energiespezifischer Anforderungen. Es wird hierdurch eine Verpflichtung zum Monitoring des Energiebedarfs eingeführt, welche nicht nur für den Fall des Verkaufens, Vermietens oder einer umfassenden Renovierung greift und in regelmäßigen Abständen (von beispielsweise fünf Jahren) aktualisiert werden muss.

### **Weitere Handlungsempfehlungen:**

Die Einführung der Verpflichtung eines betrieblichen Energiemanagementsystems sollte bei einer möglichen Überarbeitung des Energiedienstleistungsgesetzes berücksichtigt werden.

Entsprechend dem Ansatz im Entwurf des EnEffG könnten auch für Gewerbeimmobilien Energieaudits (in regelmäßigen Abständen von z.B. fünf Jahren), beispielsweise in der EnEV verpflichtend eingeführt werden. Eine entsprechende Ermächtigungsgrundlage im EnEG wäre hierfür vorzusehen. Als Vorstufe solcher Energieaudits könnten zunächst Selbstverpflichtungen von Immobilieneigentümern dienen, die sich festlegen, in einem bestimmten Zeitraum ein Energieaudit durchführen zu lassen. In Finnland wird ein solches Verfahren bereits seit mehreren Jahren erfolgreich durchgeführt [Motiva Oy 2010]

In rechtlicher Hinsicht ist bei der Ausgestaltung einer solchen Regelung darauf zu achten, dass die Berufsausübungsfreiheit aus Art.12 GG nicht unverhältnismäßig eingeschränkt wird.

### **5.1.1.6 Öffentliches Beschaffungswesen**

Durch verschiedene Beschlüsse sind deutsche Bundesbehörden direkt aufgefordert, Umweltaspekte bei der Beschaffung zu beachten, zum Beispiel durch den Gemeinsamen Erlass von Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) zur Beschaffung von Holzprodukten vom 17. Januar 2007 und die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Beschaffung energieeffizienter Produkte und Dienstleistungen vom 18. Januar 2008. An der grundsätzlichen Zulässigkeit, Umweltkriterien in die öffentliche Auftragsvergabe einzubeziehen und damit auch den Einsatz von effizienten und umweltfreundlichen Kühltechniken entsprechend zu berücksichtigen, besteht kein Zweifel mehr. Die Frage ist daher nicht mehr, ob Umweltbelange im Rahmen der öffentlichen Auftragsvergabe berücksichtigt werden dürfen, sondern wie in der praktischen Durchführung sicher und effizient mit den verschiedenen Kriterien umzugehen ist und welche Schritte im Beschaffungsprozess sich dafür eignen. Das im Auftrag des UBA erstellte Rechtsgutachten „Nationale Umsetzung der neuen EU-Beschaffungsrichtlinien“ (Endbericht, Forschungsbericht 206 95 300 UBA-FB 001187) stellt die Möglichkeiten zur Berücksichtigung von Umweltaspekten bei der öffentlichen Auftragsvergabe umfassend dar: So ist es beispielsweise möglich, Umweltaspekte in die technische Leistungsbeschreibung aufzunehmen, zum Beispiel durch die Verwendung von Spezifikation aus Umweltzeichen (etwa Blauer Engel oder EU-Umweltzeichen). Dabei können auch Produktionsprozesse Berücksichtigung finden – etwa mit dem Hinweis, dass der Strom aus erneuerbaren Energien stammen oder Papier chlorfrei gebleicht sein soll. Bei der Bewertung des „wirtschaftlich günstigsten Angebotes“ sind Umwelteigenschaften – zum Beispiel geringe CO<sub>2</sub>-Emissionen – und Lebenszykluskosten zulässige Zuschlagskriterien. Es gibt daher zwar schon vereinzelt Vorschriften, die zur Berücksichtigung energieeffizienter Kriterien bei der Auftragsvergabe verpflichten, sie sind jedoch bisher nur bei einzelnen Behörden anwendbar. Um ungenutzte Potenziale, auch im Bereich der Gebäudekühlung, hinreichend zu berücksichtigen, ist jedoch weiterer Anpassungsbedarf erforderlich.

### **Weitere Handlungsempfehlungen:**

Es sollte zukünftig rechtlich verbindlich in den dazu einschlägigen Gesetzen wie VOL/VOB etc. verankert werden, dass Energieeffizienz als wichtiges Kriterium bei der Vergabe öffentlicher Aufträge zu berücksichtigen ist.

## **5.1.2 Organisatorische Hemmnisse**

### **5.1.2.1 Hohe Kosten für alternative Systeme**

Angesichts in Zukunft zu erwartender wärmerer Sommer entwickelt sich die Gebäudekühlung nicht nur in Zweckgebäuden sondern auch im Wohngebäudebereich weg vom Luxusgut hin zum Allgemeingut. Über zwei Millionen Klimageräte sind bereits in Deutschland in Betrieb, jedes dritte davon in Wohngebäuden. Dort hat sich der Absatz seit 2005 nahezu verdoppelt [Klima sucht Schutz 2010]. Die Folge ist ein rasanter Anstieg des Energiebedarfs auf bis zu 29 TWh im Jahr 2030 (siehe hierzu Kapitel 4.3). Schnell können bis zu 150 Euro zusätzliche Stromkosten über den Sommer für einen durchschnittlichen Haushalt zusammenkommen [Klima sucht Schutz

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

2010]. In den Simulationen wurden jährliche Stromkosten von bis zu 76 Euro für die Kühlung errechnet, jedoch unter anderen Randbedingungen (Kühlung nur eines Raumes, unterschiedliches Klima). Hierbei sind jedoch verstärkt wird diese Tendenz durch den in den letzten Jahren steigenden Trend zu einer Nachrüstung von Klimatisierungsanlagen bzw. Klimasplitgeräten in Bestandsgebäuden (u.a. bedingt durch vorhandene hohe interne Lasten aus ineffizienten Stromanwendungen, geringem sommerlichem Wärmeschutz). Verschärft wird dieser Trend noch weiter unter Einwirkung der heißen Sommer der letzten Jahre. Eine Modellrechnung des Umweltbundesamtes (UBA) prognostiziert einen Anstieg der Jahresmitteltemperatur bis zum Jahr 2100 im Vergleich zum Zeitraum 1961 bis 1990 um etwa 2 bis 3 °C bei saisonal unterschiedlich starker Ausprägung [Umweltbundesamt 2006]. Heiße und trockene Sommer werden in der Häufigkeit zukünftig zunehmen.

In den Präambeln zur Europäischen Gebäuderichtlinie von 2002 sowie 2010 werden bereits der Vorrang von passiven Kühltechniken im Zweckgebäudebereich gefordert. Obwohl diese Richtlinie mittlerweile durch die EnEV und unterschiedliche Normen in deutsches Recht umgesetzt ist, sind passive Kühltechniken im Markt nicht weit verbreitet. Diese Techniken (z. B. sehr gute Isolierung der Gebäudehülle, Verschattungs- und energieeffiziente Beleuchtungssysteme, Nachtlüftung oder Betonkernaktivierungen) und Techniken unter Einsatz erneuerbarer Energien gewinnen zwar immer mehr an Bedeutung und werden im Wesentlichen durch einige spezialisierte Fachplaner weiter vorangetrieben, jedoch ist der entscheidende Schritt zur Marktdurchdringung noch nicht gelungen. Das liegt zum einen daran, dass passive Maßnahmen oder nachhaltige Kühlsysteme wie solare Kühlung meist viel teurer sind als die Nachrüstung mit einfachen Split- oder Monoblockgeräten, da sie nicht in Großserien produziert werden. Nachhaltige aktive Kühlsysteme wie Luft-Erdwärmetauscher, adiabate Kühlung oder Grundwasserkühlung sind verhältnismäßig teuer und können keine festgelegten Raumtemperaturen garantieren.

### 5.1.2.2 Akteursdiversität im Gebäudesektor

Bei dem Einbau konventioneller Techniken der Gebäudekühlung mag die Zuständigkeit der Akteure auf den ersten Blick noch recht einfach sein. Komplizierter wird es hingegen, wenn passive oder alternative Kühlsysteme nachträglich oder von Anfang an in einem Haus zusammenwirken sollen. Hier gilt es direkt von Beginn Architekten, Haustechniker, Handwerker und Gebäudebetreiber aufeinander abzustimmen. In Betrachtung der Lebenszykluskosten eines Gebäudes sind die Betriebskosten eines Gebäudes höher als die Bau- und Sanierungskosten. Durch eine integrale Planung sind zwar die anfänglichen Investitionskosten höher, allerdings können die jährlichen Betriebskosten um 40 bis 70 Prozent gesenkt werden [Pagliano, L. 2010], vgl. Varianten 9 und 9a (Büro-Neubau mit Glasfassade und Betonkerntemperierung über Kompressionskältemaschinen bzw. Erdsondenkühlung).

### 5.1.3 Technische Hemmnisse

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Während bei Neubauten die integrale Planung auf ein Zusammenwirken verschiedener Faktoren bei der Kühlung einwirken kann, ist der technische Aufwand im Bereich Bestandsgebäude wesentlich höher. Passive Kühlung erfolgt ohne mechanische Antriebssysteme und gründet ausschließlich auf baulichen Maßnahmen wie Verschattung, Nutzung von Speichermassen, Nachtkühlung und Gestaltung des Mikroklimas. Eine bauliche Optimierung des Gebäudes erfordert eine umfassende Planung und damit einen hohen finanziellen Mitteleinsatz.

### **5.1.4 Ergänzende neue Instrumente**

#### **5.1.4.1 Marktbasierte Instrumente**

Die Problematik erhöhter Investitionskosten infolge ordnungsrechtlicher Maßnahmen (z.B. Nutzungspflicht erneuerbarer Energien) kann deren Akzeptanz und damit deren Wirksamkeit nachteilig beeinflussen. Eine im Effizienzbereich häufig diskutierte Alternative zu direkten Anlagen- und Projektzuschüssen (wie sie beispielsweise das MAP gewährt) bilden marktbasierende Mechanismen wie z.B. ‚Weiße Zertifikate‘. Zertifikatsmodelle, bei denen (etwa in Großbritannien) Stromversorger verpflichtet werden, die Menge des durch ihre Kunden abgenommenen Stroms mittels geeigneter Investitionen zu reduzieren und ein Verfehlen dieser Verpflichtung durch den Ankauf von Zertifikaten auszugleichen, weil ansonsten Strafzahlungen drohen, lassen sich grundsätzlich auch im Gebäudebereich einsetzen. Allerdings basieren alle bestehenden Zertifikatsmodelle auf der Erschließung der kosteneffizientesten Potenziale. Sofern Maßnahmen im Gebäudebereich stattfinden, zielen sie in aller Regel zunächst auf die Minderung von Wärmeverlusten (beispielsweise durch zusätzliche Dämmung – was naturgemäß auch positiven Einfluss auf die Anforderungen an Kühlenergie hat). Bezüglich der Reduzierung des Kühlungsbedarfs besteht trotzdem jedoch der Nachteil, dass Investitionen erst dann stattfinden, wenn bereits alle kosteneffizienteren Maßnahmen in anderen Bereichen (faktisch vor allem Wärme) ausgeschöpft sind. Dies ist aus ökonomischer Sicht zwar sinnvoll, ermöglicht jedoch keine gezielte Beeinflussung des Energieverbrauchs für Gebäudekühlung. Die Markteinführung innovativer technischer Ansätze im Kühlungsbereich wird somit eher gehemmt. Gewisse Ausnahmen können im Bereich gewerblicher Kühlung mit hohen individuellen Einsparpotenzialen (z.B. Lebensmittelhandel) bestehen. Insofern sind Zertifikatsmodelle auch nicht zielgerichtet zur breiten Refinanzierung ordnungspolitischer Vorgaben zur Gebäudekühlung einsetzbar. Staatliche Zuschussmodelle, wie beispielsweise die Auflage von Förderprogrammen (s. unten) erscheinen hier geeigneter.

#### **5.1.4.2 Informationskampagnen**

Ordnungsrechtliche Instrumente alleine reichen nicht aus, um die Gebäudekühlung in Zukunft effizienter zu gestalten bzw. alternativen und passiven Vermeidungsstrategien zum Marktdurchbruch zu verhelfen, denn die Hemmnisse liegen auf mehreren Ebenen

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

(s.o.). Neben der Anpassung rechtlicher Instrumente sind begleitend Förderprogramme (siehe unten) als auch Informationskampagnen erforderlich, die den Erwerb alternativer Systeme für den Endkunden attraktiver machen und einen Anreiz für private Investitionen geben.

### **Weitere Handlungsempfehlungen:**

Ähnlich den Maßnahmen im Solarbereich wie die Kampagne „Solar – na klar!“ oder bei der Gebäudesanierung die Kampagne „Haus sanieren – profitieren“ sollten derartige Informationskampagnen herausstellen, dass im Gebäudesektor ein Zusammenspiel vieler Akteure bereits von Anfang an erforderlich ist, um die bestmögliche Lösung zu finden. Um Endverbraucher von alternativen Kühlsystemen zu überzeugen, wäre zu überlegen, als Teil der Kampagne einen (kostenlosen) Energiesparcheck oder einen Beratungstermin vor Ort anzubieten, um verschiedene Optionen aufzuzeigen. Ergänzend hierzu sollten Hinweise zu möglichen Förderoptionen gegeben werden.

Da die Energiedienstleistungsrichtlinie in Artikel 5 eine Vorbildfunktion des öffentlichen Sektors fordert und dieser Sektor große Marktmacht besitzt, wäre es wünschenswert, wenn außerhalb gesetzlicher Regelungen in diesem Bereich Fortschritte durch freiwillige Selbstverpflichtungen gemacht würden. Zu denken ist beispielsweise an gelockerte Dress-Code Regeln, die es erlauben, die klimatisierte Temperatur im Gebäude anzuheben (ähnlich der Initiative „Cool UN“ im August 2008, bei der die Temperatur aller Gebäude des UN Hauptquartiers in New York von 22,2 °C auf 25 °C angehoben wurde bei gleichzeitig gelockertem Dress-Code – durch diese Aktion wurde eine 10-prozentige Reduktion des gesamten Energieverbrauchs erzielt und 300 t CO<sub>2</sub> eingespart). Ebenso vorstellbar sind auch nationale Empfehlungen für öffentliche Gebäudeeigentümer, die Innenraumtemperatur im Sommer nicht unter 26 °C sinken zu lassen.

### **5.1.4.3 Finanzielle Förderinstrumente**

Weiterer Handlungsbedarf besteht im Bereich der Produkt- und Systementwicklung für passive und umweltschonende aktive Kühlsysteme und anschließende Demonstrationsvorhaben.

#### **Bestehende Förderprogramme**

Auf europäischer Ebene gibt es bereits verschiedene Programme, die die Entwicklung energieeffizienter Kühltechniken unterstützen. Zu nennen ist hier das „7. Forschungsrahmenprogramm“ sowie das Programm „Intelligent Energy Europe“.

Auf nationaler Ebene fördert das Bundesumweltministerium (BMU) den stärkeren Einsatz von Klimaschutz-Techniken in gewerblichen Kälteanlagen durch Zuschüsse zu Beratung (Status Check) und Investitionen in Alt- und Neuanlagen. Ein Bonus für die

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

gleichzeitige Bereitstellung von Kälte und Wärme gibt zusätzliche Anreize für die Marktentwicklung [BMU 2010].

Im Rahmen der Klimaschutzinitiative wird ein Wettbewerb der folgenden Kategorien ausgeschrieben:

- Kältemittel-Emissionsverringern
- Kälteleistungsmanagement-Systeme
- Hocheffiziente Kaldampfanlagen mit halogenfreien Kältemitteln.

Es werden jeweils Preisgelder für die Erst- bis Drittplazierten vergeben. Darüber hinaus gibt es regionale und lokale Initiativen, die Energieeffizienz für Kältetechnik im gewerblichen Bereich fördern. Beispielsweise haben Unternehmen in Hamburg die Möglichkeit ihre Kälteanlage vom Kälteeffizienznetzwerk der Stadt Hamburg optimieren zu lassen. Zum Finden der möglichen Einsparpotenziale bietet das Kälteeffizienznetzwerk einen von der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU) geförderten Kältecheck an.

Das KfW-Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“ fördert Einzelmaßnahmen zur Dämmung, Fenster-/Türenaustausch und für Lüftungsanlagen sowie umfassende Gebäudesanierungen für Wohngebäude. Die Programmvarianten Zuschüsse und Kredite für Einzelmaßnahmen sind seit dem 31.08.2010 eingestellt. Für gewerbliche Nicht-Wohngebäude gibt es das ERP-Umweltprogramm, für kommunale Gebäude existieren weitere Programme wie „Finanzierung kommunaler Infrastrukturvorhaben“.

Zusätzlich zu diesen Förderprogrammen werden innovative Kühltechniken beispielsweise im Solarbereich durch verschiedene Programme unterstützt, um ihnen zum Marktdurchbruch zu verhelfen. So werden in Deutschland Solarkollektoranlagen für solares Kühlen ab 40 Quadratmetern Kollektorfläche mit einem Zuschuss in Höhe von 30 Prozent der Investitionskosten im KfW-Programm „Erneuerbare Energien“ sowie Anlagen bis 40 m<sup>2</sup> Kollektorfläche im Marktanreizprogramm (Innovationsförderung) mit 210 €/m<sup>2</sup> und maximal 4.200 € gefördert.

Mit den Beschlüssen der Bundesregierung zu dem Integrierten Energie- und Klimaprogramm hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Techniken seine Förderaktivitäten im Rahmen des 5. Energieforschungsprogramms auf dem Gebiet moderner Energietechniken unter dem Namen „Technologieprogramm Klimaschutz und Energieeffizienz“ neu gebündelt. Für diesen Bereich stehen in den Jahren 2008 bis 2011 rund 446 Millionen Euro zur Verfügung. Im Zentrum dieses Technikprogramms steht dabei auch die Forschungsinitiative „Energieoptimiertes Bauen“ (EnOB)“ des BMWi. Sie hat zum Ziel, die Entwicklung innovativer Komponenten voranzubringen und in Pilotvorhaben den Primärenergiebedarf von Gebäuden gegenüber dem heutigen Stand der Technik deutlich zu senken. Bei Sanierung im Nichtwohnungsbau müssen

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

EnOB – Demonstrationsvorhaben die Anforderungen der Energieeinsparverordnung für Neubauten um mindestens 30 Prozent unterschreiten, bei der Sanierung von Wohngebäuden sogar um mindestens 50 Prozent. Außerdem sind die im Rahmen von EnOB entwickelten neuen effizienten Materialien und Systeme für Bautechnik und Technische Gebäudeausrüstung einzusetzen. Das Förderkonzept „Energieoptimiertes Bauen (EnOB)“ unterteilt sich in die beiden Bereiche „EnOB-FuE“ und „EnOB-Demo“, wobei die Demonstration und messtechnische Evaluierung innovativer Konzepte weiterhin nach Neubau (EnBau) und Bestand (EnSan) differenziert wird.

Als Beispiel für ein Demo-Projekt zur Marktdurchdringung alternativer Kühltechniken ist das „Energon“ in Ulm, dem weltweit größten Bürogebäude nach Passivhausstandard. Die Betonkerntemperierung sorgt zusammen mit einer umfassenden Wärmedämmung, mechanischer Be- und Entlüftung sowie beweglichem Sonnenschutz für komfortable Arbeitsbedingungen rund ums Jahr. Kühles Grundwasser wird aus 100 Metern Tiefe gefördert, das durch die Rohrregister in den Betondecken strömt. Zusätzlich zu den Demo-Projekten gibt es ein Forschungsfeld mit dem das BMWi neue Heiz- und Kühlsysteme entwickelt und testen lässt, die mit kleinen Temperaturdifferenzen auskommen und damit das Potenzial der Energie besonders gut ausnutzen.

### **Ansatzpunkte für die Auflage neuer Förderprogramme**

Trotzdem die Darstellung verschiedener Förderansätze keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, wird deutlich, dass es bereits verschiedene Initiativen zur Förderung von energieeffizienten und alternativen Kühltechniken gibt. Insbesondere steht dabei die Forschungsförderung im Bereich der Produkt- und Systementwicklung von umweltschonenden Kühlsystemen im Vordergrund.

Große Potenziale bestehen jedoch, wie oben beschrieben, im Bereich der Sanierung von Bestandsbauten. Mit den KfW-Förderprogrammen existieren zwar Instrumente, die diesen Bereich angehen, bisher jedoch noch zu wenig bei der Förderung passiver und umweltschonender aktiver Kühlsysteme greifen. Dazu kommt, dass aufgrund des Haushaltsstopps der Bundesregierung Förderungsstopps zu Teilen der KfW-Programme beschlossen wurden. Nichtsdestotrotz misst die Bundesregierung in ihrem Energiekonzept, das jüngst verabschiedet wurde, der energetischen Gebäudesanierung einen großen Stellenwert bei [BMW/BMU 2010].

#### **Weitere Handlungsempfehlungen:**

Es ist zu empfehlen, bei den KfW-Programmen bei der Zuschuss- und Kreditvariante für Einzelmaßnahmen explizit eine Förderung für außenliegende, automatisch gesteuerte Sonnenschutzsysteme aufzunehmen.

Darüber hinaus wurde durch die Haushaltssperre der Bundesregierung auch die Sonderförderung im Bereich energieeffizient Sanieren zum 31.08.2010 eingestellt. Bei einer erneuten Auflage des Programms sollte auch dieser Teilbereich stärker an sich

verändernde klimatische Rahmenbedingungen und dem erhöhten Bedarf an Kühlenergie angepasst werden. Zu denken wäre an die Aufnahme einer Förderkomponente zur Sanierung ineffizienter Klimaanlage. Die Sanierung ineffizienter Klimaanlage ist ein sehr breites Feld, das höchst individuelle Lösungen erfordert. Dabei sollten zunächst eine Analyse der bestehenden Systeme und eine Identifikation der am ineffizientesten arbeitenden Anlagenteile durch einen Experten vorgenommen werden und der Austausch ineffizienter Anlagenteile wie z.B. Kompressoren, Ventilatoren und Pumpen gefördert werden.

Für den Bereich der Nichtwohngebäude (speziell Bürogebäude) sollten spezielle Förderprogramme zur Sanierung unter Bezug zu alternativen Kühlsystemen aufgelegt werden, da dieses Segment hinsichtlich der bestehenden Potenziale bisher nur unzureichend adressiert wurde.

**Fazit:** Es gibt bereits verschiedene Programme zur Förderung von Demonstrationsvorhaben und Pilotprojekten für alternative Kühlsysteme. Mit den KfW-Förderprogrammen und dem Marktanreizprogramm im Bereich erneuerbare Energien wird darüber hinaus teilweise schon der Marktdurchdringung größtenteils noch kostenintensiver alternativer Kühlsysteme Rechnung getragen. An anderen Stellen sind die Programme noch nachbesserungsfähig und genauere Kriterien hinsichtlich der Ausrichtung auf Energieeffizienz im Bereich Kühlenergie müssen entwickelt werden. Die KfW-Programme greifen jedoch für Privateigentümer von Wohnimmobilien sowie in dem Programmteil „Kommunalkredit“ auch für soziale Einrichtung wie Schulen oder Kindertagesstätten. Bisher gibt es jedoch noch keine Programmkomponente, die die Förderung der Sanierung von Nichtwohngebäuden (speziell Bürogebäude) angeht. Hier besteht Bedarf an einer Programmgestaltung, die sich an den Programmen für Privatimmobilien orientieren könnten.

## 5.2 Verbraucherinformation

Parallel zur Notwendigkeit von Verbraucherinformationen im Bereich Heizwärme ist auch beim Thema Kühlenergie die Information und Sensibilisierung der Endverbraucher von zentraler Bedeutung. Im Folgenden werden verständliche und anschauliche Handlungsempfehlungen für Verbraucher (Mieter und Eigentümer in selbstgenutzten Immobilien) entwickelt. Es werden umfassende grundlegende Verhaltensweisen als auch einfache bauliche Veränderungen für den Neubau und Gebäudebestand gegeben. Die Tipps gelten dabei für Wohn- und Nichtwohngebäude.

Energiespartipps

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

An heißen Sommertagen heizen sich viele Gebäude auf. Besonders in Städten kühlen Büro- und Wohngebäude durch die dichte Bebauung über Nacht nicht ausreichend ab. Innentemperaturen von über 30 Grad Celsius am Tag können die Folge sein. An dieser Stelle werden Tipps gegeben, wie man mit einigen einfachen Maßnahmen diese Gebäude weitgehend kühl halten kann.

### **5.2.1 Wie kommt die Wärme in das Haus?**

Dazu gibt es mehrere Wege:

Licht dringt durch die Fenster in die Räume und heizt diese auf.

Die Mauern werden durch die Sonneneinstrahlung und warme Luft erwärmt und leiten die Wärme in das Innere des Raumes.

Warme Luft dringt durch offene Fenster und undichte Stellen in den Raum.

Im Haus befindliche Elektrogeräte wie etwa der Herd, der große LCD-Fernseher, Kühlschrank sind Wärmequellen und erhöhen die inneren Kühllasten

### **5.2.2 Welche baulichen Maßnahmen können getroffen werden?**

Die einzelnen Wärmeströme werden durch unterschiedliche Maßnahmen unterbunden. Besonders gute Voraussetzungen für angenehme Sommertemperaturen weisen Wohnungen mit folgenden Charakteristika auf:

Ausreichende, nutzbare Speichermasse der Bauteile

Die Wärme kann in massiven Bauteilen wie Boden, Decken und Wänden gespeichert werden und macht sich deshalb nicht gleich als Temperaturerhöhung im Raum bemerkbar. Wände und Böden sollten frei stehen, weitgehend zugänglich bleiben und nicht zugebaut werden. Teppiche sind deshalb nicht optimal.

Architektonische Lösungen

Sogenannte durchgesteckte Grundrisse, die quer durch ein Gebäude von Fassade zu Fassade reichen, ermöglichen die Querlüftung. Vor allem nachts bei niedrigeren Außenlufttemperaturen ist diese sehr wirksam und trägt zur Entladung der tagsüber aufgeheizten Speichermassen bei.

Wärmedämmung

Eine gute Wärmedämmung der Wände und Fenster hält auch Sommerhitze aus der Wohnung fern. Grundsätzlich trägt ein hoher Fensterflächenanteil im Sommer zur Aufheizung der Räume bei. Hintergrund ist der Glashauseffekt: Durch eine verglaste Öffnung trifft solare Strahlung in den dahinterliegenden Raum und wird dort in Wärme umgewandelt. Die Wärmestrahlung kann aber nicht mehr ungehindert ins Freie

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

entweichen, weil sie an der Verglasung größtenteils in den Raum zurück reflektiert wird.

### Verschattung

Den Fenstern kommt so eine besonders wichtige Rolle beim Kühlhalten der Räume zu. Außen liegende Sonnenschutzsysteme wie Roll-, Klapp- oder Schiebeläden vor den Fenstern lassen die Sonnenstrahlung erst gar nicht in die Wohnung eintreten. Schattige Bäume vor Fenster oder Fassade wirken nicht zuletzt aufgrund ihres positiven Einflusses auf das Mikroklima ebenfalls kühlend. Auch Dachüberhänge oder Balkone über den Fenstern spenden Schatten.

Heiße Sommertage bedeuten oft Raumtemperaturen über 30 °C. Trotz ungünstiger baulicher Voraussetzungen können sommerliche Verhaltenstipps helfen, die Temperatur in der Wohnung auf einem angenehmen Niveau zu halten.

Grundsätzlich gilt: Ist die Wohnung erst einmal aufgeheizt, ist es oft schwer, die Lufttemperatur wieder zu senken. Deshalb ist es wichtig, die Wohnung erst gar nicht aufheizen zu lassen.

### Fenster tagsüber komplett geschlossen halten

Ist eine Wohnung erst einmal aufgeheizt, ist es schwer, die Lufttemperatur wieder zu senken. Halten Sie die Fenster daher tagsüber geschlossen, damit die warme Außenluft nicht in die Wohnung dringen kann. Lüften Sie Ihre Wohnung (nur) nachts und dann mit weit geöffneten Fenstern.

### Wenn möglich, den Sonnenschutz außen anbringen

In Ihrem eigenen Haus sollten Sie Außen-Rollläden vor den Fenstern anbringen; als Mieter können Sie versuchen, Ihren Vermieter von außen-Rollläden zu überzeugen. Ist dies nicht möglich, sollten Sie die innen liegenden (möglichst hellen – dunkle Vorhänge heizen den Raum zusätzlich auf) Jalousetten tagsüber schließen. Für eine optimale Wirkung muss der Sonnenschutz betätigt werden, sobald die Sonne darauf scheint und nicht erst wenn es heiß wird, also z.B. früh morgens bei Ostfenstern.

### Die gefühlte Temperatur durch Ventilatoren senken

Ventilatoren sorgen zwar nicht für weniger Wärme in der Wohnung; die Bewegung der Luft vermittelt aber das Gefühl einer kühleren Umgebung: Decken-, Raum-, Tischventilator lassen die empfundene Temperatur um einige Grad sinken, vor allem wenn man schon schwitzt (Verdunstungskälte). Für einige Tage Ausnahmesituation pro Jahr sind solche Ventilatoren durchaus nützlich, relativ billig und brauchen wenig Strom (20 bis 50 Mal kleinere Leistungsaufnahme als ein Klein-Klimagerät). Der Einsatz von Pflanzen in Räumen hilft, ein angenehmeres Innenraumklima zu schaffen

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

### Einsatz von Kompakt-Klimageräten vermeiden

Auch wenn der Sommer noch so heiß ist: Verzichten Sie nach Möglichkeit auf den Einsatz von Kompakt-Klimageräten! Zu den Anschaffungskosten kommen beträchtliche Stromkosten hinzu, denn gerade ältere Geräte verbrauchen sehr viel Strom. Pro Betriebsstunde fallen schnell 20, 50 oder 70 Cent Stromkosten an. Wenn sich Kondenswasser an den falschen Stellen sammelt, kann es zusätzlich noch zu Bauschäden kommen. Die Raumklimageräte neuerer Generationen werden mit dem EU-Label gekennzeichnet und sind inzwischen effizienter als ältere Geräte.

Splitgeräte sollten niemals selbst, sondern nur durch Fachleute installiert werden.

### Nicht benutzte Geräte in den Räumen abschalten

Die Hitze kommt nicht nur von außen, sondern auch von den Geräten in den Räumen. Also alles abschalten, was gerade nicht gebraucht wird: Kopierer, Drucker, Kaffeemaschine, unnötige Beleuchtung, Monitor, etc. Wer aufgeheizte Räume vermeiden will, muss darauf achten, dass nicht im Raum selbst unnötig Wärme erzeugt wird.

## Literatur und Quellen

Adnot et al. 1999, Energy Efficiency of Room Air-Conditioners, Study for the Directorate-General for Energy (DGXVII) of the Commission of the European Communities, Mai 1999

Adnot, J., Riviere, P., et al. 2003. Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC). Available: <http://www-cep.ensmp.fr/francais/themes/mde/pdf/EECCACfinalvol1.pdf>, <http://www-cep.ensmp.fr/francais/themes/mde/pdf/EECCACfinalvol2.pdf> [zugegriffen am 2010-08-17]

Battisti, R., Calderoni, M., et al. 2008. Market Report for Small and Medium-Sized Solar Air-Conditioning Appliances: Analysis of Market Potential. Available: [http://www.ee.fs.uni-lj.si/solair/Market\\_analysis\\_EN.pdf](http://www.ee.fs.uni-lj.si/solair/Market_analysis_EN.pdf) [zugegriffen am 2010-07-12]

BINE 2007: Thermoaktive Bauteilsysteme - Nichtwohnungsbauten energieeffizient heizen und kühlen auf hohem Komfortniveau. BINE Themeninfo I/2007.

BKI 2008: Baukostenindex 2008.

BMWI 2005/ 2006: Evaluierung von Energiekonzepten und Energierferat der Stadt Frankfurt a.M. - Pilotversuch Energieausweise Nichtwohngebäude.

BMVBS/ BBR 2008: Folgen des Klimawandels: Gebäude und Baupraxis in Deutschland, BBR-Online-Publikation 10/2008.

Bund der Energieverbraucher 2009: Softe EnEV verschwendet Steuergelder; [http://www.energieverbraucher.de/de/Zuhause/Bauen/EnEV\\_305/ContentDetail\\_9926/](http://www.energieverbraucher.de/de/Zuhause/Bauen/EnEV_305/ContentDetail_9926/)

BMU 2008: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Impulsprogramm für Klimaschutzmaßnahmen an gewerblichen Kälteanlagen; <http://www.kaelte-effizient.de/>

BMWi/BMU 2010: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2010: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept\\_bundesregierung.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept_bundesregierung.pdf)

Constantinescu, Norela; et al. 2006: The European Cold Market: Work package 2, Euroheat & Power 2006.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, März 2001.

DIN EN 15251: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden.

DIN EN 15459: Energieeffizienz von Gebäuden - Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Energieanlagen in Gebäuden.

DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden, Teile 1-10.

DWD 2006: Testreferenzjahre TRY03-Jahr und TRY12-Jahr und Testreferenzjahre mit Extremsommerperiode TRY03-SOM und TRY12-SOM. Stündliche Messdaten: Bedeckungsgrad, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Lufttemperatur, Luftdruck, Relative Feuchte und Solarstrahlung der Stationen Hamburg und Mannheim von 2006.

E3M-Lab 2008: PRIMES Baseline and BFOZEN Scenarios , Institute of Communication & Computer Systems, National Technical University of Athens.

DIN EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung.

EnEV 2009: Verordnung zur Änderung der Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energie-Einsparverordnung - EnEV), verkündet im Bundesgesetzblatt vom 29.04.2009.

EWI/Prognos 2006: Auswirkungen höherer Ölpreise auf Energieangebot und – nachfrage. Ölpreisvariante der Energiewirtschaftlichen Referenzprognose 2030.

EWI/ Prognos 2010: Szenarien für das Energiekonzept der Bundesregierung, 2010.

Heizungsjournal 08/09: „Flächenheizung dreidimensional“ von Dr. F.-K. Läge.

International Energy Agency 2004, Cooling buildings in a warming climate, IEA Future Building Forum, Sophia Antipolis, Frankreich, 21-22 June, 2004

IWEC: International Weather for Energy Calculations Wetterdaten, Datenbasis 82- 99.

Jacob, D. 2008: Klimaauswirkungen und Anpassungen in Deutschland Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg im Auftrag des Umweltbundesamtes, 2008.

Katzschner et. al.: Das städtische Mikroklima: Analyse für die Stadt- und Gebäudeplanung, Bauphysik 31 (2009), Heft 1

Kirchner, A.; Matthes, F.C. 2009. Modell Deutschland Klimaschutz bis 2050. Prognos AG, Öko-Institut e.V. for W.-W. W. Foundation. Available:

[http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf\\_neu/WWF\\_Modell\\_Deutschland\\_Teil1.pdf](http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf_neu/WWF_Modell_Deutschland_Teil1.pdf)

[Accessed 2010-08-04]

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Klima sucht Schutz 2010: Klimageräte ausverkauft – und das ist auch gut so  
<http://www.klima-sucht-schutz.de/presse/beitrag/article/klimageraete-ausverkauft-und-das-ist-auch-gut-so.html>

Matthes, Chr. et. al 2009: Politikszenerarien für den Klimaschutz V, Umweltbundesamt 2009.

Motiva Oy 2010: Overview of Energy Auditing in Finland  
[http://www.motiva.fi/en/areas\\_of\\_operation/energy\\_auditing/overview\\_of\\_energy\\_auditing\\_in\\_finland](http://www.motiva.fi/en/areas_of_operation/energy_auditing/overview_of_energy_auditing_in_finland)

Öko-Institut 2009: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (Gemis 4.5).

Pagliano, L. 2010: Keep Cool Sustainable summer comfort: Definitions. end-use Efficiency Research Group, Politecnico di Milano for A. E. Agency. Available: [http://www.keep-cool.eu/System/FileArchive/175/File\\_12328.pdf](http://www.keep-cool.eu/System/FileArchive/175/File_12328.pdf) [Accessed 2010-09-15]

Riviere, P.; Adnot, J. et al. 2008: Environmental performance of residential room conditioning appliances (airco and ventilation), Draft report Taks 2: Economic and Market analysis; EuP Preparatory Study

Riviere, P. et al. 2010: Sustainable Industrial Policy – Building on the Ecodesign Directive – Energy-Using Product Group Analysis/2, Lot 6: Air-conditioning and ventilation systems, Draft reports of June 2010, <http://www.ecohvac.eu>

Schlomann, Barbara et.al 2006: Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), 2004.

Schmidt Reuter 2009: Leitfaden für Energiebedarfsausweise im Nichtwohnungsbau, Ausgabe EnEV09.

Schwarz 2009: Emissionen florierter THG in Deutschland 2006 und 2007, Umweltbundesamt 2009.

SOLAIR 2008: Market Report for Small and Medium-Sized Solar Air-Conditioning Appliances. Analysis for Market Potential. [http://www.solair-project.eu/uploads/media/Market\\_analysis\\_EN.pdf](http://www.solair-project.eu/uploads/media/Market_analysis_EN.pdf)

Spekat, W. E., Kreienkamp F. 2007: Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTEREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1 A1B, A2, Climate & Environment Consulting GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes, 2007.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Steinemann, Brunner et al.: Bauen, wenn das Klima wärmer wird, Schlussbericht, Zürich/Wollerau 2007, für das Bundesamt für Energie (Schweiz), Projektnummer 101376

Umweltbundesamt 2006: Deutschland muss sich auf den Klimawandel einstellen  
<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2006/pd06-064.htm>

Universität Kassel 2008: Klimatologie in der Planung, UVP-Report Heft 5, 2008.

VDI 2067: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung, September 2000.

Verbraucherzentrale Bundesverband 2010: Werbung mit Klimageräten oft mit falschen Angaben <http://www.vzbv.de/go/presse/1352/9/48/index.html>

Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

# Anhang A: Tabellen zur Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse

	Var 1	Var 1a	Var 2	Var 2a	Var 3	Var 4	Var 4a	Var 4b	Var 4c	Var 5	Var 5a	Var 5b	Var 5c	Var 5d-1	Var 5d-2
Technologie	1 - DHH Altbau Splitgerät im Hauptraum	1a - DHH Altbau effizientes Splitgerät im Hauptraum	2 - DHH Neubau Fußboden-kühlung	2a - DHH Neubau ohne Fußboden-kühlung +autom. Sonnenschutz	3 - MFH Altbau Kompaktgerät in Schlafzi.	4 - MFH Neubau ohne Kühlung Westdachschräge	4a - MFH Neubau wie 4 + autom. ext. Sonnenschutz	4b - MFH Neubau wie 4a + optimaler Nachtlüftung	4c - MFH Neubau wie 4b + LEWT	5 - Büro 1960 Lochfassade ohne Kühlung	5a - Büro 1960 wie 5 + autom. ext. Sonnenschutz	5b - Büro 1960 wie 5a +Tischventilatoren	5c - Büro 1960 wie 5a +Max. Nachtlüftung	5d - Büro 1960 wie 5a + mit mech. Belüftung u. adiab. Kühlung	5d - Büro 1960 wie 5a + mit mech. Belüftung u. adiab. Kühlung
Klimatisierte_Flaeche	56 m²	56 m²	140 m²	140 m²	40 m²	20 m²	20 m²	20 m²	20 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²
<b>Kühlenergiebedarfe</b>															
Kühlenergiebedarf_HH	173 kWh/a	0 kWh/a	878 kWh/a	0 kWh/a	563 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a
Kühlenergiebedarf_HHx	502 kWh/a	502 kWh/a	1774 kWh/a	0 kWh/a	1059 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	16809 kWh/a	16809 kWh/a
Kühlenergiebedarf_FFM	342 kWh/a	0 kWh/a	1629 kWh/a	0 kWh/a	951 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a
Kühlenergiebedarf_FFMx	1120 kWh/a	1120 kWh/a	3621 kWh/a	0 kWh/a	1888 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	32444 kWh/a	32444 kWh/a
<b>Endenergiebedarfe</b>															
Endenergiebedarf_HH	55 kWh/a	0 kWh/a	203 kWh/a	0 kWh/a	166 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a
Endenergiebedarf_HHx	147 kWh/a	100 kWh/a	263 kWh/a	0 kWh/a	312 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	38 kWh/a	49 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	862 kWh/a	3179 kWh/a	1588 kWh/a	1588 kWh/a
Endenergiebedarf_FFM	107 kWh/a	0 kWh/a	232 kWh/a	0 kWh/a	283 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a
Endenergiebedarf_FFMx	336 kWh/a	224 kWh/a	337 kWh/a	0 kWh/a	574 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	131 kWh/a	170 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	1998 kWh/a	6080 kWh/a	3320 kWh/a	3320 kWh/a
<b>Temperaturen</b>															
Tmax_HH	26,1 °C	0,0 °C	24,9 °C	0,0 °C	27,0 °C	33,8 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	35,9 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C
Tmax_HHx	26,1 °C	26,1 °C	24,8 °C	29,8 °C	27,4 °C	33,6 °C	29,8 °C	28,6 °C	26,1 °C	36,4 °C	30,7 °C	28,9 °C	27,9 °C	27,8 °C	27,8 °C
Tmax_FFM	26,2 °C	0,0 °C	24,7 °C	0,0 °C	26,7 °C	32,3 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	34,2 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C
Tmax_FFMx	26,6 °C	26,6 °C	25,7 °C	30,3 °C	29,7 °C	36,6 °C	35,1 °C	31,8 °C	28,7 °C	37,9 °C	33,3 °C	31,5 °C	30,1 °C	29,4 °C	29,4 °C
T>26_HH	6 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	26 h/a	109 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	626 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a
T>26_HHx	5 h/a	5 h/a	0 h/a	265 h/a	38 h/a	374 h/a	64 h/a	8 h/a	4 h/a	868 h/a	311 h/a	70 h/a	77 h/a	29 h/a	29 h/a
T>26_FFM	6 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	29 h/a	309 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	912 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a
T>26_FFMx	58 h/a	58 h/a	0 h/a	474 h/a	257 h/a	707 h/a	566 h/a	67 h/a	113 h/a	1279 h/a	753 h/a	403 h/a	282 h/a	259 h/a	259 h/a
<b>Kühlleistung</b>															
Leistung_HH	3,0 kW	0,0 kW	3,8 kW	0,0 kW	7,2 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW
Leistung_HHx	2,9 kW	2,9 kW	3,7 kW	0,0 kW	7,3 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	24,0 kW	24,0 kW
Leistung_FFM	3,2 kW	0,0 kW	3,7 kW	0,0 kW	6,2 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW
Leistung_FFMx	3,6 kW	3,6 kW	4,1 kW	0,0 kW	8,6 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	25,8 kW	25,8 kW
<b>Investitionen</b>															
Equipment (Lebensdauer 15a)															
HH	565 €	774 €	500 €	1.796 €	400 €	- €	1.365 €	1.841 €	2.395 €	- €	80.645 €	83.079 €	116.645 €	287.535 €	84.701 €
HHx	541 €	742 €	500 €	1.796 €	400 €	- €	1.365 €	1.841 €	2.395 €	- €	80.645 €	83.079 €	116.645 €	287.535 €	84.701 €
FFM	611 €	838 €	500 €	1.796 €	400 €	- €	1.365 €	1.841 €	2.395 €	- €	80.645 €	83.079 €	116.645 €	287.535 €	84.701 €
FFMx	685 €	939 €	500 €	1.796 €	400 €	- €	1.365 €	1.841 €	2.395 €	- €	80.645 €	83.079 €	116.645 €	287.535 €	84.701 €
Investments Betonkerndecken (Lebensdauer 50a)															
HH	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
HHx	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
FFM	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
FFMx	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
<b>Energiekosten [€/a]</b>															
€/kWh	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6
HH	12 €	- €	46 €	- €	38 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
HHx	33 €	23 €	59 €	- €	70 €	- €	- €	9 €	11 €	- €	- €	195 €	718 €	359 €	359 €
FFM	24 €	- €	52 €	- €	64 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
FFMx	76 €	51 €	76 €	- €	130 €	- €	- €	30 €	38 €	- €	- €	452 €	1.374 €	750 €	750 €

# Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Var 6	Var 7	Var 7a	Var 7b	Var 7c-1	Var 7c-2	Var 7d	Var 8	Var 9	Var 9a	Var 10	Var 10a	Var 11	Var 11a	Var 11b	Var 12	Var 13
6 - Büro 1970 Lochfassade Klimaanlage	7 - Büro 1978 Glasfassade Klimaanlage	7a - Büro 1978 wie 7 + autom. ext. Sonnenschutz	7b - Büro 1978 wie 7a + Tmax 26 °C	7c - Büro 1978 wie 7b + eff. Lüftung und Kühlung	7c - Büro 1978 wie 7b + eff. Lüftung und Kühlung	7d - Büro 1978 wie 7c + PCM	8 - Büro 1992 Glasfassade Kühldecken	9 - Büro 2005 Glasassade BKT	9a - Büro 2005 wie 9 jedoch mit Erdsondenkühlun g	10 - Büro 2005 Lochfassade BKT	10a - Büro 2005 wie 10 mit ver. Ausr + Nachtk. o. BKT	11 - Passivhaus- büro mit WP u. Erdsondenkühlun g	11a - Passivhausbüro mit adiabater Kühlung	11b - Passivhausbüro mit solarer Kühlung	12 - Sanierte Schule mit dez. Lüftungsanlage	13 - Passivhauschule mit LEWT
2466 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²	2466 m²	960 m²	960 m²
21667 kWh/a	125581 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	131860 kWh/a	26936 kWh/a	0 kWh/a	9687 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a
60231 kWh/a	218672 kWh/a	42698 kWh/a	26897 kWh/a	26897 kWh/a	26897 kWh/a	24396 kWh/a	242513 kWh/a	45145 kWh/a	45145 kWh/a	20153 kWh/a	0 kWh/a	15741 kWh/a	12918 kWh/a	15741 kWh/a	4579 kWh/a	7200 kWh/a
43830 kWh/a	182727 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	191863 kWh/a	43547 kWh/a	0 kWh/a	20584 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a
113392 kWh/a	311290 kWh/a	83115 kWh/a	57797 kWh/a	57797 kWh/a	57797 kWh/a	54474 kWh/a	343203 kWh/a	75821 kWh/a	75821 kWh/a	43338 kWh/a	0 kWh/a	28981 kWh/a	25201 kWh/a	28981 kWh/a	9727 kWh/a	25201 kWh/a
11712 kWh/a	88409 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	44613 kWh/a	9883 kWh/a	0 kWh/a	4913 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a
36411 kWh/a	165378 kWh/a	25378 kWh/a	15115 kWh/a	10293 kWh/a	10293 kWh/a	9382 kWh/a	79110 kWh/a	14226 kWh/a	7181 kWh/a	7716 kWh/a	0 kWh/a	1241 kWh/a	1016 kWh/a	1574 kWh/a	2211 kWh/a	2067 kWh/a
28104 kWh/a	134776 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	62997 kWh/a	13938 kWh/a	0 kWh/a	8184 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a
72014 kWh/a	242368 kWh/a	51217 kWh/a	34385 kWh/a	22830 kWh/a	22830 kWh/a	21513 kWh/a	109782 kWh/a	21721 kWh/a	10150 kWh/a	14143 kWh/a	0 kWh/a	2164 kWh/a	2021 kWh/a	2898 kWh/a	3056 kWh/a	2021 kWh/a
24,5 °C	24,5 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	24,5 °C	26,7 °C	0,0 °C	24,2 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C
24,5 °C	24,5 °C	24,5 °C	26,0 °C	26,0 °C	26,0 °C	26,0 °C	24,5 °C	26,9 °C	26,9 °C	24,3 °C	26,2 °C	26,3 °C	27,3 °C	26,3 °C	26,6 °C	24,0 °C
24,5 °C	24,5 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	25,5 °C	26,5 °C	0,0 °C	24,5 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C
24,5 °C	24,5 °C	24,5 °C	26,0 °C	26,0 °C	26,0 °C	26,0 °C	24,5 °C	28,1 °C	28,1 °C	25,0 °C	28,9 °C	26,7 °C	28,4 °C	26,7 °C	28,1 °C	28,4 °C
0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	15 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a
0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	20 h/a	0 h/a	8 h/a	6 h/a	8 h/a	25 h/a	8 h/a	8 h/a	0 h/a
0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	3 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a
0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	0 h/a	123 h/a	123 h/a	0 h/a	157 h/a	48 h/a	160 h/a	48 h/a	102 h/a	160 h/a
211,6 kW	384,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	345,6 kW	88,0 kW	0,0 kW	65,8 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW
221,5 kW	452,3 kW	181,6 kW	167,8 kW	167,8 kW	167,8 kW	161,3 kW	432,1 kW	88,4 kW	0,0 kW	70,2 kW	0,0 kW	22,9 kW	18,1 kW	23,0 kW	0,0 kW	9,8 kW
197,2 kW	394,6 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	355,1 kW	83,9 kW	0,0 kW	65,8 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW	0,0 kW
274,7 kW	512,4 kW	217,3 kW	201,3 kW	201,3 kW	201,3 kW	195,8 kW	479,0 kW	95,5 kW	0,0 kW	77,6 kW	0,0 kW	23,9 kW	18,7 kW	24,0 kW	0,0 kW	18,7 kW
- €	- €	138.670 €	138.670 €	224.670 €	138.670 €	255.360 €	- €	49.835 €	20.846 €	46.999 €	32.322 €	- 13.300 €	4.057 €	90.000 €	120.000 €	61.594 €
- €	- €	138.670 €	138.670 €	224.670 €	138.670 €	255.360 €	- €	49.885 €	20.896 €	47.563 €	32.322 €	- 13.300 €	4.057 €	90.000 €	120.000 €	61.594 €
- €	- €	138.670 €	138.670 €	224.670 €	138.670 €	255.360 €	- €	49.320 €	20.331 €	46.999 €	32.322 €	- 13.300 €	4.057 €	90.000 €	120.000 €	61.594 €
- €	- €	138.670 €	138.670 €	224.670 €	138.670 €	255.360 €	- €	50.797 €	21.807 €	48.504 €	32.322 €	- 13.300 €	4.057 €	90.000 €	120.000 €	61.594 €
- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	86.310 €	86.310 €	86.310 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	86.310 €	86.310 €	86.310 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	86.310 €	86.310 €	86.310 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	86.310 €	86.310 €	86.310 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6
2.647 €	19.980 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	1.110 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
8.229 €	37.375 €	5.736 €	3.416 €	2.326 €	2.326 €	2.120 €	10.082 €	2.234 €	1.623 €	1.744 €	- €	280 €	230 €	356 €	500 €	467 €
6.352 €	30.459 €	- €	- €	- €	- €	- €	14.237 €	3.150 €	- €	1.850 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
16.275 €	54.775 €	11.575 €	7.771 €	5.160 €	5.160 €	4.862 €	24.811 €	4.909 €	2.294 €	3.196 €	- €	489 €	457 €	655 €	691 €	457 €

# Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Wartungs-/ Instandhaltungskosten (nach VDI 2067) [€/a]																	
HH	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	1.440 €	6.207 €	6.207 €
HHx	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	1.440 €	6.207 €	6.207 €
FFM	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	1.440 €	6.207 €	6.207 €
FFMx	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	1.440 €	6.207 €	6.207 €
Annahmen Wirtschaftlichkeit																	
Lebensdauer Technik [a] (nach VDI 2067)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Lebensdauer Betonkern [a]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	50	50	50	50	50	50
Discount rate [%]	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
CO2-äquivalente [g/ kWh]	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0
Annuitäten																	
Annuitäten Investments [€/a]																	
HH	58,1 €	79,6 €	51,5 €	184,9 €	41,2 €	- €	140,6 €	189,6 €	246,5 €	- €	8.303,4 €	8.554,0 €	12.010,1 €	29.605,4 €	8.721,1 €	8.721,1 €	
HHx	55,7 €	76,4 €	51,5 €	184,9 €	41,2 €	- €	140,6 €	189,6 €	246,5 €	- €	8.303,4 €	8.554,0 €	12.010,1 €	29.605,4 €	8.721,1 €	8.721,1 €	
FFM	63,0 €	86,3 €	51,5 €	184,9 €	41,2 €	- €	140,6 €	189,6 €	246,5 €	- €	8.303,4 €	8.554,0 €	12.010,1 €	29.605,4 €	8.721,1 €	8.721,1 €	
FFMx	70,6 €	96,7 €	51,5 €	184,9 €	41,2 €	- €	140,6 €	189,6 €	246,5 €	- €	8.303,4 €	8.554,0 €	12.010,1 €	29.605,4 €	8.721,1 €	8.721,1 €	
Annuitäten Investments [€/m²a]																	
HH	1,0 €	1,4 €	0,4 €	1,3 €	1,0 €	- €	7,0 €	9,5 €	12,3 €	- €	3,4 €	3,5 €	4,9 €	12,0 €	3,5 €	3,5 €	
HHx	1,0 €	1,4 €	0,4 €	1,3 €	1,0 €	- €	7,0 €	9,5 €	12,3 €	- €	3,4 €	3,5 €	4,9 €	12,0 €	3,5 €	3,5 €	
FFM	1,1 €	1,5 €	0,4 €	1,3 €	1,0 €	- €	7,0 €	9,5 €	12,3 €	- €	3,4 €	3,5 €	4,9 €	12,0 €	3,5 €	3,5 €	
FFMx	1,3 €	1,7 €	0,4 €	1,3 €	1,0 €	- €	7,0 €	9,5 €	12,3 €	- €	3,4 €	3,5 €	4,9 €	12,0 €	3,5 €	3,5 €	
Jährliche Energiekosten [€/m²a]																	
HH	0,2 €	- €	0,3 €	- €	0,9 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
HHx	0,6 €	0,4 €	0,4 €	- €	1,8 €	- €	- €	0,4 €	0,6 €	- €	- €	0,1 €	0,3 €	0,1 €	0,1 €	0,1 €	0,1 €
FFM	0,4 €	- €	0,4 €	- €	1,6 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
FFMx	1,4 €	0,9 €	0,5 €	- €	3,2 €	- €	- €	1,5 €	1,9 €	- €	- €	0,2 €	0,6 €	0,3 €	0,3 €	0,3 €	0,3 €
Jährliche Wartungs- und Instandhaltungskosten [€/m²a]																	
HH	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	0,6 €	2,5 €	2,5 €
HHx	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	0,6 €	2,5 €	2,5 €	2,5 €
FFM	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	0,6 €	2,5 €	2,5 €	2,5 €
FFMx	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	0,6 €	2,5 €	2,5 €	2,5 €
Jahresgesamtkosten [€/m²a]																	
HH	1,3 €	1,4 €	0,7 €	1,3 €	2,0 €	- €	7,0 €	9,5 €	12,3 €	- €	3,4 €	3,5 €	5,5 €	14,5 €	6,1 €	6,1 €	
HHx	1,6 €	1,8 €	0,8 €	1,3 €	2,8 €	- €	7,0 €	9,9 €	12,9 €	- €	3,4 €	3,5 €	5,7 €	14,7 €	6,2 €	6,2 €	
FFM	1,6 €	1,5 €	0,7 €	1,3 €	2,6 €	- €	7,0 €	9,5 €	12,3 €	- €	3,4 €	3,5 €	5,5 €	14,5 €	6,1 €	6,1 €	
FFMx	2,6 €	2,6 €	0,9 €	1,3 €	4,3 €	- €	7,0 €	11,0 €	14,2 €	- €	3,4 €	3,7 €	6,0 €	14,8 €	6,4 €	6,4 €	
Emissionen																	
Jährl. Emissionen CO2 äq [kg]																	
HH	34,1	0,0	126,6	0,0	103,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
HHx	91,5	62,6	163,8	0,0	194,2	0,0	0,0	23,5	30,5	0,0	0,0	536,9	1.980,6	989,4	989,4	989,4	989,4
FFM	66,9	0,0	144,6	0,0	176,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FFMx	209,3	139,5	210,0	0,0	357,5	0,0	0,0	81,5	105,9	0,0	0,0	1.244,7	3.787,8	2.068,2	2.068,2	2.068,2	2.068,2
Jährl. Emissionen CO2 äq [kg/m²]																	
HH	0,6	0,0	0,9	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
HHx	1,6	1,1	1,2	0,0	4,9	0,0	1,1	1,2	1,5	0,0	0,0	0,2	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4
FFM	1,2	0,0	1,0	0,0	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FFMx	3,7	2,5	1,5	0,0	8,9	0,0	0,0	4,1	5,3	0,0	0,0	0,5	1,5	0,8	0,8	0,8	0,8

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	1.495 €	748 €	-	1.950 €	1.410 €	-	-	975 €	122 €	2.700 €	3.600 €	1.848 €
5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	1.497 €	748 €	-	1.950 €	1.427 €	-	-	975 €	122 €	2.700 €	3.600 €	1.848 €
5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	1.480 €	740 €	-	1.950 €	1.410 €	-	-	975 €	122 €	2.700 €	3.600 €	1.848 €
5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	5.549 €	1.524 €	762 €	-	1.950 €	1.455 €	-	-	975 €	122 €	2.700 €	3.600 €	1.848 €
15 50 6%																			
623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0	623,0
- €	- €	14.277,8 €	14.277,8 €	23.132,6 €	14.277,8 €	26.292,6 €	- €	10.607,0 €	7.622,2 €	10.315,0 €	3.328,0 €	-	1.369,4 €	417,7 €	9.266,6 €	12.355,5 €	6.341,9 €	- €	- €
- €	- €	14.277,8 €	14.277,8 €	23.132,6 €	14.277,8 €	26.292,6 €	- €	10.612,2 €	7.627,3 €	10.373,1 €	3.328,0 €	-	1.369,4 €	417,7 €	9.266,6 €	12.355,5 €	6.341,9 €	- €	- €
- €	- €	14.277,8 €	14.277,8 €	23.132,6 €	14.277,8 €	26.292,6 €	- €	10.554,0 €	7.569,2 €	10.315,0 €	3.328,0 €	-	1.369,4 €	417,7 €	9.266,6 €	12.355,5 €	6.341,9 €	- €	- €
- €	- €	14.277,8 €	14.277,8 €	23.132,6 €	14.277,8 €	26.292,6 €	- €	10.706,1 €	7.721,2 €	10.470,0 €	3.328,0 €	-	1.369,4 €	417,7 €	9.266,6 €	12.355,5 €	6.341,9 €	- €	- €
- €	- €	5,8 €	5,8 €	9,4 €	5,8 €	10,7 €	- €	4,3 €	3,1 €	4,2 €	1,3 €	-	0,6 €	0,2 €	3,8 €	12,9 €	6,6 €	- €	- €
- €	- €	5,8 €	5,8 €	9,4 €	5,8 €	10,7 €	- €	4,3 €	3,1 €	4,2 €	1,3 €	-	0,6 €	0,2 €	3,8 €	12,9 €	6,6 €	- €	- €
- €	- €	5,8 €	5,8 €	9,4 €	5,8 €	10,7 €	- €	4,3 €	3,1 €	4,2 €	1,3 €	-	0,6 €	0,2 €	3,8 €	12,9 €	6,6 €	- €	- €
- €	- €	5,8 €	5,8 €	9,4 €	5,8 €	10,7 €	- €	4,3 €	3,1 €	4,2 €	1,3 €	-	0,6 €	0,2 €	3,8 €	12,9 €	6,6 €	- €	- €
1,1 €	8,1 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	4,1 €	0,9 €	- €	0,5 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
3,3 €	15,2 €	2,3 €	1,4 €	0,9 €	0,9 €	0,9 €	0,9 €	7,3 €	1,3 €	0,7 €	0,7 €	- €	0,1 €	0,1 €	0,1 €	0,1 €	0,5 €	0,5 €	0,5 €
2,6 €	12,4 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	5,8 €	1,3 €	- €	0,8 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
6,6 €	22,2 €	4,7 €	3,2 €	2,1 €	2,1 €	2,0 €	10,1 €	2,0 €	0,9 €	1,3 €	- €	- €	0,2 €	0,2 €	0,3 €	0,7 €	0,5 €	0,5 €	0,5 €
2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	0,6 €	0,3 €	0,8 €	0,6 €	- €	0,4 €	0,0 €	1,1 €	3,8 €	1,9 €	- €	- €
2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	0,6 €	0,3 €	0,8 €	0,6 €	- €	0,4 €	0,0 €	1,1 €	3,8 €	1,9 €	- €	- €
2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	0,6 €	0,3 €	0,8 €	0,6 €	- €	0,4 €	0,0 €	1,1 €	3,8 €	1,9 €	- €	- €
2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	2,3 €	0,6 €	0,3 €	0,8 €	0,6 €	- €	0,4 €	0,0 €	1,1 €	3,8 €	1,9 €	- €	- €
3,3 €	10,4 €	8,0 €	8,0 €	11,6 €	8,0 €	12,9 €	4,7 €	5,5 €	2,3 €	5,2 €	1,3 €	-	1,0 €	0,2 €	4,9 €	16,6 €	8,5 €	- €	- €
5,6 €	17,4 €	10,4 €	9,4 €	12,6 €	9,0 €	13,8 €	7,9 €	5,9 €	3,0 €	5,5 €	1,3 €	-	0,8 €	0,3 €	5,0 €	17,1 €	9,0 €	- €	- €
4,8 €	14,6 €	8,0 €	8,0 €	11,6 €	8,0 €	12,9 €	6,4 €	5,9 €	2,3 €	5,5 €	1,3 €	-	1,0 €	0,2 €	4,9 €	16,6 €	8,5 €	- €	- €
8,8 €	24,5 €	12,7 €	11,2 €	13,7 €	10,1 €	14,9 €	10,7 €	6,6 €	3,3 €	6,1 €	1,3 €	-	0,8 €	0,4 €	5,1 €	17,3 €	9,0 €	- €	- €
7.296,8	55.078,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27.793,7	6.157,4	0,0	3.061,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22.683,9	103.030,4	15.810,7	9.416,4	6.412,6	6.412,6	5.844,9	49.285,8	8.862,8	4.473,5	4.806,9	0,0	773,1	633,1	980,7	1.377,4	1.287,7	0,0	0,0	0,0
17.508,8	83.965,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39.247,2	8.683,4	0,0	5.098,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
44.865,0	150.995,2	31.908,2	21.421,9	14.222,9	14.222,9	13.402,6	68.394,1	13.532,3	6.323,2	8.811,0	0,0	1.348,3	1.259,2	1.805,5	1.904,1	1.259,2	0,0	0,0	0,0
3,0	22,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	2,5	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9,2	41,8	6,4	3,8	2,6	2,6	2,4	20,0	3,6	1,8	1,9	0,0	0,0	0,3	0,3	0,4	1,4	1,3	1,3	1,3
7,1	34,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,9	3,5	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18,2	61,2	12,9	8,7	5,8	5,8	5,4	27,7	5,5	2,6	3,6	0,0	0,0	0,5	0,5	0,7	2,0	1,3	1,3	1,3

Tabelle 27: Übersicht zur Wirtschaftlichkeits- und Umweltanalyse konventioneller und alternativer Systeme.

## Anhang B: Potentialberechnungen

m <sup>2</sup> nach Sektoren in 2009 [Mio. m <sup>2</sup> ]	Anteil %	summe	bis 1994	nach 1994						
			bis 1870	1871-1918	1919-1948	1949-1965	1966-1978	1979-1988	1989-1998	1999-2008
<b>Wohnen</b>		<b>3.306</b>	2.724	583						
EFH + RH	61%	2.008	1.604	404						
MFH	39%	1.299	1.120	179						
<b>Nichtwohnen</b>		<b>2.430</b>	163	408	245	348	235	387	363	283
Hotels, Cafés, Restaurants	13%	309	23,8	59,7	35,8	51,0	39,0	64,9	27,9	6,6
Hospitals	3%	70	5,6	14,1	8,5	12,1	5,6	8,8	8,8	6,3
Education	9%	225	23,6	58,9	35,3	50,3	23,5	16,6	12,2	5,0
Offices, Administration	22%	537	25,8	64,5	38,7	55,2	45,4	91,7	149,8	66,1
Trade, Retail	23%	552	30,6	76,5	45,9	65,4	50,1	64,8	104,5	114,2
Einzelhandel	14%	348	19,3	48,2	28,9	41,2	31,5	40,8	65,8	71,9
Großhandel	7%	178	9,9	24,7	14,8	21,1	16,2	20,9	33,8	36,9
Handelsvermittlung	1%	26	1,5	3,6	2,2	3,1	2,4	3,1	5,0	5,4
Other	30%	737	53,6	133,9	80,3	113,6	70,8	140,1	60,2	84,6
Baugewerbe	7%	163	11,8	29,5	17,7	25,0	15,6	30,9	13,3	18,7
Herstellungsbetriebe	4%	95	6,9	17,2	10,3	14,6	9,1	18,0	7,7	10,9
Bäder	0%	12	0,9	2,2	1,3	1,8	1,1	2,3	1,0	1,4
Nahrungsmittelgewerbe	0%	9	0,6	1,6	1,0	1,4	0,8	1,7	0,7	1,0
Wäschereien	0%	2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1	0,2
Landwirtschaft	14%	329	23,9	59,7	35,8	50,6	31,6	62,4	26,8	37,7
Gartenbau	3%	65	4,7	11,9	7,1	10,1	6,3	12,4	5,3	7,5
Flughäfen	1%	33	2,4	6,0	3,6	5,1	3,2	6,2	2,7	3,8
Textil, Bekleidung, Leder	0%	2	0,1	0,4	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2
Spedition, Lagerei	1%	29	2,1	5,2	3,1	4,4	2,8	5,5	2,4	3,3

Quellen: Wohngebäude - IWU Gebäudetypologie 2 5.737  
 Nichtwohngebäude - [Kohler, Hassler et al., 1999], [Schloman, Gruber et al., 2009], [Kleemann,Hansen, 2005], [IFO, 1999]

Tabelle 28: Flächenverteilung Wohn- und Nichtwohngebäude als Grundlage der Potentialberechnung.

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Auswahl konventioneller Technologien				
Technologie	Spez. Endenergiebedarfe [kWh/(m²a)]			
	<u>HH</u>	<u>HHx</u>	<u>FF</u>	<u>FFx</u>
1 - DHH Altbau Splitgerät im Hauptraum	1,0	2,6	1,9	6,0
2 - DHH Neubau Fußboden-kühlung	1,5	1,9	1,7	2,4
3 - MFH Altbau Kompaktgerät in Schlafzi.	4,2	7,8	7,1	14,3
4 - MFH Neubau ohne Kühlung Schlafzimm	0,0	0,0	0,0	0,0
5 - Büro 1960 Lochfassade ohne Kühlung	0,0	0,0	0,0	0,0
6 - Büro 1970 Lochfassade Klimaanlage	4,7	14,8	11,4	29,2
7 - Büro 1978 Glasfassade Klimaanlage	35,9	67,1	54,7	98,3
8 - Büro 1992 Glasfassade Kühldecken	18,1	32,1	25,5	44,5
9 - Büro 2005 Glasfassade BKT	4,0	5,8	5,7	8,8
10 - Büro 2005 Lochfassade BKT	2,0	3,1	3,3	5,7
5x - Büro Austausch FTRL bis 1978	2,1	4,2	4,6	9,3
7a - Büro 1978 wie 7 + autom. ext. Sonnen	6,6	10,3	13,3	20,8
Hotels, Cafés, Restaurants	17,4	34,0	17,4	34,0
Hospitals	19,0	38,0	19,0	38,0
Education	11,0	22,0	11,0	22,0
Offices, Administration	21,5	43,0	21,5	43,0
Trade, Retail	33,0	45,0	33,0	45,0

Tabelle 29: Auswahl konventioneller Technologien

## Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

Technologie	Spez. Endenergiebedarfe [kWh/(m²a)]			
	HH	HHx	FF	FFx
1 - DHH Altbau Splitgerät im Hauptraum	1,0	2,6	1,9	6,0
2a - DHH Neubau ohne Fußboden-kühlung +	0,0	0,0	0,0	0,0
2 - DHH Neubau Fußboden-kühlung	1,5	1,9	1,7	2,4
3 - MFH Altbau Kompaktgerät in Schlafzi.	4,2	7,8	7,1	14,3
4a - MFH Neubau wie 4 + autom. ext. Sonnen	0,0	0,0	0,0	0,0
4b - MFH Neubau wie 4a + optimaler Nacht	1,2	1,9	4,2	6,5
4c - MFH Neubau wie 4b + LEWT	1,2	1,9	4,2	6,5
4x - MFH Neubau FFMx Splitgerät	2,0	4,0	5,0	10,0
5a - Büro 1960 wie 5 + autom. ext. Sonnen	0,0	0,0	0,0	0,0
5b - Büro 1960 wie 5a +Tischventilatoren	0,2	0,3	0,5	0,8
5c - Büro 1960 wie 5a +Max. Nachtlüftung	0,8	1,3	1,6	2,5
5d - Büro 1960 wie 5a + mit mech. Belüftung	0,4	0,6	0,9	1,3
6 - Büro 1970 Lochfassade Klimaanlage	4,7	14,8	11,4	29,2
7a - Büro 1978 wie 7 + autom. ext. Sonnen	6,6	10,3	13,3	20,8
7b - Büro 1978 wie 7a + Tmax 26 °C	3,9	6,1	8,9	13,9
7c - Büro 1978 wie 7b + eff. Lüftung und Kü	2,7	4,2	5,9	9,3
7cx - 1/2 Büro 1978 wie 7b + eff. Lüftung ur	1,3	2,1	3,0	4,6
7d - Büro 1978 wie 7c + PCM	2,4	3,8	5,6	8,7
8 - Büro 1992 Glasfassade Kühldecken	18,1	32,1	25,5	44,5
9a - Büro 2005 □ wie 9 jedoch mit □Erdsond	1,9	2,9	2,6	4,1
10a - Büro 2005 wie 10 mit ver. Ausr + Nach	0,0	0,0	0,0	0,0
11 - Passivhaus-büro mit WP u. Erdsondenk	0,3	0,5	0,6	0,9
11a - Passivhausbüro mit adiabater Kühlung	0,3	0,4	0,5	0,8
11b - Passivhausbüro mit solarer Kühlung	0,4	0,6	0,8	1,2
12 - Sanierte Schule mit dez. Lüftungsanlag	1,5	2,3	2,0	3,2
13 - Passivhausschule mit LEWT	1,4	2,2	1,3	2,1
Education - alternativ	5,0	10,0	5,0	10,0
Hospitals - alternativ	5,0	10,0	5,0	10,0
Hotels, Cafés, Restaurants - alternativ	5,0	10,0	5,0	10,0
Offices, Administration - alternativ	5,0	10,0	5,0	10,0
Trade, Retail - alternativ	15,0	20,0	15,0	20,0

Tabelle 30: Auswahl alternativer Technologien

**Anhang C: Hinweise zur rechtlichen Ausgestaltung der Handlungsempfehlungen im  
Endbericht „Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung“**

**- zum Gutachten der *Ecofys Germany GmbH* -**

**– Endfassung –**

erstellt von

*Markus Kahles*

*Fabian Pause*

*Thorsten Müller*

Forschungsstelle Umweltenergierecht  
Universität Würzburg  
Augustinerstr. 15  
97072 Würzburg  
Telefon +49 931 79 40 77-0  
Telefax +49 931 79 40 77-29  
E-Mail m.kahles@jura.uni-wuerzburg.de  
fabian.pause@jura.uni-wuerzburg.de  
thorsten.mueller@jura.uni-wuerzburg.de  
Internet www.umweltenergierecht.de

Würzburg, den 30. November 2010

## Inhaltsverzeichnis

A.	Einleitung.....	1
B.	Handlungsempfehlungen zur Energieeinsparverordnung (EnEV) .....	1
I.	Hintergrund des Regelungsrahmens.....	1
II.	Rechtliche Beurteilung von Handlungsempfehlungen .....	3
1.	Angabe kühlungsbezogenen Stromverbrauchs in Energieausweisen .....	4
2.	Begrenzung der Kühllasten für Nichtwohngebäude .....	5
3.	Berücksichtigung innovativer und alternativer Berechnungsmethoden.....	8
4.	Austausch bzw. Sanierung von Klimaanlage der schlechtesten Effizienzklasse ..	9
C.	Handlungsempfehlungen zum Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) ...	13
I.	Hintergrund des Regelungsrahmens.....	13
1.	Nutzungspflicht .....	14
2.	Finanzielle Förderung.....	16
II.	Rechtliche Bewertung der Handlungsvorschläge .....	17
1.	Berücksichtigung gebäudespezifischer Einflussfaktoren auf Kühlungsbedarf ....	17
2.	Schaffung von Regelungen für Gebäudekühlung analog zum EEWärmeG.....	18
D.	Handlungsempfehlungen zu EBPG und EnVKV .....	22
I.	Hintergrund des Regelungsrahmens.....	22
II.	Rechtliche Beurteilung der Handlungsempfehlungen .....	23
1.	Kennzeichnungspflicht für Klimaanlage .....	23
2.	Stufenweises Verkaufsverbot für gewerbliche Klimaanlage über 12 KW .....	24
E.	Handlungsempfehlungen zu Smart Metering.....	25
I.	Hintergrund des Regelungsrahmens.....	25
II.	Rechtliche Beurteilung der Handlungsempfehlung .....	26
F.	Handlungsempfehlungen zum Energiedienstleistungsgesetz .....	27
I.	Hintergrund des Regelungsrahmens.....	27
II.	Rechtliche Beurteilung der Handlungsempfehlung .....	28

## **A. Einleitung**

Vorliegende Darstellung dient dazu, die von *Ecofys Germany GmbH* im Rahmen der Studie „Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung“ zur Marktdurchdringung passiver Vermeidungsstrategien und umweltfreundlicher aktiver Systeme im Bereich der Kühlung und Klimatisierung von Gebäuden erarbeiteten Handlungsempfehlungen einer ersten summarischen rechtlichen Bewertung zu unterziehen. Damit soll in einem ersten Zugriff ein Bild vermittelt werden, wo gegebenenfalls rechtliche Probleme bestehen könnten und bei der weiteren fachlichen Ausarbeitung zu berücksichtigen wären. Naturgemäß ermöglichen die vorliegenden Handlungsempfehlungen der Studie keine umfassende oder gar abschließende rechtliche Einordnung. Eine solche kann erst erfolgen, wenn nähere Details festgelegt sind.

## **B. Handlungsempfehlungen zur Energieeinsparverordnung (EnEV)**

### **I. Hintergrund des Regelungsrahmens**

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) wurde auf Grundlage der Ermächtigungen des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG)<sup>1</sup> erlassen. Zwar besteht das EnEG bereits seit 1976<sup>2</sup>, steht jedoch seit 2005<sup>3</sup> unter dem großen Einfluss der europäischen Energie- und Klimaschutzpolitik. Auf Grund des am 28. März 2009 geänderten EnEG<sup>4</sup> ist am 29. April 2009 eine Neufassung der EnEV erlassen worden<sup>5</sup>. Das EnEG und die EnEV dienen der Umsetzung der europäischen Gebäude-Richtlinie RL 2002/91 EG. Die Gebäude-Richtlinie ist jedoch durch die RL 2010/31/EU<sup>6</sup> neu gefasst worden, welche bis zum 9. Juli 2012 umzusetzen ist. Die Problematik des steigenden Energiebedarfs für Kühlung wird von der RL 2010/31/EU explizit in Erwägungsgrund 25 angesprochen:

*„In den letzten Jahren ist eine zunehmende Verwendung von Klimaanlage in den Ländern Europas zu verzeichnen. Dies führt zu großen Problemen zu Spitzenlastzeiten*

---

<sup>1</sup> Energieeinsparungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 1. September 2005 (BGBl. I, S. 2684), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 28. März 2009 (BGBl. I, S. 643) geändert worden ist.

<sup>2</sup> Energieeinsparungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. Juli 1976 (BGBl. I, S. 1873).

<sup>3</sup> Zweites Änderungsgesetz vom 1. September 2005 (BGBl. I, S. 2684).

<sup>4</sup> BGBl. I, S. 643.

<sup>5</sup> BGBl. I, S. 954.

<sup>6</sup> RL 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, ABl. L 153 vom 18.6.2010, S. 13.

*mit der Folge, dass die Stromkosten steigen und die Energiebilanz beeinträchtigt wird. Vorrang sollte Strategien eingeräumt werden, die zur Verbesserung der thermischen Eigenschaften der Gebäude im Sommer beitragen. Hierzu sollte man sich auf Maßnahmen zur Vermeidung einer übermäßigen Erwärmung, wie Sonnenschutz und ausreichende Wärmekapazität der Gebäudekonstruktion, und auf Weiterentwicklung und Einsatz der passiven Kühlung konzentrieren, und zwar in erster Linie auf solche Maßnahmen, die zur Verbesserung der Qualität des Raumklimas und zur Verbesserung des Mikroklimas in der Umgebung von Gebäuden beitragen.“*

Gemäß Art. 1 Abs. 2 f) RL 2010/31/EU enthält die Richtlinie konkrete Anforderungen für die regelmäßige Inspektion für Klimaanlage in Gebäuden, vgl. Art. 15 RL 2010/31/EU. Nach Erwägungsgrund 10 RL 2010/31/EU ist jedoch

*„ausschließlich Sache der Mitgliedstaaten, Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten festzulegen“.*

Das EnEG enthält eine Vielzahl von Ermächtigungsgrundlagen, die eine Regelung des energiesparenden Wärmeschutzes bei zu errichtenden Gebäuden (§ 2 EnEG), der energiesparenden Anlagentechnik bei Gebäuden (§ 2 EnEG) sowie des energiesparenden Betriebs von Anlagen (§ 3 EnEG) durch die Bundesregierung im Verordnungswege ermöglichen. Daneben wird die Bundesregierung nach § 4 EnEG auch ermächtigt, Bestandsgebäude in die Regelung, wenn auch mit Einschränkungen, einzubeziehen. Der Ermächtigungskanon der §§ 1-4 EnEG steht unter dem gemeinsamen Vorbehalt des Grundsatzes der wirtschaftlichen Vertretbarkeit nach § 5 Abs. 1 EnEG. Dieser Grundsatz bestimmt, dass die in den Rechtsverordnungen aufgestellten, nach dem Stand der Technik erfüllbaren Anforderungen für Gebäude gleicher Art und Nutzung wirtschaftlich vertretbar sein müssen. Anforderungen gelten als wirtschaftlich vertretbar, wenn generell die erforderlichen Aufwendungen innerhalb der üblichen Nutzungsdauer (bzw. der noch zu erwartenden Nutzungsdauer bei bestehenden Gebäuden) durch die eintretenden Einsparungen erwirtschaftet werden können. An die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen bei bestehenden Gebäuden werden dabei strengere Anforderungen als bei Neubauten gestellt. So müssen die Anforderungen an den Wärmeschutz und die energiesparende Anlagentechnik bei bestehenden Gebäuden generell zu einer wesentlichen Verminderung der Energieverluste beitragen und die Aufwendungen durch die eintretenden Einsparungen innerhalb angemessener Fristen erwirtschaftet werden können, § 4 Abs. 3 S. 2 EnEG. Zur Herstellung von Einzelfallgerechtigkeit muss der Ordnungsgeber zudem nach § 5 Abs. 2 EnEG gewährleisten, dass die zuständige Behörde im Einzelfall eine Befreiung aufgrund eines unangemessenen Aufwands oder unbilliger Härte erteilen kann. Ferner wird die Bundesregierung in § 5a EnEG ermächtigt, Inhalte und Verwendung von Energieausweisen

auf Bedarfs- und Verbrauchsgrundlage vorzugeben und dabei zu bestimmen, welche Angaben und Kennwerte über die Energieeffizienz eines Gebäudes, eines Gebäudeteils oder in § 2 Abs. 1 EnEG genannter Anlagen oder Einrichtungen darzustellen sind.

Der Anwendungsbereich der EnEV ist nicht auf den Bereich der Heizenergie beschränkt, sondern erfasst vielmehr auch die Kühlung von Gebäuden unter Einsatz von Energie sowie die damit in Verbindung stehenden Anlagen und Einrichtungen der Kühltechnik, § 1 Abs. 1 EnEV. So ist auch bei der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs für Wohngebäude nach § 3 Abs. 1 EnEV und Nichtwohngebäude nach § 4 Abs. 1 EnEV der Bedarf für die Kühlung einzubeziehen, wobei sich die konkrete Berechnung nach den Anlagen 1 bzw. 2 der EnEV richtet. Eine Berücksichtigung der für die Kühlung der Raumluft eingesetzten Energie erfolgt durch Erhöhung des Jahres-Primärenergiebedarfs sowie durch die Erhöhung der Angabe des Endenergiebedarfs (elektrische Energie) im Energieausweis<sup>7</sup>; dies gilt sowohl für Wohngebäude nach Anlage 1 Nr. 2.8 EnEV als auch für Nichtwohngebäude nach Anlage 2 Nr. 2.1 EnEV. Ferner enthält § 12 EnEV eine Pflicht zur regelmäßigen energetischen Inspektion von Klimaanlageanlagen und § 15 EnEV beinhaltet Anforderungen an Klimaanlageanlagen mit einer Nennleistung für den Kältebedarf von mehr als 12 kW.

## **II. Rechtliche Beurteilung von Handlungsempfehlungen**

Die im Gutachten der *Ecofys Germany GmbH* vorgeschlagenen und im Folgenden rechtlich bewerteten Handlungsempfehlungen zur Änderung der EnEV, die den Energiebedarf für die Kühlung von Gebäuden vermehrt in den Fokus rücken sollen, müssen nicht nur im Einklang mit dem EnEG, sondern auch mit der 2010/31/EU stehen. Hierbei ist bedeutsam, dass, soweit die RL 2010/31/EU hierbei zwingende Vorgaben macht und damit dem nationalen Gesetzgeber keinen Ermessensspielraum lässt, der Umsetzungsakt grundsätzlich nicht an den nationalen Grundrechten zu messen ist<sup>8</sup>. Geht der Gesetzgeber jedoch über die Vorgaben der Richtlinie hinaus oder verbleibt ihm ein Ermessensspielraum bei der Umsetzung, sind auch die nationalen Grundrechte zu beachten<sup>9</sup>. Die RL 2010/31/EU stellt hierzu in Erwägungsgrund 10 fest, dass es ausschließlich Sache der Mitgliedstaaten ist, Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten festzulegen. Insofern verbleibt den Mitgliedstaaten ein relativ großer Spielraum für nationale Maßnahmen. Als Ausdruck der Verhältnismäßigkeit einer solchen nationalen Maßnahme ist hierbei insbesondere der oben bereits erwähnte Grundsatz der wirtschaftlichen Vertretbarkeit nach § 5 Abs. 1 EnEG zu beachten, innerhalb dessen Rahmen

---

<sup>7</sup> Berechnet nach DIN V 18599-1 : 2007-02 oder DIN V 4701-10 : 2003-08, geändert durch A1 : 2006-12.

<sup>8</sup> BVerfGE 102, 147, 164.

<sup>9</sup> Vgl. BVerfG, NJW 2010, S. 833 (835 Rn. 185).

sich die Anforderungen der EnEV zu halten haben<sup>10</sup>.

## **1. Angabe kühlungsbezogenen Stromverbrauchs in Energieausweisen**

### **a) Handlungsempfehlung**

Unter Ziff. 8.1.1 (Wohngebäude) der Studie von Ecofys wird folgende Handlungsempfehlung gegeben:

*Für Wohngebäude wird der Kühlenergiebedarf bereits in die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs einbezogen. Es ist hinsichtlich § 16 ff. (Energieausweise und Empfehlungen für die Verbesserung der Energieeffizienz) jedoch zu empfehlen, dass auch bei verbrauchsbasierten Energieausweisen für Wohngebäude der stromrelevante Energieverbrauch der Gebäudetechnik aufzunehmen ist. Bisher ist nur durch einen Hinweis in dem Energieausweis ersichtlich, dass in dem Wohngebäude gekühlt wird. Nicht zu ermitteln ist hier jedoch der entsprechende Stromverbrauch. Entsprechend sollte in § 19 Absatz 2 der EnEV eine Ergänzung vorgenommen werden.*

### **b) Rechtliche Bewertung**

Zu prüfen ist, ob eine Einbeziehung des stromrelevanten Energieverbrauchs für die Kühlung eines Gebäudes auf die Ermächtigungsgrundlage des § 5a EnEG gestützt werden könnte. Hierbei ist zu beachten, dass das Gebot der wirtschaftlichen Vertretbarkeit nach § 5 Abs. 1 EnEG und die Befreiungsmöglichkeiten gemäß § 5 Abs. 2 EnEG nach Wortlaut und systematischem Zusammenhang nicht für die Vorschriften über Energieausweise gelten<sup>11</sup>. Nach § 5a EnEG kann die Bundesregierung bestimmen, welche Angaben und Kennwerte über die Energieeffizienz eines Gebäudes, eines Gebäudeteils oder Heizungs-, raumluftechnische, Kühl-, Beleuchtungs- sowie Warmwasserversorgungsanlagen oder -einrichtungen darzustellen sind. Energieausweise dienen nach § 5a S. 3 EnEG lediglich der Information, maßgeblich für Kauf- und Mietinteressenten<sup>12</sup>. Die in § 5a S. 2 EnEG enthaltene Aufzählung möglicher Angaben und Kennwerte über die Energieeffizienz ist für den Verordnungsgeber weder bindend („können“) noch abschließend („insbesondere“). Detaillierte Regelungen über den Energieausweis enthalten auf der Grundlage von § 5a EnEG die §§ 16 ff. EnEV, wobei der Energieausweis für Neubauten nach § 18 EnEV auf der Grundlage des Energiebedarfs und für Bestandsbauten, mit Ausnahmen, nach § 19 EnEV auf der Grundlage des Energieverbrauchs ausgestellt wird.

---

<sup>10</sup> J. Stock in: Danner/Theobald, Energierecht, Bd. III, Einf. EnSP Rn. 34.

<sup>11</sup> J. Stock in: Danner/Theobald, Energierecht, Bd. III, Einf. EnSP Rn. 31;

<sup>12</sup> vgl. hierzu F.-G. Rips, Der Energieausweis – ein Transparenzinstrument mit Zukunft, WuM 2008, S. 379 (382) („Informationsfunktion im Sinne einer öffentlich-rechtlichen Pflicht des Verkäufers oder des Vermieters“).

Der vorliegende Vorschlag bezieht sich nur auf Energieausweise, die auf Grundlage des Energieverbrauchs nach § 19 EnEV ausgestellt werden. § 19 Abs. 2 S. 1 EnEV lautet in seiner aktuell geltenden Fassung wie folgt:

*„Bei Wohngebäuden ist der Energieverbrauch für Heizung und zentrale Warmwasserbereitung zu ermitteln und in Kilowattstunden pro Jahr und Quadratmeter Gebäudenutzfläche anzugeben.“*

Im Gegensatz hierzu gilt für Nichtwohngebäude nach § 19 Abs. 2 S. 3 EnEV:

*„Bei Nichtwohngebäuden ist der Energieverbrauch für Heizung, Warmwasserbereitung, Kühlung, Lüftung und eingebaute Beleuchtung zu ermitteln und in Kilowattstunden pro Jahr und Quadratmeter Nettogrundfläche anzugeben.“*

Eine Einbeziehung von Angaben zum Stromverbrauch für Gebäudekühlung zur Verbrauchsermittlung neben den Angaben für Heizung und Warmwasser wäre eine Bestimmung von Vorgaben, die sich auf die Ermittlung von Angaben und Kennwerten über die Energieeffizienz eines Gebäudes beziehen. Die Ermittlung von Angaben dieser Art fällt nach § 5a Abs. 1 S. 2 Nr. 3 EnEG ausdrücklich unter die Ermächtigungsgrundlage. Angaben zum Stromverbrauch für Kühlung auf dem Energieausweis für Wohngebäude könnten somit in § 19 Abs. 2 EnEV aufgenommen werden.

Eine derartige Ergänzung des § 19 Abs. 2 EnEV stünde auch in Einklang mit den Bestimmungen der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Nach Art. 11 RL 2010/31/EU hat der Energieausweis die „Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes“ anzugeben. Unter Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes ist nach der Begriffsbestimmung des Art. 2 Nr. 4 RL 2010/31/EU folgendes zu verstehen:

*„die berechnete oder gemessene Energiemenge, die benötigt wird, um den Energiebedarf im Rahmen der üblichen Nutzung des Gebäudes (u. a. Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung) zu decken“.*

Soweit § 19 Abs. 2 EnEV bei Ermittlung des tatsächlichen Energieverbrauchs von Wohngebäude nur auf Heiz- und Warmwasserenergie abstellt, bleibt der Verordnungsgeber ohnehin hinter der Gebäudeeffizienz-Richtlinie zurück. Eine Einbeziehung des kühlungsrelevanten Stromverbrauchs in die Ermittlung des tatsächlichen Energiebedarfs eines Wohngebäudes könnte damit sogar als geboten angesehen werden.

## **2. Begrenzung der Kühllasten für Nichtwohngebäude**

### **a) Handlungsempfehlung**

Unter Ziff. 8.1.1 (Nichtwohngebäude) der Studie von Ecofys wird folgende

Handlungsempfehlung gegeben:

*Für Nichtwohngebäude besteht ein maximaler Jahres-Primärenergiekennwert, in den die Raumkühlung und Kälteerzeugung einbezogen ist. Eine gesonderte Begrenzung der Kühllasten besteht hiermit jedoch nicht, da beispielsweise durch effizientere Beleuchtung oder Heizungsanlagen ineffiziente Kühlsysteme ausgeglichen werden können. Um einer zu erwartenden Steigerung der Kühlenergie zu begegnen, ist daher zu empfehlen, in § 4 der EnEV einen zusätzlichen Absatz zur Begrenzung der Kühllasten bei Neubauten im Nichtwohnbereich aufzunehmen, dessen weitere Ausführungen in Anlage 2 zu bestimmen wären.*

## **b) Rechtliche Bewertung**

Bereits in der EnEV 2007 wurde im Zuge der Umsetzung der RL 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden die Berücksichtigung des Energiebedarfs für Kühlung bei Nichtwohngebäuden zur Pflicht gemacht. Dies geschieht auch in der EnEV 2009, allerdings nur im Rahmen der Ermittlung des gesamten maximalen Jahres-Primärenergiebedarfs, § 4 Abs. 1 EnEV.

Die Einführung einer Mindestquote zur Begrenzung der Kühllasten in § 4 i.V.m. Anlage 2 EnEV müsste zunächst von der Verordnungsermächtigung des EnEG gedeckt sein. § 1 Abs. 2 und § 2 Abs. 2 EnEG ermächtigen zum Erlass von Einzelanforderungen an energiesparrelevante Bauteile wie Außenwände, Dach, Fenster, Türen sowie an die Bestandteile der Anlagentechnik. Gegenstand der beiden Ermächtigungen ist dabei nur das zu errichtende Gebäude und dazu bestimmte, abschließend aufgeführte haustechnische Anlagen und Einrichtungen<sup>13</sup>. Auf dieser Grundlage beruhen die Anforderungen an die Wärmedämmung nach § 3 Abs. 1 S. 1 und 4 § Abs. 2 EnEV sowie an den sommerlichen Wärmeschutz nach § 3 Abs. 4 und § 4 Abs. 5 EnEV. Zusätzlich oder anstelle dieser technischen Anforderungen an die Gebäudehülle und die Anlagentechnik sind nach § 5 Abs. 5 EnEG auch Anforderungen an die Gesamteffizienz des Gebäudes, und dabei insbesondere an den Gesamtenergiebedarf oder -verbrauch des Gebäudes, zulässig. § 5 Abs. 5 EnEG bildet mithin die Grundlage der Regelungen in §§ 3, 4 EnEV.

Die Frage, ob eine gesonderte Vorgabe für die Kühlung getroffen werden kann, ist nicht eindeutig zu klären und bedürfte näherer Prüfungen. Gegen eine Begrenzung eines Teilbereichs des Gesamtenergiebedarfs oder -verbrauchs, wie im vorliegenden Fall der Kühllasten, könnte sprechen, dass sich § 5 Abs. 5 EnEG dem Wortlaut nach nur auf die Gesamteffizienz des Gebäudes, nicht aber auf Teil-Effizienzen einzelner

---

<sup>13</sup> J. Stock in: Danner/Theobald, Energierecht, Bd. III, §§ 3, 4 EnEV Rn. 3, VIII EnSP B 3.

Energienutzungsarten bezieht. Insofern wäre der Ausgleich besonders energieintensiver durch weniger energieintensive Nutzungsarten im Hinblick auf ein zu erreichendes Gesamtziel hinzunehmen. Gegen diese Auffassung ist anzuführen, dass der Begriff der Gesamteffizienz und damit zusammenhängend die Bestimmung des Gesamtenergiebedarfs oder -verbrauchs eines Gebäudes nicht vorgegeben ist, sondern erst durch Rechtsetzung auszufüllen ist. So beinhaltet Art. 2 Nr. 4 RL 2010/31/EU ein weites Verständnis des Begriffs der Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes:

*„die berechnete oder gemessene Energiemenge, die benötigt wird, um den Energiebedarf im Rahmen der üblichen Nutzung des Gebäudes (u. a. Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung) zu decken“.*

Da weder die unterschiedlichen Erfordernisse im Rahmen der Nutzung eines Gebäudes abschließend aufgezählt sind (vgl. die Verwendung der Abkürzung „u.a.“), noch festgelegt wird, was unter einer Standardnutzung eines Gebäudes zu verstehen ist, steht es im Ermessen des Gesetzgebers festzulegen, in welcher Form die zu veranschlagende Energiemenge bestimmt wird und wie sie sich zusammensetzt. Die RL 2010/31/EU sieht nunmehr ebenso in Art. 3 bei der Berechnung die Beachtung des in Anhang I festgelegten allgemeinen Rahmens vor. Art. 4 RL 2010/31/EU überlässt die Festlegung von Mindestanforderungen weiterhin den Mitgliedstaaten. Insofern ist eher davon auszugehen, dass nach der Ermächtigung des § 5 Abs. 5 EnEG maximale Kühllasten festgelegt werden könnten.

Die Festlegung maximaler Kühllasten könnte jedoch Investitionspflichten im Bereich der Gebäudekühlung mit sich bringen und somit die Eigentumsfreiheit der Eigentümer berühren. Bestandsgebäude unterliegen dabei auch unter dem Gesichtspunkt des Vertrauensschutzes strengeren Anforderungen als Neubauten<sup>14</sup>. Eine abschließende verfassungsrechtliche Bewertung ist nur anhand der konkreten Vorgaben und ihrer Auswirkungen auf die Verpflichteten möglich. Es dürfte jedoch erforderlich sein, Ausnahmen für Härtefälle vorzusehen.

Soll ein solcher Maximalwert eingeführt werden, müsste er weiterhin dem einfachgesetzlichen Wirtschaftlichkeitsgebot nach § 5 Abs. 1 EnEG entsprechen oder die Ermächtigungsgrundlage müsste an diesem Punkt geändert werden. Danach würden die Anforderungen nur dann als wirtschaftlich vertretbar gelten, wenn generell die erforderlichen Aufwendungen innerhalb der üblichen Nutzungsdauer durch die eintretenden Einsparungen erwirtschaftet werden können.

---

<sup>14</sup> J.-C. Pielow, Effektives Recht der Energieeffizienz?, ZUR 2010, S. 115 (121).

### **3. Berücksichtigung innovativer und alternativer Berechnungsmethoden**

#### **a) Handlungsempfehlung**

Unter Ziff. 8.1.1 (Nichtwohngebäude) der Studie von Ecofys wird folgende Handlungsempfehlung gegeben:

*Die Berechnungsmethoden zur Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs für Kühlung in DIN V 18599 sollten auch innovative und alternative Berechnungsmethoden wie Betonkernkühlung, Nachtkühlung und solare Kühlung berücksichtigen. Hier sind ebenfalls entsprechende Ergänzungen vorzunehmen.*

#### **b) Rechtliche Bewertung:**

Wie oben unter A.II.2.b) dargestellt, haben die Mitgliedstaaten bei Festlegung einer Methode zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden die im Anhang zur Richtlinie aufgeführten (Mindest-)Aspekte zu berücksichtigen. Darüber hinausgehend steht es im nationalen Ermessen, andere Aspekte, mithin auch innovative und alternative Berechnungsmethoden einzubeziehen. Insofern wäre bei einer derartigen Einbeziehung eine Vereinbarkeit mit übergeordnetem Europarecht gegeben.

Aus verfassungsrechtlicher Sicht ist zu prüfen, ob die Einbeziehung alternativer bzw. innovativer Berechnungsmethoden tendenziell eher eine Erleichterung für den Normadressaten ergibt. Sollte dies der Fall sein, würden sich keine Probleme im Hinblick auf den Grundrechtsschutz ergeben. Bei einer möglicherweise belastenden Wirkung wäre hingegen anhand der konkret zu benennenden Maßnahme zu prüfen, ob ein Eingriff in den Grundrechtsschutz des Normadressaten vorliegt und ob dieser Eingriff gerechtfertigt werden kann. Eine pauschalisierte Sichtweise ist hier insofern ausgeschlossen.

Die Einbeziehung privater Normen wäre kein Problem, wenn die bisherige Vorgehensweise der EnEV weiter beibehalten würde. DIN-Normen sind private Regelwerke, die vom Deutschen Institut für Normung erarbeitet und veröffentlicht werden. Nach § 5 Abs. 3 EnEG kann in den Rechtsverordnungen nach den §§ 1–4 EnEG wegen technischer Anforderungen auf Bekanntmachungen sachverständiger Stellen verwiesen werden. Soweit die EnEV auf DIN-Normen als allgemein anerkannte Bekanntmachungen einer sachverständigen Stelle verweist, werden sie Bestandteil der EnEV und damit verbindliches staatliches Recht. Dies ist grundsätzlich zulässig, da es sich bei den Verweisen der EnEV auf DIN-Normen um sog. statische Verweisungen handelt, die sich nicht auf die jeweils aktuelle Fassung der privaten Norm beziehen, sondern auf eine bestimmte Ausgabe der DIN-Norm, die durch das Ausgabedatum gekennzeichnet ist und bei Verabschiedung der staatlichen Norm bekannt ist. Der Gesetzgeber weiß daher genau, welchen Inhalt seine Regelung hat. Private Stellen

erlangen keinen Einfluss auf die Gesetzgebung. Spätere Änderungen der DIN-Normen sind somit für die EnEV zunächst ohne Bedeutung<sup>15</sup>. So war bereits die Novellierung der EnEV vom 2. Dezember 2004<sup>16</sup> dadurch veranlasst worden, dass wichtige technische Regeln vom Deutschen Institut für Normung nach dem Inkrafttreten der EnEV 2002 geändert wurden, was zur Folge hatte, dass die EnEV noch auf die abgelösten früheren Regeln verwies<sup>17</sup>. Sollte also eine Änderung der DIN-Norm erfolgen, müsste dementsprechend durch den Verordnungsgeber auch der Verweis in der EnEV geändert werden.

#### **4. Austausch bzw. Sanierung von Klimaanlage der schlechtesten Effizienzklasse**

##### **a) Handlungsempfehlung**

Unter Ziff. 8.1.1 (Nichtwohngebäude) der Studie von Ecofys wird folgende Handlungsempfehlung gegeben:

*In § 12 EnEV wird die energetische Inspektion von Klimaanlage über 12 kW gefordert. Eine Empfehlung bzw. Pflicht zum Unterlassen der Nutzung von ineffizienten Anlagen besteht damit aber noch nicht.*

*Im Zuge der Anpassung des Energiebetriebene-Produkte-Gesetz (EBPG) durch die Novellierung der Ökodesign-Richtlinie sollte in der EnEV künftig ein Passus aufgenommen werden, der bestimmt, dass Klimaanlage, die einer bestimmten Effizienzklasse des EU-Labels zugeordnet werden können, innerhalb eines bestimmten Zeitraumes auszutauschen bzw. energetisch auf eine höhere Effizienzklasse zu sanieren sind. Dabei ist das Wirtschaftlichkeitsgebot des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) zu beachten und eine entsprechende Ermächtigungsgrundlage im EnEG vorzusehen.*

Rechtliche Bewertung:

##### **(aa) Europarechtliche Bedeutung**

Ein solches Vorgehen wäre – vorbehaltlich einer Prüfung im Detail – mit dem Europarecht vereinbar. Eine solche Außerbetriebnahme von Klimaanlage ist zwar nicht durch die RL 2010/31/EU vorgeschrieben. Die Richtlinie steht aber einer weitergehenden Regelung des mitgliedstaatlichen Gesetzgebers nicht entgegen. Die RL 2002/91/EG ist auf der Kompetenzgrundlage des ehemaligen Art. 175 Abs. 1 EG (nunmehr Art. 192 Abs. 1 AEUV)

---

<sup>15</sup> J. Stock in: Danner/Theobald, Energierecht, Bd. III, § 1 EnEV Rn. 3, VIII EnSP B 3.

<sup>16</sup> BGBl. I S. 3144; Bekanntmachung der Neufassung, BGBl. I S. 3164.

<sup>17</sup> J. Stock in: Danner/Theobald, Energierecht, Bd. III, Einf. Rn. 42, VIII EnSP B 3.

erlassen worden. Daher ist ein Mitgliedstaat nach Art. 193 AEUV nicht daran gehindert, verstärkte Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Zwar ist die neue RL 2010/31/EU bereits auf Grundlage der neuen Energiekompetenz des Art. 194 AEUV erlassen worden, der keine Art. 193 AEUV vergleichbare nationale Schutzverstärkung vorsieht. Aber auch die RL 2010/31/EU regelt nicht die Außerbetriebnahme, sondern nur die Inspektion von Klimaanlage in Art. 15. Art. 4. Dieser Umstand und Erwägungsgrund 10 der RL 2010/31/EU belassen den Mitgliedstaaten jedoch große Spielräume bei der Festlegung von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz.

Diese Maßnahmen müssen jedoch mit den übrigen Bestimmungen des AEUV vereinbar sein. Bei dem nationalen Verbot der Nutzung einer bestimmten Ware, wie Klimaanlage einer bestimmten Effizienzklasse, ist daher insbesondere die Vereinbarkeit mit der Warenverkehrsfreiheit nach Art. 34 AEUV notwendig. Hierbei handelt es sich zwar nicht um ein Verbot des Verkaufs solcher Klimaanlage, jedoch ist nach der *Dassonville*-Formel des EuGH jede Beschränkung des Handels grundsätzlich verboten, die geeignet ist, den freien Handel unmittelbar oder mittelbar, aktuell oder potentiell zu behindern<sup>18</sup>. Bei dem Nutzungsverbot handelt es sich dabei zumindest um eine mittelbare Behinderung des freien Handels, insofern, dass Klimaanlage mit solcher Effizienzklasse, die nicht mehr den Anforderungen genügen, zukünftig nicht mehr genutzt werden dürfen und somit nicht mehr verkauft werden können. Eine Einschränkung dieser Annahme nach der *Keck*-Rechtsprechung des EuGH<sup>19</sup> kommt in diesem Fall nicht in Frage, da es sich bei dem Nutzungsverbot für Klimaanlage ab einer bestimmten Effizienzklasse nicht um eine vertriebsbezogene Regelung, sondern um eine produktbezogene Regelung handelt<sup>20</sup>. Mit einer Verpflichtung zum Ausbau bereits installierter Anlagen sind dagegen keine europarechtlichen Implikationen verbunden, insbesondere ist darin keine Beschränkung der Warenverkehrsfreiheit zu sehen, da der Handel dadurch nicht berührt ist.

Beschränkungen des Handels können jedoch dennoch gerechtfertigt sein. Die geschriebenen Rechtfertigungsgründe in Art. 36 AEUV, die zum Schutze der Gesundheit und des Lebens von Menschen, Tieren und Pflanzen Handelsbeschränkungen rechtfertigen können, greifen hier nicht. Nach der Rechtsprechung des EuGH<sup>21</sup> kann die Wirkung der Vorschrift nicht auf andere als die dort abschließend aufgezählten Ausnahmen ausgedehnt werden. Dies wird damit begründet, dass es sich um eine Ausnahme von der Grundregel handelt. Die

---

<sup>18</sup> EuGH, Rs. 8/74, Slg. 1974, 837, 852 – *Dassonville*.

<sup>19</sup> EuGH, Rs. C-267 u. 268/91, Slg. 1993, I-6097 – *Keck*.

<sup>20</sup> Vgl. hierzu *W. Frenz*, Hdb. Europarecht, Bd. I, Rn. 810 ff.

<sup>21</sup> EuGH 25.1.1977 Rs. 46/76 *Bauhuis* Slg. 1977, 5 Rn. 12/15, EuGH 17.6.1981 Rs. 113/80 *Schmuckwaren* Slg. 1981, I-1625 Rn. 7, EuGH 9.6.1982 Rs. 95/81 *italienische Devisenbewirtschaftungsstelle*, Slg. 1982, 2187 Rn. 27, dazu kritisch: *W. Schroeder* in: R. Streinz (Hrsg.) EUV/EGV, Art. 30 Rn. 3.

Einsparung von Energie trägt zwar mittelbar zum Schutz der Umwelt und des Klimas bei, allerdings steht fest, dass ein lediglich mittelbarer Schutz von Tieren und Pflanzen oder von Gesundheit und Leben durch Umwelt- bzw. Klimaschutz von Art. 36 AEUV nicht erfasst ist<sup>22</sup>.

Neben den kodifizierten Rechtfertigungsgründen in Art. 36 AEUV erkennt der EuGH seit der *Cassis-de-Dijon*-Entscheidung<sup>23</sup> aber weitere zwingende Erfordernisse im Allgemeininteresse an, die die Beeinträchtigung der Grundfreiheiten rechtfertigen können<sup>24</sup>. Dies gilt aber nur für unterschiedslos anwendbare Regelungen<sup>25</sup>, also nicht offen bzw. direkt diskriminierende Maßnahmen<sup>26</sup>. Ein Nutzungsverbot für Klimaanlage bestimmter Effizienzklassen stellt eine solche unterschiedslose Regelung dar, wenn nicht zwischen inländischen und ausländischen Produkten unterschieden wird. Eine besondere Rolle im Rahmen der ungeschriebenen Rechtfertigungsgründe spielt der Umweltschutz. Der EuGH hat den Umweltschutz als grundlegendes Interesse der Gemeinschaft anerkannt<sup>27</sup> und in weiteren Entscheidungen festgestellt, dass der Umweltschutz ein zwingendes Interesse darstellt, welches zur Beschränkung der Warenverkehrsfreiheit geeignet ist<sup>28</sup>. Ein aus Gründen des Umwelt- und Klimaschutzes erlassenes Nutzungsverbot für Klimaanlage der schlechtesten Effizienzkategorie, das zu Energieeinsparungen führt, wäre daher grundsätzlich auch angesichts der Warenverkehrsfreiheit gerechtfertigt.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass die Möglichkeit besteht, im Rahmen einer Verordnung nach Art. 15 der Ökodesignrichtlinie RL 2009/125/EG Mindestanforderungen an die Energieeffizienz von Klimaanlage zu stellen, die direkt in den Mitgliedstaaten nach Art. 288 Abs. 2 S. 2 AEUV wirken. Konkret ist hier auf die geplante Durchführungsmaßnahme für Klimaanlage bis zu 12 kW hinzuweisen (vgl. hierzu näher unter A.I). Auch für Klimaanlage über 12 kW wird eine Vorstudie erarbeitet, die als Grundlage für eine spätere Verordnung dienen wird<sup>29</sup>. Nach Erlass einer solchen Verordnung besteht eine

---

<sup>22</sup> A. Middeke, Nationaler Umweltschutz im Binnenmarkt, S. 181; A. Epiney/T. Möllers, Freier Warenverkehr und nationaler Umweltschutz, S. 26; nur in Bezug auf Gesundheit und Leben: T. Kingreen in: C. Calliess/M. Ruffert (Hrsg.), EUV/EGV, Art. 28-30 EGV Rn. 200; W. Frenz, Hdb. des Europarechts, Bd. 1, Rn. 962.

<sup>23</sup> EuGH 29.02.1979, Rs. 120/78 *Cassis de Dijon*, Slg. 1979, 649, Rn. 8.

<sup>24</sup> Zu der Diskussion der Einordnung der zwingenden Erfordernisse als negative Tatbestandsvoraussetzungen vgl. U. Becker in: J. Schwarze (Hrsg.) EU-Kommentar Art. 28 EGV Rn. 107 ff. m. w. N.

<sup>25</sup> M. Lux in: Lenz/Borchard (Hrsg.), EU- und EG-Vertrag Kommentar, Art. 34 Rn. 43, W. Frenz, Hdb. des Europarechts, Bd. 1, Rn. 998, ausführlich: T. Kingreen in: C. Calliess/M. Ruffert (Hrsg.), EUV/EGV, Art. 28-30 EGV Rn. 82 m. w. N., kritisch dazu mit einigen Beispielen aus der Rechtsprechung, bei denen es sich aber in der Regel um mittelbare Diskriminierungen handelt: A. Baer, Abnahmepflichten und Vergütungspflichten in der Energiewirtschaft, S. 160 ff.

<sup>26</sup> W. Frenz, Hdb. des Europarechts, Bd. 1, Rn. 486, Für eine Ausweitung auch auf direkt diskriminierende Maßnahmen: W. Schroeder in: R. Streinz (Hrsg.) EUV/EGV, Art. 30 Rn. 34.

<sup>27</sup> EuGH, Rs. 240/83, Slg. 1985, 531, 594 Rn. 13 – ADBHU.

<sup>28</sup> EuGH, Rs. 302/86, Slg. 1988, 4607, 4630 Rn. 9 – Dänische Pfandflaschen; Rs. C-2/90, Slg. 1992, I-4431, 4479 Rn. 32 – Wallonische Abfälle;

<sup>29</sup> <http://www.ecohvac.eu/documents.htm>.

Vollharmonisierung in diesem von der Durchführungsmaßnahme erfassten Bereich, der eine nationale Regelung hierzu unzulässig machen würde. In dem Bereich der Klimaanlage mit einer Leistung ab 12 kW steht eine europäische Regelung einer mitgliedstaatlichen Maßnahme bei Erlass der geplanten Durchführungsmaßnahme insoweit entgegen, wie ihr Anwendungsbereich gilt. In Zukunft könnte somit auch in diesem Bereich eine Vollharmonisierung eintreten. Eine abschließende rechtliche Bewertung ist jedoch angesichts der noch nicht verabschiedeten Durchführungsmaßnahme zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich.

#### **(bb) Verfassungsrechtliche Bedeutung**

Auch verfassungsrechtliche Erwägungen stehen – vorbehaltlich einer Prüfung im Detail – nicht entgegen. Die Grundrechte der Hersteller der Produkte, die aufgrund einer solchen Regelung faktisch nicht mehr verkauft werden können, sind in ihrer Berufsfreiheit nicht verletzt, da der Eingriff als Berufsausübungsregelung wohl durch vernünftige Erwägungen des Allgemeinwohls zu rechtfertigen wäre. Ebenso würden wohl die Hauseigentümer, die eine Austausch-/Sanierungspflicht treffen würde, in ihrer Eigentumsfreiheit nicht unverhältnismäßig eingeschränkt werden, wenn hierzu eine Ermächtigungsgrundlage im EnEG geschaffen wird und angemessene Übergangsfristen vorgesehen werden (Vgl. hierzu die Regelung zur Außerbetriebnahme von bestimmten Heizkesseln und elektrischen Speicherheizsystemen in §§ 10 und 10a EnEV).

#### **(cc) Ermächtigungsgrundlage im EnEG**

Problematisch ist allerdings die Frage, ob schließlich das derzeitige Recht *de lege lata* eine Austausch- bzw. umfassende Sanierungspflicht tragen würde. Außerbetriebnahmen sind in der EnEV bisher nur für bestimmte Heizkessel und elektrische Speicherheizsysteme in § 10 und § 10a EnEV vorgesehen. Diese Bestimmungen der EnEV können auf eine ausdrückliche Ermächtigung in § 4 Abs. 3 Nr. 2 EnEG gestützt werden. Eine Erweiterung dieser Ermächtigungsgrundlage auf den Austausch bzw. Sanierung von Klimaanlage ist aufgrund des eindeutigen Wortlauts des § 4 Abs. 3 Nr. 2 EnEG nicht möglich. Soweit § 2 Abs. 2 EnEG die Möglichkeit schafft, Anforderungen an die Beschaffenheit und die Ausführung von Kühlanlagen vorzuschreiben, so bezieht sich diese Ermächtigungsgrundlage auf den erstmaligen Einbau von Anlagen dieser Art in neu zu errichtende Gebäude. Diese Anforderungen können nach § 2 Abs. 3 EnEG auf Bestandsanlagen in Bestandsgebäuden erstreckt werden, soweit diese Anlagen (freiwillig) ersetzt, erweitert oder umgerüstet werden. § 2 Abs. 3 EnEG statuiert damit keine Austausch- bzw. Sanierungspflichten. Nach § 4 Abs. 3 S. 1 Nr. 1 EnEG können Anforderungen für Neuanlagen nach den § 1 und § 2 Abs. 1 und 2 EnEG in eingeschränktem Umfang auch auf Bestandsanlagen ausgeweitet werden. Die

§ 1 und § 2 Abs. 1 und 2 EnEG enthalten jedoch keine Bestimmungen, die einen zwangsweisen Austausch von Anlagen vorsehen würden, nachdem sie ihrem Sinn und Zweck nach auf den Ersteinbau von Anlagen ausgerichtet sind. Auf § 2 Abs. 3 EnEG, der zumindest die Frage der Anforderungen bei einem freiwilligen Ersatz von Anlagen regelt, kann insofern nicht Bezug genommen werden, da er in der Verweisung des § 4 Abs. 3 S. 1 Nr. 1 EnEG nicht einbezogen ist. Daher ist eher davon auszugehen, dass umfassende Austausch- bzw. Sanierungspflichten für Klimaanlageanlagen über 12 kW nicht auf das derzeit geltende Recht gestützt werden können.

Insofern bedürfte es der Aufnahme einer dem § 4 Abs. 3 S. 1 Nr. 2 EnEG nachgebildeten Vorschrift, die wiederum dem Wirtschaftlichkeitsgebot der § 4 Abs. 3 und § 5 Abs. 1 EnEG unterliegen müsste. Zudem wären auch die Befreiungsmöglichkeiten nach § 5 Abs. 2 EnEG zu beachten, die beispielsweise für die Außerbetriebnahme von elektrischen Speicherheizsystemen in § 10a EnEV umgesetzt wurden. Dort sind Übergangsfristen sowie Ausnahmen normiert, um den Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu wahren.

Zudem ist bei Änderungen an bestehenden Gebäuden und Anlagen § 11 EnEV zu beachten. Danach muss im Sinne eines Verschlechterungsverbots bei baulichen Veränderungen die energetische Qualität des Gebäudes aufrecht erhalten bleiben. Dies gilt sowohl für die Gebäudehülle als auch für die vorhandene Anlagentechnik nach § 11 Abs. 1 S. 2 EnEV, insbesondere energiebedarfssenkende Einrichtungen in solchen Anlagen. Den Eigentümer trifft nach § 11 Abs. 3 EnEV die Pflicht, vorhandene Anlagen und Einrichtungen der Heizungs-, Kühl- und Raumlufttechnik sowie der Warmwasserversorgung sachgerecht zu bedienen. Speziell für Klimaanlageanlagen enthält § 12 EnEV die Verpflichtung energetische Inspektionen durchführen zu lassen.

## **C. Handlungsempfehlungen zum Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)**

### **I. Hintergrund des Regelungsrahmens**

Das EEWärmeG zielt nach § 1 Abs. 2 EEWärmeG darauf ab, bis zum Jahr 2020 den Anteil Erneuerbarer Energien am Wärmeverbrauch auf 14% zu steigern. Zur Erreichung dieses Ziels stützt sich das EEWärmeG auf zwei Säulen<sup>30</sup>: Einer öffentlich-rechtlichen Pflicht zur Nutzung Erneuerbarer Energien für die Erzeugung von Wärme und Kälte gemäß § 3 Abs. 1 EEWärmeG und einem zusätzlichen Subventionsprogramm des Bundes gemäß §§ 13 ff. EEWärmeG. Bei der finanziellen Förderung nach §§ 13 ff. EEWärmeG bewegt sich der Staat im Bereich der

---

<sup>30</sup> Hierzu und zum Weiteren *T. Müller*, in: *ders./V. Oschmann/G. Wustlich*, EEWärmeG, Einl. Rn. 9 ff.

Leistungsverwaltung, die sich grundsätzlich begünstigend auf die Empfänger der staatlichen Leistung auswirkt. Insbesondere die Nutzungspflicht wirft jedoch wichtige Rechtsfragen in Bezug auf die verpflichteten Eigentümer auf.

## **1. Nutzungspflicht**

§ 3 Abs. 1 i.V.m. §§ 19 und 20 EEWärmeG verpflichtet die Eigentümer von Neubauten mit einer Nutzfläche von mehr als 50m<sup>2</sup> den Wärmeenergiebedarf der Gebäude durch die anteilige Nutzung von Erneuerbaren Energien zu decken. Der Begriff Wärmeenergiebedarf umfasst dabei nach § 2 Abs. 2 Nr. 4 EEWärmeG den gesamten Energiebedarf für die Wärme- und Kälteerzeugung<sup>31</sup>. Der genaue Anteil des Energiebedarfs wird dabei, unterschieden nach Energieträgern, von § 5 EEWärmeG bestimmt. Der Energiebedarf eines neuen Gebäudes wird dabei mit Hilfe des technischen Regelwerks errechnet, der auch bei der Ermittlung des Primärenergiebedarfs nach der EnEV zu Grunde gelegt wird. Dieser Bedarf ist abstrakt im Voraus zu ermitteln und daher unabhängig von der Art, wie diese Wärme später konkret erzeugt wird. Auch Wärme, die später durch Strom, wie etwa durch elektrische Klimaanlage erzeugt wird, muss daher einbezogen werden<sup>32</sup>. Nach § 6 EEWärmeG können sich die Eigentümer mehrerer Gebäude zusammenschließen und die Pflicht gemeinsam erfüllen. § 4 EEWärmeG nimmt bestimmte Gebäudetypen, insbesondere alle, die auch nach § 1 Abs. 2 EnEV ausgenommen sind, von der Nutzungspflicht aus.

### **a) Ersatzmaßnahmen**

Eine Besonderheit enthält § 7 EEWärmeG. Im Wege einer Fiktion wird es den Eigentümern erlaubt ihre Pflicht nach § 3 Abs. 1 EEWärmeG auch durch abschließend aufgezählte Ersatzmaßnahmen zu erfüllen. Eigentümer können nach § 7 Nr. 1 bis 3 EEWärmeG ihr Haus stärker dämmen, Abwärme nutzen, Wärme aus Fernwärmenetzen beziehen oder Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung einsetzen. Soll die Pflicht durch die Ersatzmaßnahme der Energieeinsparung nach § 7 Nr. 2 EEWärmeG erfolgen, müssen gemäß Nr. VI 1 der Anlage zum EEWärmeG die Anforderungen der EnEV um mindestens 15% übererfüllt werden. Dieser Verweis ist dynamisch ausgestaltet und bezieht sich somit auf die EnEV in der jeweils geltenden Fassung<sup>33</sup>.

§ 8 EEWärmeG gewährt den Eigentümern einen großen Entscheidungsspielraum für die

---

<sup>31</sup>V. Oschmann, Neues Recht für Erneuerbare Energien, NJW 2008, S. 263 (267); G. Wustlich, Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz. Ziel, Inhalt und praktische Auswirkungen, NVwZ 2008, S. 1041 (1042).

<sup>32</sup>G. Wustlich, Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz. Ziel, Inhalt und praktische Auswirkungen, NVwZ 2008, S. 1041 (1042).

<sup>33</sup>G. Wustlich, Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz. Ziel, Inhalt und praktische Auswirkungen, NVwZ 2008, S. 1041 (1044).

Erfüllung der Nutzungspflicht. Die Eigentümer können danach zwischen der Erfüllung der Pflicht mittels Erneuerbarer Energien oder Ersatzmaßnahmen wählen oder aber die einzelnen Maßnahmen kombinieren und die Pflicht anteilig durch Erneuerbare Energien und Ersatzmaßnahmen erfüllen.

#### **b) Vereinbarkeit mit Grundrechten**

Die Nutzungspflicht ist grundsätzlich im Hinblick auf die Grundrechte der Eigentümer zumutbar. Insbesondere die Gewährleistung des Eigentums nach Art. 14 GG ist hier zu beachten. Zulässig sind in der Regel gesetzliche Vorschriften, die die Umwelt belastende Nutzung von Eigentum verbieten oder beschränken<sup>34</sup>. Im Hinblick auf Grundrechte hat vor allem auch die Verpflichtung des Staates zum Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen gemäß Art. 20a GG die Bedeutung, dass sie Beschränkungen der Eigentumsgarantie legitimieren kann<sup>35</sup>. Zudem sind die zur Erfüllung der Verpflichtungen aus dem EEWärmeG erforderlichen Aufwendungen seitens der Eigentümer überschaubar und können sich in bestimmten Fällen sogar vollständig amortisieren<sup>36</sup>. Außerdem zeichnet sich das EEWärmeG dadurch aus, dass es dem Eigentümer große Wahlfreiheiten einräumt, wie er seine Nutzungspflicht erfüllen will. Die Eigentümer können nach § 5 EEWärmeG zwischen verschiedenen Erneuerbaren Energien wählen. § 7 EEWärmeG beinhaltet die Option anstelle der Nutzungspflicht Ersatzmaßnahmen zu wählen. Schließlich gewährt § 8 EEWärmeG die Möglichkeit zur Kombination dieser Maßnahmen. Zur Gewährleistung der Verhältnismäßigkeit der Nutzungspflicht hinsichtlich der Grundrechte der verpflichteten Eigentümer sieht § 9 EEWärmeG des Weiteren Ausnahmen von der Nutzungspflicht vor. Bei Ausnahmen von dieser Pflicht ist zu prüfen, ob die Nutzungspflicht den Eigentümer individuell über das typisierende Maß hinaus belastet. Auch gewährt § 19 EEWärmeG Übergangsfristen, die zur Abmilderung des Eingriffs beitragen. Die Nutzungspflicht stellt sich somit als verfassungsrechtlich gerechtfertigt dar.

#### **c) Nutzungspflicht für Altbauten**

Der Anwendungsbereich des EEWärmeG ist nach § 3 Abs. 1 EEWärmeG auf neu zu errichtende Gebäude begrenzt. Nach § 3 Abs. 2 EEWärmeG haben jedoch die Länder die Möglichkeit, eine Nutzungspflicht auch für Altbauten einzuführen. Eine solche Nutzungspflicht hat Baden-Württemberg bereits erlassen, vgl. § 4 Abs. 2

---

<sup>34</sup> BGHZ 99, 262, 269; *H.D. Jarass* in: ders./Pieroth, GG, Art. 14 Rn. 61.

<sup>35</sup> BVerfGE 102, 1, 8; BVerwG, DVBl 2000, 1277.

<sup>36</sup> BR-Drs. 9/08, S. 29 ff.; Nitsch, „Leitstudie 2007: Ausbaustrategie Erneuerbare Energien, Aktualisierung und Neubewertung bis zu den Jahren 2020 und 2030 mit Ausblick bis 2050“, Untersuchung im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Stuttgart, Februar 2007 (abrufbar unter: <http://www.erneuerbare-energien.de>).

BadWürttEWärmeG. Im Saarland hat die Koalition aus CDU, FDP und Bündnis 90/Die Grünen für 2010 die Einführung einer Nutzungspflicht für den Gebäudebestand nach dem Vorbild Baden-Württembergs angekündigt<sup>37</sup>. Auch in Berlin wird im Rahmen eines ministeriellen Entwurfs für ein Landesklimaschutzgesetz die Einführung einer solchen Nutzung diskutiert<sup>38</sup>. Auch den Kommunen steht dieser Weg grundsätzlich offen<sup>39</sup>.

## **2. Finanzielle Förderung**

Nach § 13 EEWärmeG werden für die Förderung der Nutzung Erneuerbarer Energien im Zeitraum von 2009 bis 2012 bis zu 500 Millionen Euro pro Jahr bereitgestellt. Einzelheiten regelt das sog. „Marktanreizprogramm“ („Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“) unter Beachtung des § 14 EEWärmeG. Der Programmstopp vom 3.5.2010 ist mittlerweile aufgehoben worden, indem der Haushaltsausschuss des Deutschen Bundestages am 7.7.2010 seine Einwilligung zur Aufhebung der qualifizierten Haushaltssperre für das Marktanreizprogramm erteilt hat<sup>40</sup>. Die bislang gesperrten Mittel in Höhe von 115 Millionen Euro können für die weitere Förderung der Erneuerbaren Energien im Wärmemarkt genutzt werden. Für die Förderung gelten nunmehr die neuen „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ vom 9.7. 2010. Die finanzielle Förderung wirkt dabei im Bereich der Leistungsverwaltung keine grundrechtlichen Probleme auf, da sie lediglich Begünstigungen in Form der finanziellen Förderung und keine Belastungen der Eigentümer beinhaltet. Die finanzielle Förderung erfasst insbesondere auch Altbauten. Gemäß § 15 EEWärmeG können jedoch solche Maßnahmen nicht gefördert werden, die lediglich der Erfüllung der Pflicht nach § 3 EEWärmeG dienen. Dieser Grundsatz läuft angesichts der weiten Ausnahmen in § 15 Abs. 2–5 EEWärmeG jedoch in der Praxis letztlich weitgehend leer. Die Ausnahmetatbestände wurden im Verlauf des Gesetzgebungsverfahrens vor dem Hintergrund eingeführt, dass ohne diese Ausnahmen ein Widerspruch zu den Landesregelungen für den Gebäudebestand gemäß § 3 Abs. 3 EEWärmeG entstanden wäre. Die Bürger eines Landes, welches eine Nutzungspflicht auch für den Gebäudebestand eingeführt hätte, wären ohne die Ausnahmetatbestände von der Förderung durch den Bund

---

<sup>37</sup> CDU/FDP/Bündnis90/Die Grünen „Neue Wege für ein modernes Saarland: Den Fortschritt nachhaltig gestalten“ – Koalitionsvertrag für die 14. Legislaturperiode des Landtages des Saarlandes (2009–2014), S. 48.

<sup>38</sup> Klimaschutzgesetz für das Land Berlin, RefE v. 6. 7. 2009 (abrufbar unter [www.berliner-klimaschutzgesetz.de](http://www.berliner-klimaschutzgesetz.de)).

<sup>39</sup> *W. Kahl*, Zur Rechtmäßigkeit der Marburger Solarsatzung, ZUR 2010, S. 371 ff.; Vgl. zu den Voraussetzungen für die Rechtmäßigkeit einer kommunalen Solarsatzung kürzlich: VG Gießen, ZUR 2010, S. 375 ff.

<sup>40</sup> Vgl. Pressemitteilung des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle vom 7.7.2010, abrufbar unter: [http://www.bafa.de/bafa/de/presse/pressemitteilungen/2010/07\\_energie.html](http://www.bafa.de/bafa/de/presse/pressemitteilungen/2010/07_energie.html) (abgerufen am 3.9.2010).

ausgeschlossen gewesen<sup>41</sup>.

## **II. Rechtliche Bewertung der Handlungsvorschläge**

### **1. Berücksichtigung gebäudespezifischer Einflussfaktoren auf Kühlungsbedarf**

#### **a) Handlungsempfehlung**

Unter Ziff. 8.1.1 (EE-WärmeG) der Studie von Ecofys wird folgende Handlungsempfehlung gegeben:

*Derzeit kann im Bereich der herkömmlichen, strombetriebenen Gebäudeklimatisierung nur in begrenztem Umfang auf Substitution durch erneuerbare Energien zurückgegriffen werden (z.B. Anwendungen auf Basis von Kraft-Wärmekopplung, Solar- oder Geothermie). Diese sind in der Regel nur dann kosteneffizient, wenn der Energiebedarf der Gebäude insgesamt mindestens auf Niedrigenergiehaus-Standard gesenkt wird. D.h. bevor die Logik des EEWärmeG (bestimmter Anteil Erneuerbarer Energien sowie alternativ zusätzliche Effizienz) anwendbar ist, muss beispielsweise durch die Verschärfung der EnEV ein ordnungspolitischer Rahmen geschaffen werden, der gebäudespezifische Einflussfaktoren auf den Kühlungsbedarf (Dämmung, Größe der verglasten Flächen, Ausrichtung des Gebäudes zur Sonneneinstrahlung, Wärmeimmissionen innerhalb des Gebäudes) lückenlos abbildet. Zusätzlich sollten hinsichtlich des Nutzerverhaltens anreizbasierte Maßnahmen geschaffen werden.*

#### **b) Rechtliche Bewertung**

Nach § 2 Abs. 2 Nr. 4 EEWärmeG wird für die Berechnung des Wärmeenergiebedarfs, der nach § 2 Abs. 2 Nr. 4 b) auch den Kältebedarf für Kühlung umfasst, auf die technischen Regeln der EnEV in den Anlagen 1 und 2 der EnEV verwiesen. Diese beinhalten auch Regelungen zum sommerlichen Wärmeschutz. Der sommerliche Wärmeschutz für Wohngebäude wird in Anlage 1 Nummer 3 EnEV geregelt. Hierdurch werden unter Verweis auf DIN 4108-2: 2003-07 Abschnitt 8 höchstzulässige Sonneneintragskennwerte festgelegt. Für den sommerlichen Wärmeschutz von Nichtwohngebäuden gilt Anlage 2 Nummer 4 EnEV. Auch hier werden unter Verweis auf DIN 4108-2: 2003-07 Abschnitt 8 höchstzulässige Sonneneintragskennwerte festgelegt. Somit wird zwar bereits in einem gewissen Umfang der Wärmeschutz im Sommer auch im Rahmen des EEWärmeG berücksichtigt, gegen einen

---

<sup>41</sup> G. Wustlich, Das Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz. Ziel, Inhalt und praktische Auswirkungen, NVwZ 2008, S. 1041 (1047); R. Müller, Das neue WärmeGesetz als Instrument deutscher Klimaschutzpolitik, ZNER 2008, S. 132 (135).

noch spezieller auf den Kühlungsbedarf von Neubauten abgestimmten ordnungspolitischen Rahmen, der die gebäudespezifischen Einflussfaktoren auf den Kühlungsbedarf abbildet, bestehen nach der oben dargestellten Verfassungsmäßigkeit der Nutzungspflicht des EEWärmeG zwar Einwände und damit Grenzen, aber keine grundsätzlichen Bedenken, da sich hierdurch insgesamt an der Eingriffstiefe in die Eigentumsfreiheit der Gebäudeeigentümer und ihrer Rechtfertigung keine Veränderungen ergeben. Auf europarechtlicher Ebene sind in diesem Zusammenhang keine besonderen Vorschriften zu beachten.

## **2. Schaffung von Regelungen für Gebäudekühlung analog zum EEWärmeG**

Nach § 1 Abs. 2 und § 2 Abs. 2 Nr. 4 b) EEWärmeG wird der Wärmeenergiebedarf nicht nur aus dem Wärmebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung, sondern auch aus dem Kältebedarf für Kühlung errechnet. Die Berechnung richtet sich dabei gemäß § 2 Abs. 2 Nr. 4 EEWärmeG nach den Anlagen 1 und 2 der EnEV. Für Wohngebäude berechnet sich der Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Kühlung nach dem in Anlage 1 Nummer 2.8 EnEV angewendeten Verfahren. Hierdurch sind je nach Art der Kühlung der Primärenergiebedarf und der Endenergiebedarf zu erhöhen. Als Berechnungsgrundlage können nach Anlage 1 Nummer 2.8 EnEV alternativ sowohl die DIN 18599 als auch die DIN 4108 verwendet werden. Zur Bestimmung der Deckungsanteile der Erneuerbaren Energien ist der für das zu errichtende Gebäude berechnete Wärmeenergiebedarf maßgeblich. Eine speziell definierte Quote zur Deckung von Kühllasten aus Erneuerbaren Energien besteht jedoch nicht. § 5 EEWärmeG schreibt lediglich die anteilige Nutzung von Erneuerbaren Energien am gesamten Wärmeenergiebedarf vor. Somit wird der Kühlbedarf nur innerhalb der Gesamtquote berücksichtigt. Der Eigentümer kann somit, auch wenn er sein Gebäude kühlt, seine Pflicht zur anteiligen Nutzung Erneuerbarer Energien nur durch – dann entsprechend höhere – Maßnahmen beim Wärmebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung erfüllen. Eine Mindestquote zur Deckung von Kühllasten aus Erneuerbaren Energien würde dies, wie im Folgenden gezeigt werden soll, verhindern und somit die Wahlmöglichkeiten des Eigentümers zur Erfüllung seiner Nutzungspflicht einschränken. Es werden jedoch auch Ersatzmaßnahmen und eine finanzielle Förderung vorgeschlagen, die diesen Eingriff in die Eigentumsfreiheit abmildern und somit zur Verfassungsmäßigkeit des Eingriffs führen können.

### **a) Definition einer Mindestquote zur Deckung von Kühllasten aus Erneuerbaren Energien sowie Einführung gesetzlicher Pflicht zur Deckung mit Erneuerbaren Energien bzw. KWK**

#### **(aa) Handlungsempfehlung**

Unter Ziff. 8.1.1 (EEWärmeG) der Studie von Ecofys wird folgende Handlungsempfehlung gegeben:

- *Definition einer Mindestquote zur Deckung des Endenergiebedarfs für Kühlung aus erneuerbaren Energien*
- *und daraus abgeleitet die Pflicht zur Deckung bestimmter Anteile der Gebäudekühlung mit erneuerbaren Energien (Wärmepumpen, z.B. in Verbindung mit Photovoltaik; Erdwärmesonden; solar- und biomassebasierte Anwendungen, z.B. in Verbindung mit Langzeitspeichern) oder Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung*

### **(bb) Rechtliche Bewertung**

Der Handlungsempfehlung stehen keine europarechtlichen Gründe entgegen. Eine solche Vorgabe im deutschen Recht wäre sowohl mit dem AEUV als auch der Erneuerbare-Energien-Richtlinie vereinbar. Allerdings ist aus verfassungsrechtlicher Sicht der Grundrechtsschutz zu beachten. Bisher zeichnet sich die Nutzungspflicht des EEWärmeG dadurch aus, dass sie den Eigentümern eine große Flexibilität bei der Erfüllung ihrer Verpflichtung belässt. Dies trägt, wie gezeigt, maßgeblich zur verfassungsrechtlichen Rechtfertigung des Eingriffs in die Eigentumsfreiheit der Eigentümer durch die Nutzungspflicht bei. Die Einführung einer Mindestquote zur Deckung des Kühlbedarfs aus Erneuerbaren Energien schränkt diese Wahlfreiheit des Eigentümers dadurch ein, dass zwingend zusätzliche Maßnahmen im Bereich der Kühlung vorgenommen und damit möglicherweise zwei Maßnahmen – eine für den Bereich der Wärmebereitstellung und eine für die Versorgung mit Kälte – ergriffen werden müssten. Dies würde somit die Eingriffstiefe der Nutzungspflicht in die Eigentumsfreiheit der Gebäudeeigentümer verstärken. Die Rechtfertigung dieses Eingriffs erscheint hier vor allem deshalb problematisch, da Eigentümer womöglich gezwungen wären, verschiedene technische Lösungen für die Deckung des Wärme- und des Kältebedarfs zu installieren, was zu finanziellen Mehrbelastungen führen könnte. Dies erscheint dann bedenklich, wenn dem tieferen Eingriff in die Eigentumsfreiheit kein größerer Klimanutzen gegenüber stehen würde, etwa weil aufgrund des Gesamtenergieverbrauchs des Gebäudes infolge des gleichbleibenden Gesamtanteils der Nutzung Erneuerbarer Energien am Wärmeenergiebedarf nach § 5 EEWärmeG keine Kohlendioxideinsparung erzielt werden könnte. Dies wäre fachlich nach einer weiteren Konkretisierung des Vorschlags zu prüfen und darauf aufbauend zu untersuchen, ob dieser zusätzliche Eingriff einen eigenen Umweltschutznutzen aufweist, so dass er der Rechtfertigung, etwa durch das Umweltstaatsprinzip des Art. 20a GG zugänglich ist. Kompensiert werden soll dieser Eingriff jedoch nach den Vorschlägen b) und c) durch die Möglichkeit der Erfüllung der Pflicht mittels Ergreifen von Ersatzmaßnahmen und einer zusätzlichen staatlichen finanziellen Förderung.

**b) Möglichkeiten der Ersetzung der Pflicht zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Deckung des Kühlbedarfs durch überobligatorische Effizienzmaßnahmen**

**(aa) Handlungsempfehlung**

Unter Ziff. 8.1.1 (EEWärmeG) der Studie von Ecofys wird folgende Handlungsempfehlung gegeben:

- *Substitutionsmöglichkeit durch über die ordnungspolitisch gesetzten Mindeststandards hinausgehende Effizienzmaßnahmen (Betonkernaktivierung, intelligente Fassadensysteme, hocheffiziente Beleuchtung, Kälte-Rückgewinnung etc.)*

**(bb) Rechtliche Bewertung**

Nach § 7 Nr. 2 EEWärmeG können bereits nach geltender Rechtslage Maßnahmen zur Einsparung von Energie nach Maßgabe der Nummer VI der Anlage zum EEWärmeG als Ersatzmaßnahmen getroffen werden. Hierbei müssen nach Nummer VI 1. a) und b) der Anlage zum EEWärmeG die Anforderungen der EnEV um mindestens 15 % unterschritten werden. Die EnEV berücksichtigt dabei nach § 1 Nr. 1 und Nr. 2 EnEV auch den Energieeinsatz für die Kühlung von Gebäuden und Anlagen der Kühltechnik. Auch hierdurch wird der Eigentümer jedoch nicht auf Ersatzmaßnahmen für die Reduzierung des Energieeinsatzes speziell für die Kühlung festgelegt. Die Gesamtquote muss zwar um 15 % unterschritten werden, mit welchen Effizienzmaßnahmen dies geschieht, steht jedoch zur Disposition des Gebäudeeigentümers. Dies würde sich durch Vorschlag b) ändern, da Effizienzmaßnahmen speziell im Bereich der Gebäudekühlung verpflichtend würden, sollte sich der Eigentümer für die Erfüllung seiner Pflicht durch Ersatzmaßnahmen entscheiden. Auch die Kombinationsmöglichkeiten nach § 8 EEWärmeG würden durch die Pflicht zur Erfüllung einer Mindestquote für den Kühlbedarf, bzw. der Pflicht auf speziell auf den Kühlbereich zugeschnittene Ersatzmaßnahmen zurückgreifen zu müssen, eingeschränkt. Insgesamt erhöht sich somit die Eingriffstiefe gegenüber der bisherigen flexiblen Regelung.

**c) Schaffung eines finanziellen Förderrahmens**

**(aa) Handlungsempfehlung**

Unter Ziff. 8.1.1 (EEWärmeG) der Studie von Ecofys wird folgende Handlungsempfehlung gegeben:

*Die Nutzungspflicht sollte unbedingt mit einem Fördersystem ähnlich dem bestehenden Marktanzreizprogramm (direkte Zuschüsse für die Maßnahmen) einhergehen.*

## **(bb) Rechtliche Bewertung**

Anreizbasierte Maßnahmen in Form finanzieller Förderung werfen aufgrund ihrer begünstigenden Wirkung keine grundsätzlichen rechtlichen Probleme auf. Durch §§ 13 ff. EEWärmeG wurde die finanzielle Förderung nach den „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ auf eine gesetzliche Grundlage gestellt. Nach § 14 EEWärmeG können bisher insbesondere die Errichtung von solarthermischen Anlagen, Anlagen zur Nutzung von Biomasse, Anlagen zur Nutzung von Geothermie und Umweltwärme sowie Nahwärmenetzen, Speichern und Übergabestationen für Wärmenutzer finanziell gefördert werden. Hierauf ist die finanzielle Förderung jedoch nach dem Wortlaut des § 14 EEWärmeG nicht beschränkt. Die erwähnten Maßnahmen können hiernach „insbesondere“ gefördert werden. Dies bedeutet jedoch zugleich, dass auch Raum für die Förderung anderer Maßnahmen besteht. Gefördert werden können danach Anlagen, Netze und Einrichtungen, die unter Nutzung Erneuerbarer Energien der Wärmenutzung im Allgemeinen dienen. Dies können somit nach der Legaldefinition des § 1 Abs. 2 EEWärmeG auch Maßnahmen im Bereich der Gebäudekühlung sein. Die Förderung im Bereich der Gebäudekühlung durch zusätzliche anreizbasierte Maßnahmen ist somit grundsätzlich möglich. Das Marktanreizprogramm konkretisiert und beinhaltet jedoch in Punkt 3 der „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ vom 9.7.2010 momentan nur die Förderung derjenigen Anlagen, die in § 14 EEWärmeG explizit als „insbesondere“ förderungsfähig aufgezählt sind. Das Bundesumweltministerium kann allerdings das Marktanreizprogramm bindend ändern, da das MAP als Ermessensrichtlinien kein Vertrauen für die Zukunft begründet. Als verwaltungsinterne Regelungen begründen Verwaltungsvorschriften nämlich grundsätzlich keine Rechte und Pflichten für die Bürger<sup>42</sup>. Insofern besteht grundsätzlich die Möglichkeit, ohne Änderung des EEWärmeG bisher nicht berücksichtigte andere Formen der Nutzung Erneuerbarer Energien durch Neugestaltung des Marktanreizprogramms in dessen Anwendungsbereich aufzunehmen.

Gemäß § 15 EEWärmeG können jedoch nach bisheriger Rechtslage solche Maßnahmen nicht gefördert werden, die lediglich der Erfüllung der Pflicht nach § 3 EEWärmeG dienen. Dieser Ausschluss stünde prinzipiell auch einer finanziellen Förderung von Maßnahmen speziell im Bereich der Kühlung zur Erfüllung der vorgeschlagenen Mindestquote entgegen. Der Grundsatz läuft angesichts der weiten Ausnahmen in § 15 Abs. 2-5 EEWärmeG jedoch in der Praxis letztlich weitgehend leer. Die Ausnahmetatbestände wurden im Verlauf des Gesetzgebungsverfahrens vor dem Hintergrund eingeführt, dass ohne diese Ausnahmen ein Widerspruch zu den Landesregelungen für den Gebäudebestand gemäß § 3 Abs. 3

---

<sup>42</sup> H. Maurer, Allgemeines Verwaltungsrecht, § 24 Rn. 17.

EEWärmeG entstanden wäre. Die Bürger eines Landes, welches eine Nutzungspflicht auch für den Gebäudebestand eingeführt hätte, wären ohne die Ausnahmetatbestände von der Förderung durch den Bund ausgeschlossen gewesen<sup>43</sup>.

Durch die vorgeschlagene Schaffung der Möglichkeit einer finanziellen Förderung würden sich somit die Folgen des Eingriffs in die Eigentumsfreiheit verringern, was, trotz der oben geäußerten Bedenken, zur verfassungsrechtlichen Rechtfertigung des Eingriffs durch die Pflicht zur Deckung einer Mindestquote am Kühlbedarf durch Erneuerbare Energien beitragen würde.

## **D. Handlungsempfehlungen zu EBPg**

### **I. Hintergrund des Regelungsrahmens**

Das Energiebetriebene-Produkte-Gesetz (EBPG)<sup>44</sup> dient der Umsetzung der Richtlinie 2005/32/EG zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte<sup>45</sup>. Mittlerweile ist die Ökodesignrichtlinie jedoch als RL 2009/125/EG neu gefasst worden, was auch eine Novelle des EBPg erfordert. Der Anwendungsbereich der RL 2009/125/EG wurde durch die Neufassung auf alle energieverbrauchsrelevanten Produkte ausgeweitet<sup>46</sup>. Die RL 2009/125/EG sieht in Art. 23 Abs. 1 S. 1 vor, dass die Umsetzung bis zum 20.12.2010 zu erfolgen hat. Die Ökodesign-RL sieht gemäß Art. 15 RL 2009/125/EG vor, Mindesteffizienzanforderungen für verschiedene Produktgruppen im Rahmen einzelner Durchführungsmaßnahmen festlegen zu können. Diese entfalten nach Art. 288 Abs. 2 AEUV unmittelbare Wirkung in den Mitgliedstaaten, weshalb auch die Bundesregierung noch nicht von der in § 3 EBPg enthaltenen Ermächtigung zum Erlass von Rechtsverordnungen Gebrauch machen musste.

Die Ausgestaltung der Ökodesign-Richtlinie führt dazu, dass besonders ineffiziente Geräte vom europäischen Markt ausgeschlossen werden. Diese Anforderungen wurden bislang ordnungsrechtlich in Form von EG-Verordnungen umgesetzt. Ein Beispiel hierfür ist die VO

---

<sup>43</sup> G. Wustlich, Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz. Ziel, Inhalt und praktische Auswirkungen, NVwZ 2008, S. 1041 (1047); R. Müller, Das neue Wärmegesetz als Instrument deutscher Klimaschutzpolitik, ZNER 2008, S. 132 (135).

<sup>44</sup> Energiebetriebene-Produkte-Gesetz vom 27.2.2008, BGBl. I S. 258.

<sup>45</sup> Richtlinie 2005/32/EG vom 6. Juli 2005 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie der Richtlinien 96/57/EG und 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates.

<sup>46</sup> J. Nusser, Zwei Jahre EBPg – Erste Erfahrungen mit der Umsetzung der Ökodesign-Richtlinie, ZUR 2010, 130, 136.

244/2009/EG, die Energieeffizienzanforderungen an Haushaltslampen festsetzt, die von konventionellen Glühlampen nicht erfüllt werden<sup>47</sup>. Alternativ können auch Selbstregulierungsmaßnahmen durch die Industrie nach Art. 17 RL 2009/125/EG ergriffen werden. Bislang wurde jedoch von der Kommission noch keiner der vorgelegten Entwürfe anerkannt<sup>48</sup>. Ziel des EBPg ist es sicherzustellen, dass die mit Durchführungsmaßnahmen der Kommission festgelegten Ökodesign-Anforderungen in Deutschland beachtet werden<sup>49</sup>. Das EBPg beinhaltet somit nur den rechtlichen Rahmen, innerhalb dessen sich die Marktteilnehmer und Marktüberwachungsbehörden beim Vollzug des Gesetzes bewegen, setzt aber selbst keine verbindlichen Ökodesignanforderungen fest<sup>50</sup>. Zu diesem Zweck setzt das EBPg in § 4 EBPg Rechtspflichten bezüglich des Inverkehrbringens, der Inbetriebnahme und des Ausstellens energiebetriebener Produkte fest.

## **II. Rechtliche Beurteilung der Handlungsempfehlungen**

### **1. Kennzeichnungspflicht für Klimaanlage**

#### **a) Situationsbeschreibung**

Unter Ziff. 8.1.1 (EBPg/ EnVKV) der Studie von Ecofys wird folgende Situation beschrieben:

*Für Raumklimageräte bis zu 12 kW werden derzeit die Durchführungsbestimmungen auf EU-Ebene erarbeitet. Diese betreffen hauptsächlich Anlagen für den privaten Wohnbereich und für kleinere Gewerbeeinheiten. Die Abstimmung im relevanten Komitee wird für Anfang 2011 erwartet. Gewerbliche Klimaanlage sollen in einer gesonderten Verordnung behandelt werden.*

#### **b) Rechtliche Würdigung**

Die derzeit auf EU-Ebene erarbeiteten Durchführungsbestimmungen für Raumklimaanlagen bis zu 12 kW werden nach Art. 15 Abs. 1 S. 2 i.V.m. Art. 19 Abs. 3 RL 2009/125/EG im Wege des Komitologieverfahrens mit Kontrolle erlassen<sup>51</sup>. Die Verordnung über die

---

<sup>47</sup> Eine Übersicht des Bundesumweltministeriums über die VO die bislang auf der Grundlage der Ökodesignrichtlinie ergangen sind, findet sich unter: [http://www.bmu.de/produkte\\_und\\_umwelt/oekodesign/oekodesign\\_richtlinie/doc/39037.php](http://www.bmu.de/produkte_und_umwelt/oekodesign/oekodesign_richtlinie/doc/39037.php) (abgerufen am: 07.09.2010).

<sup>48</sup> J. Nusser, Zwei Jahre EBPg – Erste Erfahrungen mit der Umsetzung der Ökodesign-Richtlinie, ZUR 2010, S. 130 (135).

<sup>49</sup> BR-Drs. 558/07, S. 19.

<sup>50</sup> J. Nusser, Zwei Jahre EBPg – Erste Erfahrungen mit der Umsetzung der Ökodesign-Richtlinie, ZUR 2010, S. 130 ff..

<sup>51</sup> Vgl. Art. 5a Abs. 1 bis 4 und Art. 7 des Beschlusses 1999/468/EG unter Beachtung von dessen Art. 8, ABl. EG Nr. L 184, S. 23 ff.

Mindestanforderungen, Energieverbrauchskennzeichnung und vorläufige Messmethoden befindet sich jedoch noch im Stadium eines Arbeitspapiers<sup>52</sup>. Arbeitsdokumente sind die ersten von der EU-Kommission erarbeiteten und zur Diskussion gestellten Entwürfe von Verordnungen. Als Grundlage dieser Dokumente dienen Vorstudien, die für jede Produktgruppe erarbeitet werden. Die Arbeitsdokumente werden daraufhin gemäß Art. 15 Abs. 4 d) RL 2009/125/EG in einem Konsultationsforum diskutiert. Die Veröffentlichung im Amtsblatt der EU ist für den Januar 2011 (Ökodesign) bzw. Februar 2011 (Kennzeichnung) geplant<sup>53</sup>. Wird eine dementsprechende Verordnung erlassen, gilt diese nach Art. 288 Abs. 2 AEUV unmittelbar in den Mitgliedstaaten. Eine Änderung des EBPg ist somit dadurch nicht nötig. Des Weiteren wäre es aber der Bundesregierung nach § 3 EBPg auch möglich, Rechtsverordnungen zu erlassen, die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und sonstige Voraussetzungen des Inverkehrbringens oder der Inbetriebnahme, insbesondere Prüfungen, Produktionsüberwachungen oder Bescheinigungen und Anforderungen an die Kennzeichnung, Aufbewahrungs- und Mitteilungspflichten sowie damit zusammenhängende behördliche Maßnahmen beinhalten können. Hiervon hat die Bundesregierung bisher aufgrund der bereits erfolgten und noch geplanten legislativen Tätigkeit auf EU-Ebene keinen Gebrauch gemacht. Die Richtlinie an sich steht einer weitergehenden Regelung des mitgliedstaatlichen Gesetzgebers nicht entgegen. Nachdem die RL 2009/125/EG auf der Kompetenzgrundlage des ehemaligen Art. 95 Abs. 1 EG (nunmehr Art. 114 Abs. 1 AEUV) erlassen worden ist, ist es einem Mitgliedstaat nur in den engen Grenzen des Art. 114 Abs. 5 AEUV möglich, verstärkte (Umwelt-) Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

## **2. Stufenweises Verkaufsverbot für gewerbliche Klimaanlage über 12 KW**

### **a) Handlungsempfehlung**

Unter Ziff. 8.1.1 (EBPg/ EnVKV) der Studie von Ecofys wird folgende Handlungsempfehlung gegeben:

*Ähnlich dem EU-Verbot für die Anwendung von Glühbirnen ist zu empfehlen, auch für gewerbliche Klimaanlage über 12 KW ein stufenweises Verkaufsverbot einzuführen, was dann ohne entsprechende nationale Umsetzungsvorschrift direkt in Deutschland*

---

<sup>52</sup> Commission Working Document on possible Ecodesign Requirements for air-conditioning appliances and comfort fans, abrufbar unter: [http://www.eup-network.de/fileadmin/user\\_upload/Produktgruppen/Lots/Working\\_Documents/Lot\\_10\\_Air-Con\\_April\\_2010/WD\\_Airco\\_Ecodesign\\_Regulation\\_for\\_CF.pdf](http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Produktgruppen/Lots/Working_Documents/Lot_10_Air-Con_April_2010/WD_Airco_Ecodesign_Regulation_for_CF.pdf) (abgerufen am: 08.09.2010).

<sup>53</sup> Zeitplan über den weiteren Verlauf der Produktgruppen, abrufbar unter: [http://www.eupnetwork.de/fileadmin/user\\_upload/Produktgruppen/Schedules/Planning\\_Ecodesign\\_abel\\_26\\_March\\_2010.pdf](http://www.eupnetwork.de/fileadmin/user_upload/Produktgruppen/Schedules/Planning_Ecodesign_abel_26_March_2010.pdf) (abgerufen am: 07.09.2010).

*gelten würde. Hierzu sind entsprechende Regelungen in der europäischen Durchführungsmaßnahme vorzusehen.*

## **b) Bewertung:**

Wie bereits dargestellt, wird eine Verordnung über Klimaanlage momentan durch die Kommission erarbeitet, befindet sich jedoch noch im Stadium eines Arbeitspapiers. Nach dem Anwendungsbereich des Verordnungsentwurfs werden jedoch nur Mindestanforderungen an Klimaanlage bis zu 12 kW gestellt<sup>54</sup>. Wie bei der VO 244/2009/EG, die Energieeffizienzanforderungen an Haushaltslampen festsetzt, können hierdurch Energieeffizienzanforderungen an Klimaanlage festgesetzt werden, die bisherige handelsübliche Modelle nicht erfüllen. Dabei handelt es sich jedoch regelungstechnisch nicht per se um ein Verbot, sondern um bestimmte Energieeffizienzanforderungen, die durch die Hersteller erfüllt werden müssen<sup>55</sup>. Nach Art. 15 Abs. 1 S. 2 i.V.m. Art. 19 Abs. 3 RL 2009/125/EG können solche Durchführungsmaßnahmen als Verordnung im Wege des Komitologieverfahrens mit Kontrolle erlassen werden<sup>56</sup> und gelten nach Art. 288 Abs. 2 AEUV unmittelbar in Mitgliedstaaten. Sollen solche Energieeffizienzanforderungen auch an Klimaanlage über 12 kW durch eine Verordnung nach Art. 15 RL 2009/125/EG gestellt werden, sind diese an der Berufsfreiheit zu messen und können grundsätzlich durch vernünftige Erwägungen des Allgemeinwohls, wie dem Umwelt- und Klimaschutz gerechtfertigt werden. Hierbei kommt es insbesondere auf den Klimanutzen eines solchen faktischen Verkaufsverbots von Klimaanlage über 12 kW, die bestimmte Anforderungen nicht einhalten, an.

## **E. Handlungsempfehlungen zu Smart Metering**

### **I. Hintergrund des Regelungsrahmens**

Das Messwesen wurde zur Umsetzung von Art. 13 der Energieeffizienzrichtlinie RL 2006/32/EG und weiterer europäischer Vorgaben<sup>57</sup> durch das Gesetz zur Öffnung des

---

<sup>54</sup> Commission Working Document on possible Ecodesign Requirements for air-conditioning appliances and comfort fans, abrufbar unter: [http://www.eup-network.de/fileadmin/user\\_upload/Produktgruppen/Lots/Working\\_Documents/Lot\\_10\\_Air-Con\\_April\\_2010/WD\\_Airco\\_Ecodesign\\_Regulation\\_for\\_CF.pdf](http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Produktgruppen/Lots/Working_Documents/Lot_10_Air-Con_April_2010/WD_Airco_Ecodesign_Regulation_for_CF.pdf) (abgerufen am: 08.09.2010).

<sup>55</sup> Vgl. J. Nusser, Zwei Jahre EBPB – Erste Erfahrungen mit der Umsetzung der Ökodesign-Richtlinie, ZUR 2010, S. 130 (133).

<sup>56</sup> Vgl. Art. 5a Abs. 1 bis 4 und Art. 7 des Beschlusses 1999/468/EG unter Beachtung von dessen Art. 8, ABl. EG Nr. L 184, S. 23 ff.

<sup>57</sup> RL 2005/89/EG über Messgeräte und RL 2005/89/EG zur Sicherheit der Elektrizitätsversorgung.

Messwesens bei Strom und Gas für den Wettbewerb<sup>58</sup> neu geregelt. Im Wesentlichen bewirkte es die Ergänzung des § 21b EnWG, sowie die Einfügung von § 40 EnWG und führte zur Verabschiedung einer eigenen Messzugangsverordnung (MessZV) auf der Grundlage von § 21b Abs. 4 EnWG. Nach § 21b Abs. 3a EnWG haben, soweit dies technisch machbar und wirtschaftlich zumutbar ist, Messstellenbetreiber ab dem 1. Januar 2010 beim Einbau von Messeinrichtungen in Gebäuden, die neu an das Energieversorgungsnetz angeschlossen werden oder einer größeren Renovierung im Sinne der RL 2002/91/EG<sup>59</sup> unterzogen werden, jeweils Messeinrichtungen einzubauen, die dem jeweiligen Anschlussnutzer den tatsächlichen Energieverbrauch und die tatsächliche Nutzungszeit widerspiegeln. Bei bestehenden Messeinrichtungen ist dies dem Nutzer beim Ersatz jeweils anzubieten, wobei dieser nach § 21b Abs. 3b S. 2 EnWG berechtigt ist, dieses Angebot abzulehnen und den Einbau einer anderen Messeinrichtung als einer Messeinrichtung im Sinne des S. 1 zu vereinbaren. Durch die Regelungen im EnWG sollte ein ordnungspolitischer Anreiz gesetzt werden, sog. Smart Meter einzuführen, um im Sinne des Klimaschutzes die Energieeffizienz zu steigern<sup>60</sup>. Den Regelungen liegt die Energieeffizienzrichtlinie RL 2006/32/EG zugrunde. Hier wird die Erfassung und die informative Abrechnung des Energieverbrauchs in Art. 13 RL 2006/32/EG geregelt. Angemerkt sei an dieser Stelle in gebotener Kürze, dass die Vereinbarkeit der Wahlmöglichkeit des Anschlussnutzers beim Ersatz bereits bestehender Zähler nach § 21b Abs. 3b EnWG mit Art. 13 RL 2006/32/EG teilweise bezweifelt wird<sup>61</sup>.

## II. Rechtliche Beurteilung der Handlungsempfehlung

### a) Schaffung einheitlicher Standards bezüglich der Mindestanforderungen an intelligente Stromzähler

Unter Ziff. 8.1.1 (Smart Metering) der Studie von Ecofys wird folgende Handlungsempfehlung gegeben:

*...es bedarf jedoch weiterhin der Optimierung in der praktischen Umsetzbarkeit beispielsweise hinsichtlich einer Standardisierung.*

### b) Rechtliche Bewertung

Um eine Erfassung des Energieverbrauchs von Raumluftklimageräten zu ermöglichen, müssten in Deutschland flächendeckend Smart Meter eingebaut werden. Bisher ist der

---

<sup>58</sup> Gesetz zur Öffnung des Messwesens bei Strom und Gas für den Wettbewerb vom 29.8.2008, BGBl. I, S. 1790.

<sup>59</sup> Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (ABl. EG 2003 Nr. L 1 S. 65).

<sup>60</sup> J.-H. vom Wege/ F. Söseemann, Smart Metering in Deutschland, IR 2009, S. 55 ff.

<sup>61</sup> Vgl. hierzu J.-H. vom Wege/ F. Söseemann, Smart Metering in Deutschland, IR 2009, S. 55 (57).

Rechtsrahmen für die Nutzung und Standardisierung von intelligenten Zählern allerdings noch nicht umfassend normiert. Laut § 21b Abs. 3a und Abs. 3b EnWG ist der Messstellenbetreiber zwar verpflichtet, Zähler anzubieten, die dem Anschlussnutzer seinen tatsächlichen Verbrauch und die tatsächliche Nutzungszeit widerspiegeln. Damit ist jedoch keine bestimmte Art von Zählern vorgeschrieben. Insbesondere wird nicht ausdrücklich ein „intelligenter Zähler“ definiert oder verlangt<sup>62</sup>. Dies birgt die Gefahr, dass sich die „billigste“ Lösung durchsetzt, die lediglich darin bestehen könnte eine optische Anzeige an der bisher installierten Messeinrichtung anzubringen<sup>63</sup>. Auch eine flächendeckende Umstellung auf „Smart Meter“ scheint aufgrund des Wahlrechts des Anschlussnutzers nicht möglich<sup>64</sup>. Die Verpflichtung zum Einbau intelligenter Zähler bei Neubauten steht zudem unter dem Vorbehalt der technischen Machbarkeit und wirtschaftlichen Zumutbarkeit<sup>65</sup>. Eine Weiterentwicklung des Rechtsrahmens, insbesondere im Hinblick auf die Einführung von Nutzungspflichten und Standardisierungen von Zählern, müsste stets in Einklang mit sowohl europa- als auch verfassungsrechtlichen Anforderungen stehen.

Aktuell sind Datenschutzprobleme insbesondere im Verhältnis zwischen Vermieter und Mieter relevant. So ist insbesondere fraglich, ob der Mieter gegenüber dem Vermieter unter Berufung auf § 3 Abs. 1 Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) die Weitergabe seiner Energieverbrauchsdaten durch das Energieversorgungsunternehmen verweigern kann<sup>66</sup> oder ob es sich hierbei um eine zu erfüllende Nebenpflicht des Mieters aus dem Mietvertrag handelt<sup>67</sup>.

## **F. Handlungsempfehlungen zum Energiedienstleistungsgesetz**

### **I. Hintergrund des Regelungsrahmens**

Ende April dieses Jahres hat die Bundesregierung den Entwurf für ein Energiedienstleistungs-

---

<sup>62</sup> J. Eder/ J.-H. vom Wege, Liberalisierung und Klimaschutz im Zielkonflikt: Die neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen im Mess- und Zählerwesen Strom und Gas, IR 2008, S. 176 (179).

<sup>63</sup> Vgl. J.-H. vom Wege/ F. Sösemann, Smart Metering in Deutschland, IR 2009, S. 55 (57).

<sup>64</sup> Vgl. J.-H. vom Wege/ F. Sösemann, Smart Metering in Deutschland, IR 2009, S. 55 (57); J. Eder/ J.-H. vom Wege, Liberalisierung und Klimaschutz im Zielkonflikt: Die neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen im Mess- und Zählerwesen Strom und Gas, IR 2008, S. 176 (179); J.-C. Pielow, Effektives Recht der Energieeffizienz?, ZUR 2010, S. 115 (122).

<sup>65</sup> Skeptisch im Hinblick auf die technische Machbarkeit und wirtschaftliche Zumutbarkeit: J.-C. Pielow, Effektives Recht der Energieeffizienz?, ZUR 2010, S. 115 (122); J. Eder/ J.-H. vom Wege, Liberalisierung und Klimaschutz im Zielkonflikt: Die neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen im Mess- und Zählerwesen Strom und Gas, IR 2008, S. 176 (179).

<sup>66</sup> In diesem Sinne vgl. AG Karlsruhe, WuM 2009, S. 503 ff.

<sup>67</sup> In diesem Sinne vgl. LG Karlsruhe, DWW 2009, S. 103 f.

gesetz verabschiedet<sup>68</sup>, der mittlerweile auch in Kraft getreten ist<sup>69</sup>. Die Kritik am Gesetzesentwurf ist aufgrund der reinen „1:1-Umsetzung“ der Vorgaben der RL 2006/32/EG erheblich, weshalb eine zeitnahe Überarbeitung bereits vor der Verabschiedung des aktuellen Gesetzesentwurfs angekündigt wurde<sup>70</sup>. Die Umsetzung ist seit Mai 2008 fällig. Der Zeitdruck ist dabei mittlerweile beträchtlich, da die Europäische Kommission schon die zweite Phase des Vertragsverletzungsverfahrens gegen die Bundesrepublik wegen der Nichtumsetzung der Richtlinie eingeleitet hat<sup>71</sup>. Mit dem aktuellen Gesetzesentwurf soll die Effizienz der Energienutzung durch Endkunden kostenwirksam gesteigert werden. Nach der erheblichen Verringerung der ursprünglich vorgesehenen Bestimmungen werden Energielieferanten und Netzbetreiber nunmehr lediglich verpflichtet, den Endkunden Informationen über Anbieter auf dem Effizienzmarkt und sonstige Beratungsstellen zu geben sowie für die ausreichende Verfügbarkeit von Energieaudits zu sorgen. Eine direkte Verpflichtung für das produzierende Gewerbe zur Durchführung eines betrieblichen Energiemanagements wurde im Wege der Ressortabstimmung zwischen Bundesumwelt- und Bundeswirtschaftsministerium aus Kompromissgründen nicht in den aktuellen Gesetzesentwurf aufgenommen<sup>72</sup>.

## II. Rechtliche Beurteilung der Handlungsempfehlung

### a) Einführung eines verpflichtenden betrieblichen Energiemanagements und von Energieaudits für Gewerbeimmobilien

Unter Ziff. 8.1.1 (Energieidienstleistungsgesetz) der Studie von Ecofys wird folgende Handlungsempfehlung gegeben:

*Entsprechend dem Ansatz im Entwurf des EnEffG könnten auch für Gewerbeimmobilien Energieaudits verpflichtend (beispielsweise in der EnEV) eingeführt werden. Als Vorstufe solcher Energieaudits könnten zunächst Selbstverpflichtungen von Immobilieneigentümern dienen, die sich festlegen, in einem bestimmten Zeitraum ein Energieaudit durchführen zu lassen. In Finnland wird ein solches Verfahren bereits seit mehreren Jahren erfolgreich durchgeführt.*

---

<sup>68</sup> Entwurf eines Gesetzes zur Umsetzung der Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen, BT-Drs. 17/1719. Beachte Änderung nach Abschluss dieses Gutachtens: Inzwischen auch vom Bundesrat verabschiedet: BR-Drs. 520/10 vom 24.09.2010; voraussichtliches Inkrafttreten des Energiedienstleistungsgesetzes im November 2010.

<sup>69</sup> Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen v. 4.11.2010 (BGBl. I S. 1483).

<sup>70</sup> Vgl. C. Thole/M. Kachel, Zahnloser Tiger Energieeffizienzgesetz, IR 2010, S. 122 ff.

<sup>71</sup> C. Thole/M. Kachel, Zahnloser Tiger Energieeffizienzgesetz, IR 2010, S. 122 ff.

<sup>72</sup> Dies war im ursprünglichen Gesetzesentwurf so vorgesehen. Vgl. hierzu: J.-C. Pielow, Effektives Recht der Energieeffizienz?, ZUR 2010, S. 115 (122).

## **b) Rechtliche Bewertung**

Verpflichtende Energieaudits werden von der RL 2006/32/EG nicht gefordert. Nach Art. 12 RL 2006/32/EG sollen die Mitgliedstaaten lediglich sicherstellen, dass wirksame, hochwertige Energieauditprogramme, mit denen mögliche Energieeffizienzmaßnahmen ermittelt werden sollen und die von unabhängigen Anbietern durchgeführt werden, für alle Endverbraucher, einschließlich kleinerer Haushalte und gewerblicher Abnehmer und kleiner und mittlerer Industriekunden, zur Verfügung stehen. Jedoch wird die Einführung von verpflichtenden betrieblichen Energiemanagements politisch gefordert<sup>73</sup> und daher wohl bei einer geplanten Neufassung des Gesetzes wieder auf der Agenda stehen. Eine Regelung, die auch das produzierende Gewerbe, zumindest insoweit die Anlage unter den Anwendungsbereich des BImSchG fällt, zur sparsamen und effizienten Verwendung von Energie verpflichtet, besteht bereits in § 5 Abs. 1 Nr. 4 BImSchG. Bei einer Aufnahme eines verpflichtenden betrieblichen Energiemanagements im Energieeffizienzgesetz wäre die Frage des Verhältnisses zwischen diesen beiden Vorschriften zu klären<sup>74</sup> oder entsprechend zu regeln. Die finanzielle Mehrbelastung für das produzierende Gewerbe aufgrund einer Verpflichtung zur Durchführung von Energieaudits mittels externer unabhängiger Gutachter muss sich jedenfalls als Berufsausübungsregelung für das produzierende Gewerbe an der Berufsfreiheit nach Art. 12 Abs. 1 GG messen lassen. Hierbei erscheint der im Wege der Energieeinsparung verfolgte Umwelt- und Klimaschutz als vernünftige Erwägung des Allgemeinwohls<sup>75</sup>, die grundsätzlich eine derartige Beschränkung der Berufsfreiheit rechtfertigen kann. Jedoch bedarf es für eine abschließende Beurteilung der Kenntnis der konkreten Ausgestaltung der Verpflichtung. Der Kanon der Ermächtigungen im EnEG<sup>76</sup> bietet in seiner derzeitigen Form keine Grundlage, um verpflichtende Energieaudits für Gewerbeimmobilien in die EnEV aufzunehmen. Die Einführung verpflichtender Energieaudits könnte jedoch, wie ursprünglich bereits schon einmal diskutiert, in einer baldigen Novelle des Energiedienstleistungsgesetzes erfolgen.

---

<sup>73</sup> Vgl. Antrag zum Energieeffizienzgesetz v. 16.3.2010, BT-Drs. 17/10/27.

<sup>74</sup> Vgl. *M. Rebentisch*, Diskussionsbeitrag in: Cremer/Pielow (Hrsg.), Probleme und Perspektiven im Energieumweltrecht, S. 201.

<sup>75</sup> BVerfGE 7, 377, 408; 30, 292, 316 f.; 80, 1, 24 f.; 95, 193, 214; 97, 228, 255; 101, 331, 347; 102, 197, 213; 103, 172, 183 f.; 104, 357, 364; vgl. allgemein zur Stufenlehre des BVerfG: *J. Wieland* in: Dreier, GG, Art. 12 Rn. 107 ff.

<sup>76</sup> Siehe dazu oben A.I.