

**Bundesindustrieverband  
Heizungs-, Klima-, Sanitärtechnik/  
Technische Gebäudesysteme e.V.**



# **Gebäudekühlsysteme auf dem Prüfstand**

**Ecofys-Studie  
zeigt Potenziale  
zur Effizienzsteigerung**

**Günther Mertz M. A.,  
Hauptgeschäftsführer des BHKS**

**September 2011**



## Ecofys-Studie zeigt Potenziale zur Effizienzsteigerung

### Gebäudekühlsysteme auf dem Prüfstand

Angesichts eines starken Anstiegs des Endenergiebedarfs zur Kühlung von deutschen Wohn- und Nichtwohngebäuden bis zum Jahr 2030 um rund 40 % müssen bauphysikalische und gebäudetechnische Strategien entwickelt werden, um diese Zunahme zu minimieren bzw. zu verringern. Möglichkeiten, wie dieses Ziel bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und der thermischen Behaglichkeit in den Gebäuden erreicht werden kann, enthält die 195-seitige Studie „Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung“, die die Ecofys, Köln, im Auftrag des Umweltbundesamts erstellt und im Juli 2011 veröffentlicht hat. Nachfolgend eine Zusammenfassung der wichtigsten Analysen, Hochrechnungen, Prognosen und Empfehlungen der Studie, die auch viele Anregungen für Bauherren, Architekten, Fachplaner und Anlagenbauer zum energieeffizienten und wirtschaftlichen Bau neuer Gebäude und zur Sanierung bestehender Gebäude enthält.

Die Studie „Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung“ der auf Beratungen und Dienstleistungen im Bereich effiziente Energietechniken spezialisierten Ecofys umfasst folgend Hauptbereiche:

- Zunächst wird der Energiebedarf ermittelt, der zur Gebäudekühlung in Deutschland im Jahr 2009 insgesamt benötigt wurde.
- Danach folgen Simulationsrechnungen für Kühlbedarfe von vier Varianten von Wohngebäuden und für sechs Varianten von neuen und bestehenden Büro- und Verwaltungsgebäuden, die mit unterschiedlichen passiven (Sonnenschutz) und aktiven Kühltechniken ausgestattet sind. Dabei werden als Standorte für die Gebäude Hamburg und Frankfurt/Main betrachtet und als weitere Parameter ein normaler und ein heißer Sommer (plus 2 K gegenüber dem Testreferenzjahr) angenommen. Als Ergebnisse werden für alle Varianten die Energieverbräuche sowie die mit den jeweiligen Techniken erreichbaren Raumtemperaturen und jährlichen Überhitzungsstunden über 26 °C dargestellt. Ergänzt werden diese Daten um Betrachtungen der Wirtschaftlichkeit und der Umweltrelevanz (CO<sub>2</sub>-Emissionen) der verschiedenen Kühllösungen.
- Im letzten Kapitel geht es um Potenzialabschätzungen und Hochrechnungen, wie sich durch die Umsetzung der zuvor analysierten Techniken und Strategien der Endenergieverbrauch zur Gebäudekühlung bis zum Jahr 2030 entwickeln könnte. Dazu werden ein Referenzszenario und ein engagierteres Innovationsszenario betrachtet. Die Studie schließt mit Empfehlungen an die politischen Entscheider zur Umsetzung der wichtigsten Ergebnisse der Studie.

### Der Energiebedarf zur Gebäudekühlung

In einer Hochrechnung analysiert die Ecofys-Studie die in Deutschland vorhandenen Gebäudeflächen im Wohn- und Nichtwohnbereich. Dann werden für die verschiedenen Gebäudetypen Annahmen getroffen, wie hoch der jeweilige prozentuale Anteil der gekühlten an der Gesamtfläche ist. Die daraus errechneten gekühlten Flächen werden anschließend mit typischen (durchschnittlichen) Werten für die Endenergiebedarfe zur Kühlung der verschiedenen Gebäude- und Nutzungstypen (in kWh/m<sup>2</sup>a) multipliziert. So ergeben sich die jeweiligen Endenergiebedarfe zur Kühlung in GWh/a, die in *Tabelle 1* dargestellt sind.

	Fläche (Mio. m <sup>2</sup> )	Kühlung (%)	Fläche (Mio. m <sup>2</sup> )	Endenergiebedarf	
				kWh/m <sup>2</sup> a	GWh/a
Einfamilien- und Reihenhäuser:	2.008	2	40	1	52
Mehrfamilienhäuser:	1.299	2	26	5	134
Handel, Einzelhandel:	552	66	363	33	11.972
Büro- und Verwaltung:	537	51	273	20	5.548
Hotels, Cafes, Restaurants:	309	30	93	17	1.607
Krankenhäuser:	70	20	14	19	266
Erziehung, Bildung:	225	14	32	11	347
Sonstige:	737	--	33	--	1.085
<b>Summe</b>	<b>5.737</b>		<b>874</b>		<b>21.011</b>

**Tabelle 1:**

Die Endenergiebedarfe zur Kühlung von Wohn- und Nichtwohngebäuden in Deutschland bezogen auf das Jahr 2009.

Die Daten in *Tabelle 1* zeigen deutlich, dass die höchsten Endenergieverbräuche zur Gebäudekühlung in den Bereichen Handel, Einzelhandel (57 %) und Büro, Verwaltung (26 %) liegen. Obwohl die Wohngebäude (Ein- und Mehrfamilienhäuser) etwa 58 % der gesamten Fläche ausmachen, werden in diesen lediglich knapp 1 % der gesamten Kühlenergie verbraucht. Auch wenn die Studie davon ausgeht, dass sich bis 2030 in den Wohngebäuden der Anteil der Raumkühlung verdoppeln wird, spielt diese Zunahme bei der Gesamtbetrachtung der Endenergie für Raumkühlung weiterhin eine untergeordnete Rolle.

### Der heutige Stand der Gebäudekühlung

Während Wohngebäude heute und künftig überwiegend mit mobilen und Split-Raumklimageräten gekühlt werden, kommen sowohl in bestehenden als auch neu gebauten Büro- und Verwaltungsgebäuden meist technisch anspruchsvollere und aufwändigere Kühlsysteme zum Einsatz. Zu den am meisten eingesetzten Systemen zählen Vollklimaanlagen, Luft-Wasser-Klimaanlagen (Induktionsgeräte, Ventilator-konvektoren, Flächensysteme wie Kühldecken oder Betonkerntemperierung mit unterstützender mechanischer Lüftung), aber auch Anlagen zur Umluftkühlung mit Split-, Multisplit- und VRF-Klimasystemen.

Bei der Berücksichtigung der thermischen Behaglichkeit in den Gebäuden orientiert sich die Studie an den „Behaglichkeits“-Normen EN ISO 7730 und DIN EN 15251, in denen detailliert die Grenztemperaturen für angenehme sommerliche Raumzustände beschrieben werden (ca. 25 bis 26 °C).

Nachfolgend werden aus der sehr umfangreichen Ecofys-Studie aufgrund der hohen Bedeutung die wichtigsten Ergebnisse der Analysen und Simulationsrechnungen für Büro- und Verwaltungsgebäude betrachtet.

### Die Analysen für Wohngebäude

Für die Simulationsrechnungen wird ein 140 m<sup>2</sup> großes Muster-Einfamilienhaus in zwei Varianten betrachtet.

- Variante 1 ist ein Bestandsgebäude aus den 70-er Jahren mit Fensterlüftung, in dem der Wohn- und Essbereich (54 m<sup>2</sup>) mit einem Split-Klimagerät gekühlt wird. Im Fall 1 „konventionell“ hat das Klimagerät eine Leistungszahl von SEER = 3,2, im Fall 2 „optimiert“ eine Leistungszahl SEER = 5,0.

- Variante 2 ist ein Neubau nach EnEV, in dem die gesamte Nutzfläche von 140 m<sup>2</sup> mit einem Kühlfußboden gekühlt wird. Zum Betrieb des Kühlbodens wird kühles Wasser genutzt, das aus der Erdsonde der Sole-Wärmepumpe erzeugt wird (Fall 1). Im Fall 2 „optimiert“ wird auf die Fußbodenkühlung verzichtet und stattdessen ein automatischer außenliegender Sonnenschutz eingesetzt.

Für beide Muster-Einfamilienhäuser wurden für alle Fälle Simulationsrechnungen durchgeführt, bei denen die Häuser am Standort Hamburg und Frankfurt/Main positioniert wurden. Dabei wurden für die zuvor erläuterten Varianten und Fälle bei einem normalen und einem heißen Sommer (+2 K) die Auswirkungen auf die spezifischen Kühlenergieverbräuche, die Endenergieverbräuche zum Kühlen, die Maximaltemperaturen in den Gebäuden und die Zahl der Überschreitungsstunden von Raumtemperaturen über 26 °C errechnet. Die Ergebnisse sind in *Tabelle 2* dargestellt. Für die jeweiligen Fälle 2 „optimiert“ hat Ecofys die Simulationsrechnungen nur für die heißen Sommer durchgeführt.

Muster-Einfamilienhaus		Hamburg		Frankfurt	
		normal	heiß	normal	heiß
<b>Kühlenergieverbrauch</b> (in kWh/m <sup>2</sup> a)					
Haus 1:	konventionell	1	3	2	6
	optimiert	--	2	--	4
Haus 2:	konventionell	1	2	2	2
	optimiert	--	0	--	0
<b>Endenergie Kühlen</b> (in kWh/a)					
Haus 1:	konventionell	55	147	107	336
	optimiert	---	100	---	224
Haus 2:	konventionell	203	263	232	337
	optimiert	---	0	---	0
<b>Maximaltemperatur</b> (in °C)					
Haus 1:	konventionell	26,1	26,1	26,2	26,2
	optimiert	---	26,1	---	26,6
Haus 2:	konventionell	24,9	24,8	24,7	25,7
	optimiert	---	29,8	---	30,3
<b>Überschreitungsstunden über 26 °C</b> (in h)					
Haus 1:	konventionell	6	5	6	58
	optimiert	--	5	--	58
Haus 2:	konventionell	0	0	0	0
	optimiert	--	265	--	474
<b>Gesamtkosten</b> (in €/m <sup>2</sup> a)					
Haus 1:	konventionell	2	2	2	3
	optimiert	--	3	--	3
Haus 2:	konventionell	1	1	1	1
	optimiert	--	2	--	2

**Tabelle 2:**

*Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen für das Muster-Wohngebäude mit konventioneller und optimierter Technik an den Standorten Hamburg und Frankfurt.*

Die wichtigsten Ergebnisse aus *Tabelle 2* lassen sich wie folgt zusammenfassen:

#### Musterhaus 1:

Durch den Betrieb des Split-Klimageräts können mit moderaten Kosten zwischen etwa 2 bis 3 €/m<sup>2</sup>a angenehme Raumtemperaturen von stets unter 27 °C erreicht werden. Lediglich für den Fall eines heißen Sommers in Frankfurt ergeben sich 58 Überschreitungsstunden mit Temperaturen von über 26 °C bei einer Maximaltemperatur von tolerierbaren 26,6 °C. Durch den Einsatz des energetisch optimierten Raumklimageräts (SEER 5,0 statt 3,2) sinken bei gleichbleibender Behaglichkeit die Betriebskosten um mehr als 30 %.

Die spezifischen Gesamtkosten (Investitionen, Wartung, Instandhaltung, Energie) liegen im Fall 1 (Klimagerät SEER = 3,2) zwischen etwa 1,5 €/m<sup>2</sup>a (Hamburg, normaler Sommer) und knapp 3 €/m<sup>2</sup>a (Frankfurt, heißer Sommer). Dabei sind die Kostenunterschiede, die sich beim Einsatz eines normalen und eines hocheffizienten Raumklimageräte ergeben, fast vernachlässigbar, da die geringeren Betriebskosten des effizienteren Geräts durch höhere Anschaffungskosten ausgeglichen werden.

#### Musterhaus 2:

Zum Betrieb der Fußbodenkühlung (Strom für die Kaltwasserpumpe) sind im Haus 2 etwa 45 bis 74 € pro Jahr aufzuwenden. Da im Haus 2 aber die gesamte Nutzfläche gekühlt wird, ergeben sich für die untersuchten Standorte maximale Raumtemperaturen von rund 25 °C, die um 1 bis 1,5 K unter denen des Hauses 1 liegen. Dadurch gibt es im Fall 1 im Musterhaus 2 auch keine Überschreitungsstunden mit Raumtemperaturen von über 26 °C und eine hohe thermische Behaglichkeit.

Diese Sachlage ändert sich allerdings sehr stark, wenn die Funktion des Kühlbodens entfällt und stattdessen ein automatischer Sonnenschutz betrieben wird. Zwar gibt es nun keine Betriebskosten für den Kühlbetrieb mehr, jedoch steigen jetzt die Raumtemperaturen um rund 5 K auf unangenehme 30 °C an und die Zahl der Überschreitungsstunden erreicht in den heißen Sommern nicht akzeptierbare Werte von 265 h (Hamburg) und 474 h (Frankfurt).

Die spezifischen Gesamtkosten (Investitionen, Wartung, Instandhaltung, Energie) liegen im Fall 1 (Fußbodenkühlung) zwischen etwa 1,0 und 1,3 €/m<sup>2</sup>a. Dabei wird aber vorausgesetzt, dass das kühle Wasser (bis auf den Pumpenstrom) „kostenfrei“ aus einer vorhandenen Sole-Anlage einer Wärmepumpe bezogen werden kann. Aufgrund der vergleichsweise höheren Investitionskosten liegen die Gesamtkosten im Fall 2 „außenliegender automatischer Sonnenschutz“ mit etwa 1,5 €/m<sup>2</sup>a über denen im Fall 1.

#### Resümee für die Muster-Wohngebäude

Die Kühlung eines Einfamilienhauses mit Split-Klimageräten kann selbst bei heißen Sommern die Raumtemperaturen auf Werte unter 27 °C begrenzen und somit eine akzeptable thermische Behaglichkeit sicherstellen. Die Gesamtkosten von rund 1,5 bis 2,0 €/m<sup>2</sup> pro Jahr (Anschaffung, Wartung, Energie), bezogen auf einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren, liegen in einer überschaubaren Größenordnung.

Der Betrieb der Fußbodenheizung als Kühlfußboden lohnt sich nur dann, wenn das Gebäude von einer Sole- oder Wasser-Wasser-Wärmepumpe beheizt wird und das kühle Wasser aus der Sonde oder dem Kollektor im Sommer fast kostenfrei zur Gebäudekühlung genutzt werden kann. Dadurch ergibt sich im gesamten Gebäude auch bei heißen Sommern eine gute thermische Behaglichkeit mit Raumtemperaturen, die stets unter 26 °C bleiben. Mit spezifischen Gesamtkosten von rund 1,0 bis 1,3 €/m<sup>2</sup> pro Jahr ist der Betrieb eines Kühlbodens unter den beschriebenen Randbedingungen etwas günstiger als der eines Raumklimageräts.

Der Verzicht auf eine aktive Kühllösung durch Klimageräte oder einen Kühlboden zugunsten eines außenliegenden, automatischen Sonnenschutzes rechnet sich mit spezifischen Kosten von etwa 1,5 €/m<sup>2</sup> pro Jahr wirtschaftlich nicht. Zudem steigen gleichzeitig die Raumtemperaturen auf Werte von etwa 30 °C und die Zahl der Überschreitungszeiten über 26 °C auf 265 (Hamburg) bzw. 474 (Frankfurt) an.

### Die Analysen für Büro- und Verwaltungsgebäude

Für alle nachfolgenden Berechnungen und Simulationen der Büro- und Verwaltungsgebäude wird ein sechsstöckiges Muster-Bürogebäude mit einer Nutzfläche von 2.466 m<sup>2</sup> zugrundegelegt. Dieses wird mit verschiedenen Techniken ausgestattet und an Standorten Hamburg und Frankfurt für normale und heiße (+2 K) Sommer analysiert. Dabei werden folgende Varianten des Muster-Bürogebäudes untersucht (Anmerkung: Die Varianten 1 bis 4 galten für die untersuchten Wohngebäude, daher starten die Bürogebäude mit Variante 5):

Variante 5: Baujahr 1960, Ausführung mit Lochfassade, keine Kühlung, Fensterlüftung

Variante 6: Baujahr 1970, Ausführung mit Lochfassade, innenliegende Sonnenstores, teilsaniert mit Vollklimaanlage (Luftwechsel 3 bis 10 h<sup>-1</sup> in Abhängigkeit von der Kühllast, Zuluft 16 °C)

Variante 7: Baujahr 1978, Glasfassade, innenliegende Sonnenstores, teilsaniert mit Vollklimaanlage (Luftwechsel 3 bis 20 h<sup>-1</sup> in Abhängigkeit von der Kühllast, Zuluft 16 °C)

Variante 8: Baujahr 1982, Glasfassade, innenliegende Sonnenstores, teilsaniert mit Kühldecken, Luftwechsel konstant 3 h<sup>-1</sup>, Zuluft 20 °C

Variante 9: Baujahr 2005, Glasfassade, externer Sonnenschutz, Betonkerntemperierung, Luftwechsel konstant 2 h<sup>-1</sup> (Zuluft 20 °C)

Variante 10: Baujahr 2005, Lochfassade, externer Sonnenschutz, Betonkerntemperierung, Luftwechsel konstant 2 h<sup>-1</sup> (Zuluft 20 °C)

Die Kaltwassererzeugung zum Betrieb der Raumkühlflächen erfolgt bei allen Varianten mit wassergekühlten Kompressionskältemaschinen. Diese haben bei den Varianten 6 und 7 (Altbauten) einen SEER-Wert von 2,85, bei der Variante 5 einen besseren SEER-Wert von 3,41 und bei den Neubauten (2005) einen SEER von 4,72.

Ohne an dieser Stelle auf die in der Studie für die verschiedenen Varianten sehr ausführlich beschriebenen gebäude- und anlagentechnischen Details einzugehen (zum Beispiel die besseren Wärmedämmungen der Fassaden und Fenster bei den neueren Gebäuden), werden in *Abbildung 1* und *Tabelle 3* gleich die Ergebnisse der Simulationsrechnungen dargestellt.

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)	87 kWh/(m <sup>2</sup> a)	32 kWh/(m <sup>2</sup> a)	8 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	26,6 °C	24,5 °C
	FFMX	37,9 °C	24,5 °C	24,5 °C	24,5 °C	28,1 °C	25,0 °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
	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

**Abbildung 1:**

Die Ergebnisse der Berechnungen für die sechs untersuchten Varianten der Bürogebäude (HH = Hamburg, FFM = Frankfurt, X = heißer Sommer). Die rot gekennzeichneten Felder zeigen deutliche Überschreitungen der thermischen Behaglichkeit.



<b>Muster-Bürogebäude</b>	<b>Hamburg</b>		<b>Frankfurt</b>	
	normal	heiß	normal	heiß
<b>Kühlenergieverbrauch spezifisch (in kWh/m<sup>2</sup>a)</b>				
Variante 5	0	0	0	0
Variante 6	9	24	18	46
Variante 7	51	89	74	126
Variante 8	53	98	78	139
Variante 9	11	18	18	31
Variante 10	4	8	8	18
<b>Endenergie Kühlen (in kWh/a)</b>				
Variante 5	0	0	0	0
Variante 6	11.712	36.411	28.104	72.014
Variante 7	88.409	165.378	134.776	242.368
Variante 8	44.613	79.110	62.997	109.782
Variante 9	9.883	14.226	13.938	21.721
Variante 10	4.913	7.716	8.184	14.143
<b>Maximaltemperatur (in °C)</b>				
Variante 5	35,9	36,4	34,2	37,9
Variante 6	24,5	24,5	24,5	24,5
Variante 7	24,5	24,5	24,5	24,5
Variante 8	24,5	24,5	24,5	24,5
Variante 9	26,7	26,9	26,5	28,1
Variante 10	24,2	24,3	24,5	25,0
<b>Überschreitungsstunden über 26 °C (in h)</b>				
Variante 5	626	868	912	1.279
Variante 6	0	0	0	0
Variante 7	0	0	0	0
Variante 8	0	0	0	0
Variante 9	15	20	3	123
Variante 10	0	0	0	0
<b>Gesamtkosten (in €/m<sup>2</sup>a)</b>				
Variante 5	0	0	0	0
Variante 6	5	7	6	10
Variante 7	12	18	16	26
Variante 8	6	9	8	12
Variante 9	6	6	6	7
Variante 10	5	5	5	6

**Tabelle 3:**

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen für die verschiedenen Muster-Bürogebäude mit unterschiedlichen Kühl- und Lüftungstechniken an den Standorten Hamburg und Frankfurt.

Eine kurze Interpretation der Ergebnisse aus *Tabelle 3* zeigt folgende wichtige Ergebnisse:

Erstens:

Im ungekühlten Gebäude (Variante 5) stellen sich bei allen Betriebszuständen – also auch bei normalen Sommern – maximale Raumtemperaturen von über 35 °C und zwischen 626 und 1.279 Überhitzungsstunden ein. In diesem Gebäude ist demnach im Sommer ein konzentriertes Arbeiten bei erträglichen Temperaturen nicht möglich.

Zweitens:

Bis auf einige Ausreißer im Gebäude 9 (Neubau mit Glasfassade, mechanische Grundlüftung und Betonkerntemperierung) werden in allen gekühlten Gebäuden bei allen untersuchten Varianten Raumtemperaturen von deutlich unter 25 °C eingehalten und es gibt daher auch keine Überhitzungsstunden. Dies ist ein Indiz dafür, dass durch die Bau- und Anlagentechniken in den Gebäuden 6, 7, 8 und 10 (mit Abstrichen im Gebäude 9) eine hohe thermische Behaglichkeit sichergestellt werden kann.

Drittens:

In Abhängigkeit vom Standort Hamburg oder Frankfurt und von der Betrachtung normaler oder heißer Sommer kann der Endenergieverbrauch eines ansonsten gleichen Gebäudes um mehr als sechs Mal höher sein (Gebäude 6, Hamburg normaler Sommer im Vergleich zu Frankfurt heißer Sommer). Im Durchschnitt beträgt die Zunahme des Endenergieverbrauchs zur Gebäudekühlung am gleichen Standort bei Betrachtung eines normalen und eines heißen Sommers etwa 70 bis 100 %.

Viertens:

Für alle betrachteten Fälle ist der Endenergieverbrauch zur Kühlung im Gebäude 7 (Altbau, Glasfassade, Vollklimaanlage) deutlich am höchsten und liegt doppelt so hoch wie das an zweiter Stelle gelistete Gebäude 8 (Altbau, Glasfassade, Kühldecken). Wie stark sich die Gebäudeausführung mit einer Glasfassade anstelle einer Lochfassade auf den Verbrauch an Kühlenergie auswirkt, zeigt ein Vergleich der Varianten 6 und 7: Am Standort Hamburg ist beim Glasgebäude der Endenergiebedarf zur Kühlung bei einem normalen Sommer um den Faktor 8 höher als beim Gebäude mit Lochfassade, in Frankfurt liegt der Unterschied etwa beim Faktor 5.

Die erwartungsgemäß geringsten Kühlenergiebedarfswerte im Vergleich haben die mit externen Sonnenschutzeinrichtungen ausgestatteten und mit Betonkerntemperierungen und mechanischer Grundlüftung gekühlten Büroneubauten (Varianten 9 und 10). Deren Kühlbedarfe liegen zum Beispiel bei einem normalen Sommer am Standort Frankfurt um etwa den Faktor 4 bis 5 unter denen vollklimatisierter Vergleichsbauten mit Glasfassade (Variante 8).

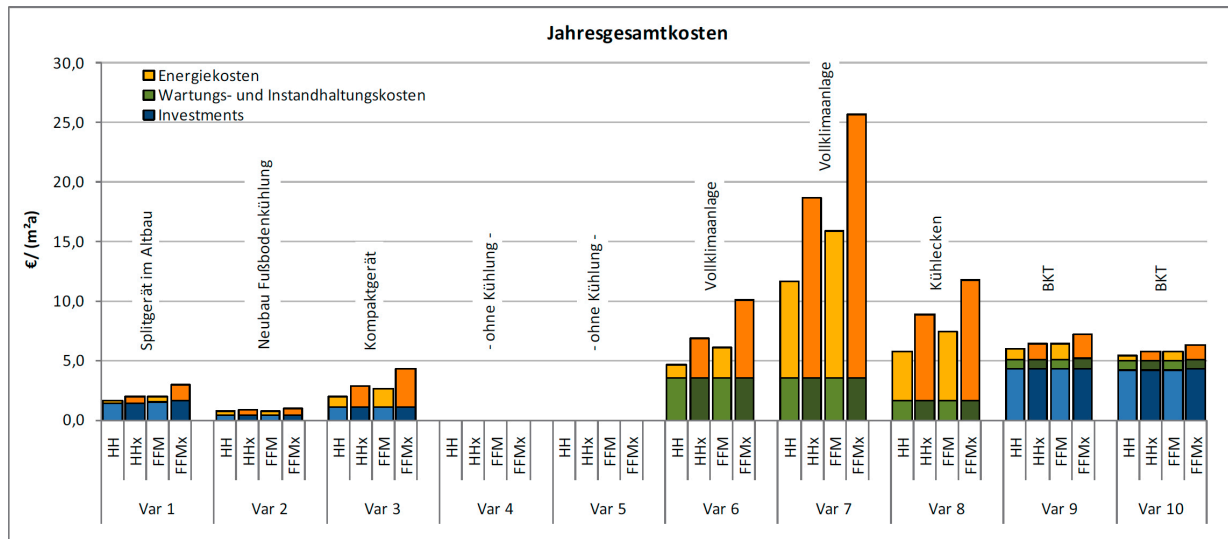
Fünftens:

In der Studie wurden für die untersuchten Bürogebäude auch die spezifischen Jahresgesamtkosten (Investition, Wartung, Instandhaltung, Energie) bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren berechnet. Dabei ergaben sich die ebenfalls in *Tabelle 3* und in *Abbildung 2* dargestellten Ergebnisse.

Im Hinblick auf die Gesamtkosten liegen die Gebäudevarianten 6 (Altbau, Vollklima), 9 und 10 (Neubau, Betonkerntemperierung) mit spezifischen Kosten von etwa 5 bis 7 €/m<sup>2</sup> pro Jahr auf einem ähnlichen Niveau. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, dass im Gebäude 9 die maximalen Raumtemperaturen in allen Fällen mit Werten von 26,5 bis 28,1 °C über den Sollwerten liegen und zu thermischer Unbehaglichkeit führen.

Spürbar teurer ist der Betrieb des Gebäudes 8 (Altbau, Glasfassade, Kühldecke, Grundlüftung) mit etwa 6 bis 12 €/m<sup>2</sup> pro Jahr. Die mit Abstand höchsten Kosten ergeben sich im Gebäude 7 (Altbau, Glasfassade, Vollklimaanlage), die bei etwa 12 bis 26 €/m<sup>2</sup> pro Jahr liegen.

Vergleicht man die beiden Varianten 7 und 8 (Altbauten, innenliegende Sonnenstores), die einmal mit einer Vollklimaanlage (Variante 7) und einmal mit Kühldecken plus mechanischer Grundlüftung (Variante 8) ausgestattet wurden, ergibt sich ein deutlicher Kostenvorteil für die Variante 8 mit Einsparungen von mehr als 100 %.

**Abbildung 2:**

Darstellung der Jahresgesamtkosten für die untersuchten vier Varianten der Wohngebäude und die sechs Varianten der Bürogebäude.

### Resümee für die Muster-Bürogebäude

Aus den Ergebnissen der *Tabelle 2* können sowohl für Neubauten als auch für Modernisierungen von Bestandsbauten recht klare Schlussfolgerungen gezogen werden, die aber jeweils individuell zu berücksichtigen sind. Daher gibt es an dieser Stelle auch nur folgende klare Aussagen:

- Wer Wert auf hohen Komfort, eine gute Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit legt, sollte auf einen zu hohen Verglasungsanteil verzichten. Zudem können externe automatische Verschattungseinrichtungen zu deutlichen Einsparungen beim Kühlbedarf und bei den Kosten beitragen.
- Bürogebäude ohne jegliche Maßnahmen zur Raumkühlung haben oft Raumtemperaturen von weit über 30 °C und mehrere 100 Überschreitungsstunden, in denen eine thermische Behaglichkeit nicht mehr gegeben ist.
- Vollklimaanlagen führen bei gleicher thermischer Behaglichkeit zu höheren Gesamtkosten als Luft-Wasser-Systeme (Flächenkühlsysteme mit mechanischer Grundlüftung oder Induktionsgeräte).
- Für Neubauten, die nach den Grundlagen der EnEV errichtet werden, kann man aus den Ergebnissen der Studie eine klare Empfehlung zum Betrieb mit einem Flächenkühlsystem und einer mechanischen Grundlüftung bis etwa 3 h<sup>-1</sup> ableiten. Dadurch ergeben sich Gesamtkosten zur Gebäudekühlung von lediglich etwa 5 bis 7 €/m<sup>2</sup> pro Jahr (auch bei einem hohen Verglasungsanteil der Fassade).

### Strategien zur Verringerung des Kühl-Energiebedarfs in den Bürogebäuden

In weiteren Simulationen wurden in der Ecofys-Studie für vier der untersuchten sechs Muster-Bürogebäude verschiedene Optimierungsmaßnahmen zur Verringerung des zuvor errechneten Endenergiebedarfs zur Gebäudekühlung simuliert. Diese werden nachfolgend zu-

nächst für die jeweiligen Gebäude einzeln betrachtet, wobei stets nur die Fälle für die heißen Sommer an den Standorten Hamburg und Frankfurt berücksichtigt wurden.

### Optimierung des Gebäudes 5

Beim bislang ungekühlten Gebäude 5 (Altbau, Lochfassade) wurde als erste Maßnahme ein automatischer externer Sonnenschutz installiert (Variante 5a). Darüber hinaus wurden in dem so optimierten Gebäude folgende zusätzliche, ergänzende Maßnahmen untersucht:

- Variante 5b: Betrieb von Tischventilatoren (Abkühleffekt durch erhöhte Konvektion)
- Variante 5c: maximale Nachtlüftung (Luftwechsel  $10 \text{ h}^{-1}$ )
- Variante 5d: maximale Nachtlüftung plus Betrieb einer nachgerüsteten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und adiabater Kühlung auf der Abluftseite

Die Ergebnisse dieser Maßnahmen im Hinblick auf die Endenergieverbräuche, die maximalen Raumtemperaturen und die Überhitzungsstunden sind in *Tabelle 4* dargestellt.

Bürogebäude 5	Basis	Var. 5a	Var. 5b	Var. 5c	Var. 5d
<b>Kühlenergieverbrauch spezifisch</b> (in kWh/m <sup>2</sup> a)					
Hamburg	0	0	0	0	7
Frankfurt	0	0	0	0	13
<b>Endenergie Kühlen</b> (in kWh/a)					
Hamburg	0	0	862	3.179	1.588
Frankfurt	0	0	1.998	6.080	3.320
<b>Maximaltemperatur</b> (in °C)					
Hamburg	36,4	30,7	28,9	27,9	27,8
Frankfurt	37,9	33,3	31,5	30,1	29,4
<b>Überschreitungsstunden über 26 °C</b> (in h)					
Hamburg	868	311	70	77	29
Frankfurt	1.279	753	403	282	259
<b>Gesamtkosten</b> (in €/m <sup>2</sup> a)					
Hamburg	0	3	4	6	15
Frankfurt	0	3	4	6	15

#### **Tabelle 4:**

*Ergebnisse für die energetischen Optimierungsmaßnahmen am Muster-Bürogebäude 5*

Die Ergebnisse:

Durch die Installation des Sonnenschutzes kann bei heißen Sommern die Raumtemperatur zwar um bis zu knapp 6 K gesenkt werden, doch die Werte bleiben bei deutlich über 30 °C und die Zahl der Überschreitungsstunden bei völlig unakzeptablen 311 bzw. 753 h. Die er-

gänzenden Maßnahmen Tischventilatoren und Nachtlüftung können die empfundenen Raumtemperaturen zwar um weitere 2 bis 3 K verringern, doch die Zahl der Überhitzungsstunden über 26 °C bleibt in Hamburg zwischen 70 und 77 und in Frankfurt bei nicht tolerierbaren 282 bis 403. Der Betrieb einer nachgerüsteten Lüftungsanlage mit einer adiabaten Verdunstungskühlung bringt zwar eine weitere leichte Verbesserung, die jedoch (besonders am Standort Frankfurt) zur Sicherstellung behaglicher Raumzustände ohne eine weitere mechanische Nachkühlung der Zuluft noch nicht ausreicht.

Trotz Kosten von etwa 3 €/m<sup>2</sup>a ist die Installation eines externen Sonnenschutzes eine sehr sinnvolle Maßnahme, um die Raumtemperaturen spürbar abzusenken. Die Auskühlung des Gebäudes mit kühler Nachtluft kostet nochmals etwa 3 €/m<sup>2</sup>a und kann die Raumtemperatur um weitere 3 K verringern. Erstaunlich sind die Ergebnisse für die nachgerüstete RLT-Anlage mit Verdunstungskühlung: Hier hätte man erwarten dürfen, dass sich durch die Kühlung der Zuluft deutlich geringere Raumtemperaturen und erheblich weniger Überhitzungsstunden einstellen werden. Die Gesamtkosten für die Optimierungen des Bürogebäudes 5 sind auch in *Abbildung 3* dargestellt.

### Optimierung des Gebäudes 7

Das mit einer Vollklimaanlage ausgestattete Gebäude 7 aus dem Jahr 1978 (Glasfassade) erhielt in Variante 7a einen externen automatischen Sonnenschutz. In Variante 7b wurde zusätzlich die Solltemperatur in den Büros von zuvor 24,5 °C auf 26 °C angehoben und in Variante 7c zusätzlich dazu die energetische Effizienz der RLT-Anlage verbessert (bessere Leistungszahl der Kältemaschine von EER = 2,85 auf EER = 3,4 und Verringerung des SFP-Werts der Lüftungsanlage von zuvor 1,5 auf 0,6 Wh/m<sup>3</sup>). In Variante 7d wurde ergänzend zur Variante 7c die thermische Speicherfähigkeit im Gebäudeinnern durch Verwendung eines PCM-Putzes verbessert. Die Ergebnisse dieser Maßnahmen sind in *Tabelle 5* dargestellt.

Bürogebäude 7	Basis	Var. 7a	Var. 7b	Var. 7c	Var. 7d
<b>Kühlenergieverbrauch spezifisch (in kWh/m<sup>2</sup>a)</b>					
Hamburg	89	17	11	11	10
Frankfurt	126	34	23	23	22
<b>Endenergie Kühlen (in kWh/a)</b>					
Hamburg	165.378	25.378	15.115	10.293	9.382
Frankfurt	242.368	51.217	34.385	22.830	21.513
<b>Maximaltemperatur (in °C)</b>					
Hamburg	24,5	24,5	26,0	26,0	26,0
Frankfurt	24,5	24,5	26,0	26,0	26,0
<b>Gesamtkosten (in €/m<sup>2</sup>a)</b>					
Hamburg	17	10	9	9	13
Frankfurt	24	13	11	10	15

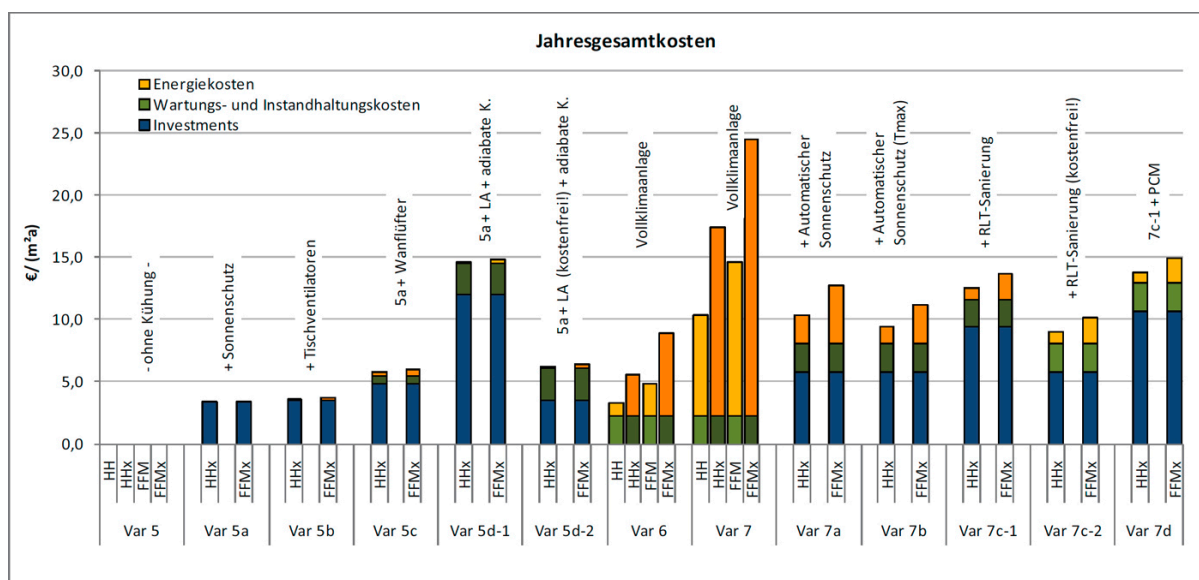
**Tabelle 5:**

*Ergebnisse für die energetischen Optimierungsmaßnahmen am Muster-Bürogebäude 7*

Die Ergebnisse:

Der Vergleich der Varianten 7a (Basis) und 7b zeigt die enorme Wirksamkeit des Sonnenschutzes: Allein durch diese Maßnahme wurde der Endenergiebedarf zur Kühlung um 85 % (Hamburg) bzw. um 79 % (Frankfurt) verringert! Eine weitere spürbare Reduzierung des Endenergiebedarfs wurde in Variante 7b durch die Anhebung der Raum-Solltemperatur von 24,5 °C auf 26 °C erreicht (Hamburg: minus 40 %, Frankfurt: minus 35 %). Darüber hinaus führt eine verbesserte Anlagentechnik in Variante 7c nochmals zu Energieeinsparungen von etwa 30 %, während die in Variante 7d untersuchte PCM-Lösung mit Kosten von etwa 4 bis 5 €/m<sup>2</sup>a sich kaum auswirkt. Insgesamt konnte im Gebäude 7 durch den Sonnenschutz, die Temperaturanhebung und die optimierte RLT-Anlagentechnik der Kühlenergiebedarf um 94 % (Hamburg) bzw. um 91 % (Frankfurt) gesenkt werden!

Dass diese Maßnahmen auch mit einer hohen Wirtschaftlichkeit einhergehen, zeigen die Kosten in *Tabelle 5*: Im Vergleich zur Basisausführung mit Gesamtkosten von 17 bzw. 24 €/m<sup>2</sup>a sanken diese auf nur noch rund 9 bis 10 €/m<sup>2</sup> bei gleichzeitiger Sicherstellung der thermischen Behaglichkeit (Raumtemperaturen bleiben unter 26 °C). Die Gesamtkosten für die Optimierungen des Bürogebäudes 7 sind auch in *Abbildung 3* dargestellt.



**Abbildung 3:**

Darstellung der Jahresgesamtkosten für die untersuchten Optimierungsvarianten der Bürogebäude 5 und 7.

### Optimierung des Gebäudes 9

Beim Gebäude 9 (Neubau 2005, Glasfassade, externer Sonnenschutz, Betonkerntemperierung, mechanische Grundlüftung) wurde lediglich die bislang genutzte Kältemaschine durch den Bezug von Kaltwasser aus einer Erdsonde (Sole) ersetzt. Dadurch ergab sich bei ansonsten unveränderten Ergebnissen für die maximalen Raumtemperaturen und für die Überschreitungsstunden über 26 °C (Hamburg: 26,9 °C, 20 h; Frankfurt: 28,1 °C, 123 h) eine Verringerung des Endenergiebedarfs zur Kühlung um rund 50 %.

Im Vergleich zur Basisvariante verringern sich bei der Variante 9a die Gesamtkosten am Standort Hamburg von 6 auf rund 4 €/m<sup>2</sup>a und am Standort Frankfurt von 7 auf etwa 4 €/m<sup>2</sup>a. Hierbei wird aber vorausgesetzt, dass es die Erdsondenanlage bereits gibt (zum Betrieb einer Wärmepumpe) und nur die zusätzlichen Kosten (Pumpenstrom, Wärmeübertrager) angerechnet werden. Ansonsten ist die Anlage einer Erdsonde zur Nutzung der geothermischen Kälte aufgrund der sehr hohen Investitionskosten völlig unwirtschaftlich.

### Optimierung des Gebäudes 10

Beim Gebäude 10 (Neubau 2005, Lochfassade, externer Sonnenschutz, Betonkerntemperierung, mechanische Grundlüftung) wurde in einer Variante 10a die Betonkerntemperierung entfernt. Dafür wurden die Beleuchtung (Helligkeits- und Anwesenheitssensoren), die Bürogeräte (30 % weniger Wärmeabgabe) und die Lüftungsanlage optimiert (Nachlüftung, automatische Anhebung des Zuluftvolumenstroms von 1,5 auf 3 h<sup>-1</sup> wenn die Außenlufttemperatur unter der Raumtemperatur liegt).

Durch diese Maßnahmen ergab sich zwar für beide Standorte Hamburg und Frankfurt eine Verringerung des Endenergiebedarfs zu Kühlung um fast 80 %, doch gleichzeitig stieg die maximale Raumtemperatur in Hamburg um 2 K auf 26,2 °C und in Frankfurt sogar um fast 4 K auf 28,9 °C und es ergaben sich unakzeptable 157 Überhitzungsstunden.

Im Vergleich zur Basisvariante verringern sich bei der Variante 10a die Gesamtkosten am Standort Hamburg von 5 auf etwa 2 €/m<sup>2</sup>a und am Standort Frankfurt von 6 auf rund 2 €/m<sup>2</sup>.

### **Betrachtung eines Passivhaus-Bürogebäudes**

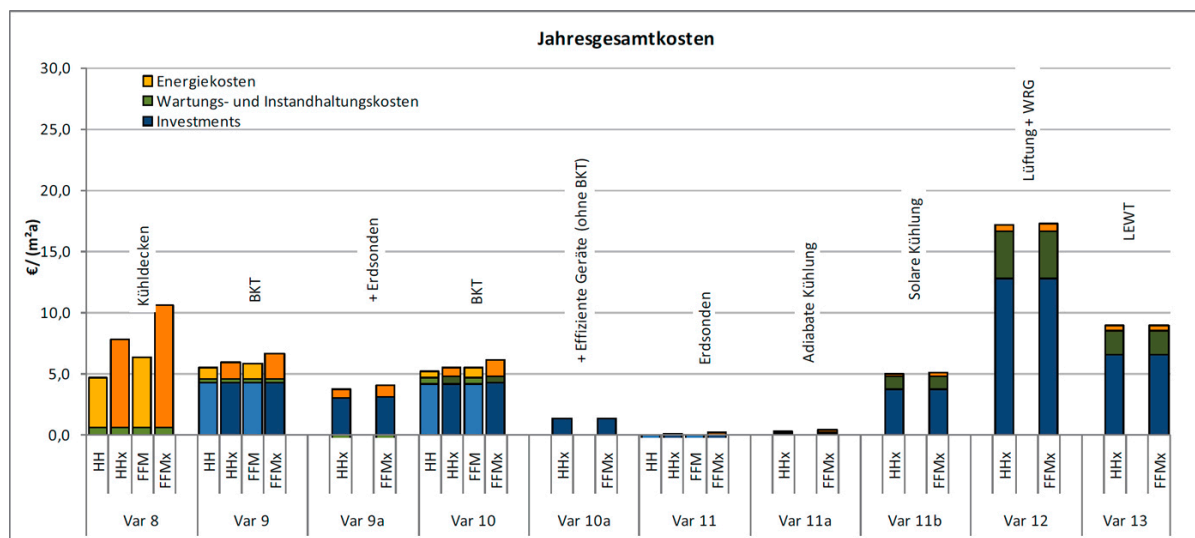
In Ergänzung zu den zuvor erläuterten Gebäudevarianten wurde in einer weiteren Simulation ein Passivhaus-Bürogebäude untersucht. Dieses besitzt in der Basisausführung einen automatischen Sonnenschutz, eine effiziente Büroausstattung, eine mechanische Lüftungsanlage mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung sowie eine Sole-Wärmepumpe. Die kühle Sole aus der Erdsonde bzw. dem Kollektor wird auch zur Kühlung der Zuluft genutzt.

In den Varianten a und b wird das Gebäude mit einem Pelletkessel beheizt. Zur Zuluftkühlung wird nun in Variante a eine adiabate Verdunstungskühlung und in Variante b eine solare Kühlung eingesetzt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 dargestellt.

<b>Passiv-Bürogebäude 11</b>	<b>Basis</b>	<b>Var. 11a</b>	<b>Var.11b</b>
<b>Kühlenergieverbrauch spezifisch (in kWh/m<sup>2</sup>a)</b>			
Hamburg	6	5	6
Frankfurt	12	10	12
<b>Endenergie Kühlen (in kWh/a)</b>			
Hamburg	1.241	1.016	1.574
Frankfurt	2.164	2.021	2.898
<b>Maximaltemperatur (in °C)</b>			
Hamburg	26,3	27,3	26,3
Frankfurt	26,7	28,4	26,7
<b>Überschreitungsstunden über 26 °C (in h)</b>			
Hamburg	8	25	8
Frankfurt	48	160	48
<b>Gesamtkosten (in €/m<sup>2</sup>a)</b>			
Hamburg	1	1	5
Frankfurt	1	1	5

#### ***Tabelle 6:***

*Ergebnisse für die energetischen Optimierungsmaßnahmen am Muster-Passiv-Bürogebäude 11.*



#### Abbildung 4:

Darstellung der Jahresgesamtkosten für die untersuchten Optimierungsvarianten der Bürogebäude 8 bis 11.

Die Ergebnisse:

Da bei dem Passivhaus aufgrund der optimierten Bauphysik, des Sonnenschutzes und der effizienten Gebäudetechnik bereits beim Bau viel Geld zur Minimierung des Energieaufwands für Heizen und Kühlen investiert wurde, sind die Ergebnisse für die geringen Endenergieverbräuche zur Kühlung mit Werten zwischen 1.200 und knapp 3.000 kWh/a nicht überraschend. Dies gilt auch für die Gesamtkosten bei der Basisvariante und der Variante 11a von weniger als 1 €/m²a. Allerdings bringt die adiabate Luftkühlung in Variante 11a im Hinblick auf die Einhaltung maximaler Temperaturen deutlich weniger Leistung als die Nutzung der Sole in der Basisversion, denn nun steigen die maximalen Raumtemperaturen um 1 bis 1,5 K an und es ergeben sich am Standort Frankfurt bis zu 160 Überhitzungsstunden. Demgegenüber ist die solare Kühlung zwar genauso effizient wie die Kühlung mit der Sole aus den Erdsonden, doch steigen durch diese Maßnahme die Gesamtkosten von zuvor 1 auf nun etwa 5 €/m²a. Somit ist die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme zumindest fraglich.

#### Berechnung der Minderungspotenziale bis 2030

Bei einer Analyse und Hochrechnung der Potenziale zur Verringerung des Energieverbrauchs zur Gebäudekühlung bis zum Jahr 2030 berücksichtigt die Studie auf Basis der zuvor erläuterten Ergebnisse der Simulationsrechnungen folgende Szenarien:

##### Szenario 1: Technisches Potenzial

Die Nutzung des „technischen Potenzials“ geht von einer sofortigen und kompletten Umsetzung aller ermittelten Möglichkeiten zur Verringerung des Kühlbedarfs aus.

##### Szenario 2: Realistisches Potenzial

Das „realistische Potenzial“ berücksichtigt eine sukzessive Marktdurchdringung sowohl durch passive Maßnahmen (Bauphysik, Sonnenschutz) als auch den verstärkten Einsatz regenerativer und effizienterer aktiver Kühlsysteme bis zum Jahr 2030.



Dabei werden jeweils zwei „Unterszenarien“ entwickelt:

Referenzszenario:

Dieses betrachtet zwar den künftigen Austausch sowie den Zubau und den Rückbau von Gebäudekühlsystemen, allerdings ohne Berücksichtigung neuerer technischer Entwicklungen. Bei diesem Szenario wird die im Referenzjahr 2009 zur Verfügung stehende Technik in den jeweiligen Gebäudearten eingesetzt.

Innovationsszenario:

Im Gegensatz zum Referenzszenario berücksichtigt das Innovationsszenario sowohl technische Weiterentwicklungen von Kühlgeräten und –systemen (bessere Leistungs- und Arbeitszahlen) als auch die künftig stärkere Einbeziehung von regenerativen Energien zur Raumkühlung.

Aus diesen Annahmen folgen für die verschiedenen Gebäudetypen Endenergiebedarfswerte kühlen, die in *Tabelle 7* zusammengefasst sind.

	<b>Szenarien zum Endenergiebedarf (kWh/m<sup>2</sup>a)</b>			
	Referenz		Innovation	
	Zubau	Austausch	Zubau	Austausch
Einfamilien- und Reihenhäuser:	1	1	1	1
Mehrfamilienhäuser:	4	4	2	5
Handel, Einzelhandel:	25	25	15	15
Büro- und Verwaltung	3	7	1	3
Hotels, Cafes, Restaurants	13	13	5	5
Krankenhäuser	14	14	5	5
Erziehung, Bildung	8	8	4	5
Sonstige	25	25	15	15

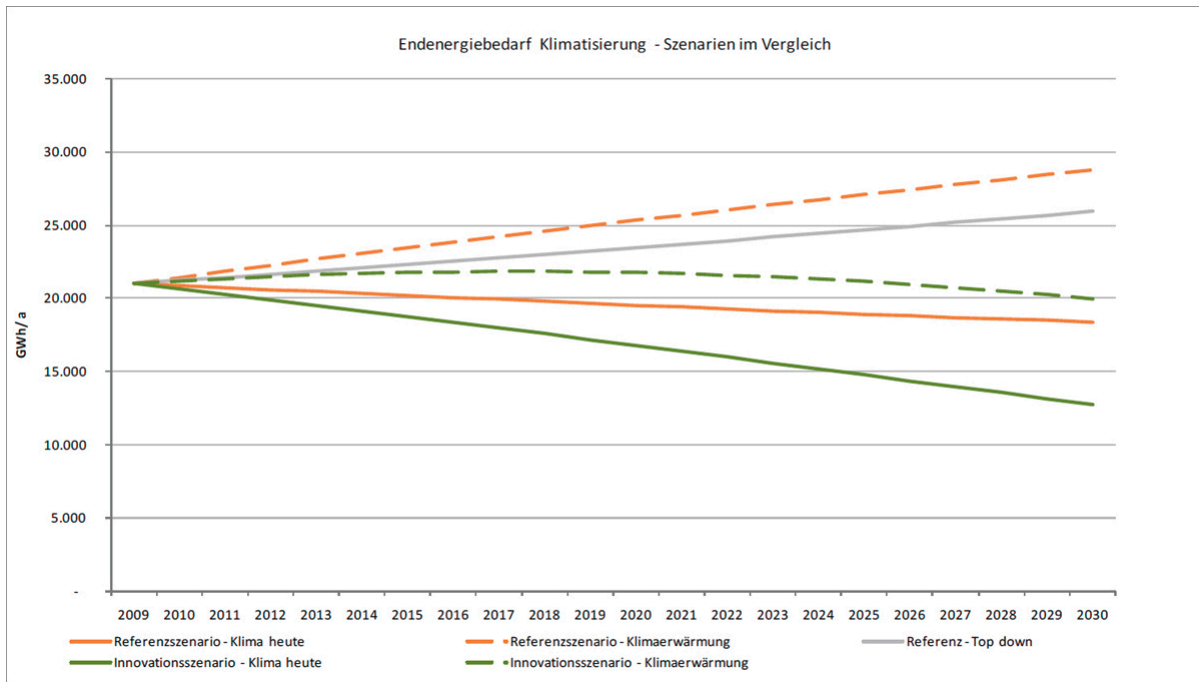
***Tabelle 7:***

*Annahmen für Endenergiebedarfswerte zur Gebäudekühlung für die verschiedenen Szenarien.*

Sowohl beim Referenz- als auch beim Innovationsszenario wurde – jeweils auf die betrachteten klimatisierten Flächen bei den Wohn- und Nichtwohngebäuden bezogen (siehe *Tabelle 1*) – von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Austausch der vorhandenen Kühltechnik durch eine neue Technik: 3 % pro Jahr
- Zubau an gekühlter Fläche (zusätzliche Ausstattung mit Kühlflächen):
  - Wohngebäude 10 % pro Jahr
  - Nichtwohngebäude 2 % pro Jahr (Bildungsbauten 4 % pro Jahr)

Somit liegen nun alle Rahmenbedingungen vor, um die Hochrechnungen des Kühlbedarfs bis zum Jahr 2030 zu berechnen. Bei den Betrachtungen „mit Klimaerwärmung“ wurde eine um etwa 2 K höhere Temperatur als das Referenzwetterjahr angenommen. Die Ergebnisse dieser Berechnungen zeigt *Abbildung 5*.



**Abbildung 5:** Die Ergebnisse zum Endenergiebedarf zur Gebäudekühlung im Jahr 2030 bei den verschiedenen Szenarien unter Berücksichtigung von „keiner“ und einer Klimaerwärmung um 2 K.

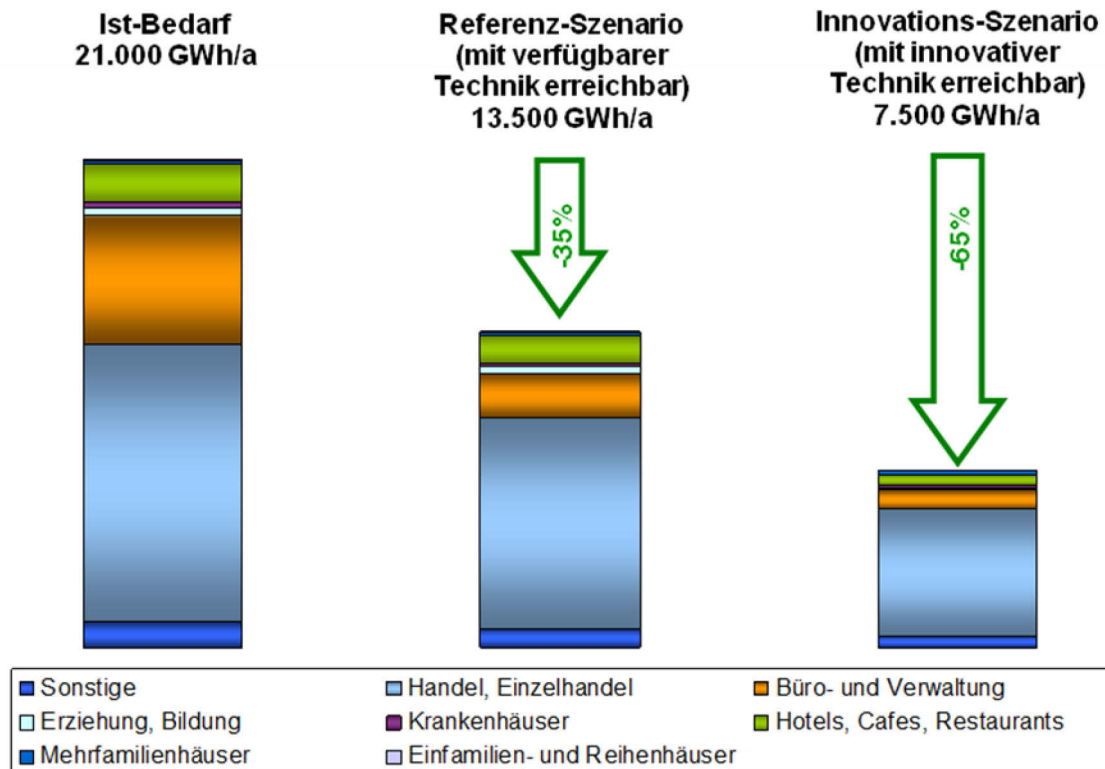
Die Ergebnisse:

Ausgehend von einem Endenergiebedarf zur Gebäudekühlung von rund 21.000 GWh/a ergeben sich die in *Tabelle 8* und *Abbildung 6* dargestellten Entwicklungen.

	Realistisches Potenzial		Technisches Potenzial
	ohne Klimaerwärmung	mit Klimaerwärmung	
<b>Referenzszenario</b>	18 GWh/a - 14 %	29 GWh/a + 38 %	14 GWh/a - 33 %
<b>Innovationsszenario</b>	13 GWh/a - 38%	20 GWh/a - 5 %	8 GWh/a - 64 %

**Tabelle 8:** Entwicklungen zum Endenergiebedarf zur Gebäudekühlung im Jahr 2030 für die Szenarien mit und ohne Klimaerwärmung. Der Startwert für das Jahr 2009, auf den sich auch die Prozentangaben beziehen, beträgt 21 GWh/a.

## Der Energiebedarf zur Gebäudekühlung



### Abbildung 6:

Beim Szenario „Umsetzung des technischen Potenzials“ wird davon ausgegangen, dass sofort die im Jahr 2009 verfügbaren Maßnahmen und Effizienztechniken zur Verringerung des Endenergiebedarfs zur Kühlung umgesetzt werden. Dadurch ergeben sich beim Referenzszenario Einsparungen von etwa 33 % und beim Innovationsszenario von 64 %. Wie auch deutlich zu sehen ist, besteht bei den Bürogebäuden (Offices, Administration) das größte Einsparpotenzial von etwa 5,5 GWh/a (Basis) auf etwa 2 GWh/a beim Referenz- bzw. 1 GWh/a beim Innovationsszenario.

### Empfehlungen an die politischen Entscheider

Im Abschlusskapitel „Einflussmöglichkeiten auf den Energiebedarf zur Gebäudekühlung“ erläutert die Studie, dass es in der Energieeinsparverordnung (EnEV) und im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) bereits Ansatzpunkte gibt, die die Gebäudekühlung behandeln. Allerdings gehen EnEV und EEWärmeG besonders bei bestehenden Nichtwohngebäuden, die nicht umfassend modernisiert werden, nicht weit genug – hierzu seien keine kühlenspezifischen Ansätze vorhanden und es bestehe ein Nachbesserungsbedarf: zum Beispiel über anzupassende Berechnungsmethoden in der DIN V 18599 bei der Festlegung der maximalen Jahres-Primärenergiekennwerte bei der Kältetechnik und der Raumkühlung unter Einbeziehung der Betonkerntemperierung, der Nachkühlung und der solaren Kühlung. Gleichzeitig müsse eine Verschärfung der Sonneneintragskennwerte erfolgen, um den Gebäudekühlbedarf durch externe Lasten zu verringern.

Im Anforderungskatalog des EEWärmeG empfiehlt die Studie, Mindestquoten an regenerativen Kältequellen festzuschreiben, sobald das Gebäude gekühlt wird.

