

# Nachhaltigkeit massiv

## AP8

Massive Bauteile und Energiesysteme



**Impressum** Autoren DI (FH) Florian Stift, DI (FH) Stephan Ledinger  
AIT Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal GmbH  
Giefinggasse 2, 1210 Wien Tel +43/50550-6353 Fax +43/50550-6613  
Email [florian.stift@ait.ac.at](mailto:florian.stift@ait.ac.at) [stephan.ledinger@ait.ac.at](mailto:stephan.ledinger@ait.ac.at) Web [www.ait.ac.at](http://www.ait.ac.at)

# Endbericht

## Arbeitspaket 08 – „Massive Bauteile und Energiesysteme“

### **Auftraggeber:**

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „ENERGIE DER ZUKUNFT“ durchgeführt. Zusätzlich wird das Projekt aus Mitteln des Fachverbands der Stein- und keramischen Industrie der Wirtschaftskammer Österreich unterstützt.

### **Autor:**

DI (FH) Florian Stift, AIT Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal GmbH  
DI (FH) Stephan Ledinger, AIT Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal GmbH

Wien, September 2009



# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	7
1.1	Darstellung des behandelten Problems.....	7
1.2	Ziel des Arbeitspakets.....	7
2	Zusammenfassung der Projektergebnisse.....	9
2.1	Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf das in der Einleitung definierte Ziel .....	9
2.2	Ergebnisse für die Integration in das Gebäudebewertungssystem .....	10
2.3	Ergebnisse für die Bauwirtschaft .....	10
3	Inhaltliche Darstellung .....	12
3.1	Stand der Technik.....	12
3.2	Verlauf des Arbeitspakets .....	13
3.3	Variantendefinition .....	14
3.4	Dynamische Simulation und Ergebnisse .....	15
3.4.1	Umgebungsbedingungen .....	15
3.4.2	Spezifischer Jahresenergiebedarf für Heizen und Kühlen.....	19
3.4.3	Gegenüberstellung exemplarischer Varianten.....	20
3.4.4	Verlauf Raumlufttemperatur und operative Temperatur .....	23
4	Interpretation der Ergebnisse und Schlussfolgerungen .....	29
5	Ausblick und Empfehlungen.....	31
6	Literaturverzeichnis .....	32



# 1 Einleitung

Massive Baustoffe verbinden hohen Komfort mit Energieeffizienz, sofern die Gebäudetechnik auf die Gebäudeart abgestimmt ist. Im Hochbau erfolgt die Entscheidung Massiv- vs. Leichtbauweise meist nicht aus energetischen oder ökologischen Kriterien, vielmehr bestimmen Kosten, Bauablauf und Verfügbarkeit die Art der Bauweise. Dieses Arbeitspaket soll daher eine wesentliche Entscheidungsgrundlage für die energetische und ökologische Wahl der Bauweise liefern.

## 1.1 Darstellung des behandelten Problems

Bisher setzen Optimierungsüberlegungen eines Gebäudekonzepts nur beim Heizwärmebedarf an. Mit der EU Gebäuderichtlinie wird die Ausweisung der Gesamtenergieeffizienz im Energieausweis verpflichtend. Neben dem Heizenergiebedarf ist der Kühlenergiebedarf ein wesentlicher Teil des Gesamtenergiebedarfs eines Objekts, wie zum Beispiel eines Bürogebäudes.

Um den Einfluss bautechnischer Parameter, wie zum Beispiel geringe oder massive Speichermassen im Decken- und Bodenaufbau auf das energetische und komforttechnische Verhalten eines Büros bewerten zu können, werden verschiedene Varianten eines vereinfachten Büroraumes in der Simulationsumgebung TRNSYS 16.01 (thermisch dynamische Gebäudesimulation) modelliert und simuliert.

## 1.2 Ziel des Arbeitspakets

Ziel der Untersuchung ist eine wissenschaftlich fundierte Analyse der Möglichkeiten und Grenzen der Optimierung des Energiebedarfs für Heizen und Kühlen unterschiedlicher Bausysteme in Verbindung mit der Gebäudetechnik, der Architektur und Versorgungssystemen. Durch die Definition und Anwendung ‚virtueller Prototypen‘ in der Gebäudesimulation wird die Grundlage für weitere Bearbeitungen in entsprechenden Arbeitspaketen erstellt.

Dazu wird das energetische Potential massiver Baustoffe in Zusammenhang mit deren thermischer Speicherfähigkeit und energieeffizienten Energiesystemen durch thermisch-dynamische Gebäudesimulation identifiziert.

Im ersten Arbeitsschritt werden gemeinsam mit der Arbeitsgruppe ‚Ökonomie‘ und insbesondere mit ‚AP07: Massive Alternative im modernen, nutzungsflexiblen Bürobau‘ zu untersuchende, für den österreichischen Markt repräsentative ‚Prototypen‘ hinsichtlich Gebäudetypen definiert. Im nächsten Arbeitsschritt werden die Gebäudetechniksysteme für die festgelegten Varianten definiert. Die Gebäudetechnikvarianten beziehen sich sowohl auf typische Systeme als auch auf innovative Systeme. Bei der Auswahl der innovativen Systeme wird vor allem auf die Besonderheit der zu analysierenden Bauarten (Massivbau/Leichtbau) Rücksicht genommen.

Im dritten Arbeitsschritt werden die in den beiden vorangegangenen Schritten definierten virtuellen Prototypen in thermisch-dynamischen Gebäudesimulationen im Detail modelliert und simuliert. Die Auswertung der Ergebnisse soll Effekte wie natürliche Möglichkeiten der Nutzung der Bauschwere zur Glättung von Lastkurven, aktive Nutzung der Bauschwere mittels aktiver Bauelemente zur Optimierung des Komforts sowie deren Auswirkung auf die Behaglichkeit aufzeigen.

## **2 Zusammenfassung der Projektergebnisse**

### **2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf das in der Einleitung definierte Ziel**

In den durchgeführten Simulationen an 108 verschiedenen Varianten eines Büroraumes wurde das energetische Potential massiver Baustoffe in Zusammenhang mit deren Speicherkapazität und eingesetzten Energiesystemen, mit dem Augenmerk auf den Vergleich zwischen Massiv- und Leichtbau, analysiert. Die vorliegenden Ergebnisse weisen den Jahresenergiebedarf für Heizen und Kühlen jeder untersuchten Variante aus. Massive thermische Speichermassen in den Boden- und Deckenkonstruktionen wirken dämpfend auf Änderungen der Raumlufttemperaturen und reduzieren so die erforderlichen Leistungen bei spontanem Heiz- oder Kühlbedarf. In den Varianten aus Abbildung 1 kann aufgrund der massiven Decken- und Bodenkonstruktion der Heizenergiebedarf um durchschnittlich 5% (im Idealfall 19%) reduziert werden. Aus diesem dämpfenden Effekt resultiert eine geringere maximale Heiz- beziehungsweise Kühllast, die erforderlich ist um die gewünschte Raumlufttemperatur einhalten zu können. In den Gegenüberstellungen in Abbildung 4 reicht bei den Massivbauvarianten eine um durchschnittlich 4% (im besten Fall 15%) niedrigere Heizleistung und 8% (im besten Fall 11%) niedrigere Kühlleistung gegenüber der Leichtbauvariante aus, um den Heiz- und Kühlbedarf im gleichen Ausmaß zu decken. Besonders in Varianten mit nach Süden ausgerichteten Fensterflächen können so die solaren Gewinne im Winter über einen längeren Zeitraum gespeichert werden und reduzieren so den Heizenergiebedarf.

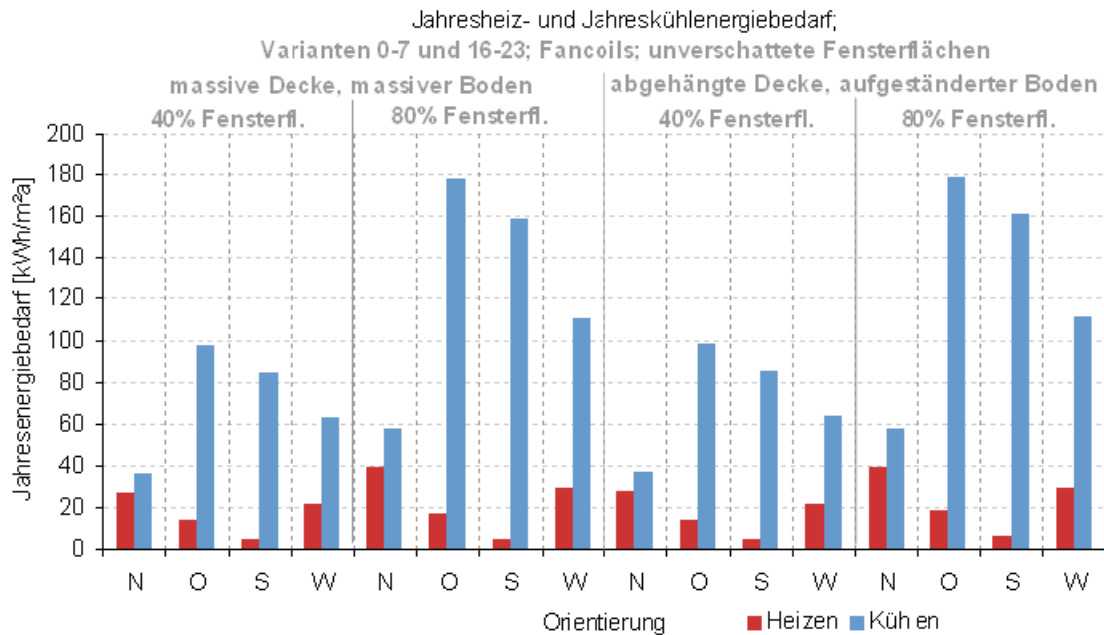


Abbildung 1: Vergleich des spezifischen Jahresenergiebedarfs für Heizen und Kühlen selektierter Varianten (Fan Coils, bei 40% und 80% unverschatteter Fensterflächen)

## 2.2 Ergebnisse für die Integration in das Gebäudebewertungssystem

Um neben der statischen Kennzahl „Jahresenergiebedarf“ je Variante den Vergleich zwischen massiver und leichter Bauweise bezüglich ihres thermischen Verhaltens zu veranschaulichen, wurden mehrere Variationen exemplarisch gegenübergestellt. Diese Gegenüberstellungen enthalten Temperaturprofile und Heiz- sowie Kühlbedarfsprofile der kontrastierten Varianten für 5 Tage im Sommer- und Winterfall. Daraus ist ersichtlich, dass sich massive Bauteile im Büroraum aufgrund ihrer höheren thermischen Trägheit positiv auf tägliche Temperaturschwankungen der Raumluft auswirken. Neben dieser Dämpfung kurzfristiger Temperaturänderungen der Raumluft trägt das verzögernde thermische Verhalten massiver Elemente zur Verbesserung des thermischen Benutzerkomforts im Raum bei. Dies ist anhand der Tagesprofile der operativen Raumtemperatur (Komfortparameter) gegenüber der Raumlufttemperatur ersichtlich. Die durch die Ergebnisse der Simulationen gewonnenen Erkenntnisse und Abhängigkeiten fließen indirekt über die Implementierung in die Arbeitspakete 07 und 11 in das Gebäudebewertungssystem ein.

## 2.3 Ergebnisse für die Bauwirtschaft

Massive Bauteile in Gebäuden wirken sich nicht nur passiv aufgrund ihrer dämpfenden Eigenschaften positiv auf den Innenraumkomfort aus, sondern können darüber hinaus aktiv als speicherfähige Schnittstelle zwischen Heiz- bzw. Kühlsystem und dem Innenraum genutzt werden. Mittels intelligenter Regelung solcher thermisch aktivierter Bauteile können zeitliche Diskrepanzen zwischen Energieangebot und Energienachfrage überbrückt werden.

Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen liefern Stakeholdern der Bauindustrie eine wissenschaftlich fundierte Entscheidungshilfe bezüglich der energetischen und ökologischen Vor- und Nachteile verschiedener Bauweisen (Massiv- bzw. Leichtbau).

## 3 Inhaltliche Darstellung

### 3.1 Stand der Technik

Untersuchungen des Einflusses massiver Speichermassen in einem Bürogebäude im Projekt COOLSAN<sup>1</sup> haben ergeben, dass die thermische Trägheit massiver Bauteile im Gebäude spontane Temperaturänderungen puffern kann und somit die Innenraumlufttemperatur in ihrem Tagesverlauf glättet. Weiters zeigt sich, dass der positive Effekt größerer Speichermassen nur dann im ganzen Ausmaß genutzt werden kann, wenn die Gebäudetechnik gezielt darauf abgestimmt ist. Eine spezifische Nutzung thermischer Speichermassen ist durch die thermische Bauteilaktivierung möglich. Dabei ist wiederum die Einbindung der aktiven Gebäudestruktur als Energieverteilssystem mit seinen charakteristischen Eigenschaften in das Heiz- und Kühlsystem wesentlich. Die intelligente Kopplung eines trägen Systems der Bauteilaktivierung mit spontan regelbaren Systemen wie zum Beispiel Induktionsgeräte ist dabei von wesentlicher Bedeutung.

Zur sinnvollen Implementierung massiver Speichermassen in aktiver als auch passiver Form in das System Gebäude ist daher insbesondere die Kenntnis über das thermische Verhalten der Gebäudehülle in verschiedenen Situationen erforderlich. Dieses Verhalten kann mittels thermischer Gebäudesimulation dynamisch ermittelt und für spezifische Anwendungen konkretisiert werden.

Die thermische Gebäude- und Anlagensimulation ist ein wesentliches Werkzeug um Einflüsse von verschiedensten Parametern auf den Energiebedarf, bzw. den Komfort in Gebäuden zu untersuchen. Die Gebäudesimulation bietet die Möglichkeit in den verschiedensten Planungsphasen eines Gebäudes bzw. einer Anlage die gewünschten Informationen in relativ geringem Zeitaufwand zu generieren. Eine adäquate Methode zur Bestimmung des energetischen Verhaltens eines Gebäudes ist die Modellierung in Luftknoten, welche über transiente Energieströme, Stoffströme und radiativen Austausch mit der Umgebung verknüpft werden. Eine solche Methode bietet die Simulationsumgebung TRNSYS 16.1.

Viele Untersuchungen bezüglich des Energiebedarfs bzw. Komfortverhaltens von Gebäuden behandeln individuelle Problemstellungen und lassen daher keine allgemeine Vergleichbarkeit verschiedener Parameter eines Gebäudemodells zu. In der Konzeptsammlung ClimaSkin<sup>2</sup> zeigt eine Vielzahl an Studien, dass verschiedenste Parameter bezüglich der Gebäudehülle einen wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf und den Innenraumkomfort haben. Die Kombination verschiedener Parameter in verschiedenen Abstufungen generiert daher eine große Zahl an Varianten und kann darüber hinaus nicht beliebig verglichen werden.

---

<sup>1</sup> „COOLSAN Kältetechnische Sanierungskonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude“ AEE Intec Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie; Berichte aus Energie- und Umweltforschung 25/2005

<sup>2</sup> „ClimaSkin Konzepte für Gebäudehüllen, die mit weniger Energie mehr leisten“ Gerhard Hauslagen et al.

## 3.2 Verlauf des Arbeitspakets

Grundlage und Input für das Arbeitspaket 08 stellt die Variantendefinition eines einfachen Büroraumes dar, welche zusammen mit den Arbeitspaketen 07 und 11 erarbeitet wurde. Das dreidimensionale geometrische Modell dieses Raumes ist in Abbildung 2 ersichtlich. Aus dieser Variantendefinition, welche neben unveränderlichen Parametern des zu untersuchenden Büroraumes auch fünf variierte Parameter enthält, wurden 96 virtuelle Prototypen definiert. Diese wurden im späteren Projektfortschritt um 12 erweitert. Basierend auf diesen Definitionen und dem Baustandard entsprechenden Werten wurden die virtuellen Prototypen in der Simulationsumgebung TRNSYS 16.1 generiert und simuliert. Die Ergebnisse dieser Simulationen sind in den Zielgrößen:

- spezifischer Jahresheizenergiebedarf
- spezifischer Jahreskühlenergiebedarf
- Jahresprofile der Raumlufttemperatur und der operativen Temperatur
- Jahresprofil des Heiz- und Kühlbedarfs
- Überschreitungsstunden der Raumlufttemperatur

für alle 108 Varianten des Büroraumes dargestellt.

Die spezifischen Jahresenergiekennzahlen sowie die Überschreitungsstunden für jede Variante sind in Ergebnistabellen zusammengefasst, die Jahresprofile für Temperaturen sind als exemplarische Vergleichsdiagramme für konkrete Varianten in einem Zeitabschnitt von 5 Tagen für jeweils den Sommer- und Winterfall dargestellt.

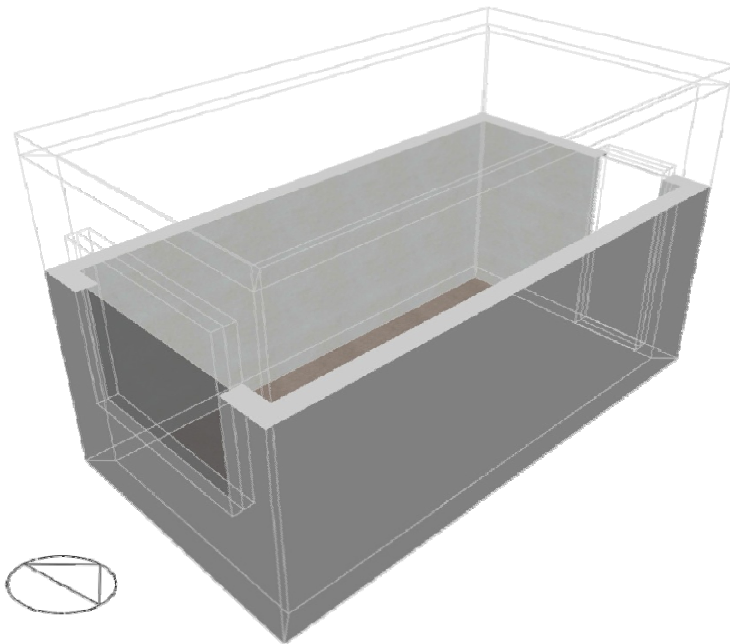


Abbildung 2: Betrachtete Zone - Büroraum

### 3.3 Variantendefinition

Das Basissimulationsmodell enthält 5 Kenngrößen die im Zuge der Untersuchungen verändert wurden. Die veränderten Parameter des Simulationsmodells sind in Tabelle 1 angeführt. Sämtliche 108 Varianten sind in der Ergebnisdarstellung zusammengefasst.

Tabelle 1: Variierte Gebäudeparameter des Simulationsmodells

Parameter	Anzahl Varianten	Beschreibung
Fensterflächenanteil	2 (3)	40% und 80% (+ 100% für ausgewählte Varianten)
Orientierung	4	Nord, Ost, Süd, West
Ext. Verglasung, Verschattung	2	g-Wert der gesamten Verglasung: 0,2 und 0,62
Bauweise	3	Abgehängte Decke und aufgeständerter Boden; Massive Decke und massiver Boden; Abgehängte Decke und massiver Boden
Wärme- und Kältebereitstellung	3	Fan Coils; thermische Bauteilaktivierung; Kühlsegel

Die haustechnischen Anlagen zur Abdeckung der erforderlichen Heiz- bzw. Kühllast in der Simulation sind in Abbildung 3 dargestellt. Diese Energieverteilssysteme wurden so modelliert, dass ihre Nennleistung möglichst der Standardapplikation im gegebenen Raum entspricht. Aufgrund erheblicher Unterschiede des zeitlichen und thermischen Verhaltens der drei modellierten Systeme sind die daraus resultierenden Ergebnisse ausschließlich unter Beachtung dieses Gesichtspunkts zu bewerten und zu vergleichen.

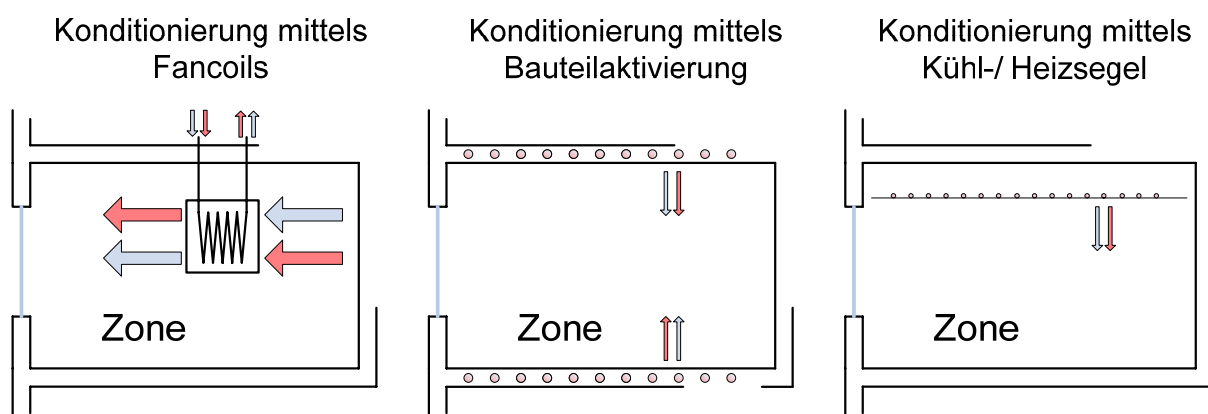


Abbildung 3: In den Simulationen verwendete TGA-Systeme

## 3.4 Dynamische Simulation und Ergebnisse

### 3.4.1 Umgebungsbedingungen

Zur Durchführung der dynamisch-thermischen Simulation wurden einige Randbedingungen definiert bzw. Annahmen getroffen. In Tabelle 2 sind die Ausgangsparameter aller simulierten Varianten aufgelistet.

Tabelle 2: Randbedingungen des Simulationsmodells

Innenabmessungen	B x H x T (2,5m x 3m x 5m)
U-Wert Außenwand	0,2 W/m <sup>2</sup> K
U-Wert Fenster	1,1 W/m <sup>2</sup> K
Wetterdatensatz	ZAMG Messwerte: Wien 2003
Heizgrenzlufttemperatur	20°C
Kühlgrenzlufttemperatur	26°C
Infiltration	0,2 Luftwechsel [Raumvolumen/h]
Betriebszeit	Mo-Fr: 8-18 Uhr
Luftwechsel	2-fach * Betriebszeit
Interne Lasten	21 W/m <sup>2</sup> * Betriebszeit
Wärmerückgewinnung	Rein sensibel; während Betriebszeit
Rückwärmezahl	0,6 [-]

Eine der wichtigsten Eingangsgrößen für die dynamische Gebäudesimulation stellen stündliche Wetterdaten des Standortklimas dar, an dem das Modell untersucht werden soll. Als Wetterdatensatz für die hier durchgeführten Simulationen (Stundenwerte für Außenlufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Direkt- sowie Globalstrahlung auf die Horizontalebene) wurden die Messdaten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik am Standort Wien, Hohe Warte des Jahres 2003 verwendet. Diese Wetterdaten enthalten einen für diese Region besonders warmen Sommer und stellen einen ungünstigen Fall bezüglich der Kühlsaison dar. In Abbildung 4 ist der für die Simulation verwendete Jahrestemperaturverlauf grafisch dargestellt.

Weitere wichtige Eingabeparameter sind interne thermische Lasten, die direkt Einfluss auf die Energiebilanz der Zone nehmen. Diese Lasten des Büros sind in latente und sensible Personenabwärme, Beleuchtungs- und Geräteabwärme aufgeteilt und an Zeitprofile gekoppelt. Hier sind die Lasten nur an Wochentagen zu Bürozeiten von 8:00 Uhr bis 18:00 Uhr aktiv. (siehe Abbildung 5)

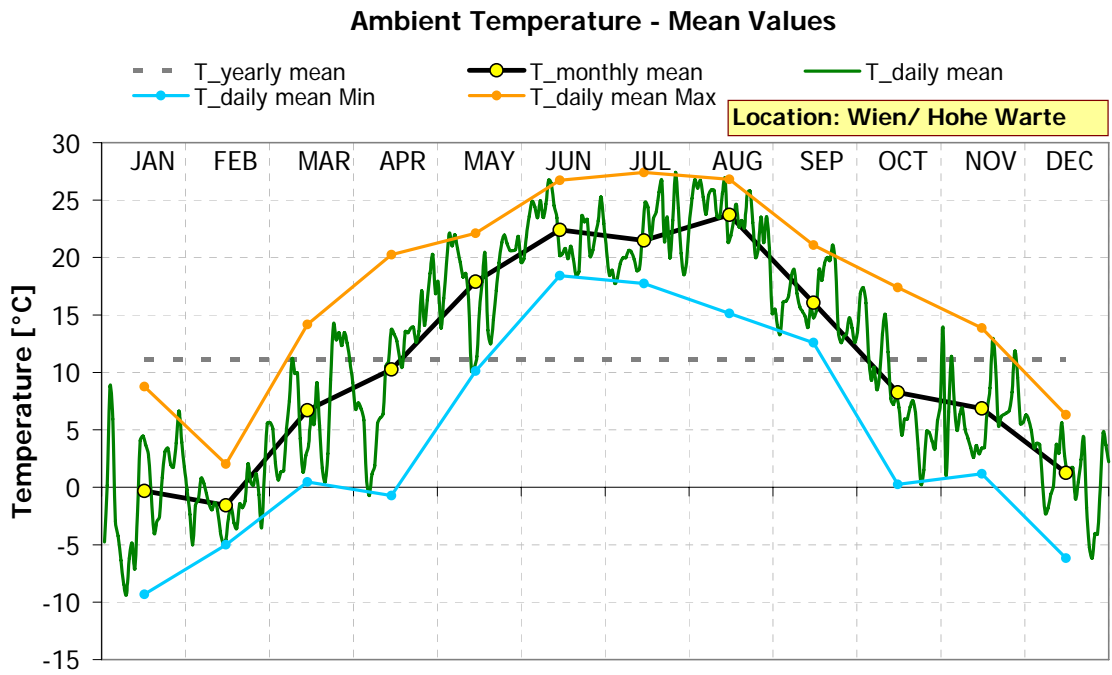


Abbildung 4: Auswertung der Messdaten am Standort Wien/ Hohe Warte aus 2003 (Tagesmitteltemperaturen)

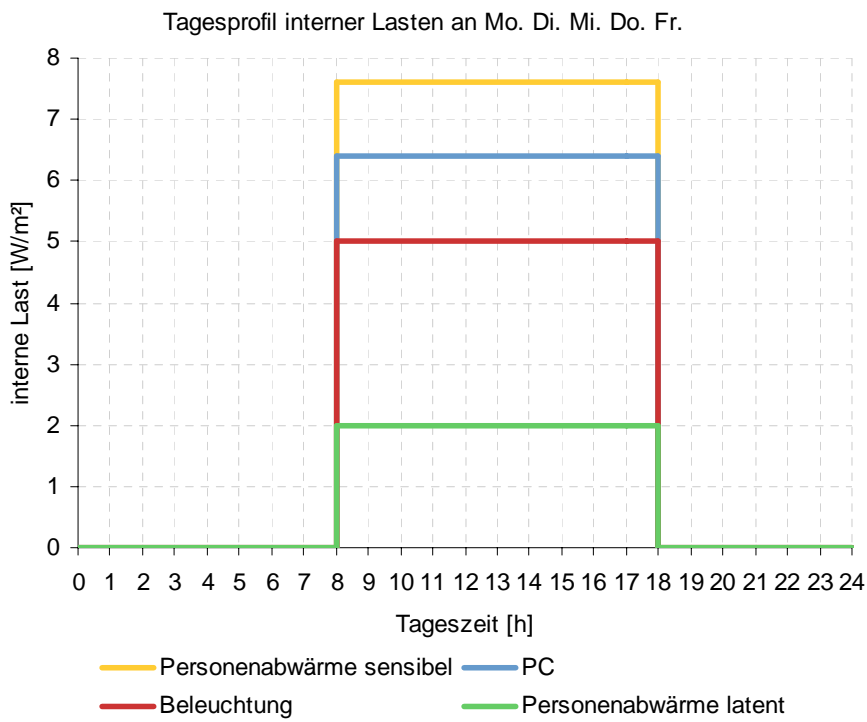


Abbildung 5: Betriebsprofil der internen Lasten

Das Basissimulationsmodell enthält 5 Kenngrößen die im Zuge der Untersuchungen verändert werden. Die veränderten Parameter des Simulationsmodells wurden in Abschnitt 3.3 bereits ausführlich erläutert.

Die U-Werte der Wand-, Boden- und Deckenkonstruktion bleiben in den verschiedenen Varianten gleich, lediglich die einzelnen Aufbauten wurden so verändert, dass der Innenseite des Bauelements Schichten mit großer oder geringer Speichermassen enthalten sind. Eine Aufstellung der verwendeten Konstruktionen und Materialeigenschaften ist in Tabelle 3 zu finden.

Tabelle 3: Aufbau der in den Varianten verwendeten Bauteile

Element	Schicht	[m]	[kg/m³]	[W/mK]	[kJ/kgK]	[W/m²K]
		Schichtdicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit	spez. Wärmekapazität	U-Wert
Decke massiv	Innenputz	0,01	1800	0,87	0,90	0,833
	Stahlbeton	0,25	2400	2,20	0,84	
	Wärmedämmung	0,03	25	0,04	1,47	
	Estrich	0,06	2000	1,40	1,00	
	Unterlage	0,001	700	0,08	1,00	
	Parkett	0,02	800	0,20	1,00	
Boden massiv	Parkett	0,02	800	0,20	1,00	0,833
	Unterlage	0,001	700	0,08	1,00	
	Estrich	0,06	2000	1,40	1,00	
	Wärmedämmung	0,03	25	0,04	1,47	
	Stahlbeton	0,25	2400	2,20	0,84	
	Innenputz	0,01	1800	0,87	0,90	
Außenwand	Innenputz	0,01	1800	0,87	0,90	0,201
	Hochlochziegel	0,3	1000	0,45	1,00	
	Wärmedämmung	0,16	25	0,04	0,90	
	Außenputz	0,02	1800	0,87	0,90	
Innenwand	Innenputz	0,01	1800	0,87	0,90	0,839
	Hochlochziegel	0,08	1000	0,45	1,00	
	Dämmung	0,025	25	0,04	0,90	
	Hochlochziegel	0,08	1000	0,45	1,00	
	Innenputz	0,01	1800	0,87	0,90	
Decke TABS	Innenputz	0,01	1800	0,87	0,90	0,833
	Stahlbeton	0,125	2400	2,20	0,84	
	Bauteilaktivierung		1000	-	-	
	Stahlbeton	0,125	2400	2,20	0,84	
	Wärmedämmung	0,03	25	0,04	1,47	
	Estrich	0,06	2000	1,40	1,00	
	Unterlage	0,001	700	0,08	1,00	
	Parkett	0,02	800	0,20	1,00	
Boden TABS	Parkett	0,02	800	0,20	1,00	0,833
	Unterlage	0,001	700	0,08	1,00	
	Estrich	0,06	2000	1,40	1,00	
	Wärmedämmung	0,03	25	0,04	1,47	
	Stahlbeton	0,125	2400	2,20	0,84	
	Bauteilaktivierung		1000	-	-	
	Stahlbeton	0,125	2400	2,20	0,84	
	Innenputz	0,01	1800	0,87	0,90	
Decke abgehängt	Gipskartonplatte	0,025	900	-	-	0,815
	Luftschicht		1	-	-	
	Stahlbeton	0,25	2400	2,20	0,84	
	Wärmedämmung	0,02	25	0,04	1,47	
	Estrich	0,06	2000	1,40	1,00	
	Unterlage	0,001	700	0,08	1,00	
Decke inkl Kühlsegel	Parkett	0,02	800	0,20	1,00	0,811
	Heiz- und Kühlsegel		1000	-	-	
	Luftschicht		1	-	-	
	Stahlbeton	0,25	2400	2,20	0,84	
	Wärmedämmung	0,025	25	0,04	1,47	
	Estrich	0,06	2000	1,40	1,00	
	Unterlage	0,001	700	0,08	1,00	
Boden aufgeständert	Parkett	0,02	800	0,20	1,00	0,803
	Luftschicht		1	-	-	
	Unterlage	0,001	700	0,08	1,00	
	Estrich	0,06	2000	1,40	1,00	
	Wärmedämmung	0,025	25	0,04	1,47	
	Stahlbeton	0,25	2400	2,20	0,84	
	Innenputz	0,01	1800	0,87	0,90	

Element	[W/m²K]	[1]
	U-Wert	g-Wert
Fenster	1,1	0,63



### 3.4.3 Gegenüberstellung exemplarischer Varianten

Abbildung 6 zeigt einen, bezüglich des Energiebereitstellungssystems, selektierten Vergleich zwischen Massiv- und Leichtbau. Dieser stellt den Massivbau (die linken 8 Varianten) mit dem Leichtbau (die rechten 8 Varianten) gegenüber. Das bedeutet, dass in dieser Grafik die die ersten acht mit den folgenden acht Varianten verglichen werden. (Beispiel: Variante 0 mit Variante 16, oder Variante 3 mit Variante 19) Daraus ist ersichtlich, dass die erforderliche Leistung zur Deckung des maximalen Heiz- und Kühlbedarfs des Raumes in allen Massivbaufällen niedriger als im Leichtbau ist.

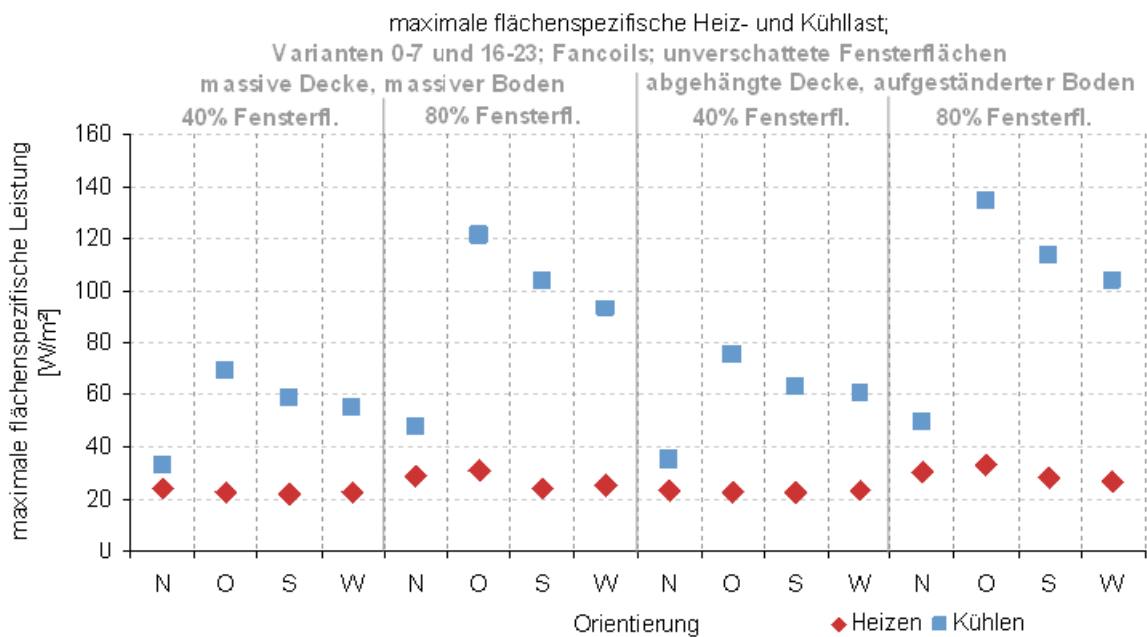


Abbildung 6: Vergleich der maximalen, flächenspezifischen Heiz- und Kühllasten der Varianten 0-7 und 16-23 (Fan Coils, bei 40% und 80% unverschatteter Fensterflächen)

Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen die sortierte Kühllast für die Massiv- und Leichtbauvarianten der Varianten 1, 17, 97 und 100. Daraus ist ersichtlich, dass aufgrund der thermischen Trägheit der massiven Bauteile die Spitzenkühllasten niedriger als bei leichten Bauelementen ausfallen. Dies bewirkt, dass der Kühlbedarf länger auf einem niedrigeren Leistungsniveau bleibt. Zusammenfassend ist daraus zu erkennen, dass im Massivbau die Kühllastkurven geglättet werden; die aufzubringende Kühlenergie wird auf einen längeren Zeitraum verteilt.

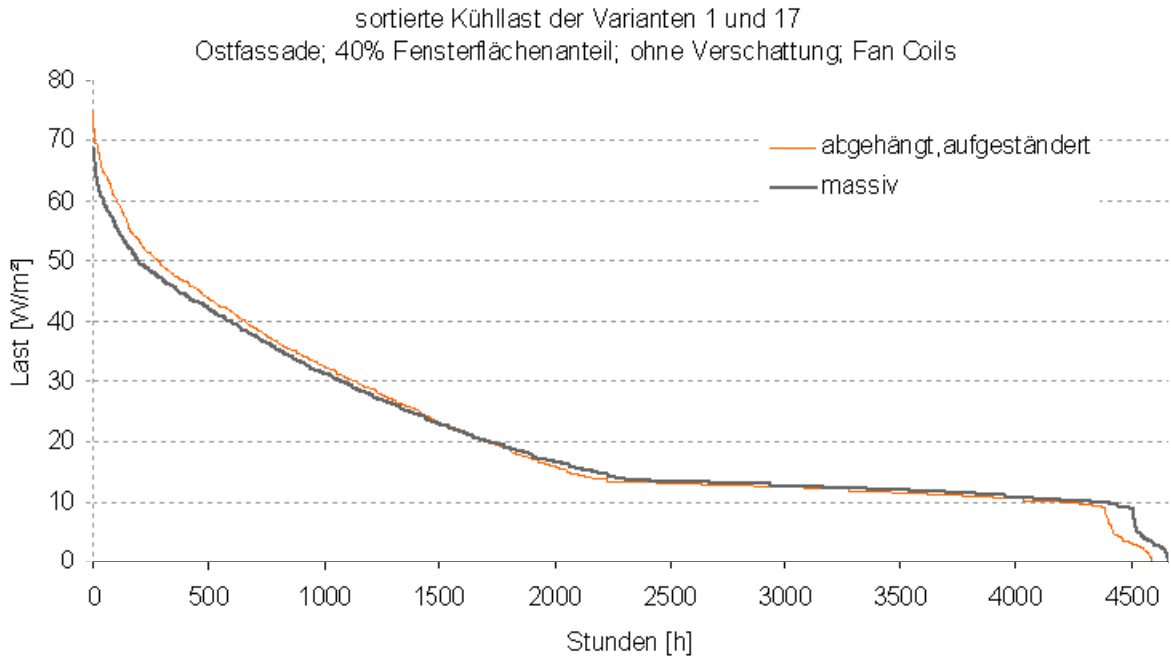


Abbildung 7: Vergleich der sortierten Kühlleistungen der Varianten 1 und 17

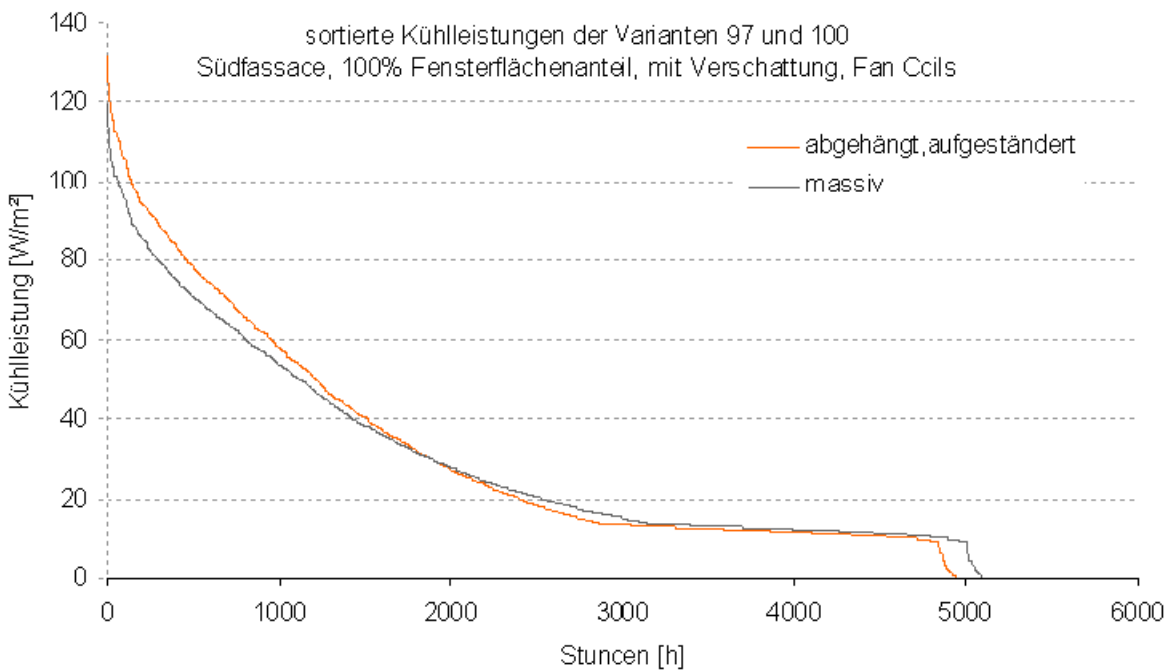


Abbildung 8: Vergleich der sortierten Kühlleistungen der Varianten 97 und 100

Abbildung 9 zeigt die gleiche Gegenüberstellung für weitere 12 der 108 untersuchten Varianten. Diese sind aus den zusätzlichen Untersuchungen des Simulationsmodells bei 100% Fensterflächenanteil für alle Bauarten, Energiebereitstellungssysteme und Verschattungsarten bei gleichbleibender Orientierung (Süden) generiert worden. Wesentlich dabei ist der Vergleich der Varianten 96/100, 97/101, 98/104 und 99/105. Diese stellen die Massiv- und Leichtbauweisen bei ansonsten gleichen Randbedingungen gegenüber. Diese zeigen, dass aufgrund der Massivbauweise in Variante 100 der Jahresheizenergiebedarf um 36% niedriger als in Variante 96 ist. Der Jahreskühlenergiebedarf ist aufgrund der höheren Speichermassen in Variante 101 um 8% geringer, als in der Vergleichsvariante 97.

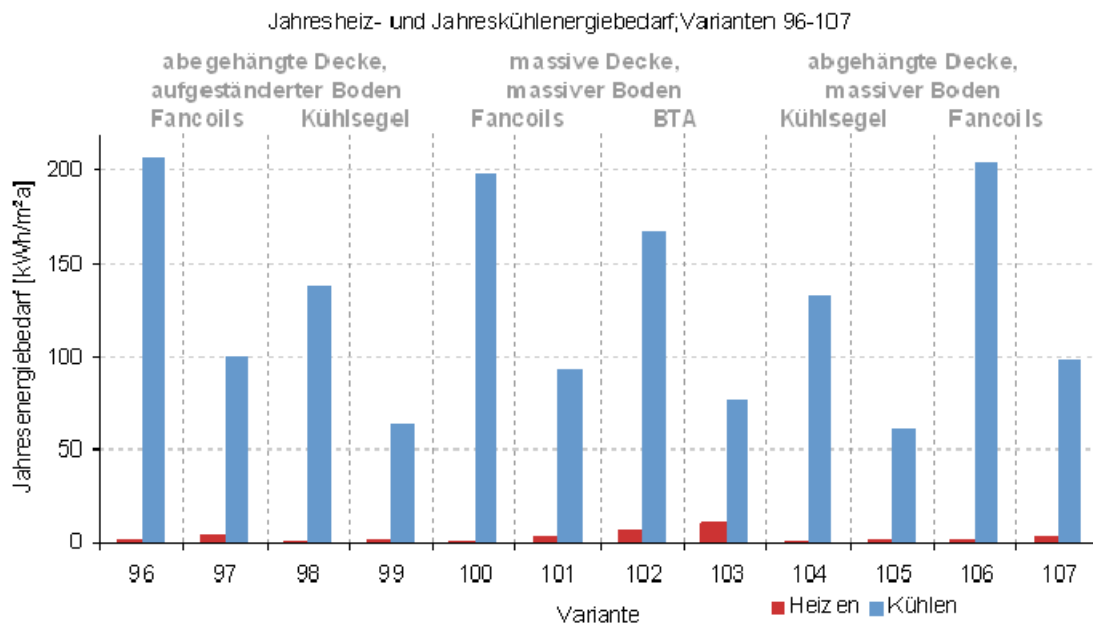
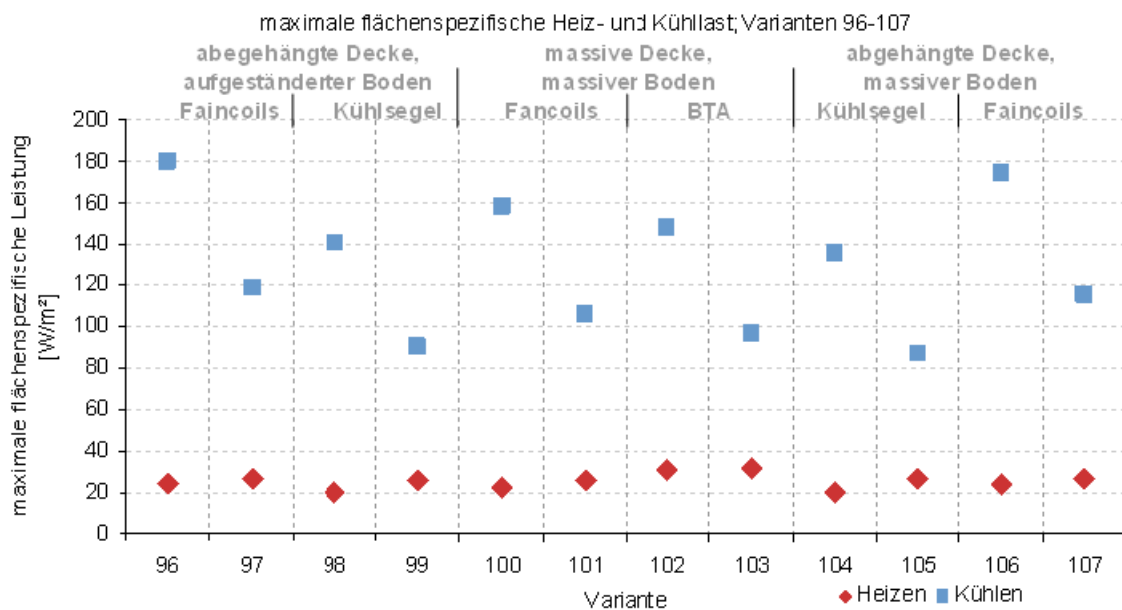


Abbildung 9: Vergleich der maximalen, flächenspezifischen Heiz- und Kühllasten und dem Jahresenergiebedarf für Heizen und Kühlen der Varianten 96-107 (Fan Coils, bei 40% und 80% unverschatteter Fensterflächen)

#### **3.4.4 Verlauf Raumlufttemperatur und operative Temperatur**

Für die 108 simulierten Varianten wurden die Stundenwerte der Raumlufttemperatur, der operativen Temperatur sowie des Heiz- und Kühlbedarfs über den Simulationszeitraum eines Jahres aufgezeichnet. Zur übersichtlichen Darstellung dieser Ergebnisse wurden die Zeitreihen dieser Parameter nicht in je einem Jahresprofil, sondern in 5-Tagesprofilen für den Sommer und Winterfall dargestellt. Diese Diagramme sind für mehrere exemplarische Vergleiche zwischen je zwei Varianten aufgestellt.

Abbildung 10 bis Abbildung 14 zeigen solche Gegenüberstellungen. In Abbildung 11 und Abbildung 14 ist im Sommer an den beiden letzten dargestellten Tagen in beiden Varianten die Kühlung aktiv. Dies ist deutlich an den abgeflachten Raumlufttemperaturen zu sehen. In den Varianten mit massiver Bauweise bleibt neben der, aufgrund der Kühlung auf 26°C begrenzten, Raumlufttemperatur auch die operative Temperatur (aussagekräftiger für die Beurteilung des Komforts im Raum da diese der vom Menschen gefühlten Temperatur entspricht) unter den operativen Temperaturen der Leichtbauvarianten. In der Leichtbauvariante steigt die operative Temperatur auf 28°C, da sich die Raumumschließungsflächen im Gegenteil zum Massivbau schneller aufwärmen. Aufgrund dessen ist im Massivbau der stündliche Kühlenergiebedarf niedriger und etwas gleichmäßiger. Die thermische Trägheit wirkt sich auf die maximal erforderliche Kühllast des Systems positiv aus. Im Winter zeigen sich die gleichen Effekte. Die Trägheit der massiveren Elemente dämpft den täglichen Verlauf der Raumlufttemperaturen und vor allem der operativen Temperaturen. Wie in Abbildung 14 ersichtlich reagiert die Variante Massivbau langsamer auf nächtliche Auskühlung und Überwärmungen tagsüber.

Abbildung 10 zeigt die Varianten 1 und 17. Die Massivbauvariante zeigt im Sommer- als auch im Winterfall geringere tägliche Temperaturschwankungen und reduzierte Kühl- und Heizleistungen.

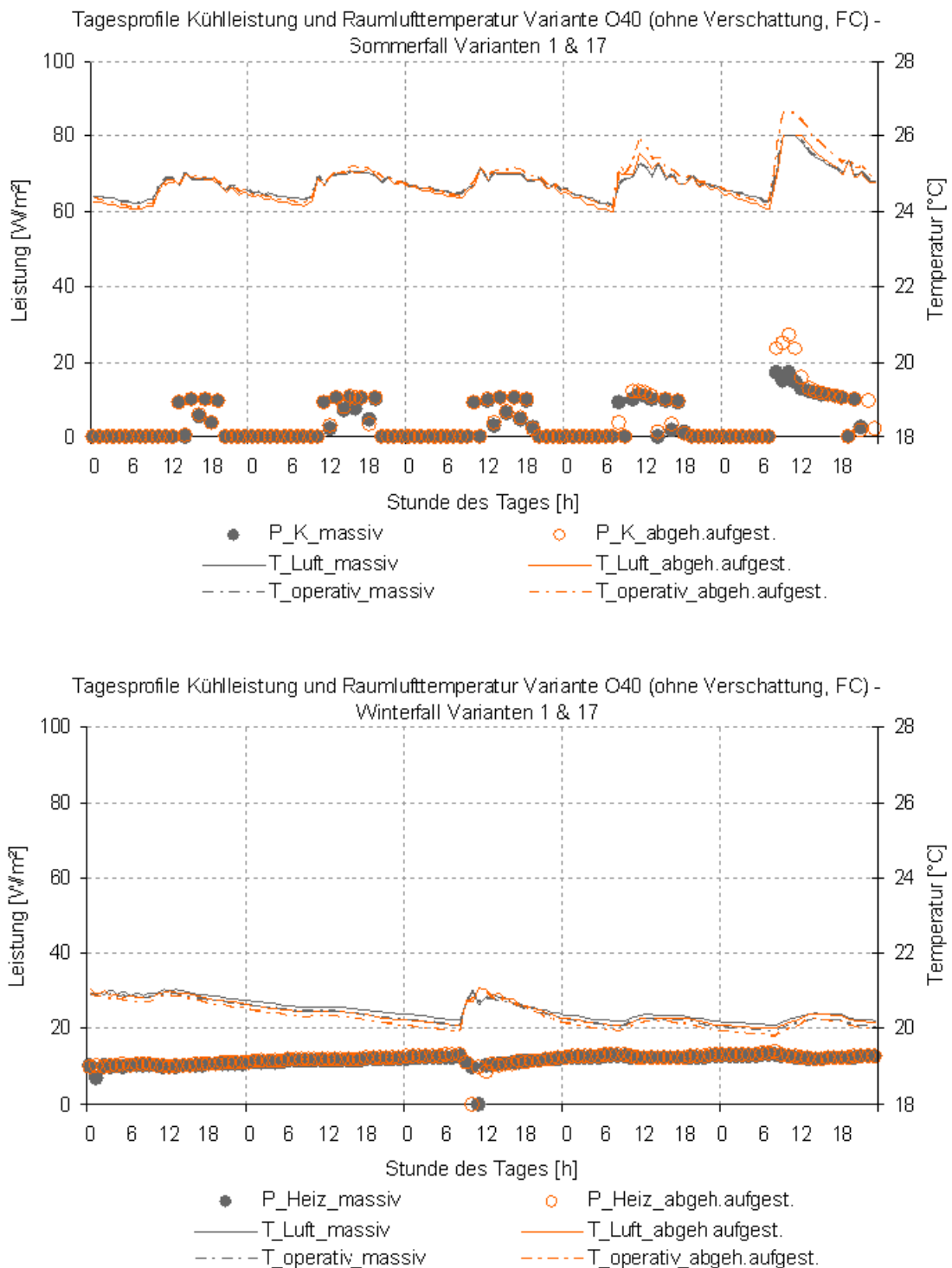


Abbildung 10: Vergleich der Varianten 1(leicht) und 17(massiv) Ostfassade mit 40% Fensteranteil, ohne Verschattung, Fan-Coils

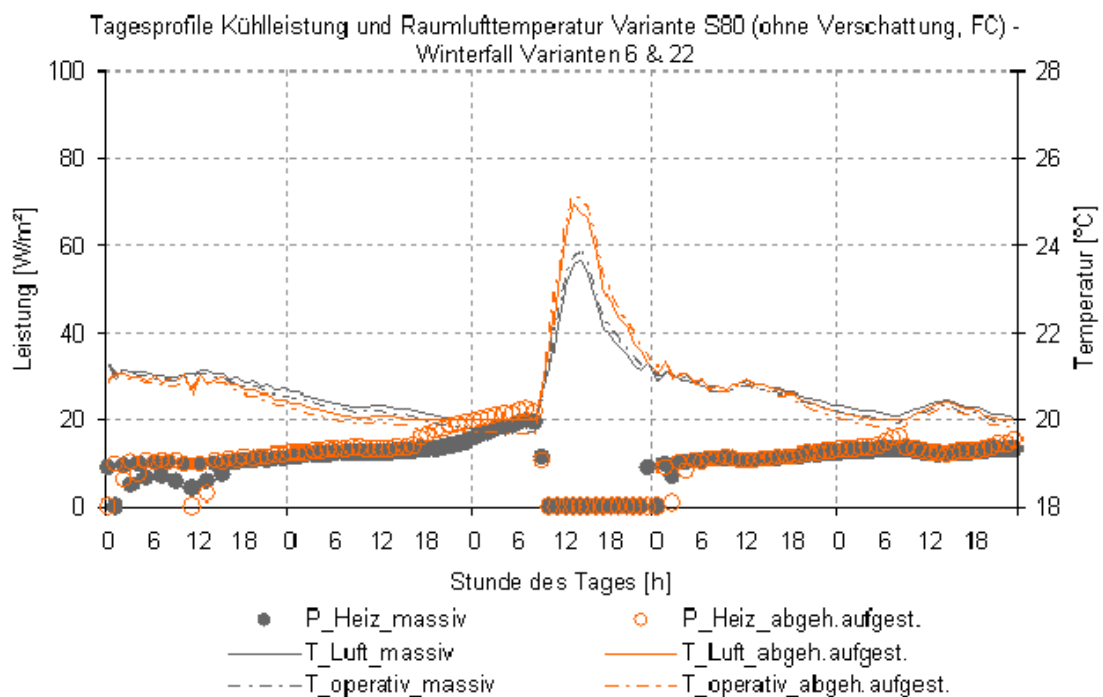
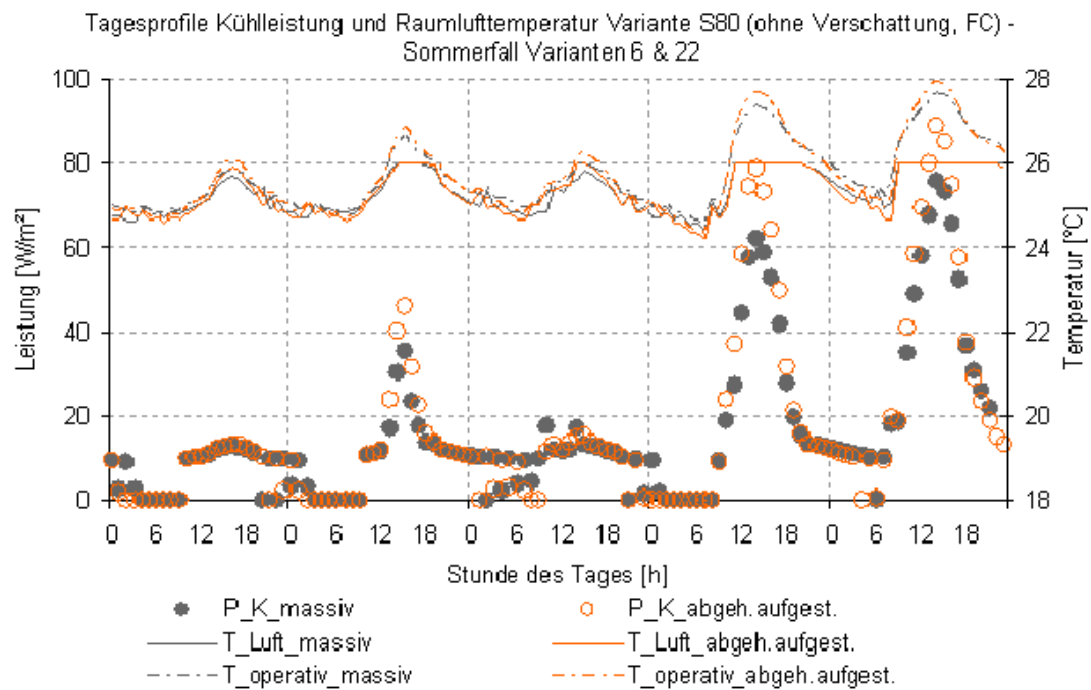


Abbildung 11: Vergleich der Varianten 6 (leicht) und 22 (massiv): Südfassade mit 80% Fensteranteil, ohne Verschattung, Fan Coils

Abbildung 12 zeigt einen Vergleich zwischen Massiv- und Leichtbau mit unterschiedlichen Energiebereitstellungssystemen. In Variante 52 (Massivbau) ist eine thermische Aktivierung der massiven Bauteile modelliert. In Variante 68 (Leichtbau) wurden Kühlsegel modelliert. Die unterschiedliche Betriebsweise der zwei Systeme ist in der Abbildung des Sommerfalls

deutlich zu erkennen. Die Bauteilaktivierung wird unabhängig von der Überschreitung der Raumlufttemperatur täglich aktiviert. Dadurch ist die Raumlufttemperatur über das gesamte Temperaturprofil um etwa 1°C niedriger. Dieser Vorteil kann aufgrund der größeren thermischen Speichermasse im Massivbau mit geeigneten Systemen genutzt werden.

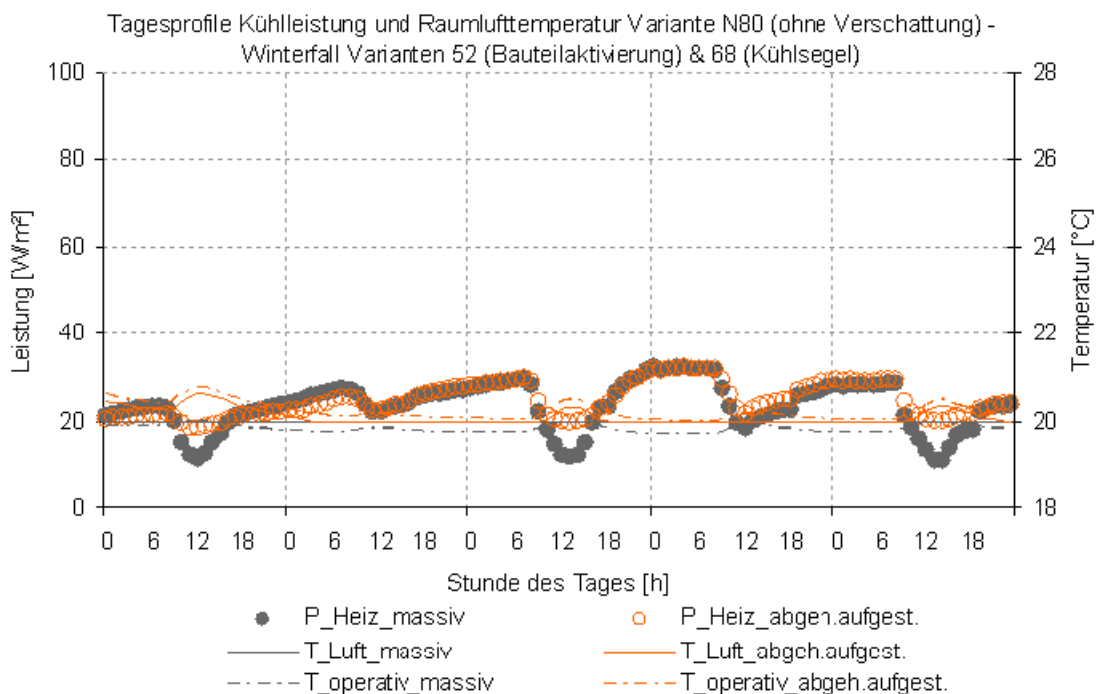
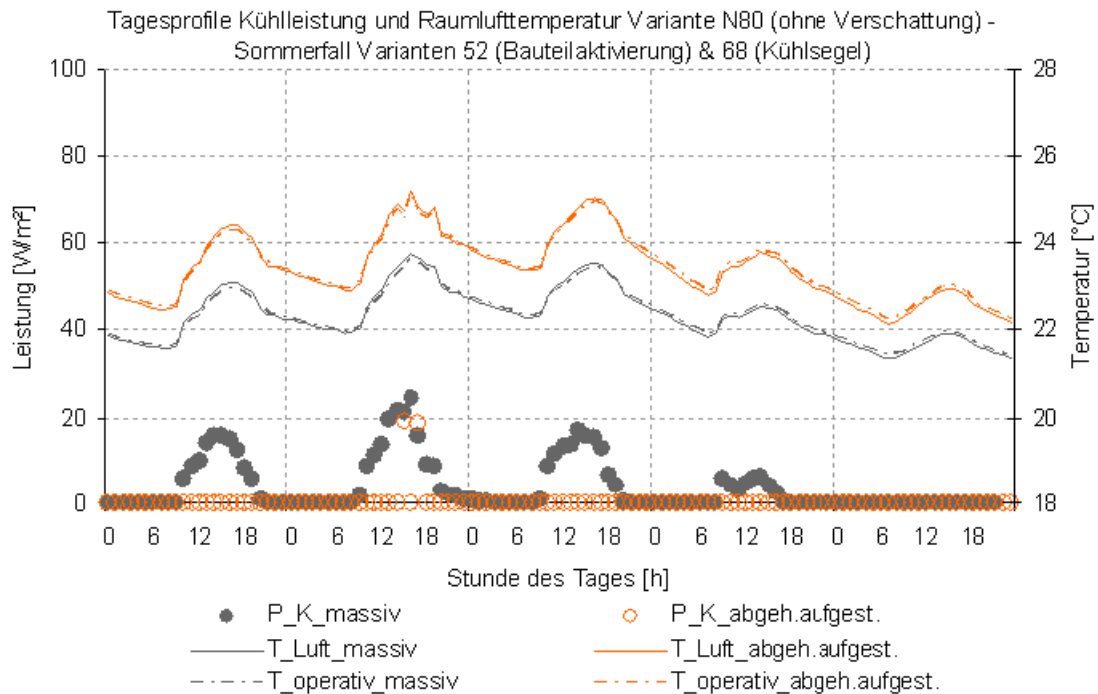


Abbildung 12: Vergleich der Varianten 52 (Massivbau mit Bauteilaktivierung) und 68 (Leichtbau mit Kühlsegel): Nordfassade mit 80% Fensteranteil, ohne Verschattung

Abbildung 13, wie auch Abbildung 14, zeigen, dass sich die massiven Speichermassen vor allem in den Varianten mit hoher sommerlicher Wärmelast positiv auf die täglichen Temperaturschwankungen auswirken. Die korrespondierenden Kühllasten zu den jeweiligen Zeitpunkten fallen ebenfalls geringer aus und können gegebenenfalls in geringere erforderliche maximale Anlagenleistungen bei gleicher Deckung des Kühlbedarfs resultieren.

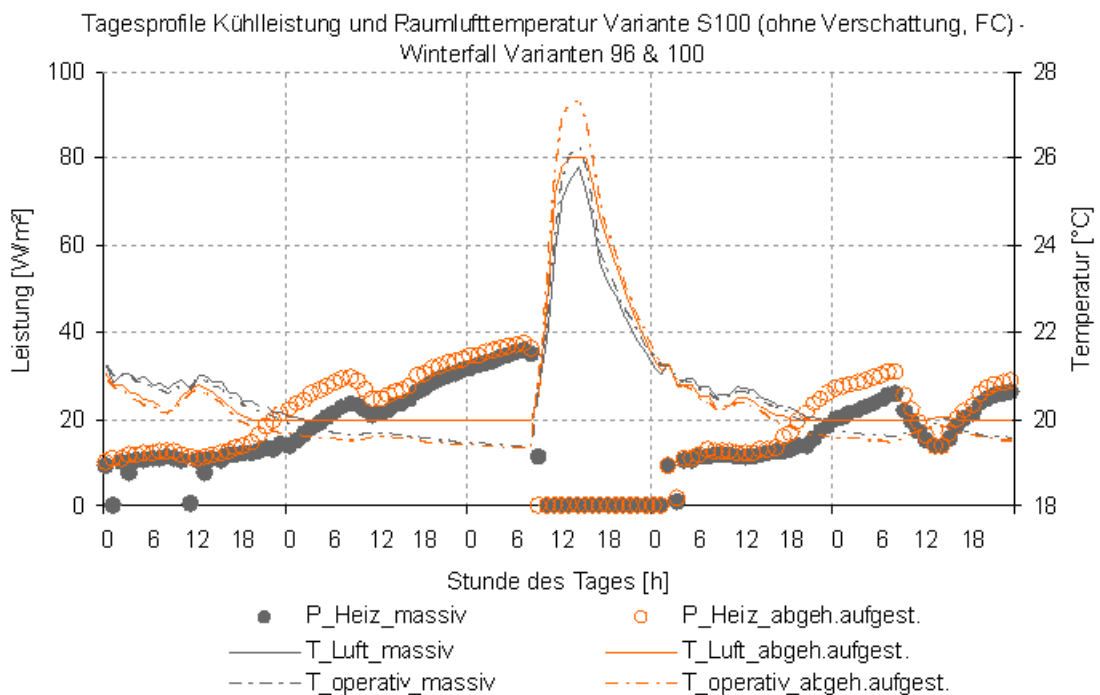
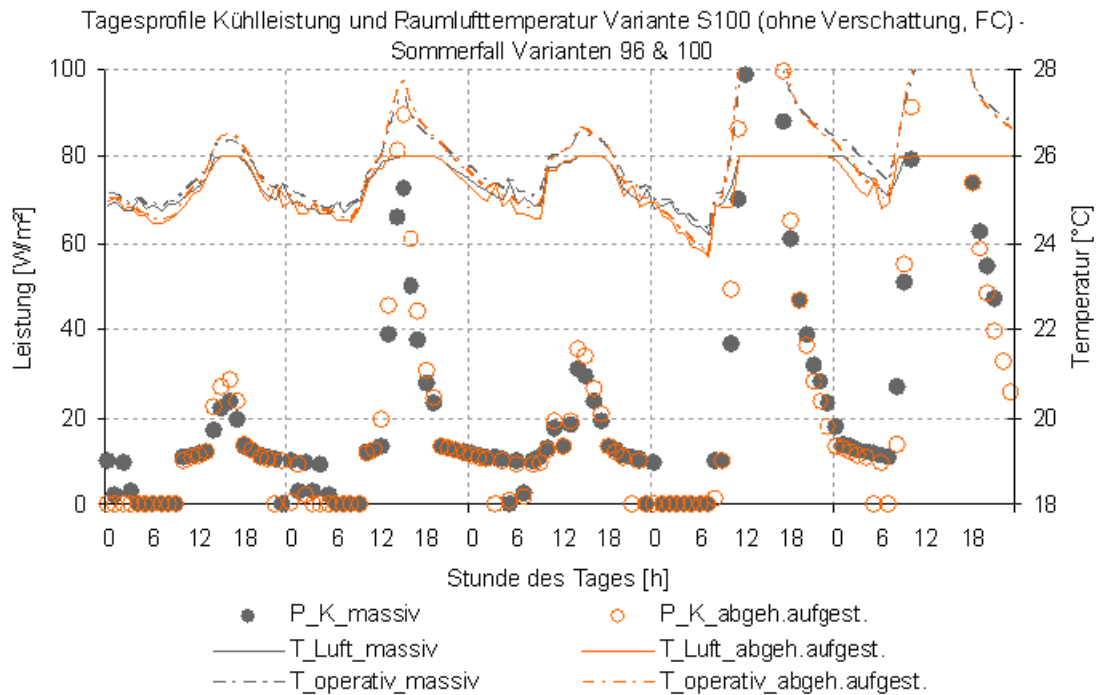


Abbildung 13: Vergleich der Varianten 96 (leicht) und 100 (massiv): Südfassade mit 100% Fensteranteil, ohne Verschattung, Fan Coils

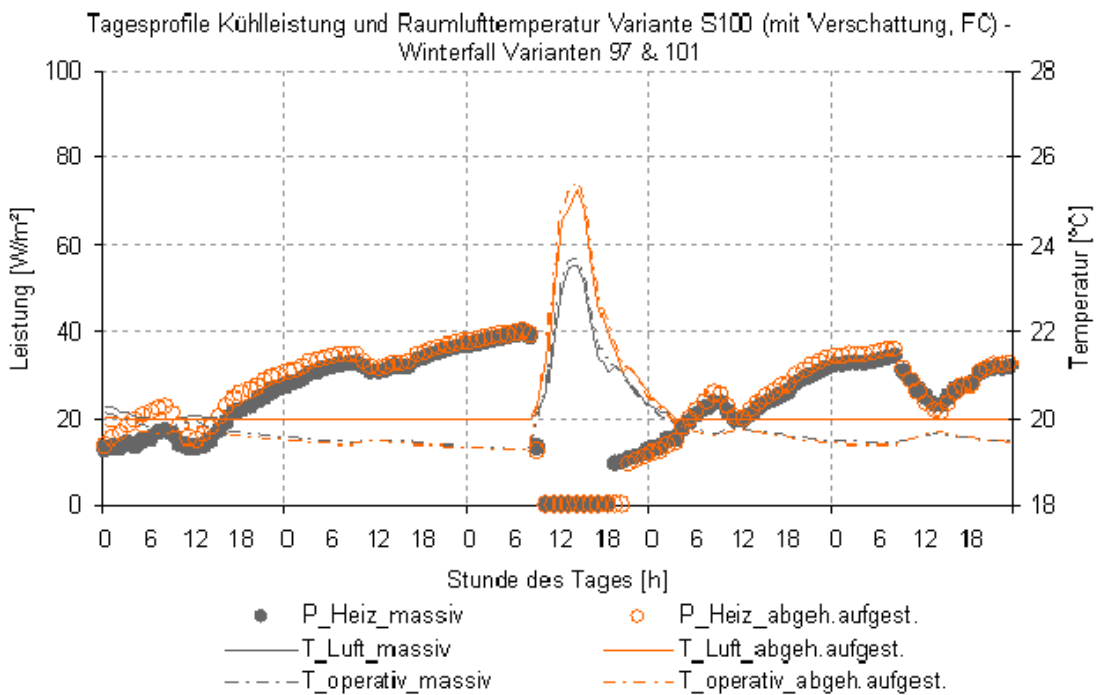
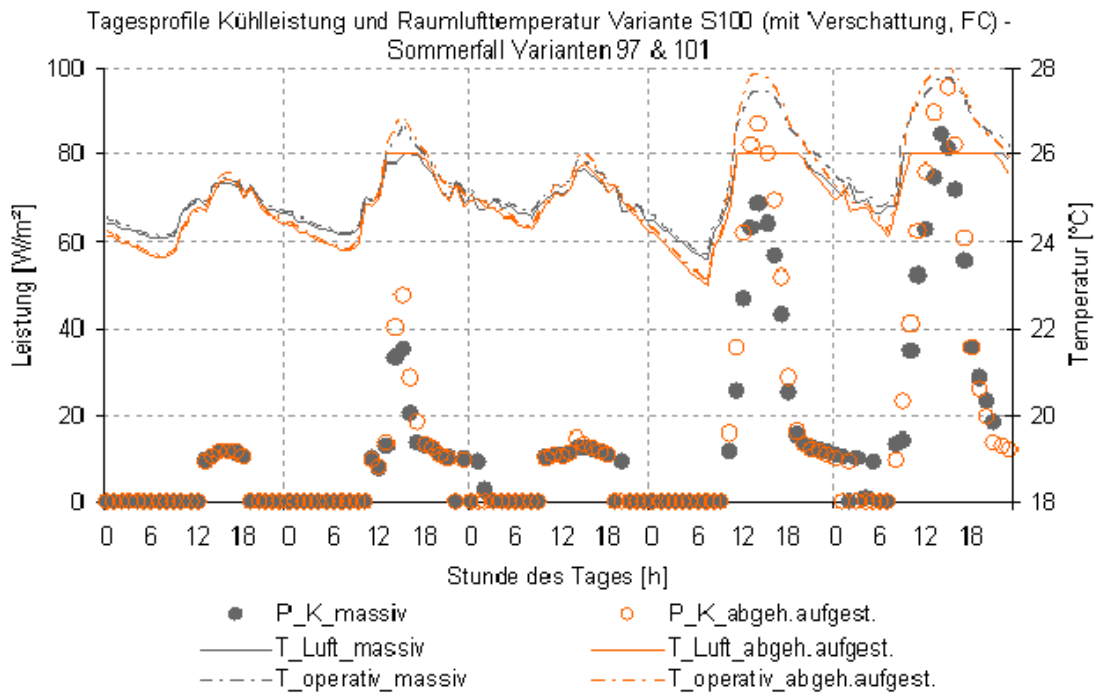


Abbildung 14: Vergleich der Varianten 97 (leicht) und 101 (massiv): Südfassade mit 100% Fensteranteil, mit Verschattung, Fan-Coils

## 4 Interpretation der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

- Die Gegenüberstellung aller Varianten mit den Jahresenergiebedarfszahlen für Heizen und Kühlen zeigt, dass durch den Einsatz massiver Konstruktionselemente im Bürobau Energie gespart werden kann.
- Wesentlicher als die Energieeinspareffekte sind die Auswirkungen der Massivbauweise auf den Raumkomfort und die Tagestemperaturprofile eines Büroraumes. Die thermische Trägheit der Raumumschließungsflächen beziehungsweise des Heiz- und Kühlelements wirkt dämpfend auf tägliche Änderungen der Raumlufttemperatur und im Besonderen auf Komfortparameter wie zum Beispiel die operative Temperatur im Raum.
- Es zeigt sich, dass neben der Wahl der Bauart, massiv oder leicht, andere Parameter eines Gebäudes wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf für Heizen und Kühlen haben. Wie in Abbildung 1 und Abbildung 6 ersichtlich, bewirken vor allem der Anteil der Fensterfläche in der Fassade, die Ausrichtung des Raumes und die Wahl einer geeigneten Verschattung eine erhebliche Variation des Jahresenergiebedarfs.
- Neben diesen Parametern hat auch die Wahl des Energiebereitstellungssystems im Raum einen Einfluss auf das thermische Verhalten und den Energiebedarf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass unterschiedliche Systeme (Fan Coils, Kühlsegel, Bauteilaktivierung, etc.) verschieden schnell den veränderlichen Heiz- oder Kühlbedarf eines Raumes decken können. Dies hat zur Folge, dass die Heiz- oder Kühllast zeitlich verschoben wird und die Raumlufttemperatur den Sollzustand zu diesem Zeitpunkt unter- oder überschreitet.
- Haustechniksysteme regeln ihre Heiz- und Kühlsysteme, wie auch in den durchgeführten Simulationen, meist raumlufttemperaturgeführt. Durch den Einsatz komforttechnischer Sensoren, welche es ermöglichen, die Heiz- und Kühlsysteme auch in Abhängigkeit der operativen Temperatur eines Raumes zu regeln, kann in Massivbauten zusätzlich Energie für Heiz- und Kühlzwecke eingespart werden.
- Aufgrund des trägeren Verhaltens von massiven, thermisch aktivierten Bauteilen können und müssen diese in anderem zeitlichen Rahmen be- und entladen werden, um den Heiz- und Kühlbedarf eines Raumes decken zu können. Neben der Erfordernis eine andere Regelstrategie zu verwenden, bedeutet dies auch den Vorteil, dass die dahinterliegenden Heiz- und Kühlanlagen niedrigere Maximalleistungen aufweisen und öfter im Nennlast- als im Teillastbetrieb gefahren werden können. Dies bedeutet niedrigere Investitionskosten für die Anlagen und Wartungskosten aufgrund besserer Auslastung.

In diesem Arbeitspaket wurden mit Hilfe der dynamisch thermischen Gebäudesimulation verschiedene Variationen eines Büroraumes untersucht. Der Fokus der Untersuchungen lag auf dem Vergleich von verschiedenen Bauschweren, d.h. verfügbaren Speichermassen. Es

wurden 108 Varianten simuliert, bei denen die Parameter Bauschwere, Ausrichtung, Fensterfläche, TGA System und Verschattung variiert wurden. Es ist somit möglich den Einfluss dieser Parameter auf Energiebedarf und Komfortparameter auf das angenommene Modell zu treffen und direkt zuzuordnen.

Es wurde gezeigt, dass der Einfluss der Speichermasse bei geeigneter Nutzung einen verringerten Effekt auf den Energiebedarf zeigt und für den Innenraumkomfort signifikante Verbesserungen bewirken kann. Weiters kann durch gezielte Aktivierung von Speichermassen und intelligente Steuerung eine Reduktion des Energiebedarfs beobachtet werden. Der im Projekt COOLSAN<sup>3</sup> gezeigte Effekt der Pufferung von Temperaturspitzen wird durch die Ergebnisse dieser Untersuchungen bestätigt. Im Gegensatz zu anderen Studien ist aufgrund der Vielzahl an simulierten Varianten mit den hier berechneten Ergebnissen ein Vergleich zwischen den Parametern möglich. Es können so die Effekte auf den Energiebedarf und thermischen Innenraumkomfort den Parametern zugeordnet und etwaige Tendenzen erkannt werden.

---

<sup>3</sup> „COOLSAN Kältetechnische Sanierungskonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude“ AEE Intec Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie; Berichte aus Energie- und Umweltforschung 25/2005

## 5 Ausblick und Empfehlungen

- Nutzung der Bauteilaktivierung um den Innenraumkomfort zu steigern und den dazu erforderlichen Energiebedarf zu reduzieren.
- Einsatz intelligenter Energiebereitstellungssysteme, welche die Speicherfähigkeit massiver Bauteile zum Ausgleich zeitlicher Diskrepanzen zwischen Energieangebot und Energiebedarf im Raum nutzen.
- Regelung der Energiesysteme auf Komfortparameter wie zum Beispiel operative Temperaturen ausweiten um thermische Effekte schwerer Bauteile effektiv nutzen zu können.

## 6 Literaturverzeichnis

Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2007; „*TRNSYS 16 a TRaNsient System Simulation program – Produktdokumentation*“; Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison

Hausladen G. et al., 2006; „*ClimaSkin – Konzepte für Gebäudehüllen, die mit weniger Energie mehr leisten*“, Georg D.W. Callwey GmbH & Co. KG, München

Blümel E. et al., 2005; „*COOLSAN – Kältetechnische Sanierungskonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude*“; BMVIT, Wien

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Variierte Gebäudeparameter des Simulationsmodells .....	14
Tabelle 2: Randbedingungen des Simulationsmodells .....	15
Tabelle 3: Aufbau der in den Varianten verwendeten Bauteile .....	18
Tabelle 4: Ergebnisse der Kombinationen .....	19

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich des spezifischen Jahresenergiebedarfs für Heizen und Kühlen selektierter Varianten (Fan Coils, bei 40% und 80% unverschatteter Fensterflächen) .....	10
Abbildung 2: Betrachtete Zone - Büroraum .....	13
Abbildung 3: In den Simulationen verwendete TGA-Systeme .....	14
Abbildung 4: Auswertung der Messdaten am Standort Wien/ Hohe Warte aus 2003 (Tagesmitteltemperaturen) .....	16
Abbildung 5: Betriebsprofil der internen Lasten .....	16
Abbildung 6: Vergleich der maximalen, flächenspezifischen Heiz- und Kühllasten der Varianten 0-7 und 16-23 (Fan Coils, bei 40% und 80% unverschatteter Fensterflächen) .....	20
Abbildung 7: Vergleich der sortierten Kühlleistungen der Varianten 1 und 17 .....	21
Abbildung 8: Vergleich der sortierten Kühlleistungen der Varianten 97 und 100 .....	21
Abbildung 9: Vergleich der maximalen, flächenspezifischen Heiz- und Kühllasten und dem Jahresenergiebedarf für Heizen und Kühlen der Varianten 96-107 (Fan Coils, bei 40% und 80% unverschatteter Fensterflächen) .....	22
Abbildung 10: Vergleich der Varianten 1(leicht) und 17(massiv) Ostfassade mit 40% Fensteranteil, ohne Verschattung, Fan-Coils .....	24
Abbildung 11: Vergleich der Varianten 6 (leicht) und 22 (massiv): Südfassade mit 80% Fensteranteil, ohne Verschattung, Fan Coils .....	25
Abbildung 12: Vergleich der Varianten 52 (Massivbau mit Bauteilaktivierung) und 68 (Leichtbau mit Kühlsegel): Nordfassade mit 80% Fensteranteil, ohne Verschattung .....	26

Abbildung 13: Vergleich der Varianten 96 (leicht) und 100 (massiv): Südfassade mit 100% Fensteranteil, ohne Verschattung, Fan Coils .....	27
Abbildung 14: Vergleich der Varianten 97 (leicht) und 101 (massiv): Südfassade mit 100% Fensteranteil, mit Verschattung, Fan-Coils .....	28