



Forschungsprojekt Climacubes

In der vergangenen Ausgabe von „foglio“ haben wir euch das Projekt „Climacubes“ der Gewerbeoberschule „Oskar von Miller“ in Meran in seinem grundsätzlichen Aufbau vorgestellt. In dieser Ausgabe stellen wir euch detaillierte Ergebnisse zum Heizenergieverbrauch vor. Für eine korrekte Interpretation der Ergebnisse waren aber noch zusätzliche Auswertungen notwendig, die wir euch ebenfalls darstellen. In der kommenden Ausgabe von „foglio“ werden wir dann genauer auf Aspekte des sommerlichen Hitzeschutzes eingehen.

Vorbemerkungen

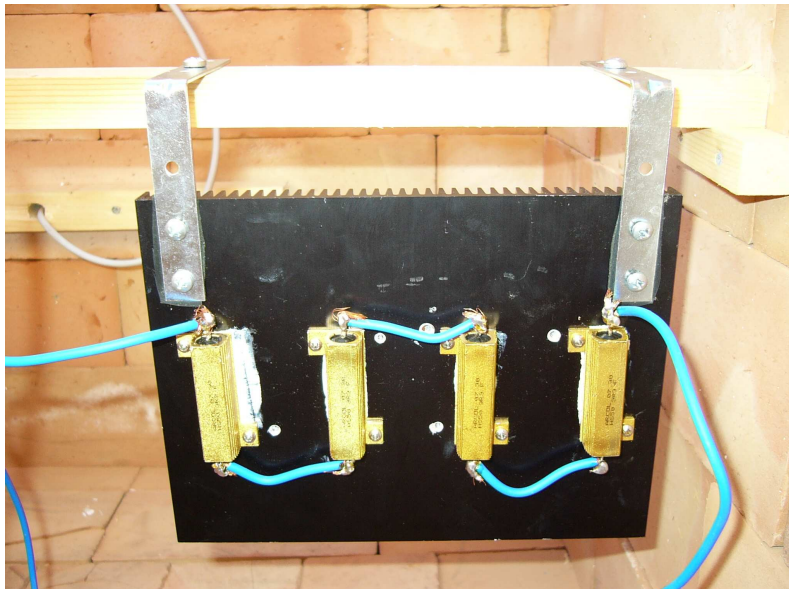
- Die Grafiken sind durchwegs in Englisch gehalten, da ein Teil davon im Englisch-Copräsenz-Unterricht der Schule von den Schülern erstellt wurde.
- Im Anschluss an die Auswertungen folgt jeweils eine Auflistung an Beobachtungen sowie ein Versuch [sic!] einer entsprechenden Interpretation. Diese Interpretationen sollen auch zur allgemeinen Diskussion anregen. Fachliche Statements, die unsere Interpretationen bestätigen oder widerlegen, sind deshalb gerne willkommen. Wer bestimmte Aspekte genauer untersuchen möchte, hat dafür alle Daten und den mittlerweile hochkomfortablen Diagrammgenerator auf der Projekthomepage www.climacubes.it zur Verfügung.
- Der Aufbau der Cubes ist für das Verständnis der Ergebnisse wichtig. Dieser wurde in der vergangenen Ausgabe von „foglio“ bereits erläutert. In der nachfolgenden Tabelle wird nur mehr in Kurzschreibweise Stärke und Material der Wärmedämmung angegeben.

Details zur Heizanlage

Bekanntlich sind die zwölf Cubes elektrisch beheizt. Dazu wurden je nach erforderlicher Heizleistung drei bis vier Elektrowiderstände auf Aluminium-Kühlkörpern montiert und an eine Kleinschutz-Gleichspannung von 48V angeschlossen. Die Heizung ist so eingestellt, dass die Cubes zwischen 8 Uhr morgens und 20 Uhr abends auf 20°C beheizt und in der restlichen Zeit auf 13°C abgesenkt werden. Hier eine Aufstellung über die installierten Heizleistungen und im Vergleich dazu die berechnete maximale Wärmeverlustleistung:

Cube Nr.	Wärmetechnische Beschreibung	Maximale Wärmeverlustleistung ¹	Installierte elektrische Heizleistung $P_{\text{eff}}=U^2/R_{\text{tot}}$
1	4 cm HWF	175 W	178 W
2	Identisch Cube 1	175 W	178 W
3	12 cm HWF	113 W	93 W
4	12 cm EPS	113 W	87 W
5	12 cm RW	113 W	96 W
6	12 cm Mineralsch.	113 W	106 W
7	3 cm VAK	35 W	28 W
8	12 cm PU	64 W	58 W
9	4 cm HWF+6cm VZ	175 W	168 W
10	4 cm HWF+1,5 PCM	175 W	168 W
11	12 cm HWF+2WSV	113 W	102 W
12	12 cm HWF+3WSV	113 W	96 W

Tab. 1 Installierte elektrische Heizleistung

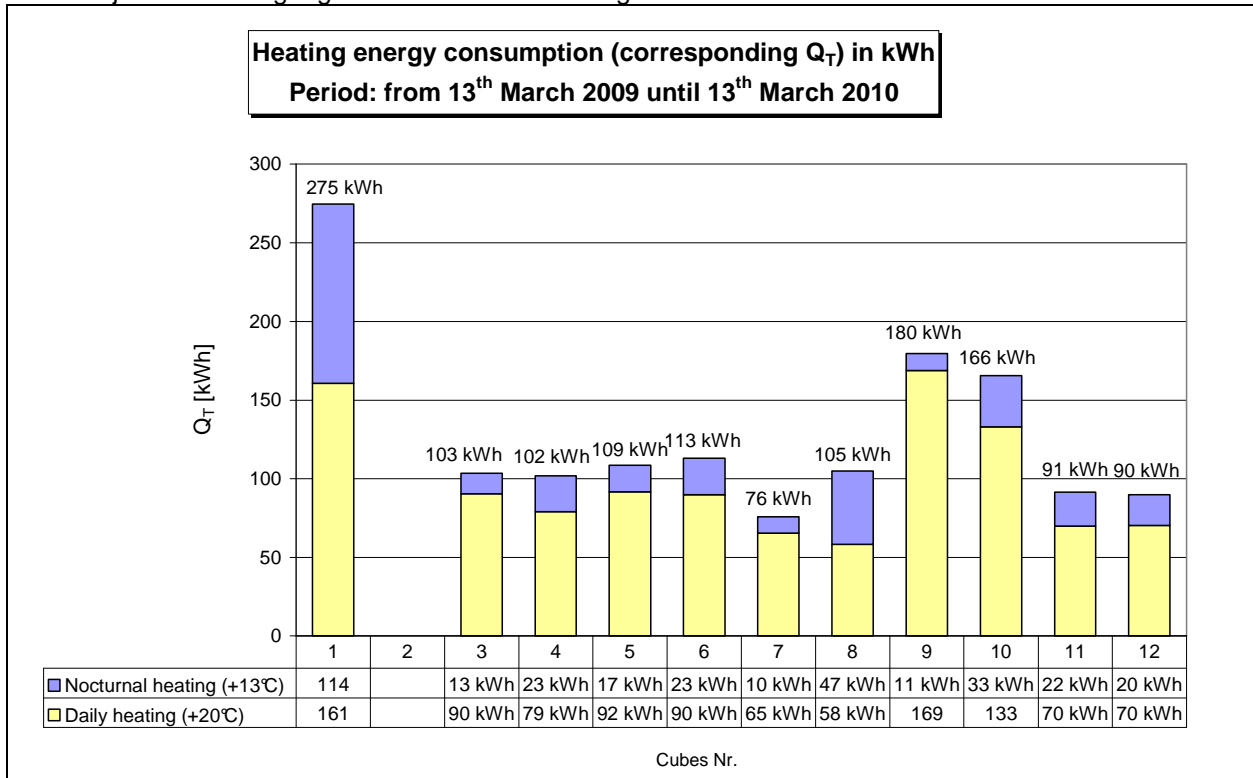


Heizmodul am Beispiel Cube 9: Elektrowiderstände auf Kühlkörper

¹ Berechnet auf die Cube-Außenoberfläche A_e , 20°C Innentemperatur und einer Normaußentemperatur in Meran von -15°C.

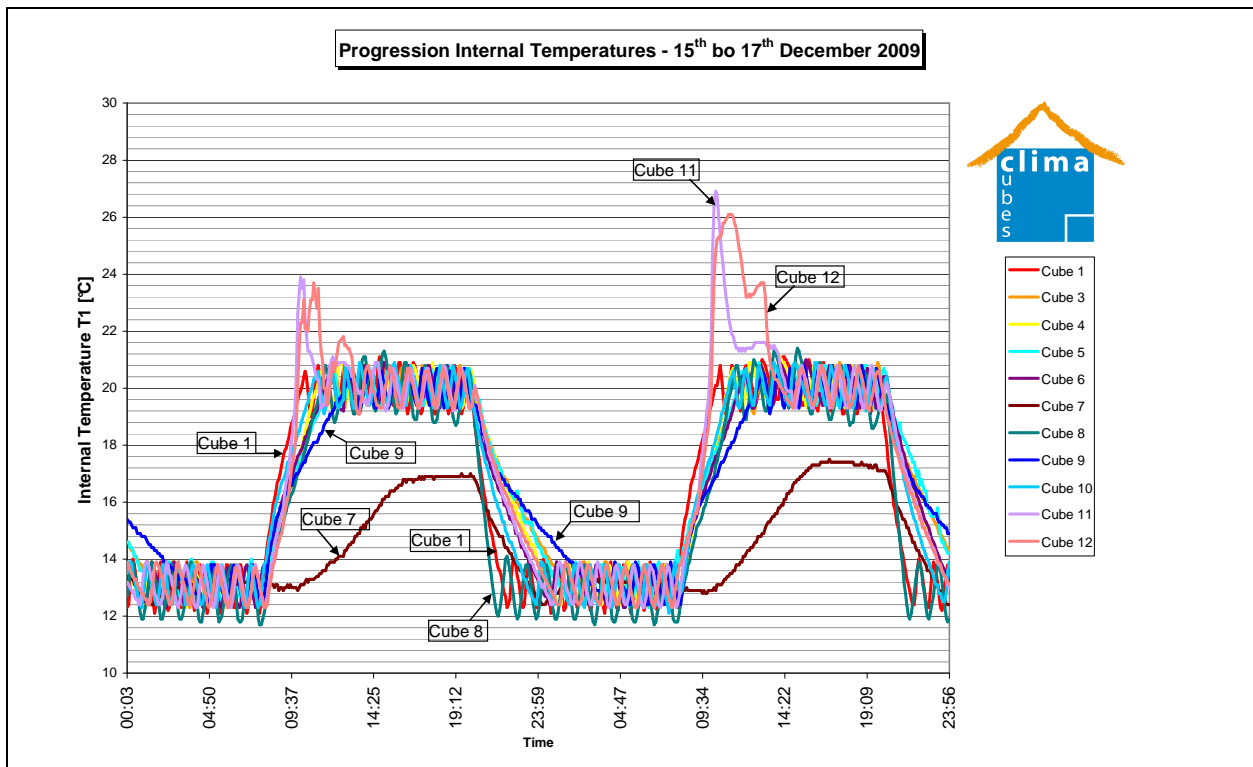
Gesamtenergieverbrauch

In der letzten Ausgabe von foglio haben wir bereits eine erste Verbrauchsgrafik vorgestellt, welche allerdings noch kein vollständiges Jahr beinhaltete. Nun haben wir die Daten für ein vollständiges Kalenderjahr zur Verfügung ². Die Balken sind in Tag- und Nachtverbräuche unterteilt.



Grafik 1 – Heizenergieverbrauch eines Jahres (vom 13. März 2009 bis 13. März 2010)

Zum besseren Verständnis der Ergebnisse ist auch folgende Grafik wichtig:

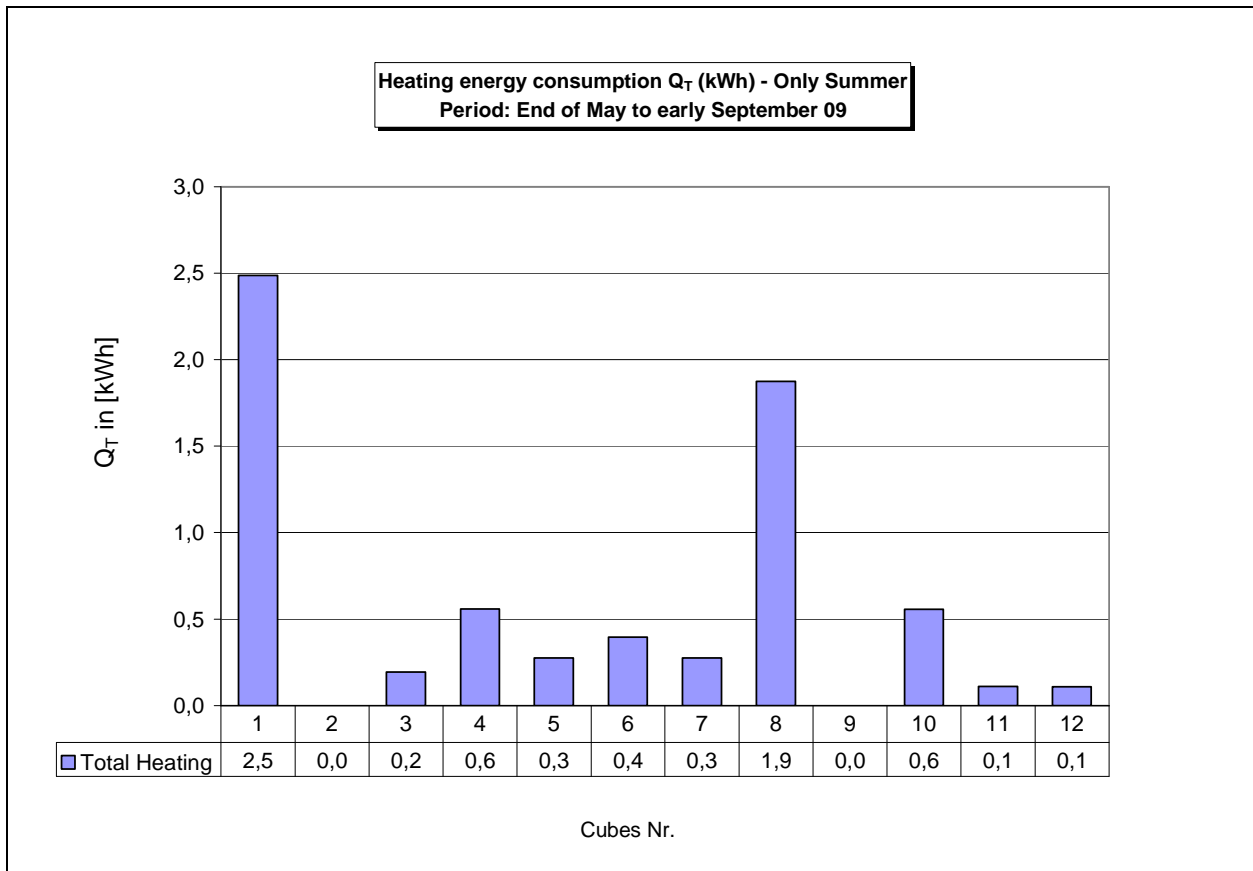


Grafik 2 – Verlauf der Innentemperaturen aller Cubes im Verlauf von zwei besonders kalten Wintertagen

² Cube 2 ist bekanntlich aufgrund eines Defektes nicht mehr verwendbar.

Beobachtungen	Anmerkungen, Erkenntnisse und Interpretationen
<ul style="list-style-type: none"> • Erwartungsgemäß haben die Cubes mit der geringsten Wärmedämmung (1, 9 und 10) den größten Energiebedarf. Der Energiebedarf für die Heizung am Tage (heller Balkenteil) unterscheidet sich zwischen diesen dreien nur geringfügig. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alle drei Cubes haben die identische – geringe - Wärmedämmung, der U-Wert unterscheidet sich unwesentlich. Der Energiebedarf ist dementsprechend hoch.
<ul style="list-style-type: none"> • Cube 9 und 10 haben allerdings einen deutlich geringeren Energiebedarf für die Nachtheizung (dunkler Balkenteil) 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Speichermassen (Vollziegel und PCM) können im Laufe des Tages vermehrt Wärme aufnehmen und halten damit in der Nachtperiode das erforderliche Temperaturniveau von 13°C länger aufrecht.
<ul style="list-style-type: none"> • Die Cubes 3,4,5,6,8, 11 und 12 haben annähernd denselben Energieverbrauch. Die U-Werte unterscheiden sich bis auf Cube 8 kaum voneinander. Polyurethan hat grundsätzlich eine geringere Wärmeleitfähigkeit als alle anderen Dämmstoffe. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alle fünf Cubes haben dieselbe Dämmstärke (12 cm), nur mit verschiedenen handelsüblichen Materialien ausgeführt. Die Wahl des Dämmmaterials wirkt sich bei gleicher Dämmstärke nicht auf den Energieverbrauch aus.
<ul style="list-style-type: none"> • Cube 8 hat einen deutlich geringeren Tages-Heizbedarf als die anderen, allerdings einen deutlich höheren Nacht-Heizbedarf. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cube 8 ist der einzige ohne Grundkonstruktion aus OSB und hat somit wenig speicherwirksame Masse. Der Cube kann sehr schnell aufgeheizt werden, kühlt aber auch sehr schnell wieder aus (siehe auch Grafik Temperaturverläufe).
<ul style="list-style-type: none"> • Cube 11 und 12 haben bei geringfügig schlechterem mittleren U-Wert (wegen der Verglasung) den geringsten Energiebedarf. Der Tagesenergiebedarf ist recht deutlich geringer als bei Cube 3, in der Nacht allerdings doppelt so groß. Der Gesamtenergiebedarf ist bei beiden ungefähr gleich hoch. 	<ul style="list-style-type: none"> • Die solaren Gewinne durch die 50x50cm-Verglasung bewirken eine geringfügige Energieeinsparung. Cube 3 ist baugleich, aber ohne Verglasung, und kühlt darum in der Nacht weniger schnell aus. Interessanterweise wirkt sich die 3-fach Wärmeschutzverglasung von Cube 12 nicht auf den Energieverbrauch aus, die solaren Gewinne sind nämlich bei einer 2fach-Verglasung größer.
<ul style="list-style-type: none"> • Cube 7 hat den mit Abstand geringsten Energieverbrauch, und dies bei nur einem Viertel der Dämmstärke. • Wir beobachten allerdings einen bedeutenden Systemfehler in der Temperaturgrafik: die Innentemperatur von 20° wird an kalten Tagen nie erreicht. Sie schwankt zwischen 13° in der Nacht und erreicht gegen 17 Uhr eine Maximaltemperatur von 17°C. Nachher schafft es das Heizmodul nicht mehr. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vakuumdämmplatten haben nominal eine bis zu 10fach geringere Wärmeleitfähigkeit als übliche Dämmstoffe. • Das Heizmodul wurde mit der Wärmeleitfähigkeit ausgelegt, die die Dämmplatte in ihrer Mitte hat. Die Wärmebrücken an den Plattenstößen und den Cube-Kanten erhöhen den mittleren U-Wert anscheinend wesentlich. Bei entsprechender Auslegung des Heizmoduls würde der Heizenergiebedarf wohl deutlich steigen.

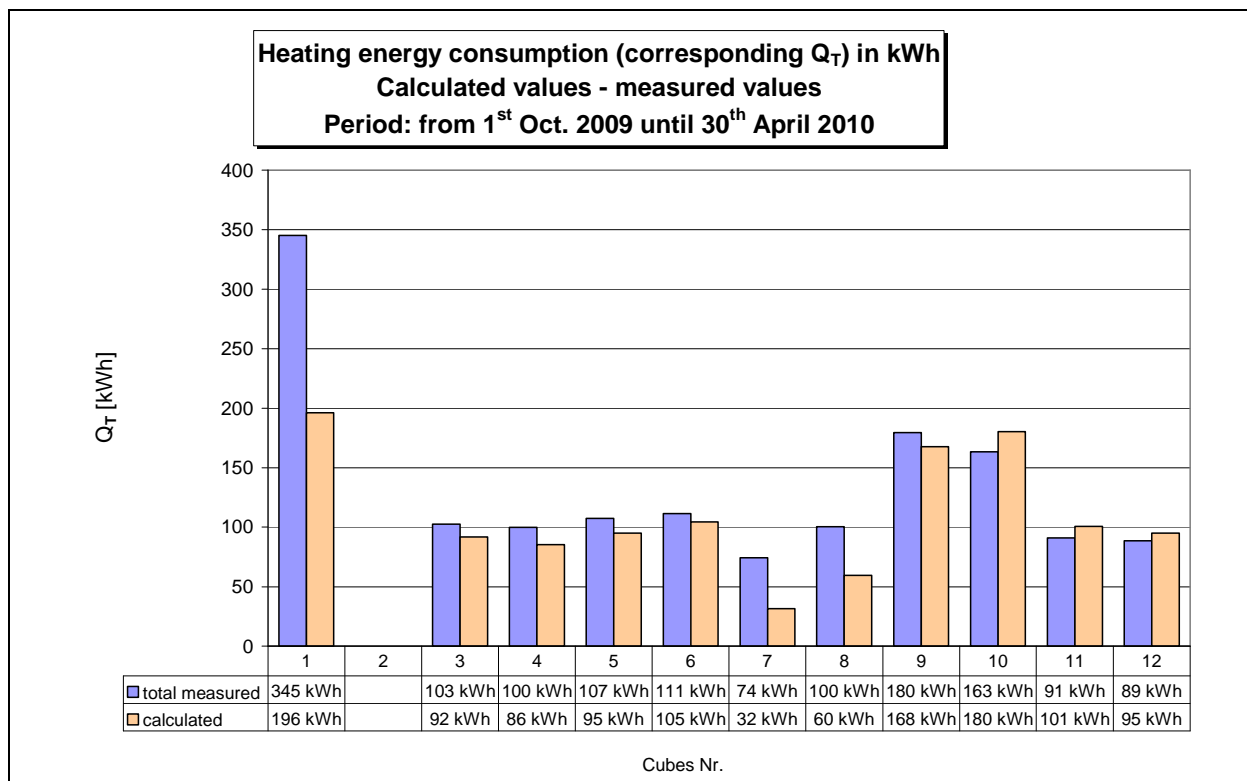
Heizenergieverbrauch im Sommer



Grafik 3: Heizenergieverbrauch von Mai bis September

Beobachtungen	Anmerkungen, Erkenntnisse und Interpretationen
<ul style="list-style-type: none"> Der Energieverbrauch für die auch im Sommer geltende Temperatureinstellung ist im Vergleich zum Energieverbrauch eines Jahres verschwindend gering 	<ul style="list-style-type: none"> Es kühlt in der Nacht fast nie unter 13 Grad ab (bzw. tagsüber unter 20), und wenn, dann wirken die Speichermassen ausgleichend.
<ul style="list-style-type: none"> Cube 1 hat den größten Energiebedarf 	<ul style="list-style-type: none"> Relativ geringe Speichermasse, schlechter U-Wert
<ul style="list-style-type: none"> Gefolgt von Cube 8 	<ul style="list-style-type: none"> Trotz sehr gutem U-Wert kühlt der Cube sehr leicht aus und muss dann – auch wenn geringfügig – aufgeheizt werden.
<ul style="list-style-type: none"> Die Cubes 11 und 12 haben den geringsten Energiebedarf im Sommer 	<ul style="list-style-type: none"> Solare Gewinne über die Fenster
<ul style="list-style-type: none"> Cube 9 hat im Sommer überhaupt keinen Energiebedarf. 	<ul style="list-style-type: none"> Die große Speichermasse wirkt ausgleichend

Vergleich Heizenergieverbrauch „berechnet“ – „gemessen“



Grafik 4: Vergleich Heizenergieverbrauch gemessen-berechnet von Oktober bis April

Hier haben wir einen Versuch gemacht, den Energieverbrauch auch theoretisch zu berechnen und die Werte mit den gemessenen verglichen. Wir haben uns dabei an die Klimadaten des Hydrografischen Amtes der Autonomen Provinz Bozen angelehnt³. Nachdem die Monate Mai bis September bei Anwendung unseres Berechnungsalgorithmus keinen Heizenergiebedarf ergeben, haben wir uns zur besseren Vergleichbarkeit auf die restlichen Monate Oktober bis April beschränkt.

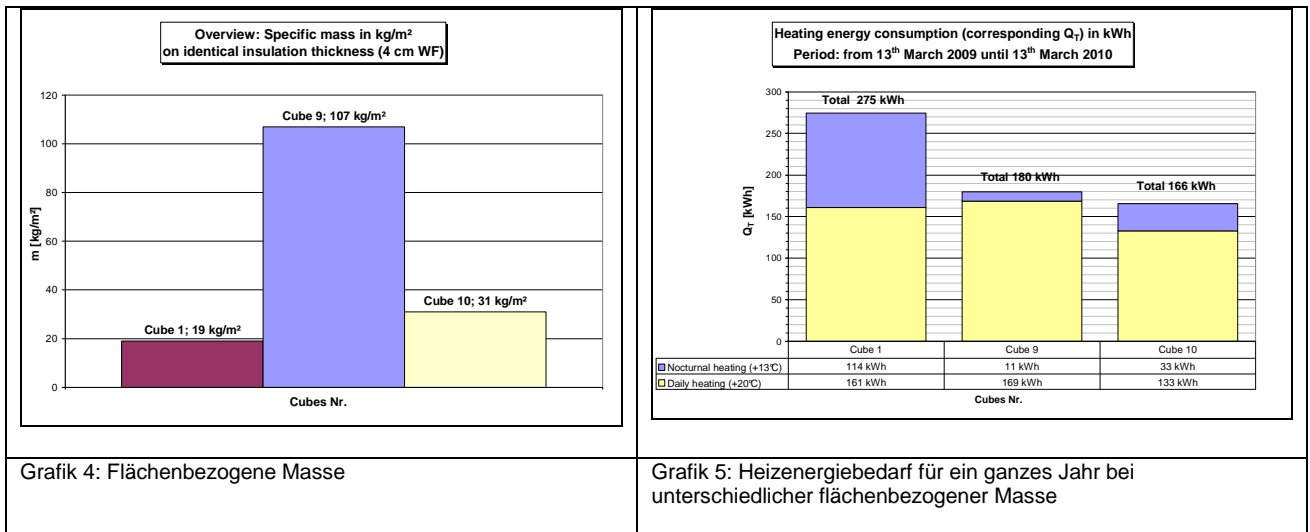
Berechnungsgrundlage: $HWB_{th} = \sum U_m \cdot A_m \cdot (\vartheta_{m,i} - \vartheta_{m,e}) \cdot \frac{d}{m} \cdot \frac{24h}{d} \cdot \frac{1k}{1000}$ von Oktober bis April

Größe	Beschreibung	Bestimmung
U_m	Mittlerer U-Wert	
A_m	Mittlere Verlustfläche (Mittelwert zwischen Außen- und Innenoberfläche)	$A_m = \frac{A_e + A_i}{2}$
$\vartheta_{m,i}$	Gewichtete mittlere Innentemperatur (aufgrund Nachtabsenkung)	$\frac{\vartheta_T + \vartheta_N}{2} = \frac{20^\circ \cdot 12h + 13^\circ \cdot 12h}{24h} = 16,5^\circ C$
$\vartheta_{m,e}$	Mittlere Außentemperatur jedes Monats	laut Tabelle Klimadaten
d/m	Tage pro Monat	

³ Quelle Temperaturdaten: <http://www.provinz.bz.it/hydro/wetterdaten>

Beobachtungen	Anmerkungen, Erkenntnisse und Interpretationen
<ul style="list-style-type: none"> • Grundsätzlich sind die berechneten Werte durchaus vergleichbar mit den gemessenen, meist geringfügig niedriger als die gemessenen. 	<ul style="list-style-type: none"> •
<ul style="list-style-type: none"> • Cube 7 und 8 haben einen deutlich höheren gemessenen Verbrauch als berechnet. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cube 7: siehe oben (Nichtberücksichtigung der Wärmebrücken in Berechnung) • Cube 8: fehlende speicherwirksame Masse
<ul style="list-style-type: none"> • Cube 11 und 12 haben einen geringfügig kleineren effektiven Energieverbrauch 	<ul style="list-style-type: none"> • Solare Gewinne über Verglasungen
<ul style="list-style-type: none"> • Cube 1 fällt allerdings völlig aus diesem Raster. Er hat einen viel höheren effektiven Energieverbrauch als der theoretisch berechnete. Ein zunächst angenommener Systemfehler (Datenspeicherung, Regelung, o.ä.) ist allerdings keiner entdeckt worden. Ein Blick auf die Grafik 1 bestätigt allerdings auch, dass die Nachheizung den großen Unterschied ausmacht. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ohne die speicherwirksamen Massen von Cube 9 und 10 hat Cube 1 einen deutlich höheren Energiebedarf als sein rechnerisch ermittelter. Dieses Ergebnis wird wohl noch durch weitere Untersuchungen und Diskussionen bestätigt werden müssen.

Auswirkung der Masse auf den Heizenergieverbrauch



Beobachtungen	Anmerkungen, Erkenntnisse und Interpretationen
<ul style="list-style-type: none"> • Cube 9 hat die mit Abstand größte flächenbezogene Masse. Danach folgt Cube 10 sowie Cube 1 • Dämmung für alle drei Cubes 4 cm Holzweichfaser 	<ul style="list-style-type: none"> • Alle drei Cubes haben dieselbe Wärmedämmung (4 cm HWF), somit direkt vergleichbar. • Cube 9 ist innen mit 6 cm Vollziegel ausgekleidet, Cube 10 mit 1,5 cm PCM-Gipskartonplatte, Cube 1 ohne Innenverkleidung.
<ul style="list-style-type: none"> • Alle drei Cubes haben ungefähr einen ähnlich hohen Tages-Heizwärmebedarf 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung ist bei allen gleich.
<ul style="list-style-type: none"> • Cube 1 hat insgesamt aber den größten Heizenergiebedarf, weil der Nacht-Bedarf deutlich über dem der anderen beiden liegt 	<ul style="list-style-type: none"> • Cube 9 und 10 haben eine innenliegende große speicherwirksame Masse. Diese hält die Innentemperatur in der Nacht länger über 13°C, sodass das Heizmodul später einschalten muss.
<ul style="list-style-type: none"> • 	<ul style="list-style-type: none"> •

Per. Ind. Dietmar Holzner , Meran
Gewerbeoberschule „Oskar von Miller“, Meran