

Monitoring am Max-Steenbeck-Gymnasium

Dr.-Ing. Tobias Häusler, Brandenburgische TU Cottbus-Senftenberg

3-Liter-Haus-Schule Cottbus - Ergebnisse des Langzeitmonitorings. Was wurde erreicht, wie geht es weiter?



STADT COTTBUS
CHÓŠEBUZ

b.tu

Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus - Senftenberg



EnOB

Forschung für
Energieoptimiertes Bauen

EnEff:Schule

Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen:0327430L

Steckbrief



- ⇒ **Erbaut 1974 in Großplattenbauweise**
- ⇒ **8.048 m² Schule und 1.461 m² Turnhalle (NGF)**
- ⇒ **2010 – 2012 Sanierung zur „Energie-Spar-Schule“**
- ⇒ **Ziel: 3-Liter-Schule und erste Sanierung eines Plattenbaus zum Passivhaus**
- ⇒ **ca. 30 cm WDVS, 3-fach Fenster, $n_{50} = 0,32$ 1/h, Lüftungsanlagen mit WRG**
- ⇒ **Zertifizierung zum Passivhaus (Schule und Turnhalle)**
- ⇒ **01.01.2013 – 31.12.2014 Intensivmonitoring und Betriebsoptimierung**

Endenergieverbrauch

vor Sanierung - nach Sanierung

Fernwärme: 100 % - 17 %

Elektroenergie: 100 % - 113 %

(Messwerte; vor Sanierung (2006) Gebäude nur in Teilnutzung)

Damit reduzieren sich die jährlichen Energiekosten um mehr als 100.000 €.

Komfort

nur 2 % der Messwerte zeigen schlechte Luftqualität

nur 5 % der Messwerte außerhalb eines hohen thermischen Komforts
(PMV -0,5 bis +0,5) (etwas schlechtere Werte aber im Keller, 2. OG und Aula)

Betriebsoptimierung

Einstellung von Temperaturen, Lüfter- und Pumpenlaufzeiten, Leistungen, Schaltkriterien, Korrektur von Fehlbetrieben ...

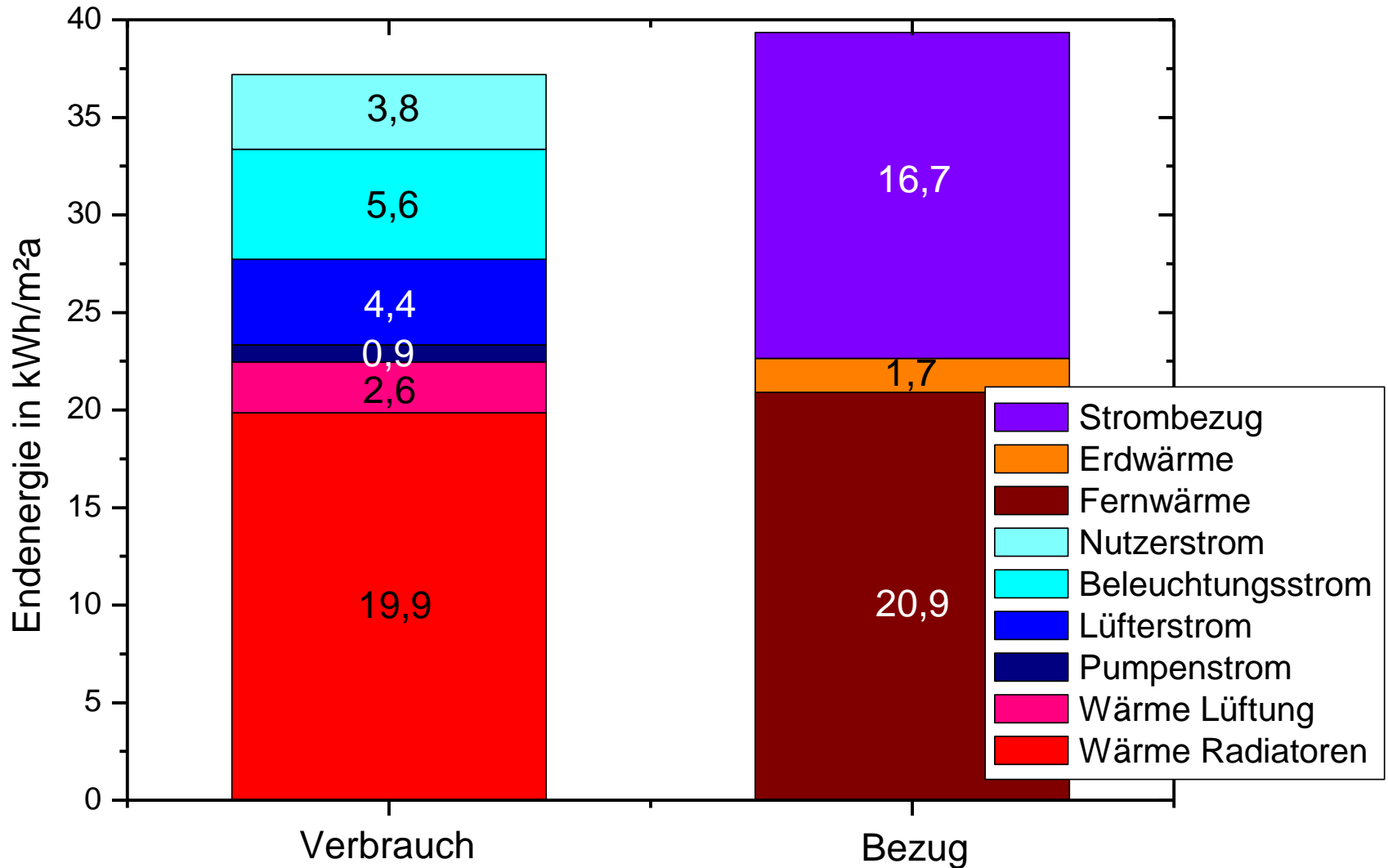
Elektroenergieverbrauch

	2013	2014	2015	Tendenz
Elektroenergie Grundstück	174,8 MWh	177,5 ⁺ MWh	162,9 MWh	↓
Mehr-/Minderkosten zum Vorjahr		+ 702 €	- 3796 €	
kWh/m ² a:				
Schule Lüfter	4,44*	5,06	4,40	↓
Pumpen	0,71	0,77	0,86	↑
Beleuchtung	5,44	5,33	4,62	↓
Steckdosen	3,85	3,84	3,84	→
Turnhalle Lüfter	2,91	3,20	2,24	↓
Pumpen	1,90	1,25	0,72	↓

Fernwärmeverbrauch

	2013	2014	2015	Tendenz
Fernwärme Schule	228,47 MWh	160,85 MWh	168,31 MWh	
Fernwärme Schule temperaturkorrigiert	215,0 MWh	189,6 MWh	186,3 MWh	↓
Minderkosten zum Vorjahr		- 1625 €	- 211 €	
kWh/m ² a:				
Schule Radiatoren	24,28	17,69	19,87	→
Lüftungsanlage	4,29	2,90	2,60	↓
Turnhalle Warmwasserbereitung	10,78	6,88	4,67	↓
Solare Einstrahlung	982 kWh/m ² a	1046 kWh/m ² a	1121 kWh/m ² a	
Außenlufttemperatur	8,7 °C	10,4 °C	10,3 °C	

Energiebilanz 2015



Primärenergieverbrauch

Ziel: 3-Liter-Schule (34 kWh/m²a)

Jahr	Schule kWh/m ² a	Turnhalle kWh/m ² a
2013	32,1	33,3
2014	31,6	29,9
2015	29,9	22,6

PE-Faktor Fernwärme = 0,7; Strom = 2,6

Vier innovative Komponenten im Monitoringprojekt:

Erdwärmespeicher mit solarer Überschusswärmenutzung unter der Turnhalle

➔ 9 MWh pro Jahr, 2 K wärmer, Einsparung von 1200 W



Erdwärmetauscher-Sonden zum Vortemperieren der Zuluft für Haus A und ZB

➔ liefern im Winter 10 % der Heizwärme, im Sommer 0,5 K kühlere Luft

➔ durchschnittlich 17 MWh Wärme im Winter und 16 MWh Kälte im Sommer



Fernwärme-Rücklaufnutzung im Westteil von Haus A

➔ Beheizung zu über 50 % aus der Rücklaufwärme

➔ z.B. Primärheizkreis 48 °C/38 °C und Sekundärheizkreis 35 °C/25 °C

➔ 2013: 16,2 MWh, 2014: 10,8 MWh, 2015: 15,3 MWh



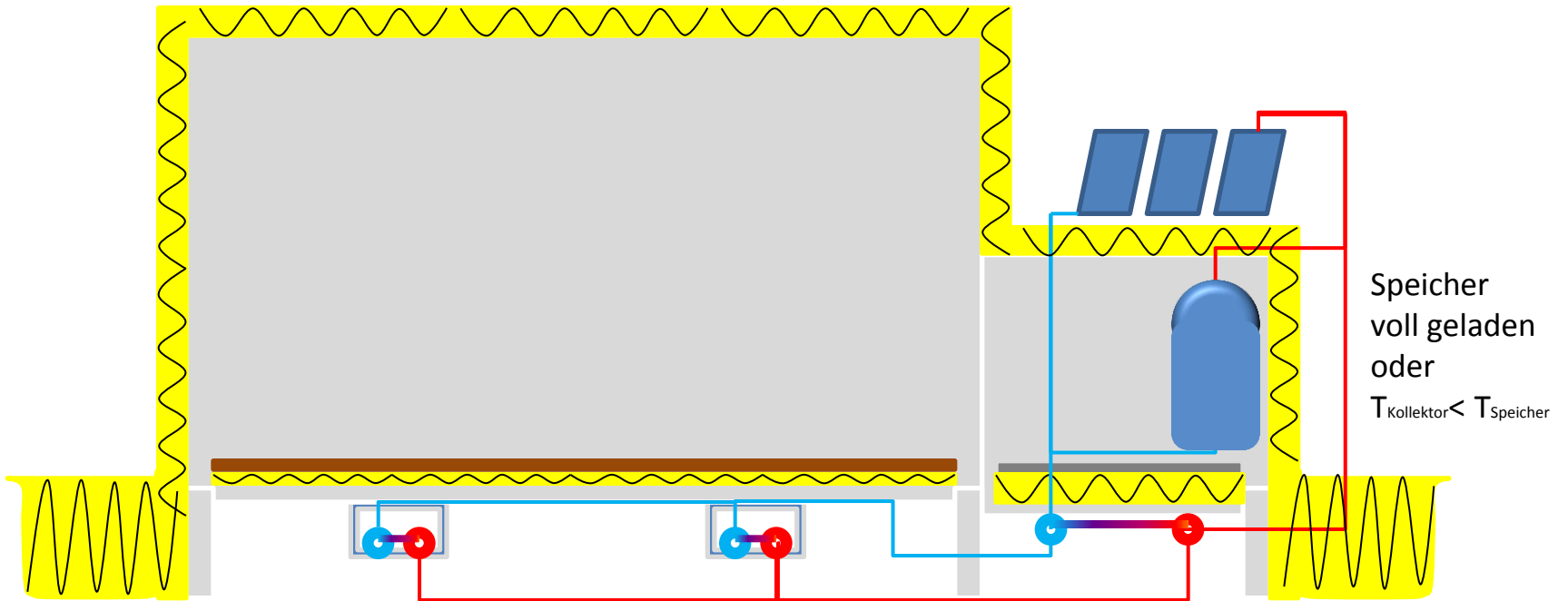
PCM-Latentspeichereinsatz im Medienraum

➔ Deckentemperatur fast immer über Schmelztemperatur, keine Wärmeaufnahme

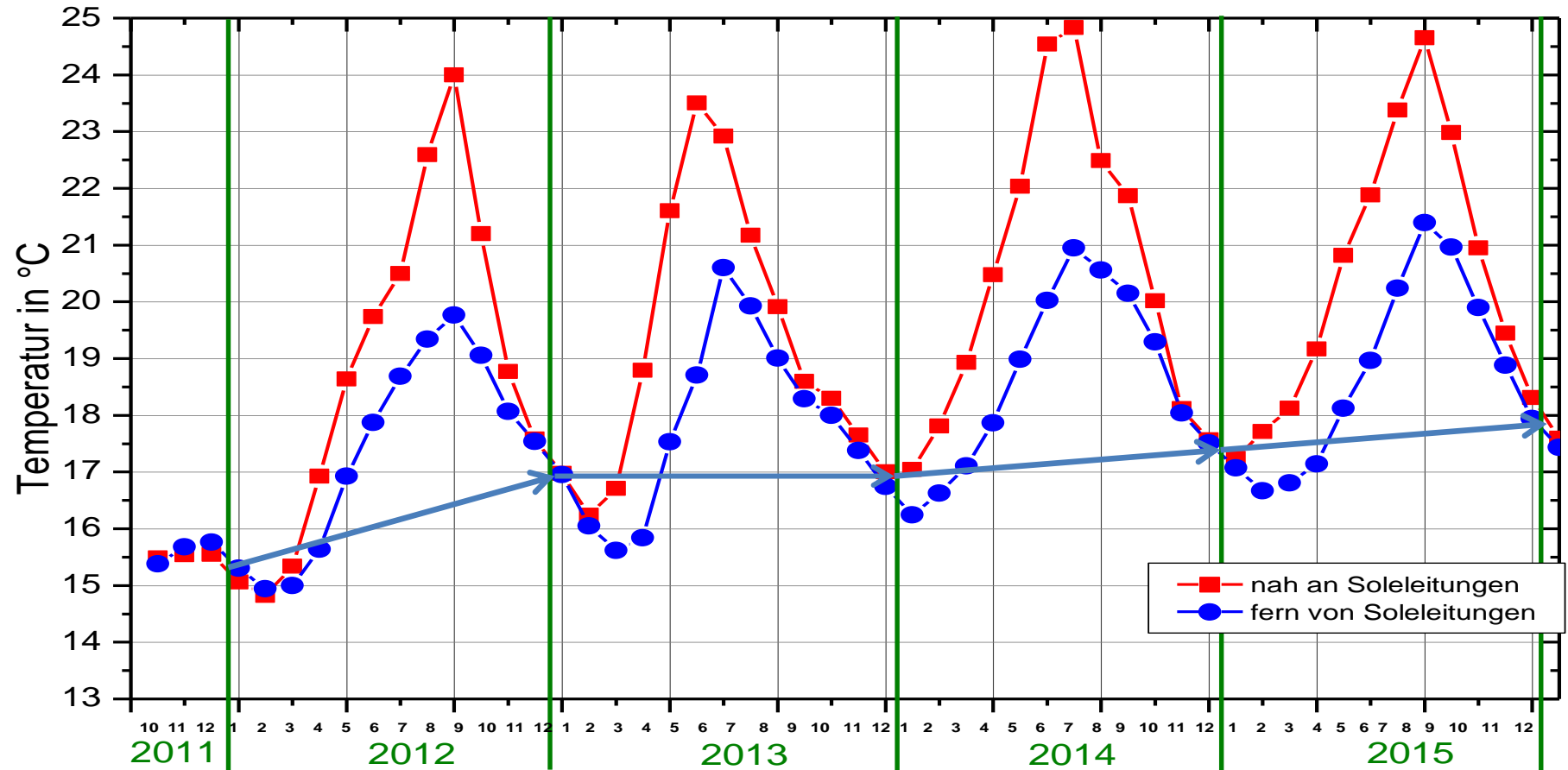


Turnhalle

Beladung Erdwärmespeicher



Erdwärmespeicher mit solarer Überschusswärmenutzung unter der Turnhalle



Kollektorertrag:

davon Überschusseinspeicherung:

Fernwärme für Warmwasser:

13,1 MWh

9,2 MWh

15,7 MWh

14,7 MWh

9,0 MWh

10,0 MWh

15,6 MWh

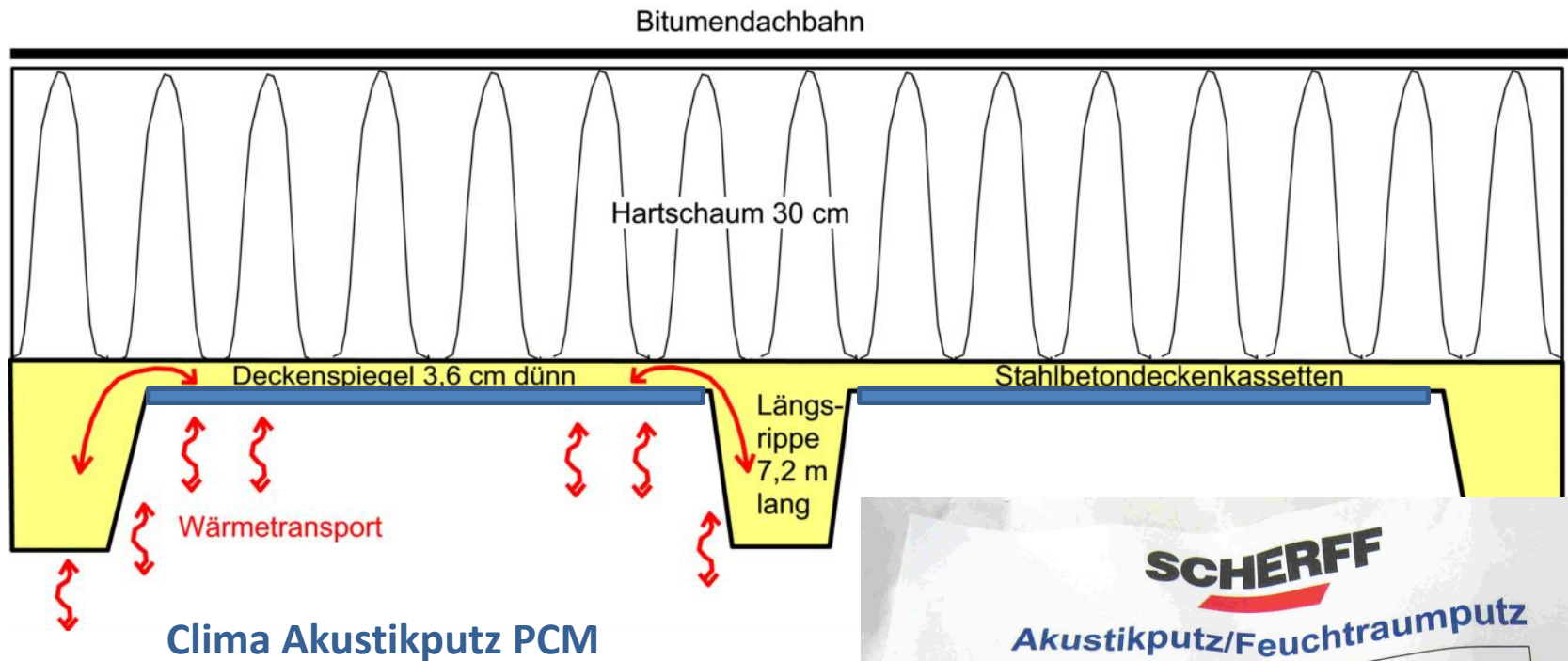
8,1 MWh

6,8 MWh

Optimierungsmaßnahmen:

- Temperatursensor an den Kollektoren
- Senkung der Solltemperatur Warmwasserspeicher von 70 °C auf 60 °C
- Reduzierung der Warmwasserbereitstellungszeiten mit Fernwärme auf Zeiten der Vereinsnutzung (abends und Wochenende)

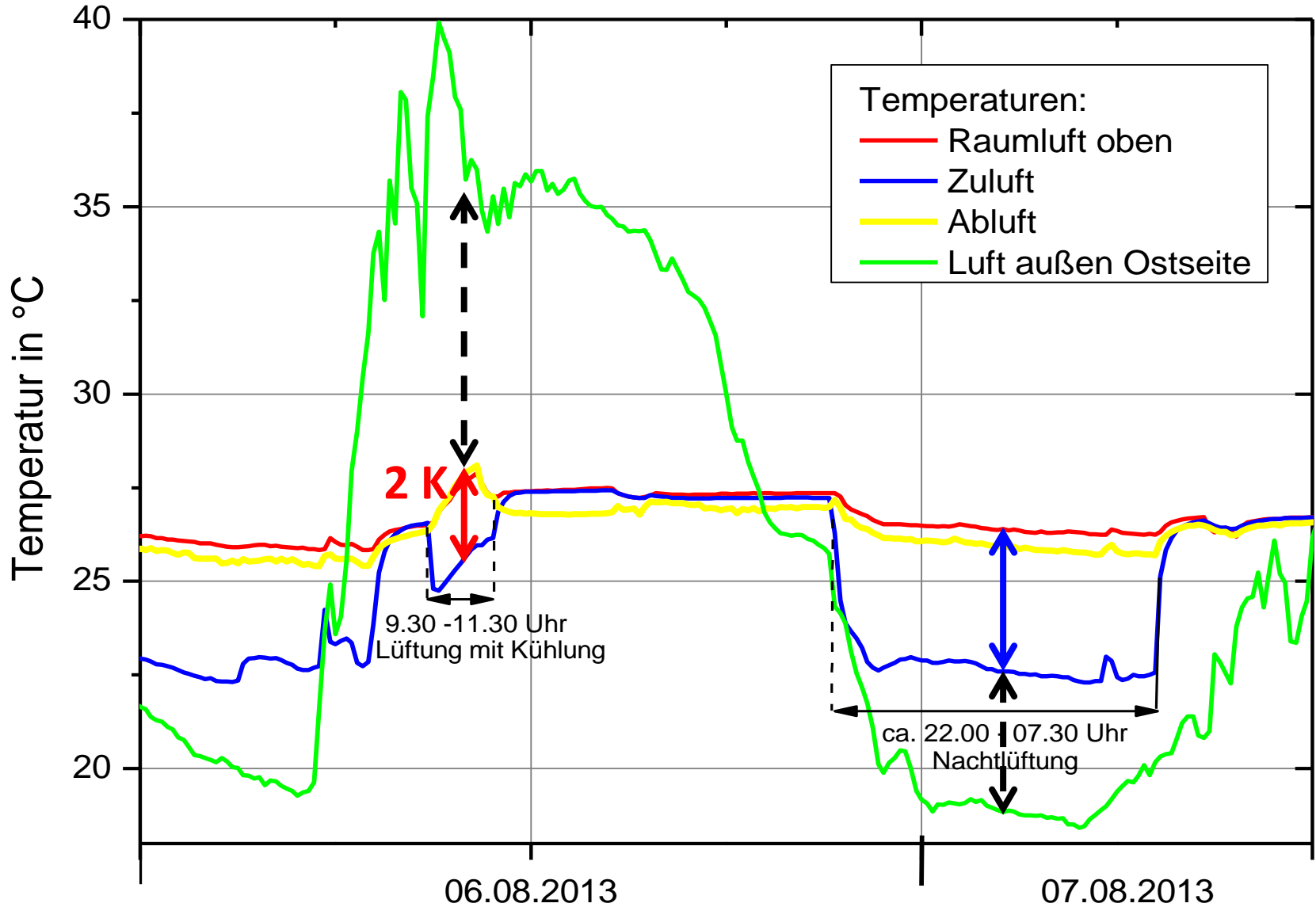
PCM-Latentspeichereinsatz im Medienraum



- Spritzputz mit mikroverkapseltem PCM
- 36 m² Deckenfläche, ca. 12 mm dick
- Schmelzpeak bei 23 - 24 °C
- Aufnahme der Wärme von 25 Schülern in 1,5 h



Betrieb der Lüftungsanlage zum Kühlen



Lüftungsanlage im Sanierungsobjekt



- ➔ begrenzte Platzverhältnisse bei nachträglichem Einbau
- ➔ Dachmontage führt im Sommer zu höheren Temperaturen, im Winter zu Verlusten
- ➔ Auslegung für 20 m³/h und Schüler ist Minimum – z.T. mit Fensterlüftung ergänzen
- ➔ Mehr mechanischer Luftwechsel brächte zusätzliche Probleme (Strömungsgeräusche große Kanalquerschnitte, Zugluft, Kosten, Energieverbrauch, Entfeuchtung)
- ➔ Sommerliche Kühlung wenig effizient
Abschätzung für Medienraum: Wärmeeintrag durch Personen + Computer ca. 4,0 kW
Wärmeabtrag durch vorgekühlte Luft ca. 0,33 kW

Verwaltungsvorschriften über die Organisation der Schulen in inneren und äußeren Schulangelegenheiten (VV-Schulbetrieb - VVSchulB)

vom 29. Juni 2010

Auf Grund des § 146 und des § 43 Absatz 2 des Brandenburgischen Schulgesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. August 2002 (GVBl. I S. 78) bestimmt der Minister für Bildung, Jugend und Sport:

(Auszug)

27 – Raumtemperaturen

(1) Unterrichtsräume sollen eine mittlere Raumlufttemperatur von 20 Grad Celsius und nicht dauerhaft über 22 Grad Celsius haben.

...

(2) Werden ... um 11 Uhr an einem für die Raumlufttemperatur innerhalb des Gebäudes repräsentativen Ort 25 Grad Celsius gemessen, soll nicht länger als bis 12 Uhr unterrichtet werden

...

(3) Der Unterricht findet nicht statt, wenn in den betreffenden Unterrichtsräumen die Raumlufttemperatur unter 16 Grad Celsius sinkt.

...

Potsdam, den 29. Juni 2010

Der Minister für Bildung, Jugend und Sport

Holger Rupprecht

Übergabe zum Projektende

➔ Vorstellung der Endergebnisse auf der Lehrerkonferenz

➔ Erstellung von Nutzerhinweisen für Lehrer



Hinweise für die Nutzung des Passivhausgebäudes Max-Steenbeck-Gymnasium Cottbus



Passivhaus

Das Gebäude des Max-Steenbeck-Gymnasiums ist seit seiner Sanierung 2012 ein Passivhaus. Es verbraucht durch geringste Wärmeverluste, energieeffiziente Anlagentechnik und durchdachte Betriebsführung besonders wenig Primärenergie (weniger als 34 kWh/m²a für Heizung und Lüftung). Damit trägt die Schule zur Erreichung des Energiekonzeptes der Stadt Cottbus bei.

Erreicht wird dies durch Nutzung von Erdwärme, Solarenergie und internen Wärmequellen sowie eine sehr gute Wärmedämmung der Wände, dreifach verglaste Fenster und eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Haus A und der Zwischenbau verfügen über Erdwärmetauscher (Erdtiefenbohrungen) zum Vorkühlen der Zuluft im Sommer und zum Vorheizen im Winter. Im Haus A wird die Rücklaufwärme der Heizkörper teilweise zum Vorlauf für weitere Heizkörper genutzt. Die Turnhalle verfügt über eine thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung mit Überschusswärmeeinspeicherung unter dem Hallenboden.

Das Schulgebäude wurde in den ersten beiden Betriebsjahren durch detaillierte Energie- und Komfortmessungen im Rahmen des Monitorings (www.eneff-schule.de) und Einregelung der Technik durch Anlagenplaner und Programmierer im Rahmen der Betriebsoptimierung überwacht und exakt eingestellt.

Erreicht werden die energetischen Ziele wie auch ein guter thermischer Komfort und gute Luftqualität aber nicht automatisch, sondern nur wenn Gebäudebetreiber (Stadt Cottbus, Hausmeister) und Gebäude Nutzer (Lehrer, Schüler) mit Sachverstand, Interesse und Wachsamkeit ihr Schulgebäude betreiben und nutzen. Daher gibt es ein umfangreiches Betriebsbuch für die Hausmeister und diese Hinweise für die Nutzer.

Lüftungsanlage

Die hohe Luftdichtheit der Gebäudehülle verhindert unkontrollierte Luftwechsel und Energieverluste. Ohne mechanische Lüftungsanlagen, die vor und während einer Raumnutzung laufen und den Nutzer vom Fensterlüften entlasten, wird die Luftqualität schnell als schlecht empfunden. Es sind folgende Betriebszustände zu unterscheiden:

- Vorspülen in allen Räumen Mo.-Fr. 6.15 Uhr bis 7.30 Uhr
- Lüftung der nach Stundenplan belegten Räume während der Belegung Mo.-Fr. 7.30 Uhr bis 17.30 Uhr
- Lüftung nach Drücken des Raum-Präsenztasters für 2 Zeitstunden
- Lüftung aller Flure, WCs, Lager, Technikräume Mo.-Fr. 7.30 Uhr bis 17.30 Uhr
- Freie Nachtlüftung im Sommer Mo.-Fr. und So. 1.00 Uhr bis 6.30 Uhr nach Eingabe der Hausmeister
- Aus immer am Samstag sowie an Feiertagen und Ferien nach Eingabe der Hausmeister

Das Drücken des Präsenztasters macht nur Sinn, wenn die Lüftung (grüne LED) aus ist. Dies ist in den Vorbereitungsräumen und bei außerplanmäßiger Belegung eines Unterrichtsraumes der Fall. Die Lüftungsanlagen gewährleisten einen Luftvolumenstrom von 20 m³/h je Schüler und 25 m³/h je Lehrer. Durch das Lüften nur der belegten Räume laut Stundenplan werden Energie und Lüftungskapazität gespart und nicht belegte Unterrichtsräume nicht mechanisch belüftet. Dies ist erforderlich, da die Kapazität der Lüftung nur für 70 % der Räume gleichzeitig ausreicht. Es gibt Vor- und Nachlaufzeiten der Lüftung von ca. 15 min zu einem belegten Zeitraum. Die Lüftungsanlagen sind ein wesentlicher Bestandteil des Passivhauskonzeptes und tragen durch ihre Wärmerückgewinnung entscheidend zur Energieeinsparung bei. Außerdem sorgen sie für ein Grundniveau an Frischluft und damit für wesentlich bessere Luft als in konventionellen Schulen. Dennoch ist der mittels Lüftungsanlagen erzielte Luftwechsel als unteres Minimum anzusehen, ist aber ein sehr sinnvoller Kompromiss zwischen technisch und finanziell Machbarem bei einem Sanierungsobjekt, Energieverbrauch und Luftqualität.

Durch das Doppelstufensystem kann der Kohlendioxidgehalt am Ende der Stunde trotz Lüftungsanlage über 1400 ppm liegen (rote LED am CO₂-Messgerät), dies kommt jedoch in allen untersuchten Räumen nur zu weniger als 3 % der Nutzungszeit vor. Die gemessenen Höchstwerte sind gesundheitlich völlig unbedenklich, können aber zu geringerer Konzentrationsfähigkeit bzw. zu Müdigkeit führen. Bei voller Raumbellegung kann daher nach etwa 45 min ein kurzes Stoßlüften über die Fenster nötig sein. Dies ist auch in den Pausen vor jeder Unterrichtsstunde sinnvoll. Vor der ersten Raumbellegung eines Tages jedoch nicht, da die Lüftungsanlage alle Räume vorspült.

Im Winter:

Die sehr gute Wärmedämmung gewährleistet geringere Temperaturdifferenzen im Raum und höhere Oberflächentemperaturen an der Innenseite von Außenwänden und Fenstern, als dies in konventionellen Gebäuden erreichbar ist. Daher ist unter den Fenstern auch keine lange Reihe von Heizkörpern nötig, sondern es gibt meist nur einen Heizkörper pro Raum. Dieser heizt hauptsächlich, um vor Nutzungsbeginn eine Mindesttemperatur sicherzustellen. Die Wärmeabgabe von Personen, Computern, Beleuchtung und der elektronischen Tafel leistet einen wesentlichen und spürbaren Teil der Gebäudebeheizung. Je länger ein Raum am Tag belegt ist, desto wärmer kann es werden, selbst wenn die Heizung aus ist. Die Thermostatventile sind sinnvoll und maßvoll nach Nutzeranforderung durch die Lehrer einzustellen.

Die Hausmeister stellen vor den Ferien die Thermostatventile (Herbst, Weihnachten, Winter, Ostern) auf „2“ und rechtzeitig vor Schulbeginn wieder auf „3“, da die energetisch sinnvolle Ferienabsenkung der Beheizung nur so funktioniert. Andernfalls steigt der Heizwärmeverbrauch in den Ferien, da die Wärmeabgabe durch die Nutzung fehlt.

Jalousien sind in der Heizperiode automatisch geöffnet, um solare Energiegewinne zu erzielen. Durch die Lehrer dürfen die Jalousien vor jeder Stunde bedarfsgerecht eingestellt werden. Dabei soll Tageslichtnutzung und Blendungsvermeidung durch Wahl des Lamellenstellwinkels gesichert sein.

Das Kunстlicht ist nach Stundenende auszuschalten. Eine automatische Abschaltung wäre programmierbar.

Fensterlüftung ist erlaubt, aber nur als kurzzeitige Stoßlüftung mit weit geöffneten Fensterflügeln für bis zu 3 Minuten. Angekippte Fenster sind in der Heizperiode verboten, denn sie führen nur zu einem lokalen Luftwechsel und unnötigem Auskühlen in Fensternähe. Einmal ausgekühlte Räume können mit dem Heizkörper nur langsam wieder erwärmt werden. Achtung: Häufige Fensterlüftung im Winter führt zu trockener Luft.

Im Frühjahr und Herbst:

In der Übergangszeit kann es früh gelegentlich etwas kühl sein, denn es ist nicht sinnvoll das Gebäude morgens vor Unterrichtsbeginn auf 23 °C zu heizen, um dann ab 10 Uhr Probleme mit zu hohen Temperaturen zu haben. Bei Unterschreitung von 21 °C bitte den Hausmeister informieren.

Die Jalousien werden vom Hausmeister Anfang Mai auf geschlossen (Sommerbetrieb) und Anfang Oktober auf geöffnet (Winterbetrieb) programmiert. Je nach aktueller Witterung kann diese strenge Unterteilung in der Übergangszeit auch für ein paar Tage ungünstig sein. Hier kann raumweise nach Bedarf eingegriffen werden.

Für die Fensterlüftung gibt es jetzt kaum Einschränkungen, solange die Außenlufttemperatur nahe der Raumtemperatur ist und keine Komfortprobleme in Fensternähe entstehen.

Im Sommer:

Ein Passivhaus mit vielen massiven wärmespeichernden Betonwänden und Decken kühlt nur langsam aus. Daher sind unnötige Energieeinträge im Sommer zu vermeiden.

Jalousien sind außerhalb der Heizperiode automatisch geschlossen, um solare Energiegewinne zu vermeiden. Die automatische Schließung wird in zwei Pausen (9.30 Uhr und 11.30 Uhr) wiederholt, um die Lehrer von der Bedienung nach Stundenende zu entlasten.

Kunстlicht ist nur ausnahmsweise einzuschalten. Vorrang hat die Tageslichtnutzung durch geeignete Wahl des Lamellenstellwinkels.

Elektrische Verbraucher sind im Sommer besonders sparsam einzusetzen, da fast jeder Stromverbrauch zur Erwärmung beiträgt. Vor längeren Nichtnutzungszeiten (Ferien) schalten die Lehrer die Standby-Betriebe aus. Die Hausmeister kontrollieren die Ausschaltung.

Fensterlüftung ist erlaubt, sollte aber vorwiegend zu kühlen Tageszeiten erfolgen; dann auch länger, sofern keine Komfortprobleme bei den Schülern entstehen. Sobald die Außenlufttemperatur höher als die gewünschte Raumtemperatur ist, sind nur kurze Stoßlüftungen erlaubt.

Im Haus B wird die Lüftungsanlage bei hochsommerlichen Temperaturen abgeschaltet, da die Lüfter auf dem Dach wärmere Luft ansaugen würden, als über die Fensterlüftung zu erzielen wäre. Sobald die grüne LED am Lüftungs-Präsenztaster aus ist, muss der Nutzer für gelegentliche Fensterlüftung sorgen. Im Haus A und Zwischenbau erfolgt bei Kühlanforderung die Vorkühlung der Zuluft über die Erdwärmetauscher. Damit ist die Zuluft etwas kühler als die dem Raum entzogene Abluft. Fensterlüftung soll hier deshalb bei Hitze eingeschränkt werden.

- ➔ Erreicht werden die energetischen Ziele wie auch ein guter thermischer Komfort und gute Luftqualität nicht automatisch, sondern nur wenn Gebäudebetreiber (Stadt Cottbus, Hausmeister) und Gebäudenutzer (Lehrer, Schüler) mit Sachverstand, Interesse und Wachsamkeit ihr Schulgebäude betreiben und nutzen.
- ➔ Bei voller Raumbelegung kann nach etwa 45 min ein kurzes Stoßlüften über die Fenster nötig sein.
Dies ist auch in den Pausen vor jeder Unterrichtsstunde sinnvoll.

Übergabe zum Projektende

➔ Erstellung einer Rauminformation

Information zum Raumbetrieb

Bitte beachten. Damit sichern Sie einen angenehmes Raumklima und sparen Energie.

Lüften:

Unterricht: Lüftungsanlage läuft bei grüner LED, andernfalls Knopf drücken.

Die Lüftungsanlage sichert ein Grundniveau an Frischluft, lüftet früh vor Unterrichtsbeginn den Raum und im Sommer auch nachts. Haus A und Zwischenbau werden im Sommer leicht gekühlt. Die Lüfter laufen bei korrekter Stundenplaneingabe automatisch etwas vor, während und nach jedem Block oder zwei Zeitstunden nach Knopf drücken.

Pausen: Stoßlüften mit mehreren Fenstern weit auf für wenige Minuten.

Bei voller Raumbelastung kann ein kurzes Stoßlüften auch nach 45 min Unterricht sinnvoll sein. Das Ankippen der Fenster vermeiden! Im Sommer wenn nötig verstärkt lüften, solange es draußen noch kühl ist.

Zu häufiges Lüften im Winter führt zu trockener Luft und Energieverlusten.

Zu häufiges und langes Lüften im Hochsommer führt zu hohen Raumtemperaturen.

Jalousie:

Unterricht: Lamellenstellung für Blendfreiheit und Tageslichtnutzung wählen.

In der Heizperiode sind solare Energiegewinne erwünscht. Im Sommer müssen sie vermieden werden. Entsprechend sind die Jalousien im Winter automatisch in Grundstellung geöffnet und im Sommer geschlossen. Ein manuelles Rückstellen in den Pausen muss nicht erfolgen.

Stromverbrauch:

Kunstlicht möglichst vermeiden, nach Stundenende ausschalten.

Ferien: Whiteboards und Computer komplett ausschalten.

Nach dem Monitoring

➔ Kleinauftrag durch die Stadt zur weiteren Betreuung für Januar - Juni 2015

- Reduzierung des Stromverbrauchs in den Nichtnutzungszeiten (Lüfter aus)
- Korrektur von aufgetretenen Fehlschaltungen
- Fortführung Komfortmessungen
- Besprechungen zum Gebäudebetrieb mit Hausmeistern
- Auslesen der Messwerte und Übergabe an Begleitforschung

➔ Kleinauftrag durch die Stadt zur weiteren Betreuung für Jan. – Dez. 2016

- Optimierung Jalousiebetrieb nach Himmelsrichtung und Tageszeit
- Besprechungen zum Gebäudebetrieb mit Hausmeistern
- Auslesen der Messwerte und Übergabe an Begleitforschung
- Senkung Fixkosten für Fernwärmeanschlüsse

Vielen Dank!



Schlussbericht hier: <https://www.b-tu.de/fg-thermophysik/forschung/projekte/aktuell>



b-tu

Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus - Senftenberg