



TURNVEREIN BREMEN-WALLE 1875 e.V.

Abschlussbericht zum Projekt

BREHASA 1875

**Untersuchung Modellhafte Sportstättenanierung:
Konkrete Umsetzung an der Halle des TV Bremen-Walle 1875
nach dem unter MeTuSa-lem entwickelten Konzept**

Laufzeit: 10.07.2008 – 31.05.2010

Förderung:

Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück
Bremer Energie-Konsens GmbH, Bremen
Bundesinstitut für Sportwissenschaft, Bonn
Senator Bau, Umwelt und Verkehr, Bremen

Bewilligungsempfänger:

Turnverein Bremen-Walle 1875 e.V.
Hans-Böckler-Str. 1A
28217 Bremen
Telefon: 04 21-3 80 77 33
Telefax: 04 21-3 80 77 63
E-Mail: info@tvbremen1875.de

Projektpartner:

HK – Planungsbüro
PTG Planungsbüro Goldschmidt
Ingenieurbüro Bruns
FH Hannover, Fakultät II, Institut für Energie und Klimaschutz, Prof. Zapke
HS Bremen, Institut für Informatik und Automation, Prof. Mevenkamp

Inhalt

1	Zusammenfassung	5
2	Was war MeTuSa-lem?	7
3	Umsetzung der Baumaßnahme seit Sommer 2008	9
3.1	Hochbau	9
3.1.1	Wärmedämmung der Außenwände	9
3.1.2	Erneuerung der Fenster und Türen	10
3.1.3	Dachsanierung	11
3.1.4	Lichtband	13
3.1.5	Fundamentdämmung	14
3.2	Heizungs- und Lüftungssystem	16
3.2.1	Konzept	16
3.2.2	Heizung	16
3.2.3	Lüftungskonzept der Halle und Nebenräume mit Wärmerückgewinnung	18
3.3	Elektroinstallation	20
3.3.1	Konzept	20
3.3.2	Steuerung der Hallenbeleuchtung	20
3.4	Sanitärinstallation	21
3.4.1	Wasserspararmaturen	21
3.4.2	Legionellenprophylaxe	22
3.4.3	Anpassung der Zirkulation	24
3.5	Inbetriebnahme	25
3.6	Zusammenfassung Umsetzung der Baumaßnahme	26
4	Qualitätssicherung	27
4.1	Bauliche Qualitätssicherung	27
4.2	Betrachtung von Wärmebrücken im Wandbereich (horizontal)	28
4.2.1	Wärmebrücken im Altzustand	28
4.2.2	Wärmebrücken nach der Sanierung	29
4.3	Betrachtung von Wärmebrücken im Wandbereich (vertikal)	30
4.4	Messtechnische Qualitätssicherung	32
4.4.1	Blower-Door-Test	32
4.4.2	Thermographie	36
4.5	Zusammenfassung Qualitätssicherung	42
5	Verbrauchsanalyse	43
5.1	Messsystem und Messumfang in der Evaluationsphase	43
5.2	Elektrischer Energiebedarf	45
5.2.1	Auswertung des Gesamt-Stromverbrauchs	45
5.2.2	Aufteilung der Verbräuche und der Einsparungen	46
5.3	Auswertung der Wärmemengenerfassung	47
5.3.1	Heizkreise und Gesamt-Heizwärmeverbrauch	47
5.3.2	Übersicht über die Energieverbräuche in den Heizkreisen	48
5.3.3	Heizwärme zur Brauchwasserbereitung	50
5.4	Wasserverbrauch	51
5.5	Zusammenfassung Verbrauchsanalyse	53

6	Thermisches Verhalten der Halle	54
6.1	Hallentemperatur im Winter	54
6.2	Hallentemperatur im Sommer	56
6.3	Wärmesee	58
6.3.1	Gegenstand der Untersuchung, Motivation	58
6.3.2	Messung der Erdreichtemperatur	58
6.3.3	Temperaturprofil am Streifenfundament der Giebelwand	60
6.3.4	Temperaturprofil an der Wand mit neuartiger Perimeterdämmung	60
6.3.5	Temperaturprofil im Erdreich unter dem Hallenboden	61
6.3.6	Simulation der Temperaturverteilung im Erdreich	64
6.3.7	Thermografische Evaluation der Perimeterdämmung	67
6.4	Zusammenfassung Thermisches Verhalten	69
7	Resümee und Ausblick	70
	Quellenverzeichnis	73
	Anhang	75

1 Zusammenfassung

Das Projekt "BreHaSa 1875" baut auf den Ergebnissen des "MeTuSa-lem" - Projekts (2004 – 2006) auf, in dem ein modulares Konzept für Sporthallensanierungen erarbeitet wurde (siehe Kapitel 2).

Ziel des Projekts "BreHaSa 1875" ist es, die grundlegenden Untersuchungen und Ergebnisse aus "MeTuSa-lem" in die Praxis umzusetzen und durch weitere wissenschaftliche Begleitung die realen Ergebnisse mit den theoretischen zu vergleichen. Die Ergebnisse und die gemachten Erfahrungen bei Bestandsbeurteilung, Vorplanung und Umsetzung der energetischen Sanierung sollen veröffentlicht und so weiteren sanierungswilligen Bauherren als Entscheidungshilfe an die Hand gegeben werden.

Bestandteile der Sanierung waren:

- Dach
- Wände
- Fundamente
- Fenster/ Türen/ Oberlicht
- Heizung (Halle und Nebenräume)
- Lüftung
- Sanitär (wassersparend)



Abbildung 1.1: Halle vor Sanierungsbeginn

Die Baumaßnahmen zur Sanierung der Sporthalle des TV Bremen-Walle 1875 wurden am 10.7.2008, mit Beginn der Sommerferien, gestartet. Zwei Wochen nach Ende der Sommerferien waren die Arbeiten an Dach, Hallenlüftung, -heizung, -beleuchtung abgeschlossen, Fenster und Türen ausgetauscht und die Fundamentdämmung (Wärmesee) angebracht. Der Sportbetrieb in der Halle konnte wieder aufgenommen werden.

Der lange, kalte und nasse Winter und Frühling 2008/2009 verzögerten die Fertigstellung der Restarbeiten an Wänden, Entwässerung und Außenanlagen bis Anfang Juni 2009. Mit Abschluss dieser Arbeiten konnte am 24.06.2009 die offizielle Übergabe stattfinden. Eine festliche Einweihung mit Teilnehmern aus der Politik und von Seiten der Förderer sowie Vertretern von Presse und Fernsehen fand am 21.8.2009 statt.



Abbildung 1.2: Halle nach der Sanierung

Die kontinuierliche Messdatenaufzeichnung in der sanierten Halle wurde im Dezember 2008 (wieder) aufgenommen

und bis Projektende weitergeführt. Somit wurden zwei Heizperioden annähernd vollständig erfasst. Gesonderte Messungen wurden zur Untersuchung der Erdreichtemperaturen unter der Halle und im Bereich der Fundamente durchgeführt, um die Wirksamkeit der im Zuge der Sanierung eingebrachten Perimeterdämmung nachzuweisen ("Wärmesee").

Die Auswertung der Messdaten und die Diskussion des erreichten energetischen Zustands ist Bestandteil des Schlussberichtes, ebenso wie die Erläuterungen der bautechnischen Sanierungsmaßnahmen und der Qualitätsnachweis der Umsetzung durch Blower-Door-Test und Thermografieaufnahmen.

Ziel dieses Schlussberichtes ist es, den Erfolg der Maßnahme darzustellen, Möglichkeiten der Übertragbarkeit aufzuzeigen und gemachte Erfahrungen weiterzugeben. Wir wollen damit Hilfestellung für andere Projekte geben.

Das Rad muss nicht jedes Mal neu erfunden werden und gemachte Fehler müssen nicht wiederholt werden.

2 Was war MeTuSa-lem?

Unter dem Projektnamen „MeTusa-lem“,

„Modellhafte Turnhallensanierung – langfristig energiesparend modernisieren“

wurde aus den ca. 37.500 Turnhallen in der Bundesrepublik (Bestand 1988) eine sogenannte "Kamü"-Turnhalle (ca. 600 baugleiche Hallen davon in Norddeutschland) ausgewählt, um die Möglichkeiten und Kosten einer energetischen Sanierung zu untersuchen. Vor dem Hintergrund des Beschlusses der Bundesregierung aus dem Jahre 1990 zur Einsparung von 25% CO₂ sollte das Projekt einen Beitrag zur Erschließung des hohen Energieeinsparpotentials im Bereich der Turnhallen leisten.

Man rechnet, dass von o. g. Hallen knapp 40% sanierungsbedürftig sind, wobei keine energetischen Maßnahmen dabei eingerechnet wurden, denn dann sind es zwischen 50% und 60%, da die meisten Hallen vor 1990 gebaut wurden.

Zur Durchführung dieser Aufgabe hat sich im Jahre 2003 eine Projektgruppe bestehend aus Hochschulen und Unternehmen gebildet (Die Beteiligten sind in Anhang A aufgeführt).

Mit dem ehrenamtlich tätigen Vorstand des „TV Bremen 1875 e.V.“, heute „TV Bremen-Walle 1875 e.V.“, wurde durch die Projektgruppe ein Partner mit eigener Halle gefunden, der bereit war, dieses Projekt mit zu gestalten. Die am 14. April 1980 eingeweihte, vereinseigene Sporthalle, nach dem damaligen Stand der Technik errichtet, war für dieses Vorhaben bestens geeignet. Es konnten die zur Temperatur- und Verbrauchsmessung benötigten Messgeräte eingebaut und alle nötigen Untersuchungen an der Halle ohne Probleme durchgeführt werden. Die Projektarbeiten mit Grundlagenuntersuchungen, Bestandsaufnahme der Bauteile und Ermittlung der Kosten für die Sanierungsbausteine der einzelnen Gewerke wurden im Jahr 2006 abgeschlossen.

Die Planer hatten sich die Aufgabe gestellt, einen Leitfaden für Sporthallenbetreiber zu entwickeln, der sich allen technischen Fragen, besonders den Aspekten Nachhaltigkeit, CO₂ Minderung und Wirtschaftlichkeit widmet. Wegen der besonderen Komplexität des Gebäudetyps sind Energieeinsparmaßnahmen bisher wenig realisiert worden, obwohl das Einsparpotenzial sehr groß ist. Dies wird deutlich belegt durch die im Rahmen des Projekts erstellten Energiebedarfsrechnungen zu den erarbeiteten Sanierungsvarianten. Die messtechnische Erfassung des Zustands der Halle vor der Sanierung ermöglicht eine Evaluation des Sanierungserfolgs durch einen unmittelbaren Vorher-Nachher-Vergleich.

Von den Fachplanern wurden grundsätzliche Überlegungen zu den einzelnen Sanierungsmassnahmen skizziert und die Kosten für vier Sanierungsvarianten ermittelt:

- Sanierung in den ursprünglichen Bauzustand mit den heute gültigen Vorschriften und Regeln,
- nach EnEV – Standard,
- nach Niedrigenergiehausstandard (NEH-dena) und
- in Anlehnung an den Passivhausstandard.

Hierbei wurden auch die jeweiligen, prognostizierten Energieeinsparungen beziffert. Nach Umsetzung der Sanierung sollten die tatsächlichen Einsparungen der Prognose gegenübergestellt werden.

Der Sanierungsaufwand sollte unterteilt werden in die Kosten für die Gebäudehülle, das Dach mit Lichtband und die Haustechnik (Heizungs-, Lüftungs- Elektro- und Sanitärtechnik), um auch die Amortisation von einzelnen Maßnahmen abschätzen zu können.

Die Ergebnisse wurden 2006 in einem Abschlussbericht zusammengefasst und eine Kurzfassung als Buchbeitrag veröffentlicht ([Boh06], [Spi07]).

Im Jahre 2007 hatte der TV Bremen 1875 ca. 750 Mitglieder mit 11 Sportarten und 54 Sportangeboten und verfügte somit nur über beschränkte finanziellen Möglichkeiten. Auf der Mitgliederversammlung 2007 mussten die Anwesenden in langen Diskussionen davon überzeugt werden, dass die Arbeiten auch finanziell machbar waren. Hierbei wurde besonders auf den Modellcharakter und die bundesweite Beachtung der Sanierung dieser Halle aufmerksam gemacht. Die Mitgliederversammlung fasste schließlich den Beschluss, den Vorstand zu ermächtigen, die Sanierung für 1 Mill. € (+/- 10%) in Auftrag zu geben.

Leider musste die im Jahr 2007 erfolgte Ausschreibung auf Grund zu hoher Kosten aufgehoben und im Jahr 2008 wiederholt werden, um dann die Umsetzung 2009 durchzuführen. Zur Kostenreduzierung wurden in der neuen Ausschreibung alle Verschönerungsarbeiten, wie Innenanstrich, neuer Prallschutz, Erneuerung der Sanitäreinrichtungen / Sanitär-ausstattung, Austausch der Beleuchtungskörper in den Nebenräumen und Verschönerung der Außenanlage, gestrichen und auf einen späteren Zeitpunkt verschoben. Nur durch diese Maßnahme konnte der Ausschreibungsumfang so reduziert werden, dass der von den Mitgliedern genehmigte finanzielle Rahmen nicht gesprengt wurde. Hierbei wurde stark darauf geachtet, dass die in „MeTuSa-lem“ aufgestellten Forderungen und technischen Einzelheiten alle erfüllt wurden.

Im Frühjahr 2008 sind dann ca. 1.200 neue Mitglieder aus einem Nachbarverein in den TV 1875 eingetreten, so dass sich die finanzielle Basis des Vereins bedeutend verbessert hat.

Unter dem Projektnamen „BreHaSa 1875“, „Bremer Hallen Sanierung beim TV 1875“ wurde dann die Halle an der Hans-Böckler-Straße in Anlehnung an den Passivhausstandard von Juni bis Dezember 2009 saniert.

Die gesamten Sanierungskosten, ohne die oben angeführten Verschönerungsarbeiten beliefen sich letztendlich auf 1.063 Mio. € und sind auch gegenüber dem Angebot nicht überschritten worden.

3 Umsetzung der Baumaßnahme seit Sommer 2008

Baubeginn war am 10.7.2008. Im MeTuSa-lem Projekt waren die baulichen Maßnahmen, in Abstimmung mit den Komponenten der Technik, festgelegt worden. Die Maßnahmen bezogen sich auf eine bauliche und eine energetische Ertüchtigung des gesamten Baukörpers.

Das Gebäude wurde auf Schäden und energetische Schwachstellen hin untersucht (z. B. Fenster in Umkleiden). Die dringenden baulichen Reparaturen (Binder, Risse im Mauerwerk) wurden durchgeführt, bevor mit den energetischen Arbeiten an Dach, Wänden, Fenstern, Türen und Fundamenten begonnen wurde. Bevor mit den energetischen Arbeiten an der Hülle begonnen werden konnte, wurde die gesamte Haustechnik überarbeitet bzw. erneuert. Dies war die Voraussetzung für eine effiziente energetische Ertüchtigung der Bauteile, weil ein nachträgliches Durchbrechen der Außenwände und des Daches vermieden wurde.

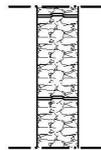
Diese Maßnahme wurde ohne Änderungen, entsprechend den Ergebnissen des MeTuSa-lem – Projekts und den Forderungen der Förderer umgesetzt.

3.1 Hochbau

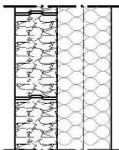
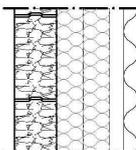
3.1.1 Wärmedämmung der Außenwände

Es ist ein Wärmedämmverbundsystem mit einem Polystyrol – Dämmblock (EPS) in Stärken von 300 mm (WLG 035) montiert. Aus gestalterischen Gründen sind Teilflächen der Außenwände mit einer hinterlüfteten Fassadenverkleidung aus ALU – Wellelementen inkl. einer Mineralwolle dämmung verkleidet.

Wandaufbau vor der Sanierung

Außenwand	0,79	Bestand- IST-Zustand
-Porenbeton 240mm ges. 240mm		

Wandaufbau nach der Sanierung (WDVS und Stahlwelle)

Außenwand	0,09	Variante: Passivhauselement	
a) -Dispersionsputz 5mm -Spachtel incl. Armierung 5mm -PS-Hartschaum 300mm -Porenbeton 240mm ges. 550mm		a) 	b) 
b) -Alu-Welle 60mm -Luftschicht 60mm -PS-Hartschaum 300mm -Porenbeton 240mm ges. 660mm			



Dämmblöcke des WDVS



Fertiger Zustand

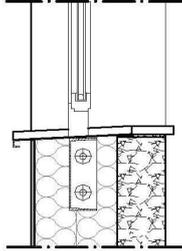
3.1.2 Erneuerung der Fenster und Türen

Die vorhandenen Fenster und Türelemente sind komplett ersetzt. Als Fensterelemente sind Kunststoff – Profile mit 7 Kammern zum Einsatz gekommen (Rahmen: $0,88 \text{ W/m}^2\text{K}$, Glas: $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$). Bei den Türelemente wurden wegen der hohen Beanspruchung nur Aluminiumprofile oder Stahlprofile (Materialgr. 1,0; 2-fach Verglasung, U-Wert $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) verwendet.

Mauerwerksaufbau und Fenster vor der Sanierung

Fenster	3,50	Bestand- IST-Zustand
-Aluminiumfenster -Doppelverglasung		

Mauerwerksaufbau und Fenster nach der Sanierung

Fenster	0,9	Variante: Passivhauselement
-Kunststofffenster Rahmen gedämmt 3 fach Verglasung		



Anschluss Terrassentür Gastrobereich



oberer Anschluss des Fensters

Die Fensteröffnungen der Nebenräume (Umkleideräume / Duschen) wurden zugemauert.

Es sind zusätzliche Fensteröffnungen im oberen Bereich der Sporthalle eingebaut, die zu Lüftungszwecken und bei Überschreitung des CO₂-Grenzwertes elektromotorisch geöffnet werden. Die Betätigung erfolgt über die EIB-Anlage zeitgesteuert bzw. abhängig von der CO₂-Messung in der Halle und der Belegung der Umkleideräume.

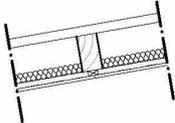
3.1.3 Dachsanierung

Die vorhandenen Wellasbestzementplatten einschließlich der Folien sowie die vorhandene Dämmung wurden entsorgt, ebenso die angrenzenden Einfassungen wie z. B. Lichtbandeinfassungen, Rinnen, Fallrohre etc.

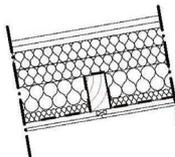
Eine neue Dacheindeckung aus Aluminium – Stehfalzprofilen (KAL-ZIP) ist hergestellt. Alle Anschlüsse, Dachrinnen, Fallrohre Traufenverkleidungen etc. sind neu geliefert und montiert. Eine Dampfsperre ist über die vorhandenen Dachsparren hinweggeführt, fachgerecht und dicht hergestellt.

Wärmedämmung aus Mineralwolle (360 mm WLG 035) wurde zwischen der Sparrenlage eingebaut.

Dachaufbau vor der Sanierung

Dach Halle	0,61	Bestand- IST-Zustand
<ul style="list-style-type: none"> -Well- Eternit 6mm (50mm) -Luftschicht, 130mm -Nadelholz, 130mm -Mineralfaserdämmung, 50mm -Nadelholz, 50mm -Luftschicht, 25mm -Lattung, 25mm -PE-Folie, 0,2mm -Akustik-Platten 15mm <p>Aufbau: 220,2mm (270,2mm)</p>		

Dachaufbau nach der Sanierung

Dach Nebenräume	0,11	Variante: Passivhauselement
<ul style="list-style-type: none"> -KAL-ZIP, (60mm) -Mineralfaserdämmung, 130mm -Mineralfaserdämmung, 180mm -Nadelholz, 130mm -Mineralfaserdämmung, 50mm -Nadelholz, 50mm -Luftschicht, 25mm -Lattung, 25mm -PE-Folie, 0,2mm -Gipskartonplatten 15mm <p>Aufbau: 400,2mm (460,2mm)</p>		



Dämmung vor der Sanierung



und danach (erste Lage)



Dämmung gesamt



Dachfläche danach

3.1.4 Lichtband

Ein neues Lichtband ist mit den gleichen Abmessungen, aber erheblich verbessertem U-Wert ($1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) und niedrigem g-Wert (17%) geliefert und montiert. Dabei sind die Fußpunkte des Lichtbandes wärmegeklämt ausgeführt (Übergang $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) und um so viel erhöht, wie dies erforderlich ist, um einen fachgerechten Anschluss an die Dacheindeckung zu erhalten.

Oberlicht	1,18	Variante: Passivhauselement
<ul style="list-style-type: none"> -Oberlichtpaneel -Alu-Wetterblech -Dichtbahn -Lichtbandzarge -10 cm Dämmung 		



Lichtband neu

Abschluss / Anpassung Dach und Dämmung
an die neue Lichtbandzarge

3.1.5 Fundamentdämmung

Ohne Perimeterdämmung ist die in der DIN 4108-2 "Wärmeschutz im Hochbau - Wärmedämmung und Wärmespeicherung - Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung" geforderte Mindestoberflächentemperatur von 12,6° C im Eckbereich nicht erreichbar.

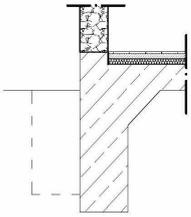
Es wird daher ca. 1 m tief eine 10 cm dicke Perimeterdämmung (WLG 035) im Bereich der Fundamente eingebaut.

Die Halle weist an der nördlichen Längsseite eine Außenwand auf, die über 2,50 m Höhe an Erdreich grenzt. Statt die Wand bis zur Unterkante des Streifenfundamentes aufzugraben und die Perimeterdämmung bis zur Sohle zu führen, wurde im Rahmen des Modernisierungsumbaus die Dämmung im Bereich der erdberührten Hangseite gemäß Abbildung 2.1 100 cm senkrecht (Frostgrenze) und dann 100 cm nahezu waagrecht in den Hang eingebaut.

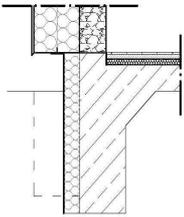
Dieses Konzept ist wesentlich kostengünstiger realisierbar. Allerdings sind bisher keine vergleichbaren Projekte bekannt, so dass für die Effizienz der Maßnahme keine Erfahrungswerte existieren. Aus diesem Grund wird im Rahmen dieses Projekts der Umbau der Halle unter anderem durch Temperaturmessungen im Erdreich messtechnisch begleitet, um rechnerisch und auf Basis eines Vorher-Nachher-Vergleichs die Wirksamkeit dieser innovativen Variante der Perimeterdämmung zu belegen.

Messungen unter der Bodenplatte und im Bereich der waagerechten Dämmung dienen außerdem der Beurteilung, ob die in bisherigen Normen zugrunde gelegten Annahmen für die Wärmebedarfsberechnungen derartiger Gebäude adäquat sind (siehe auch Kap.6.3).

Dämmung der Streifenfundamente (Front und Giebelseiten)

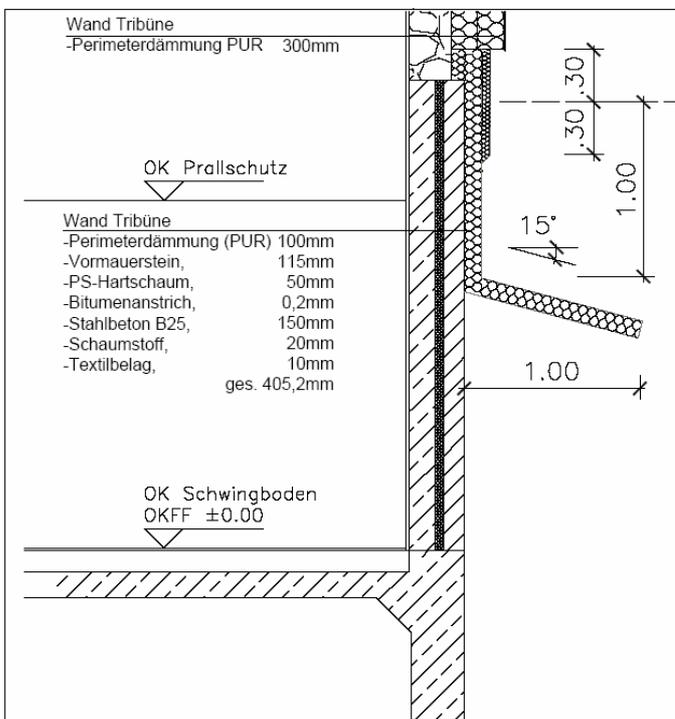
Sockel	Bestand- IST-Zustand
-Bitumenanstrich 3mm -Frostschürze ges. 303mm	

Vor der Sanierung

Sockel	Variante: Passivhauselement
-Blech 1mm -Dämmung 100mm -Bitumenanstrich 3mm -Frostschürze ges. 404mm	

Nach der Sanierung

Innovative, L-förmige Dämmung am Hang



Außenwand-Detail, Dämmung bei Hanglage



3.2 Heizungs- und Lüftungssystem

3.2.1 Konzept

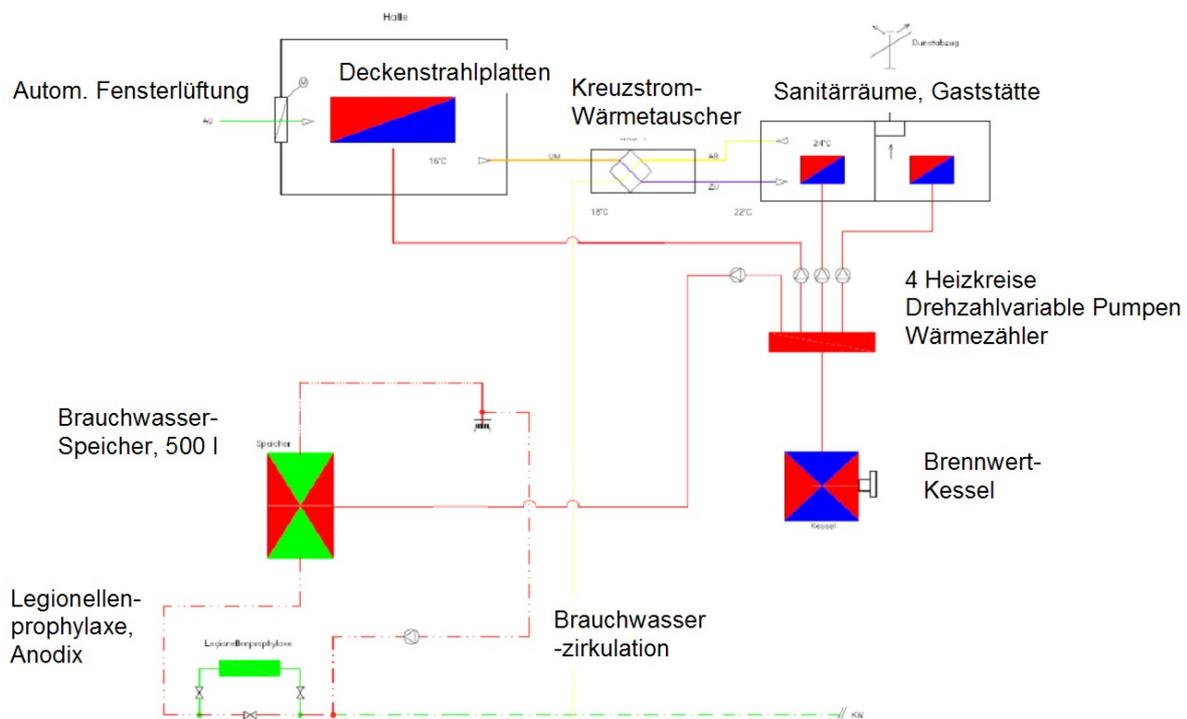


Abbildung 3.1: Übersichtsschema des Heizungs- und Lüftungssystems

Neben der Durchführung von baulichen, energetischen Ertüchtigungen der Hülle wurde ein energieoptimiertes Heizungs-/Lüftungskonzept umgesetzt, das auf Deckenstrahlplatten und einer natürlichen, aber kontrollierten Belüftung der Halle basiert.

3.2.2 Heizung

- Eine Strahlungsheizung ersetzt die Luftheizung.

Die alte, enorm energieintensive Lüftungsheizung wurde durch energetisch optimale Deckenstrahlplatten ersetzt, die an ihrer Oberseite gedämmt sind, um ungewollte Lufterwärmung unter dem Dach zu vermeiden.

Das Heizprinzip der Strahlungsheizung basiert auf infraroter Strahlung, die beim Auftreffen auf einen Körper diesen erwärmt, nicht jedoch in erster Linie die Luft. Hierbei entsteht für Menschen, die sich im Raum aufhalten, ein höheres Wärmegefühl, auch wenn die umgebende Luft eine vergleichsweise niedrige Temperatur hat. Bei gleicher Behaglichkeit kann die Halle also bei geringeren Temperaturen betrieben werden, wodurch sich die Transmissionsverluste verringern.

Ein weiterer Vorteil ist, dass beim Lüften der Halle nicht Luft, die energieintensiv auf mehr als 20 °C (unterm Dach nicht selten mehr als 30 °C) erwärmt wurde, sondern deutlich kühlere Luft gegen die Außenluft ausgetauscht wird.



Alte Luftheizungsrohre



Neue Deckenstrahlplatten

- Ein Brennwertgerät ersetzt den alten, überdimensionierten Kessel.

Die alte Kesselanlage, sowie die alte Heizungsverteilung mit den alten Pumpen wurde komplett erneuert. Der alte Kessel, der nur selten die Nennlast von 225 kW erreichte, arbeitete mit einem dementsprechend geringen Wirkungsgrad und hohem Verbrauch.

Ersetzt wurde der Brenner durch eine neue Anlage, die von 16 – 170 kW selbst modulierend, stets mit gleichem Wirkungsgrad verbrauchsoptimiert arbeitet und kleiner ausfällt, da der Wärmebedarf der Strahlungsheizung kleiner ist als der der alten Lüftungsheizung.



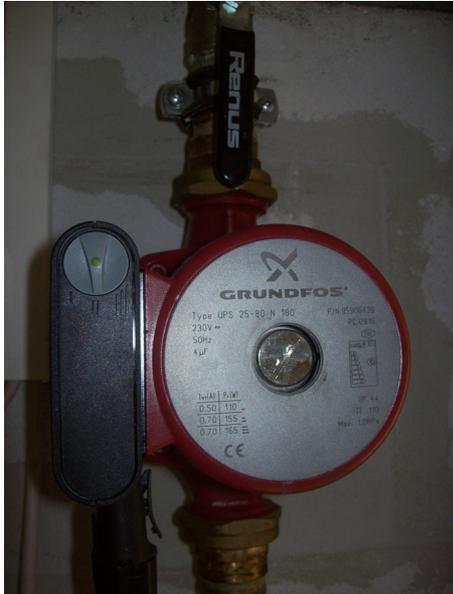
Alter Heizkessel



Neuer Brennwertkessel

- Austausch der Pumpen/ Leitungen

Die alten Förderpumpen der Heiz- und Wasserkreise wurde gegen Pumpen der Energieeffizienzklasse A getauscht. Die alten Leitungen wurden erneuert und deren Wärmedämmung verbessert.



Neue, effiziente Pumpen für die Brauchwasserzirkulation und in den Heizkreisen

- Einbau von statischen Heizflächen in den Umkleiden und Fluren und Austausch der alten Rippenradiatoren durch Plattenheizkörper

Im alten Zustand wurden die Umkleide- und Duschbereiche durch die Luftheizungsanlage beheizt. Durch den Wechsel zu einer Strahlungsheizung in der Halle mussten in den Fluren und Umkleiden statische Heizflächen eingebaut und neue Heizkreise gezogen werden. Alte statische Heizflächen wurden gegen neue effizientere Heizkörper ausgetauscht.

- Einbau von Wärmemengenzählern in allen Heizkreisen zur Verfolgung der Wärmeverbräuche (siehe auch Kapitel 5).

3.2.3 Lüftungskonzept der Halle und Nebenräume mit Wärmerückgewinnung

- Zusätzliche Fenster in der Halle

Fenster mit elektromotorischem Antrieb wurden an der Hallenlängsseite und an beiden Giebelseiten eingebaut. Diese dienen zur Querlüftung, wenn das Oberlicht nicht genutzt werden kann oder soll.

- Zwangslüftung mit Wärmerückgewinnung

Weiterhin wird bei Einsatz des Lüftungsgeräts zum Abführen der verbrauchten und feuchten Luft aus den Umkleide- und Duschbereichen die benötigte Zuluft über diese Hallen-

fenster angesaugt. Die aus der Halle kommende Zuluft wird über einen Kreuzstromwärmetauscher geleitet, der der abgesaugten Luft aus den Umkleiden und Duschen Wärme entzieht. Das Öffnen eines oder mehrerer Hallenfenster bei Einschalten der Zwangslüftung erfolgt automatisch über die busgestützte Steuerung.



Feuchtesensor in den Duschen zur Steuerung der Zwangslüftung



Lüftergerät mit Kreuzstrom-Wärmetauscher

- Fenster der Umkleiden werden zugemauert.

Die alten Fenster in den Umkleiden wurden ständig beschädigt, so dass sie selten ganz geschlossen waren und warme Luft entweichen konnte. Dies bedingte ständig hohe Kosten. Um diese auszuschließen und einen höheren Dämmwert dieses Bereiches zu erhalten, wurden die Fensteröffnungen zugemauert.

- Bedarfsgeregelte Lüftung

Der CO₂-Gehalt der Hallenluft wird in beiden Hallenteilen gemessen, und bei Überschreiten eines Grenzwerts werden die Hallenfenster in Intervallen geöffnet, bis eine untere Schwelle des CO₂-Wertes wieder erreicht ist.



CO₂ – Sensor in der Halle

Im Sommer kann die Halle nachts durch außentemperaturabhängiges, automatisches Öffnen der Fenster gekühlt werden.

3.3 Elektroinstallation

3.3.1 Konzept

Für die Steuerung aller Funktionen im Bereich Beleuchtung, Lüftung und Sicherheit (Einbruch) ist ein KNX/EIB-Bussystem installiert. Komplexere Steuer- und Regelungsfunktionen übernimmt dabei eine an das Bussystem gekoppelte speicherprogrammierbare Steuerung, die auch über einen Ethernetanschluss verfügt und damit eine Fernwartung des Systems prinzipiell unterstützt, was aber im bisherigen Betrieb noch nicht genutzt wurde.

3.3.2 Steuerung der Hallenbeleuchtung

- Schaltung der Beleuchtung über Präsenzmelder

Die Beleuchtung in der Halle und im Sozialbereich wird automatisch abgeschaltet, wenn sich keine Personen im jeweiligen Raum aufhalten.



- Tageslichtabhängige Steuerung der Hallenbeleuchtung

Die Halle ist mit modernen, dimmbaren Leuchten ausgestattet (48 x 240 W). Da tagsüber durch das Lichtband bereits eine weitgehend ausreichende Beleuchtung der Halle gewährleistet ist, werden die Leuchten mit Hilfe von Helligkeitsreglern nur nach Bedarf zugeschaltet und soweit gedimmt, dass eine für den Sportbetrieb ausreichende Beleuchtung in der gesamten Halle gegeben ist. Eine für Wettkämpfe notwendige, erhöhte Beleuchtungsstärke kann im Bedarfsfall durch autorisiertes Personal per Schlüsselschalter geschaltet werden. Durch einen Softanlauf beim Einschalten der Leuchten wird eine hohe Lebensdauer der Leuchtmittel erreicht.

- Sicherheit

Die eingebauten Präsenzmelder sind über die KNX/EIB-Anlage zusätzlich auf die Einbruchmeldeanlage aufgeschaltet.

Zur Erhöhung der Sicherheit und entsprechend den geltenden Vorschriften wurden Notleuchten und Fluchtwegleuchten installiert.

3.4 Sanitärinstallation

3.4.1 Wasserspararmaturen

Zu der mit dieser Sanierung angestrebten Ressourcenschonung gehören auch wassersparende Maßnahmen.

- Wasser sparende Duschen mit Perlatoren

Die alten Duscharmaturen mit alter manueller Mischeinheit und über 20 Litern Durchfluss, wurden gegen neue ausgetauscht, die mit 9 Litern auskommen, einen Verbrühschutz haben und über einen Drücker nur eine bestimmte Zeit lang laufen.



Mischeinrichtung Dusche



Duschkopf

- Wasser sparende Waschbeckenarmaturen

Die alten Waschbeckenarmaturen mit alter manueller Mischeinheit und über 10 Litern Durchfluss wurden gegen neue ausgetauscht, die mit 4 Litern auskommen und über einen Drücker nur eine bestimmte Zeit lang laufen. Zudem erfolgte im Erdgeschoss nur noch der Anschluss an die Kaltwasserleitung. Die Waschbecken im OG erhielten einen Warmwasseranschluss, da dies nach Gaststättenverordnung vorgeschrieben ist.



Neue Druckarmatur

- Wasser sparende Urinalspülungen

Die alte Drückerbetätigung mit hohem Durchfluss wurde gegen neue automatische, sensorgesteuerte Auslöser getauscht, mit deutlich geringerem Durchfluss.



Annäherungssensor Urinal von vorne



von oben

- Wasser sparende WC-Spülkästen mit Stopffunktion

Die alten Spülungen und Spülkästen der WC-Anlagen wurden gegen neue Wasser sparende Kästen mit Kurzspül- und Stopffunktion ausgetauscht.



Spülkasten mit Kurzspültaste

3.4.2 Legionellenprophylaxe

Zur Legionellenprophylaxe wurde eine Anlage eingebaut, die auf der anodischen Oxidation basiert. Diese bewirkt, dass durch ein Wasser durchflossenes, speziell entwickeltes und patentiertes Elektrodenpaket (Rohr-in-Rohr-Form) Legionellen durch Elektrodenkontakt abgetötet werden.

Gleichzeitig entstehen während des Wasserdurchflusses im Grenzschichtbereich der Elektrodenoberflächen wirksame Oxidantien, welche direkt aus dem Wasser generiert werden und ebenfalls Viren und Bakterien inaktivieren.

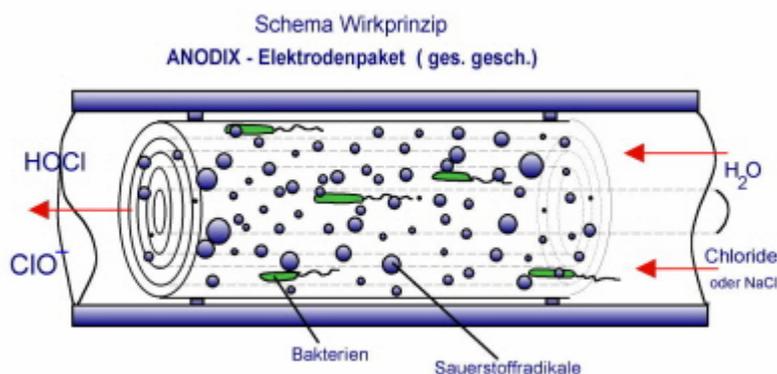


Abbildung 3.2: Prinzip der Anodischen Oxydation

die Vorlauftemperaturen in der Zirkulation auf das benötigte Maß (z. B. 35 - 40 °C) herabzusetzen, da durch dieses Verfahren die so genannte „thermische Desinfektion“ der Leitungen hinfällig wird.

3.4.3 Anpassung der Zirkulation

Die alte Zirkulation, die bisher nur über den Flur lief, wurde bis zu den Zapfstellen vorgeführt. Dies erfolgte nach der gültigen Trinkwasser Verordnung. Alle erreichbaren Trinkwasserleitungen, auch die alten in den Decken, wurden im Zuge dieses Umbaus gedämmt, ebenso die Leitungen in den Metallduschkörpern.

Aufgrund der Verbrauchsmessungen in den verschiedenen Heizkreisen wurde im Laufe der ersten Heizperiode festgestellt, dass sich der Energieverbrauch der Halle insgesamt drastisch reduziert hat. Nur bei der Warmwasserbereitung zeigte sich ein erheblicher Verbrauchszuwachs. Nach eingehender Untersuchung konnte Folgendes festgestellt werden:

1. Der Mehrverbrauch wird durch die Zirkulation verursacht.
2. Technisches Versagen der Bauteile und unkontrollierter Wasserverlust konnten ausgeschlossen werden.
3. Trotz Erneuerung und Dämmung aller erreichbaren und neuen Leitungen mussten einige Leitungen ungedämmt sein.
4. Bestimmte Wände der Sanitärräume waren sehr warm, da hier Zirkulationsleitungen verliefen, die weitergenutzt wurden und bei der Erbauung der Halle nicht gedämmt worden sind. Daher wirkte die Zirkulation wie eine stete Heizung dieser Wände und Räume.
5. Die neuen Duschkörper in den Duschräumen wurden sehr warm, auch ohne dass die Duschen genutzt wurden. Da die Duschen in die Zirkulation integriert sind, gab das warme Wasser auch hier seine Wärme ab.

Folgende Maßnahmen zur Verringerung der hier auftretenden Wärmeverluste wurden ergriffen:

1. Dämmung der Duschkörper,
2. zusätzliche Neuverlegung der Zirkulationsleitungen und Dämmung,
3. Herabsetzung der Vorlauftemperatur, ermöglicht durch die Anodix-Anlage (siehe auch Anhang D.4)

Die durch diese Maßnahmen erreichten Verbesserungen sind in Kap. 5.3.3 dargestellt.

3.5 Inbetriebnahme

Das Gebäude verfügt über eine flexible automatische Steuerung, die vielfältige Möglichkeiten der Parametereinstellung und Implementierung von Sonderfunktionen bietet. Sie soll unter anderem Bedienungsfehler der Nutzer auszuschließen und unnötige Verbräuche bei Beleuchtung, Heizung und Lüftung vermeiden. Zur Anpassung der Steuerung an die Einsparziele des Betreibers und die Bedürfnisse der Sportler war eine längere Einregelzeit (Optimierungsphase) erforderlich, die alle Bereiche, Heizung, Lüftung, Beleuchtung und Sicherheit, betraf. Hier ist von allen Seiten Geduld, Einsatzbereitschaft und Kommunikationsfähigkeit eingebracht worden.

Die dabei gemachten Erfahrungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- In einem Gebäude, das baulich innovativ ist, kann nicht erwartet werden, dass die Installationstechnik in "Plug&Play"-Weise auf Anhieb gut arbeitet.
- Seitens der Installateure liegen kaum Erfahrungen mit den besonderen Betriebsbedingungen, die sich beispielsweise in einer hochgedämmten Halle mit automatisierter Fensterlüftung ergeben, vor. „Erfahrungswerte“ aus Standardbauwerken sind nicht einfach übertragbar. So lieferte beispielsweise erst die fünfte Änderung der Einstellungen an der Heizung eine zufrieden stellende Hallentemperatur.
- Mit den Möglichkeiten, die die Technik bietet, steigen die Anforderungen und Wünsche der Nutzer. Zum Umgang mit Spezifikationen, die sich im Zuge der Nutzung dynamisch entwickeln, gibt es ebenfalls keine ausreichenden Erfahrungen.
- Die Messdatenerfassung, die ursprünglich nur auf die abschließende Evaluation abzielte, war als Monitoring-System ein wesentliches Hilfsmittel zur Aufdeckung nicht optimal umgesetzter Installationen und Automatisierungsfunktionen. Es war aber z.B. nicht auf die Überwachung der Lüftung ausgelegt.

Wegen der unvollständigen Fernabfragemöglichkeiten und des zunächst nicht verfügbaren Fernzugriffs auf die Steuerung musste für jede Überprüfung oder Anpassung der Steuerung das Installationsunternehmen vor Ort sein, mussten Termine abgesprochen werden, ergaben sich längere Reaktionszeiten. Der Inbetriebnahme- und Optimierungsprozess gestaltete sich dadurch sehr aufwändig.

Das vollständige Monitoring des Gebäudes mit Überwachung auf Fehlfunktionen und erhöhte Verbräuche sowie die Möglichkeit der Fernwartung sollten bei moderner Gebäudeinstallationstechnik von vornherein mit eingeplant werden.

3.6 Zusammenfassung Umsetzung der Baumaßnahme

Die Energie einsparenden und verbrauchsreduzierenden technischen Einbauten sowie die hoch gedämmten baulichen Veränderungen der Hülle erfolgten nach den Vorgaben des MeTuSa-lem Projekts und den Anforderungen der Fördermittelgeber.

Eckdaten der Umsetzung sind:

- eine Dämmung der Wände mit 30 cm WDVS und des Daches mit einer Stärke von 36 cm Dämmstoff,
- Tageslichtnutzung durch ein Lichtband mit sehr geringen U- und g-Werten,
- Perimeterdämmung der Fundamente mit innovativer Anordnung in der Anschüttung (Hanglage),
- Heizungsanlage mit Brennwert-Kessel und Deckenstrahlplatten,
- Kontrollierte, natürliche Lüftung mit Wärmerückgewinnung bei den Nebenräumen,
- Wasser sparende Armaturen, verringerte Temperaturen im Brauchwasservorlauf durch Legionellenprophylaxe mittels Anodischer Oxidation,
- Bedarfsgerecht geregelte Beleuchtung (abhängig von Anwesenheit und Tageslicht),
- Übergreifende Steuerung der Gebäudefunktionen über ein Gebäudebussystem.

Je nach Nutzung von Hallen, Eigentumsverhältnissen, Witterung und Beginn der Ausführung treten verschiedene Zwänge auf. Diese werden die Ausführung auf bestimmte Zeiträume beschränken und damit die Gewerkeabläufe verdichten oder auch verzögern und bei allen Beteiligten eine enorme Flexibilität voraussetzen.

Es muss auch allen Beteiligten klar sein, dass ein solches Projekt eine entsprechend umfangreiche Planungsphase braucht, sowie einen entsprechenden Zeitraum der Anpassung an die Nutzung (Anforderungen seitens Sportler / Betreiber).

Eine intelligente Gebäudeinstallationstechnik ist auf der einen Seite unverzichtbar für das Erschließen von Energieeinsparpotentialen, die über den Effekt der Wärmedämmung allein hinausgehen, Auf der anderen Seite ist bei solchen Systemen die Inbetriebnahme keine einmalige Umsetzung sondern ein Prozess, in dem fortlaufend Nutzerrückmeldungen und Anforderungen der Betriebsverantwortlichen zu verarbeiten, Parameter anzupassen und Funktionen hinzuzufügen sind. Diese Inbetriebnahmephase und die Optimierung des laufenden Betriebs haben entscheidende Bedeutung für die Energieeffizienz moderner Gebäude [BIN10]. Wie diese Phase effizient gestaltet werden kann und welche Mittel der Fernüberwachung und -wartung benötigt werden, dazu besteht, ausgehend von den bei dieser Sanierung gemachten Erfahrungen, weiterer Untersuchungsbedarf.

4 Qualitätssicherung

Qualitätssicherung ist bei jedem Bau- oder Sanierungsvorhaben von entscheidender Bedeutung für die Umsetzung der baulichen und der gebäudetechnischen Maßnahmen und die Erfüllung der Zielsetzungen. Die energetische Qualitätssicherung während der Bauphase und danach stellt sicher, dass die gewünschten Qualitäts- und Verbrauchsziele erreicht und Mängel, sofern solche festgestellt werden, behoben werden, damit Gebäude dauerhaft ihren Zweck erfüllen und wirtschaftlich betrieben werden können.

Mit steigenden Ansprüchen an die Gestaltung und Energieeffizienz eines Gebäudes steigt der Anspruch an die Bau- und Qualitätsüberwachung, so dass sich die Qualitätssicherung nicht mehr nur auf den Zollstock und die Erfahrung der Bauüberwachenden beschränken kann, sondern sich zunehmend technischer Hilfsmittel bedienen muss. Um Mängel zu vermeiden oder aufzudecken, werden Lasergeräte zu Messungen, Endoskope zur Bauteileinsicht, Wärmebildkameras zur Erkennung von Wärmebrücken und Messverfahren zur Gebäude- und Luftdichtheitsüberprüfung angewendet.

4.1 Bauliche Qualitätssicherung

Die konsequente Anwendung von Instrumenten der Qualitätssicherung war neben der regelmäßigen Kontrolle durch Inaugenscheinnahme eine wesentliche Tätigkeit während der Durchführung der Sanierungsarbeiten. Hierzu gehörte auch die Überprüfung der verwendeten Wärmedämmstoffe im Hinblick auf ihre Wärmeleitfähigkeit, weil diese als die maßgebliche Größe für die Wärmedämmeigenschaften der Konstruktion zu gelten hat.

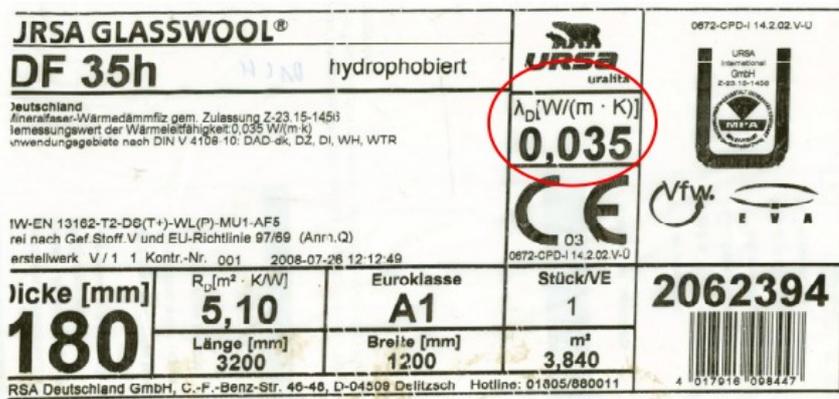


Abbildung 4.1: Glaswolle (hydrophobiert) der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035

Noch bedeutsamer war die regelmäßige Überprüfung der Detailausführung vor Ort, um sicherzustellen, dass Wärmebrücken tatsächlich minimiert und die planerischen Vorgaben strikt umgesetzt wurden. Für den Nachweis nach EnEV können Wärmebrücken pauschal gemäß DIN 4108 Beiblatt 2 angesetzt werden, wenn ausschließlich wärmetechnisch äquivalente Konstruktionen verwendet wurden. Ebenso möglich ist eine pauschale Beaufschlagung auf den U-Wert jedes Bauteils mit $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die dritte Möglichkeit ist die detaillierte Aufschlüsselung aller Wärmebrücken, was in der Regel eine weitere rechnerische Senkung des Jahresprimärenergiebedarfs bedeutet.

neoWall-E EPS035 WDV 300 MM 2ST				
Zulassungs-Nr. Z-33.4-449  4680 T03347 	Anwendungstyp nach DIN 4108-10		Qualitätstyp	
	WDV E		EPSe 035 WDV	
	Nennstärke	Format		dyn. Steifigkeit s'in MN/m³
	300 mm	500 mm X 1000 mm		
Kanten	Platten	Fläche	Scherfestigkeit f _{TK} in kPa	
ST	2 Stück	1,00 m²		
Wärmeleitfähigkeit		dyn. Steifigkeit		
Bemessungswert		7		
Brandverhalten		Scherfestigkeit		
B1 (DIN 4102) Ü-Nr. BFA-GS EPS 2.3385		f _{TK} in kPa		
Artikel-Nummer		≥ 25		
15525		Schermodul		
		G _m in kPa		
		≥ 300		
EN 13163 EPS Fassadendämmplatte Furoklasse E R _D = 8,571 m²K/W Nennstärke 300 mm EPS EN 13163-T2-L2-W2-S2-P4-HS30-US(N)2-DS(U)-J3-TR80-SD7				

Abbildung 4.2: Expandierter Polystyrol-Hartschaum der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035

Vor diesem Hintergrund wurde bei der Sanierung der Sporthalle eine detaillierte zweidimensionale Betrachtung potentieller Wärmebrücken durchgeführt [Jen08]. Bestimmte als kritisch bewertete Punkte der wärmeübertragenden Umfassungsfläche wurden sowohl im Ist-Zustand als auch nach der Sanierung untersucht und miteinander verglichen. Als Vergleichskriterium wurde der Wärmebrückenkoeffizient herangezogen. Eine Wärmebrücke wird dann als vernachlässigbar betrachtet, wenn der Wärmebrückenkoeffizient $\psi \leq 0,01$ W/(m·K) ist. Solange der Wärmebrückenkoeffizient $\psi \leq 0,05$ W/(m·K) ist, wird die Konstruktion als wärmebrückenarm bezeichnet.

4.2 Betrachtung von Wärmebrücken im Wandbereich (horizontal)

4.2.1 Wärmebrücken im Altzustand

Die Wandkonstruktion ist geprägt durch die außenliegende Stahlbetonskelettkonstruktion, so dass eine Wärmebrückenwirkung im eigentlichen Sinn nicht gegeben ist. Die Betrachtung der Wärmebrücken erfolgt daher exemplarisch für bestimmte Teilbereiche (siehe Abbildung 4.3).

Vor der Sanierung gab es demzufolge im Wandbereich nur an der Nord-Ost Seite gegen Erde eine Wärmebrücke. Alle anderen Wandbereiche, die hier exemplarisch ausgewählt worden sind, weisen keine Wärmebrückenwirkung auf.

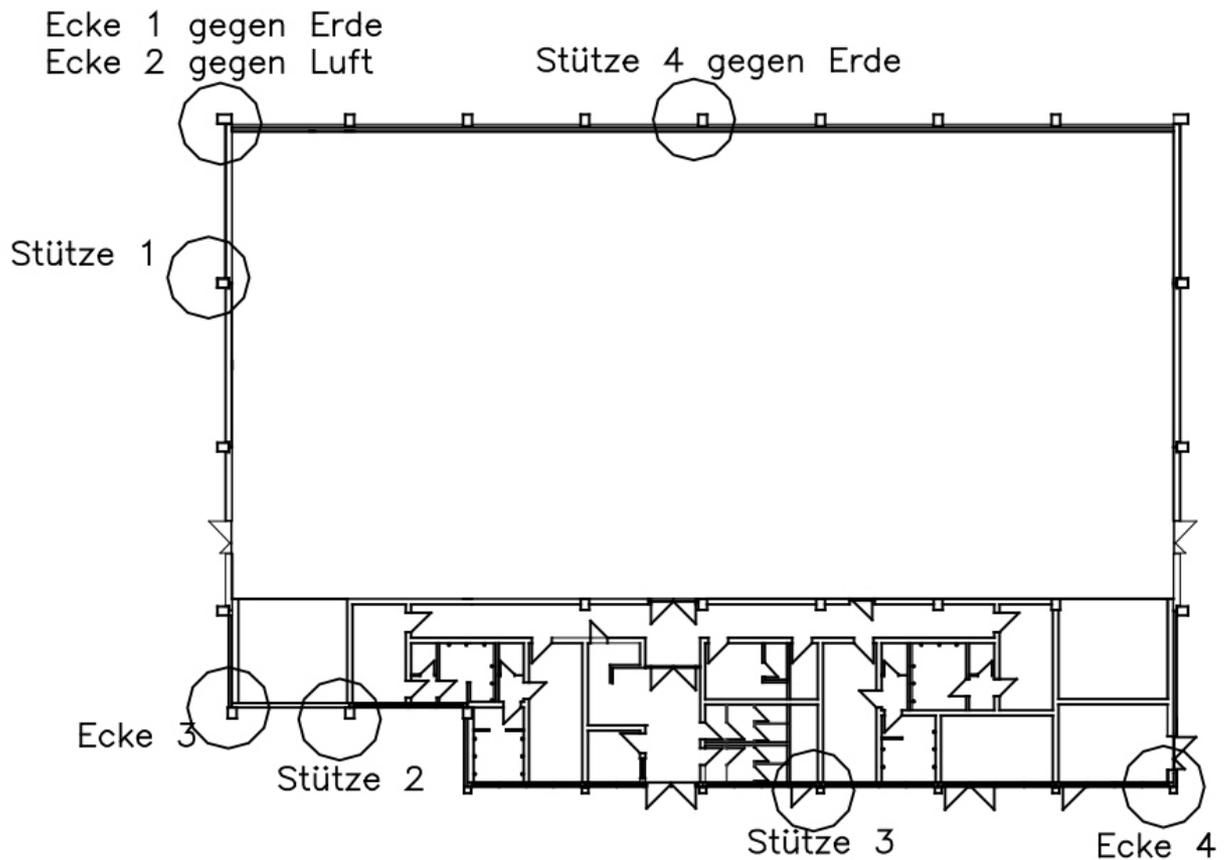


Abbildung 4.3: Wärmebrückenzuordnungen im Grundriss

Tabelle 4.1: Wärmebrückenkoeffizienten im Altzustand

Zuordnung	ψ -Wert [W/(mK)]	Berechnung	Bemerkung
Stütze 1	- 0,03	Anhang_C.2\Anhang B1	
Stütze 2	- 0,02	Anhang_C.2\Anhang B6	
Stütze 3	- 0,01	Anhang_C.2\Anhang B8	
Stütze 4	+0,24	Anhang_C.2\Anhang B10	gegen Erde
Ecke 1	- 0,37	Anhang_C.2\Anhang B12	gegen Erde
Ecke 2	- 0,40	Anhang_C.2\Anhang B13	
Ecke 3	- 0,31	Anhang_C.2\Anhang B14	
Ecke 4	- 0,37	Anhang_C.2\Anhang B15	

4.2.2 Wärmebrücken nach der Sanierung

Um die durchgeführten Maßnahmen unmittelbar miteinander vergleichen zu können, erfolgte eine analoge Betrachtung für die zuvor ausgewählten Teilbereiche. Da die Wärmedämmung der Außenwände außenseitig erfolgte, wirken die Stahlbetonstützen nun als eine Art ‚Kühlrippen‘, was sich auch im Ergebnis tendenziell widerspiegelt.

Tabelle 4.2: Wärmebrückenkoeffizienten im Altzustand

Zuordnung	ψ -Wert [W/(mK)]	Berechnung	Bemerkung
Stütze 1	+0,19	Anhang_C.2\Anhang S1	
Stütze 2	+0,14	Anhang_C.2\Anhang S6	
Stütze 3	+1,56	Anhang_C.2\Anhang S8	
Stütze 4	+0,15	Anhang_C.2\Anhang S10	gegen Erde
Eckel	- 1,30	Anhang_C.2\Anhang S12	gegen Erde
Ecke 2	- 1,17	Anhang_C.2\Anhang S13	
Ecke 3	- 1,26	Anhang_C.2\Anhang S14	
Ecke 4	- 0,65	Anhang_C.2\Anhang S15	

Der oben angesprochene ‚Kühlrippeneffekt‘ wird betont durch die Tatsache, dass aufgrund der vor allem aus ästhetischen Erwägungen notwendigen dünneren Wärmedämmung an den Stützen (10 cm) anstelle der Regeldämmung im Außenwandbereich (30 cm) ein geometrisch und konstruktiv bedingter Wärmebrückeneffekt auftritt. Die Eckbereiche hingegen sind weiterhin als wärmebrückenfrei anzusehen.

4.3 Betrachtung von Wärmebrücken im Wandbereich (vertikal)

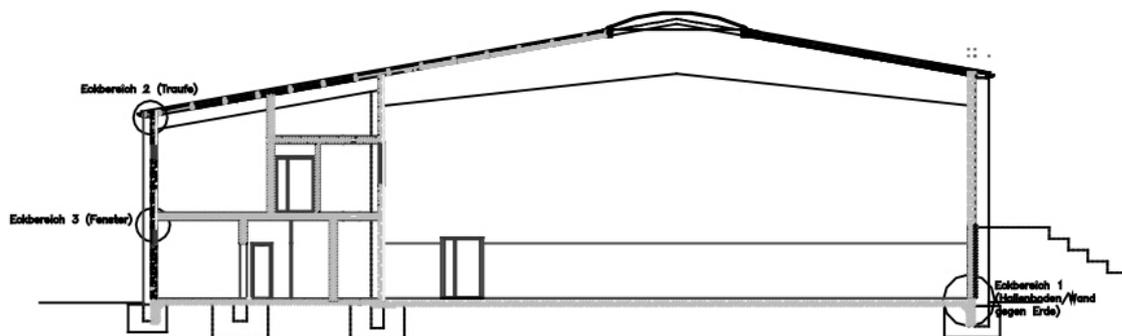


Abbildung 4.4: Wärmebrückenzuordnungen im Schnitt

Eckbereich 1 (Hallenboden/Wand gegen Erde)

Zustand	ψ - Wert [W/(mK)]	Berechnung	Bemerkung
Bestand	+0,42	Anhang_C.2\Anhang B26	
Saniert	- 0,18	Anhang_C.2\Anhang S22	

Eckbereich 2 (Traufe)

Zustand	ψ -Wert [W/(mK)]	Berechnung	Bemerkung
Bestand	- 0,20	Anhang_C.2\Anhang B27	
Saniert	- 0,06	Anhang_C.2\Anhang S23	

Eckbereich 3 (Fensteranschluss)

Zustand	ψ -Wert [W/(mK)]	Berechnung	Bemerkung
Bestand	+0,02	Anhang_C.2\Anhang B28	
Saniert	- 0,06	Anhang_C.2\Anhang S30	

Der Eckbereich 1 beinhaltet die zunächst geplante durchgängige Perimeterdämmung bis zur Fundamentunterkante. Von dieser Lösung wurde wegen des anstehenden sandigen Bodens und der daraus erwachsenden Schwierigkeiten bei der baulichen Umsetzung Abstand genommen. Stattdessen wurde eine L-förmige Perimeterdämmung, die nur 1,00 m in das Erdreich reicht und damit erhebliche Kostenvorteile bei der Realisierung mit sich bringt, ausgeführt. Weitere Einzelheiten hierzu sind den Ausführungen zur Thematik ‚Wärmesee‘ zu entnehmen (Kap. 6.3).

Ungeachtet der Wärmebrückenberechnungen wurde bereits bei der Planung der Sanierungsmaßnahme darauf Wert gelegt, dass die kritischen Stellen ‚wärmebrückenfrei‘ konstruiert wurden. So wurde beispielsweise die Einbauebene der Fenster nach außen in die Dämmstoffebene hineingerückt. Weiterhin wurde im Übergangsbereich Perimeter- zur Wanddämmung auf eine metallische Anschlagsschiene verzichtet, indem die Wanddämmung unmittelbar auf die Perimeterdämmung gestellt wurde.

Im Bereich der Fensterbänke schrägte man die 30 cm dicken Wärmedämmplatten ab, damit keine Hohlräume unter der Fensterbank entstehen konnten. Alle klaffenden Fugen in der WDVS-Dämmung wurden mit einem speziell zugelassenen Montageschaum der Firma STO ($\lambda=0,04$ W/mK) verschlossen. Diese Methode führte bei sorgfältiger Durchführung zu guten Ergebnissen, wie die thermografische Überprüfung zeigte.



Fensterbankanschluss



nachträglich verschäumte Fugen

Die mechanische Befestigung der Wärmedämmplatten des Wärmedämmverbundsystems mit Hilfe der Einschlagdübel bereitete vereinzelt Probleme, weil die Tellerdübel abknickten. Diese Stellen wurden anschließend ebenfalls verschäumt.

4.4 Messtechnische Qualitätssicherung

Weil die energetische Qualitätssicherung im Hinblick auf den Lebenszyklus von Gebäuden als Gesamtsystem zu sehen ist und sowohl die Sanierungs- als auch die Nutzungs- und weitere Modernisierungsphasen betrifft, wird sie als energetisches Monitoring der existierenden Nutzungsverhältnisse und damit als eine Art Frühwarnsystem verstanden. Sie ist damit mehr als die bloße Überwachung der energetischen Sanierungsplanung und der Ausführung und rechtfertigt den Einsatz technischer Hilfsmittel wie Luftdichtheitsnachweis (Blower-Door-Test) und Thermografie. Beides sind recht einfache und verlässliche Kontrollinstrumente, die generell eingesetzt werden können und wesentlich zum Erfolg der Maßnahme beigetragen haben.

4.4.1 Blower-Door-Test

Das für den Luftdichtheitsnachweis benötigte Messsystem besteht im Grundsatz aus einem variablen Rahmen mit einer mehr oder weniger elastischen Folie und einem in diese Folie integrierten, drehzahlgeregelten Ventilator sowie einer Volumenstrommessvorrichtung und einem Differenzdruckmanometer (siehe Abbildung 4.5).

Das Messprinzip ist in Abbildung 4.6 dargestellt [FLI08].

Der Rahmen mit Folie und Ventilator wird möglichst luftdicht in eine Fenster- oder Türöffnung der Außenhülle eingebaut. Nachdem alle Öffnungen der Gebäudehülle geschlossen sind, wird mit Hilfe des Ventilators zwischen innen und außen eine Druckdifferenz erzeugt. Dabei misst man den Volumenstrom in Abhängigkeit der Differenzdruckverhältnisse, die zwischen 10 und 60 Pa variieren können. Die Druckdifferenzen entsprechen damit denen, die bei Windanströmung mit Windstärken von 3 bis 5 entstehen.



Abbildung 4.5: Komponenten des Blower-Door-Systems

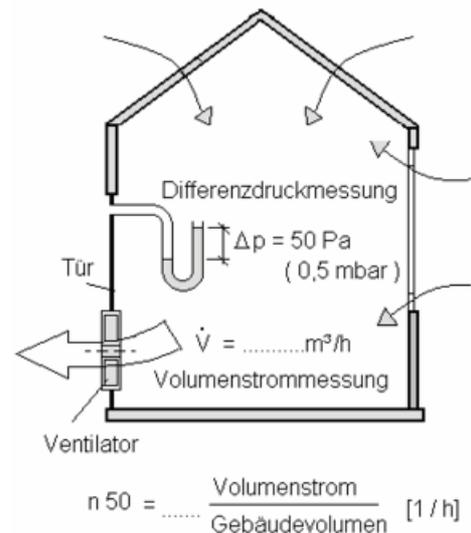


Abbildung 4.6: Messprinzip der Luftdichtheitsmessung

Aus den Messergebnissen erhält man durch Ausgleichsrechnung den Volumenstrom bei 50 Pa Druckdifferenz, in der Norm Leakagestrom genannt. Der mittlere Leakagestrom ist das arithmetische Mittel aus den Werten der Unterdruck- und Überdruckmessung und dient als Ausgangswert für die Berechnung weiterer Kennwerte.

Die Luftwechselrate n_{50} (bei 50 Pa Druckdifferenz) ergibt sich durch Division mit dem Nettovolumen und dient zur Bewertung der Luftdichtheit des Gebäudes. Sie ist die wichtigste Kennzahl im Zusammenhang mit der Luftdichtheit eines Gebäudes. Ein n_{50} -Wert von 3 h^{-1} gibt an, dass das Luftvolumen bei 50 Pa Druckdifferenz dreimal pro Stunde ausgetauscht wird.

Weitere Größen sind:

- die Luftdurchlässigkeit q_{50} (Sie ergibt sich durch Division des mittleren Leakagestroms durch die Hüllfläche und beschreibt die Qualität der Luftdichtung)
- der nettogrundflächenbezogene Leakagestrom w_{50} (Er ergibt sich durch Division des mittleren Leakagestroms durch die Nettogrundfläche)
- die äquivalente Leakagefläche A_{50} (Sie ist ein Anhaltswert für die Größe der Leakagefläche in cm^2 und ergibt sich durch Halbierung des Wertes für den mittleren Leakagestrom; durch eine scharfkantige Öffnung dieser Größe in einer dünnen Platte würde bei 50 Pa gleich viel Luft strömen wie durch die Gebäudehülle. Die reale Öffnungsfläche wird allerdings häufig größer sein, weil die Strömungspfade oft einen längeren Weg durch die Gebäudehülle aufweisen)

Die Durchführung der Luftdichtheitsmessung ist in DIN EN 13829 „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden; Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden; Differenzdruckverfahren“ geregelt.

Referenzwerte zur Luftdichtheit

Sowohl die DIN 4108-7 als auch die EnEV schreiben die luftdichte Gebäudehülle für alle Neubauten vor. Die luftdichte Bauweise ist also allgemein anerkannte Regel der Technik und damit ohne besonderen Hinweis gefordert. Die einzuhaltenden Grenzwerte lauten für Gebäude

- mit raumluftechnischen Anlagen $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$

- ohne raumluftechnische Anlagen $n_{50} = 3,5 \text{ h}^{-1}$

Erhöhte Anforderungen an die Luftdichtheit werden beim Einbau raumluftechnischer Anlagen (auch einfacher Abluftanlagen) gestellt. Die anlagentechnisch eingestellten Luftvolumenströme dürfen nicht durch so genannte Infiltrationsvolumenströme durch Gebäudeundichtheiten gestört werden, um deren Funktion sicherzustellen.

Für Gebäude mit sehr guten Wärmedämmeigenschaften ist ein Grenzwert von max. $0,6 \text{ h}^{-1}$ einzuhalten. Als Richtwert dienen die Vorgaben des Passivhaus-Institutes (PHI) Darmstadt. Er wurde hier zugrunde gelegt.

Blower-Door-Test an der Halle des TV Bremen-Walle 1875

Aufgrund des großen Gebäudevolumens war zunächst geplant, die Halle mittels zweier Geräte in Unterdruck zu versetzen, um die eindringende kühle Luft mit Hilfe der Thermografie sichtbar zu machen. Ein Abtasten der Bauteiloberflächen mit einem Thermoanemometer, wie es in der Regel üblich ist, war auf Grund der Hallenhöhe nur schwer möglich. Ähnlich verhielt es sich mit dem Auffinden von Leckagen mit dem Nebelgenerator.

Bei der Vorbereitung der Messung zeigte sich sehr schnell, dass bereits eine Blower Door ausreicht, um die Luftdichtheitsmessung durchzuführen. Schon diese Tatsache konnte als Indiz dafür dienen, dass es gelungen war, das Gebäude wärmetechnisch so zu sanieren, dass eine hinreichende Luftdichtheit erzielt wird.

Diese Vermutung wurde durch die Messergebnisse eindrucksvoll untermauert. Das Ergebnis der BlowerDoor-Messung ist in Abbildung 4.7 dargestellt. Die Messpunkte werden durch die Regressionsgerade sehr gut beschrieben. Es gibt keine nennenswerten Abweichungen. Das zugehörige Messprotokoll, das dem Bericht im Anhang beigefügt ist, weist aus, dass der nach den PHI-Richtlinien geforderte Richtwert bei dieser Messung exakt erreicht wurde.

Da zugleich eine Überprüfung der Gebäudehülle auf mögliche Leckagen mit Hilfe einer Innenthermografie erfolgte, wurde nur eine Unterdruckmessung durchgeführt, was nach DIN EN 13829 durchaus zulässig ist. Zusätzlich wurde aber im Februar 2010, also mehr als ein Jahr nach Abschluss der Sanierungsmaßnahme, eine weitere Luftdichtheitsmessung bestehend aus Unterdruck- und Überdruckmessung durchgeführt, um den tatsächlichen Nutzungszustand dokumentieren zu können. Der Mittelwert aus Unter- und Überdruckmessung wies bei dieser Messung einen nochmals verbesserten Wert von $n_{50} = 0,31 \text{ h}^{-1}$ aus (siehe Anhang C.1).

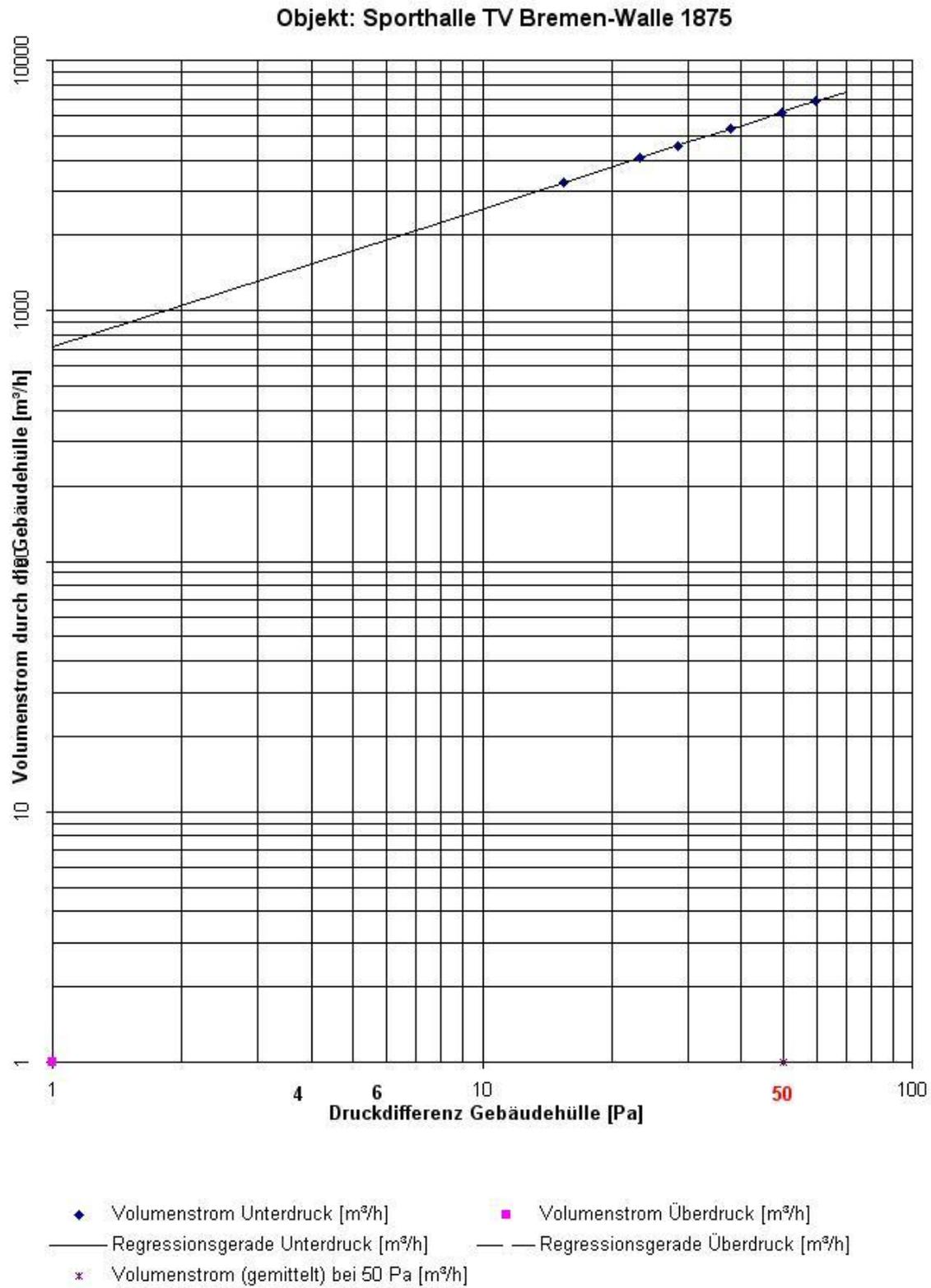


Abbildung 4.7: Ergebnis der Blower-Door Messung bei Unterdruck (21.02.2009)

4.4.2 Thermographie

Thermografische Aufnahmen machen durch die exakte Messung der Oberflächentemperaturen die Wärmestrahlung der untersuchten Flächen sichtbar. Es entsteht ein Wärmebild, bei dem die Temperaturen als Farbflächen angezeigt werden.

Die Empfindlichkeit und das Auflösungsvermögen sind sehr groß, so dass auch geringe Temperaturunterschiede über größere Entfernungen zuverlässig gemessen werden können. Im Prinzip funktionieren thermografische Systeme wie elektronische Kameras. Mit Hilfe einer speziellen Infraroptik wird die von der Umgebung, bzw. dem betrachteten Objekt ausgehende Wärmestrahlung abgetastet und in elektrische Signale umgewandelt. Diese Signale werden von der Kameraoptik weiterverarbeitet, zu einem Bild zusammengesetzt und auf einem Bildschirm ausgegeben. Den einzelnen Bildpunkten werden dabei, der empfangenen Infrarotstrahlung entsprechend, unterschiedliche Farbtöne zugeordnet. Höheren Temperaturen entsprechen dabei rote Farbtöne, niedrigeren Temperaturen blaue Farbtöne.

Für verwertbare Messergebnisse müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. Grundsätzlich ist eine solche Untersuchung nur möglich, wenn sich das zu untersuchende Objekt durch eine ausreichende Wärmestrahlung von der Umgebung abhebt. Gute Ergebnisse werden nur erreicht, wenn die Temperaturen im Innern eines Gebäudes mindestens 15°C über der Außentemperatur liegen. Aus diesem Grund können thermografische Untersuchungen nur bei niedrigen Außentemperaturen (Winterhalbjahr) durchgeführt werden. Günstig für eine Gebäudeanalyse sind die frühen Morgenstunden vor Sonnenaufgang, da dann die Erwärmung der Gebäudehülle durch die Sonne keinen Einfluss auf die Messung hat und Reflexionen vermieden werden.

Da auch regennasse Fassaden infolge der auftretenden Verdunstungskälte zu Verfälschungen der Untersuchungsergebnisse führen, müssen zudem relativ trockene Witterungsverhältnisse herrschen. Auch sollte es möglichst windstill sein.

Unter Berücksichtigung dieser Kriterien wurden an der Halle vor, während und nach dem Umbau Thermografieaufnahmen durchgeführt. Bei den thermografischen Untersuchungen während der Sanierungsarbeiten stand die Überprüfung des von außen angebrachten Wärmedämmverbundsystems im Vordergrund, weil die 30 cm dicken Dämmplatten teilweise mit deutlich sichtbaren Fugen verlegt worden waren. Diese Fugen wurden nach der Verklebung der Platten mit einem zum Wärmedämmsystem gehörenden Spezialschaum geschlossen. Aus brandschutztechnischen Gründen wurden teilweise Streifen aus Faserdämmstoff in das System integriert. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden an dieser Stelle exemplarisch wiedergegeben.

Fehlende Ausschäumung (Bereich Nord – Westseite)

In Abbildung 4.8 sind deutlich die Fehlstellen des Ausschäumens (Punkt A und B) zu erkennen, wenngleich sich die Effekte bei Temperaturdifferenzen von maximal 1 K in Grenzen halten.

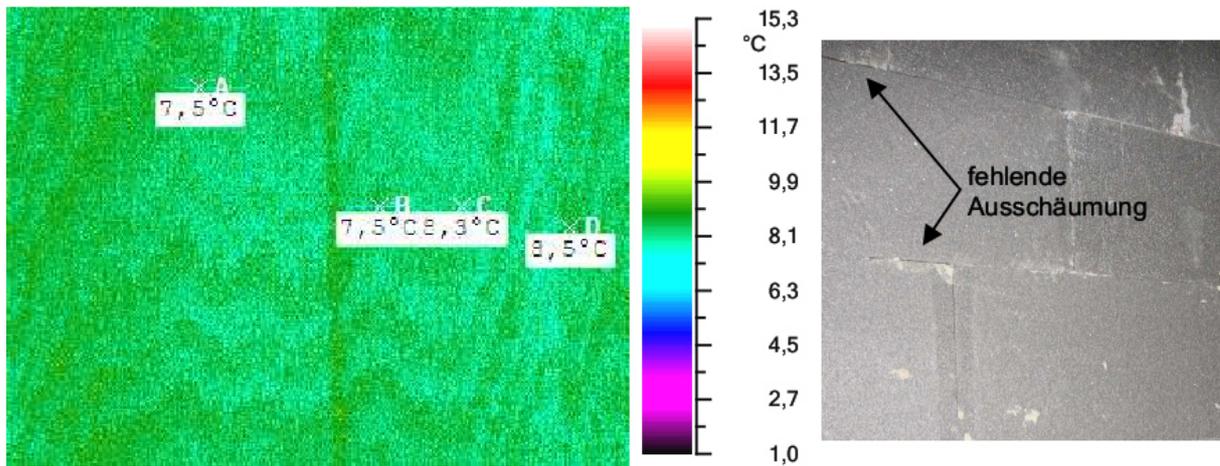


Abbildung 4.8: Wärmedämmung im Fassadenbereich mit Fehlstellen

Sturz Hallenausgang (Bereich Nord - Westseite)

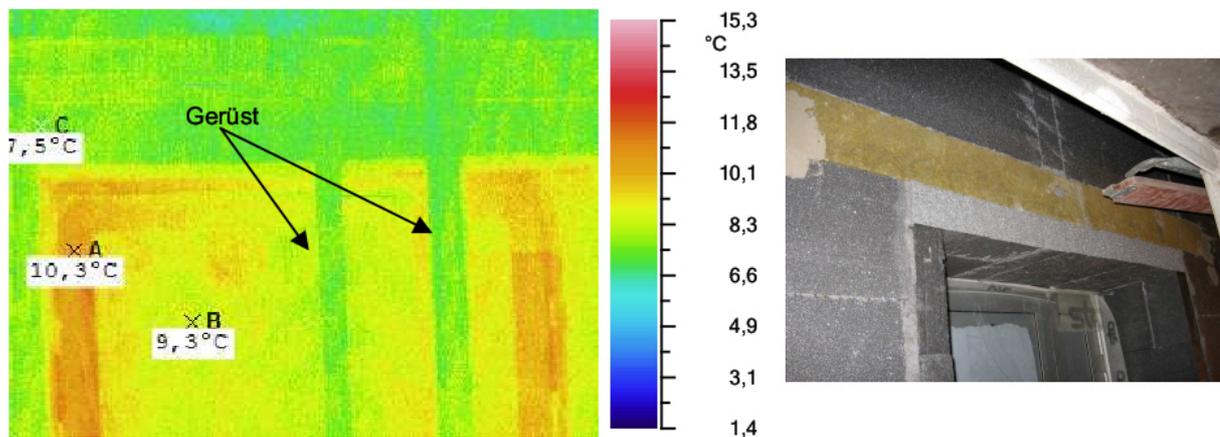


Abbildung 4.9: Sturzbereich mit Brandschutzmaßnahme

Rahmen und Füllung der Tür sind, wie zu erwarten, wärmer als die Dämmstoffoberfläche.

Schwelbereich Hallenausgang (Bereich Nord – Westseite)

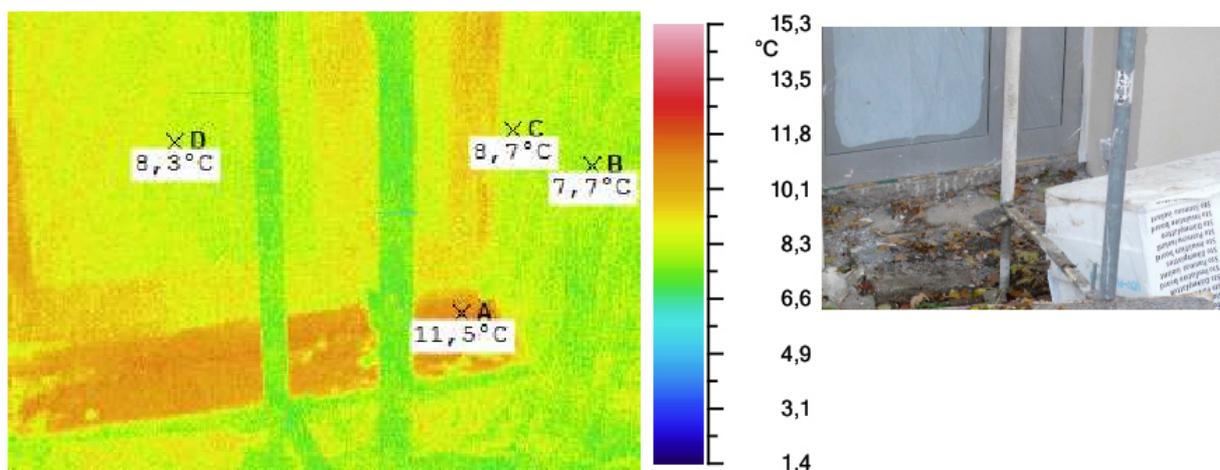


Abbildung 4.10: Ungedämmte Schwelle des Hallenausganges

In Abbildung 4.10 ist deutlich die fehlende Dämmung der Türschwelle zu erkennen. Diese Wärmebrücke wurde später mit Schaumglas gedämmt, weil hier durch Radlasten kurzzei-

tig hohe Drücke auf die Unterlage ausgeübt werden. (Das Realbild ist früher entstanden; zum Zeitpunkt der Thermografie befand sich dort kein Dämmpaket.)

Fehlende Dachdämmung Bereich Nord - Westseite

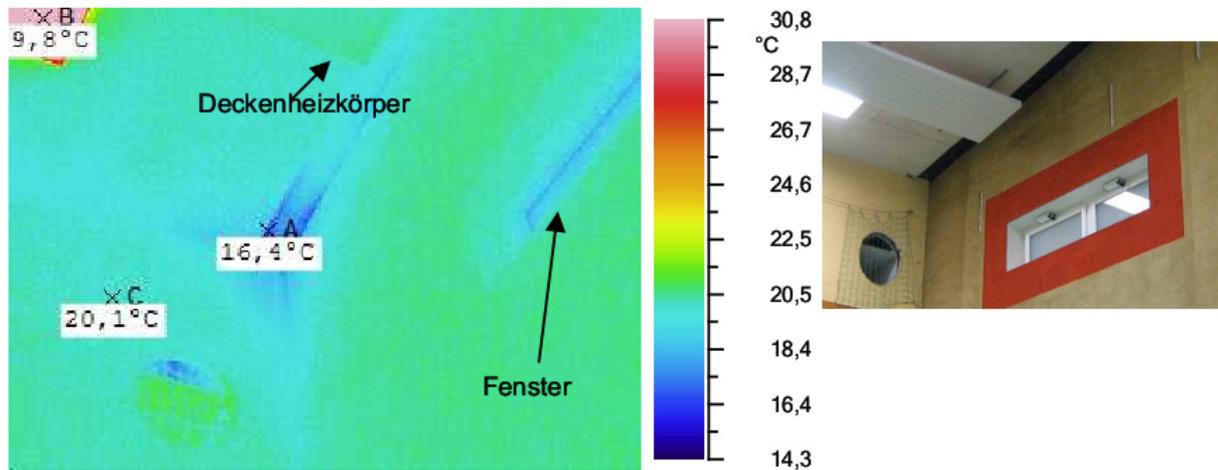


Abbildung 4.11: Fehlstelle in der Dachdämmung

Bei Punkt A ist deutlich eine Fehlstelle in der Dämmung des Daches zu erkennen. Wie sich herausstellte, war an dieser Stelle zunächst keine Wärmedämmung verlegt worden. Aufgrund der Thermografie konnte dies nachgearbeitet und behoben werden.

Noch nicht ausgeführte Wanddämmung (Bereich Süd – Ostseite)

Auf der Thermografie in Abbildung 4.12 ist deutlich zu erkennen, wie gut das Dämmkonzept aufgeht. Im Bereich A und im linken Bildbereich befindet sich noch keine Wärmedämmung, weil die Dämmarbeiten für die Vorhangfassade nach dem Aufbringen des Wärmedämmverbundsystems erfolgten. Zugleich ist zu sehen, wie sich das Baugerüst abzeichnet.

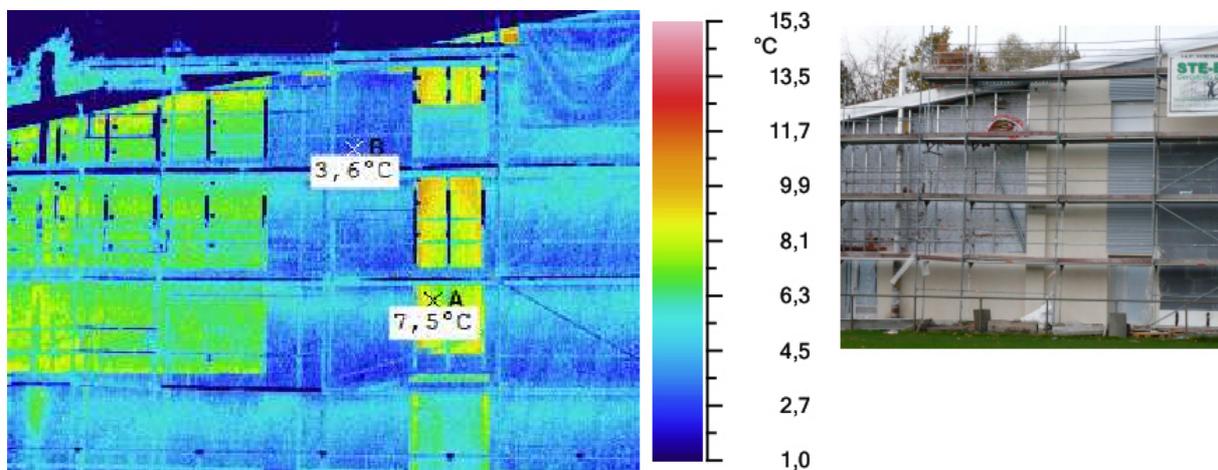


Abbildung 4.13: Noch nicht ausgeführte Wärmedämmung an der Giebelseite

Zwischenfazit

Die Thermografie wurde im Oktober 2008 bei einer Außentemperatur von 8,0 °C durchgeführt. Die Temperatur in der Halle betrug lediglich 19 °C. Trotz des sehr geringen Temperaturunterschiedes von nur 11 K zwischen Halleninnen- und Außentemperatur zeichnen sich grobe Fehlstellen sehr deutlich ab, so dass die Thermografie sich trotz der widrigen Begleitumstände als adäquates Instrument der Qualitätssicherung erweist.

Nach erfolgter Sanierung

Die folgende Auswahl von Wärmebildern zeigen sowohl Außen- als auch Innenaufnahmen nach dem Abschluss der Sanierungsarbeiten, wobei ein Teil der Innenthermografie im Zuge des Blower-Door-Tests mit Unterdruck durchgeführt wurde, um potentielle Luftleckagen zu orten.

Außenthermografie, Wärmebrücken

Die Thermografie der Ostwand zeigt im Alt-Zustand deutliche Wärmebrücken am Ortgang und an den Außenflächen der vorgesetzten Stahlbetonstützen (Abb. 4.14). Nach der Verbesserung des Wärmeschutzes mit einem Wärmedämmverbundsystem von 30 cm Dicke

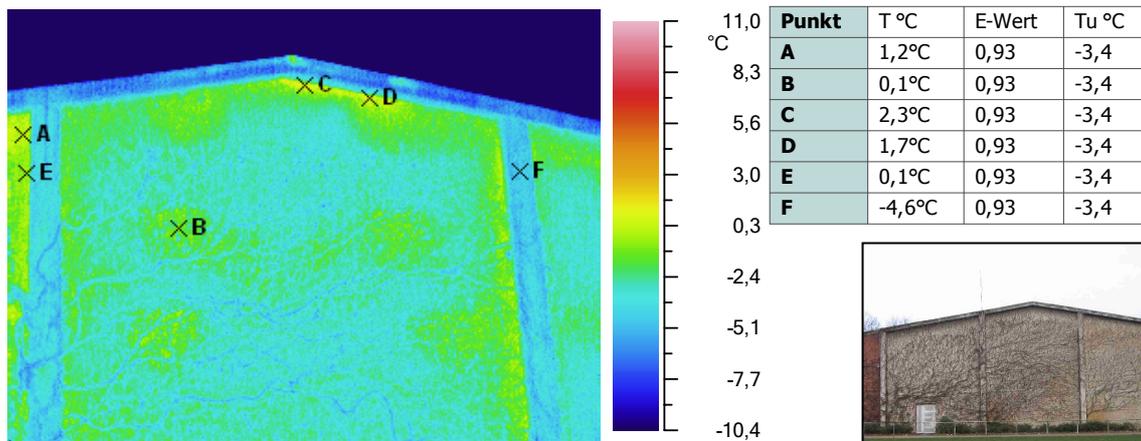


Abbildung 4.14: Außenthermografie der Ostwand im Altzustand (28.02 2004)

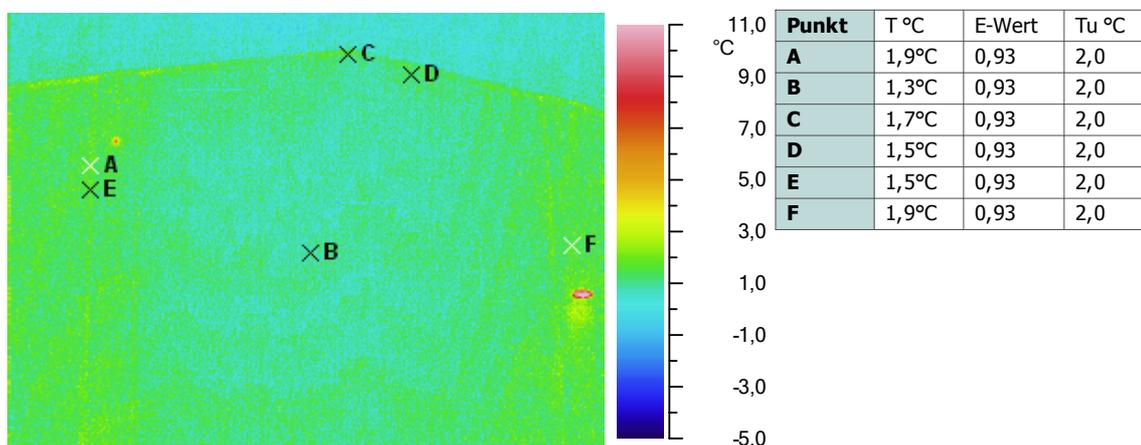


Abbildung 4.15: Außenthermografie der Ostwand nach dem Umbau (21.02 2009)

im Wandbereich und 10 cm Stärke an den Stützen, sind auf der gesamten Außenoberfläche nur noch sehr geringe Temperaturunterschiede festzustellen (Abb. 4.15). Die Sanierung wurde demnach in diesem Bereich ohne Wärmebrücken, qualitativ hochwertig ausgeführt.

Die Südwand der Sporthalle (Abb. 4.16) ist geprägt durch großzügige Fensterflächen. Insofern konzentriert sich die Thermografie der Südwand auf die Fensterflächen. Gegenüber dem Altzustand wurden sämtliche Fenster ausgetauscht und durch Kunststofffenster mit Dreifachverglasung ersetzt. Dass sich in Abbildung 4.17 die Fensterstürze als vermeintliche Wärmebrücken abzeichnen, hängt mit Verschattungseffekten zusammen. Die Dämmung der Wandflächen einschließlich Traufe ist aber auch hier, wie auf der Ostseite einwandfrei.

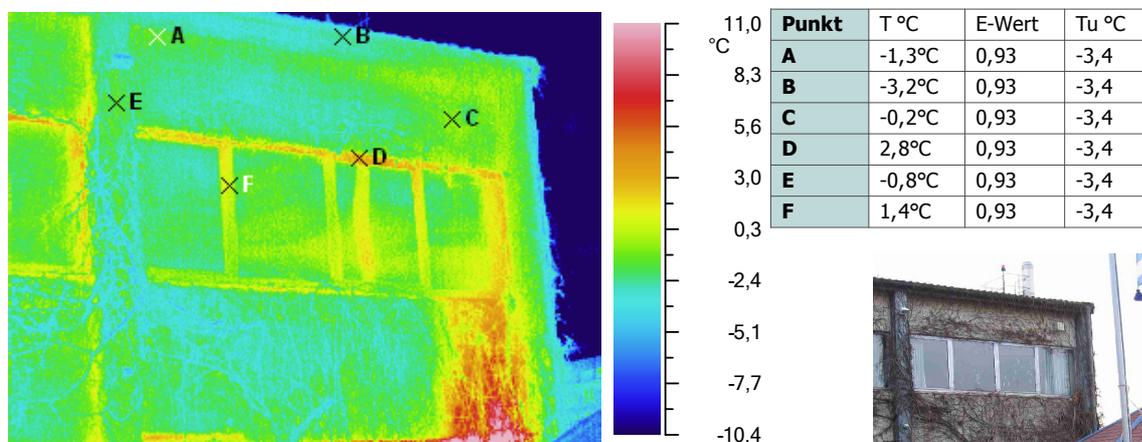


Abbildung 4.16: Außenthermografie der Südwand im Altzustand (28.02.2004)

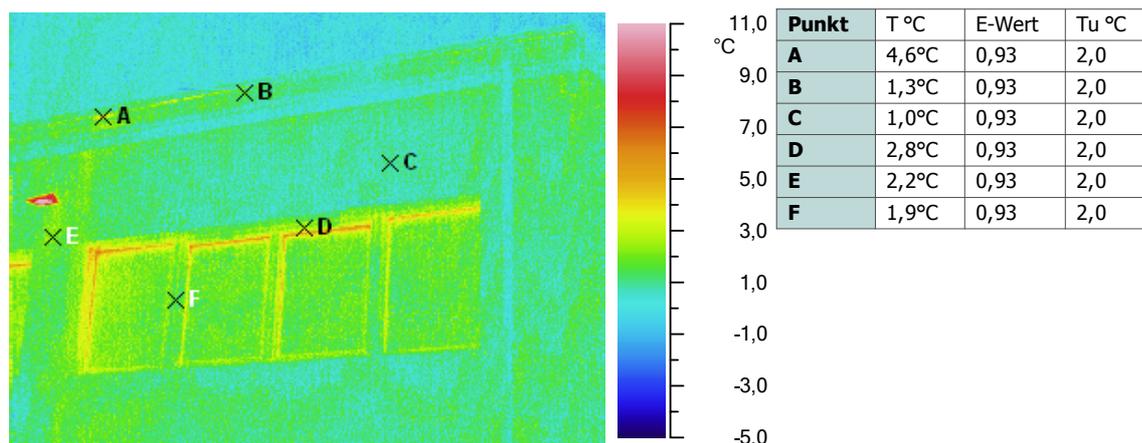


Abbildung 4.17: Außenthermografie der Südwand nach dem Umbau (21.02.2009)

Innenthermografie, Wärmebrücken

Die Innenthermografie der Nordwestecke der Sporthalle im Altzustand zeigt deutlich die thermischen Defizite auf. Die Traufe zeichnet sich als eklatante Wärmebrücke ab; gleiches gilt für die Außenecke (Abb. 4.18). Die Westwand weist gegenüber der Nordwand einen schlechteren Wärmeschutz auf, was dem veränderten Aufbau der Westwand geschuldet ist. Die Nordwand ist aus wärmeschutztechnischer Sicht besser als die Westwand, wie man auch aus den Oberflächentemperaturen ablesen kann.

Nach der Sanierung ist der Wärmeschutz deutlich verbessert (Abb. 4.19). Zwischen den Bindern sind die im Zuge der Sanierung eingebrachten Deckenheizstrahlplatten erkennbar, die hier offensichtlich in Betrieb sind. Auch kann man die an beiden Wänden neu eingebauten Fenster erkennen, die zur bedarfsgerechten natürlichen Lüftung der Halle dienen.

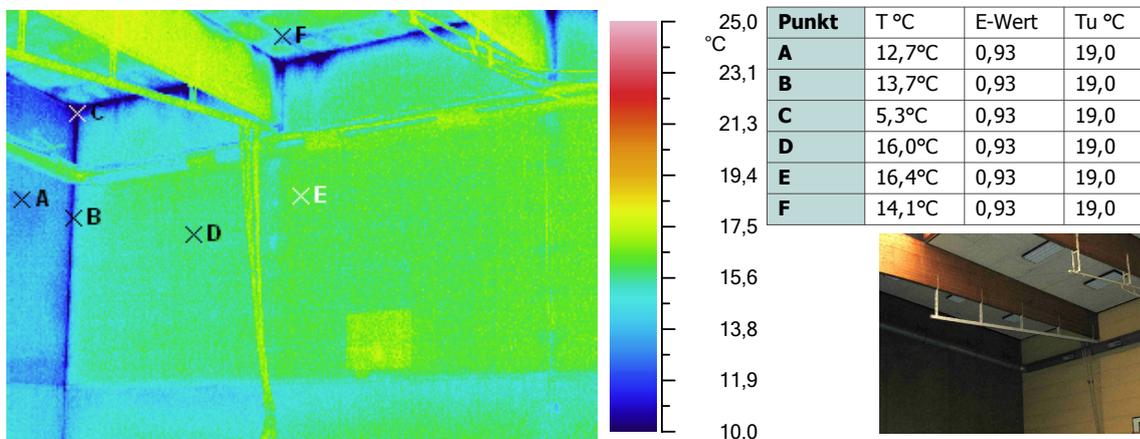


Abbildung 4.18: Innenthermografie, Nordwestecke im Altzustand (28.02.2004)

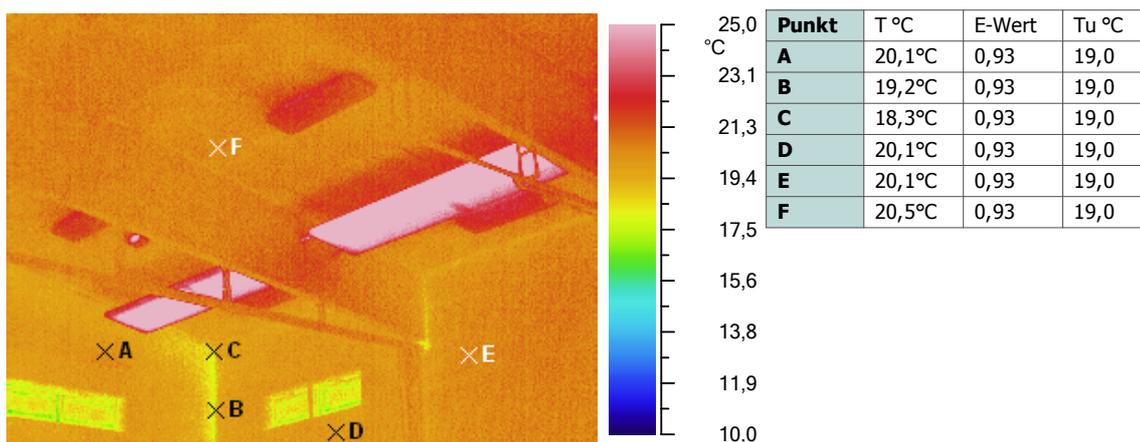


Abbildung 4.19: Innenthermografie, Nordwestecke nach dem Umbau (21.02.2009)

4.5 Zusammenfassung Qualitätssicherung

Die energetische Qualitätssicherung schon während der Bauphase, aber auch nach Beendigung der Sanierungsarbeiten, hat sich als notwendig und richtig erwiesen. Dabei zeigte sich, dass vor allem die unmittelbare fachliche Begleitung der Sanierungsarbeiten durch Inaugenscheinnahme trotz des damit verbundenen relativ hohen Zeitaufwandes eine absolute Notwendigkeit darstellt. Nur so konnte sichergestellt werden, dass trotz akribischer Detailplanung auftretende Fehler in der Umsetzung rechtzeitig erkannt und korrigiert werden konnten.

Ungeachtet dessen ist festzuhalten, dass bei dem mit der Anwendung von Passivhaus-elementen verbundenen besonders hohen Qualitätsstandard die herkömmlichen Elemente der Qualitätssicherung zwar notwendig, aber allein nicht ausreichend sind. Sowohl die Betrachtung der Wärmebrückenproblematik vor und nach der Sanierung als auch die messtechnische Überprüfung des Gebäudes mit einschlägigen Instrumenten wie Blower-Door-Test und Anfertigung von Thermographieaufnahmen ergänzen und unterstützen die fachliche Begleitung der Sanierungsarbeiten.

Wie nicht anders zu erwarten, verändern sich durch die außen liegende Fassadendämmung die Wärmebrückenkoeffizienten generell. Aufgrund der Tatsache, dass die Stahlbetonstützen der Außenwände bei dieser Halle im Altzustand im ‚kalten‘ Bereich der Wandkonstruktion liegen, im Zuge der Sanierung diese Stützen aber wärmegeklämt wurden, werden in diesem speziellen Fall die Wärmebrückenwirkungen relativ gesehen mitunter sogar größer.

Die thermographische Untersuchung während der Bauphase hat sich trotz der eher ungünstigen Messbedingungen als richtig und hilfreich erwiesen. Ein größerer Bereich in der Dachfläche, der zunächst nicht wärmegeklämt worden war, konnte so rechtzeitig erkannt und nachgearbeitet werden. Eine eklatante Wärmebrücke, die Bauschäden hätte nach sich ziehen können, wurde damit vermieden.

Die Luftdichtheitsmessungen führten zu dem erwarteten Ergebnis. Dieser Umstand ist darauf zurückzuführen, dass sowohl beim Einbau der neuen Fenster als auch der Sanierung der Dachfläche akribisch auf eine fachgerechte Abdichtung geachtet wurde. Der Anschluss der neuen Fenster an die vorhandene Baukonstruktion erfolgte fehlerlos, ebenso wie das Einbringen der Luftdichtheitsschicht der Dachkonstruktion, die zugleich die Funktion der Dampfbremse übernimmt. Außenwände und Sohle vermittelten bereits im Altzustand mit Ausnahme eines Abrisses der östlichen Längswand von der südlichen Giebelwand, der abgedichtet werden musste, augenscheinlich den Eindruck hinreichender Luftdichtheit, was die Messungen sodann bestätigten.

5 Verbrauchsanalyse

Die Sanierung der Sporthalle des TV Bremen-Walle wird zum Nachweis der Wirksamkeit der umgesetzten Maßnahmen messtechnisch begleitet und evaluiert. Hierzu gehört u. a. die detaillierte Erfassung der Energieströme des Gebäudes (elektrische Energie, Heizwärme) und die Überwachung des thermischen Verhaltens der Halle (Hallen- und Außentemperatur). Für den Alt-Zustand der Halle vor der Sanierung wurden die Daten im Rahmen des Projekts MeTuSa-lem von Ende 2004 bis Mitte 2006, also über zwei Heizperioden hinweg aufgezeichnet [Boh06]. Mit den Messungen der Evaluationsphase des Projekts BREHASA 1875 von Ende 2008 bis zum Frühjahr 2010, die ebenfalls etwa zwei Heizperioden erfassen, wird somit ein detaillierter Vorher-Nachher-Vergleich zur Beurteilung des Sanierungserfolgs ermöglicht.

5.1 Messsystem und Messumfang in der Evaluationsphase

Im Zuge des Umbaus mussten Hard- und Software der im Alt-Zustand installierten automatischen Messdatenerfassung aktualisiert werden. Alle Wärmezähler und Temperaturfühler konnten nach dem Umbau wieder eingesetzt werden. Die im Altzustand noch abgefragten Schaltzustände der Schütze für die Ventilatoren der Hallenheizung entfielen nach dem Umbau. In der Evaluierungsphase umfasst das System somit die in Tabelle 5.1 aufgeführten Messgrößen. Hinzu kommen manuell abzulesende Zählerstände der Wasser-, Gas- und Stromzähler am Hausanschluss.

Tabelle 5.1: Umfang der PC-gestützten Messdatenerfassung

	Messgröße	Messgerät
Stromzähler		
	Stromverbrauch Nebenräume, Büro	E-Zähler mit Impulsausgang
	Stromverbrauch Hallenbeleuchtung	E-Zähler mit Impulsausgang
Wärmezähler (jeweils mit Displayanzeige und Impulsausgang)		
	Heizung Halle, Deckenstrahlplatten	ALLMESS Megacontrol-CF 50 Volumenmessteil Qn 3,5; 100 Imp./MWh
	Heizung Nebenräume	ALLMESS Integral MK MaXX Qn 1,0 1 Imp. / kWh
	Heizung Gaststätte	ALLMESS Integral MK MaXX Qn 1,0 1 Imp. / kWh
	Heizung Brauchwasser- speicher	ALLMESS Megacontrol-CF 50 Volumenmessteil Qn 6,0; 100 Imp./MWh
Wasserzähler (jeweils mit m ³ -Anzeige und Impulsausgang)		
	Brauchwasservorlauf Umkleiden (Duschen)	Einstrahlzähler Actaris UNIMAG V 1 Impuls / Liter
	Brauchwasserzirkulation	Ringkolbenzähler ALLMESS AQUADIS P110 1 Impuls / Liter

Temperatur		
	Brauchwasservorlauf (Kaltwasser)	Pt-100 Anlegefühler (Thermokon VFG54 TRV Dreileiter)
	Brauchwasservorlauf Duschen	Pt-100 Anlegefühler (Thermokon VFG54 TRV Dreileiter)
	Brauchwasser-Zirkulationsrücklauf	Pt-100 Anlegefühler (Thermokon VFG54 TRV Dreileiter)
	Temperatur, großer Hallenteil	Pt-100 Anlegefühler (Thermokon VFG54 TRV Dreileiter)
	Temperatur, kleiner Hallenteil	Pt-100 Anlegefühler (Thermokon VFG54 TRV Dreileiter)
	Ablufttemperatur Nebenräume	Pt-1000 Kanalfühler (Thermokon AKF10 Dreileiter)
	Außentemperatur	Pt-100 mit Wetterschutz (Thies Clima TPC 5/4-THPT 100 Vierleiter)
Wind		
	Windgeschwindigkeit	Schalensternanemometer (Kriwan)

Das Messdatenerfassungssystem wurde für diesen Messumfang angepasst und nach Abschluss der Umbauarbeiten im Heizungsraum der Halle im Dezember 2008 wieder installiert und in Betrieb genommen. Der Systemaufbau ist in Abbildung 5.1 zu sehen.

Der Mess-PC ist durch eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) abgesichert und verfügt über einen DSL-Netzwerkanschluss. Das unter LabView für die vorliegende Messaufgabe implementierte Messprogramm wurde komplett überarbeitet und neu strukturiert, um zeitkritische Abläufe sicherer umzusetzen (Anhang D2). Die erfassten Daten werden täglich auf einen Server der Hochschule Bremen übertragen und gesichert.

Die im Folgenden dargestellten Auswertungen stützen sich auf Messdaten ab Januar 2009.



Abbildung 5.1: PC-gestütztes Messsystem in der Evaluationsphase

5.2 Elektrischer Energiebedarf

5.2.1 Auswertung des Gesamt-Stromverbrauchs

Beim Umbau der Sporthalle wurde die Beleuchtung der Halle erneuert, wobei die Lichtleistung entsprechend heutigen Vorgaben für Schul- und Wettkampfsport erhöht wurde, die Leuchten gleichzeitig aber über ein Gebäudebussystem tageslichtabhängig gedimmt werden. Trotz der erreichten, höheren Beleuchtungsstärken führt dies Maßnahme zu einer Einsparung elektrischer Energie. Ein weiterer, erheblicher Beitrag zur Energieeffizienz der Halle ist der Wegfall eines Teils der Ventilatoren, die im Altzustand für die Beheizung benötigt wurden, sowie der Einsatz kleinerer und effizienterer Pumpen in den Heizkreisen.

Abbildung 5.2 zeigt die Gegenüberstellung des Stromverbrauchs der Halle (am Hausanschluss) in den Jahren 2001 bis 2004 (Mittelwert: 86,0 MWh) sowie in der ersten Messphase 2005 (72,4 MWh) und in der Evaluationsphase 2009 (47,5 MWh). Die Bestandsaufnahme im Rahmen von MeTuSa-lem führte schon Ende 2004 zu ersten Instandsetzungsarbeiten, die den Verbrauch der Halle 2005 bereits erkennbar reduzierten. Der Stromverbrauch ist nach der Sanierung gegenüber 2005 um 34% und gegenüber dem Durchschnittsverbrauch der Jahre 2001 bis 2004 um 45% verringert.

Im Vergleich mit diesen Jahren beträgt die Einsparung elektrischer Energie in der sanierten Halle ca. 38.500 kWh/a. Das entspricht einem vermiedenen CO₂-Ausstoß von 24 t pro Jahr.

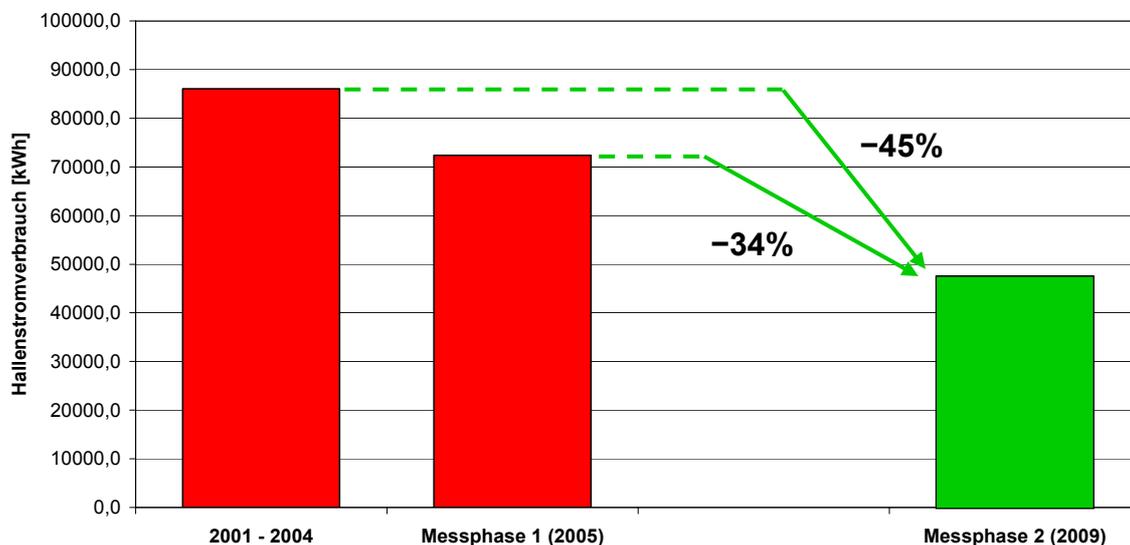


Abbildung 5.2: Elektrischer Energiebedarf im Altzustand und nach der Modernisierung

Abbildung 5.3 zeigt den Jahresgang des Gesamt-Stromverbrauchs der Halle in der Messphase 1 (2005, Altzustand) und nach der Sanierung (2009). Deutlich erkennbar ist der insgesamt höhere Verbrauch im Altzustand. Außerdem geht in den Sommermonaten der Verbrauch der sanierten Halle relativ zu den Wintermonaten deutlich stärker zurück als es im Altzustand der Fall war. Dies weist auf die bessere Tageslichtnutzung und entsprechende Einsparungen bei der Hallenbeleuchtung hin.

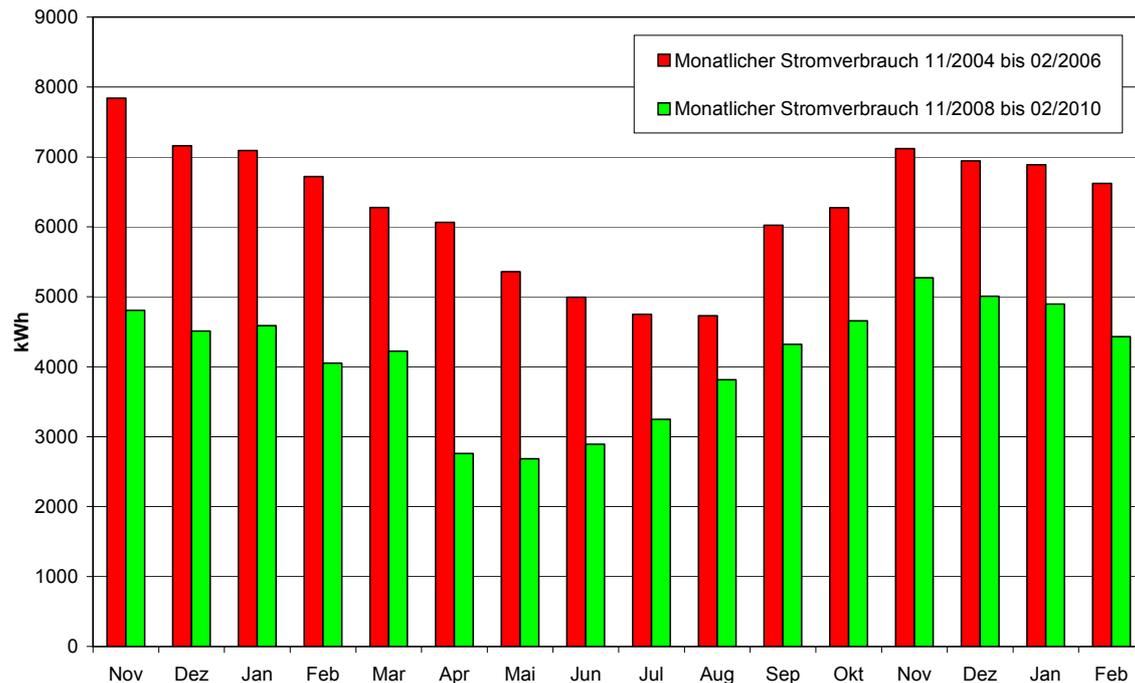


Abbildung 5.3: Monatswerte des Gesamt-Stromverbrauchs 11/2004 bis 02/2006 (Messphase 1, Altzustand) und 11/2008 bis 02/2010 (nach der Sanierung)

5.2.2 Aufteilung der Verbräuche und der Einsparungen

Die Einsparungen lassen sich anhand der separat vorgenommenen Energiemessungen für die Hallenbeleuchtung und die Nebenräume wie folgt zuordnen.

	Hallenbeleuchtung	Nebenräume	Lüftung / Pumpen
2005	27828 kWh	5149 kWh	39376 kWh
2009	26060 kWh	7182 kWh	14282 kWh
Differenz	1768 kWh	-2033 kWh	25094 kWh

Der von den zusätzlichen Energiezählern im EG und 1. OG erfasste Stromverbrauch ist nach der Sanierung gegenüber dem Altzustand kaum verändert und liegt bei insgesamt ca. 33.000 kWh. Einsparungen bei der Hallenbeleuchtung steht ein erhöhter Verbrauch in den Nebenräumen gegenüber, dessen Ursache bisher nicht ermittelt werden konnte.

Die Einsparungen wurden demnach überwiegend durch die Modernisierung im Bereich des Heizungs- und Lüftungssystems erzielt. Der Anteil der Hilfsenergie für Lüftung, Pumpen etc. betrug 2005 fast 40.000 kWh und damit deutlich mehr als die Hälfte des Gesamtverbrauchs. Nach der Sanierung verringerte sich dieser Anteil um mehr als 25.000 kWh auf 30%.

Die zwischenzeitlich umgesetzten Maßnahmen zur Betriebsoptimierung, zu denen auch eine Überarbeitung der Gebäudebussteuerung gehört, lassen weitere Einsparungen auch bei der Hallenbeleuchtung und dem Stromverbrauch in den Nebenräumen erwarten.

5.3 Auswertung der Wärmemengenerfassung

5.3.1 Heizkreise und Gesamt-Heizwärmeverbrauch

Das Heizsystem der Sporthalle besteht aus vier Heizkreisen:

1. Deckenstrahlplatten Halle (31 kW, 60/40 °C, ca. 1.400 l/h)
2. Warmwasserbereitung/Brauchwasserspeicher (64 kW, 80/60 °C, ca. 3.000 l/h)
3. Statische Heizflächen Nebenräume, Gymnastikraum (7 kW, 60/40 °C, ca. 320 l/h)
4. Statische Heizflächen Gastbereich (6,5 kW, 60/40 °C, ca. 300 l/h)

Die Heizenergie dieser Heizkreise wird jeweils durch Wärmehähler erfasst. Zusätzlich ist eine Durchfluss- und Temperaturmessung des Brauchwassers installiert, mit der sich die für die Duschen eingesetzte Nutzenergie und die Wärmeverluste auf der Zirkulationsleitung ermitteln lassen.

Der Gesamt-Heizwärmeverbrauch der Halle ist am Erdgasverbrauch ablesbar. In den Jahren 2001 bis 2004 lag der Erdgasbezug durchschnittlich bei umgerechnet 350 MWh – der wesentliche Anlass für den Verein, ab 2002 die Energieverbrauchsanalyse und die Sanierungsplanung voranzutreiben.

Die Verbräuche konnten durch Instandsetzungen und die Behebung von Mängeln, die im Rahmen des Projekts "MeTuSa-lem" im Zuge der Bestandsaufnahme festgestellt wurden, schon 2005 deutlich reduziert werden (vergl. Abbildung 5.4). Insgesamt ist der Verbrauch der sanierten Halle im Jahr 2009 auf weniger als 30% des ursprünglichen Verbrauchs gesunken.

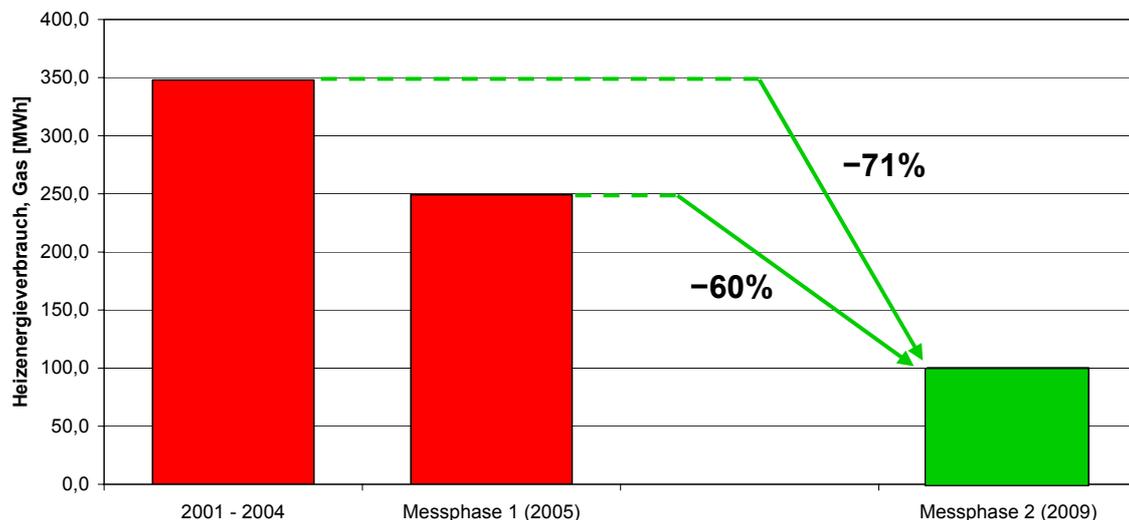


Abbildung 5.4: Gasverbrauch der Halle vor und nach der Sanierung (in Heizwert umgerechnet und witterungsbereinigt)

Alle Auswertungen zur Heizenergie sind durch Bezug der Gradtagszahlen auf den langjährigen Mittelwert für den Standort Bremen (3727 Kd/a) witterungsbereinigt [IWU10].

5.3.2 Übersicht über die Energieverbräuche in den Heizkreisen

Die pro Heizkreis separat durchgeführten Wärmemengenmessungen erlauben eine detaillierte Gegenüberstellung der durch die Sanierung erreichten Änderungen im Heizwärmeverbrauch. Abbildung 5.5 zeigt den Vergleich für die Heizenergie der einzelnen Heizkreise in den Jahren 2005 und 2009.

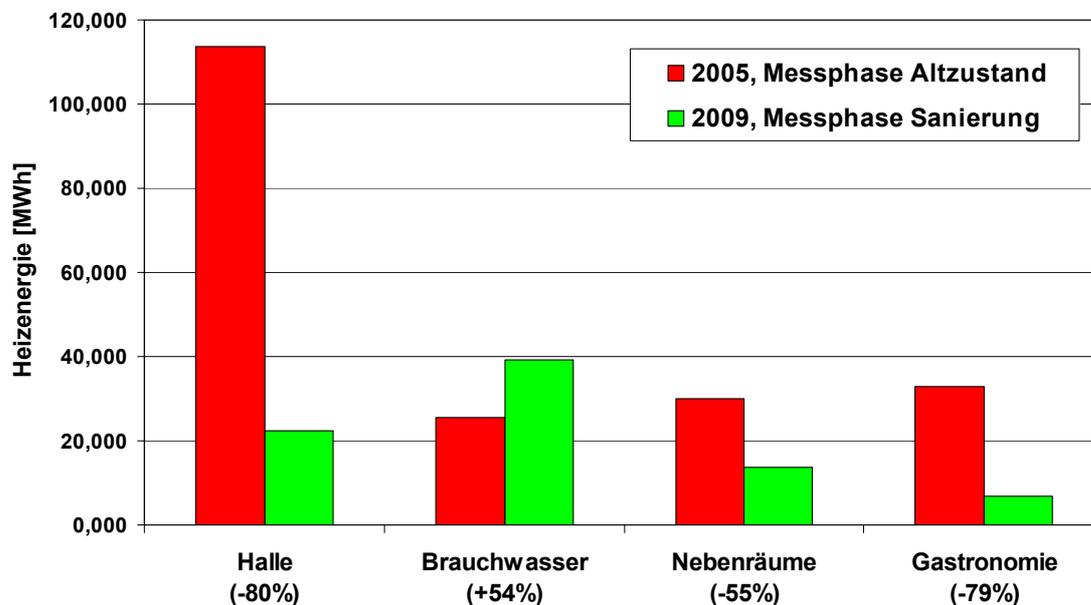


Abbildung 5.5.: Gegenüberstellung der Energieverbräuche in den verschiedenen Heizkreisen 2005 und 2009 (witterungsbereinigt)

Von allen Heizkreisen wurde durch die Sanierung am stärksten der Heizwärmebedarf der Halle selbst reduziert. Er beträgt nur noch 20% des vorherigen Wertes. Beim Brauchwasser ist dagegen 2009 ein erhöhter Verbrauch festzustellen. Fast die Hälfte der gesamten Heizenergie wird nach der Sanierung für die Brauchwassererwärmung eingesetzt. Hierauf wird in Kap. 5.3 gesondert eingegangen.

Die flächen- und volumenbezogenen **Energiekennzahlen** für das Hallengebäude (Fläche: 1489 m², Volumen: 10152 m³) ergeben sich aus den gemessenen Verbräuchen wie folgt:

2001-2004: 214 kWh/(m² a)¹ / 31,3 kWh/(m³ a)¹

2005: 146 kWh/(m² a) / 21,5 kWh/(m³ a)

2009: 35 kWh/(m² a) / 5,1 kWh/(m³ a)

Betrachtet man nur den eigentlichen Hallenteil (882 m², 7938 m³) und dessen Heizenergie, so betragen die Kennzahlen nach der Sanierung **25 kWh/(m² a) / 2,8 kWh/(m³ a)** gegenüber 129 kWh/(m² a) / 14,3 kWh/(m³ a) im Jahr 2005.

Diese Kennzahlen für den sanierten Zustand liegen höher als der Passivhausstandard (15 kWh/(m² a)). Allerdings ist zu berücksichtigen, dass im Jahr 2009 noch vielfältige

¹ Der Brauchwasseranteil am Gesamtenergieverbrauch wurde auf Basis des 2005 gemessenen Wertes abgeschätzt.

Mängel zu einem erhöhten Energieaufwand in der Halle führten. So waren zu Jahresbeginn die Hallentemperaturen zu hoch, da die eingestellten Heizkurven nicht an den Bedarf einer sehr gut gedämmten Halle angepasst waren. An mehreren Fenstern traten Probleme mit den Stellantrieben auf, so dass sie sich über längere Zeit nicht schließen ließen. Hinzu kam eine nicht korrekte Implementierung der Steuerung, die ebenfalls zu übermäßig langen Fensteröffnungszeiten führte.

Zudem lief in der Heizperiode 2009/2010 die Lüftungsanlage nicht, wie vorgesehen, getaktet sondern im Dauerbetrieb. Dies dürfte die Ursache für die im Vergleich zu Halle und Gastronomie deutlich geringere Heizeneersparung der Nebenräume sein (vergl. Abbildung 5.5).

Aufschlussreich ist dabei auch der Jahrgang der Energieverbräuche in den drei Heizkreisen (Abbildung 5.6). Die Monatswerte des Verbrauchs in den Nebenräumen liegen am Jahresende deutlich höher als am Jahresanfang, als die Fehlfunktion der Lüftungsanlage noch nicht vorlag.

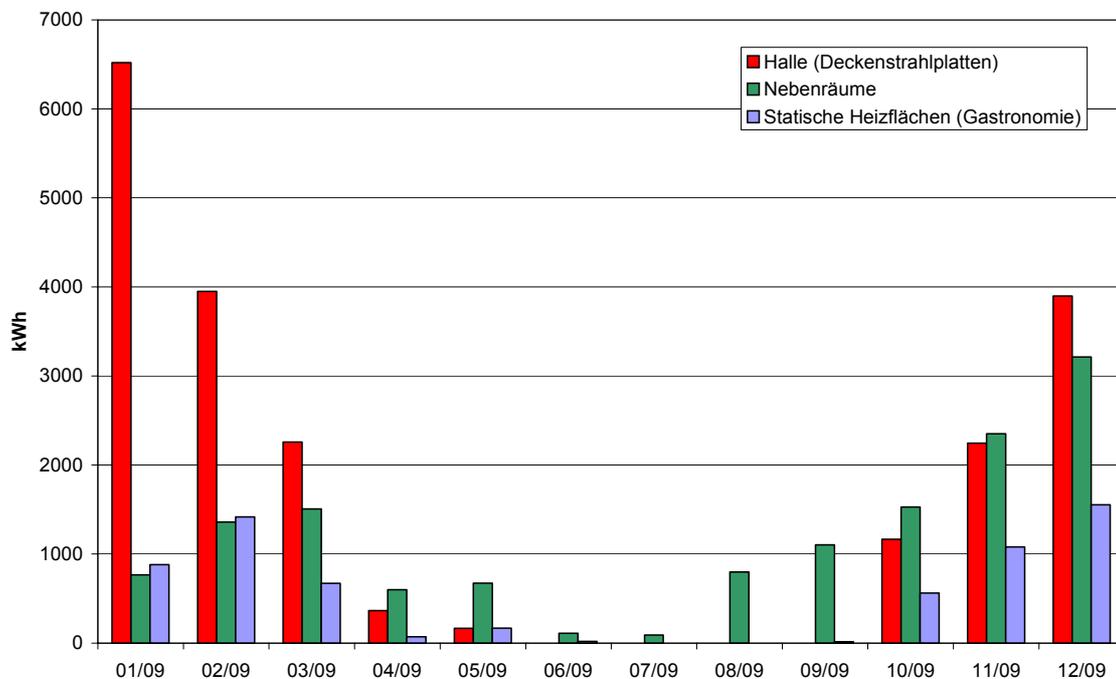


Abbildung 5.6: Monatswerte des Heizenergieverbrauchs in der Halle, den Nebenräumen und in der Gastronomie (witterungsbereinigt)

Auch der Rückgang der Heizenergie in der Halle durch die Heizkurvenanpassung im Februar 2009 ist hier – im Vergleich zu dem hohen Verbrauch im Januar – gut zu erkennen.

Ein wesentlicher Unterschied im Heizwärmeverbrauch der sanierten Halle gegenüber dem Altzustand besteht im Verbrauch in den Monaten der Übergangszeit, April/Mai und September bis November. Während im Altzustand hier ein erheblicher Teil des Jahresverbrauchs anfiel (siehe Anhang D.3), hat die sanierte Halle im gleichen Zeitraum nur einen sehr geringen Heizenergiebedarf.

5.3.3 Heizwärme zur Brauchwasserbereitung

Wie in Abbildung 5.5 dargestellt, ist der Heizwärmebedarf für die Brauchwasserbereitstellung in der sanierten Halle höher als er im Altzustand war. Der wesentliche Grund liegt in erhöhten Zirkulationsverlusten. Im Zuge der Sanierung wurde die Zirkulation erweitert und näher an die Duschen herangeführt. Außerdem ist, den geltenden Vorschriften entsprechend, die Zirkulation nun ununterbrochen in Betrieb, während sie im Altzustand nachts abgeschaltet blieb.

Das Verhältnis zwischen der Nutzwärme im Vorlauf (Warmwasser an den Duschen) und den Zirkulationsverlusten kehrte sich nach der Sanierung gegenüber dem Stand von 2005 um. In Abbildung 5.7 sind die Wärmemengen über je einen 3-Monatszeitraum (Sept. – Nov.) in den Jahren 2005 und 2009 gegenübergestellt. 2005 lagen die Zirkulationsverluste bei ca. 60% der Nutzwärme, im Vergleichszeitraum 2009 betragen sie fast das 2,5-fache.

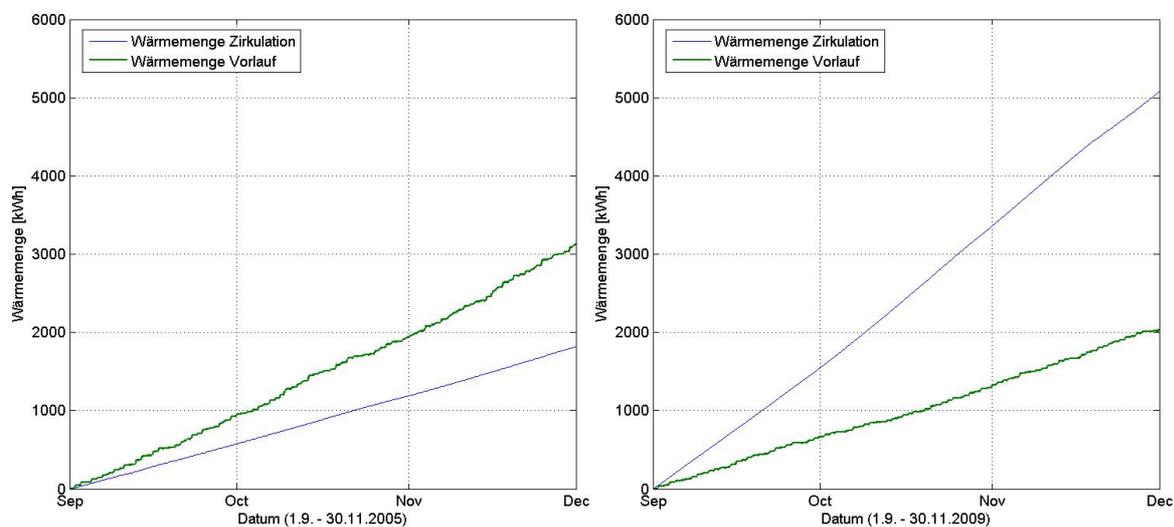


Abbildung 5.7: Zirkulationsverluste und Nutzwärme (Vorlauf) vor und nach der Sanierung

Im Gegensatz zu den Zirkulationsverlusten wurde die Heizenergie im Vorlauf, also die als Warmwasser an den Duschen anfallende Nutzenergie, durch die Sanierung gegenüber dem Stand von 2005 verringert. Dazu tragen der reduzierte Wasserverbrauch (siehe Kapitel 5.4) und die Absenkung der Vorlauftemperatur bei.

Als Maßnahmen zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs für die Brauchwassererwärmung wurden die zugänglichen Abschnitte der Zirkulation gedämmt und die Vorlauftemperatur von 60 auf 50°C abgesenkt. Dadurch konnte der Heizenergiebedarf des Brauchwasserkreises insgesamt um mehr als 20% verringert werden. Gegenüber 12260 kWh im 1.Quartal 2009 fiel im 4. Quartal 2009 nur noch ein Verbrauch von 9630 kWh an. Im Jahresgang des Brauchwasser-Heizenergiebedarfs (Abbildung 5.8) ist die Verringerung in der zweiten Jahreshälfte deutlich zu erkennen.

Ohne die detaillierte messtechnische Erfassung der Verbräuche wären die hier anfallenden Wärmeverluste nicht erkannt worden. Dies unterstreicht die Bedeutung der messtechnischen Überwachung für das Erschließen des vollen Energieeffizienzpotentials einer technisch hochwertigen Sanierung.

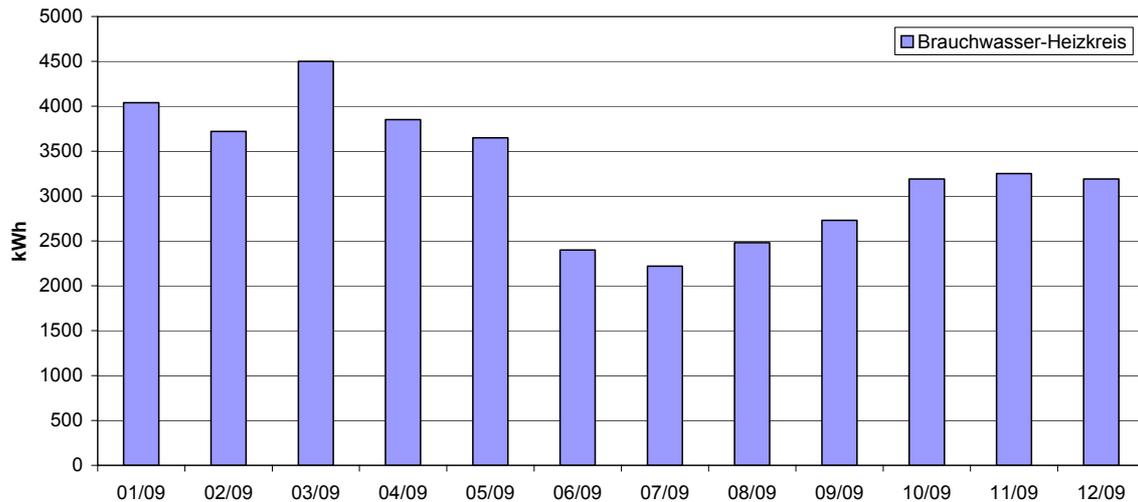


Abbildung 5.8: Monatswerte des Heizenergieverbrauchs zur Brauchwassererwärmung im Jahr 2009

5.4 Wasserverbrauch

Im Sanitärbereich tragen Wasser sparende Armaturen zur Ressourcenschonung bei. Der Gesamt-Wasserverbrauch am Hausanschluss betrug in den Jahren 2001 bis 2004 im Mittel 694 m³ und im Vergleichszeitraum des Alt-Zustands 2005 704 m³. Nach der Sanierung ging der Verbrauch im Jahr 2009 um ca. 15% auf 593 m³ zurück.



Abbildung 5.9: Gesamt-Wasserverbrauch der Halle vor und nach der Sanierung

Auf den Brauchwasserspeicher entfällt vor und nach der Sanierung etwa der gleiche Anteil in Höhe von ca. 36% des Gesamt-Wasserverbrauchs. Abbildung 5.10 zeigt die Gegenüberstellung des monatlichen Brauchwasserbedarfs in den Jahren 2005 und 2009. Einem Gesamtverbrauch von 258 m³ im Jahr 2005 steht ein Verbrauch von 227 m³ im

Jahr 2009 gegenüber. Lässt man darin den außerordentlichen Verbrauch von 15 m³ zwischen dem 20. und 25.09 unberücksichtigt, so ergibt sich ein Rückgang des Wasserverbrauchs an den Duschen nach der Sanierung von etwa 18%.

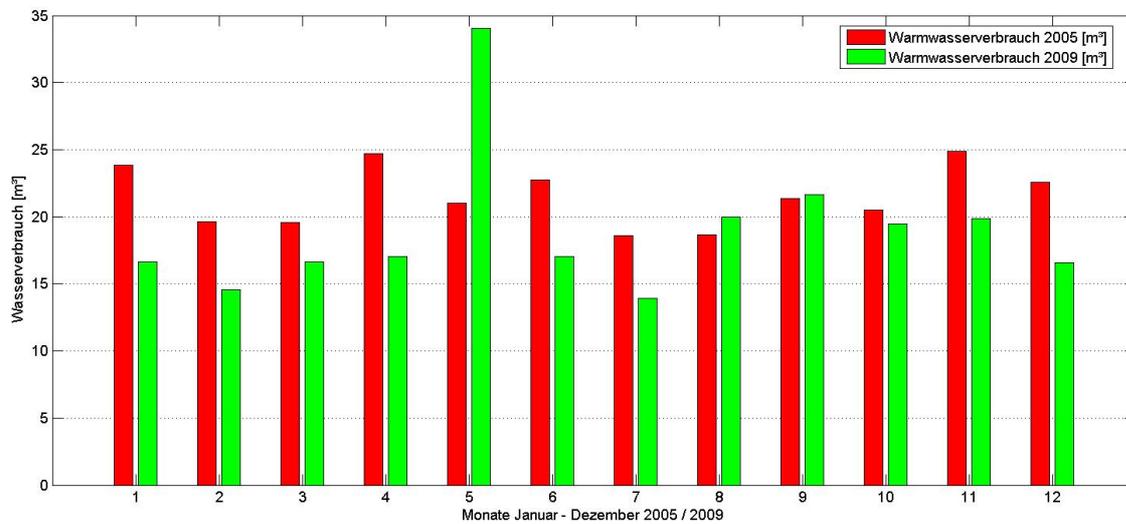


Abbildung 5.10: Jahrgang des Brauchwasserverbrauchs 2005 und 2009

5.5 Zusammenfassung Verbrauchsanalyse

Der elektrische Energiebedarf der sanierten Halle wurde durch die Modernisierung um 45% (ca. 38.500 kWh/a) reduziert. Das entspricht einem vermiedenen CO₂-Ausstoß von 24 t pro Jahr.

Die Heizenergie für die Halle und sonstigen Räume beträgt im sanierten Zustand nur noch etwa 20% des Wertes aus der Messphase 2005/2006. Dagegen weist das Brauchwassersystem eine gegenüber dem Alt-Zustand erhöhte Verlustleistung auf. Insgesamt ist der Gasverbrauch der Halle gegenüber dem Alt-Zustand (2001-2004) um ca. 250.000 kWh/a reduziert. Dem entspricht ein vermiedener CO₂-Ausstoß von 57 t pro Jahr.

Die gemessenen Heizenergieverbräuche liegen über den in der Planungsphase prognostizierten Werten. Die Ursache ist in der langen Inbetriebnahme- und Einstellungsphase zu sehen, in der bis in die Heizperiode 2009/2010 hinein immer wieder Mängel und Fehlfunktionen festzustellen waren. Zum Zeitpunkt des Projektabschlusses im Frühjahr 2010 kann die Heizungseinstellung letztendlich aber als zufrieden stellend bezeichnet werden. Defekte Stellantriebe an einigen Fenstern wurden instand gesetzt und Automatisierungsfunktionen angepasst.

Die Automatisierung (insbesondere für die Lüftung) wird zur nächsten Heizperiode den Spezifikationen entsprechen, die nach den Erfahrungen des ersten Betriebsjahres ausgearbeitet wurden. Schon für 2010, besonders aber für 2011 wird deshalb ein nochmals deutlich besseres Ergebnis in Bezug auf die Energieeinsparung der Halle erwartet.

Bei Gebäuden mit moderner technischer Ausrüstung ist für die Inbetriebnahme und Anpassung aller Parameter ein gewisser Zeitraum zu veranschlagen. Die Erfahrungen mit der sanierten Halle zeigen, dass dieser Zeitraum sich wesentlich verkürzen ließe, wenn durch ein permanentes Monitoring Fehlfunktionen schnell aufgedeckt und lokalisiert und per Fernwartung die nötigen Änderungen schnell umgesetzt werden könnten. Dies war bei diesem Projekt leider nicht gegeben, da die Signale und Messgrößen der Gebäudeautomation nicht in das Messsystem integriert werden konnten und kein Internetzugang zur Steuerung bestand.

6 Thermisches Verhalten der Halle

6.1 Hallentemperatur im Winter

Im Altzustand lag bei Frost die Hallentemperatur teilweise unter 14°C (Abbildung 6.1). Nachts wird dabei ein noch weiteres Absinken der Hallentemperatur durch den Wärmestrom vom Boden in die Halle verhindert ("Wärmesee"-Effekt, vergl. Kap. 6.3.5). Im Winter 2008/2009, nach der Sanierung, sank dagegen die Temperatur nur selten unter 19°C (Abbildung 6.2).

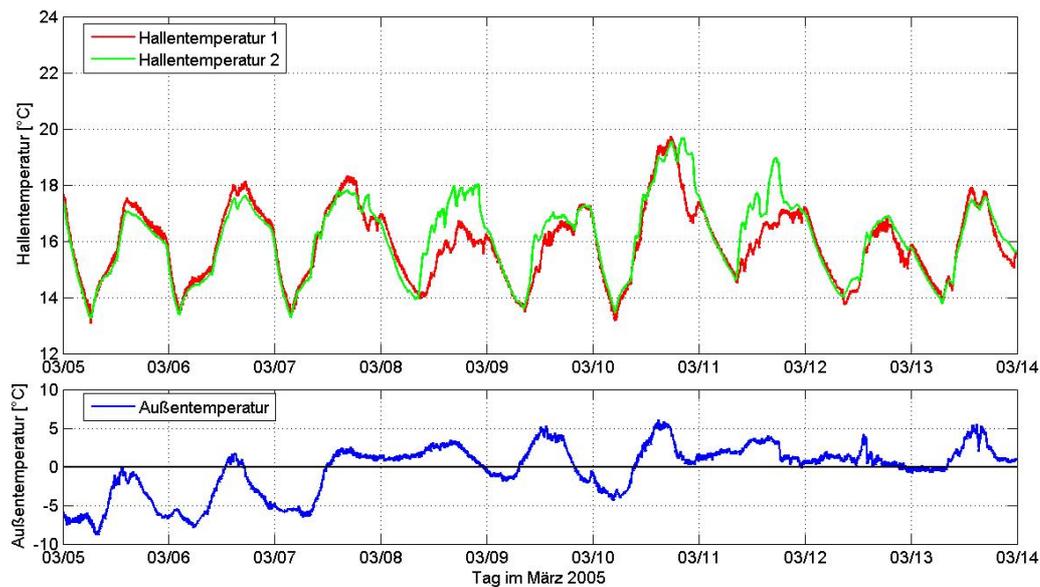


Abbildung 6.1: Hallentemperaturen und Außentemperatur im März 2005

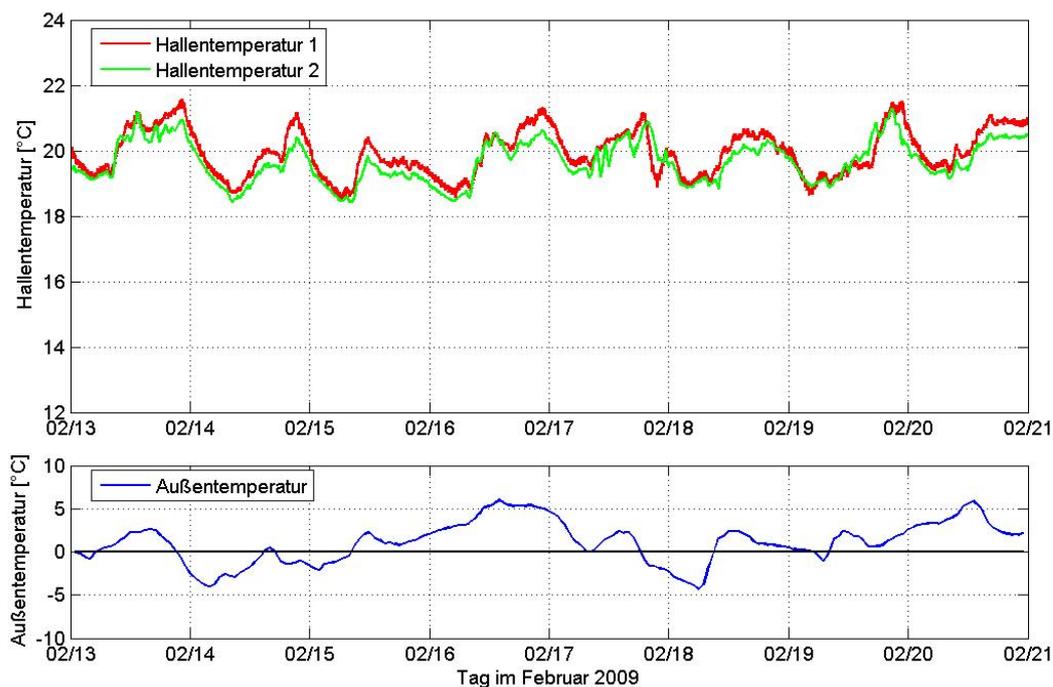


Abbildung 6.2: Hallentemperaturen und Außentemperatur im Februar 2009

Die Charakteristik dieses Temperaturverlaufs in der sanierten Halle deckt sich sehr gut mit den in der Planungsphase ("MeTuSa-Iem") durchgeführten Simulationen (siehe Anhang E.1). So beträgt beispielsweise die nächtliche Abkühlung der Halle, wie in der Simulation berechnet, nicht mehr als 2,5 – 3 °C. Die aus den Simulationen abgeleiteten Schlussfolgerungen wie z. B., dass die weitere Erhöhung der Dämmstärke über 16 cm hinaus messbare zusätzliche Einsparungen bewirkt, werden damit ebenfalls bestätigt.

Betriebsoptimierung, Hallentemperatur

Durch Anpassung der Heizkurve des Brennwertkessels wurde die mittlere Hallentemperatur gesenkt und der Heizenergieverbrauch verringert. Diese Maßnahme kam allerdings erst in der Heizperiode 2009/2010 zum Tragen. Die gemessene Hallentemperatur liegt nach dieser Umstellung immer noch durchweg über 17 °C, die mittlere Hallentemperatur beträgt 18,2°C.

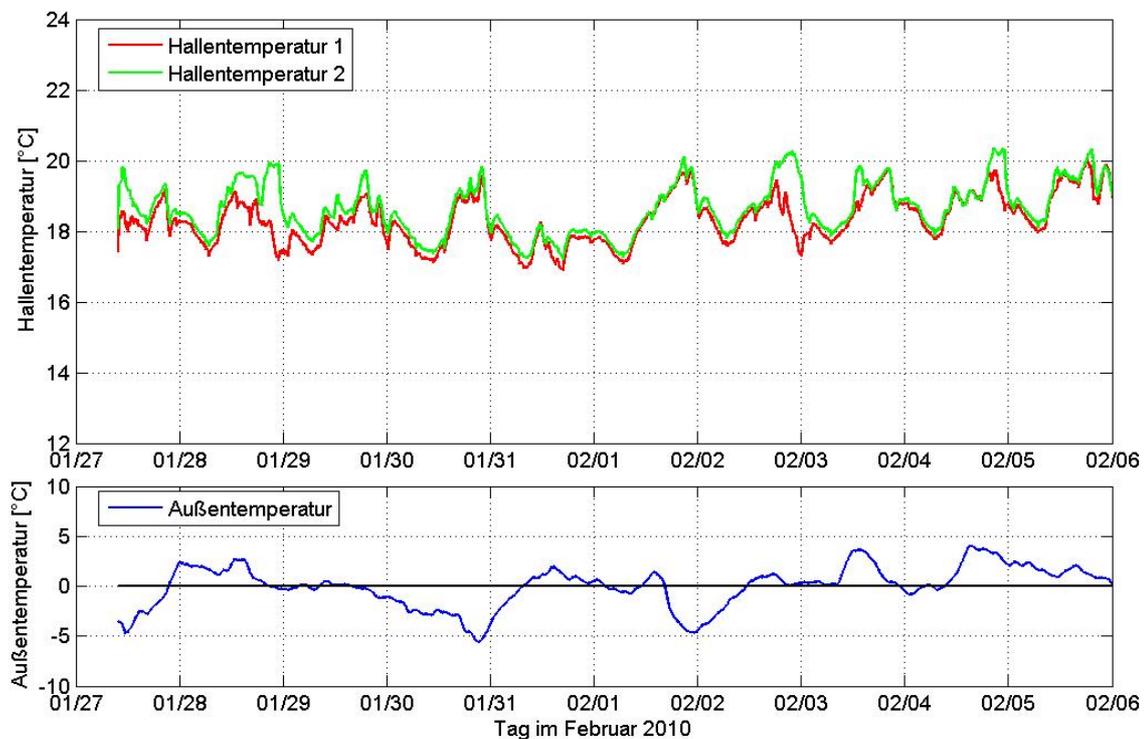


Abbildung 6.3: Hallentemperaturen und Außentemperatur im Februar 2010

6.2 Hallentemperatur im Sommer

Ein kritischer Punkt der hier umgesetzten Sanierung ist die Hallentemperatur in sommerlichen Hitzeperioden. Aufgrund der hochwertigen Dämmung kann der Wärmeeintrag durch die Sonneneinstrahlung durch das Lichtband im Dach nicht über die Außenflächen abgeführt werden. Zur Untersuchung der möglichen Überhitzung wurde in der Planungsphase eine thermische Gebäudesimulation durchgeführt. Sie ergab, dass die Temperatur in der nach Passivhaus-Standard gedämmte Halle sogar geringer bleiben würde als im Alt-Zustand gemessen (siehe Abbildung 6.4). Mit Messreihen der Außentemperatur aus dem Monat Juli 2005 ergab die thermische Gebäudesimulation der sanierten Halle eine maximale Hallentemperatur von ca. 26°C, etwa 3°C weniger als in dieser Phase im Alt-Zustand gemessen.

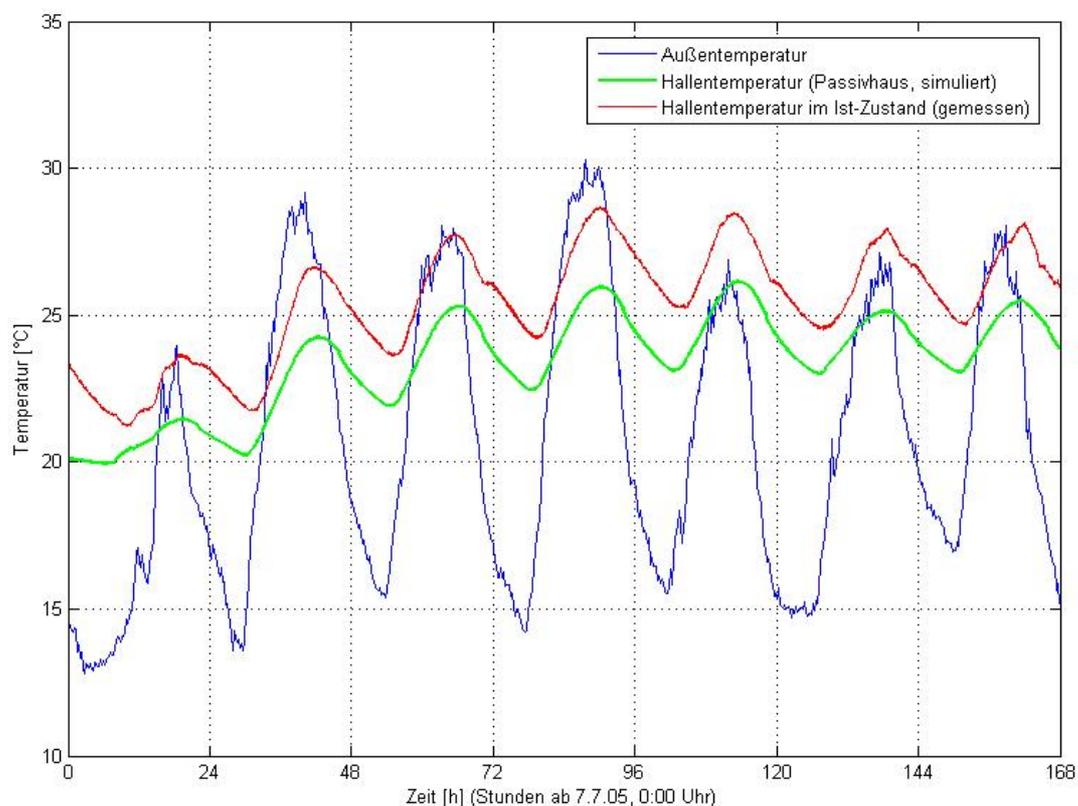


Abbildung 6.4: Thermische Gebäudesimulation im Rahmen des Planungsprojekts "MeTu-Sa-lem" – Hallentemperaturen in einer sommerlichen Hitzeperiode

Unter Voraussetzung einer nächtlichen Abkühlung durch Öffnung der Fenster würde die Halle tagsüber demnach beispielbar bleiben.

Die Ergebnisse der Simulation werden durch die in der sanierten Halle durchgeführten Messungen bestätigt. Die gemessenen Temperaturen im August 2009 decken sich vollständig mit der Vorhersage. Bei Tageshöchsttemperaturen von annähernd 30°C am 19.8.09 und 35°C am 20.8.09 blieben die Temperaturen in beiden Hallenteilen unter 27°C (vergl. Abbildung 6.5). Wie auch in der Simulation eingerechnet, wurden nachts die Fenster geöffnet, um durch Querlüftung eine Abkühlung zu erreichen. Dadurch blieb die Halle gut beispielbar.

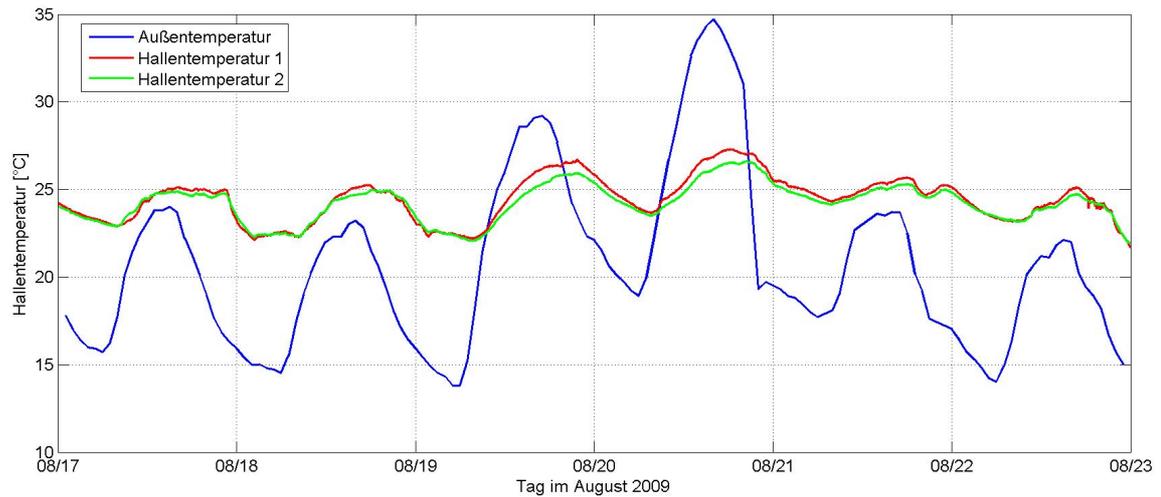


Abbildung 6.5: Messreihen der Außen- und Hallentemperaturen in der sanierten Halle in einer sommerlichen Hitzeperiode

Am 20.8.09 war bei Außentemperaturen bis 35°C die Halle auch am Spätnachmittag belegt. Die zu dieser Zeit aktiven Sportler wurden befragt. Sie empfanden die Hallentemperatur nicht als unangenehm und bewerteten die Halle als uneingeschränkt bespielbar.

Durch das nächtliche Öffnen der Fenster kühlen die Wände der Halle ab. Diese innere Speichermasse wirkt dann im Tagesverlauf der Aufheizung durch die Sonnenstrahlung durch das Lichtband entgegen. Eine wichtige Rolle spielt dabei die hohe Qualität des Lichtbandes, das genügende Lichtdurchlässigkeit mit einem sehr geringen g-Wert von 18% verbindet und dabei sehr gute Wärmedämmeigenschaften besitzt (U-Wert = 1,18).

6.3 Wärmesee

6.3.1 Gegenstand der Untersuchung, Motivation

Das Erdreich unter einem Gebäude wird durch den Wärmetransport (Verlustwärme) vom Gebäudeinnern über die Bodenplatte erwärmt. Der Temperaturgradient, der sich unterhalb der Bauwerksohle einstellt, hängt von der Bodenbeschaffenheit und dem Wärmestrom in horizontaler Richtung zur Erdoberfläche in der Umgebung des Gebäudes ab. Dieser Wärmestrom führt in der kalten Jahreszeit zur Abkühlung des Erdreichs und damit zur Erhöhung der Verlustwärme durch die Bodenplatte des Gebäudes. Eine umlaufende Dämmung der Fundamente und im Erdreich liegenden Wände ("Perimeterdämmung") kann diese Wärmeverluste verringern und einen ausgeprägten "Wärmesee" unter der Bodenplatte erzeugen (siehe z. B. [Vu060], [Lud03], [Mev09]).

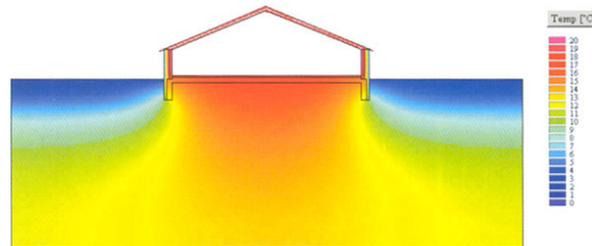


Abbildung 6.6: Temperaturverteilung unter einem Gebäude ("Wärmesee") [BIN08]

Im Gegensatz zur bisher gebräuchlichen Sichtweise, dass bei beheizten Bereichen, die an das Erdreich grenzen, die Wärme über die Trennbauteile in das Erdreich abgegeben wird, geht man gemäß der europäischen Norm DIN EN ISO 13370 (siehe [DIN08]) realistischer Weise davon aus, dass die Energieverluste auf einen Wärmestrom über das Erdreich an die Außenluft zurückzuführen sind. Hieraus folgt, dass diese Wärmeverluste neben der Dicke der am Boden eingebauten Wärmedämmung und deren Wärmeleitfähigkeit auch von der Dämmwirkung des Erdreichs, und der Perimeterdämmung abhängig ist.

Bei der Sanierung der Sporthalle des TV Bremen-Walle 1875 e.V. wurden zwei verschiedene Formen der Perimeterdämmung realisiert. Die Wirksamkeit dieser Dämmung, insbesondere die der neuartigen Anordnung für Hanglagen bzw. unterkellerte Bereiche, wurde anhand von Langzeit-Bodentemperaturmessungen unter dem Hallenboden und an den Seitenwänden sowie mit Hilfe von Simulationsrechnungen und Thermografie-Aufnahmen evaluiert¹.

6.3.2 Messung der Erdreichtemperatur

Bereits 2006 wurden die Erdreichtemperaturmessungen begonnen – wie in Abbildung 6.7 gezeigt, mit insgesamt 10 Temperatursensoren in unterschiedlichen Tiefen am Fundament einer Giebelwand, in der Anschüttung an der Nordwand und unter dem Hallenboden. Diese Messungen dienen als Referenz für den Vergleich mit den nach der Sanierung erreichten Temperaturniveaus.

Nach Einbringen der Perimeterdämmung wurden die Sensoren, die vor dem Umbau entfernt worden waren, an den gleichen Stellen wie im Altzustand wieder eingebaut, um einen möglichst aussagekräftigen Vorher-Nachher-Vergleich zu ermöglichen. Insbesondere

¹ mit Förderung durch das Bundesinstitut für Sportwissenschaft, Bonn [Mev09]

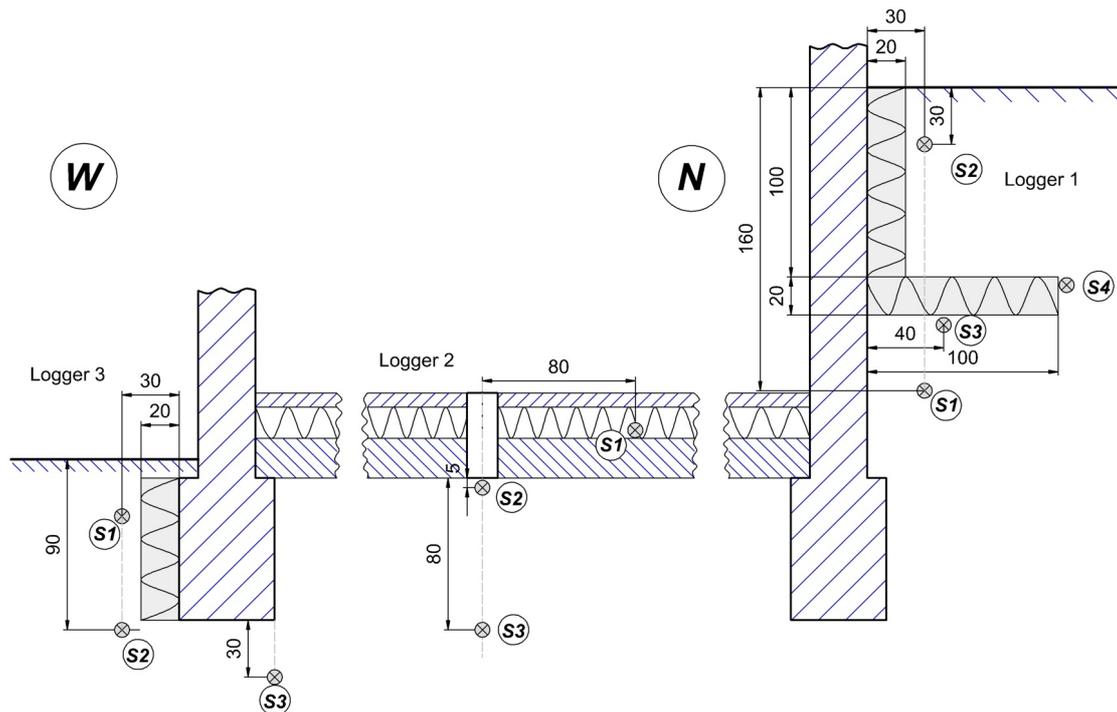


Abbildung 6.7: Platzierung der Temperatursensoren an der Westwand, im Hallenboden und an der Nordseite der Halle ("Hanglage")

bei Sensor S3 an der Nordseite ("N", Wand mit Aufschüttung) unterscheidet sich trotz gleicher Lage die Einbausituation deutlich vom Altzustand, da er nach dem Umbau unmittelbar unter der horizontalen Dämmung liegt.

Die Datenerfassung erfolgte durch drei für den Außeneinsatz geeignete Datenlogger mit jeweils vier 12-Bit - Messkanälen für den Anschluss von Temperatursensoren sowie einer USB-Schnittstelle für das Auslesen der Messdaten (siehe Abbildungen 6.8 und 6.9).

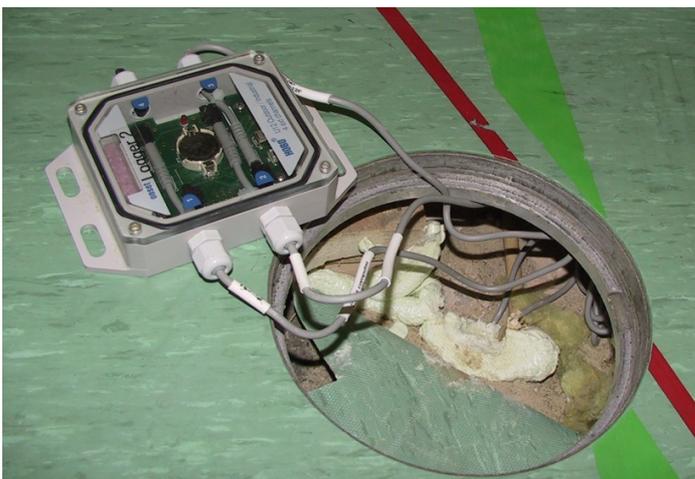


Abbildung 6.8: Datenlogger für die Temperaturmessung unter dem Hallenboden



Abbildung 6.9: Datenlogger im Außenbereich

Die erste Messphase erstreckte sich ab März 2006 über die Heizperiode 06/07 bis Juli 2007. Die Messphase 2 (Evaluation) deckt den Zeitraum von August 2008 (nach dem Umbau) bis Frühjahr 2010 ab. Das im Hallenboden eingesetzte Messsystem konnte durchgehend installiert bleiben, so dass für diesen Einbauort weitgehend unterbrechungsfreie Messreihen von März 2006 bis zum Frühjahr 2010 vorliegen.

6.3.3 Temperaturprofil am Streifenfundament der Giebelwand

Am Streifenfundament wird das Temperaturprofil in Abhängigkeit von der Erdreichtiefe durch Sensoren in einer Tiefe von 30 cm, 90 cm (vor der Unterkante des Fundaments) und 120 cm (unter dem Fundament) abgebildet. Dabei ist in der kalten Jahreszeit eine mit der Tiefe ansteigende Temperatur zu erwarten. Dies wird durch die Messreihen bestätigt, ebenso die verzögerte und mit der Tiefe zunehmend abgeschwächte Reaktion auf Schwankungen der Außentemperatur (siehe Anhang E.3). Da die Sensoren im Zuge des Umbaus an dieser Messstelle nicht exakt an den gleichen Positionen wie in der ersten Messphase platziert werden konnten, lassen sich hier aus dem direkten Vergleich der beiden Messphasen keine eindeutigen Schlussfolgerungen ziehen.

6.3.4 Temperaturprofil an der Wand mit neuartiger Perimeterdämmung

An der nach Nord-Nordost orientierten Hallenwand gibt es eine Aufschüttung bis etwa 2,5 m Höhe. Bis zu dieser Höhe grenzt im Altzustand die Wand also direkt an Erdreich. Die Temperaturmessstellen liegen in ca. 30 cm Abstand von der Wand in 30, 120 und 160 cm Tiefe. Ein weiterer Sensor liegt in 1 m Tiefe in einem Abstand von einem Meter von der Wand, nach dem Umbau also am Rand des horizontal verlegten Teils der Perimeterdämmung.

Die Temperaturprofile im Alt-Zustand und nach dem Umbau (Abb. 6.10) weisen erwartungsgemäß deutliche Unterschiede auf. Die Temperatur von Sensor 3, der nach dem Umbau direkt unter dem horizontal verlegten Teil der Dämmung liegt, ist deutlich höher als an entsprechender Stelle im Altzustand. Die Temperatur unter der Dämmung ist kaum noch von der Außentemperatur bzw. der Temperatur der oberen Erdreichschichten beeinflusst.

Die Temperaturen der Sensoren in 30 cm Tiefe und in 1m Tiefe am Rand der Dämmung sind nach dem Umbau niedriger als vorher. Neben der besseren Dämmung der Hallenwand und dem dadurch verringerten Wärmestrom ins Erdreich ist dies darauf zurückzuführen, dass an dieser Stelle die Sensoren in verdichtetem Sand liegen, mit dem die Baugrube hier verfüllt wurde. Dieser weist eine wesentlich höhere Wärmeleitfähigkeit und damit eine stärkere thermische Kopplung zur Erdoberfläche auf als das vorher hier anstehende humöse Erdreich.

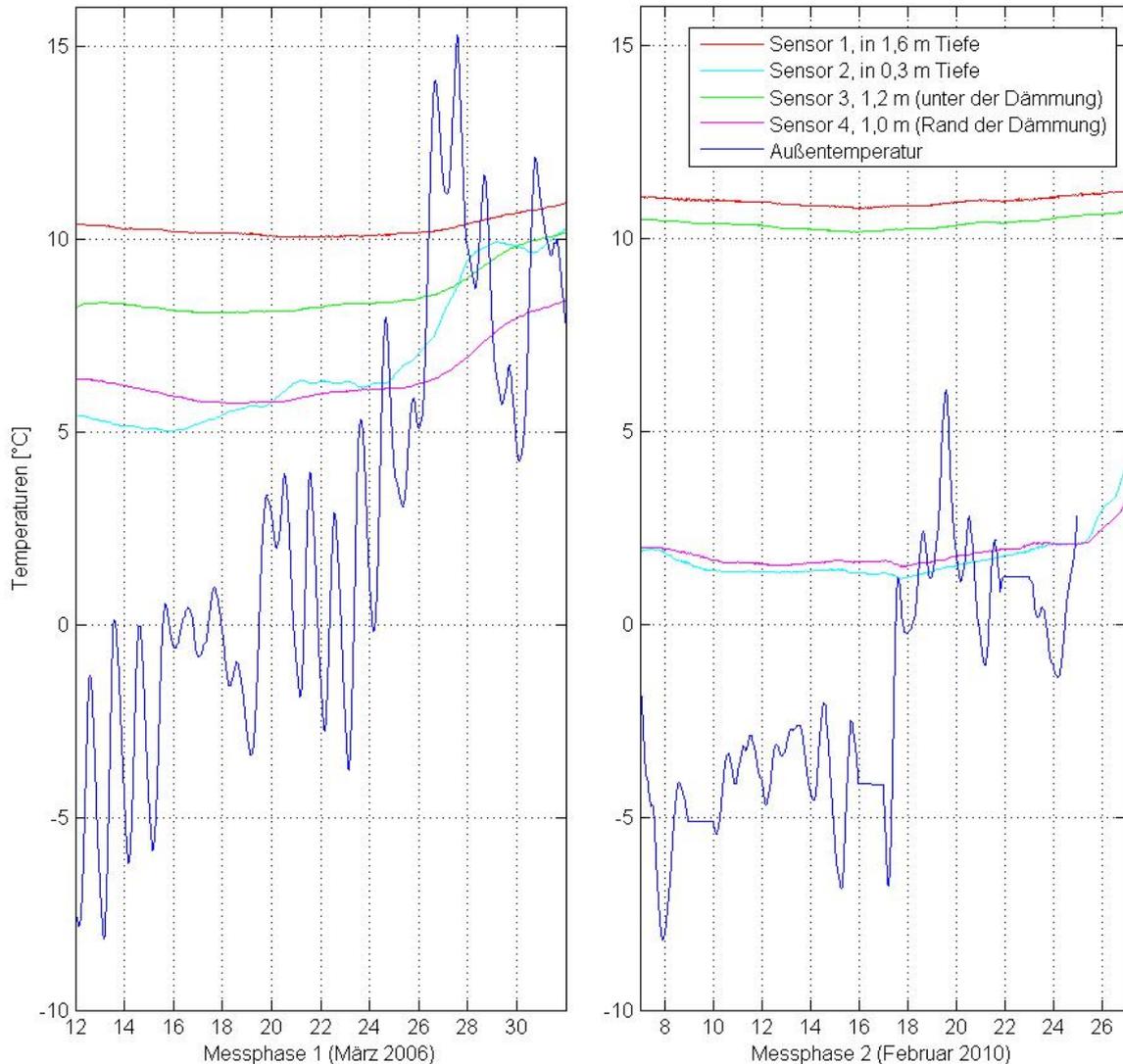


Abbildung 6.10: Temperaturprofil in der Anschüttung (Nordwand) in Frostperioden im März 2006 und Februar 2010

6.3.5 Temperaturprofil im Erdreich unter dem Hallenboden

Ein hohes Temperaturniveau im Erdreich unter der Halle begrenzt – besonders bei unzureichender Dämmung des Bodens – den Wärmeverlust durch die Bodenplatte und verhindert das nächtliche Absinken der Hallentemperatur auf extrem niedrige Werte. Gegenstand der "Wärmesee"-Untersuchung ist die Frage, inwiefern die Perimetermeterdämmung der Halle zu einer Erhöhung der Erdreichtemperatur unter dem Hallenboden beiträgt.

Da die mittlere Hallentemperatur wegen des geringen Wärmeübergangswiderstands des Hallenbodens einen dominanten Einfluss auf die Erdreichtemperatur unter der Sohle hat, ist ein aussagekräftiger Vergleich nur über längere Phasen etwa gleicher mittlerer Hallen- und Außentemperaturen möglich. Für die unten dargestellten Messreihen aus den Monaten März 2006 und Februar 2010 ist diese Voraussetzung in guter Näherung gegeben.

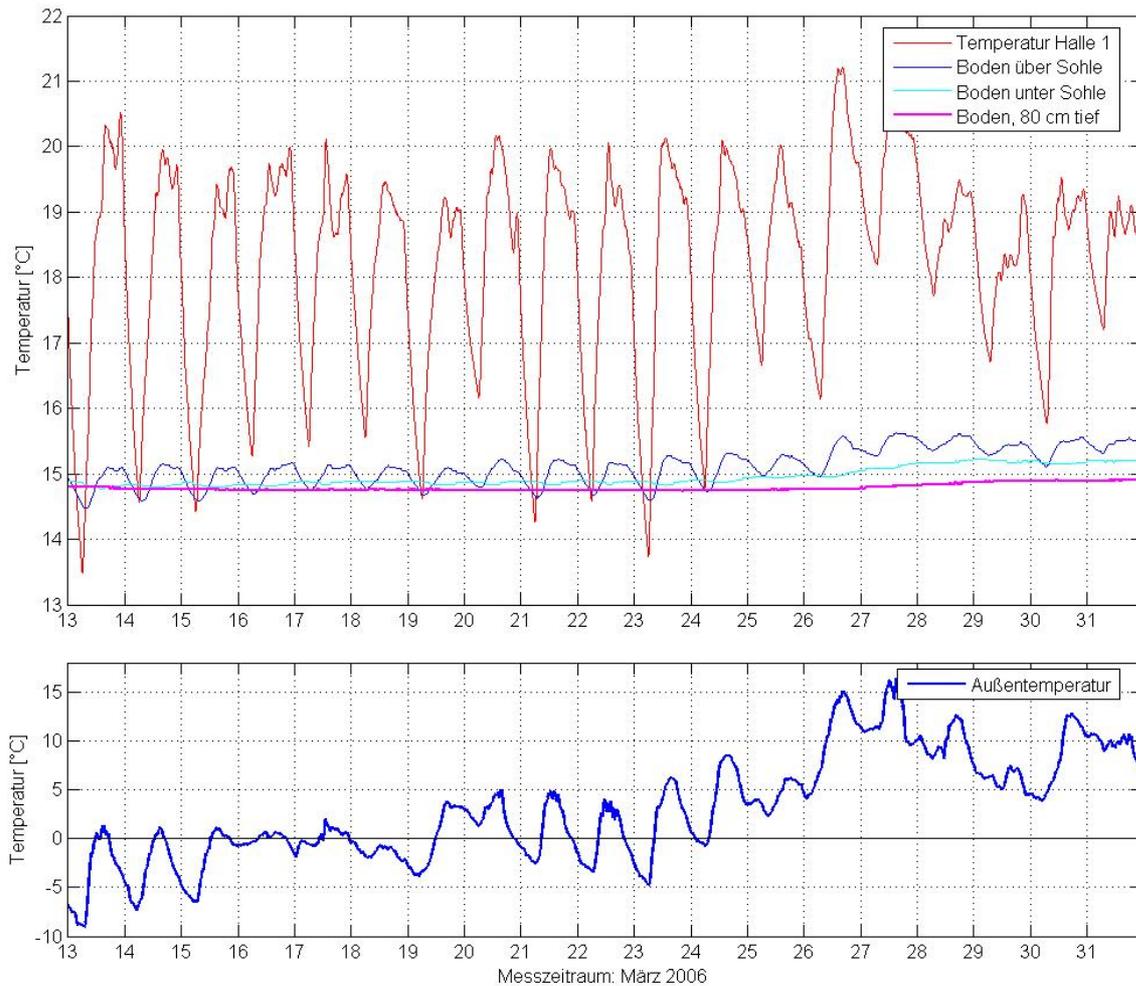


Abbildung 6.11: Außen-, Hallen- und Bodentemperaturen im März 2006 (Altzustand); mittlere Hallentemperatur: 18,2°C; mittlere Temperatur 80 cm unter der Sohle: 14,8 °C

In der Zeit vom 13. bis 31. März 2006 liegt die mittlere Hallentemperatur bei 18,2°C, wobei die Tag-Nacht-Unterschiede bei Frost wegen der schlechten Dämmung der Halle im Altzustand sehr groß sind (Abbildung 6.11).

In der Zeit vom 27.1. bis 21.2.2010 (nach der Sanierung) lag die mittlere Hallentemperatur annähernd bei dem gleichen Wert (18,3°C). Die Tag-Nacht-Unterschiede sind dabei wegen des guten Dämmzustands der Halle sehr viel geringer (siehe Abbildung 6.12). Beide Zeiträume weisen Frostperioden auf, und beiden Zeiträumen gingen auch längere Kälteperioden voran.

Die mittlere Bodentemperatur 80 cm unter der Betonsohle beträgt im März 2006 14,8 °C und im Februar 2010 15,7°C.

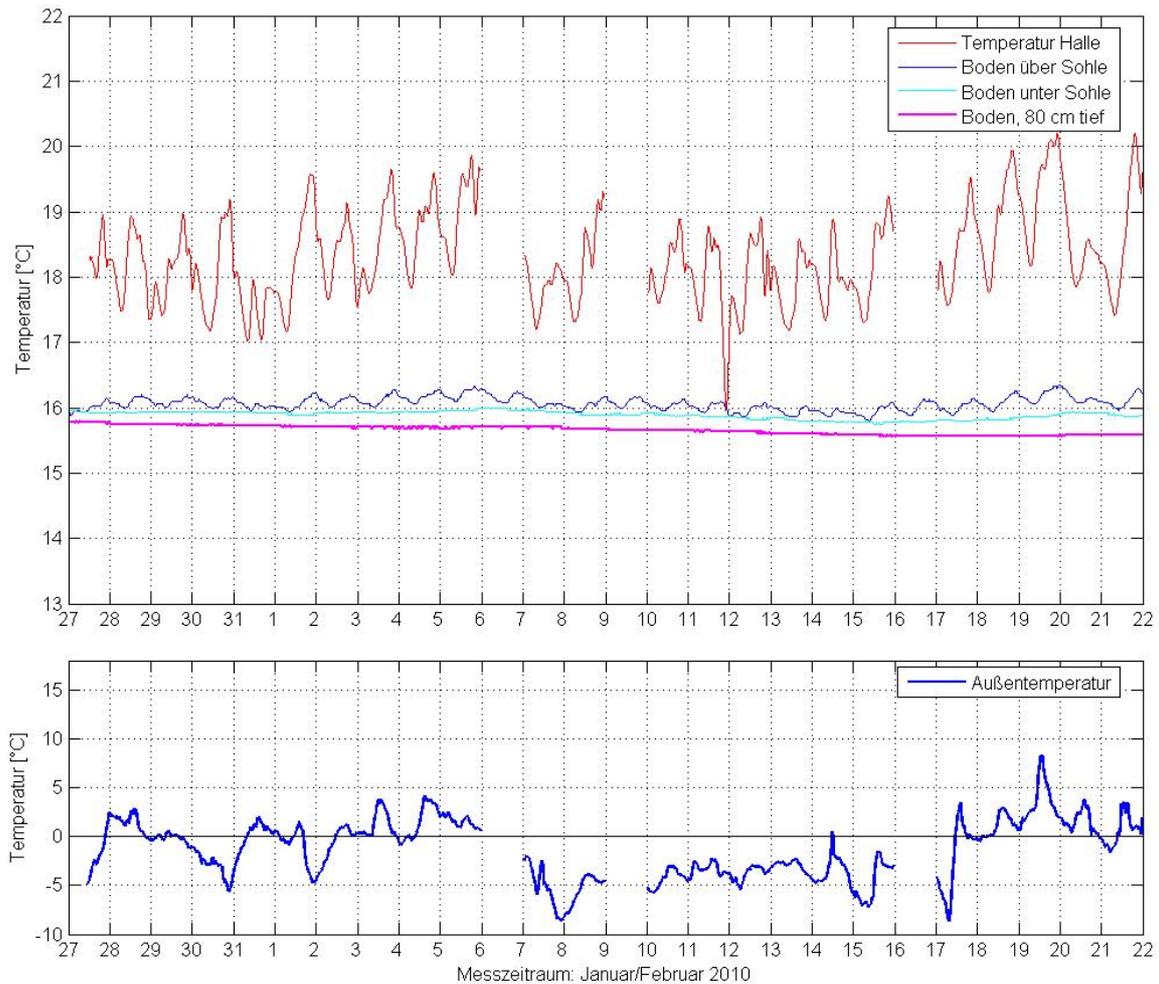


Abbildung 6.12: Außen-, Hallen- und Bodentemperaturen im Februar 2010; mittlere Hallentemperatur: 18,3°C; mittlere Temperatur 80 cm unter der Sohle: 15,7°C

Die mittlere Temperaturdifferenz zwischen Hallentemperatur und Erdreich wurde durch die Sanierung demnach von 3,4°C auf 2,6°C reduziert. Damit wurden die Wärmeverluste durch die Bodenplatte zum Erdreich also um fast 25% verringert.

6.3.6 Simulation der Temperaturverteilung im Erdreich

Die Dynamik der räumlichen und zeitlichen Temperaturverteilung in den Bauteilen und im Erdreich wird bestimmt durch die Wärmeleitungsgleichung

$$c_w \cdot \rho \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \lambda \cdot \nabla^2 \vartheta .$$

bzw.

$$\operatorname{div}(\lambda \cdot \operatorname{grad}(\vartheta)) = \rho c_w \frac{\partial \vartheta}{\partial t}$$

wobei der Wärmetransport durch Strahlung oder Konvektion vernachlässigt wird und die Außentemperatur sowie die Temperaturen des tiefer liegenden Erdreichs und der Halle als Randbedingungen eingehen.

Die stationäre Temperaturverteilung bei zeitlich konstanten Temperaturen ergibt sich aus

$$\operatorname{div}(\lambda \cdot \operatorname{grad}(\vartheta)) = 0 .$$

An den Hallenwänden und an der Erdoberfläche geht als Randbedingung der Übergangswärmestrom in die Berechnung der Temperaturverteilung ein. Die dafür einzusetzende, verallgemeinerte Neumann-Randbedingung lautet

$$\vec{n} \cdot (\lambda \cdot \operatorname{grad}(\vartheta)) + \alpha \cdot \vartheta = q_H .$$

Mit $q_H = \alpha \cdot \vartheta_{Halle}$ bzw. $q_H = \alpha \cdot \vartheta_{außen}$ bildet dies den Wärmeübergang von der Hallenluft auf die Wandoberfläche bzw. von außen auf Wand- und Erdoberfläche nach.

Die Wärmeübergangskoeffizienten bzw. –widerstände werden aus der DIN 4108-2 entnommen. Aufgrund der in Kap. 3 festgestellten Beschaffenheit und Feuchte des Erdreichs wird nach [7] eine mittlere Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs unter der Sohlplatte von $\lambda = 0,8 \text{ W/m K}$ angesetzt.

Temperaturverteilung am Streifenfundament

Für die Simulation der Temperaturverteilung an den Streifenfundamenten mit Perimeterdämmung nach dem Umbau wurden folgende weitere Annahmen getroffen:

Innentemperatur	21,0 °C	Wärmeübergangswiderstand, Sohlplatte	0,17 m²K/W
Außentemperatur	0 °C	Wärmeübergangswiderstand, an Luft	0,04 m²K/W
Erdreichtemperatur	8,9 °C	(hier in 5m Tiefe angenommen)	

Die Simulation liefert das in Abbildung 6.13 dargestellte Ergebnis. Unter der Sohlplatte ergibt sich in guter Übereinstimmung mit den Messungen in 80 cm Tiefe eine Temperatur von 16,7 °C. Auch am Streifenfundament stimmen die Temperaturen im Rahmen der gegebenen Unsicherheit mit den gemessenen Werten überein.

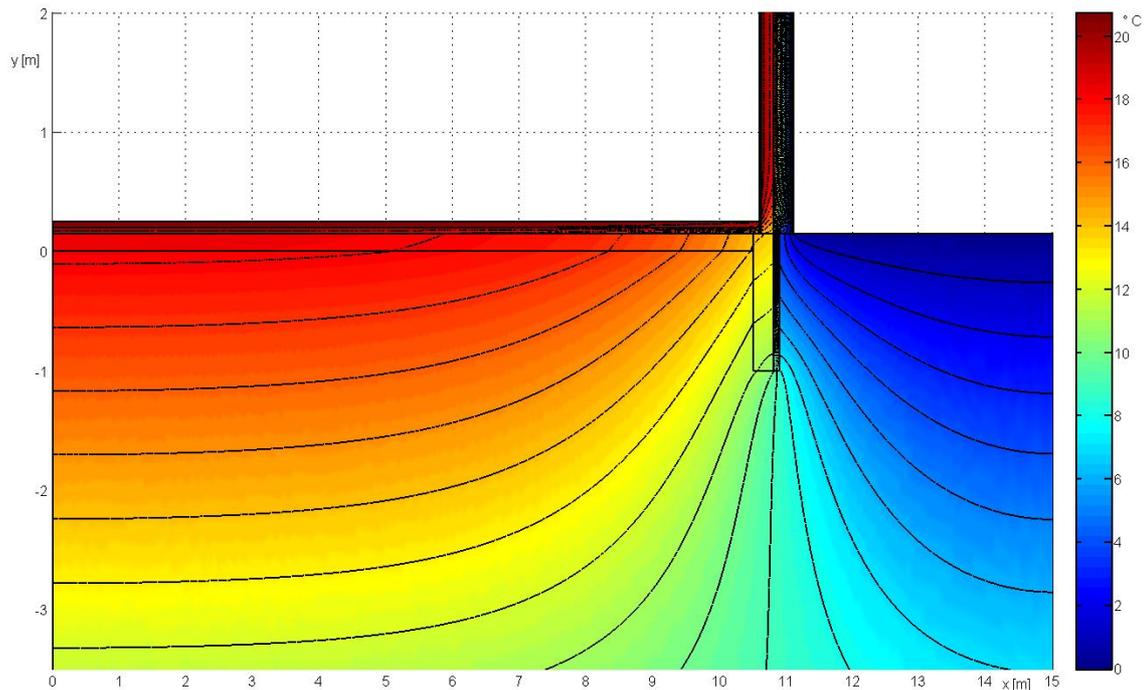


Abbildung 6.13: Simulation der Temperaturverteilung am Streifenfundament der Giebelwand für die sanierte Halle (Hallentemperatur = 21 °C, Außentemperatur = 0 °C)

Abbildung 6.14 stellt dem das Ergebnis gegenüber, das sich im Alt-Zustand bei gleicher Hallen- und Außentemperatur eingestellt hätte. Das Streifenfundament weist bei fehlender Perimeterdämmung nur noch ein Temperaturniveau von ca. 6 °C auf. Im Halleninneren sinken dadurch im Bereich der unteren Gebäudecke die Temperaturen auf der Wandoberfläche unter dem Prallschutz auf Werte im Bereich von 10 – 12 °C.

Die sanierte Halle weist dem gegenüber im Streifenfundament ein Temperaturniveau von ca. 12-13 °C auf. In der Gebäudecke herrschen aufgrund der Dämmung von Wand und Fundament Temperaturen von etwa 17 – 18 °C.

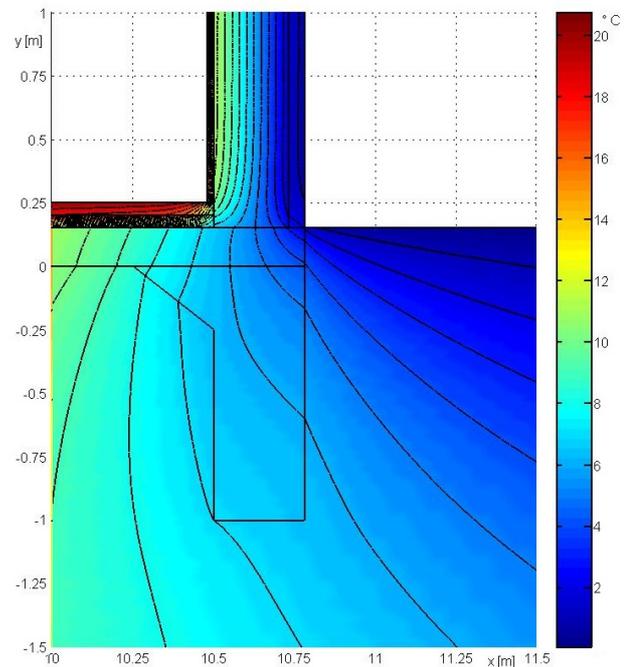


Abbildung 6.14: Temperaturverteilung am Streifenfundament im Altzustand (Hallentemperatur = 21 °C, Außentemperatur = 0 °C)

Temperaturverteilung bei horizontaler Perimeterdämmung

Die simulierte Temperaturverteilung bei der neuartigen Perimeterdämmung für Hanglagen (Nordwand im Bereich der Anschüttung) ist in Abbildung 6.15 zu sehen. Dabei wurde für das Erdreich oberhalb der horizontal angeordneten XPS-Dämmplatten eine höhere Wärmeleitfähigkeit angenommen, da es gegenüber dem Erdreich unter Halle eine wesentlich größere Feuchte aufweist.

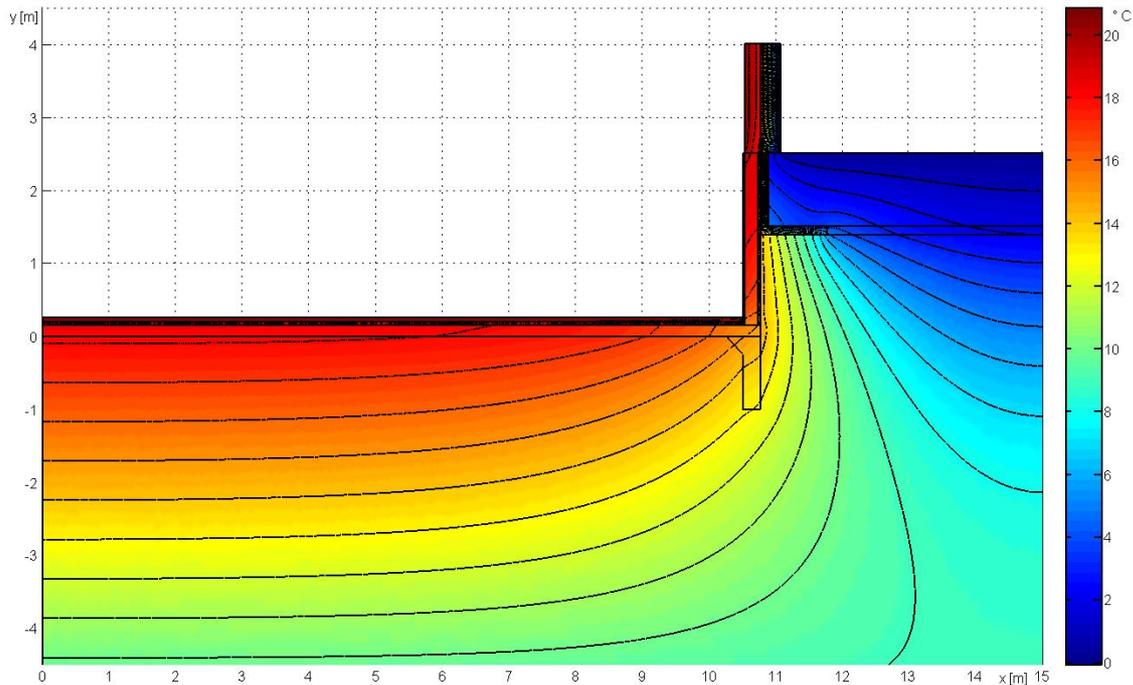


Abbildung 6.15: Simulation der Temperaturverteilung im Erdreich an der Nordwand mit neuartiger Perimeterdämmung (Hallentemperatur = 21 °C, Außentemperatur = 0 °C)

Die erwartete Entkopplung der Erdreichtemperatur unter dem horizontalen Teil der Dämmung von der Oberflächentemperatur ist deutlich zu erkennen. Vor der Wand stellt sich eine Aktivierung des Erdreichs ein, die mit dem "Wärmesee" unter der Halle prinzipiell vergleichbar, wenn auch schwächer ausgeprägt ist. Sie reicht nur so weit, wie die horizontale Dämmung reicht. Das Temperaturprofil weist an der Wand 14 °C und in einem Meter Abstand noch ca. 8 °C auf.

6.3.7 Thermografische Evaluation der Perimeterdämmung

Die zur Qualitätssicherung der Bauausführung nach dem Umbau angefertigten Thermografieaufnahmen belegen in der Gegenüberstellung mit den Thermografien aus dem Altzustand ebenfalls die positive Wirkung der Perimeterdämmung.

Im Alt-Zustand ist aus dem Halleninneren heraus die Erdreichgrenze deutlich zu erkennen. Die im Erdreich befindliche und weitgehend ungedämmte Stahlbeton-Stützwand tritt als blauer Streifen hervor ($\vartheta_E = 12,7\text{ °C}$), während die darauf aufsetzende, der Außenluft ausgesetzte Porenbetonwand grün bis gelbgrün erscheint (ca. 16 °C). Weiter bestehen erhebliche Wärmebrücken am Übergang zum Dach und in der Gebäudekante am Anschluss von Nord- und Ostwand.

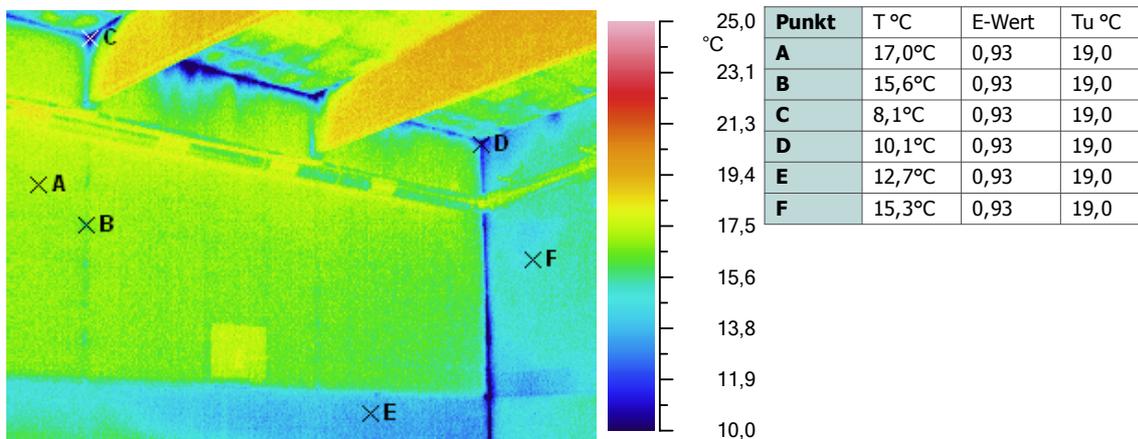


Abbildung 6.16: Innenthermografie der Nordwand im Alt-Zustand (28.02 2004)

Nach der Sanierung ist die Wand oberhalb des Erdreichs mit 30 cm WDVS gedämmt, im Erdreich mit der neuartigen, zum Teil horizontal verlegten Perimeterdämmung. Der Übergang ist in der Thermografie kaum auszumachen. Zwischen dem nach wie vor unmittelbar an Erdreich grenzenden Bereich (bis ca. 1,50 m Höhe) und dem darüber liegenden mit Perimeterdämmung ist ein Unterschied gar nicht feststellbar. Die Dämmung des tiefer liegenden Erdreichs gegenüber der Außenluft durch den horizontalen Teil der Perimeterdämmung hat demnach eine mit der direkten Dämmung der Wand vergleichbare Wirkung.

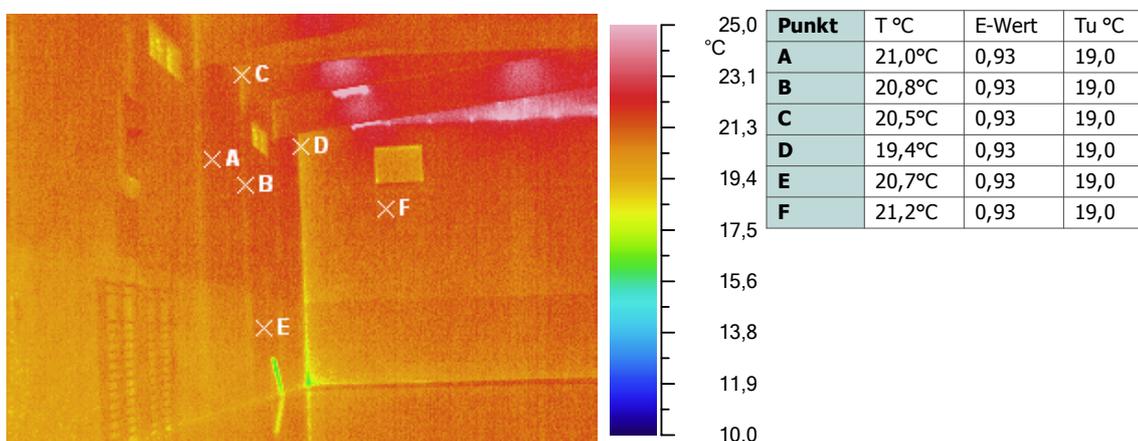


Abbildung 6.17: Innenthermografie der Nordwand nach dem Umbau (21.02 2009)

Im Alt-Zustand war im Übergangsbereich zwischen Außenwand und Fundament deutlich eine linienförmige Wärmebrücke auszumachen, die sich auf der in Abbildung 6.18 dargestellten Thermografieaufnahme der Südwand als gelber Streifen abzeichnet. Die Ursache für die Wärmebrücke liegt in der ungenügenden Wärmedämmung des Fußpunktes der aus Porenbeton gefertigten Außenwand. Bei einer Außentemperatur von $-3,4\text{ °C}$ weist der Übergangsbereich Außenwand – Erdreich Temperaturen im Bereich von $3\text{ bis }4\text{ °C}$ auf (Punkt D und E) und liegt damit deutlich über den Temperaturen auf der Außenwandoberfläche.

Nach der Dämmung der Außenwand mit 30 cm WDVS und der Ausstattung des Streifenfundamentes mit einer senkrechten Perimeterdämmung ist eine linienförmige Wärmebrücke nicht mehr erkennbar (Abbildung 6.19). Die Punkte D und E, die wiederum den

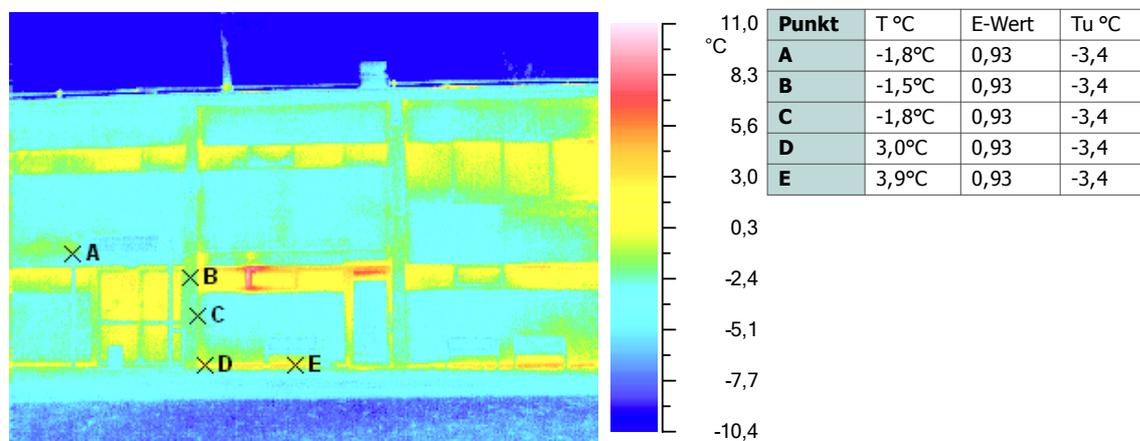


Abbildung 6.18: Außenthmografie der Südwand im Alt-Zustand (28.02.2004)

Übergang von Außenwand und Erdreich beschreiben, weisen im Prinzip die gleichen Oberflächentemperaturen auf wie die Fassade. Da die Außentemperatur zum Messzeitpunkt bei $2,0\text{ °C}$ lag, unterscheidet sich die Erdrechoberfläche in der Farbgebung nicht von der Fassadenoberfläche.

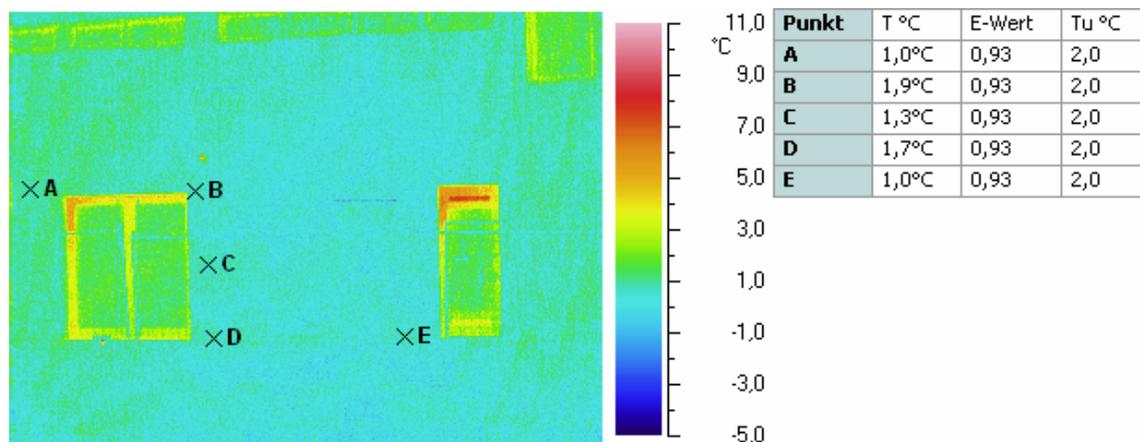


Abbildung 6.19: Außenthmografie der Südwand nach dem Umbau (21.02.2009)

6.4 Zusammenfassung Thermisches Verhalten

Die in der Planungsphase mit einem thermischen Gebäudemodell der vorliegenden Halle errechneten Simulationsergebnisse wurden durch die Messungen im Betrieb der sanierten Halle bestätigt. Sowohl die gemessene, nächtliche Auskühlung der Halle (Nachtabsenkung der Heizung) um lediglich ca. 2 °C als auch die Begrenzung der Hallentemperatur im Sommer durch nächtliche Querlüftung wurden durch das Simulationsmodell korrekt prognostiziert. Die thermische Gebäudesimulation hat sich damit gerade in Bezug auf den Vergleich verschiedener Varianten einer Sanierung als wertvolles Planungswerkzeug erwiesen.

Das betrifft insbesondere die in der Simulation untersuchte Frage nach der Vereinbarkeit eines Lichtbandes mit einer hochwertigen Dämmung der Gebäudehülle unter dem Aspekt der Aufheizung der Halle durch Sonneneinstrahlung, die nach den nun vorliegenden Erfahrungen eindeutig positiv beantwortet werden kann. Die nachts durch Querlüftung abgekühlten Wände werden aufgrund der Dämmung tagsüber von außen praktisch nicht mehr aufgeheizt. Ihre kühlende Wirkung reicht dadurch aus, die Hallentemperatur auf ein akzeptables Maß zu begrenzen. Voraussetzung ist allerdings der Einsatz eines Lichtbandes mit geringem g-Wert (hier $g = 0,18$).

Die positive Wirkung der Perimeterdämmung auf den Energieverbrauch und die Hallentemperatur im Winter wird durch die messtechnischen, simulationsgestützten und thermografischen Untersuchungen im Rahmen dieses Projekts eindrucksvoll belegt. Im Altzustand bestehende Wärmebrücken an der Gebäudeunterkante wurden durch diese Maßnahme vollständig behoben.

Die gemessene Temperatur unter dem Hallenboden liegt im Winterhalbjahr in Vergleichszeiträumen mit etwa gleicher mittlerer Außen- und Hallentemperatur nach dem Umbau um ca. 0,8°C höher als vorher. Dies bedeutet eine erhebliche Verringerung der Wärmeverluste durch die Bodenplatte wie es auch die Wärmeschutzberechnung nach DIN EN 13370 nahe legt.

Die neuartige, L-förmige Perimeterdämmung in der Anschüttung an der Nordwand hat zu sehr positiven Ergebnissen geführt, die mit einer flächig bis herunter zum Fundament eingebrachten Dämmung vergleichbar sind. Die Bodentemperaturmessungen unter dem horizontal verlegten Teil der Dämmung zeigen, dass sich dort ein erhöhtes, von der Temperatur des Erdreichs an der Oberfläche weitgehend entkoppeltes Temperaturniveau einstellt. In der Innenthermografie weist der an Erdreich grenzende Teil der Wand gegenüber dem darüber liegenden Teil mit Wärmedämmverbundsystem nur noch einen Temperaturunterschied von deutlich unter 1 °C auf. Im Alt-Zustand betrug die Differenz mehr als 3°C.

Besonders bemerkenswert ist die Tatsache, dass der Übergang von dem an der Außenwand anliegenden Teil der Perimeterdämmung zum Erdreich darunter – ca. 1,0 m unter der Oberkante der Anschüttung – in der Thermografie nicht erkennbar ist. Ein solches Ergebnis wäre nur zu erwarten gewesen, wenn – äußerst kostenintensiv – die Dämmung durchgehend bis zur Sohle an der Wand anliegend eingebaut worden wäre. Mit der neuen kostengünstigen Variante wird praktisch das gleiche Ergebnis erzielt.

7 Resümee und Ausblick

Die energetische Sanierung der Sporthalle des TV Bremen-Walle 1875 erfolgte bis auf eine Ausnahme vollständig nach der im Vorgängerprojekt MeTuSa-lem erarbeiteten ganzheitlich orientierten Konzeption zur Ertüchtigung der Ende der 70er Jahre erbauten Zweifelhalle. Lediglich bei der Umsetzung der Ziele im Wasser- und Abwasserbereich mussten, um den gesetzten Kostenrahmen einhalten zu können, einige Abstriche erfolgen. Die Gesamtkosten der Sanierungsmaßnahme beliefen sich exklusive der Verschönerungsarbeiten auf 1,063 Mio. €. Sie korrelierten damit gut mit der im Projekt MeTuSa-lem durchgeführten Kostenermittlung. Somit ist auch sichergestellt, dass die im Vorgängerprojekt durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen aktuell und weiterhin gültig sind und als Grundlage zur Beurteilung der verschiedenen Sanierungsmaßnahmen herangezogen werden können.

Die Eckdaten der energetischen Sanierung waren:

- die Wärmedämmung der Außenwände mit einem 30 cm dicken Wärmedämmverbundsystem bzw. einer belüfteten Vorhangfassade und ebenfalls 30cm Dämmstoffdicke,
- die Wärmedämmung des Daches mit einer 36 cm dicken Wärmedämmschicht bei gleichzeitiger Erneuerung der Dachhaut,
- die optimale Tageslichtnutzung durch ein Lichtband in Firstlängsrichtung mit sehr geringem u- und g-Wert,
- der Einbau dreifach verglasteter Fenster,
- die Perimeterdämmung der Fundamente mit der Besonderheit der Ausbildung eines L-förmigen Schirmes bis zur frostfreien Tiefe in der Anschüttung (Hanglage),
- die Erneuerung der Heizungsanlage durch Einbau eines Brennwert-Kessels und der Anordnung von Deckenstrahlplatten im Hallenbereich,
- die Gewährleistung einer natürlichen Lüftung im Hallenbereich durch Fensterlüftung und der Einbau einer bedarfsgerechten Lüftung mit Wärmerückgewinnung in den Nebenräumen,
- Wasser sparende Armaturen in Verbindung mit verringerten Temperaturen im Brauchwasservorlauf durch Legionellenprophylaxe mittels anodischer Oxidation,
- die Ausstattung mit einer bedarfsgerecht geregelten Beleuchtung (abhängig von Anwesenheit und Tageslicht),
- die übergreifende Steuerung der Gebäudefunktionen über ein Gebäudebus-system.

Die Bewertung dieser Eckdaten zeigt, dass zwar nur die Umsetzung einer Sanierung mit Passivhauselementen, d. h. die Durchführung aller Maßnahmen zugleich, ein optimales Ergebnis sicherstellt, andererseits aber auch die Realisierung der gebäudetechnischen Maßnahmen allein, gerade unter den hier gegebenen Voraussetzungen, bereits eine effiziente Lösung gewesen wäre. Dabei ist eine intelligente Gebäudeinstallationstechnik heu-

te unverzichtbar für das Erschließen von Energieeinsparpotentialen, die über den Effekt reiner Wärmedämmung hinausgehen.

Bauliche Wärmedämmmaßnahmen sind immer dann einzuplanen, wenn Sanierungsbedarf in bautechnischer Hinsicht vorliegt, wie er häufig infolge unterlassener Instandhaltungsmaßnahmen anzutreffen ist. Hier ist die Bedeutung eines frühzeitigen Einbeziehens von Fachleuten hervorzuheben, die eine sorgfältige Bestandsaufnahme und eine sachgerechte Festlegung von Prioritäten der zu ergreifenden Maßnahmen gewährleisten. Auch die Einhaltung aktueller Vorschriften und Normen z. B. in den Bereichen Beleuchtung, Trinkwasser und Standsicherheit wird so sichergestellt und ggf. können sofort erste Maßnahmen eingeleitet werden, die unmittelbar zu Energieeinsparungen führen.

Bei der Umsetzung der Sanierungsmaßnahmen hat sich bei diesem Projekt die energetische Qualitätssicherung schon während der Bauphase, aber auch nach Beendigung der Sanierungsarbeiten als notwendig und richtig erwiesen. Es zeigte sich, dass vor allem die unmittelbare fachliche Begleitung der Sanierungsarbeiten durch Inaugenscheinnahme trotz des damit verbundenen relativ hohen Zeitaufwandes eine absolute Notwendigkeit darstellt. Nur so konnte sichergestellt werden, dass trotz akribischer Detailplanung auftretende Fehler in der Umsetzung rechtzeitig erkannt und korrigiert werden konnten.

Ungeachtet dessen ist festzuhalten, dass bei dem mit der Anwendung von Passivhauselementen verbundenen besonders hohen Qualitätsstandard die herkömmlichen Elemente der Qualitätssicherung zwar notwendig, aber allein nicht ausreichend sind. Sowohl die Betrachtung der Wärmebrückenproblematik vor und nach der Sanierung als auch die messtechnische Überprüfung des Gebäudes mit einschlägigen Instrumenten wie Blower-Door-Test und Anfertigung von Thermographieaufnahmen ergänzen und unterstützen die fachliche Begleitung der Sanierungsarbeiten.

Die positive Wirkung der Perimeterdämmung auf den Energieverbrauch und die Hallentemperatur im Winter ist durch die messtechnischen, simulationsgestützten und thermografischen Untersuchungen im Rahmen dieses Projekts erwiesen. Bei Hanglagen oder unterkellerten Hallenbereichen bietet sich als kostengünstige Variante die in diesem Projekt eingeführte und erstmals erprobte, L-förmige Perimeterdämmung an. Sie führt zu praktisch gleichen Ergebnissen wie eine wesentlich kostenintensivere, senkrecht bis zur Fundamentunterkante eingebrachte Dämmung.

Der Erfolg der Sanierungsmaßnahme spiegelt sich in den erzielten Energieeinsparungen und der damit verbundenen Reduktion von CO₂-Emissionen wieder. So wurde der elektrische Energiebedarf der Halle durch die Modernisierung um 45% (ca. 38.500 kWh/a) reduziert. Das entspricht einem vermiedenen CO₂-Ausstoß von 24 t pro Jahr. Der Heizenergieverbrauch für das Gebäude beträgt im sanierten Zustand nur noch etwa 20% des Wertes aus der Messphase 2005/2006. Das entspricht einer Einsparung von ca. 80%. Dagegen weist das Brauchwassersystem eine gegenüber dem Alt-Zustand erhöhte Verlustleistung auf, was auf den Komfortgewinn beim Duschen zurückgeführt wird. Insgesamt hat sich der Gasverbrauch der Halle gegenüber dem Alt-Zustand (2001-2004) um ca. 250.000 kWh/a verringert. Dem entspricht ein vermiedener CO₂-Ausstoß von 57 t pro Jahr.

Die gemessenen Heizenergieverbräuche lagen trotz allem über den in der Planungsphase prognostizierten Werten. Die Ursache hierfür ist in der relativ langen Inbetriebnahme- und Einstellungsphase zu sehen, in der bis in die Heizperiode 2009/2010 hinein immer wieder Mängel und Fehlfunktionen festzustellen waren, die behoben bzw. korrigiert werden mussten. Erst zum Zeitpunkt des Projektabschlusses im Frühjahr 2010 konnte die Regelung von Heizung und Lüftung als zufrieden stellend bezeichnet werden, nachdem defekte Stellantriebe an einigen Lüftungsfenstern instand gesetzt und Automatisierungsfunktionen besser an die Nutzungserfordernisse angepasst worden waren.

Bei Gebäuden mit moderner technischer Ausrüstung ist für die Inbetriebnahme und Anpassung aller Regelparameter offenbar ein gewisser Zeitraum zu veranschlagen. Die Erfahrungen zeigen, dass dieser Zeitraum sich wesentlich verkürzen ließe, wenn durch ein permanentes Monitoring Fehlfunktionen sofort aufgedeckt und lokalisiert und per Fernwartung die nötigen Änderungen schnell umgesetzt werden könnten. Welches weitere Energieeinsparpotential schon in der Inbetriebnahmephase durch das Integrieren von Monitoring- und Fernwartungsfunktionen in die Gebäudesteuerung erschlossen werden kann, sollte Gegenstand weiterführender Studien sein.

Quellenverzeichnis

- [Boh06] Bohrisch, R, et al., "MeTuSa-lem: Modellhafte energieoptimierte Turnhallensanierung - langfristig einsparend modernisieren", Abschlussbericht zum Förderprojekt von DBU (AZ 21019), BISP (VF07/14/01/2005), Bremer Energie-Konsens GmbH (12305U) und SBUV Bremen (AZ G216/04), 02/2006.
(siehe auch: [http://www.energiekonsens.de/cms/upload/Downloads/ ... Bauen/Schlussbericht_kurz.pdf](http://www.energiekonsens.de/cms/upload/Downloads/...Bauen/Schlussbericht_kurz.pdf))
- [Spi04] Spindler, Edmund A.(Hrsg.): Die energieeffiziente Sporthalle. Heidelberg 2004.
- [Spi07] Spindler, Edmund A.(Hrsg.): Management und Modernisierung von Turn- und Sporthallen - PPP-Konzepte, zeitgemäße Sanierung und energieeffiziente Nutzung. C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 2007.
- [BIN08] BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe GmbH, (<http://www.energieprojekte.de>), 07/2008
- [BIN10] BINE Informationsdienst, "Gebäude energieeffizient betreiben – den Anspruch der Planung einlösen", Themeninfo I/2010, FIZ Karlsruhe, 2010
- [FLI08] FLiB e.V. (Hrsg.), Gebäude - Luftdichtheit – Band 1, Kassel 2008
- [Jen08] Jenzok, Michael: Energetische Sanierung der Sporthalle des TV Bremen 1875, Diplomarbeit Fachhochschule Hannover, Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen, Nienburg (Weser), 2008
- [DIN08] DIN EN ISO 13370: 2008-04: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Wärmeübertragung über das Erdreich, Berechnungsverfahren, Beuth-Verlag, Berlin, 2008
- [Lud03] Lude, G., Werner, J., Kirtschig, Th., "Wärmebrücken am Fuß des Gebäudes – Neue Lösungsmöglichkeiten für Sockelanschluss und erdberührte Flächen bei Neubau und Sanierung", 7. Int. Passivhaustagung, Tagungsband, Hamburg, 02/2003
- [Vuo60] O. Vuorelainen, The temperatures under houses erected immediately on the ground and the heat losses from their foundation slab, Technical Research Centre of Finland, VTT Publications 55, Helsinki, 1960
- [Mev09] Mevenkamp, M.; Zapke, W., Untersuchung zur Nutzung des Erdreichs unter einer Sporthalle als Wärmespeicher im Rahmen der modellhaften Sanierung der Sporthalle des TV Bremen-Walle 1875 e.V., Abschlussbericht, Bundesinstitut für Sportwissenschaft, Bonn, 2009
- [IWU10] [http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/ ... Gradtagszahlen_Deutschland.xls](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/...Gradtagszahlen_Deutschland.xls), Stand: 05.05.2010

Anhang

Inhaltsverzeichnis

Anhang A: Projektpartner	76
A.1 Projektkonsortium im Projekt "MeTuSa-lem"	76
A.2 Projektpartner im Projekt "BREHASA 1875"	77
A.2.1 Projektpartner und Arbeitspakete, Übersicht	77
A.2.1 TV Bremen-Walle 1875 e.V. (Antragsteller).....	78
A.2.2 HK Planungsbüro	83
A.2.3 PTG Planungsbüro.....	83
A.2.4 Ingenieurbüro Bruns.....	83
A.2.5 Hochschule Bremen.....	84
A.2.5 Fachhochschule Hannover	86
Anhang B: Pläne, Zeichnungen	88
B.1 Ansichten, Grundrisse	88
B.2 Technik	88
Anhang C: Qualitätssicherung	89
C.1 Zertifikat "Blower Door Test"	89
C.2 Wärmebrückenberechnung	91
C.3 Dokumentation des Baufortschritts (Fotos)	91
Anhang D: Verbrauchsdaten	92
D.1 Das PC-gestützte Messsystem in der Evaluationsphase	92
D.2 Anpassung des Messprogramms	93
D.3 Monatswerte des Heizenergieverbrauchs 2005	94
D.4 Absenkung der Brauchwasser-Vorlauftemperatur	95
Anhang E: Thermisches Verhalten	96
E.1 Ergebnis der thermischen Gebäudesimulation für Frostperioden	96
E.2 Messreihen der Erdreichtemperatur, "Wärmesee"-Untersuchung	97
E.3 Messreihen der Erdreichtemperatur am Streifenfundament	99
Anhang F: Öffentlichkeitsarbeit	100
F.1 Übersicht der Vorträge	100
F.2 Vortragsunterlagen	101
F.3 Pressespiegel	101
Anhang G: Weitere Dokumente	102

Anhang A: Projektpartner

A.1 Projektkonsortium im Projekt "MeTuSa-lem"

Büro für Umweltprojekt- Management und Energieberatung (BUME) Renate Bohrisch	Pommernweg 15 28790 Schwanewede	Projektleitung, Antragstellung, Koordination, Außenvertretung, Öffentlichkeitsarbeit, finanzielle Abwicklung
HK – Planungsbüro (HKP) Architekten und Ingenieure Harald Klein	Contrescarpe 8c 28203 Bremen	Architektenplanung
PTG-Planungsbüro (PTG) Thomas Goldschmidt	Lüderstr. 7 49356 Diepholz	Planung Heizung, Lüftung, Sanitär
Ingenieurbüro für Elektrotechnik GmbH (IEB) Josef Bruns	Neuer Markt 3 49393 Lohne	Planung Elektrotechnik
AWA-Ingenieure (AWA) Dr. Klaus Bahlo, Bernd Ebeling	Gartenstr. 36 29525 Uelzen	Nachhaltiges Sanitärkonzept
Hochschule Bremen – Institut für Informatik und Automation (IIA) Prof. Dr. Manfred Mevenkamp	Flughafenallee 10 28199 Bremen	Wiss. Begleitung (Messtechnik, Simulation)
FH Hannover – Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen (FHH) Prof. Wilfried Zapke	Bürgermeister-Stahn-Wall 9 31582 Nienburg	Wiss. Begleitung (Bauphysik)
H.F. Wiebe GmbH & Co. KG Karsten Winkel	Im Finigen 8 28832 Achim	Beratung aus Sicht der Bauausführung

A.2 Projektpartner im Projekt "BREHASA 1875"

A.2.1 Projektpartner und Arbeitspakete, Übersicht

TV Bremen-Walle 1875 e.V. W.-H. Walter	Hans Böckler Str. 1a D – 28217 Bremen	Antragstellung, Außenvertretung, Bauherr
HK – Planungsbüro Architekten und Ingenieure Harald Klein	Schwachhauser Heerstr. 57 28211 Bremen	Architektenplanung, Koordination, Oberbauleitung
PTG-Planungsbüro (PTG) Thomas Goldschmidt	Lüderstr. 7 49356 Diepholz	Planung Heizung, Lüftung, Sanitär
Ingenieurbüro für Elektrotechnik GmbH (IEB) Josef Bruns	Neuer Markt 3 49393 Lohne	Planung Elektrotechnik
Hochschule Bremen – Institut für Informatik und Automation Prof. Dr. Manfred Mevenkamp	Flughafenallee 10 28199 Bremen	Wiss. Begleitung (Messtechnik, Simulation)
FH Hannover, Fakultät II, Institut für Energie und Klimaschutz Prof. Wilfried Zapke	Ricklinger Stadtweg 120 30459 Hannover	Wiss. Begleitung (Bauphysik, Qualitätssicherung)

A.2.1 TV Bremen-Walle 1875 e.V. (Antragsteller)

Antragsteller	Turnverein Bremen-Walle 1875 e.V.
abgekürzter Name	TV 1875
Adresse	Hans Böckler Str. 1a D – 28217 Bremen
Ansprechpartner	W.-H. Walter
Tel.	0421 374759
E-Mail	hinze-walter@nord-com.net
Web	http://www.tvbremen1875.de

Der TV Bremen-Walle 1875 e.V. – ein ganz gewöhnlicher Sportverein

Geschichte

Die Gründung des TV 1875 beginnt, wie schon aus dem Namen ersichtlich, im Jahre 1875, genau am 2. Oktober, als „Männerturnverein von 1875 e. V.“ in der Turnhalle Nordstrasse. Der Höhepunkt aller sportlichen Erfolge unseres Vereins wurde durch Heinz Steffens mit dem Erringen der Goldmedaille im Kunstturnen bei den Olympischen Spielen in Berlin im Jahre 1936 erreicht.

Das nächste Großereignis ist am 17. Dezember 1970 die Fusionierung des „Männerturnverein von 1875 e. V.“ mit dem „TV Doventor von 1885 e. V.“ und mit der Aufnahme des gemeinsamen Sportbetriebes auf dem jetzigen Gelände „Am Panzenberg“. Die Ziele beider Vereine waren, der damaligen Zeit entsprechend, die Förderung des Turnens und der Körperertüchtigung, wie Turnvater Jahn im Jahre 1848 vorgegeben und vorgelebt hat.

Erst in den Jahren 1971 bis 1975 wurden Sportarten wie Badminton, Ehepaarturnen und Tischtennis in das Vereinsprogramm aufgenommen. Im Jahre 1980 haben wir als erster Verein in Bremen als Pilotprojekt das Rehabilitationsturnen eingeführt, was wir heute noch als Herzsportgruppe in der Abteilung Gesundheitskurse betreiben.

Durch den Bau des Nordwestknotens durch unser Vereinsgelände und der damit verbundenen Verlegung des Vereinsheimes konnte der Verein am 14. April 1980 eine eigene Sporthalle einweihen, die nach dem damaligen Stand der Technik errichtet wurde. Oberhalb des Sanitätstraktes wurde vorausschauend eine Gastronomie geplant und eingerichtet, die heute sehr viel zum Zusammengehörigkeitsgefühl der Mitglieder beiträgt.

Im Jahre 2008 sind ca. 1.200 Mitglieder des ehemaligen TuS Walle in unseren Verein eingetreten, und damit haben wir unsere Mitgliederzahl und unser Sportangebot um weit über 100% vergrößert.

Selbstverständlich, aber doch zu erwähnen, ist, dass der TV1875 bis zum heutigen Tag nur von ehrenamtlichen Mitgliedern im Vorstand geführt wird.

Der Verein heute

Der Verein hat seit dem 1. März 2008 ca. 1.900 Mitglieder, von denen ca. 800 Mitglieder unter 40 Jahre alt sind. Seit diesem Zeitpunkt sind bei uns auch Fußball und Handball im Angebot.

In unserer Halle wird eine Gastronomie von einem Pächter betrieben und in den Sommermonaten werden bei schönem Wetter vor den Beachvolleyballfeldern fast täglich von den Mitgliedern und auch von Gästen gut besuchte Grillabende veranstaltet.

Unsere Halle in der Hans Böckler Straße ist in den Vormittagsstunden und teilweise bis weit in den Nachmittag hinein an die Schulbehörde vermietet. Dann findet dort Schulsport von 3 umliegenden weiterführenden Schulen statt.

Wir möchten jetzt alle bei uns heute betriebenen Sportarten und deren Entwicklung kurz darstellen. Um keine Wertungen vornehmen zu müssen, ist die Vorstellung in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt und unter Mithilfe der Abteilungsleiter werden alle Abteilungen möglichst neutral beurteilt.

Angebotene Sportarten:

Akrobatik

„Carambolage“ ist eine unserer Gruppen, die bei Events unseren Verein mit viel Erfolg nach außen darstellt. Seit 2007 wird die Gruppe als „DTB-Showgruppe“ geführt.

Badminton

Unsere Badmintonabteilung wurde im Jahre 1972 gegründet und hat im Frühjahr 2010 34 aktive jugendliche und 72 aktive erwachsene Mitglieder.

Wir bieten für Schüler und Jugendliche jeweils einen Trainingsnachmittag von 2 Std. an. Für die Erwachsenen ab 18 Jahren haben wir insgesamt 4 Trainingseinheiten mit insgesamt 8 h zur Verfügung. Hier unterscheiden wir jedoch zwischen Hobby- und Mannschaftsspieler, die zu unterschiedlichen Zeiten trainieren.

Ballett

Unsere kleine Ballettgruppe besteht aus Kindern ab 5 Jahre und zeigt Ihr Können bei vereinsinternen Veranstaltungen.

Basketball

Die Basketballabteilung besteht aus 36 erwachsenen Mitgliedern und unsere Jugendabteilung befindet sich gerade im Aufbau.

Beachvolleyball

Direkt neben unserem Vereinszentrum am Panzenberg haben wir eine Beachvolleyballanlage. In den Sommermonaten und je nach Wettergegebenheiten kann hier von An-

fang Mai bis Ende September auf zwei Feldern rund um die Uhr auf Sand gepritscht und gebaggert werden. Beide Felder sind mit einer Flutlichtanlage ausgerüstet.

Budosport Die japanischen Kampfsportarten Judo, seit 1993 und Jiu Jitsu seit 2008 betreiben wir in den Altersklassen von 6 – 55 Jahren in 7 Gruppen ohne jedoch z. Z. an Wettkämpfen teilzunehmen.

Cheerleading

Diese aus den USA importierte Trendsportart wird bei uns in 3 Gruppen im Alter von 6 - 30 Jahre angeboten. Alle 3 Gruppen treten überwiegend bei vereinsinternen Veranstaltungen und Basketballspielen unseres Vereins auf.

Dance

Unsere Jazzdance Gruppe mit Namen „Max Passion“ wird für viele vereininterne Veranstaltungen mobilisiert. Beim „Deutschland-Cup DTB-Dance“ hat sich die Gruppe mehrmals hervorgetan. Für jugendlichen Nachwuchs bieten jetzt verschiedene Kurse an.

Einrad

Diese Gruppe besteht nur aus Jugendlichen zwischen 6 und 14 Jahren, überwiegend Mädchen, und haben am Freimarktsumzug 2009 und auch auf vielen vereinsintern Veranstaltungen ihre Künste vorgeführt.

Faustball

Unsere Faustballabteilung kommt traditionsgemäß aus den beiden alten Vereinen und spielt heute erfolgreich auf nationalen Turnieren und im Punktspielbetrieb bei den Männern 40+ und 60+. Die jugendlichen Faustballer werden in der nächsten Saison mit dem Punktspielbetrieb beginnen.

Fußball

Diese Abteilung wurde erst durch das Eintreten der Mitglieder vom TuS Walle bei uns heimisch und nimmt mit 10 Mannschaften am Punktspielbetrieb in den bremischen Ligen teil.

Gesundheitskurse

Hier haben wir dem heutigen Trend entsprechend bis zu 10 Kursangebote, die teilweise von den Krankenkassen bezuschusst werden und sehr regen Zulauf haben.

Geräteturnen

Die älteste wettbewerbsmäßig ausgetragene Sportart wird auch bei uns an den 4 olympischen Sportgeräten von Mitgliedern zwischen 8 – 30 Jahren in verschiedenen Gruppen ausgeübt. Die erfolgreichsten Mannschaften turnen seit Jahren in der höchsten Bremer Liga.

Gymnastik

Aus unserer Vereinsgeschichte heraus gehört die Gymnastikabteilung traditionell zu unseren Hauptaktivitäten. Heute besteht die Abteilung aus Damen und Herren im Alter ab 40

Jahre und es werden alle Arten von gesundheitsfördernden Gymnastikübungen für Senioren angeboten und sehr gut angenommen.

Handball

Handball bieten wir auch erst seit 2008 an und wir nehmen mit 2 Damen-, einer Herren- und einer Minimannschaft am Punktspielbetrieb in Bremen erfolgreich teil.

Korbball

Seit 2008 gehört diese nur von Frauen betriebene Sportart zu unserem Angebot und unsere 1. Damen spielte das erste Jahr mit einem guten Mittelplatz erfolgreich in der Bundesliga Nord. Die Minis haben ebenfalls das erste Punktspieljahr erfolgreich beendet.

Lauftreff/Walking

Im Jahre 1989 wurde unsere Lauftreffabteilung gegründet. Zielgruppe waren Mitglieder und Freunde, die ihre Kondition verbessern, bzw. sich Kondition wieder antrainieren wollten. Auch heute trifft sich diese Gruppe einmal wöchentlich bei jedem Wetter und läuft ihre Runden im Bürgerpark.

Krav Maga

Unsere jüngste Abteilung erfreut sich einem regen Zulauf und diese moderne israelische Selbstverteidigung wurde zum Abwehren aggressiver Bedrohungen entwickelt. An dieser Sportart ist das Interesse bei Frauen und Männer gleichmäßig verteilt.

Prellball

Die Prellballabteilung ist neben dem Turnen unsere älteste noch bestehende Abteilung, die in den Altersklassen Ü50 und Ü60 erfolgreich am Punktspielbetrieb im Bremer Wettbewerb teilnimmt. Unsere Ü60 Mannschaft hat zusätzlich schon an diversen deutschen Meisterschaften teilgenommen.

Rock'n'Roll

Breiten- und Leistungssport auf bundesweiten Turnieren im Einzel- und Formationstanz zeichnet diese Vorzeigabteilung aus. Hier wird in fast allen Altersklassen das klassische Rock'n'Roll zelebriert.

Tennis

1998 wurden im hinteren Bereich unseres Sportgeländes 2 Tennisplätze angelegt, die von unseren Mitgliedern gut angenommen wurden. Am Punktspielbetrieb wird aber z. Zt. nicht teilgenommen.

Tischtennis

Diese Abteilung trainiert nur in von uns angemieteten Hallen und hat heute 40 jugendliche und 80 erwachsene Mitglieder. Im Verhältnis zur Mitgliederzahl ein sehr gutes Verhältnis zwischen Jung und Alt. Die Jugend spielt erfolgreich in der höchsten Bremer Klasse.

Trampolin

Diese Trendsportart verlangt viel körperliche Disziplin und wird bei uns nur von jugendlichen Mitgliedern ausgeführt.

Turnen

Hier bieten wir von der Krabbelgruppe ab 3 Monate über das Eltern – Kindturnen und Kinderturnen bis zur Einradgruppe ein breites Spektrum an. Diese Angebote finden genau wie das Tischtennis in angemieteten Hallen statt. Unsere Angebotspalette wird sehr gut angenommen.

Volleyball

Am 1. Februar 1975 ist der damalige „Bremer Volleyball Club“ geschlossen in unseren alten Verein eingetreten. Mit diesem Zuwachs wurde diese olympische Sportart bei uns heimisch und heute ist Volleyball unsere größte Abteilung, bedingt auch dadurch, dass wir im Sommer Beachvolleyball anbieten.

A.2.2 HK Planungsbüro

Kooperationspartner	HK Planungsbüro
abgekürzter Name	HKP
Adresse	Schwachhauser Heerstr. 57 28211 Bremen
Ansprechpartner	Dipl.-Ing. Harald Klein
Tel.	0172 1551404
E-Mail	h.klein2@web.de

A.2.3 PTG Planungsbüro

Kooperationspartner	Planungsbüro Thomas Goldschmidt
abgekürzter Name	PTG
Adresse	Lüderstrasse 7 49356 Diepholz
Ansprechpartner	Dipl.-Ing. Thomas Goldschmidt
Tel.	05441 2974
E-Mail	ptg-goldschmidt@freenet.de

A.2.4 Ingenieurbüro Bruns

Kooperationspartner	Ingenieurbüro für Elektrotechnik Josef Bruns GmbH
abgekürzter Name	IEB
Adresse	Neuer Markt 3 49393 Lohne
Ansprechpartner	Dipl.-Ing. Josef Bruns
Tel.	04442 92450
E-Mail	Ing.-BueroBruns@t-online.de

A.2.5 Hochschule Bremen

Kooperationspartner	Hochschule Bremen, Institut für Informatik und Automation
abgekürzter Name	IIA
Adresse	Flughafenallee 10 D - 28199 Bremen
Ansprechpartner	Prof. Dr.-Ing. Manfred Mevenkamp
Tel.	0421 5905 5482
E-Mail	manfred.mevenkamp@hs-bremen.de

Das **Institut für Informatik und Automation** sieht seine Hauptaufgaben in der angewandten Forschung und dem Technologietransfer. Zu den Aufgaben des Instituts gehören

- Planung, Entwicklung und Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben bzw. die Beteiligung an derartigen Vorhaben anderer Einrichtungen
- Übernahme von Beratungs- und Gutachtertätigkeiten für Industrie- und Gewerbebetriebe, kommunale Einrichtungen und andere Institutionen (Verbände, etc.)
- Organisation und Durchführung von Vorträgen, Seminaren und Weiterbildungsveranstaltungen
- Prototyp-Entwicklungen von anwendungsnahen Systemen
- Evaluierung neuer technologisch interessanter Projekte.

Forschungsthemen des Instituts sind

- Computernetzwerke, Internettechnologie
- Multimedia-Anwendungen, Mobile Systeme
- Datenbankapplikationen, Künstliche Intelligenz und Expertensysteme
- Objekttechnologie und Qualitätssicherung im Bereich der Softwareentwicklung
- Regelungstechnik, Embedded Systems
- Modellbildung und Simulation, Gebäudeenergetik, Bussysteme
- Mess-, Regel- und Steuerungstechnik regenerativer Energiesysteme

Projekte des IIA mit Bezug zum aktuellen Vorhaben

(Prof. Dr.-Ing. Manfred Mevenkamp)

"Web-Informationssystem Solarenergie in Bremen" (Bremer Energie-Konsens, 2004)

"Energieeinsparung in Bildungseinrichtungen durch Gebäudebustechnik" (Hochschule Bremen, Bremer Energie-Konsens, 2007)

"Modellhafte energieoptimierte Turnhallen-Sanierung – langfristig einsparend modernisieren (MeTuSa-lem, Phase I)" - Wissenschaftliche Begleitung Messtechnik und Simulation (DBU, BEK, BiSP, SBUV, 2006)

"Untersuchung zur Nutzung des Erdreichs unter einer Sporthalle als Wärmespeicher im Rahmen der modellhaften Sanierung der Sporthalle des TV Bremen-Walle 1875 e.V." (Bundesinstitut für Sportwissenschaft, Bonn, 2009)

Veröffentlichungen mit Bezug zum aktuellen Vorhaben

M. Mevenkamp, "Web-Informationssystem Solarenergie in Bremen", Tagungsband Regio-Solar 2004, Hrsg. Bundesverband Solarindustrie (BSI), Berlin, 2004

M. Mevenkamp, M. Mayer: "Energy efficiency in educational buildings using KNX/EIB", In: Proceedings KNX Scientific Conference, Pisa, 2005

M. Mevenkamp: "MeTuSa-lem: Modellhafte energieoptimierte Turnhallensanierung - langfristig einsparend modernisieren", 22. Int. Conf. "Science in Practice", Schweinfurt, 2005

M. Mevenkamp, M. Mayer: "Improving Energy Efficiency in Educational Buildings by Network Based Control", In: Proceedings of the 23rd Int. Conf. "Science in Practice", Budapest, 2006

M. Mevenkamp, Ch. Eder, I. Beinaar: "KNX-based Energy Efficient Heating and Lighting in Educational Buildings", KNX Scientific Conference, Wien, 2006

M. Mevenkamp: "Energieeinsparung in Bildungseinrichtungen durch Gebäudebustechnik", GebäudeSysteme 2008 - BACnet, KNX, LonMark, Frankfurt, 11/2008

M. Mevenkamp: "50% Energy Savings by KNX – details and discussion of a promising result", KNX Scientific Conference, St. Katelijne-Waver, 2008.

M. Mevenkamp: "Energieeffizienz im Hochschulgebäude durch Gebäudebustechnik", 6. Fachwissenschaftliches Kolloquium für Angewandte Automatisierungstechnik in Lehre und Entwicklung - AALE, TFH Berlin, 2009

A.2.5 Fachhochschule Hannover

Kooperationspartner	Fachhochschule Hannover, Institut für Energie und Klimaschutz
abgekürzter Name	
Adresse	Ricklinger Stadtweg 120 D - 30459 Hannover
Ansprechpartner	Prof. Wilfried Zapke
Tel.	0511 92961401
E-Mail	wilfried.zapke@fh-hannover.de

Prof. Dipl.-Ing. Wilfried Zapke lehrte zunächst an der Fachhochschule Hannover Baukonstruktion und Bauphysik. Seit dem Jahr 2007 leitet er das Institut für Energie und Klimaschutz und ist Studiengangsverantwortlicher für den Weiterbildungsmaster „Nachhaltiges Energie-Design für Gebäude“. Während seiner Tätigkeit im Institut für Bauforschung in Hannover führte er über einen Zeitraum von 15 Jahren zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für die öffentliche Hand und die Bauindustrie auf dem Fachgebiet des geplanten Vorhabens aus.

Forschungsprojekte

- Wirtschaftlicher Wärmeschutz bei der Modernisierung
Arbeitsunterlagen für die Planung, Bemessung und Ausführung (Selbstverlag Institut für Bauforschung)
- Planung und Ausführung wärmeschutztechnischer Verbesserungen bei Altbauten (RKW-Merkblatt 56)
- Wärmeschutztechnisch einwandfreie Ausbildung der gebäudeumschließenden Bauteile bei Neubauten (RKW-Merkblatt 55)
- Begleitende Untersuchung zum Heizenergiesparprogramm des Bundes (unveröffentlicht)
- Auswertung ausländischer Forschungsberichte des Sachgebietes "Neue Technologien bei der Wärmeversorgung" (unveröffentlicht)
- Heizkosten - Wettbewerb THERMA - (unveröffentlicht)
- Praxisinformation "Energieeinsparung" (Schriftenreihe 04 des BMBau Heft Nr. 093)
- Energetisches Bauen - Energiewirtschaftliche Aspekte zur Planung und Gestaltung von Wohngebäuden (Schriftenreihe 04 des BMBau Heft Nr. 086)

- k-Werte alter Bauteile - Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmeschutztechnischer Berechnungen bei der Modernisierung (RKW-RG-Bau - Schriftenreihe Heft Nr. 22)
- Untersuchung über die Einsatzmöglichkeiten und die Wirtschaftlichkeit von Ingenieurmauerwerk aus Leichtbeton-Hohlblocksteinen (unveröffentlicht)
- Theoretische Untersuchung über die Möglichkeiten der Flachgründung nicht unterkellerten Einfamilienhäuser (Selbstverlag Institut für Bauforschung)
-
- Wohnen und Gesundheit - biophysikalische und biochemische Einflussfaktoren (Selbstverlag Institut für Bauforschung)
- Erarbeitung von Merkblättern für die Beratungsstelle "Gesundes Bauen und Wohnen (Selbstverlag Institut für Bauforschung)
- Forschungsprojekt Entwicklung von Instrumenten für den nachhaltigen Sanierungsprozess von Büro- und Produktionsgebäuden sowie öffentlichen Liegenschaften (Projektförderung aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) Förder-Nr.: 98.060)

Eigene Veröffentlichungen

- Zapke, W.; Schulz, W.: Die neue Energieeinsparverordnung (Loseblattsammlung), Forum Verlag Herkert, Merching 2002
- Zapke, W.; Pfeiffer, M.: Integrierte Dienstleistungsprofile für mittelständische Unternehmen zur Entwicklung neuer Marktsegmente im Zuge von Sanierungs- und Modernisierungsprojekten, AGIP Hannover Abschlussbericht 2002
- Zapke, W.; Schulz, W.; Pfeiffer, M. u. a.: Niedrigenergiehäuser in Text und Bild (Loseblattsammlung), Forum-Verlag 1998
- Pfeiffer, M.; Zapke, W.; Nordmann D: Entwicklung von Instrumenten für den nachhaltigen Sanierungsprozess von Büro- und Produktionsgebäuden sowie öffentlichen Liegenschaften (EFRE und MWK), Hannover 2001 Abschlussbericht

Anhang B: Pläne, Zeichnungen

B.1 Ansichten, Grundrisse

siehe CD:\Anhang_B.1

B.2 Technik

siehe CD:\Anhang_B.2

Anhang C: Qualitätssicherung

C.1 Zertifikat "Blower Door Test"

Zertifikat

über die Qualität der luftdichten Gebäudehülle

Das Gebäude/Objekt:

Sporthalle TV Bremen-Walle 1875
Hans-Böckler-Str. 1A
28217 Bremen

hat bei der Drucktestmessung am 27.02.2010 folgenden Wert
für die volumenbezogene Luftdurchlässigkeit erzielt:

$$n_{50} = 0,31 \text{ [1/h]}$$

Der empfohlene Grenzwert der Luftdurchlässigkeit nach Richtwert des PHI
beträgt:

$$n_{50} \leq 0,6 \text{ [1/h]} \quad \text{für Gebäude mit Lüftungsanlage}$$

Die Anforderungen der Vorschrift sind erfüllt.

Dieses Zertifikat besteht aus 3 Seiten.

Erstellt am 21.06.2010

Hannover

BE/ZA

*Prof. Dipl.-Ing. W. Zapke
FH Hannover
30459 Hannover*

Blower-Door Messprotokoll

Berechnungsgrundlage ISO 9972

Minneapolis Blower Door Modell 3

Objekt : Sporthalle TV Bremen-Walle 1875	Auftraggeber : BREHASA 1875
Adresse : Hans-Böckler-Str. 1A	Tel :
28217 Bremen	Ansprechpartner : Prof. Zapke - FHH
	Tel : 0511-9296-1401

Messdaten :

Messung ausgeführt von : BE/ZA am 27.02.2010

Belüftetes Volumen	10723 m ³
Beheizte Fläche	m ²
Gebäudehüllfläche	m ²
Innentemperatur	20,0 °C
Außentemperatur	4,0 °C

Bemerkungen : DIN-EN 13829

halbfreie Lage, wechselnde Winde aus Süd-West,

schwache bis mäßige Brise (1,8 - 3,1 m/s)

Einbau der BlowerDoor in der Türöffnung an der Hallennordseite

Ablebung der Lüftungsschlitze in den Außentür en

Unterdruck

Überdruck

Reduzier- blende	Gebäude- druck	Gebälse- druck	Volumen- strom	Abwei- chung	Reduzier- blende	Gebäude- druck	Gebälse- druck	Volumen- strom	Abwei- chung
○ ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m ³ /h]	[%]	○ ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m ³ /h]	[%]
Gebälse geschlossen	0,0	—	—	—	Gebälse geschlossen	0,0	—	—	—
A	48	110,0	3211	0,95	A	46,0	105,0	3138	-0,11
A	38	75,0	2655	-3,89	A	35,0	75,0	2655	1,25
A	30	64,0	2454	2,45	A	30,0	65,0	2473	4,42
A	24	45,0	2061	-1,59	A	22,0	35,0	1819	-5,74
A	16	33,0	1767	7,75	A	15,0	22,0	1445	-3,59
A	12	18,0	1308	-5,13	A	10,0	15,0	1195	4,20
A					A				
A					A				
Gebälse geschlossen					Gebälse geschlossen				

Korrelationskoef. (mind. 0,998)	r = 0,98932
Gebäudekoeffizient [m ³ /hPa], norm.	C ₀ = 298,0
Gebäudeexponent	n = 0,603

Korrelationskoef. (mind. 0,998)	r = 0,99395
Gebäudekoeffizient [m ³ /h*Pa], norm.	C ₀ = 257,9
Gebäudeexponent	n = 0,660

Ergebnis, Kenngrößen :	n ₅₀ h ⁻¹	Regression	V ₅₀	NBV ₅₀	q ₅₀	ELA _{4Pa}
		Abweichg. %	m ³ /h	m ³ /m ² h	m ³ /m ² h	cm ²
Unterdruck	0,29	+/- 9,26	3152			740
Überdruck	0,32	+/- 8,35	3414			693
Mittelwert aus Unter- & Überdruck	0,31		3283			717
Grenzwert	0,6					

Das Gebäude entspricht den Anforderungen der Vorschrift Richtwert des PHI

Auftragnehmer :

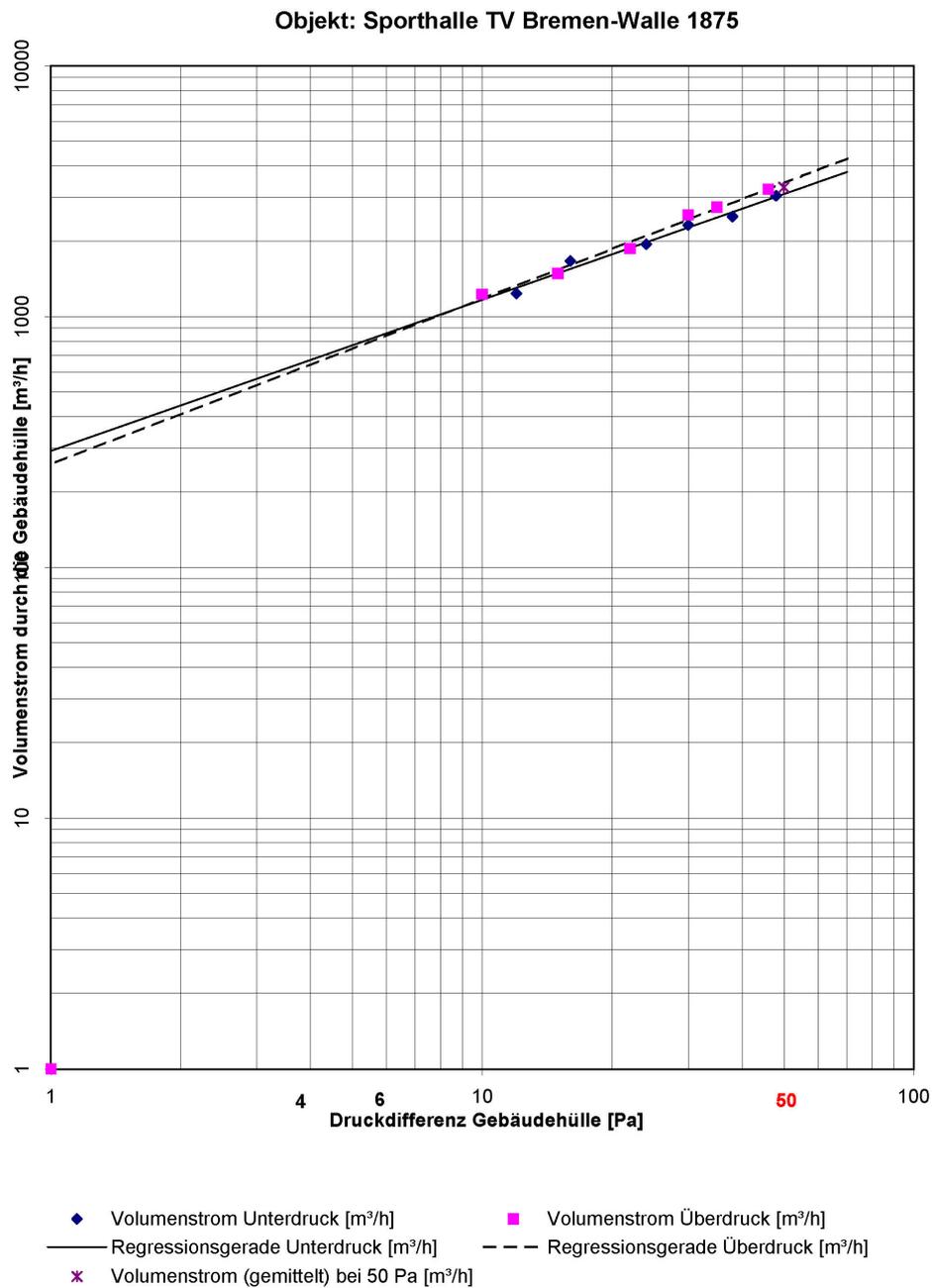
Prof. Dipl.-Ing. W. Zapke

FH Hannover

30459 Hannover

Bearbeiter/in : BE/ZA

Tel : 0 511- 9296-1401



C.2 Wärmebrückenberechnung

siehe CD:\Anhang_C.2

C.3 Dokumentation des Baufortschritts (Fotos)

siehe CD:\Anhang_C.3

Anhang D: Verbrauchsdaten

D.1 Das PC-gestützte Messsystem in der Evaluationsphase

Das Messsystem zur detaillierten Verbrauchsdatenerfassung und Überwachung des thermischen Verhaltens der Halle besteht in der Evaluierungsphase aus folgenden Komponenten:

PC: Es steht ein PC mit unterbrechungsfreier Stromversorgung (USV) und DSL-Netzwerkanschluss zur Verfügung.

Software: Die Messdatenerfassungssoftware LabView wird weiterhin in der Version 7.1 genutzt, um die Kompatibilität mit dem bisherigen Messprogramm zu gewährleisten. Das in LabView implementierte Messprogramm wurde, wie in Kap. 6.1.2 beschrieben, modifiziert.

PC-Karte: Die bisherige Datenerfassungskarte PCI-DAQ 6014 (National Instruments) wird auch für die neue Messphase weiter verwendet.

Anschlussbox: Für den Anschluss der Temperatursensoren und der Zähler und Stützeingänge wird eine Einheit benötigt, die die entsprechenden Anschlussklemmen bereitstellt und die Signale für die PC-Karte aufbereitet. Eingesetzt wird die Box NI-CA 1000 mit Anschlusseinheit SC-2042 RTD. Da der Umfang der Datenerfassung im Wesentlichen unverändert bleibt, waren bis auf die Reparatur eines Timer-Bausteins keine Änderungen an dieser Einheit erforderlich (Abbildung 6.1).

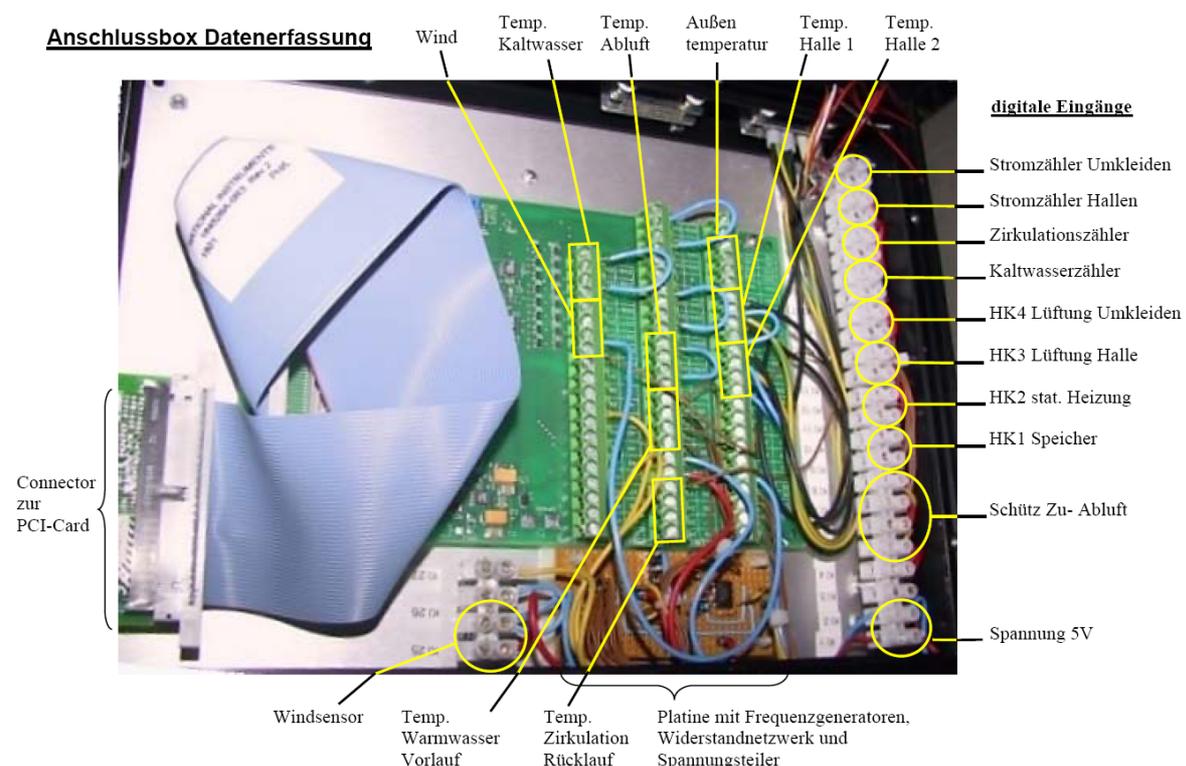


Abbildung D.1: Anschlussbox zum Anschluss der Sensorik an das PC-Messsystem

D.2 Anpassung des Messprogramms

Die Funktionalität blieb dabei aber im Wesentlichen unverändert. Abbildung 6.3 zeigt ein Flussdiagramm des Messprogramms in der neuen Version.

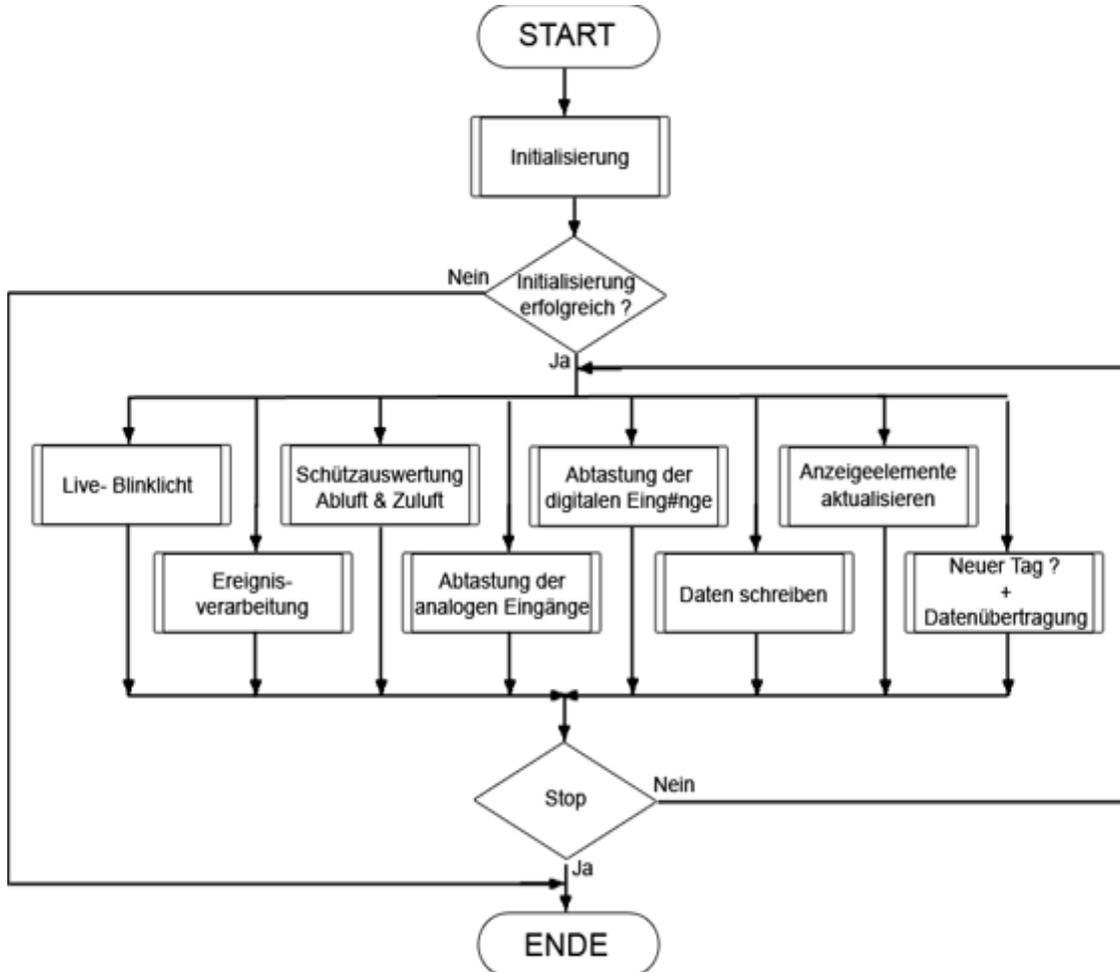


Abbildung D.2: Flussdiagramm des LabView-Messprogramms

D.3 Monatswerte des Heizenergieverbrauchs 2005

Der Jahrgang des Verbrauchs in den drei Heizkreisen im Alt-Zustand zeigt den hohen Verbrauch der Hallenbeheizung in den Wintermonaten. Allein der Verbrauch im Januar 2005 erreicht fast die Höhe des gesamten Jahresverbrauchs 2009, nach der Sanierung. Auch in den Sommermonaten ist – im gegensatz zur sanierten Halle - die Heizung in Betrieb. In der Übergangszeit, April/Mai und September bis November, fällt ein erheblicher Teil des Verbrauchs dieses Jahres an

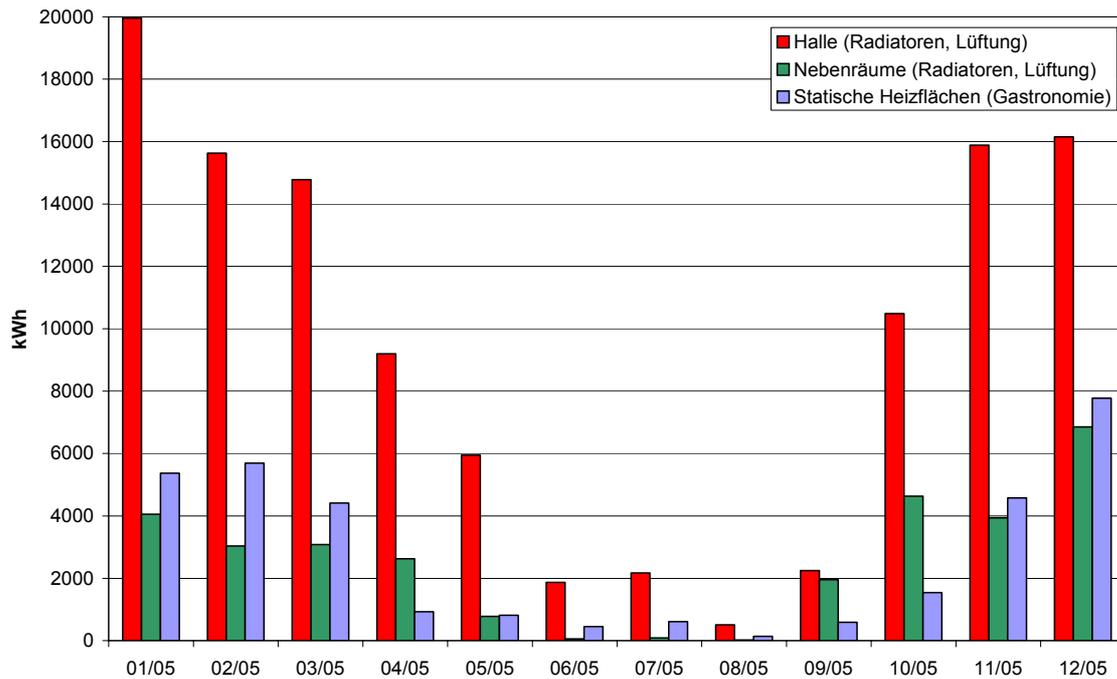


Abbildung D.3: Monatswerte des Heizenergieverbrauchs in der Halle, den Nebenräumen und in der Gastronomie im Jahr 2005 (Alt-Zustand, witterungsbereinigt)

D.4 Absenkung der Brauchwasser-Vorlauftemperatur

Zur Reduktion der Zirkulationsverluste wurde im Mai 2009 die Vorlauftemperatur des Brauchwassers von 60 °C auf 50 °C abgesenkt. Im Verlauf der Vor- und Rücklaufemperaturen des entsprechenden Zeitraums spiegelt sich diese Umstellung wider.

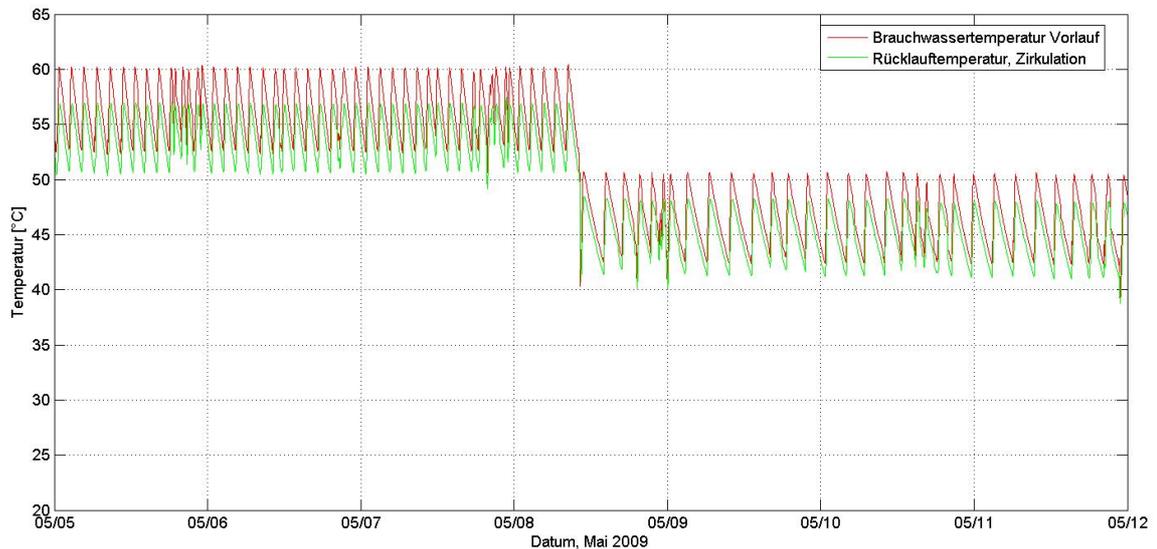


Abbildung D.4: Absenkung der Brauchwasser-Vorlauftemperatur im Mai 2009

Nach der Umstellung stellt sich eine niedrigere Differenztemperatur zwischen Vor- und Rücklauf ein, also ein geringerer Temperaturabfall auf der Zirkulationsleitung. Die Zeitintervalle, nach denen der Brauchwasserspeicher nachgeheizt werden muss, sind nach der Umstellung deutlich länger. Dies zeigt die Wirksamkeit dieser Maßnahme.

Anhang E: Thermisches Verhalten

E.1 Ergebnis der thermischen Gebäudesimulation für Frostperioden

Im Projekt "MeTuSa-lem" wurde ein thermisches Simulationsmodell der Halle entwickelt und für den simulationsbasierten Vergleich der Sanierungsvarianten eine Messreihe ab dem 1. März 2005 ausgewählt, in dem die Außentemperatur über mehrere Tage unter 0 °C blieb und bis -12 °C sank. Abbildung E.1 zeigt die Gegenüberstellung der mit diesem Außentemperaturverlauf simulierten Hallentemperaturen für die Niedrigenergiehaus- und die Passivhaus-Variante im Vergleich zu den im gleichen Zeitraum in der Halle im Alt-Zustand gemessenen Temperaturen. In der Simulation ist für beide Sanierungsvarianten eine gleichmäßige Heizung mittels Deckenstrahlplatten zwischen 7:00 Uhr und 23:00 Uhr mit einer Heizleistung von 20 kW angenommen. Außerdem ist ein Luftwechsel von 1000 m³/h – ohne Vorwärmung der Zuluft – eingerechnet. Die Simulation zeigt deutliche Vorteile der Passivhausvariante (gekennzeichnet u. a. durch 30 cm WDVS) gegenüber der Sanierung nach Niedrigenergiehaus-Standard (16 cm WDVS).

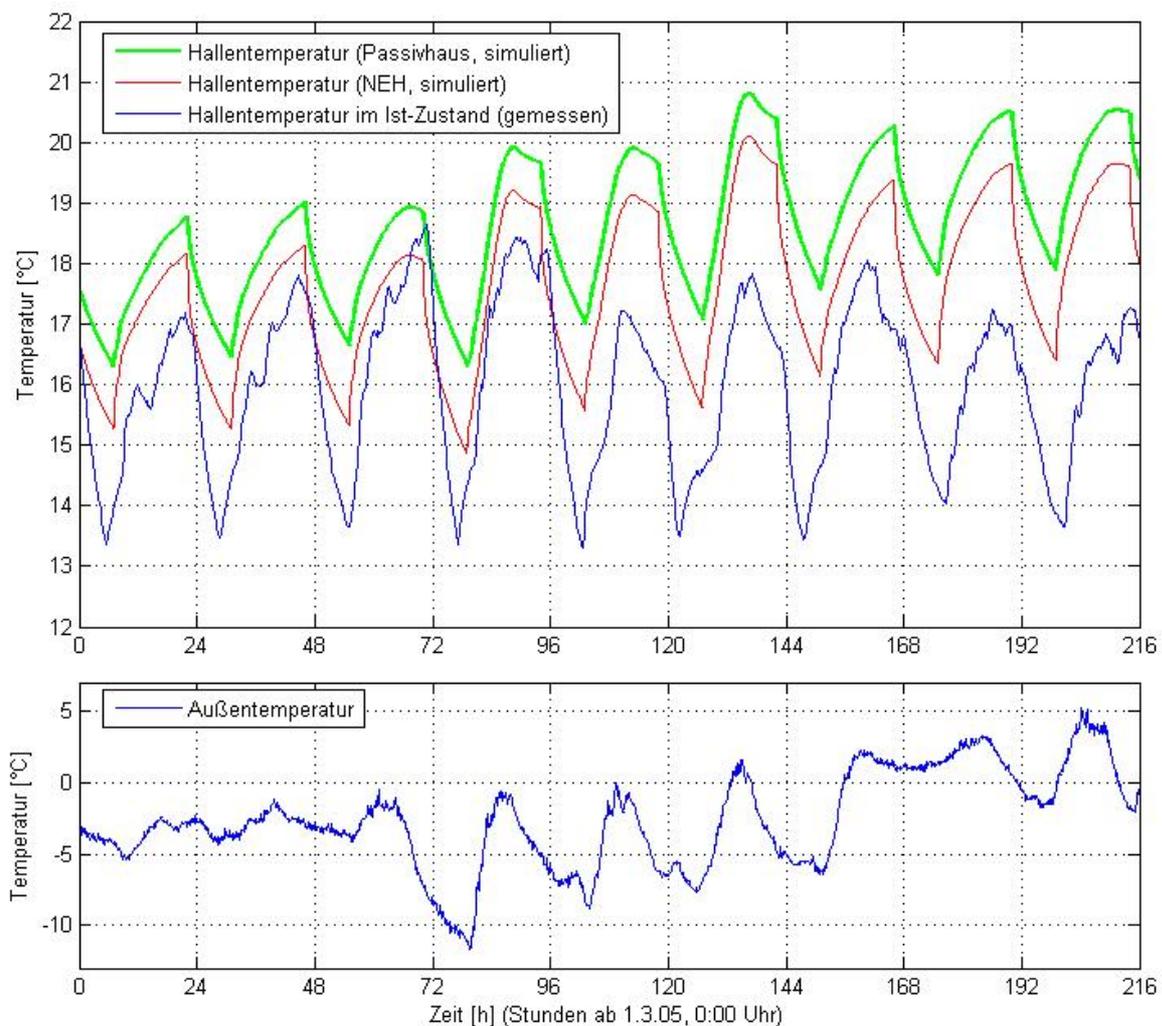


Abbildung E.1: Thermische Gebäudesimulation – Hallentemperaturen bei Dämmung nach Niedrigenergie- und Passivhaus-Standard sowie gemessene Temperatur im Alt-Zustand

E.2 Messreihen der Erdreichtemperatur, "Wärmesee"-Untersuchung

Die folgenden Abbildungen geben eine Übersicht über die seit März 2006 aufgenommenen Messreihen der Erdreichtemperaturmessungen.

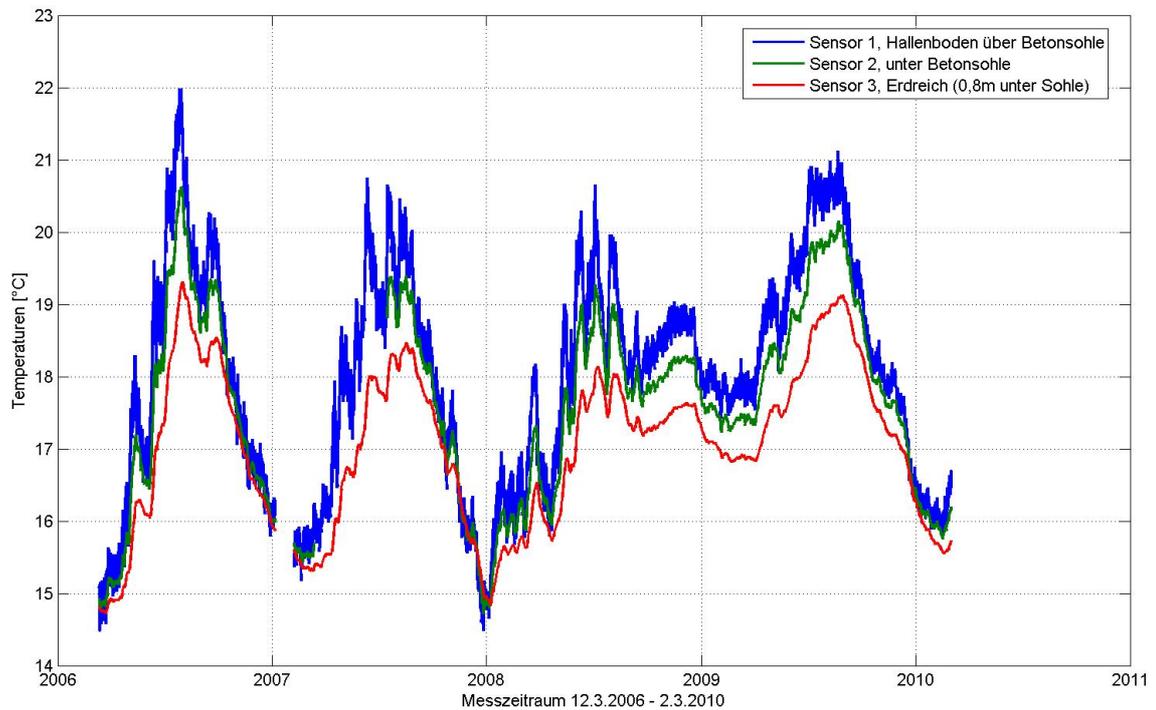


Abbildung E.2: Messreihen der Erdreichtemperatur unter dem Hallenboden

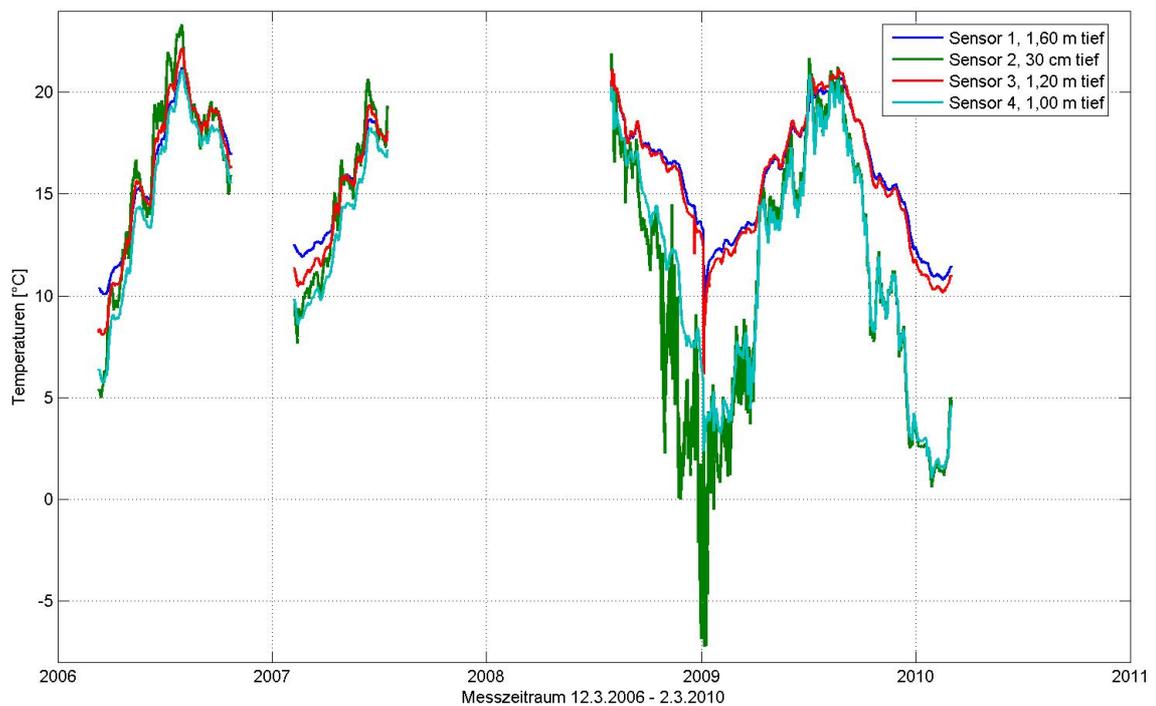


Abbildung E.3: Messreihen der Erdreichtemperatur in der Anschüttung an der Nordseite

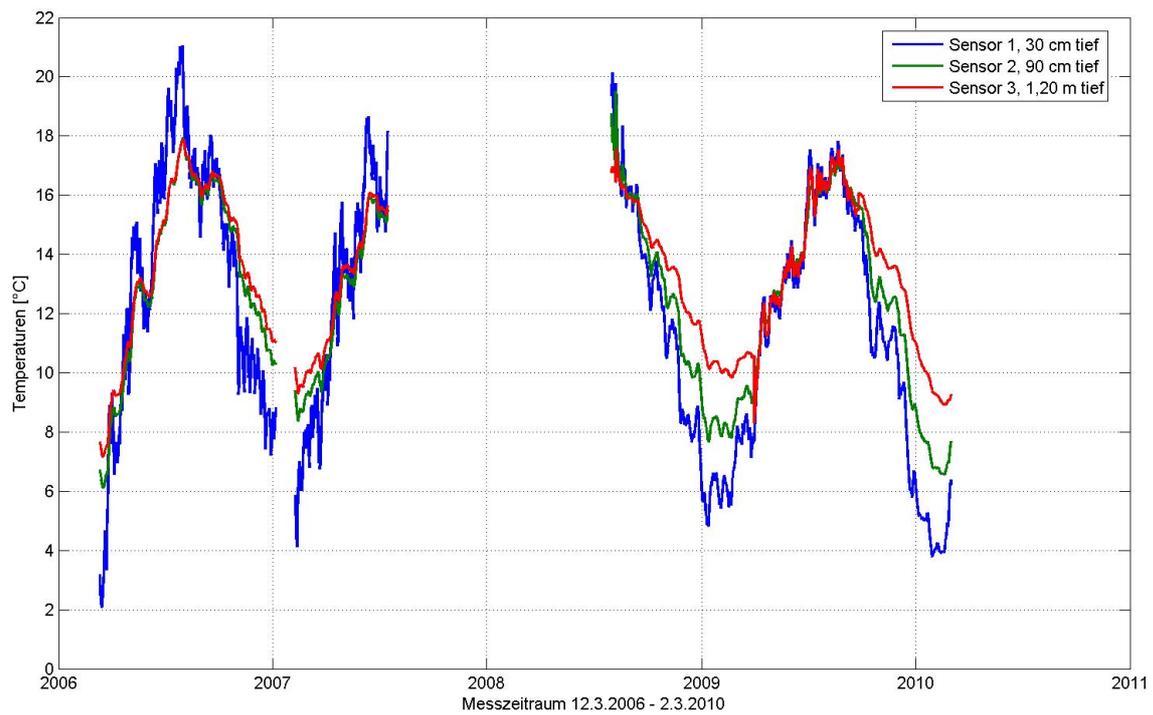


Abbildung E.4: Messreihen der Erdreichtemperatur am Streifenfundament der Westwand

E.3 Messreihen der Erdreichtemperatur am Streifenfundament

An der Westseite konnten im Zuge des Umbaus die Sensoren im Bereich des Streifenfundaments nicht genau so positioniert werden wie in der ersten Messphase. Im direkten Vergleich erkennt man dies an den veränderten relativen Abständen zwischen den Temperaturniveaus der drei Sensoren.

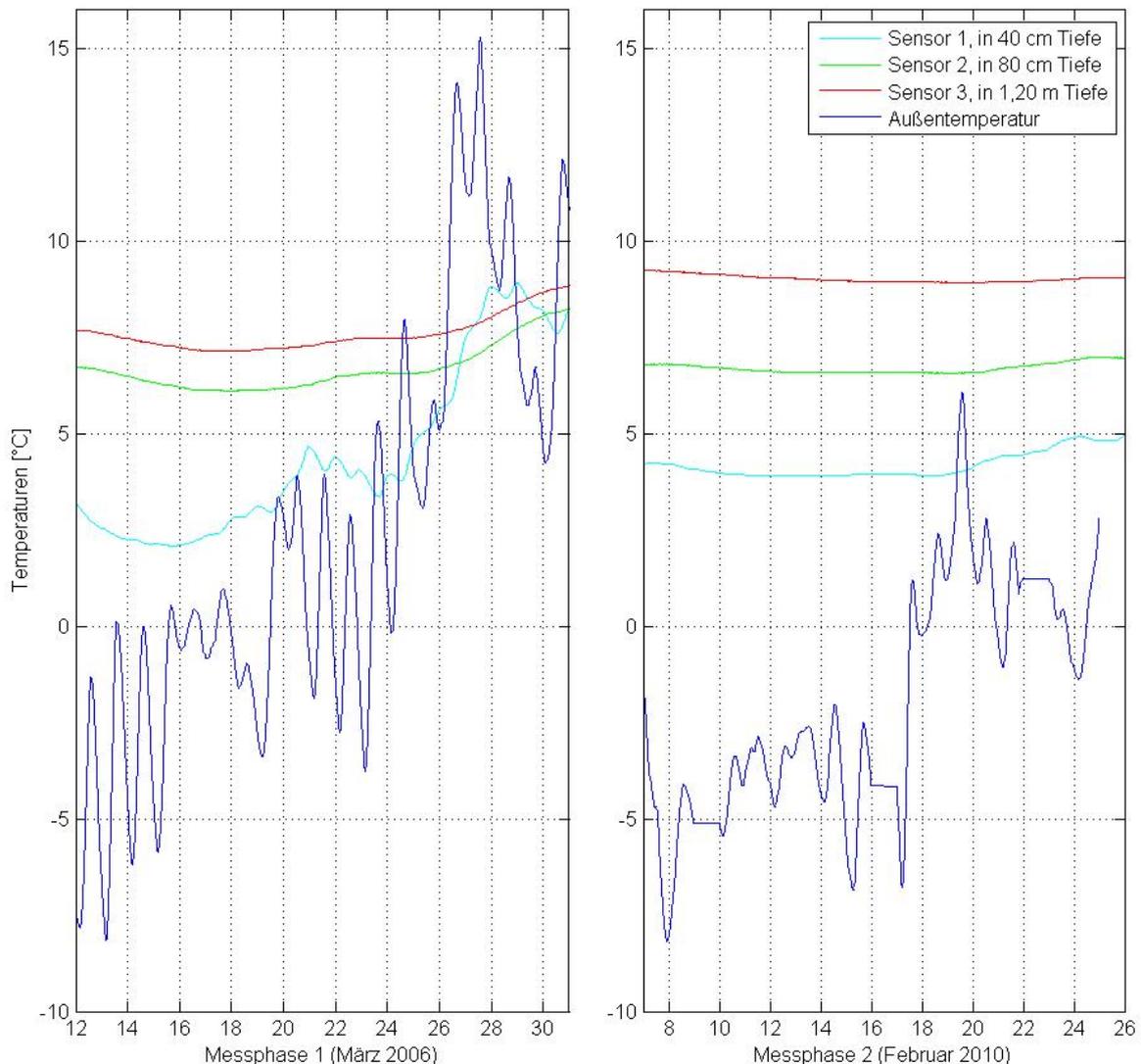


Abbildung E.5: Temperaturprofil am Streifenfundament (Giebelseite, Westwand) in Frostperioden im März 2006 und Februar 2010

Die Sensoren befinden sich in der zweiten Messphase nicht in 30, 60 und 120cm Tiefe sondern bei 40, 80 und 120 cm Tiefe. Unter dem Fundament (120 cm Tiefe) stellt sich nach Anbringen der Perimeterdämmung ein etwas höheres Temperaturniveau ein, das aus der höheren Temperatur des Wärmesees nach dem Umbau resultiert.

Anhang F: Öffentlichkeitsarbeit

F.1 Übersicht der Vorträge

Harald Klein

„Projektübersicht und bauliche Maßnahmen“ im Rahmen der Wiedereröffnung der Halle am 21.08.2009 in der Halle des TV Bremen-Walle 1875 e.V. in Bremen

„Projektübersicht und bauliche Maßnahmen“ im Rahmen des Seminars „Wärmesee und natürliche Lüftung“ der Bremer Energiekonsens am 13.04.2010 in der Halle des TV Bremen-Walle 1875 e.V. in Bremen

„Sanierung der Sporthalle des TV Bremen-Walle 1875 e.V.“, Vortrag im Rahmen des Seminars „Perspektiven der Passivhausbauweise“ des Bundesverbands für Wohnen und Stadtentwicklung e.V. am 03.06.2010 im Kongresszentrum Hannover; Seite 41 – 95 in der Seminarmappe.

Manfred Mevenkamp

"Simulationsstudien für eine energieoptimierte Turnhallen-Sanierung", ASIM Fachgruppe STS – Simulation technischer Systeme, Bremen, 26.-27.2.2007

"Simulationsstudien für eine energieoptimierte Turnhallen-Sanierung", ASIM 2006 - 19. Symposium Simulationstechnik, In: Frontiers in Simulation, SCS Publishing House, Erlangen, 09/2006, S. 201-206.

„Wissenschaftliche Begleitung, Messtechnik und Gebäudesimulation“ im Rahmen der Wiedereröffnung der Halle am 21.08.2009 in der Halle des TV Bremen-Walle 1875 e.V. in Bremen

„Wissenschaftliche Begleitung, Messtechnik und Gebäudesimulation“ im Rahmen des Seminars „Wärmesee und natürliche Lüftung“ der Bremer Energiekonsens am 13.04.2010 in der Halle des TV Bremen-Walle 1875 e.V. in Bremen

W.-H. Walter

„Vorstellung des Vereins und MeTuSa-lem“ im Rahmen der Wiedereröffnung der Halle am 21.08.2009 in der Halle des TV Bremen-Walle 1875 e.V. in Bremen

„Vorstellung des Vereins und MeTuSa-lem“ im Rahmen des Seminars „Wärmesee und natürliche Lüftung“ der Bremer Energiekonsens am 13.04.2010 in der Halle des TV Bremen-Walle 1875 e.V. in Bremen

Wilfried Zapke

„Der Wärmesee und wissenschaftliche Qualitätssicherung“ im Rahmen der Wiedereröffnung der Halle am 21.08.2009 in der Halle des TV Bremen-Walle 1875 e.V. in Bremen

„Der Wärmesee und wissenschaftliche Qualitätssicherung“ im Rahmen des Seminars „Wärmesee und natürliche Lüftung“ der Bremer Energiekonsens am 13.04.2010 in der Halle des TV Bremen-Walle 1875 e.V. in Bremen

„Energetische Sanierung einer Sporthalle – Erfahrungen aus einem Modellprojekt“, Vortrag zum Bauphysik-Kalender-Tag 2010, Energetische Sanierung von Gebäuden, Hannover, 28.05. 2010

F.2 Vortragsunterlagen

siehe CD:\Anhang_F.2

F.3 Pressespiegel

siehe CD:\Anhang_F.3

Anhang G: Weitere Dokumente

- Abschlussbericht MeTuSa-Iem
- Beitrag "Simulationsstudien ...", ASIM 2007, Mevenkamp

siehe CD:\Anhang_G