



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Erarbeitung und Realisierung eines modellhaften Sanierungskonzeptes für eine Schule (MOSES). Abschlussbericht.

Kienzlen, Volker ; Erhorn, Hans; de Boer, Jan; Hellwig, Runa Tabea; Biegert, Bernhard; Bacher, Christoph ; Haller, Raphael

Creative Commons License
Unspecified

Publication date:
2000

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Kienzlen, V., Erhorn, H., de Boer, J., Hellwig, R. T., Biegert, B., Bacher, C., & Haller, R. (2000). *Erarbeitung und Realisierung eines modellhaften Sanierungskonzeptes für eine Schule (MOSES). Abschlussbericht.*
https://enob.pse.de/media/project_0000067/documents/03_MonitoringAB1_p2_MOSES_k.pdf

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Modellhafte Sanierung einer Schule

MOSES

Abschlussbericht



**Erarbeitung und Realisierung eines modellhaften
Sanierungskonzeptes für eine Schule**

MOSES

Abschlußbericht

**Volker Kienzlen
Hans Erhorn
Runa Hellwig
Jan de Boer
Gunther Claus
Bernhard Biegert
Christoph Bacher
Raphael Haller**

Das Vorhaben wird gefördert vom
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
und diversen Industriepartnern
(Förderkennzeichen: 0328622C)

Der Bericht umfasst:
133 Seiten Text mit
45 Tabellen und
82 Bildern

Projektförderung:

Bund: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

Industrie: Bosch-Junkers
Buderus Heiztechnik
Capatect
Grünzweig und Hartmann und Glasfaser AG
Honeywell Centra
Industrieverband Hartschaum
Jung
Kermi
Trilux
Weishaupt
Wilo

Projektdurchführung:

Wissensch.
Projektleitung: Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz

Forschungs-
institute: Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik

Bauherr: Landeshauptstadt Stuttgart, Hochbauamt

Architekt: Rainfried Rudolf, Dieter Häcker

Administrative
Begleitung: Projektträger Biologie, Ökologie, Energie im Forschungszentrum
Jülich

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
2. Vorgehensweise	7
2.1. Definition des Sanierungszieles	7
2.2. Bestandsaufnahme	8
2.3. Analyse	9
2.4. Konzeptfindung	9
2.5. Umsetzung	15
2.6. Betriebsoptimierung	15
3. Durchführung der Sanierungsschritte am Beispiel der GHS Plieningen	16
3.1. Sanierungsziele	16
3.2. Bestandsaufnahme	16
3.2.1. Wärmeschutz	17
3.2.2. künstliche Beleuchtung	34
3.2.3. messtechnische Untersuchungen	35
3.2.4. Heizungsanlage	36
3.3. Analyse	40
3.3.1. Gebäudehülle	40
3.3.2. Heizungsanlage	42
3.4. Konzeptfindung	44
3.4.1. Wärmeschutz	44
3.4.2. Detailplanung Wärmeschutz	71
3.4.3. Heizungsanlage	73
3.5. Umsetzung	82
3.5.1. baulicher Wärmeschutz	82
3.5.2. Beleuchtung	84
3.5.3. Heizflächen	85
3.5.4. Wärmeerzeugung und –verteilung	87
3.5.5. Regeltechnik	90
3.6. Kosten	96
3.6.1. Gebäudehülle	97
3.6.2. Beleuchtung	100
3.6.3. Heizungsanlage	102
4. Messphase und Auswertung	103
4.1 Gebäudehülle	103
4.2. Bewertung der Energiebilanzen und Temperaturlaufzeichnungen	107
4.3. Heizungsanlage	118
4.4. Stromverbrauch	120
4.5. Betriebsoptimierung	124
4.5.1. Betriebsoptimierung durch Messwertanalyse	124
4.5.2. Betriebsoptimierung mit kalibriertem Simulationsmodell	135
4.5.3. Notwendige Maßnahmen zur Betriebsoptimierung der Heizungsanlage	135
5. Wesentliche Erkenntnisse	136
6. Zusammenfassung	138
7. Literatur	139
8. Anhang	142

1. Einleitung

1982 betrug der Anteil der Schulen am Wärmeverbrauch der öffentlichen Gebäude ca. 50 % [1]. Da Schulen demnach wesentlich am Heizenergieverbrauch kommunaler Gebäude beteiligt sind, kommt ihnen bei kommunalen Energiesparbemühungen eine besondere Bedeutung zu. In einigen Kommunen wie auch in Stuttgart gibt es seit vielen Jahren ein erfolgreiches Energiemanagement [2]. Die Energieverbräuche der wichtigsten Liegenschaften werden regelmäßig überwacht um so Defekte oder Fehler des Betreibers so früh wie möglich Erkennen zu können. Weiterhin werden mit Hilfe der Verbrauchsentwicklung organisatorische und betriebliche Verbesserungsmaßnahmen entwickelt. Das Energieeinsparpotential solcher Maßnahmen, verbunden mit der Förderung eines energiebewussten Nutzerverhaltens liegt bei ca. 10% bis 30% [3]. Darüber hinausgehende Einsparungen lassen sich nur durch eine Sanierung der Gebäudehülle und der Heizanlage verwirklichen.

Ziel der Kommunen ist es, die Betriebskosten der öffentlichen Gebäude zu senken. Außerdem haben Sie auch eine Vorbildfunktion im umweltfreundlichen und sparsamen Umgang mit Energie und Wasser.

Das hier vorgestellte Vorhaben MOSES soll aufzeigen, wie eine energiegerechte Sanierung von Schulgebäuden älterer Bauart erfolgen soll. Das Kennzeichen vieler alter Schulen ist, daß sie aus mehreren Gebäuden bestehen, die in verschiedenen architektonischen Perioden errichtet wurden. Jeder dieser Erstellungszeiträume besitzt spezielle bauphysikalische und anlagentechnische Problemstellungen, die im Zuge einer energetischen Sanierung berücksichtigt werden müssen.

Ziel des Vorhabens ist es, anhand eines typischen Schulgebäudes eine stark systematisierte, auf andere Schulen übertragbare Vorgehensweise bei der Erstellung von Sanierungskonzepten zu erarbeiten. Daher wird zunächst die grundsätzliche Vorgehensweise bei Sanierungen beschrieben. Der Sanierungsablauf gliedert sich dabei in die Hauptphasen Bestandsaufnahme, Analyse, Konzeptfindung, Detailplanung und Umsetzung (Ausführung). Diese Vorgehensweise wird dann am Beispiel eines konkreten Sanierungsvorhabens angewandt. Das für das Vorhaben ausgewählte Objekt, die Grund- und Hauptschule in Stuttgart-Plieningen, bot unter diesem Gesichtspunkt ideale Voraussetzungen. Die drei Gebäude der Schule wurden in verschiedenen Jahren erstellt. Ein weiteres Entscheidungskriterium für die Auswahl dieser Schule war der hohe spezifische Energieverbrauch von ca. 200 bis 220 kWh/m²a bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche und der Handlungsbedarf bei der Bauunterhaltung.

Das erste Gebäude entstand in den 30er Jahren und umfaßt eine Turn- und Versammlungshalle sowie Klassenräume. In den 50er Jahren wurde dieses Gebäude um einen Anbau mit Klassenräumen erweitert. Ein drittes Gebäude entstand in den 70er Jahren. Durch die zeitgleiche, integrierte Planung und anschließende Durchführung der Sanierung von haustechnischen Anlagen und Gebäudehülle sollen Synergieeffekte genutzt werden, um ein optimiertes Sanierungsergebnis in Bezug auf Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit zu erzielen. Den Sanierungsarbeiten folgte eine zweijährige Messphase zur Verifizierung der prognostizierten Bedarfwerte für Beheizung und künstliche Beleuchtung der Nutzräume der Gebäude. Abschließend werden Schlußfolgerungen aus dem Ablauf des Projektes gezogen.

Unter Leitung des Amtes für Umweltschutz der Stadt Stuttgart erarbeiteten das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) und der Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik des Instituts für Kernenergie und Energiesysteme (IKE-LHR) der Universität Stuttgart ein energetisches Gesamtkonzept für die Sanierung und begleiteten auch die Umsetzungsphase. Dabei wurden die baulichen und bauphysikalischen Aspekte vom IBP und die anlagentechnischen Aspekte vom IKE betreut [4],[5]. Am Projekt beteiligt sind das städtische Hochbauamt, Architekt, Fachplaner und industrielle Projektpartner. Die industriellen Projektpartner unterstützten das Projekt finanziell und mit Sachmitteln. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie fördert die Forschungsarbeiten (Förderkennzeichen: 0328622C).

1. Vorgehensweise

2.1. Definition des Sanierungszieles

Vor den ersten planerischen Aktivitäten muß zunächst das Ziel definiert werden, das mit der Sanierung verfolgt wird. Neben den üblichen Bauaufgaben wie Erneuerung von Bauteilen sind auch gesetzliche oder sicherheitstechnische Forderungen zu erfüllen. Vor der Sanierung sollen Energiekennwerte festgelegt werden, die mit der Sanierung erreicht werden sollen. Zur Bewertung des Energieverbrauches von Gebäuden dienen Heizenergie- und Stromkennwert [6]. In der VDI 3807, Blatt 2 [7] sind als Vergleichsbasis Mittel- und Richtwerte für Energiekennzahlen einzelner Gebäudegruppen angegeben. Anhand dieser Vergleichsdaten kann über die gemessenen, aktuellen Energieverbrauchskennwerte des zu sanierenden Objekts eine grobe Einstufung vorgenommen werden. Tabelle 1 zeigt Verbrauchskennwerte für Heizenergie und Strom für unterschiedliche Schulgebäudetypen.

Tabelle 1: Verbrauchskennwerte für Heizenergie und Strom

Gebäudebezeichnung	Heizenergieverbrauchs-kennwert in kWh/m ² a		Stromverbrauchskennwert in kWh/m ² a	
	Richtwert	Mittelwert	Richtwert	Mittelwert
Grundschule	70	140	4	9
Grundschule/ Haupt-schule	75	110	3	7
Gymnasium	65	80	6	9
Berufsschule	30	90	keine Werte verfügbar	keine Werte verfügbar
Fortbildungs- und Wei-terbildungsstätten	96	312	11	11

Die künftige Nutzung und Funktion des Gebäudes und der Heizungsanlage muß vorab definiert werden. Eine solche Vorgehensweise wird für die Heiztechnik durch die Wertanalyse [8] vorgegeben, die im Kapitel Konzeptfindung ausführlich vorgestellt wird. Neben den Grundanforderungen lassen sich dabei sogenannte Festforderungen, Grenzforderungen und Wünsche unterscheiden. Die Grundanforderungen an eine Heizungsanlage beinhalten Eigenschaften der Anlage wie Festigkeit oder Dichtigkeit. Festforderungen einer Heizanlage erwachsen aus gesetzlichen oder sicherheitstechnischen Vorgaben (zum Beispiel "Heizlast decken" oder "Sicherheit gewährleisten"). Grenzforderungen entstehen, wenn bestimmte Anlagenkennzahlen über- oder unterschritten werden sollen (z. B. "Herstellkosten begrenzen"). Wünsche sind frei formulierbar; sie können auch Grenzforderungen beinhalten.

2.2 Bestandsaufnahme

Zur Erarbeitung eines Sanierungskonzeptes ist die detaillierte Kenntnis des Ausgangszustandes notwendig. Dabei können Unterlagen wie Pläne aus der Entstehungszeit der Gebäude und Revisionspläne früherer Sanierungsmaßnahmen hilfreich sein. Falls noch Baubeschreibungen aus der Erstellungsphase der Gebäude vorliegen, sollten diese unbedingt gesichtet werden, da sie Angaben über den Aufbau der Bauteile und die Kennwerte der verwendeten Materialien enthalten. Eine Ortsbegehung durch den Bearbeiter dient zur Überprüfung der vorliegenden Pläne und anderen Unterlagen. Häufig sind zwischenzeitlich bauliche Veränderungen und einzelne, den Wärmeschutz oder die Anlagentechnik verbessernde Maßnahmen durchgeführt worden. Diese müssen bei der Erarbeitung des Konzepts berücksichtigt werden. Die Ortsbegehung gibt auch Aufschluß über den Zustand von Gebäude und Anlagentechnik. Mögliche Bauschäden können erkannt und daraus die in den nächsten Jahren anstehenden Sanierungsmaßnahmen abgeleitet werden. Wird festgestellt, daß Gebäudeteile oder Teile der Heizungsanlage abgängig oder beschädigt sind, beeinflußt dies maßgeblich das Konzept, aber auch die Wirtschaftlichkeit künftiger Maßnahmen.

Als Kennwerte der Anlagenbestandteile sind jeweils Typ, Alter, Kenndaten (z.B. Leistung) und Zustand optisch und funktional zu erfassen. Zudem ist das Anlagenkonzept und vor allem die Betriebsweise zu analysieren und zu dokumentieren. Bei einer Anlagensanierung ist in einem nächsten Schritt zu überprüfen, ob das vorhandene Rohrleitungsnetz die Anforderungen erfüllt und daher weiter verwendet werden kann oder zumindest teilweise erneuert werden soll.

In Schulen versorgen die Heizungsanlagen oft neben den Klassen- und Funktionsräumen auch Hausmeisterwohnung und Rektorat mit. Die Aufteilung der Heizgruppen ist daher festzuhalten, da eine veränderte Aufteilung eventuell erhebliche Einsparpotentiale birgt.

Zur Vorbereitung der Ausführungsplanung sollten mögliche kritische Detailpunkte wie Bauteilanschlüsse oder Anlagenhydraulik bereits bei der Bestandsaufnahme in ihrem unsanierten Zustand erfaßt werden.

2.3. Analyse

Nun wird eine Energiebilanz für das zu sanierende Objekt erstellt. Dafür können verschiedene Verfahren angewandt werden, wobei das Rechenverfahren der Wärmeschutzverordnung [9] aufgrund seiner einfachen Anwendbarkeit geeignet ist, die Effizienz einzelner Maßnahmen schnell bei ausreichender Genauigkeit abzuschätzen. Es ist sinnvoll, vor der Bewertung verschiedener einzelner Sanierungsmaßnahmen das Einsparpotential der wärmetauschenden Gebäudehüllteile wie Außenwand, Fenster, Dach und oberste Geschosdecke zu ermitteln. Dazu können für eine erste Abschätzung die in der Wärmeschutzverordnung in der Anlage 3 vorgeschriebenen Mindestwärmedurchgangskoeffizienten eingesetzt werden. Aus der Differenz zum Heizwärmebedarf im Ausgangszustand ergeben sich dann die Einsparpotentiale der einzelnen Bauteile und damit die Schwerpunkte für die Sanierungsmaßnahmen.

Durch die Analyse der Anlage wird die Energiebilanz für das Objekt vervollständigt. Dazu werden aus den ermittelten Kenndaten (Baujahr, Typ etc.) der Anlagenbauteile die entsprechenden Bewertungsgrößen berechnet oder zumindest abgeschätzt. Dies können z.B. Wärmeverluste (Rohrleitungen) oder Wirkungs- bzw. Nutzungsgrade (Kessel) sein. Abgeschätzt wird auch die zu erwartende Restlebensdauer der einzelnen Komponenten. Zur Analyse der Anlagen-Betriebsweise wird als Werkzeug zweckmässigerweise die Gebäude- und Anlagensimulation eingesetzt.

2.4. Konzeptfindung

In der Phase der Konzeptfindung soll versucht werden, scheinbar feststehende Überzeugungen und Erfahrungswerte zu hinterfragen. Neue Lösungen stehen dann auf einer objektiven Basis. Die Konzeptfindungsphase lässt sich dabei untergliedern in die Erarbeitung geeigneter Konzeptvorschläge, deren Bewertung und letztlich in die Entscheidungsphase. Der schematische Ablauf einer Sanierung ist in Bild 1 dargestellt.

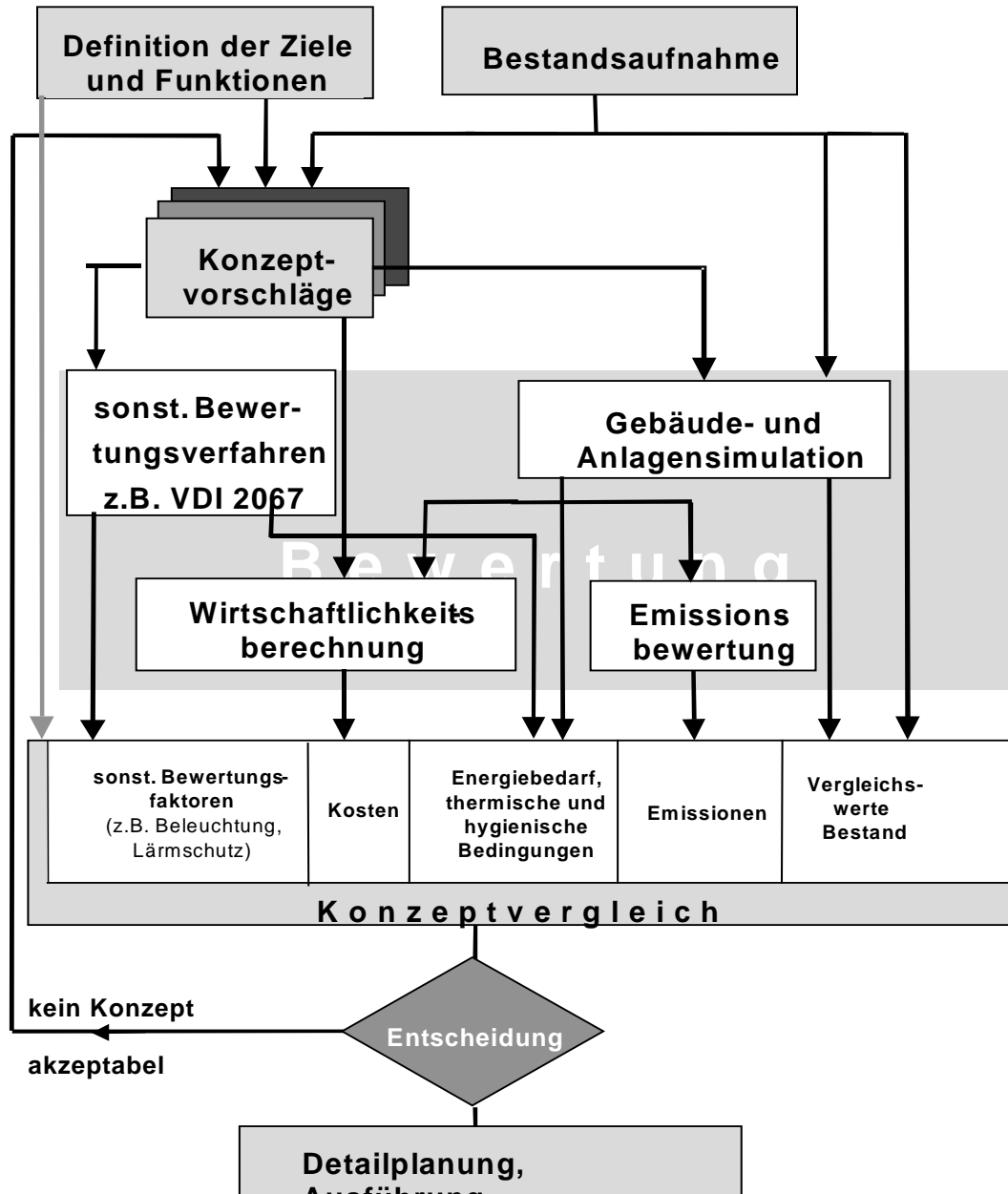


Bild 1: Schematische Darstellung des Ablaufs einer Sanierung

Für die Gebäudehülle werden als Konzeptvorschläge Dämm-Maßnahmen für alle Außenbauteile erarbeitet. Die potentiellen Heizwärmeeinsparungen jeder Maßnahme werden den zugehörigen Investitionskosten gegenübergestellt. Die je Bauteil günstigste Maßnahmenabfolge wird dann zur weiteren Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ausgewählt. Um darzustellen, welche Maßnahmenkette bei einer verfügbaren Investitionssumme am sinnvollsten ist und in welcher Reihenfolge in die Maßnahmen investiert werden sollte, können weder die Bauteile noch Gebäudehülle und Anlagentechnik getrennt voneinander betrachtet werden. Die Sanierungsvarianten werden nach aufsteigendem Quotienten aus Investitionskosten und eingesparter Heizwärme aneinandergereiht. Daraus ergibt sich eine Kostenpotentialkurve, die angibt, bei welcher Investitionssumme welche Einsparungen maximal zu erwarten sind. Die Kostenpotentialkurve wird der statischen Amortisationsgeraden gegenübergestellt. Alle

Punkte auf der Kostenpotentialkurve, die unterhalb der Geraden liegen, sind bei statischer Betrachtung wirtschaftlich. Ein Beispiel für solch eine Kostenpotentialkurve ist in Bild 2 dargestellt.

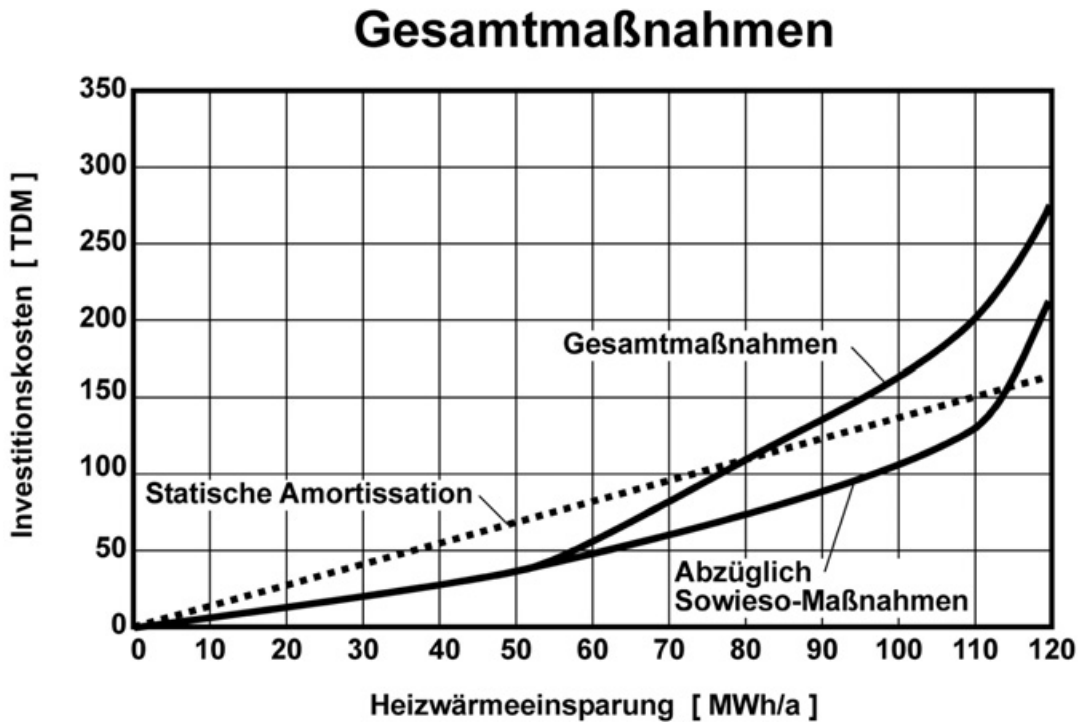


Bild 2: Gegenüberstellung von erreichbarer Heizwärmeeinsparung und den dafür erforderlichen Investitionen

Die Investitionskosten der Maßnahmen werden unter Berücksichtigung zweier Aspekte ermittelt:

1. Wenn aufgrund des baulichen Zustandes von Gebäudeteilen Sanierungsmaßnahmen wie Ausbessern oder Erneuern des Putzes oder ein Auswechseln der Fenster "sowieso" hätten erfolgen müssen, so können diese Kosten nicht der energetischen Sanierung angerechnet werden. In diesem Falle sind die Kosten für das Stellen eines Gerüsts, das Aufbringen des Putzes oder die Kosten für Fenster, welche die Mindestanforderung der Wärmeschutzverordnung erfüllen, von den gesamten Investitionskosten als sogenannte "Sowieso-Kosten" der betrachteten Maßnahme abzuziehen.
2. Soll die Heizungsanlage gleichzeitig mit der baulichen Sanierung erneuert werden, so ist zu berücksichtigen, daß bei erhöhter Dämmung ein Wärmeerzeuger geringerer Leistung und reduzierte Investitionen für Heizflächen und Verrohrung benötigt werden. Die verringerten Investitionen werden der Wärmedämmung gutgeschrieben.

Durch die Berücksichtigung dieser Aspekte kann die Kostenpotentialkurve flacher werden. Eine größere Anzahl von Maßnahmen wird also wirtschaftlich. Bei dieser statischen Art der Betrachtung werden zukünftige Kosten für Instandhaltung, Preisentwicklung und Kapitalver-

zinsung nicht berücksichtigt. Deshalb sollte ergänzend eine dynamische Bewertung der Sanierungsvarianten z.B. mit der Barwert-Methode oder der Annuitätenmethode erfolgen. Entscheidend für das Ergebnis der dynamischen Berechnung ist dabei die Wahl der Randbedingungen.

Bei der Konzeptentwicklung darf die Erarbeitung von Detailanschlüssen nicht vernachlässigt werden. Daher sind die bereits in der Bestandsaufnahme erkannten problematischen Bauteilanschlüsse zeichnerisch zu erfassen und an das gewählte Dämmkonzept anzupassen. Die hierfür entstehenden Kosten sind abzuschätzen.

Zur Ableitung geeigneter anlagentechnischer Konzeptvorschläge werden **Randbedingungen** und **Anforderungen** herangezogen. Randbedingungen bestehen im wesentlichen aus gebäudebezogenen Daten, d.h. bauphysikalische Kennwerte oder Informationen zur Raumgestaltung (Entwurf, Grundriss). Weiterhin werden den Randbedingungen sogenannte topographische Daten zugeordnet. Hierbei handelt es sich um Angaben zum herrschenden Klima (Verschattung, Wind) und zum jeweiligen Standort (Schadstoffbelastung in der Aussenluft). Die vorgegebenen **Anforderungen** sind im Unterschied zu den Randbedingungen durch eine Fachberatung zu beeinflussen und damit veränderlich. Zu den Anforderungen zählen primär Nutzungsaspekte. Nach der Theorie der Wertanalyse [8], werden die Anforderungen in Fest-, Grenzanforderungen und Wünsche eingeordnet. Diese führen zu Funktionen, welche von der Anlage nach abgestufter Priorität zu erbringen sind. Als Festanforderung ist z.B. zu erwarten, dass die Anlage die Gesamtfunktion „Heizlast decken“ erbringt. Ebenso muss „Sicherheit und Hygiene gewährleistet sein“. Diese muss die Anlage in jedem Fall erfüllen. Grenzanforderungen wirken sich vor allem bei der Auslegung der Anlage aus: Ein Beispiel ist die Funktion „Behaglichkeitsdefizite begrenzen“. In welchem Masse diese Gesamtfunktion wirken soll hängt davon ab, welche der ihr zugeordneten Teilfunktionen, erfüllt sein sollen (siehe Tabelle 2). Um ein geeignetes Konzept für die Nutzenübergabe erarbeiten zu können, soll sinnvollerweise zunächst ein entsprechendes Pflichtenheft erarbeitet werden (Tabelle 3).

Tabelle 2: Funktionen aus Grenzanforderungen

Gesamtfunktion	Teilfunktion
Behaglichkeitsdefizite begrenzen	Strahlungsdefizit ausgleichen Falluftstrom abfangen Zug vermeiden Behaglichkeitszone einhalten Geräusentwicklung begrenzen
Hygiene gewährleisten	Grenzkonzentrationen einhalten
Anlagen-Energiebedarf begrenzen	vorgegebene Aufwandszahl einhalten Mindestnutzungsgrad einhalten Mindestregelanforderung einhalten Nutzereinfluss begrenzen Verschwendungspotenzial begrenzen
Wirtschaftlichkeit verwirklichen	Herstellkosten begrenzen
Bedienbarkeit erleichtern	Wärmeerzeuger automatisch betreiben
Umweltbelastung minimieren	Schadstoffgrenzwerte einhalten

Tabelle 3 Pflichtenheft für die Nutzenübergabe

Pflichtenheft Nutzenübergabe

Projekt:	MOSES
Gebäude:	Grund- und Hauptschule Plieningen

Raumbuch			Nutzung			Behaglichkeitsvorgaben			sonst. Vorgaben		
Bezeichnung	Raumart	Normheizlast 1) in W	Heizzeiten von bis	innere Lasten 2) hoch/niedrig	Lüftungsart 3) m/F	Innentemperatur		Anforderungsstufe	Behaglichkeitszone 4) in m	Aufheizreserve in %	Zusatznutzen
						$\vartheta_{i,A}$ in °C	ϑ_{Absenk} in °C				
BT1 Klassenzimmer 1	Klassenzimmer Hauswirtschaftliche Schule	2.850	nach Bedarf siehe Tab._	h	F	20	15	3	1	50	-
BT1, Turnhalle	Turnhalle	32.600	nach Bedarf	n	m	20	15	2	3	0	-
BT2 Klassenzimmer 3	Klassenzimmer	4.250	nach Bedarf siehe Tab._	h	F	20	15		1	50	-
BT1, Stuhllager	Lehrmittelraum	-	8 - 18 Uhr	n	F	18	15	1	-	0	-
BT2, Flur1	Flur	7.300	8 - 22 Uhr			15	-	3	-	0	-
BT2 Lehrerzimmer	Lehrerzimmer		7 - 18 Uhr	h	F	20	15	3	1	50	-
BT2 Rektoramt	Rektorat	9.100	7 - 18 Uhr	n	F	20	15	3	1	50	

1) Rechenwert nach DIN 4701

2) Grenze zwischen niedrig und hoch : Innenlast/Normheizlast > 0.2

3) bei mech. Lüftung zusätzliche Informationen zum Zuluftstrom; sonst nur m (mechanisch) oder F (Fensterlüftung) angeben

4) Abstand zu kalter Umfassungsfläche in m

Ziel der nun folgenden Bewertung ist es, unter vergleichbaren Bedingungen die Konzeptvorschläge miteinander zu vergleichen. Bewertungskriterien sind Energiebedarf, Kosten, Emissionen und sonstige Bewertungsfaktoren z.B. erwähnte Behaglichkeitskriterien. Als Werkzeug zur Bewertung des Energiebedarfs wird auf die Bedarfsentwicklungsmethode verwiesen. Sie bildet die Grundlage der neuen Fassung der VDI 2067 [10] „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen“.

Das Umfeld für eine Heizanlage ist ein zu beheizender Raum, in dem die Temperaturen der Umfassungsflächen und der Luft zu festgelegten Nutzungszeiten einen bestimmten Wert nicht unterschreiten dürfen und in dem die dazu erforderliche Wärmeleistung an der geeigneten Stelle aufzubringen ist (Heizlast). Dies seien in diesem Fall die **Nutzenanforderungen**, während durch den Raum mit seiner Speicherkapazität usw. und durch das Klima die **Randbedingungen** gegeben sind. Die geforderten **Funktionen** der Heizanlage sind, diese Solltemperaturen im Raum mindestens zu halten, oder zusammengefasst, die dabei auftretende Heizlast zu decken. Der vorgegebene Verlauf der Temperaturen und davon abgeleitet der Heizlastgang sind daher die gleichzuhaltenden Eingangsgrößen im Gesamtsystem und so auch in dem Teilsystem, das die Nutzenanforderungen durch eine entsprechende Nutzenübergabe zu erfüllen hat.

Das Verhältnis des Energieaufwandes der Nutzenübergabe zum Referenzenergiebedarf wird mit der Aufwandszahl e_1 gekennzeichnet. Entsprechend werden die Aufwandszahlen für die Verteilung und die Erzeugung definiert.

Programme zur **Simulation von Gebäude und Anlage** unterscheiden sich grundsätzlich durch den Detaillierungsgrad des Modells. Für die Konzeptionsphase eignen sich einfache Modelle, deren Abbildungsgenauigkeit relativ grob ist. Da in dieser Phase oft nur eingeschränkt Daten des abzubildenden Gebäudes oder der Anlage vorliegen und oft nur Unterschiede zwischen Varianten herausgearbeitet werden sollen, spielt dies keine grosse Rolle. Das Rechenverfahren nach der neuen VDI 2067 Blatt 11 [11] ist ein solches Verfahren. Hiermit erhält man den Referenz-Energiebedarf $Q_{0,N}$ eines Gebäudes für Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten. Der Berechnung liegt ein individuelles Nutzungsprofil für Innenlasten, Solltemperaturen, Zeitprofilen usw. zugrunde.

Anlagenkonzepte werden ebenfalls mit der neuen VDI 2067 bewertet. Blatt 20 [12] liegt bereits vor, hiermit werden Aufwandszahlen für die Nutzenübergabe von Warmwasserheizsystemen beschrieben. Für die Verteilsysteme und die Energieerzeugung werden im Rahmen der Neufassung der 2067 ebenfalls neue Richtlinienblätter erarbeitet.

Mit der **gekoppelten Gebäude- und Anlagensimulation** sind im Gegensatz zur Methode nach VDI 2067 sehr detaillierte Untersuchungen über das thermische Zusammenwirken von Gebäude und Anlage möglich. Hierbei werden die zeitlichen Verläufe von Lasten und Temperaturen im Gebäude und von Temperaturen, Massenströmen und Leistungen einer heiz- oder raumluftechnischen Anlage im Modell berechnet. Mit Simulation können Varianten unter gleichen Randbedingungen vergleichen, kritische Betriebszustände ermittelt, sowie geeignete Regelungsstrategien abgeleitet werden [13].

Bei der Verbrennung fossiler Energieträger werden Stoffe freigesetzt, die das Klima (Treibhaus-Effekt) und die Umwelt (saurer Regen) negativ beeinflussen. Die Bewertung von **Emis-sionen** wird mit dem Programm GEMIS [14] durchgeführt.

Die **Wirtschaftlichkeitsrechnung** wird nach VDI 2067 [15], [16], mit der Barwert-Methode durchgeführt.

Die Nutzungsdauer der Bauteile der technischen Gebäudeausrüstung werden ebenfalls nach VDI 2067 bestimmt. Die Kosten der technischen Einrichtungen sind im wesentlichen dem ifTG-Handbuch Kostenschätzung [17] entnommen. Die Kosten für Gas und Strom werden nach Angaben der Stadt Stuttgart [18] angesetzt. Einzelne Kosten sind aus Firmenunterlagen (z.B. [19],[20],[21]) und durch persönliche Befragungen [22] ermittelt.

2.5. Umsetzung

Durch eine kontinuierliche Überprüfung der ausgeführten Maßnahmen vor Ort wird sichergestellt, daß sowohl die geplanten Maßnahmen in vollem Umfang ausgeführt werden, als auch die fachgerechte Umsetzung gewährleistet ist. Im Laufe der Umsetzung sollte durch eine enge Zusammenarbeit mit den ausführenden Firmen eine verstärkte Sensibilisierung für die Ausführung von wichtigen Detailpunkten erfolgen.

2.6. Betriebsoptimierung

Eine optimal geplante und ausgeführte Anlage kann nur dann den gewünschten Nutzen erbringen, wenn sie richtig betrieben wird. Dazu ist neben einer korrekten Voreinstellung der Anlagenkomponenten vor allem der sinnvolle Einsatz der vorhandenen Regelungsanlage notwendig. Vom Hersteller bzw. Installateur der Regelungsanlage werden meist Standardprogramme angeboten bzw. eingestellt. Bei frei programmierbaren Regelungen (DDC-Anlagen, Direct Digital Control) werden normalerweise Standard-Regelungsmodule nach Vorgabe miteinander verknüpft. In allen Fällen gibt es eine Vielzahl einstellbarer Parameter.

Für den Nutzer ist es nach dem Abschluss der Sanierung wichtig zu wissen, ob die eingestellten Parameter für den Anlagenbetrieb akzeptabel sind, ob sie vielleicht noch verbessert werden können oder ob sogar Parameter falsch eingestellt wurden. Eine Bewertung muss sich dabei an den definierten Zielen und Anforderungen orientieren.

Eine relativ einfache und effektive Bewertung und Kontrolle ist über die laufende Erfassung und Registrierung der Verbrauchswerte möglich. Die anfallenden Werte werden zunächst witterungsbereinigt und dann verglichen mit den Vorgaben der Konzeptionsphase. Größere Abweichungen können zeitverzögert, d. h. nach Ablauf einer gewissen Zeitspanne, erkannt werden. In Stuttgart erfolgt dies bei öffentlichen Gebäuden mit dem städtischen "Stuttgarter Energie-Kontrollsystem" (SEKS) [23]. Dabei werden die Zählerstände der EVU-Zähler normalerweise täglich vom Amt für Umweltschutz mittels Datenfernübertragung ausgelesen.

Eine erweiterte Möglichkeit zur Betriebsüberwachung und Betriebsoptimierung bietet die computergestützte Anlagen- und Gebäudesimulation. Dabei wird das Gebäude und die Anlage in einem Simulationsmodell nachgebildet. Auf dieses Modell werden die realen Anlagenparameter und Randbedingungen (z.B. Witterung) übertragen. Die sich im Simulationsmodell ergebenden Verhältnisse (z.B. Energiebedarfswerte, Raum- oder Heizmitteltemperaturen) werden verglichen mit den entsprechenden Werten im realen Gebäude bzw. mit den Vorgaben der Konzeption, wobei sich Hinweise auf Fehlfunktionen oder Optimierungspotentiale ergeben können. Auf diese Weise können die Einstellungen der Regelungsparameter untersucht und optimiert werden, ohne erst eine Betriebsphase abwarten zu müssen.

3. Durchführung der Sanierungsschritte am Beispiel der GHS Plieningen

3.1. Sanierungsziele

Durch das Forschungsvorhaben MOSES sollte der Heizenergiebedarf der Schule und die dadurch verursachten Emissionen gesenkt werden. Eine Reduktion des Heizkennwertes auf ein Viertel des Ausgangswertes, d.h. auf 50 – 60 kWh/m²a wird angestrebt. Außerdem bestand die Aufgabe darin, die Heizungsanlage sowie abgängige Fenster zu erneuern.

Im Zuge der Baumaßnahmen sollten weiterhin die Sanitäranlagen erneuert werden, die Schäden am Dach behoben und das Lehrerzimmer vergrößert werden. Diese Maßnahmen sind jedoch nicht Gegenstand des Forschungsvorhabens.

3.2. Bestandsaufnahme

Die Grund- und Hauptschule in Stuttgart-Plieningen wurde in drei Bauabschnitten erstellt. Im ersten Gebäude aus den 30er Jahren befinden sich eine Turn- und Versammlungshalle, 4 Klassenräume der Grund- und Hauptschule, 4 Klassenräume der Landwirtschaftlichen Berufsschule und im Dachgeschoß eine Wohnung für die Hausmeisterfamilie. Das in den 50er Jahren an das erste angebaute zweite Gebäude beherbergt weitere Klassenräume, das Lehrerzimmer sowie das Rektorat der Schule. Im dritten Gebäude befinden sich ebenfalls Klassen- und Gruppenräume. Gleichzeitig mit der geplanten Sanierung der Gebäude 1 bis 3 wurde die Schule um ein viertes Gebäude erweitert, das jedoch nicht Bestandteil des Forschungsprojektes ist.

Die Längsachse des ersten und des zweiten Gebäudes verläuft von Südwesten nach Nordosten. Das dritte Gebäude ist rechtwinklig dazu angeordnet und verläuft in seiner Längsrichtung von Südosten nach Nordwesten. Der Grundriss der Gebäude ist in Bild 3 dargestellt.

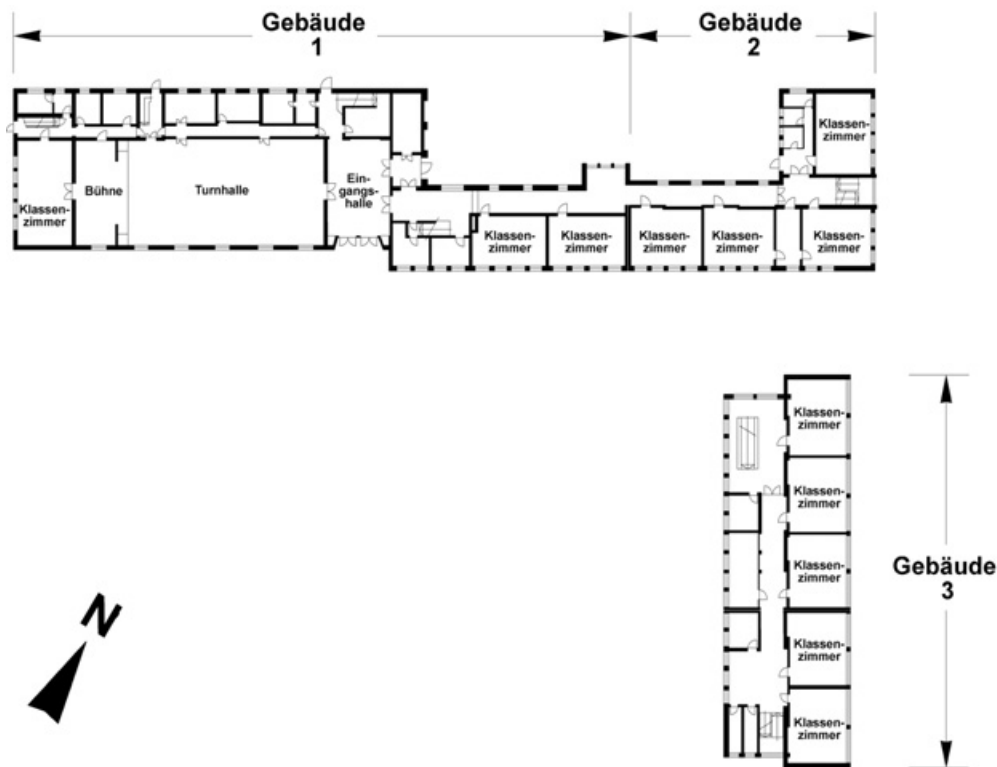


Bild 3 Grundriß der Gebäude

Die Gebäudeseiten werden gemäß der Wärmeschutzverordnung [9] den Haupthimmelsrichtungen zugeordnet. Dabei entspricht die Südwestseite der Westausrichtung, die Südostseite der Südausrichtung. Dies kann aus Bild 3 für jeden Gebäudeteil leicht nachvollzogen werden.

3.2.1. Wärmeschutz

Gebäude 1

Das Gebäude 1 wurde im Jahr 1936 errichtet. Der Haupteingang befindet sich auf der dem Schulhof zugewandten Südseite des Gebäudes am Übergang von der Turn- und Versammlungshalle zum Klassentrakt. Die Turn- und Versammlungshalle erstreckt sich über zwei Geschosse und ist zum Dachraum mit einer Holzbalkendecke abgetrennt. An der Westseite des Gebäudes befinden sich zwei Klassenräume der Landwirtschaftlichen Berufsschule. Darüber befindet sich im Dachgeschoss die Wohnung der Hausmeisterfamilie, die an den ungenutzten, nicht wärmegeprägten Dachraum angrenzt. Bild 4 zeigt die Westansicht des Gebäudes.

An der Nordseite des Gebäudeteils sind weitere Klassenräume der Landwirtschaftlichen Schule und Sanitäreinrichtungen angeordnet. Auf der östlichen Rückseite des Gebäudes befindet sich ein ursprünglich offener Arkadengang mit werksteinumkleideten Pfeilern. Zwei der Bögen wurden später mit Kalksandstein ausgemauert, um den so entstandenen Raum als Lager für Schulmöbel nutzen zu können. Gebäude 1 wurde bei seiner Erstellung nur teilweise unterkellert.



Bild 4: Westansicht des Gebäudes



Bild 5: links die Südostansicht des Gebäudes 1 und rechts Gebäude 2

Tabelle 4: Zusammenstellung der Aufbauten und Materialkennwerte der wärmetauschen den Bauteile des Gebäudes 1 vor der Sanierung.

Bauteil	Aufbau	Schicht-	Roh-	Wärmeleit-	mittlerer		
		dicke	dichte	fähigkeit		K-Wert	
		cm	kd/m ³	W/mK	W/m ² K		
Außenwand	Außenputz Mauerwerk Innenputz	2,00 24,75 ¹⁾ 1,50	1800 1800 1800	0,87 0,81 0,70	1,54		
	Außenputz Normalbeton Innenputz	2,0 36,5 1,5	1800 2400 1400	0,87 2,10 0,70	2,56		
	Außenputz HWL-Platte Normalbeton Innenputz	2,0 2,5 34,0 1,5	1800 440 2400 1400	0,87 0,09 2,10 0,70	1,53		
	Normalbeton	40,0	2400	2,10	2,77.		
	Außenputz KS-Mauerwerk Innenputz	2,0 11,5 1,5	1800 1800 1800	0,87 0,81 0,70	2,81		
	Naturstein Normalbeton Naturstein	3,0 75,0 3,0	2600 2400 2600	2,30 2,10 2,30	1,81		
	Oberste Geschoßdecke	Holzdielen Luftschicht (78 %) Torfmull (78 %) Holzbalken (22 %) Lattung/Luft Innenputz auf Putzträger	2,5 17,0 5,0 22,0 2,5 2,5	600 - 200 600 - 1400	0,13 1/Λ = 0,17m ² K/W 0,04 0,13 1/Λ = 0,17m ² K/W 0,70	0,48	
Dach-schräge		Holz Preßstrohdämmplatte Innenputz	- 6,0 1,5	- 200 1400	- 0,06 0,70	0,83	
		Dachgaube	Blechabdeckung Holz Luft Holz Luft Preßstrohdämmplatte Innenputz	0,7 1,5 12,5 1,5 7,5 5,0 1,5	- 600 1 600 1 200 1400	- 0,13 1/Λ=0,17m ² K/W 0,13 1/Λ=0,17m ² K/W 0,06 0,70	0,57
Oberste Geschoß-decke			Normalbeton Innenputz	27,0 1,5	2400 1400	2,10 0,70	2,78
			Zementestrich Normalbeton Stahlsteindecke Innenputz	2,3 ¹⁾ 19,0 1,5	2000 2400 - 1400	1,40 2,10 1/Λ=0,24m ² K/W 0,70	1,95
			Torfplatte Beton Innenputz	3,0 12,0 1,5	190 2400 1400	0,05 2,10 0,70	1,13

Fortsetzung von Tabelle 4

Oberste Ge- schoß- decke	Holzabfalldämmplatte	8,0	750	0,17	0,48
	Holz	2,5	600	0,13	
	Torfmulle (80 %)	5,0	200	0,04	
	Holz (80 %)	2,5	600	0,13	
	Holz (20 %)	7,5	600	0,13	
Wand zum Dachraum	Innenputz	0,5	1400	0,70	2,72
	Leichtbetonstein (84 %)	12,0	2000	1,40	
	Holz (16 %)	12,0	600	0,13	
	Innenputz	1,5	1400	0,70	
	Beton	25,0	2400	2,10	2,85
	Innenputz	1,5	1400	0,70	
Kellerdecke	Gußasphaltestrich	2,5	2300	0,90	1,70
	Sand	2,0	1800	1,40	
Normalbeton	15,3 ¹⁾	2400	2,10		
Stahlsteindecke	9,5*	-	1/Λ=0,24m²K/W		
Innenputz	1,5	1400	0,70		
	Gußasphaltestrich	2,5	2300	0,90	2,02
	Sand	0,1 ¹⁾	1800	1,40	
	Normalbeton	27,0	2400	2,10	
Boden	Gußasphaltestrich	2,0	2300	0,90	2,99
	Sand	1,0 ¹⁾	1800	1,40	
	Bitumen	1,5	1100	0,17	
	Normalbeton	10,0	2400	2,10	
	Zementestrich	4,0	2000	1,40	3,91
	Normalbeton	12,0	2400	2,10	
Decke gegen Außenluft	Naturstein	5,0	2600	2,30	2,67
	Normalbeton	30,0	2400	2,10	
	Gußasphaltestrich	2,5	2300	0,90	1,88
	Sand	2,0	1800	1,40	
	Normalbeton	3,5	2400	2,10	
	Stahlsteindecke	19,0	-	1/Λ=0,24m²K/W	
	Außenputz	2,0	1800	0,87	
Fenster	Einfachverglasung mit Holzrahmen	Gesamtenergiedurchlaßgrad: 0,90			5,20
	Doppelverglasung mit Holzrahmen	Gesamtenergiedurchlaßgrad: 0,80			2,50
	Isolierverglasung mit Kunststoff- oder Metallrahmen	Gesamtenergiedurchlaßgrad: 0,80			2,6-3,00

1) Mittelwert

Die Bilder A1 bis A4 zeigen die Grundrisse des Gebäudes mit den Raumbezeichnungen. Der Klassentrakt des Gebäudes 1 ist zweigeschossig mit einem darüberliegenden unbeheizten Dachgeschoß. Der Dachraum ist innenseitig verkleidet. Die Verkleidung besteht aus verputzten Schilfrohmatten. Alle Klassenräume befinden sich auf der Südseite. Auf der Nordseite wurde am Übergang zum Gebäude 2 in den 50er Jahren ein Ausstellungsraum angebaut. Die geschoßhohen Fenster befinden sich zwischen Pfeilern aus Sichtbeton. Dieser zweite Teil des Gebäudes ist unterkellert.

In Tabelle 4 sind die Aufbauten und Materialkennwerte mit den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten zusammengestellt. Fast alle Außenwände bestehen aus beidseitig verputztem Vollziegelmauerwerk. In der Hausmeisterwohnung und in den Heizkörpernischen ist das Mauerwerk nur 24 cm dick. Die übrigen Bereiche besitzen in der Regel 36,5 cm dickes Mauerwerk. An der Westfassade wurde im Erdgeschoß eine Kernbohrung entnommen. Die Kernbohrung ergab 38 cm dickes Vollziegelmauerwerk mit einer Dichte von 1790-2060 kg/m³. Der massebezogene Feuchtegehalt lag zwischen 0,9 und 0,2 %. Der äußere Putz hatte einen Feuchtegehalt von 1,2 %, der innere Putz von 0,1 %.

Die Fensterstürze bestehen aus Beton. An den Außenwänden wurden keine gravierenden Bauschäden festgestellt. An einigen Stellen war im Fußbereich der Wand Putz abgeplatzt und die Putzoberfläche, wie Bild 6 zeigt, war an einigen Stellen leicht versandet.



Bild 6: Leichte Putzschäden neben dem Haupteingang der GHS Plieningen. Ebenfalls zu erkennen sind die stark verschattenden Bäume direkt vor der Fassade

Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand betrug im Zustand vor der Sanierung 1,62 W/m²K.

Die Fenster der Westseite wurden zu einem früheren Zeitpunkt bereits einmal durch Fenster mit Isolierverglasung und Kunststoffrahmen ersetzt. Die Fenster der Turn- und Versammlungshalle bestanden aus einer Isolierverglasung in Metallrahmen. Alle anderen Fenster sind Verbundfenster mit Holzrahmen. Die Fenster wiesen Farbabblätterungen auf und waren teilweise stark verwittert und verzogen. Bild 7 zeigt zwei stark verzogene Fenster in einem Klassenraum auf der Südseite. Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient der Fenster betrug im Zustand vor der Sanierung 3,40 W/m²K. An die Fenster wurden als Blendschutz nachträglich Jalousettenkästen von außen angebracht.



Bild 7 Stark verzogene Fenster im Gebäude 1. Die Fenster ließen sich nicht mehr vollständig schließen.

Aufgrund der fehlenden Unterspannbahn und schadhafter Dacheindeckung kam es bei stärkeren Regenfällen zu Wassereintrüben. In Bild 8 sind deutliche Wasserschäden an den auf der Nordseite des Gebäudes befindlichen Klassenraumdecken im Obergeschoß zu erkennen. Auch an der Verkleidung des Daches über dem Klassentrakt waren deutliche Wasserschäden zu erkennen.

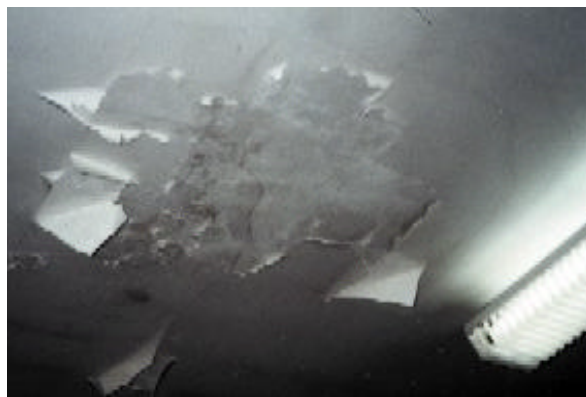


Bild 8 Wasserschäden an der Decke eines Klassenraumes der Landwirtschaftlichen Berufsschule durch das undicht gewordene Dach.

Die oberste Geschoßdecke des Gebäudes 1 besitzt in verschiedenen Bereichen unterschiedliche Aufbauten. Die Holzbalkendecke über der Turnhalle ist in den Gefachbereichen mit Torfmull auf Holzspanplatten gedämmt worden. Auf der gesamten Fläche dieser Decke wurde nachträglich eine Dämmung aus Holzabfallplatten aufgebracht. Diese Dämmung war in den wenigen Unterlagen aus den 30er Jahren noch nicht aufgeführt. Im nördlich anschließenden Deckenbereich bestand die Decke nur aus einer unterseitig verputzten Betondecke. Der Raum für Lehrmittel und der Klassentrakt sind mit einer Stahlsteindecke vom Dachraum abgetrennt. Der Dachraum kann über einen schmalen Treppenaufgang vom Klassentrakt aus erreicht werden. Über dem Ausstellungsraum befindet sich eine Betondecke mit Torfplatten. Zwischen die Holzbalken der Decke über der Hausmeisterwohnung wurde Torfmull gefüllt. Den oberen Abschluß bilden nicht bündig verlegte Holzdielen. Innenseitig ist die Decke mit einem Innenputz auf einer Holzlattung mit Putzträger versehen. Für die oberste Geschoßdecke wurde im Zustand vor der Sanierung ein mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient von $1,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ berechnet.

Die Wände der Hausmeisterwohnung, die an den Dachraum grenzen, bestehen aus Leichtbetonsteinen zwischen einem Rahmengerüst aus Holz. Teile der Wand wurden mit innenseitig verputztem Beton ausgeführt. Diese Wände besaßen vor der Sanierung im Mittel einen Wärmedurchgangskoeffizienten von $2,77 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Decken der unterkellerten Bereiche bestehen in der Regel aus einem Gußasphaltestrich auf Sand und einer Stahlsteindecke bzw. Betondecke. Die Flächen, die ans Erdreich grenzen, besitzen ebenfalls einen Gußasphaltestrich oder einen Zementestrich auf einer Betonplatte. Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient dieser Flächen betrug vor der Sanierung $2,21 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Decke gegen Außenluft auf der Ostseite des Gebäudes an den Arkaden besteht aus einer Stahlsteindecke mit Gußasphaltestrich. Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient betrug $2,14 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Das Gebäude 1 besitzt eine wärmetauschende Hüllfläche von 4238 m^2 , ein beheiztes Volumen von 9621 m^3 . Aus diesen beiden Werten ergibt sich der Hüllflächenfaktor zu $0,44 \text{ m}^{-1}$. Die beheizte Nettogrundfläche beträgt 2090 m^2 . Als mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient aller wärmeübertragenden Umfassungsflächen wurde ein Wert von $1,42 \text{ W/m}^2\text{K}$ ermittelt. Der Heizwärmebedarf des Gebäudes wurde zu 520 MWh/a , das sind bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche $250 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, berechnet. Die Gebäudekennwerte sind in Tabelle 5 und die mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten in Tabelle 6 zusammengefaßt.

Tabelle 5: Zusammenstellung der Gebäudekennwerte aller drei Gebäude vor der Sanierung

Kennwert		Einheit	Wert		
			Gebäude 1	Gebäude 2	Gebäude3
Wärmetauschende Hüllfläche	Außenwand	m ²	1138	714	906
	Fenster	m ²	317	244	532
	Dach	m ²	1338	493	726
	Keller/Boden	m ²	1301	293	726
	Wand gegen Boden	m ²	-	97	72
	Decke gegen Außenluft	m ²	27	140	-
	Wand zum Dach	m ²	117	-	-
	Abseitenwand	m ²	-	-	45
	Summe	m ²	4238	1981	3008
beheiztes Gebäudevolumen		m ³	9621	4537	8263
Hüllflächenfaktor A/V		m ⁻¹	0,44	0,44	0,36
beheizte Nettogrundfläche		m ²	2090	1110	2060

Tabelle 6: Zusammenstellung der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten aller drei Gebäude vor der Sanierung.

Bauteil	mittlerer k-Wert [W/m ² K])		
	Gebäude 1	Gebäude 2	Gebäude3
Außenwand	1,62	1,73	1,36
Fenster	3,40	3,50	2,50
Oberste Geschoßdecke / Dachdecke	1,35	0,90	0,28
Kellerdecke / Boden	2,21	2,35	1,74
Wand gegen Boden	-	1,91	1,69
Decke gegen Außenluft	2,14	0,74	-
Wand zum Dachraum	2,77	-	-
Abseitenwand	-	-	2,36
Gesamt	1,42	1,51	1,15

Gebäude 2

Das zweite Gebäude wurde 1957 an das erste Gebäude angebaut. Das Gebäude besitzt im Erdgeschoß und im ersten Obergeschoß Klassenräume, die alle nach Süden zum Schulhof orientiert sind. Bild 9 zeigt diese Fassadenansicht.



Bild 9 Ansicht der Südostfassade von Gebäude 2

Je ein Klassenraum pro Geschoß ist nach Osten ausgerichtet. Das Dachgeschoß wurde teilweise als Abstellraum genutzt, ist jedoch unbeheizt. Im Untergeschoß befinden sich angrenzend an den Keller des Gebäudes 1 Sanitärräume, die nur vom Schulhof aus zugänglich sind. Auf der östlichen Seite des Gebäudes sind im Untergeschoß noch ein Gruppenraum und eine Küche angeordnet. Da das Gebäude in leicht abschüssiges Gelände gebaut wurde, sind einige der Wände erdberührt. Das Gebäude ist nicht unterkellert.

In Tabelle 7 sind die Aufbauten und Materialkennwerte mit den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten zusammengestellt. Die Außenwände des Gebäudes 2 wurden in Stahlbetonskelettbauweise errichtet. Die Betonflächen wurden an der Außenseite mit 2,5 cm dicken Holzwolle-Leichtbauplatten versehen. Die Heizkörpernischen sind mit 24 cm Ziegelmauerwerk ausgefacht. Alle übrigen Wandbereiche im Norden und Westen haben eine Mauerwerksdicke von 36,5 cm. Die Fensterstürze bestehen ebenfalls aus Beton mit außenseitiger Holzwolle-Leichtbauplatte. Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwände wurde im Zustand vor der Sanierung zu $1,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ ermittelt. Im Gegensatz zum Gebäude 1 sind die Jalousettenkästen in die Stürze integriert worden. Innenseitig sind diese nur mit einer Holzplatte zum Raum abgetrennt. Bild 10 zeigt die photographische und zeichnerische Aufnahme der Konstruktion.

Tabelle 7 Zusammenstellung der Aufbauten und Materialkennwerte der wärmetauschenden Bauteile des Gebäudes 2 vor der Sanierung.

Bauteil	Aufbau	Schicht- dicke	Roh- dichte	Wärmeleit- fähigkeit	mittlerer K-Wert
		cm	kd/m ³	W/mK	W/m ² K
Außenwand	Außenputz	2,0	1800	0,87	1,75
	HLW-Platte	1,3 ¹⁾	440	0,09	
	Normalbeton	29,0 ¹⁾	2400	2,10	
	Innenputz	1,5	1400	0,70	
Außenwand	Normalbeton	36,7 ¹⁾	2400	2,10	3,28
	Innenputz	1,5	1400	0,70	
Außenwand	Außenputz	2,0	1800	0,87	1,61
	Mauerwerk	30,3 ¹⁾	1800	0,81	
Außenwand	Innenputz	1,5	1400	0,07	1,30
	Außenputz	2,0	1800	0,87	
	HWL-Platte	2,5	440	0,09	
	Normalbeton	23,0	2400	2,10	
Außenwand	Installationsschacht (Luftschicht)	11,0	-	1/Λ = 0,17m ² K/W	0,70
	Innenputz	1,5	1400	0,70	
Oberste Geschoßdecke	Zementestrich	4,5	2000	1,40	0,84
	Torfplatte	3,0	200	0,05	
	Hohlstegdecke	37,0	-	1/Λ = 0,32m ² K/W	
	Innenputz	1,5	1400	0,70	
Oberste Geschoßdecke	Zementestrich	4,5	2000	1,40	0,90
	Torfplatte	3,0	190	0,05	
	Normalbeton	12,0	2400	2,10	
	Luftschicht	35,5	-	1/Λ = 0,17m ² K/W	
Oberste Geschoßdecke	Ravikdecke	2,5	-	0,53	2,89
	Normalbeton	24,0	2400	2,10	
Oberste Geschoßdecke	Innenputz	1,5	1400	0,70	2,89
Boden/ Keller- decke	Torfplatte	3,0	190	0,05	1,04
	Gußasphaltestrich	2,0	2300	0,90	
	Normalbeton	20,0	2400	2,10	
	HWL-Platte	2,5 ¹⁾	440	0,09	
Boden/ Keller- decke	Zementestrich	4,0	2000	1,40	3,01
	Normalbeton	20,0	2400	2,10	
	HWL-Platte	5,0	440	0,09	
Wand gegen Boden	Normalbeton	50,0	2400	2,10	1,06
	Außenputz	2,0	1800	0,87	
	Zementmörtel	2,0	2000	1,40	
	Installationsschacht (Luft- schicht)	2,0	-	1/Λ = 0,17m ² K/W	
	Normalbeton	20,0	2400	2,10	
	HWL-Platte	2,5	440	0,09	
Wand gegen Boden	Innenputz	1,5	1400	0,70	1,69
	Außenputz	2,0	1800	0,87	
	HWL-Platte	2,5	440	0,09	
	Normalbeton	28,5 ¹⁾	2400	2,10	
	Installationsschacht (Luftschicht)	5,5 ¹⁾	-	1/Λ = 0,17m ² K/W	
	Innenputz	1,5	1400	0,70	
Wand gegen Boden	Normalbeton	40,0	2400	2,10	3,12

Fortsetzung von Tabelle 7

Decke gegen Außenluft	Torfplatte	3,0	200	0,05	$1/\Lambda=0,32\text{m}^2\text{K/W}$	0,69
	Gußasphaltestrich	2,0	2300	0,90		
	Hohlstegdecke	37,0	-			
	HWL-Platte	2,5	440	0,09		
	Außenputz	2,0	1800	0,87		
	Zementestrich	4,0	2000	1,40		
Decke gegen Außenluft	Hohlstegdecke	37,0	-	$1/\Lambda=0,32\text{m}^2\text{K/W}$	1,16	
	HWL-Platte	2,5	440	0,09		
	Außenputz	2,0	1800	0,87		
Fenster	Einfachverglasung mit Metallrahmen	Gesamtenergiedurchlaßgrad: 0,90			5,20	
	Doppelverglasung mit Holzrahmen	Gesamtenergiedurchlaßgrad: 0,80			2,50	
	Glasbausteine	Gesamtenergiedurchlaßgrad: 0,80			3,50	

2) Mittelwert

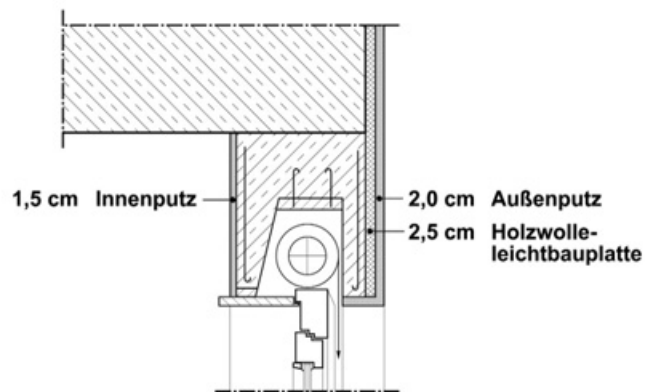


Bild 10 Jalousettenkästen in Gebäude 2

Bild oben: Schnitt durch den Jalousettenkasten

Bild unten: Ansicht vor und nach dem Öffnen des Kastens

Die Fenster waren Holzverbundfenster, die ebenso wie im Gebäude 1 einen verwitterten und vor allem verzogenen Zustand aufwiesen. Die Sanitärräume im Untergeschoß zum Schulhof besaßen Glasbausteine. Der durchschnittliche Wärmedurchgangskoeffizient aller Fenster betrug vor der Sanierung $2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Der größte Bereich der obersten Geschoßdecke wurde aus den Unterlagen als eine Hohlstegdecke ermittelt, die zum Dachgeschoß hin mit 3 cm dicken Torfplatten gedämmt wurde. Darauf wurde ein Zementestrich aufgebracht. Ein kleinerer Teil der obersten Geschoßdecke ist eine Massivplatte aus Beton, die oberseitig ebenfalls mit Torfplatten gedämmt und mit einem Zementestrich versehen wurde. Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient vor der Sanierung ergab sich zu $0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vom Lehrerzimmer aus befand sich ein direkter Ausgang in den Dachraum.

Die Bodenplatte besteht aus einer Betonplatte, auf der sich eine Schicht Gußasphaltestrich und eine 3 cm dicke Torfplatte befindet. Der obere Bodenabschluß wird von Parkett gebildet. Unter kleinen Bereichen der Bodenplatte befinden sich Heizkanäle. Hier wurde unter der Betonplatte eine Holzwolle-Leichtbauplatte angebracht. In der Schulküche ist über der Betonplatte nur ein Zementestrich aufgebracht worden. Es wurde ein mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient von $2,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ ermittelt. Die erdberührten Wände sind beidseitig verputzt. Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient wurde zu $1,91 \text{ W/m}^2\text{K}$ bestimmt.

Die Klassenräume im Erdgeschoß grenzen an die Außenluft. Der Aufbau der Decke gegen Außenluft besteht aus einer Hohlstegdecke mit unterseitig verputzter Holzwolle-Leichtbauplatte. Oberseitig wurde Gußasphaltestrich und Torfplatten sowie ein Holzparkett aufgebracht. Ein kleiner Bereich besitzt auf der Hohlstegdecke nur einen Zementestrich. Es ergab sich ein mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient von $0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Das Gebäude 2 besitzt eine wärmetauschende Hüllfläche von 1981 m^2 und ein beheiztes Volumen von 4537 m^3 . Der Hüllflächenfaktor beträgt $0,44 \text{ m}^{-1}$. Die beheizte Nettogrundfläche wurde zu 1110 m^2 ermittelt. Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient aller wärmeübertragenden Umfassungsflächen beträgt $1,51 \text{ W/m}^2\text{K}$. Der Heizwärmebedarf des Gebäudes wurde zu 240 MWh/a berechnet, das entspricht bezogen auf die Nettogrundfläche $215 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Die Gebäudekennwerte sind in Tabelle 5 und die mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten in Tabelle 6 zusammengestellt. Die Bilder A5 bis A7 im Anhang zeigen den Grundriß des Bauteils mit den Raumbezeichnungen.

Gebäude 3

Das dritte Gebäude wurde als Erweiterungsbau im Jahr 1970 erstellt. Im Erdgeschoß befinden sich auf der Ostseite, die in Bild 11 zu sehen ist, ein Physik-Fachraum und zwei Werkräume mit den dazugehörigen Vorbereitungsräumen für die Lehrer. In den beiden Obergeschossen sind Klassenräume auf der Ostseite angeordnet.

In allen Geschossen sind in der westlichen Gebäudehälfte Sanitär- und Lehrmittelräume sowie Gruppenräume zu finden. Die Geschosse besitzen eine Höhe von 3,50 m mit Ausnahme des westlichen 2. Obergeschosses, das nur eine Höhe von 3,15 m hat. Das Gebäude ist vollständig unterkellert. Im südlichen Bereich sind ein Fotolabor und ein Abstellraum unter-

gebracht. Dieser Kellerbereich ist beheizt. Es schließt sich ein unbeheizter Verteilerraum an. Der übrige Bereich des Gebäudes ist nur mit einem Kriechkeller von 2,35 m Höhe unterkellert.



Bild 11: Nordostansicht von Gebäude 3 mit Fachräumen im Erdgeschoss und Klassenräumen im 1. und 2. Obergeschoß



Bild 12 Südwestansicht von Gebäude 3

Tabelle 8: Zusammenstellung der Aufbauten und Materialkennwerte der wärmetauschenden Bauteile des Gebäudes 3 vor der Sanierung.

Bauteil	Aufbau	Schichtdicke	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	mittlerer K-Wert
		cm	kd/m ³	W/mK	W/m ² K
Außenwand	Normalbeton	27,50	2400	2,10	1,20
	Dreischichtplatte	2,50	-	1/Λ = 0,38m ² K/W	
	Kalksandstein	6,50*	1800	0,99	
	Hochlochziegel	6,50*	1800	0,81	
	Innenputz	0,75*	1400	0,70	
	Normalbeton	29,25*	2400	2,10	1,43
	Dreischichtplatte	2,50	-	1/Λ = 0,38m ² K/W	
Außenwand	Außenputz	1,00*	1800	0,87	1,36
	Dreischichtplatte	1,25*	-	1/Λ = 0,38m ² K/W	
	Normalbeton	33,75*	2400	2,10	
	Dreischichtplatte	1,25*	-	1/Λ = 0,38m ² K/W	
	Innenputz	1,50	1400	0,70	
	Außenputz	1,00*	1800	0,87	
Normalbeton	31,50*	2400	2,10		
Dreischichtplatte	2,50	-	1/Λ = 0,38m ² K/W		
Innenputz	1,50	1400	0,70		
Oberste Geschoßdecke	Normalbeton	25,50	2400	2,10	1,37
	Dreischichtplatte	2,50	-	1/Λ = 0,38m ² K/W	
	Kalksandstein	6,25*	1800	0,99	
	Innenputz	1,5	1400	0,70	
	Polyurethan-Hartschaum	10,00	30	0,03	
Normalbeton	8,00	2400	2,10		
Kellerdecke	Normalbeton	8,00	2400	2,10	1,63
	Mineralfaser	1,25*	100	0,04	
	Zementestrich	2,00*	2000	1,40	
	Holzfaserverkleidung	0,50*	???	0,07	
Boden	Kies	15,00	1800	0,70	2,17
	Normalbeton	10,00	2400	2,10	
	Zementestrich	4,00	2000	1,40	
Wand gegen Boden	Normalbeton	28,25*	2400	2,10	1,69
	Dreischichtplatte	1,25*	-	1/Λ = 0,38m ² K/W	
	Innenputz	1,50	1400	0,70	
Wand zum Kriechkeller	Normalbeton	30,00	2400	2,10	2,36
	Innenputz	1,50	1400	0,70	
Fenster	Isolierverglasung mit Kunststoffrahmen	Gesamtenergiedurchlaßgrad: 0,80			2,60
	Doppelverglasung mit Holzrahmen	Gesamtenergiedurchlaßgrad: 0,80			2,50

* Mittelwerte

Bild 12 zeigt die Südwestansicht von Gebäude 3

In Tabelle 8 sind die Aufbauten und Materialkennwerte mit den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten zusammengestellt.

Das Gebäude wurde in Stahlbetonbauweise erstellt. Die Wände bestehen auf der Ostseite aus außenseitig verputztem Beton und aus Sichtbeton im Stützenbereich. Innenseitig wurde mit einer 2,5 cm dicken verputzten Mehrschicht-Leichtbauplatte gedämmt. Auf der Westseite im ersten und zweiten Obergeschoß wurden die größten Flächenanteile dagegen mit einer 2,5 cm dicken Dämmung auf der Außenseite versehen. Auf der Ostseite besitzen die Heizkörpernischen eine Betondicke von 20 cm, auf der Westseite nur von 15 cm. Die beiden Stirnseiten mit Nord- bzw. Südausrichtung haben Betonwände der Dicke 27,5 cm mit einer innenliegenden Mehrschicht-Leichtbauplatte. Während die Nordwand eine innenliegende Vormauerung aus 13,5 cm Kalksandstein besitzt und im Treppenhaus zusätzlich innen verputzt wurde, wurden an der Südwand verputzte Hochlochziegel der Dicke 13,0 cm verarbeitet. Die südliche Treppenhauswand besteht aus einer 25,5 cm dicken Betonwand mit innenliegender Leichtbauplatte und einer Vormauerung über den Heizkörpern aus 12,5 cm dicken verputzten Kalksandsteinen. Bauschäden konnten an den Außenwänden nicht festgestellt werden.

Bild 13 zeigt Beispiele für die verschiedenen Wandaufbauten. Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient ergab sich zu $1,36 \text{ W/m}^2\text{K}$.

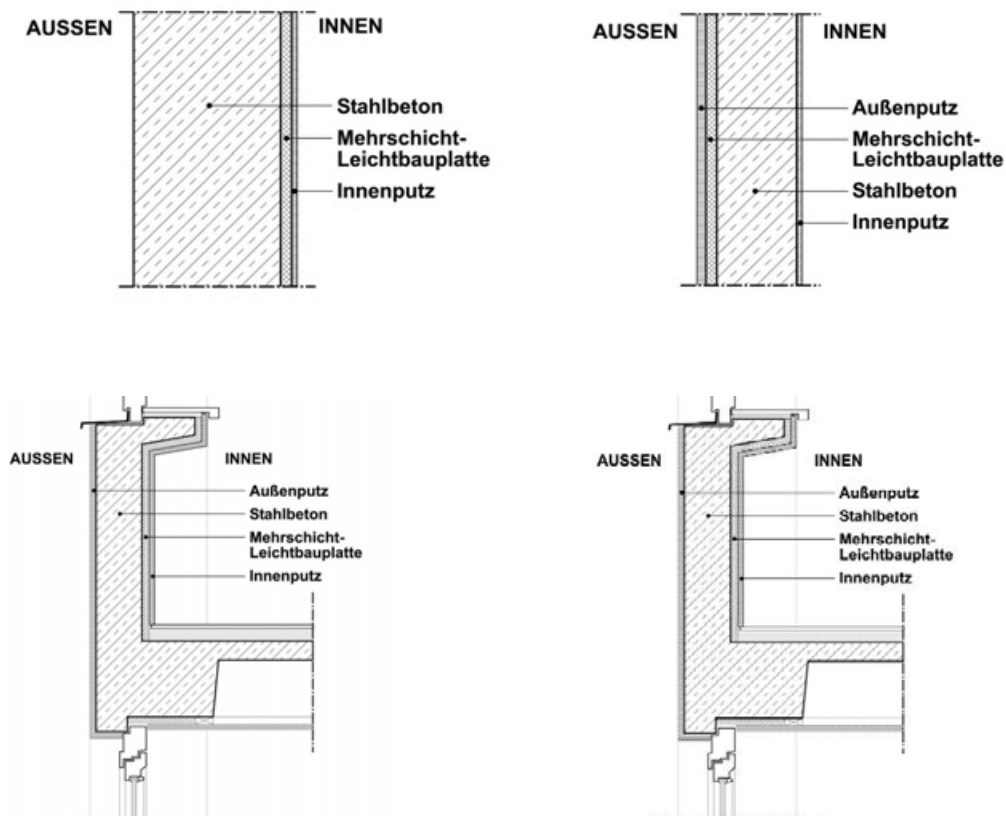


Bild 13 Beispiele für Wandaufbauten in Gebäude 3

Die Fenster der Ostseite waren Holzverbundfenster, die stark verwittert waren. Aus Bild 14 ist deutlich erkennbar, daß einige Fensterrahmen schon verfault waren. Vor den Fenstern sind außenseitig Jalousettenkästen als Blendschutz angebracht worden.



Bild 14: Fenster auf der Ostseite von Gebäude 3. Die Fenster sind nicht nur verwittert, sondern teilweise bereits verfault

Auf der Westseite wurden 1990 neue Fenster mit Kunststoffrahmen und Isolierverglasung eingebaut. Diese Fenster wiesen leichte mechanische Abnutzungserscheinungen auf. Die Fenster im Erdgeschoß sind raumhoch. Bild 15 zeigt die direkt vor den Glasflächen angebrachten, nicht abgeschirmten Heizkörper. Die Fenster besaßen einen mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten von $2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Bild 15 Nicht abgeschirmte Glasflächen vor den Fenstern im Erdgeschoss von Gebäude 3

Das Flachdach wurde 1990 erneuert, da das alte Dach undicht geworden war. Im Zuge der Sanierung wurden auf der vorhandenen Stahlbetonrippendecke über einer Bitumschweißbahn 10 cm Polyurethanschaum der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 030 und anschließend Abdichtung, Durchwurzelungsschutz, Trennfolie und Drainschicht aufgebracht. Bild 16 zeigt den Attikaanschluß. Das Dach besitzt nach dieser Sanierung einen Wärmedurchgangskoeffizienten von nur 0,28 W/m²K.

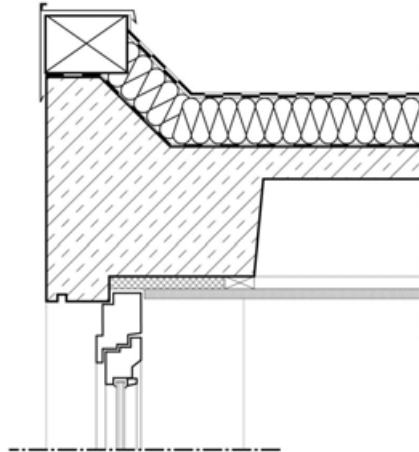


Bild 16 Attikaanschluß von Gebäude 3 im Zustand vor der Sanierung

Die Kellerdecke ist eine Stahlbetonrippendecke. Die Dicke der Deckplatte beträgt 8 cm. Die gesamte Deckenhöhe ist mit Ausnahme des Bereiches der Treppenhalle 36 cm hoch. Da die Fußbodenaufbauten aus den vorhandenen Unterlagen nicht hervorgingen, wurden die Aufbauten vor Ort mittels Bohrungen von 2 cm Durchmesser und Sonde ermittelt. Die erste Bohrung wurde im Werkraum durchgeführt. Dabei wurde der Bodenaufbau wie folgt ermittelt: 2 cm Parkett, 1 cm Holzweichfaserplatte, 4 cm Zementestrich. Im Lehrmittelraum ergab sich der Bodenaufbau zu 3,5 cm Estrich und 2,5 cm Mineralwolle. Im WC befindet sich unter den 1 cm dicken Fliesen nur ein Estrich von 3 cm. Der Boden des Untergeschosses besteht aus einem 4 cm dicken Zementestrich mit Fliesen und einer 10 cm dicken Betonschicht auf 15 cm Kies. Für die Kellerdecke und die erdberührten Bodenflächen wurde ein mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient von 1,74 W/m²K berechnet.

Das Fotolabor im Untergeschoß hat eine 31 cm dicke, mit 2,5 cm dicker Mehrschichtplatte gedämmte Betonwand auf der Ostseite. Die Süd- und Westwand sind 27,5 cm dick und ebenfalls innengedämmt. Die Trennwand zwischen beheiztem Keller und Kriechkeller ist aus Beton und 30 cm dick. Der Wärmedurchgangskoeffizient wurde für diese Wände im Mittel zu 1,69 W/m²K bestimmt.

Das Gebäude 3 besitzt eine wärmetauschende Hüllfläche von 3008 m² und ein beheiztes Volumen von 8263 m³. Der Hüllflächenfaktor beträgt 0,36 m⁻¹. Die beheizte Nettogrundfläche beträgt 2060 m². Als mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient aller wärmeübertragenden Umfassungsflächen wurde ein Wert von 1,15 W/m²K ermittelt. Der Heizwärmebedarf des Gebäudes ergab sich zu 280 MWh/a, das sind 135 kWh/m²a. Die Gebäudekennwerte sind in Tabelle 5 und die mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten in Tabelle 6 zusammengestellt.

Die Bilder A8 bis A10 im Anhang zeigen die Grundrisse des Gebäuden mit den Raumzeichnungen.

Gebäude 4 ist ein 1996 fertiggestellter Neubau. Er wird im Rahmen dieser Arbeit nur im Zusammenhang mit der Gesamtenergiebilanz der Heizanlage und des Stromverbrauchs behandelt. Seine beheizte Nettogrundfläche beträgt 780 m².

3.2.2. künstliche Beleuchtung

Lichttechnisch wird der Istzustand durch den Zustand der Räume (Reflektionsgrade, Verschmutzungsgrad) durch das Beleuchtungssystem (Lampen, Leuchten, Vorschaltgeräte), das Sonnenschutzsystem und äußere Verbauungen beschrieben. Energetisches Bewertungsmaß des Gesamtverhaltens ist der Stromverbrauch. Der Zustand der Raumumschließungsflächen in den Klassenräumen der Schule war größtenteils durch überalterte, verschmutzte Anstriche, wie exemplarisch in Bild 17 dargestellt, geprägt.



Bild 17 Klassenraum mit veralteten Leuchten (Rasteraufbauleuchten) und dunklen Raumumschließungsflächen (Holzpaneele, verschmutzte Anstriche)

Das vorgefundene Beleuchtungssystem bestand aus Prismenwannen- und Rasteranbauleuchten, mit T26 Leuchtstoffröhren und konventionellen Vorschaltgeräten. Die Beleuchtung und der Sonnenschutz der Räume wurden manuell gesteuert. Hierdurch kam es ebenfalls häufig zu der in Bild 17 dargestellten Situation eingeschalteten Kunstlichts bei geschlossenen Jalousien. Die geforderte Nennbeleuchtungsstärke für Unterrichtsstätten von 300 lx wurden in Gebäude 3 deutlich überschritten. Hier liegt somit eine beleuchtungstechnisch nicht erforderliche und energetisch nicht sinnvolle Überinstallation vor. In Gebäude 1 und 2 kommt es zu einer Abminderung des in die südöstlich orientierten Räume eindringenden Lichtstroms durch Bäume direkt vor der Fassade.

3.2.3. Messtechnische Untersuchungen

Luftdichtheitsmessungen

Luftdichtheitsmessungen mit einer Druckdifferenz von 50 Pa ergaben in den Klassenräumen einen Infiltrationsluftwechsel von 2 bis 4 h⁻¹. Die Undichtigkeiten traten vorrangig im Bereich der Fenster auf. Im Gebäude 2 konnten zudem die über den Blendrahmen der Fenster aufgesetzten Jalousettenkästen als undichte Stellen identifiziert werden. Die gemessenen Werte entsprechen einer Einstufung im Geschößwohnungsbau von mitteldicht. Allerdings werden dabei gesamte Wohnungen mit in der Regel zwei Fassadenausrichtungen auf ihre Dichtigkeit hin überprüft. Bei den durchgeführten Messungen in der Schule dagegen wurden nur einzelne Räume gemessen. Daher lassen die gemessenen Werte auf eine geringe Dichtigkeit schließen. In Tabelle 9 sind die gemessenen Werte zusammengestellt.

Tabelle 9: Ergebnisse der Luftdichtheitsmessung vor der Sanierung in der GHS Stuttgart-Plieningen.

Raum	Luftwechsel [h ⁻¹] bei 50 Pa		Bemerkung
	Unterdruck	Überdruck	
1 Klasse; DG Gebäude 1	3,3	3,0	Fenster undicht
2 Klasse; DG Gebäude 1	3,8	2,9	Fenster undicht
3 Klasse; DG Gebäude 2	2,9	2,5	Lüftung offen, Fenster, Rolladenkasten undicht
	2,6	2,2	Lüftung zu, Fenster, Rolladenkasten undicht
4 Klasse; DG Gebäude 2	3,6	3,5	Lüftung offen, Fenster, Rolladenkasten undicht
	3,5	3,2	Lüftung zu, Fenster, Rolladenkasten undicht
5 Lehrerzimmer; DG Geb 2	2,9	2,6	Lüftung offen, Fenster undicht
	2,1	1,9	Lüftung zu, Fenster undicht
6 Klasse; DG Gebäude 3	4,5	7,5	Lüftung offen, Fenster undicht
	4,1	3,4	Lüftung zu, Fenster, Einbauschränk zum Flur, Scheuerleiste zum Flur undicht
7 Klasse; DG Gebäude 3	4,9	3,8	Lüftung bereits baulich geschlossen, Fenster, Einbauschränk zum Flur, Scheuerleiste zum Flur undicht
8 Klasse 1; EG Geb.1 West	4,0	3,9	
	-	-	
Hausmeisterwohnung	1,6	1,7	

Thermographie

Bild 18 zeigt die thermographische Aufnahme der Westfassade des Gebäudes 1. Deutlich zu erkennen ist der große Wärmeabfluß durch die Wände und Fenster und die deutlich kältere Wand im Bereich des Dachbodens.

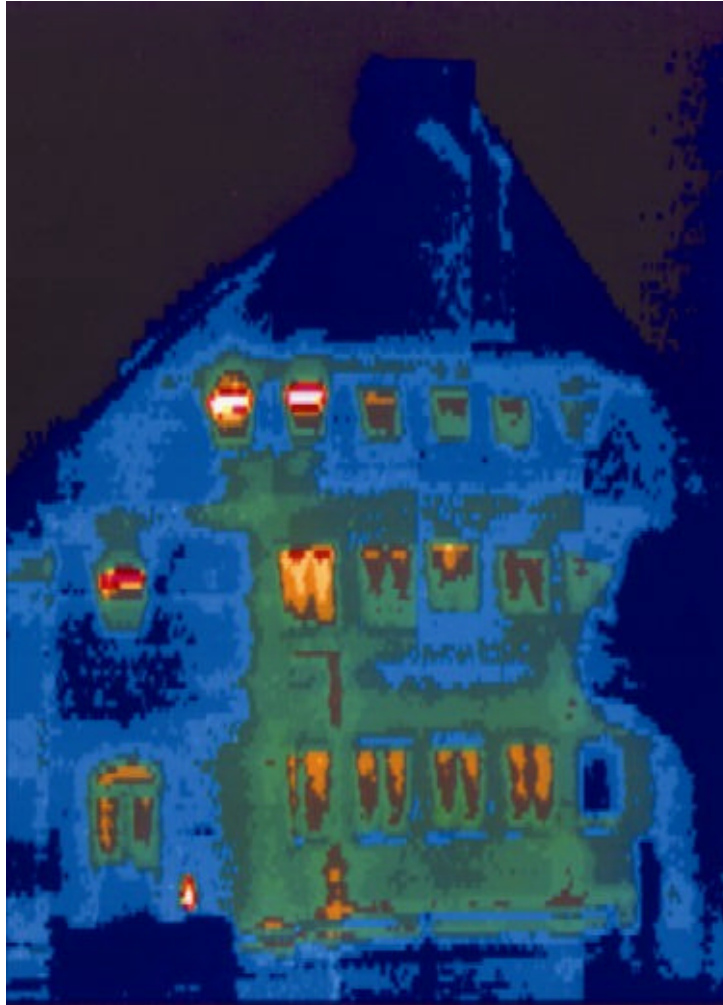


Bild 18 Thermographische Aufnahme der Westfassade von Gebäude 1 vor der Sanierung

3.2.4. Heizungsanlage

Als Wärmeerzeuger sind zwei auf Erdgas und Öl umgerüstete Koksessel (Bj. 1969) mit einer Gesamtleistung von ca. 720 kW eingesetzt. Die Gebläsebrenner sind relativ neu (Bj. 1992); sie können wahlweise mit Erdgas oder Heizöl (umschaltbarer Vertrag) betrieben werden. Bild 19 zeigt die Kessel und Brenner mit Heizmittelanschlüssen für Vor- und Rücklauf.



Bild 19: Niederdruckdampf-Heizkessel und Brenner mit Feststoffklappe und Heizmittelanschlüssen.

In Tabelle 10 sind die Kenndaten der Kessel und Brenner zusammengefasst. Beide Kessel erzeugen Niederdruckdampf mit einem maximal zulässigen Überdruck von 1 bar.

Das gesamte Gebäude 1 inklusive der dort befindlichen Hausmeisterwohnung wird direkt mit Dampf beheizt. Die Wärmeverteilung erfolgt über eine untere Verteilung im Untergeschoss (UG) und Steigleitungen bis ins Obergeschoss (OG) sowie trockenen Kondensatleitungen.

Tabelle 10 Kenndaten der Kessel und Brenner vor der Sanierung

Kessel	Brenner	Fabrikat	Typ	Baujahr	Fabr. Nr.	Qmin/Qmax
Kessel 1		Strebel	ECA 71	1969	-	338 kW
	Brenner 1	Junkers	002600 E - BA 5	1992	082461	100kW/530kW
Kessel 2		Strebel	ECA	-	-	380 kW
	Brenner 2	Maile	MOS 34 - 450	-	-	-

Bild 20 zeigt die Situation im Heizraum mit Dampftrommel und abgehenden Dampfverteilungen für Gebäude 1.

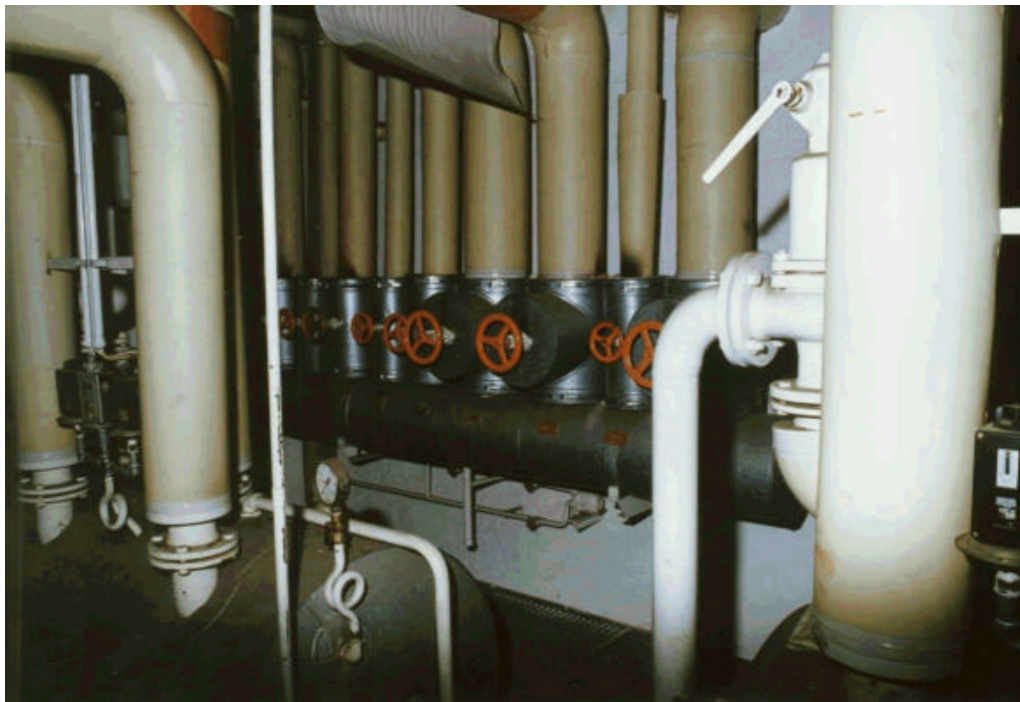


Bild 20: Niederdruckdampfverteilung für Gebäude 1 sowie Dampftrommel mit abgehenden Dampfverteilungen.

Wie in Bild 21 zu sehen ist, erfolgt die Wärmeübergabe im Raum durch Gussgliederheizkörper. Eine Regelung in begrenztem Umfang ist nur durch Handstellventile an den Heizkörpern möglich. Die Heizungsanlage selbst wird zu Beginn der Heizperiode vom Hausmeister ein und am Ende wieder ausgeschaltet. Während der Heizperiode läuft die Anlage kontinuierlich durch.



Bild 21: Wärmeübergabe in Gebäude 1 durch Gußgliederheizkörper mit Handstellventilen

Die Beheizung der Hausmeisterwohnung und des Rektorats erfolgt gekoppelt mit der Beheizung der Schule, so dass außerhalb der Nutzungszeiten der Schule (Ferienzeit, Wochenenden etc.) Teile der Schule mitbeheizt werden. Dies führt zu einem unnötigen Heizenergieverbrauch. Die Gebäude 2 und 3 sind mit einer Warmwasser (WW)-Pumpenheizung ausgestattet. Da der Heizkessel nur Niederdruckdampf zur Verfügung stellt, muss das Warmwasser thermodynamisch ungünstig in einem Gegenstrom-Wärmetauscher durch den Dampf erwärmt werden.



Bild 22: Dampf-Warmwasser Wärmetauscher im Heizungsraum

Bild 22 zeigt den Wärmeaustauscher im Vorraum des Heizungskellers in Gebäude 1. Die Wärmeverteilung erfolgt über drei mischergeregelte Heizkreise.

Die Heizmittelpumpen, die in Tabelle 11 aufgelistet sind, entsprechen dem Standard im Jahr der Installation. In den Warmwasser-Heizkreisen wird die Vorlauftemperatur über die eingestellte Heizkurve und den Mischer nach der Außentemperatur geregelt.

Tabelle 11 Heizmittelpumpen in den Warmwasser-Heizkreisen von Gebäude 2 und 3

Pumpe	Fabrikat	Typ	elektrische Leistungsaufnahme	Stufen
Bauteil 2	Wilo	P66/ 12 S	450 W	4
Bauteil 3/ Hofseite	KSB	L67 IC 59	120 W	-
Bauteil 3/ Talseite	KSB	L67 IC 59	250 W	-

Für die Absenkung der Heizmitteltemperaturen außerhalb der Nutzungszeiten und die entsprechende Anhebung in den Morgenstunden sind feste Schaltzeiten programmiert. Die Wärmeverteilung erfolgt jeweils über eine untere Verteilung und Steigstränge.

Die Leitungen sind in Installationschächten verlegt. Über den Zustand der Rohrleitungen insbesondere in Gebäude 2 kann durch die äußere Begutachtung kein abschließendes Urteil gebildet werden. Die Wärmeübergabe erfolgt durch Gussgliederheizkörper (Gebäude 2) bzw. Röhrenradiatoren (Gebäude 3) mit Handstellventilen. Korrekte Revisionspläne für die Dimensionierung und den Verlauf des Heizungsrohrnetzes in Gebäude 2 und Gebäude 3 liegen vor. In der Turn- und Versammlungshalle ist eine Lüftungsanlage installiert, die aufgrund des schlechten Zustands des Heizregisters und der Gipskanäle und nicht betriebsbereiter Klappen, nicht mehr betrieben wird.

3.3. Analyse

3.3.1. Gebäudehülle

Der mit Hilfe der Wärmeschutzverordnung berechnete Heizwärmebedarf im Zustand vor der Sanierung beträgt für alle drei Gebäude im Mittel 46 kWh/m²a oder bezogen auf die Nettogrundfläche 200 kWh/m²a. Die mit der Wärmeschutzverordnung ermittelten Wärmebilanzanteile sind in Tabelle 12 zusammengestellt.

Tabelle 12 Wärmebilanzanteile der drei Gebäude vor der Sanierung

Wärmebilanzanteil		Gebäude 1		Gebäude 2		Gebäude 3	
		MWh/a	kWh/m³a	MWh/a	kWh/m³a	MWh/a	kWh/m³a
Gewinne	Heizwärmebedarf	516,9	53	237,9	52	281,5	34
	passive Solargewinne	27,1	3	26,1	6	50,8	6
	interne Gewinne	77,0	8	36,3	8	66,1	8
Verluste	Transmission	462,7	48	225,6	50	262,4	32
	Lüftung	158,3	16	74,7	16	136,0	16

Bei Gebäude 1 haben die Transmissionswärmeverluste einen Anteil von 90 % am Heizwärmebedarf. Dies gilt gleichermaßen für die beiden anderen Gebäude. Wenn die Gebäude nach der Sanierung die Anforderungen der Wärmeschutzverordnung für Neubauten erfüllen sollen, so müssen Heizwärmebedarfskennwerte von ca. 20 kWh/m³a erreicht werden. Werden die Wärmedurchgangskoeffizienten aller Bauteile auf die Mindestwerte für sanierte Bauteile nach der Wärmeschutzverordnung verbessert, so ergibt sich ein gesamtes Einsparpotential von 48 bis 64 %. Bild 23 zeigt für die untersuchten Gebäude die Einsparpotentiale bei Verbesserung der jeweiligen Bauteile.

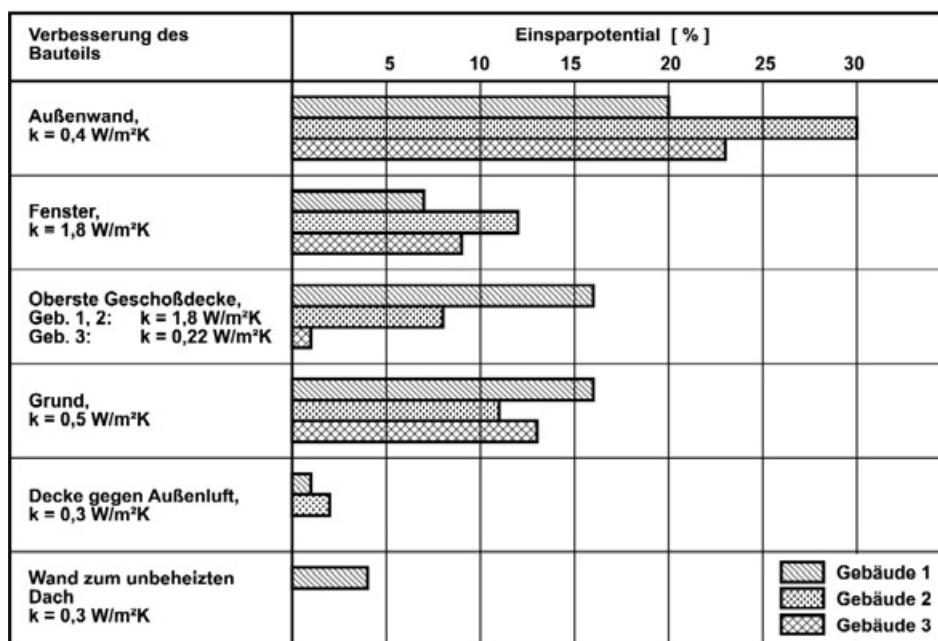


Bild 23 Einsparpotentiale bei der Verbesserung der entsprechenden Bauteile

Die größten Einsparpotentiale liegen mit 20 bis 30 % bei allen drei Gebäuden in der Verbesserung der Außenwände. Daneben besitzt die oberste Geschoßdecke zusammen mit der Wand zum Dachraum des Gebäudes 1 ebenfalls ein Einsparpotential von 20 %. Die Verbesserung des Wärmeschutzes gegen das Erdreich würde in diesem Gebäude weitere 16 % Einsparung erbringen. Bei den beiden anderen Gebäuden hat die Verbesserung des Wärmeschutzes gegen das Erdreich geringere Potentiale. Auch die Fenster weisen mit 7 bis 12 % geringere Einsparpotentiale auf.

3.3.2. Heizungsanlage

Der Heizkennwert der gesamten Schule, also der flächenbezogene Brennstoffverbrauch, lag vor der Sanierung (1990 bis 1994) zwischen 200 kWh/m²a und 220 kWh/m²a. Gegenüber dem Ausgangswert von 1977 mit 382 kWh/m²a konnten durch betriebliche Maßnahmen bereits erhebliche Einsparungen erzielt werden. Der Stromkennwert lag in diesem Zeitraum zwischen 10 und 20 kWh/m²a.

Die beiden Dampfkessel sind vollkommen veraltet. Aufgrund der geringen oder fehlenden Wärmedämmung am Kessel selbst (Bild 19) ergeben sich bereits hier erhebliche Energieverluste. Eine zentrale Leistungsregelung der Niedertemperaturheizung ist im Teillastbetrieb schwer oder nur unbefriedigend zu realisieren [24]. Die Kessel kann im Prinzip nur im Ein-/Aus-Betrieb gesteuert werden. Dadurch kommt es besonders in den Übergangszeiten häufig zum Überheizen des Systems und daraus resultierend hohe Wärmeverluste bzw. Aufwandszahlen. Verteilsystem und Heizkörper sind aufgrund des verwendeten guten Materials (z. B. Gussgliederheizkörper) noch in ordentlichem Zustand. Wegen des hohen Temperaturniveaus (Dampf mit ca. 100°C), der schlechten Regelfähigkeit und den sich daraus ergebenden hohen Aufwandszahlen für die Übergabe ist eine Dampfheizung dennoch nicht mehr zeitgemäß. Das zeigen auch die in Bild 24 dargestellten Ergebnisse der Simulation des Referenzenergiebedarfs der Gebäude $Q_{0,N}$ mit ihren Randbedingungen wie Belegung, innere Lasten etc. Er wird verglichen mit dem gemessenen, mittleren Heizenergieverbrauch Q_3 des Istzustandes für die Jahre 1990 bis 1994.

Die Gesamtaufwandszahl für Übergabe, Verteilung, Erzeugung errechnet sich dann zu $\Sigma e = 1,53$. Die Randbedingungen für die Simulation sind sehr optimistisch gewählt. Die Betriebszeit der Heizung ist exakt angepasst an die Belegungspläne der Klassenzimmer. In der Realität ist die Heizung nur morgens in Betrieb und wird Nachmittags abgeschaltet. Weiterhin wird bei der Belegungsstärke der Klassen in der Simulation konsequent mit 30 Schülern gerechnet. Der tatsächliche Referenzenergiebedarf des Gebäudes $Q_{0,N}$ wird also kleiner sein wie in Bild 24 angegeben. Die Gesamtaufwandszahl für den Istzustand der Schule wird im nachfolgend angegebenen Bereich liegen:

$$\Sigma e = e_1 * e_2 * e_3 = 1,8 \div 2,2 \quad (3.1)$$

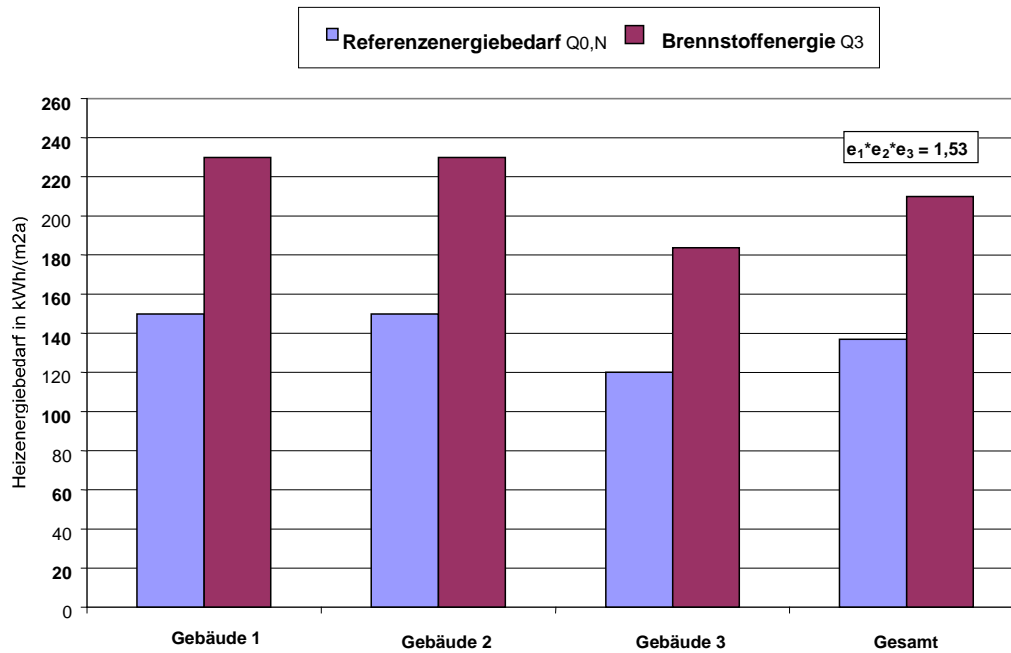


Bild 24: Vergleich des simulierten Referenzenergiebedarfs der Schule $Q_{0,N}$ mit der aufgewendeten Brennstoffenergie Q_3 für den Istzustand der Schule.

Die Berechnung der Normheizlast \dot{Q}_N des Istzustandes ergibt $\dot{Q}_N = 450$ kW. Die Kessel der Altanlage sind also um ca. 60% überdimensioniert. Die Gesamtleistung der Kessel kann bei einer Wärmedämmung des Gebäudes entsprechend Wärmeschutzverordnung um ca. 50% auf $\dot{Q}_N = 360$ kW reduziert werden.

3.4. Konzeptfindung

3.4.1. Wärmeschutz

Mögliche bauliche Sanierungsvarianten

Im folgenden wurde ein Katalog mit möglichen Wärmedämm-Maßnahmen für alle Außenbauteile erstellt. Für die Außenwand wurden die Maßnahmen Wärmedämmverbundsystem mit zwei Wärmeleitfähigkeitsgruppen, vorgehängte Fassade und Innendämmung untersucht. Die Dämmung der obersten Geschoßdecke wurde alternativ mit Polystyrol-Hartschaumplatten, die in Eigenleistung der Schule bzw. in Fremdleistung verlegt werden, und begehbaren Verbundplatten aus Polystyrol und Spanplatten sowie mit einer Einblasdämmung bewertet. Bei der Dämmung des Bodens mußte zwischen den Bereichen Kellerdecke und Bodenplatte unterschieden werden. Es wurden neue Fußbodenaufbauten, zusätzliche Trockenestrichelemente und eine unterseitige Dämmung der Kellerdecke mit Polystyrol-Hartschaumplatten untersucht. Durch die Ausbildung der Kellerdecke des Gebäudes 3 als Betonrippendecke bot sich bei diesem Gebäude die Bewertung einer Einblasdämmung an. Für alle Dämm-Maßnahmen wurden abgestufte Dämmstoffdicken betrachtet. Bei den Fenstern wurden mit den Rahmenmaterialien Holz, Holz-Aluminium und Kunststoff die Wärmdurchgangskoeffizienten von 1,8; 1,3; 1,0 und 0,8 W/m²K bewertet. Die zugrundegelegten Kosten wurden aus abgerechneten Bauvorhaben von Forschungsvorhaben des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik und aus Literatur-Kostentabellen [25 bis 28] ermittelt. Tabelle 13 enthält die Zusammenstellung der untersuchten Sanierungsvarianten und die flächenbezogenen Kosten der Maßnahmen.

Tabelle 13 Zusammenstellung der flächenbezogenen Investitionskosten der untersuchten Sanierungsvarianten

Bauteil	Sanierungsvariante		Schichtdicke	Investitionskosten	Untersucht bei Bauteil
			m	DM/m ²	
Außenwand	Wärmedämmverbundsystem (WDVS)	a) Polystyrol-Hartschaum WLG 040, geklebt mineralischer Oberputz	0,08	131,00	1,2,3
			0,10	138,00	1,2,3
			0,12	145,00	1,2,3
			0,14	152,00	1,2,3
			0,16	159,00	1,2
		b) Polystyrol-Hartschaum WLG 035, geklebt, mineralischer Oberputz	0,06	126,50	3
			0,08	133,50	1,2,3
			0,10	141,50	1,2,3
			0,12	149,50	1,2,3
			0,14	157,50	1,2,3
	Vorgehängte Fassade	Mineralfaser WLG 035, Unterkonstruktion, Faserzementplatten	0,06	215,00	3,
			0,08	222,00	1,2,3
			0,10	235,00	1,2,3
			0,12	255,00	1,2,3
			0,14	275,00	1,2,
			0,16	295,00	1,2
	Innendämmung	Polystyrol-Hartschaum WLG 035, Dampfsperre, Gipskartonplatte ohne Kosten für Änderungen Installation	0,06	128,00	3
			0,08	134,00	1,2,3
			0,10	140,00	1,2,3
0,12			145,00	1,2,3	
0,14			150,00	1,2	
Oberste Geschoßdecke	Verbundplatten	Polystyrol-Hartschaum WLG 035, Verbund mit Spanplatten	0,096	79,80	2
			0,116	86,90	1,2
			0,136	97,40	1,2
	Dämmplatten Eigenleistung	Polystyrol-Hartschaum WLG 035, Spanplatten als Gehbelag	0,08	29,70	2
			0,10	37,10	1,2
			0,12	44,50	1,2
			0,14	51,90	1,2
			0,16	59,30	1,2
			0,20	74,10	1,2
	Dämmplatten	Polystyrol-Hartschaum WLG 035, Spanplatten als Gehbelag	0,08	74,00	2
			0,10	82,00	1,2
			0,12	89,50	1,2
			0,14	97,50	1,2
			0,16	105,50	1,2
			0,20	121,50	1,2
	Einblasdämmung	Mineralfaser WLG 045 Schalung Abdeckung aus Spanplatten	0,10	95,50	2
0,12			101,00	1,2	
0,14			106,50	1,2	
0,16			111,00	1,2	
0,18			116,00	3	
0,22			126,00	3	

Fortsetzung 1 von Tabelle 13

Bauteil	Sanierungsvariante		Schicht- dicke	Investi- tions- kosten	Unter- sucht bei Bauteil
			m	DM/m ²	
Oberste Geschofsdecke	Untersparren- dämmung	Mineralfaser WLG 035 Unterspannbahn, Dampfsperre, Gipskartonplatten	0,12	40,00	1
			0,14	42,00	1
			0,16	44,00	1
	Untersparren- dämmung	Polystyrol-Hartschaum WLG 035 gedübelt, Verkleidung	0,06 0,08 0,10 0,12	27,30 34,70 42,10 49,60	1 1 1 1
Wand zum Dach- raum	Dämmplatten	Polystyrol-Hartschaum WLG 035 geklebt	0,10	116,00	1
			0,12	125,00	1
Decke gegen Außenluft	Außendämmung	Polystyrol-Hartschaum WLG 040 geklebt, gedübelt Putz	0,08	83,40	2
			0,10	90,80	1,2
			0,12	98,30	1,2
			0,14	105,80	1,2
			0,16	113,30	1,2
	Zusätzlicher Fußboden- aufbau	Trockenestrich-Element aus Polystyrol-Hartschaum und Spanplatte ohne Folgekosten, Installation und Türen	0,10 0,12	126,00 150,60	2 2
Keller-decke/ Boden	Zusätzlicher Fußboden- aufbau	Trockenestrichelement aus Polystyrol-Hartschaum und Spanplatte ohne Folgekosten Installation und Türen	0,08	101,40	1,2
			0,10	126,00	1,2
			0,12	150,60	1,2
	Neuer Fußbodenaufbau	Entfernen des alten Fußbodens, Korkplatten WLG 050, Trennschicht, Estrich	0,08	217,10	1,2,3
			0,10	225,50	1,2,3
	Dämmplatten	Polystyrol-Hartschaum WLG 035, gedübelt	0,06	27,30	1
			0,08	34,70	1
			0,10	42,10	1
0,12			49,60	1	
Einblas- dämmung	Mineralfaser WLG 045, Schalung	0,18	116,00	3	
		0,22	126,00	3	
		0,25	135,00	3	

Fortsetzung 2 von Tabelle 13

Bauteil	Sanierungsvariante		Schichtdicke	Investitionskosten	Untersucht bei Bauteil	
			m	DM/m ²		
Wand gegen Boden	Perimeterdämmung	Extrudierter Polystyrol-Hartschaum WLG 035, geklebt, Aushub und Verfüllen	0,06	79,00	2,3	
			0,08	95,00	2,3	
			0,10	111,00	2,3	
			0,12	127,00	2,3	
			0,14	143,00	2	
			0,16	159,00	2	
	Innendämmung	Polystyrol-Hartschaum WLG 035 Dampfsperre, Gipskartonplatten ohne Kosten für Änderungen Installation	0,06	128,00	2,3	
			0,08	134,00	2,3	
			0,10	140,00	2,3	
			0,12	145,00	2,3	
	Abseitenwand	Wärmedämmputz	mineralische Bindemittel expandiertes Polystyrol als Zuschlag, WLG 070, mineralischer Oberputz	0,12	172,00	3
		Innendämmung	Polystyrol-Hartschaum WLG 035, Dampfsperre, Gipskartonplatten ohne Kosten für Änderungen Installation	0,06	128,00	3
0,08				134,00	3	
0,10				140,00	3	
0,12				145,00	3	
Wärmedämmverbundsystem		a) Polystyrol-Hartschaum WLG 040, geklebt, mineralischer Oberputz	0,08	131,00	3	
			0,10	138,00	3	
			0,12	145,00	3	
b) Polystyrol-Hartschaum WLG 035, geklebt, mineralischer Oberputz			0,06	126,50	3	
			0,08	133,50	3	
		0,10	141,50	3		
		0,12	149,50	3		
Fenster	Kunststoffrahmen	$k_F = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ $k_F = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ $k_F = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ $k_F = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ incl. Einbau	-	490,00	1,2,3	
			-	545,00	1,2,3	
			-	665,00	1,2,3	
			-	900,00	1,2,3	
	Holzrahmen	$k_F = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ $k_F = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ $k_F = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ $k_F = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ incl. Einbau	-	570,00	1,2,3	
			-	625,00	1,2,3	
			-	745,00	1,2,3	
			-	980,00	1,2,3	
	Holz-Aluminiumrahmen	$k_F = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ $k_F = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ $k_F = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ $k_F = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ incl. Einbau	-	730,00	1,2,3	
			-	785,00	1,2,3	
			-	905,00	1,2,3	
			-	1140,00	1,2,3	

Effizienz der Einzelmaßnahmen

Die durch die Maßnahmen erbrachten Heizwärmeeinsparungen wurden den zugehörigen Investitionskosten gegenübergestellt. Die Maßnahme je Außenbauteil mit dem günstigsten Verhältnis von Investitionskosten zu erbrachter Heizwärmeeinsparung wurde zur weiteren Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ausgewählt. Die Tabellen 14 bis 16 enthalten die je Maßnahme und Bauteil erreichbaren Heizwärmeeinsparungen und die zugehörigen Investitionskosten.

Tabelle 14 Heizwärmeeinsparung und Investitionskosten der untersuchten Sanierungsvarianten für Gebäude 1

Bauteil	Sanierungsvariante	Dämmstoff- dicke	mittlerer k-Wert	Heizwärme- einsparung	Investitions- kosten
		m	W/m ² K	MWh/a	TDM
Außenwand	1a) WDVS WLG 040	0,08	0,38	106,6	149,1
		0,10	0,32	111,8	157,0
		0,12	0,28	115,6	165,0
		0,14	0,24	118,5	173,0
		0,16	0,22	120,7	181,0
	1b) WDVS WLG 035	0,08	0,34	109,8	151,9
		0,10	0,29	114,6	161,0
		0,12	0,25	118,1	170,1
		0,14	0,22	120,7	179,2
		0,16	0,19	122,8	188,3
	2) Vorgehängte Fassade	0,08	0,39	106,2	252,6
		0,10	0,33	111,2	267,4
		0,12	0,28	114,9	290,2
		0,14	0,25	117,7	312,9
		0,16	0,23	119,9	335,7
	3) Innen- dämmung	0,08	0,34	110,3	152,5
0,10		0,28	115,0	159,3	
0,12		0,24	118,3	165,0	
0,14		0,21	120,9	170,7	
Oberste Geschoßdecke		4) Verbund- platten	0,116	0,31	84,3
	0,136		0,26	88,2	128,3
	5a) Dämm- platten Eigenleistung	0,10	0,27	94,4	49,4
		0,12	0,24	97,4	59,3
		0,14	0,21	99,7	69,1
		0,16	0,19	101,5	79,0
		0,20	0,15	104,1	98,4
	5b) Dämmplatten	0,10	0,27	87,1	108,0
		0,12	0,24	90,1	118,0
		0,14	0,21	92,4	128,7
		0,16	0,19	94,2	139,4
		0,20	0,15	96,7	160,3
	6) Einblasdäm- mung	0,12	0,30	85,3	132,8
		0,14	0,26	88,1	140,2
		0,16	0,23	90,3	146,3
	Wand zum Dachraum	9) Dämmplatten	0,10	0,31	17,4
0,12			0,26	17,7	14,6

Fortsetzung von Tabelle 14

Bauteil	Sanierungs-variante	Dämmstoff- dicke	mittlerer k-Wert	Heizwärme- einsparung	Investitions- kosten	
		m	W/m²K	MWh/a	TDM	
Decke gegen Außenluft	10) Außendäm- mung	0,10	0,33	3,7	2,5	
		0,12	0,29	3,8	2,7	
		0,14	0,25	3,9	2,9	
		0,16	0,22	3,9	3,1	
Kellerdecke/ Boden	12) Zusätzlicher Fußboden- aufbau	0,08	1,11	46,9	93,1	
		0,10	1,04	50,1	115,7	
		0,12	1,00	52,3	138,4	
	13) Neuer Fußboden aufbau	0,08	1,11	46,8	196,6	
		0,10	10,6	49,3	204,7	
	14) Dämmplatten	0,06	1,10	47,2	48,7	
		0,08	1,06	49,5	61,0	
		0,10	1,02	51,0	73,4	
		0,12	1,00	52,0	78,5	
	Fenster		g-Wert			
		21) Kunststoff- rahmen	0,72	1,80	36,4	155,3
			0,55	1,30	42,5	172,8
0,48			1,00	47,2	210,8	
0,42			0,80	49,9	285,3	
22) Holzrahmen		0,72	1,80	36,4	180,7	
		0,55	1,30	42,5	198,1	
		0,48	1,00	47,2	236,2	
		0,42	0,80	49,9	310,7	
23) Holz- Aluminium- rahmen		0,72	1,80	36,4	231,4	
		0,55	1,30	42,5	248,8	
		0,48	1,00	47,2	286,9	
		0,42	0,80	49,9	361,4	

Tabelle 15 Zusammenstellung der Heizwärmeeinsparung und der Investitionskosten der untersuchten Sanierungsvarianten für Gebäude 2.

Bauteil	Sanierungsvariante	Dämmstoff-	mittlerer	Heizwärme-	Investitions-
		dicke	k-Wert	einsparung	kosten
		m	W/m²K	MWh/a	TDM
Außenwand	1a) WDVS WLG 040	0,08	0,38	72,7	93,6
		0,10	0,32	76,0	98,6
		0,12	0,28	78,4	103,6
		0,14	0,24	80,3	108,4
		0,16	0,22	81,7	113,2
	1b) WDVS WLG 035	0,08	0,35	74,7	95,4
		0,10	0,29	77,8	101,0
		0,12	0,25	80,0	106,7
		0,14	0,22	82,0	112,2
		0,16	0,19	83,0	117,7
	2) Vorgehängte Fassade	0,08	0,39	72,4	156,2
		0,10	0,33	75,6	165,3
		0,12	0,29	78,0	179,2
		0,14	0,25	79,8	192,9
		0,16	0,23	81,2	206,7
3) Innen- dämmung	0,08	0,34	75,0	95,7	
	0,10	0,29	78,0	100,0	
	0,12	0,25	80,1	103,6	
Oberste Geschoßdecke	4) Verbund- platten	0,096	0,31	17,6	39,4
		0,116	0,28	18,6	42,9
		0,136	0,24	19,8	48,0
	5a) Dämm- platten Eigenleistung	0,08	0,29	18,3	14,6
		0,10	0,25	19,5	18,3
		0,12	0,22	20,4	21,9
		0,14	0,19	21,1	25,6
		0,16	0,17	21,7	29,2
		0,20	0,14	22,5	36,5
	5b) Dämmplatten	0,08	0,29	18,3	36,5
		0,10	0,25	19,5	40,4
		0,12	0,22	20,4	44,1
		0,14	0,19	21,1	48,1
		0,16	0,17	21,7	52,0
		0,20	0,14	22,5	59,9
	6) Einblasdäm- mung	0,10	0,30	17,9	47,1
		0,12	0,26	18,9	49,8
		0,14	0,24	19,8	52,5
0,16		0,21	20,6	54,7	
Decke gegen Außenluft	10) Außendäm- mung	0,08	0,30	4,7	11,7
		0,10	0,26	5,1	12,7
		0,12	0,23	5,4	13,8
		0,14	0,21	5,7	14,8
		0,16	0,19	5,9	15,9

Fortsetzung von Tabelle 15

Bauteil	Sanierungs-variante	Dämmstoff- dicke	mittlerer k-Wert	Heizwärme- einsparung	Investitions- kosten
		m	W/m ² K	MWh/a	TDM
Decke gegen Außenluft	11) Zusätzlicher Fußboden aufbau	0,10	0,29	4,8	17,7
		0,12	0,25	5,2	21,1
Kellerdecke/ Boden	12) Zusätzlicher Fußboden- aufbau	0,08	0,48	20,7	29,7
		0,10	0,39	21,7	36,9
		0,12	0,33	22,4	44,1
	13) Neuer Fußboden aufbau	0,08	0,45	21,1	63,6
		0,10	0,37	21,9	66,1
Wand gegen Boden	16) Perimeter- dämmung	0,06	0,45	5,4	7,7
		0,08	0,36	5,7	9,2
		0,10	0,30	5,9	10,8
		0,12	0,25	6,1	12,3
		0,14	0,22	6,2	13,9
		0,16	0,20	6,3	15,4
	17) Innen- dämmung	0,06	0,44	5,4	12,4
		0,08	0,35	5,7	13,0
		0,10	0,29	5,9	13,6
		0,12	0,25	6,1	14,1
Fenster		g-Wert			
	21) Kunststoff- rahmen	0,72	1,80	28,7	119,5
		0,55	1,30	32,4	132,9
		0,48	1,00	35,6	162,1
		0,42	0,80	37,3	219,4
	22) Holzrahmen	0,72	1,80	28,7	139,0
		0,55	1,30	32,4	152,4
		0,48	1,00	35,6	181,6
		0,42	0,80	37,3	238,9
	23) Holz- Aluminium- rahmen	0,72	1,80	28,7	178,0
		0,55	1,30	32,4	191,4
		0,48	1,00	35,6	220,6
		0,42	0,80	37,3	277,9

Tabelle 16 Zusammenstellung der Heizwärmeeinsparung und der Investitionskosten der untersuchten Sanierungsvarianten für Gebäude 3.

Bauteil	Sanierungsvariante	Dämmstoff- dicke	mittlerer k-Wert	Heizwärme- einsparung	Investitions- kosten
		m	W/m²K	MWh/a	TDM
Außenwand	1a) WDVS WLG 040	0,08	0,36	68,2	121,0
		0,10	0,31	72,1	128,2
		0,12	0,27	74,9	135,5
		0,14	0,24	77,0	142,7
	1b) WDVS WLG 035	0,08	0,33	70,6	118,7
		0,10	0,28	74,2	125,0
		0,12	0,24	76,8	131,4
		0,14	0,21	78,7	137,7
	2) Vorgehängte Fassade	0,06	0,40	65,6	194,8
		0,08	0,33	70,8	201,2
		0,10	0,28	74,3	212,9
		0,12	0,24	76,9	231,1
3) Innen- dämmung	0,06	0,40	65,9	116,0	
	0,08	0,32	70,9	121,4	
	0,10	0,27	74,4	126,9	
	0,12	0,24	76,9	131,4	
Boden / Kellerdecke	13) Neuer Fußboden aufbau	0,08	0,45	35,3	157,7
		0,10	0,38	37,2	163,8
	15) Einblas- dämmung	0,18	0,55	32,7	99,0
		0,22	0,51	33,7	106,0
Wand gegen Boden	16) Perimeter- dämmung	0,25	0,50	34,0	111,3
		0,06	0,43	3,4	5,7
		0,08	0,35	3,6	6,8
		0,10	0,29	3,8	8,0
	17.) Innen- dämmung	0,12	0,25	3,9	9,1
		0,06	0,42	3,4	9,2
		0,08	0,34	3,7	9,6
		0,10	0,29	3,8	10,0
		0,12	0,25	3,9	10,4

Fortsetzung von Tabelle 16

Bauteil	Sanierungsvariante	Dämmstoff- dicke	mittlerer k-Wert	Heizwärme- einsparung	Investitions- kosten	
		m	W/m ² K	MWh/a	TDM	
Abseitenwand	18) Wärmedämm- putz	0,12	0,47	3,2	7,8	
	19) Innen- dämmung	0,06	0,47	3,2	5,8	
		0,08	0,37	3,4	6,1	
		0,10	0,30	3,5	6,3	
		0,12	0,26	3,6	6,6	
	20a) WDVS WLG 040	0,08	0,41	3,3	5,9	
		0,10	0,34	3,4	6,3	
		0,12	0,29	3,5	6,6	
	20b) WDVS WLG 035	0,06	0,47	3,2	5,7	
		0,08	0,37	3,4	6,1	
		0,10	0,30	3,5	6,4	
		0,12	0,26	3,6	6,8	
	Fenster		g-Wert			
		21) Kunststoff- rahmen	0,72	1,80	23,1	260,7
			0,55	1,30	32,4	290,0
			0,48	1,00	40,0	353,9
0,42			0,80	44,3	478,9	
22) Holzrahmen		0,72	1,80	23,1	303,3	
		0,55	1,30	32,4	332,6	
		0,48	1,00	40,0	396,4	
		0,42	0,80	44,3	521,5	
23) Holz- Aluminium- rahmen		0,72	1,80	23,1	388,5	
		0,55	1,30	32,4	417,7	
		0,48	1,00	40,0	481,6	
		0,42	0,80	44,3	606,6	

Aus den Bildern 25 bis 27 können die günstigsten Maßnahmen abgeleitet werden. Dies sind für das Gebäude 1 die in Eigenleistung der Schule verlegten Dämmplatten mit Gehbelag für die oberste Geschoßdecke und die Innendämmung der Außenwand. Aufgrund des unebenen Untergrundes der obersten Geschosdecke erwies sich die Verlegung von Dämmplatten jedoch als real nicht umsetzbar (vgl. Kapitel 3.5.1). Da in den Kosten für die Innendämmung keine Folgekosten wie zum Beispiel Zusatzmaßnahmen an Wärmebrücken, das Verlegen von Stromleitungen und die Verbreiterung von Fensterbänken enthalten war und eine Innendämmung aufgrund des feuchtetechnisch kritischen Verhaltens vermieden werden sollte, wurde in den weiteren Untersuchungen das Wärmedämmverbundsystem mit der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 betrachtet. Die Fenster mit Kunststoffrahmen und eine Dämmung unterhalb der Kellerdecke wurden zur weiteren Betrachtung ausgewählt.

Einzelmaßnahmen Gebäude 1

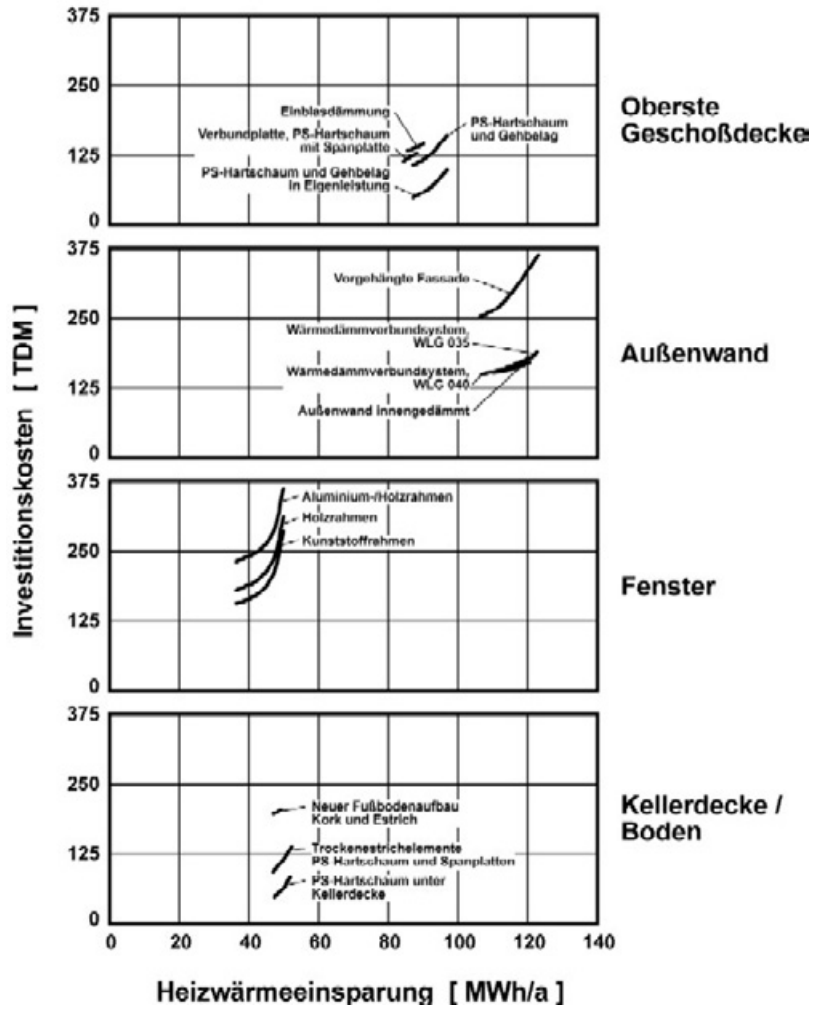


Bild 25 Einzelmaßnahmen Gebäude 1

Einzelmaßnahmen Gebäude 2

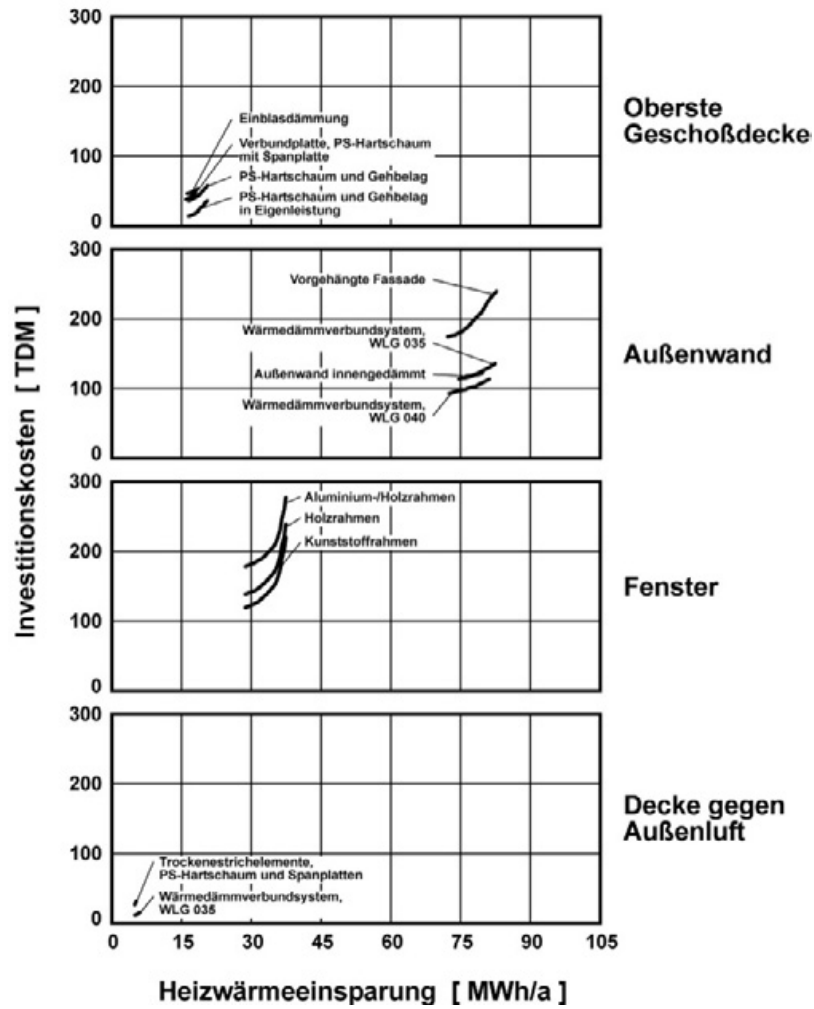


Bild 26 Einzelmaßnahmen Gebäude 2

Einzelmaßnahmen Gebäude 3

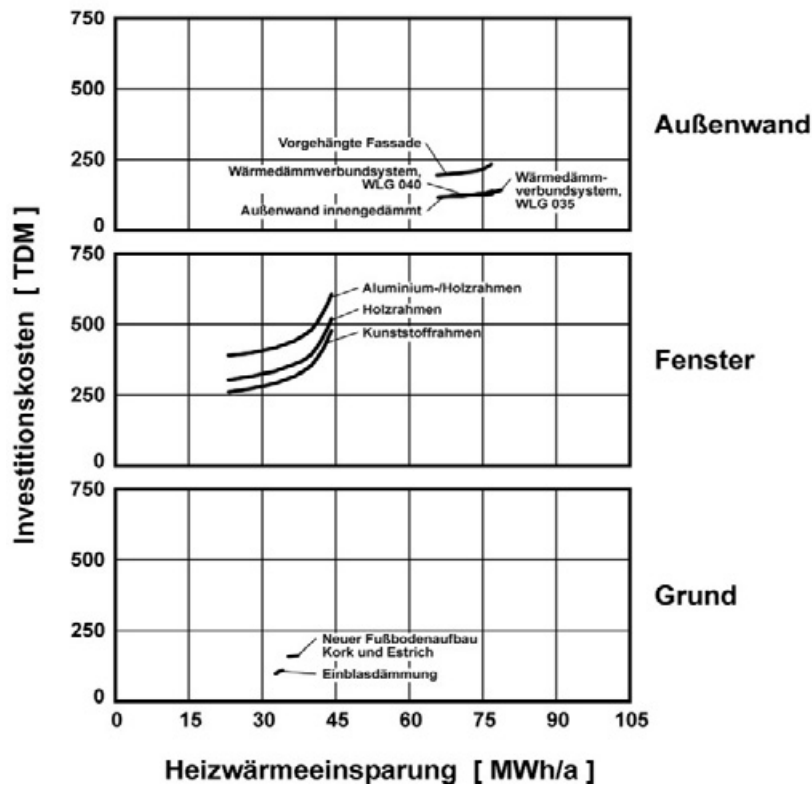


Bild 27 Einzelmaßnahmen Gebäude 3

Für Gebäude 2 wurde als günstigste Dämm-Maßnahme der obersten Geschoßdecke ebenfalls die Verlegung von Polystyrol-Hartschaumplatten in Eigenleistung ermittelt. Die nächst günstigste Variante wäre die Verlegung der gleichen Platten durch einen Handwerksbetrieb. Auch für das Gebäude 2 wurde als Außendämmung das Wärmedämmverbundsystem der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 für die weitere Betrachtung ausgewählt. Eine Dämmung des Bodens erwies sich generell als sehr kostenaufwendig. Das Verlegen von Trockenestrichelementen ist im Gegensatz zu einem neuen Bodenaufbau jedoch kostengünstiger. Diese Variante konnte jedoch wegen der fehlenden Sturzhöhe nicht umgesetzt werden. Bei den Fenstern sind Ausführungen mit Kunststoffrahmen am preiswertesten. Die Dämmung der Decke gegen Außenluft mit einem Wärmedämmverbundsystem ist in jedem Falle günstiger als die raumseitige Ausführung eines veränderten Bodenaufbaus.

Beim Gebäude 3 wurden keine Dämm-Maßnahmen an der Dachdecke untersucht, da der Wärmedurchgangskoeffizient vor der Sanierung bereits $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ betrug. Bei den untersuchten Dämm-Maßnahmen der Außenwand erwies sich ebenfalls das Wärmedämmverbundsystem der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 als die günstigste Variante. Wie bei den beiden anderen Gebäuden wurden auch hier die Fenster mit Kunststoffrahmen zur weiteren Betrachtung ausgewählt. Die untersuchte Einblasdämmung zwischen den Rippen der Kellerdecke erwies sich als preiswertere Lösung.

Kosteneinsparpotentialkurven

Die Kosteneinsparpotentialkurven der drei Gebäude sind in den Bildern 28 bis 30 dargestellt. Sowieso-Maßnahmen wurden nicht berücksichtigt, da keine typischen Instandhaltungszyklen für solche Gebäude bei der Stadt Stuttgart vorlagen. Es waren zwar einige Fenster schon stark verwittert oder sogar verfault, jedoch wurde dem IBP gegenüber von der Stadt Stuttgart bestätigt, daß das Auswechseln **aller** Fenster in absehbarer Zeit nicht erfolgt wäre. Bei vergleichbaren Objekten, an denen Sowieso-Maßnahmen anstehen, ergeben sich entsprechend günstigere Ergebnisse bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

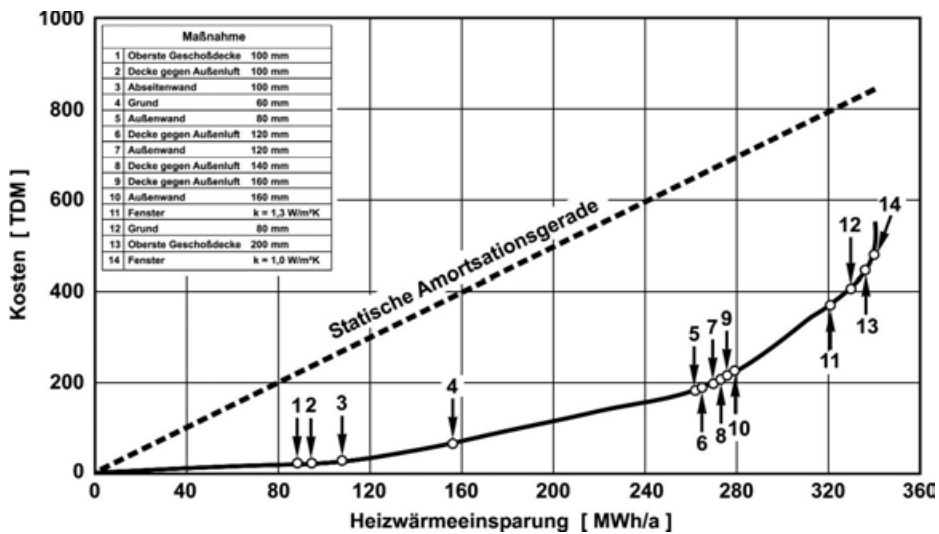


Bild 28 Kostenpotentialkurve für Gebäude 1

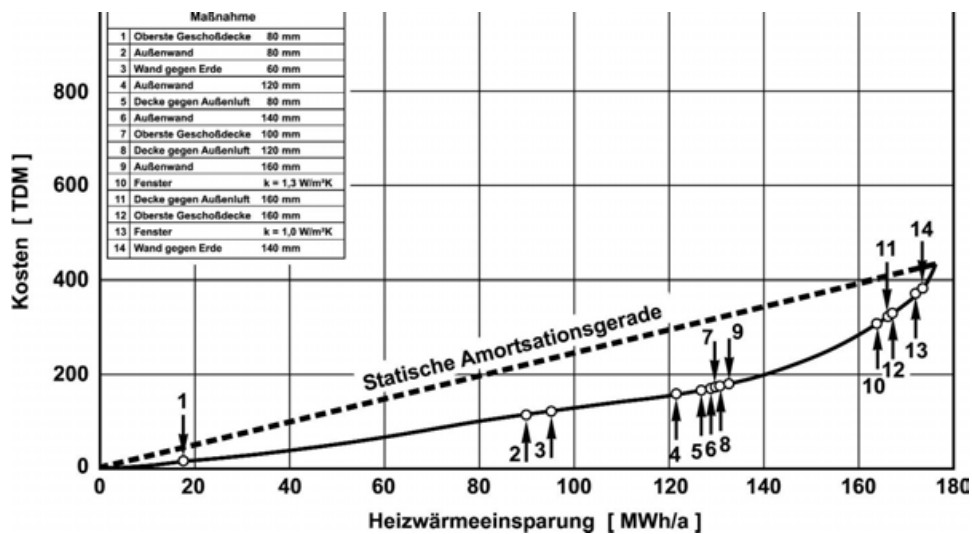


Bild 29 Kostenpotentialkurve für Gebäude 2

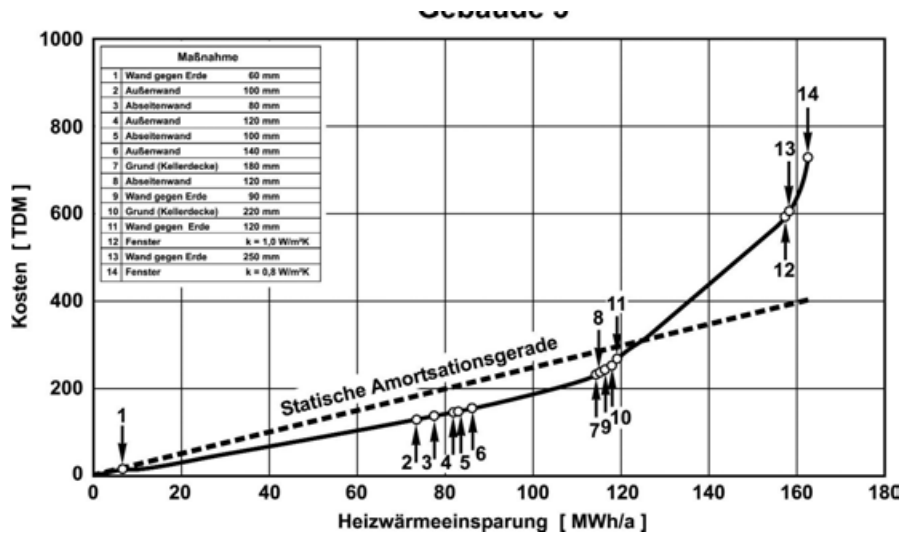


Bild 30 Kostenpotentialkurve für Gebäude 3

Tabelle 16 Minderinvestitionen in die Heizungsanlage bezogen auf den Zustand des Gebäudes 1 vor der Sanierung.

Bauteil	Sanierungsvariante	Dämmstoffdicke	Minderinvestitionen		
			Wärmeerzeugung	Heizkörper	gesamt
			m	DM	DM
Außenwand	1a) WDVS WLG 040	0,08	8125	24374	32499
		0,10	8518	25553	34071
		0,12	8780	26340	35120
		0,14	9042	27126	36168
		0,16	9173	27519	36692
Oberste Geschoßdecke	5a) Dämmplatten Eigenleistung	0,10	7153	21459	28612
		0,12	7370	22109	29479
		0,14	7587	22759	30346
		0,16	7731	23193	30924
		0,20	8020	24060	32080
Wand zum Dachraum	9) Dämmplatten	0,10	1434	4302	5736
		0,12	1466	4397	5863
Decke gegen Außenluft	10) Außen-dämmung	0,10	279	838	1118
		0,12	285	857	1142
		0,14	292	875	1167
		0,16	296	889	1185
Kellerdecke / Boden	14) Dämmplatten	0,06	2599	7798	10397
		0,08	2693	8079	10772
		0,10	2787	8360	11147
		0,12	2833	8501	11334
Fenster	21) Kunststoff-rahmen	k-Wert	2923	8770	11693
		1,80	3837	11511	15347
		1,30	4385	13155	17540
		1,00	4750	14251	19001
		0,80			

Bei der Ermittlung der Investitionskosten fand jedoch bei allen drei Gebäuden Berücksichtigung, dass bei einer erhöhten Dämmung ein Wärmeerzeuger (Heizkessel) niedrigerer Heizleistung benötigt wird. Bei Gebäude 1 sollten zusätzlich die Heizkörper erneuert werden. Durch die erhöhte Dämmung entstehen ebenfalls Minderinvestitionen für die Wärmeübergabe. Diese verringerten Investitionen wurden der Wärmedämmung gutgeschrieben. Die Tabellen 17 bis 19 zeigen die errechneten Minderinvestitionen für Wärmeerzeugung und Wärmeübergabe. Die Minderinvestitionen für Heizkörper wurden mit 0,54 DM/W und für die Wärmeerzeugung mit 0,18 DM/W angesetzt. Bei statischer Betrachtung wurde bei den Gebäuden 1 und 2 für alle Maßnahmen Wirtschaftlichkeit erzielt.

Tabelle 18 Minderinvestitionen in die Heizungsanlage bezogen auf den Zustand des Gebäudes 2 vor der Sanierung.

Bauteil	Sanierungs- variante	Dämmstoff- dicke	Minderinvestitionen		
			Wärme- erzeugung	Heizkörper*	gesamt
		m	DM	DM	DM
Außen- wand	1a) WDVS WLG 040	0,08	5553	16661	22214
		0,10	5800	17401	23201
		0,12	5965	17895	23860
		0,14	6130	18388	24518
		0,16	6212	18635	24847
Oberste Geschoß- decke	5a) Dämm- patten Eigen- leistung	0,08	1465	4394	5859
		0,10	1571	4714	6285
		0,12	1651	4954	6605
		0,14	1731	5193	6924
		0,16	1784	5353	7137
Decke gegen Außenluft	10) Außen- dämmung	0,08	355	1065	1420
		0,10	387	1162	1549
		0,12	412	1235	1647
		0,14	428	1283	1711
		0,16	444	1332	1776
Keller- decke / Boden	12) Zusätz- licher Fußbodena ufbau	0,08	986	2959	3945
		0,10	1034	3102	4136
		0,12	1065	3197	4262
Wand gegen Boden	16) Perimeter- dämmung	0,06	255	765	1020
		0,08	271	812	1083
		0,10	281	844	1125
		0,12	290	870	1160
		0,14	295	885	1180
Fenster	21) Kunststoff- rahmen	k-Wert			
		1,80	2387	7162	9549
		1,30	3090	9268	12358
		1,00	3511	10532	14043
		0,80	3791	11375	15166

* Diese Minderinvestitionen werden der Wärmedämmung nicht gutgeschrieben, da die Heizkörper nicht erneuert wurden.

Tabelle 19 Minderinvestitionen in die Heizungsanlage bezogen auf den Zustand des Gebäudes 3 vor der Sanierung.

Bauteil	Sanierungs- variante	Dämmstoff- dicke	Minderinvestitionen		
			Wärme- erzeugung	Heizkörper*	gesamt
		m	DM	DM	DM
Außen- wand	1a) WDVS WLG 040	0,08	5219	15658	20877
		0,10	5480	16441	21921
		0,12	5689	17067	22756
		0,14	5845	17537	23382
Keller- decke / Boden	15) Einblas dämmung	0,18	1556	4668	6224
		0,22	1609	4825	6434
		0,25	1622	4864	6486
Wand gegen Boden	16) Perimeter- dämmung	0,06	163	488	651
		0,08	173	519	692
		0,10	181	542	723
		0,12	186	558	744
Abseiten- wand	20a) WDVS WLG 040	0,08	159	477	636
		0,10	165	494	659
		0,12	169	507	676
Fenster	21) Kunststoff- rahmen	k-Wert			
		1,80	2176	6529	8705
		1,30	3709	11126	14835
		1,00	4628	13885	18513
		0,80	5241	15724	20965

* Diese Minderinvestitionen werden der Wärmedämmung nicht gutgeschrieben, da die Heizkörper nicht erneuert wurden.

Dynamische Bewertung

Die dynamische Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen erfolgte mit der Barwert-Methode. In den Bildern 31 bis 33 sind die Barwertdifferenzen über der Heizwärmeeinsparung für alle drei Gebäude aufgetragen. Der Berechnung wurde ein Betrachtungszeitraum von 30 Jahren zugrundegelegt. Der mittlere Wärmepreis wurde mit 8,25 Pf/kWh (inkl. MwSt.) berücksichtigt. Die Preissteigerungsrate für Wärme wurde mit 5% und der Zinssatz mit 6% angesetzt. Bei Gebäude 2 wird der maximale monetäre Gewinn mit einer 120 mm Dämmung der Außenwand, einer 80 mm Dämmung der Decke gegen Außenluft und einer 80 mm Dämmung der obersten Geschoßdecke erreicht. Bei Fenstern mit einem k-Wert von 1,0 W/m²K kann keine Wirtschaftlichkeit erreicht werden. Empfohlen wurden für die drei Gebäude alle Maßnahmen, die bei der dynamischen Bewertung eine positive Barwertdifferenz aufwiesen.

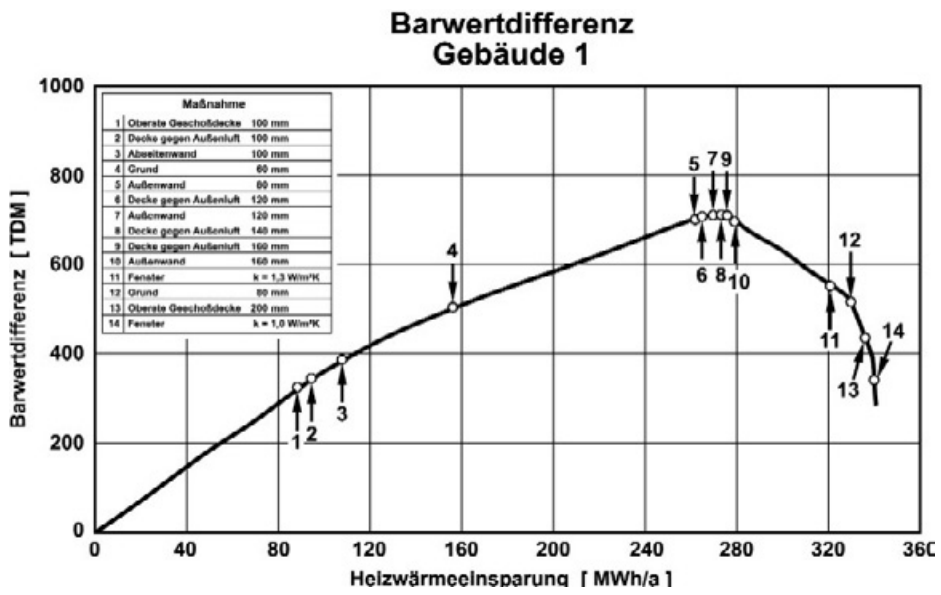


Bild 11 Barwertdifferenz Gebäude 1

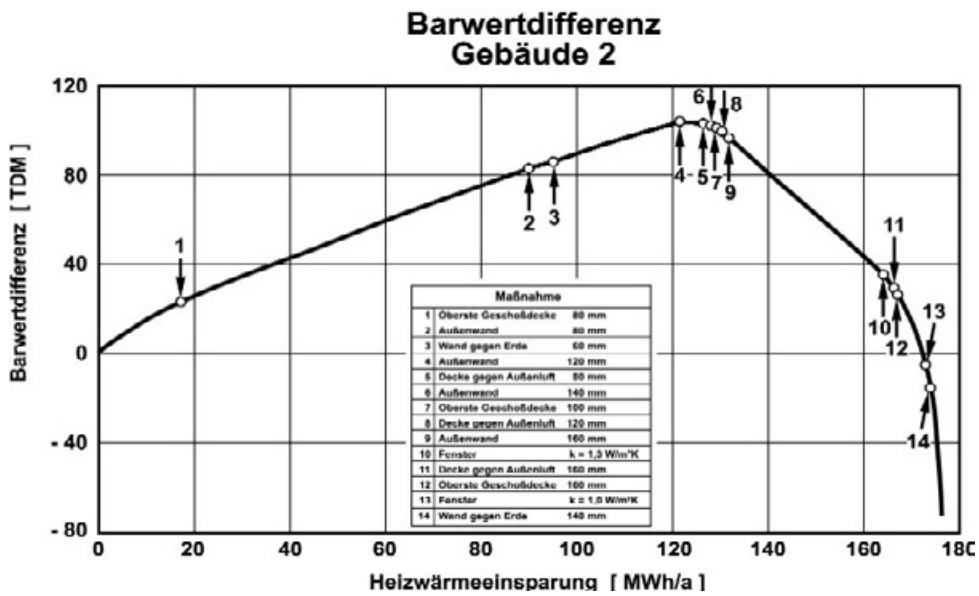


Bild 12 Barwertdifferenz Gebäude 2

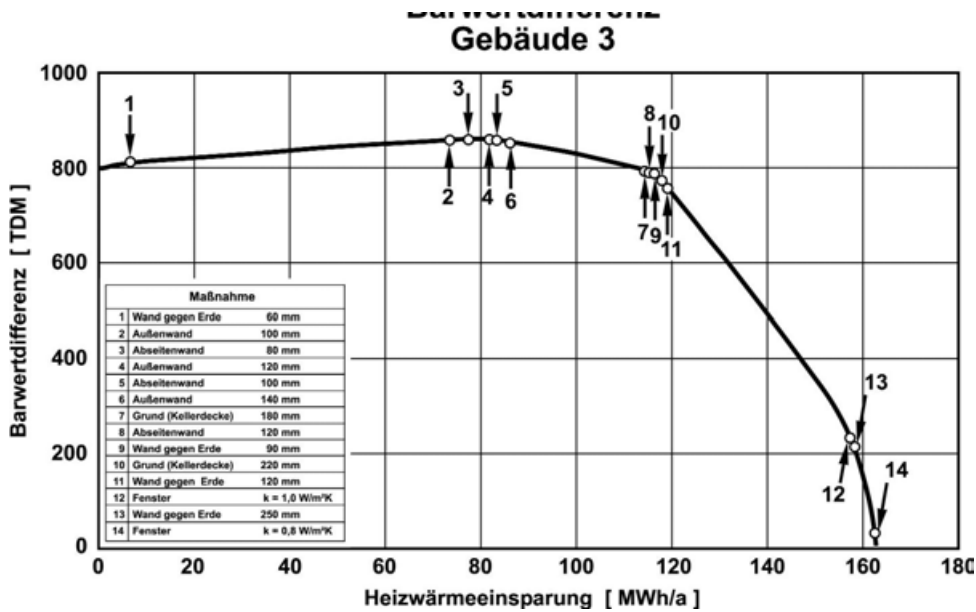


Bild 33 Barwertdifferenz Gebäude 3

Ausgeführte Maßnahmen

Die Maßnahmen, die im Zuge der energetischen Sanierung der Schule realisiert werden, und die dazu gehörigen Gebäudekennwerte zeigen die Tabellen 20 bis 23. Die Außenwände der Gebäude 1 und 2 wurden mit einem 14 cm dicken Wärmedämmverbundsystem gedämmt. In der Turnhalle im Gebäude 1 wurde aus gestalterischen Gründen eine 10 cm dicke Innendämmung vorgesehen, die im oberen Bereich unter der Decke auf 4 cm zurückspringt. Gebäude 3 wurde mit einem 12 cm dicken Wärmedämmverbundsystem aus Mineralfasern gedämmt. Es wurden in allen drei Gebäuden Fenster mit einem k-Wert der Verglasung nach Bundesanzeiger von $1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ und einem g-Wert nach Bundesanzeiger von 0,58 eingebaut. Im Gebäude 3 wurden nur die Fenster in den Klassenräumen auf der Ostseite ausgetauscht. Auf der Westseite wiesen die Kunststoffenster noch einen guten Zustand auf und die Fenster grenzen bis auf drei Gruppenräume ausschließlich an niedertemperierte Räume wie Toiletten und Flure. Die oberste Geschoßdecke über der Turnhalle wurde mit einer Aufblasdämmung aus Mineralfasern 20 cm dick gedämmt. Über den Klassenräumen auf der Nordseite und dem Klassentrakt erfolgte ebenso wie bei Gebäude 2 die Dämmung mit 18 cm dicken Polystyrol-Hartschaumplatten. Über dem Klassentrakt wurden zusätzlich Spanplatten als Gehbelag aufgebracht. Im Gebäude 2 führten Schüler der höheren Klassen die Dämmarbeiten als Projektarbeit aus. Eine weitere Dämmung des Daches im Gebäude 3 war nicht sinnvoll, da durch eine früher vorgenommene Sanierung ein guter Wärmeschutz bereits vorhanden ist. Die Decke gegen Außenluft wurde mit 16 cm gedämmt. Als Material wurde aus Brandschutzgründen ein Mineral-faserwärmedämmverbundsystem verwendet.

Tabelle 20 Zusammenstellung der ausgeführten Maßnahmen am Gebäude 1.

Bauteil	Wärmedämm-Maßnahme	Schicht- dicke	Wärmeleit- fähigkeit	mittlerer k- Wert
		cm	W/mK	W/m²K
Außenwand	Außendämmung: WDVS Polystyrol-Hartschaum	14,0	0,040	0,26
	Innendämmung: Polystyrol-Hartschaum	10,0	0,040	
	Dampfsperre Gipskartonplatte			
	Innendämmung Turnhalle oberer Bereich			
	Polystyrol-Hartschaum Lattung (20 %)	4,0	0,040	
	Dampfsperre Gipskartonplatte			
Oberste Geschoßdecke / Dachschrägen	Innendämmung Turnhalle mittlerer Bereich Polystyrol-Hartschaum Lattung (16 %) Dampfsperre	10,0	0,040	0,19
	HWL-Platte Holzverschalung	5,0	0,09	
	Geschoßdecke Hausmeister gelochte Spanplatte Mineralwolle Mineralwolle Balken (22%)	16,0 8,0	0,040 0,040	
	Dachschräge Mineralwolle Sparren (24%)	14,0	0,040	
Oberste Geschoßdecke	Oberste Geschoßdecke Polystyrol-Hartschaum	18,0	0,040	0,19
	Oberste Geschoßdecke Turnhalle	20,0	0,045	

Fortsetzung von Tabelle 20

Wand zum Dachraum	Mineralwolle Holzständer Gipskartonplatte (16,2%)	16,0	0,035	0,23
Kellerdecke/Boden	keine Maßnahmen	-	-	2,21
Decke gegen Außenluft	Eingang Parkplatz Nord entfällt	-	-	0,73
	Innendämmung Mineralwolle	4,0	0,04	
Fenster	Wärmeschutzverglasung mit Holz-Aluminiumrahmen	Gesamtenergie-durchlaßgrad: 0,58		1,40

Tabelle 21 Zusammenstellung der ausgeführten Maßnahmen am Gebäude 2.

Bauteil	Wärmedämm-Maßnahme	Schichtdicke	Wärmeleitfähigkeit	mittlerer k-Wert
		cm	W/mK	W/m²K
Außenwand	Außendämmung: WDVS Polystyrol-Hartschaum	14,0	0,040	0,25
	Innendämmung: Polystyrol-Hartschaum Dampfsperre Gipskartonplatte	10,0	0,040	
Oberste Geschosdecke	Polystyrol-Hartschaum	18,0	0,040	0,18
Boden/Kellerdecke	keine Maßnahmen	-	-	2,35
Wand gegen Boden	keine Maßnahme	-	-	1,91
Decke gegen Außenluft	Mineralfaser Wärmedämmverbundsystem	16,0	0,04	0,19
Fenster	Wärmeschutzverglasung mit Holz-Aluminiumrahmen	Gesamtenergie-durchlaßgrad: 0,58		1,40

Tabelle 22 Zusammenstellung der ausgeführten Maßnahmen am Gebäude 3.

Bauteil	Wärmedämm-Maßnahme	Schicht- dicke	Wärmeleit- fähigkeit	mittlerer k- Wert
		cm	W/mK	W/m²K
Außenwand	Mineralfaser	12,0	0,040	0,27
Dachdecke	Keine Maßnahme	-	-	0,28
Kellerdecke / Boden	Kellerdecke Polystyrol-Hartschaum Formteile zwischen den Rippen der Betondecke (75 %)	26,0	0,040	0,74
	Boden Keine Maßnahme	-	-	
Wand gegen Boden	keine Maßnahme	-	-	1,69
Abseiten- wand	Polystyrol-Hartschaum	10,0	0,040	0,34
Fenster	Ostseite: Wärmeschutzverglasung mit Holz-Aluminiumrahmen	Gesamtenergie- durchlaßgrad: 0,58 k-Wert: 1,4		1,82
	Westseite und übrige Isolierverglasung mit Kunststoffrahmen	Gesamtenergie- durchlaßgrad: 0,80 k-Wert: 2,60		

Tabelle 23 Zusammenstellung der Gebäudekennwerte aller drei Gebäude nach der Sanierung.

Kennwert		Einheit	Wert		
			Gebäude 1	Gebäude 2	Gebäude3
Wärmetauschende Hüllfläche	Außenwand	m ²	1114	714	906
	Fenster	m ²	313	244	532
	Dach	m ²	1338	493	726
	Keller/Boden	m ²	1319	293	726
	Wand gegen Boden	m ²	-	97	72
	Decke gegen Außenluft	m ²	9	140	-
	Wand zum Dach	m ²	117	-	-
	Abseitenwand	m ²	-	-	45
	Summe	m ²	4210	1981	3008
beheiztes Gebäudevolumen		m ³	9673	4537	8263
Hüllflächenfaktor A/V		m ⁻¹	0,44	0,44	0,36
beheizte Nettogrundfläche		m ²	1990*	1110	2060

* ohne Nettofläche Hausmeisterwohnung

In den Gebäuden 1 und 2 erwiesen sich Maßnahmen an der Kellerdecke und der Bodenplatte als sehr kompliziert und daher unwirtschaftlich. In Gebäude 3 wurde die Kellerdecke mit elastifizierten Prismen mit trapezförmigem Schnitt, die den Maßen der Betonrippendecke angepaßt waren, ausgeführt. Die mittleren k-Werte der Bauteile aller Gebäude nach der Sanierung sind in Tabelle 24 zusammengestellt. Die sich daraus ergebenden Wärmebilanzen sind der Tabelle 25 zu entnehmen.

Tabelle 24 Zusammenstellung der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten aller drei Gebäude nach der Sanierung.

Bauteil	mittlerer k-Wert [W/m²K]		
	Gebäude 1	Gebäude 2	Gebäude 3
Außenwand	0,26	0,25	0,27
Fenster	1,40	1,40	1,82
Oberste Geschoßdecke / Dachdecke	0,19	0,18	0,28
Kellerdecke / Boden	2,21	2,35	0,74
Wand gegen Boden	-	1,91	1,69
Decke gegen Außenluft	0,73	0,19	-
Wand zum Dachraum	0,23	-	-
Abseitenwand	-	-	0,34
Gesamt	0,57	0,53	0,69

Tabelle 25 Zusammenstellung der Wärmebilanzanteile der drei Gebäude nach der Sanierung.

Wärmebilanzanteil		Gebäude 1		Gebäude 2		Gebäude 3	
		MWh/a	kWh/m³a	MWh/a	kWh/m³a	MWh/a	kWh/m³a
Gewinne	Heizwärmebedarf	245,2	25	99,2	22	153,0	18
	passive Solargewinne	19,4	2	18,9	4	41,6	5
	interne Gewinne	77,4	8	36,3	8	66,1	8
Verluste	Transmission	182,9	19	79,7	18	124,7	15
	Lüftung	159,1	16	74,7	16	136,0	16

Beleuchtung

Energieeinsparungen können nicht nur durch Verbesserung des Wärmeschutzes der Gebäudehülle und durch bessere Anlagentechnik erreicht werden sondern sind auch durch Maßnahmen am Beleuchtungssystem zu erzielen.

Zur Bestimmung der Einsparpotentiale wurden ausgehend vom Istzustand für repräsentative Klassenräume in den drei Bauteilen Variationen des Beleuchtungssystems aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht untersucht. Im folgenden wird Gebäude 2 näher betrachtet. Die Verhältnisse in den anderen Bauteilen sind ähnlich.

Mögliche Energieeinsparungen

Die errechneten Energieverbrauchswerte sind in Tabelle 26 zusammengestellt und in Bild 34 dargestellt. Der Bestand weist mit alten Anstrichen und Beleuchtungssystem sowie manuellem Betrieb der Leuchten und des Sonnenschutzes einen Energieverbrauch von 10,6 kWh/m²a auf. Dieser Wert liegt nahe an dem Stromkennwert der Schule vor der Sanierung von 12 kWh/m²a (Durchschnittswert 1992 bis 1995).

Tabelle 26 Errechnete Energieverbräuche der Beleuchtung für einen repräsentativen Klassenraum in Bauteil 2.

Variante	Energieverbrauch [kWh/m ² a]
1. Istzustand	10.6
2. Neuer Anstrich: Erhöhung der Reflexionsgrade	8.1
3. Tageslichtabhängige Kunstlichtregelung: separates Dimmen der fensternahen und fensterfernen Leuchtenreihen	3.8
4. Optimaler realisierbarer Fall: Neue Anstriche, Tageslichtabhängige Kunstlichtregelung,	2.4

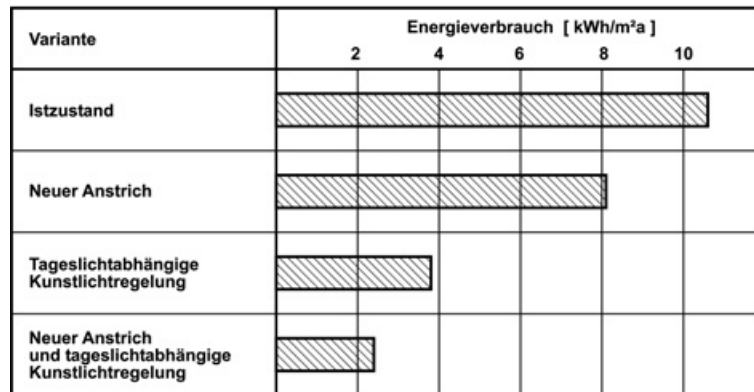


Bild 34: Errechnete Energieverbräuche für die Beleuchtung eines Klassenraumes in Gebäude 2

Variante 1 zeigt, daß bereits durch einen Neuanstrich und damit verbundener Erhöhung der Reflexionsgrade der Raumumschließungsflächen durch den Anstieg des Tageslichtniveaus der benötigte Energieverbrauch für Kunstlicht gesenkt werden kann. Er liegt bei 8,1 kWh/m²a und damit ca. 25 % unter dem Istzustand. Durch alleinige Erneuerung des Beleuchtungssystems, Variante 2 (Einsatz von Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten, sowie einer tageslichtabhängigen Kunstlichtregelung) läßt sich der Energieverbrauch mit 3,8 kWh/m²a auf unter 40 % des Istzustandes senken, durch die Kombination der beiden Maßnahmen, Variante 3, erhält man mit 2,4 kWh/m²a eine Reduktion auf nur noch ca. 25 % des ursprünglichen Verbrauchs.

Die größten energetischen Einsparungen sind somit durch den Einsatz eines dimmbaren Systems zu erzielen. Die in der Sanierung der Schule durchzuführenden Sowieso-Maßnahmen, wie Erneuerung der Anstriche, wirken sich ebenfalls positiv auf den Energieverbrauch für die Beleuchtung aus.

Wirtschaftlichkeit

Wie schon bei den Untersuchungen von Maßnahmen an der Gebäudehülle wurde für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die Barwertmethode angewandt. Es wurde eine Nutzungszeit der Anlage von 15 Jahren zugrunde gelegt. Tabelle 27 zeigt die Kostenverhältnisse wobei sämtlichen Investitionskosten die Minderkosten infolge reduzierter installierter Leistung, eingesparter Energie und Einsparungen durch Reduktion in der Lampenfolgebestückung gegenübergestellt wurden. Es ist ersichtlich, dass bei dem zugrunde gelegten Stromarbeitspreis von 0,189 DM/kWh und einem Stromleistungspreis von 243 DM/kW die Kompletterneuerung der Beleuchtungsanlage nicht annähernd durch die Minderkosten gedeckt werden können.

Tabelle 27 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für den Fall, dass die Investitionskosten sämtliche Maßnahmen, d.h. neue Anstriche und Erneuerung des Beleuchtungssystems, beinhalten.

Variante	Minderkosten [DM/a]	Investitionskosten [DM]	Barwert, 15 a [DM]
Neuer Anstrich	28,-	1030,-	-696,-
Dimmbares Beleuchtungssystem, konvent.	121,-	2418,-	-973,-
Dimmbares Beleuchtungssystem, EIB-Bus	121,-	3604,-	-2159,-
Neuer Anstrich, Dimmbares Beleuchtungssystem, konventionell	137,-	3448,-	-1814,-
Neuer Anstrich, Dimmbares Beleuchtungssystem, EIB-Bus	137,-	4634,-	-2998,-

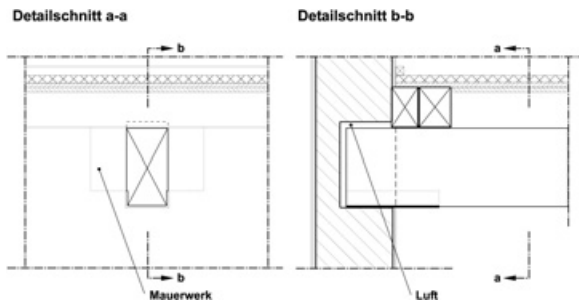
Da im Rahmen der Schulsanierung die Anstriche sowie die Leuchten in ausgewählten Gebäudeteilen sowieso erneuert werden sollten, sind die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zusätzlich für die um die Anstriche und Leuchten reduzierten Investitionskosten durchgeführt worden. Die noch verbleibenden Investitionskosten bestehen somit nur noch aus den Zusatzkosten für die tageslichtabhängige Kunstlichtregelung. Tabelle 28 zeigt, daß eine konventionelle Kunstlichtregelung nun in den Bereich der Wirtschaftlichkeit rückt. Eine Lichtregelung mittels des EIB Busses bleibt bei den momentan noch hohen Kosten für die Buskomponenten bzw. niedrigen Stromkosten unwirtschaftlich.

Tabelle 28 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für den Fall, dass die Investitionskosten die „So-wieso-Maßnahmen“, d. h. neue Anstriche und Leuchten, nicht beinhalten.

Variante	Minderkosten [DM/a]	Investitionskosten [DM]	Barwert, 15 a [DM]
Neuer Anstrich	28,-	-	334,-
Dimmbares Beleuchtungssystem, konvent.	121,-	787,-	658,-
Dimmbares Beleuchtungssystem, EIB-Bus	121,-	1973,-	-529,-
Neuer Anstrich, Dimmbares Beleuchtungssystem, konventionell	137,-	787,-	879,-
Neuer Anstrich, Dimmbares Beleuchtungssystem, EIB-Bus	137,-	1973,-	-337,-

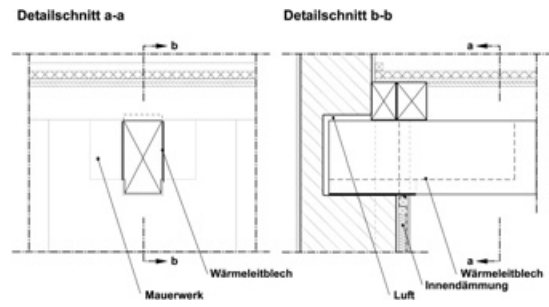
3.4.2. Detailplanung Wärmeschutz

Wesentliche Detailpunkte wurden auf ihre Wärmebrückenwirkung hin untersucht und Verbesserungsvorschläge zur Ausführung unterbreitet. In der Turnhalle wurde aus gestalterischen Gründen eine Innendämmung ausgeführt. Die in die Außenwand einbindenden sechs Deckenbalken der Turnhalle stellen dabei kritische Detailpunkte bezüglich der Feuchtebildung dar. Bei der Ausführung wurden daher verschiedene Varianten der Balkeneinbindung ausgebildet: Wärmeleitbleche, Ausschäumen mit Polyurethanschaum, eine Kombination der beiden Maßnahmen und eine Variante ohne zusätzliche Maßnahmen am Balkenkopf wurden ausgeführt. Feuchtemeßelektroden sowie Temperaturfühler ermöglichen die Überwachung des Holzzustandes der Balkenköpfe und geben so Aufschluß über das Bauteilverhalten in der Praxis. Bild 35 zeigt die zeichnerische Darstellung der sechs ausgeführten Varianten. Sämtliche ausgeführte Innendämmungen erforderten einen großen Planungsaufwand. Bei der Ausführung der Innendämmung in der Turnhalle waren neben den Balkenköpfen Verlagerungen von Gerätebefestigungen, Detailplanungen der Emporenbrüstung, Anschlüsse von Decken und der Anschluß an die Bühne der Turnhalle zu beachten.



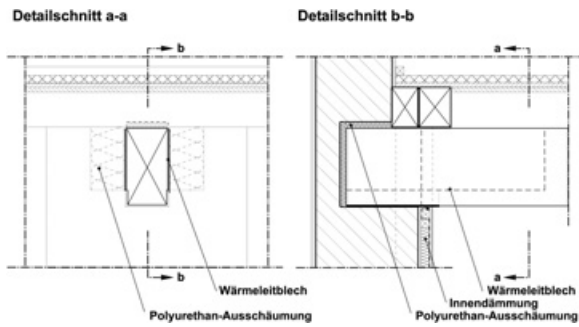
Variante 1

- ohne Wandverstärkung
- ohne Innendämmung



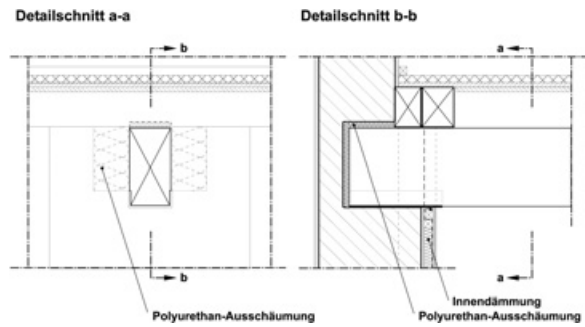
Variante 2

- mit Wandverstärkung
- mit Innendämmung
- mit Wärmeleitblech



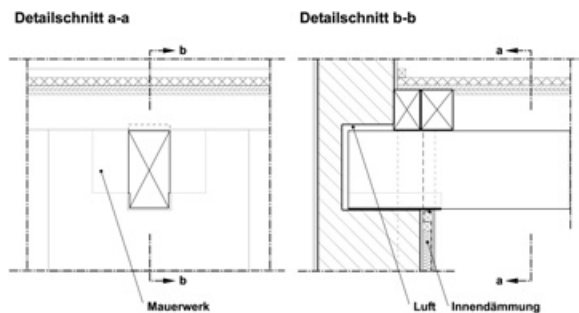
Variante 3

- mit Wandverstärkung
- mit Innendämmung
- mit Wärmeleitblech
- mit Polyurethan-Ausschäumung



Variante 4

- mit Wandverstärkung
- mit Innendämmung
- mit Polyurethan-Ausschäumung



Variante 5

- mit Wandverstärkung
- mit Innendämmung

Bild 35: zeichnerische Darstellung der sechs ausgeführten Varianten der Balkenköpfe in der Turnhalle.

Bei einem Gespräch mit den industriellen Projektpartnern entstand die Idee, die Dämmung der Kellerdecke des Gebäudes 3 mit vorgefertigten Formteilen aus elastifiziertem Polystyrol anstelle einer Einblasdämmung mit Schalung auszuführen. Die Formteile sollten dabei zwischen die Rippen der Decke geklebt werden. Einen Schnitt durch die Decke und eine photographische Aufnahme der Decke zeigt Bild 36. Dabei wurde aufgrund von Berechnungen entschieden, daß ein Verzicht auf die aufwendige Dämmung der Rippenunterseite vertretbar sei, zumal an der Unterseite der Rippen 2 cm dicke Bretter als verlorene Schalung angebracht waren. Durch diese Lösung ist die Begehrbarkeit des Kriechkellers weiterhin gewährleistet.

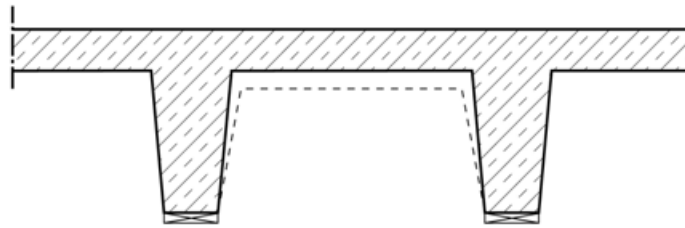


Bild 36 Schnitt und photographische Darstellung der Kellerdecke im Gebäude 3

3.4.3. Heizungsanlage

Pflichtenheft

Wegen der Unterschiede in ihren Nutzungszeiten werden im Pflichtenheft Klassenräume nach Bauteilen getrennt betrachtet. Ebenso die Turnhalle, das Lehrerzimmer, einige exemplarische Sonderräume, z.B. Lehrmittelraum, Flure und Rektoramt.

Heizzeiten

Charakteristisch für die Klassenräume ist der stark instationärer Heizbetrieb. Durch tagsüber gleichbleibende Kernnutzungszeiten, repräsentiert durch den Stundenplan (siehe Tabelle 29) verfügt man über zuverlässige Angaben über die Art und Dauer der Nutzung. In den Abendstunden bzw. an den Wochenenden besteht eine individuelle Zusatznutzung durch Elternsprechtag, Erwachsenenbildung oder Sportveranstaltungen in der Turnhalle.

Tabelle 29: Heizzeiten beispielhaft für Klassenzimmer im Gebäude 2

Uhrzeit	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnersta	Freitag
07.45-	ALLE KLASSEN				
08.35-					
09.25-					
10.10-	Große				
10.30-	ALLE KLASSEN				
11.20-					
12.10-					
13.50-	R 123	R 2.21			
14.40-	R 123	R 2.21			
15.35-		R 2.21 / R 2.24			

2.25

Im Rektorat und im Lehrerzimmer hingegen ist die Nutzung nicht vorhersehbar. Die Heizzeiten erstrecken sich über den ganzen Tag. Die Flure müssen wegen der abendlich stattfindenden Veranstaltungen bis 22:00 Uhr beheizt werden.

Innenlasten

Unter der Rubrik „Innenlasten“ wird bewertet, ob Innenlasten hoch oder niedrig sind. Hohe Innenlasten haben einen erheblichen Einfluss auf den Betrieb der Heizanlage. Innenlasten fallen in den Klassenräumen durch Wärmeabgaben durch Personen und Beleuchtung an. Pro Person wird eine Wärmeabgabe von 100 W frei. Für die Beleuchtung werden 6 W/m² angesetzt. Bei 22 Schülern pro Klassenzimmer betragen die Innenlasten demnach 2600 W. Die Heizlast für den Auslegungsfall nach DIN 4701 [27] beträgt 5200 W, d.h. die Innenlasten decken die Hälfte der Normheizlast. Dagegen fallen in Räumen wie Flure oder Lehrmittlräume keine bis geringe Innenlasten an. Im Rektorat betragen die Innenlasten für elektrische Geräte (PC, Drucker, Fax), Beleuchtung und 3 Personen ca. 1100 W. Bei einer Heizlast von 9100 W sind die Innenlasten verhältnismäßig gering und müssen bei der Konzeptentwicklung nicht betrachtet werden. Dies gilt wegen der nur zeitweiligen Belastung auch für die Flure. In der Turnhalle fallen im Normalfall (Schulsport) bezogen auf die Normheizlast geringe Innenlasten an. Bei größeren Veranstaltungen wird der Einfluss von Innenlasten schnell spürbar so dass dafür eine Sonderregelung getroffen werden muss.

Lüftung

Eine Randbedingung für die Systemwahl bei der GHS Plieningen war, keine Lüftungsanlagen zur Sicherstellung eines geforderten Außenluftwechsels für die Klassenräume einzusetzen. In der Spalte „Lüftungsart“ ist daher in allen Räumen bis auf die Turnhalle ein „F“ für Fensterlüftung vermerkt. Da die Turnhalle zeitweise auch als Versammlungshalle genutzt wird, wurde eine mechanische Zu- und Abluftanlage vorgesehen.

An die Lüftung in Schulräumen werden nach DIN 1946 [28] besondere Anforderungen gestellt. So wird für Unterrichtsräume ein personenbezogener Außenluftstrom von 30 m³/h angegeben. Damit ergibt sich ein erforderlicher Luftwechsel wie in Tabelle 30 dargestellt.

Tabelle 30 Erforderliche Außenluftwechsel beispielhaft für Gebäude 2.

Zone	Außenluftstrom in m ³ /h*Pers	Anzahl Personen	Volumen in m ³	Luftwechsel in 1/h
Klassenzimmer* BT2	30	110	1311	2,5
Rektoramt	30	2	261	0,3
Flure BT2*	30	5	1025	0,3

*) Räume zusammengefasst

Der erforderliche Luftwechsel nach Tabelle 30 muss durch

- Fugenlüftung (Infiltration) und
- Zusatzlüftung (Ventilation) gewährleistet werden.

Die Fugenlüftung berücksichtigt den durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle auftretenden Außenluftstrom. In jedem Raum wirkt ein ständiger Außenluftwechsel (Infiltration) von 0,3 1/h. Für die Zusatzlüftung wird angenommen, dass nur in den Pausen mit geöffneten Fenstern gelüftet wird. Dann kann nach [29] ein 8-facher Luftwechsel angesetzt werden. Während der Unterrichtszeit bleiben die Fenster geschlossen, d. h. es stellt sich ein Luftwechsel von 0,3 1/h ein. Damit ergibt sich ein durchschnittlicher Luftwechsel von

$$\bar{n} = \left(\frac{5}{50} * LW_5 + \frac{45}{50} * LW_{0,3} \right) * \frac{6}{5} = 1,28 \frac{1}{h} \quad 3.2$$

Der damit erreichbare Außenluftstrom beträgt dann z.B. für einen Klassenraum in Gebäude 2

$$\dot{V} = V * \bar{n} = 262,2 m^3 * 1,28 \frac{1}{h} = 335,6 \frac{m^3}{h} \quad 3.3$$

bzw. pro Person

$$\dot{V}_{Pers.} = \frac{335,6m^3}{22Pers \cdot h} = 15,25 \frac{m^3}{h \cdot Pers.} \quad 3.4$$

Um den nach DIN geforderten Wert erreichen zu können müsste ca. 12 Minuten lang mit allen offenen Fensterflügeln gelüftet werden. Das erscheint vor allem in der Winterzeit unrealistisch. Allerdings ist der erreichbare Luftwechsel auch abhängig vom Dichteunterschied der Luft innen und außen. Daher ist tendenziell die erforderliche Lüftungszeit im Winter bei niedriger Außentemperatur kürzer als im Sommer. Für die weiteren Untersuchungen wird davon ausgegangen, dass sieben Minuten lang pro Unterrichtsstunde mit Stoßlüftung gelüftet wird (Variante 3). Dabei kommt man nach obiger Rechnung auf einen stündlichen Außenluftstrom von 20 m³/h Pers. In Tabelle 31 sind weitere Lüftungs-Alternativen dargestellt, die jedoch nicht für die Berechnung des Jahresheizenergiebedarfs herangezogen werden. Sie zeigen aber, wie wichtig es ist, die Fensterlüftung konsequent durchzuführen.

Tabelle 31 Lüftungsvarianten

Lüftungsvarianten	Fensterlüftung in Minuten	Außenluftstrom in m ³ /h*Pers.	Luftwechsel Fugenlüftung in 1/h	Luftwechsel Zusatzlüftung in 1/h
1	-	6	0,5	-
2	5	15	0,3	1
3	7	20	0,3	1,35
4	12	30	0,3	2,25

Behaglichkeitsvorgaben

Die Auslegungs-Innentemperatur der verschiedenen Raumarten können dem Pflichtenheft unter „Behaglichkeitsvorgaben“ entnommen werden. Für die Absenkttemperaturen z.B. in den Schulferien oder an Wochenenden sind zwei Varianten vorgesehen. Für Variante B1 und C1 gilt, dass die Raumtemperatur nicht unter 15°C fallen soll. Die Varianten mit der Heizflächenauslegung nach [30] werden mit unterschiedlichen Stütztemperaturen berechnet.

Anforderungsstufe

Für Räume, die intensiv genutzt werden, also für Klassenräume, Lehrerzimmer und Rektorat wird die Anforderungsstufe 3 vorgeschlagen. Diese Räume, insbesondere die Klassenräume werden bis hin zu den Außenumschließungsflächen genutzt, d.h. auch in Bereichen, in denen Behaglichkeitsdefizite durch Fallluftströmung und Abstrahlung durch kalte Oberflächen auftreten können. Hierzu wird unter „Behaglichkeitszone“ ein Abstand angegeben, neben

dem genannte Defizite nicht mehr auftreten dürfen. Dieser Mindestabstand von einem Meter soll bei Klassenräumen, Lehrerzimmer und Rektorat eingehalten werden. Bei sehr großen Räumen z.B. der Turnhalle genügt ein Abstand von 2 m. Für Flure und Räume, in denen Behaglichkeitsdefizite i.A. in Kauf genommen werden genügt Anforderungsstufe 1, also lediglich Einhaltung der Auslegungs-Innentemperaturen und Deckung der Normheizlast. Hierfür muss keine Behaglichkeitszone angegeben werden, da Behaglichkeitsdefizite vor kalten Umfassungsflächen vom Nutzer akzeptiert werden.

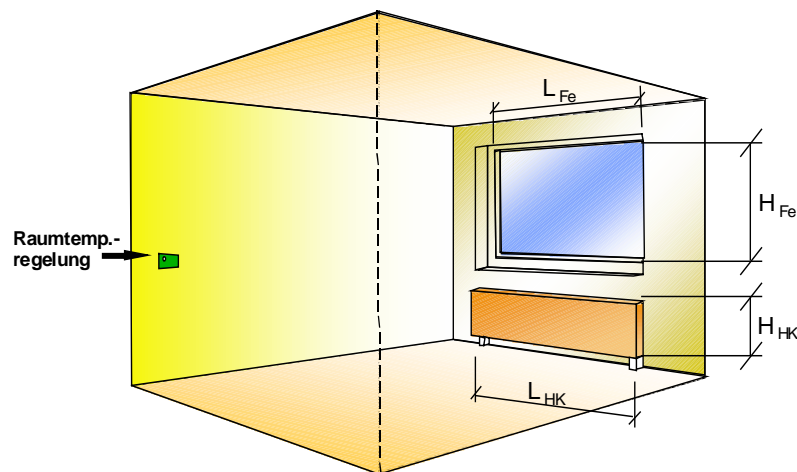
Sonstige Vorgaben

Aufheizreserven gewinnen in Gebäuden mit hohen Dämmwerten an Bedeutung. Da die Transmissionsheizlast durch zunehmende Dämmung geringer wird, verlängert sich vor allem nach längeren Heizunterbrechungen die Aufheizzeit. Dies wird in Räumen mit hohen Anforderungen an die Behaglichkeit nicht hingenommen, daher wird für Klassenräume, Lehrerzimmer und Rektorat eine Aufheizreserve von 60% vorgeschlagen. Zusatznutzen im Sinne der VDI 6030 werden für Schulen nicht vorgeschlagen.

Konzeptvorschläge

Aufgrund der oben festgelegten Anforderungen und der daraus abgeleiteten Funktionen wird für die Nutzenübergabe unter Beachtung der Bestandsaufnahme ein System mit Heizflächen in Verbindung mit Fensterlüftung vorgeschlagen.

Gegenüber der traditionellen Heizflächenauslegung allein nach dem Normwärmebedarf (einfunktional) wird hier eine mehrfunktionale Auswahl und Auslegung der Heizfläche nach VDI 6030 angewandt. Um Fallluft vollständig abzufangen, sollte der Heizkörper mindestens Fensterbreite haben und um die Abstrahlung zum Fenster auszugleichen, sollte das Produkt aus der Heizkörperansichtsfläche und - untertemperatur mindestens den Produkt aus Fensterfläche und - untertemperatur entsprechen. Diese beide Grundprinzipien der mehrfunktionalen Heizkörperauslegung sind in Bild 37 verdeutlicht. Eine Auslegung entsprechend dieser Methode führt zu groß dimensionierten Heizflächen mit niedrigen Auslegetemperaturen. Zum Zeitpunkt der Planung war das Verfahren noch nicht in rechnergestützten Standardauslegungsprogramme enthalten. Der dadurch entstandene Mehraufwand dürfte in Zukunft entfallen.



1.	$L_{HK} \geq L_{Fe}$
2.	$L_{HK} * H_{HK} * \Delta\vartheta_{HK} \geq L_{Fe} * H_{Fe} * \Delta\vartheta_{Fe}$

Bild 37 Grundregeln der mehrfunktionalen Heizkörperauslegung

Die Auslegung beinhaltet:

- in einem ersten Schritt die Festlegung des Anbringensortes der Raumheizfläche, die Typauswahl für den vorliegenden Zweck, die Festlegung der Ansichtsabmessungen und die Berechnung der mittleren Heizflächenübertemperatur,
- in einem zweiten Schritt die Berechnung der Vor- und Rücklauftemperatur, des Heizwasserstroms und der Norm-Wärmeleistung der Raumheizfläche unter Beachtung der Normheizlast und einer vorgegebenen Aufheizreserve,
- in einem dritten Schritt die Auswahl des erforderlichen Heizflächenmodells.

Wegen der nach VDI 6030 ermittelten Auslegetemperaturen ergeben sich hohe Kosten für Heizkörper. Um Kosten zu sparen und trotzdem die Vorgaben der Auslegungsrichtlinie erfüllen zu können werden die Auslegetemperaturen von 60°/40°C vorgeschlagen. Wird die Vorlauftemperatur auf 80°C angehoben, erhalten die Heizflächen eine Leistungsreserve von immer noch ca. 60 %. Diese wird gebraucht, um die Räume nach einer Absenkphase (Nacht-, Wochenend- oder Ferienabsenkung) in einem angemessenen Zeitraum aufheizen zu können.

Als Stellglieder werden bei diesem Konzept raumweise angeordnete, elektrisch beheizte Zonenventile verwendet. Die Regelung erfolgt durch ein raumorientiertes DDC-Regelungssystem. Damit kann der Anlagenbetrieb bestmöglich an die Nutzungszeiten angepasst werden. Der "Komfortbetrieb" der Heizkörper in den Klassenräumen wird über Anwesenheitstaster angefordert. Dadurch sollen über eine reine Zeitplansteuerung hinaus Einspareffekte erzielt werden, wenn beispielsweise Räume entgegen dem Stundenplan nicht genutzt wird. Bei diesem Einzelraum-Regelungskonzept wird zunächst jeder Raum bis zum Beginn der im Stundenplan vorgesehene Nutzung, d.h. nach jeder Nutzungspause, auf die

Solltemperatur erwärmt. Um die Raumtemperatur weiterhin auf dieser Temperatur zu erhalten, ist es notwendig, jeweils zu Beginn jeder Nutzungsperiode (typischerweise eine Unterrichtseinheit) den entsprechenden Anwesenheitstaster zu betätigen. Ansonsten wechselt die Raumregelung in den Betriebszustand "Nutzungspause" d.h. "Absenkbetrieb". Hierbei wird die Raumtemperatur freigegeben und die Heizung erst wieder aktiviert, wenn eine Anforderung vorliegt oder wenn die minimale Temperatur (Stützttemperatur) von 10°C erreicht ist. Dem beschriebenen Konzept werden Alternativen gegenübergestellt, die sich aus herkömmlichen Verfahren herleiten. So wurden Konzeptvorschläge mit Heizkörperauslegungstemperaturen von 80°C/60°C und 70°C/50°C sowie einer Thermostatventilregelung berücksichtigt.

Für die Wärmeverteilung wurden sowohl Konzepte entwickelt, die eine vollständige Erneuerung des Rohrnetzes vorsahen als auch Konzepte, bei denen nur die Verteilung im Bereich der ehemaligen Dampfheizung erneuert wird. Allen Konzepten gemeinsam war der Einsatz von neuen, drehzahlgeregelten Pumpen sowie eine Wärmedämmung des gesamten Verteilnetzes.

Wärmeerzeugung

Aus den Simulationsrechnungen ergibt sich eine notwendige Kesselleistung von ca. 360 kW. Aus Redundanzgründen wird diese Leistung aufgeteilt auf zwei Heizkessel. Als Grundlastkessel wird ein Gasbrennwertkessel mit einer Leistung von 210 kW und als Spitzenlastkessel ein Niedertemperaturkessel mit einer Leistung von 170 kW eingesetzt. Der Spitzenlastkessel kann bei Bedarf die Vorlauftemperatur des Grundlastkessels über eine Einspritzschaltung erhöhen. Da das Heizsystem des neu errichteten Gebäudes 4 auf eine Heizmitteltemperatur von 80°C/60°C ausgelegt ist, wurde für diesen Heizungskreis ein separater Rücklaufsammler vorgesehen, der getrennt in den Grundlastkessel zurückgeführt wird. Die Beheizung der Hausmeisterwohnung ist vollständig von der Beheizung der Schule abgekoppelt worden. Zur Beheizung und Trinkwassererwärmung ist eine Gastherme mit indirekt beheiztem Trinkwasserspeicher installiert.

Bewertung der Heizungskonzepte

Bei der Bewertung der Konzeptvorschläge wird überprüft, ob die definierten Fest- und Grenzforderungen erfüllt werden und inwieweit die formulierten Wünsche erreicht werden können. Zur Konzeptfindung bei der GHS Plieningen wurden Erfahrungen aus dem Forschungsprojekt VDI 2067 [10], das Gebäude- und Anlagensimulationsprogramm TRNSYS [31], die Barwertmethode zur Wirtschaftlichkeitsberechnung [15] und Ergebnisse aus dem Programmsystem GEMIS [14] zur Emissionsbewertung verwendet.

Für jeden Konzeptvorschlag wird ein Simulationsmodell erstellt, das sowohl die Gebäude- als auch Anlagenparameter enthält. Mit Hilfe der Gebäude- und Anlagensimulation werden dann für alle Konzeptvorschläge die Energiebedarfswerte, zusätzliche Auslegungsgrößen wie die maximal erforderliche Heizleistung und evtl. Bewertungsgrößen für die thermische Behaglichkeit bestimmt. Bei allen Simulationsrechnungen werden dabei die gleichen Randbedingungen angenommen. Die errechneten Energiebedarfswerte dienen wiederum als Eingangswerte für die Wirtschaftlichkeitsberechnung (verbrauchsgebundene Kosten) und für die Emissionsbewertung.

In Tabelle 32 sind die 10 untersuchten Varianten dargestellt. Es werden drei verschiedene Temperaturspreizungen miteinander verglichen. Darüber hinaus werden zwei unterschiedliche Arten der Raumtemperaturregelung einander gegenübergestellt. Bei Variante A1 und A2 wird die Heizflächenauslegung nach VDI 6030 [30] angewendet (Auslegetemperaturen 60°/40°C). Die maximal zulässige Absenkttemperatur beträgt für Variante A1 und A2 10°C, während bei herkömmlicher Heizflächenauslegung (Variante B1 und C1) wegen der fehlenden Leistungsreserve nur eine Absenkttemperatur von 15°C möglich ist. In den Klassenräumen wird bei den Varianten A2, B1 und C1 der Einsatz einer intelligenten Einzelraumregelung vorgesehen. In Variante A1 werden normale Thermostatventile eingesetzt.

Tabelle 32 Darstellung der untersuchten Varianten

Variante	Vor.- Rücklauftemperatur	HK BT 1	HK BT 2	Regelung	Dämmung
A 1	60 / 40	neu	neu	Einzelraum-Regelung	BT 1 / BT 2 / BT 3 Soll
A 2	60 / 40	neu	neu nach 10 Jahren	Einzelraum-Regelung	BT 1 / BT 2 / BT 3 Soll
A 3	60 / 40	neu	alt	Einzelraum-Regelung	BT 1 / BT 2 / BT 3 Soll
A 4	60 / 40	neu	neu	Thermostatventile	BT 1 / BT 2 / BT 3 Soll
A 5	60 / 40	neu	alt	Thermostatventile	BT 1 / BT 2 / BT 3 Soll
B 1	70 / 50	neu	neu	Einzelraum-Regelung	BT 1 / BT 2 / BT 3 Soll
B 2	70 / 50	neu	alt	Einzelraum-Regelung	BT 1 / BT 2 / BT 3 Soll
C 1	80 / 60	neu	alt	Thermostatventile	BT 1 / BT 2 / BT 3 Soll
C 2	80 / 60	neu	alt	Einzelraum-Regelung	BT 1 / BT 2 / BT 3 Soll
D	60 / 40	neu	alt	Einzelraum-Regelung	BT 2 Minimaldämmung BT 1 / BT 3 Soll

In den Bildern 38 bis 40 sind die Ergebnisse der Simulation des Jahresenergiebedarfs und der Wirtschaftlichkeitsrechnung dargestellt. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit liegt die Variante mit den niedrigeren Systemtemperaturen trotz deutlich höherer Investitionskosten in etwa gleich wie die anderen Varianten. Werden neben den Kosten noch die weiteren Wünsche wie Energieeinsparung und minimale Umweltbelastung berücksichtigt, ist der Einsatz eines Systems entsprechend A2 eindeutig gerechtfertigt.

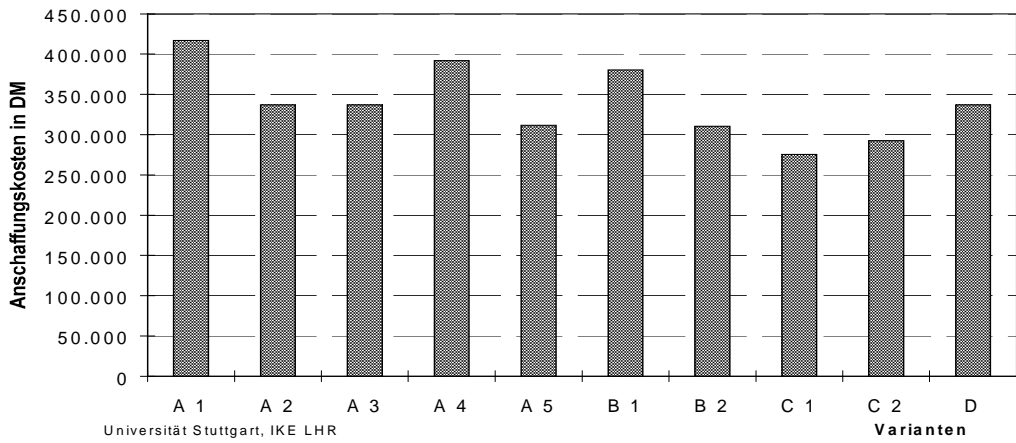


Bild 38 Investitionskosten der Varianten

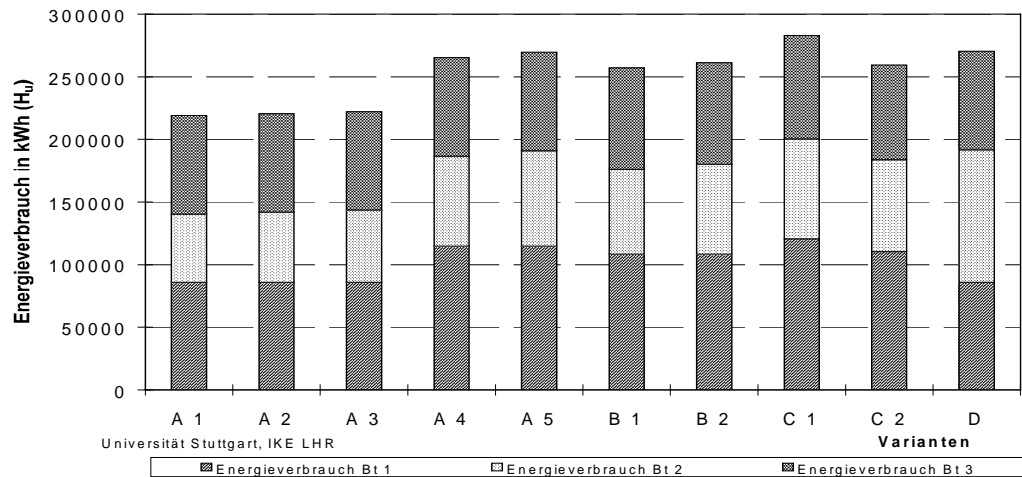


Bild 39 Heizenergiebedarf der Varianten

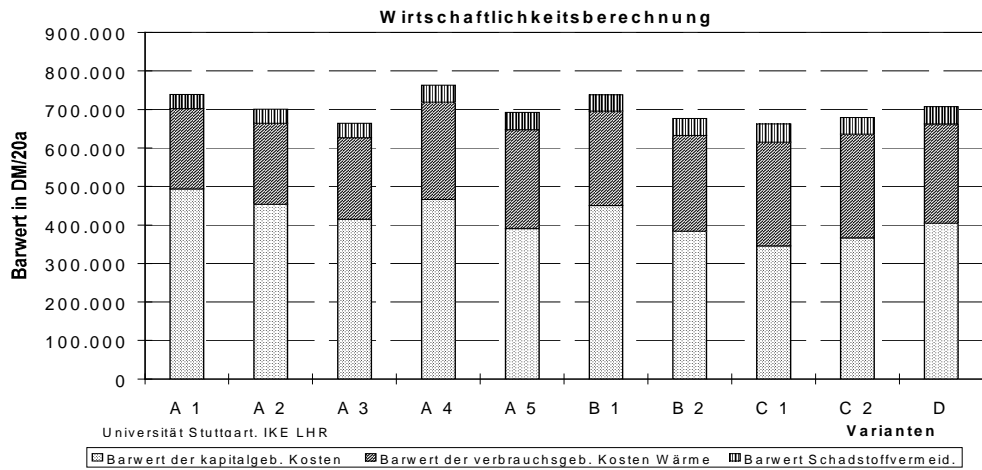


Bild 40 Wirtschaftlichkeitsberechnung für die einzelnen Varianten

3.5. Umsetzung

3.5.1. baulicher Wärmeschutz

Im Laufe der Umsetzungsphase erfolgte bei den ausführenden Firmen durch die enge Zusammenarbeit mit Bauleitung und den Instituten eine zunehmende Sensibilisierung für die Ausführung von wichtigen Bauteilen und Detailpunkten, sowie für die generelle Problematik der Energieeinsparung. Während zu Beginn noch eine intensive Bauüberwachung notwendig war, kamen zum Schluß viele Anregungen und Verbesserungsvorschläge von den ausführenden Handwerkern selbst. Die Zusammenarbeit zwischen Industriepartnern und ausführenden Firmen war teilweise sehr gut, so daß eine Rückkopplung beim Auftreten von Problemen bei der Ausführung erfolgen konnte und ein guter Wissenstransfer ins Handwerk erfolgte. Aufgrund des geringen Planungsvorlaufes konnten einige Entscheidungen erst auf der Baustelle getroffen werden. Änderungen von Details erfolgten deshalb manchmal, ohne daß eine Dokumentation erfolgen konnte, direkt auf der Baustelle in Absprache mit den ausführenden Firmen. Durch die Einbeziehung der Schüler bei der Dämmung der obersten Geschoßdecke im Rahmen von Projektarbeit sollte das Bewußtsein für Energiesparmaßnahmen im schulischen Bereich geschärft werden und eine stärkere Identifizierung der Schüler mit „ihrer neuen Schule“ erzielt werden.

Auf der obersten Geschoßdecke des Gebäudes 1 wurde eine Einblasdämmung aufgebracht, die aus der Ausschreibung als kostengünstigste Variante hervorging. Diese Dämmung ist mechanisch sehr empfindlich, d.h. beim Betreten wird die Dämmung beschädigt. Die Anwendung solcher Dämmung kann daher nur dort empfohlen werden, wo das Betreten sicher verhindert werden kann wie z.B. Abseiten oder bei vollflächiger Abdeckung.

Beim Ausbau der alten Fenster wurde der vormalige Fensteranschlag weggeschlagen, wobei größere Ausbrüche entstanden, die nicht mit Mörtel ausgeglichen wurden. Die eingesetzten Kompribänder konnten, wie Bild 41 zeigt, oft die Ausbrüche nicht mehr ausfüllen. Erst nachdem die ausführende Firma und die Bauleitung auf die entstehenden Mängel bei der Luftdichtheit aufmerksam gemacht wurden, erfolgte das Ausfüllen der Ausbrüche mit Mörtel.



Bild 41 Beim Ausbau der alten Fenster und beim Entfernen des alten Fensteranschlages entstanden Ausbrüche, die oft nicht mit Mörtel ausgeglichen wurden und von den Kompribändern nicht abgefangen werden konnten

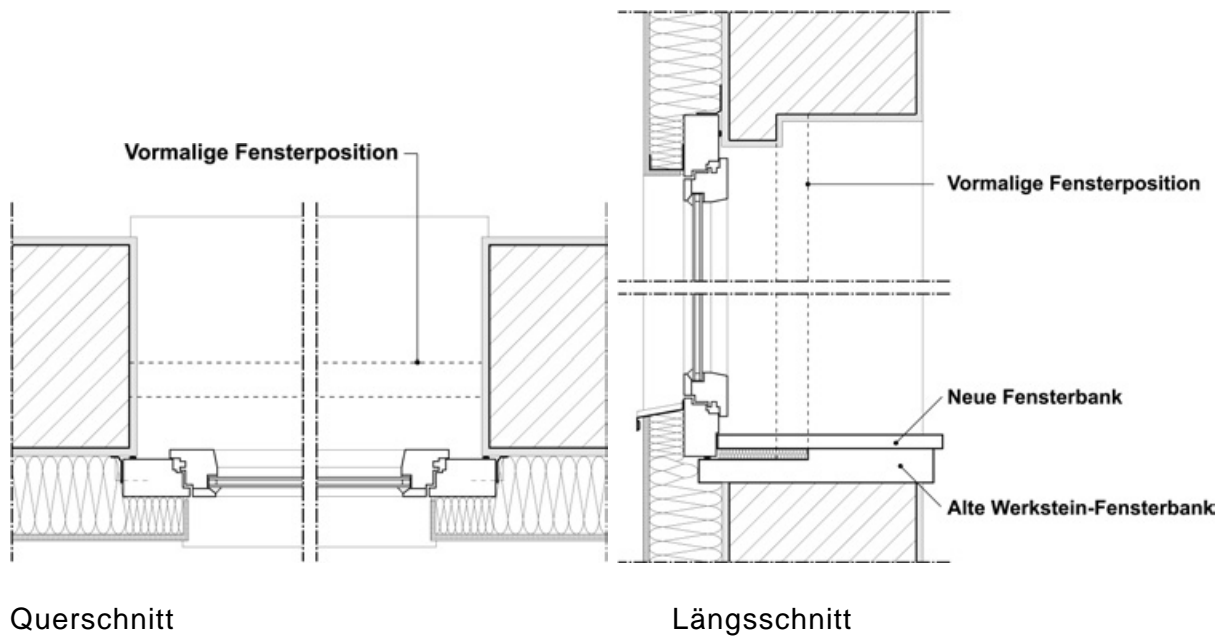


Bild 42 Das Aufsetzen der Fenster auf die alte Fassade verursachte erhöhte Aufwendungen beim Anbringen des Wärmedämmverbundsystems

Wie aus Bild 42 zu ersehen ist, ergab die Befestigung der Fenster vor der alten Fassade sowohl bei der Herstellung luftdichter Anschlüsse als auch beim Anbringen des Wärmedämmverbundsystems komplizierte Anschlüsse und aufwendige Schneidarbeiten für die Handwerker. Günstiger für alle Anschlüsse wäre eine Einbausituation gewesen, bei der die Außenseite der Blendrahmen und die Fassade eine Ebene bilden. Allerdings wäre auch bei dieser Ausführung ein Ausgleichen der abgeschlagenen Fensteranschlüsse mit Mörtel erforderlich geworden, da sonst die Herstellung luftdichter Anschlüsse nicht möglich ist.

Bei einem derartigen Modellvorhaben gibt es neben allen positiven Ergebnissen natürlich auch Punkte, die künftig unbedingt verbessert werden müssen. So sollte bei zukünftigen Sanierungen die Planungsphase deutlich verlängert werden, damit die erarbeiteten Konzepte erfolgreich umgesetzt werden können. Die Detailplanung sollte vor der Ausschreibung abgeschlossen sein, um den Anbietern eine dem Gesamtkonzept entsprechende Kalkulation zu ermöglichen, insbesondere bei bisher nicht gängigen Detailausführungen. Die Terminplanung für die Bauausführung sollte ausreichend Zeit für fachgerechte Ausführungen erlauben; es muß vermieden werden, daß durch einen zu hohen Termindruck bei der Ausführung „geschlampert“ wird. Für einen reibungslosen Ablauf der Sanierung sollten im Vorfeld durch den Bauherren Vorgaben bezüglich der auszuführenden Standards bei der begleitenden nicht energetischen Sanierung festgelegt werden. Die Bauherrenfunktion sollte generell stärker wahrgenommen werden.

Der Heizwärmebedarf der Schule verringert sich durch die Sanierung im Mittel der drei Gebäudeteile von 200 kWh/m²a um über 50% auf 90 kWh/m²a bezogen auf die Nettogrundfläche. Diese berechneten Einsparungen wurden durch detaillierte Messungen der Energieverbräuche validiert. Daneben soll das Meßprogramm Auskunft über die Nutzerakzeptanz geben, denn die Energieeinsparungen sollen ja nicht zu Lasten der Behaglichkeit in den Räumen der Schule gehen.

3.5.2. Beleuchtung

Aus Kostengründen konnte das Beleuchtungssystem nicht im gesamten Gebäude erneuert werden. In jeweils 4 ausgewählten Klassenräumen der Bauteile 1 und 2 ist das Beleuchtungssystem komplett erneuert worden. Die bestehenden Leuchten wurden gegen neue Leuchten mit effizienteren Leuchtmitteln und elektronischen Vorschaltgeräten ausgetauscht. In 4 Räumen im Obergeschoß wurde eine tageslichtabhängige Kunstlichtregelung basierend auf einem Gebäudeinstallationsbussystem eingebracht. In den anderen Klassenräumen des Erdgeschosses werden die je zwei Leuchtenbänder (fensternah und fensterfern) manuell separat über den Bus geschaltet.

Die Berechnungen in der Konzeptphase zeigten nur die Wirtschaftlichkeit einer konventionellen tageslichtabhängigen Regelung. Dennoch wurde entschieden, die dimmbaren Systeme mittels eines Bussystems zu realisieren. Begründet wurde dies mit der Möglichkeit, über den Installationsbus Zeit-, und Präsenzschalter, eine Verknüpfung der Beleuchtungsteuerung mit der Verschattung durch die Jalousien sowie zentrale Ein/ Aus Funktionen zu realisieren.

Der integrale Aspekt des gekoppelten Betriebes von Beleuchtung und Sonnenschutz kam jedoch aufgrund von Abstimmungsproblemen bei der Auftragsvergabe nicht zum Tragen. Das Bussystem zur Beleuchtungssteuerung im Raum ist nicht kompatibel mit der Steuerung des Sonnenschutzes. Es ist somit per se kein Datenaustausch zwischen den beiden beleuchtungstechnisch relevanten Gewerken möglich. Funktionen wie ein Abschalten des fensternahen Beleuchtungsbandes bei dem von einem Sonnenwächter getriggerten Herabfahren der Jalousien waren somit nicht realisierbar. Neben Windwächterfunktionen wurde die Steuerung des Sonnenschutzes derart ausgelegt, daß bei Sonneneinstrahlung auf die unterschiedlichen Fassadenseiten des Gebäudes der Sonnenschutz automatisch heruntergefahren wird.

Über den Gebäudeinstallationsbus wurde die manuelle Ansteuerung der Jalousien mittels Schaltaktoren realisiert. In den nicht gediminten Klassenräumen wird das fensternahe Leuchtenband abgeschaltet sobald die Jalousien manuell heruntergefahren werden.

Anpassung des überinstallierten Systems

Die exemplarisch in einem Klassenraum gemessene mittlere Beleuchtungsstärke lag bei 600 lx. Nach DIN 5035 sind in derartig genutzten Räumen nur 300 lx erforderlich. Es bot sich somit die Möglichkeit aus den zweiflammigen Leuchten jeweils ein Leuchtmittel zu entfernen. Der reduzierte Lichtstrom erzeugt so mit einer mittleren Beleuchtungsstärke von ca. 350 lx noch eine ausreichende Helligkeit. In diesem speziellen Fall eines stark überdimensionierten Beleuchtungssystems und einer auch mit nur noch der Hälfte der Leuchtmitteln zu erreichenden symmetrischen, gleichmäßigen Beleuchtung bietet sich eine preisgünstige Möglichkeit, Energie einzusparen.

3.5.3. Heizflächen

Insgesamt konnten die Konzepte für die Heizungsanlage sehr gut umgesetzt werden. Bild 43 zeigt die installierten Heizkörper in einem Klassenzimmer von Gebäude 1 vor und nach der Sanierung.

Positiv anzumerken ist die optisch und technisch sehr gut gelungene Installation und Integration der Heizkörper auf der Fensterseite der Turnhalle (Bild 44). Um den Strahlungsausgleich zu den sehr großen Fensterflächen zu gewährleisten, müssen Heizkörper mit großer Oberfläche und damit großer Höhe eingebaut werden. Das Bild verdeutlicht die ungünstige Situation vor der Sanierung. Da Plattenheizkörper ab einer Höhe von ca. 1,5 m nur als Sonderanfertigung zu beziehen sind, wurde aus Kostengründen eine Lösung mit zwei direkt übereinander angeordneten Standardplattenheizkörpern gewählt.



Bild 43: Heizkörper im Klassenzimmer 3 von Gebäude 1 vor und nach der Sanierung

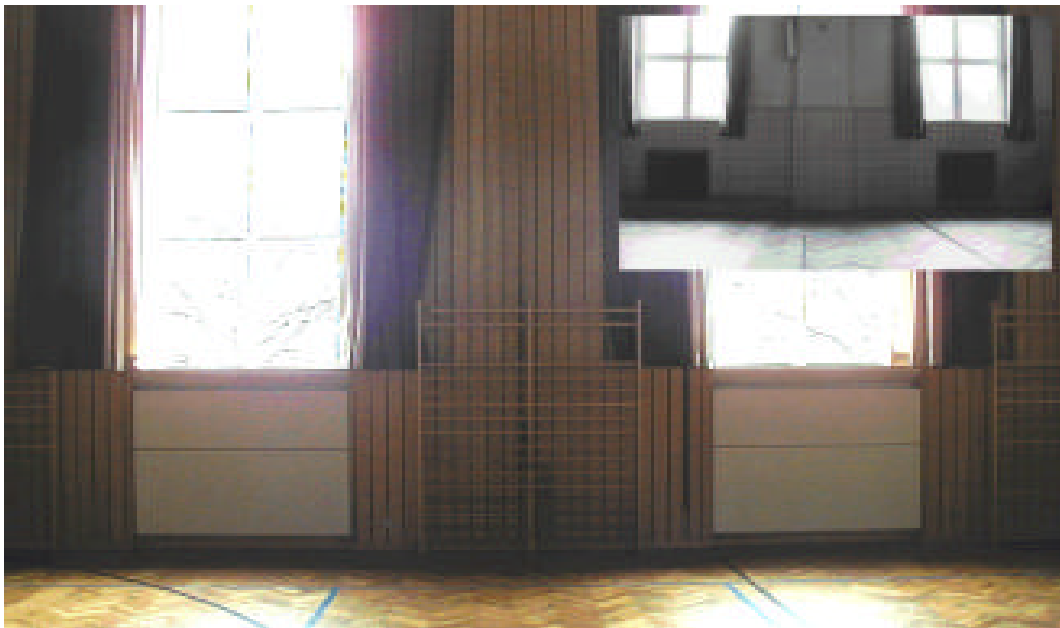


Bild 44: Optimale Installation und Integration der Heizkörper auf der Fensterseite der Turnhalle.

In Bild 45 ist die Anordnung des Heizkörper im Flur des 1. Obergeschoss von Gebäude 1 vor und nach der Sanierung zu sehen. Nach [30] wird hier lediglich Anforderungsstufe 1 erreicht, d.h. nur Deckung der Heizlast und keine Beseitigung von Behaglichkeitsdefiziten. Da hier keine Aufenthaltsbereiche betroffen sind, ist jedoch die Behaglichkeit ein untergeordnetes Kriterium. Aufgrund veränderter Strangführung nach der Sanierung wurden die Einzelheiz-

körper unter den Flurfenstern demontiert und durch einen entsprechend leistungsstarken Heizkörper am Anfang der Flure ersetzt.



Bild 45: Anordnung des Heizkörper im Flur. Nach [30] wird hiermit lediglich Anforderungsstufe 1 erreicht, d.h. nur Deckung der Heizlast, keine Beseitigung von Behaglichkeitsdefiziten.

3.5.4. Wärmeerzeugung und Verteilung

Im Zuge der Sanierungsmassnahmen wurden die zwei Niederdruckdampfkessel durch einen Brennwertkessel und einen Niedertemperaturkessel ersetzt. Die Kessel sind in Reihe geschaltet, wobei der Brennwertkessel die Grundlast übernimmt. Die Bilder 46 und 47 zeigen die neu installierten Kessel und die neue Heizkreisverteilung, jeweils im Vergleich mit der Ausgangssituation vor der Sanierung.



Bild 46: Neu installierte Niedertemperatur- (rechts) und Gasbrennwert-Kessel (links).



Bild 47 Neu installierte Heizkreisverteilung mit 7 getrennten Heizkreisen.

Das Schaltschema der Heizkessel und die einzelnen Heizkreise sind in Bild 48 dargestellt. Der Brennwertkessel hat einen oberliegenden wassergekühlten Brennraum (Durchbrandfeuerung) und vertikal angeordnete Rohrheizflächen (Turbokondensheizflächen). Für die Nieder- und Hochtemperaturheizkreise sind zwei getrennte Rücklaufanschlüsse vorhanden. Der Niedertemperaturkessel ist in Dreizugbauweise ausgeführt. Die Nachschaltheizfläche hat ein Spezialrippenprofil und Edelstahl-Turbulatoren zur Anpassung der Abgastemperatur. Hierdurch wird eine Kondensatbildung auch bei niedrigen Kesselwassertemperaturen unterbunden. Die technischen Daten können Tabelle 33 entnommen werden.

Tabelle 33 Technische Daten der neuen Gasheizkessel [19]

Kessel	Einheit	Brennwertkessel (BWK)		Niedertemperaturkessel (NTK)	
		Buderus SB 605		Buderus S 415	
Systemtemperaturen	°C	40/30	75/60	Vollast	Teillast
Nennwärmeleistung	kW	210	195	170	
Feuerungswärmeleistung	kW	198		185,8	
Abgastemperatur	°C	40	65	185	145
Abgasmassenstrom bei 10% CO ₂	kg/s	0,079	0,085	0,0792	0,0459
Gewicht Heizkessel	kg	636		525	
Wasserinhalt	l	298		236	
heizgasseitiger Widerstand	mbar	0,65		0,75	
zulässige Vorlauftemperatur	°C	120		120	
zulässiger Betriebsüberdruck	bar	5		4	

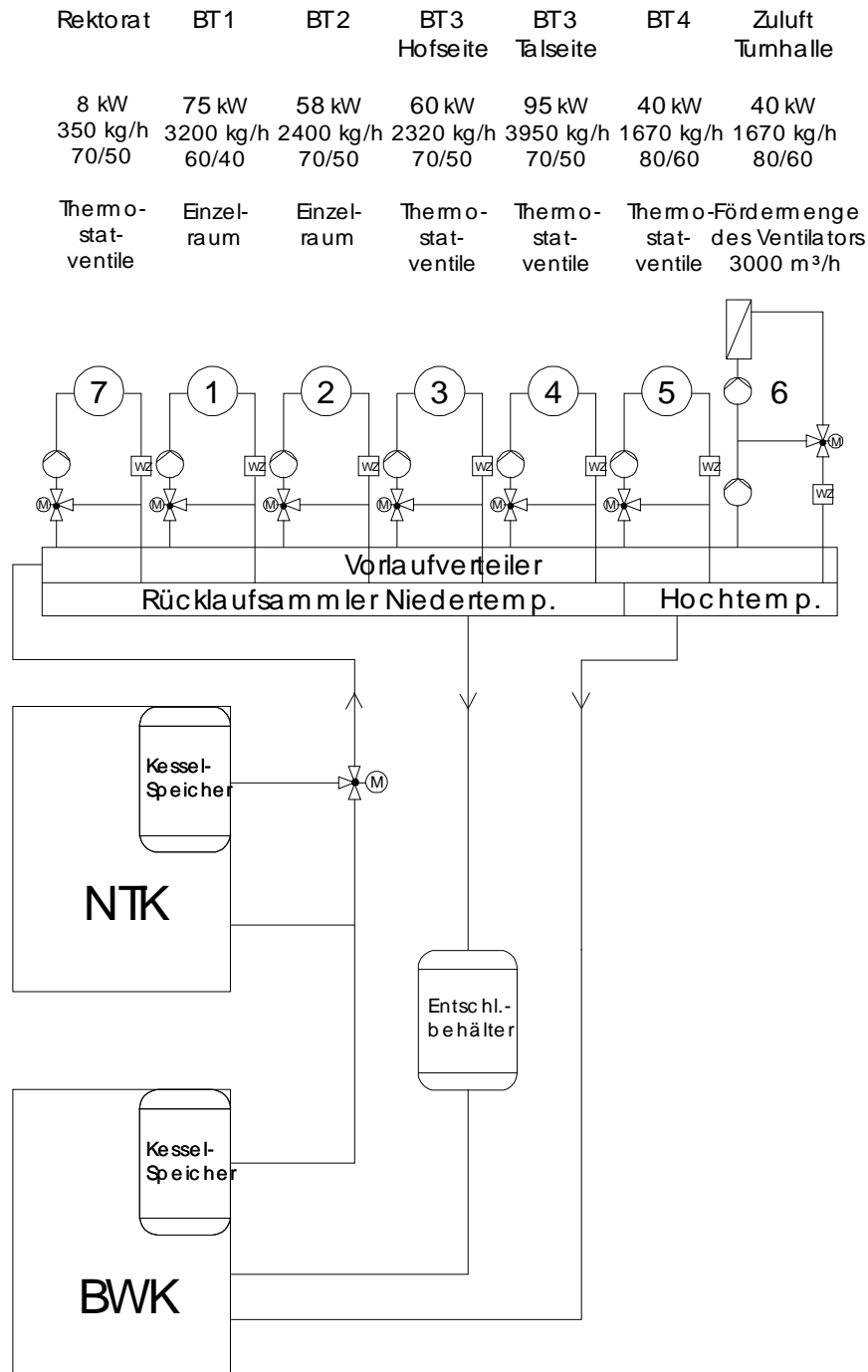


Bild 48 Schaltschema der neuen Heizungsanlage mit den einzelnen Heizkreisen.

Beide Kessel sind mit Gasgebläsebrennern ausgerüstet. Der Brenner des Niedertemperaturkessels wird gleitend-zweistufig, der des Brennwertkessels modulierend (Regelbereich 25 kW - 270 kW) betrieben. Eine Reduktion der Stickoxidemissionen wird mit einer Abgasrückführung erreicht. Die geltenden Richtlinien und Grenzwerte für Emissionen werden unterschritten [14]. Auch die Anforderungen der Stuttgarter Satzung über die beschränkte Verwendung luftverunreinigender Brennstoffe werden sicher unterschritten [32].

Um die Stillstandsverluste zu minimieren kann der Niedertemperaturkessel mit einem Drei-Wege-Ventil mit Stellantrieb überbrückt werden. Ferner ist es möglich, die Heizwasserströme der beiden Kessel entsprechend der gewünschten Vorlauftemperatur zu mischen. Die Heizkreise übernehmen vom Vorlaufverteiler heißes Wasser und mischen es jeweils mit einem Drei-Wege-Ventil dem eigenen Rücklauf bei um die jeweilige Systemtemperatur zu halten. Dieses System wird bei allen Heizkreisen bis auf Heizkreis 6 (Zuluft Turnhalle) angewandt. Der Rücklaufsammler ist geteilt, damit die Rückläufe mit niedriger und hoher Temperatur getrennt dem Brennwertkessel zugeführt werden können. Hierdurch kann mit dem Niedertemperaturheizkreis im Brennwertkessel das Abgas tiefer abgekühlt werden, was sich positiv auf den Wirkungsgrad des Kessels auswirkt.

Die raumlufttechnische Anlage der Turnhalle weist einen Primär- und Sekundärkreis auf. Im Primärkreis wird das heiße Wasser bis kurz vor das Heizregister gefördert. Hier wird mittels eines Drei-Wege-Ventils die gewünschte Temperatur am Sekundärkreis eingeregelt. Die Brauchwasserbereitung erfolgt mit einem getrennten System.

3.5.5. Regeltechnik

Regelungsstrategie der Wärmeerzeuger

Die Sollvorlauftemperatur wird in Abhängigkeit der Außentemperatur und des eingestellten Zeitprogramms entsprechend der Heizkurve durch den Regler vorgegeben. Bei einer Normaußentemperatur von -12°C (nach Klimakarte aus DIN 4701) soll die Vorlauftemperatur 80°C betragen. Der Fußpunkt der Heizkurve liegt bei 20°C . Der in die Regelung eingegebene Wert des Exponenten n der Heizkurve ist 1,3. Die Heizgrenze liegt bei einer Außentemperatur von 19°C . Die Raumsolltemperatur ist während der Nutzungszeit 20°C , der Bereitschaftssollwert ist während der Nutzungszeit 18°C , die Absenkttemperatur in der Nacht 10°C .

Die Wasseraustrittstemperaturen der Kessel werden durch Fühler der DDC-Regelung erfasst. Liegt die Temperatur unter der Sollvorlauftemperatur, schaltet sich der Brenner des Brennwertkessels ein. Zwischen der Minimal- und Maximalleistung wird die Kesselleistung stufenlos geregelt, unterhalb der Minimalleistung findet ein Taktbetrieb statt. Die Schalttemperaturdifferenz kann verändert werden. Bei einem Leistungsbedarf, der größer ist als die Maximalleistung des Brennwertkessels, wird der Niedertemperaturkessel dazugeschaltet. Der Brenner des Niedertemperaturkessels hat eine zweistufige Leistungsregelung.

Das den Kesseln nachgeschaltete Ventil mischt die Wasserströme der Kessel entsprechend der Sollvorlauftemperatur. Die Temperaturschwankungen des Niedertemperaturkessels haben somit keinen Einfluß auf die Vorlauftemperatur. Die Sollvorlauftemperatur des Brennwertkessels muss größer sein als die des Niedertemperaturkessels, damit der Niedertemperaturkessel nicht bei einem Leistungsbedarf unterhalb der Maximalleistung des Brennwertkessels aufgrund von Rohrwärmeverlusten oder Temperaturschwankungen angefordert wird. Weil der Wirkungsgrad des Niedertemperaturkessels wesentlich geringer ist als der des Brennwertkessels, soll vorrangig der Brennwertkessel betrieben werden.

Im Aufheizbetrieb, nach einer Temperaturabsenkung im Gebäude, wird die Vorlauftemperatur, gegenüber dem Sollwert der Heizkurve, erhöht, damit die Bereitschaftssolltemperatur

von 18 °C schneller erreicht wird. Die Dauer und der Beginn des Aufheizbetriebs wird mit der optimierten Aufheizregelung je nach Raum- und Außentemperatur festgelegt. Dabei wird der Aufheizvorgang abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen schlechtestem Raum (niedrigste Temperatur) und der zu Nutzungsbeginn angestrebten Bereitschaftstemperatur aktiviert. Pro 1 K Temperaturdifferenz wird der Aufheizbeginn eine 1 h vor Nutzungsbeginn gestartet. Die Mischer in den Heizkreisen werden entsprechend der erhöhten Vorlauftemperatur geregelt. Während des Aufheizbetriebs stellt sich nach einer Anlaufphase eine erhöhte Rücklauftemperatur ein. Der Wirkungsgrad des Brennwertkessels sinkt daher vorübergehend.

Raumseitige Ausrüstung und Regelungsstrategie

In allen Klassenzimmern von Gebäude 1 (Heizkreis 1) und einigen Klassenzimmern von Gebäude 2 (Heizkreis 2, siehe Tabelle 34), der Turnhalle, und den Umkleiden von Gebäude 1 wurde eine Einzelraumregelung realisiert. Als Stellglieder werden raumweise angeordnete Zonenventile mit elektrisch beheiztem Ausdehnungskörper verwendet. Die Steuerung der Ventile erfolgt durch eine Impulsbreitenmodulation.

Tabelle 34 mit Zonenventilen ausgestatteten Räume in Gebäude 1 und 2

Gebäude	Geschoß	Raumbezeichnung	Zimmernummer	DDC-Nummer
Bauteil 1	UG	Umkleide 1		01.01.01.04
		Umkleide 3		.11
	EG	Klassenzi. 1		01.01.02.02
		Sportgeräte		.10
		Turnhalle		.15
		Hausmeister		.22
		Klassenzi. 2	103	.25
		Klassenzi. 3	104	.26
	OG	Klassenzi. 1		01.01.03.02
		Klassenzi. 2		.05
		Klassenzi. 3		.08
		Lehrmittel 1		.12
Lehrmittel 3 / Besprechungszi.		201 (101)	.15	
Lehrmittel 4			.16	
Klassenzi. 4		203	.18	
Klassenzi. 5	204	.19		
Bauteil 2	UG	Unterricht		01.02.01.08
		Werkraum / Handarbeit	007	.10
	EG	Klassenzi. 1	105	01.02.02.02
		Klassenzi. 2	106	.03
		Klassenzi. 3	108	.05
		Klassenzi. 4	109	.07
	OG	Klassenzi. 1	205	01.02.03.02
		Klassenzi. 2	206	.03
		Lehrerzimmer	210	.09

Die Regelung übernimmt, wie bei der Kesselregelung, das raumorientierte DDC-Regelsystem. In den weniger stark genutzten Räumen von Gebäude 1, wie z. B. Flur, Eingangshalle oder WC und in den übrigen Heizkreisen (HK3, HK4, HK5, HK7) wird die Heizleistungsabgabe der Heizkörper über fest eingestellte Thermostatventile geregelt. Die Thermostatventile sind im Idealfall so eingestellt, dass während der Nutzungszeiten in den Nebenräumen eine Raumlufftemperatur von 15°C und in den Klassenräumen eine Temperatur von 20°C gehalten wird. Außerhalb der Nutzungszeiten wird die Vorlauftemperatur der Heizkreise, die über Thermostatventil geregelte Heizkörper versorgen, über eine Parallelverschiebung (20K) der Heizkurve abgesenkt. Im Rektorat, für das keine Zeitplansteuerung existiert kann über einen Temperatursteller von den Nutzern die Heizkurve parallel verschoben werden.

Mit der Einzelraumregelung kann der Anlagenbetrieb bestmöglich an die Nutzungszeiten angepasst werden. Der "Komfortbetrieb" der Heizkörper in den Klassenräumen wird über Anwesenheitstaster mit der tatsächlichen Raumnutzung verknüpft. Dadurch werden über eine reine Zeitplansteuerung hinaus Einspareffekte erzielt, wenn beispielsweise Räume entgegen dem Stundenplan nicht genutzt werden. Der Verlauf der Solltemperatur kann für jeden Raum beliebig durch Eingabe eines Wochenplans vorgegeben werden. In Bild 49 ist der Verlauf der Raumsolltemperaturen und der Raumstütztemperaturen für einen Wochentag dargestellt. Um das Beheizen der Klassenzimmer bei offenen Fenstern zu vermeiden, wird während der Pausen die Solltemperatur der Heizung auf 18°C gesetzt. Wird der Anwesenheitstaster nicht bis fünf Minuten nach Unterrichtsbeginn gedrückt, so wird die Solltemperatur in diesem Raum auf 18°C gesetzt. Eine rote Kontrollleuchte signalisiert den Betrieb der Heizung. Nach Schulschluss ist bis 23:00 Uhr ein außerplanmäßiger Betrieb der Heizung, etwa bei Elternabenden, durch einfaches Betätigen des Heizungsschalters möglich. Für einen Betrieb der Heizung nach 23:00 Uhr muss der Betreiber am DDC-Leitrechner (XBS-Zentrale) [34] die Vorgaben für den betreffenden Raum entsprechend ändern. In der Nacht, den Ferien und am Wochenende werden die Raumtemperaturen abgesenkt und auf einer Stütztemperatur von 10°C gehalten.

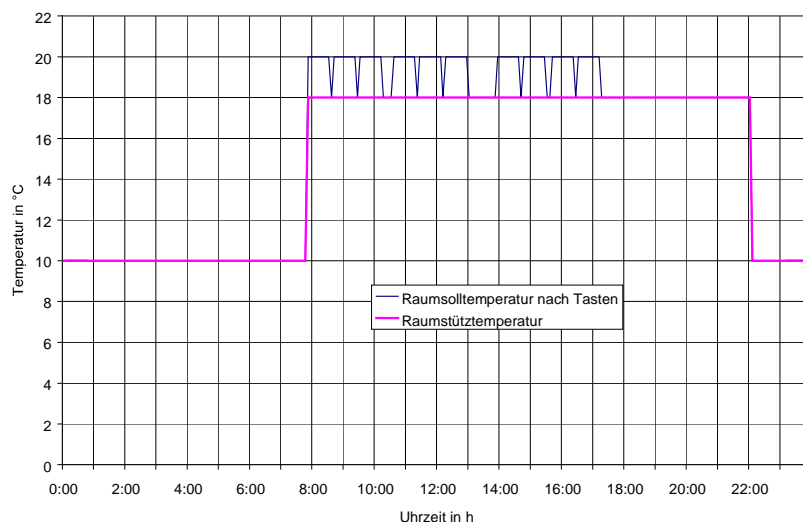


Bild 49 theoretischer Verlauf der Raumsolltemperaturen und der Raumstütztemperaturen für einen Wochentag in einem einzelraumgeregelten Klassenzimmer.

Die Hausmeisterwohnung wird, wie bereits erwähnt, seit der Sanierung von einer separaten Gas-Brennwert Kesseltherme mit Wärme versorgt. Dadurch muss die Heizungsanlage der Schule nicht mehr wie bisher die ganzen Ferien durchlaufen, sondern kann effizient der jeweils anfallenden Heizlast entsprechend betrieben werden.

Messtechnik

Die an der sanierten Schule aufgenommenen Messwerte dienen zunächst als Kontrolle, ob die Heizanlage entsprechend den Betriebsvorgaben aus der Planung funktioniert und ob sich das erarbeitete Sanierungskonzept bewährt. Die Messwerte werden mit früheren Verbrauchswerten verglichen, um die tatsächlich erreichte Energieeinsparung zu ermitteln. Bei der Berücksichtigung der Wetterdaten, sowie der Jahres- und Tageszeit, können mit den Messwerten Zusammenhänge zwischen Verbrauch und Nutzung aufgestellt werden. Anhand der Messdaten wird darüber hinaus die Genauigkeit der Simulationsergebnisse überprüft und man erhält wichtige Anhaltswerte für die Modellbildung in der Anlagen- und Gebäudesimulation. Durch einen Vergleich der Messdaten mit den Simulationsergebnissen nähert man das Simulationsmodell schrittweise an die reale Anlage an. Mit den kalibrierten Simulationsmodellen können dann unterschiedliche Anlagenbetriebsweisen unter exakt gleichen Randbedingungen überprüft werden.

Um den Aufwand an Messeinrichtungen möglichst gering zu halten, werden nicht alle Räume vollständig in die Messung miteinbezogen, sondern nur ausgewählte Referenzräume. Die Referenzräume sind 4 Klassenräume und die Turnhalle im Gebäude 1 sowie 3 Klassenzimmer in Gebäude 2 und 2 Klassenzimmer in Gebäude 3 (siehe Anhang). Zusätzlich werden die Raumlufttemperaturen in der separat beheizten Hausmeisterwohnung aufgezeichnet. Der apparative Aufwand kann weiter verringert werden, wenn nicht für alle Messgrößen ein vollständig unabhängiges Messsystem installiert wird. Bei den Räumen, in denen von Seiten der DDC-Regelung bereits Temperaturfühler installiert sind, werden die Messwerte von der DDC-Regelung übernommen. Dies trifft auch für die Zustände der Stellgrößen und Regler zu. Bei der Beleuchtungs- und Jalousiesteuerung werden die jeweiligen Zustände aus dem Protokoll des dafür zuständigen Steuerungssystems (EIB) übernommen. Die verwendeten Wärmezähler, die die Vor- und Rücklauftemperaturen sowie die Heizmittelmassenströme der Heizkreise und der Referenzräume aufzeichnen, sind über ein weiteres Steuerungsnetz (Mbus) miteinander verbunden. Die entweder im 2-Minutentakt (Logger, M-Bus, DDC) oder ereignisgesteuert (EIB) auflaufenden Messdaten der Einzelgeräte, können an zentraler Stelle ausgelesen werden. Die von den einzelnen Systemen aufgezeichneten Messgrößen sind in Tabelle 35 zusammengestellt.

Der prinzipielle Aufbau der realisierten Messwerte ist in Bild 50 zu sehen. Es werden 9 Datenlogger eingesetzt, die räumlich verteilt angeordnet und über ein spezielles Netzwerk untereinander gekoppelt sind. Jedes Gerät kann eigenständig bis zu 10 Analogkanäle und bis zu 8 Digitalkanäle aufzeichnen. Von einem Zentralgerät (Master) aus können die Informationen aller anderen Geräte ausgelesen werden. Die Datenlogger umfassen insgesamt 129 Messkanäle. Die Messdaten werden von dem Messrechner in einem einheitlichen Datenformat abgelegt und können zur Auswertung per Modem von der Universität Stuttgart, LHR aus abgerufen werden. Im Anhang befinden sich sämtliche Pläne zur Beschreibung und Identifikation der Messstellen.

Tabelle 35 Messsysteme und Messgrößen

System	Messgröße
Datenlogger	Raum- / Heizmitteltemperaturen
	Differenzdrücke
	Fensterkontakte
	Gaszähler
	Beleuchtung
	elektrische Leistungen
M-Bus / Wärmezähler	Heizmittelströme
	Vor- und Rücklauftemperaturen
	Wärmemengen
EIB	Jalusisteuerung
	Beleuchtungssteuerung
DDC	Raum- / Heizmitteltemperaturen
	Stellgrößen
	Schaltzustände

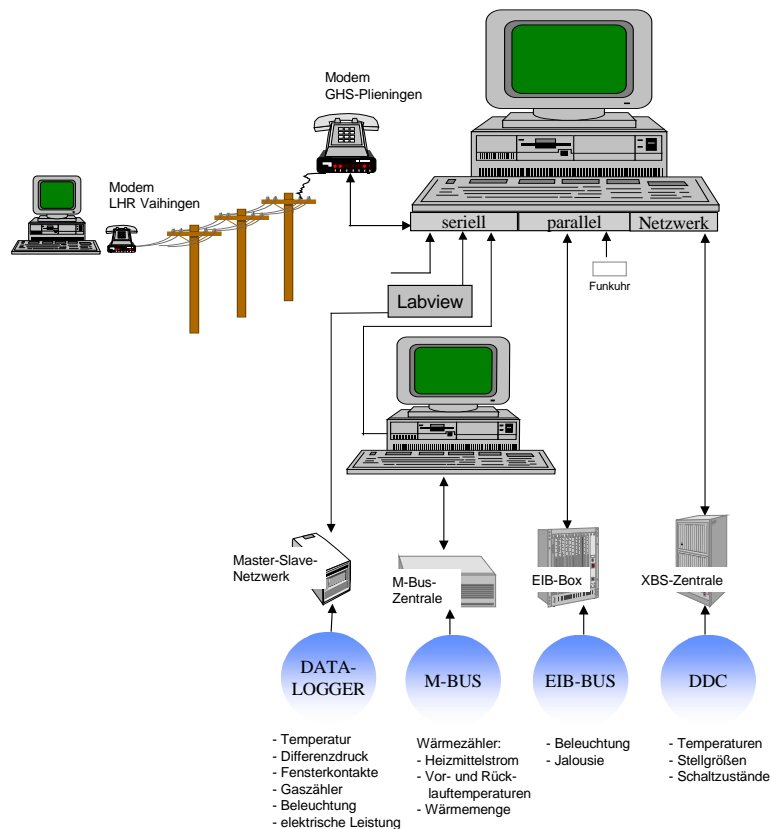


Bild 50: Realisiertes Konzept zur Messdatenerfassung

Beschreibung der Komponenten:

- **Datenlogger:**

Der Datenlogger S320-Controller ist ein frei programmierbares Messgerät, das bereits zahlreiche mathematische Funktionen, Funktionen zur Linearisierung und eine Bibliothek mit Stoffwerten enthält. Der Datenlogger ist mit analogen und digitalen Eingängen ausgestattet.

- **M-Bus / Wärmezähler:**

Die einzelnen Wärmezähler sind durch eine serielle Busleitung miteinander verbunden und werden über ein Bus-System nacheinander abgefragt.

- **EI-Bus:**

Mit dem EIB-System wird die Beleuchtung geregelt und die Jalousie gesteuert. Dies erfolgt über Sensoren, die einen Messwert aufnehmen und Aktoren, die auf den Messwert reagieren und eine Aktion ausführen. Angeschlossen sind die Endgeräte Leuchten, Jalousien, Sensoren und Aktoren über eine zweiadrige Ringleitung.

- **DDC-Anlage (Direct Digital Control):**

Die DDC-Anlage ist ein mikroprozessorgesteuertes Steuer- und Regelsystem, das über eine SPS („Speicherprogrammierbare Steuerung“) der jeweiligen Anwendung angepasst und frei programmiert werden kann.

- **Labview:**

Mit Labview werden Programme unter einer graphischen Oberfläche erstellt. Mit der Darstellung von Befehlen und Programmbausteinen durch graphische Symbole wird die Arbeitsweise des erstellten Programms anschaulich wiedergegeben.

Messfühler:

- **Temperatur:**

Zur Temperaturmessung werden Widerstandsthermometer verwendet.

- **Druck:**

Die Messung von Differenzdrücken erfolgt mit piezoelektrischen Druckaufnehmern.

- **Fensterkontakt:**

Die Fensteröffnungszeiten werden durch Magnetschalter ermittelt. Bei geöffneten Fenstern ist die Signalleitung unterbrochen.

- **Gaszähler:**

Die verbrauchte Gasmenge wird gemessen, indem das Gas durch zwei Lederbälge fließt, die sich leeren und wieder füllen, wobei die Bewegung der Bälge auf ein Zählwerk übertragen wird.

- **Stromzähler:**

Die benötigte elektrische Leistung der Klassenzimmerbeleuchtung wird mit einem Vierleiter-Impulsgeber-Zähler ermittelt.

3.6. Kosten

Die Gesamtkosten des Projektes Modellhafte Sanierung einer Schule in Stuttgart-Plieningen sind in Tabelle 36 zusammengestellt. Die Kosten der Instandhaltungsmaßnahmen, die zeitgleich mit der energetischen Sanierung erfolgten, sind in der Aufstellung nicht enthalten. Die entstandenen Gesamtkosten von 4,9 Mio. DM setzen sich aus den Kosten der energetischen Sanierung, den Kosten, die aufgrund der Forschungsarbeiten entstanden sind, und den Kosten für die kontinuierliche Erfassung des Energieverbrauchs durch das Stuttgarter Energiekontrollsystem zusammen. Die Kosten der energetischen Sanierung von 4,1 Mio. DM setzen sich aus 2,8 Mio. für Maßnahmen im Zusammenhang mit dem Wärmeschutz, aus 0,7 Mio. DM für Maßnahmen an der Heizungsanlage, 0,1 Mio. DM für die Verbesserung der Beleuchtung und 0,5 Mio. DM für die Honorare der Architekten und Fachplaner zusammen. Die Kostenabrechnung war zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch nicht vollständig abgeschlossen. Von einigen Handwerkern lagen noch keine Schlußrechnungen vor. Jedoch ist nicht mit einer wesentlichen Erhöhung der ermittelten Beträge zu rechnen.

Tabelle 36 Zusammenstellung der Bruttokosten für die Sanierungsmaßnahmen der Schule in Stuttgart-Plieningen (Abrechnungsstand September 1999).

Position		Bruttokosten [DM]
Energetische Sanierung	Wärmeschutz	2.801.226
	Anlagentechnik	711.264
	Beleuchtung	105.474
	Architektenhonorar/ Fachplaner	529.360
	Summe	4.147.324
Forschungsvorhaben	Honorar Institute	613.028
	Messtechnik	120.115
	Öffentlichkeitsarbeit	21.659
	Summe	754.802
Stuttgarter Energiekontrollsystem (SEKS)		9.124
Gesamtkosten		4.911.251

3.6.1. Gebäudehülle

Die Kosten des Wärmeschutzes für die einzelnen Verbesserungsmaßnahmen an den Bauteilen sind in Tabelle 37 weiter aufgeschlüsselt.

Tabelle 37 Zusammenstellung der Bruttokosten für Wärmeschutz und Nebenkosten (Abrechnungsstand September 1999).

	Position	Bruttokosten [DM]
Wärmeschutz	Fenster incl. Einbau	707.052
	Außentüren	95.327
	Nebenkosten Fenster und Türen incl. Ausbau	100.934
	Summe	903.314
	Sonnen- bzw. Blendschutz	143.655
	Innendämmung Turnhalle	81.231
	Innendämmung allg.	46.845
	Balkenköpfe	5.821
	Summe	133.896
	Abseitenwand Dachraum Hausmeisterwohnung	13.372
	Kellerdecke Gebäude 3	68.164
	Decke gegen Außenluft Gebäude 2	69.767
	oberste Geschossdecke Gebäude 1 Turnhalle, Einblasdämmung	54.120
	oberste Geschossdecke Gebäude 1, Restflächen und 2	187.910
	Summe	242.030
	WDVS	462.067
	Spende WDVS	17.510
	Perimeter	8.192
Außendämmung Nebenarbeiten	43.730	
Summe	531.499	
Summe Wärmeschutz	2.105.698	
Nebenkosten	Gerüst und Baustelleneinrichtung	107.681
	Reinigen Untergrund Außenwand	4.257
	Abbruch und Durchbrüche und schließen	41.521
	Malerarbeiten innen	430.699
	Umzug HM	8.320
	Zwischenlagerung Schulmobiliar	53.961
	sonstiges	41.290
	sonstiges Hausmeisterwohnung	7.800
	Summe Sowieso und Nebenkosten	695.528
Gesamt		2.801.226

Die Nebenkosten haben einen Anteil von 25 % an den Gesamtkosten von 2,8 Mio DM. Zu diesen Kosten zählen Ausgaben für Malerarbeiten in der gesamten Schule, Aufwendungen für den Umzug von Schulmöbeln, verschiedene nicht direkt dem Wärmeschutz zuzuordnende Abbrucharbeiten und Kosten für eine Reihe von Verbrauchsmaterialien und Nebenarbeiten wie Reinigen der Baustelle, die keinem Bauteil direkt zugeordnet werden können. Für das Stellen des Gerüsts und die Baustelleneinrichtung wurden 108 TDM aufgewendet.

Eigentlich sollten die genannten Kosten generell als Sowieso-Maßnahmen in der Konzeptionsphase angesetzt werden, wenn das Gebäude einen entsprechend sanierungsbedürftigen Zustand aufweist. Unter Punkt 3.3 wurde jedoch darauf verwiesen, daß dies nur für die Malerarbeiten in den Klassenräumen erfolgte. Es kann daher aufgrund der undifferenzierten Abrechnungsunterlagen für die Malerarbeiten in den restlichen Räumen ein nicht zu ermittelnder Anteil von den Gesamtkosten abgezogen werden. Der Anteil der Sowieso- und Nebenarbeiten von einem Viertel an den Gesamtkosten zeigt jedoch, welchen Einfluß der Ansatz von Sowieso-Maßnahmen auf die Wirtschaftlichkeit haben kann.

Tabelle 38 Bauteilflächenbezogene Bruttokosten für einzelne Wärmeschutzmaßnahmen und auf die beheizte Nettogrundfläche bezogene Gesamtkosten (Abrechnungsstand September 1999).

Position	Bruttokosten	Wärme- tauschende Fläche	flächenbezogene Bruttokosten
	DM	m ²	DM/m ²
Fenster	903.314	1089	829
Innendämmung Turnhalle	87.051	139	626
Innendämmung allg.	46.845	144	326
Abseitenwand Dachraum	13.372	117	114
Kellerdecke Gebäude 3	68.164	726	94
Decke gegen Außenluft	69.767	140	498
oberste Geschossdecke	242.030	1831	132
Wärmedämmverbundsysteme	531.499	2451	217
Gesamtkosten Wärmeschutz bezogen auf die Nettogrundfläche	2.105.698	5160	408
Gesamtnebenkosten bezogen auf die Nettogrundfläche	695.528	5160	135
Gesamtkosten Beleuchtung bezogen auf die Nettogrundfläche	105.474	5160	20

In Tabelle 38 sind die Kosten der flächenbezogenen Wärmeschutzmaßnahmen der Einzelbauteile aufgeschlüsselt. Als Bezugsflächen wurden dabei nicht die wirklichen – wie z.B. im Falle der Außenwand - gewählt, sondern die wärmetechnisch wirksamen Bauteilflächen. Die Fenster mit einem k-Wert nach Bundesanzeiger von $1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ und Holz-Aluminium-Rahmen kosteten einschließlich Aus- und Einbaus sowie des Abschlagens der alten Laibungen 830 DM/m^2 . Dies stimmt sehr gut mit den für Fenster mit Holz-Aluminium-Rahmen angesetzten Kosten von 785 DM/m^2 - allerdings für Fenster mit dem k-Wert von $1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ - überein. Obwohl Kunststofffenster geringere Kosten verursacht hätten, wurde aufgrund der geringen Erhaltungskosten auf Fenster mit Holz-Aluminium-Rahmen zurückgegriffen.

Die Innendämmung der Turnhalle, die aus gestalterischen Gründen (Erhalt der Außenfassade) gewählt wurde, stellte sich mit 626 DM/m^2 als wesentlich teurer heraus als bei den üblichen Lösungen im Wohnungsbau. Die Ursache ist vor allem in dem aufwendigen Aufbau zu suchen. Auf eine Lage Polystyrol, die gedübelt wurde, folgen nach einer Dampfsperre zwischen einer Lattung Holzwole-Leichtbauplatten aus akustischen Gründen. Als Prallschutz (Ballwurfsicherheit) wurde davor ein Paneel aus Holz, das sowohl akustisch als auch strömungstechnisch offen ist, angebracht. Ursprünglich war geplant, Teile des alten schon vor der Sanierung in der Turnhalle vorhandenen Paneels wiederzuverwenden. Da jedoch das Holz nach einer Schadstoffuntersuchung entsorgt werden mußte, wurde ein vollständiger Ersatz notwendig. Wie oben bereits beschrieben, waren bei der Innendämmung auch aufwendige Anschlußlösungen erforderlich.

Die Gesamtkosten der Dämmung der Abseitenwand der Hausmeisterwohnung zum unbeheizten Dachraum von 114 DM/m^2 entsprechen ungefähr den Erwartungen. Dabei erfolgte jedoch die Ausführung mit Mineralwolle zwischen Holzständern anstatt mit Polystyrol-Platten. Die Dicke der Dämmung wurde dabei noch auf 16 cm erhöht.

Die Dämmung der Kellerdecke im Gebäude 3, eine prototyphafte Umsetzung eines Industriepartners des Projektes, weist mit 94 DM/m^2 sehr geringe Kosten auf. Dies ist um so erstaunlicher, da eine große Anzahl von vorgefertigten Einzelblöcken aus elastifiziertem Polystyrol zwischen die Rippen der Betondecke geklebt wurde und an kleineren Flächen mit 4 cm dicken PS-Hartschaumplatten Wärmebrücken gedämmt wurden.

Die ausgeführten Wärmedämmverbundsysteme lagen mit 217 DM/m^2 einschließlich aller Nebenkosten wie Verlegen von Fallrohren, Antennen, Blitzschutzanlage, Ändern von Gitterrosten für Lichtschächte, Dämmen der nicht wärmetauschenden Giebelwände, Anbringen von Prallschutzplatten im stoßgefährdeten Bereich und den erhöhten Nebenkosten für die Stufenfalze am Fensteranschluß im erwarteten Rahmen.

Aufgrund von unvorhersehbaren statischen Erfordernissen stiegen die Kosten der Decke gegen Außenluft im Gebäude 2 auf das Doppelte des ausgeführten Wärmedämmverbundsystems an. Die Decke gegen Außenluft war nicht wie erwartet eine Hohlstegdecke, sondern stellte sich als eine Betonrippendecke heraus. Die Annahme der Hohlstegdecke resultierte aus den noch existierenden Bauplänen des Gebäudes. Da aufgrund der in den Rippen verlaufenden Bewehrung diese nicht von unten angebohrt werden konnten, mußte die aufwendige Konstruktion einer seitlichen Abhängung gewählt werden, an die wiederum eine Lattung und dann eine Baufurniersperrholzplatte befestigt werden konnte. Bild 51 zeigt die

erforderliche seitliche Abhängung. Auf dieser war es nun möglich, das Wärmedämmverbundsystem aus Mineralfaser zu befestigen. Daher sind die Kosten von ca. 500 DM/m² zu erklären.



Bild 51 Ansicht der Abhängung der Decke gegen Außenluft

Die oberste Geschosdecke war mit 132 DM/m² trotz der Minderkosten durch das Verlegen der PS-Hartschaumplatten im Gebäude 2 durch die Schüler teurer als erwartet. Durch die fehlende Aufschlüsselung der Rechnungen konnten die Ursachen hierfür nicht ermittelt werden. Diese Kosten übersteigen bei weitem die üblichen Kosten. Vom Hochbauamt der Stadt Stuttgart wurden 1999 insgesamt 10.000 m² oberster Geschosdecke zu Preisen von weniger als 30 DM/m² gedämmt. In Schüleraktionen des Amts für Umweltschutz wurden 1995 bis 1998 weitere 10.000 m² zu Preisen von ca. 18 DM/m² gedämmt.

Bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche ergaben sich Kosten von ca. 410 DM/m² für die Wärmeschutzmaßnahmen. Allein die Sowieso-Maßnahmen und die Nebenarbeiten verursachten 135 DM/m².

3.6.2. Beleuchtung

Tabelle 39 zeigt die Kosten für die Verbesserung der Beleuchtung. Die hohen Kosten für die Aufhängung der Leuchten und der Elektrokanäle resultieren aus einem erst bei der Ausführung der Arbeiten erkannten statischen Problem. Bei der Ausführungsplanung wurde davon ausgegangen, daß eine Abhängung der neuen Leuchten weiterhin an der Unterseite der Decken erfolgen kann. Da es sich jedoch um eine Stahlbetonrippendecke handelte, an deren Rippen aufgrund der Bewehrung keine Befestigung der Leuchten erfolgen durfte, mußte eine andere Lösung gefunden werden.

Tabelle 39 Zusammenstellung der Bruttokosten für Beleuchtung (Abrechnungsstand September 1999).

Position		Bruttokosten
		DM
Beleuchtung	Aufhängung Leuchten und Elektro	45.792
	Leuchten und Leuchtmittel	22.686
	EIB-Komponenten	9.199
	Spende EIB-Komponenten	26.181
	Jalousiesteuerung	1.616
	Summe Beleuchtung	105.474

Bild 52 zeigt die auch von gestalterischen Gesichtspunkten geprägte ausgeführte Form der Abhängung. Dabei wurden die unterspannten Träger seitlich an den Innen- und Außenwänden befestigt, wozu Kernbohrungen erforderlich wurden. Ein Teil der ermittelten Kosten kann auch der im Zuge weiterer Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführten Erneuerung des Elektroverteilnetzes zugerechnet werden.



Bild 52 Ausgeführte Abhängung des Leuchtensystems

3.6.3 Heizungsanlage

Die tatsächlich angefallenen Anschaffungskosten für die Heizanlage sind im Vergleich zu den in der Wirtschaftlichkeitsrechnung angesetzten Anschaffungskosten von 330 TDM zu niedrig. Da zum Zeitpunkt der Zusammenstellung der Kosten noch nicht alle Rechnungen vorlagen, muss vermutet werden, dass die in Tabelle 40 angesetzten Ausgaben für die Heizkörper zu niedrig sind.

Tabelle 40 Kosten-Zusammenstellung für die neue Heizanlage in der GHS Plieningen

		Lfd. Nr.	Position	Bruttokosten [in DM]	Einzelsummen [in DM]	
					Montage	Anschaffung Planung
Heizungsanlage Planung		1	Planung	52378		
	Einbau Heizung	2	Einbau Heizanlage	394345	394345	52378
	Komponenten	3	2 Heizkessel mit Zubehör	30156		
		4	Heizmittelpumpen	9749		
		5	WW-Therme	8005		
		6	Heizkörper	57945		
		7	Brenner mit Inbetriebnahme	9359		
		8	Montage	34880		115214
		9	Zubehör	2367		
	Einbau Regelung	10	Heizungsregelung	29576	34880	
		11	Heizungsregelung, Kleinteile Messtechnik	1438		
		12	Heizungsregelung, Kleinteile Messtechnik	511		
		13	Leitrechner mit Software	16560		
		14	Elektroinstallation DDC-Anlage	339		
		15	Heizungsregelung	2760		
		16	Leitzentrale	12083		
		17	DDC-Komponenten	48816		
					114449	
Nebenkosten Demontage		1	Demontage Gasinstallation	371		
	Sonstiges	2	Demontage Heizung	45763	46133	
		3	Überprüfung Gasinstallation	544		
		4	Schornsteinfeger	125		
		5	Verkleidungen	6542		
		6	Sonstiges	423		
					7634	
Gesamt-Bruttokosten in DM				765031		
Gesamt-Bruttokosten für Montage in DM					482991	
Gesamt-Bruttokosten für Anschaffung in DM						229662
Gesamt-Bruttokosten für Planung in DM						52378
Gesamt-Bruttokosten für Heizanlage ohne Nebenkosten in DM				711265		

In der Wirtschaftlichkeitsrechnung sind Kosten von ca. 135 TDM für Heizkörper aufgeführt und in Tabelle 40 von nur ca. 58 TDM. Da alle Heizkörper entsprechend den Vorgaben der Planung eingebaut werden müssen bei den real angefallenen Kosten noch ca. 77 TDM für Heizkörper hinzugezählt werden. Weiterhin ergibt sich eine Abweichung durch die Anrechnung der Kosten der Wärmezähler von ca. 20 TDM bei den Heizanlagenkosten. In der Realität wurden diese Kosten der Messtechnik zugeschlagen. Bei den Aufwendungen für die beiden Heizkessel wurden in der Wirtschaftlichkeitsberechnung ca. 7 TDM zuviel angesetzt, wie der Vergleich mit den realen Kosten zeigt. Unter Berücksichtigung der genannten Korrekturen ergibt der Vergleich der realen mit den in der Wirtschaftlichkeitsrechnung angenommenen Anschaffungskosten eine sehr gute Übereinstimmung:

Anschaffungskosten in der Wirtschaftlichkeitsrechnung (Variante A2) korrigiert:	303 TDM
Anschaffungskosten real:	307 TDM

Bei den angesetzten Montagekosten ergeben sich jedoch gravierende Abweichungen zwischen den angenommenen Kosten in der Wirtschaftlichkeitsrechnung und den realen Kosten. Hier stehen den angenommenen Montagekosten von ca. 90 TDM reale Kosten für die Montage von ca. 480 TDM gegenüber. Diese starke Abweichung mit einem Faktor von 5,3 lässt sich nur mit den besonderen Arbeits- und Montagebedingungen bei einer Sanierung erklären. Da sich dieser Faktor bei allen betrachteten Varianten in der Wirtschaftlichkeitsrechnung gleich auswirkt, bleiben deren Aussagen hinsichtlich der Konzeptentscheidung bestehen.

4. Messphase und Auswertung

Im Rahmen wurden zwischen dem 19. November 1997 und dem 31. Mai 1999 ausgewählte Raumlufttemperaturen, der Stromverbrauch in Klassenräumen, Zustandsgrößen der Fenster, der Beleuchtung und der Jalousien und die Wärmeverbräuche der Gebäude und ausgewählter Räume erfaßt und ausgewertet. Ziel ist die Validierung der ausgeführten Maßnahmen.

4.1. Gebäudehülle

Nach Abschluss der Sanierungsarbeiten wurde erneut eine Luftdichtheitsmessung mit der Blower-Door-Methode durchgeführt. Tabelle 41 zeigt die Ergebnisse der Messung. In einem Großteil der Räume war allerdings eine Messung unmöglich geworden, da mit der Erneuerung des Elektroverteilsnetzes Kabelpitschen von Klassenraum zu Klassenraum durch die Trennwände hindurch verlegt wurden. Eine Abdichtung dieser Durchbrüche war nicht möglich. Das Lehrerzimmer im Gebäude 2 wurde im Rahmen der durchgeführten Instandhaltungen vergrößert. Daher erfolgte keine zweite Messung. Nur im Klassenraum der Berufsschule im Erdgeschoß Gebäude 1 war eine erneute Messung möglich. Die gemessenen Wert von $n_{50} = 1,5/1,6 \text{ h}^{-1}$ nach Abkleben der Tür zur Turnhallenbühne lassen auf eine Erhöhung der Luftdichtheit schließen. Bei der Hausmeisterwohnung im Dachgeschoß konnten keine signifikanten Unterschiede in den Meßergebnissen zum Zustand vor der Sanierung festgestellt werden, da die Undichtheiten hauptsächlich an Innenbauteilen auftraten, die nicht in die Sanierung eingebunden waren.

Tabelle 41 Ergebnisse der Luftdichtheitsmessung nach der Sanierung in der GHS Stuttgart-Plieningen.

Raum	Luftwechsel [h^{-1}] bei 50 Pa		Bemerkung
	Unterdruck	Überdruck	
1 Klasse; DG BT1	3,4	3,4	Undichtheiten durch die Kabelkanäle (nach der Sanierung), Leiste Heizungskanäle, Installationsschacht
2 Klasse; DG BT1	-	-	Messung realistischer Werte wegen Kabeldurchbrüchen nicht möglich
3 Klasse; DG BT2	-	-	Messung realistischer Werte wegen Kabeldurchbrüchen nicht möglich
4 Klasse; DG BT2	-	-	Messung realistischer Werte wegen Kabeldurchbrüchen nicht möglich
5 Lehrerzimmer; DG BT2	-	-	wesentliche Veränderung der Randbedingungen Volumen, neue Fensteröffnungen, Messung war nicht möglich
6 Klasse; DG BT3			keine Messung
7 Klasse; DG BT3			keine Messung
8 Klasse 1; EG BT1 West	2,2		Tür zum Bühnenraum sehr undicht, um Heizungsrohre undicht
	1,5	1,6	Tür zur Turnhalle abgeklebt
Hausmeisterwohnung	1,5	1,8	

Ebenfalls nach Abschluß der Arbeiten wurden erneut Thermographieaufnahmen von den Gebäuden erstellt. In Bild 53 ist die thermographische Aufnahme der Westfassade des Gebäudes 1 nach der Sanierung dargestellt. Neben dem geöffneten Küchenfenster der Hausmeisterwohnung im Dachgeschoß ist jedoch die gleichmäßige Temperatur auf der gesamten außengedämmten Fassade zu erkennen. Im Gegensatz dazu ist in Bild 54 die durch die Innendämmung hervorgerufene Wärmebrü-

ckenwirkung der Decken, die sich auf der Fassade abzeichnen, deutlich zu erkennen. In der Gebäudeecke befindet sich ein reflektierendes Regenfallrohr. Die anschließende Nordfassade ist von außen gedämmt.



Bild 53 Thermographie der Westfassade von Gebäude 1 nach der Sanierung. Das Küchenfenster der Hausmeisterwohnung im Dachgeschoss ist gekippt

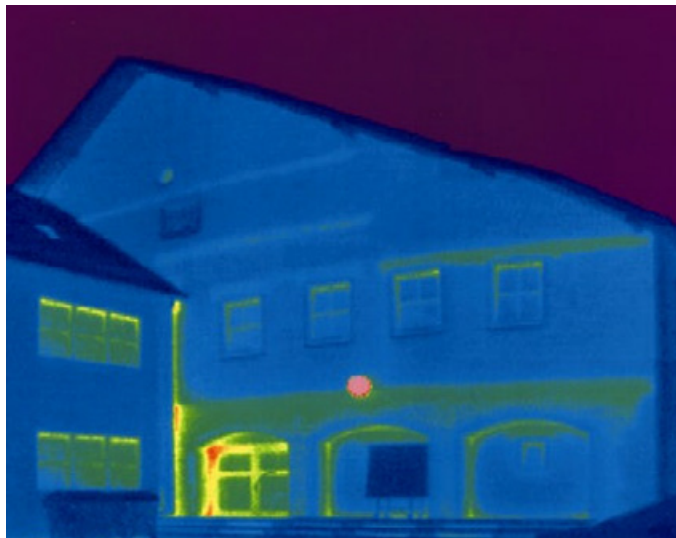


Bild 54 Thermographie der Ostfassade von Gebäude 1 mit Arkadengang. Die Fassade ist innen gedämmt, die anschließende Nordfassade ist außen gedämmt.

Balkenköpfe Turnhalle

Die verschiedenen ausgeführten Varianten der Balkenköpfe in der Turnhalle werden ebenfalls regelmäßig überwacht. Dazu wurden an den Balkenköpfen 1, 2 und 3 die Temperaturen kontinuierlich erfaßt. Bei allen Balkenköpfen werden die Feuchtwerte in regelmäßigen Abständen manuell erfaßt. In Bild 55 sind in der oberen Darstellung die mittleren monatlichen Temperaturen der Außenluft und der Innenraumluft der Turnhalle in Höhe der Galerie aufgetragen. Die mittlere Darstellung zeigt die an den Oberflächen der Balkenköpfe erfaßten Tem-

peraturen. Die durchgezogene Linie zeigt dabei die Monatsmittelwerte der kontinuierlich erfaßten Temperaturen; die dargestellten Einzelwerte sind die Momentanablesungen, die zu den Ableseungen der Feuchtwerte gehören. Diese sind für alle Balken in der unteren Darstellung zu sehen. Da nur die Temperaturwerte der ersten drei Balkenköpfe erfaßt werden konnten, sind die Holzfeuchtegehalte der Balkenköpfe 4 bis 6 auf die Temperatur des ersten Balkens bezogen.

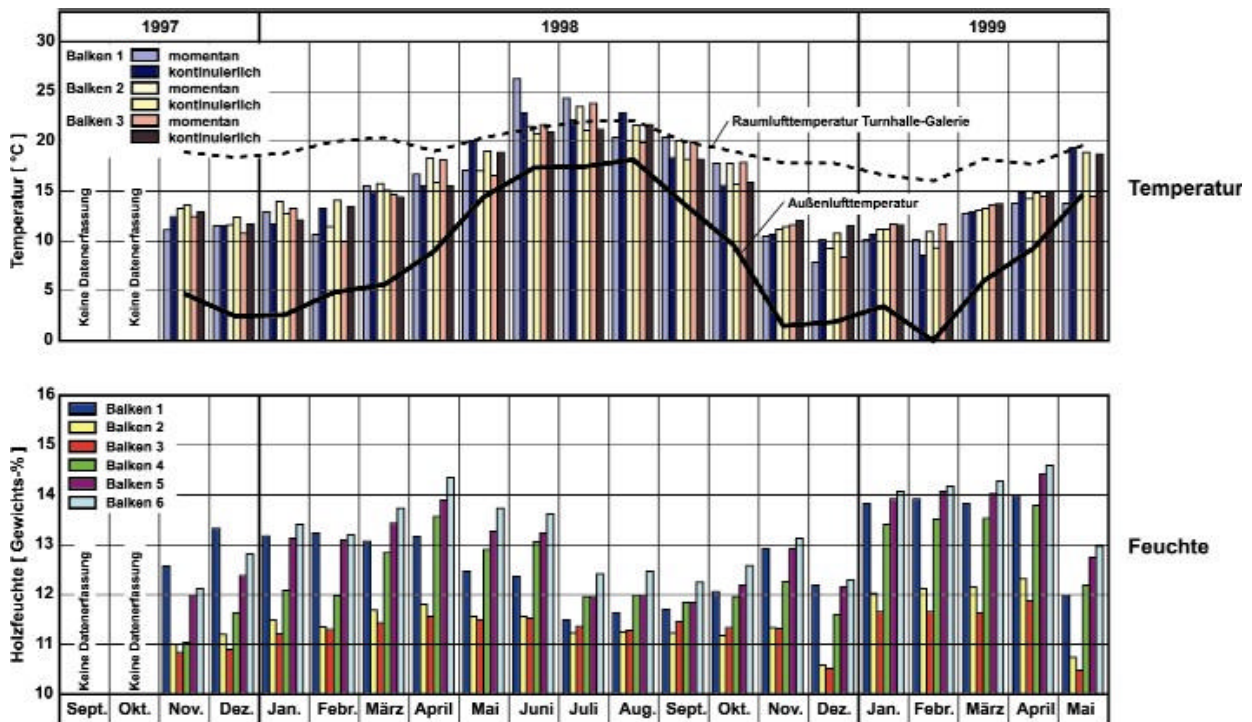


Bild 55 Temperaturen und Feuchte an den Balkenköpfen

Mit dem dreidimensionalen Wärmebrückenprogramm Triso [33] wurde jeder Balkenkopf bei einer Außentemperatur von 10°C und einer Innentemperatur von 20°C stationär betrachtet. Auf dieser Grundlage kann das Temperaturverhalten der nicht erfaßten Balkenköpfe eingeschätzt werden. Aus Bild 56 ist zu erkennen, dass die Wärmeleitbleche den durch die Innendämmung hervorgerufenen Temperaturabfall gut abfangen und den Balkenkopf bis nahe an das Ende auf einem höheren Temperaturniveau halten können. Günstig scheint sich die Kombination von Wärmeleitblechen und Polyurethanschaum auszuwirken. Die durch die Leitbleche an den Balken transportierte Wärme kann nicht so schnell nach außen abfließen. Dies kann auch aus den mittleren Temperaturen in Bild 55 abgelesen werden. Die bisher gemessenen Feuchtegehalte bewegen sich für die verschiedenen Varianten zwischen 10 und 15 M%, wobei die beiden Varianten 2 und 3 mit Wärmeleitblechen den niedrigsten und einen ausgeglicheneren Feuchtegehalt aufweisen. Ein kontinuierliches Ansteigen des Feuchtegehaltes infolge der Innendämmung konnte bisher nicht festgestellt werden. Da sich solche Effekte mitunter erst nach mehreren Jahren einstellen, wird die weitere regelmäßige Überprüfung der Feuchtegehalte mit der vor Ort weiterhin erfassbaren Temperatur empfohlen.

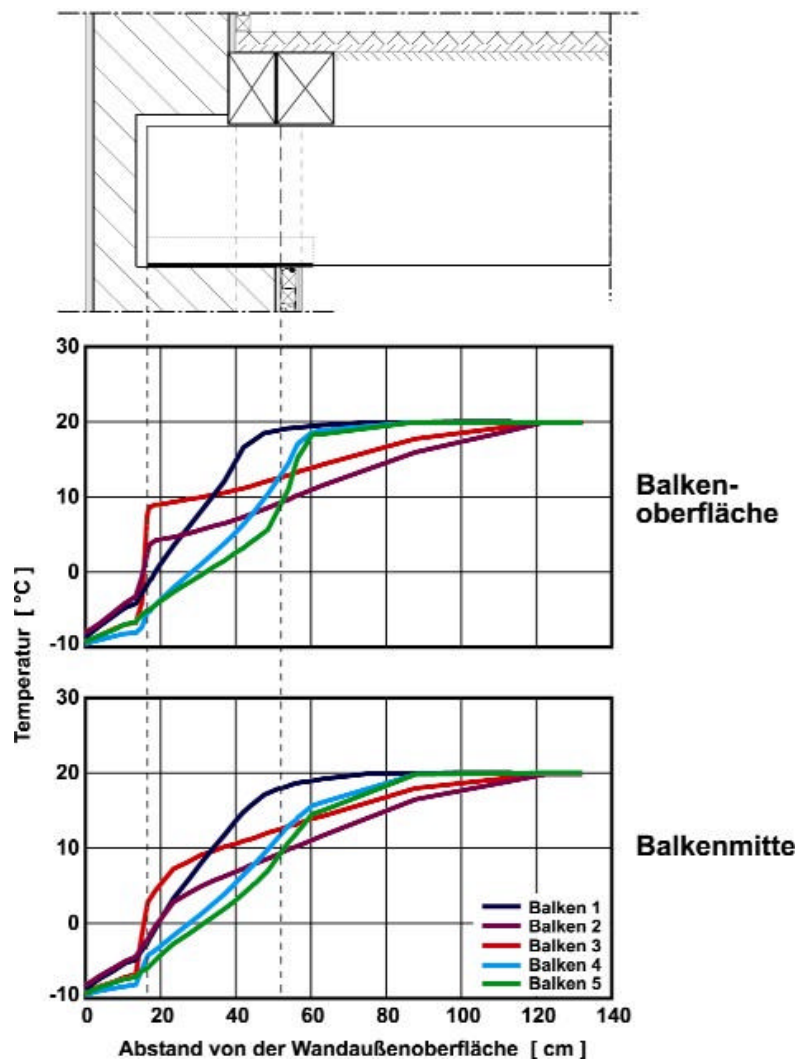


Bild 56 Temperaturverteilung im Balken

4.2. Bewertung der Energiebilanzen und Temperaturlaufzeichnungen

Bild 57 zeigt den Heizenergiekennwert der Schule, der mit dem Stuttgarter Energiekontrollsystem erfaßt wurde, seit Projektbeginn 1995. Die einzelnen Säulen sind dabei die Tageskennwerte, die durchgezogene Linie jeweils der laufende Kennwert des Jahres. Der jährliche Verbrauch sank von ca. 220 kWh/m²a für die gesamte Schule auf 60 kWh/m²a nach der Sanierung. Deutlich zu erkennen sind die hohen Tageskennwerte vor der Sanierung und deren drastisches Sinken mit Inbetriebnahme des sanierten Gebäudes Anfang 1997. Dieser Wert schließt allerdings auch den Energieverbrauch des 1996 gleichzeitig mit der Sanierungsmaßnahme angebauten Neubaus der Schule ein. Hier erfolgte jedoch eine Flächenbereinigung.

Heizkennwerte

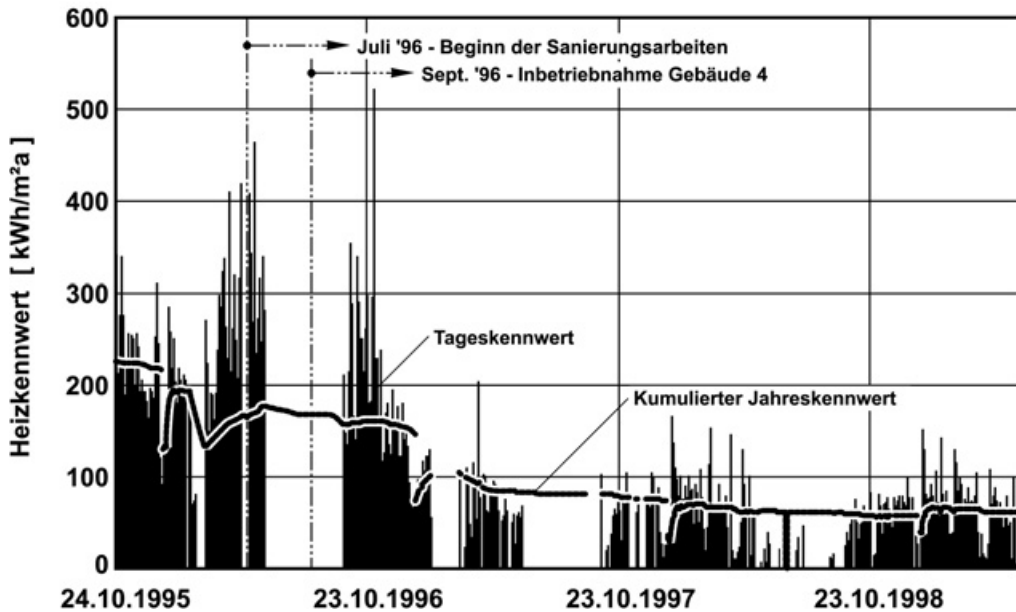


Bild 57 tägliche und jährliche Heizkennwerte seit Projektbeginn

Die mittleren Außenlufttemperaturen in der beiden Heizperioden lagen im Mittel um 0,4 K über der Heizperiodentemperatur des Testreferenzjahres (TRY) Würzburg. Die mittlere Außenlufttemperatur im Januar 1998 lag sogar 3,8 K höher als im Testreferenzjahr. In der zweiten Heizperiode lag die Temperatur im November zwar um 2 K niedriger, dafür war aber wiederum der Januar 1999 um 4 K wärmer als im Testreferenzjahr. In den Sommermonaten war es etwas wärmer als in den vergleichbaren Monaten des TRY.

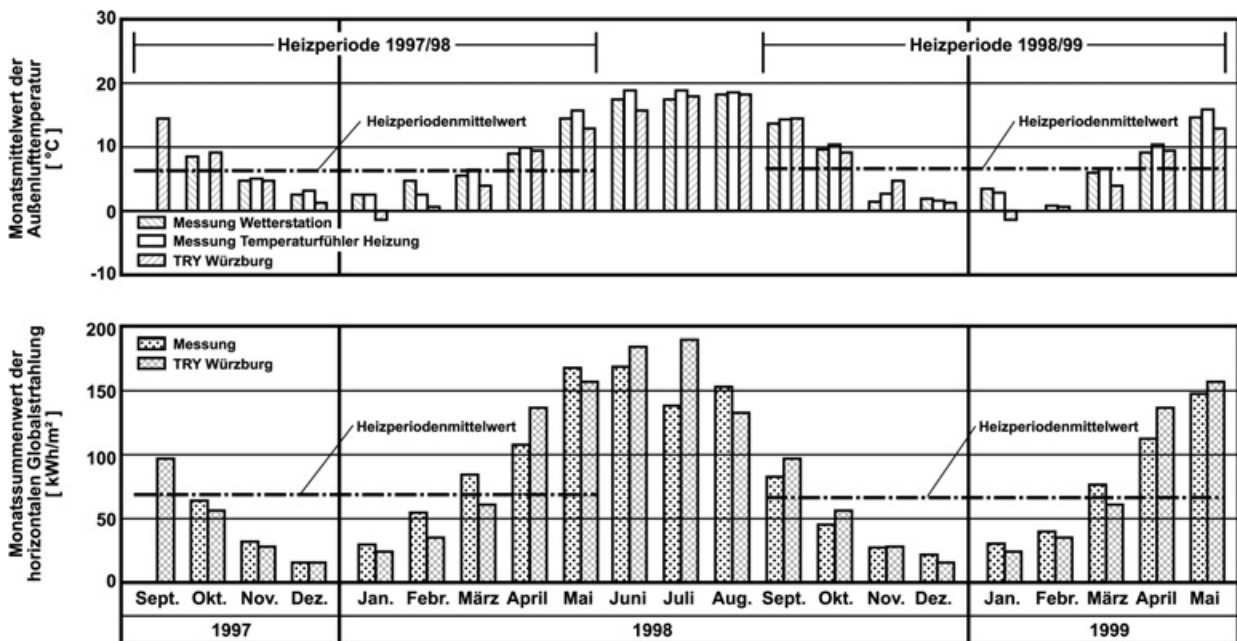


Bild 58 Außentemperatur und Globalstrahlungswerte in Stuttgart

Bild 58 zeigt den monatlichen Verlauf der Außenlufttemperatur des TRY und der gemessenen Außenlufttemperatur. Dargestellt ist die gemessene Temperatur der Wetterstation des IBP in Stuttgart-Vaihingen und des Außenluftfühlers zur Heizungssteuerung an der Schule in Stuttgart-Plieningen. Ebenfalls dargestellt sind in Bild 58 die mittleren monatlichen Globalstrahlungswerte des Testreferenzjahres und der gemessenen Werte der IBP Wetterstation. Die Heizperiodenmittelwerte stimmen sehr gut überein. Im Sommer jedoch liegen die Strahlungswerte unter denen des Testreferenzjahres.

Bild 59 zeigt die monatlichen Heizwärmeverbräuche aller Gebäude der Schule. Gebäude 1 bis 3 sind dabei die sanierten Gebäude, Gebäude 4 ist der Neubau, der gleichzeitig mit der Sanierung errichtet wurde. Für die durchgeführte Sanierung ist das Ergebnis sehr erfreulich. Der Wärmeverbrauch aller sanierten Gebäude ist in der Monatssumme stets niedriger als der Verbrauch des Neubaus. In der Heizperiode 97/98, bei der erst ab Mitte November die Werte erfaßt werden konnten, hatten die Gebäude 1 bis 3 einen mittleren Verbrauch von 38 kWh/m²a. Der Neubau hatte dagegen einen Verbrauch von 47 kWh/m²a. In der vollständig erfaßten zweiten Heizperiode betrug der Wärmeverbrauch der drei sanierten Gebäude im Mittel 48 kWh/m²a. Im Neubau wurden in diesem Zeitraum rund 20 kWh/m²a mehr verbraucht. Der Wärmeverbrauch aller sanierten Gebäude ist nur halb so groß wie der nach der Wärmeschutzverordnung berechnete Heizwärmebedarf nach der Sanierung, da nun nach Ersatz der alten Heizungsanlage ein intermittierender Heizbetrieb mit der neuen Anlage möglich ist.

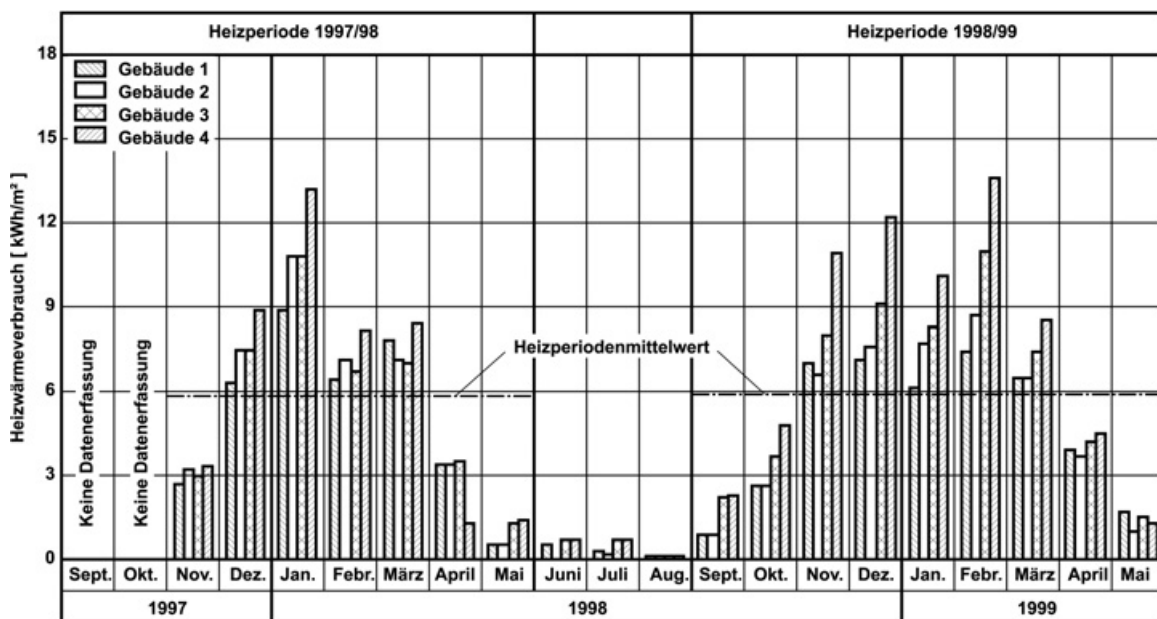


Bild 59 Heizwärmeverbräuche aller Gebäude

Die Turnhalle hat aufgrund der großen Raumhöhe von 6,2 m einen hohen nettoflächenbezogenen Verbrauch von 60 bzw. 53 kWh/m² in den beiden Heizperioden. Das Rektorat weist ebenfalls einen hohen Verbrauch auf. Das Rektorat hat allerdings längere Nutzungszeiten als z.B. die Klassenräume. Auf Nachfrage teilte der Lehrstuhl für Heiz- und Raumlufttechnik jedoch mit, daß durch einen defekten Raumtem-

peraturfühler die Regelbarkeit der Heizkörper im Rektoratsbereich eingeschränkt sei. Die monatlichen Verbräuche von Rektorat und Turnhalle zeigt Bild 60, die der Referenzklassenzimmer in Gebäude 1, 2 und 3 Bild 61.

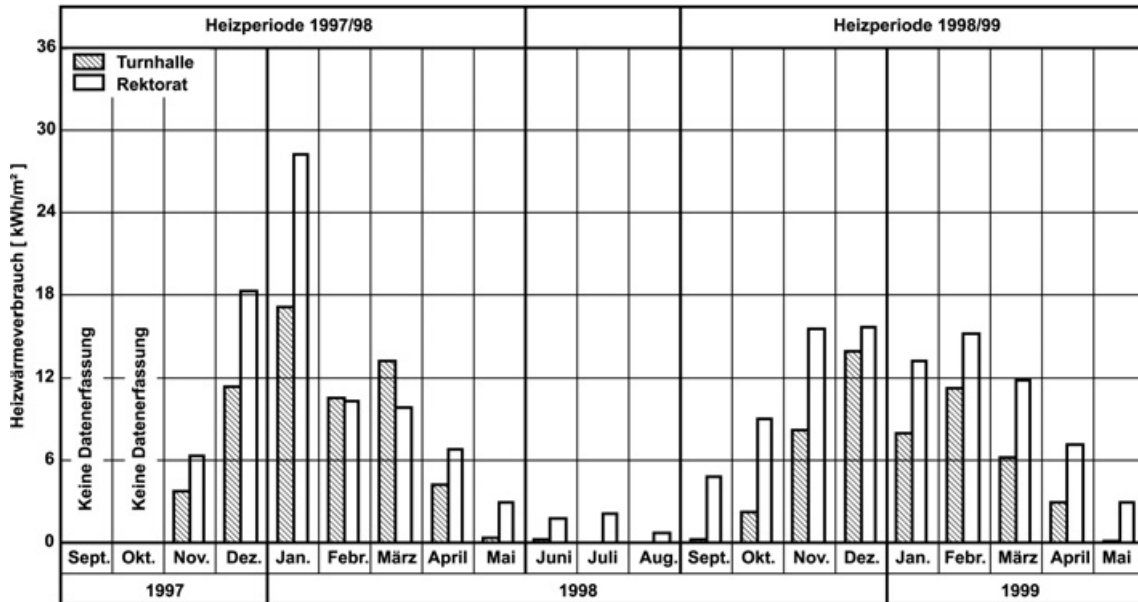


Bild 60 monatlicher Heizwärmeverbrauch von Turnhalle und Rektorat

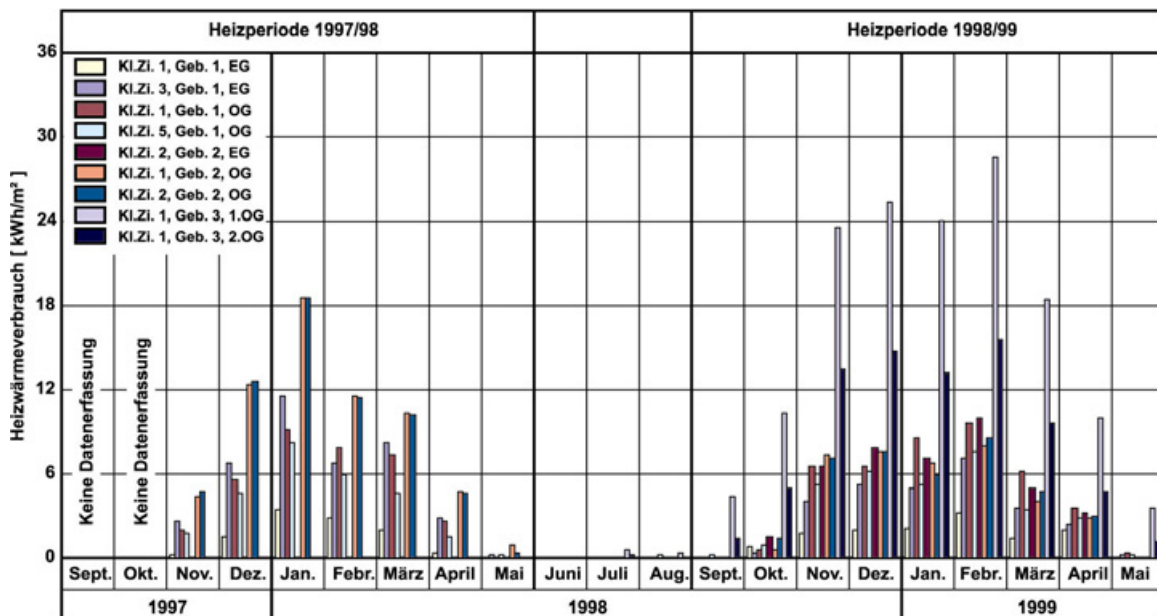


Bild 61 monatlicher Heizwärmeverbrauch von Referenzklassenzimmern

Die Klassenräume wiesen, wie Tabelle 42 zeigt, generell einen sehr niedrigen Verbrauch auf. Der maximale Verbrauch in einem Klassenzimmer lag in der ersten Heizperiode bei 32 kWh/m² und in der zweiten Heizperiode bei 40 kWh/m².

Tabelle 42 Heizwärmeverbräuche für einzelne Räume und Gebäude nach der Sanierung, Meßzeitraum 19. November 97 bis 31. Mai 1999.

Gebäude	Raum	Heizperiode 97/98*		Heizperiode 98/99	
		MWh	kWh/m ² a Netto- grundfläche	MWh	kWh/m ² a Netto- grundfläche
1	Turn und Versammlungshalle	32,5	60,4	28,5	53,0
	Klassenzimmer EG, Berufsschule 1	0,5	5,3	0,6	6,7
	Klassenzimmer OG, Berufsschule 1	1,6	17,3	1,9	21,0
	Klassenzimmer EG, GHS 3	1,2	19,5	0,8	13,8
	Klassenzimmer OG, GHS 5	0,8	13,5	0,9	15,8
	Gesamtes Gebäude	71,8	36,0	86,1	43,2
2	Rektorat	5,9	82,7	6,8	95,5
	Klassenzimmer OG, GHS 1	2,1	31,5	1,2	18,7
	Klassenzimmer EG, GHS 2	5,-	-	1,3	20,7
	Klassenzimmer OG, GHS 2	2,0	31,3	1,3	19,4
	Gesamtes Gebäude	44,0	39,6	50,2	45,2
3	Klassenzimmer AG, GHS 1	-	-	6,2	74,2
	Klassenzimmer 1, OG, GHS 3	-	-	2,7	39,6
	Gesamtes Gebäude	81,8,	39,7	114,0	55,4
Gesamte Schule		197,6	38,3	250,3	48,5

Bei der nach Gebäuden differenzierten Betrachtung der Heizenergieverbrauchs-kennwerte bestätigt sich der prognostizierte Vorteil einer Einzelraumregelung verbunden mit niedrigen Auslegetemperaturen gegenüber thermostatventilgeregelter Wärmeabgabe und hohen Auslegungstemperaturen. So verbrauchte Gebäude 1 (Einzelraumregelung, Auslegungstemperaturpaarung 60/40) im Jahre 1998 flächenbezogen ca. 8,5 % weniger Heizenergie als Gebäude 2, das überwiegend mit thermostatventilgeregelter Räumen ausgestattet ist und mit einer Temperaturpaarung von 70/50 betrieben wird. Der prozentuale Unterschied im flächenbezogenen Heizenergieverbrauch zu Gebäude 3 (thermostatventilgeregelt, Auslegungstemperaturpaarung 70/50) und Gebäude 4 (thermostatventilgeregelt, Auslegungstemperatur-

paarung 80/60) mit 17,5% und 39,8% fällt noch deutlicher aus. Allerdings ist hier zu bedenken, dass der Wärmedämmstandard von Gebäude 3 und Gebäude 4 etwas schlechter ist als der Dämmstandard von Gebäude 1 und Gebäude 2.

Auffallend ist, dass der Heizkennwert des Rektorats ungefähr doppelt so hoch ist wie der der übrigen Heizkreise. Die Ursachen hierfür sind längere Belegungszeiten als in den Klassenzimmern, keine Nachtabsenkung und oft überheizte Räume wegen den fest eingestellten Thermostatventilen. Die Regelung erfolgt über einen Leit-raum, das Sekretariat. Hier wird die Vorlauftemperatur von den Nutzern für den gesamten Heizkreis über die Zimmertemperatur eingestellt. Diese wird wegen des hohen Luftwechsels durch den Publikumsverkehr hoch eingestellt. Für die restlichen Räume ist die Vorlauftemperatur zu hoch. Da die Ventile nicht verstellt werden können, sind die Raumtemperaturen zeitweise unbehaglich hoch. Die Nutzer behelfen sich teilweise durch das Öffnen der Fenster.

Die mittleren monatlichen Temperaturen auf dem Dachboden der Gebäude 1 und 2 liegen in der Regel bis zu 5 K über der Außenlufttemperatur. Die Raumlufttemperaturen der Flure und Treppenhäuser liegen in den Heizperioden zwischen 13 und 21 °C.

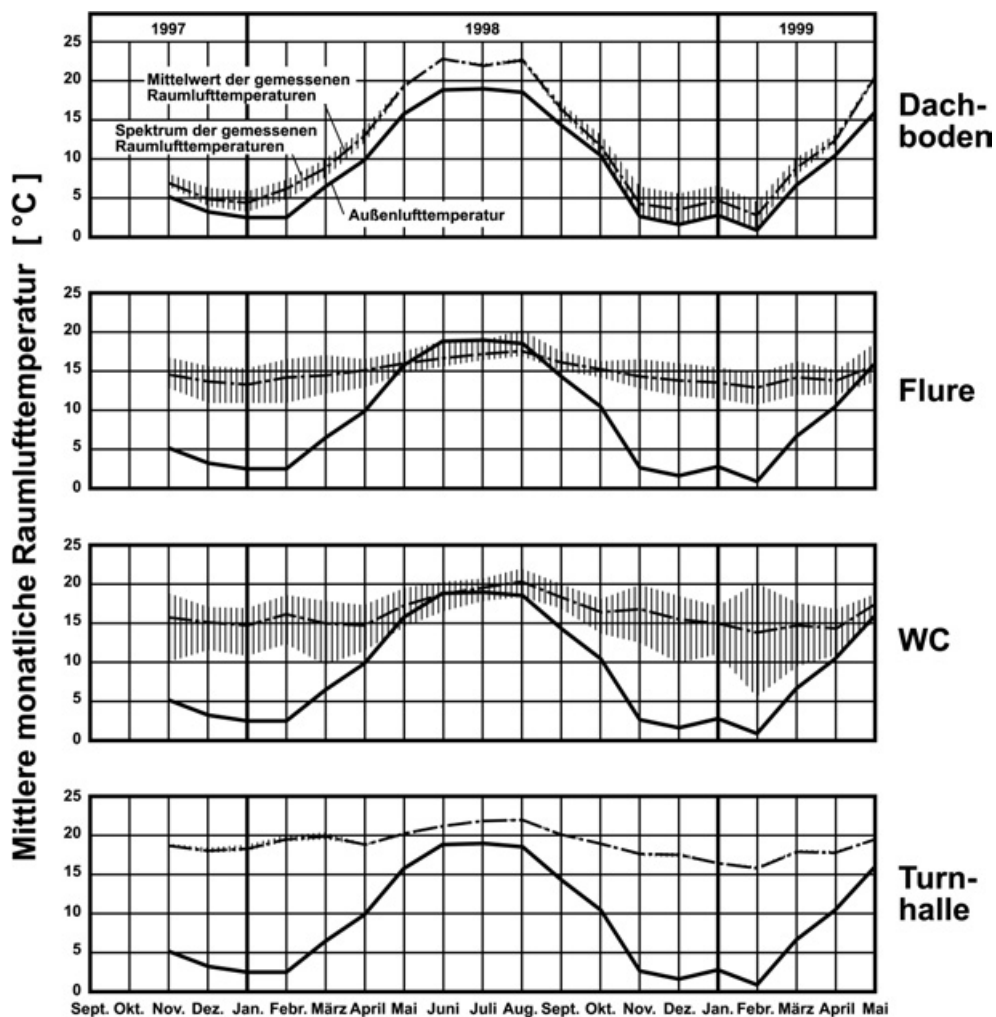


Bild 62 Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen

Die Temperaturen in den WC's sind sehr stark von der Lage abhängig. Das Pausen-WC, das nur vom Schulhof her zugänglich ist, weist Temperaturunterschiede von 4-15 K zu den anderen beiden gemessenen WC's auf. Die tiefste Monatsmitteltemperatur beträgt 6 °C. In der Turnhalle liegt der Mittelwert der Heizperiode bei 19 bzw. 18 °C. Im Sommer betragen die Monatsmitteltemperaturen 21 bis 22 °C. Die Monatsmittelwerte der Temperaturen Dachboden, Flure, WC und Turnhalle sind in Bild 62 mit den Minimal- und Maximalwerten dargestellt. Die Hausmeisterwohnung wird seit der Sanierung nun von einer eigenen Gas-Therme versorgt, so dass die Wohnung auch beheizt werden kann, ohne dass die gesamte Schule mit erwärmt wird.

In Bild 63 sind das Spektrum und die Mittelwerte der gemessenen Monatsmittelwerte der Raumlufthtemperaturen der Klassenräume der Grund- und Hauptschule dargestellt. Ein Raum fällt vollkommen aus diesem Spektrum heraus. Es ist derselbe Raum im 1. OG im Gebäude 3, der schon einen erhöhten Wärmeverbrauch aufwies. Die gemessene Temperatur bestätigt nun, daß die Regelung nicht wie geplant funktioniert. Die mittlere Temperatur der Klassenräume, ohne obengenannten Raum, beträgt in der ersten Heizperiode 17,0 °C und in der zweiten Heizperiode 18,5 °C.

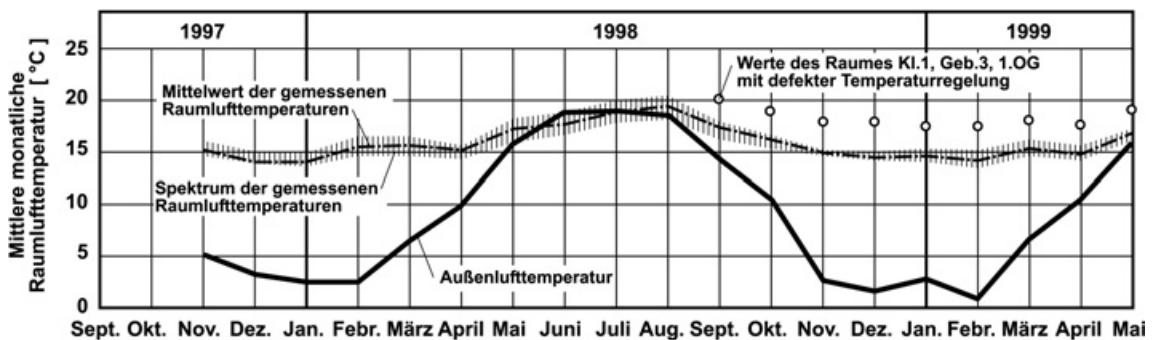


Bild 63 Spektrum der gemessenen Raumlufthtemperaturen

In Tabelle 43 sind die mittleren Temperaturen der Klassenräume in den zwei Heizperioden und im Sommer 1998 zusammengestellt. In den Sommermonaten beträgt die durchschnittliche Temperatur 22,7 °C. Zu Überhitzungserscheinungen im Sommer während der Unterrichtszeiten kam es nicht.

Werden die Tagesverläufe der Temperatur analysiert, so zeigt sich, daß die Raumlufthtemperatur während der Unterrichtszeiten selten 20 °C übersteigt. Auf Nachfrage beim Rektor der Schule werden die Temperaturen in den Klassenräumen aber als angenehm empfunden, was mit den erhöhten Oberflächentemperaturen der Umschließungsflächen durchaus erklärt werden kann.

Tabelle 43 Mittelwerte der Raumlufftemperaturen in ausgewählten Räumen der Grund- und Hauptschule.

Räume		Gebäude		Mittelwert		
				HP 97/98*	Sommer 98	HP 98/99
Landwirtschaftliche Berufsschule	Klassenzimmer 1	1	EG	17,8	21,1	17,5
	Klassenzimmer 1	1	OG	19,0	22,5	18,8
	Klassenzimmer 2	1	OG	18,3	20,6	18,1
	Klassenzimmer 3	1	OG	18,8	21,6	18,4
	Mittelwert			18,4	21,6	18,2
Grund- und Hauptschule	Klassenzimmer 2	1	EG	18,5	21,4	18,1
	Klassenzimmer 3	1	EG	17,4	21,4	18,2
	Klassenzimmer 4	1	OG	19,0	22,4	18,5
	Klassenzimmer 5	1	OG	17,9	22,5	18,3
	Klassenzimmer 1	2	EG	19,3**	22,6***	18,0
	Klassenzimmer 2	2	EG	19,0	23,5***	18,3
	Klassenzimmer 3	2	EG	19,9**	22,6***	19,0
	Klassenzimmer 4	2	EG	19,4**	21,8***	18,5
	Klassenzimmer 1	2	OG	18,9	23,9***	18,5
	Klassenzimmer 2	2	OG		24,3***	18,9
	Klassenzimmer 1	3	OG 1	-	-	21,6
	Klassenzimmer 1	3	OG 2	18,2	23,6	19,0
	Mittelwert			17,0	22,7	18,5
	Sonderräume	Unterricht	2	UG	17,8	19,4
Werkraum		2	UG	18,2	20,6	17,3
Bücherei		3	EG	17,7	22,0	17,3
Werkraum Holz		3	EG	17,0	20,8	17,3
Mittelwert				17,6	20,8	17,3
Mittelwert alle				18,4	22,0	18,3

* alle Messwerte ab 19. November 1997

** vom 8.3.-16.5.1998

*** vom 16.7.-31.8.1998

Bild 64 zeigt die mittleren Fensteröffnungszeiten der Klassenräume. Dabei ist der Wert der Fensteröffnungszeiten der Mittelwert aller in einem Klassenraum befindlichen Fenster. Außerdem in Bild 64 aufgetragen ist der Mittelwert aller Fenster in den Klassenräumen der GHS Stuttgart-Plieningen.

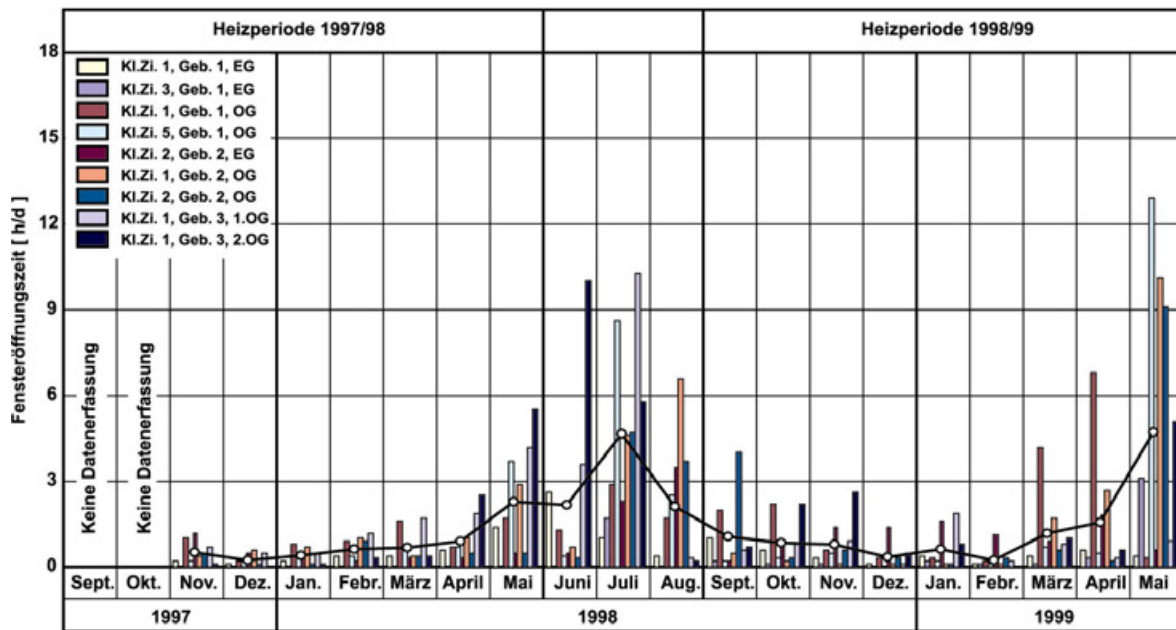


Bild 64 Fensteröffnungszeiten der Klassenräume

Die ermittelten Werte sind generell als niedrig einzustufen. Eine genauere Analyse kann daher nur mit typischen stündlichen Verläufen über eine gesamte Woche erfolgen. Dabei wird den Fensteröffnungszeiten zweier Räume der jeweilige Stundenplan des Klassenraumes und der Temperaturverlauf gegenübergestellt. Dies wurde für die Monate November 98 und März 99 ermittelt. Die Ergebnisse sind in den Bildern 65 bis 68 zu sehen. Die Fenster werden generell sehr wenig geöffnet.

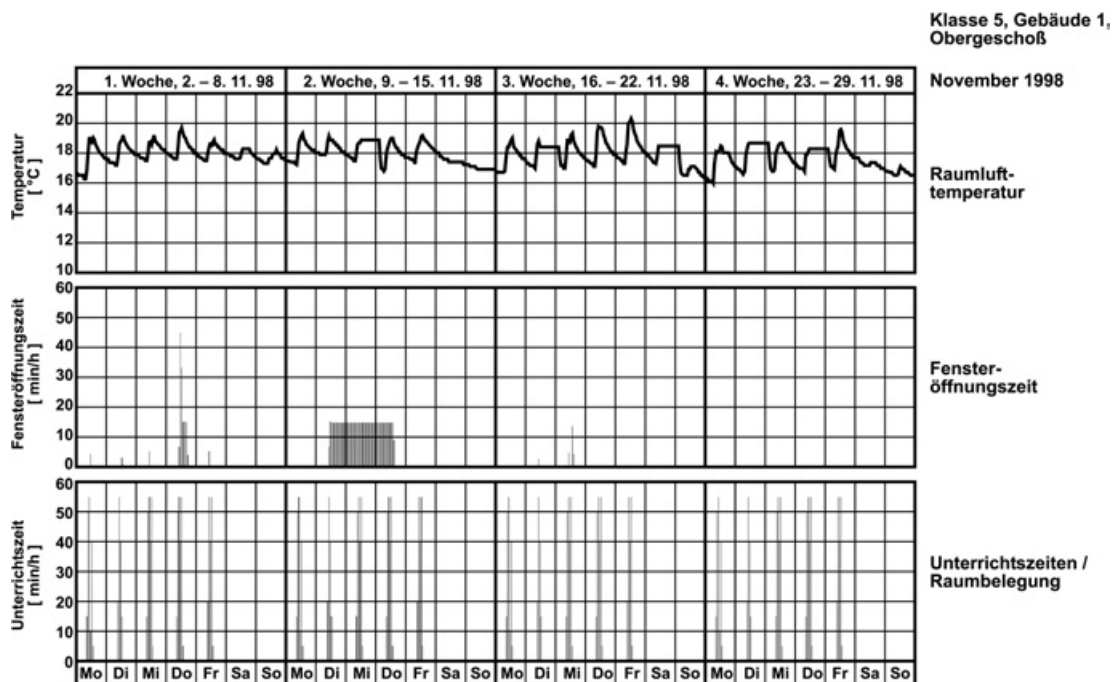


Bild 65 Fensteröffnungszeiten Klasse 5 Gebäude 1, November 1998

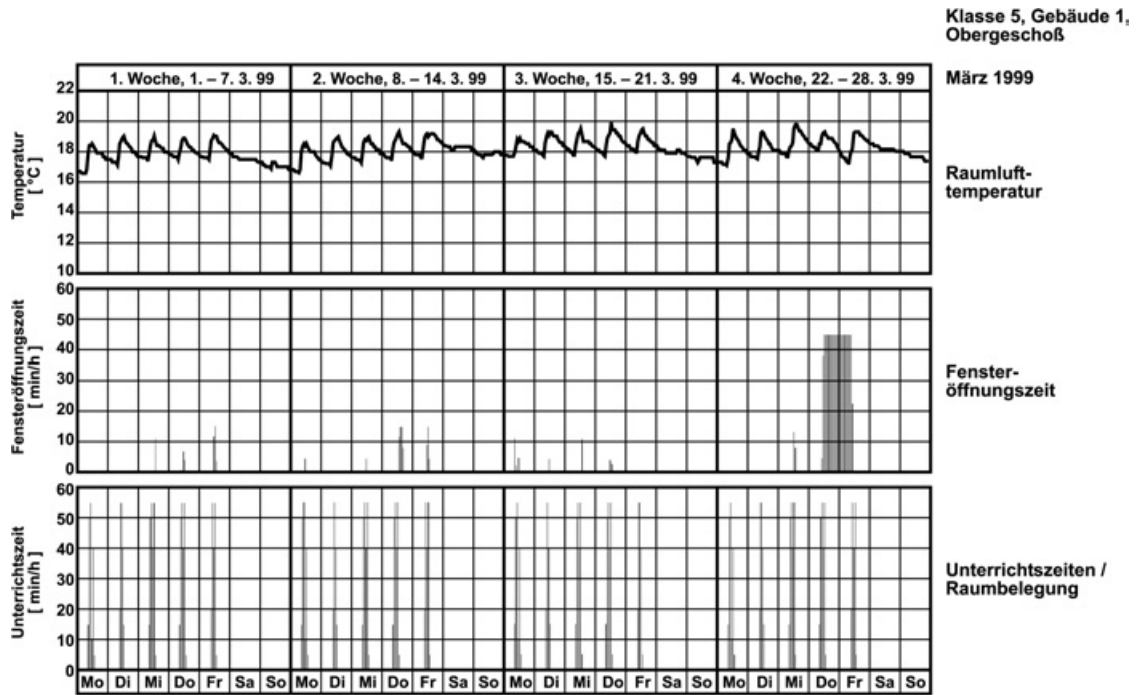


Bild 66 Fensteröffnungszeiten Klasse 5 Gebäude 1, März 1999

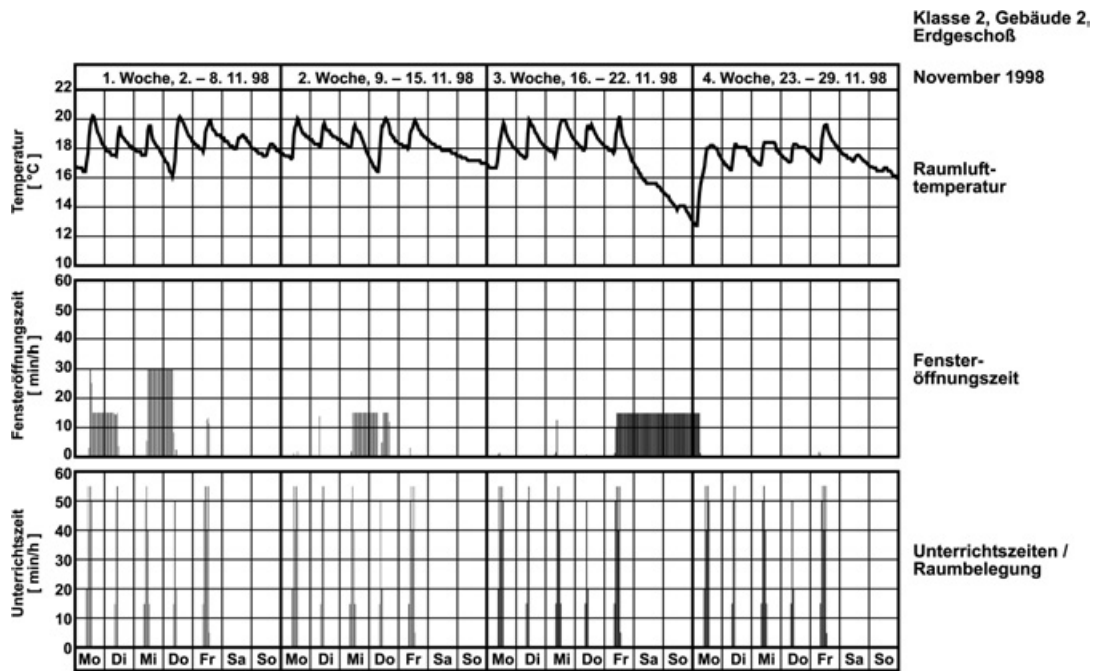


Bild 67 Fensteröffnungszeiten Klasse 2 Gebäude 2, November 1998

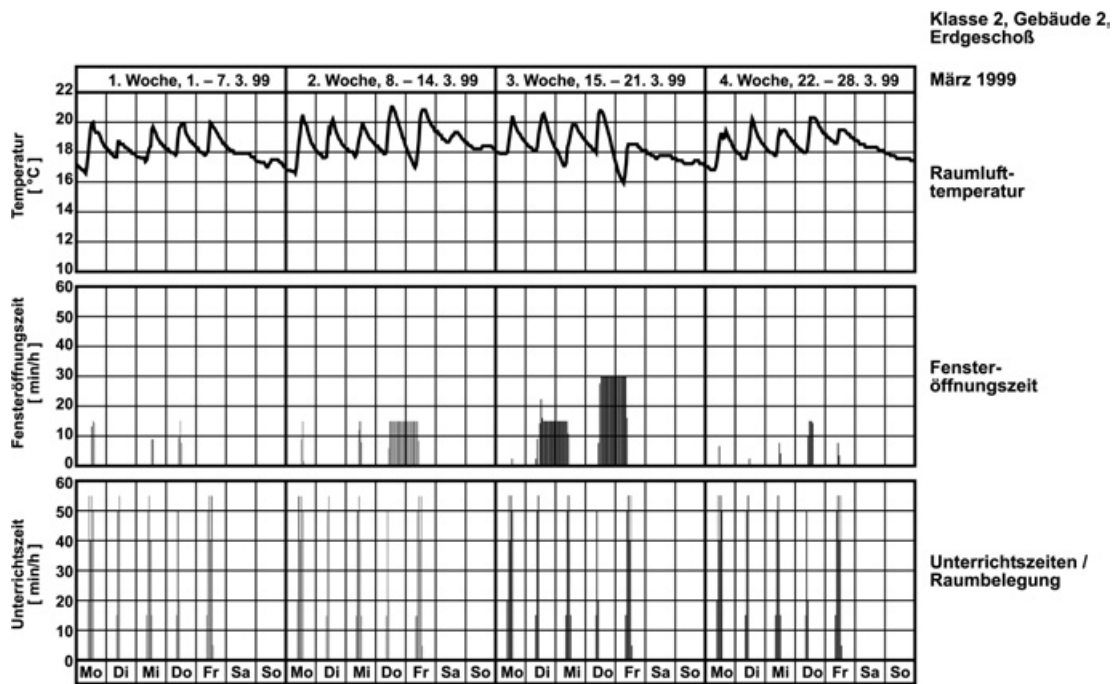


Bild 68 Fensteröffnungszeiten Klasse 2 Gebäude 2, März 1999

An einigen Tagen kann eine Korrelation mit den Unterrichtszeiten festgestellt werden. In allen Bildern ist jedoch zu erkennen, daß durch Unachtsamkeit die Fenster des öfteren über Nacht geöffnet blieben. In der Klasse 5 im Obergeschoß des Gebäudes 1 war dies sogar über drei hintereinander liegende Wochentage im November, im Klassenraum 2 im Erdgeschoß des Gebäudes 2 über ein gesamtes Wochenende im November der Fall. Deutlich zu erkennen ist der daraus resultierende stärkere Temperaturabfall in der Nacht, da die Heizung nachts erst bei Temperaturen unter 10 °C nachheizt.

Mit den niedrigen Fensteröffnungszeiten kann auch das an den Fensterscheiben aufgetretene Problem der Feuchtebildung und damit die Schimmelpilzbildung in den Silikon-Fugen zwischen Rahmen und Verglasung erklärt werden. Da die relative Luftfeuchtigkeit nicht gemessen wurde, kann dazu keine Aussage getroffen werden. Es ist jedoch verwunderlich, daß bei Verglasungen mit einem k-Wert nach Bundesanzeiger von 1,30 W/m²K unter normalen Außenwitterungsbedingungen Oberflächentauwasser auftritt. Im Bereich des Randverbundes treten jedoch die niedrigsten Oberflächentemperaturen im Raum auf. Der Tauwasserausfall kann nur auf eine stark erhöhte relative Luftfeuchtigkeit zurückzuführen sein. Erschwerend kommt hinzu, daß die Fenster bei in Augenscheinnahme einen hohen Verschmutzungsgrad aufwiesen, der die Bedingungen für Schimmelpilzwachstum verbessert. Nach Aussagen der Schule werden die Fenster einmal jährlich gereinigt. Es sollten daher in jedem Klassenraum einfache Hygrometer angebracht werden, welche beim Überschreiten eines Grenzwertes von 55% relative Luftfeuchte durch entsprechende Markierungen auf das notwendige Öffnen der Fenster hinweisen. Problematisch stellt sich dabei dar, daß nach dem Beenden der letzten Stunde die Fenster geschlossen bleiben und somit die entstandene Feuchte nicht aus dem Raum transportiert werden kann.

4.3. Heizungsanlage

Für die beiden Wärmeerzeuger kann nur ein Gesamtnutzungsgrad angegeben werden, da aufgrund der Einschränkungen bei der Messtechnik nicht beide Kessel getrennt gemessen wurden. Bild 69 zeigt die im Betrachtungszeitraum 1998 verbrauchte Brennstoffenergie (Gas) der Heizkessel, aufgeteilt in den Heizwert und den Anteil des Brennwertes. Auf der rechten Seite sind die mit Wärmemengenzählern (WZ) gemessenen Energieverbräuche der Heizkreise aufgetragen. Der Gesamtnutzungsgrad der beiden Gasheizkessel über das Jahr 1998 mit der Wärmeverteilung bis zum Heizkreisverteiler errechnet sich dann zu:

$$\nu_k = \frac{Q_3}{Q_2} = \frac{323516 \text{ kWh/a}}{306741 \text{ kWh/a}} = 0.95 \quad 4.1$$

Dies entspricht einer Aufwandszahl für die Erzeugung von $e_3 = 1,05$. Dieser hohe Gesamtnutzungsgrad bestätigt das gewählte Konzept mit zwei getrennten Vorlaufsammlern für den Brennwertkessel.

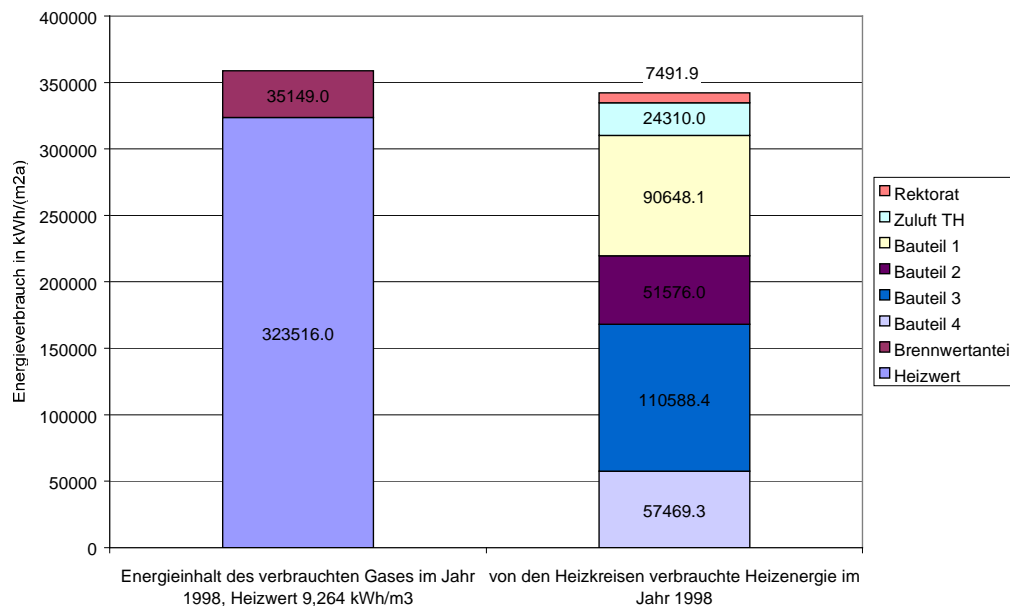


Bild 69: Gegenüberstellung des Primärenergieverbrauchs der Kessel und der Energieverbräuche der Heizkreise für das Jahr 1998

Der Brennwertkessel läuft mit den niedrigen Vorlauftemperaturen aus den Heizkreisen 1, 2, 3, 4 und 7 die überwiegende Zeit im optimalen Kondensationsbereich. Weiterhin ist die Laufzeit des Niedertemperaturkessels in der Kesselfolgeschaltung, gegenüber der Laufzeit des Brennwertkessels gering. So wirkt sich der niedrigere Wirkungsgrad wenig auf den Gesamtnutzungsgrad der Kessel aus.

Aufwandszahlen der neuen Heizungsanlage

Aus denen im Jahr 1998 gemessenen Energieverbräuchen für die einzelnen Bauteile und für die Wärmeerzeuger, lassen sich die Aufwandszahlen für die einzelnen Gebäude und für den Gesamtkomplex ableiten.

Zur Berechnung der Aufwandszahl in der Wärmeübergabe werden die in der Konzeptionsphase simulierten Referenzenergiebedarfswerte $Q_{0,N}$ der einzelnen Gebäude herangezogen. Da die in den Schulräumen verbrauchte Wärmemenge nur an einigen ausgewählten Stellen gemessen wurde, musste Q_1 über eine Abschätzung der Aufwandszahl für die Verteilung ermittelt werden. [35] gibt den Bereich der Aufwandszahlen in der Verteilung von $e_2 = 1,01$ bis $e_2 = 1,04$ an. Auf dieser Grundlage wird für die Gebäude 1, 2 und das Rektorat $e_2 = 1,03$ und für die Gebäude 3 und 4 $e_2 = 1,05$ gewählt. Die etwas höheren Aufwandszahlen bei Gebäude 3 und Gebäude 4 sind Folge der sehr langen Anschlussstränge in diesen Gebäuden. Für die Wärmeerzeugung wurde oben die Aufwandszahl zu $e_1 = 1,05$ ermittelt. Somit lassen sich die Aufwandszahlen, wie sie in Bild 70 dargestellt sind, für das gesamte Schulgebäude berechnen.

Die Werte für Gebäude 4 sind gestrichelt gezeichnet, da dieses Bauteil in der Konzeptionsphase nicht simuliert wurde. Der Referenzenergiebedarf muss abgeschätzt werden. Dafür wird das arithmetische Mittel der $Q_{0,N}$ - Werte für die Gebäude 2 und 3 benutzt.

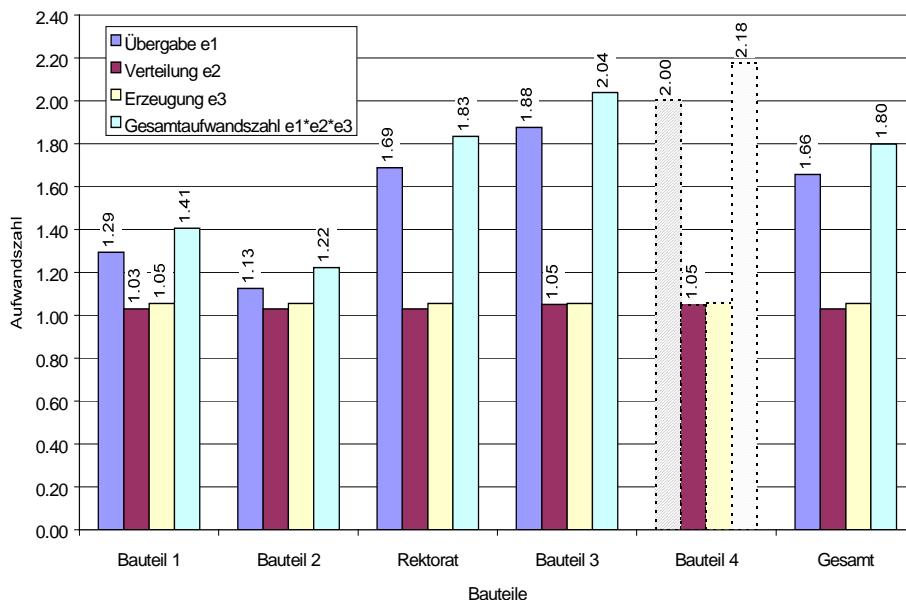


Bild 70: Aufwandszahlen der Übergabe, Verteilung, Erzeugung und die Gesamtaufwandszahlen für die einzelnen Bauteile

Es errechnet sich ein als niedrig einzustufender, flächenbezogener Referenzenergiebedarf von $Q_{0,N} = 35 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für das Gebäude 4. Wie in der Konzeptionsphase prognostiziert,

schneiden die mit Einzelraumregelung ausgerüsteten Bauteile sehr viel besser ab als die Bauteile mit thermostatventilgeregelten Heizkörpern. Die Gesamtaufwandszahlen liegen für Gebäude 1 bei $e_G = 1,41$ und für Gebäude 2 bei und $e_G = 1,22$. Im Mittel ergibt sich für die überwiegend mit Einzelraumregelung ausgerüsteten Gebäude eine mittlere Gesamtaufwandszahl von $e_{G,m} = 1,31$. Das Rektorat , Gebäude 3 und 4, die alle mit Thermostatventilen ausgerüstet sind, besitzen eine mittlere Gesamtaufwandszahl von $e_{G,m} = 2,01$. Der Energieverbrauch zum Beheizen der Räume (der Nutzen) liegt in diesen Bauteilen um 70% über dem Verbrauch der Bauteile mit Einzelraumregelung. Wird das Gebäude zusätzlich zu der Thermostatventilregelung mit hohen Auslegungstemperaturpaarungen betrieben, wie das bei Gebäude 4 der Fall ist (Temperaturpaarung 80/60), so verschlechtern sich die Verhältnisse nochmals. Die Gesamtaufwandszahl beträgt hier $e_G = 2,18$. Das in der Konzeptionsphase bevorzugte Konzept der Einzelraumregelung verbunden mit niedrigen Auslegungstemperaturpaarungen (60/40) bestätigt sich somit in der Praxis. Die verbesserte Betriebsweise der Heizanlage spart Heizenergie, insbesondere auf der Seite der Nutzenübergabe im Raum.

4.4. Stromverbrauch

Der Stromkennwert der GHS Plieningen lag vor der Sanierung in den Jahren 1990 bis 1994 zwischen $11 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und $22 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Für den darauffolgenden Zeitraum, während und nach der Sanierung, sind die Stromkennwerte in Bild 71 dargestellt. In den Jahren '96 und '97 ist ein deutlicher Anstieg auf über $16 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ im Vergleich zu '95 ($12,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) zu verzeichnen. Diese Steigerung im Stromverbrauch ist überwiegend durch die Umbaumaßnahmen verursacht. Ein weiterer Grund sind die Anfangs aufgetretenen Probleme mit den EI-Busgesteuerten Beleuchtungseinrichtungen. Defekte Regelmodule, falsche Zeitpläne und falsche Kopplung der Beleuchtungsgruppen führten zu einem Strommehrverbrauch. Nach Korrektur der Fehleinstellungen und Abschluss der Sanierungsarbeiten sinkt der Stromkennwert im Jahr 1998 wieder auf $14,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Der etwas höhere Stromverbrauch nach der Sanierung wird verursacht durch eine größere Anzahl von Umwälzpumpen in der sanierten Heizanlage, die Messtechnik und durch den Anschluss des Neubaus (Gebäude 4) mit nicht optimierter Beleuchtungssteuerung. Die Veränderung der Bezugsfläche zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme von Gebäude 4 wurde berücksichtigt. Die elektrische Anschlussleistung der Pumpen für die Heizung wurde insgesamt verdoppelt. Für die Messdatenerfassung werden vier PC's, zwei Monitore und sieben Datenlogger benötigt. Auch die Schule hat in dieser Zeit für das Rektorat zwei PC's angeschafft und für die Schüler einen Computerraum eingerichtet

Die Abschätzung des Stromverbrauchs der neuen Heizanlage, der Messtechnik und der neu hinzugekommenen Verbraucher in Tabelle 44 zeigt, dass der Verbrauch nach der Sanierung um $1,86 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ höher ist wie vor der Sanierung. Dies entspricht ungefähr der Differenz zwischen 1995 und 1998. Der Stromkennwert liegt damit trotz leichter Steigerung nach der Sanierung mit $14,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ deutlich unter dem bundesweit ermittelten, gebäudespezifischen Stromverbrauchskennwert für Schulen von $19 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ [1].

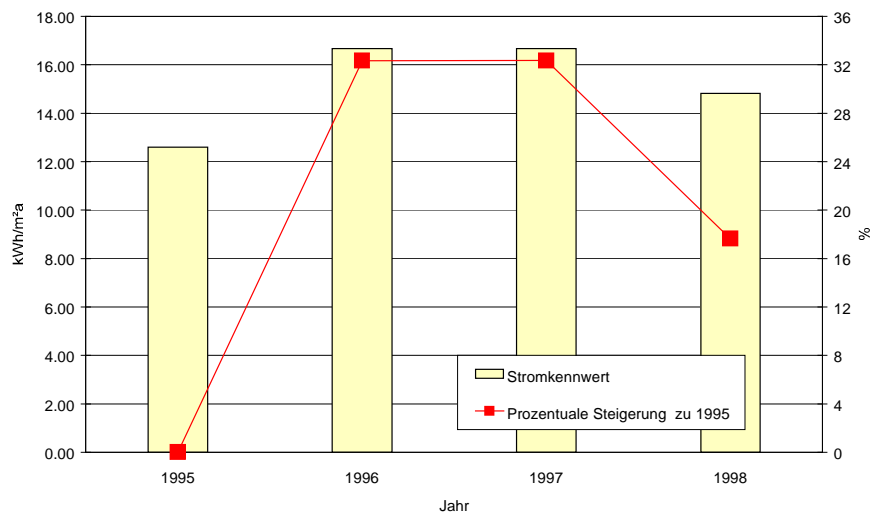


Bild 71 Entwicklung des Stromverbrauchskennwerts der GHS Plieningen vor, während und nach der Sanierung.

Tabelle 44 Abschätzung des Stromverbrauchs der neuen Heizungsanlage, der zusätzlichen Verbraucher und der in der Schule installierten Messtechnik.

	Leistung W	Laufzeit Monate	Verbrauch kWh	Gesamtverbrauch kWh
Alte Anlage				3758
Pumpen:	620	6	2678	
Kessel:	500	3	1080	
Neue Anlage				14809
Pumpen:	1628	6	7033	
Kessel:(BWK)	550	3	1188	
NTK	550	0	0	
Heizungsregelung	200	6	864	
7 Datenlogger	100	12	864	
4 PC's	300	12	2592	
2 Monitore	200	6	864	
Computerraum in BT 3	1500	0,5	540	
2 PC's im Rektorat	300	4	864	

Mehrverbrauch der neuen Anlage pro Jahr:

11051

Mehrverbrauch in kWh/m²a (Nutzfläche: 5942 m²):

1,86

Beleuchtung

In der zweijährigen Meßperiode wurden die Stromverbräuche und das Nutzerverhalten in ausgewählten Räumen aufgezeichnet. Die Stromverbräuche wurden

- in 3 nach Südosten orientierten Räumen mit tageslichtabhängiger Kunstlichtregelung auf Basis des Gebäudeinstallationssystems,

- in 2 nach Südosten orientierten Räumen mit erneuerter aber manuell geschalteter Beleuchtung
- sowie in 2 nach Südwesten orientierten Klassenräumen in denen das Beleuchtungssystem nicht erneuert wurde

erfaßt. Die gemessenen Stromverbräuche sind in Tabelle 45 und in Bild 72 zusammengefaßt. Für die vollständig erfasste Heizperiode 1998/1999 ergab sich in den zwei Räumen mit erneuertem aber nicht dimmbarem Beleuchtungssystem ein mittlerer Stromverbrauch von 2,55 kWh/m²a. Für die drei aufgezeichneten Räume mit gedimmtem Beleuchtungssystem ergab sich mit 2,15 kWh/m²a ein nur geringfügig geringerer mittlerer Verbrauch. Wie Bild 73 zu entnehmen, waren die Nutzungszeiten in den betrachteten Klassen, bis auf den Klassenraum 1 in der Heizperiode 1997/98 vergleichbar. Die gemessenen Verbräuche des gedimmten Beleuchtungssystems stimmen somit gut mit den vorherberechneten Werten von 2,4 kWh/m²a überein. Die nur leicht höheren Verbräuche der beiden unregulierten Klassenräume lassen die Mehrinvestitionen unter den hier vorgefundenen Randbedingungen für eine tageslichtabhängige Kunstlichtregelung jedoch als nicht sinnvoll erscheinen.

Tabelle 45 In den unterschiedlich ausgestatteten Klassenräumen gemessene Stromverbräuche in den Heizperioden 97/98 (Beginn der Messungen im November) und 98/99.

Raum			Stromverbrauch			
			Heizperiode 97/98 [Nov.-Mai] [kWh/m ² a]		Heizperiode 98/99 [Sep-Mai] [kWh/m ² a]	
Neues Beleuchtungssystem Unge dimmt, GHS, Süd-Ost	1	Klassenzimmer 3, EG, Gebäude 1	2,7 (Raum nicht genutzt)	0,0	178,8	3,0
	2	Klassenzimmer 2, EG, Gebäude 2	110,8	1,7	137,2	2,1
	Mittelwert		--	1,7	--	2,6
Neues Beleuchtungssystem Gedimmt, GHS, Süd-Ost	3	Klassenzimmer 5, OG, Gebäude 1	100,4	1,7	162,8	2,7
	4	Klassenzimmer 1, OG, Gebäude 2	80,8	1,3	119,1	1,9
	5	Klassenzimmer 2, OG, Gebäude 2	90,8	1,4	119,4	1,9
	Mittelwert		--	1,5	--	2,2
Altes System Berufsschule, Süd-West	6	Klassenzimmer 1, EG, Gebäude 1	464,6	5,2	788,5	8,8
	7	Klassenzimmer 1, OG, Gebäude 1	509,0	5,6	763,1	8,4
	Mittelwert		--	5,4	--	8,61

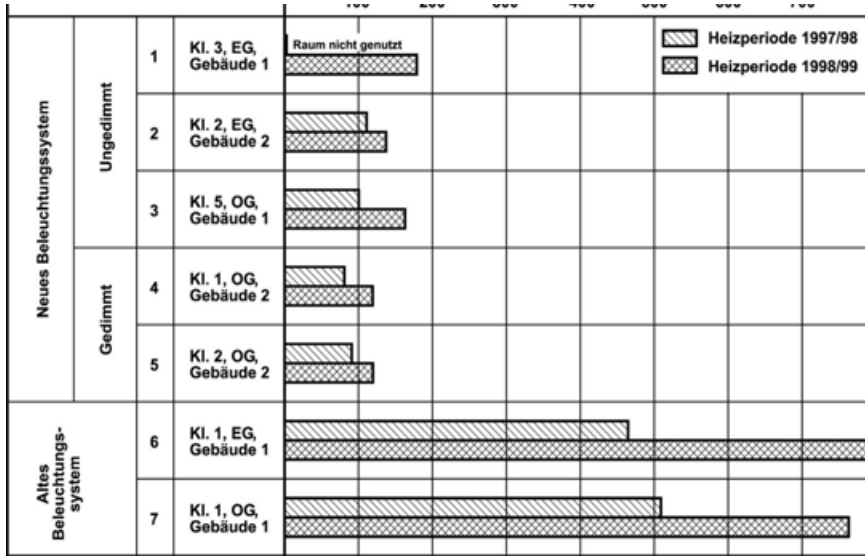


Bild 72 Stromverbrauch verschiedener Klassenräume

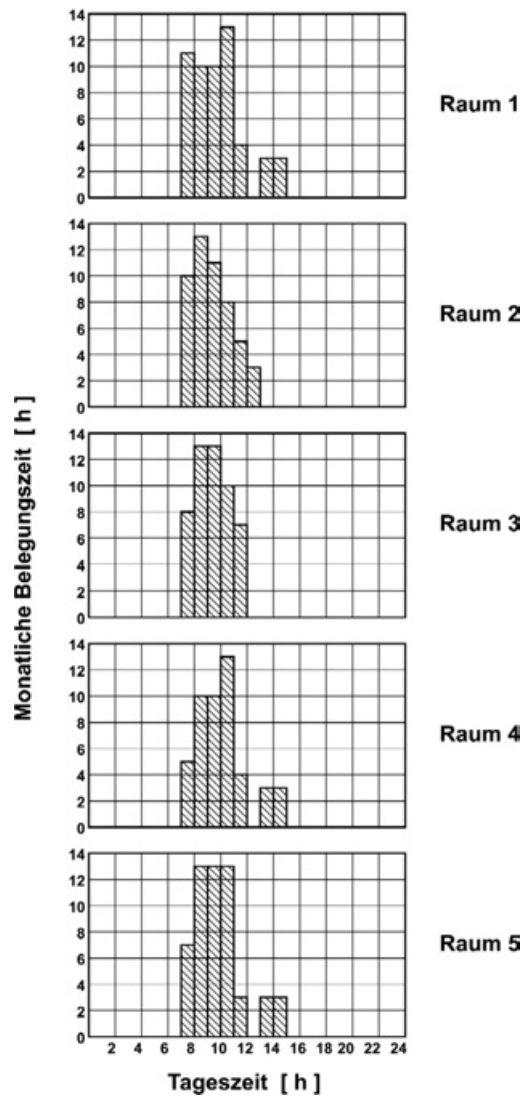


Bild 73 Nutzungszeiten der Klassenräume

Zusätzlich zu den Räumen mit erneuerten Beleuchtungssystemen wurden die Stromverbräuche in zwei nach Westen hin orientierten Räumen aufgezeichnet. Hier ergeben sich aufgrund der ungünstigeren Himmelsorientierung, des alten ineffizienten Beleuchtungssystems und längerer Nutzungszeiten mit ca. 8,5 kWh/m²a deutlich höhere Verbrauchswerte.

Nutzerzufriedenheit

Nach Ende der Meßperiode wurde die Schulleitung zu den Erfahrungen mit dem System befragt. Stark bemängelt wurde hierbei vor allem die Steuerung des Sonnenschutzsystems, das bei Besonnung der Fassaden automatisch herunterfährt. Die plötzliche, nicht bewußt gesteuerte Veränderung der Beleuchtungsverhältnisse und die Motorengeräusche wurden als störend und konzentrationschwächend empfunden. Des weiteren kommt es aufgrund der einheitlichen Ansteuerung der kompletten jeweils besonnten Fassade auch zur Verdunkelung von Räumen, die durch Bäume bereits natürlich gegen die Sonne geschützt sind.

Die automatische beleuchtungsstärkeabhängige Regelung des Sonnenschutzes soll nach Auskunft der Schulleitung nach Ende der Meßperiode auf Wunsch der Lehrer deaktiviert werden. Die stufenlose tageslichtabhängige Kunstlichtregelung wurde dagegen problemlos akzeptiert.

4.5. Betriebsoptimierung

Die Betriebsoptimierung der Heizanlage erfolgt in zwei aufeinander folgenden Schritten: Zunächst werden die Messdaten zur Erkennung von Fehleinstellungen bei Regelparametern analysiert. Darauf aufbauend werden die optimalen Regelparameter mit dem kalibrierten Simulationsmodell unter exakt gleichen Randbedingungen ermittelt.

4.5.1. Betriebsoptimierung durch Messwertanalyse

Die geordneten Messdaten werden zusammen mit der in Kapitel 3 erstellten Energiebilanz dazu verwendet, eine Analyse der Betriebsweise der Heizanlage vorzunehmen, um eventuelle Fehleinstellungen bei der Regelung und Steuerung der Anlage aufzuspüren.

Monatlicher Energieverbrauch der Heizungsanlage

Der monatliche Gasverbrauch der neuen Heizanlage für das Jahr 1998 ist in Bild 74 dargestellt. Auffallend ist der Energieverbrauch im Sommer. Selbst während den Sommerferien im August fällt ein Energieverbrauch an, obwohl in dieser Jahreszeit keine Notwendigkeit besteht, das Gebäude zu beheizen. Der Grund für diesen Fehler in der Betriebsweise der Anlage ist ein fehlendes Zeitprogramm, z.B. Heizung "AUS", in der DDC-Regelung. In der warmen Jahreszeit kann die Heizanlage nicht über die Steuerelektronik ausgeschaltet werden. Dies ist lediglich manuell möglich. Das existierende Zeitprogramm „Ferien“ garantiert, dass in der schulfreien Zeit die Stütztemperatur von 10°C nicht

unterschritten wird. Es ist also nicht dazu geeignet, in der warmen Jahreszeit ein Anlaufen der Anlage zu verhindern, da die Heizkessel über die Heizkurve (T_{amb}) ständig in Bereitschaft gehalten werden. Wie Bild 75 verdeutlicht, läuft die Anlage auch im Sommer an, wenn die Außentemperatur am Morgen unter 15°C sinkt (unterer Stützpunkt der Heizkurve). Die Umwälzpumpen werden aktiviert und die über Thermostatventile geregelten Räume werden beheizt. Es muss daher ein neues Zeitprogramm in die DDC-Anlage eingegeben werden, das dem Betreiber erlaubt, die Heizung von Mitte Mai bis Mitte September auszuschalten. An der GHS Plieningen können mit einer solchen Maßnahme pro Jahr ca. 20.000 kWh Heizenergie eingespart werden.

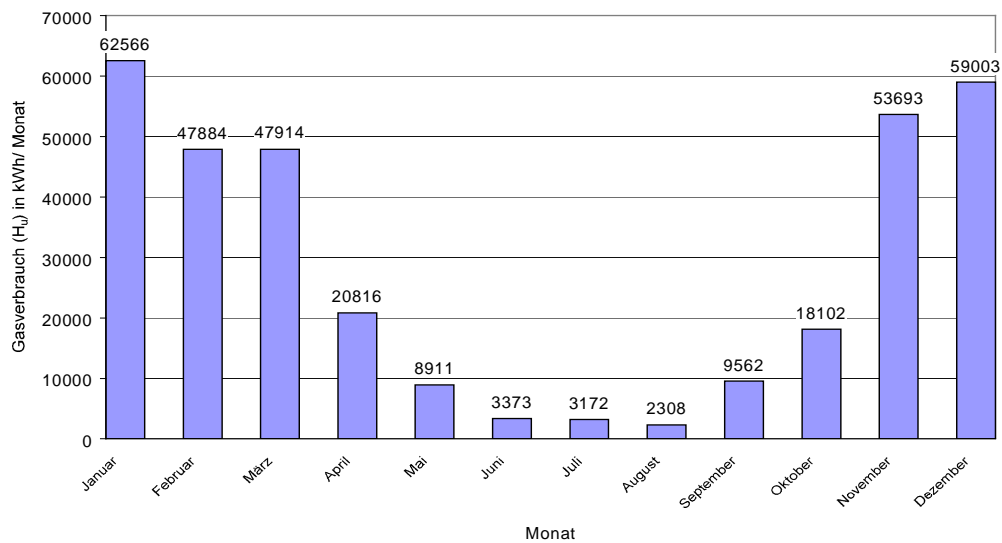


Bild 74 Monatlicher Gasverbrauch der neuen Heizanlage für das Jahr 1998 ($H_u = 9,656 \text{ kWh/m}^3$)

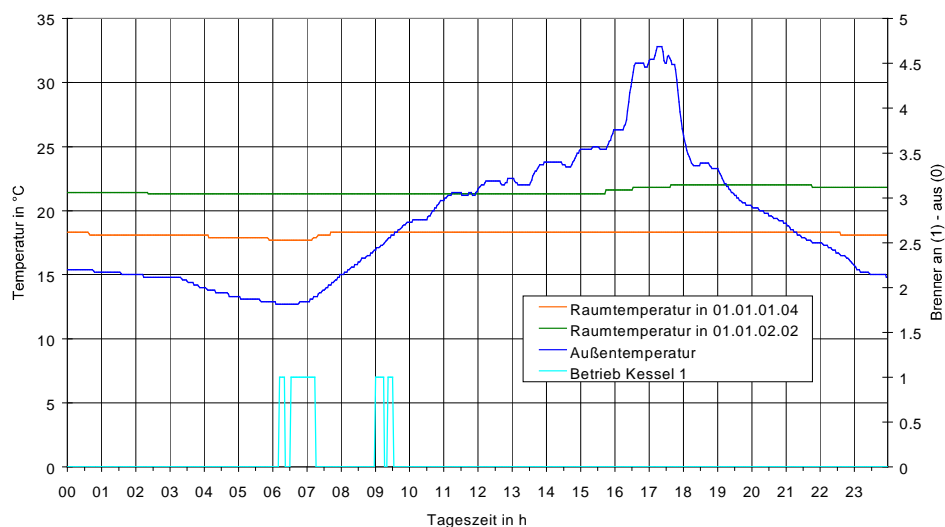


Bild 75 Betriebsverhalten des Brennwertkessels (Kessel 1) an einem Sommertag (Fr. 31.07.1998)

Betrieb der Heizungsanlage

Einen Einblick in die Arbeitsweise der Heizungsanlage vermitteln die Bilder 76 und 77. Hier sind beispielhaft die wichtigsten Betriebsdaten für drei Heizkreise (HK 1, HK 2, HK 4) der Anlage über den Zeitraum von Freitag den 20.11.1998 bis Montag den 23.11.1998 aufgetragen. Neben den Vorlauftemperaturen und den abgegebenen Leistungen der Heizkreise werden die Raumlufttemperaturen von zwei Räumen, die über die genannten Heizkreise versorgt werden, aufgezeichnet. Der Zeitabschnitt von vier Tagen liegt außerhalb der Schulferien und schließt ein Wochenende mit ein. Es ist somit möglich verschiedene Betriebsarten der Anlage, wie Absenk-, Wochenend-, Aufheizbetrieb zu betrachten. Freitag ist ein normaler Schultag, Samstag und Sonntag wird die Temperatur abgesenkt und am Montag muss das Gebäude wieder aufgeheizt werden. Die Außentemperatur liegt über den gesamten Zeitraum in einem Bereich zwischen 0°C und -10°C, also etwas über der Auslegungstemperatur von -12°C. Die Anlage arbeitet folglich im oberen Leistungsbereich.

Betrachtet man die Vorlauftemperaturen der Heizkreise und die abgegebenen Leistungen so fällt auf, dass in den Heizkreisen 1 (HK 1) und 4 (HK 4) über das Wochenende geheizt wird. Das hat zur Folge, dass im gesamten Bauteil 3 und in den Fluren des Bauteiles 1 die mit Thermostatventilen ausgestatteten Heizkörper Heizwärme abgeben, obwohl die Stütztemperatur von 10°C noch nicht erreicht ist. In den Klassenzimmern mit Einzelraumregelung sind die Ventile geschlossen. Die richtige Betriebsweise eines Heizkreises über die Absenkzeiten und am Wochenende sieht man bei Heizkreis 2 (HK 2). Hier wird die Vorlauftemperatur außerhalb der Nutzungszeiten um ca. 20 °C abgesenkt. Dadurch wird auf den thermostatventilgeregelten Fluren nur wenig Leistung abgegeben.

Während die Heizleistungsabgabe im HK 1 über das Wochenende auf eine Fehleinstellung zurückzuführen ist, ist die Betriebsweise von HK 4 typisch für ein komplett mit Thermostatventilen ausgestatteten Bau wie Gebäude 3. Die Heizkurve des Heizkreismischers wird im Absenkbetrieb in der Regel um 20K parallel in Richtung niedrigere Vorlauftemperaturen verschoben. Die Heizleistung des Heizkreises sinkt und die Raumtemperaturen fallen. Die Thermostatventile wirken dem entgegen indem sie weiter öffnen. Der Heizmittel-Massenstrom oder Durchfluss steigt an, wie es in Bild 76 (unteres Diagramm) von Freitag 17:00 Uhr bis Montag 3:00 Uhr gut zu sehen ist.

Auffällig sind die starken Schwingungen in den Vorlauftemperaturen und den Heizleistungen der einzelnen Heizkreise. Bei niedriger Kesselbelastung wie am Freitag sind die Amplituden sehr viel ausgeprägter als am Montag. Die Kesselbelastung ist dann groß, da die Räume nach dem Wochenende wieder aufgeheizt werden müssen. Es kann vermutet werden, dass die Brennermodulation des Brennwertkessels nicht oder nur unbefriedigend funktioniert und die Brenner somit bei niedriger Belastung ständig takten.

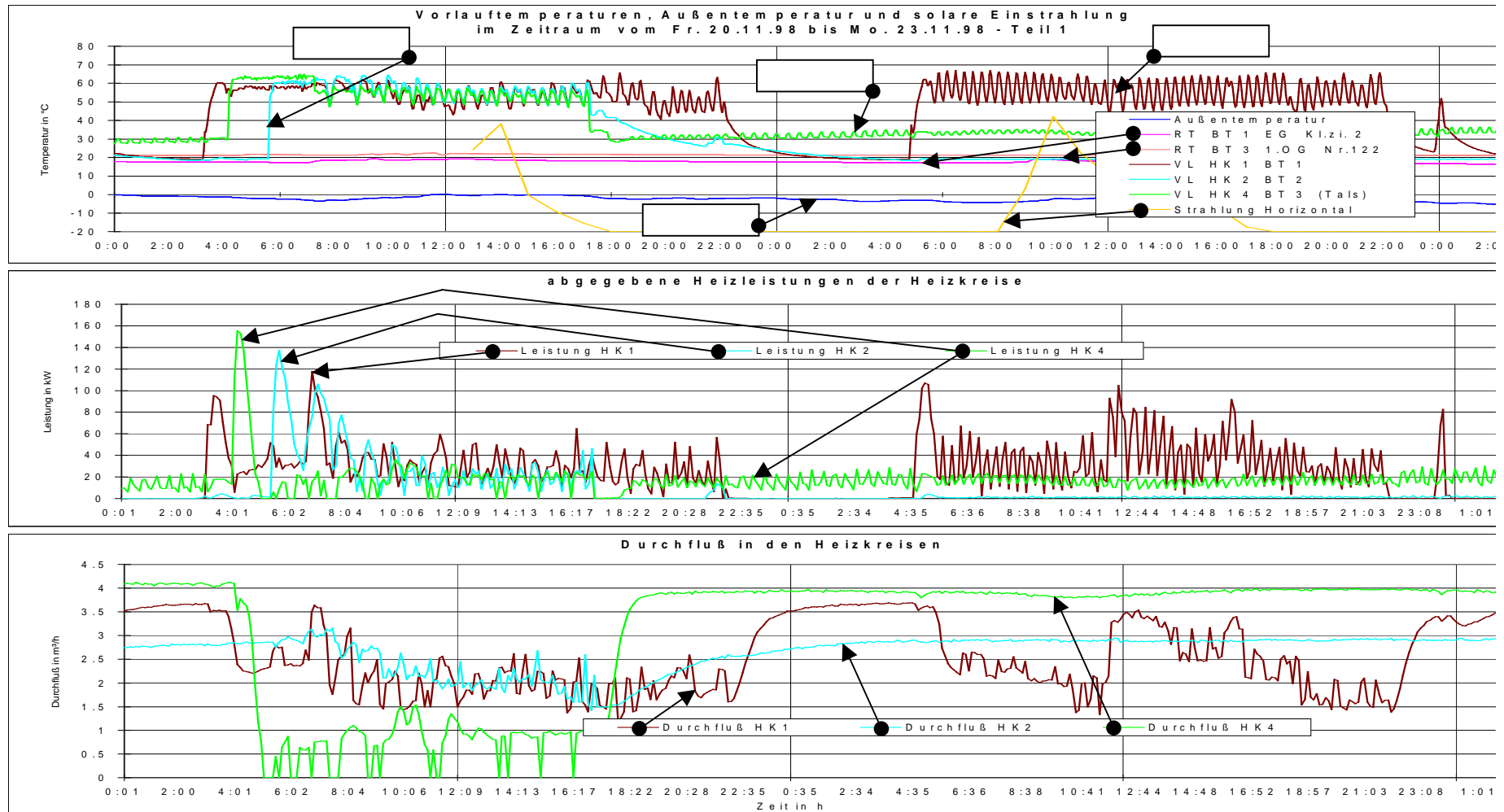


Bild 76: Wichtigste Betriebsdaten für HK 1, HK 2, HK 4 über den Zeitraum von Freitag den 20.11.1998 bis Montag den 23.11.1998 - Teil 1

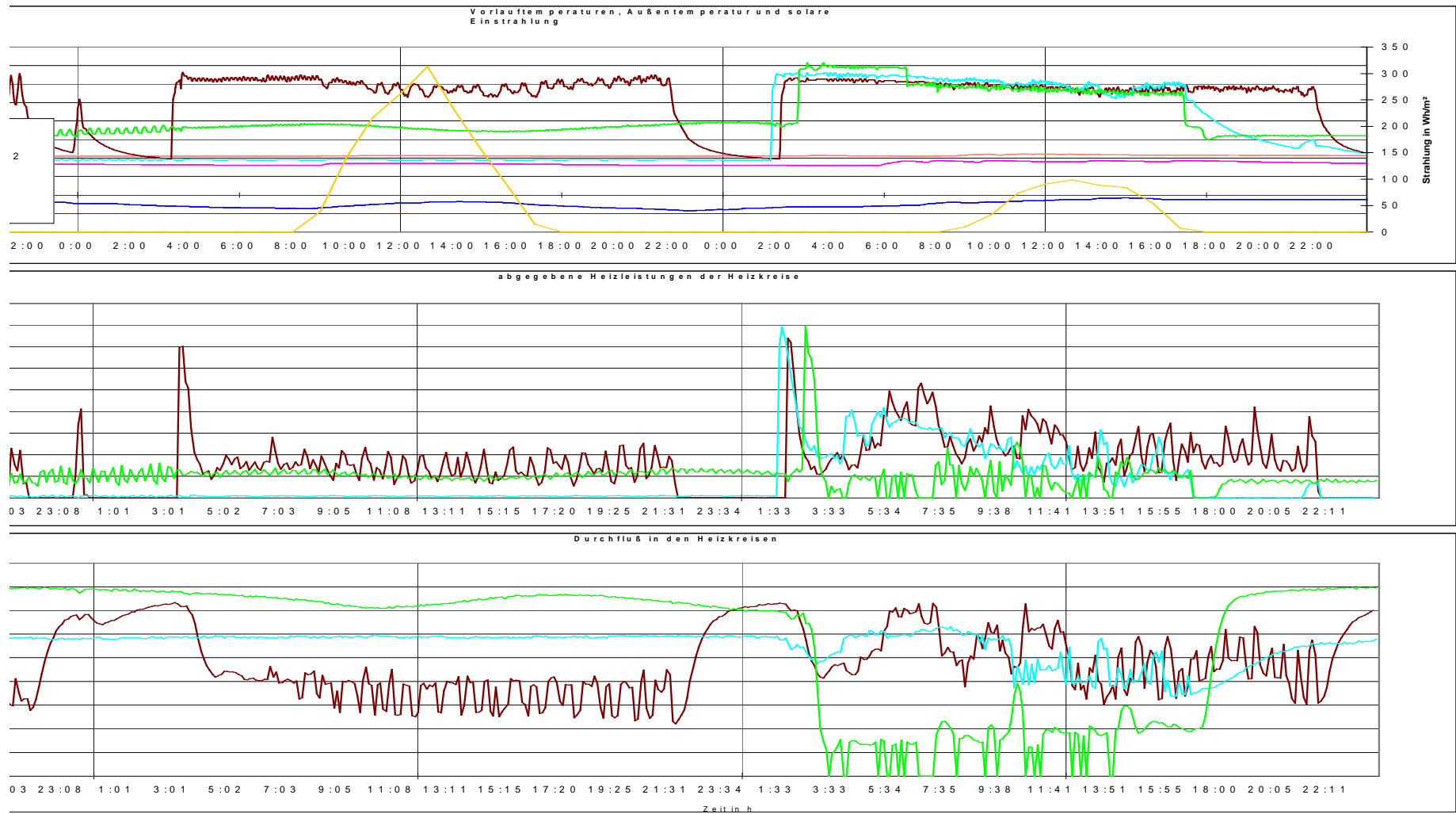


Bild 77 Wichtigste Betriebsdaten für HK 1, HK 2, HK 4 über den Zeitraum von Freitag den 20.11.1998 bis Montag den 23.11.1998 – Teil 2

Gut zu beobachten ist auch die Funktion der optimierten Aufheizregelung, die in Kapitel 3.5 beschrieben ist. Betrachtet man die Leistungsabgabe der Heizkreise am Freitagmorgen so erkennt man, dass HK 1 um ca. 3:00 Uhr, HK 4 um ca. 4:00 Uhr und HK 2 um ca. 5:30 Uhr mit dem Heizbetrieb beginnen. Der Heizbeginn für die Heizkreise am Montag, nach der Absenkphase über das Wochenende, ist zwischen 1:30 Uhr und 2:30 Uhr. Aufgrund der ausgekühlten Räume wird der Aufheizbeginn über die elektronische Steuerung automatisch zeitlich nach vorne verlegt.

Betrachtet man den Durchfluss in den einzelnen Heizkreisen so fällt auf, dass die Heizmittelmassenströme in den Absenkphasen immer ihre Maximalwerte annehmen. Für Gebäude 3 wurde dieses Betriebsverhalten weiter oben schon beschrieben. Auch in den Gebäuden 1 und 2 befinden sich thermostatventilgeregelte Räume. Daher ist das Betriebsverhalten von HK 1 und HK 2 identisch mit dem von HK 4.

Heizkreise der Gebäude 1 und 2

In den Gebäuden 1 und 2 sind alle Klassenzimmer mit Einzelraumregelung ausgerüstet. Nur die Flure und Nebenräume besitzen Thermostatventile. Bei der Auswertung der Raumlufttemperaturen dieser Nebenräume (Sportgerätelager, Lehrmittel, etc.) fällt auf, dass die Raumtemperaturen während der Heizzeit im Mittel bei ca. 18 °C liegen. Eine Raumtemperatur von 15 °C ist hier aber ausreichend.

Die Analyse der Messwerte aus den Klassenräumen ergibt, dass die Raumnutzer die Heizungsanforderungstaster nicht oder nur sehr selten bedienen. Die Taster werden entweder durch Unachtsamkeit nicht betätigt oder was wahrscheinlicher ist, die eingestellte Raumsoll(stütz)temperatur der Unterrichtsräume zu Beginn des Unterrichts von $T = 18^{\circ}\text{C}$ ist zu hoch gewählt. Die Nutzer nehmen den Raum nicht als unbehaglich kühl war. Die Stütztemperatur der Räume sollte zur Unterrichtskernzeit also niedriger bei ca. $T_s = 16^{\circ}\text{C}$ liegen. Denkbar wäre eine weitere Absenkung der Raumstütztemperatur in Verbindung mit einem adaptiven Raumregelungssystem, das die Belegungszeiten der Räume selbst erkennt.

Um die Nutzer nicht allzu sehr der Technik auszuliefern (was von diesen kritisiert wurde) und um der Schulleitung die Möglichkeit flexibler Stundeneinteilung zu ermöglichen sollte ein Anfordern von Heizleistung über den Taster während der gesamten Unterrichtskernzeit ermöglicht werden. Das Ende des Heizbetriebs und damit der Rückfall der Stütztemperatur auf 16°C nach ca. 45 Minuten sollte über ein optisches oder akustisches Signal angezeigt werden. Weiterhin wäre es sinnvoll den Nutzern eine Möglichkeit zu schaffen individuell in begrenztem Masse auf die Raumluftsoltemperatur einzugreifen. Denkbar wäre ein Potentiometer am Heizungsanforderungstaster mit dem es möglich ist die Raumluftsoltemperatur um ca. $\pm 2\text{K}$ zu beeinflussen. Dies wird jedoch vom Energiemanagement des Amts für Umweltschutz abgelehnt. Die Erfahrung dort zeigt, dass dezentrale Sollwertversteller tendenziell zu höheren Raumtemperaturen als erforderlich und damit zu Energiemehrverbrauch führen.

Nach längeren nutzungsfreien Zeiten ($t \approx 5$ Tage, Ferien) während der Heizzeit, in denen das Gebäude ausgekühlt, reicht die Leistung der Anlage nicht aus, um am ersten Nutzungstag die Klassenräume zu Unterrichtsbeginn um 8:00 Uhr wieder auf die geforderte Stütztemperatur aufzuheizen. Wie in Bild 78 zu erkennen ist, wird der Sollwert der Stütztemperatur in manchen Räumen erst gegen 16:00 Uhr erreicht.

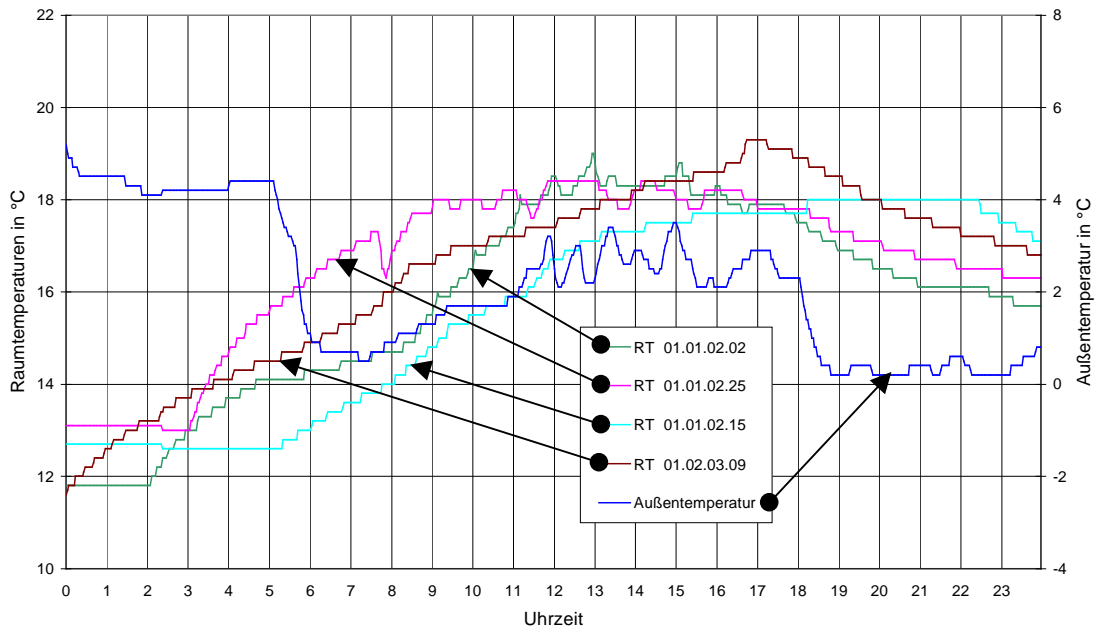


Bild 78: Verlauf der Raumlufttemperaturen am ersten Nutzungstag nach 9 Tagen Winterferien (Montag 22.02.99)

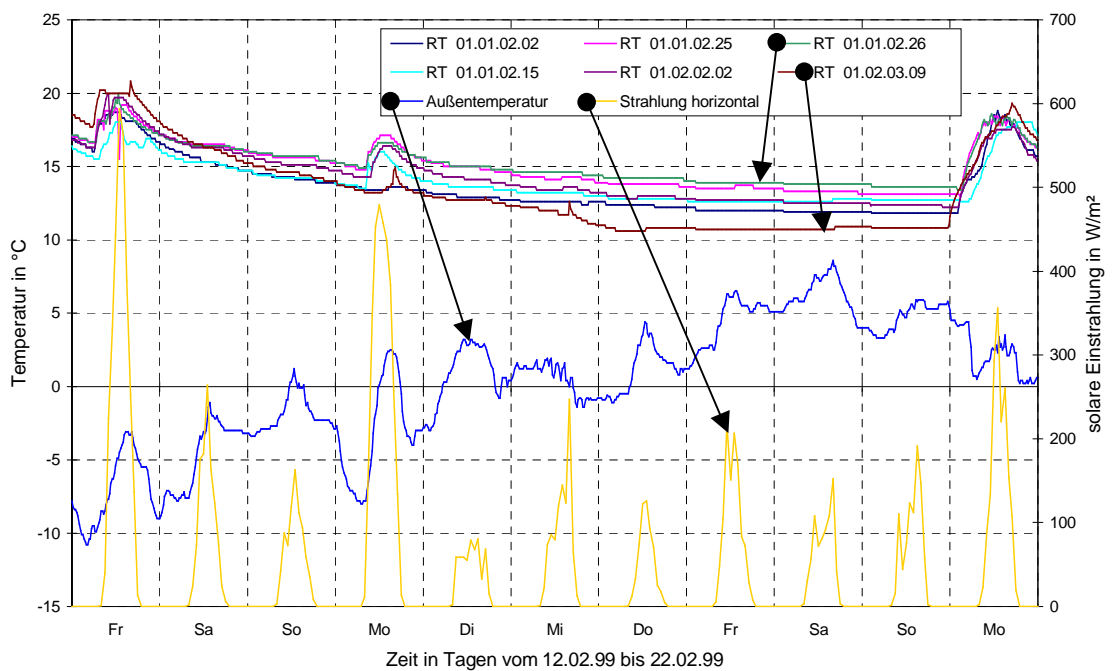


Bild 79: Verlauf der Raumlufttemperaturen einiger Klassenzimmer über der Außenlufttemperatur während den Winterferien 1999.

Deshalb wurde im Heizprogramm ein Vorheiztag eingerichtet werden, um das Gebäude am letzten schulfreien Tag vorzuwärmen. Der hohe Dämmstandard der Gebäude spiegelt sich wider im Verlauf der Raumlufttemperaturen während längerer nutzungsfreier Zeiten wenn die Anlage im Stützbetrieb läuft. In Bild 79 werden die Raumtemperaturen einiger ausgewählter Räume während den Winterferien betrachtet. Obwohl die Außentemperatur um den Gefrierpunkt und darunter liegt, fallen die Raumlufttemperaturen erst nach fünf Tagen auf Werte um 14 °C. Ab mittleren Außentemperaturen um 5°C, wie am 2. Wochenende des betrachteten Zeitraumes, fallen die Raumtemperaturen nur noch minimal. Die äußeren Gewinne wie Solarstrahlung reichen demnach fast aus, um den Transmissionsverlust der Räume zu decken. Ein Vorheiztag ist aus diesem Grund nur am letzten Tag von längeren nutzungsfreien Zeiten (t \approx 5 Tage, Ferien) und nicht, wie im Zeitprogramm eingestellt, an jedem Sonntag notwendig.

Heizkreise der Gebäude 3 und 4

Wie die Bilder 76 und 77 zeigen, sinken die Raumlufttemperaturen in Gebäude 3 am Wochenende nicht wie vorgesehen ab, obwohl die Heizkreise 3 und 4 im Absenkbetrieb laufen. Die Heizkurve der Mischventile wird bei dieser Betriebsart, außerhalb der Nutzungszeiten, parallel um 20K nach unten verschoben. Dies ist beispielhaft und vereinfacht im Bild 80 dargestellt. Mit der für das Wochenende (keine Nutzung) einprogrammierten Heizkurve wird der Transmissionswärmebedarf des Gebäudes im betrachteten Zeitraum genau gedeckt. Das ist erkennbar an den konstanten Raumlufttemperaturen der gemessenen Räume über das Wochenende. Aufgrund des hohen Dämmstandards wurde die Heizkurve nach der Sanierung um 10K nach unten verschoben auf den oberen Stützpunkt -12/70 und den unteren Stützpunkt 20/20. Allerdings ist der Heizleistungsbedarf noch geringer als bei der Korrektur angenommen.

Die eingestellten Heizkurven müssen also noch weiter nach unten korrigiert werden. Die obere Stützpunkt der Heizkurve für die Nutzungszeiten muss auf -12/60 gesenkt werden, der untere Stützpunkt auf 15/20. Die Heizkurve außerhalb der Nutzungszeiten liegt entsprechend 20K niedriger. Die dadurch erzielte Verringerung der Systemtemperatur bringt auch für den Brennwertbetrieb einen entscheidenden Vorteil: die Rücklauftemperatur wird niedriger, dadurch erhöht sich der Nutzungsgrad. Das ganze System wird ausgeglichener, man erhält eine kontinuierliche Wärmeabgabe, wie es zur Zeit außerhalb der Nutzungszeiten der Fall ist. In Bild 77 sind die Auswirkungen der zu hoch eingestellten Heizkurve für Gebäude 3 noch auf andere Weise erkennbar. Montags um 2:30 Uhr wird der Aufheizvorgang gestartet, dabei wird die Vorlauftemperatur auf 75 °C geregelt. Die im Heizkreis abgegebene Leistung steigt auf 160kW an. Da die Raumsolltemperaturen schon herrschen oder sofort erreicht werden, schließen die Thermostatventile. Dadurch wird der Volumenstrom - und mit ihm die im Heizkreis abgegebene Leistung sofort nach Heizbeginn - gleich null. Die Räume kühlen wieder etwas ab und nach ca. einer halben Stunde öffnen die Thermostatventile wieder. Der Durchfluss steigt für kurze Zeit an und fällt dann, nach Erreichen der Raumsolltemperaturen in den Räumen, sofort wieder auf Null. Dieses Betriebsverhalten, das auch bei Gebäude 4 zu beobachten ist, setzt sich über den ganzen Tag fort.

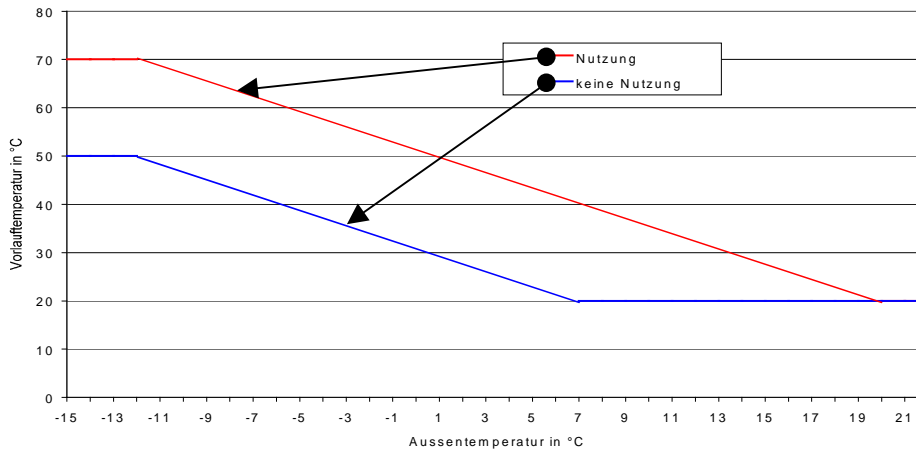


Bild 80 Eingestellte Heizkurven (n=1) bei den Mischventilen der Heizkreise 3 und 4 (Gebäude 3)

Neuer Regelansatz für die Heizkreise mit Thermostatventilen

Als Folgerung aus dem Betriebsverhalten der Gebäude 3 und 4 außerhalb der Nutzungszeiten, wird ein neuer Regelansatz vorgestellt um den Heizenergiebedarf dieser Bauteile zu vermindern. Es handelt sich hier um eine wirkungsvolle Alternative zu der bisher gebräuchlichen Praxis außerhalb der Nutzungszeiten die Heizkurve zu senken (siehe oben) und die Pumpen durchlaufen zulassen. Der Grund für diese Vorgehensweise ist die fehlende Möglichkeit in Heizkreisen mit thermostatventil geregelter Heizleistungsabgabe die Raumtemperaturen zu kontrollieren (vergleiche Einzelraumregelung). So ist eine Rückkoppelung auf die zentrale Regelung der Heizkreise nicht möglich. Die im folgenden beschriebene Regelung der Leistungsabgabe der Heizkreise (außerhalb der Nutzungszeiten) über die Rücklauftemperaturen umgeht diesen Nachteil.

Bei Außentemperaturen größer 5°C bleiben die Umwälzpumpen ausgeschaltet. Ein Einfrieren von Armaturen durch versehentlich offen stehende Fenster ist bis zu dieser Grenztemperatur ausgeschlossen. Bei Unterschreiten des Grenzwertes der Außentemperatur werden die Pumpen aktiviert. Das Wasser im Heizkreis wird bei geschlossenem Mischer nur umgewälzt. Erst wenn die Rücklauftemperatur einen Minimalwert von 10°C (geforderte Stütztemperatur) erreicht, wird dem Vorlauf heißes Wasser beigemischt um die Stütztemperatur halten zu können.

Ist eine Kontrolle der Rücklauftemperaturen der Heizkreise nicht möglich, müssen zumindest die Umwälzpumpen entsprechend den vorher angegebenen Außentemperaturen betrieben werden.

Betriebsoptimierung der Zuluftanlage der Turnhalle (Heizkreis 6)

Bei der Lüftungsanlage der Turnhalle, die in Bild 81 dargestellt ist, bestehen große Energieeinsparmöglichkeiten. Die Anlage wurde 1998 viermal eingeschaltet. Aus den Messdaten ergibt sich für 1998 eine Laufzeit des Ventilators von 47,5 Stunden. Dies entspricht nach Aussage des Hausmeisters dem bisherigen Nutzungsverhalten. In dieser Zeit wurde über das Heizregister eine Wärmemenge von ca. 1700 kWh abgegeben. Allerdings wurden 1998 im Heizkreis insgesamt 23700 kWh verbraucht. Daraus ergibt sich eine Aufwandszahl für die Wärmeübergabe beim Heizkreis 6 von $e_1=14,3$!

Die extrem hohe Aufwandszahl begründet sich durch falsche Zeitprogramme und die notwendige Frostfreihaltung des Heizregisters. Die Umwälzpumpe lief 1998 fast das gesamte Jahr durch was auf einen Defekt an der Regelung zurückzuführen war. Die Frostschutzfunktion wird bisher abhängig von der Außentemperatur aktiviert. Effektiver ist ein Temperaturfühler direkt am Heizregister.

Da die Lüftungsanlage selten benutzt wird muss überprüft werden ob es nicht wirtschaftlicher ist ein elektrisches Heizregister einzubauen. Die aufwendige und energieintensive Frostfreihaltung würde dann entfallen. Die Investitions- und Installationskosten beim Neueinbau verringern sich gegenüber einem wasserbeheizten Register drastisch.



Bild 81 Heizregister der Zuluftanlage der Turnhalle.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin den Heizkreis wie in der Solartechnik in zwei, durch einen Wärmetauscher getrennte Kreise zu unterteilen. Der Sekundärkreis wird mit Frostschutzmittel gefüllt um das Einfrieren zu verhindern. Der erste Wärmeaustauscher liegt im Heizungskeller.

Tabelle 45: Betriebs-, Investitions- und Energiekosten für den Vergleich der Heizregister.

	Ist-Zustand Gas/WW	Gas/WW/ Frostschutzmittel	Elektrisch
Nutzen	1700 kWh/a	1700 kWh/a	1700 kWh/a
Verluste durch Frostschutz	ca. 16000 kWh/a	sehr gering	0 kWh/a
Rohrleitungsverluste	ca. 6300 kWh/a	ca. 3000 kWh/a	-
Nutzungsgrad	7%	ca. 30-40%	100%
Investition	ca. 20000 DM	ca. 22000 DM	ca. 5000 DM
Energiepreis	0,068 DM/kWh	0,068 DM/kWh	0,374 DM/kWh

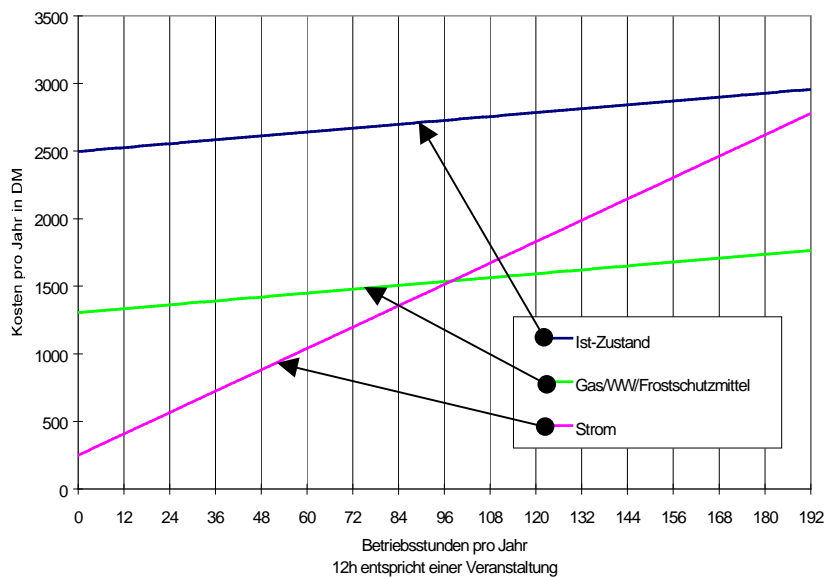


Bild 82 Kostenvergleichsgeraden der Heizregister

In Tabelle 45 werden die verschiedenen Möglichkeiten zur Erwärmung der Zuluft verglichen. Aus den Kostengeraden in Bild 82 wird deutlich, dass bei den gegebenen Umständen ein elektrisches Heizregister günstiger ist als ein Warmwasserheizregister. Bei dem Kostenvergleich wurde ein Abschreibungszeitraum von 20 Jahren angenommen und die Werte aus Tabelle 45 zu Grunde gelegt. Erst wenn die Zuluftanlage länger als 100 Stunden im Jahr in Betrieb ist, lohnt sich ein Heizregister mit einem mit Frostschutzmittel gefüllten Sekundärkreis, der über einen Wärmetauscher an die Warmwasserheizung angeschlossen ist.

Im Falle des Heizregisters in Plieningen, das vor kurzem erneuert wurde, sollte auf jeden Fall ein Sekundärwärmetauscher eingebaut werden, um die Heizenergie zur Frostfreihaltung einzusparen.

4.5.2 Betriebsoptimierung mit kalibriertem Simulationsmodell

Bereits für die Konzeptbewertung wurden Simulationsmodelle für das Gebäude und die Heizanlage aufgebaut und später weiter detailliert. Diese Simulationsmodelle können die thermischen Verhältnisse, die an der realen Heizanlage und im realen Gebäude herrschen zunächst nicht ganz exakt wiedergeben. Durch die Kalibrierung mit den aufgezeichneten Messdaten werden die Simulationsmodelle an das thermische Verhalten der realen Anlage bzw. des realen Gebäudes angepasst. Die Kalibrierung erfolgt über den Vergleich von gemessenen Werten und Simulationswerten (z.B. Lufttemperaturen oder Heizleistungen). Lassen sich Abweichungen zwischen Realität und Simulation feststellen, müssen die entsprechenden Modellparameter angepasst werden.

Aufgrund der Komplexität der Simulationsmodelle und des Umfangs der zu verarbeitenden Daten traten erhebliche Probleme bei der Bearbeitung dieser Aufgabenstellung auf. Die zwei Bearbeiter [36] und [37], die sich vertieft mit der Kalibrierung des Simulationsmodells beschäftigten, stießen an programmtechnische Grenzen, die in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht überbrückt werden konnten

4.5.3 Notwendige Maßnahmen zur Betriebsoptimierung der neuen Heizungsanlage

Die Funktionsweise der neuen Heizanlage ist hervorragend, was sich nicht zuletzt im hohen Gesamtnutzungsgrad der Kessel und dem niedrigen Gasverbrauch zur Beheizung der Schule niederschlägt. Dennoch müssen, abgeleitet aus den vorherigen Ausführungen, überwiegend am Regelprogramm der Anlage (Zeitpläne, etc.) Veränderungen vorgenommen werden. Mit der Umsetzung der im Folgenden vorgeschlagenen Maßnahmen können weitere Einsparungen im Heizenergieverbrauch erzielt werden ohne die Behaglichkeitsanforderungen der Schulnutzer einzuschränken.

1. Neues Zeitprogramm in die DDC-Anlage eingeben, das dem Betreiber erlaubt die Heizung in der milden Jahreszeit von Mitte Mai bis Mitte September auszuschalten.
2. Im Heizkreis 1 das Programm für Sollvorlauftemperatur ändern. Hier wird an den Wochenenden die Vorlauftemperatur nicht abgesenkt.
3. Nach Ablauf der Unterrichtskernzeit (8:00 Uhr bis 17:00 Uhr) muss in allen Heizkreisen der Absenkbetrieb mit einer Stütztemperatur von 10°C aktiviert werden. Durch den hohen Dämmstandard des Gebäudes ist die Auskühlung der Räume sehr gering. Für zeitlich spätere Veranstaltungen in den Klassenzimmern (Elternabende etc.) ist die Aufheizzeit entsprechend gering.
4. Die Anforderungstaster für die Beheizung der Klassenzimmer in Gebäude 1 und 2 werden sehr selten oder gar nicht betätigt. Die Stütztemperatur von 18 °C während der Nutzungszeit kann also um 2 K auf 16°C gesenkt werden. Die

- Anforderungstaster sollten zudem während der gesamten Unterrichtskernzeit (8:00 Uhr bis 17:00 Uhr) freigegeben sein um eine flexible Stundeneinteilung zu ermöglichen. Die Heizleistungsabgabe fällt nur zu den großen Pausen zurück.
5. In allen Heizkreisen nur am letzten Tag von längeren, durchgehend nutzungsfreien Zeiten (Zeitraum \square 5 Tage) einen Vorheiztag einfügen und nicht, wie im Zeitprogramm eingestellt, an jedem Sonntag.
 6. Die Raumtemperaturen in den Fluren, Versorgungs- und Nebenräumen aller Bauteile überprüfen und wenn notwendig Thermostatventile so verstellen, dass die Raumtemperaturen nicht Werte höher als 15 °C annehmen.
 7. Bei allen Heizkurven der Anlage (Heizkreismischventile, Kessel, Pumpen) für die Nutzungszeit (HKN), den unteren Stützpunkt auf 15/20 setzen. Die Außentemperatur von 15°C ist die Heizgrenze. Die Heizkurven die außerhalb der Nutzungszeit gelten (HKAN), um 20K gegenüber HKN parallel nach unten verschieben.
 8. Die Heizkurven (HKN, HKAN) in Gebäude 3 werden entsprechend den Angaben in Kapitel 4.5.1 verändert.
 9. Der obere Stützpunkt von HKN für Gebäude 4 wird um 10K nach unten versetzt. HKAN wird um 20K parallel zu HKN nach unten verschoben.
 10. Sämtliche Heizmittelpumpen der Heizkreise werden im Absenkbetrieb bei Außentemperaturen größer 5°C abgeschaltet. Fällt die Außentemperatur unter diesen Wert wird, wenn durch die DDC-Anlage möglich, auf eine Rücklauftemperatur von 10°C geregelt (siehe Kapitel 4.5.1). Ist die Rücklauftemperatur höher als 10°C wird das Heizwasser bei geschlossenen Mischventilen nur in den Heizkreisen umgewälzt.
 11. Eventuelle Defekte in der Regelung der Zuluftanlage der Turnhalle beseitigen. Frostschutz nicht nach der Außentemperatur, sondern nach Temperatur im Wärmetauscher regeln. Alternative: Heizregister mit zusätzlichem Wärmetauscher und Frostschutzmittel betreiben.

5. Wesentliche Erkenntnisse

Neuartige Planungswerkzeuge und Auslegungsmethoden werden von den Beteiligten oft überkritisch betrachtet. Durch eine veränderte, übergreifende Betrachtungsweise werden traditionell getrennte Arbeitsbereiche teilweise überschritten bzw. zusammengefasst. Dies führt bei eher traditionell orientierten Planern und Technikern zu Reaktionen, die von starker Skepsis bis hin zu schroffer Ablehnung reichen. Eine wesentliche Aufgabe während der Konzeptfindungsphase ist daher eine umfassende, leicht verständliche Information. Diese Aufgabe kann nicht genügend betont werden. Erschwert eine mangelhafte Informationspolitik während der Konzeptfindungsphase die Akzeptanz, werden in der Planungs- und Ausführungsphase die Auswirkungen deutlich schwerwiegender. Eine fehlerhafte Anlagenauslegung kann hier die Folge sein. Ausgeklügelte Systemkonzepte werden dann ad absurdum geführt.

Zum energie- und behaglichkeitsoptimierten Betrieb von Gebäuden sind leistungsfähige Regelungs- und Steuerungseinrichtungen sowohl für die Heizung als auch für Beleuchtung,

Jalousien etc. notwendig. Der Markt bietet hier eine große Vielfalt. Bedauerlicherweise bestehen große Probleme bei der Kommunikation zwischen Systemen, die ihren Schwerpunkt in unterschiedlichen Bereichen haben (z.B. Heizungs- und Beleuchtungsregelung). Hier sind deutliche technische Verbesserungen oder die Öffnung eines zu engen Firmenweltbilds notwendig. Der Markt sollte eine Veränderung hin zu kommunikationsfreudigeren Systemen unterstützen.

Werden energetische Sanierungen durchgeführt, so sollten diese mit anstehenden baulichen Sanierungen kombiniert werden. Dazu sollten die Sanierungszyklen für solche Gebäude kontinuierlich erfaßt werden. Dies entbindet natürlich nicht von der umfangreichen Bauaufnahme. Dabei sollte die Einbindung der Verantwortlichen am Objekt in einem sehr frühen Planungsstadium erfolgen, um die Terminplanung eng, aber praxisgerecht abstimmen und auf eventuelle Anforderungen der Schule frühzeitig eingehen zu können. Die Planungsphase sollte ausreichend lang sein und die erforderliche Detailplanung bereits vor der Ausschreibung abgeschlossen sein, damit die Kosten für spezielle Ausführungen von den Anbietenden ausreichend kalkuliert werden können. Die Terminplanung der Bauausführung muß auf den Schulbetrieb abgestimmt sein und falls erforderlich, entsprechende Räumlichkeiten für eine zeitweise Auslagerung des Schulbetriebs rechtzeitig zur Verfügung stehen.

Der Betreiber einer Heizanlage in einem Schulgebäude ist letztendlich der Hausmeister. Seine Rolle beim energieoptimierten Betrieb der Heizanlage darf nicht unterschätzt werden. Die Bedienung der Anlage sollte daher auf den Hausmeister zugeschnitten bzw. abgestimmt werden.

Die größten wirtschaftlichen Einsparpotentiale lagen bei allen drei Gebäuden in der Dämmung der Außenwand. Bei den anderen Bauteilen waren die Potentiale stark vom Baujahr der Gebäude abhängig. Es sollte daher für jede energetische Sanierung ein Energiekonzept erstellt werden, das die Randbedingungen des zu sanierenden Objektes berücksichtigt. Die beschriebene Vorgehensweise hat sich grundsätzlich als sehr praktikabel herausgestellt.

Aus Sicht der Kommune ist es als Problematisch zu bewerten, wenn das für die Messtechnik verantwortliche Institut über Mängel der Regelanlage und erforderliche Maßnahmen erst im Zuge des Abschlussberichtes informiert. Eine wesentlich frühere und intensivere Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber sollte angestrebt werden.

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde anhand des Beispiels der Grund- und Hauptschule in Stuttgart-Plieningen die Vorgehensweise bei der Erstellung eines Sanierungskonzeptes beschrieben[38]. Dazu wurde eine umfangreiche Bestandsaufnahme durchgeführt. Es erfolgte eine Konzepterarbeitung auf der Grundlage einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Dabei wurde beachtet, daß aufgrund erhöhter Dämmung eine Heizungsanlage kleinerer Leistung erforderlich ist. Die eingesparten Kosten wurden der Dämmung gutgeschrieben. Mit den durchgeführten Dämm-Maßnahmen wurde der Heizwärmebedarf von 200 auf 90 kWh/m²a gesenkt. Die über zwei Heizperioden durchgeführten Messungen konnten das Konzept validieren. Der Heizwärmeverbrauch betrug nach der Sanierung 38 bzw. 48 kWh/m²a in der ersten bzw. zweiten Heizperiode.

7. Literatur

- [1] BINE: Rationelle Energieverwendung in öffentlichen Gebäuden, kommunales Energiemanagement. Fachinformationszentrum Karlsruhe, ISBN 3-88585-598-4, 1991.
- [2] Kienzlen, V. 20 Jahre kommunale Energiewirtschaft, gi Gesundheitsingenieur 118 (1997) S. 319-324.
- [3] BINE Projekt Info-Service: Energieeinsparung in Schulen. Fachinformationszentrum Karlsruhe, ISSN 0937-8367, September 1997.
- [4] MOSES Abschlussbericht Fraunhofer Institut für Bauphysik Stuttgart, 2000
- [5] MOSES Abschlussbericht Lehrstuhl für Heiz- und Raumlufttechnik, Stuttgart, 2000
- [6] Richtlinie VDI 3807 Teil 1: Energieverbrauchskennwerte für Gebäude. Beuth-Verlag, Berlin, Juni 1994
- [7] Richtlinie VDI 3807 Teil 2: Energieverbrauchskennwerte für Gebäude. Beuth-Verlag, Berlin, Juni 1994
- [8] Bach, H.: Wertanalyse in der Heiztechnik, HLH 45 (1994) Nr. 6, Springer-VDI- Verlag, Düsseldorf.
- [9] Bundesregierung: Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV), Bundesgesetzblatt (1994), Teil I, Nr.55, S. 2121 bis 2132.
- [10] Richtlinie VDI 2067 Blatt 1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung, Beuth-Verlag, Berlin, Entwurf, Februar 1999.
- [11] Richtlinie VDI 2067 Blatt 11: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Rechenverfahren zum Energiebedarf beheizter und klimatisierter Gebäude, Beuth Verlag, Berlin, Entwurf, Juni 1998.
- [12] VDI 2067 Blatt 20: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Energieaufwand der Nutzenübergabe bei Warmwasserheizungen, Beuth Verlag, Berlin, Entwurf, Februar 1999.
- [13] Bach, H.; Kondermann, T.; Madjidi, M.: Systemsimulation in der Praxis, Erfahrungen und Perspektiven, Studie, Universität Stuttgart, IKE, Abteilung Heizung Lüftung Klimatechnik.

- [14] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie- und Bundesangelegenheiten (Hrsg): Umweltanalyse von Energiesystemen; Gesamt-Emissionsmodell integrierter Systeme (GEMIS), Version 2.0. Wiesbaden, Januar 1993.
- [15] Richtlinie VDI 2067 Blatt 1 (Ausgabe 1983): Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen. Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen. Beuth-Verlag, Berlin 1983.
- [16] Richtlinie VDI 2067 Blatt 2 (Entwurf 1985): Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen. Raumheizung. Beuth Verlag, Berlin 1985.
- [17] Institut für Technische Gebäudeausrüstung IFTG: Handbuch Kostenabschätzung, Teil 1 Heizung, August 1986
- [18] Stadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz: Energiekosten, persönliche Mitteilung, Januar 1997.
- [19] Buderus: Preise und Technik für Heizkessel, Brauchwassererwärmer und Zubehör, Wezlar, 1995.
- [20] Weishaupt: Brenner und Heizsysteme, 15-300 kW, Mappe 959, April 1995.
- [21] Kermi Heizkörperkatalog: Planungsdaten für Profi-Heizkörper, Profil-Ventilheizkörper, Platting Juni 1996.
- [22] Messerschmidt, H.: Kosten für Heizungsinstallation, persönliche Mitteilung, Dezember 1996.
- [23] Idler, R.; Albert, H.-J., Obermiller, U.: Das Stuttgarter Energie-Kontroll-System, Wärmetechnik 37, 1992, Seite 138-147.
- [24] Schramek, E.-R. (Hrsg.): Recknagel-Sprenger, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. 67. Auflage, R. Oldenburg Verlag, 1995.
- [25] Schmitz, H.; Krings, E. und Dalhaus, U.: Baukosten. Instandsetzung, Sanierung, Modernisierung, Umnutzung. Arbeitshilfen zur Konstruktionswahl und Planung, Kostenschätzung und Kostenrechnung. 8 vollst. neu bearb. Aufl. –Essen: Verlag für Wirtschaft und Verwaltung, 1993.
- [26] Fraunhofer-Institut für Bauphysik: eigene Kostenerhebungen und Kosten aus abgerechneten Projekten, unveröffentlicht.
- [27] DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden. Beuth-Verlag, Berlin 1947 - 1983.
- [28] DIN 1946 Teil 2: Raumluftechnik; Gesundheitstechnische Anforderungen. Beuth-Verlag, Berlin, Januar 1994.

- [29] Arpert, K.: Experimentelle Untersuchung des Einflusses eines variablen Luftwechsels auf Schadstoffkonzentration, Energieverbrauch und Behaglichkeit in einer Versuchswohnung.
- [30] VDI 6030 Blatt 1: Auslegung von freien Raumheizflächen; Grundlagen und Auslegung von Raumheizkörpern. VDI-Verlag, Düsseldorf, Entwurf, 1998.
- [31] TRNSYS : A Transient System Simulation Program. Version 14.2 Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA, 1996.
- [32] Satzung über die beschränkte Verwendung luftverunreinigender Brennstoffe im Stuttgarter Stadtgebiet, Textbebauungsplan der Stadt Stuttgart, 1997
- [33] Wolfseher, U. Rechnerische Ermittlung mehrdimensionaler Temperaturfelder unter stationären und instationären Bedingungen – Rechensystem und bauphysikalische Anwendung, Dissertation, Universität-Gesamthochschule Essen, 1978
- [34] Centra-Bürkle, Katalog Regelungstechnik, März 1994.
- [35] Bauer, M.: Methode zur Berechnung und Bewertung des Energieaufwandes für die Nutzenübergabe bei Warmwasserheizanlagen. Universität Stuttgart, Dissertation, 1999
- [36] Thum, S.: Kalibrierung des Gebäude- und Anlagensimulationsmodells des Bauteils 2 der Hauptschule in Plieningen. Universität Stuttgart, IKE Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik, Diplomarbeit, Juni 1998.
- [37] Holzapfel, R.: Kopplung und Kalibrierung des vereinfachten Gebäude- und Anlagensimulationsmodells des Bauteils 2 der Hauptschule in Plieningen. Universität Stuttgart, IKE Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik, Diplomarbeit, August 1999.
- [38] Kienzlen, V.; Hellwig, R.; de Boer, J.; Erhorn, H.; Bacher, C. und Biegert, B.: Modellhafte Sanierung einer Schule in Stuttgart-Plieningen (MOSES). In: gi Gesundheitsingenieur 121 1/2000 S. 8-20

8. Anhang

Bauteil 1 Zimmernummern Untergeschoß

01.01.01. __ _

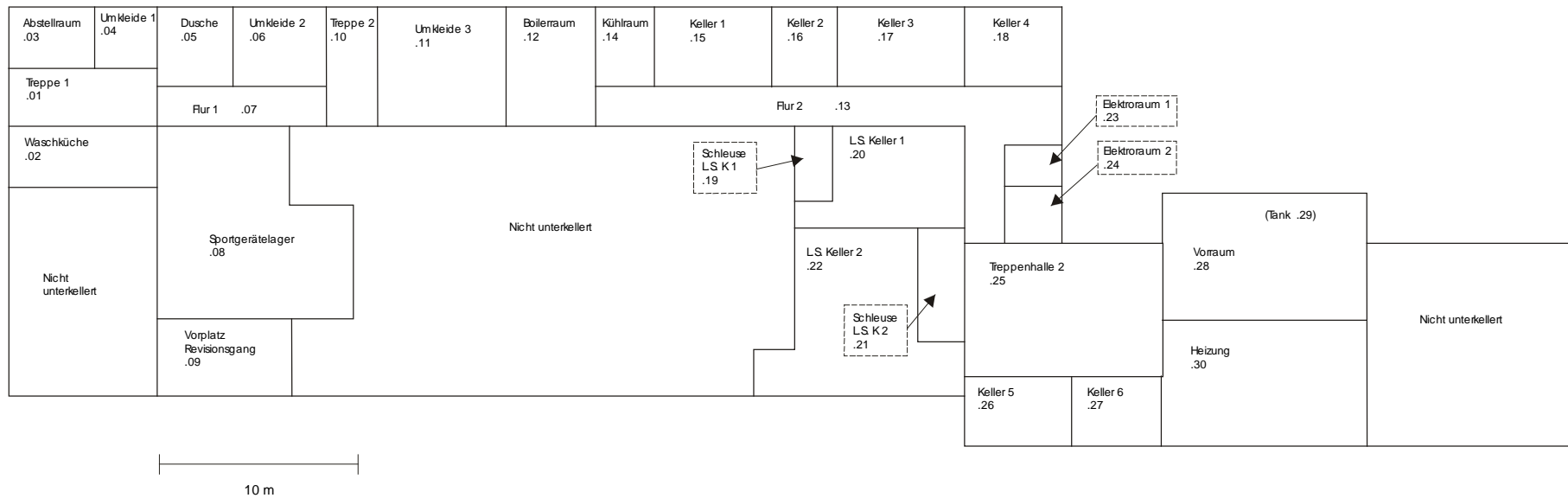


Bild A1: Bauteil 1- Räume Untergeschoß mit DDC-Nummerierung

Bauteil 1 Zimmernummern Erdgeschoß 01.01.02. __

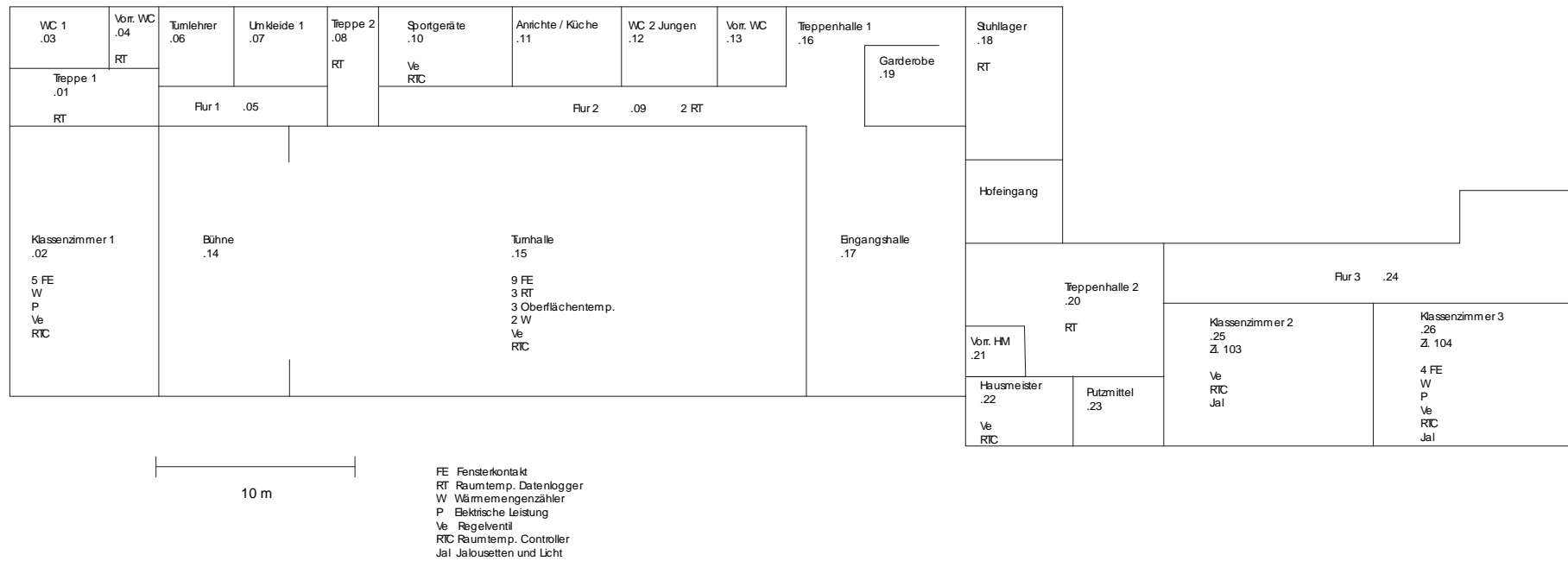
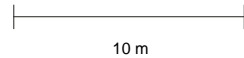
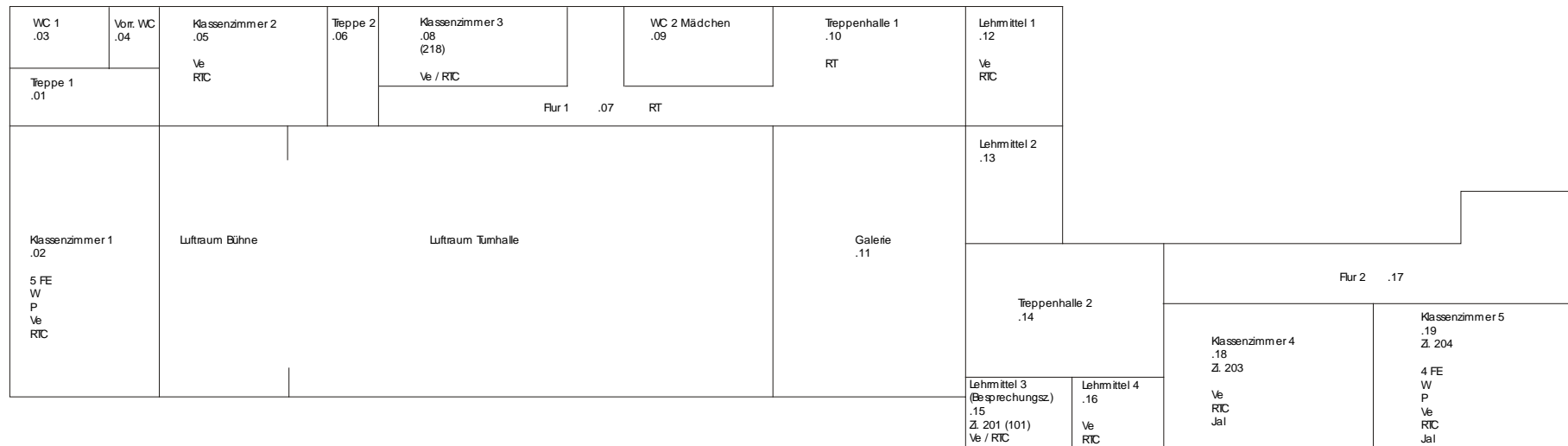


Bild A2: Bauteil 1- Räume Erdgeschoß mit DDC-Nummerierung und Messstellen

Bauteil 1 Zimmernummern Obergeschoß

01.01.03. __ __

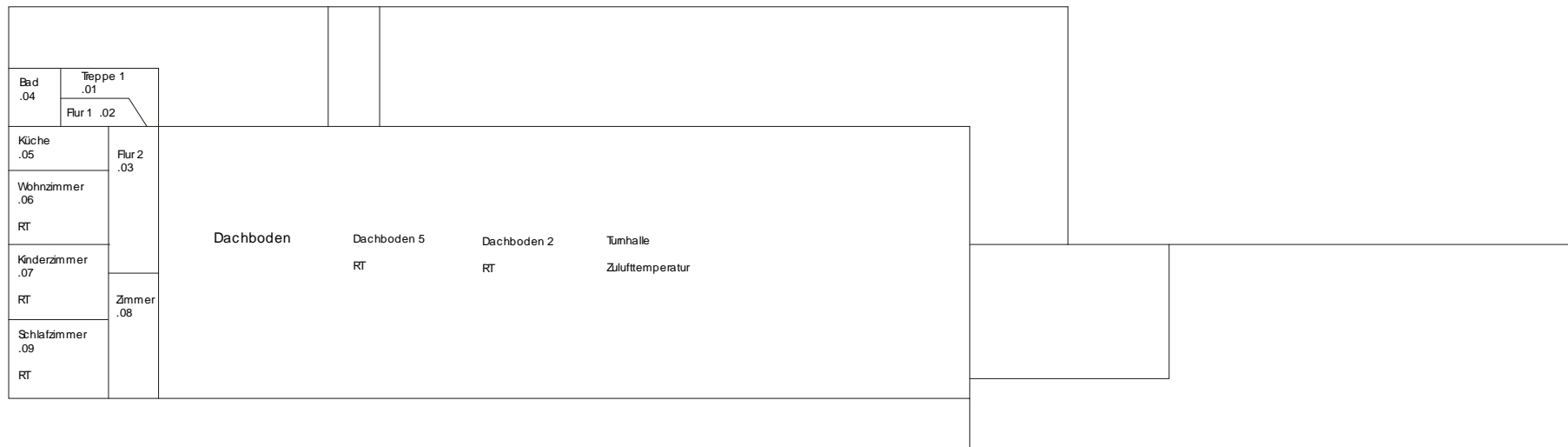


- FE Fensterkontakt
- RT Raumtemp. Datenlogger
- W Wärmemengenzähler
- P Elektrische Leistung
- Ve Regelventil
- RIC Raumtemp. Controller
- Jal Jalousetten und Licht

Bild A3: Bauteil 1- Räume Obergeschoß mit DDC-Nummerierung und Messstellen

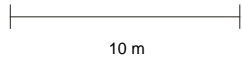
Bauteil 1 Zimmerummem Dachgeschoß

01.01.04. _ _



Wohnung HM

P



- FE Fensterkontakt
- RT Raumtemp. Datenlogger
- W Wärmemengenzähler
- P Elektrische Leistung
- Ve Regelventil
- RTC Raumtemp. Controller

Bild A4: Bauteil 1- Räume Dachgeschoß mit DDC-Nummerierung und Messstellen

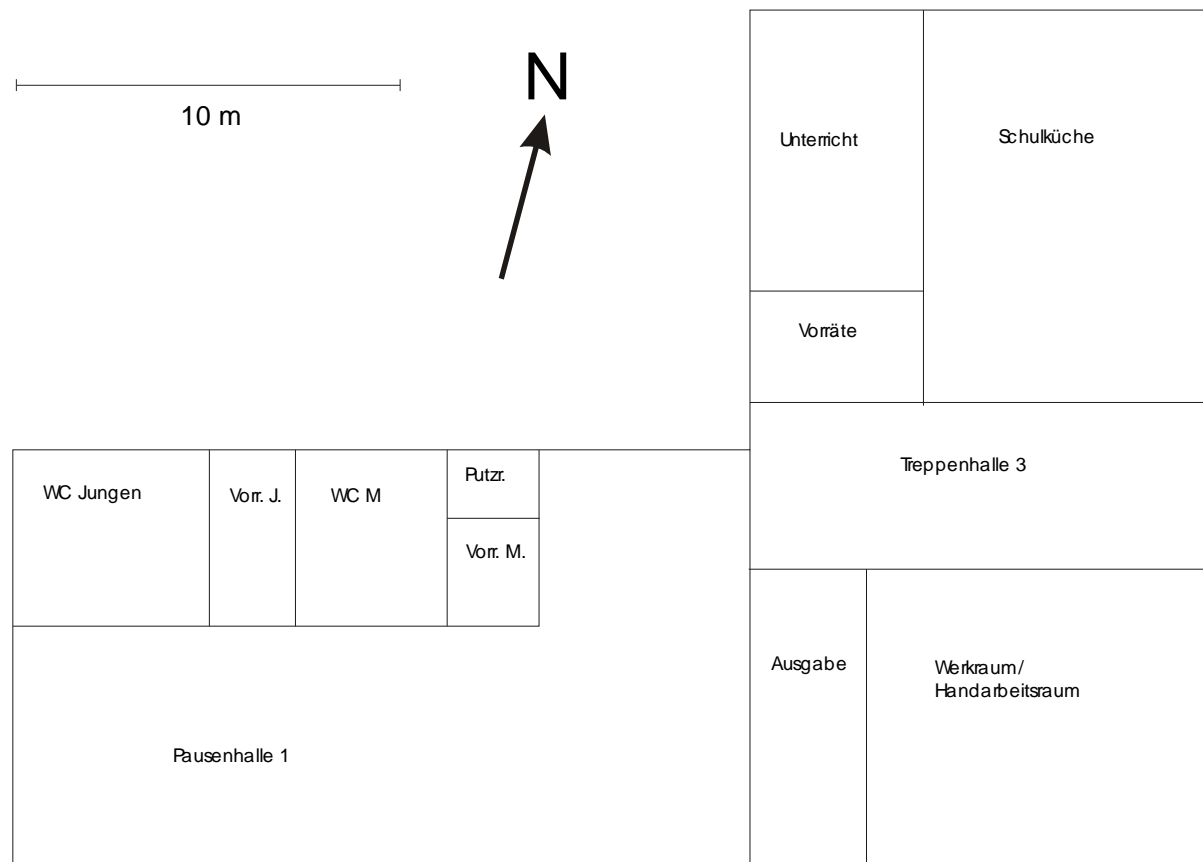


Bild A5: Bauteil 2 - Räume Untergeschoss

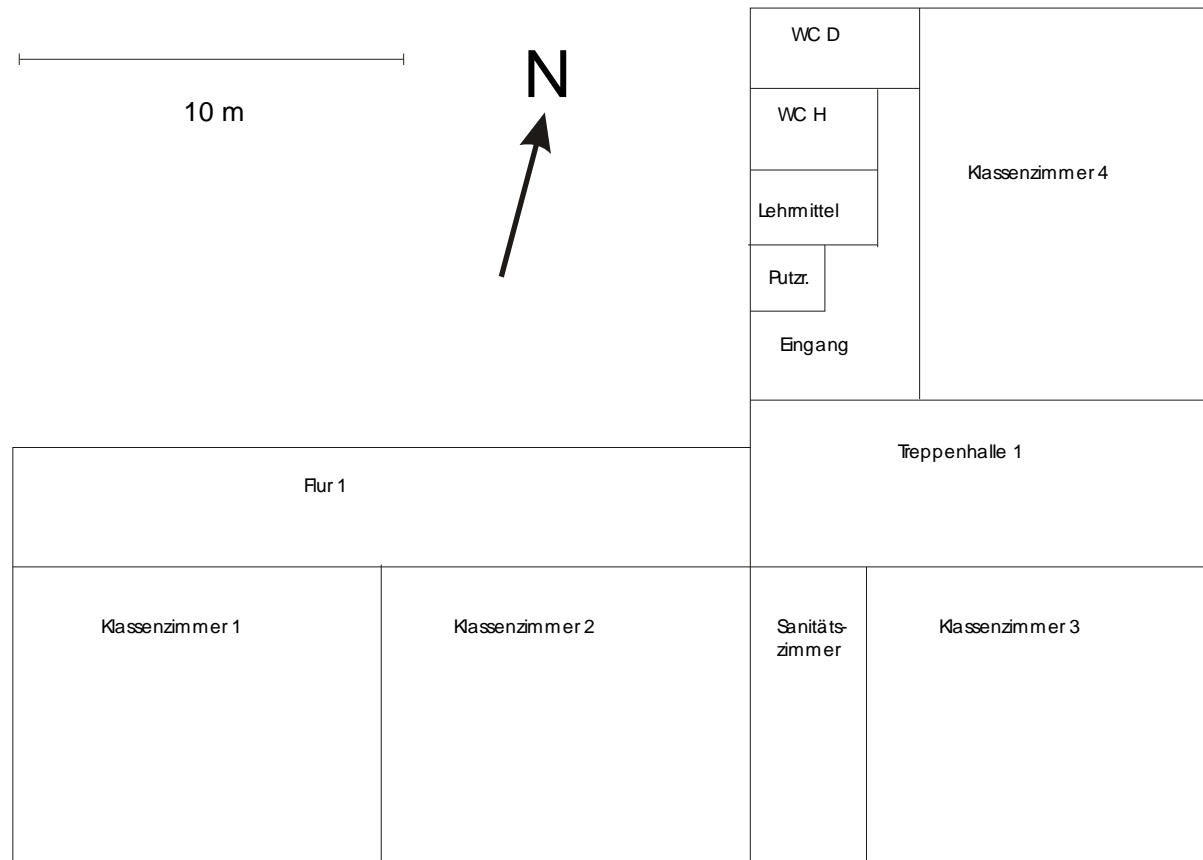


Bild A6: Bauteil 2 - Räume Erdgeschoss

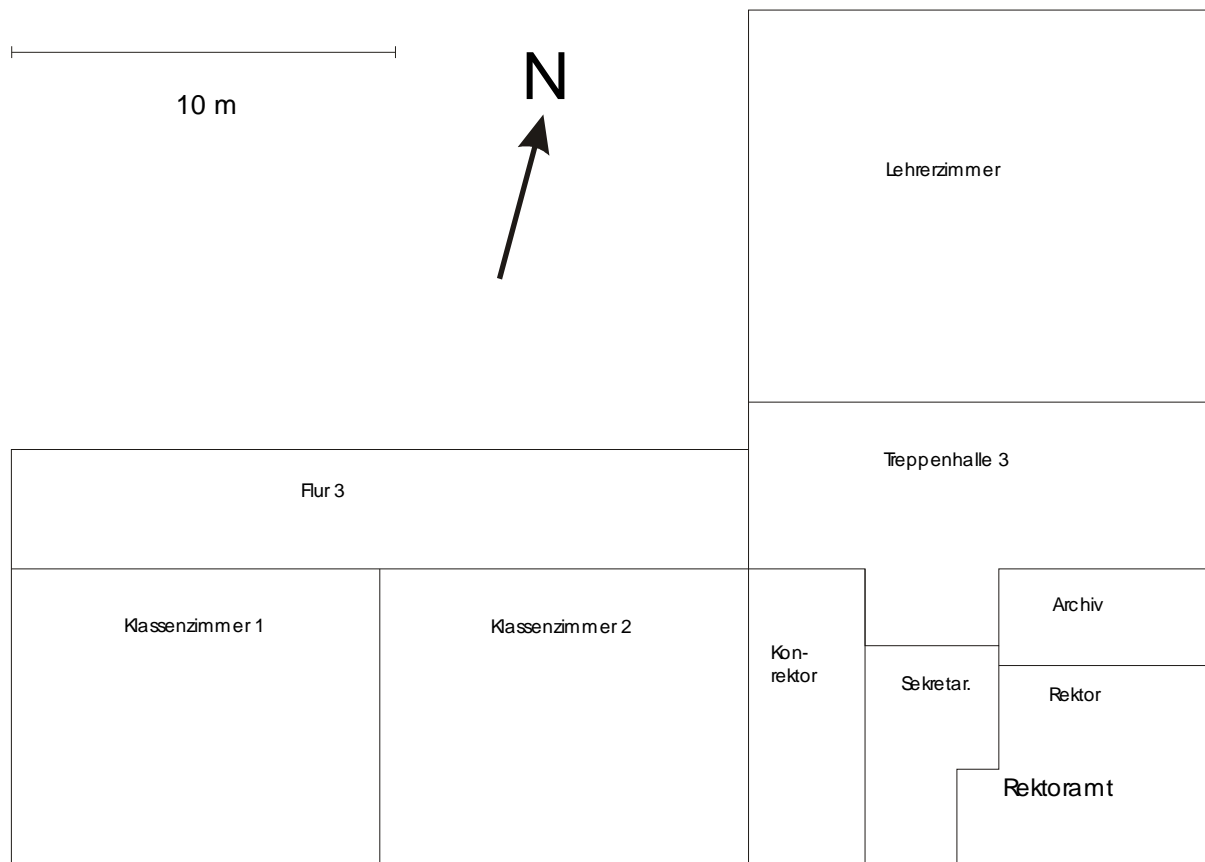


Bild A7: Bauteil 2 - Räume Obergeschoss

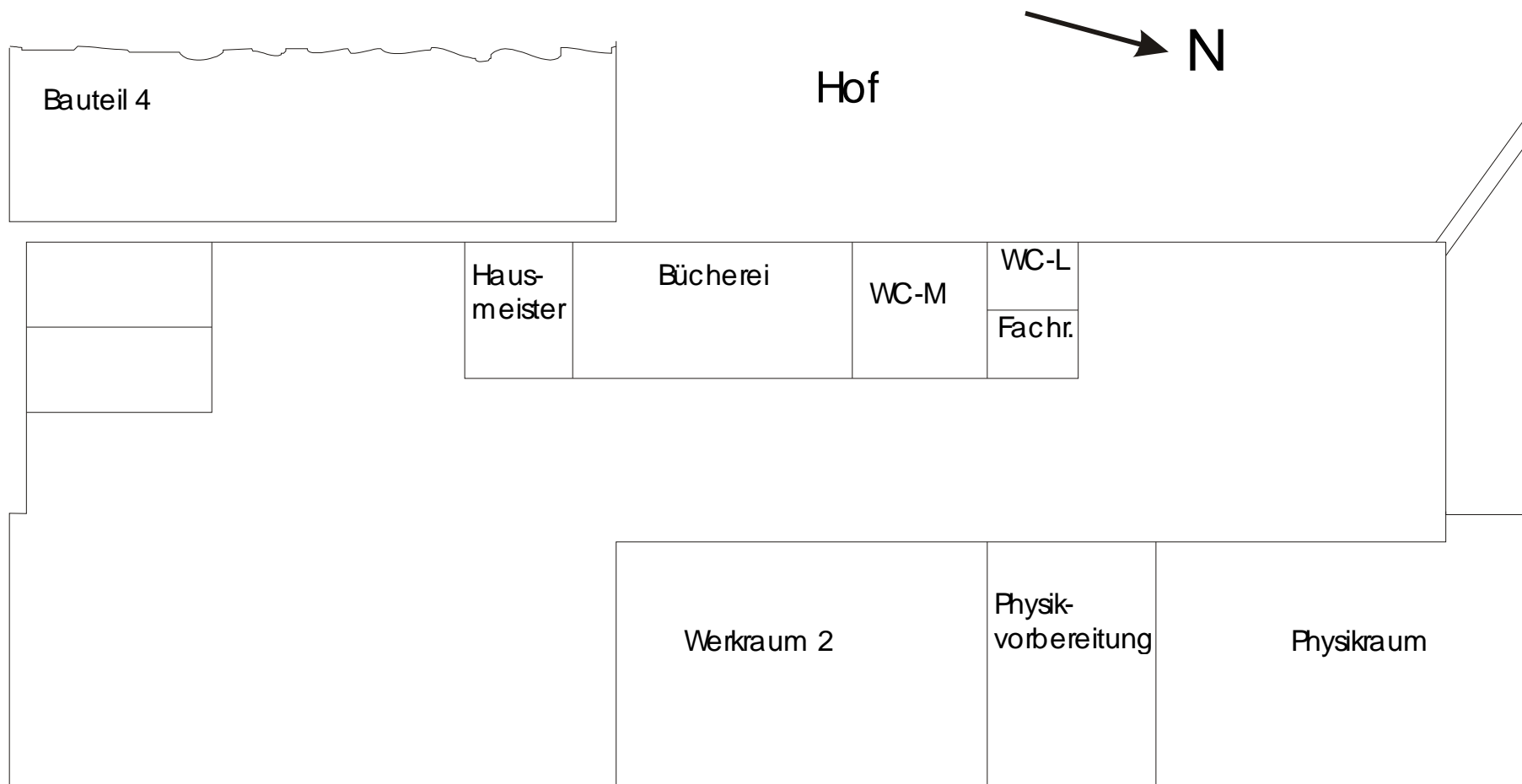


Bild A8: Bauteil 3 - Räume Erdgeschoss

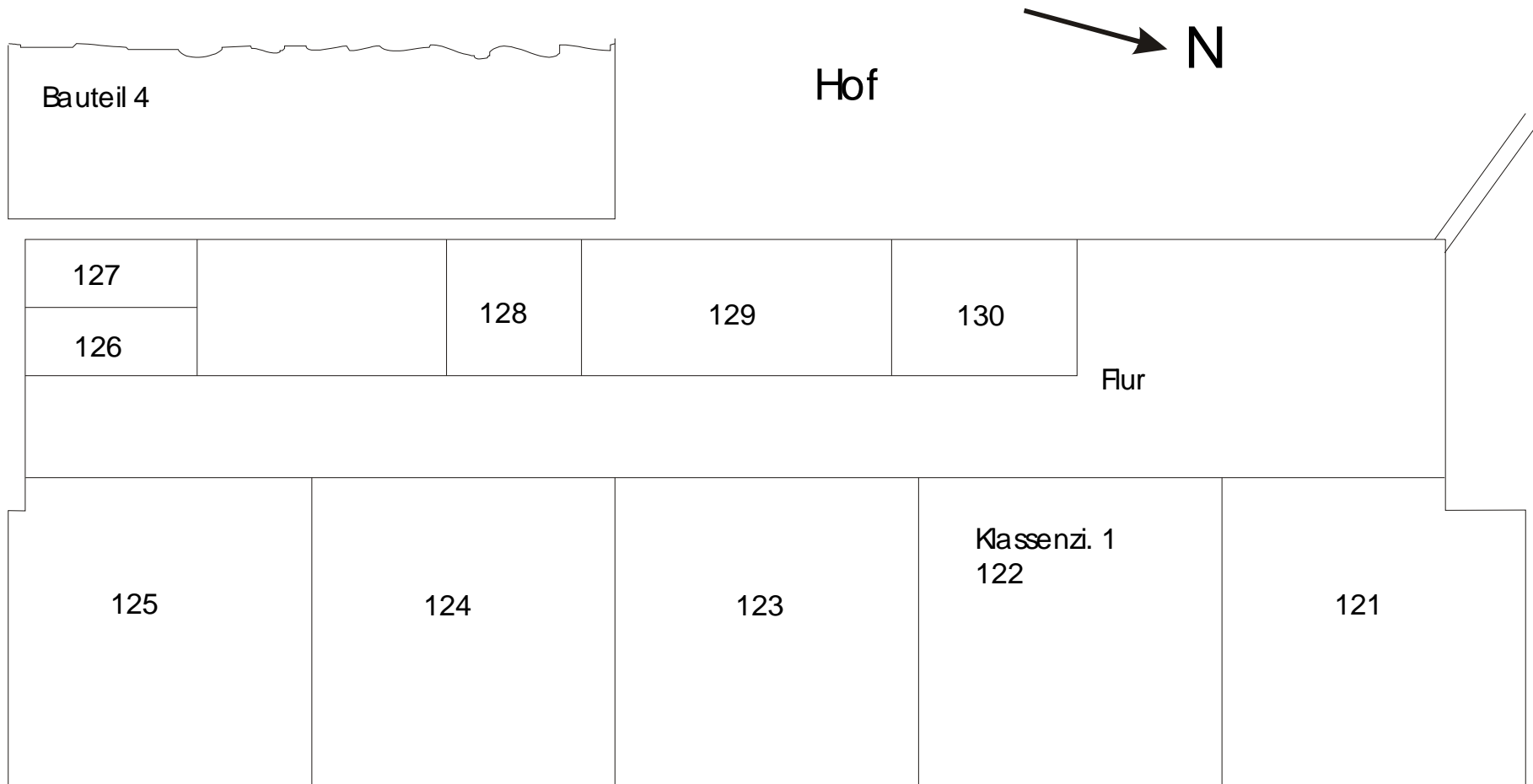


Bild A9: Bauteil 3 - Räume 1. Obergeschoss

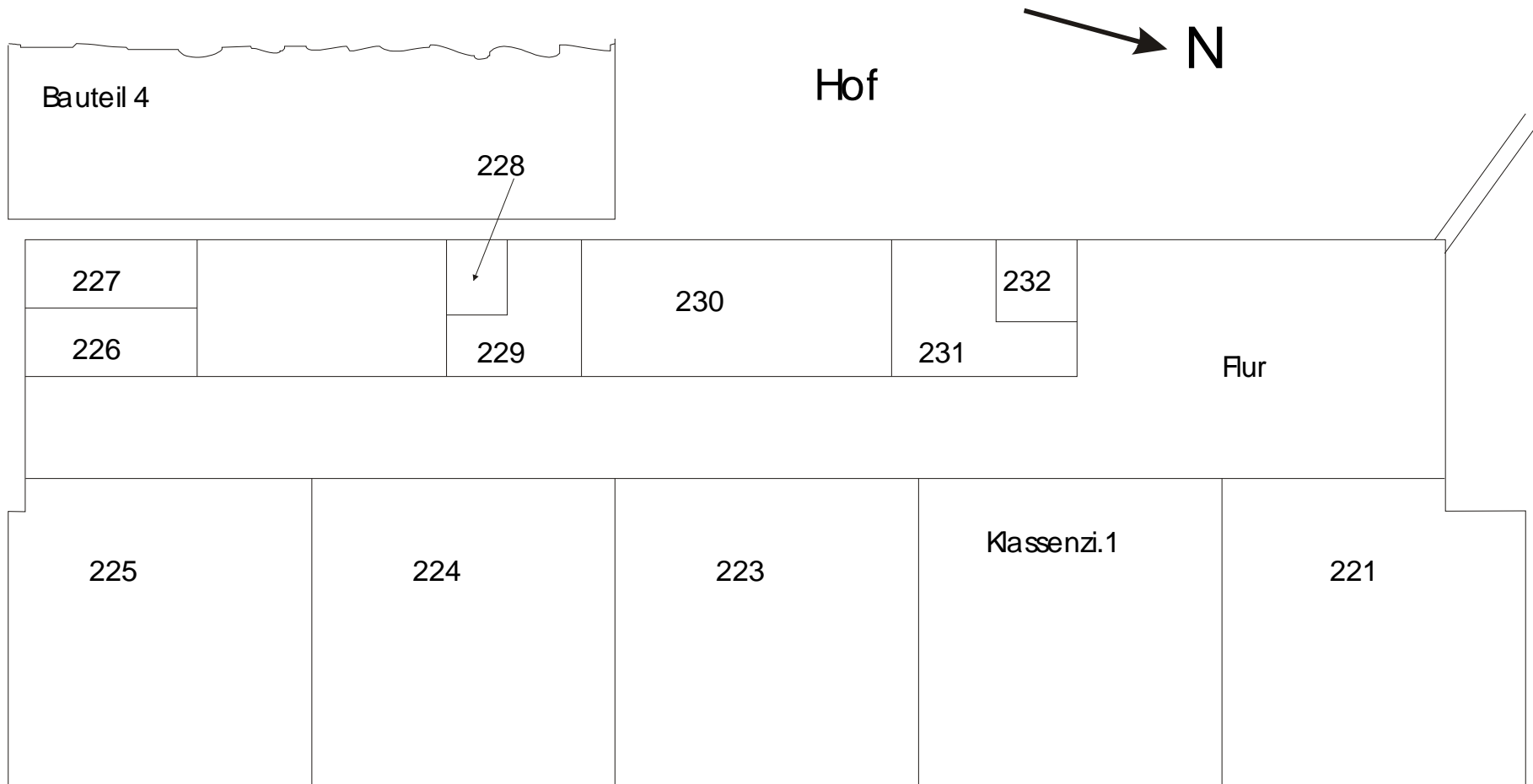


Bild A10: Bauteil 3 - Räume 2. Obergeschoss

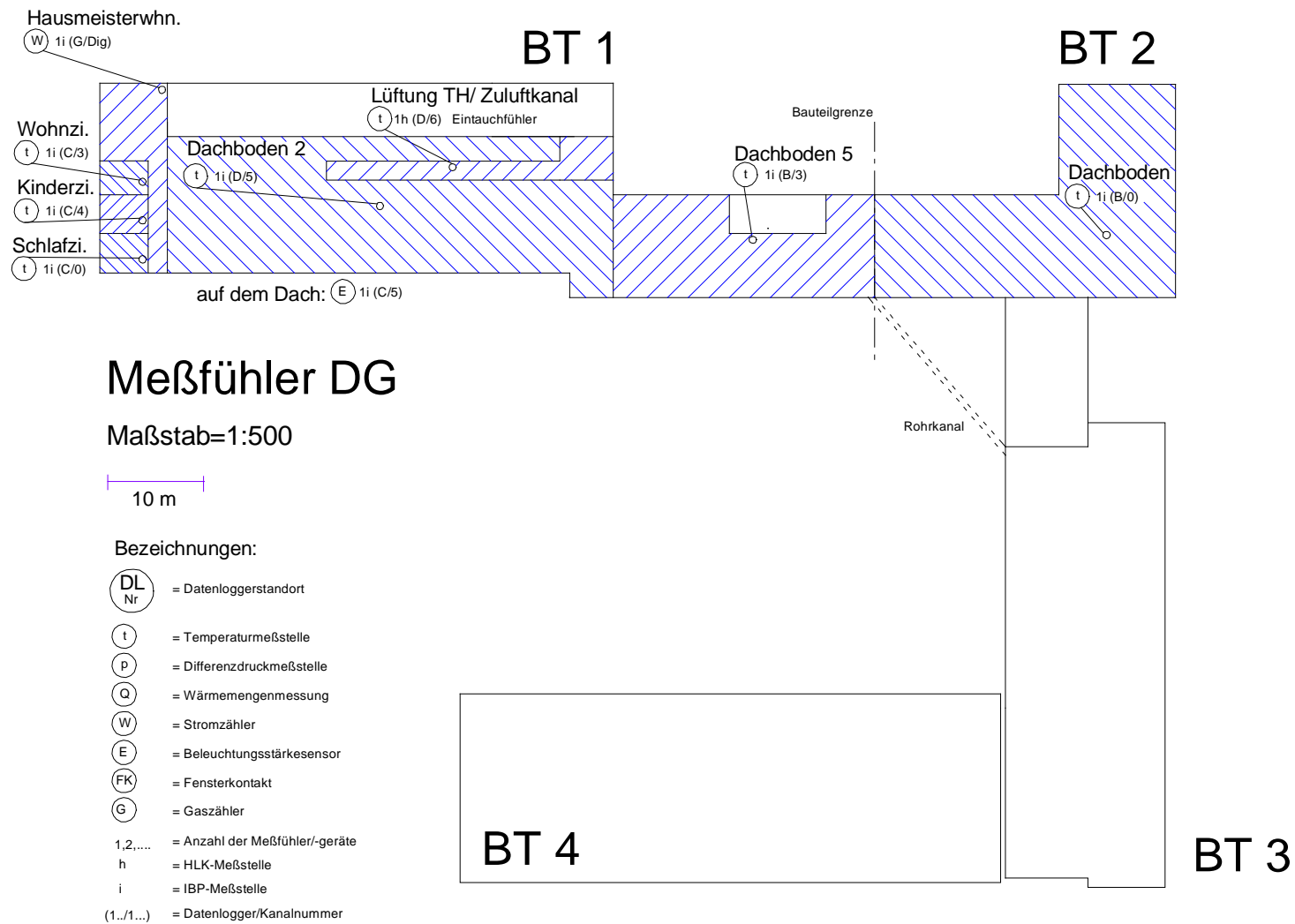


Bild A11: Ausführung und Ort der Messfühler im Dachgeschoss

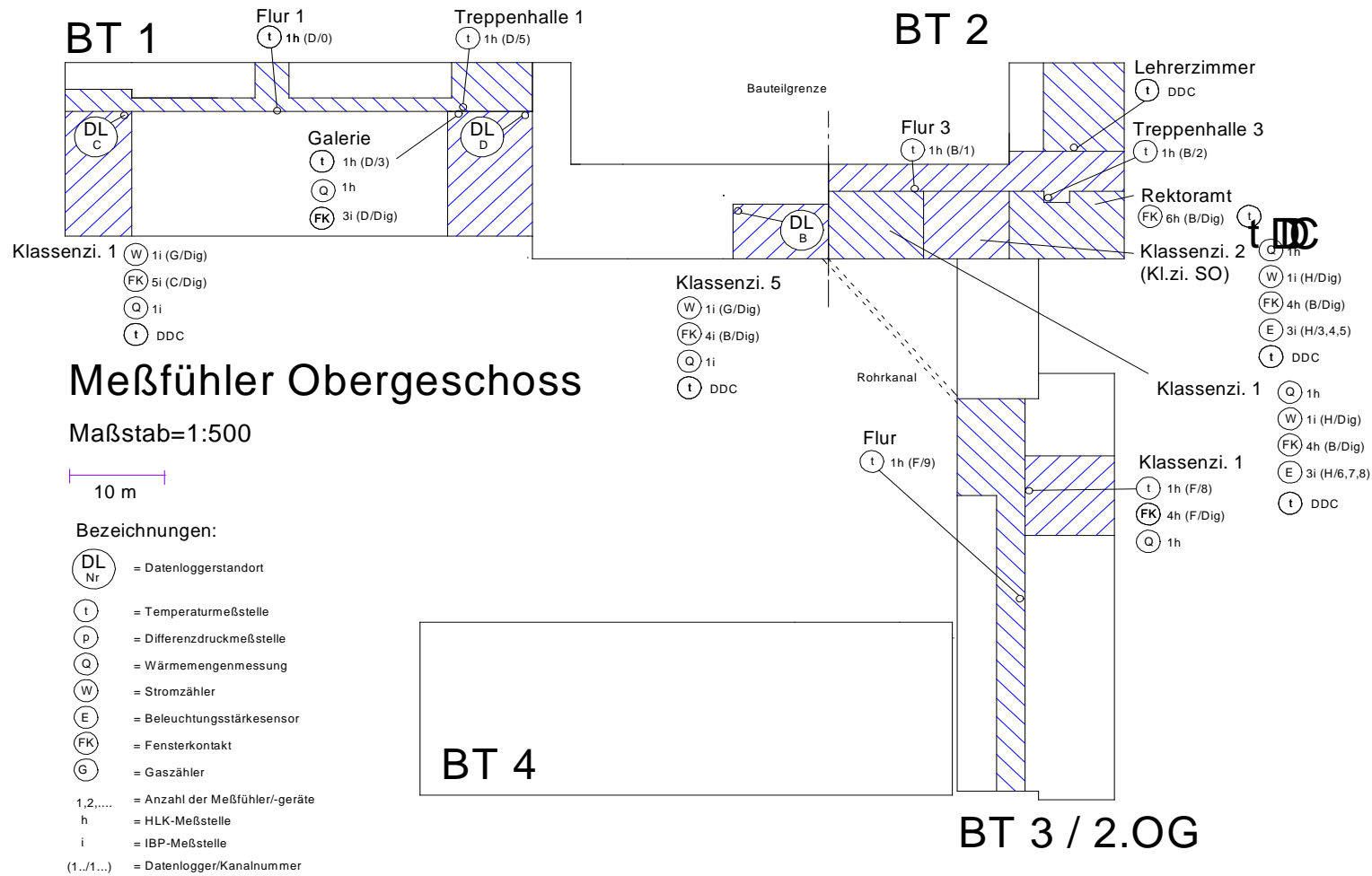


Bild A12: Ausführung und Ort der Messfühler im Obergeschoss

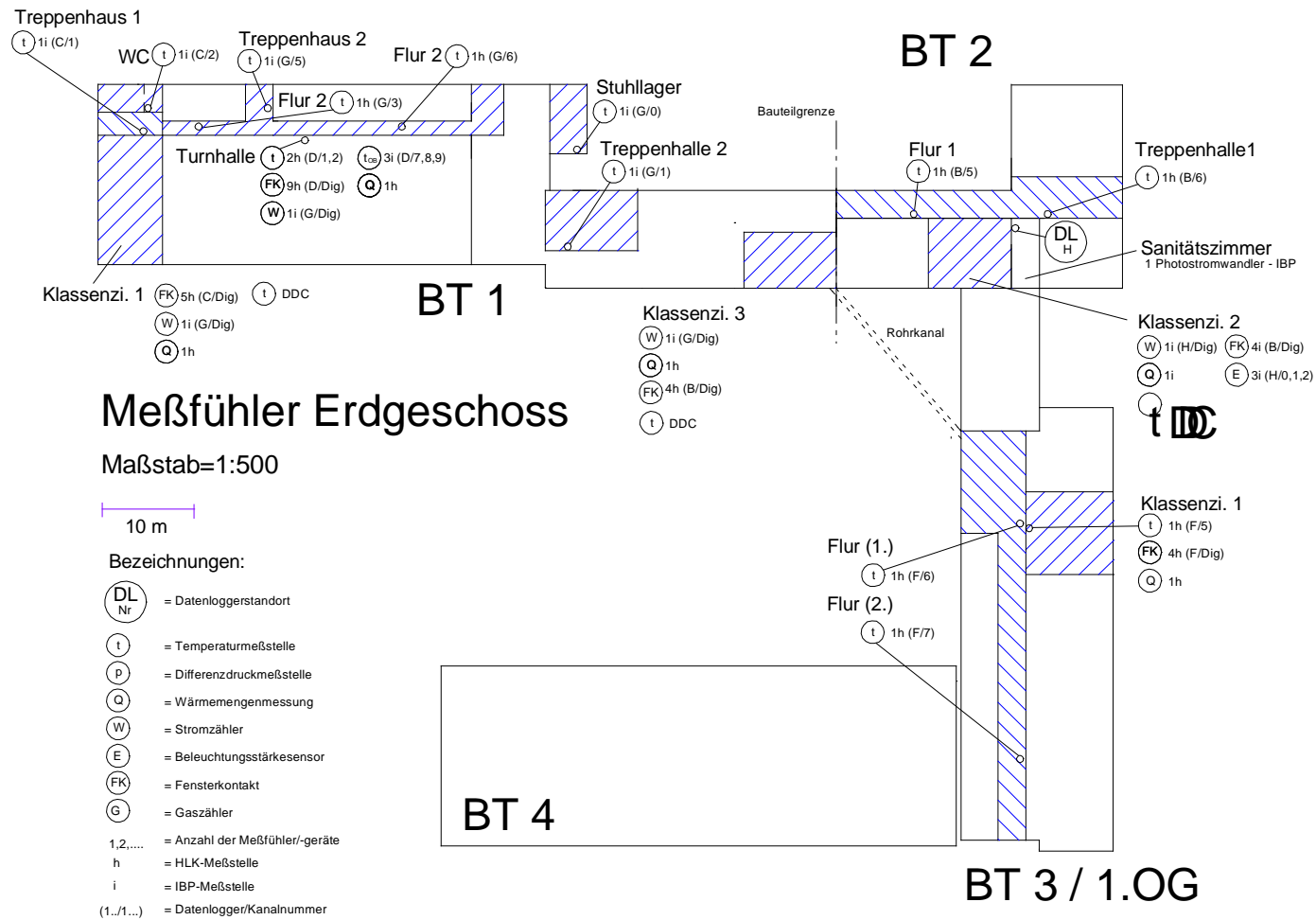
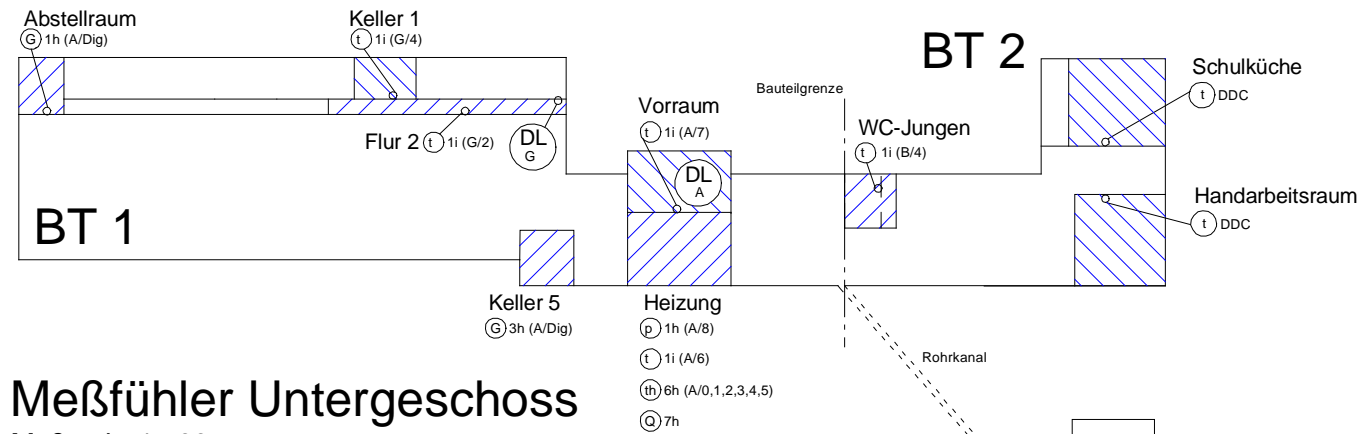
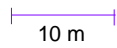


Bild A13: Ausführung und Ort der Messfühler im Erdgeschoss



Meßfühler Untergeschoss

Maßstab=1:500



Bezeichnungen:

- (DL Nr) = Datenloggerstandort
- (t) = Temperaturmeßstelle
- (P) = Differenzdruckmeßstelle
- (Q) = Wärmemengenmessung
- (W) = Stromzähler
- (E) = Beleuchtungsstärke-sensor
- (FK) = Fensterkontakt
- (G) = Gaszähler
- 1,2,..... = Anzahl der Meßfühler/-geräte
- h = HLK-Meßstelle
- i = IBP-Meßstelle
- (1..1/1...) = Datenlogger/Kanalnummer

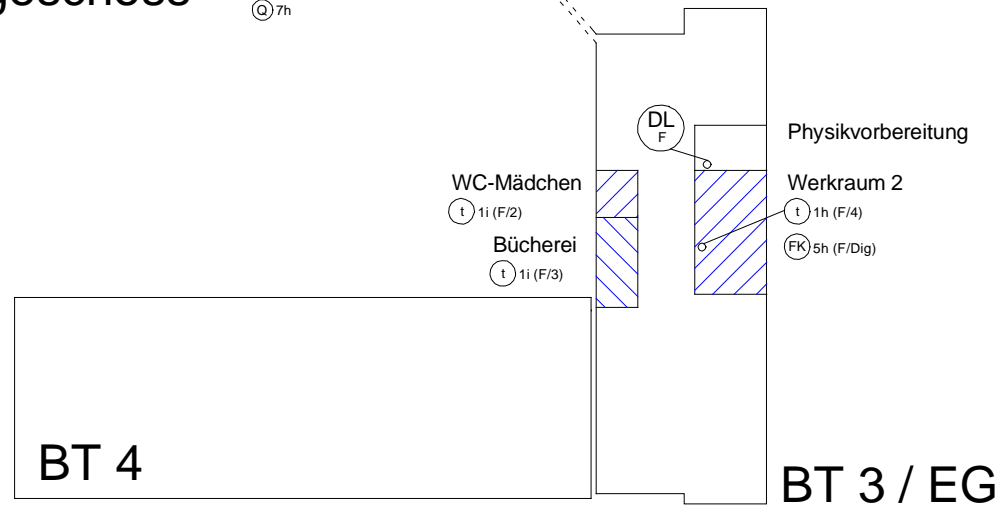


Bild A14: Ausführung und Ort der Messfühler im Untergeschoss

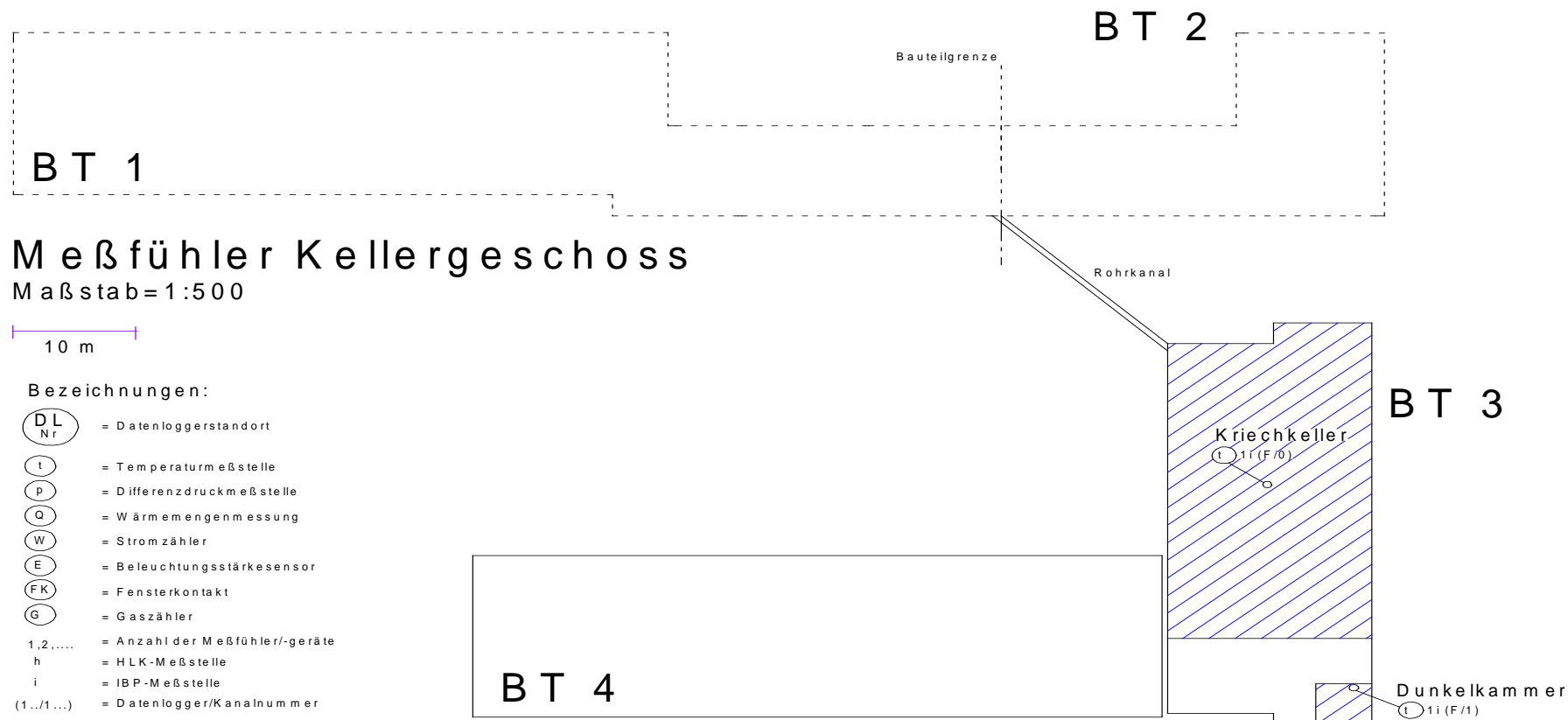


Bild A15: Ausführung und Ort der Messfühler im Kellergeschoss

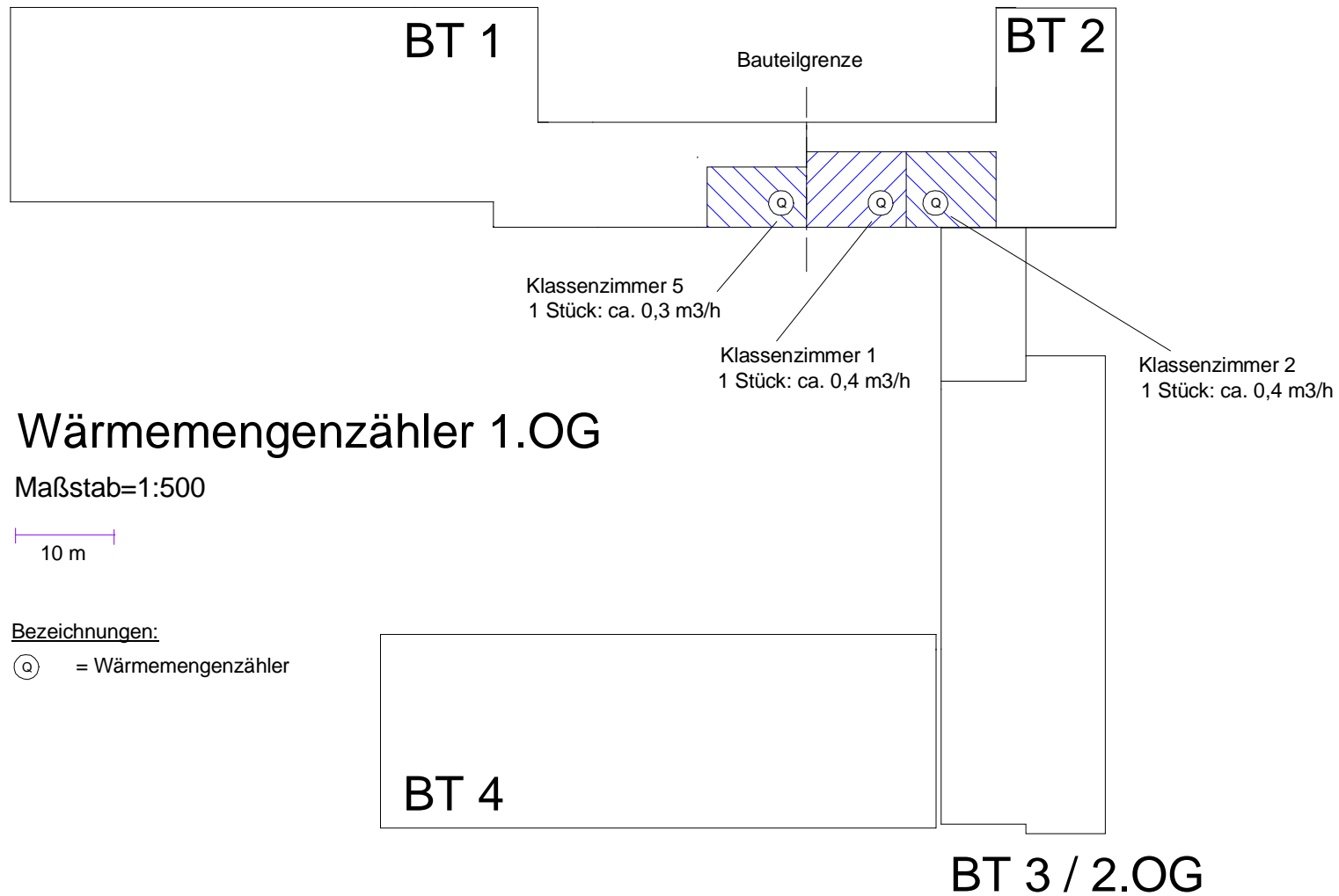


Bild A16: Einbauort der Wärmezähler im 1. Obergeschoss

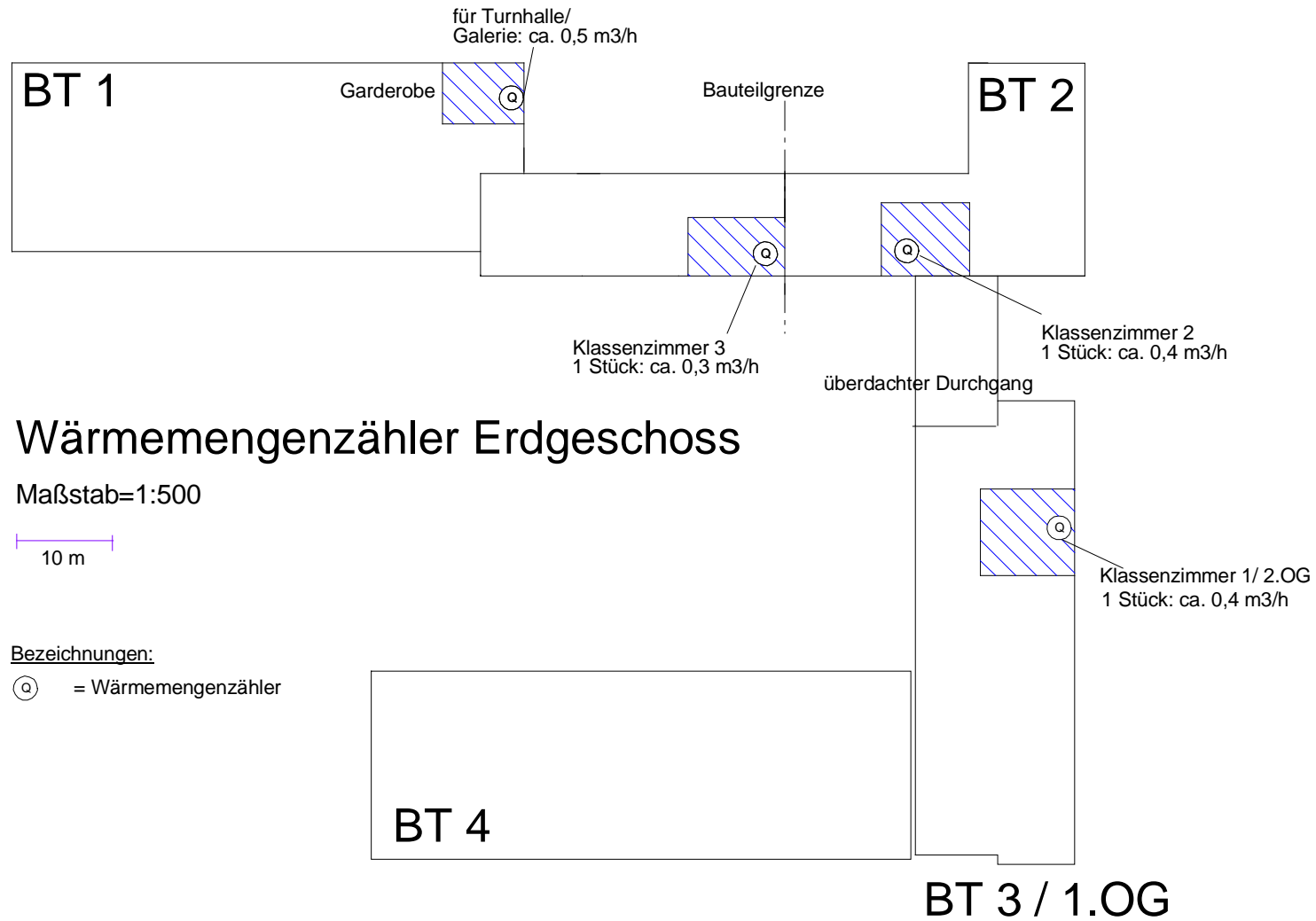


Bild A17: Einbauort der Wärmezähler im Erdgeschoss

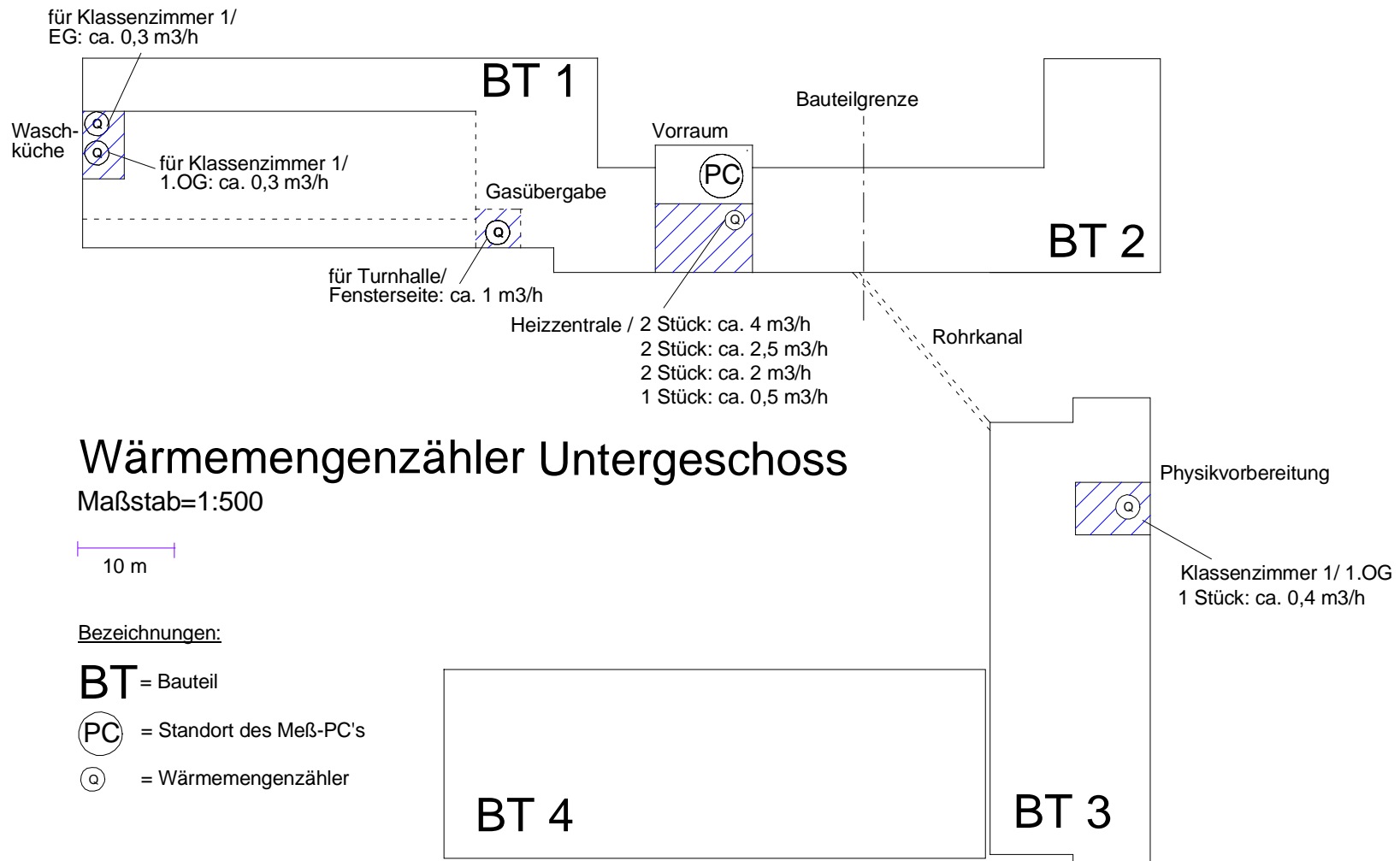


Bild A18: Einbauort der Wärmehzähler im Untergeschoss

Meßorte BT 3 (Klassenzimmer 1.+2. OG)

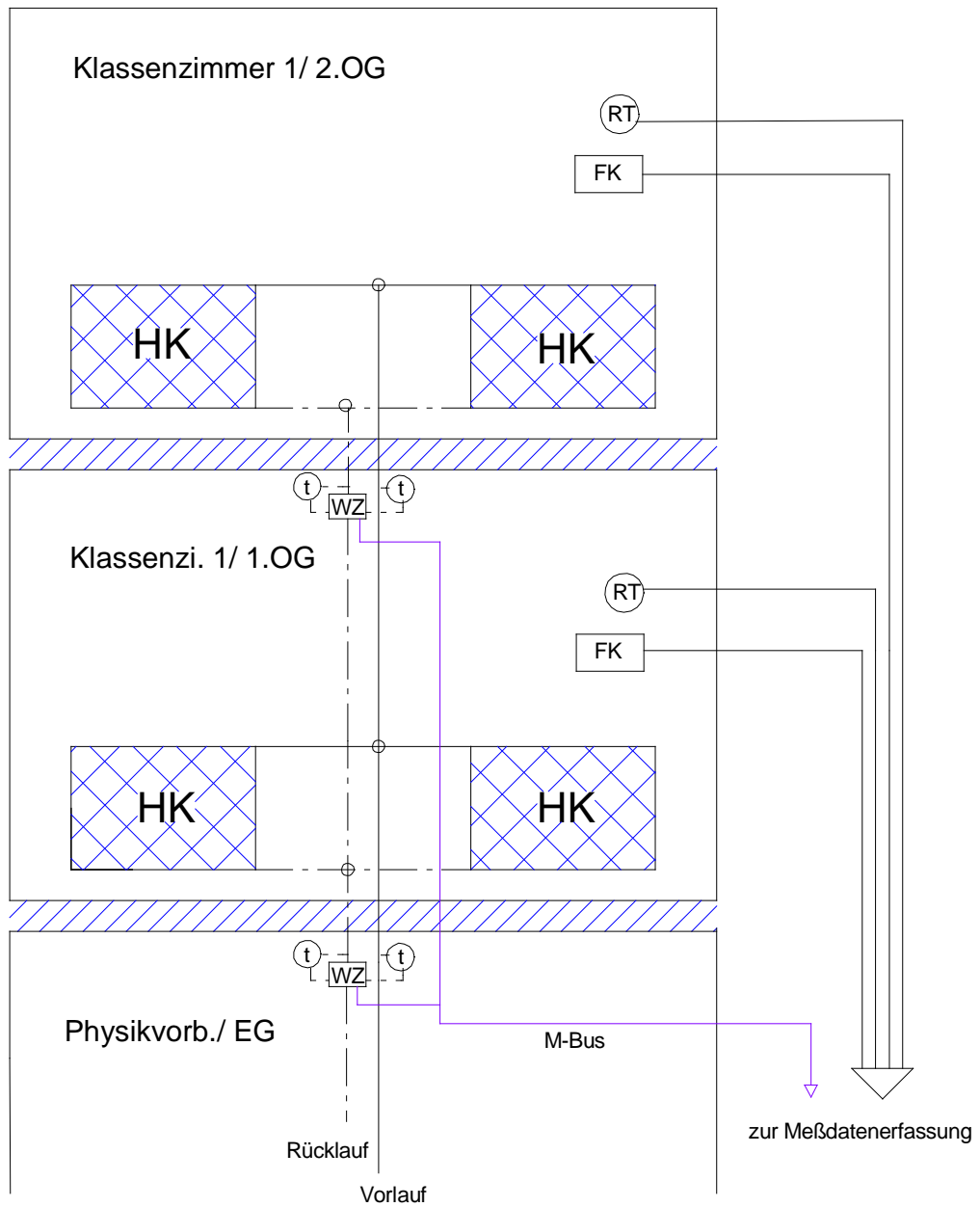


Bild A19: Detailbetrachtung der Einbauorte der Wärmezähler in Bauteil 3

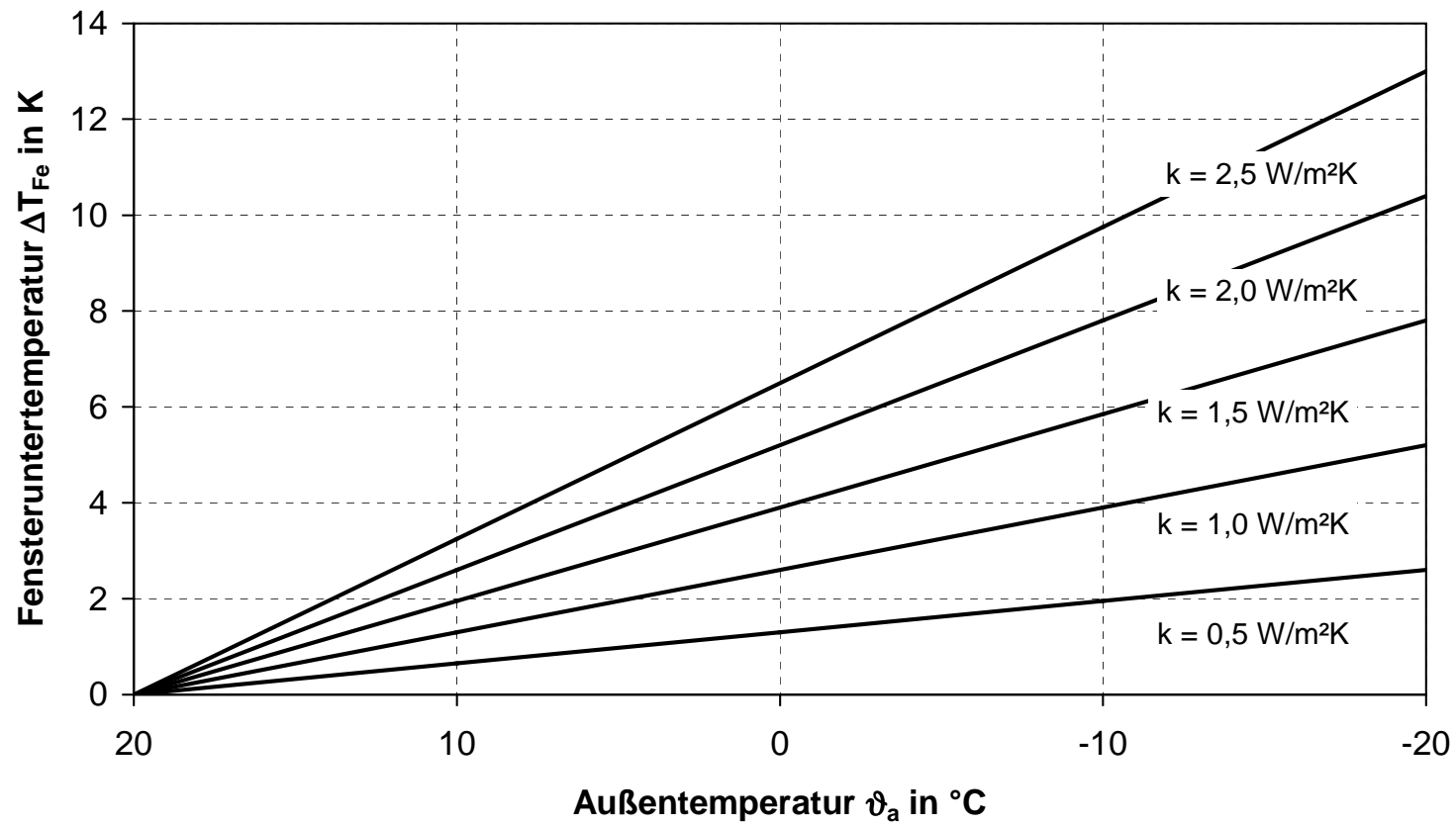


Bild A20: Abhängigkeit der Fensteruntertemperatur vom k-Wert der Verglasung und von der Aussentemperatur

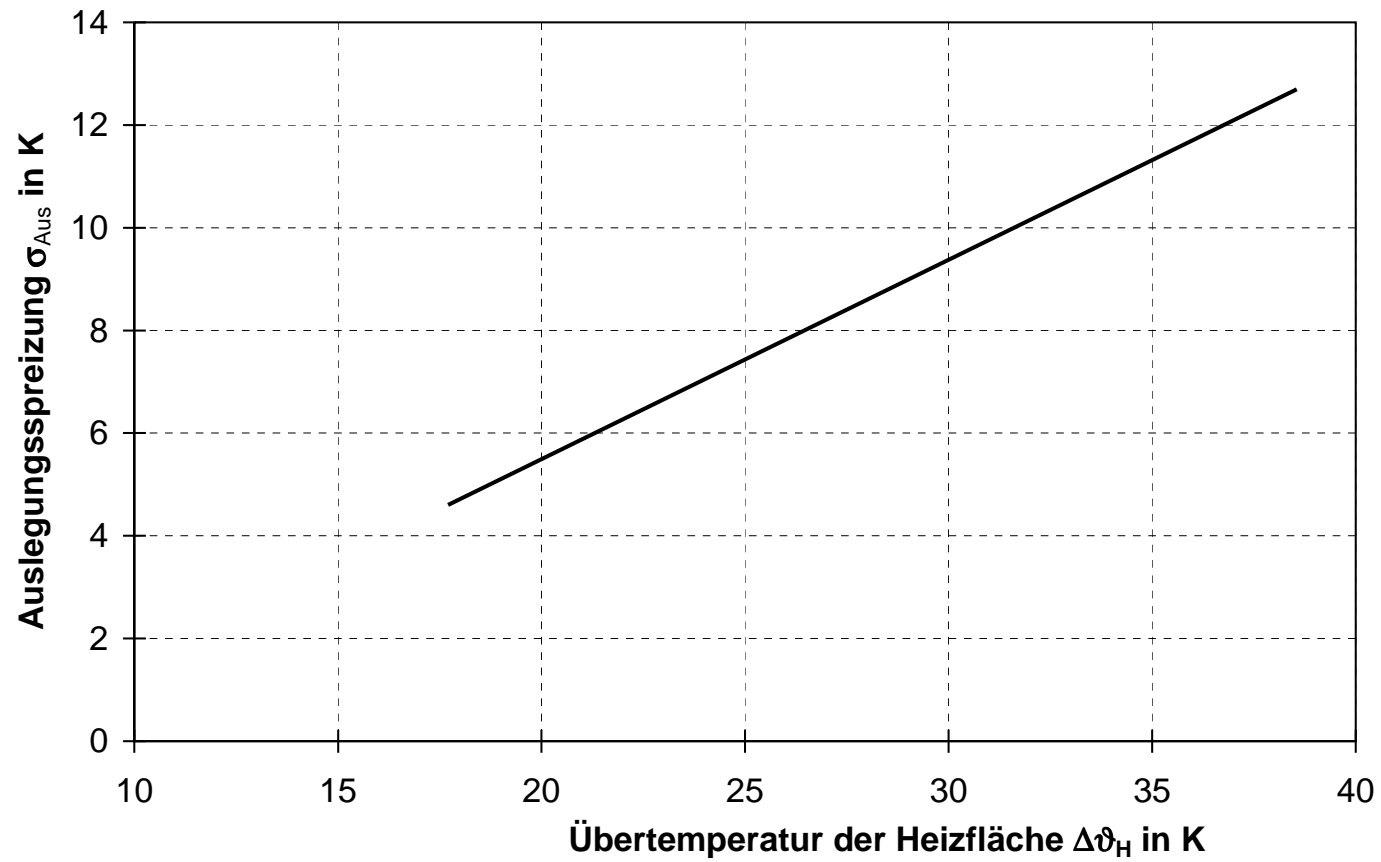


Bild A21: Abhängigkeit der Auslegungsspreizung von der Übertemperatur der Heizfläche

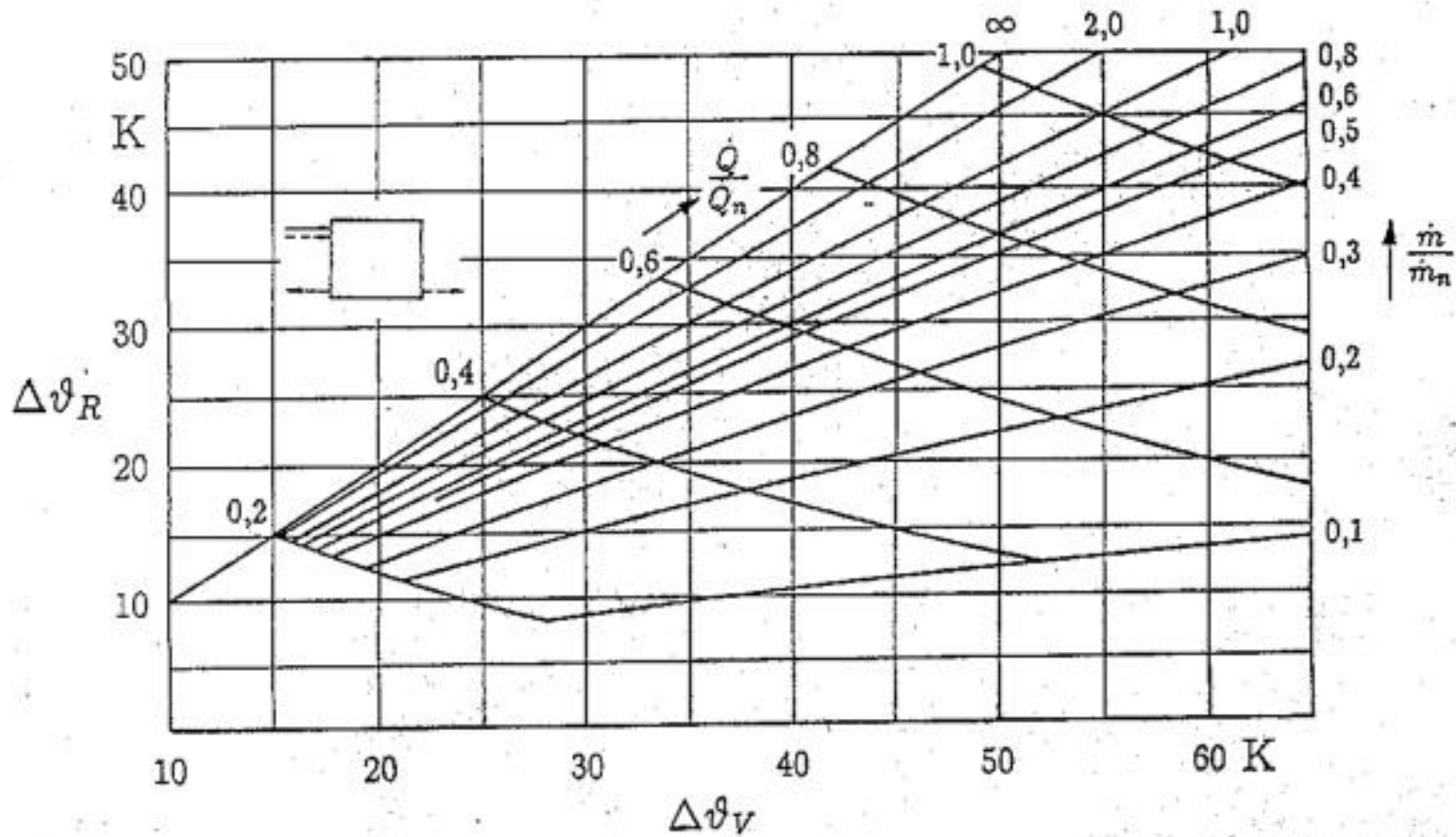


Bild A22: Auslegungsdiagramm für Raumheizkörper in wechsel- und gleichseitigem Anschluss.

Tabelle A1: Messkanäle der Datenlogger - Teil 1

	Controller	Analogkanal	Input Digit.	Output Digit.	Meßgröße	genaue Spezif.	Raum	Bauteil	Stockwerk	Kurzbezeichnung
1	A	0			Heizmitteltemperatur	VL		1	UG	HV_1U
2		1			Heizmitteltemperatur	RL60 (TR=40°C)		1	UG	HR6_1U
3		2			Heizmitteltemperatur	RL40 (TR=60°C)		1	UG	HR4_1U
4		3			Heizmitteltemperatur	BW-VL		1	UG	HB_1U
5		4			Heizmitteltemperatur	NT-VL		1	UG	HNV_1U
6		5			Heizmitteltemperatur	BW-RL		1	UG	HNR_1U
7		6			Raumtemperatur		Heizraum	1	UG	RH_1U
8		7			Raumtemperatur		Vorraum	1	UG	RV_1U
9		8			Differenzdruck			1	UG	D_1U
10			0	0	Gaszähler	Gesamtverbrauch		1	UG	GG_1U
11			1	1	Gaszähler	Trinkwassererw.		1	UG	GT_1U
12			2	2	Gaszähler	Küche/ Physik		1	UG	GK_1U
13			3	3	Gaszähler	Hausmeisterwhn.		1	UG	GH_1U
14	B	0			Raumtemperatur		Dachboden 5	1	DG	RD5_1D
15		1			Raumtemperatur		Flur 3	2	OG	RF3_2O
16		2			Raumtemperatur		Treppenhalle 3	2	OG	RT3_2O
17		3			Raumtemperatur		Dachboden	2	DG	RD_2D
18		4			Raumtemperatur		WC Jungen	2	UG	RWJ_2U
19		5			Raumtemperatur		Flur 1	2	EG	RF1_2E
20		6			Raumtemperatur		Treppenhalle 1	2	EG	RT1_2E
21			0	0	Fensterkontakt		Klassenzimmer 3	1	EG	FK311E
22			1		Fensterkontakt		Klassenzimmer 3	1	EG	FK321E
23			2		Fensterkontakt		Klassenzimmer 3	1	EG	FK331E
24			3		Fensterkontakt		Klassenzimmer 3	1	EG	FK341E
25			4		Fensterkontakt		Klassenzimmer 5	1	OG	FK511O
26			5		Fensterkontakt		Klassenzimmer 5	1	OG	FK521O
27			0	1	Fensterkontakt		Klassenzimmer 5	1	OG	FK531O
28			1		Fensterkontakt		Klassenzimmer 5	1	OG	FK541O
29			2		Fensterkontakt		Rektoramt	2	OG	FR_12O
30			3		Fensterkontakt		Rektoramt	2	OG	FR_22O
31			4		Fensterkontakt		Rektoramt	2	OG	FR_32O
32			5		Fensterkontakt		Rektoramt	2	OG	FR_42O
33			0	2	Fensterkontakt		Rektoramt	2	OG	FR_52O
34			1		Fensterkontakt		Rektoramt	2	OG	FR_62O
35			2		Fensterkontakt		Klassenzimmer 2	2	OG	FK212O
36			3		Fensterkontakt		Klassenzimmer 2	2	OG	FK222O
37			4		Fensterkontakt		Klassenzimmer 2	2	OG	FK232O
38			5		Fensterkontakt		Klassenzimmer 2	2	OG	FK242O
39			0	3	Fensterkontakt		Klassenzimmer 1	2	OG	FK112O
40			1		Fensterkontakt		Klassenzimmer 1	2	OG	FK122O
41			2		Fensterkontakt		Klassenzimmer 1	2	OG	FK132O
42			3		Fensterkontakt		Klassenzimmer 1	2	OG	FK142O
43			0	4	Fensterkontakt		Klassenzimmer 2	2	EG	FK212E
44			1		Fensterkontakt		Klassenzimmer 2	2	EG	FK222E
45			2		Fensterkontakt		Klassenzimmer 2	2	EG	FK232E
46			3		Fensterkontakt		Klassenzimmer 2	2	EG	FK242E
47	C	0			Raumtemperatur		HM Schlafzimmer	1	DG	RHS_1D
48		1			Raumtemperatur		Treppenhaus 1	1	EG	RT1_1E
49		2			Raumtemperatur		WC	1	EG	RW_1E
50		3			Raumtemperatur		HM Wohnzimmer	1	DG	RHW_1D

Tabelle A2: Messkanäle der Datenlogger - Teil 2

51		4			Raumtemperatur	HM Kinderzimmer	1	DG	RHK_1D
52	!!!	5	fehlt bei meßdaten		Außenbel.stärke	Dach	1	DA	ADT_1D
53			0	0	Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	1	EG	FK111E
54			1		Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	1	EG	FK121E
55			2		Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	1	EG	FK131E
56			3		Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	1	EG	FK141E
57			4		Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	1	EG	FK151E
58			0	1	Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	1	OG	FK111O
59			1		Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	1	OG	FK121O
60			2		Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	1	OG	FK131O
61			3		Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	1	OG	FK141O
62			4		Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	1	OG	FK151O
63	D	0			Raumtemperatur	Flur 1	1	OG	RF1_1O
64		1			Raumtemperatur	Turnhalle	1	EG	RTH11E
65		2			Raumtemperatur	Turnhalle	1	EG	RTH31E
66		3			Raumtemperatur	Turnhalle	1	EG	RTG_1E
67		4			Raumtemperatur	Treppenhalle 1	1	OG	RT1_1O
68		5			Raumtemperatur	Dachboden 2	1	DG	RD2_1D
69		6			Zulufttemperatur	Turnhalle	1	DG	ZTL_1D
70		7			Oberflächentemp.	Turnhalle	1	EG	OT1_1E
71		8			Oberflächentemp.	Turnhalle	1	EG	OT2_1E
72		9			Oberflächentemp.	Turnhalle	1	EG	OT3_1E
73			0	0	Fensterkontakt	Turnhalle	1	EG	FT_11E
74			1		Fensterkontakt	Turnhalle	1	EG	FT_21E
75			2		Fensterkontakt	Turnhalle	1	EG	FT_31E
76			0	1	Fensterkontakt	Turnhalle	1	EG	FT_41E
77			1		Fensterkontakt	Turnhalle	1	EG	FT_51E
78			2		Fensterkontakt	Turnhalle	1	EG	FT_61E
79			0	2	Fensterkontakt	Turnhalle	1	EG	FTG11E
80			1		Fensterkontakt	Turnhalle	1	EG	FTG21E
81			2		Fensterkontakt	Turnhalle	1	EG	FTG31E
82	F	0			Raumtemperatur	Kriechkeller	3	KG	RK_3K
83		1			Raumtemperatur	Dunkelkammer	3	KG	RD_3K
84		2			Raumtemperatur	WC Mädchen	3	EG	RWM_3E
85		3			Raumtemperatur	Bücherei	3	EG	RB_3E
86		4			Raumtemperatur	Werkraum 2	3	EG	RW2_3E
87		5			Raumtemperatur	Klassenzimmer 1	3	OG 1.	RK1301
88		6			Raumtemperatur	Flur (1.)	3	OG 1.	RFN301
89		7			Raumtemperatur	Flur (2.)	3	OG 1.	RFS301
90		8			Raumtemperatur	Klassenzimmer 1	3	OG 2.	RK1302
91		9			Raumtemperatur	Flur	3	OG 2.	RF_3O2
92			0	0	Fensterkontakt	Werkraum	3	EG	FW_13E
93			1		Fensterkontakt	Werkraum	3	EG	FW_23E
94			2		Fensterkontakt	Werkraum	3	EG	FW_33E
95			3		Fensterkontakt	Werkraum	3	EG	FW_43E
96			0	1	Fensterkontakt	Werkraum	3	EG	FW_53E
97			1		Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	3	1.OG	FK1301
98			2		Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	3	1.OG	FK2301
99			3		Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	3	1.OG	FK3301
100			0	2	Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	3	1.OG	FK4301

Tabelle A3: Messkanäle der Datenlogger - Teil 3

101			1		Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	3	2.OG	FK13O2
102			2		Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	3	2.OG	FK23O2
103			3		Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	3	2.OG	FK33O2
104			4		Fensterkontakt	Klassenzimmer 1	3	2.OG	FK43O2
105	G	0			Raumtemperatur	Stuhllager	1	EG	RS_1E
106		1			Raumtemperatur	Treppenhalle 2	1	EG	RTE21E
107		2			Raumtemperatur	Flur 2	1	UG	RF2_1U
108		3			Raumtemperatur	Flur 2	1	EG	RF2T1E
109		4			Raumtemperatur	Keller 1	1	UG	RK1_1U
110		5			Raumtemperatur	Treppenhaus 2	1	EG	RTS21E
111		6			Raumtemperatur	Flur 2	1	EG	RF2_1E
112			0	0	Elektr. Leistung	Klassenzimmer 3	1	EG	EK3_1E
113			1	1	Elektr. Leistung	Klassenzimmer 5	1	OG	EK5_1O
114			2	2	Elektr. Leistung	Klassenzimmer 1	1	EG	EK1_1E
115			3	3	Elektr. Leistung	Klassenzimmer 1	1	OG	EK1_1O
116			4	4	Elektr. Leistung	HM Wohnung	1	DG	EHW_1D
117			5	5	Elektr. Leistung	Turnhalle	1	EG	ET__1E
118	H	0			Beleuchtungsstärke	Klassenzimmer 2	2	EG	BK2F2E
119		1			Beleuchtungsstärke	Klassenzimmer 2	2	EG	BK2M2E
120		2			Beleuchtungsstärke	Klassenzimmer 2	2	EG	BK2W2E
121		3			Beleuchtungsstärke	Klassenzimmer 2	2	OG	BK2F2O
122		4			Beleuchtungsstärke	Klassenzimmer 2	2	OG	BK2M2O
123		5			Beleuchtungsstärke	Klassenzimmer 2	2	OG	BK2W2O
124		6			Beleuchtungsstärke	Klassenzimmer 1	2	OG	BK1F2O
125		7			Beleuchtungsstärke	Klassenzimmer 1	2	OG	BK1M2O
126		8			Beleuchtungsstärke	Klassenzimmer 1	2	OG	BK1W2O
127			0	0	Elektr. Leistung	Klassenzimmer 2	2	OG	EK2_2O
128			1	1	Elektr. Leistung	Klassenzimmer 1	2	OG	EK1_2O
129			2	2	Elektr. Leistung	Klassenzimmer 2	2	EG	EK2_2E

Tabelle A4: Standorte der Wärmemengenzähler und gerätespezifische Angaben

Nr.	Standort	Bauteil	Einbauort	Messung	max. Vol.strom	Rohrdurchmesser	Typ - ursprünglich vorgesehen	Typ - von Aquametro eingebaut !	Fabrikationsnummer Adresse
Untergeschoss:									
01.	Heizzentrale	BT1	Heizkreis 1	Heizgruppe BT1	ca. 3200 kg/h	DN 50	AMTRON NW + Flügelradzähler PMW 32	AMTRON NW + Flügelradzähler PMWF 32	3429783
02.	Heizzentrale	BT1	Heizkreis 2	Heizgruppe BT2	2400 kg/h	DN 40	AMTRON N25	AMTRON NW + Flügelradzähler PMWF 25	3429812
03.	Heizzentrale	BT1	Heizkreis 3	Heizgruppe BT3 - Hofseite	2320 kg/h	DN 40	AMTRON N25	AMTRON NW + Flügelradzähler PMWF 25	3229800
04.	Heizzentrale	BT1	Heizkreis 4	Heizgruppe BT3 - Talseite	3950 kg/h	DN 50	AMTRON NW + Flügelradzähler PMW 32	AMTRON NW + Flügelradzähler PMWF 32	3543817
05.	Heizzentrale	BT1	Heizkreis 5	Heizgruppe BT4	1670 kg/h	DN 32	AMTRON N20	AMTRON NW + Flügelradzähler PMWF 32	3429790
06.	Heizzentrale	BT1	Heizkreis 6	Turnhalle - Zuluftanlage	1600 kg/h	DN 32	AMTRON N20	AMTRON NW + Flügelradzähler PMWF 32	3429760
07.	Heizzentrale	BT1	Heizkreis 7	Rektorat	350 kg/h	DN 20	AMTRON N15	AMTRON N-15	3708141
08.	Waschküche	BT1	Steigstr. Kl.zi. 1/ EG	Klassenzimmer 1/ EG	280 kg/h	3/4"	AMTRON N15	AMTRON N-15	3708146
09.	Waschküche	BT1	Steigstr. Kl.zi. 1/ OG	Klassenzimmer 1/ OG	ca. 280 kg/h	1/2"	AMTRON N15	AMTRON N-15	3708147
10.	Gasübergaberaum	BT1	Steigstr. TH, Fenst.seite	Turnhalle/ HK-Fensterseite	1035 kg/h	1"	AMTRON N20	AMTRON N-15	3708144
Erdgeschoss:									
11.	Klassenzi. 3	BT1	nahe HK-Ventil	Klassenzimmer 3	276 kg/h	1/2"	AMTRON N15	AMTRON N-15	3708142
12.	Klassenzi. 2	BT2	nahe HK-Ventil	Klassenzimmer 2	ca. 400 kg/h	3/4"	AMTRON N15	AMTRON NW + Flügelradzähler Typ 433	3429795
13.	Garderobe	BT1	Steigstr. TH, Galerie	Turnhalle/ HK-Galerie	ca. 488 kg/h	1/2"	AMTRON N15	AMTRON N-15	3708143
14.	Physikvorbereitung	BT3	unter Decke	Klassenzimmer 1/ 1.OG + Kl.zi.1/ 2.OG	ca. 400 kg/h	3/4"	AMTRON N15	AMTRON NW + Flügelradzähler Typ 433	3429761
1. Obergeschoss:									
15.	Klassenzi. 5	BT1	nahe HK-Ventil	Klassenzimmer 5	276 kg/h	1/2"	AMTRON N15	AMTRON N-15	3708145
16.	Klassenzi. 1	BT2	nahe HK-Ventil	Klassenzimmer 1	ca. 400 kg/h	3/4"	AMTRON N15	AMTRON NW + Flügelradzähler Typ 433	3543814
17.	Klassenzi. 2	BT2	nahe HK-Ventil	Klassenzimmer 2	ca. 400 kg/h	3/4"	AMTRON N15	AMTRON NW + Flügelradzähler Typ 433	3429798
18.	Klassenzi. 1	BT3	unter Decke	Klassenzimmer 1/ 2.OG	ca. 400 kg/h	3/4"	AMTRON N15	AMTRON NW + Flügelradzähler Typ 433	3429754

Tabelle A5: CPU 2/ Messkanäle der DDC-Anlage - Teil 1

Gehäuse-Nr.	Modul-Nr.	Modul-Typ	Benutzeradresse	Klartext				
1	2	XF 521	C2 Fü AT BT1	Fühler	Außentemperatur		Bauteil 1	
1	2	XF 521	C2 Fü RL Strategie	Fühler	Rücklauftemperatur			Strategie
1	2	XF 521	C2 Fü VL HK5 BT4	Fühler	Vorlauftemperatur	Heizkreis 5	Bauteil 4	Störmeldung
1	2	XF 521	C2 Fü VL Hofs BT3	Fühler	Vorlauftemperatur	Hofseite	Bauteil 3	
1	2	XF 521	C2 Fü VL Kessel 1	Fühler	Vorlauftemperatur	Kessel 1		
1	2	XF 521	C2 Fü VL Kessel 2	Fühler	Vorlauftemperatur	Kessel 2		
1	2	XF 521	C2 Fü VL Rektorat	Fühler	Vorlauftemperatur	Rektorat		
1	2	XF 521	C2 Fü VL Strategie	Fühler	Vorlauftemperatur			Strategie
1	3	XF 521	C2 Fü VL Tals BT3	Fühler	Vorlauftemperatur	Talseite	Bauteil 3	
1	3	XF 521	C2 Fü VL HK1 BT1	Fühler	Vorlauftemperatur	Heizkreis 1	Bauteil 1	
1	3	XF 521	C2 Fü VL HK2 BT2	Fühler	Vorlauftemperatur	Heizkreis 2	Bauteil 2	
1	3	XF 521	C2 TW Rektorat	Potentiometer	Temperaturwähler	Rektorat		
1	3	XF 521	C2 Fü AB Lü Turnh	Fühler	Ablufttemperatur	Turnhalle		Lüftung
1	3	XF 521	C2 Fü RL Lü Turnh	Fühler	Rücklauftemperatur	Turnhalle		Lüftung
1	3	XF 521	C2 Fü Frost Turnh	Fühler	Zulufttemperatur	Turnhalle		
1	3	XF 521	C2 Fü ZU Lü Turnh	Fühler	Zulufttemperatur	Turnhalle		Lüftung
2	1	XF 522	C2 Ve Hofs BT3	Regelventil		Hofseite	Bauteil 3	
2	1	XF 522	C2 Ve HK1 BT1	Regelventil		Heizkreis 1	Bauteil 1	
2	1	XF 522	C2 Ve HK2 BT2	Regelventil		Heizkreis 2	Bauteil 2	
2	1	XF 522	C2 AUFO KL Turnh	Klappe	Außen/Forluft	Turnhalle		
2	1	XF 522	C2 Ve LE Turnh	Regelventil		Turnhalle		
2	1	XF 522	C2 Ve Tals BT3	Regelventil		Talseite	Bauteil 3	
2	1	XF 522	C2 Ve Rektorat	Regelventil		Rektorat		
2	1	XF 522	C2 Ve HK5 BT4	Regelventil		Heizkreis 5	Bauteil 4	
2	2	XF 525	C2 Mod Kessel 1	Modulation	Wärmeerzeuger	Kessel 1		
2	2	XF 525	C2 Ve Kessel 2	Regelventil		Kessel 2		
2	3	XF 523	C2 SM Pu HK2 BT2	Pumpe		Heizkreis 2	Bauteil 2	Störmeldung
2	3	XF 523	C2 SM Pu HK1 BT1	Pumpe		Heizkreis 1	Bauteil 1	Störmeldung

Tabelle A6: CPU 2/ Messkanäle der DDC-Anlage - Teil 2

Gehäuse-Nr.	Modul-Nr.	Modul-Typ	Benutzeradresse	Klartext				
2	3	XF 523	C2_SM_Pu_Tals_BT3	Pumpe		Talseite	Bauteil 3	Störmeldung
2	3	XF 523	C2_SM_Pu_Rektorat	Pumpe			Rektorat	Störmeldung
2	3	XF 525	C2_SM_Pu_Hofs_BT5	Pumpe		Hofseite	Bauteil 5	Störmeldung
2	3	XF 523	C2_SM_Pu_HK5_BT4	Pumpe		Heizkreis 5	Bauteil 4	Störmeldung
2	3	XF 523	C2_SM_Kessel_2	Wärmeerzeuger		Kessel 2		Störmeldung
2	3	XF 523	C2_SM_Kessel_1	Wärmeerzeuger		Kessel 1		Störmeldung
2	3	XF 523	C2_SM_Druckhaltung	allgemeiner Wächter				Störmeldung
2	3	XF 523	C2_SM_PMax_Kessel_2	Druckwächter		Kessel 2		Störmeldung
2	3	XF 523	C2_SM_PMax_Kessel_1	Druckwächter		Kessel 1		Störmeldung
2	3	XF 523	C2_SM_NotAusKessel	Schalter	Not-Aus Kessel			Störmeldung
2	4	XF 523	C2_SM_THFrostTurnh	Frostschutzwächter		Turnhalle		Störmeldung
2	4	XF 523	C2_SM_Ven_ZU_Turnh	Zuluftventilator		Turnhalle		Störmeldung
2	4	XF 523	C2_SM_Ven_AB_Turnh	Abluftventilator		Turnhalle		Störmeldung
2	4	XF 523	C2_SM_Pu_Sek_Turnh	Pumpe	Sekundärpumpe	Turnhalle		Störmeldung
2	4	XF 523	C2_SM_PuPrim_Turnh	Pumpe	Primärpumpe	Turnhalle		Störmeldung
2	4	XF 523	C2_SM_DS_ZU_Turnh		Differenzdruck	Turnhalle		Störmeldung
2	4	XF 523	C2_SM_DS_AB_Turnh		Differenzdruck	Turnhalle		Störmeldung
2	4	XF 523	C2_Hand_Lü_Turnh	Schalter	Lüftung	Turnhalle		Handschalter
2	4	XF 523	C2_Auto_Lü_Turnh	Schalter	Lüftung	Turnhalle		Automatik
2	4	XF 523	C2_SM_AUFilt_Turnh		Filterüberwachung	Turnhalle		Störmeldung
2	4	XF 523	C2_SM_WM_Kessel_2		Wassermangel	Kessel 2		Störmeldung
2	4	XF 523	C2_SM_WM_Kessel_1		Wassermangel	Kessel 1		Störmeldung
3	1	XF 524	C2_Pu_HK5_BT4	Pumpe		Heizkreis 5	Bauteil 4	
3	1	XF 524	C2_Pu_Hofs_BT3	Pumpe		Hofseite	Bauteil 3	
3	1	XF 524	C2_Pu_Tals_BT3	Pumpe		Talseite	Bauteil 3	
3	1	XF 524	C2_Pu_HK1_BT1	Pumpe		Heizkreis 1	Bauteil 1	
3	1	XF 524	C2_Pu_HK2_BT2	Pumpe		Heizkreis 2	Bauteil 2	
3	1	XF 524	C2_Pu_Rektorat	Pumpe		Rektorat		
3	2	XF 524	C2_St1_Kessel_1	Stufe 1	Wärmeerzeuger	Kessel 1		

Tabelle A7: CPU 2/ Messkanäle der DDC-Anlage - Teil 3

Gehäuse-Nr.	Modul-Nr.	Modul-Typ	Benutzeradresse	Klartext				
3	2	XF 524	C2_St1_Kessel_2	Stufe 1	Wärmeerzeuger	Kessel 2		
3	2	XF 524	C2_St2_Kessel_2	Stufe 2	Wärmeerzeuger	Kessel 2		
3	2	XF 524	C2_Pu_Prim_Turnh	Pumpe	Primärpumpe	Turnhalle		
3	2	XF 524	C2_Pu_Sek_Turnh	Pumpe	Sekundärpumpe	Turnhalle		
3	2	XF 524	C2_WWB_BT1		Brauchwarmwasser		Bauteil 1	
3	3	XF 524	C2_Ven_AB_Turnh	Abluftventilator		Turnhalle		
3	3	XF 524	C2_Ven_ZU_Turnh	Zuluftventilator		Turnhalle		
3	3	XF 524	C2_Ve_01.01.01.04	Regelventil				Thermoantrieb
3	3	XF 524	C2_Ve_01.01.01.11	Regelventil				Thermoantrieb
3	3	XF 524	C2_Ve_01.01.02.10	Regelventil				Thermoantrieb
3	3	XF 524	C2_Pu_Zirk_BT1	Zirkulationspumpe			Bauteil 1	
3	4	XF 521	C2_RT_01.01.01.04		Raumtemperatur			
3	4	XF 521	C2_RT_01.01.01.11		Raumtemperatur			
3	4	XF 521	C2_RT_01.01.02.10		Raumtemperatur			
3	4	XF 521	C2_RT_01.01.02.22		Raumtemperatur			
3	4	XF 521	C2_RT_01.01.02.25		Raumtemperatur			
3	4	XF 521	C2_RT_01.01.02.26		Raumtemperatur			
3	4	XF 521	C2_RT_01.01.02.15		Raumtemperatur			
4	1	XF 523	C2_SM_WWB_BT1		Brauchwarmwasser		Bauteil 1	Störmeldung
4	1	XF 523	C2_SM_STB_Kessel_1	Sicherheitstemperaturbegrenzer		Kessel 1		Störmeldung
4	1	XF 523	C2_SM_STB_Kessel_2	Sicherheitstemperaturbegrenzer		Kessel 2		Störmeldung
4	1	XF 523	C2_Sch_01.01.02.15	Schalter				
4	1	XF 523	C2_EIB_01.01.02.26	Schalter				
4	1	XF 523	C2_EIB_01.01.02.25	Schalter				
4	1	XF 523	C2_Ta_01.01.02.02	Taster				
4	1	XF 523	C2_Ta_01.01.02.22	Taster				
4	1	XF 523	C2_Sch_01.01.02.10	Schalter				
4	1	XF 523	C2_Sch_01.01.01.11	Schalter				
4	1	XF 523	C2_Sch_01.01.01.04	Schalter				

Tabelle A8: CPU 2/ Messkanäle der DDC-Anlage - Teil 4

Gehäuse-Nr.	Modul-Nr.	Modul-Typ	Benutzeradresse	Klartext			
4	2	XF 524	C2_Ve_01.01.02.22	Regelventil			Thermoantrieb
4	2	XF 524	C2_Ve_01.01.02.02	Regelventil			Thermoantrieb
4	2	XF 524	C2_Ve_01.01.02.25	Regelventil			Thermoantrieb
4	2	XF 524	C2_Ve_01.01.02.26	Regelventil			Thermoantrieb
4	2	XF 524	C2_Ve_01.01.02.15	Regelventil			Thermoantrieb
4	2	XF 524	C2_BM_01.01.02.02		allgemeiner Schaltbefehl		

Tabelle A9: CPU 3/ Messkanäle der DDC-Anlage

MCE/MCD Submodule	Benutzeradresse	Klartext			
	C3_RT_01.01.03.02		Raumtemperatur		
	C3_RT_01.01.03.05		Raumtemperatur		
	C3_RT_01.01.03.08		Raumtemperatur		
	C3_RT_01.01.03.18		Raumtemperatur		
	C3_RT_01.01.03.19		Raumtemperatur		
	C3_RT_01.01.03.15		Raumtemperatur		
	C3_RT_01.01.03.16		Raumtemperatur		
	C3_Fü_AT_01.01.03	Fühler	Außentemperatur		
	C3_RT_01.01.03.12		Raumtemperatur		
	C3_Ta_01.01.03.12	Taster			
	C3_Ta_01.01.03.16	Taster			
MCE 3/1	C3_Ve_01.01.03.02	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/1	C3_Ve_01.01.03.05	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/1	C3_Ve_01.01.03.08	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/2	C3_Ve_01.01.03.18	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/2	C3_Ve_01.01.03.19	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/2	C3_Ve_01.01.03.15	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/3	C3_Ve_01.01.03.16	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/3	C3_BM_01.01.03.02	allgemeiner Schaltbefehl			Betriebsmeldung
MCE 3/3	C3_BM_01.01.03.05	allgemeiner Schaltbefehl			Betriebsmeldung
MCE 3/4	C3_BM_01.01.03.08	allgemeiner Schaltbefehl			Betriebsmeldung
MCE 3/4	C3_BM_01.01.03.15	allgemeiner Schaltbefehl			Betriebsmeldung
MCE 3/4	C3_Ve_01.01.03.12	Regelventil			Thermoantrieb
	C3_Ta_01.01.03.15	Taster			
	C3_EIB_01.01.03.19	Schalter			
	C3_EIB_01.01.03.18	Schalter			
	C3_Ta_01.01.03.08	Taster			
	C3_Ta_01.01.03.05	Taster			
	C3_Ta_01.01.03.02	Taster			

Tabelle A10: CPU 4/ Messkanäle der DDC-Anlage

MCE/MCD Submodule	Benutzeradresse	Klartext			
	C4_RT_01.02.01.08		Raumtemperatur		
	C4_RT_01.02.01.10		Raumtemperatur		
	C4_RT_01.02.02.02		Raumtemperatur		
	C4_RT_01.02.02.03		Raumtemperatur		
	C4_RT_01.02.02.05		Raumtemperatur		
	C4_RT_01.02.02.07		Raumtemperatur		
	C4_RT_01.02.03.02		Raumtemperatur		
	C4_RT_01.02.03.03		Raumtemperatur		
	C4_RT_01.02.03.09		Raumtemperatur		
	C4_Ta_01.02.03.09	Taster			
	C4_EIB_01.02.03.03	Schalter			
	C4_EIB_01.02.03.02	Schalter			
MCE 3/1	C4_Ve_01.02.01.08	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/1	C4_Ve_01.02.01.10	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/1	C4_Ve_01.02.02.02	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/2	C4_Ve_01.02.02.03	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/2	C4_Ve_01.02.02.05	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/2	C4_Ve_01.02.02.07	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/3	C4_Ve_01.02.03.02	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/3	C4_Ve_01.02.03.03	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/3	C4_Ve_01.02.03.09	Regelventil			Thermoantrieb
MCE 3/4	C4_BM_01.02.03.09				Betriebsmeldung
	C4_EIB_01.02.02.07	Schalter			
	C4_EIB_01.02.02.05	Schalter			
	C4_EIB_01.02.02.03	Schalter			
	C4_EIB_01.02.02.02	Schalter			
	C4_Ta_01.02.01.08	Taster			
	C4_Ta_01.02.01.11	Taster			

Tabelle A11: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - **Januar 1998**

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1																																	
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2																																	
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3																																	
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4																																	
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5																																	
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6																																	
Rektorat	Heizkreis 7																																	
Klassenzimmer 1	BT1 / EG																																	
Klassenzimmer 1	BT1 / OG																																	
Turnhalle	HK-Fensters.																																	
Klassenzimmer 3	BT1 / EG																																	
Klassenzimmer 2	BT2 / EG																																	
Turnhalle	HK-Galerie																																	
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG																																	
Klassenzimmer 5	BT1 / OG																																	
Klassenzimmer 1	BT2 / OG																																	
Klassenzimmer 2	BT2 / OG																																	
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG																																	
Wochentage	Ferien	Winter Sa So																																
Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	bis 2	
Eib-Daten	<bis : ab> [Uhrzeit]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17>	√	√	√	√	√	√	<8	-	-	-	9>	√	
DDC-Daten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	




vollst.	
nur Temp.	
nichts oder sehr wenig	

Tabelle A12: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - **Februar 1998**

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Rektorat	Heizkreis 7	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Klassenzimmer 1	BT1 / EG	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Klassenzimmer 1	BT1 / OG	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Turnhalle	HK-Fensters.	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Klassenzimmer 3	BT1 / EG	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Klassenzimmer 2	BT2 / EG	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Turnhalle	HK-Galerie	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Klassenzimmer 5	BT1 / OG	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Klassenzimmer 1	BT2 / OG	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Klassenzimmer 2	BT2 / OG	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG	■			■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Wochentage	Ferien	So																												
Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Eib-Daten	<bis : ab> [Uhrzeit]	√	√	√	√	√	√	√	<8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9>	√	√	√	√	√	√	√	√	<10	-
DDC-Daten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

Wetterdaten kältester Tag $-10,5^{\circ}\text{C}$ $-8,4^{\circ}\text{C}$

vollst.	■
nur Temp.	■
nichts oder sehr wenig	□

Tabelle A13: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - März 1998

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1																																					
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2																																					
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3																																					
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4																																					
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5																																					
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6																																					
Rektorat	Heizkreis 7																																					
Klassenzimmer 1	BT1 / EG																																					
Klassenzimmer 1	BT1 / OG																																					
Turnhalle	HK-Fensters.																																					
Klassenzimmer 3	BT1 / EG																																					
Klassenzimmer 2	BT2 / EG																																					
Turnhalle	HK-Galerie																																					
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG																																					
Klassenzimmer 5	BT1 / OG																																					
Klassenzimmer 1	BT2 / OG																																					
Klassenzimmer 2	BT2 / OG																																					
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG																																					
Wochentage	Ferien	So																																				
Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
Eib-Daten	<bis ; ab> [Uhrzeit]	-	-	-	-	10>	√	√	√	√	√	√	√	<13	-	-	-	-	-	-	-	19>	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
DDC-Daten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
Wetterdaten	Temp																																					
vollst.																																						
nur Temp.																																						
nichts oder sehr wenig																																						

max Temp diff. = 24,9K

Tabelle A14: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - April 1998

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																							
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																														
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Rektorat	Heizkreis 7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Klassenzimmer 1	BT1 / EG	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Klassenzimmer 1	BT1 / OG	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Turnhalle	HK-Fensters.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Klassenzimmer 3	BT1 / EG	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Klassenzimmer 2	BT2 / EG	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Turnhalle	HK-Galerie	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Klassenzimmer 5	BT1 / OG	ab ca. 7°						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Klassenzimmer 1	BT2 / OG	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Klassenzimmer 2	BT2 / OG	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Wochentage	Ferien							Sa	So																																													
Loggerdaten	verfügbar	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																			
Eib-Daten	<bis ; ab> [Uhrzeit]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																			
DDC-Daten	verfügbar	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																		
Wetterdaten	Temp	max Temp diff. = 19.1K																																																				
vollst.																																																						
nur Temp.																																																						
nichts oder sehr wenig																																																						

Tabelle A15: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - **Mai 1998**

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1																																					
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2																																					
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3																																					
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4																																					
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5																																					
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6																																					
Rektorat	Heizkreis 7																																					
Klassenzimmer 1	BT1 / EG																																					
Klassenzimmer 1	BT1 / OG																																					
Turnhalle	HK-Fensters.																																					
Klassenzimmer 3	BT1 / EG																																					
Klassenzimmer 2	BT2 / EG																																					
Turnhalle	HK-Galerie																																					
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG																																					
Klassenzimmer 5	BT1 / OG																																					
Klassenzimmer 1	BT2 / OG																																					
Klassenzimmer 2	BT2 / OG																																					
Klassenzimmer 1	BT3 / 2. OG																																					
Wochentage	Ferien																																					
Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		
Eib-Daten	<bis ; ab> [Uhrzeit]	√	√	√	√	≤13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
DDC-Daten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		
Wetterdaten	Temp																																					
	Strahlung																																					

Tabelle A16: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - Juni 1998

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1											■																	■	■	■
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2											■																	■	■	■
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3											■																	■	■	■
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4											■																	■	■	■
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5											■																	■	■	■
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6											■																	■	■	■
Rektorat	Heizkreis 7											■																	■	■	■
Klassenzimmer 1	BT1 / EG											■																	■	■	■
Klassenzimmer 1	BT1 / OG											■																	■	■	■
Turnhalle	HK-Fensters.											■																	■	■	■
Klassenzimmer 3	BT1 / EG											■																	■	■	■
Klassenzimmer 2	BT2 / EG											■																	■	■	■
Turnhalle	HK-Galerie											■																	■	■	■
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG											■																	■	■	■
Klassenzimmer 5	BT1 / OG											■																	■	■	■
Klassenzimmer 1	BT2 / OG											■																	■	■	■
Klassenzimmer 2	BT2 / OG											■																	■	■	■
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG											■																	■	■	■
Wochentage	Ferien	Pfingsten		Sa So																											
Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	60	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
Eib-Daten	<bis ; ab> [Uhrzeit]	√	√	√	√	√	√	√	√	√	<13	-	-	-	-	-	-	-	-	12>	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
DDC-Daten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Wetterdaten	Strahlung	959.W/m2																								830.W/m2					
	vollst.	■																													
	nur Temp.	■																													
	nichts oder sehr wenig	■																													

Tabelle A17: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - Juli 1998

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1	■	■	■	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2	■	■	■	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3	■	■	■	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4	■	■	■	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5	■	■	■	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6	■	■	■	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Rektorat	Heizkreis 7	■	■	■	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Klassenzimmer 1	BT1 / EG	■	■	■	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Klassenzimmer 1	BT1 / OG	■	■	■	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Turnhalle	HK-Fensters.	■	■	■	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Klassenzimmer 3	BT1 / EG	■	■	■	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Klassenzimmer 2	BT2 / EG	■	?	?	?	?									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Turnhalle	HK-Galerie	■	■	■	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG	■	■	■	■	?	?								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Klassenzimmer 5	BT1 / OG	■	■	■	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Klassenzimmer 1	BT2 / OG	■	■	■	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Klassenzimmer 2	BT2 / OG	■	■	■	■										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG	■	■	■	■	?	?								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Wochentage		Ferien		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So	
Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
Eib-Daten	<bis : ab> [Uhrzeit]	<13	-	-	-	-	-	-	10>	√	√	√	√	<13	-	14>	√	√	√	√	√	√	√	<11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15>	

Wetterdaten heißester Tag 35.2°C
 Strahlung 911.W/m2 879.W/m2

vollst.	■
nur Temp.	■
nichts oder sehr wenig	■

Tabelle A18: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - August 1998

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1	■	■	■												■		■	■																		
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2	■	■	■												■		■	■																		
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3	■	■	■												■		■	■																		
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4	■	■	■												■		■	■																		
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5	■	■	■												■		■	■																		
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6	■	■	■												■		■	■																		
Rektorat	Heizkreis 7	■	■	■												■		■	■																		
Klassenzimmer 1	BT1 / EG	■	■	■												■		■	■																		
Klassenzimmer 1	BT1 / OG	■	■	■												■		■	■																		
Turnhalle	HK-Fensters.	■	■	■												■		■	■																		
Klassenzimmer 3	BT1 / EG	■	■	■												■		■	■																		
Klassenzimmer 2	BT2 / EG	■	■	■												■		■	■																		
Turnhalle	HK-Galerie	■	■	■												■		■	■																		
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG	■	■	■												■		■	■																		
Klassenzimmer 5	BT1 / OG															■		■	■																		
Klassenzimmer 1	BT2 / OG	■	■	■												■		■	■																		
Klassenzimmer 2	BT2 / OG	■	■	■												■		■	■																		
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG	■	■	■												■		■	■																		
Wochentage	Ferien	Sa	So	Sommer	Sa	So	Sa	So	Sa	So	Sa	So	Sa	So	Sa	So	Sa	So	Sa	So	Sa	So	Sa	So	Sa	So	Sa	So	Sa	So	Sa	So	Sa	So			
Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
Eib-Daten	<bis ; ab> [Uhrzeit]	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	<10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
DDC-Daten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
vollst.		■																																			
nur Temp.		■																																			
nichts oder sehr wenig		□																																			

Tabelle A19: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - **September 1998**

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1																																			
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2																																			
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3																																			
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4																																			
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5																																			
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6																																			
Rektorat	Heizkreis 7																																			
Klassenzimmer 1	BT1 / EG																																			
Klassenzimmer 1	BT1 / OG																																			
Turnhalle	HK-Fensters.																																			
Klassenzimmer 3	BT1 / EG																																			
Klassenzimmer 2	BT2 / EG																																			
Turnhalle	HK-Galerie																																			
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG																																			
Klassenzimmer 5	BT1 / OG																																			
Klassenzimmer 1	BT2 / OG																																			
Klassenzimmer 2	BT2 / OG																																			
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG																																			
Wochentage	Ferien	Sa So		Sommer		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So		Sa So				
Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		
Eib-Daten	<bis ; ab> [Uhrzeit]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
DDC-Daten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		

vollst.
nur Temp.
nichts oder sehr wenig



Tabelle A20: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - **Oktober 1998**

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Rektorat	Heizkreis 7	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Klassenzimmer 1	BT1 / EG	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Klassenzimmer 1	BT1 / OG	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Turnhalle	HK-Fensters.	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Klassenzimmer 3	BT1 / EG	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Klassenzimmer 2	BT2 / EG	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Turnhalle	HK-Galerie	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Klassenzimmer 5	BT1 / OG	Immer Werte ab ca. 7°°								[diagonal]																22°°												
Klassenzimmer 1	BT2 / OG	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Klassenzimmer 2	BT2 / OG	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG	[diagonal]								[diagonal]																[diagonal]												
Wochentage	Ferien	Sa So				Sa So							Sa So							Sa So Herbst				Sa														
Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√				
Eib-Daten	<bis ; ab> [Uhrzeit]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9>	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√				
DDC-Daten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√				
Wetterdaten	Temp.diff															max Temp diff. = 9,1K																						
vollst.	[diagonal]																																					
nur Temp.	[diagonal]																																					
nichts oder sehr wenig	[white]																																					

Tabelle A21: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - **November 1998**

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1																																
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2																																
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3																																
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4																																
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5																																
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6																																
Rektorat	Heizkreis 7																																
Klassenzimmer 1	BT1 / EG																																
Klassenzimmer 1	BT1 / OG																																
Turnhalle	HK-Fensters.																																
Klassenzimmer 3	BT1 / EG																																
Klassenzimmer 2	BT2 / EG																																
Turnhalle	HK-Galerie																																
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG																																
Klassenzimmer 5	BT1 / OG																																
Klassenzimmer 1	BT2 / OG																																
Klassenzimmer 2	BT2 / OG																																
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG																																
Wochentage	Ferien	So																															
Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	60	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
Eib-Daten	<bis ; ab> [Uhrzeit]	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	<12	-	-	-	-	-	-	12>	<13												
DDC-Daten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
Wetterdaten		max Temp diff. = 15,3K																															




vollst.	
nur Temp.	
nichts oder sehr wenig	

Tabelle A22: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - **Dezember 1998**

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31								
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1																																							
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2																																							
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3																																							
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4																																							
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5																																							
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6																																							
Rektorat	Heizkreis 7																																							
Klassenzimmer 1	BT1 / EG																																						?	?
Klassenzimmer 1	BT1 / OG																																							
Turnhalle	HK-Fensters.																																							
Klassenzimmer 3	BT1 / EG																																							
Klassenzimmer 2	BT2 / EG																																							
Turnhalle	HK-Galerie																																							
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG																																							
Klassenzimmer 5	BT1 / OG																																							
Klassenzimmer 1	BT2 / OG																																							
Klassenzimmer 2	BT2 / OG																																							
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG																																							
Wochentage	Ferien																																							
	Sa So																																							
	Sa So																																							
	Sa So																																							
	Weihnach. Sa So																																							
Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	60	√	√	√	20	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
Eib-Daten	<bis ; ab> [Uhrzeit]																																							
DDC-Daten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	




vollst.	
nur Temp.	
nichts oder sehr wenig	

Tabelle A23: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - **Januar 1999**

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Rektorat	Heizkreis 7	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Klassenzimmer 1	BT1 / EG	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Klassenzimmer 1	BT1 / OG	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Turnhalle	HK-Fensters.	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Klassenzimmer 3	BT1 / EG	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Klassenzimmer 2	BT2 / EG	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Turnhalle	HK-Galerie	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Klassenzimmer 5	BT1 / OG	■	■	■		■	■	■	■	-4	■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Klassenzimmer 1	BT2 / OG	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Klassenzimmer 2	BT2 / OG	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■						
Wochentage	Ferien																																
	Sa So Winter																																
	Sa So																																
	Sa So																																
	Sa So																																
Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	30	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
Eib-Daten	<bis : ab> [Uhrzeit]																																
DDC-Daten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	

vollst.	■
nur Temp.	■
nichts oder sehr wenig	■

Tabelle A24: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - **Februar**

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Rektorat	Heizkreis 7								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Klassenzimmer 1	BT1 / EG								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Klassenzimmer 1	BT1 / OG								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Turnhalle	HK-Fensters.								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Klassenzimmer 3	BT1 / EG								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Klassenzimmer 2	BT2 / EG								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Turnhalle	HK-Galerie								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Klassenzimmer 5	BT1 / OG								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Klassenzimmer 1	BT2 / OG								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Klassenzimmer 2	BT2 / OG								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Wochentage	Ferien	Sa So	Sa So	Fasching	Sa So	Sa So
-------------------	---------------	-------	--------------	----------	--------------	-------

Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Eib-Daten	<bis : ab> [Uhrzeit]																												
DDC-Daten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

Sonderveranstaltung/Elternsprechtag

	X X X
--	-------

in BT3/4 ab 20:00 Uhr

vollst.	
nur Temp.	
nichts oder sehr wenig	

Tabelle A25: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - März 1999

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1																																
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2																																
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3																																
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4																																
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5																																
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6																																
Rektorat	Heizkreis 7																																
Klassenzimmer 1	BT1 / EG																																
Klassenzimmer 1	BT1 / OG																																
Turnhalle	HK-Fensters.																																
Klassenzimmer 3	BT1 / EG																																
Klassenzimmer 2	BT2 / EG																																
Turnhalle	HK-Galerie																																
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG																																
Klassenzimmer 5	BT1 / OG																																
Klassenzimmer 1	BT2 / OG																																
Klassenzimmer 2	BT2 / OG																																
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG																																
Wochentage	Ferien																																
Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
Eib-Daten	<bis ; ab> [Uhrzeit]																																
DDC-Daten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	

Sonderveranstaltung/Elternsprechtag

in 01.02.03.09/03 und 01.01.03.15 ab 20:00 Uhr

vollst.	
nur Temp.	
nichts oder sehr wenig	

Tabelle A26: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - April 1999

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1																																		
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2																																		
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3																																		
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4																																		
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5																																		
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6																																		
Rektorat	Heizkreis 7																																		
Klassenzimmer 1	BT1 / EG																																		
Klassenzimmer 1	BT1 / OG																																		
Turnhalle	HK-Fensters.																																		
Klassenzimmer 3	BT1 / EG																																		
Klassenzimmer 2	BT2 / EG																																		
Turnhalle	HK-Galerie																																		
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG																																		
Klassenzimmer 5	BT1 / OG																																		
Klassenzimmer 1	BT2 / OG																																		
Klassenzimmer 2	BT2 / OG																																		
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG																																		
Wochentage	Ferien																																		
Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
Eib-Daten	<bis ; ab> [Uhrzeit]																																		
DDC-Daten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	

vollst.	
nur Temp.	
nichts oder sehr wenig	

Tabelle A27: Übersicht über die vorhandenen Messdaten und die Schulferienzeiten - **Mai 1999**

Mbus-Daten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Heizgruppe BT1	Heizkreis 1																						■	■	■	■	■	■					
Heizgruppe BT2	Heizkreis 2																						■	■	■	■	■	■					
Heizgruppe BT3 - Hofseite	Heizkreis 3																						■	■	■	■	■	■					
Heizgruppe BT3 - Talseite	Heizkreis 4																						■	■	■	■	■	■					
Heizgruppe BT4	Heizkreis 5																						■	■	■	■	■	■					
Turnhalle Zuluftanlage	Heizkreis 6																						■	■	■	■	■	■					
Rektorat	Heizkreis 7																						■	■	■	■	■	■					
Klassenzimmer 1	BT1 / EG																						■	■	■	■	■	■					
Klassenzimmer 1	BT1 / OG																						■	■	■	■	■	■					
Turnhalle	HK-Fensters.																						■	■	■	■	■	■					
Klassenzimmer 3	BT1 / EG																						■	■	■	■	■	■					
Klassenzimmer 2	BT2 / EG																						■	■	■	■	■	■					
Turnhalle	HK-Galerie																						■	■	■	■	■	■					
Klassenzimmer 1	BT3 1.+2. OG																						■	■	■	■	■	■					
Klassenzimmer 5	BT1 / OG																						■	■	■	■	■	■					
Klassenzimmer 1	BT2 / OG																						■	■	■	■	■	■					
Klassenzimmer 2	BT2 / OG																						■	■	■	■	■	■					
Klassenzimmer 1	BT3 / 2.OG																						■	■	■	■	■	■					
Wochentage	Ferien	sa	so							sa	so											sa	so					sa	so				
Loggerdaten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
Eib-Daten	<bis : ab> [Uhrzeit]																																
DDC-Daten	verfügbar	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	

vollst.	■
nur Temp.	■
nichts oder sehr wenig	□

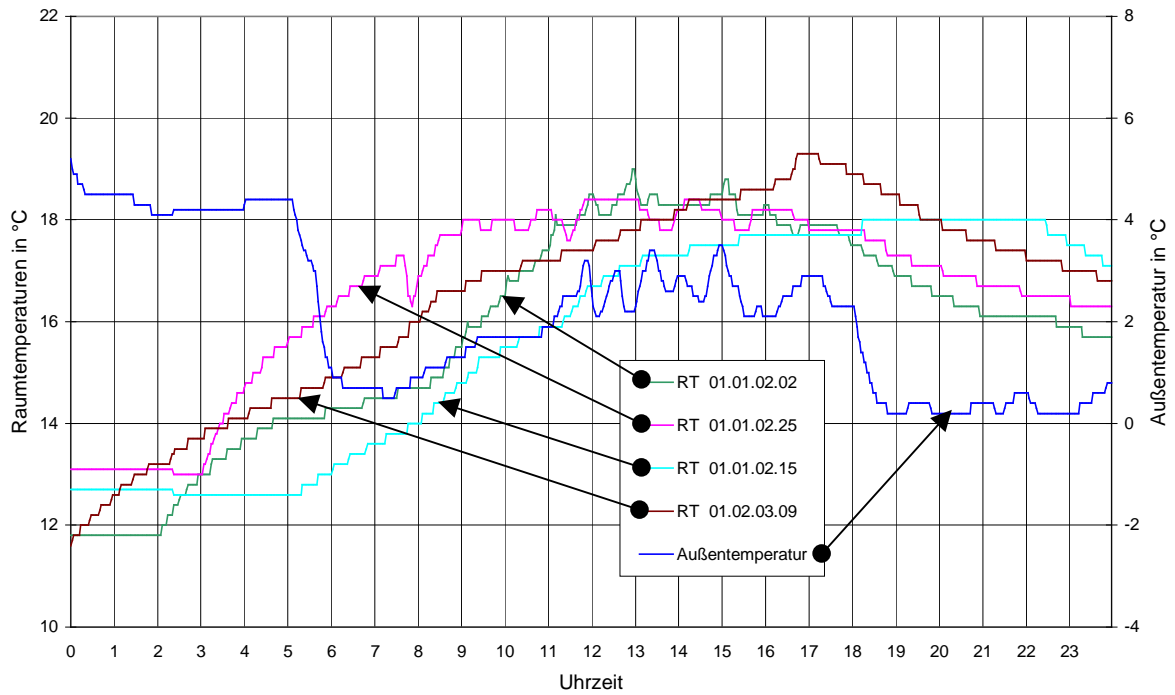


Bild 5.5: Verlauf der Raumlufttemperaturen am ersten Nutzungstag nach 9 Tagen Winterferien (Montag 22.02.99)

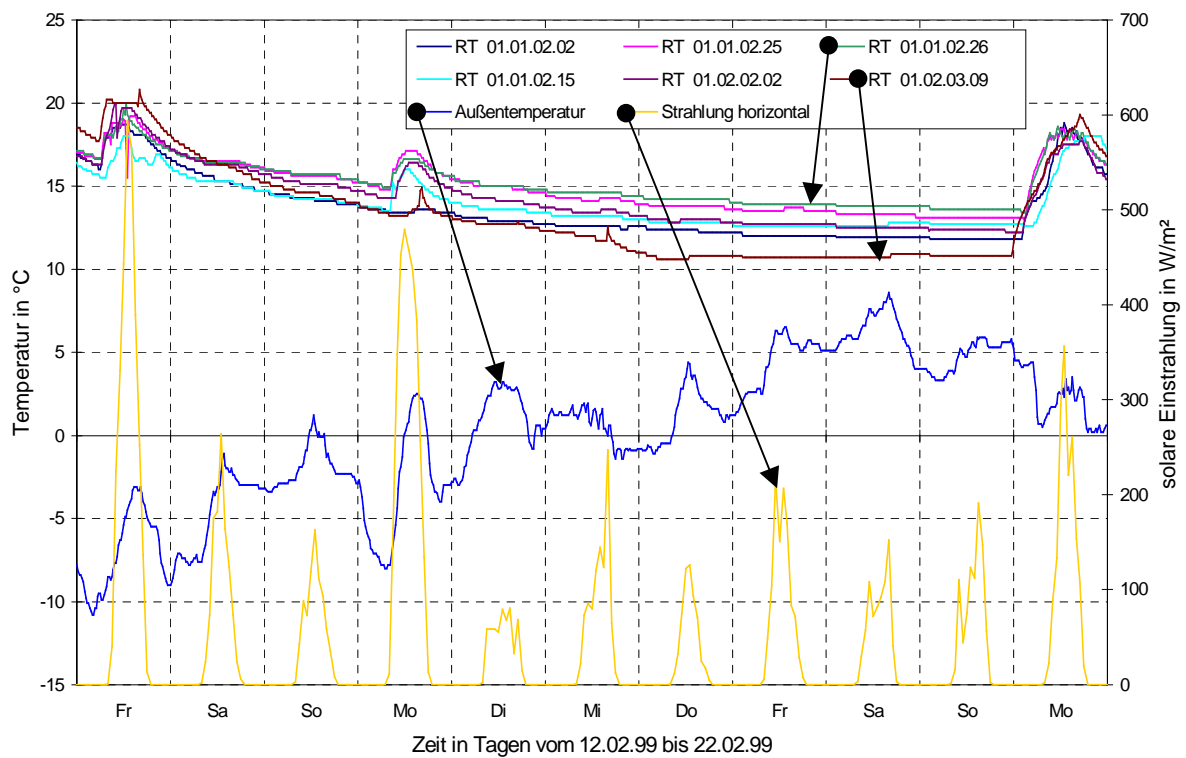


Bild 5.6: Verlauf der Raumlufttemperaturen einiger Klassenzimmer über der Aussenlufttemperatur während den Winterferien 1999.

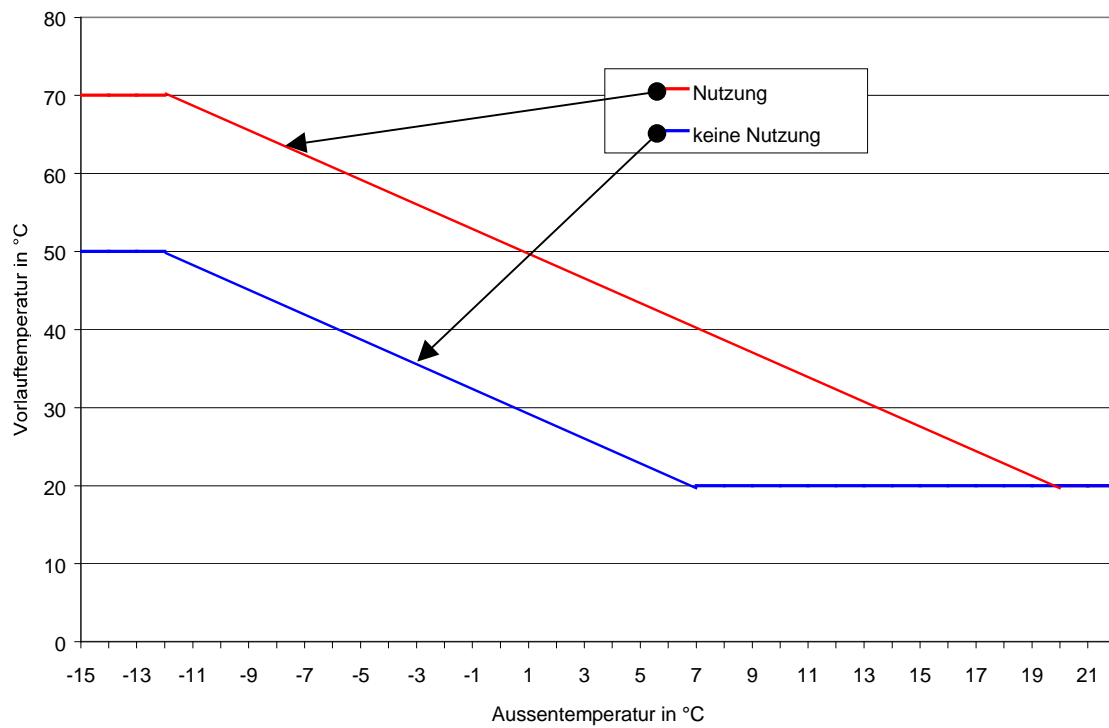


Bild 5.7: Eingestellte Heizkurven (n=1) bei den Mischventilen der Heizkreise 3 und 4 (BT 3)

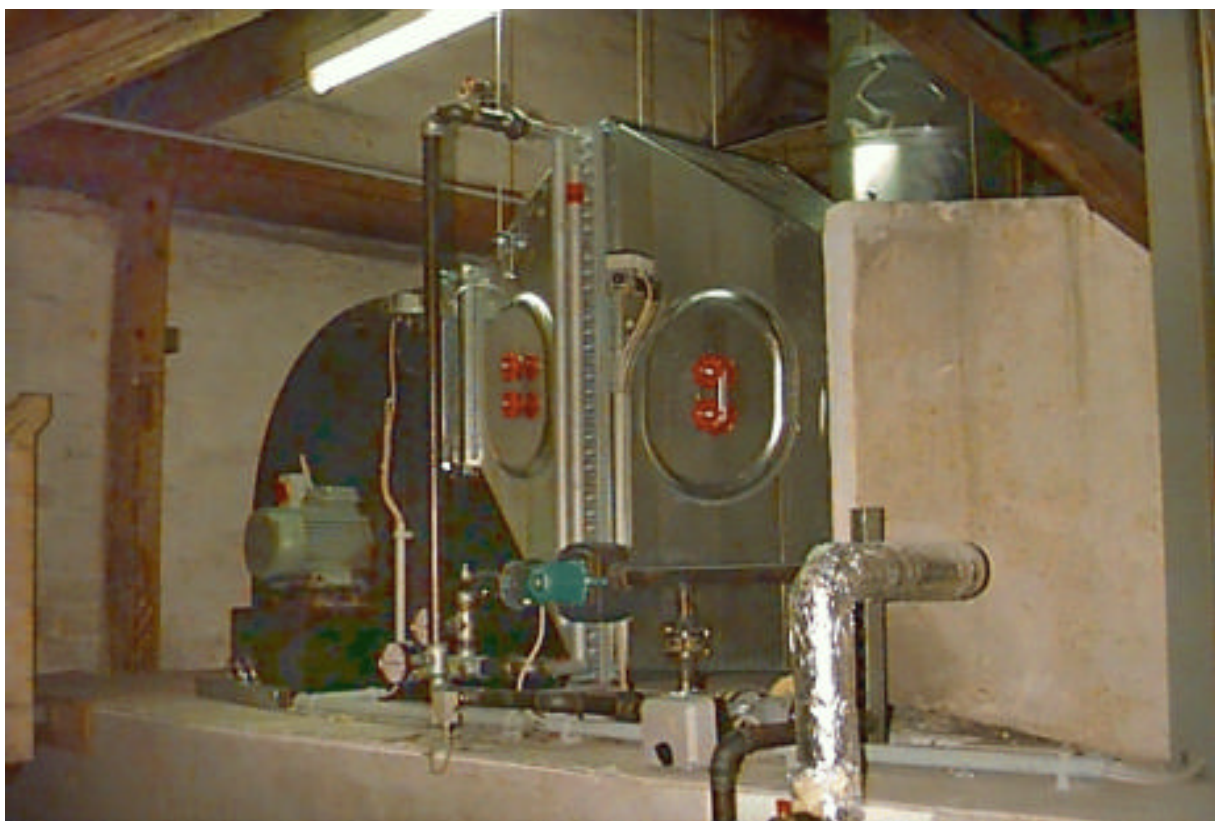


Bild 5.8: Das Heizregister der Zuluftanlage der Turnhalle.

Tabelle 5.1: Betriebs-, Investitions- und Energiskosten für den Vergleich der Heizregister.

	Ist-Zustand Gas/WW	Gas/WW/ Frostschutzmittel	Elektrisch
Nutzen	1700 kWh/a	1700 kWh/a	1700 kWh/a
Verluste durch Frostschutz	ca. 16000 kWh/a	sehr gering	0 kWh/a
Rohrleitungsverluste	ca. 6300 kWh/a	ca. 3000 kWh/a	-
Nutzungsgrad	7 %	ca. 30-40 %	100 %
Investition	ca. 20000 DM	ca. 22000 DM	ca. 5000 DM
Energiepreis	0,068 DM/kWh	0,068 DM/kWh	0,374 DM/kWh

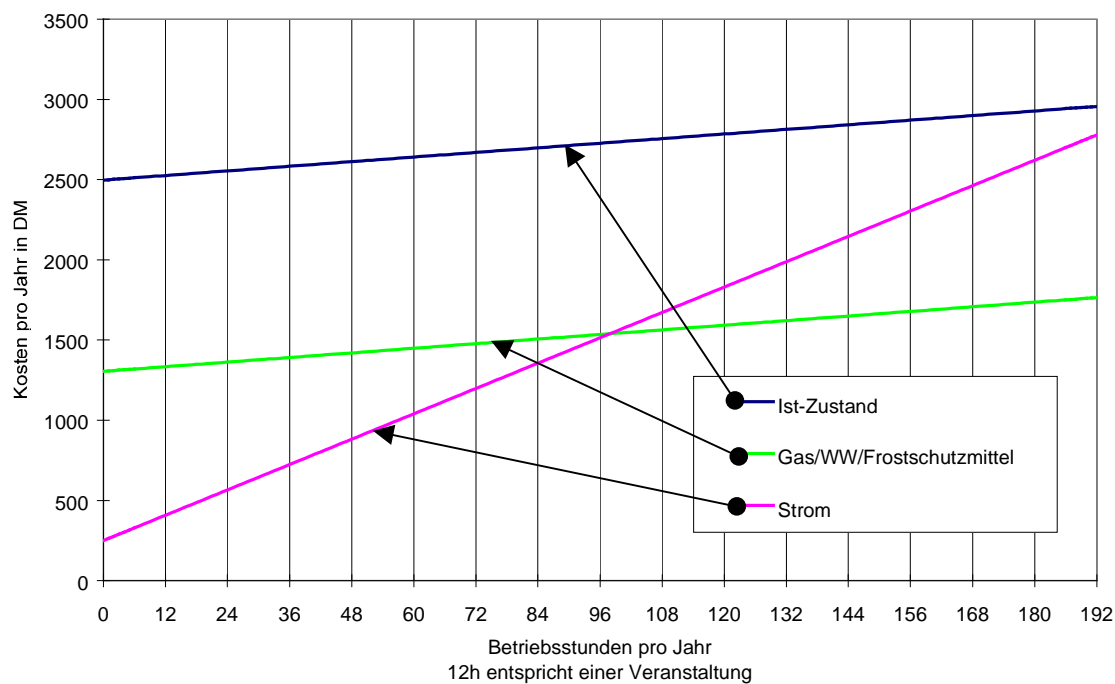


Bild 5.9: Kostenvergleichsgeraden der Heizregister

